

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**UZUN DÖNEMDE MEYDANA GELEN AKDENİZ VE KARADENİZ'DEKİ
DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN BOĞAZLAR SİSTEMİ ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Cem ŞENDURAN

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı

EYLÜL 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**UZUN DÖNEMDE MEYDANA GELEN AKDENİZ VE KARADENİZ'DEKİ
DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN BOĞAZLAR SİSTEMİ ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

**Cem ŞENDURAN
(517072006)**

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI

EYLÜL 2022

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF LONG TERM SEA-LEVEL
VARIATIONS IN THE MEDITERRANEAN AND THE BLACK SEA ON THE
TURKISH STRAITS SYSTEM**

DOCTORAL THESIS

**Cem ŞENDURAN
(517072006)**

Coastal Sciences and Engineering Department

Coastal Sciences and Engineering Program

Thesis Advisor: Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI

SEPTEMBER 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 517072006 numaralı Doktora Öğrencisi Cem ŞENDURAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “UZUN DÖNEMDE MEYDANA GELEN AKDENİZ VE KARADENİZ'DEKİ DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN BOĞAZLAR SİSTEMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şevket ÇOKGÖR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cem GAZIOĞLU
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan AKYILDIZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Adem AKPINAR
Uludağ Üniversitesi



Teslim Tarihi : 14 Temmuz 2022
Savunma Tarihi : 12 Eylül 2022



Anneme, Babama, Ivanka'ma,



ÖNSÖZ

Özveri gerektiren zorlu bir yolculuk olan doktora tezi çalışmamda daima desteği ve teknik birikimi ile yanımda olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI başta olmak üzere;

tezin ilerleyişinde verdikleri kıymetli yorumlarla yol gösterici ve destekleyici olan tez izleme komitesi hocalarım Sayın Prof. Dr. Şevket ÇOKGÖR ve Sayın Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU'na,

maddi ve manevi olarak beni hiçbir surette yalnız bırakmayan ve hep yanımda olduklarını hissettiren sevgili annem Zehra, babam Şükrü ve eşim Ivana'ya,

araştırmayı, sorgulamayı ve bilimi üstün tutmayı bana öğreten hocam Sayın Prof. Dr. Beyza ÜSTÜN'e,

ve adlarını sayamadığım, bu süreçte yanımda olduklarını hissettiğim tüm dostlarıma teşekkürü borç bilirim.

Bu tez çalışması İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir (Proje Numarası: 39779). Bu önemli maddi katkıdan ötürü kendilerine teşekkür ederim.

Temmuz 2022

Cem ŞENDURAN
(Çevre Yüksek Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tezin Özgün Değerleri	2
1.3 Tezin Kısıtlamaları	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Akdeniz ve Karadeniz'in Karakteristik Su Bütçesi	3
2.2 Deniz Seviyesi Veri Setlerinde Eğilim	15
2.3 Deniz Seviyesi Zaman Serilerinin Bileşenleri	18
2.3.1 Toplamsal ayrıştırma modeli	19
2.3.2 Çarpımsal ayrıştırma modeli	19
2.3.3 Loess'e dayalı mevsimsel eğilim (STL) ayrıştırması ile zaman serilerinin bileşenlerine ayrılması	20
2.4 Fourier Dönüşümü ile Periyodiklik Tespiti	21
2.5 Zaman Serilerindeki Eksik Verilerin Kalman Filtresi ile Tamamlanması	22
3. DENİZ SEVİYESİ ZAMAN SERİSİ ANALİZLERİ	25
3.1 Akdeniz (Ege) İstasyonlarında Zaman Serisi Analizleri	29
3.1.1 Dedeğaç istasyonu	29
3.1.2 Selanik istasyonu	31
3.1.3 İleryoz istasyonu	34
3.1.4 Sire istasyonu	36
3.1.5 Suda (Hanya) istasyonu	39
3.1.6 Sakız istasyonu	41
3.2 Karadeniz İstasyonlarında Zaman Serisi Analizleri	44
3.2.1 Burgas istasyonu	44
3.2.2 Varna istasyonu	46
3.2.3 Köstence istasyonu	49
3.2.4 Sivastopol istasyonu	51
3.2.5 Tuapse istasyonu	54
3.2.6 Poti istasyonu	56
4. ÇALIŞMA ALANININ HİDROMETEOROLOJİK ÖZELLİKLERİ	59
4.1 İstasyonlar Bazında Yapılan İncelemeler	60
4.2 Alansal Bazda Yapılan İncelemeler	85

4.2.1 Karadeniz Üzerinde Yapılan İncelemeler	86
4.2.2 Ege Denizi Üzerinde Yapılan İncelemeler	92
4.3 Gözlem ve Model Çıktılarının Birlikte Değerlendirilmesi.....	99
5. DENİZ SEVİYESİ ZAMAN SERİLERİNDE EĞİLİM İNCELEMESİ	105
5.1 Akdeniz (Ege) İstasyonlarında Deniz Seviyesi Eğilimleri	114
5.2 Karadeniz İstasyonlarında Deniz Seviyesi Eğilimleri.....	118
5.3 Eğilimlere Dair Sonuçlar	121
5.4 Zaman Serisi Bileşenlerine Dair Sonuçlar	124
6. SONUÇLAR	131
KAYNAKLAR.....	133
ÖZGEÇMİŞ	141



KISALTMALAR

ARIMA	: Autoregressive Integrated Moving Average
EEA	: European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
EMT	: Eastern Mediterranean Transient (Doğu Akdeniz Taşınımı)
FFT	: Fast Fourier Transformation (Hızlı Fourier Dönüştürümü)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
ISI	: International Statistics Institute (Uluslararası İstatistik Enstitüsü)
NAO	: North Atlantic Oscillation (Kuzey Atlantik Salınımı)
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
PSMSL	: Permanent Service for Mean Sea Level
STL	: Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess
SRES	: Special Report on Emission Scenarios
TSA	: Tekil Spektrum Analizi
WCRP	: World Climate Research Program
YZM	: Yapısal Zaman Serisi Modelleri
YSA	: Yapay Sinir Ağları



SEMBOLLER

V	: Ele alınan kapalı hacimde yer değiştiren su miktarı
A	: Suyun yüzey alanı
P	: Yağış
R	: Nehir akımı
E	: Buharlaşma
F	: Tatlısu bütçesi
So, Si	: Sistemden çıkan ve sisteme giren tuzluluk
yt	: Deniz seviyesi
μt	: Eğilim bileşeni
Ot	: Orijinal zaman serisi
Et	: Eğilim bileşeninin zaman serisi
Mt	: Periyodiklik bileşeninin zaman serisi
Rt	: Rastgelelik bileşeninin zaman serisi
xi, yi	: Gözlemlere ait bağımlı ve bağımsız değişkenler
$\hat{g}(x)$: Loess regresyon eğrisi
W(u)	: Triküp ağırlık fonksiyonu
vi(x)	: Komşuluk ağırlığı fonksiyonu
$\lambda q(x)$: x'e q'ncu en uzak xi'nin mesafesi
xk	: Şu anki durum
zk	: Şu anki gözlemlenen değer
a, b	: Sabitler
vk	: Şu anki rastgele hata
g	: Kazanım terimi
r	: Sensöre bağlı hata değeri
pk	: Geriye dönük olarak hesaplanan tahmin hatası



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Karadeniz su bütçesini meydana getiren ana unsurlar.	6
Çizelge 2.2: Akdeniz, Ege ve Karadeniz deniz seviyelerinde eğilime dair yapılmış bazı çalışmalar.....	9
Çizelge 3.1: İncelenen deniz seviye izleme istasyonlarının konumları ve veri bütünlükleri.....	26
Çizelge 4.1: Hidrometeorolojik parametrelerin NAO İndisi'ne ve zamana karşı korelasyonları.....	100
Çizelge 5.1: 1974-1994 tarih aralığı için hesaplanan aylık ortalama deniz seviyeleri (mm), Ege İstasyonları.	106
Çizelge 5.2: 1974-1994 tarih aralığı için hesaplanan aylık ortalama deniz seviyeleri (mm), Karadeniz İstasyonları.	106
Çizelge 5.3: Ege istasyonlarında zaman serisi eğilim testi sonuçları.	113
Çizelge 5.4: Karadeniz istasyonlarında zaman serisi eğilim testi sonuçları.	113
Çizelge 5.5: İzlenen istasyonlara ait zaman serisi eğilim bileşenlerinin bitiş ve başlangıç tarihleri arasındaki seviye farkları (mm).	124
Çizelge 5.6: Mevsimsellik bileşeninin en yüksek ve en düşük değerleri, meydana gelme zamanları ve iki seviye arasındaki farklar.	125
Çizelge 5.7: Hidrometeorolojik parametrelere ait mevsimsellik bileşeninin en yüksek ve en düşük değerlerinin meydana gelme zamanları.	125



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Giren ve çıkan akımların şematik gösterimi: (a) Akdeniz (negatif su bütçesi; net buharlaşma), (b) Karadeniz (pozitif su bütçesi; net nehir akımı/yağış).	4
Şekil 2.2 : SRES A1B Senaryosu'na göre Avrupa kıtası minimum nehir akımlarında meydana gelmesi beklenen görece değişim (20 yıllık dönüş periyoduyla hesaplanmış).....	7
Şekil 2.3 : Avrupa kıtası 1968-2021 yılları arası sıcaklık anomalileri.	10
Şekil 2.4 : (a) Farklı araştırmacılar tarafından hesaplanan NAO İndisi değişimleri (31 yıllık hareketli ortalamaya göre düzleştirilmiş) (b) Bu değişimlerin 1800 yılından günümüze kadar görünümü.	12
Şekil 2.5 : Uydu görüntülerinden elde edilen Ege denizi sıcaklık değişimlerine ait yıllık lineer eğilimler (°C/yıl): (a) 1985 -2008, (b) 1985-1992, (c) 1992-2008.....	13
Şekil 2.6 : (a) DYS eğilimi (1993-2019), (b) su sütunu ortalama sıcaklık eğilimi, (c) su sütunu ortalama tuzluluk eğilimi.	14
Şekil 3.1 : Çalışma kapsamında incelenen deniz seviyesi istasyonlarına ait konumlar.	25
Şekil 3.2 : Ege istasyonları deniz seviyesi zaman serileri.	27
Şekil 3.3 : Karadeniz istasyonları deniz seviyesi zaman serileri.	28
Şekil 3.4 : Dedeğaç istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.....	29
Şekil 3.5 : Dedeğaç istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.	30
Şekil 3.6 : Dedeğaç istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	30
Şekil 3.7 : Dedeğaç istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.	31
Şekil 3.8 : Selanik istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	32
Şekil 3.9 : Selanik istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.	32
Şekil 3.10 : Selanik istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	33
Şekil 3.11 : Selanik istasyonu Fourier Dönüşümü periyodogramı.	33
Şekil 3.12 : İlyoz istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	34
Şekil 3.13 : İlyoz istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.....	35
Şekil 3.14 : İlyoz istasyonu mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.....	35
Şekil 3.15 : İlyoz istasyonu Fourier Dönüşümü periyodogramı.....	36
Şekil 3.16 : Sire istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	37
Şekil 3.17 : Sire istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.....	37
Şekil 3.18 : Sire istasyonu mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	38
Şekil 3.19 : Sire istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.....	38
Şekil 3.20 : Suda istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	39
Şekil 3.21 : Suda istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.	40
Şekil 3.22 : Suda istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	40
Şekil 3.23 : Suda istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.	41
Şekil 3.24 : Sakız istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	42
Şekil 3.25 : Sakız istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.	42

Şekil 3.26 : Sakız istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	43
Şekil 3.27 : Sakız istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.	43
Şekil 3.28 : Burgas istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	44
Şekil 3.29 : Burgas istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.	45
Şekil 3.30 : Burgas istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	45
Şekil 3.31 : Burgas istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.	46
Şekil 3.32 : Varna istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	47
Şekil 3.33 : Varna istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.	47
Şekil 3.34 : Varna istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	48
Şekil 3.35 : Varna istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.	48
Şekil 3.36 : Köstence istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	49
Şekil 3.37 : Köstence istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.	50
Şekil 3.38 : Köstence istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	50
Şekil 3.39 : Köstence istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.	51
Şekil 3.40 : Sivastopol istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	52
Şekil 3.41 : Sivastopol istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.	52
Şekil 3.42 : Sivastopol istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	53
Şekil 3.43 : Sivastopol istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.	53
Şekil 3.44 : Tuapse istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	54
Şekil 3.45 : Tuapse istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.	55
Şekil 3.46 : Tuapse istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	55
Şekil 3.47 : Tuapse istasyonu, Fourier dönüşümü periyodogramı.	56
Şekil 3.48 : Poti istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.	57
Şekil 3.49 : Poti istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.	57
Şekil 3.50 : Poti istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.	58
Şekil 3.51 : Poti istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.	58
Şekil 4.1 : Varna istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	60
Şekil 4.2 : Varna istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	61
Şekil 4.3 : Varna istasyonu aylık ortalama yağış verisinde tespit edilen eğilim.	62
Şekil 4.4 : Varna istasyonu aylık ortalama yağışların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	62
Şekil 4.5 : Varna istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	63
Şekil 4.6 : Varna istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	64
Şekil 4.7 : Varna istasyonu aylık ortalama sıcaklık verisinde tespit edilen eğilim. ..	65
Şekil 4.8 : Köstence istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	65
Şekil 4.9 : Köstence istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	66
Şekil 4.10 : Köstence istasyonu aylık ortalama yağış verisinde tespit edilen eğilim.	67
Şekil 4.11 : Köstence istasyonu aylık ortalama yağışların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	67
Şekil 4.12 : Köstence istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	68
Şekil 4.13 : Köstence istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	69

Şekil 4.14 : Köstence istasyonu aylık ortalama sıcaklık verisinde tespit edilen eğilim.	70
Şekil 4.15 : Tuapse istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	70
Şekil 4.16 : Tuapse istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	71
Şekil 4.17 : Tupase istasyonu aylık ortalama sıcaklıkların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	72
Şekil 4.18 : Sivastopol istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	72
Şekil 4.19 : Sivastopol istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 5 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	73
Şekil 4.20 : Sivastopol istasyonu aylık ortalama yağış verisinde tespit edilen eğilim.	74
Şekil 4.21 : Selanik istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	74
Şekil 4.22 : Selanik istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	75
Şekil 4.23 : Selanik istasyonu aylık ortalama yağışların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	76
Şekil 4.24 : Selanik istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	76
Şekil 4.25 : Selanik istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	77
Şekil 4.26 : Selanik istasyonu aylık ortalama sıcaklıkların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	78
Şekil 4.27 : Suda istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	78
Şekil 4.28 : Suda istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	79
Şekil 4.29 : Suda istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	80
Şekil 4.30 : Suda istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	81
Şekil 4.31 : Suda istasyonu aylık ortalama sıcaklık verisinde tespit edilen eğilim.	82
Şekil 4.32 : Suda istasyonu aylık ortalama sıcaklıkların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	82
Şekil 4.33 : Ceatal Izmail / Tuna istasyonu a) aylık ortalama debi zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	83
Şekil 4.34 : Ceatal Izmail / Tuna istasyonu a) aylık ortalama debi zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	84
Şekil 4.35 : Ceatal Izmail / Tuna istasyonu aylık ortalama debi verisinde tespit edilen eğilim.	85
Şekil 4.36 : Karadeniz'in geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama buharlaşma zaman serisi, b) aylık ortalamaların mevsimsel bileşeni.	86

Şekil 4.37 : Karadeniz'in geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama buharlaşma zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	87
Şekil 4.38 : Karadeniz'in geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama yağış zaman serisi, b) aylık ortalamaların mevsimsel bileşeni.	88
Şekil 4.39 : Karadeniz'in geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	89
Şekil 4.40 : Karadeniz üzerinde meydana gelen aylık ortalama yağışların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	90
Şekil 4.41 : Karadeniz'e giren toplam yüzeysel akımların GRUN modelinden elde edilen a) aylık ortalama debi zaman serisi; b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	90
Şekil 4.42 : Karadeniz'e giren toplam yüzeysel akımların GRUN modelinden elde edilen a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	91
Şekil 4.43 : Karadeniz genelinde hesaplanan aylık ortalama yüzeysel akımın aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	92
Şekil 4.44 : Ege Denizi'nin geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama buharlaşma zaman serisi, b) aylık ortalamaların mevsimsel bileşeni.	92
Şekil 4.45 : Ege Denizi'nin geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama buharlaşma zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	93
Şekil 4.46 : Ege Denizi üzerinde meydana gelen aylık ortalama buharlaşmanın aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	94
Şekil 4.47 : Ege Denizi'nin geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama yağış zaman serisi, b) aylık ortalamaların mevsimsel bileşeni.	94
Şekil 4.48 : Ege Denizi'nin geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	95
Şekil 4.49 : Ege Denizi üzerinde meydana gelen aylık ortalama yağışların zamana göre eğilimi.	96
Şekil 4.50 : Ege Denizi üzerinde meydana gelen aylık ortalama yağışların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	96
Şekil 4.51 : Ege Denizi'ne giren toplam yüzeysel akımların GRUN modelinden elde edilen a) aylık ortalama debi zaman serisi; b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.	97
Şekil 4.52 : Ege Denizi'ne giren toplam yüzeysel akımların GRUN modelinden elde edilen a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.	98
Şekil 4.53 : Ege genelinde hesaplanan aylık ortalama yüzeysel akımın zamana göre eğilimi.	99
Şekil 4.54 : Ege genelinde hesaplanan aylık ortalama yüzeysel akımın aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.	99
Şekil 4.55 : Karadeniz genelinde hesaplanan SST ve SLA arasındaki korelasyonlar.	101

Şekil 4.56 : Ege Denizi genelinde hesaplanan SST ve SLA arasındaki korelasyonlar.....	101
Şekil 4.57 : Karadeniz ve Ege için 1994 öncesi ve 1994 sonrası meydana gelen net akılar arasındaki fark.....	102
Şekil 4.58 : Karadeniz ve Ege için 2005-2020 döneminde meydana gelen ve 2025-2045 döneminde meydana gelmesi beklenen net akılar arasındaki fark.....	103
Şekil 5.1 : STL ayrıştırması ile elde edilmiş eğilim bileşenlerine ait anomaliler, Ege İstasyonları.....	107
Şekil 5.2 : STL ayrıştırması ile elde edilmiş eğilim bileşenlerine ait anomaliler, Karadeniz İstasyonları (Poti dahil).	108
Şekil 5.3 : STL ayrıştırması ile elde edilmiş eğilim bileşenlerine ait anomaliler, Karadeniz İstasyonları (Poti hariç).	110
Şekil 5.4 : STL ayrıştırması ile elde edilmiş eğilim bileşenlerine ait anomaliler, Karadeniz İstasyonları (1969 sonrası).	111
Şekil 5.5 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Dedeğaç İstasyonu.....	115
Şekil 5.6 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Selanik İstasyonu.	115
Şekil 5.7 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, İleryoz İstasyonu.	116
Şekil 5.8 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Sire İstasyonu.	116
Şekil 5.9 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Suda İstasyonu.	117
Şekil 5.10 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Sakız İstasyonu.	117
Şekil 5.11 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Burgas İstasyonu.	119
Şekil 5.12 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Varna İstasyonu.....	119
Şekil 5.13 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Köstence İstasyonu. ...	120
Şekil 5.14 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Sivastopol İstasyonu. .	120
Şekil 5.15 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Tuapse İstasyonu.....	121
Şekil 5.16 : Tuapse istasyonunda 10 yıl periyotlu döngüsellik.	130



UZUN DÖNEMDE MEYDANA GELEN AKDENİZ VE KARADENİZ'DEKİ DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN BOĞAZLAR SİSTEMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Küresel ısınma ve etkileri, günümüzde akademik çalışmalar açısından sıcak konular arasında yer almaya devam etmektedir. Küresel ölçekte deniz seviyelerinde meydana gelen yükselme ise küresel ısınma olayının en önemli sonuçlarından biridir. Küresel deniz seviyelerinde artan bir eğilimin varlığı bir çok uluslararası kurum tarafından yayımlanan raporlarda ortaya konmuştur. Bununla birlikte, yerel ölçekte deniz seviyeleri küresel eğilime göre farklı davranışlarda bulunabilmektedir. Ülkemizi çevreleyen Karadeniz ve Akdeniz, sularının fiziko-kimyasal özellikleri ve hidrolojik döngüleri bakımından birbirlerine göre oldukça farklı yapıdadır. Birbirlerine Boğazlar sistemi ile bağlı olan bu denizlerin su seviyelerinde meydana gelecek değişimler boğazlar aracılığıyla meydana gelen karşılıklı akımları da etkileyecektir.

Tez çalışması kapsamında, her iki denizde seçilmiş gelgit izleme istasyonlarına ait su seviyesi verileri elde edilmiştir. Veriler, zaman serisi şeklinde kaydedilen aylık ortalama deniz seviyesi kayıtlarıdır. İstasyonların seçiminde kriter olarak veri setlerinin kapsadığı tarih uzunlukları ve veri bütünlükleri kullanılmış, 30 yıldan az süre kapsayan veya çok fazla sayıda eksik ölçüm içeren istasyonlar elenmiştir. İstasyonlar Akdeniz'de (Ege) Dedeoğlu, Selanik, Sire, Suda (Hanya), İlyoz ve Sakız; Karadeniz'de ise Burgas, Varna, Köstence, Sivastopol, Tuapse ve Poti olarak seçilmiştir. Seçilen Karadeniz istasyonları tarih olarak Ege istasyonlarına göre çok daha uzun yılları kapsıyor olsa da Tuapse ve Poti hariç tümünün bitiş tarihleri 1994-1997 arasındadır. Ege istasyonlarının çoğu güncel veriye sahiptir. Ancak Suda (2011) ve Sakız (2015) verisetleri nispeten erken sonlanmaktadır.

İncelenen deniz seviyesi zaman serilerinin her iki denizi de etkileyen hidrometeorolojik parametrelerle olan ilişkisini ortaya koymak üzere hem deniz seviyesi izleme istasyonlarına ait meteorolojik gözlem verileri hem de Karadeniz ve Akdeniz üzerinde alansal olarak hesaplanmış uzun dönem modelleme sonuçları kullanılmıştır. Bahsi geçen hidrometeorolojik parametrelere ait veriler arasında NOAA'ya ait gözlem sonuçları, Global Nehir Debisi Veritabanı (RivDIS) gözlemleri, Copernicus Climate Change Service (C3S) tarafından geliştirilen ERA5 modeli, Karadeniz ve Ege'ye ulaşan yüzeysel akımı hesaplayan G-RUN ENSEMBLE modeli, NOAA PSL tarafından sunulan deniz yüzeyi sıcaklık verileri, IPCC AR5 verisetlerinin RCP4.5 senaryosu çıktıları değerlendirilmeye alınmıştır.

Denizlerdeki ortalama seviyenin eğilim durumunu detaylı biçimde incelemek üzere hem Ege hem de Karadeniz'deki istasyonlarda 20'şer yıllık bir taban periyodu seçilerek, bu 20 yıllık periyotta her aya ait ortalama deniz seviyesi hesaplanmıştır. Bu 20 yıllık ortalamalar referans seviye olarak belirlendiğinden genel veri setlerinden tek tek her istasyonun ortalama değerleri çıkarılarak deniz seviyesi anomalileri hesaplanmıştır. Bu anomaliler üzerinde lineer regresyonla deterministik eğilimler ve

Loess düzleştirmesi hesaplanmıştır. Deterministik eğilim hem tüm zaman serisini kapsayacak şekilde hem de zaman serisinin kapsadığı yıl aralığındaki Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) İndisi kırılma yıllarına göre ortaya çıkan segmentlere ayrılarak çizilmiştir. Ege istasyonları 2'şer segmente, Karadeniz istasyonları ise zaman serilerinin 1993 öncesinde sonlanması nedeniyle Tuapse hariç 2'şer, Tuapse'de ise 1993'te meydana gelen kırılmadan günümüze kadar olan süreci kapsayacak şekilde 3 segmente ayrılmıştır.

STL ayrıştırması sonuçlarına göre Loess düzleştiricilerinin her bir istasyon için veri seti bitiş ve başlangıçları arasında pozitif farklar bulunmuştur (Sire ve Suda istasyonları dışında). Ayrıştırmadan elde edilen mevsimsellik bileşeni sonuçları incelendiğinde Ege istasyonlarında mevsimsel en yüksek değerlerin Ağustos ayında (yalnız Dedeğaç'ta Kasım), Karadeniz'de ise 4 istasyonda Haziran (Burgas, Varna, Sivastopol, Poti), Köstence'de Mayıs, Tuapse'de Temmuz ayında ortaya çıktığı görülmüştür. Mevsimsel en düşük değerler ise Akdeniz istasyonları için Mart ayında (yalnız İlyoz için Nisan), Karadeniz istasyonları için ise Ekim ayında (yalnız Burgas ve Poti için Kasım) ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Zaman serilerinin üçüncü bileşeni olan kalıntılar (rastgelelik) incelendiğinde, incelenen istasyonların hiç birinde belirgin bir eğilim ya da desen bulunmadığı belirlenmiştir.

FFT işlemi sonucunda, incelenen tüm istasyonlarda kuvvetli 12 aylık periyodik hareket tespit edilmiştir. Karadeniz istasyonlarının tümünde bu 12 aylık kuvvetli periyodikliğin yanı sıra 6 aylık da nispeten zayıf periyodik hareket tespit edilmiştir. Ege istasyonlarında ise periyodiklikler Karadeniz'deki istasyonlara göre daha fazla çeşitlilik göstermiştir. Her 2 denizde ortak olan 12 aylık kuvvetli periyodikliğin yanı sıra, Dedeğaç istasyonunda orta kuvvette 6 aylık, Selanik istasyonunda zayıf 6 aylık, Sire istasyonunda zayıf 8 aylık, Suda istasyonunda zayıf 10 aylık, Sakız istasyonunda ise zayıf 9 ve 10 aylık periyodik hareketler ortaya çıkarılmıştır. Karadeniz'de tespit edilen periyodikliklerin birbirine benzemesinin nedeni, denizin hidrolojik olarak nehir akımları tarafından yönetilen kapalı bir sistem olmasıdır. Ege'de görülen farklı periyodik hareketlere ise hem kuzeyden boğazlar vasıtasıyla gelen Karadeniz akımının hem de Levanten baseninden gelerek Girit'in doğusundan Ege'ye giren akımın etkilerinin neden olması muhtemeldir.

Ege istasyonlarındaki deniz seviyelerine ait deterministik eğilimlerin tüm zaman aralığı ele alındığında tamamının pozitif yönlü oldukları görülmektedir (Sire istasyonu hariç). Kapsanan tarih aralıkları NAO İndisi kırılması yaşanan 1993 öncesi ve sonrası olarak 2'şer segmente ayrılarak incelendiğinde ortaya çıkan durumda, birinci segmentte Dedeğaç (-2,5 mm/yıl), Sire (-7,4 mm/yıl), Suda (Hanya) (-4,8 mm/yıl) istasyonlarında deniz seviyesi anomalileri azalan bir eğilim çizgisi ile ifade edilmektedir. Selanik istasyonu için ilk dönem segmentinde uygulanan M-K, C-S ve S testlerinin hiçbirine göre istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim bulunmamıştır. Yalnız İlyoz ve Sakız istasyonlarında her 2 segmentte birden pozitif eğilimler bulunmuştur. İlyoz istasyonunda hem her 2 segmentteki, hem de tüm dönemi kapsayan deterministik eğilimlere ait pozitif eğimler eşit büyüklükte bulunmuştur (1,6 ~ 1,7 mm/yıl). Sakız istasyonu ise ilk dönemde 1,2 mm/yıl, ikinci dönemde 4,5 mm/yıl eğimlerine sahiptir. Genel olarak Ege istasyonlarının tümünde 1993 yılı sonrasında günümüze kadar olan ikinci segmentlerde pozitif eğilimler tespit edilmiştir.

Veri setlerinin tam süresi bakımından Karadeniz istasyonlarında deniz seviyelerine ait deterministik eğilimlerin tamamının pozitif oldukları görülmektedir. Bu eğilimlere ait pozitif eğimler 1,1 mm/yıl (Varna) ile 2,3 mm/yıl (Tuapse) arasında değişmektedir.

Zaman serilerinin başlangıcı ile 1967 yılındaki NAO İndisi kırılması arasındaki süreci kapsayan 1. segmentlerde, Burgas, Köstence ve Sivastopol istasyonlarında pozitif eğimli (sırasıyla 2,9 mm/yıl, 3,7 mm/yıl ve 1,4 mm/yıl) eğilim çizgileri tespit edilmiştir. Bu istasyonlara ait deniz seviyelerinde 1967-1993 yılları arasında kapsayan ikinci segmentlerde istatistiksel olarak anlamlı eğilimler bulunmamıştır. Tuapse istasyonu ilk 2 segmentte artan (sırasıyla 2,7 ve 3,7 mm/yıl) eğilimlere sahipken, 1993'ten günümüze kadar olan üçüncü segmentinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim bulunmamıştır.

Karadeniz'de, Avrupa'da meydana gelen sıcaklık artışı nedeniyle buharlaşmada artış ve kuzeybatı şelfinde bulunan tatlısu kaynaklarının fazla kullanımı nedeniyle nehir akımı girdisinde azalma durumu birden fazla bilimsel çalışmayla ortaya konmuştur. Tuapse istasyonu deniz seviyesi kayıtlarının Karadeniz'deki durumu yansıttığı varsayılacak olursa, 1917'den günümüze kadar deniz seviyesinde artan bir eğilim çizgisi tespit edilmiş, ancak 1993'teki NAO İndisi kırılmasından günümüze kadar geçen sürede pozitif ya da negatif herhangi bir eğilim tespit edilmemiştir. Ege'de ise güncel durumu temsil eden ikinci segment eğilimlerinin tümünde artış tespit edilmiş olup bu artışların en küçüğü +1,6 mm/yıl (İleryoz istasyonu), en büyüğü +6,6 mm/yıl (Suda istasyonu) ve ortalaması 3,85 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplanan ortalama değer, WCRP Global Sea Level Budget Group tarafından 1993-2018 aralığı için hesaplanan küresel deniz seviyesindeki artışa (3,1 mm/yıl) yaklaşık bir değerdir.

Karadeniz ve Ege coğrafyası üzerindeki hidrometeorolojik parametrelerin NAO İndisi ile olan ilişkileri incelenerek, NAO İndisi ile tüm parametreler arasında (yağış, sıcaklık, buharlaşma, nehir akımı) negatif korelasyonlar bulunduğu tespit edilmiştir. Bunun anlamı NAO İndisi'nin mevcut durumdaki pozitif işaretli hareketi devam ettiği sürece, bahsi geçen parametrelerde azalma yönünde hareketlerin beklenmesidir. Karadeniz'in pozitif su bütçesinde herhangi bir artış ya da azalım eğilimi belirlenmemiş olmakla birlikte, Boğazlar sisteminden geçen az tuzlu Karadeniz suyundaki miktarın değişmemesi, Ege'den gelen tuzlu su miktarının ise zaman içerisinde deniz seviyesinde tespit edilen artış eğilimi nedeniyle kısmen artması beklenmektedir. Bu durum boğazlardaki alt akım katmanının kalınlaşması ve zaman içinde Karadeniz'de tuzluluğun artmasını beraberinde getirecektir.

Yağış ve buharlaşma için elde edilen model sonuçlarına göre azalacağı tespit edilen net akı yüzünden Karadeniz'de meydana gelen pozitif tatlısu bütçesinin uzun dönemde bir miktar azalması, buna bağlı olarak da Karadeniz'den İstanbul Boğazı'na girişteki su seviyesi ile Ege'den Çanakkale Boğazı'na girişteki su seviyesi arasındaki kot farkının zaman içerisinde azalması beklenmektedir. Özellikle son NAO İndisi kırılmasından sonra günümüze kadar olan dönemde Karadeniz su seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimin ortaya konamaması nedeniyle, hesaplanan ortalama eğilimler üzerinden geleceğe yönelik bir projeksiyon yapmak güvenilir sonuçlar sağlamayacaktır.



INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF LONG TERM SEA-LEVEL VARIATIONS IN THE MEDITERRANEAN AND THE BLACK SEA ON THE TURKISH STRAITS SYSTEM

SUMMARY

Global warming and its effects have continued to be among the hot topics for the academics to this day. The global sea-level rise is one of the major consequences of global warming. The existence of an increasing trend in the global sea-levels has been made public by several international institutions in their reports. On the other hand, the regional sea-level variations can vary from the global trend. The Black Sea and the Mediterranean, surrounding our country, differ from each other in terms of the physico-chemical properties of their waters and their hydrological cycles. The sea-level variations in these seas, connected to each other through Turkish Straits, will eventually affect their counter currents towards one another.

Sea-level data of selected tide gauge stations in both seas were obtained within the scope of this study. The data consists of monthly mean sea-levels recorded in a time series format. The tide gauge stations were selected based on data record lengths and the completeness of the datasets. The tide gauge stations having records less than 30 years or containing too many data gaps are eliminated in the selection process. The selected stations are Alexandroupoli, Thessaloniki, Syros, Soudha, Leros and Chios in the Mediterranean (Aegean), and Burgas, Varna, Constanta, Sevastopol, Tuapse and Poti in the Black Sea. Even though the Black Sea stations cover a longer time span of records, their end dates are between 1994-1997 except Tuapse and Poti. Mediterranean stations generally cover up-to-date records, but Soudha (2011) and Chios (2015) data come relatively short.

In order to reveal the relationship of the examined sea-level time series with the hydrometeorological parameters affecting both seas, the meteorological observation data corresponding to the sea level monitoring stations and the long-term modeling results calculated spatially over the Black Sea and the Mediterranean were used together. Among the data of the mentioned hydrometeorological parameters, NOAA observation results, Global River Flow Database (RivDIS) observations, ERA5 model developed by Copernicus Climate Change Service (C3S), G-RUN ENSEMBLE model, which calculates the surface flow reaching the Black Sea and Aegean, sea surface temperature (SST) data presented by NOAA PSL, and RCP4.5 scenario outputs of IPCC AR5 datasets were evaluated.

In order to examine the average sea-level trend in detail, a base period of 20 years was selected for each one of the stations in the Aegean and the Black Sea, and the average sea-level for each month within this 20-year period was calculated. Since these 20-year averages were determined as reference, sea-level anomalies were calculated by subtracting the average sea-level values of each station from the general datasets. Deterministic trends by linear regression and Loess smoothings were calculated on these anomalies. The deterministic trend lines were drawn in a way to cover the entire

time series as well as dividing the entire span of observations into segments according to the NAO Index shifting years in the time series. All of the Aegean time series are divided into 2 segments. Black Sea time series are divided into 2 segments for the time series ending before 1993, and 3 segments for Tuapse station, covering the period from the shift in NAO Index in 1993 to the present.

Positive differences between each station's end-date and start-date sea-level records were found for Loess smoothings obtained via STL decomposition (except for Syros and Soudha stations). The inspection of seasonality components reveals that seasonal highs for the Aegean stations occur in August (only for Alexandroupoli station in November), for the Black Sea stations in June (Burgas, Varna, Sevastopol, Poti), in May (Constanta), and in July (Tuapse). Seasonal highs take place in late summer in the Aegean, whereas in early summer in the Black Sea. The seasonal lows are calculated in March for the Mediterranean (only for Leros station in April), and in October for the Black Sea (in November for Burgas and Poti stations). The third component (randomness) of the time series decompositions, do not follow any trend or demonstrate any pattern as expected.

As the result of FFT applications, a strong periodicity of 12 months is detected in all of the stations. Along with the strong 12-month periodicity, a relatively weak periodicity of 6 months was detected in all of the Black Sea stations. The periodicities in the Aegean demonstrated variability in comparison to the Black Sea stations. Besides the common 12-month strong periodicity, a relatively strong periodicity of 6 months was detected in Alexandroupoli station, weak periodicity of 6 months in Thessaloniki station, weak periodicity of 8 months in Syros station, weak periodicity of 10 months in Souda station, and weak periodicities of 9 and 10 months in Chios station were detected. The periodicities of the Black Sea stations are similar to each other probably because of the closed hydrological regime which is dominated by river runoffs. On the other hand, the varying periodicities of the Aegean can be caused by the complexity caused by the Black Sea water influx from the north and the Levantine current entering the system through the east of Crete.

When the entire Aegean sea-level time series are considered, statistically significant positive trends were calculated for all stations (except for Syros station). When the time series were analyzed by dividing into 2 segments, covering the dates before and after 1993, which is when the shift in NAO Index took place, sea level anomalies were expressed with a decreasing trend line in Alexandroupoli (-2.5 mm/year), Syros (-7.4 mm/year), and Soudha (Chania) (-4.8 mm/year) stations in the first segment. There was no statistically significant trend according to any of the M-K, C-S and S tests applied in the first segment of Thessaloniki station. Increasing trends were found in both segments only in Leros and Chios stations. Positive trend line slopes of both segments and the trend line slope covering the whole period were found to be of equal magnitude at the Leros station (1.6 ~ 1.7 mm/year). Chios station has slopes of 1.2 mm/year in the first segment and 4.5 mm/year in the second segment. As a result, increasing trends have been detected in the second segments from 1993 to the present in all of the Mediterranean stations.

In terms of the entire sea-level time series, the deterministic trends of the Black Sea sea-levels are all determined to be positive. The positive slopes of these trends range from 1.1 mm/year (Varna station) to 2.3 mm/year (Tuapse station). In the first segments covering the period between the beginning of the time series and the NAO Index shift in 1967, trend lines with positive slopes (2.9 mm/year, 3.7 mm/year and

1.4 mm/year) were detected at Burgas, Constanta and Sevastopol stations, respectively. There were no statistically significant trends in the sea-level records of these stations in the second segments covering the years 1967-1993. While Tuapse station had increasing trends in the first 2 segments (2.7 and 3.7 mm/year, respectively), there was no statistically significant trend in the third segment from 1993 to the present.

The increase in evaporation in the Black Sea caused by the increase in temperature over European continent, and the decrease in river runoff input caused by the over exploitation of freshwater resources in the northwestern shelf of the Black Sea have been demonstrated by more than one scientific study. Assuming that the Tuapse station reflects the situation in the Black Sea, an increasing trend line from 1917 to the present was determined; whereas, no significant positive or negative trend was determined in the third segment. On the other hand, in the Aegean stations, positive trends have been detected in all of the second segments which correspond to the current situation. The smallest of these increases is +1.6 mm/year (Leros), the largest is +6.6 mm/year (Soudha), and the average is +3.85 mm/year. This calculated average value approximates the global sea-level rise (+3.1 mm/year) calculated by the WCRP Global Sea Level Budget Group for the 1993-2018 range.

By examining the relations of the Black Sea and the Aegean hydrometeorological parameters with the NAO Index, statistically significant negative correlations between NAO Index and all observed parameters (precipitation, temperature, evaporation, river flow) were determined. This means that, as long as the NAO Index sign remains positive, decreasing tendencies are expected in all of the aforementioned hydrometeorological parameters. Since no trend has been determined in the positive water budget of the Black Sea, the amount of less salty Black Sea water passing through the Straits is expected not to change, and the amount of salty water coming from the Aegean is expected to increase partially due to the expected rise in-sea level over time. This will lead to thickening of the lower current layer in the straits and an increase in salinity in the Black Sea over long term.

According to the future model results obtained for precipitation and evaporation, the net flux of fresh water is forecasted to decrease in the Black Sea; therefore, the positive freshwater budget in the Black Sea is anticipated to decrease slightly in the long term. Consequently, the level difference between the water level at the entrance to the Bosphorus from the Black Sea and the water level at the entrance to the Dardanelles from the Aegean is expected to lower over time. Making a projection for the future over the calculated average trends is not expected to yield reliable results, since a statistically significant trend could not be revealed in the Black Sea water level in the third segment of sea-level time series.



1. GİRİŞ

Günümüzde atmosfere salınan sera gazları nedeniyle meydana gelen küresel ısınma olayı ve beraberinde getirdiği atmosferik ve iklimsel değişimler yeryüzünün en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Küresel ısınma ve etkileri akademik disiplinlerin bir çoğu için en popüler araştırma konularının temelini oluşturmaya devam etmektedir. Küresel ısınma etkisiyle meydana gelen değişimlerin en önemlilerinden biri de küresel ölçekte deniz seviyelerindeki yükselmedir. World Climate Research Programme (WCRP) Global Sea Level Budget Group (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya göre 1993 yılından yayının yapıldığı 2018 tarihine kadar küresel deniz seviyesindeki yükselme yılda 3,1 mm ($\pm 0,3$ mm) büyüklüğüne ulaşmıştır. Ancak bu yükselme bölgesel açıdan bakıldığında tüm denizlerde aynı büyüklükte değildir.

Yerel deniz seviyeleri gelgit istasyonları vasıtasıyla ülkeler tarafından izlenmektedir. Bu istasyonlar karada bulunan sabit kotlara referanslandıkları için deniz yüzeyindeki yükselme ve alçalmalar kadar, karada çeşitli nedenlerle (deprem, toprak kayması, kumul hareketleri, vb) meydana gelmesi olası düşey hareketlerden de etkilenebilirler.

Ülkemizi çevreleyen Akdeniz ve Karadeniz deniz sularının fiziko-kimyasal özellikleri bakımından birbirinden çok farklı karaktere sahip olmaları ve birbirleri ile Boğazlar sistemi aracılığıyla karşılıklı akımlar halinde denge durumunda bulunmaları, tüm sistemin deniz seviyesini de etkileyen hidrodinamik yapısının belirleyici unsurlarındandır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı Karadeniz ve Akdeniz su seviye değişimlerinin küresel ısınma ve iklim değişikliği nedeniyle göstereceği salınımların etkisinde, Boğazlar sisteminin olası davranışının yorumlanmasıdır. Sistemin tuzluluk ve yoğunluk değişimleri üzerine bir tanımlama yapılmayacaktır.

Bu kapsamda her iki denizdeki su seviyesi değişimlerinin küresel ısınmaya bağlı olarak meydana gelen belirgin eğilimlere sahip olup olmadığı araştırılacaktır. Yerel

deniz seviyesi izleme istasyonlarına ait uzun yıllar aylık ortalama verileri işlenerek, eğilimin haricinde ayrıca periyodik hareketlerin var olup olmadığı da araştırılacaktır. Deniz seviyelerindeki değişimlerin hem yerel hem de bölgesel ölçekte hidrometeorolojik parametreler ile ilişkilendirilmesi yapılacaktır.

Deniz seviyelerinde pozitif ya da negatif yönde ortaya çıkabilecek eğilimlerin ayrıca farklı zaman aralıklarında nasıl değişim gösterdiğinin de ortaya konması hedeflenmektedir.

1.2 Tezin Özgün Değerleri

Bu tez çalışmasının özgün değerleri; a) yerel deniz seviyelerinin küresel ölçekteki pozitif eğilimle ne kadar benzerlik gösterdiğinin, b) ortaya çıkarılması beklenen deterministik eğilimlere göre gelecekte meydana gelebilecek deniz seviyesi durumlarının boğazlarda meydana gelen karşılıklı akımları nasıl etkileyebileceğinin tartışılmasıdır.

1.3 Tezin Kısıtlamaları

Tezin kısıtlamaları deniz suyunun yoğunluğunda ortaya çıkan değişimlerdir (sterik etki). Deniz seviyesi izleme istasyonlarında elde edilen seviye kayıtlarının sterik etki nedeniyle meydana gelen seviye hareketlerini de içerdiği kabul edilmiştir. Tez kapsamında tuzluluk değişimlerinin deniz seviyesi üzerindeki etkisi ayrıca irdelenmemiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışması kapsamında bazı istatistik kavramlarının Türkçe karşılıklarının yazımında, Uluslararası İstatistik Enstitüsü (ISI) tarafından hazırlanmış olan özel terimler sözlüğünden faydalanılmıştır (ISI, 2011). Aşağıda, öncelikle Akdeniz ve Karadeniz'in karakteristik su bütçesi özelliklerine ait incelemenin ardından çalışmada kullanılacak olan istatistik yöntemlere ait arkaplan açıklamalarına yer verilmiştir.

2.1 Akdeniz ve Karadeniz'in Karakteristik Su Bütçesi

Su bütçeleri açısından ele alındığında, hacmin korunumu prensibine göre (Talley ve diğ., 2011); haliç benzeri kapalı bir coğrafi oluşum üzerinden örnekleme yapılacak olursa, bu kapalı hacim içerisine giren ve çıkan akımların denge halinde bulunması gereklidir. İncelenen kapalı hacimdeki yer değiştiren su miktarı (V), suyun yüzey alanı (A), yağış (P), giren nehir akımları (R), deniz yüzeyinden meydana gelen buharlaşma (E) ile ifade edilecek olursa;

$$\underbrace{V_i + R + AP}_{\text{giren hacim}} = \underbrace{V_o + AE}_{\text{çıkan hacim}} \quad (2.1)$$

Denklemden alt indis olarak gösterilen i ve o sırasıyla giren ve çıkan taşınımları ifade etmektedir. Kapalı hacimdeki taşınım ifadesi olan V 'nin birimi sabit hacim olarak değil, debiye benzer şekilde birim zamanda yer değiştiren hacim olarak m^3/s cinsinden ifade edilmiştir.

Denklem 2.1, küçük bir düzenleme ile aşağıdaki şekli alır:

$$\underbrace{V_o - V_i}_{\text{tuzlu su hacmindeki değişim}} = \underbrace{(R + AP) - AE}_{\text{tatlısu hacmindeki değişim}} \equiv F \quad (2.2)$$

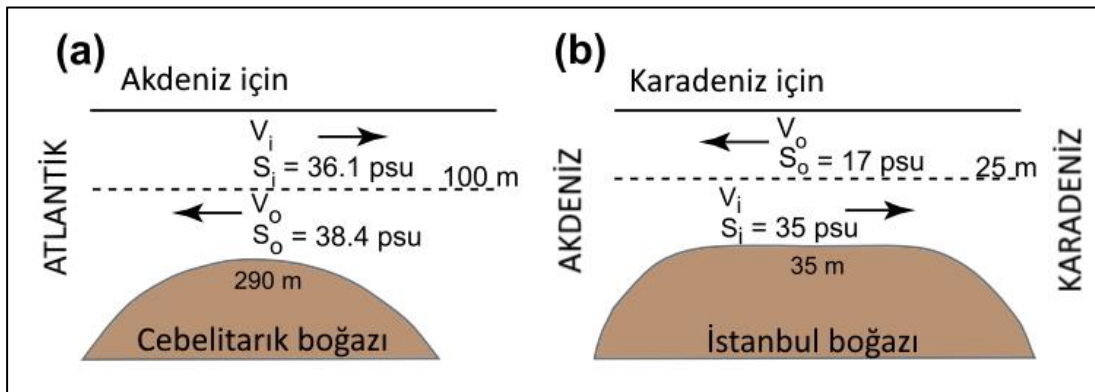
Bu yeni denklemdeki F , tatlısu bütçesini ifade eder. Denklem 2.1'de eşitliğin sol tarafı halicin içerisine giren hacim taşınımını, sağ tarafı ise haliçten çıkan hacim taşınımını gösterir. Denklem 2.2 ise uygun bir zaman periyodunda ortalama olarak tuzlu su

hacminde meydana gelen net değişimin, tatlisu hacminde meydana gelen net değişimle denge halinde olacağını ifade etmektedir.

Yukarıda verilen her 2 ifadenin de prensip olarak deniz suyunun yoğunluğunu da içermesi ve aslında hacim korunumu yerine kütle korunumu prensibi olarak ortaya çıkmış olması beklenebilirdi. Buna rağmen prensibi ortaya koyan araştırmacılar olan Talley ve diğ. (2011), bu dinamik içerisinde meydana gelen yoğunluk değişimlerinin ihmal edilebilir aralıkta olduğunu belirtmişlerdir.

Aivazyan ve Bulgakov'a (1992) göre, İstanbul boğazında yoğunluk gradyanı nedeniyle neredeyse daima 2 katmanlı bir alt ve üst akım takalaşması bulunmakta olup, bu tabakalaşma boğazın her 2 tarafındaki deniz seviyeleri farkı da dahil olmak üzere dünyadaki benzer sistemlere göre çok daha belirgin durumdadır. Boğazın 2 ucu arasındaki uzun dönem ortalama deniz seviyesi farkları 0,3-0,4 m arasındadır (Alpar ve Yüce, 1998; Ünlüata ve diğ., 1990). Alpar ve Yüce'ye (1998) göre Karadeniz'den boğaza giren net akımın arttığı dönemlerde (Şubat ve Temmuz ayları arası) deniz seviyeleri arasındaki fark ortalama 40 cm'nin üzerine çıkmakta, sonbahar ve kış aylarında ise azalmaktadır (23 ± 3 cm). Karadeniz'den gelen üst katmanın tuzluluk değeri 17-20 psu, Akdeniz'den gelen alt katmanın tuzluluk değeri ise 35-39 psu civarındadır (Gerdes, 2002; Aksu ve diğ., 1999).

Akdeniz ve Karadeniz'deki karşılıklı akımların şematik gösterimi Talley, ve diğ.'den (2011) aktarılarak Şekil 2.1'de sunulmuştur.



Şekil 2.1 : Giren ve çıkan akımların şematik gösterimi: (a) Akdeniz (negatif su bütçesi; net buharlaşma), (b) Karadeniz (pozitif su bütçesi; net nehir akımı/yağış).

Şekil 2.1'de görülen denklemlerde S_i ve S_o sırasıyla ele alınan kapalı hacimler içerisinde giren ve hacimden çıkan tuzluluğu ifade etmektedir. Birçok araştırmacı tarafından çeşitli yayınlarda Türk boğazları ve Cebelitarık sistemlerinde sırasıyla Karadeniz için

net nehir akımı/yağış nedeniyle pozitif su bütçesi (Talley ve diğ., 2011; Oğuz ve diğ., 2004; Stanev ve Peneva, 2002; Murray, 1991; Stanev, 1990), Akdeniz için ise net buharlaşmanın neticesinde negatif su bütçesi (Malanotte-Rizzoli ve Pan-Med Group, 2012; Criado-Aldeanueva ve diğ., 2008; Mariotti ve diğ., 2002; Robinson ve diğ., 2001) meydana geldiği ortaya konmuştur.

Deniz seviyesi değişimlerine etki eden faktörler 2 ana grupta toplanabilir: a) okyanuslarda su sütunundaki sıcaklık ve tuzluluk değişimleri nedeniyle meydana gelen sterik etki, b) su bütçesinde pozitif ya da negatif net tatlısu değişimleri (Vigo ve diğ., 2005). Bu çalışma kapsamında, yerel ölçekte deniz seviyesi istasyonlarındaki değişim, gelgit ölçüm istasyonlarına ait veriler üzerinden incelenmiş, sterik etkiye ilişkin bilgilerin bu kayıtlar tarafından yansıtıldığı kabul edilmiştir.

İstanbul boğazından geçen akımı domine eden fiziksel faktörler son derece değişken olan meteorolojik faktörler (rüzgar ve atmosfer basıncı gibi) ile değişimi uzun yıllara yayılı olarak ifade edilebilen Karadeniz su bütçesine bağlıdır (Gerdes, 2002). Bu tez çalışması kapsamında deniz seviyesi istasyonlarındaki uzun dönem eğilimlerin Karadeniz su bütçesi ve netice olarak da boğaz akımları ile ilişkilendirilmesi bu nedenle tercih edilmiştir.

Akdeniz ve Karadeniz su bütçeleri içerisindeki nehir akımı girdisi Ludwig ve diğ.'nin (2009) farklı kaynaklardan derledikleri verilere göre her 2 deniz için sırasıyla 400-450 km³/yıl ve 350-400 km³/yıl arasında değişmektedir. Karadeniz neredeyse kapalı bir marjinal deniz olması ve büyük ölçüde nehir akımı tarafından domine edilen pozitif su bütçesine sahip olması nedeniyle özel bir duruma sahiptir. Kıdeyş (2002) Karadeniz su bütçesindeki tatlısu girdisinin neredeyse %85'lik kısmının (yaklaşık 340 km³/yıl) kuzeybatı şelfine deşarj olan 3 nehir; Tuna, Dinyeper ve Dinyester tarafından sağlandığını belirtmiştir. Aubrey, ve diğ. (1996) ise bu 3 nehrin toplam nehir akımı girdisi içindeki payını %80, tek başına Tuna nehrinin %80'lik pay içerisindeki katkısını ise %75 olarak hesaplayarak Tuna nehrinin tüm sistem içerisindeki önemini ortaya koymuşlardır.

Oğuz ve diğ.'nin (2004) Özsoy ve Ünlüata'dan (1997) aktararak verdikleri Karadeniz su bütçesi bileşenlerine (*P*, *R* ve *E*) ait değerler, denklem 2.2'nin sağ tarafında sırasıyla yerlerine konduğunda;

$$(350 + 300) - 350$$

tatlısu fazlalığı olan F değeri $300 \text{ km}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmaktadır. Araştırmacılar bu değerin İstanbul boğazından çıkan net akıma eşit olduğunu belirtmiştir.

Karadeniz su bütçesine ilişkin araştırmalar 1920'lerin sonlarına kadar dayanmakta olup geçmiş dönemlerde farklı araştırmacılar tarafından ortaya konmuş sonuçlara ait bir derleme tablosu Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1 : Karadeniz su bütçesini meydana getiren ana unsurlar.

	Möller (1928)*	Bruevich (1960)*	Alekin (1966)*		Möller (1928)*	Bruevich (1960)*	Alekin (1966)*
Nehir akımı	328	350	399				
Yağış	231	225	119	Buharlaşma	354	350	364
İstanbul boğazı (giren akım)	193	175	176	İstanbul boğazı (çıkan akım)	398	400	340
Toplam	752	750	694	Toplam	752	750	704

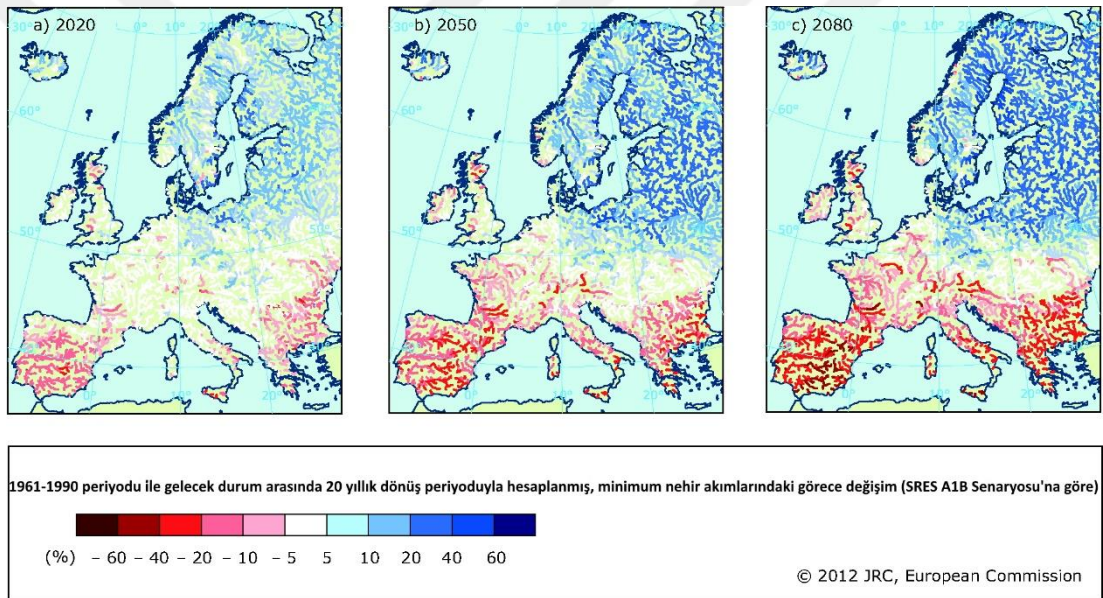
*Tolmazin'den (1985) alınmıştır. Birimler $\text{km}^3/\text{yıl}$ olarak verilmiştir.

Talley ve diğ. (2011) son birkaç onyıllık süreç içerisinde tarımsal sulama amacıyla yapılan derivasyonlar nedeniyle Karadeniz'e nehir akımıyla ulaşan tatlısu girdisinde %15 kadar bir azalma meydana geldiğini öne sürmüştür. Daha önceki dönemlerde Tolmazin (1985) ve Aubrey ve diğ. (1996) tarafından yapılan farklı çalışmalarda da Karadeniz'in kuzeybatı şelfinde uygulanan tarımsal büyüme politikalarından kaynaklanan sulamaya bağlı debi azalmalarına değinilmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi geçmişte alınmış politik kararlardan kaynaklanan antropojenik etkiyi ortaya koyan çalışmaların yanı sıra, küresel ölçekte nehir akımlarının gelecekteki durumu üzerine yapılmış olan modelleme çalışmaları da bulunmaktadır. Arnell'in (2003) Devletlerarası İklim Değişimi Paneli'nin (IPCC) Emisyon Senaryoları Özel Raporu (SRES) temelinde yaptığı çalışmada, küresel ölçekte nehir akımları üzerinde gelecekte meydana gelmesi olası değişimlere ait tahminler yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre Tuna nehri havzasını da kapsayan doğu Avrupa'da debiler 2020, 2050 ve 2080 yılları için ele alınan tüm senaryolarda azalma eğilimi göstermiştir.

Doğu Avrupa nehir havzalarında gelecekte azalan debiler öngören farklı küresel ve bölgesel ölçekli çalışmalara rastlanmıştır (Arnell, 1999; Smith ve Lazo, 2001; Milly ve diğ., 2005; Alcamo ve diğ., 2007). Arnell'in (1999) hesaplarına göre, Tuna nehri

havzasında 1961-1990 arasındaki miktarlara göre kıyaslanan 2050 yılı yağış miktarındaki potansiyel değişim $\pm\%5$ aralığında, 2050 yılı buharlaşma miktarındaki potansiyel değişim $+\%15$ ile $+\%25$ aralığında, 2050 yılı nehir akımı miktarındaki potansiyel değişim ise $-\%20$ ortalamaya sahip olarak $-\%25$ ile $-\%5$ aralığında ortaya çıkmıştır. Smith ve Lazo'nun (2001) çalışmasına göre Tuna nehrini de kapsayan Romanya, modellenen tüm senaryolara göre yıllık ortalama nehir akımlarının azalması beklenen iki ülkeden biridir. Milly, ve diğ.'nin (2005) çalışmasına göre Tuna nehri, akımlarının 2050 yılına kadar $\%10$ - $\%30$ arasında azalması beklenen nehirler grubunda bulunmaktadır. Avrupa Çevre Ajansı (EEA) ise 2012 yılında SRES A1B senaryosunu baz alarak yaptığı çalışmada Tuna nehrinin de içinde bulunduğu model sonuçlarında 2050 yılı için $\pm\%10$ arasında değişen akımlar ortaya koymuştur (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : SRES A1B Senaryosu'na göre Avrupa kıtası minimum nehir akımlarında meydana gelmesi beklenen görece değişim (20 yıllık dönüş periyoduyla hesaplanmış).

Mariotti ve diğ.'ne (2002) göre Akdeniz'deki negatif su bütçesinin uzun dönem ortalaması Cebelitarık boğazından giren akıma eşit olarak kabul edilebilir. Akdeniz su bütçesi için, denklem 2.2'nin sağ tarafında verilen tatlısu bütçesi bileşenleri arasından buharlaşmanın (E) diğer bileşenler içerisinde en büyük değeri (bazı dönemlerde yağışın (P) iki katından fazla) aldığı aynı araştırmacılarca belirtilmiştir. Adı geçen araştırmacılar son olarak, Akdeniz için farklı verisetleri kullanarak yaptıkları analizler sonucunda 1948-1998 arasındaki 50 yıllık periyotta su bütçesindeki negatif farkın $\%9$ oranında arttığını ortaya koymuşlardır. Zaman içerisinde büyüyen bu negatif farkın

deniz seviyesinde meydana gelen alçalmaların sebeplerinden biri olduğu düşünülmektedir.

Vigo ve diğ. (2005) yaptıkları eğilim analizi çalışmasında 1999 yılı öncesi ve sonrasında Akdeniz ve Karadeniz deniz seviyelerinde farklı deterministik eğilimler tespit etmişlerdir ve 1999 yılının bir kırılma noktası olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlara göre bu değişimler sterik etkinin önemini arka plana itmekte ve daha çok termohalin sirkülasyonundan kaynaklanan 10-yıllık salınımların etkisi ön plana çıkmaktadır.

Tsimplis ve diğ. (2011), küresel pozitif eğilimin aksine 1945-2002 dönemi için sterik deniz seviyesini ve 1958-2001 dönemi için atmosferik zorlama modelini birleştirerek, Akdeniz'de negatif eğilimler hesaplamıştır. Sonuçlar sterik deniz seviyesi için Doğu Akdeniz Havzasında -0.9 mm/yıl ile 0 mm/yıl; atmosferik zorlama modeli için ise -0,62 mm/yıl ile -0,70 mm/yıl arasında bulunmuştur. Aynı çalışma, yayın tarihinden önceki yüzyılda gözlenen deniz seviyesi yükselme oranını 1,2 mm/yıl olarak bildirmekte, bu da eğilim hesaplamasının zaman aralığının önemini göstermektedir. Cazenave ve diğ.'nin. (2002) çalışması, Ege Denizi'nde 1993-1998 dönemi için uydu altimetresine dayalı yaklaşık 12,9 mm/yıl eğilimini hesaplayarak kapsam altındaki zaman aralığının önemini kanıtlamaktadır. Ayrıca son 20 yılın gel-git istasyonu verilerine dayanarak aynı çalışmada yaklaşık 0,62 mm/yıllık bir eğilim ortaya konmuştur. Fenoglio-Marc ve diğ.. (2012) 90'lı yıllarda gözlenen hızlı deniz seviyesi yükselme periyodunun, deniz seviyesinin hem sterik hem de kütle bileşenlerinden kaynaklandığını ve sonraki on yılda sterik deniz seviyesinin azalması nedeniyle artış hızını kaybettiğini açıklamıştır. Criado-Aldeanueva, ve diğ. (2008), Akdeniz'deki toplam deniz seviyesi eğiliminin %55'ini sterik, geri kalanını kütle kaynaklı bileşen olarak açıklamaktadır.

Akdeniz'in geneli ile Karadeniz ve Ege denizini kapsayacak şekilde hesaplanmış deniz seviyeleri, listesi Çizelge 2.2'de sunulan farklı zamansal ölçeklerde yapılmış birçok çalışmada araştırılmıştır.

Çizelge 2.2 : Akdeniz, Ege ve Karadeniz deniz seviyelerinde eğilime dair yapılmış bazı çalışmalar.

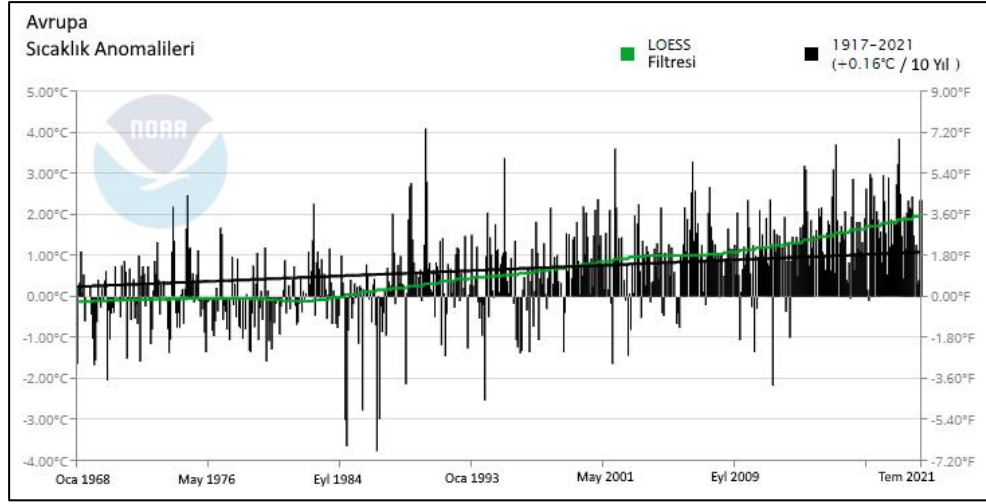
Araştırmacılar	Coğrafi Kapsam	Yöntem	Zaman aralığı	Eğilim (mm/yıl)
Flemming ve Woodworth (1988)	Sakız	Gelgit istasyonu verilerinin lineer regresyonu	1969-1983	4,2
	Sire			-11,2
	İleryoz			-0,9
	Suda			-5,5
Vigo, ve diğ. (2005)	Ege Denizi	Uydu altimetresi	1993-1999	1,6
			1999-2003	-0,6
Kubryakov ve Stanichnyi (2013)	Odessa	Gelgit istasyonu verilerinin lineer regresyonu	1993-2005	-4,2
	Sivastopol			8,3
	Yalta			9,5
	Feodosiya			1,5
Criado-Aldeanueva, ve diğ. (2008)	Akdeniz	Uydu altimetresi	1992-2005	2,1
Fenoglio-Marc, ve diğ. (2012)	Akdeniz	Sayısal modellerle birlikte uydu altimetresi	1993-2002	3,9
			2002-2008	0,8*
			1993-2008	2,0

*eğilim istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Vigo ve diğ.'nin (2005), -0,6 mm/yıl olarak hesaplanan 4 yıllık eğilimi haricinde 1990'lara ait tüm eğilimlerin pozitif yönde olduğu görülmektedir. Bunların haricinde, Galassi & Spada'nın (2014) çalışması, Akdeniz'de 1990-2000 aralığındaki duruma görece 2040-2050'ye kadar gelecekteki deniz seviyesi durumunu hesaplamıştır. Ege Denizi için sonuçları, minimum 14 cm ile maksimum 27,5 cm arasında bir artış öngörmektedir.

Karadeniz'de ise Kubryakov ve Stanichnyi (2013) 1993-2005 yılları arasında ortalama olarak 7,6 mm/yıl büyüklüğünde deniz seviyesinde yükselme eğilimi belirlemiştir. Bu geçmişte yapılan eğilim çalışmalarına nazaran yüksek görünen bu artışın nedenini ise 10 yıl periyotlu, düşük frekanslı deniz seviyesi hareketlerine bağlamışlardır.

Deniz seviyesi değişiminin sıcaklığa bağlı olması yadsınamaz bir durumdur çünkü deniz seviyesi yükselmesine neden olan en önemli 2 etken denizlerin termal genişmesi ve karasal buzulların erimesidir (Foster ve Brown, 2014). Küresel iklim değişikliğine yol açan en önemli olgu olan küresel ısınmayı ele almak adına, Avrupa kıtasında 1968 tarihinden günümüze kadar meydana gelmiş olan sıcaklık anomalisi grafiği Şekil 2.3'te paylaşılmıştır (NOAA, 2021).



Şekil 2.3 : Avrupa kıtası 1968-2021 yılları arası sıcaklık anomalileri.

Grafikte verilen anomaliler, 1910-2000 yılları arasındaki ortalama değerler baz alınarak hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde 1917-2021 yılları arasında hesaplanan lineer deterministik eğilim her 10 yıllık periyotta $+0,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık artışına işaret etmektedir. Deterministik eğilime bakıldığında Avrupa sıcaklıklarında 1968 yılından günümüze kadar yaklaşık $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, Loess düzleştirmesine bakıldığında ise yaklaşık $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık artışı tespit edilmektedir.

Küresel ısınma etkisi altında denizlerde absorbe edilen ısı konusunda Vargas-Yanez, ve diğ. (2010) Akdeniz'in ilk 200 m'lik katmanında meydana gelen uzun dönem sıcaklık değişimlerinin yüzey suyu sıcaklıkları ve denizde absorbe edilen ısı büyüklüğü ile korelasyon halinde olduğunu ortaya koymuştur.

Fiziksel oşinografisi bakımından ele alındığında, Ege denizindeki en önemli su kütleleri, basenin içerisine Çanakkale Boğazı'ndan giren nispeten az tuzlu ve daha soğuk Karadeniz suyu ile Girit Arkı'ndan güney Ege'ye giren çok daha tuzlu ve sıcak Lavant menşeli sudur (Skirris ve diğ., 2011). Lascaratos, ve diğ.'ne (1999) göre 1989 yılından itibaren meydana gelen önemli bir iklimsel dönüşüm nedeniyle Ege'den Doğu Akdeniz'e doğru sıradışı miktarlarda derin su akımı girişi başlamıştır. Bu durum sonrasında Ege denizi, Doğu Akdeniz derin su oluşumunun ana kaynağı haline gelmiştir (Skirris ve diğ., 2011; Lascaratos, ve diğ. 1999). Bazı araştırmacılar Doğu Akdeniz Taşınımı (EMT) denilen bu olayın 2 fazda meydana geldiğini öne sürmüştür:

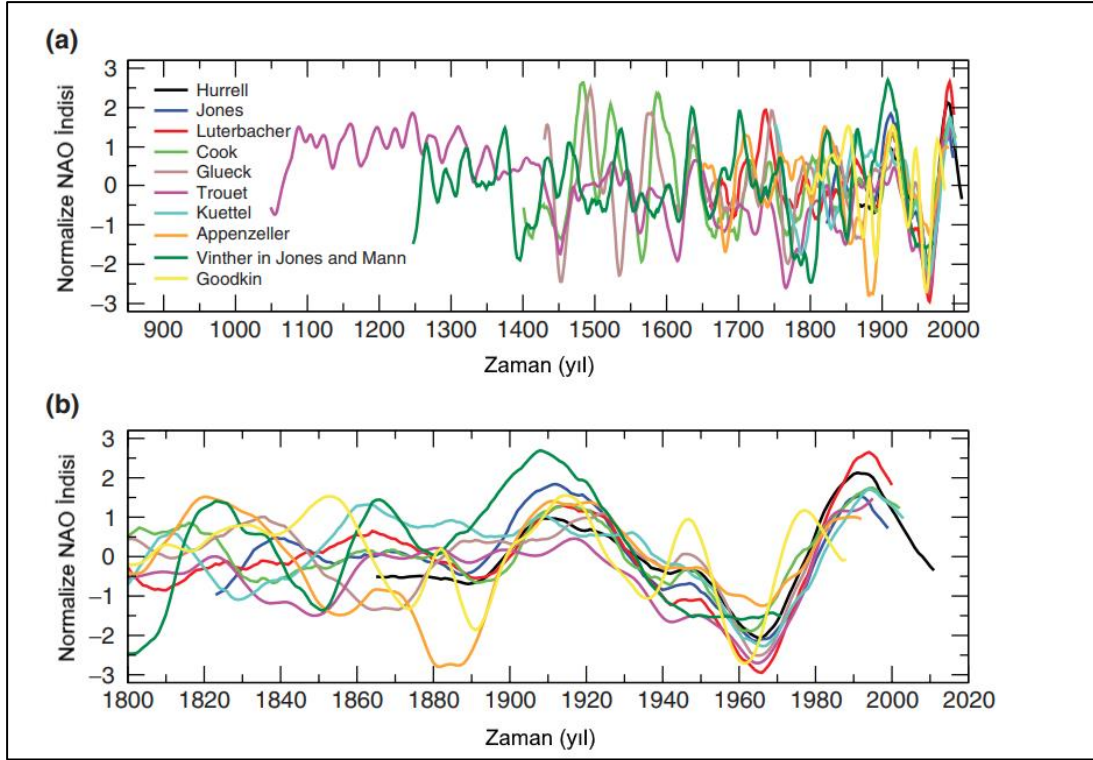
1) Ege denizinin tuzluluğunun 1987 – 1991 periyodunda önemli ölçüde artması (bunun Lavant menşeli Akdeniz yüzey suyu ile sağlandığını Sayın, ve diğ. (2018) belirtmiştir),

2) aşırı soğuk geçen 1992 ve 1993 kışlarının yüzey suyu sıcaklıklarını çok hızlı derecede düşürmesi (Theocharis ve diğ., 1999; Lascaratos ve diğ., 1999).

EMT'nin oluşumuna büyük olasılıkla katkı sağlamış olan bu soğuma periyodunun ardından 90'ların başından itibaren takip eden yıllarda ise bir uzun dönem yüzey suyu ısınma süreci gerçekleşmiştir (Skliris ve diğ., 2011; Belkin, 2009; Nykjaer, 2009; Criado-Aldanueva ve diğ., 2008). Belkin'e (2009) göre bahsi geçen yüzey suyu sıcaklıklarındaki artışın nedeni küresel ısınmadır. Buna rağmen, 1960 ile 1990 yılları arasında gözlemlenen Akdeniz'deki soğumanın nedeni Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) İndisi'ndeki güçlü pozitif fazların küresel ısınma sinyalini baskılaması olarak açıklanmıştır (Skliris ve diğ., 2011; Tsimplis ve Baker, 2000). NAO İndisi ve hava sıcaklıkları arasındaki negatif korelasyon Demircan, ve diğ. (2018) tarafından da ortaya konmuştur. Mariotti, ve diğ. (2002) de 1970 ile 1990'lar arasında meydana gelen Akdeniz su bütçesindeki azalmanın negatif NAO İndisi'nden pozitif NAO İndisi'ne geçiş olduğunu belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar bu yaklaşık 20 yıllık süreç içerisinde artan NAO İndisi'ne karşılık kış yağışlarının 300 mm/yıl oranında azaldığını ve bu miktarın su bütçesindeki kayba denk olduğunu ortaya koymuşlardır.

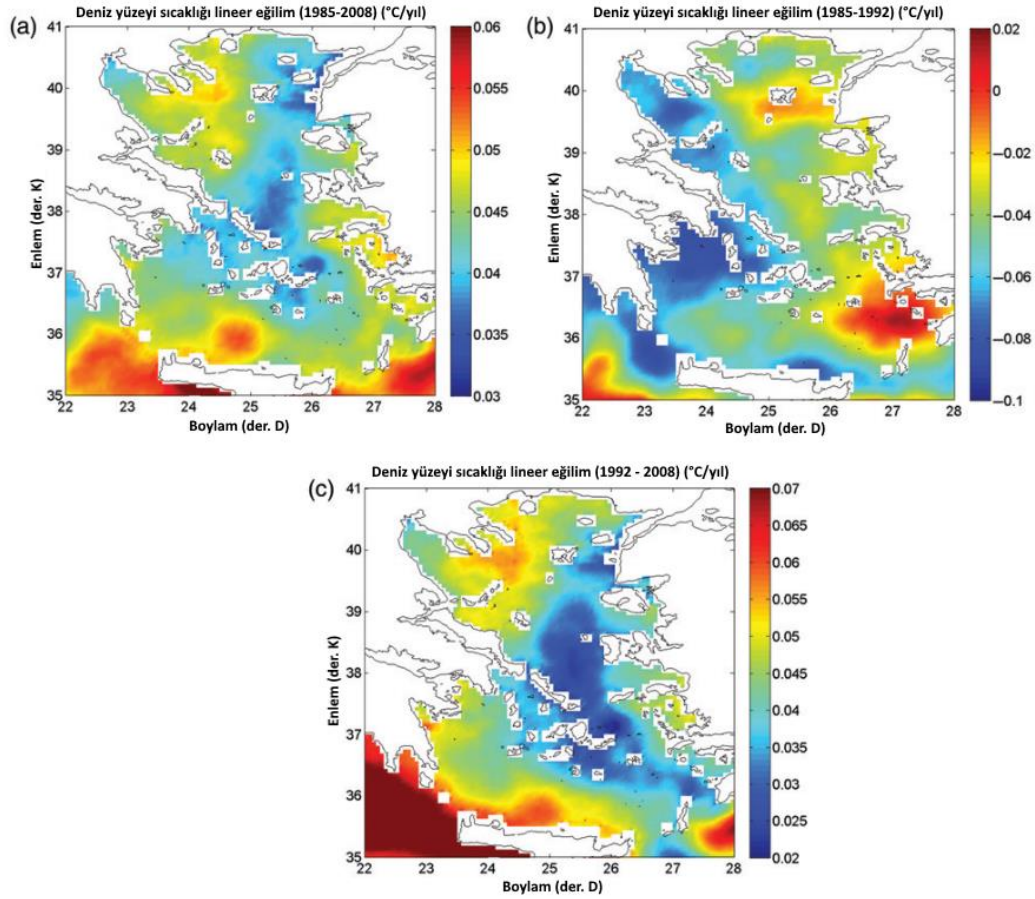
NAO İndisi'nin ortaya çıkışını ve Akdeniz basenindeki yüzey sıcaklığı, yağış gibi meteorolojik olaylar üzerindeki etkisini tartışan Pinto ve Raible (2012), indise ait eğilim grafiğinde 1960'ların başında meydana gelen minimum ile 1990'ların başında meydana gelen maksimumu 2 önemli dönüm noktası olarak görmektedir (Şekil 2.4). 10 yıl ve daha uzun süreler için ifade edilen bu alçak frekans değişimlerin Avrupa ve Akdeniz meteorolojik olayları için önemi farklı birçok yayında da irdelenmiştir (Overland ve Wang, 2005; Marshall ve diğ., 2001; Wanner ve diğ., 2001).

Hurrell'in (1995) yaptığı çalışmada, NAO İndisi ile Güney Akdeniz'deki meteorolojik parametreler arasındaki ters orantı üzerinde durulmuş, İstanbul'a ait 64 yıllık yağış verileri kullanılarak NAO İndisi'nin +1'den büyük olduğu zamanlar ile -1'den küçük olduğu zamanlarda meydana gelen yağış miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,01$) kuvvetli bir negatif korelasyon (-0,7) tespit edilmiştir.



Şekil 2.4 : (a) Farklı araştırmacılar tarafından hesaplanan NAO İndisi değişimleri (31 yıllık hareketli ortalamaya göre düzeltilmiş) (b) Bu değişimlerin 1800 yılından günümüze kadar görünümü.

Skliris, ve diğ. (2011) ele aldıkları 1985-2008 periyodunu hem bütün olarak hem de soğumanın gerçekleştiği 1985-1992 aralığı ile ısınmanın gerçekleştiği 1992-2008 aralığını ayrı ayrı incelemiştir. Sundukları sıcaklık dağılımları haritasında bu 3 farklı dönem için hesaplanan yüzey suyu sıcaklığı değişimlerinin Ege denizinin her yerinde homojen olarak meydana gelmediği görülmektedir (Şekil 2.5). Kiklad Adaları bölgesi sıcaklık artışının izlendiği (a) ve (c) grafikleri için oldukça düşük eğilim göstermekte, soğumanın işaret edildiği 1985-1992 periyodunda ise Girit ve Batı Ege kıyıları ile birlikte en fazla soğuyan bölgeler arasında bulunmaktadır. Genel duruma bakıldığında sıcaklık artışı eğilimi grafiklerinde Çanakkale Boğazı'ndan gelen Karadeniz soğuk suyunun etkisi de görülmektedir. Skliris, ve diğ. (2011) 1985-2008 periyoduna ait boğaz çıkışı çevresindeki artış eğiliminin tüm Ege baseni için hesaplanan eğilimin yaklaşık yarısı ($0,026 \text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$) olduğunu ortaya koymuşlardır. Grafiklerden görüleceği gibi Lavant sıcak suyunun giriş yaptığı Güney Ege bölgesi ise çok daha hızlı biçimde ısınmaktadır.



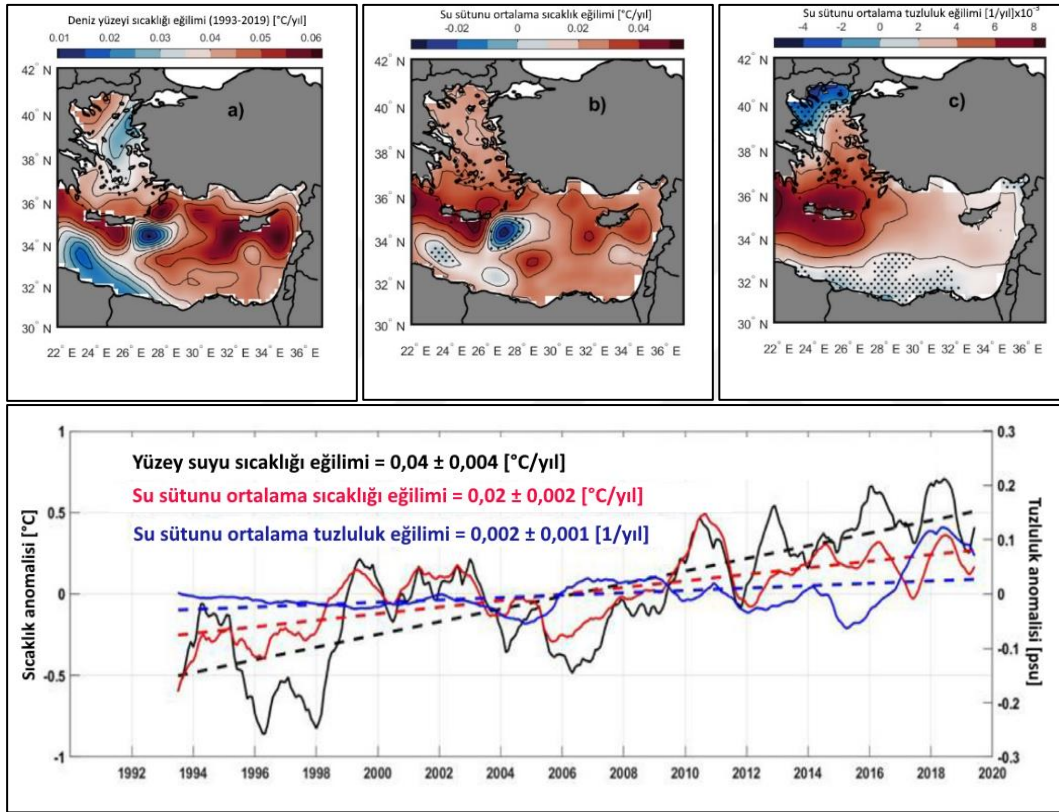
Şekil 2.5 : Uydu görüntülerinden elde edilen Ege denizi sıcaklık değişimlerine ait yıllık lineer eğilimler ($^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$): (a) 1985 -2008, (b) 1985-1992, (c) 1992-2008.

Ege denizinde hızlı biçimde cereyan eden bu yüzey suyu sıcaklık artışının halen devam etmekte olduğu uydu verileriyle gerçekleştirilen bazı çalışmalarda ortaya konmuştur (Kuleli ve Bayazıt, 2020; Sakallı, 2017). Bu çalışmalarda Sakallı (2017), tüm Akdeniz genelinde incelediği 30 yıllık periyot (1986-2015) için her 10 yıllık dilimde $0,4^{\circ}\text{C}$ artış eğilimi tespit etmiştir. Bir önceki 10 yıllık döneme (1985-2006) kadar olan çalışmada, Nykjaer (2009) bu artış eğilimini Doğu Akdeniz’de $0,5^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplamıştır. Kuleli ve Bayazıt’ın (2020) Ege denizinin bir bölümünü ve yalnızca yaz mevsimini kapsayan çalışmasında ise 1989-2019 yılları arasında artan bir eğilimle $+3,19\pm 1,26^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değişimi tespit edilmiştir.

Karadeniz’de 1982-2000 yıl aralığındaki deniz suyu yüzey sıcaklığı değişimi araştırmasında Ginzburg, ve diğ. (2004), Ege denizinde rastlanılandan da büyük sıcaklık artışı eğilimleri tespit etmişlerdir. Bu sıcaklık değişimlerinin deniz seviyelerindeki değişimlerle büyük ölçüde aynı doğrultuda olması termosterik etki açısından beklenebilir bir durumdur.

Küresel ölçekte sterik deniz seviyesi değişimlerinin büyük ölçüde termosterik etki tarafından yönetildiği söylenebilir (Galassi ve Spada, 2014; Antonov ve diğ., 2002). Ancak bölgesel ölçekte, Akdeniz örneğinde olduğu gibi tuzluluğa bağlı olan halosterik ve sıcaklığa bağlı olan termosterik etkiler karşılaştırılabilir boyutta olabilirler (Tsimplis ve Rixen, 2002).

Yaptıkları araştırmada Mohamed ve Skliris (2021) Ege'yi de kapsayacak şekilde tüm Doğu Akdeniz'de 1993-2019 yılları arasında meydana gelen yüzey suyu sıcaklığı ve tuzluluk değişimlerini incelemişlerdir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : (a) DYS eğilimi (1993-2019), (b) su sütunu ortalama sıcaklık eğilimi, (c) su sütunu ortalama tuzluluk eğilimi.

Grafik incelendiğinde hem sıcaklık hem de tuzluluk bakımından genel bir artış eğiliminin bulunduğu, ancak lokal olarak incelendiğinde Kuzey Ege'de tuzluluk azalırken Güney Ege'de artmakta olduğu görülmektedir.

2.2 Deniz Seviyesi Veri Setlerinde Eğilim

Visser ve diğ.'ne (2015) göre deniz seviyesi zaman serisinde eğilim bileşeni düşük frekanslı bir sinyal olmasından ötürü iklimi temsil eden bir sinyal olarak görülmektedir.

Eğilim ve mevsimselliğin dışında üçüncü bileşen olan rastgelelik bileşeni ise daha çok deniz suyu sıcaklığı, tuzluluk, rüzgar, atmosferik basınç, akıntılar gibi oşinografik durumlardan kaynaklanan değişimi temsil etmektedir.

Eğilim bileşeni zaman serilerinin 3 bileşeni içerisinde ekstrapolasyonla geleceğe dönük tahminler yapmaya en uygun bileşen olarak iş planlama, finansal pazar analizleri, ekonometri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Armstrong, 2001).

Chandler ve Scott (2011), yaptıkları eğilim analizi araştırmalarına binaen yayımladıkları kitapta bu analiz için kullanılan 5 farklı metottan bahsetmektedir. Bu metotlar Visser ve diğ. (2015) tarafından yapılan incelemede aşağıdaki şekilde özetlenmektedir:

Bir deniz seviyesi gözlemine ait veri seti y_t (mm) ile, veri setindeki eğilim bileşeni ise μ_t ile gösterilecek olsun. Bu durumda eğilim eğrisinin ilk türevi mm/y cinsinden;

$$\Delta\mu_t \equiv [\mu_t - \mu_{t-1}] \quad (2.3)$$

olarak gösterilir. İvmeler ise eğilimin ikinci türevi olarak mm/y² cinsinden aşağıdaki gibi gösterilir;

$$\Delta^2\mu_t \equiv [\mu_t - \mu_{t-1}] - [\mu_{t-1} - \mu_{t-2}] = [\mu_t - 2\mu_{t-1} + \mu_{t-2}] \quad (2.4)$$

1. Keşfedici veri analizi. Bu kategorideki eğilimler genellikle basit filtreler veya düzleştirilmiş zaman serilerinden ibarettir (hareketli ortalamalar ve benzeri doğrusal filtreler). Desenlerin gözle yapılan analizi ve uzman görüşü de keşfedici veri analizi kategorisine girmektedir.
2. Parametrik eğilim tahmini. Parametrik modeller eğilimlerin şekli ve muhtemel dış değişkenlerle olan ilişkileri konusunda isabetli tanımlamalar yapmaya yarar. Çoklu regresyon grubu modellerin arasında sayılabilecek olan doğrusal eğilimler ve ikinci dereceden polinom (parabolik) eğrileri parametrik eğilim

tahminlerine örnek olarak gösterilebilir. Bunların ilkinde (doğrusal eğilim) ivme sıfır;

$$[\mu_t - 2\mu_{t-1} + \mu_{t-2}] = 0 \quad (2.5)$$

ikincisinde (parabolik) ise sabit olarak;

$$[\mu_t - 2\mu_{t-1} + \mu_{t-2}] = c \quad (2.6)$$

ele alınır.

3. Parametresiz eğilim tahmini. Bu gruptaki eğilim modelleri parametrik modellerde var olan ön tanımlı fonksiyonel bağıntılara sahip değildir. Eğilimin şekilleri veri tarafından belirlenir. Bu gruptaki modellere örnek olarak yiv (eğri cetveli) düzleştirilmesi (spline smoothing), Loess düzleştirilmesi gösterilebilir.
4. Stokastik eğilim modelleri. Stokastik eğilimler, davranış biçimleri zaman serisindeki gürültü proseslerince şekillendiği var sayılan eğilimlerdir. Örnek olarak ARIMA modelleri ve Yapısal Zaman Serisi Modelleri (YZM) gösterilebilir. YZM'lere örnek olarak ise tümleşik rassal yürüyüş (integrated random walk) modelleri;

$$[\mu_t - 2\mu_{t-1} + \mu_{t-2}] = \eta_t \quad (2.7)$$

gösterilebilir. Denklemdaki η_t beyaz gürültü prosesini simgelemektedir.

5. Diğer modeller. Yapay Sinir Ağları (YSA) veya Tekil Spektrum Analizleri (TSA) gibi yukarıda sayılanların dışında kalan modellerdir.

Bu 5 grup eğilim değerlendirme metodu içerisinde en uygun olanı hangisidir sorusunun cevabı ise duruma göre değişkenlik gösterir. Literatürde uygun modelleme yöntemini belirlemek için metotlar mevcut olsa da modellemenin doğası gereği mutlak doğru durum söz konusu olmamaktadır.

Literatürde bulunan araştırmaların çoğunda, deniz seviyeleri sabit olmayan eğime sahip regresyon modelleriyle ifade edilmektedir. Sabit olmayan eğimin nedeni ivmenin ortaya konabilmesi içindir. Bu modeller genellikle düşük dereceli polinom zaman fonksiyonlarıdır. İkinci derece polinom modelleri ise oldukça yaygındır. Çünkü ivmenin varlığına izin verirken aynı zamanda sabit kalmasını sağlayarak incelemeyi basitleştirir (Foster ve Brown, 2014).

Bugüne kadar yapılmış olan birçok çalışmada deniz seviyesinde meydana gelen artış araştırma konusu edilmiştir (Woodworth, 1990; Douglas 1992; Holgate ve Woodworth, 2004; Church ve White, 2006; Jevrejeva ve diğ. 2006; Marcos ve Tsimplis, 2007; Church ve diğ., 2008; Dangendorf ve diğ., 2015; Piecuch ve diğ., 2019; Orlic ve diğ., 2019; Meli ve diğ., 2021; Gehrels ve Garrett, 2021). IPCC 5. değerlendirme raporunda da geçtiğimiz 2 yüzyıl içerisinde deniz seviyesi artışının görsel olarak kesin olduğu belirtilmiştir (IPCC, 2014; Foster ve Brown, 2014). IPCC'nin raporunda 2100 yılına kadar meydana gelmesi beklenen küresel deniz seviyesindeki ortalama artışın sınırları 0.28 - 0.98 m olarak belirlenmiştir. Buradaki alt sınır 20. yy'da meydana gelmiş olan artışa ait lineer regresyonun devamından elde edilen sonuç; 0,98 m'lik üst sınır ise pozitif ivme sonucunda varılması muhtemel bir sonuç olarak hesaplanmıştır (Haigh ve diğ. 2014).

Calafat ve Chambers (2013) dünyanın çeşitli noktalarında bulunan gel-git ölçüm istasyonu verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada 9 istasyonda istatistiksel olarak anlamlı, artan eğilim tespit etmişlerdir. Foster ve Brown'a (2014) göre, 21. yy'da deniz seviyesi yükselmesinin pozitif ivmeli olarak meydana gelmesi beklenen bir durumdur. Bunu beklenen küresel sıcaklık artışlarına ve geçmişte meydana gelmiş olan hareketlerin ampirik modellerle yeniden üretilerek doğrulanmış olmasına dayandırmaktadırlar.

Ancak küresel ölçekte gözlemlenen bu deniz seviyesi artışı hidrolik özellikleri açısından lagün (Akdeniz) ya da haliç (Karadeniz) benzeri özellikler taşıyan denizlerde farklı sonuçlar ortaya koyabilir. Nitekim, Akdeniz'de Tsimplis ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada hem sterik hem de atmosferik zorlama üzerinden model şeklinde yapılan hesaplama sonuçlarına göre tüm Akdeniz'de negatif eğilimlerin varlığı ortaya konmuştur. Bu çalışmada Ege denizini de kapsayan Doğu Akdeniz baseninde 20 yıllık veri segmentleri sonucunda sterik seviye için -0,15 mm/yıl ile +1 mm/yıl arasında, atmosferik zorlama modeli ile hesaplanan seviyeler için ise -0,19 mm/yıl ile -1,0 mm/yıl arasında değişen eğilimler hesaplanmıştır.

2.3 Deniz Seviyesi Zaman Serilerinin Bileşenleri

Zaman serileri 3 bileşene ayrılır: eğilim (uzun dönem yönelimi), mevsimsellik ya da periyodiklik (sistemik ve takvime bağlı değişimler; bunlar senelik, aylık, haftalık, günlük gibi devamlı aynı periyotta tekrar eden değişimlerdir), ve rastgelelik bileşeni (sistemik olmayan, kısa süreli salınımlar). Periyodiklik uyarlaması denilen işlem zaman serisi içerisindeki sistemik ve takvime bağlı değişimlerin varsa tespit edilip bunların zaman serisinden ayıklanması işlemidir. Deniz seviyesi izleme verilerindeki periyodiklik ayıklanmalıdır çünkü bu hareketler zaman serisinin altında yatan gerçek hareketleri ve periyodikliğe bağlı olmayan ilginç hareketleri gözden kaçırmaya neden olabilir. Bir deniz seviyesi zaman serisinde periyodikliği etkileyen faktörler meteorolojik koşullara bağlı olarak her yılın aynı dönemlerinde su seviyesini benzer biçimde etkileyen sıcaklık değişimleri, yağışlar gibi faktörlere bağlı olabilir. Rastgelelik bileşeni bir zaman serisindeki eğilim ve periyodiklik bileşenleri ayıklandıktan sonra geriye kalan salınımlardır. Bunlar sistemik olmayan ve öngörülmesi mümkün olmayan hareketlerdir.

Zaman serisi hem periyodiklik hem de rastgelelikten arındırıldığında eğilim bileşeni elde edilir. Bu bileşen uzun dönem içerisinde su seviyesi hareketinin rastgele ve periyodik hareketler olmaksızın gerçekte yükselme ya da alçalma eğilimini ortaya koyar.

Zaman serilerini bileşenlerine ayırmak için genellikle toplamsal ya da çarpımsal model kullanılır. Zaman serisinde çok küçük ya da çok fazla sıfır (0) değeri mevcut olduğu durumlarda ise sözde-toplamsal model kullanılır.

Bu çalışmada kullanılan deniz seviyesi değerleri bu tarife uymadığı için sözde-toplamsal modelin denenmesi yersizdir. Burada kullanılacak olan model ya toplamsal ya da çarpımsal olacaktır. Doğru modelin seçilmesi için öncelikle orijinal zaman serisi grafiği incelenerek her iki model de denenmeli ve hangisinin daha tutarlı bir periyodik bileşen ortaya çıkardığına bakılarak karar verilmelidir.

Eğer zaman serisindeki periyodiklik bileşeni eğilimdeki değişimlere bakılmaksızın görece bir sabitlik gösteriyorsa toplamsal model uygundur. Eğer eğilimdeki değişimlere göre periyodiklik bileşeni de değişim gösteriyorsa bu durumda çarpımsal modelin seçilmesi gerekir.

2.3.1 Toplamsal ayrıştırma modeli

Periyodik ve rastgele bileşenlerin eğilimdeki değişimlere bağlı olarak herhangi bir değişim göstermediği zaman serilerinde uygulanır. Bu tip modellerde izlenen orijinal zaman serisinin (O_t) birbirinden bağımsız 3 bileşenin toplamından oluştuğu kabul edilir: Periyodiklik (M_t), eğilim (E_t) ve rastgelelik (R_t).

Yani;

$$O_t = E_t + M_t + R_t \quad (2.8)$$

Periyodik olarak uyarlanmış, yani periyodiklikten arındırılmış zaman serisi takvime bağlı periyodik etkilerin tahmin edilip bu seriden arındırılmasıyla elde edilir. Tahmin edilen periyodiklik bileşenini (\widehat{M}_t) olarak ifade edersek, periyodik olarak uyarlanmış zaman serisi (MU_t);

$$MU_t = O_t - \widehat{M}_t \quad (2.9)$$

$$= E_t + R_t \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir.

2.3.2 Çarpımsal ayrıştırma modeli

Bazı zaman serilerinde periyodiklik ve rastgelelik bileşenlerindeki değişimler eğilimdeki değişimin oranı yükseldikçe artış gösterebilir. Bu gibi durumlarda çarpımsal model kullanılması uygundur. Çarpımsal modelde orijinal zaman serisi eğilim, periyodiklik ve rastgelelik bileşenlerinin çarpımı olarak ifade edilir;

$$O_t = E_t \times M_t \times R_t \quad (2.11)$$

Bu durumda periyodik olarak uyarlanmış zaman serisi;

$$MU_t = O_t \div \widehat{M}_t \quad (2.12)$$

$$= E_t \times R_t \quad (2.13)$$

şeklini alır.

2.3.3 Loess'e dayalı mevsimsel eğilim (STL) ayrıştırması ile zaman serilerinin bileşenlerine ayrılması

Zaman serilerinin bileşenlerine ayrıştırılmasında eğilim eğrisini Loess düzleştiricisi kullanarak hesaplayan bu yöntem Cleveland, ve diğ. (1990) tarafından geliştirilmiştir ve günümüzde halen yaygın biçimde kullanılmaktadır. Kısaca STL ayrıştırması denilen bu yöntem, başlık 2.3.1'de açıklanmış olan toplamsal ayrıştırma modelinde (denklem 2.8) bulunan eğilim (E_t) bileşenini Loess düzleştiricisi kullanarak hesaplamaktadır.

İstatistiksel arkaplanı Cleveland, ve diğ.'nin (1990) makalesinde detaylı olarak açıklanmış olan STL yöntemine esas teşkil eden Loess düzleştiricisi kısaca aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır:

x_i ve y_i 'nin $i = 1$ 'den n 'e kadar sayıda gözlemin sırasıyla bağımsız ve bağımlı değişkenleri olduğunu var sayalım. Loess regresyon eğrisi olan $\hat{g}(x)$, bağımsız değişken olan x 'in sadece x_i için değil, dağılım genişliği içinde bulunan her x noktasında hesaplanmasıyla elde edilebilen y değeri düzleştirmesidir. $\hat{g}(x)$ aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

Öncelikle pozitif bir sayı (q) seçilir. Şimdilik $q \leq n$ olduğunu var sayalım. x 'e en yakın olan x_i 'nin q değerleri seçilerek her bir q 'ya x 'e göre olan uzaklıklarına göre birer *komşuluk ağırlığı* değeri atanır. $\lambda_q(x)$, x 'e q 'ncü en uzak x_i 'nin mesafesi olsun.

W , triküp ağırlık fonksiyonu olsun.

$$W(u) = \begin{cases} (1 - u^3)^3, & 0 \leq u < 1 \text{ için} \\ 0, & u \geq 1 \text{ için} \end{cases} \quad (2.14)$$

Bu durumda herhangi bir x_i için komşuluk ağırlığı;

$$v_i(x) = W\left(\frac{|x_i - x|}{\lambda_q(x)}\right) \quad (2.15)$$

olur. Böylece x 'e daha yakın olan x_i 'ler daha büyük ağırlıklara sahip olur; x_i , x 'ten uzaklaştıkça ağırlığı azalır ve q 'ncü en uzak noktada ağırlık sıfır olur.

Bundan sonraki adımda (x_i, y_i) 'deki ağırlığı $v_i(x)$ olan veri setine derecesi d olan bir polinom eğrisi uydurulur. Uydurulan polinom eğrisinin x noktasındaki değeri $\hat{g}(x)$ 'tir.

d 'nin değeri 1 olduğunda doğrusal, 2 olduğunda ise ikinci dereceden bir fonksiyon uydurulmuş olur.

şimdi $q > n$ durumunun olduğunu var sayalım. Bu durumda $\lambda_n(x)$, x 'ten en uzakta bulunan x_i 'ye kadar olan mesafeyi ifade eder. Yani $q > n$ durumu için $\lambda_q(x)$ aşağıdaki biçimde ifade edilebilir;

$$\lambda_q(x) = \lambda_n(x) \frac{q}{n} \quad (2.16)$$

Bu değer komşuluk ağırlığı ifadesinde (denklem 2.15) uygulanarak süreç devam ettirilir.

Loess kullanılırken d ve q değerlerinin seçilmesi gereklidir. q değeri arttıa $\hat{g}(x)$ eğrisi daha düzgün hale gelir. Eldeki verinin deseni hafif bir eğri ile ifade edilebiliyorsa d değerini 1'e eşit, eğer birçok pik ve dip noktası bulunuyorsa ise 2'ye eşit almak yerinde olacaktır.

2.4 Fourier Dönüşümü ile Periyodiklik Tespiti

Bir zaman serisinde periyodik bileşenin var olup olmadığı, söz konusu zaman serisi üzerinde Fourier Dönüşümü uygulanarak tespit edilebilir. Periyodiklik bileşenini zaman serilerinde sinüzoidal sinyaller olarak görülmektedir. Bu sürekli tekrar eden bileşenin tespit edilerek seriden çıkarılması hem eğilim sinyalinin hem de zaman serisinin rastgele bileşeninin daha net biçimde görülebilmesini sağlayacaktır (Bloomfield, 1976). zet olarak, bir Fourier dönüşümü karmaşık bir Fourier serisinin frekans bileşenlerine dayalı genelleştirilmiş bir fonksiyon haline getirilmesidir. Sadece matematikte değil, optik ve sinyal işleme başta olmak üzere bilim ve mühendisliğin birçok alanında kullanılmaktadır.

Spektrum, bir zaman serisindeki salınımların *olası büyüklüğünü* frekansın bir fonksiyonu olarak ölçmeye yarar. Böylece bilinmeyen periyodiklikleri aramaktansa zaman serisinde bilinmekte olan görece büyüklükleri her bir frekans için irdelemeye olanak tanır (Bloomfield, 1976).

Bu tez çalışması kapsamında R istatistik dili (R Core Team, 2021) kullanılarak Karadeniz ve Akdeniz'de bulunan tüm deniz seviyesi izleme istasyonlarına ait zaman serilerinde periyodiklik testi yapılmıştır. Daha net bir ifadeyle, çalışma için R istatistik

dilinin TSA kütüphanesinde (Cryer & Chan, 2008) bulunan periodogram fonksiyonu kullanılmıştır.

2.5 Zaman Serilerindeki Eksik Verilerin Kalman Filtresi ile Tamamlanması

Kalman filtresinin zaman serilerinde eksik verilerin tamamlanması için uygulamaları farklı kaynaklarda mevcuttur. Bu çalışma kapsamında Kleeman (1996) ve Levy (2016) çalışmaları kaynak olarak kullanılmıştır.

Kalman filtresi uygulaması temel olarak bir büyüklüğün *daha önceki değerlerine dayalı olarak tanımlanmasından* yola çıkar. Yani bir önceki değer, başlangıç değeri gibi bilinen referans değerlere göre şimdiki durumu formüle etmeyi temel alır. x , y ve z 'nin değişkenleri; a ve b 'nin sabitleri; k 'nin ise zaman adımını simgelediğini kabul edecek olursak;

$$x_k = ax_{k-1} \quad (2.17)$$

$$z_k = x_k + v_k \quad (2.18)$$

formüllerine göre x sistemimizin şu andaki durumunu, x_{k-1} bir önceki durumunu, a bir sabiti, z_k sisteme ait şu anki gözlem değerini, v_k ise şu andaki rastgele hatayı (noise) temsil etmektedir. Amacımız gözlemleri (z) kullanarak aradaki durum değerlerini (x) hesaplamak olduğu için denklem 2.18'i şu şekilde yeniden yazabiliriz;

$$x_k = z_k - v_k \quad (2.19)$$

Burada tabii ki rastgeleliğe dayalı, tahmin edilmesi imkansız olan anlık hata değerini (v_k) bilmiyor olmamız bir problem gibi görünmektedir. Ancak Kalman bu problemi öngörmüş ve sistemin herhangi bir andaki durumunu o andaki gözlem değeri ve bir önceki duruma ait değere dayalı olarak tahmin edecek bir ifade yazmıştır. Bu ifadede \hat{x}_k şimdiki durumun tahmini değerini temsil etmektedir. İşte bu tahmini değer bir önceki duruma ait tahmini değer ile şu anki gözlemlenen değere dayalı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + g_k(z_k - \hat{x}_{k-1}) \quad (2.20)$$

Bu eşitlikte şu anda gözlemlenen değer (z_k) ile bir önceki duruma ait tahmini değer (\hat{x}_{k-1}) arasında bir alış verişi olduğu var sayılır ve g değeri bu alış verişin 0 ile 1

arasında değer alan *kazanım* terimi olarak adlandırılmıştır. g 'nin alabileceği iki uç değerden 0 yukarıdaki formülde yerine yazıldığında ifade;

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} \quad (2.21)$$

halini almaktadır. Yani gözlemlenen değer etkisi sıfır olmakta ve eşitliğimizde şu anki durum bir önceki durumla eşit olmaktadır.

g 'nin alabileceği en büyük değer olan 1'i eşitlikte yerine yazdığımızda ise ifade;

$$\hat{x}_k = z_k \quad (2.22)$$

halini almaktadır. Yani kazanım terimi (g) 1'e eşit olduğunda bir önceki duruma ait değer önemi ortadan kalkar ve şu anki duruma ait tahmini değer şu anki gözlemlenen değere eşit hale gelir.

Kalman filtresinin çözümü için gereken bu kazanım terimini (g) hesaplamak mümkündür. Ancak bu hesaplama dolaylı olarak, rastgelelik içeren hata terimi kullanılarak yapılır. Her bir gözleme ait bir de rastgele hata değerinin mevcut olduğundan daha önce bahsetmiş ve bunu bir eşitlikle ifade etmiştik (denklem 2.18). Her bir gözlem için bağımsız rastgele hata değerini bilmemizin imkanı yoktur. Ancak ortalama hatayı bildiğimizi var sayabiliriz. Örnek olarak satın aldığımız ölçüm cihazı ölçüm esnasında meydana gelen hata değerini teknik özellikler içerisinde bir ortalama yaklaşık değer olarak verir. Bu değer r ile ifade edilecek olsun. r değeri tamamen sensörün teknik özelliğidir ve zamana bağlı değildir. Böylece g ifadesi r cinsinden aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$g_k = p_{k-1} \div (p_{k-1} + r) \quad (2.23)$$

burada p_k geriye dönük olarak hesaplanan bir tahmin hatası olarak tanımlanır.

$$p_k = (1 - g_k)p_{k-1} \quad (2.24)$$

Denklem 1.12 bizim orijinal durum eşitliğimiz, denklem 2.20 ise tahmin edilen durum eşitliğimiz olarak adlandırılır. Orijinal durum eşitliği (denklem 2.17), a sabitini kullanarak durumun nasıl olması gerektiğine dair bir tahmin üretirken denklem 2.20

bu tahmine yönelik gözleme dayalı bir güncelleme getirmektedir. Orijinal durum denkleminizi bir tahmin ifade edecek şekilde yeniden yazalım;

$$\hat{x}_k = a\hat{x}_{k-1} \quad (2.25)$$

şimdi de a sabitini tahmin hatasını ifade eden eşitliğe dahil edelim;

$$p_k = ap_{k-1}a \quad (2.26)$$

Yukarıda yazdığımız denklem 2.25 ve 2.26'da bulunan eşitlikler Kalman filtresinin tahmin aşamasını oluşturmaktadır.

Sonuç olarak Kalman filtresi aşağıdaki şekilde uygulanır;

Tahmin et

$$\hat{x}_k = a\hat{x}_{k-1}$$

$$p_k = ap_{k-1}a$$

Güncelle

$$g_k = p_k \div g_k(p_k + r)$$

$$\hat{x}_k \leftarrow \hat{x}_k + g_k(z_k - \hat{x}_k)$$

$$p_k \leftarrow (1 - g_k)p_k$$

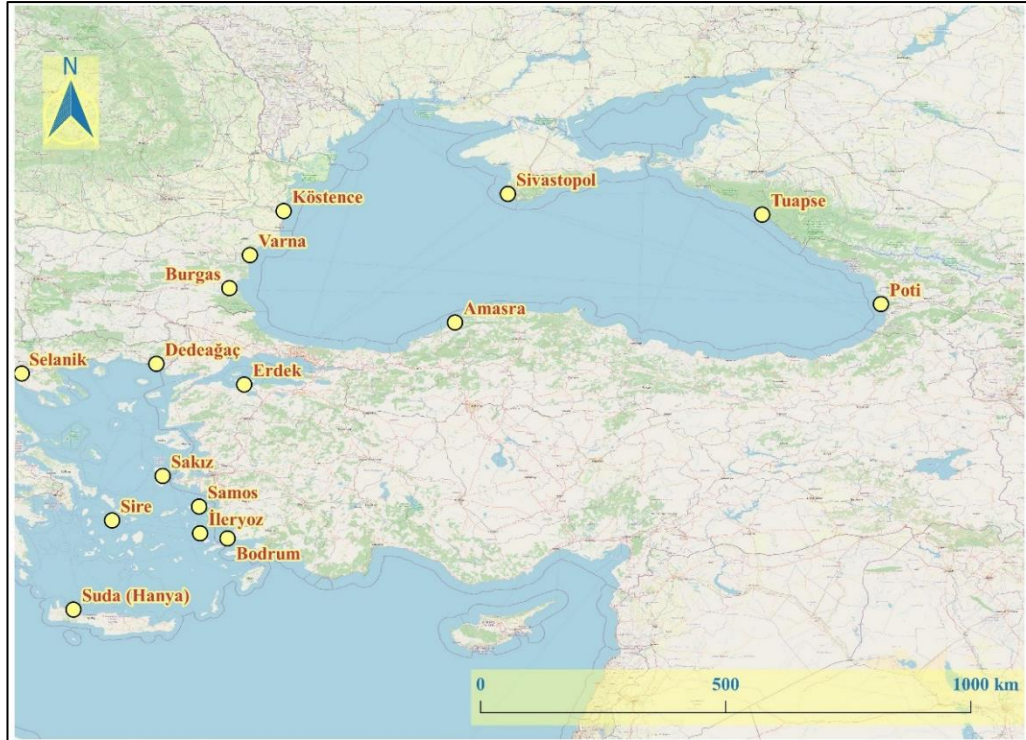
Yukarıdaki son 2 denklemde standart eşittir işareti yerine kullanılan ok simgesi \hat{x}_k ve p_k 'ye gelen güncellemelerin onların aldıkları değerleri değiştirdiğini, yani bir tahmin işlemindeki gibi onlara bir önceki adıma dayalı bir değer atamadığını ifade etmek için kullanılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında Kalman Filtresi uygulaması R İstatistik Dili ve Ortamında Moritz ve Bartz-Beielstein (2017) tarafından geliştirilen imputeTS kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. DENİZ SEVİYESİ ZAMAN SERİSİ ANALİZLERİ

Bu tez çalışmasında kullanılmış olan veriler Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL, 2021) web sunucusu üzerinden indirilmiş olan gel-git ölçüm istasyonları verileridir. PSMSL hizmeti ve kapsamı ile ilgili açıklamalar Woodworth ve Player (2003) tarafından yayımlanmıştır.

PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level) veri tabanında yer alan Karadeniz ve Ege'deki ulusal ve uluslararası veri izleme istasyonlarına ait deniz seviyesi verileri kapsamlı bir biçimde incelenmiştir. PSMSL 1933 yılında kurulmuş küresel bir veri ağıdır. Deniz seviyesi ölçüm verilerini ülkelerin ilgili kurumlarından toplayan, yayımlayan, analizini yapan ve yorumlayan bir hizmet sistemi olarak tanımlanabilir. Merkezi İngiltere'nin Liverpool kentindedir. Bu ağdan elde edilerek incelenen istasyonların konumları Şekil 3.1'de ve bunlara ait deniz seviyesi veri setlerinin zaman aralıkları Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Çalışma kapsamında incelenen deniz seviyesi istasyonlarına ait konumlar.

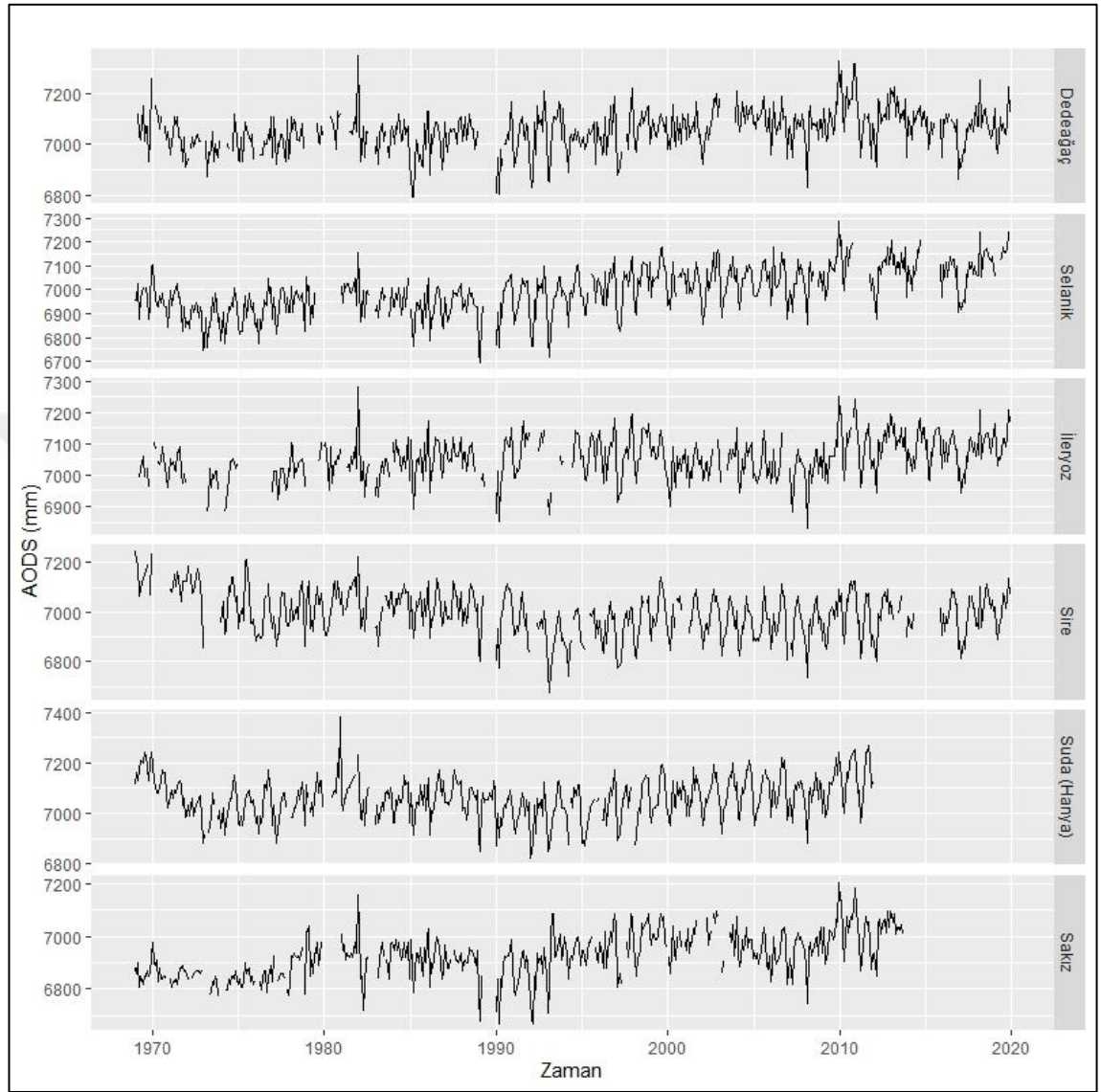
Çizelge 3.1’de listelenen deniz seviyesi izleme istasyonlarına ait veriler, R istatistik yazılımı kullanılarak eğilim analizine tabi tutulmuştur. Her bir istasyona ait veri seti öncelikle aylık ortalamalardan oluşan zaman serilerine dönüştürülmüştür. Bu zaman serilerinde eksik okuma, teçhizat arızası vb nedenlerle meydana gelmiş olan boşluklar Kalman filtresi kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu işlemin ardından her bir istasyona ait zaman serisi eğilimden arındırılarak (detrend) periyodiklik tespiti için Fourier transformasyonuna tabi tutulmuştur. Zaman serilerine ait tüm bileşenler (eğilim, mevsimsellik ve rastgelelik) ayrıştırılmış, takip eden 4. Bölüm’de ise deterministik yaklaşım ve Loess yöntemleri kullanılarak deniz seviyesi grafiklerine uygun eğri modelleri geçirilmiştir.

Çizelge 3.1 : İncelenen deniz seviye izleme istasyonlarının konumları ve veri bütünlükleri.

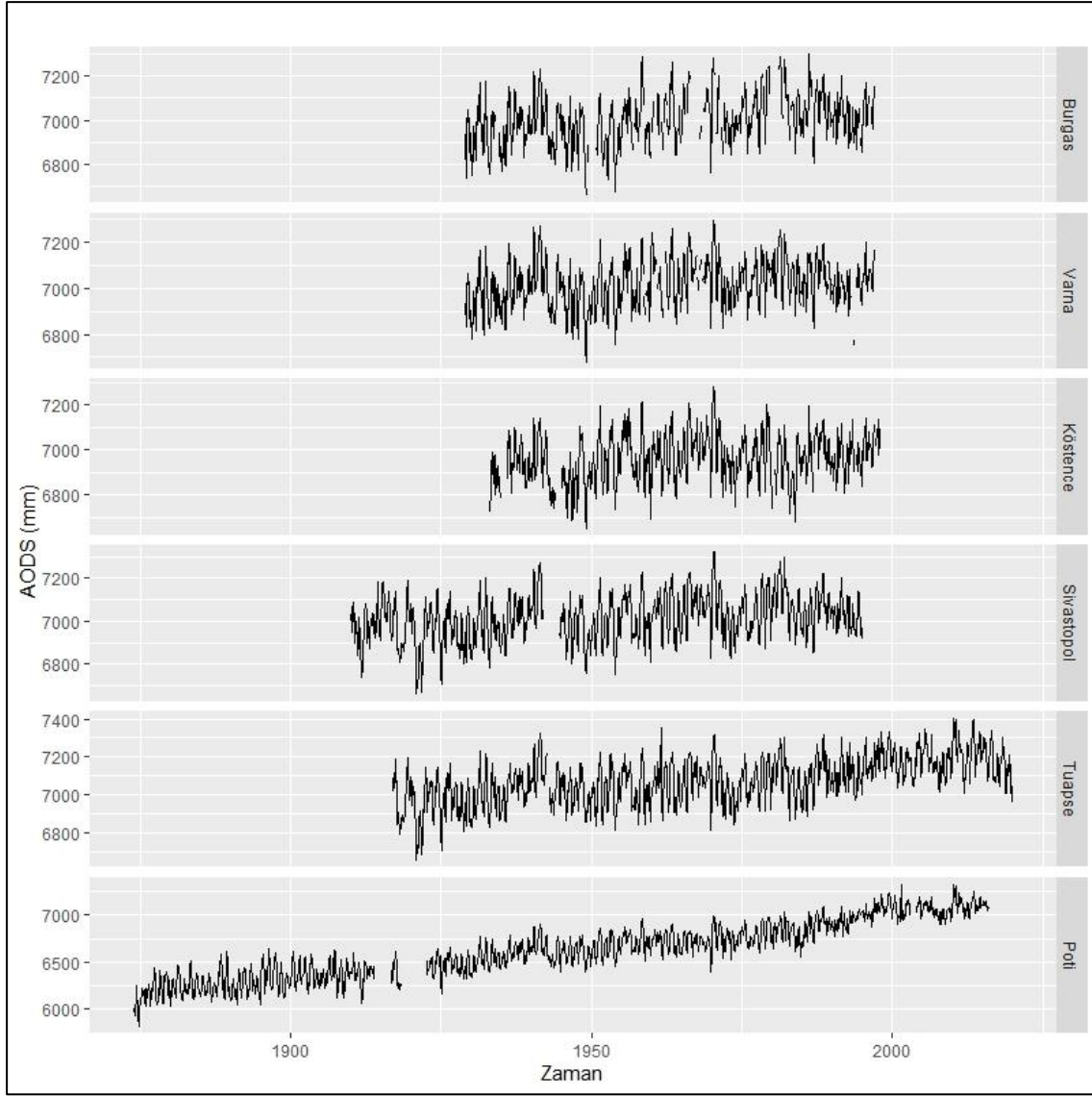
İstasyon	Enlem	Boylam	Ülke	Veri aralığı (yıl)	Veri bütünlüğü (%)
Dedeğaç	40.844139	25.878272	YUNANİSTAN	1969 – 2019	89
Amasra	41.749216	32.391282	TÜRKİYE	2001 – 2009	90
Tuapse	44.100000	39.066667	RUSYA	1917 – 2019	87
Burgas	42.483333	27.483333	BULGARİSTAN	1929 – 1996	86
Poti	42.157285	41.655596	GÜRCİSTAN	1874 – 2015	94
Varna	43.183333	27.916667	BULGARİSTAN	1929 – 1996	95
Köstence	44.166667	28.666667	ROMANYA	1933 – 1997	95
Selanik	40.632542	22.934933	YUNANİSTAN	1969 – 2019	89
Sakız	38.371514	26.141189	YUNANİSTAN	1969 – 2015	85
İleryoz (Leros)	37.129675	26.847994	YUNANİSTAN	1969 – 2019	83
Bodrum	37.033333	27.416667	TÜRKİYE	1985 – 2009	80
Sisam (Samos)	37.755156	26.976458	YUNANİSTAN	2005 – 2013	69
Sire (Siros)	37.439969	24.945808	YUNANİSTAN	1969 – 2019	86
Souda (Hanya)	35.487453	24.082481	YUNANİSTAN	1969 – 2012	96
Erdek	40.39388	27.791352	TÜRKİYE	1984 – 2009	82
Sivastopol	44.616667	33.533333	UKRAYNA	1910 – 1994	97

Veri aralıkları açısından incelendiğinde Karadeniz istasyonlarının kayıt başlangıç tarihlerinin Akdeniz’e nazaran çok daha erken yıllarda başladığı görülmektedir. Akdeniz istasyonlarında en erken kayıt başlangıç yılı 1969 iken Karadeniz’de 1874 (Poti), 1910 (Sivastopol), 1917 (Tuapse) kadar erken başlangıç yılları bulunmaktadır. Bitiş tarihleri için ise bu durumun aksine Akdeniz istasyonlarında 2019 yılı sonunu kapsayan 4 istasyon mevcut iken Karadeniz’de yalnız 1 istasyon bulunmaktadır. Ülkemiz kıyılarında bulunan Amasra, Menteş ve Erdek istasyonlarının kapsadıkları veri aralıklarının 30 yıldan kısa olması nedeniyle değerlendirme dışı tutulmasına karar verilmiştir. Yunanistan’a ait Sisam istasyonu da aynı nedenle değerlendirmeye

alınmamıştır. Değerlendirmeye alınan istasyonlara ait ham verilerin zaman serisi grafikleri Akdeniz (Ege) ve Karadeniz için sırasıyla Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.2 : Ege istasyonları deniz seviyesi zaman serileri.



Şekil 3.3 : Karadeniz istasyonları deniz seviyesi zaman serileri.

Zaman serisi analizlerinin sonucunda;

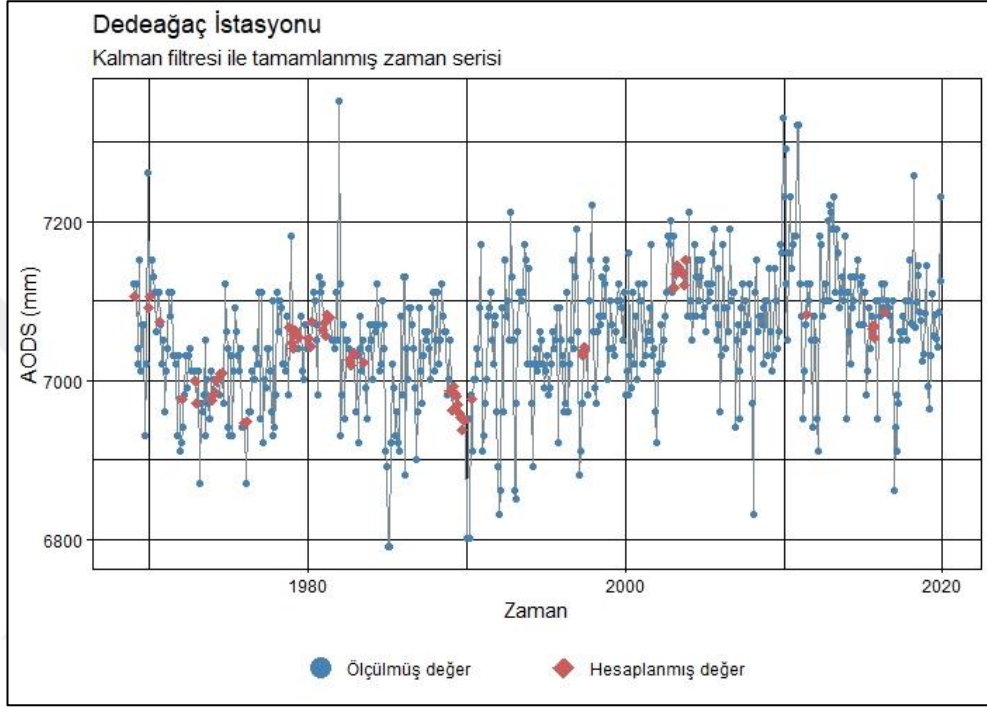
- Bir eğilimin mevcut olup olmadığı (ortalamalar bakımından zaman içerisinde artan ya da azalan bir değişim bulunup bulunmadığı),
- Mevsimsellik mevcut olup olmadığı (takvim tarihlerine bağlı olarak sürekli kendini tekrar eden bir desen bulunup bulunmadığı),
- Mevsimsellik faktörlerinin haricinde uzun dönem periyodik hareketleri (long run cycle) gözlemlenip gözlemlenmediği,

sorularına yanıt aranmıştır.

3.1 Akdeniz (Ege) İstasyonlarında Zaman Serisi Analizleri

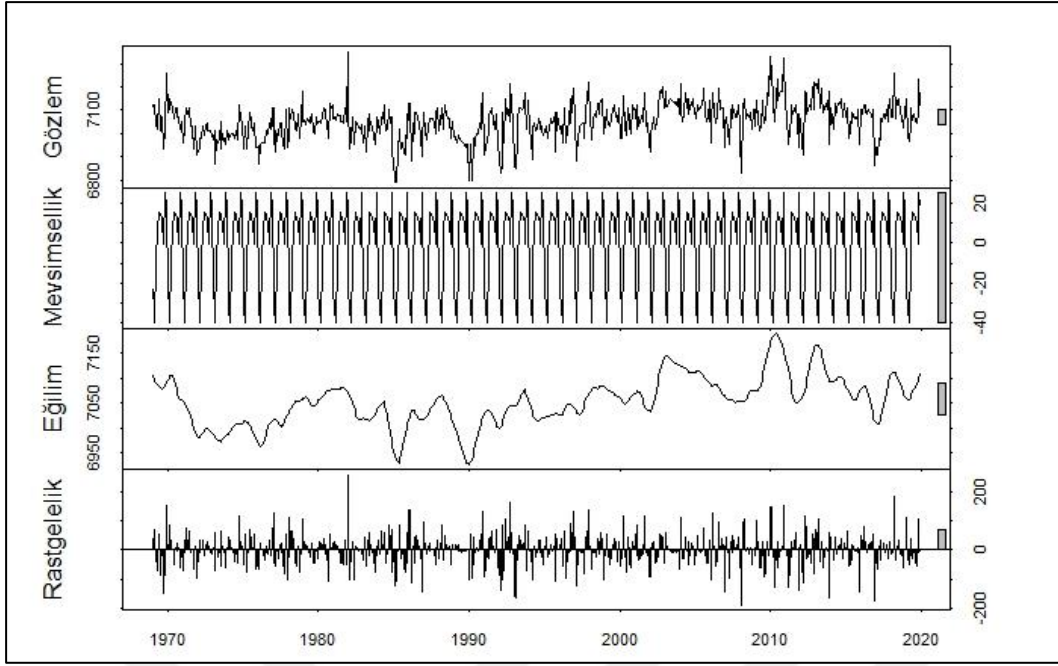
3.1.1 Dedeğaç istasyonu

Dedeğaç istasyonu veri seti, 1969 yılından 2019 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %89 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.4'te verilmiştir.



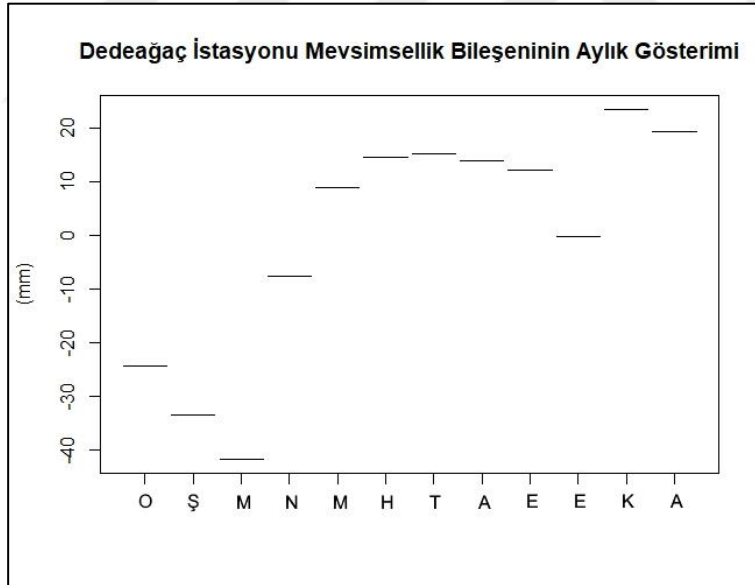
Şekil 3.4 : Dedeğaç istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.5'te sunulmuştur.



Şekil 3.5 : Dedeğaç istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

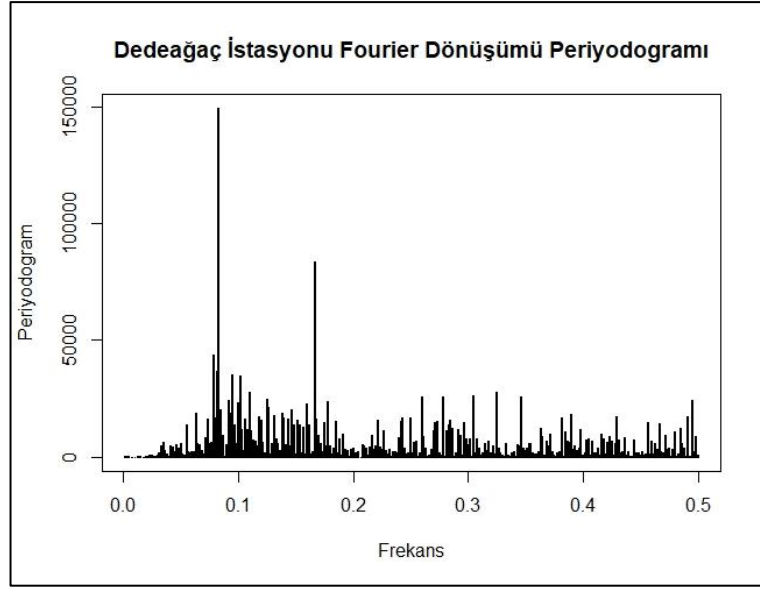
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.6’da sunulmuştur.



Şekil 3.6 : Dedeğaç istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Mart ayında en düşük değerini (-40,5 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Kasım ayında 25,5 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Dedeğaç deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.7’de görülmektedir.

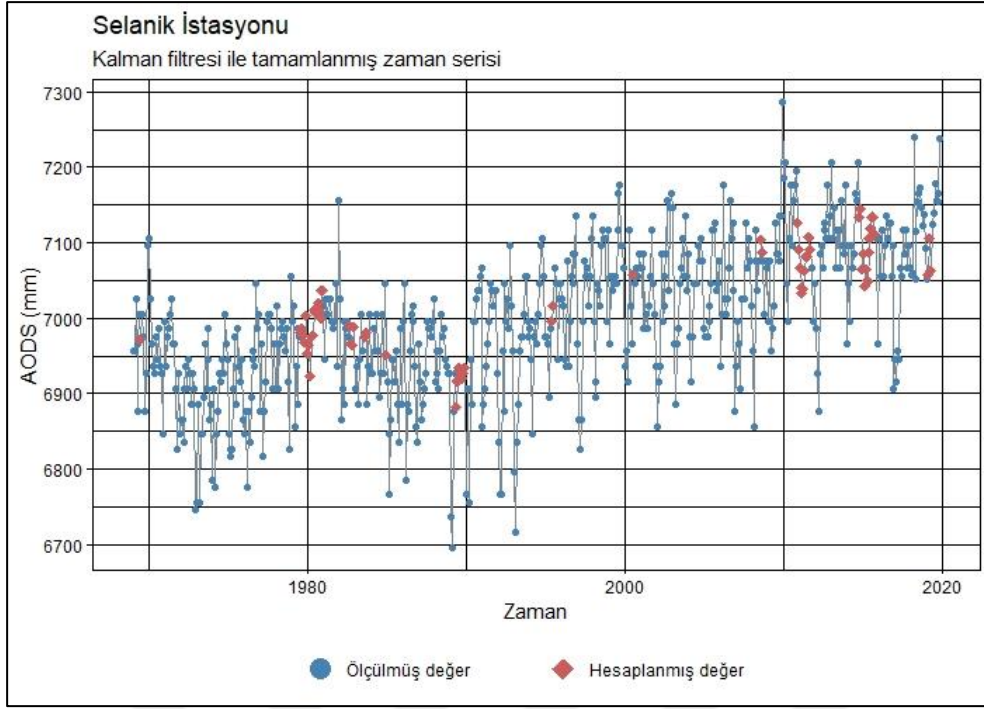


Şekil 3.7 : Dedeğaç istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5'i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,0833, 0,1667, 0,0783, 0,0816 ve 0,0950 olup, zamansal karşılıkları ($1/\text{frekans}$) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 12, 6, 12,76, 12,24 ve 10,52 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli ve 6 aylık da kuvvetli periyodik hareket gözlemlendiğidir. Beşinci sıradaki hafif periyodik hareket 11 aya işaret etmektedir.

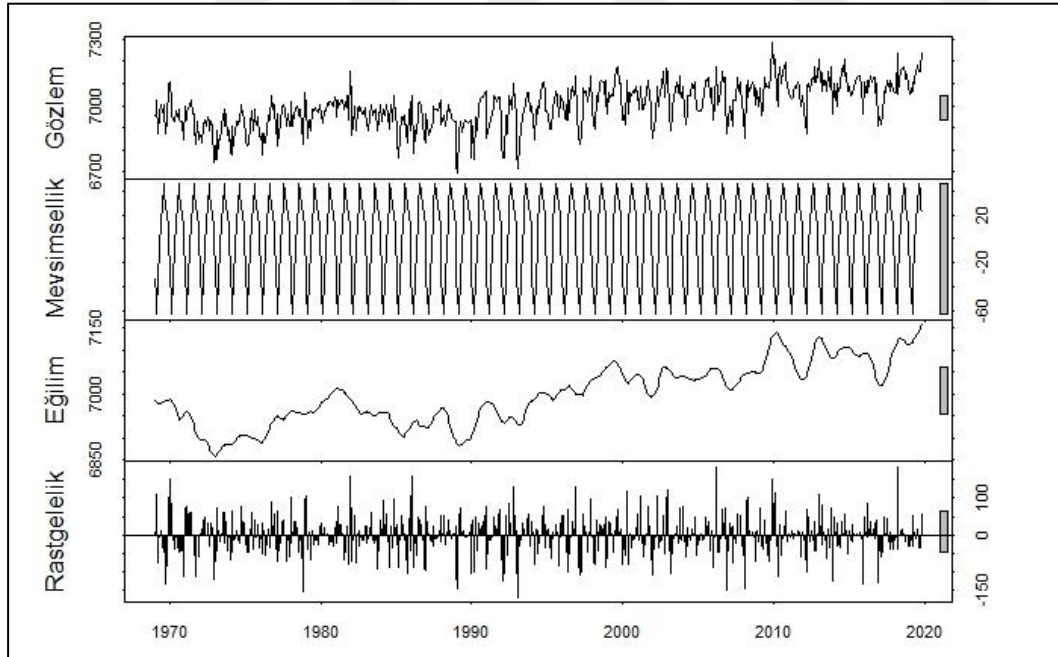
3.1.2 Selanik istasyonu

Selanik istasyonu veri seti, 1969 yılından 2019 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %89 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.8'de verilmiştir.



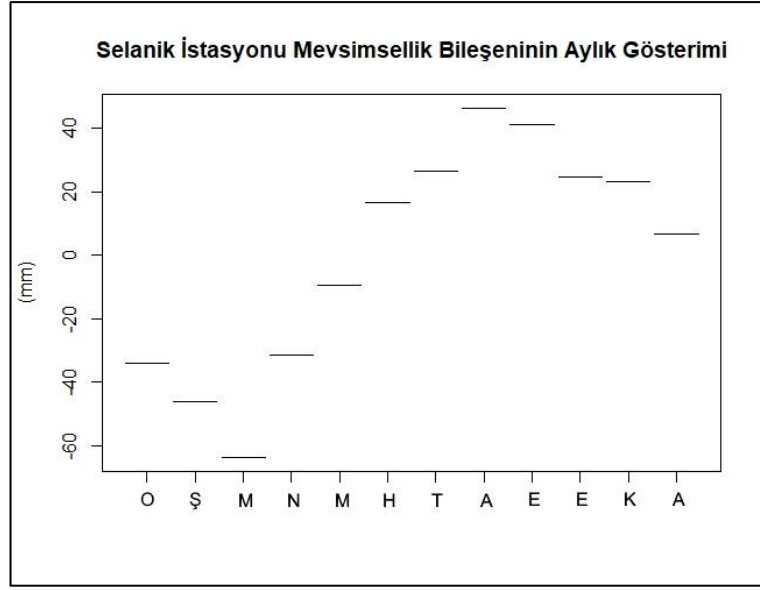
Şekil 3.8 : Selanik istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.9’da sunulmuştur.



Şekil 3.9 : Selanik istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

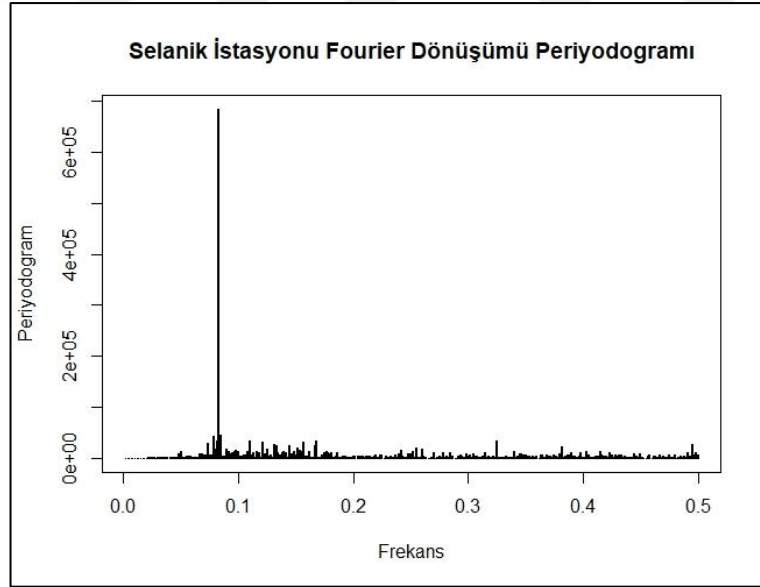
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.10’da sunulmuştur.



Şekil 3.10 : Selanik istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Mart ayında en düşük değerini (-63,5 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Ağustos ayında 46 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Selanik deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.11’de görülmektedir.

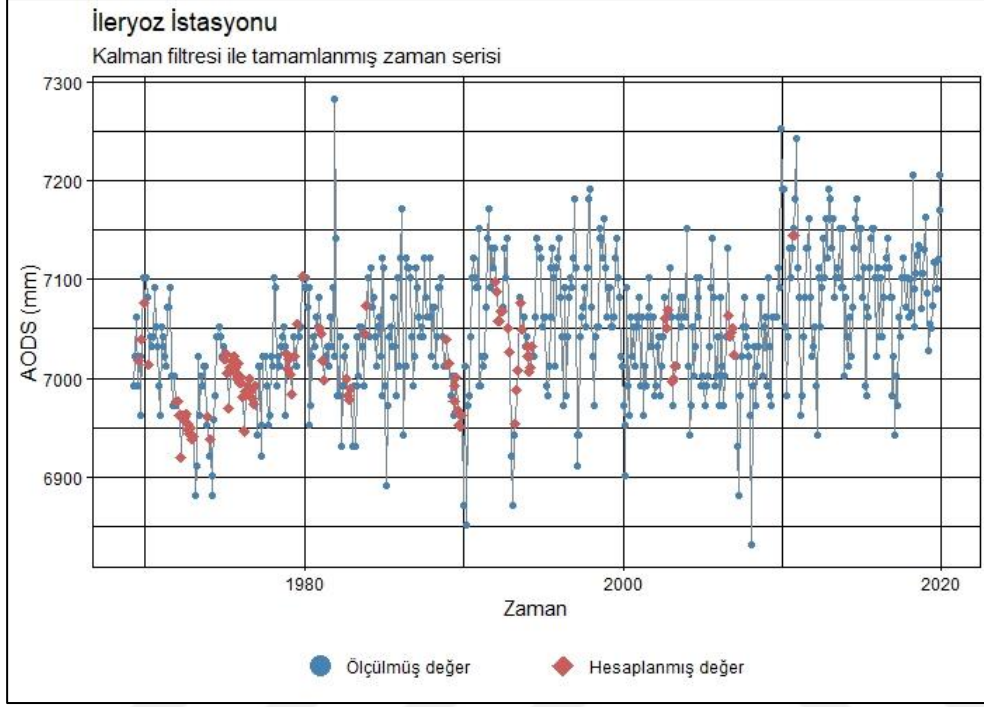


Şekil 3.11 : Selanik istasyonu Fourier Dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5’i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,0833, 0,085, 0,0783, 0,0816 ve 0,1683 olup, zamansal karşılıkları (1/frekans) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 12, 11,76, 11,77, 12,24 ve 5,94 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli ve 6 aylık da hafif derecede periyodik hareket gözlemlendiğidir.

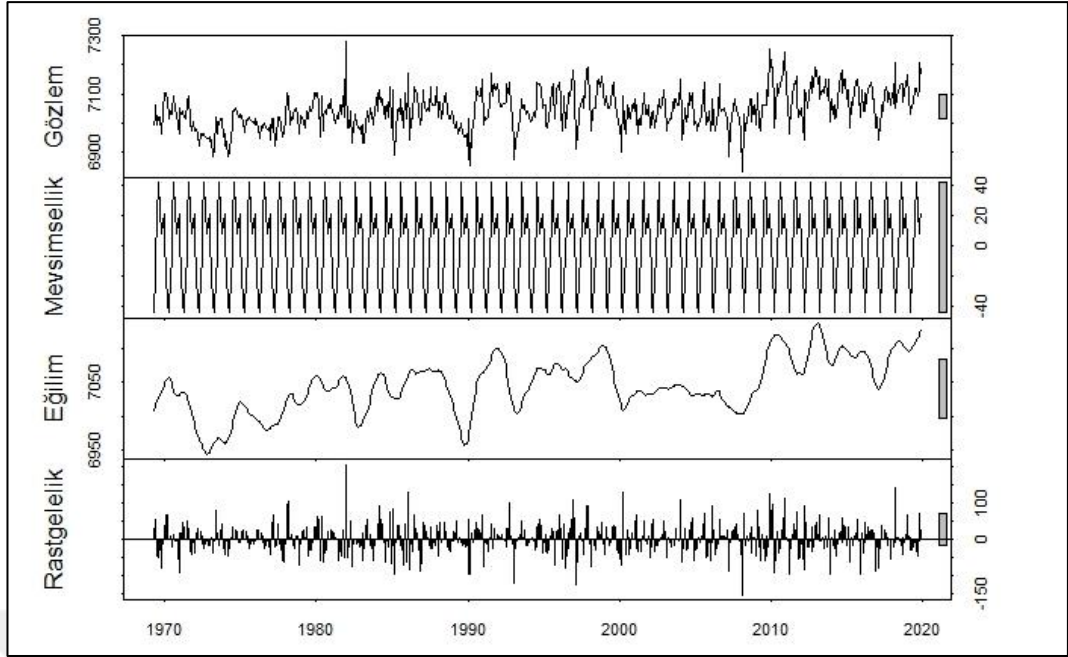
3.1.3 İleryoz istasyonu

İleryoz istasyonu veri seti, 1969 yılından 2019 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %83 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.12’de verilmiştir.



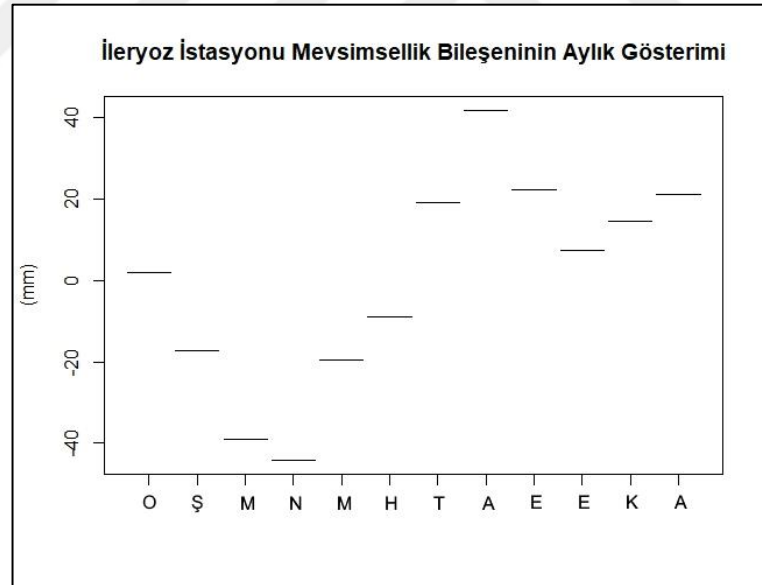
Şekil 3.12 : İleryoz istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.13’te sunulmuştur.



Şekil 3.13 : İleriyoz istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

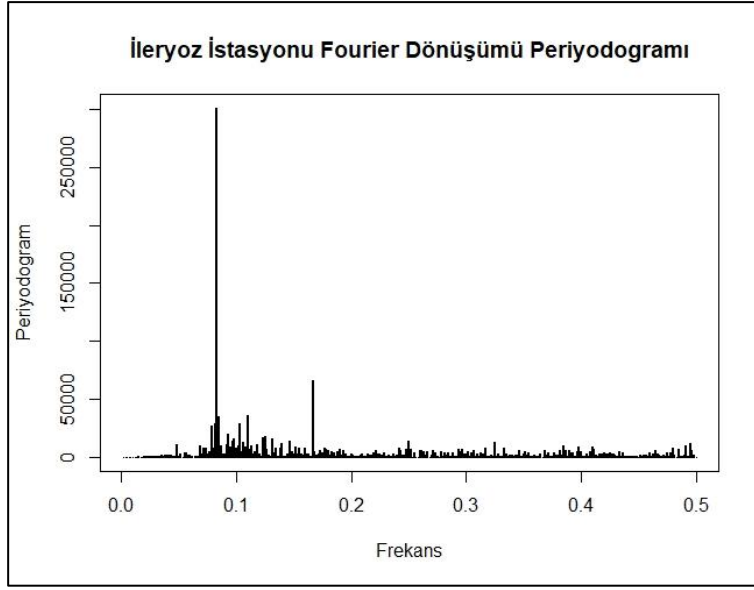
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.14'te sunulmuştur.



Şekil 3.14 : İleriyoz istasyonu mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Nisan ayında en düşük değerini (-44 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Ağustos ayında 42 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

İleriyoz deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.15'te görülmektedir.

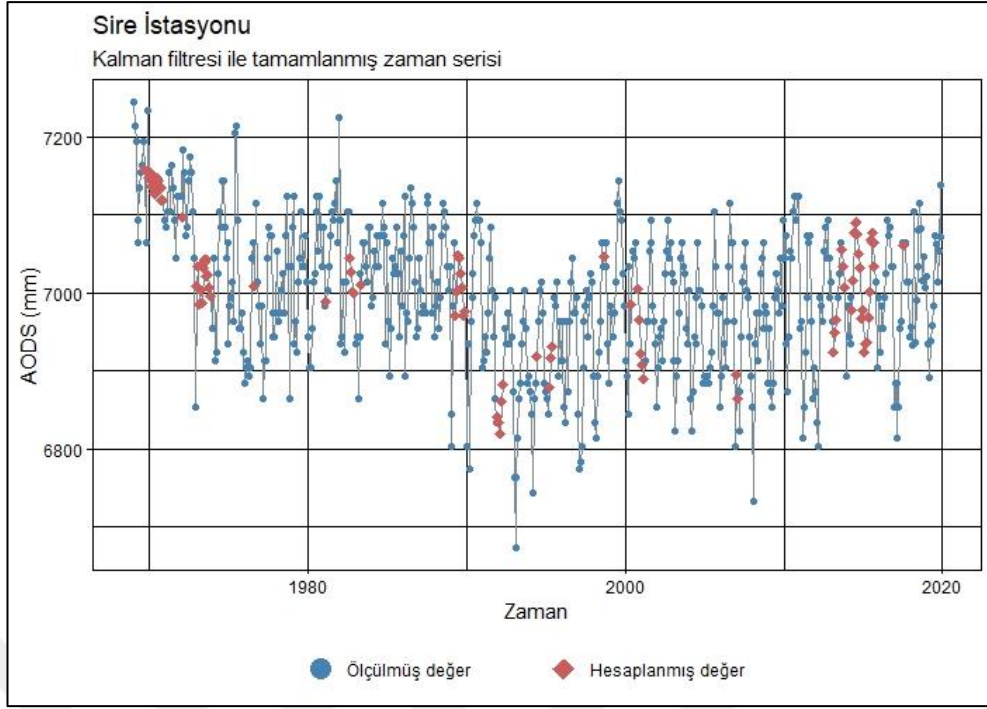


Şekil 3.15 : İleryoz istasyonu Fourier Dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5'i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,0833, 0,1667, 0,11, 0,085 ve 0,0816 olup, zamansal karşılıkları (1/frekans) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 12, 6, 9,09, 11,76 ve 12,24 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli periyodik hareketin yanı sıra daha az kuvvetli 6 aylık ve 9 aylık periyodik hareketlerin gözlemlendiğidir.

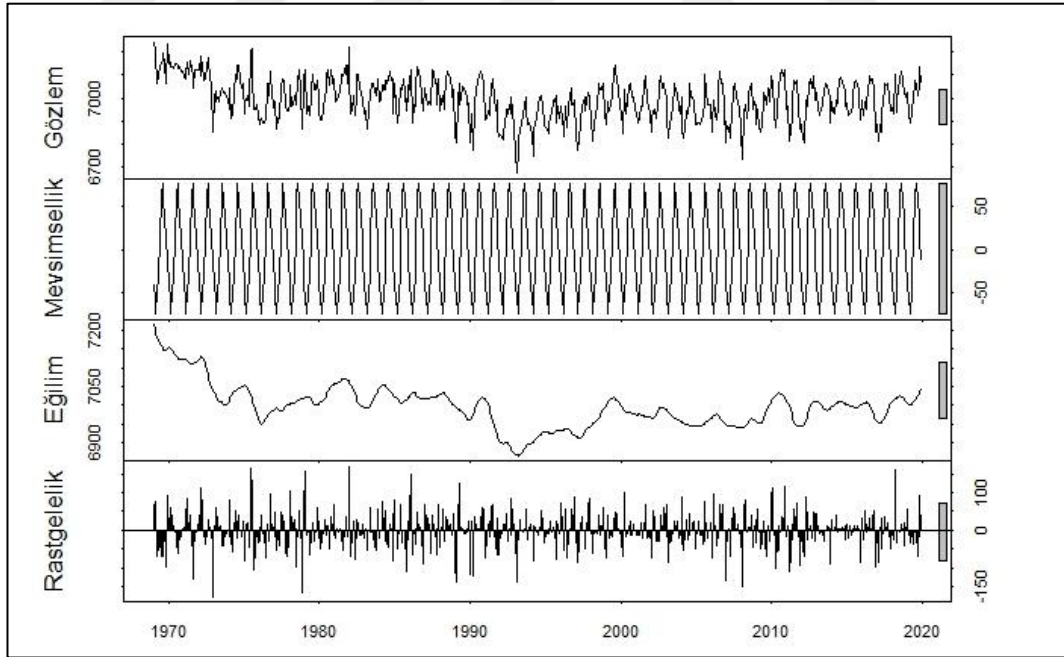
3.1.4 Sire istasyonu

Sire istasyonu veri seti, 1969 yılından 2019 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %86 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.16'da verilmiştir.



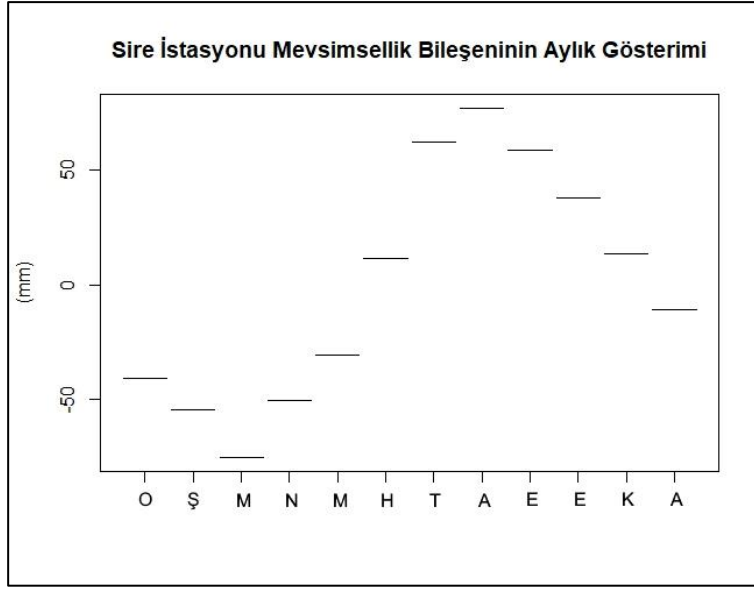
Şekil 3.16 : Sire istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanan zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.17'de sunulmuştur.



Şekil 3.17 : Sire istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

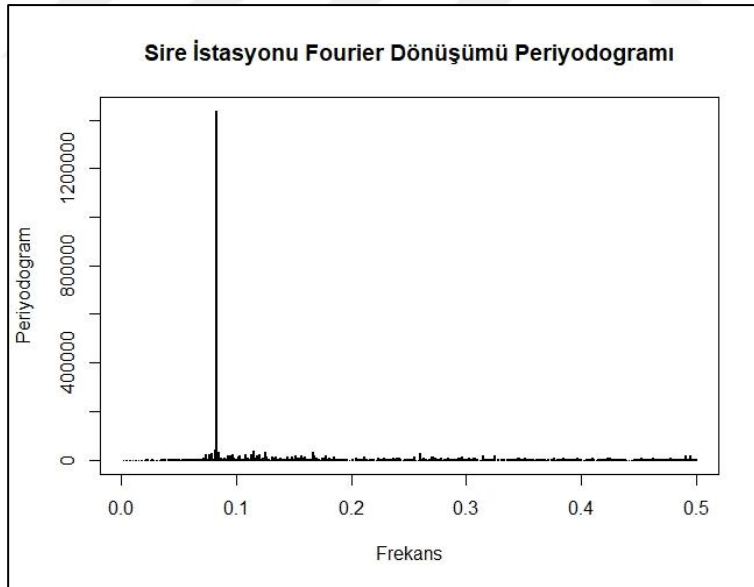
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.18'de sunulmuştur.



Şekil 3.18 : Sire istasyonu mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Mart ayında en düşük değerini (-75 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Ağustos ayında 77 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Sire deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.19’da görülmektedir.



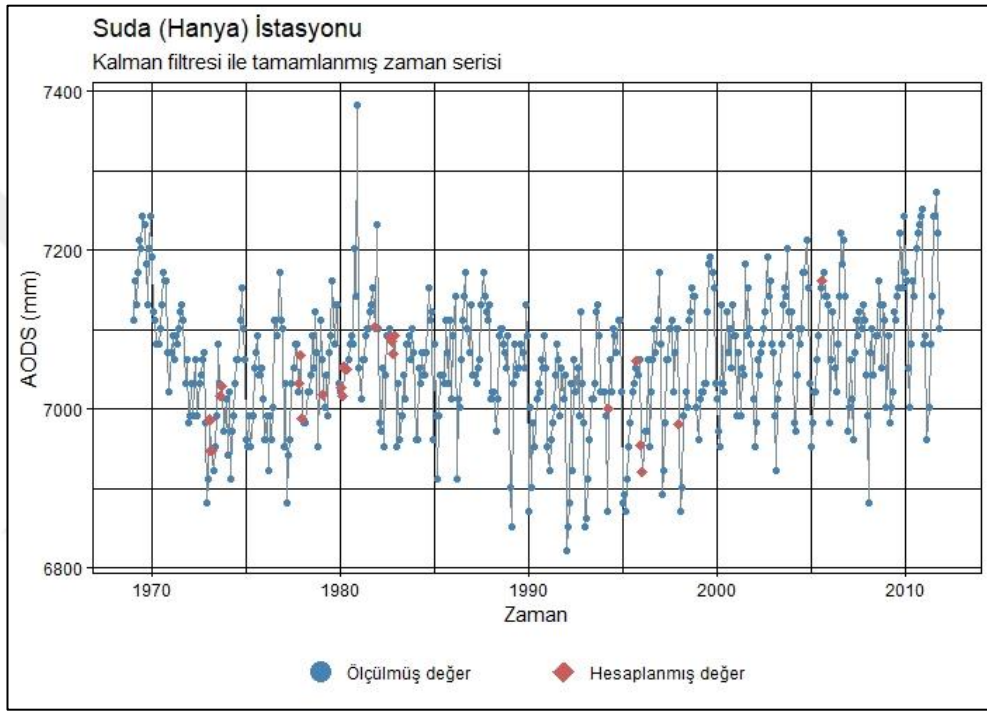
Şekil 3.19 : Sire istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5’i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,0833, 0,0816, 0,1150, 0,0850 ve 0,1250 olup, zamansal karşılıkları (1/frekans) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 12, 12,44, 8,7, 11,8 ve 8 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli periyodik hareket gözlemlendiğidir. 8 ve 8,7 aylık sürelerle tekabül eden frekansların

periyodiklik kuvvetleri bu 12 aylık periyodik harekete nazaran son derece küçük boyutta bulunduğundan, mevsimsellik grafiğinde belirgin değildir (Şekil 3.17 ve 3.18).

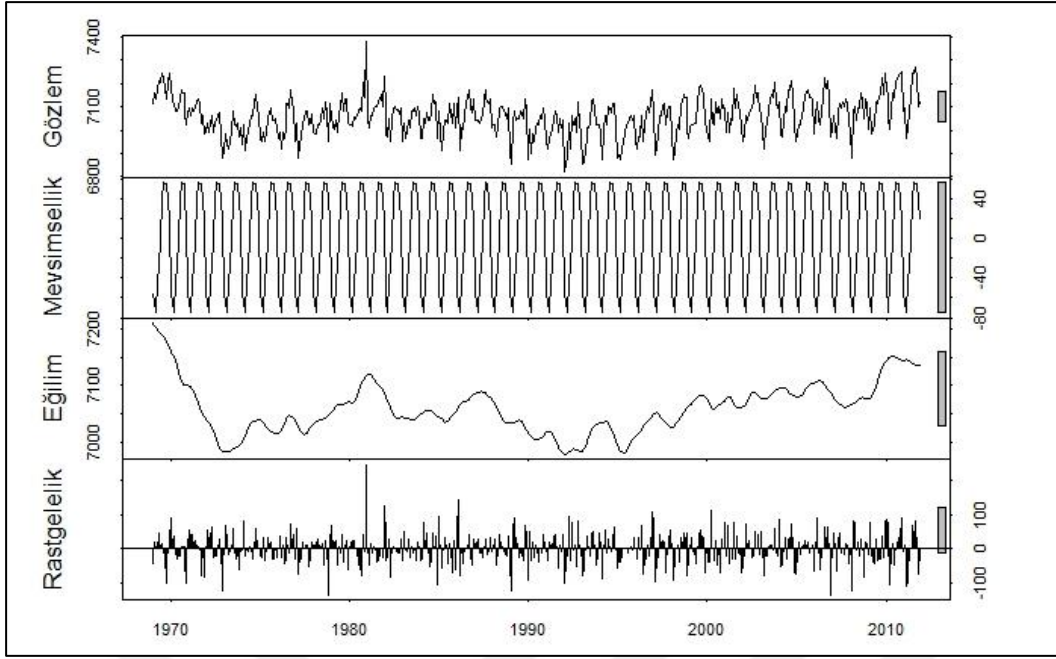
3.1.5 Suda (Hanya) istasyonu

Suda (Hanya) istasyonu veri seti, 1969 yılından 2012 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %96 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.20’de verilmiştir.



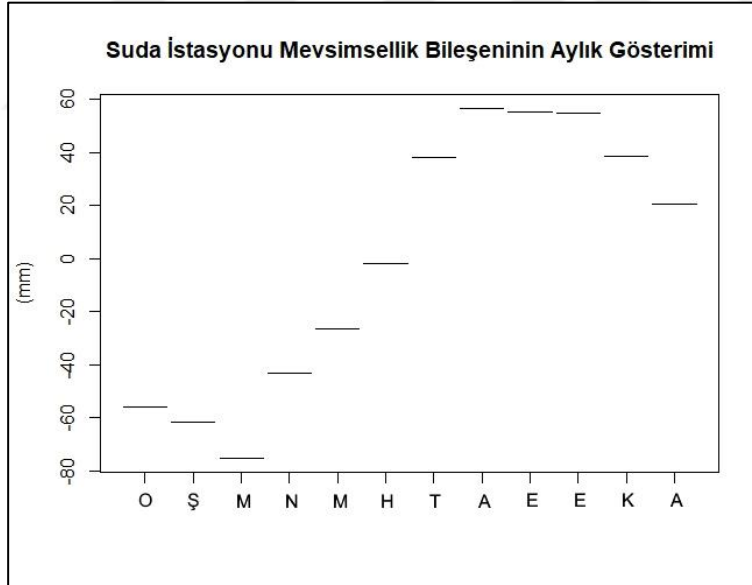
Şekil 3.20 : Suda istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.21’de sunulmuştur.



Şekil 3.21 : Suda istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

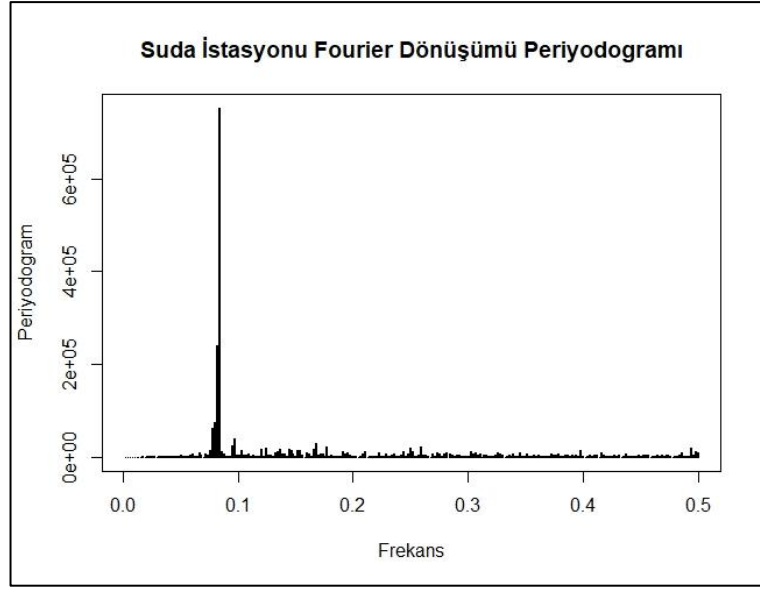
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.22’de sunulmuştur.



Şekil 3.22 : Suda istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Mart ayında en düşük değerini (-75 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Ağustos ayında 56,5 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Suda deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.23’te görülmektedir.

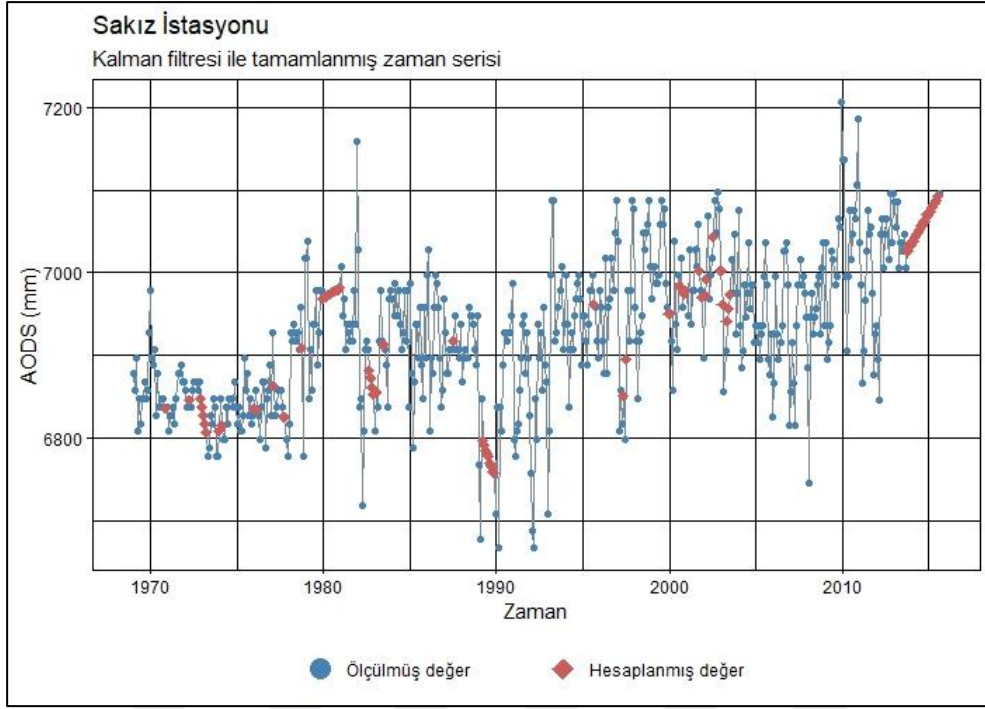


Şekil 3.23 : Suda istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5'i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,0839, 0,0820, 0,0800, 0,0781 ve 0,0976 olup, zamansal karşılıkları ($1/\text{frekans}$) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 11,9, 12,19, 12,48, 12,8 ve 10,24 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli periyodik hareketin var olduğudur. Beşinci sırada tespit edilen 10 aylık periyodik hareket, 12 aylık harekete nazaran belirgin değildir.

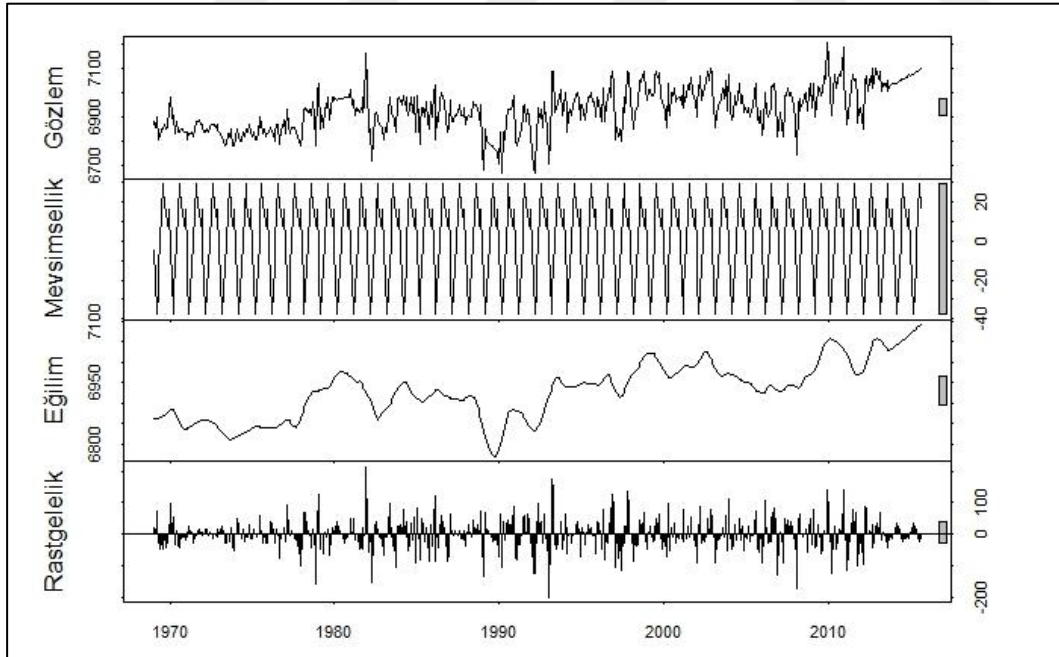
3.1.6 Sakız istasyonu

Sakız istasyonu veri seti, 1969 yılından 2015 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %85 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.24'te verilmiştir.



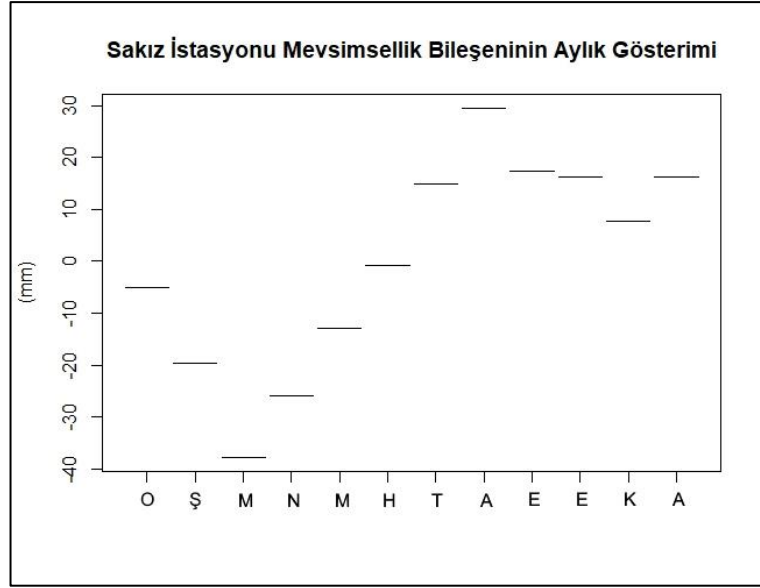
Şekil 3.24 : Sakız İstasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.25'te sunulmuştur.



Şekil 3.25 : Sakız İstasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

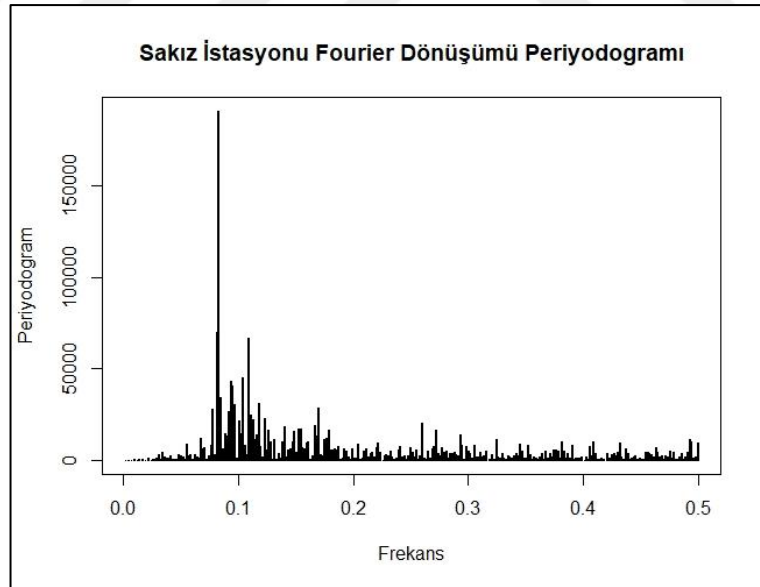
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.26'da sunulmuştur.



Şekil 3.26 : Sakız istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Mart ayında en düşük değerini (-37,7 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Ağustos ayında 29,4 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Sakız deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.27'de görülmektedir.



Şekil 3.27 : Sakız istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.

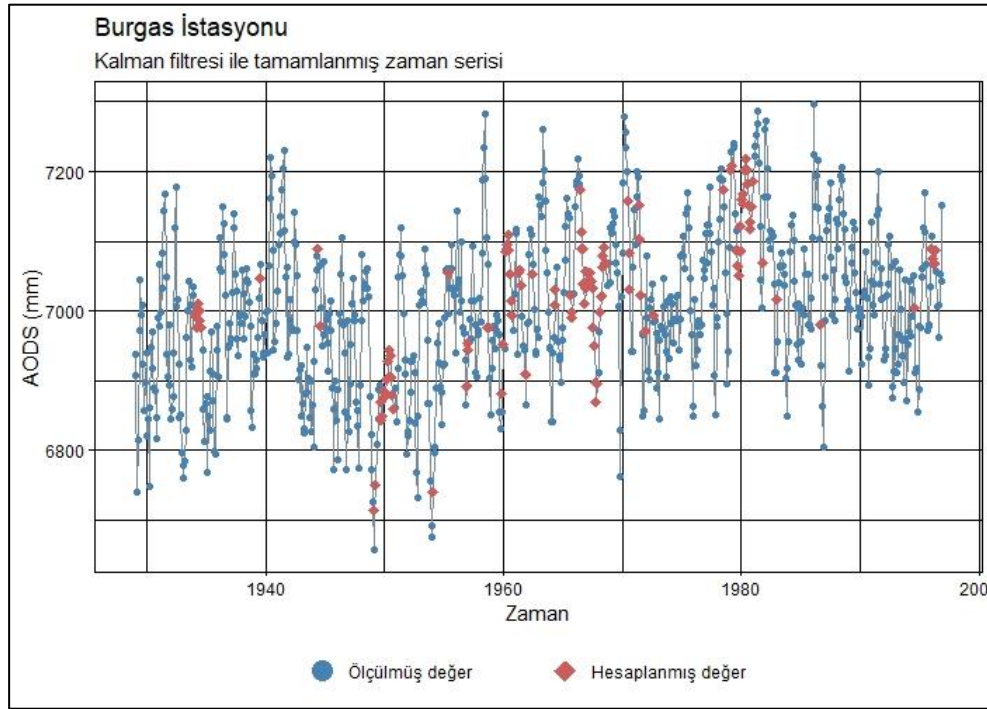
Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5'i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,0833, 0,0816, 0,1094, 0,1042 ve 0,0938 olup, zamansal karşılıkları (1/frekans) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 12, 12,25, 9,14, 9,6 ve 10,67 sonuçları bulunmuştur. Buna göre yılda 1 kez çok kuvvetli

periyodik hareketin yanı sıra 9 ve 10 aylık periyodik hareketlerin de gözlemlendiği tespit edilmiştir.

3.2 Karadeniz İstasyonlarında Zaman Serisi Analizleri

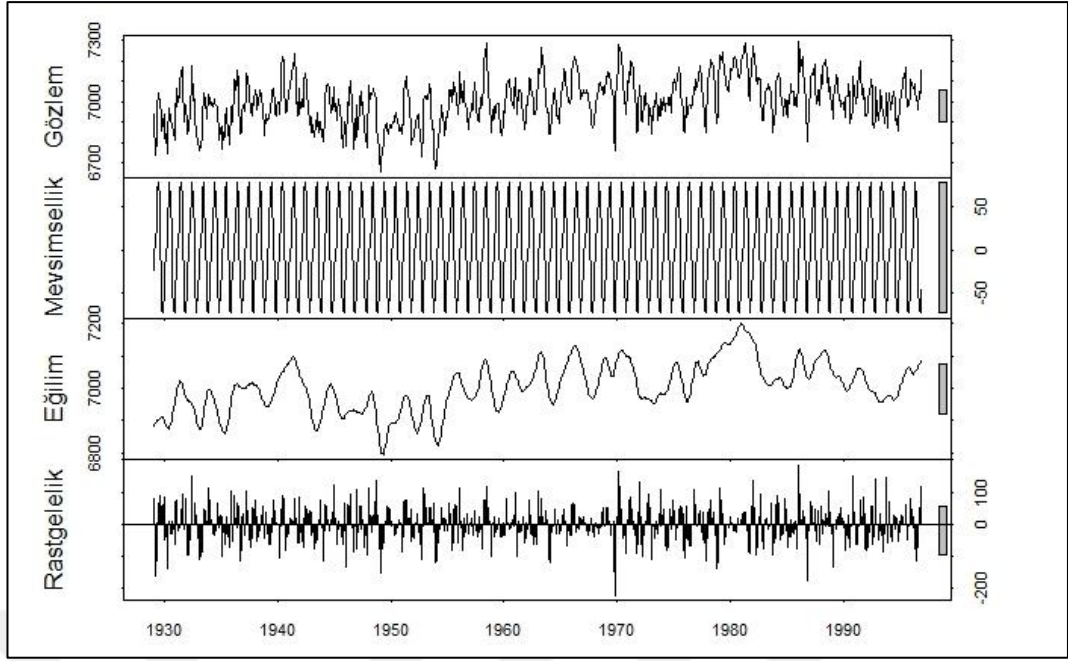
3.2.1 Burgas istasyonu

Burgas istasyonu veri seti, 1929 yılından 1996 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %86 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.28’de verilmiştir.



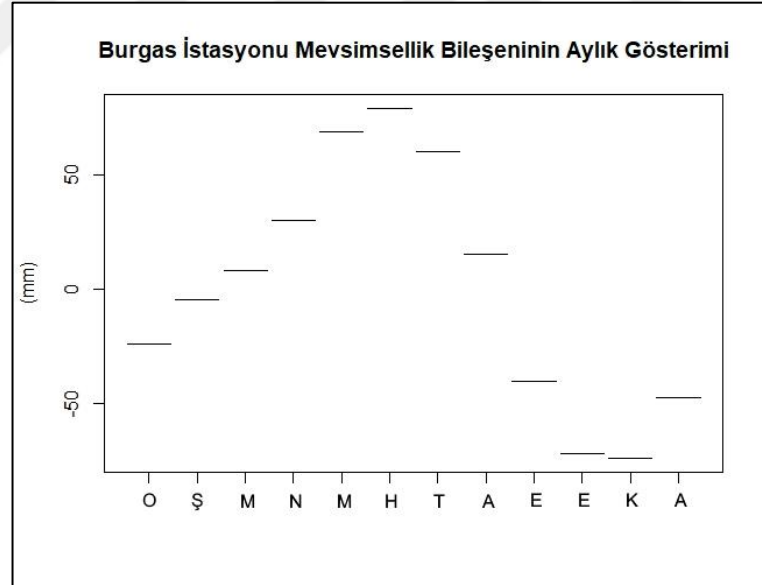
Şekil 3.28 : Burgas istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.29’da sunulmuştur.



Şekil 3.29 : Burgas istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

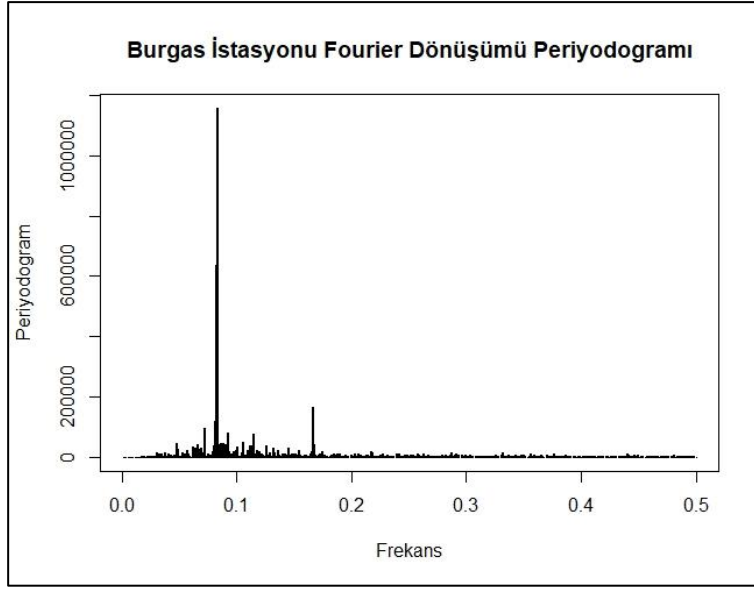
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.30’da sunulmuştur.



Şekil 3.30 : Burgas istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Kasım ayında en düşük değerini (-74 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Haziran ayında 79,3 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Burgas deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.31’de görülmektedir.

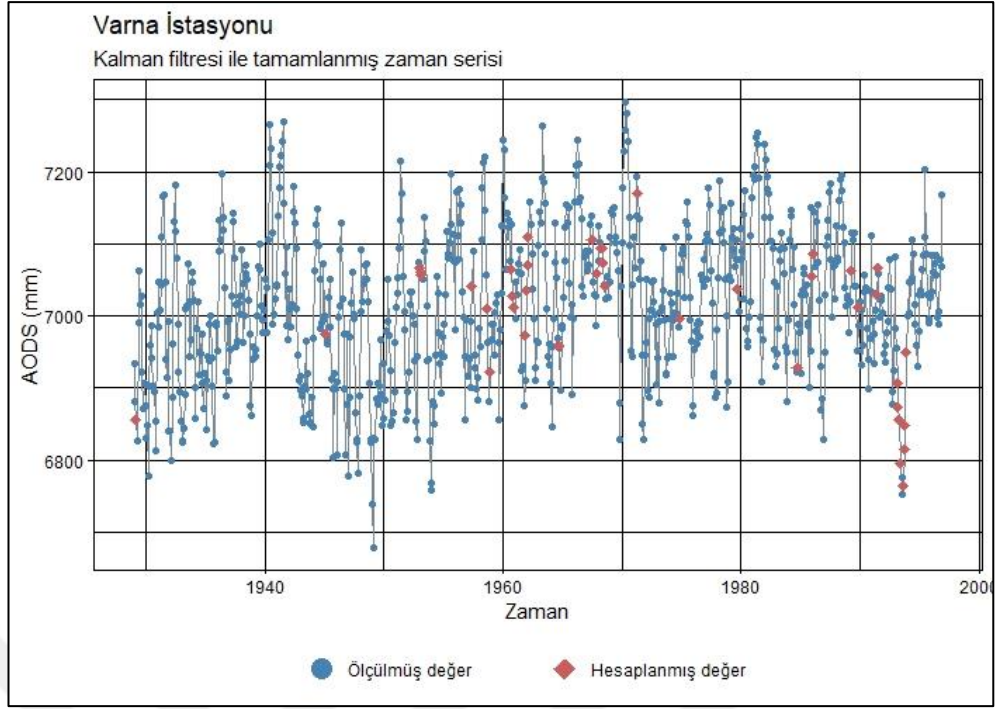


Şekil 3.31 : Burgas istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5'i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,084, 0,083, 0,1667, 0,0814 ve 0,0728 olup, zamansal karşılıkları (1/frekans) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 11,91, 12,09, 6, 12,27 ve 13,73 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli ve 6 aylık da nispeten daha hafif bir periyodik hareket gözlemlendiğidir.

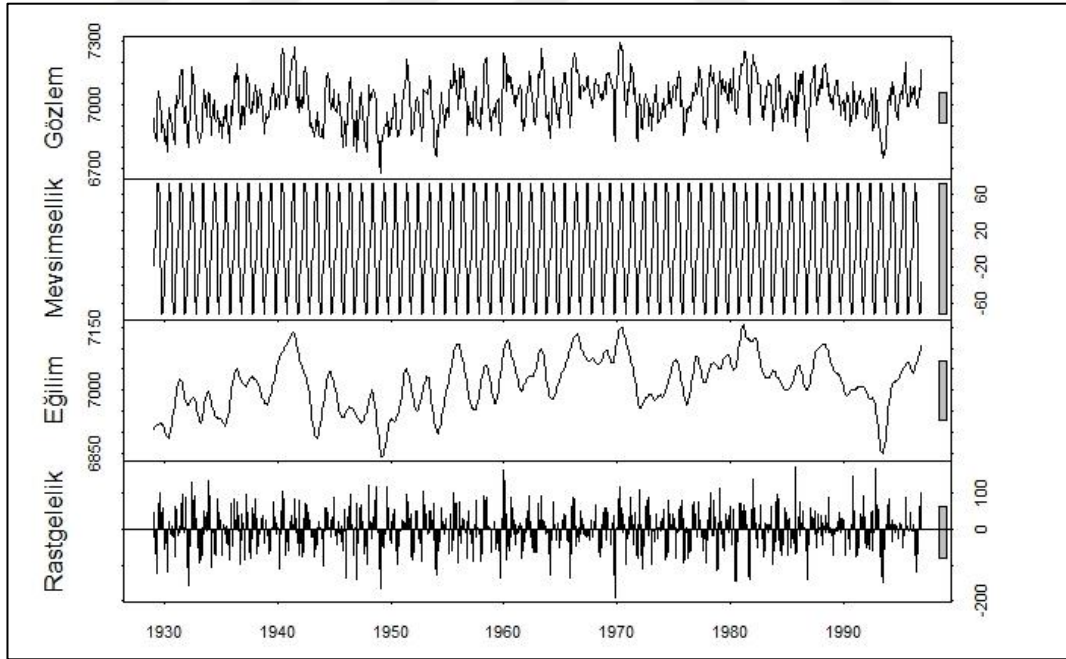
3.2.2 Varna istasyonu

Varna istasyonu veri seti, 1929 yılından 1996 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %95 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.32'de verilmiştir.



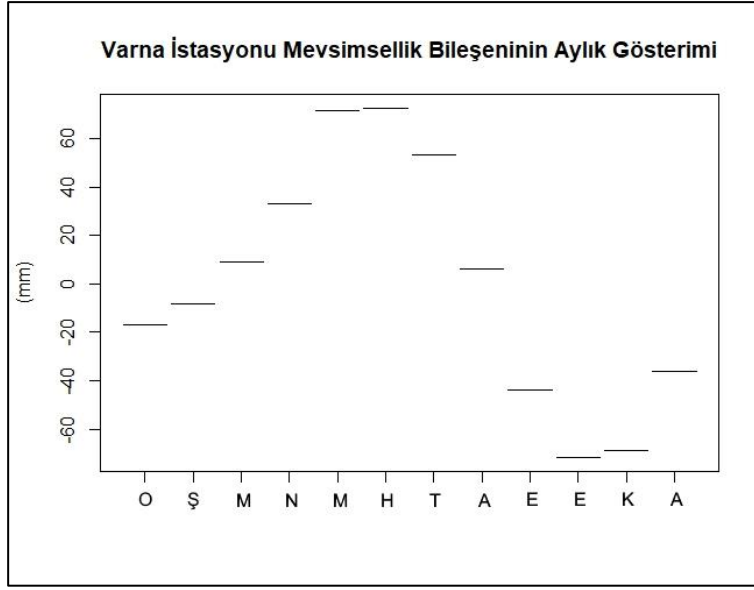
Şekil 3.32 : Varna istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.33'te sunulmuştur.



Şekil 3.33 : Varna istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

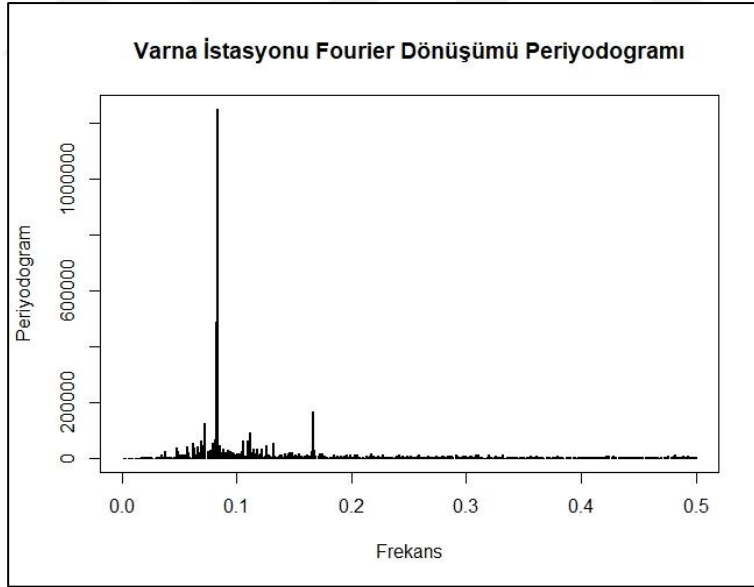
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.34'te sunulmuştur.



Şekil 3.34 : Varna istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Ekim ayında en düşük değerini (-71,4 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Haziran ayında 72,3 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Varna deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.35'te görülmektedir.



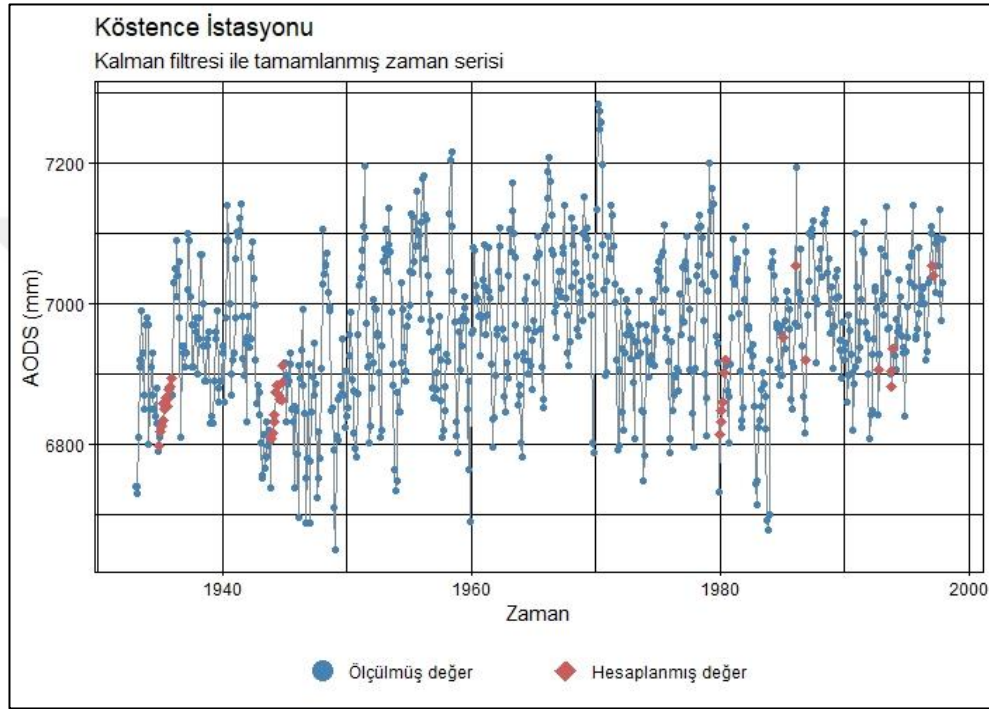
Şekil 3.35 : Varna istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5'i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,084, 0,0827, 0,1667, 0,0728 ve 0,1123 olup, zamansal karşılıkları (1/frekans) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 11,91, 12,09, 6, 13,72 ve 8,90 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli

ve 6 aylık da nispeten zayıf bir periyodik hareket gözlemlendiğidir. Bunların haricindeki periyodiklikler oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır.

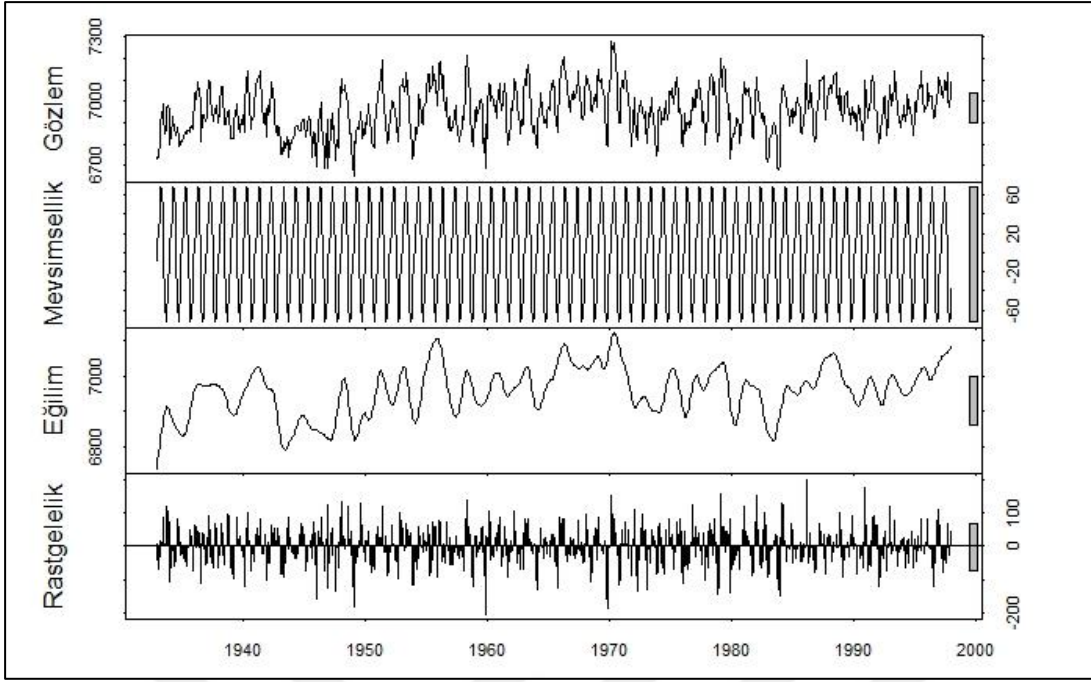
3.2.3 Köstence istasyonu

Köstence istasyonu veri seti, 1933 yılından 1997 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %95 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.36'da verilmiştir.



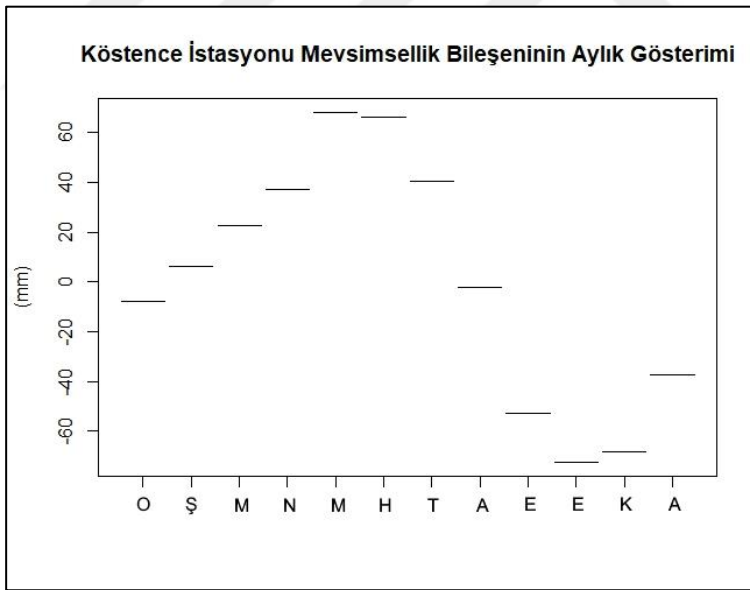
Şekil 3.36 : Köstence istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.37'de sunulmuştur.



Şekil 3.37 : Köstence istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

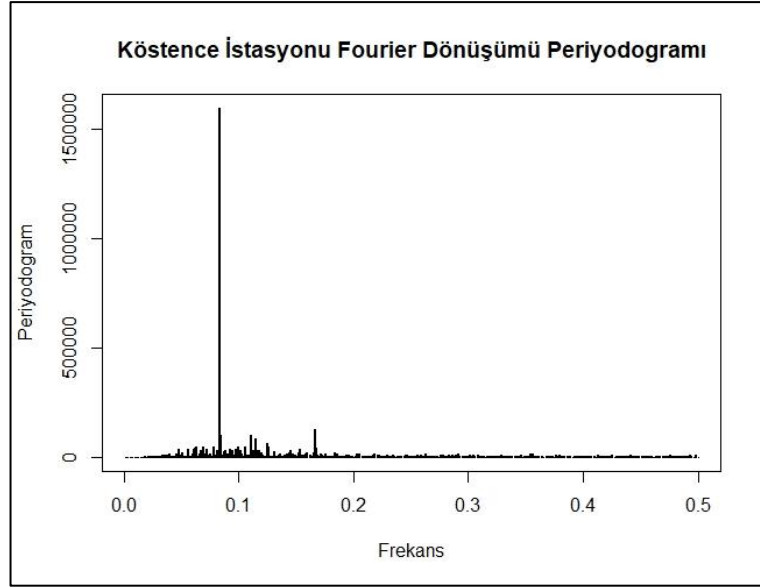
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.38’de sunulmuştur.



Şekil 3.38 : Köstence istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Ekim ayında en düşük değerini (-72,3 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Mayıs ayında 68 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Köstence deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.39’da görülmektedir.

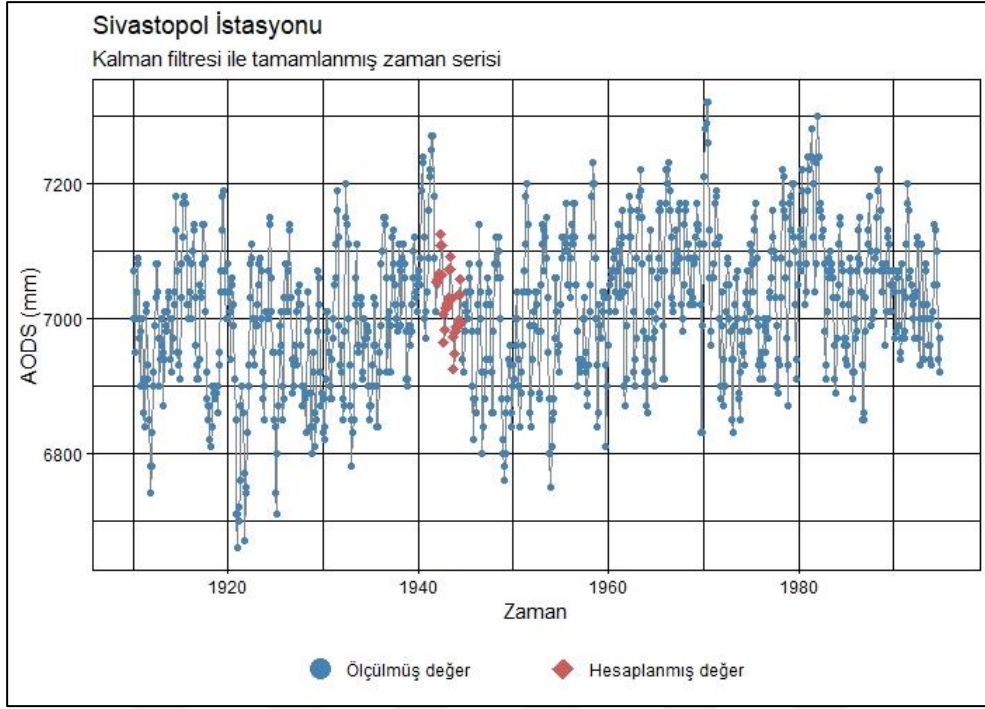


Şekil 3.39 : Köstence istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5'i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,0833, 0,1667, 0,1106, 0,0846 ve 0,1145 olup, zamansal karşılıkları ($1/\text{frekans}$) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 12, 6, 9,035, 11,81 ve 8,72 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli periyodik hareket gözlemlendiğidir. Ayrıca 6 aylık ve 9 aylık zayıf periyodiklikler de en büyük ilk 5 periyodogram değeri içerisinde hesaplanmıştır.

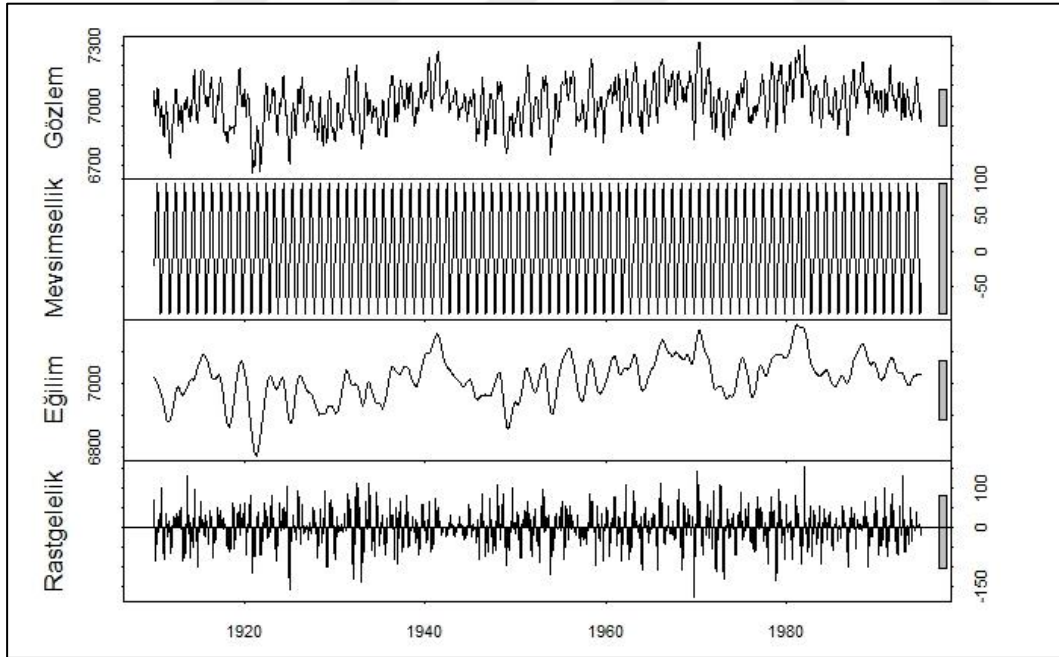
3.2.4 Sivastopol istasyonu

Sivastopol istasyonu veri seti, 1910 yılından 1994 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %97 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.40'ta verilmiştir.



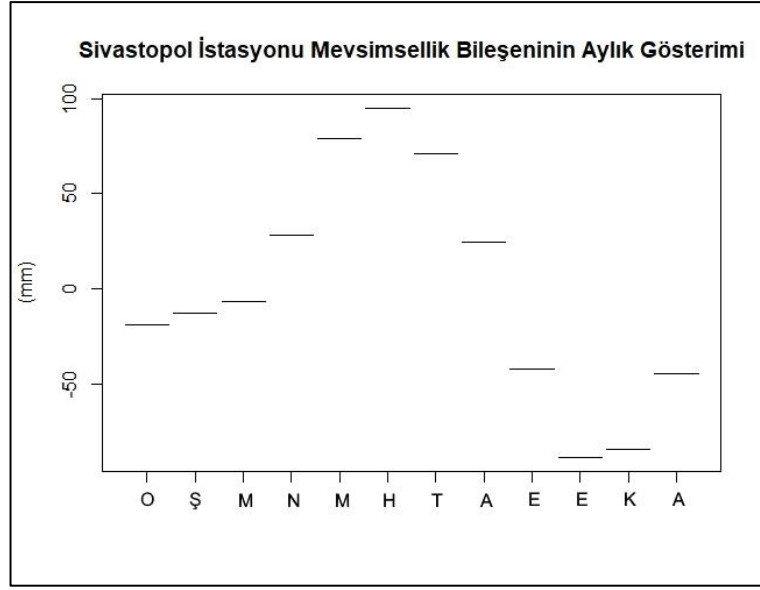
Şekil 3.40 : Sivastopol istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.41’de sunulmuştur.



Şekil 3.41 : Sivastopol istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

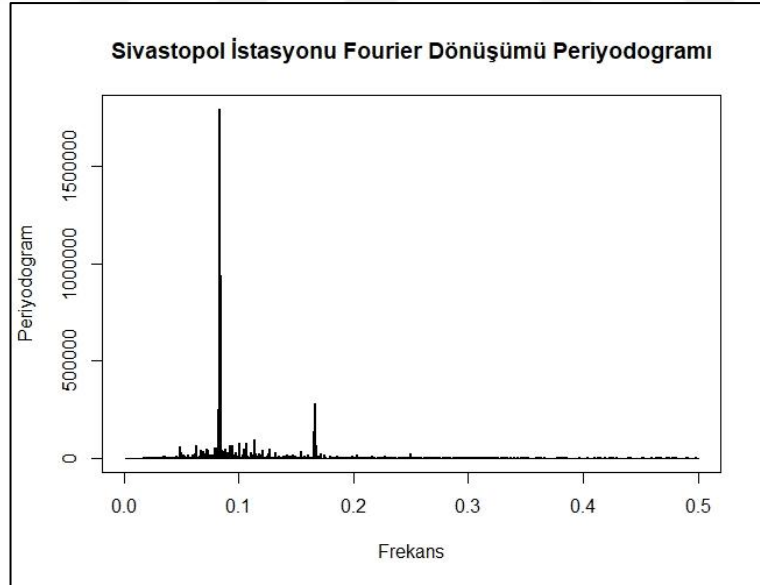
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.42’de sunulmuştur.



Şekil 3.42 : Sivastopol istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Ekim ayında en düşük değerini (-88,3 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Haziran ayında 94,8 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Sivastopol deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.43'te görülmektedir.

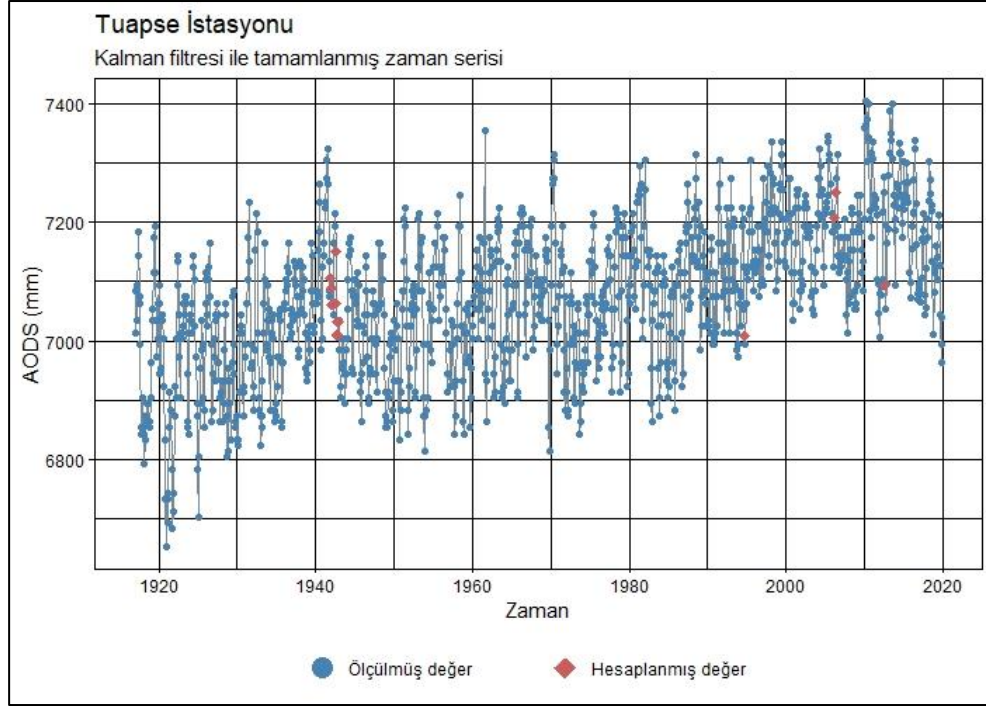


Şekil 3.43 : Sivastopol istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5'i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,0830, 0,084, 0,1669, 0,082 ve 0,166 olup, zamansal karşılıkları (1/frekans) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 12,04, 11,91, 5,98, 12,19 ve 6,02 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli ve 6 aylık da zayıf bir periyodik hareket gözlemlendiğidir.

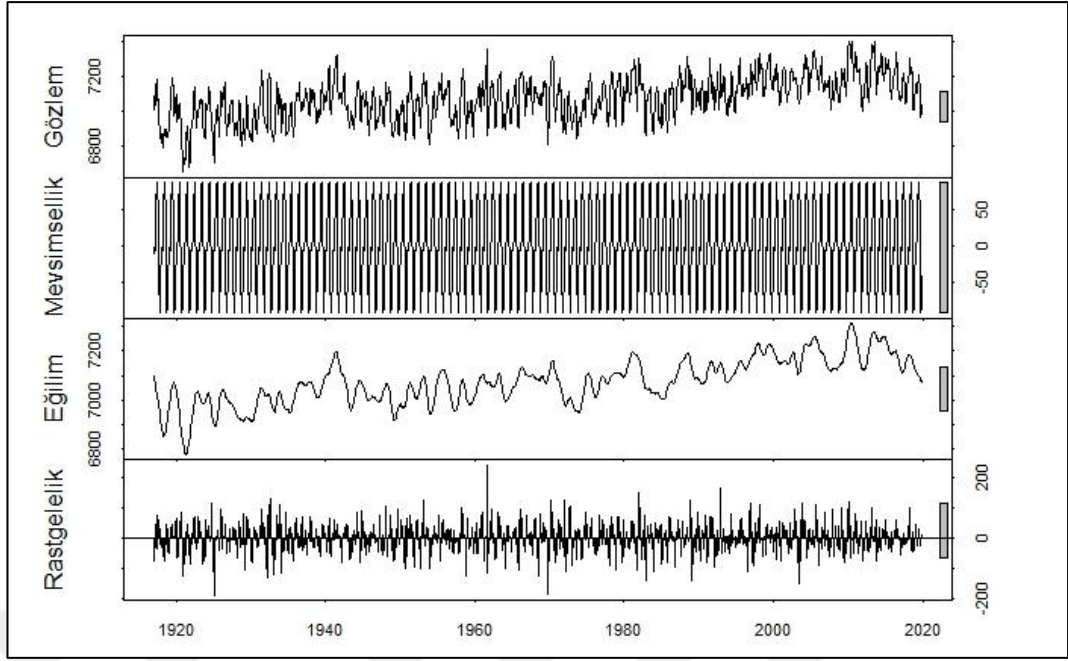
3.2.5 Tuapse istasyonu

Tuapse istasyonu veri seti, 1917 yılından 2019 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %87 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.44'te verilmiştir.



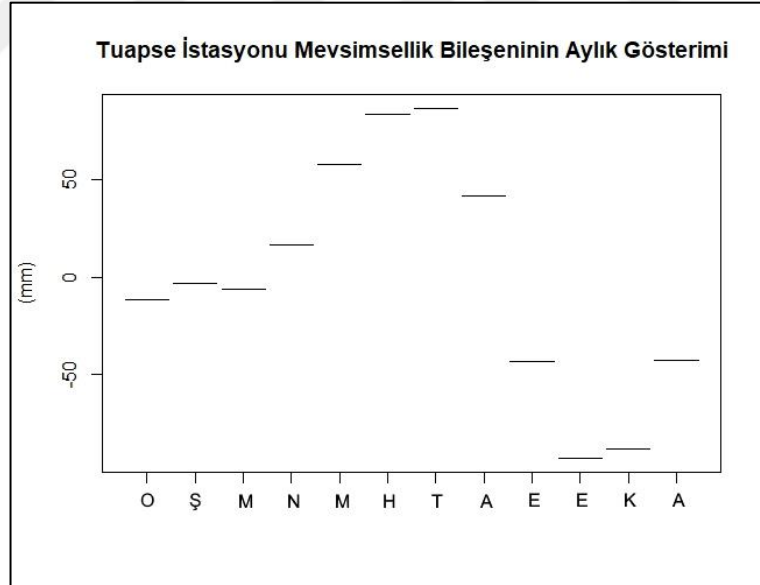
Şekil 3.44 : Tuapse istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.45'te sunulmuştur.



Şekil 3.45 : Tuapse istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

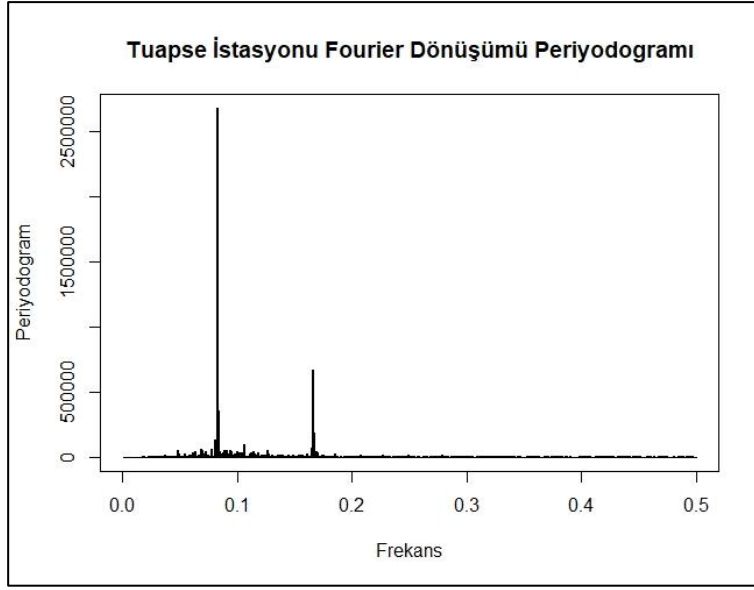
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.46’da sunulmuştur.



Şekil 3.46 : Tuapse istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Ekim ayında en düşük değerini (-92,6 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Temmuz ayında 86,6 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Dedeoğaç deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.47’de görülmektedir.

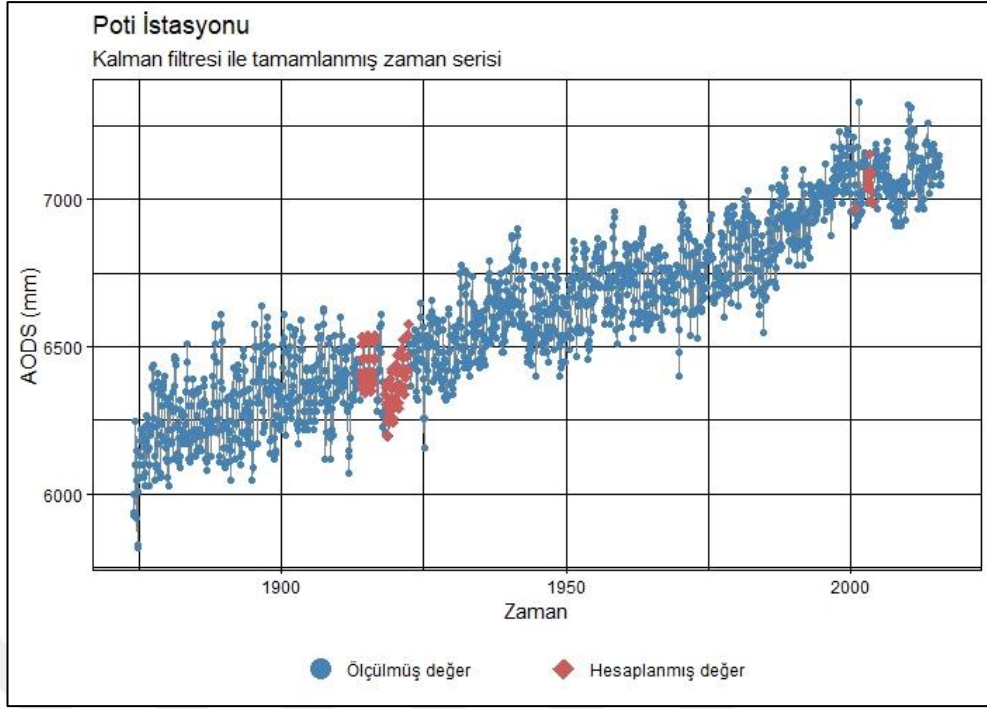


Şekil 3.47 : Tuapse istasyonu, Fourier dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5'i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,0832, 0,1664, 0,0840, 0,1672 ve 0,0816 olup, zamansal karşılıkları (1/frekans) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 12, 6, 11,90, 5,98 ve 12,25 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli ve 6 aylık da zayıf periyodik hareket gözlemlendiğidir.

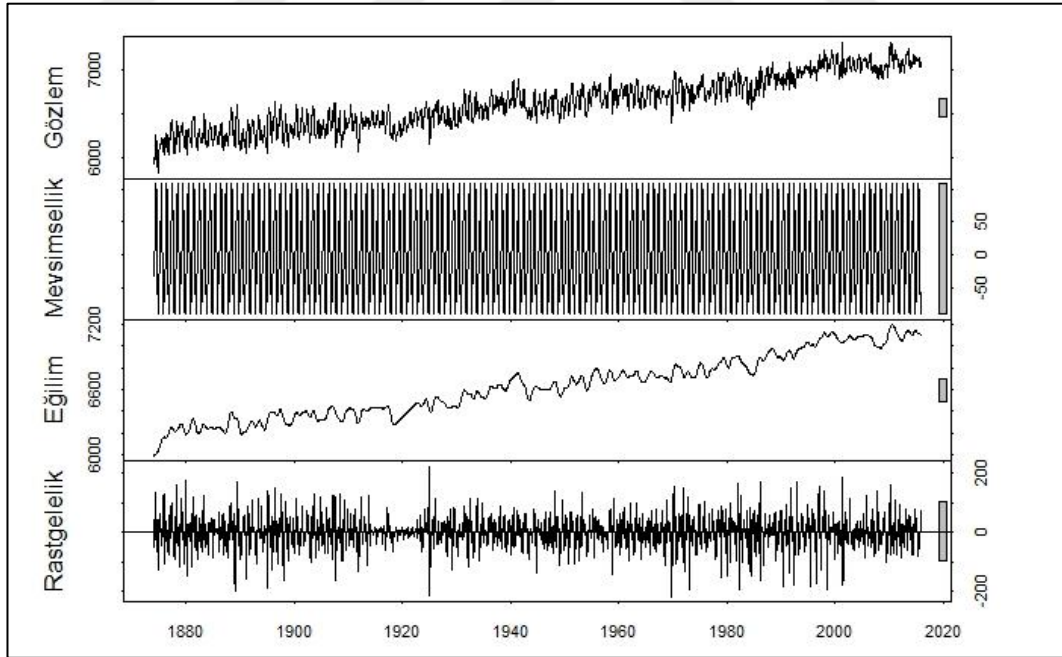
3.2.6 Poti istasyonu

Poti istasyonu veri seti, 1874 yılından 2015 yılı sonuna kadar gözlem içermekte olup %94 veri bütünlüğüne sahiptir. Eksik veriler Kalman Filtresi ile hesaplandıktan sonra elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 3.48'de verilmiştir.



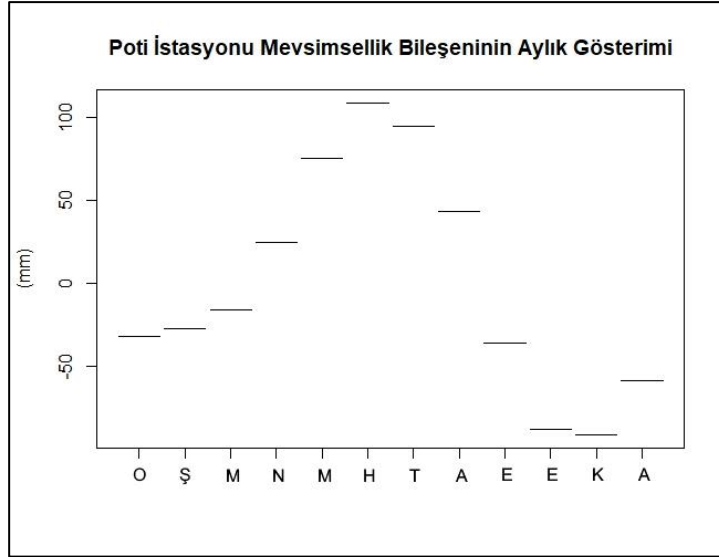
Şekil 3.48 : Poti istasyonu, Kalman Filtresi ile tamamlanmış zaman serisi.

Tamamlanmış zaman serisinin bileşenlerine ayrıştırılması ile elde edilen grafik Şekil 3.49'da sunulmuştur.



Şekil 3.49 : Poti istasyonu, ayrıştırılmış zaman serisi bileşenleri.

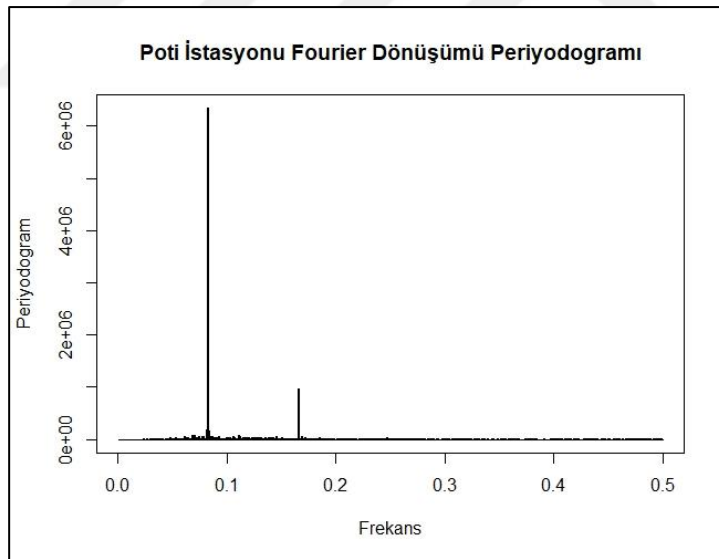
İstasyona ait zaman serisinde mevsimsellik bileşeninin aylık grafiği ayrıca Şekil 3.50'de sunulmuştur.



Şekil 3.50 : Poti istasyonu, mevsimsellik bileşeninin aylık gösterimi.

Kasım ayında en düşük değerini (-91 mm) alan mevsimsellik bileşeni, Haziran ayında 108,9 mm ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır.

Poti deniz seviyesi zaman serisinin mevsimsellik bileşeni için uygulanan Fourier dönüşümüne ait periyodogram Şekil 3.51’de görülmektedir.



Şekil 3.51 : Poti istasyonu, Fourier Dönüşümü periyodogramı.

Elde edilen frekansların periyodograma göre en büyük ilk 5’i incelenmiştir. Bu frekansların rakamsal karşılıkları sırasıyla 0,0833, 0,1667, 0,0821, 0,1661 ve 0,0827 olup, zamansal karşılıkları (1/frekans) hesaplandığında sırasıyla ay cinsinden 12, 6, 12,16, 6,02 ve 12,08 sonuçları bulunmuştur. Bunun anlamı yılda 1 kez çok kuvvetli ve 6 aylık da zayıf periyodik hareket gözlemlendiğidir.

4. ÇALIŞMA ALANININ HİDROMETEOROLOJİK ÖZELLİKLERİ

Deniz seviyesi değişimleri daha önce de bahsedildiği üzere hem deniz suyunun miktarsal olarak artma ve azalmasına (kütle bileşeni) hem de yoğunluğunda meydana gelen değişimlerden (sterik bileşen) oluşur. Her iki bileşen de iklimsel özelliklere, dolayısıyla akarsu debileri, buharlaşma, yağış, atmosfer basıncı, sıcaklık gibi hidrolojik-meteorolojik parametrelere bağlıdır.

Bu parametreler bağlamında deniz seviyesi ölçümü yapılan istasyonların yanı sıra Karadeniz ve Ege üzerinde alansal olarak elde edilmiş modelleme çıktıları aşağıda birlikte incelenmiştir. İncelenen ham veriler, aşağıda liste halinde sıralanmış olan veri tabanlarından sağlanmış ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO, 2022) tarafından sunulan hesaplama araçları kullanılarak analiz edilmiştir. Özet olarak:

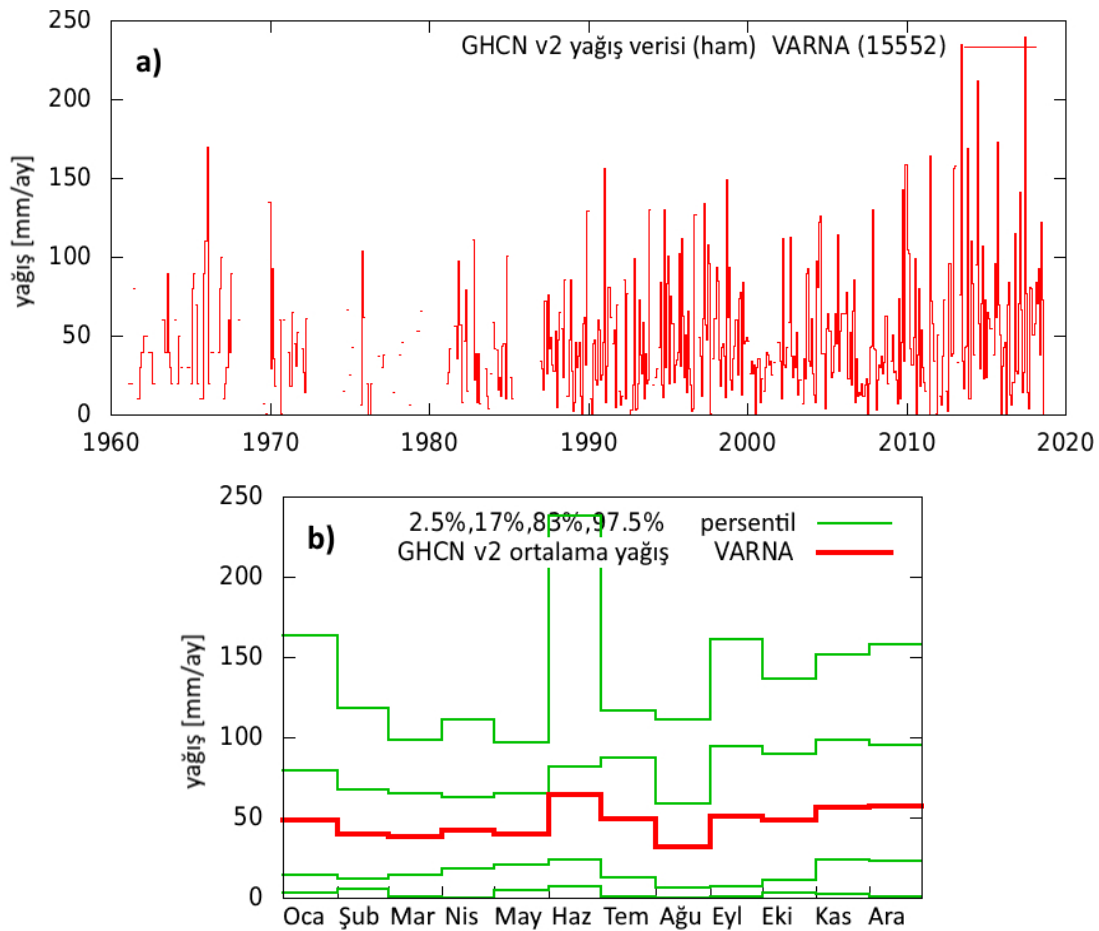
- İstasyonlar bazında incelenen ham meteorolojik parametrelere ait aylık ortalamalar (yağış, sıcaklık, vb.) ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi'ne (NOAA) ait Global Tarihsel Meteoroloji Ağı (GHCN v2 ve v3) gözlem verileri ile (Lawrimore, ve diğ., 2011);
- Tuna Nehri'ne ait aylık ortalama debiler Global Nehir Debisi Veritabanı (RivDIS v.1.1) tarafından sağlanan gözlem verileri ile (Vörösmarty, ve diğ., 1998),
- Karadeniz ve Ege denizi üzerinde alansal bazda incelenen yağış, buharlaşma parametrelerine ait aylık ortalama zaman serileri ve deniz seviyesi anomalileri Copernicus Climate Change Service (C3S) tarafından geliştirilen ERA5 modeli çıktıları ile (Hersbach, ve diğ., 2018),
- Karadeniz ve Ege denizine yüzeysel akımla ulaşan aylık ortalama tatlusu zaman serileri G-RUN ENSEMBLE modeli çıktıları ile (Ghiggi, ve diğ., 2021)
- Karadeniz ve Ege denizi için 1982-2022 arası deniz yüzeyi sıcaklıklarına ait günlük gözlemler NOAA Fizik Bilimi Laboratuvarı (PSL) tarafından sunulan NOAA Optimum Interpolation SST V2 verileri ile (NOAA PSL, 2022),

- Geleceğe yönelik iklim değişikliği senaryolarına ait zaman serisi ve görseller GCM:CMIP5 çoklu-model topluluğunun IPCC AR5 verisetlerinin RCP4.5 senaryosu çıktıları ile (IPCC, 2022)

hesaplanarak bu bölümde sunulmuştur.

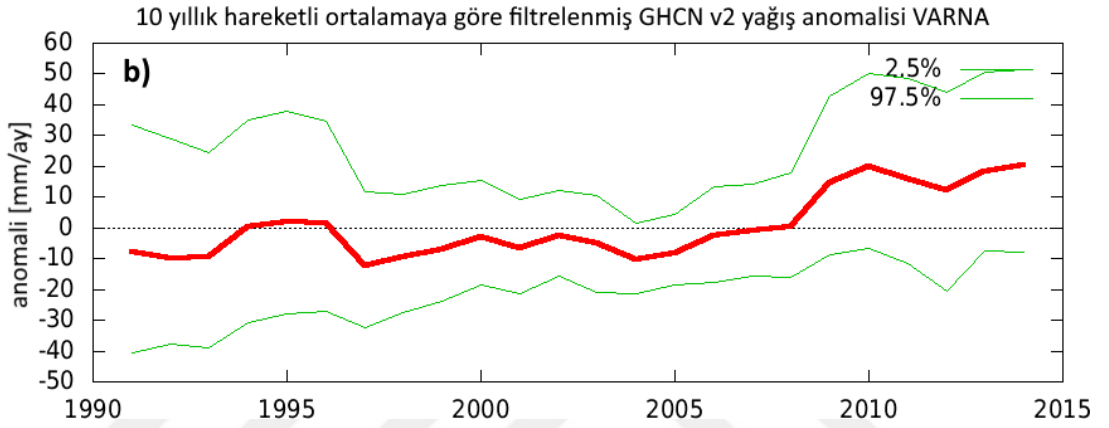
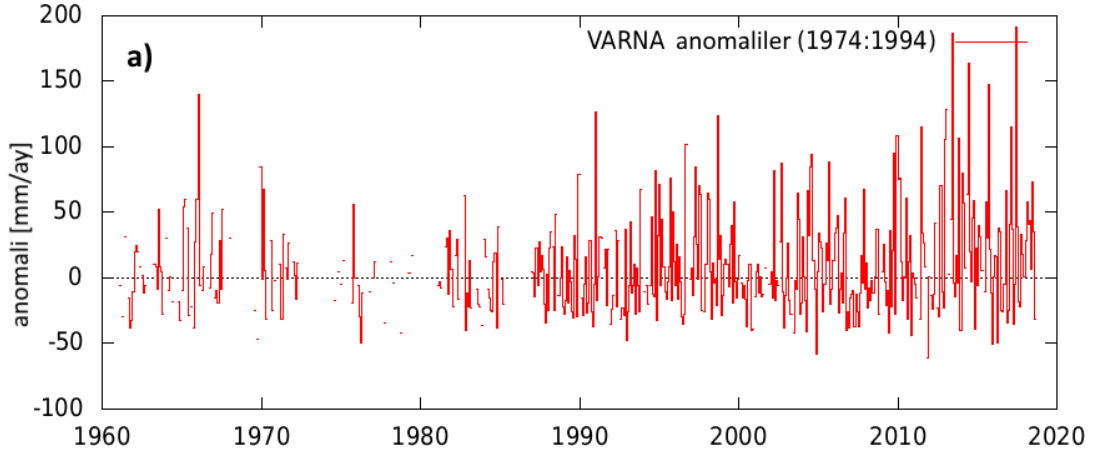
4.1 İstasyonlar Bazında Yapılan İncelemeler

Varna istasyonu için elde edilen yağış verileri 1961-2018 yılları arasında kapsamakta olup aylık ortalamaların ham zaman serisi ve mevsimsellik bileşeni ayrı ayrı sunulmuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Varna istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

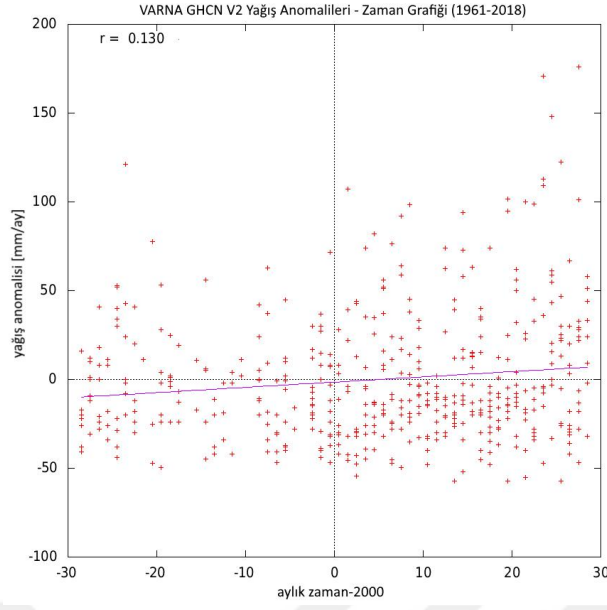
Ham verilerin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.2’de verilmiştir.



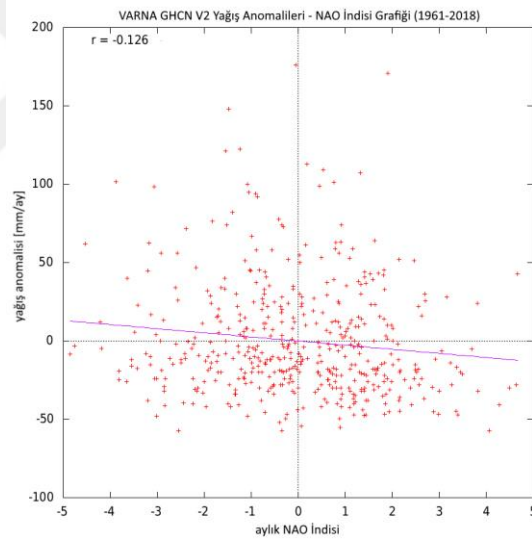
Şekil 4.2 : Varna istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı ($p = 0,0044$), pozitif yönlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Tespit edilen pozitif eğilime en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-1,49+0,3x$ şeklinde ortaya çıkmıştır (Şekil 4.3).

Aylık ortalamaların NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı ($p = 0,0059$), ancak negatif yönlü bir korelasyonun varlığı görülmektedir (Şekil 4.4). Tespit edilen negatif eğilime en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,05-2,63x$ olarak belirlenmiştir.

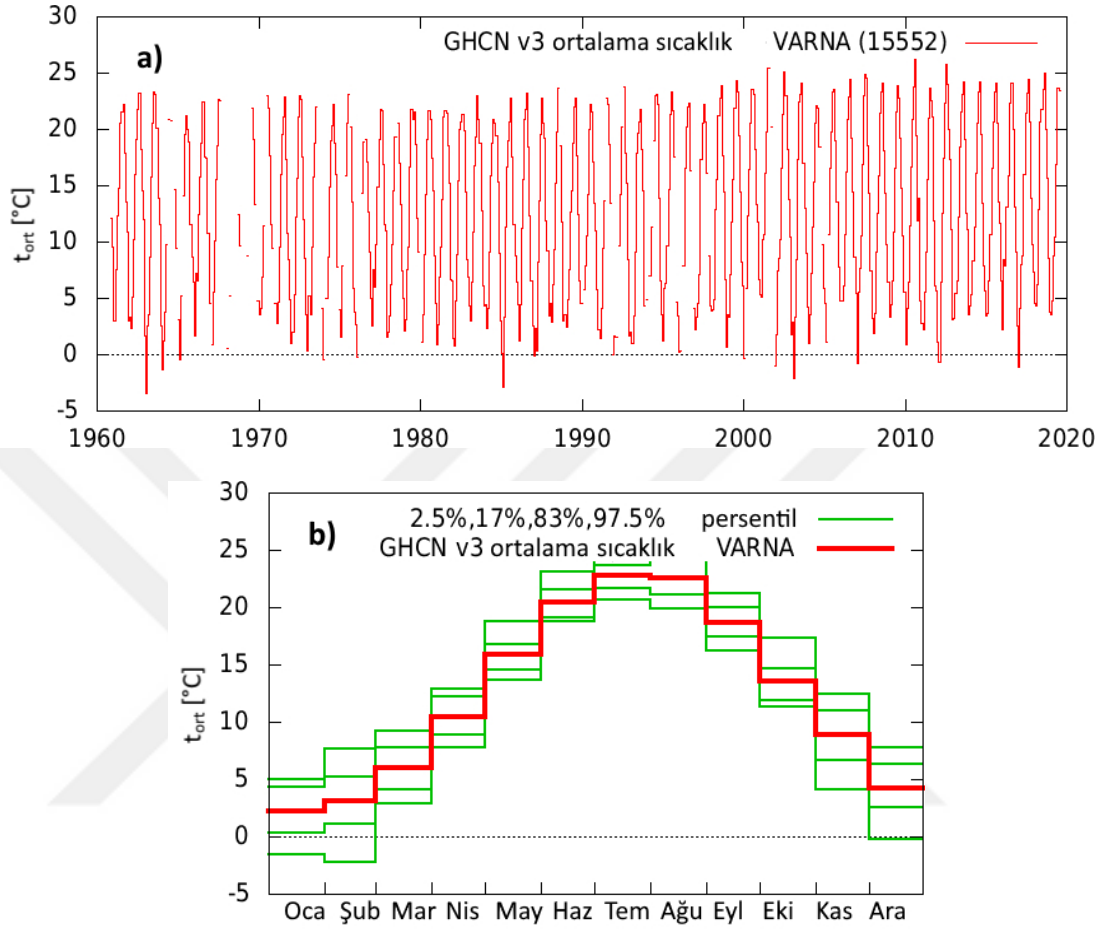


Şekil 4.3 : Varna istasyonu aylık ortalama yağış verisinde tespit edilen eğilim.



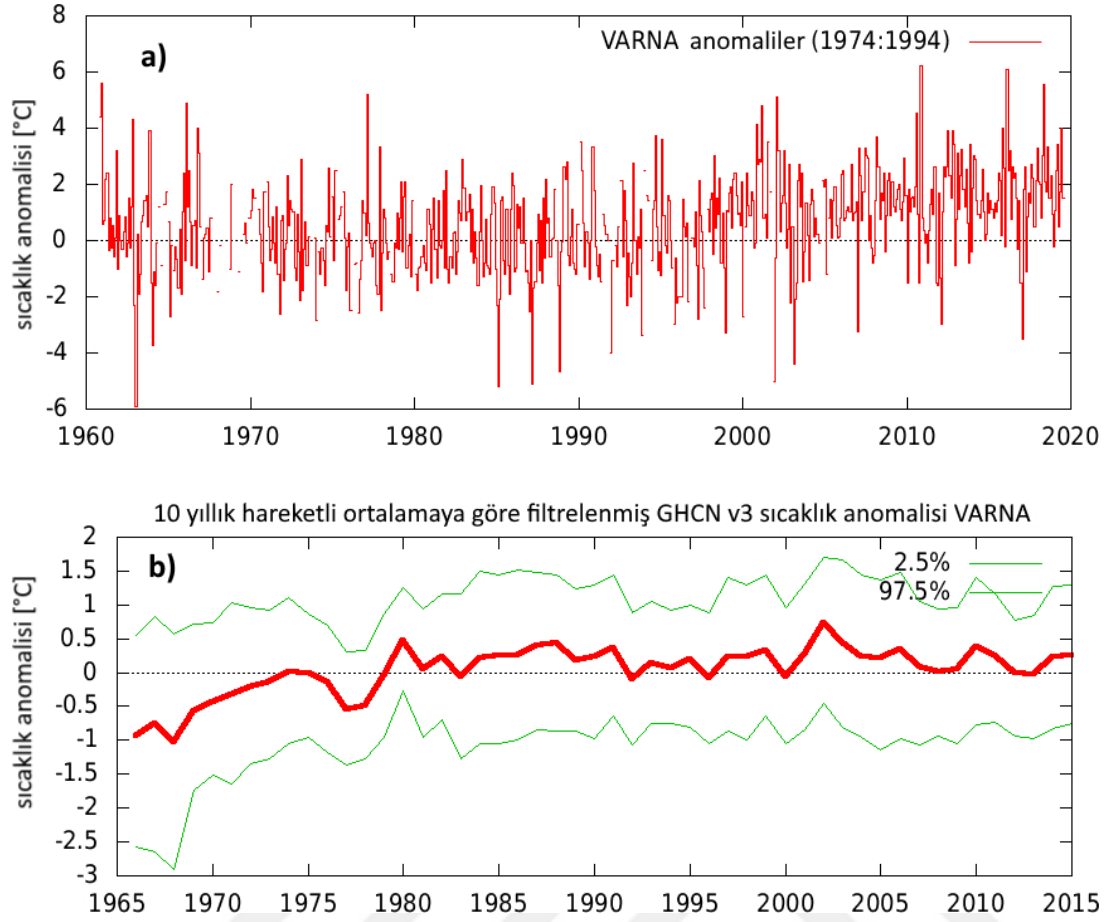
Şekil 4.4 : Varna istasyonu aylık ortalama yağışların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

Varna istasyonu için elde edilen sıcaklık verileri 1960-2019 aralığını kapsamakta olup aylık ortalamaların ham zaman serisi ve mevsimsellik bileşenleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Varna istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

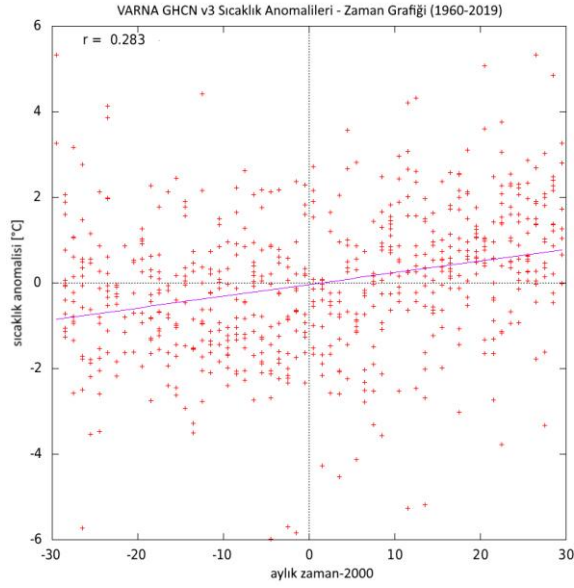
Ham verilerin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Varna istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (anomalı); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

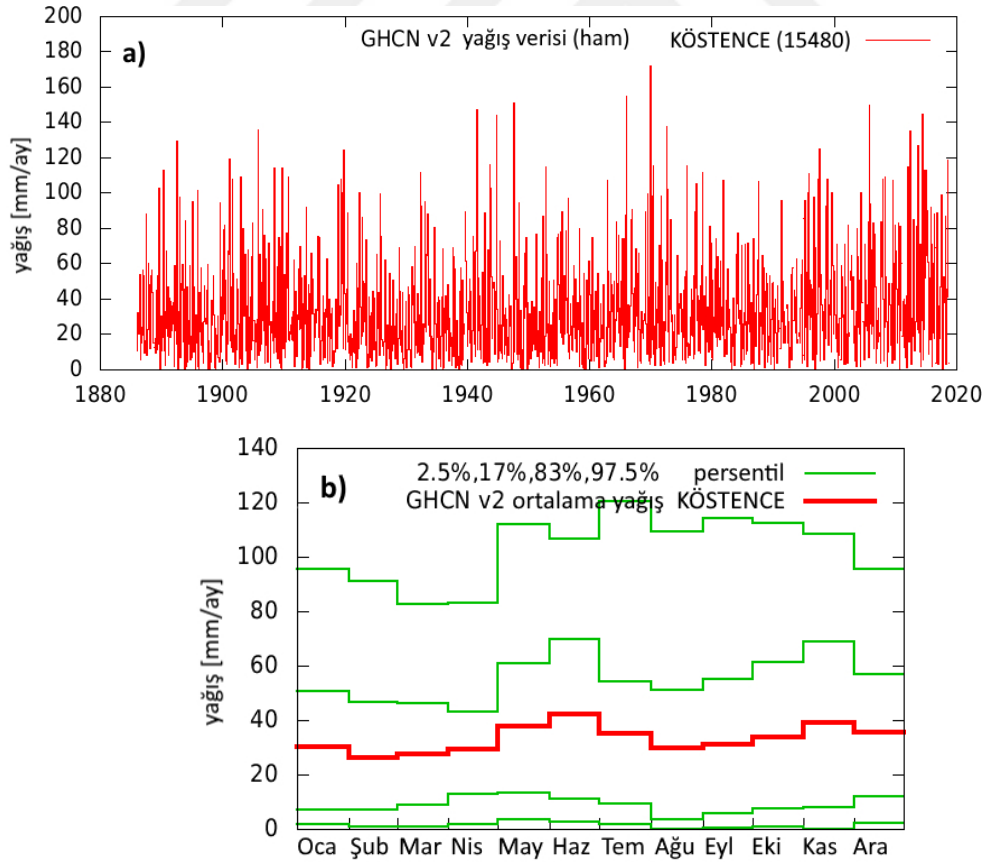
Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 10^{-4}$), pozitif yönlü bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.7). En küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,04+0,03x$ şeklinde ortaya çıkmıştır.

Aylık ortalama sıcaklık anomalilerinin NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir ($p = 0,70$).



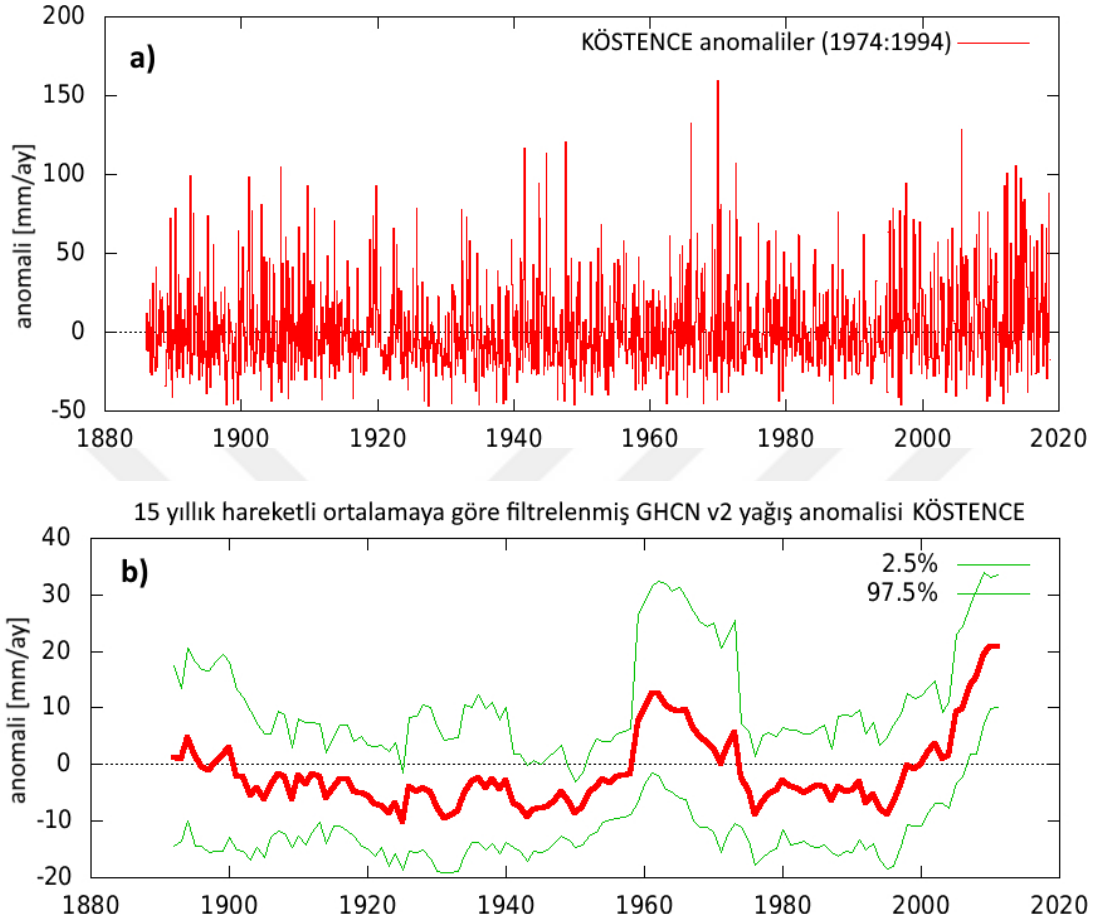
Şekil 4.7 : Varna istasyonu aylık ortalama sıcaklık verisinde tespit edilen eğilim.

Köstence istasyonu için elde edilen yağış verileri 1886-2018 yılları arasında kapsamakta olup aylık ortalamalara ait ham zaman serisi ve mevsimsellik bileşeni Şekil 4.8’de sunulmuştur.



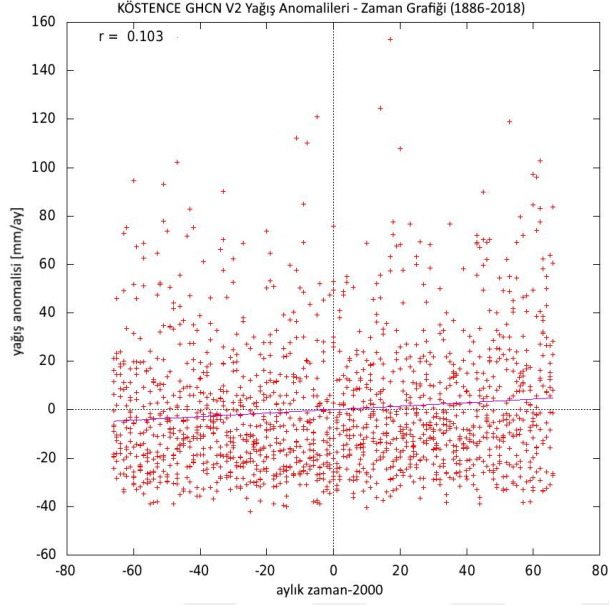
Şekil 4.8 : Köstence istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

Ortalama yağışlara ait ham verilerin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.9'da verilmiştir.



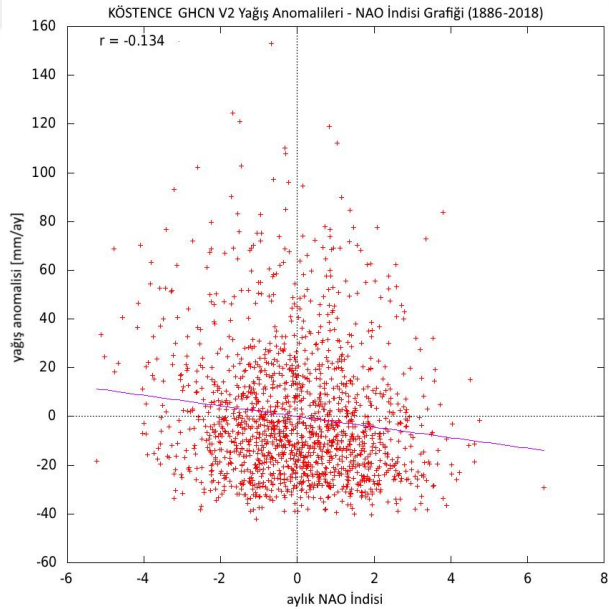
Şekil 4.9 : Köstence istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 10^{-4}$), pozitif yönlü bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.10). Tespit edilen pozitif eğilime en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $0,04+0,07x$ şeklinde ortaya çıkmıştır.



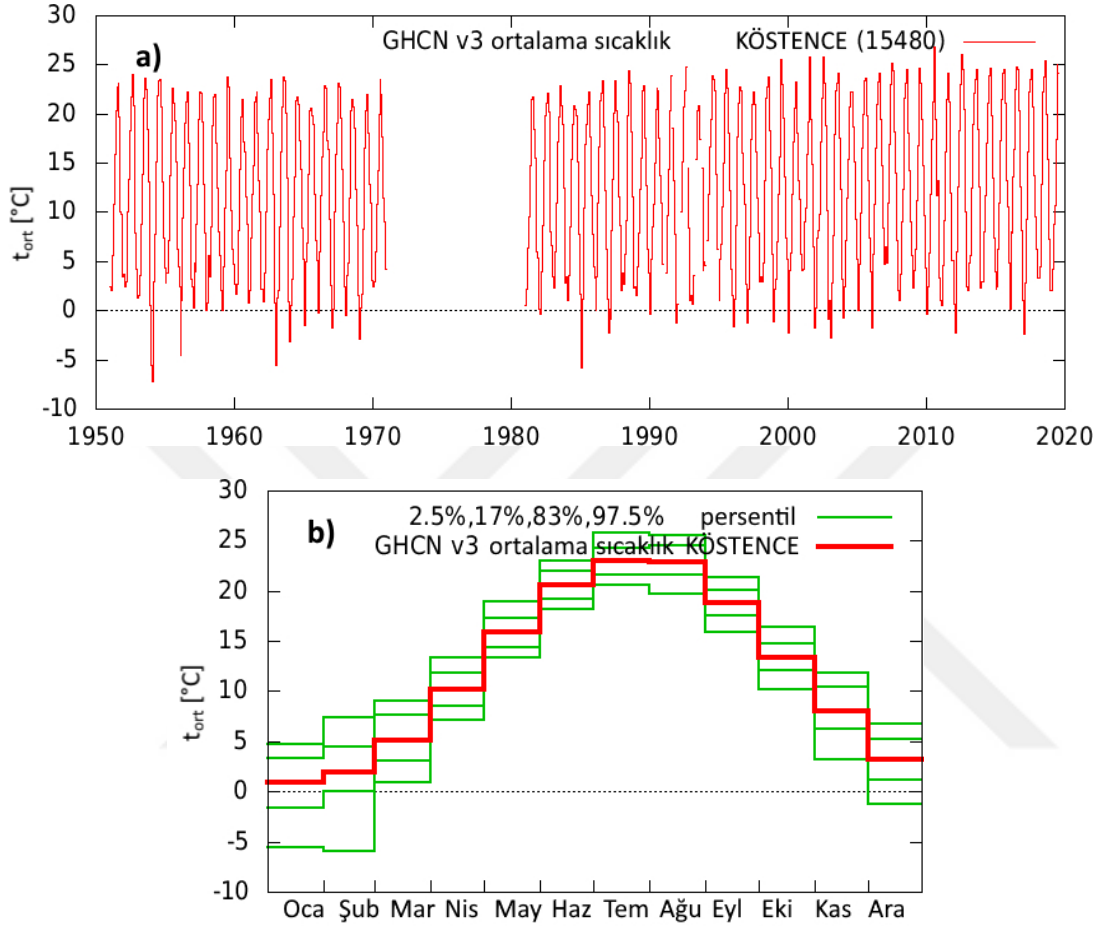
Şekil 4.10 : Köstence istasyonu aylık ortalama yağış verisinde tespit edilen eğilim.

Aylık ortalamaların NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı ($p < 10^{-4}$), ancak negatif yönlü bir korelasyonun varlığı görülmektedir (Şekil 4.11). Tespit edilen negatif eğilime en küçük kareler yöntemiyle uydurulan eğrinin denklemi $-0,0007-2,17x$ olarak belirlenmiştir.



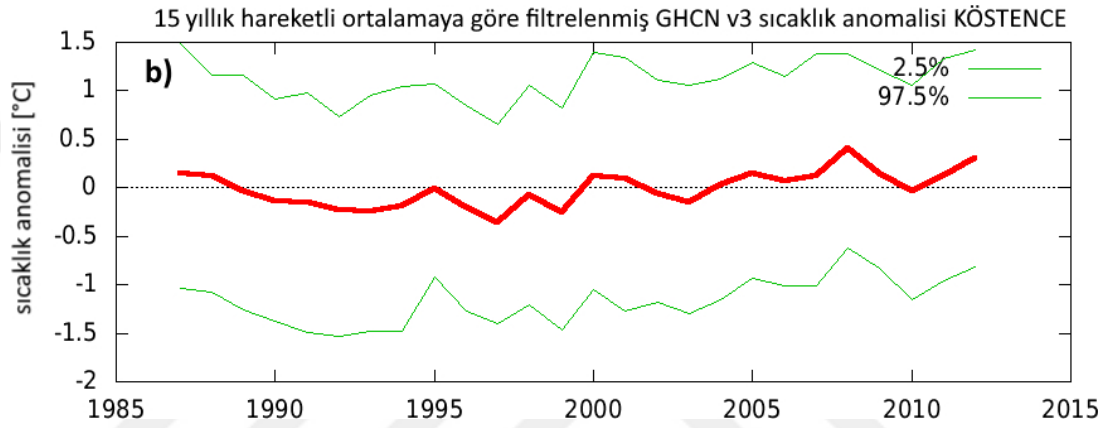
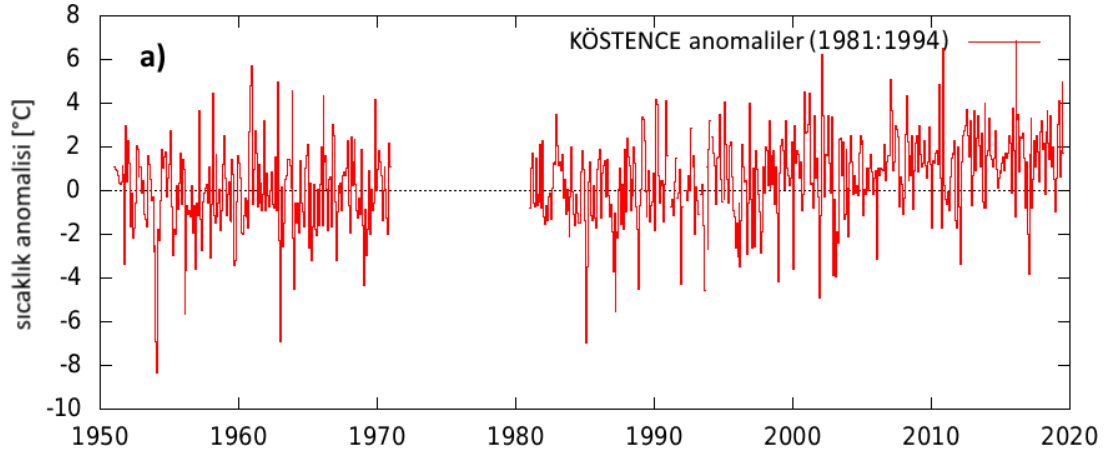
Şekil 4.11 : Köstence istasyonu aylık ortalama yağışların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

Köstence istasyonu için elde edilen aylık ortalama sıcaklık verileri 1951-2019 aralığını kapsamakta olup ham zaman serisi ve aylık ortalamaya ait mevsimsellik bileşeni grafikleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Veri setinde yaklaşık olarak 10 yıllık (1970-1980) gözlem eksikliği vardır.



Şekil 4.12 : Köstence istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

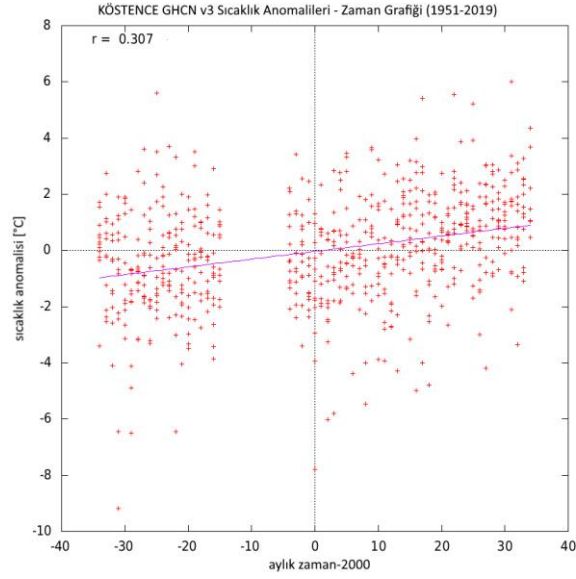
Aylık ortalama ham sıcaklık verilerininin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.13’te verilmiştir.



Şekil 4.13 : Köstence istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalama göre filtrelenmiş zaman serisi.

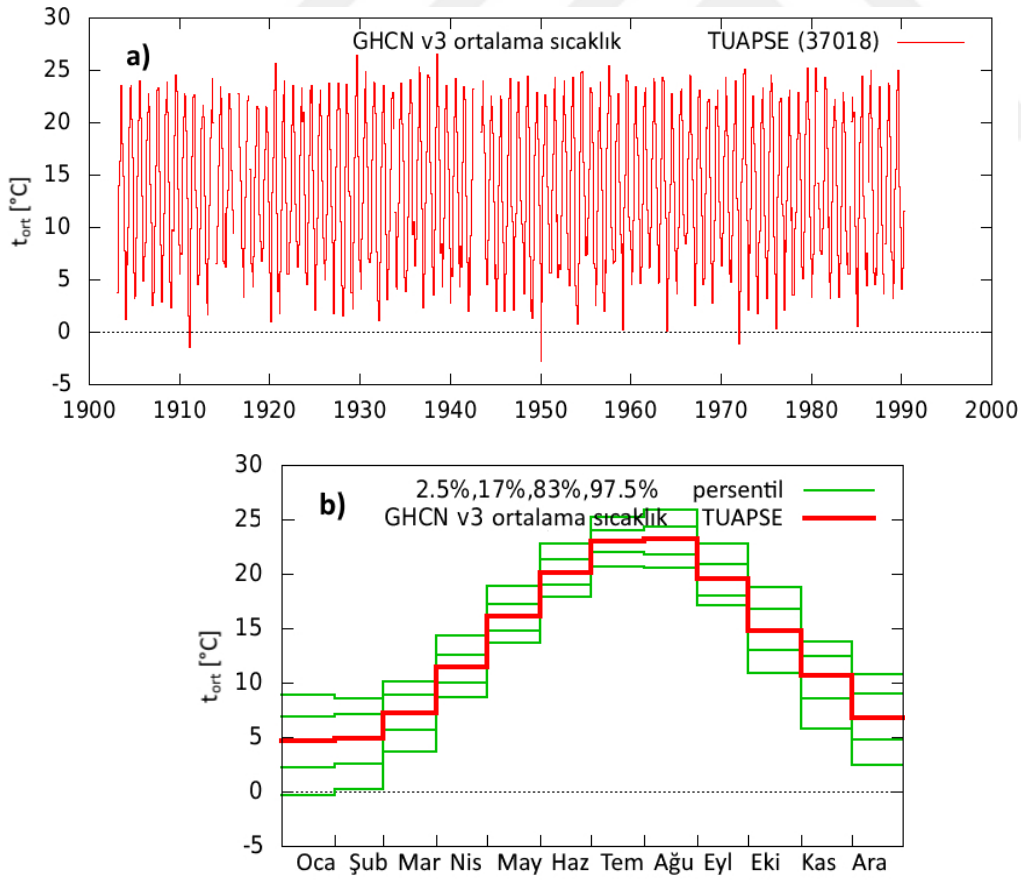
Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 10^{-4}$), pozitif yönlü bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.14). En küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,04+0,03x$ şeklinde ortaya çıkmıştır.

Aylık ortalama sıcaklık anomalilerinin NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir ($p = 0,11$).



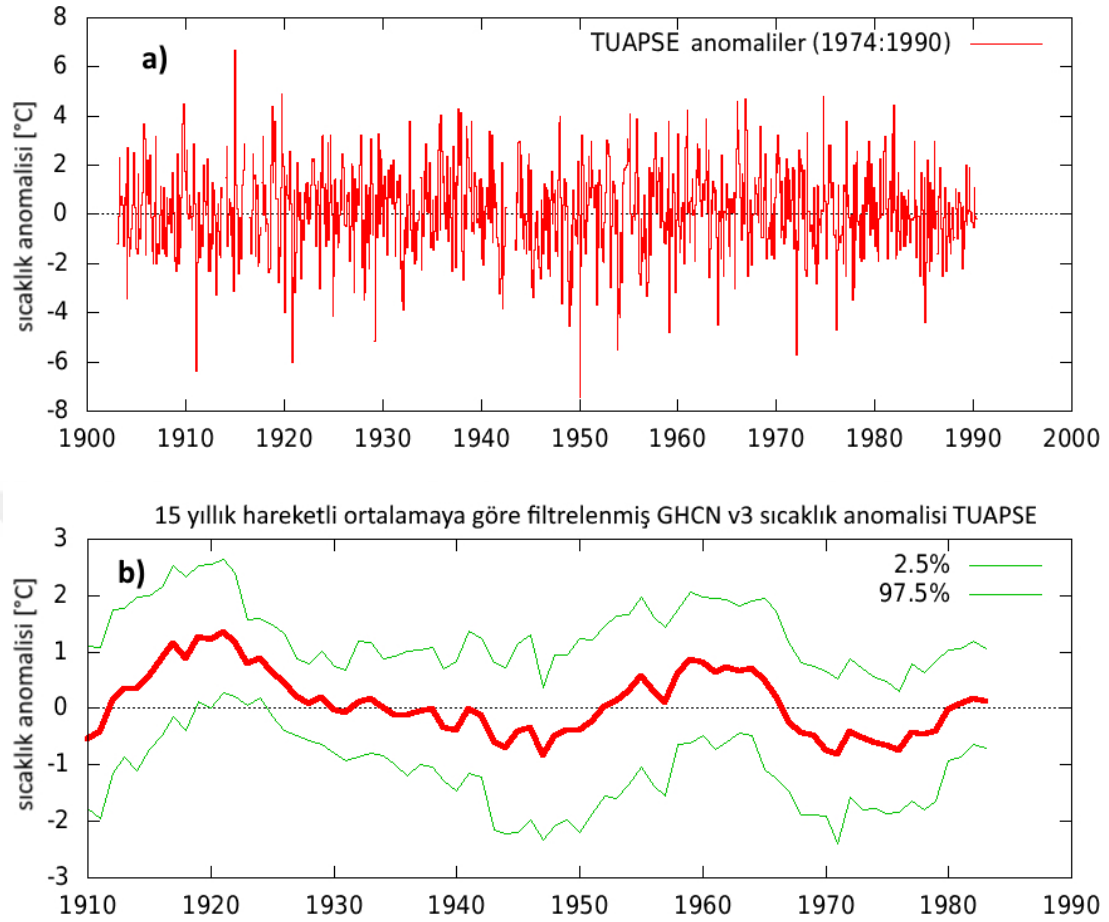
Şekil 4.14 : Köstence istasyonu aylık ortalama sıcaklık verisinde tespit edilen eğilim.

Tuapse meteorolojik gözlem istasyonu için yağış verisi kayıtları elde edilememiştir. Elde edilen sıcaklık verileri ise 1903-1990 aralığını kapsamakta olup aylık ortalamalara ait zaman serisi ve mevsimsellik bileşeni Şekil 4.15’te verilmiştir.



Şekil 4.15 : Tuapse istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

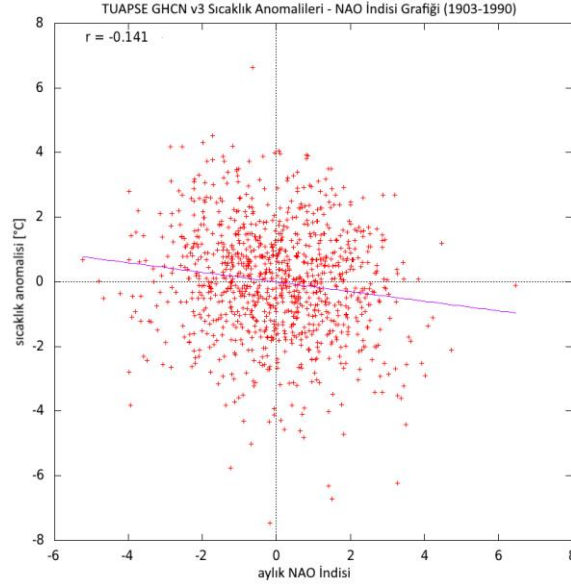
Ham sıcaklık verilerinin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 : Tuapse istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

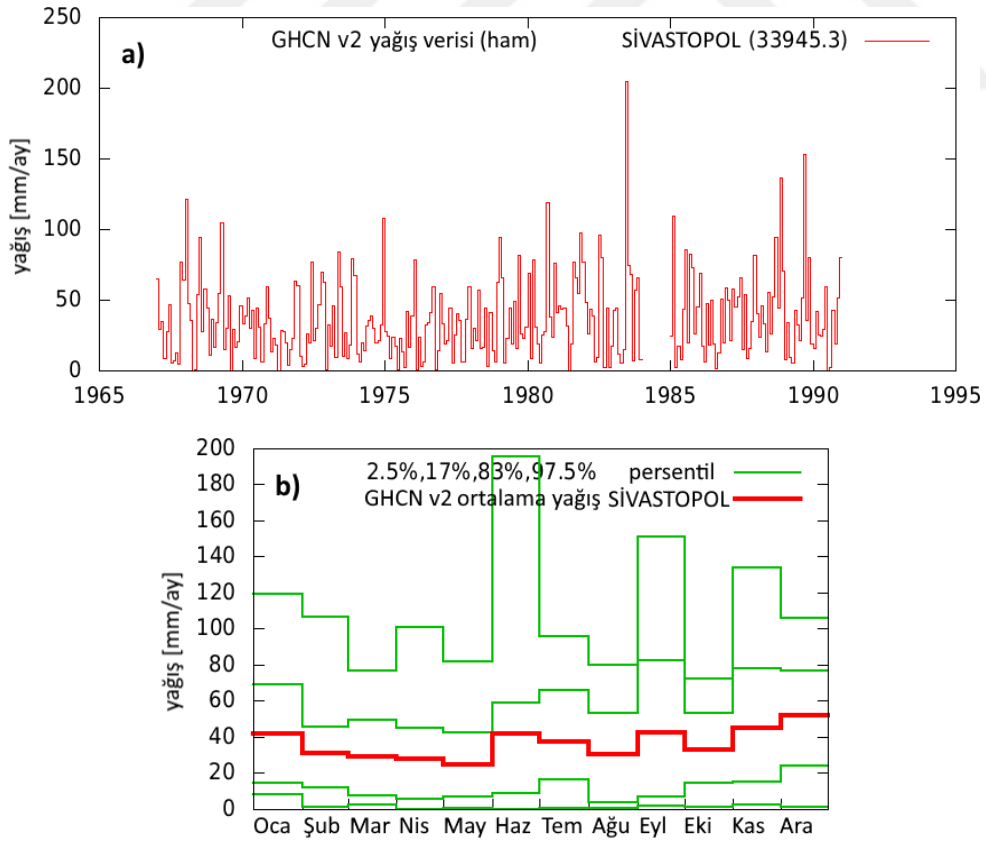
Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir.

Aylık ortalama sıcaklık anomalilerinin NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı negatif bir korelasyon bulunmuştur ($p < 10^{-4}$) (Şekil 4.17). En küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,001-0,15x$ şeklinde ortaya çıkmıştır.



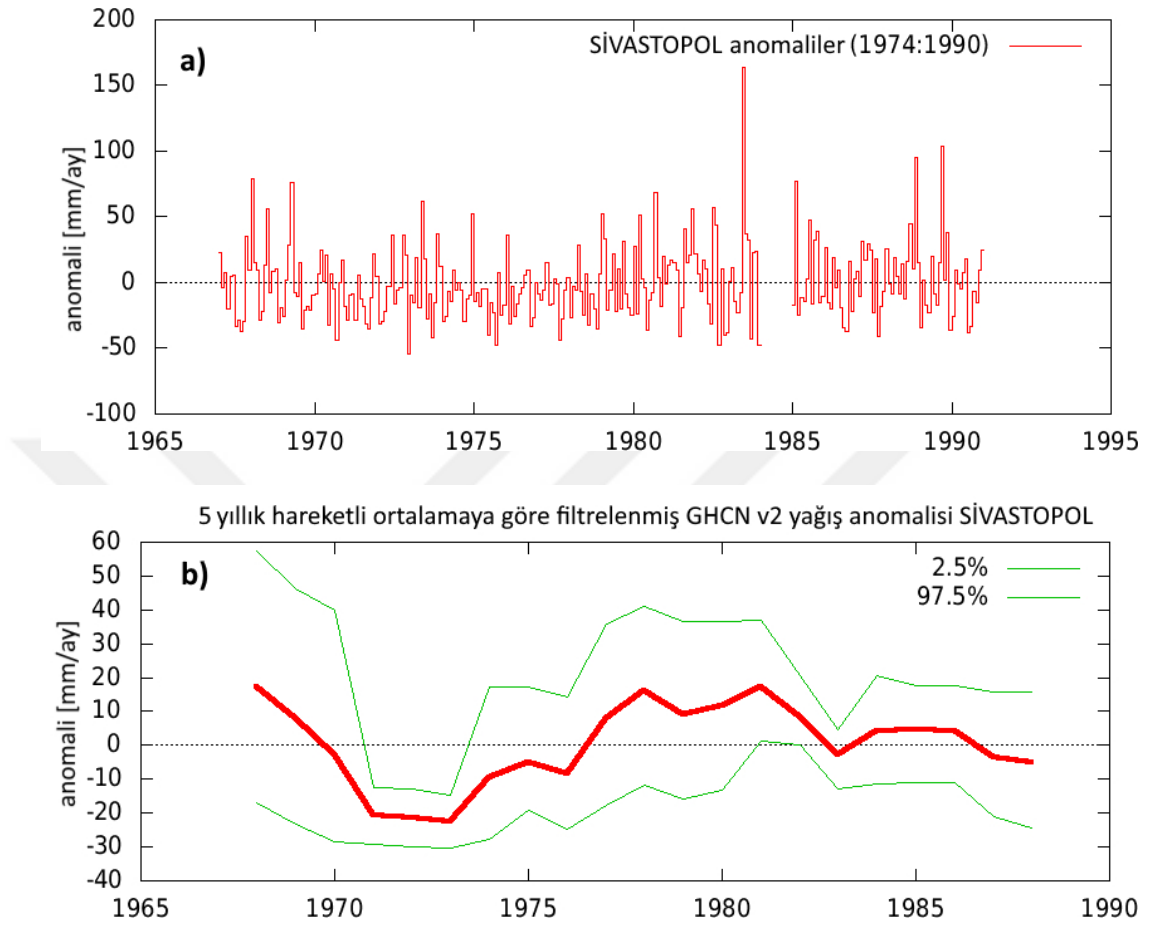
Şekil 4.17 : Tupase istasyonu aylık ortalama sıcaklıkların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

Sivastopol istasyonu için sıcaklık verilerine ait herhangi bir kayıt bulunamamıştır. Elde edilen yağış verileri 1967-1990 yılları arasında kapsamakta olup aylık ortalamaların zaman serisi ve mevsimsellik bileşeni Şekil 4.18’de sunulmuştur.



Şekil 4.18 : Sivastopol istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

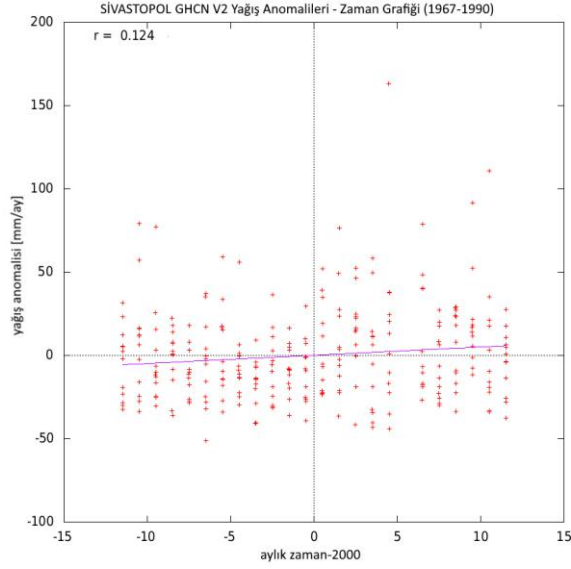
Sivastopol istasyonu ham yağış verilerinin 1974-1990 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 5 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19 : Sivastopol istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 5 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

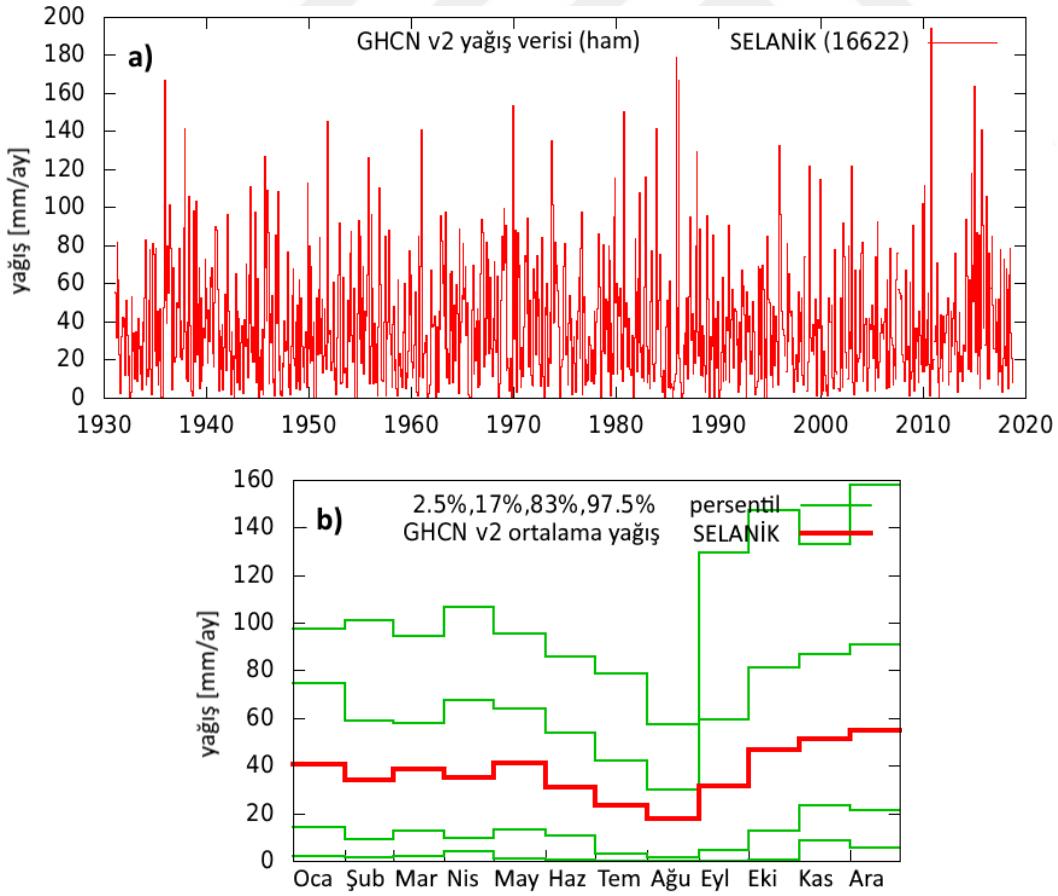
Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı ($p = 0,04$), pozitif yönlü bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.20). En küçük kareler methoduyla uydurulan eğrinin denklemi $0,12+0,5x$ şeklinde ortaya çıkmıştır.

Aylık ortalamaların NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir ($p = 0,55$).



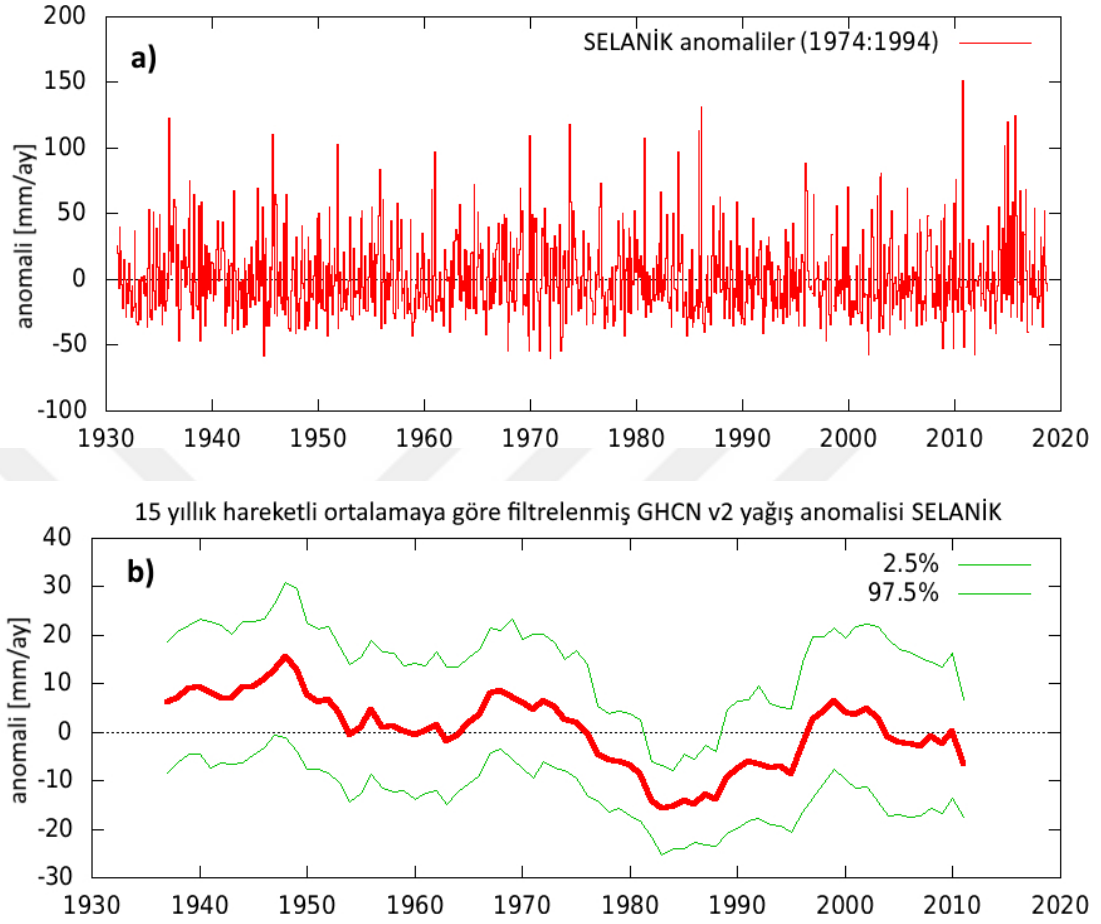
Şekil 4.20 : Sivastopol istasyonu aylık ortalama yağış verisinde tespit edilen eğilim.

Selanik istasyonu için elde edilen yağış verileri 1931-2018 yılları arasında kapsamakta olup ham aylık ortalamaların zaman serisi ve mevsimsellik bileşeni Şekil 4.21’de sunulmuştur.



Şekil 4.21 : Selanik istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

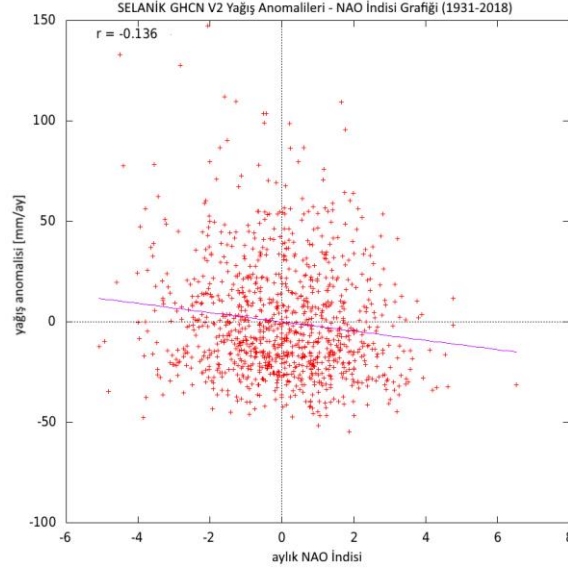
Selanik aylık ortalama yağış verilerinin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22 : Selanik istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

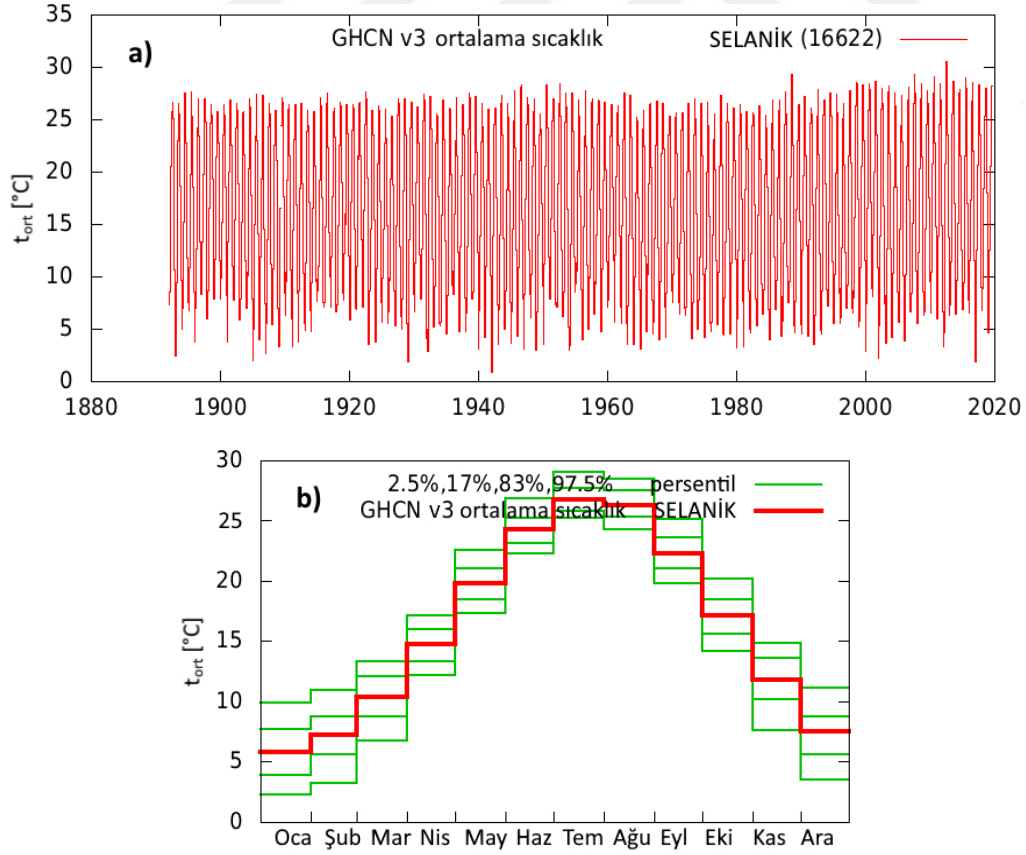
Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir ($p = 0,91$). İncelenen zaman periyodunda yağışın zamana bağlı olarak artış ya da azalış gösteren herhangi bir eğilimi bulunmamaktadır.

Aylık ortalamaların NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı ($p < 10^{-4}$), negatif yönlü bir korelasyonun varlığı görülmektedir (Şekil 4.23). Tespit edilen negatif eğilime en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,006-2,30x$ olarak belirlenmiştir.



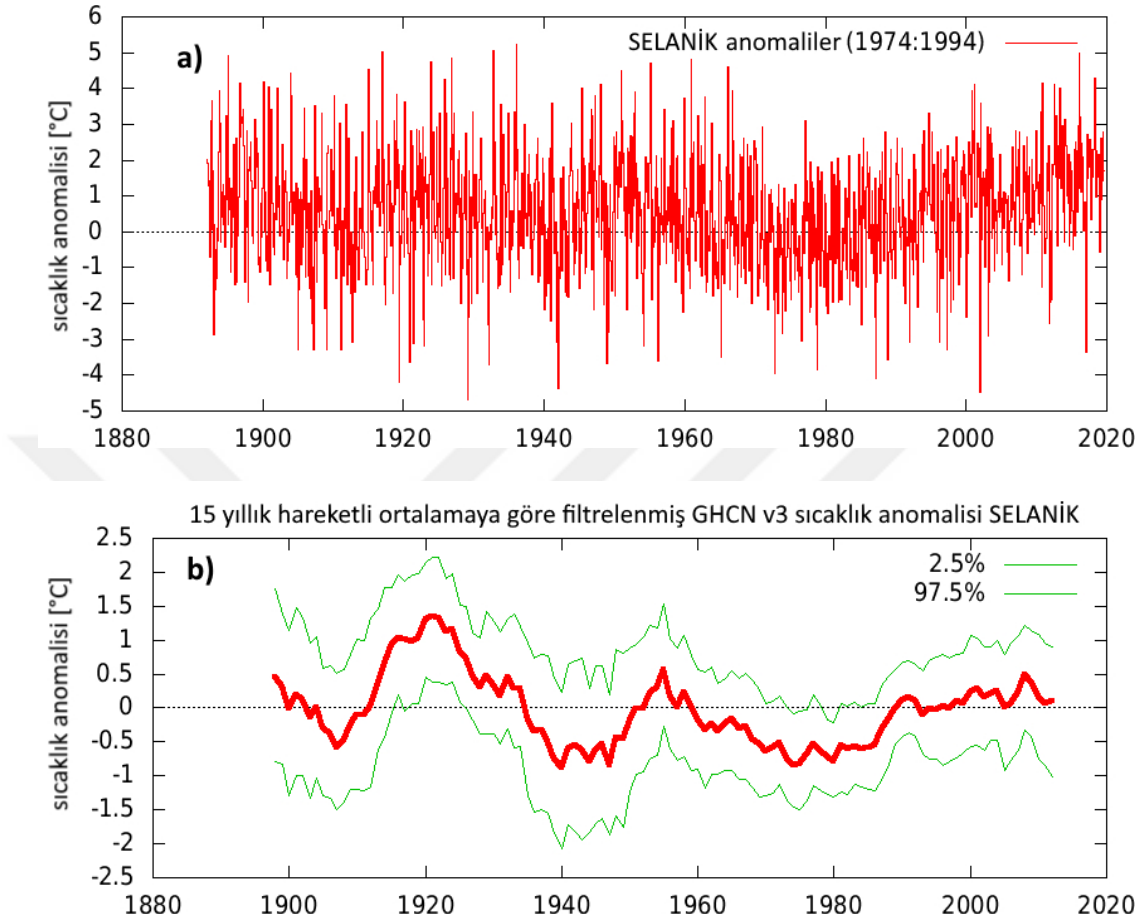
Şekil 4.23 : Selanik istasyonu aylık ortalama yağışların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

Selanik istasyonu için elde edilen ham aylık ortalama sıcaklık verileri 1892-2019 aralığını kapsamakta olup zaman serisi ve mevsimsellik bileşeni Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24 : Selanik istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

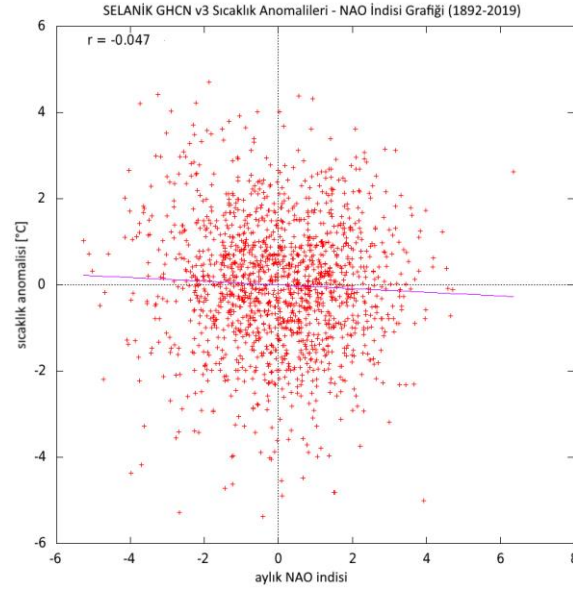
Selanik ham sıcaklık verilerinin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25 : Selanik istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

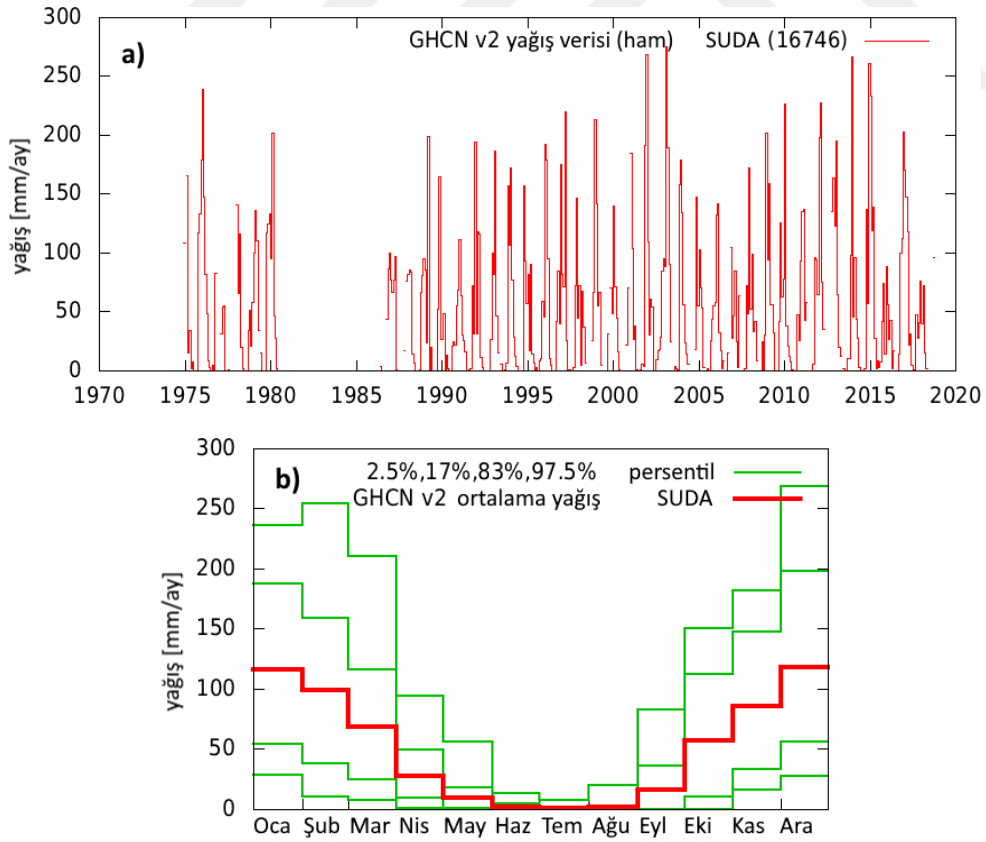
Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir ($p = 0,80$). İncelenen zaman periyodunda sıcaklığın zamana bağlı olarak artış ya da azalış gösteren herhangi bir eğilimi bulunmamaktadır.

Aylık ortalamaların NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı ($p = 0,06$), negatif yönlü zayıf bir korelasyonun varlığı görülmektedir (Şekil 4.26). Tespit edilen negatif eğilime en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,00009-0,04x$ olarak belirlenmiştir.



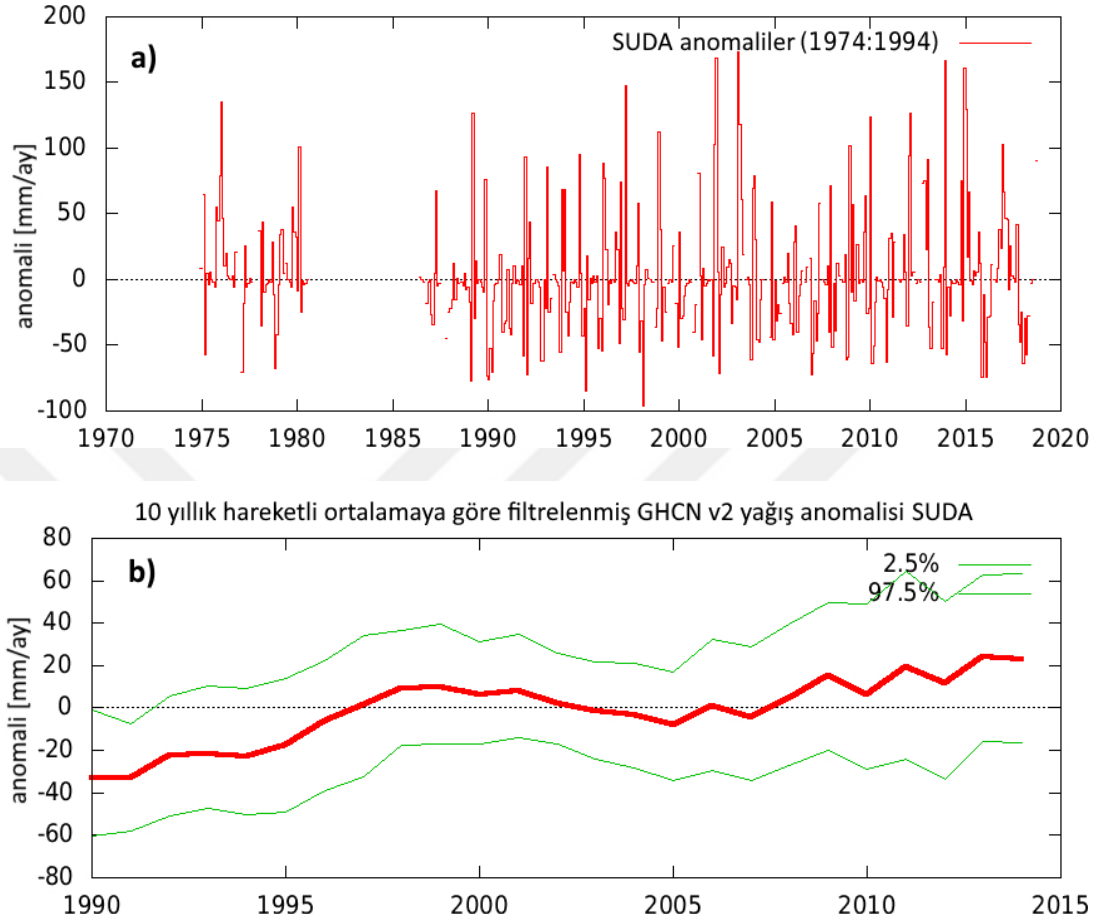
Şekil 4.26 : Selanik istasyonu aylık ortalama sıcaklıkların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

Suda istasyonu için elde edilen ham yağış verileri 1974-2018 yılları arasında kapsamakta olup aylık ortalamalara ait zaman serisi ve mevsimsellik bileşeni Şekil 4.27’de sunulmuştur.



Şekil 4.27 : Suda istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

Suda ham yağış verilerinin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.28'de verilmiştir.



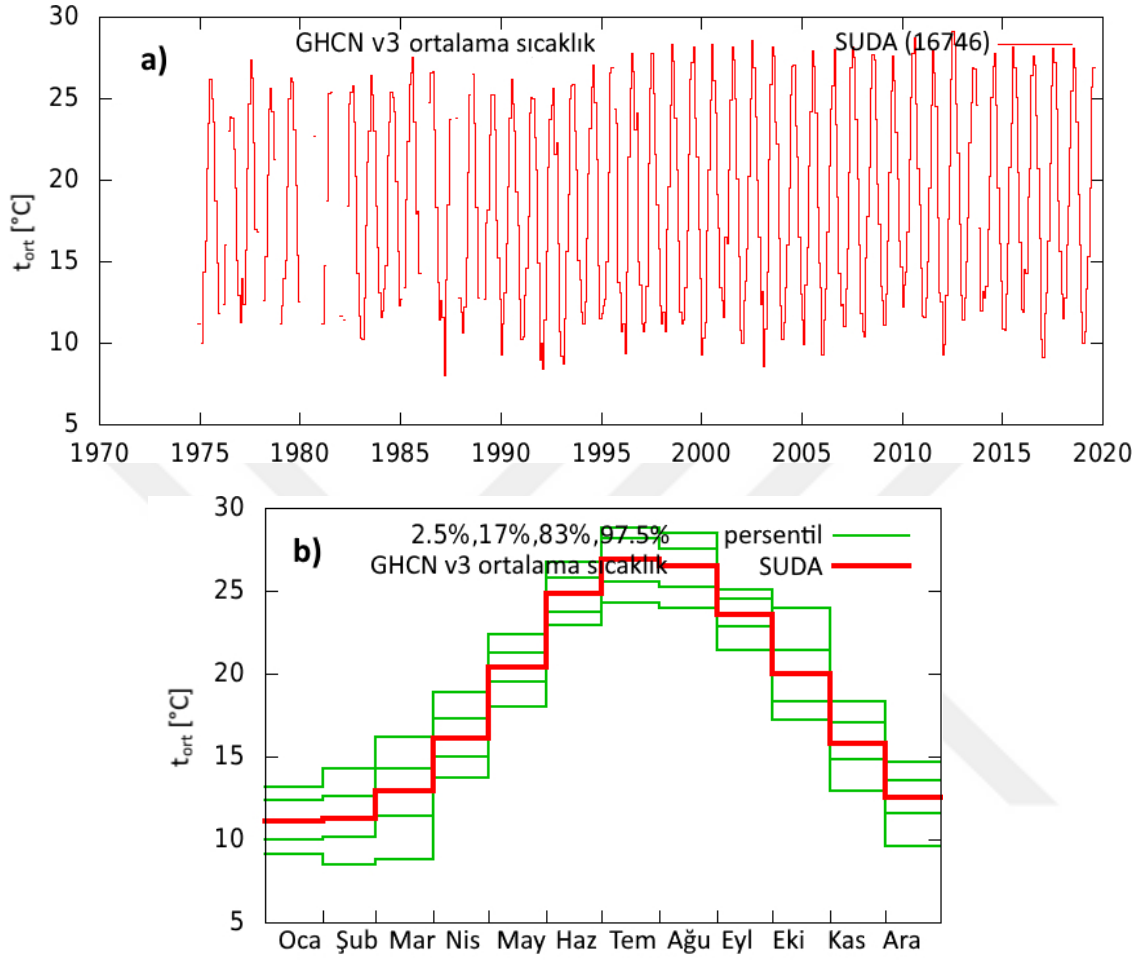
Şekil 4.28 : Suda istasyonu a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir ($p = 0,66$).

Aylık ortalamaların NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde de istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon görülmemektedir ($p = 0,97$).

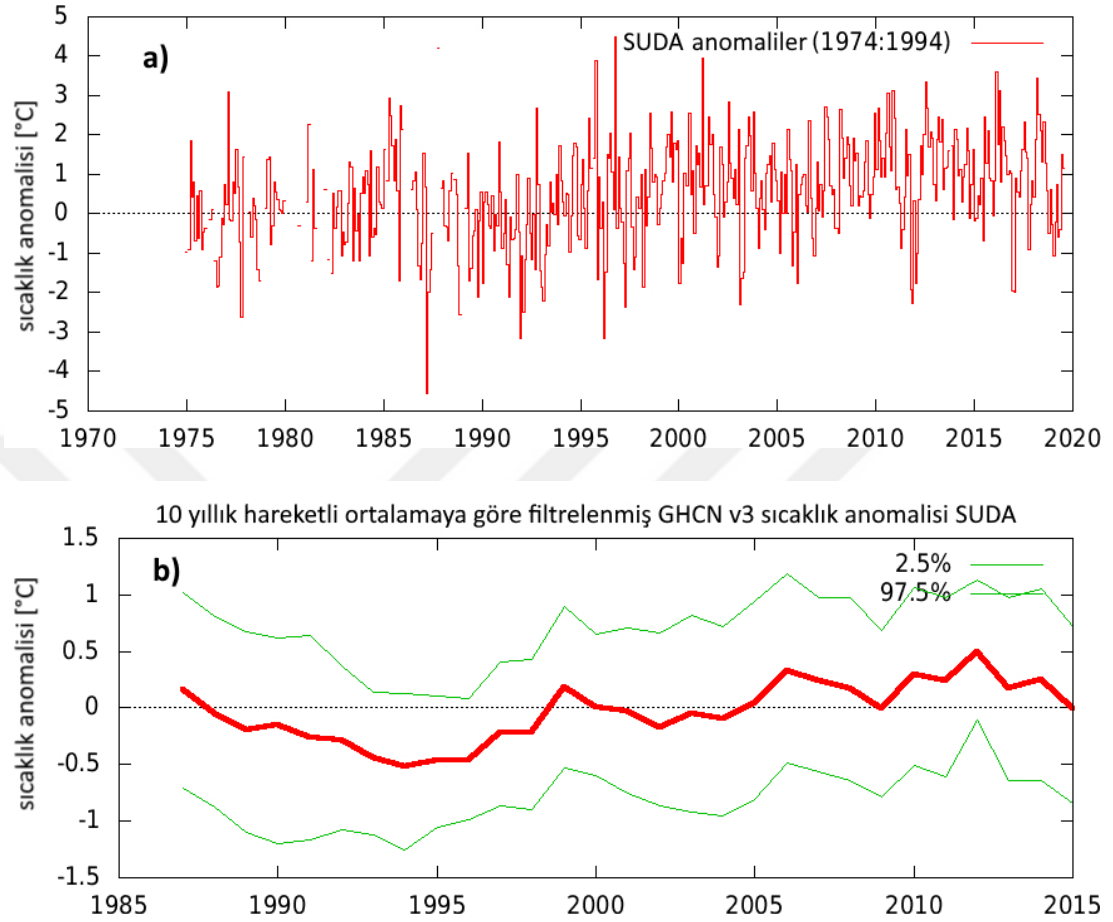
İncelenen zaman periyodunda yağışın zamana ya da NAO İndisi'ne bağlı olarak artış ya da azalış gösteren herhangi bir eğilimi bulunmamaktadır.

Suda istasyonu için elde edilen ham sıcaklık verileri ise 1974-2019 aralığını kapsamakta olup aylık ortalamalara ait zaman serisi ve aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni Şekil 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.29 : Suda istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

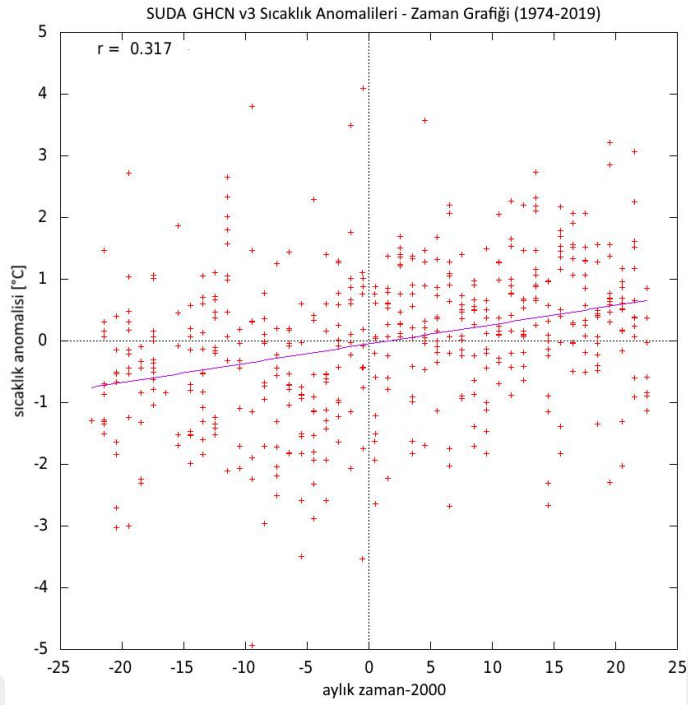
Suda ham sıcaklık verilerinin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.30'da verilmiştir.



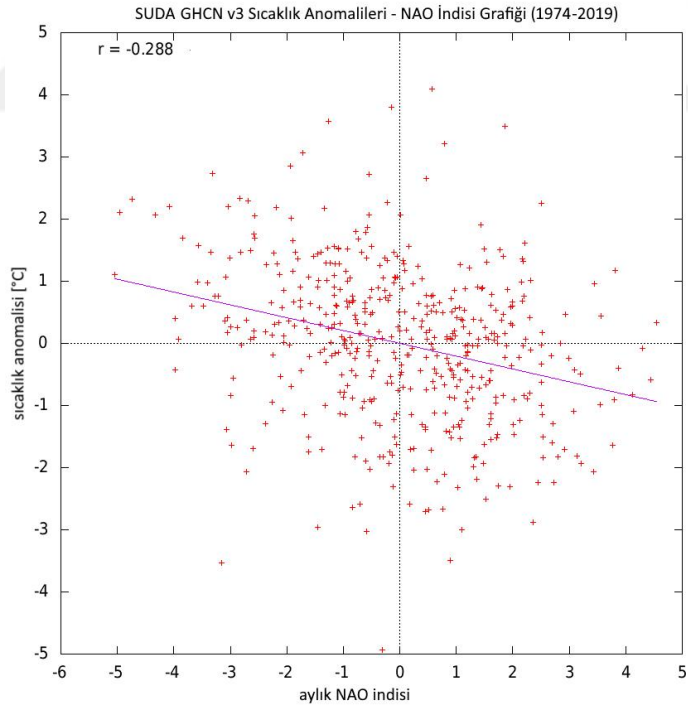
Şekil 4.30 : Suda istasyonu a) aylık ortalama sıcaklık zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 10^{-4}$), pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.31). Tespit edilen pozitif eğilime en küçük kareler methoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,05+0,03x$ olarak belirlenmiştir.

Aylık ortalamaların NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde, yine istatistiksel olarak anlamlı ($p < 10^{-4}$), negatif yönlü bir korelasyonun varlığı görülmektedir (Şekil 4.32). Tespit edilen negatif eğilime en küçük kareler methoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,0007-0,21x$ olarak belirlenmiştir.

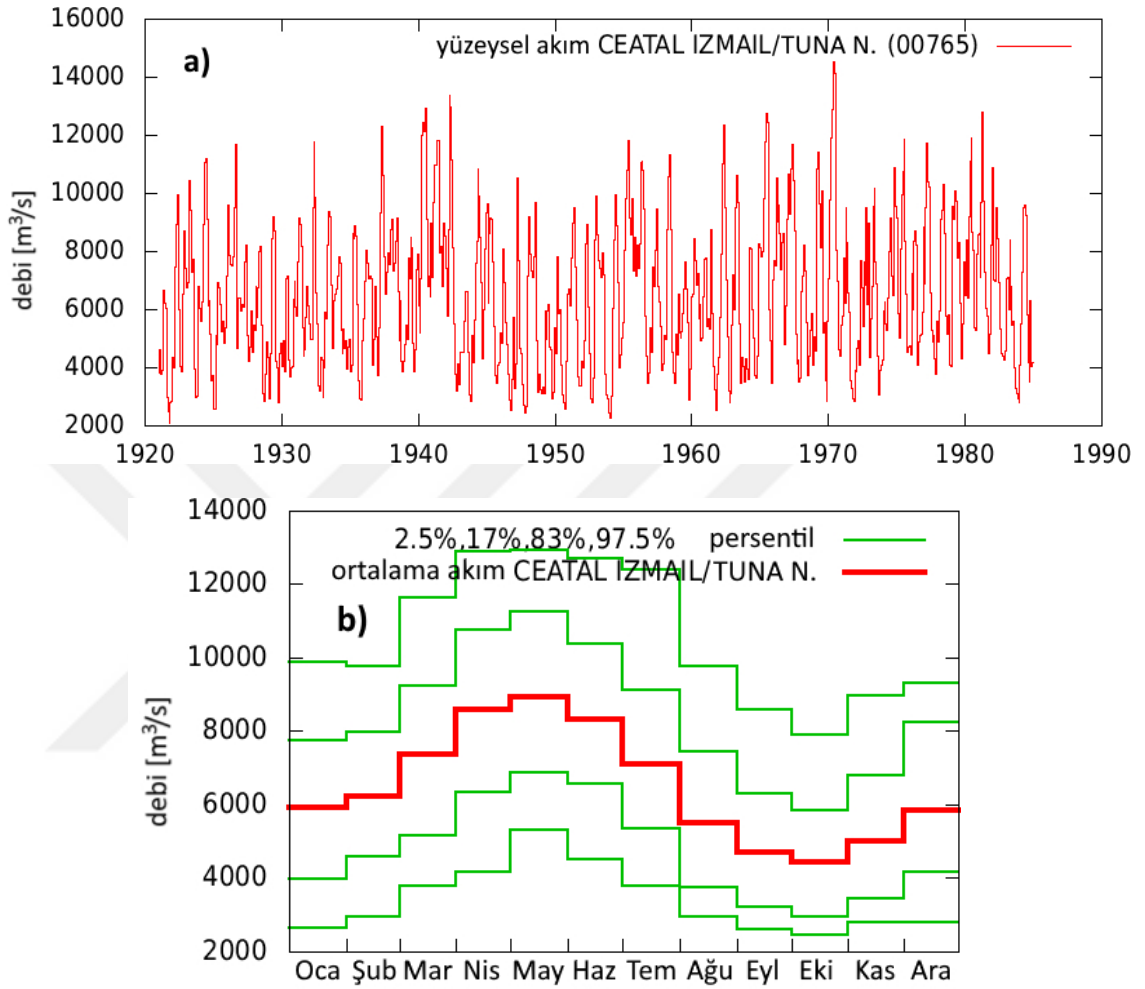


Şekil 4.31 : Suda istasyonu aylık ortalama sıcaklık verisinde tespit edilen eğilim.



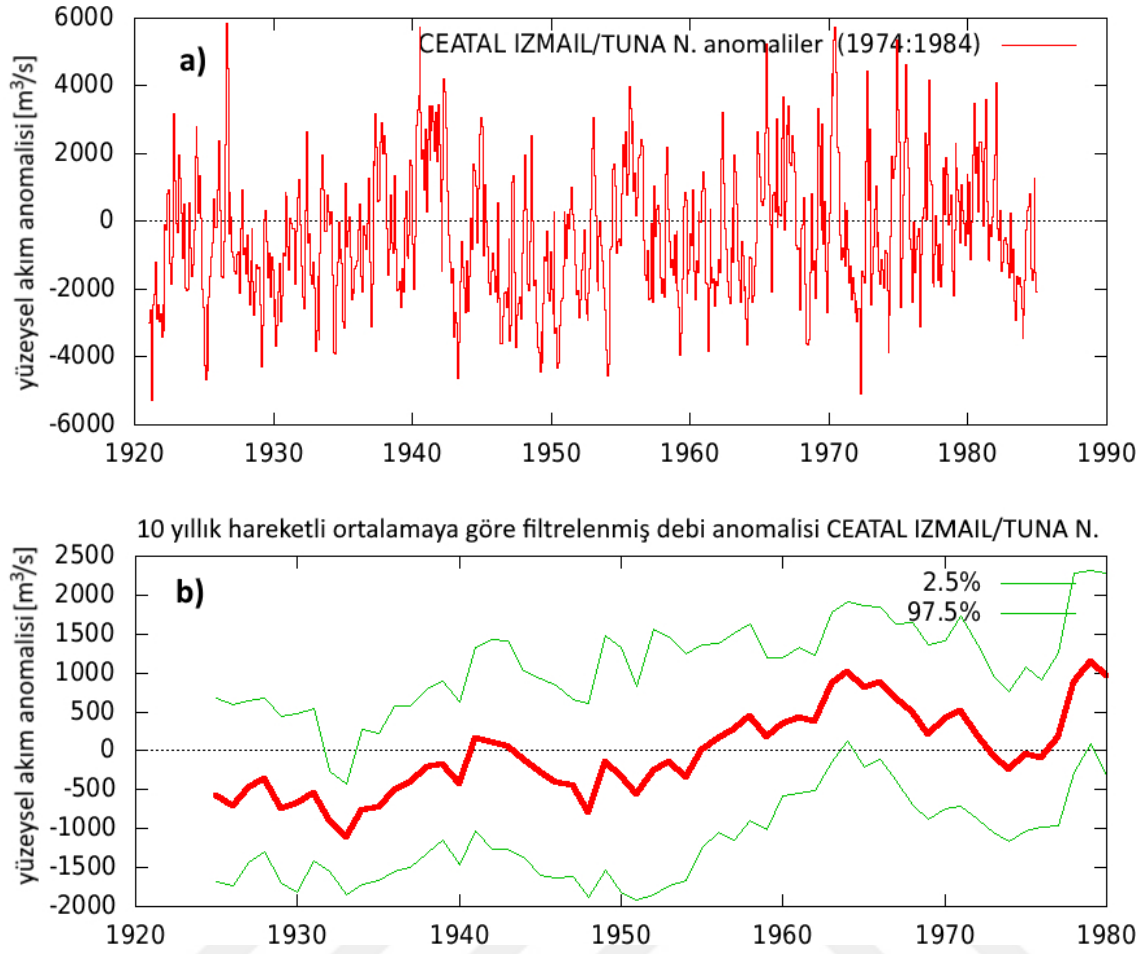
Şekil 4.32 : Suda istasyonu aylık ortalama sıcaklıkların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

Karadeniz'e yüzeysel akımla giren toplam nehir deşarjı miktarının tek başına yaklaşık olarak yarısını meydana getiren Tuna Nehri'ne ait elde edilen uzun yıllar aylık ortalama debi verileri 1921-1984 tarih aralığını kapsamaktadır. Bu verilerin aylık ortalamalarına ait zaman serisi ve mevsimsellik bileşeni Şekil 4.33'te sunulmuştur.



Şekil 4.33 : Ceatal Izmail / Tuna istasyonu a) aylık ortalama debi zaman serisi (ham veri); b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

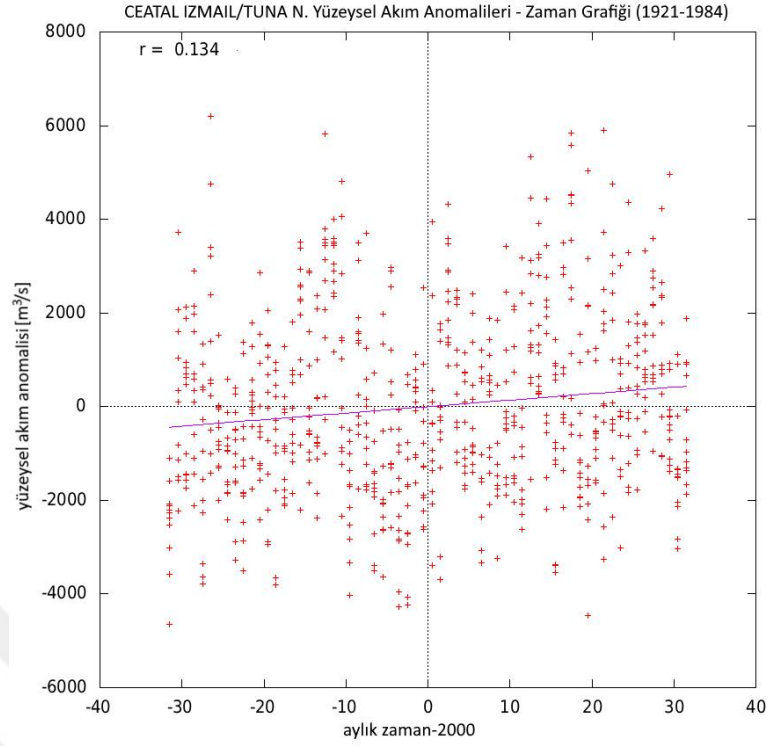
Ham debi verilerininin 1974-1984 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.34 : Ceatal Izmail / Tuna istasyonu a) aylık ortalama debi zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı ($p = 0,03$), pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.35). Tespit edilen pozitif eğilime en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,001+13,85x$ olarak belirlenmiştir.

Aylık ortalamaların NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon belirlenmemiştir ($p = 0,65$).



Şekil 4.35 : Ceatal Izmail / Tuna istasyonu aylık ortalama debi verisinde tespit edilen eğilim.

4.2 Alansal Bazda Yapılan İncelemeler

Karadeniz ve Ege denizinin geneli için yapılan hidrometeorolojik incelemeler için buharlaşma ve yağış zaman serileri ERA5 reanaliz modelinin 2x2 grid çözünürlüklü çıktılarının;

- Karadeniz için boylam = 26.375-42.375, enlem = 40.125-47.125 sınırları;
- Ege denizi için ise boylam = 21.375-27.375, enlem = 34.625-41.125 sınırları

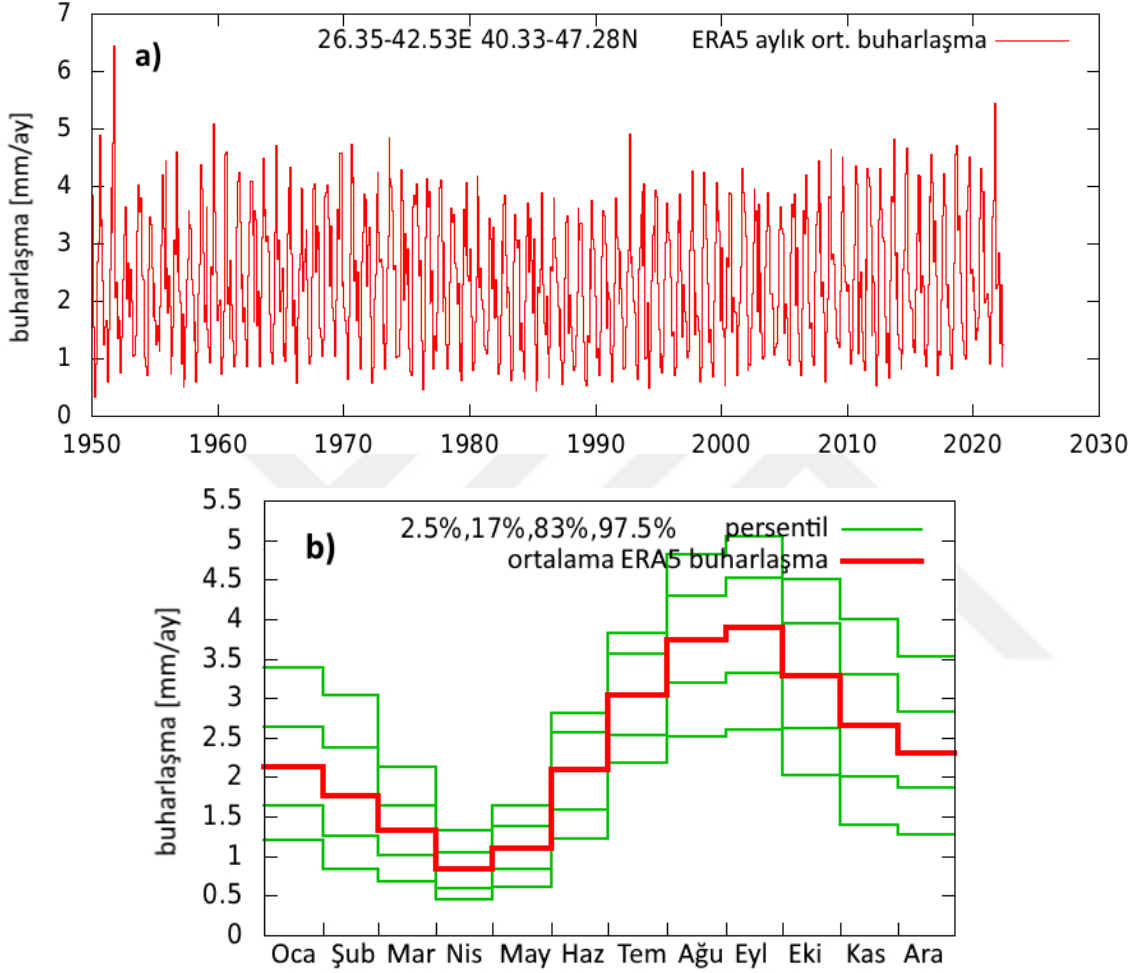
içerisinde kalan alanlar üzerinde hesaplanan ortalamaları zaman serisi haline getirilerek kullanılmıştır.

Yüzeysel akımlar ise yine aynı koordinatlar baz alınarak GRUN modelinden elde edilmiştir. Bu verilerin her iki denize deşarj olan aylık ortalama net nehir akımı girdilerine karşılık geldiği kabul edilmiştir.

4.2.1 Karadeniz Üzerinde Yapılan İncelemeler

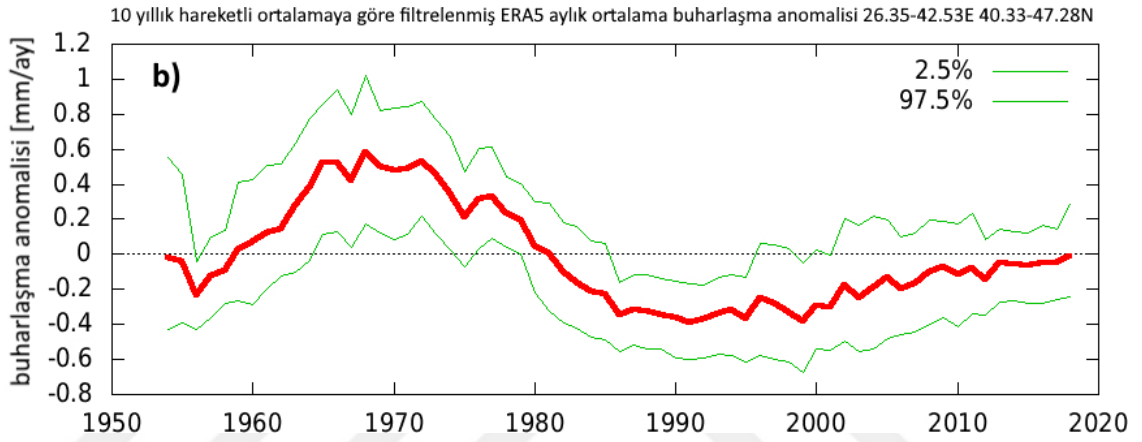
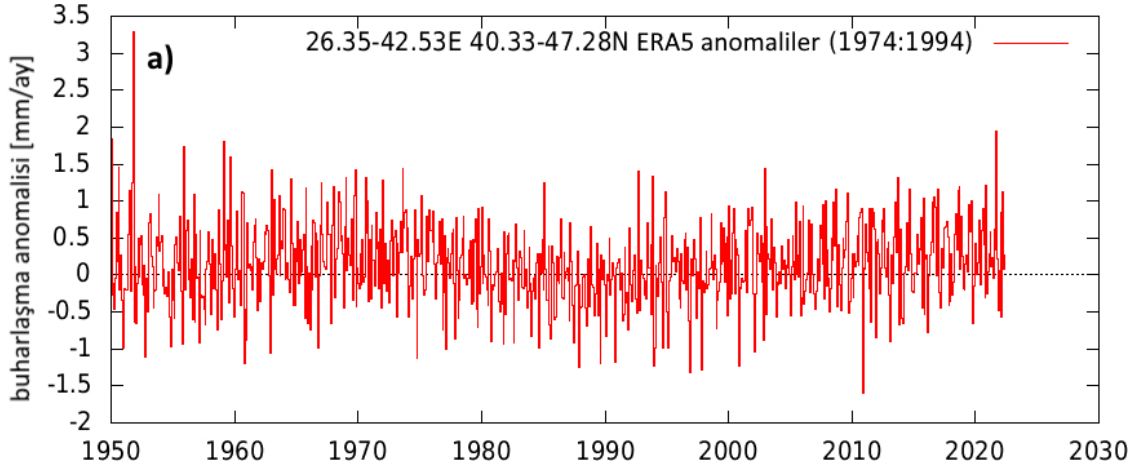
Buharlaşmalar [mm/ay]

Karadeniz'in geneli için ERA5 reanaliz modelinden elde edilen aylık ortalama buharlaşma zaman serisi (1950-2022) ve buna ait mevsimsellik bileşeni Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36 : Karadeniz'in geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama buharlaşma zaman serisi, b) aylık ortalamaların mevsimsel bileşeni.

ERA5 reanalizden elde edilen aylık ortalama buharlaşma zaman serisinin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi ise Şekil 4.37'de sunulmuştur.

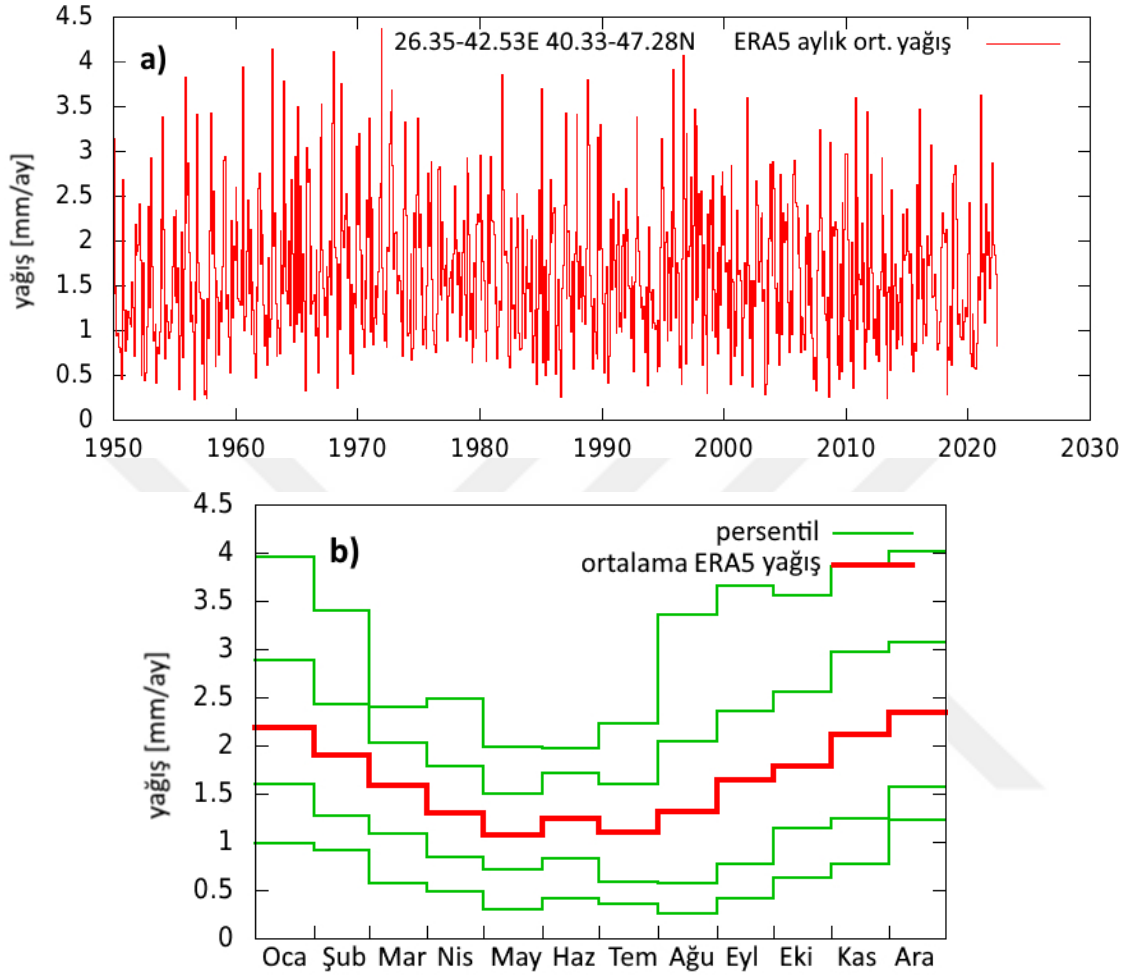


Şekil 4.37 : Karadeniz’in geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama buharlaşma zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Buharlaşmanın zamana ve NAO İndisi’ne karşı korelasyonları ayrı ayrı incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiş olup (sırasıyla $p = 0,76$; $p = 0,72$), zaman içerisinde artan ya da azalan bir eğilim bulunmamaktadır. Deniz seviyesinin kütle bileşenini meydana getiren hidrometeorolojik unsurlardan olan buharlaşmanın Karadeniz’in geneli için NAO İndisi’nden etkilenmediği ve zamansal olarak da herhangi bir eğilime sahip olmadığı için gelecekte de sabit kalacağı varsayımları birbirlerinden bağımsız olarak yapılabilir.

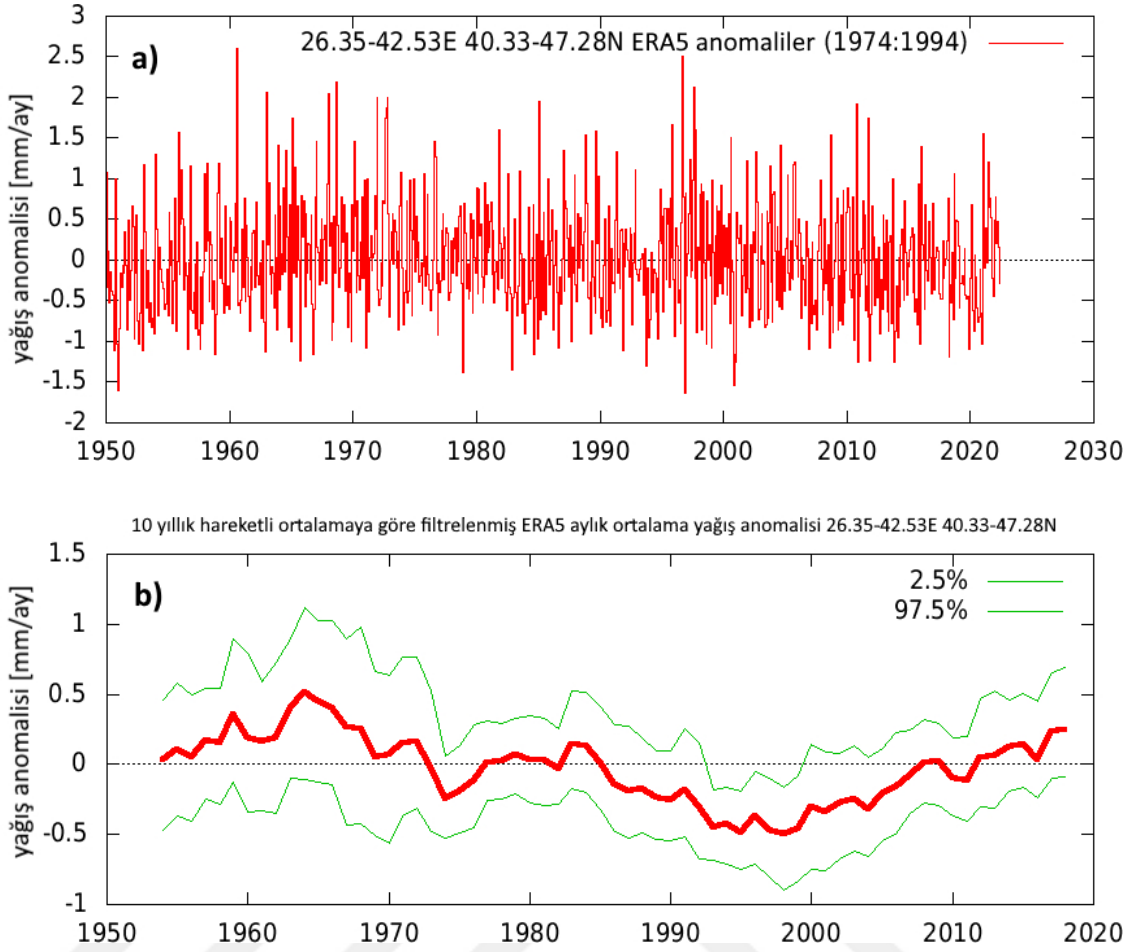
Yağışlar [mm/ay]

Karadeniz'in geneli için ERA5 reanaliz modelinden elde edilen aylık ortalama yağış zaman serisi ve buna ait mevsimsellik bileşeni Şekil 4.38'de verilmiştir.



Şekil 4.38 : Karadeniz'in geneli için ERA5 modelinden ortalama alınmış a) aylık ortalama yağış zaman serisi, b) aylık ortalamaların mevsimsel bileşeni.

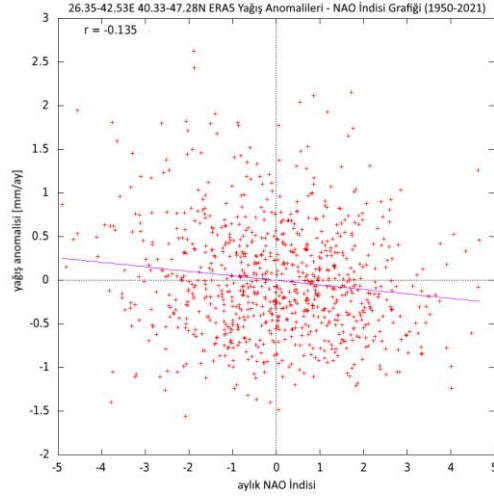
ERA5 reanalizden elde edilen aylık ortalama yağış zaman serisinin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi ise Şekil 4.39'da sunulmuştur.



Şekil 4.39 : Karadeniz'in geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Yağışın zamana karşı korelasyonu incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiş olup ($p = 0,73$), zaman içerisinde artan ya da azalan bir eğilim bulunmamaktadır.

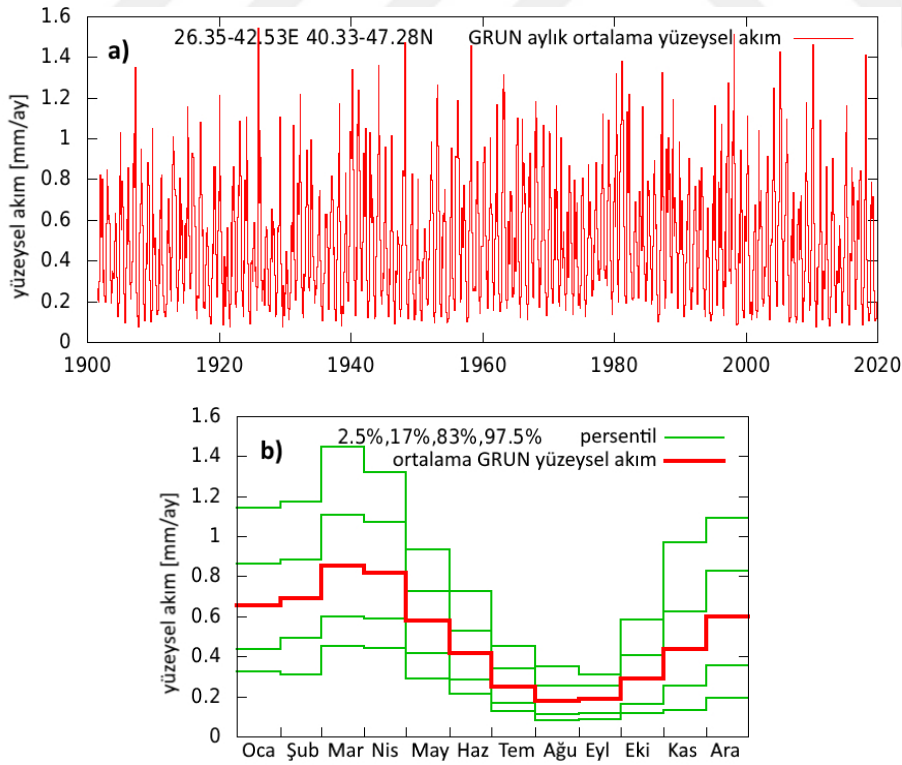
NAO İndisi'ne karşı ise istatistiksel olarak anlamlı ($p= 10^{-4}$) negatif bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.40). Deniz seviyesinin kütle bileşenini meydana getiren hidrometeorolojik unsurlardan olan yağışın Karadeniz'in geneli için NAO İndisi'ne karşı eğiliminin en küçük kareler metoduyla elde edilen denklemi $-0,002-0,05x$ şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 4.40 : Karadeniz üzerinde meydana gelen aylık ortalama yağışların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

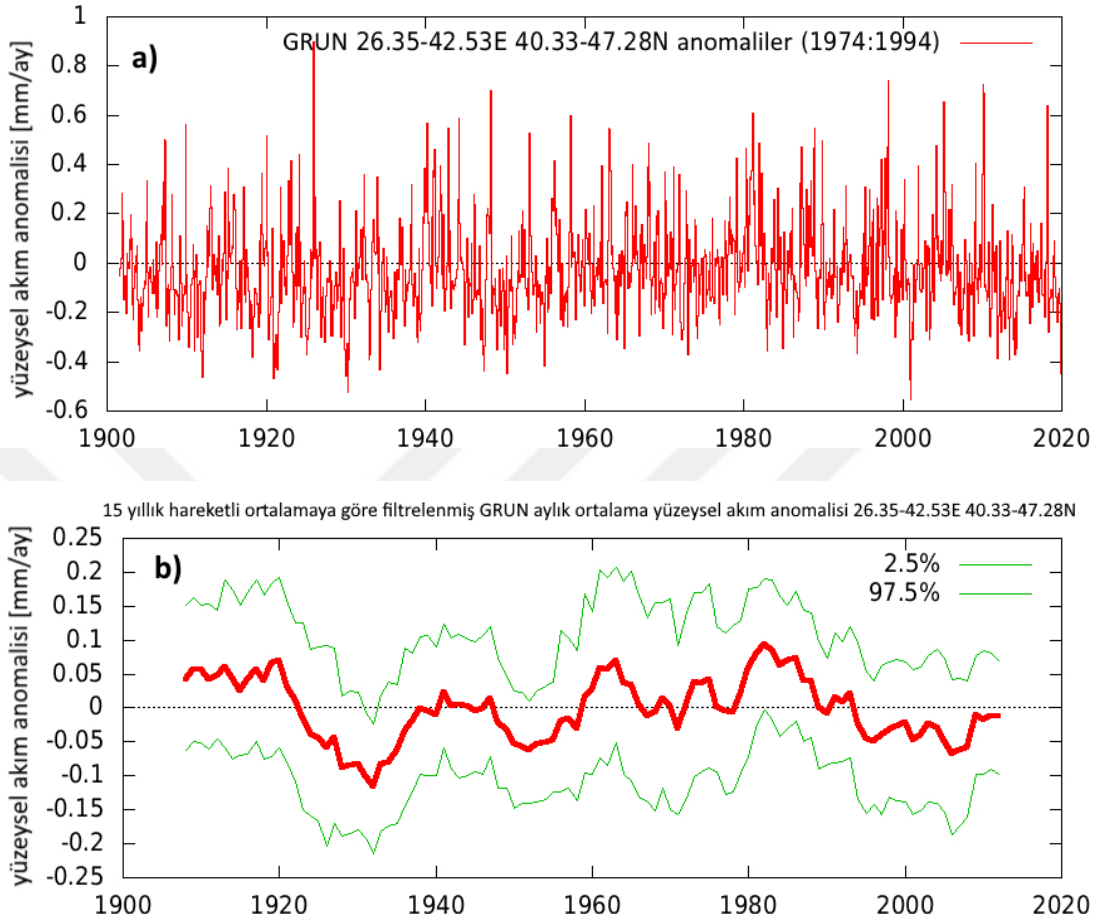
Yüzeysel akım [mm/ay]

Karadeniz'e yüzeysel akımla giren toplam nehir deşarjı miktarının GRUN modeli sonuçlarına ait uzun yıllar aylık ortalama debi verileri 1901-2020 tarih aralığını kapsamaktadır. Bu verilere ait aylık ortalama yağış zaman serisi ve mevsimsellik bileşeni Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.41 : Karadeniz'e giren toplam yüzeysel akımların GRUN modelinden elde edilen a) aylık ortalama debi zaman serisi; b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

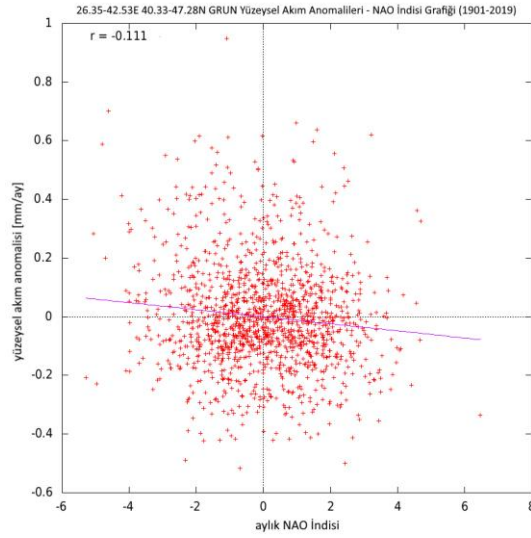
GRUN modelinden elde edilen akımların 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.42’de verilmiştir.



Şekil 4.42 : Karadeniz’e giren toplam yüzeysel akımların GRUN modelinden elde edilen a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir ($p = 0,14$). Buna göre, Karadeniz’e yüzeysel akımla giren tatlısu miktarına ait herhangi bir eğilim bulunmamaktadır.

Aylık ortalamaların NAO İndisi’ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı ($p = 0,002$) negatif bir korelasyon tespit edilmiştir. Tespit edilen korelasyona en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,00001-0,012x$ olarak belirlenmiştir.

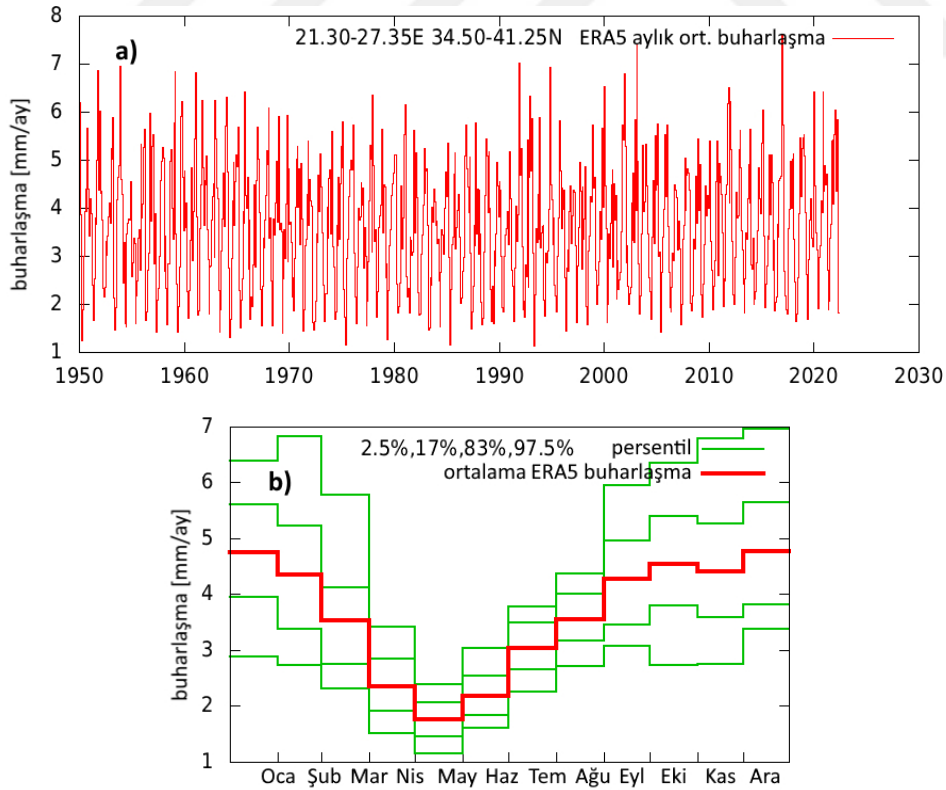


Şekil 4.43 : Karadeniz genelinde hesaplanan aylık ortalama yüzeysel akımın aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

4.2.2 Ege Denizi Üzerinde Yapılan İncelemeler

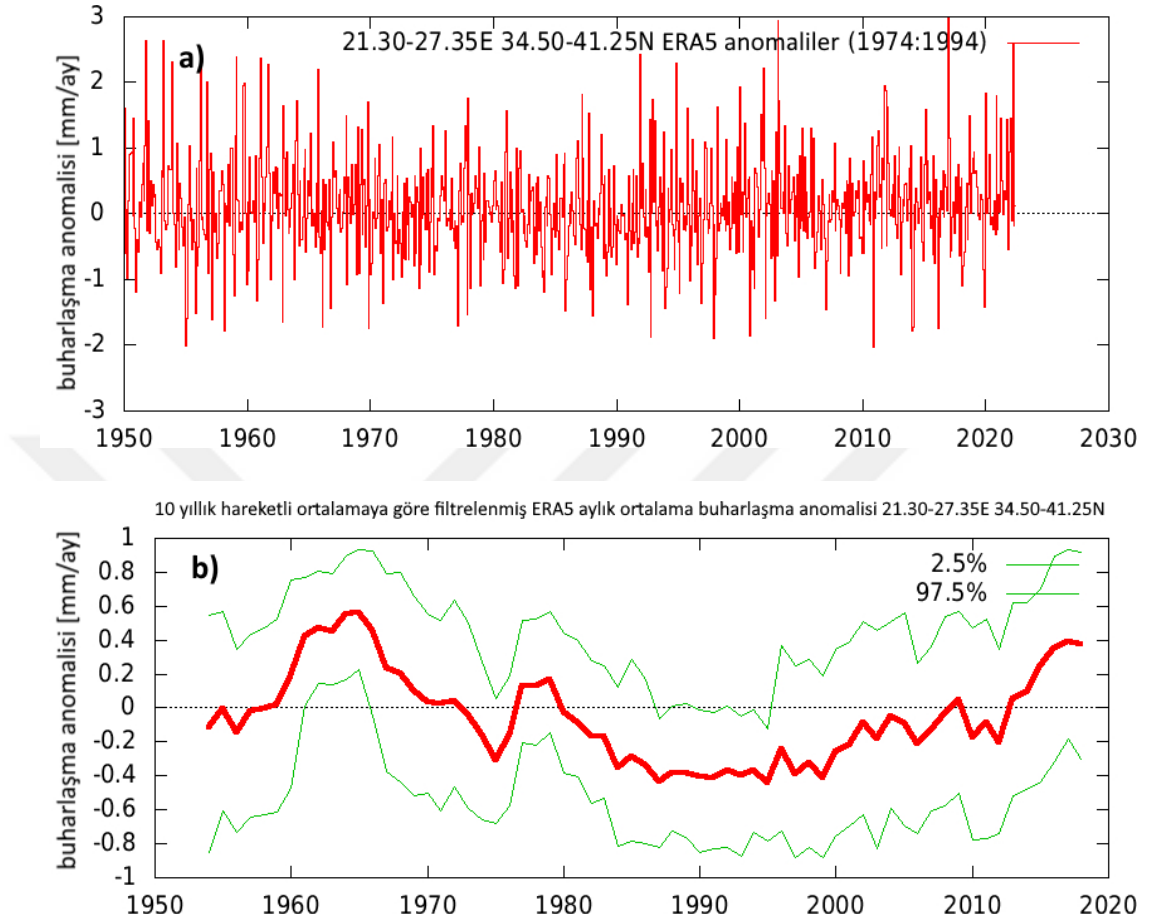
Buharlaşmalar [mm/ay]

Ege Denizi'nin geneli için ERA5 reanaliz modelinden elde edilen aylık ortalama buharlaşma zaman serisi ve buna ait mevsimsellik bileşeni Şekil 4.44'te sunulmuştur.



Şekil 4.44 : Ege Denizi'nin geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama buharlaşma zaman serisi, b) aylık ortalamaların mevsimsel bileşeni.

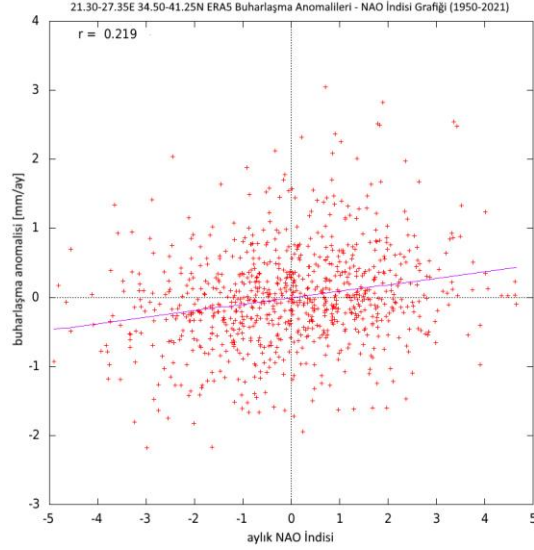
ERA5 reanalizden elde edilen aylık ortalama buharlaşma zaman serisinin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi ise Şekil 4.45'te sunulmuştur.



Şekil 4.45 : Ege Denizi'nin geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama buharlaşma zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Buharlaşmanın zamana karşı korelasyonu incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir ($p = 0,52$).

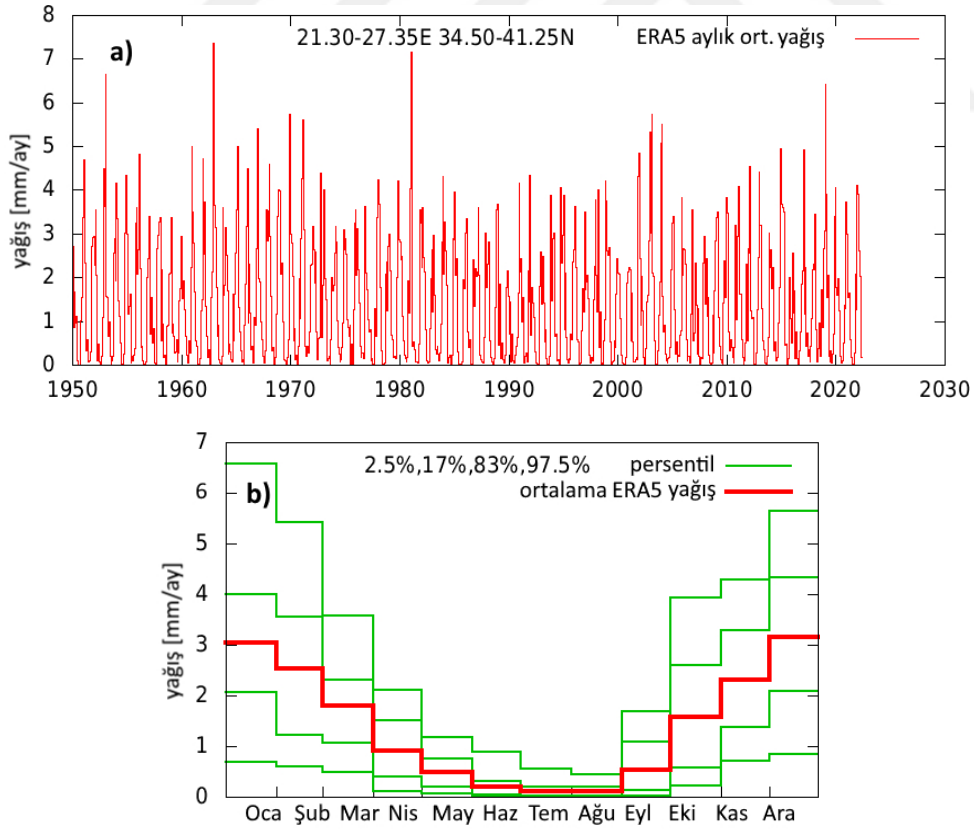
Ancak NAO İndisi'ne karşı korelasyonları incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı ($p < 10^{-4}$) negatif bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.46). Tespit edilen korelasyona en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,005-0,09x$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.46 : Ege Denizi üzerinde meydana gelen aylık ortalama buharlaşmanın aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

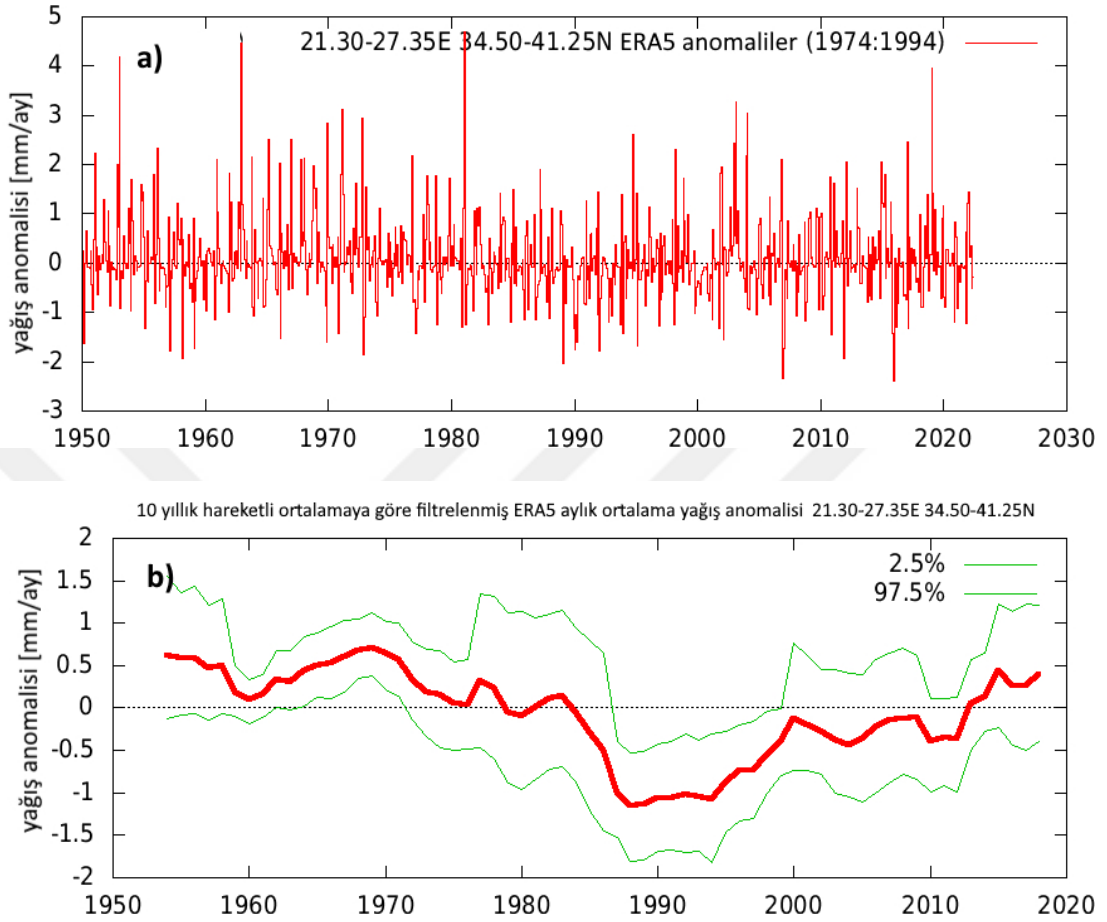
Yağışlar [mm/ay]

Ege Denizi'nin geneli için ERA5 reanaliz modelinden elde edilen aylık ortalama yağış zaman serisi ve buna ait mevsimsellik bileşeni Şekil 4.47'de verilmiştir.



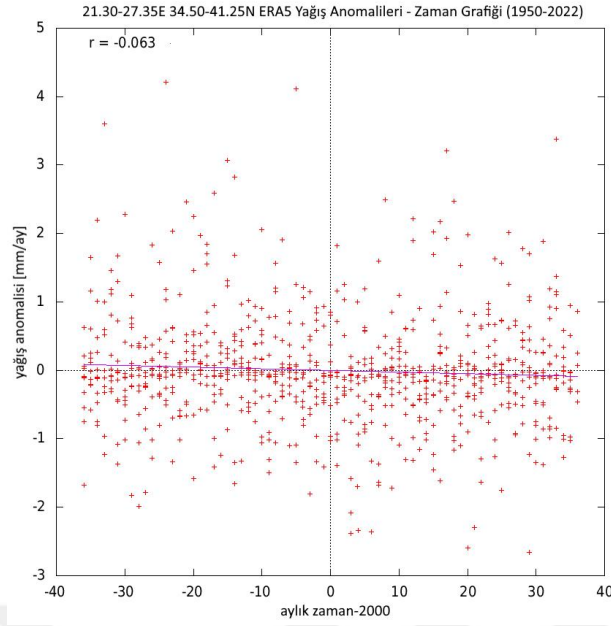
Şekil 4.47 : Ege Denizi'nin geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama yağış zaman serisi, b) aylık ortalamaların mevsimsel bileşeni.

ERA5 reanalizden elde edilen aylık ortalama yağış zaman serisinin 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi ise Şekil 4.48’de sunulmuştur.



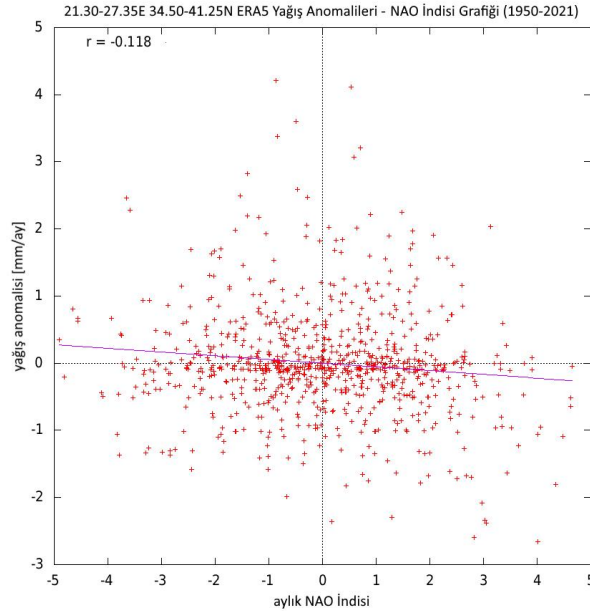
Şekil 4.48 : Ege Denizi'nin geneli için ERA5 modelinden ortalaması alınmış a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 10 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Yağışın zamana karşı korelasyonu incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı ($p = 0,06$), negatif yönlü zayıf bir korelasyonun varlığı görülmektedir (Şekil 4.49). Tespit edilen negatif eğilime en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,0007-0,002x$ olarak belirlenmiştir. Tespit edilen eğilim oldukça zayıftır.



Şekil 4.49 : Ege Denizi üzerinde meydana gelen aylık ortalama yağışların zamana göre eğilimi.

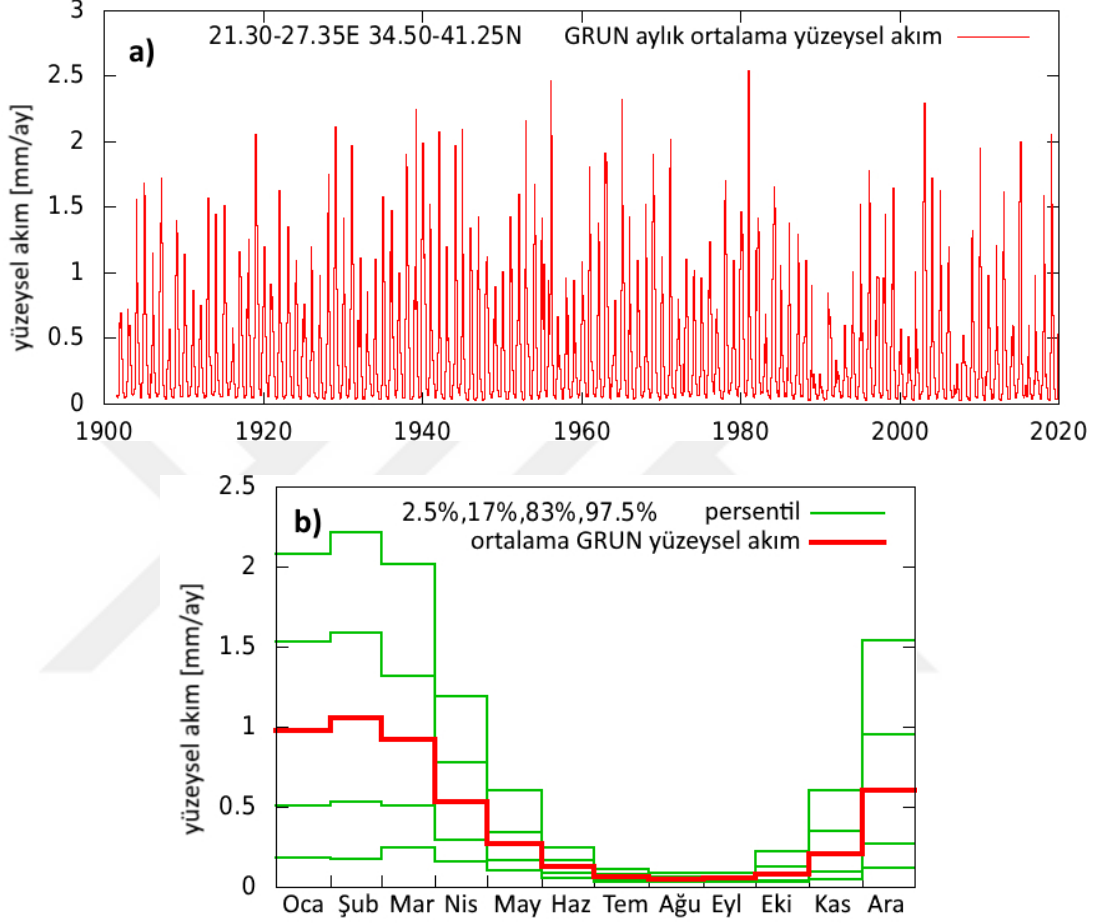
NAO İndisi'ne karşı ise istatistiksel olarak anlamlı ($p < 10^{-4}$) negatif bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.50). Deniz seviyesinin kütle bileşenini meydana getiren hidrometeorolojik unsurlardan olan yağışın Ege'nin geneli için NAO İndisi'ne karşı eğiliminin en küçük kareler yöntemiyle elde edilen denklemi $-0,0001-0,06x$ şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 4.50 : Ege Denizi üzerinde meydana gelen aylık ortalama yağışların aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

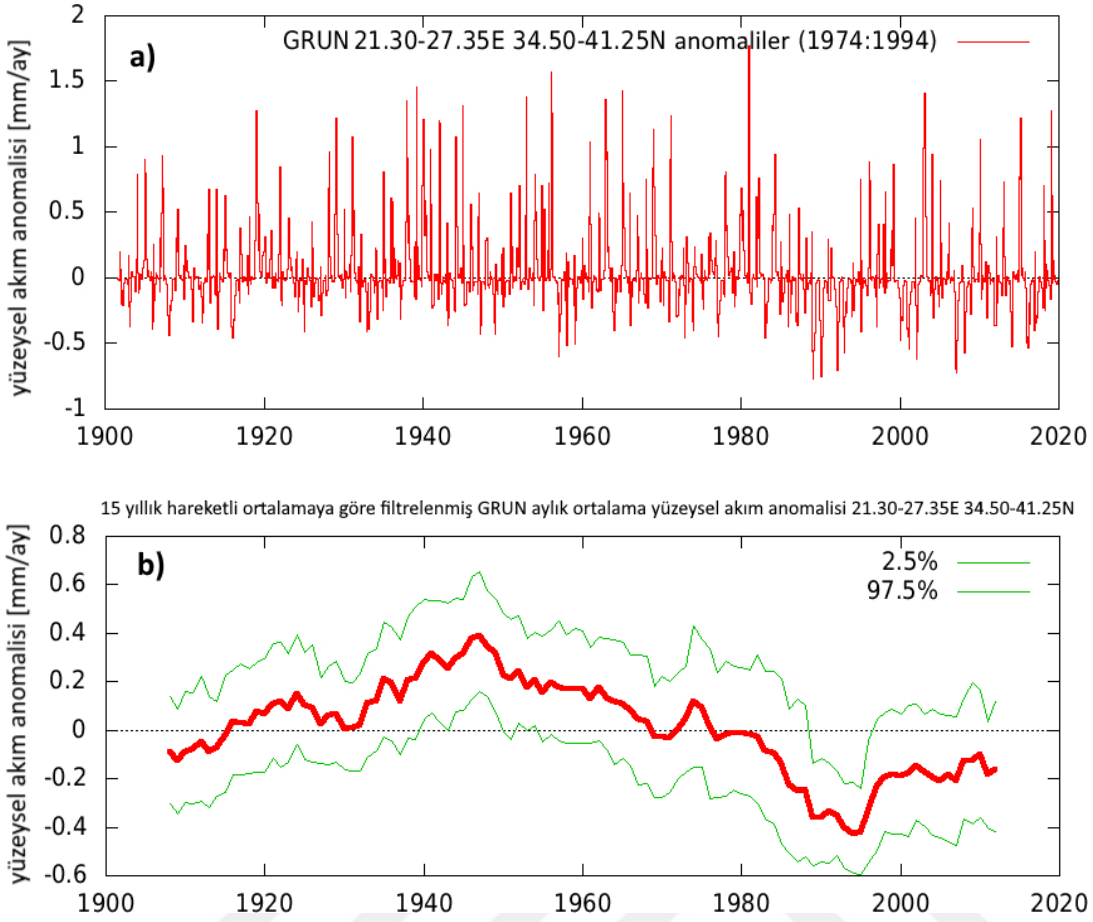
Yüzeysel akım [mm/ay]

Ege Denizi'ne yüzeysel akımla giren toplam nehir deşarjı miktarının GRUN modeli sonuçlarına ait uzun yıllar aylık ortalama debi verileri 1901-2020 tarih aralığını kapsamaktadır. Bu verilere ait aylık ortalama yağış zaman serisi ve mevsimsellik bileşeni Şekil 4.51'de verilmiştir.



Şekil 4.51 : Ege Denizi'ne giren toplam yüzeysel akımların GRUN modelinden elde edilen a) aylık ortalama debi zaman serisi; b) Aylık ortalamaların mevsimsellik bileşeni.

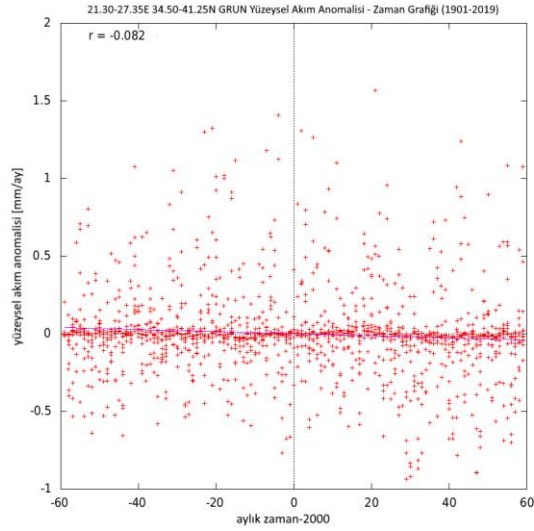
GRUN modelinden elde edilen akımların 1974-1994 taban periyoduna göre hesaplanan anomalileri ve 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi Şekil 4.52'de verilmiştir.



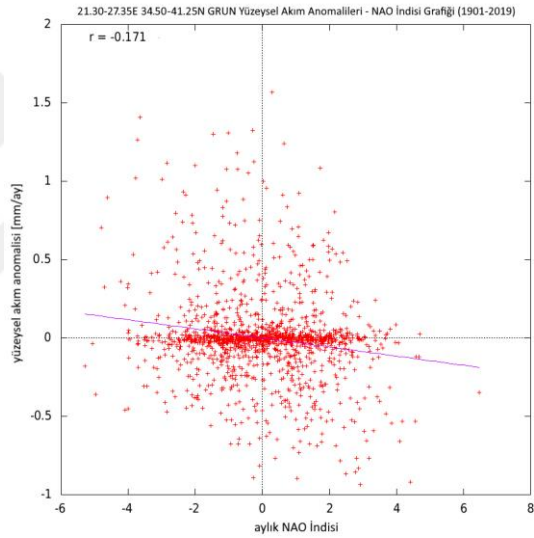
Şekil 4.52 : Ege Denizi'ne giren toplam yüzeysel akımların GRUN modelinden elde edilen a) aylık ortalama yağış zaman serisi (anomali); b) 15 yıllık hareketli ortalamaya göre filtrelenmiş zaman serisi.

Bu aylık ortalamaların uzun yıllar zamana karşı korelasyonuna bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı ($p = 0,01$) negatif yönlü bir zayıf korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.53). Buna göre, Ege'ye yüzeysel akımla giren tatlısu miktarında oldukça düşük bir eğimle azalma eğilimi bulunmakta olup, en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $0,0002-0,0007x$ olarak belirlenmiştir.

Aylık ortalamaların NAO İndisi'ne karşı olan korelasyonu incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı ($p < 10^{-4}$) negatif bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.54). Tespit edilen korelasyona en küçük kareler metoduyla uydurulan eğrinin denklemi $-0,00003-0,03x$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.53 : Ege genelinde hesaplanan aylık ortalama yüzeysel akımın zamana göre eğilimi.



Şekil 4.54 : Ege genelinde hesaplanan aylık ortalama yüzeysel akımın aylık ortalama NAO İndisi ile korelasyonu.

4.3 Gözlem ve Model Çıktılarının Birlikte Değerlendirilmesi

Meteoroloji istasyonlarından elde edilen gözlem verileri ve model çıktılarından elde edilen alansal hesaplamaların birlikte değerlendirilmesi ile Ege ve Karadeniz'deki su bütçesini etkileyen unsurlar bu bölümde ortaya konmuştur.

Bölümler 4.1 ve 4.2 altında, ele alınan hidrometeorolojik verilerin 2 parametreye karşı korelasyonları incelenmiştir: NAO İndisi ve zaman. Meteorolojik parametrelerin NAO İndisi ile korelasyon halinde olma durumunun test edilmesi, daha önce yapılan çalışmalarda da ortaya konduğu gibi, Atlantik Okyanusu üzerinde süregelen bu doğa olayının coğrafyamızın meteorolojik koşulları üzerindeki etkisini araştırmaktadır.

Zamana karşı korelasyon halinin varlığı ise meteorolojik parametrelerin bir eğilime sahip olması anlamına gelmektedir. Bu testlere ait sonuçlar hem istasyonlar bazında hem de alansal olarak Karadeniz ve Ege'nin geneli için Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 : Hidrometeorolojik parametrelerin NAO İndisi'ne ve zamana karşı korelasyonları.

İstasyon	Yağış		Sıcaklık		Buharlaşma		Nehir deşarjı	
	NAO	Zaman	NAO	Zaman	NAO	Zaman	NAO	Zaman
Karadeniz	(-)	yok			yok	yok	(-)	yok
Ege Denizi	(-)	(-)			(-)	yok	(-)	(-)
Selanik	(-)	yok	(-)	yok				
Suda (Hanya)	yok	yok	(-)	(+)				
Varna	(-)	(+)	yok	(+)				
Köstence	(-)	(+)	yok	(+)				
Sivastopol	yok	(+)						
Tuapse			(-)	yok				
Tuna Nehri (debi)*							yok	(+)

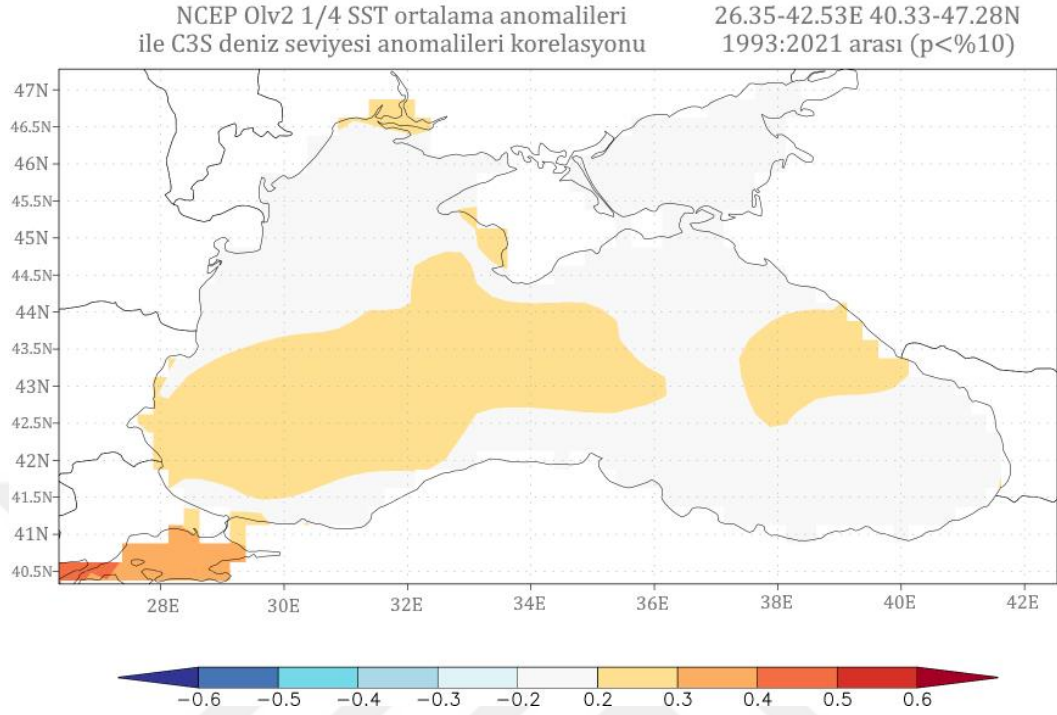
*Veri seti 1982'de bitiyor. (+): Pozitif korelasyon. (-): Negatif korelasyon. yok: korelasyon mevcut değil

Bu sonuçlara göre NAO İndisi'nin her iki denizde de tüm parametreler açısından korelasyona sahip olduğu durumlarda bu korelasyonun negatif yönlü olduğu açıkça ortaya konmuştur. Özellikle yağış ve nehir deşarjı parametreleri için bu korelasyonlar belirgindir. Sıcaklık parametresi ve NAO İndisi arasında Ege istasyonlarında herhangi bir korelasyon tespit edilememiş, Karadeniz istasyonlarında ise yalnız Tuapse'de negatif bir korelasyon bulunmuştur.

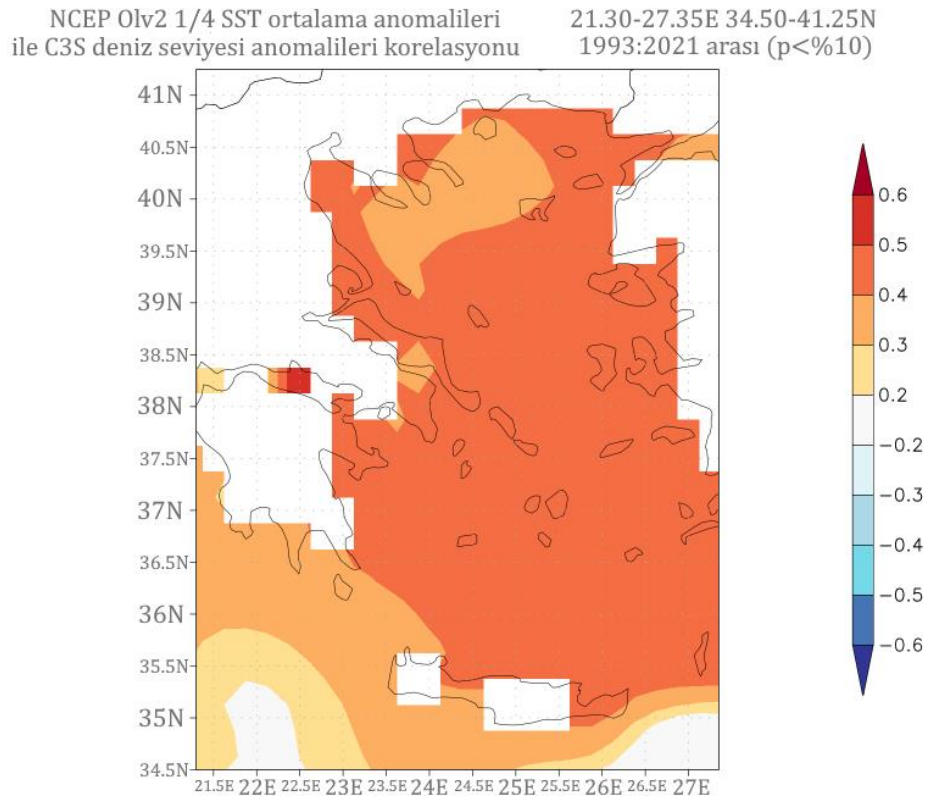
Zamana karşı korelasyonlar, yani eğilimler incelendiğinde ise Karadeniz'de istasyonlar bazında yağış miktarlarında pozitif yönlü eğilim tespit edilmiştir. Ege denizi ise ERA5 reanaliz modelinden elde edilen alansal bazda veriye göre yağış miktarlarında azalan eğilime sahiptir. Ege'de benzer durum nehir deşarjları için de tespit edilmiştir. İstasyonlar bazında incelenen sıcaklık eğilimleri ise Karadeniz'de 2 istasyonda pozitif (Varna, Köstence), 1 istasyonda korelasyon yok (Tuapse); Ege'de ise Selanik ve Suda'da sırasıyla korelasyon yok ve pozitif eğilim şeklinde tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında NOAA PSL'den elde edilen deniz yüzeyi sıcaklıkları (SST) ve C3S'den elde edilen uydu altimetresine dayalı deniz seviyesi anomalileri (SLA) arasındaki korelasyonlar hem Ege denizi hem de Karadeniz için hesaplanmıştır. Buradaki amaç, her 2 denizde deniz seviyesinin termosterik bileşeninin toplam deniz

seviyesi değişimi üzerinde ne kadar etkili olduğunu ortaya koymaktır. Bu doğrultuda yapılan korelasyon hesaplarının haritaları Şekil 4.55 ve Şekil 4.56’da sunulmuştur.



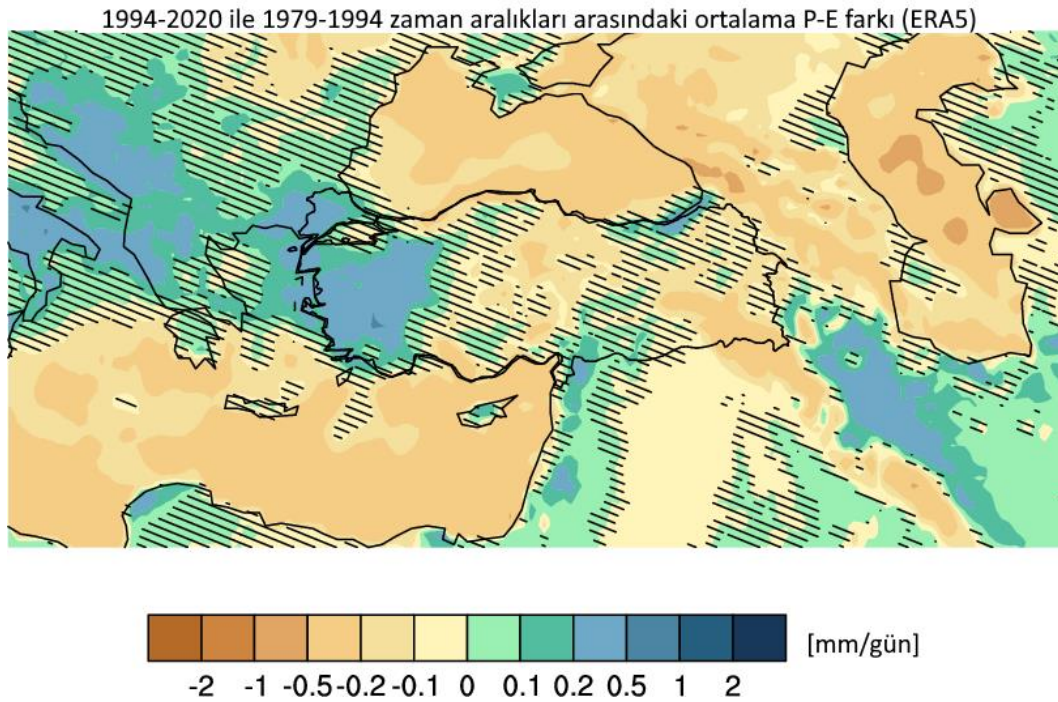
Şekil 4.55 : Karadeniz genelinde hesaplanan SST ve SLA arasındaki korelasyonlar.



Şekil 4.56 : Ege Denizi genelinde hesaplanan SST ve SLA arasındaki korelasyonlar.

Haritalar incelendiğinde Karadeniz’de SST ve SLA arasında belli bölgelerde bulunan kısmi zayıf korelasyonlar haricinde genel bir korelasyonun varlığından bahsedilemeyeceği görülmektedir. Yani Karadeniz’de deniz seviyesi, sterik bileşenden daha ziyade ağırlıklı olarak deniz seviyesinin kütle bileşeninin etkisi altındadır. Kütle bileşeni ise tezin 2. Bölümünde üzerinde durulduğu gibi tatlısu dengesi denklemiyle açıklanmaktadır. Ege denizindeki durum ise Karadeniz’e nazaran çok farklı olup, termosterik bileşenin önemli ölçüde deniz seviyesini etkilediği tespit edilmiştir.

Tatlısu dengesinin nehir akımı dışındaki iki bileşeni yağış ve buharlaşma arasındaki fark (P-E) net akı olarak adlandırılmaktadır. Her 2 denizde NAO İndisi’nin 1990’ların başındaki kırılma öncesi ve sonrasında günümüze kadar meydana gelen net akılar arasındaki farklar ERA5 reanaliz modeli kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 4.57).

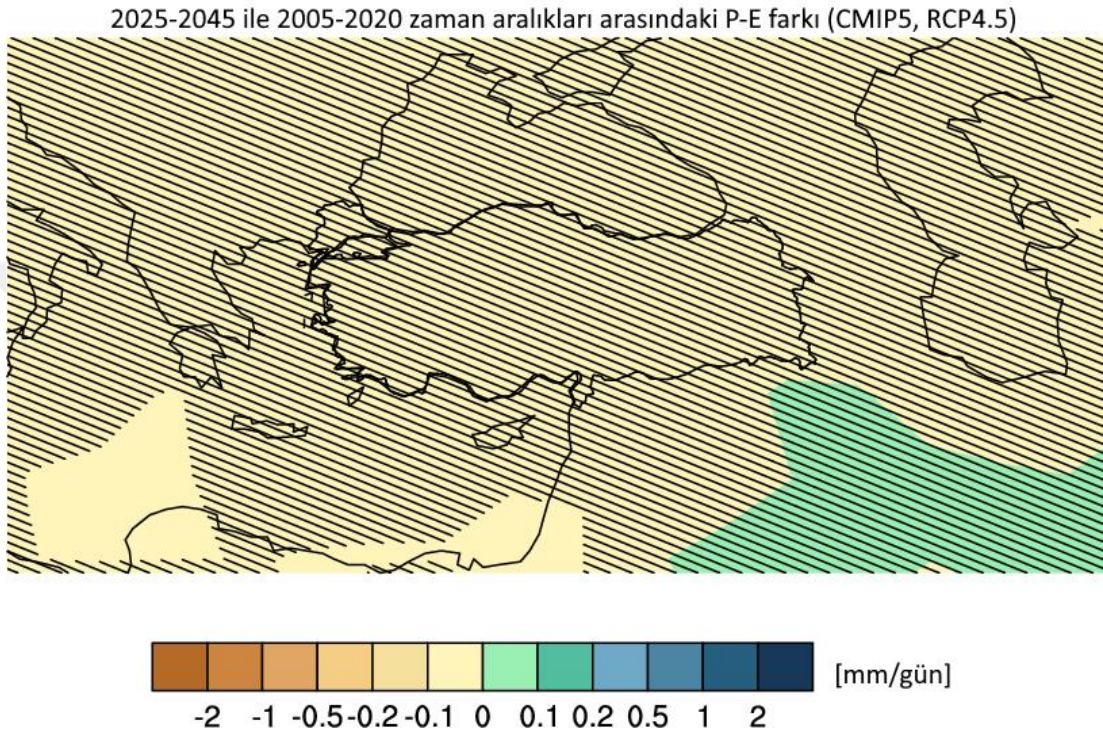


Şekil 4.57 : Karadeniz ve Ege için 1994 öncesi ve 1994 sonrası meydana gelen net akılar arasındaki fark¹.

Net akıların Karadeniz yüzeyinde alansal bakımdan azalma eğiliminde olduğu, ancak Karadeniz’in en önemli beslenme alanı olan Kuzeybatı şelfindeki karasal alanlarda

¹ Şekil 4.57 ve Şekil 4.58’de görünen taranmış alanlar meydana gelen değişimin gücünü değerlendirmek için bir kılavuz niteliğinde verilmiştir. Endüstrileşme öncesi kontrol çalışmaları kullanılarak tahmin edilen doğal değişkenlik faktörüne göre hesaplanmaktadır. Taranmış alanlar, 20 yıllık ortalamanın değişimindeki büyüklüğün modelin hesaplamış olduğu 20 yıllık ortalama farkların doğal değişkenliğine göre 1 standart sapmadan daha az olduğu bölgeleri gösterir.

pozitif fark verdiği, yani nehir akımlarını arttırıcı etkiye sahip olacağı görölmektedir. Ege’de ise genel olarak Girit ve güney Ege hariç tüm alanda artan net akı tespit edilmiştir. Net akının gelecekte durumunu tespit etmek için ise IPCC CMIP5 çoklu model topluluğu verileri kullanılarak üretilmiş olan 2045-2025 tarih aralığı ile 2005-2020 tarih aralığı arasındaki yağış ve buharlaşma farkları bu tez kapsamında hesaplanmıştır (Şekil 4.58).



Şekil 4.58 : Karadeniz ve Ege için 2005-2020 döneminde meydana gelen ve 2025-2045 döneminde meydana gelmesi beklenen net akılar arasındaki fark.

Elde edilen sonuca göre gelecekte hem Ege hem de Karadeniz üzerinde ve bunları besleyen su toplama havzalarında net akının azalacağı öngörülmektedir.



5. DENİZ SEVİYESİ ZAMAN SERİLERİNDE EĞİLİM İNCELEMESİ

Üçüncü bölümde veri setleri öncelikle bileşenlerine ayrılarak incelenmiş, daha sonra eğilimden arındırılmış veriler üzerinde Fourier dönüşümü uygulanarak periyodiklik tespiti yapılmıştır. Bu bölümde Ege ve Karadeniz'deki deniz seviyesi gözlem istasyonlarına ait eğilimler incelenmiştir.

Eğilim bileşenlerinin zaman içerisinde nasıl değiştiğini daha anlaşılır biçimde göstermek adına öncelikle hem Ege hem de Karadeniz'de 20'şer yıllık bir taban periyodu seçilerek, bu 20 yıllık periyotta her aya ait ortalama deniz seviyesi hesaplanmıştır. Bu 20 yıllık ortalamalar referans seviye olarak belirlendiğinden genel veri setlerinden tek tek her istasyonun ortalama değerleri çıkarılmak suretiyle deniz seviyesi anomalileri hesaplanmıştır. Eğilimlerin anomali grafikleri referans alınan ortalama seviyelere göre meydana gelen değişimi ortaya koyduğundan mevcut durum hakkında daha net görsel bilgi sağlamaktadır.

Deniz seviyesi anomalileri aynı grafik üzerinde karşılaştırılacağı için aylık ortalamaların hesaplanması için seçilecek olan taban periyodu farklı başlangıç ve bitiş tarihlerine sahip veri setlerinde ortak olan aralıklar gözetilerek yapılmalıdır. Bu nedenle incelenen istasyonlarda en erken tamamlanan veri setinden geriye dönük olarak 20 yıl aralığını kapsamasına karar verilmiştir.

İncelenen istasyonlar arasında en erken tamamlanan veri seti Sivastopol istasyonuna aittir. Veri seti 1994 yılında tamamlanmakta olduğundan tüm istasyonlar için taban periyodu 1974-1994 aralığı olarak seçilmiştir. Ayrıca bu aralık NAO İndisi'nin son kırılmasından önceki azalma dönemi olan 1960'ların başı ve 1990'ların başı aralığı ile örtüşmektedir. 1974-1994 aralığına tekabül eden aylık ortalama deniz seviyeleri Ege istasyonları için Çizelge 5.1, Karadeniz istasyonları için ise Çizelge 5.2'de sunulmuştur.

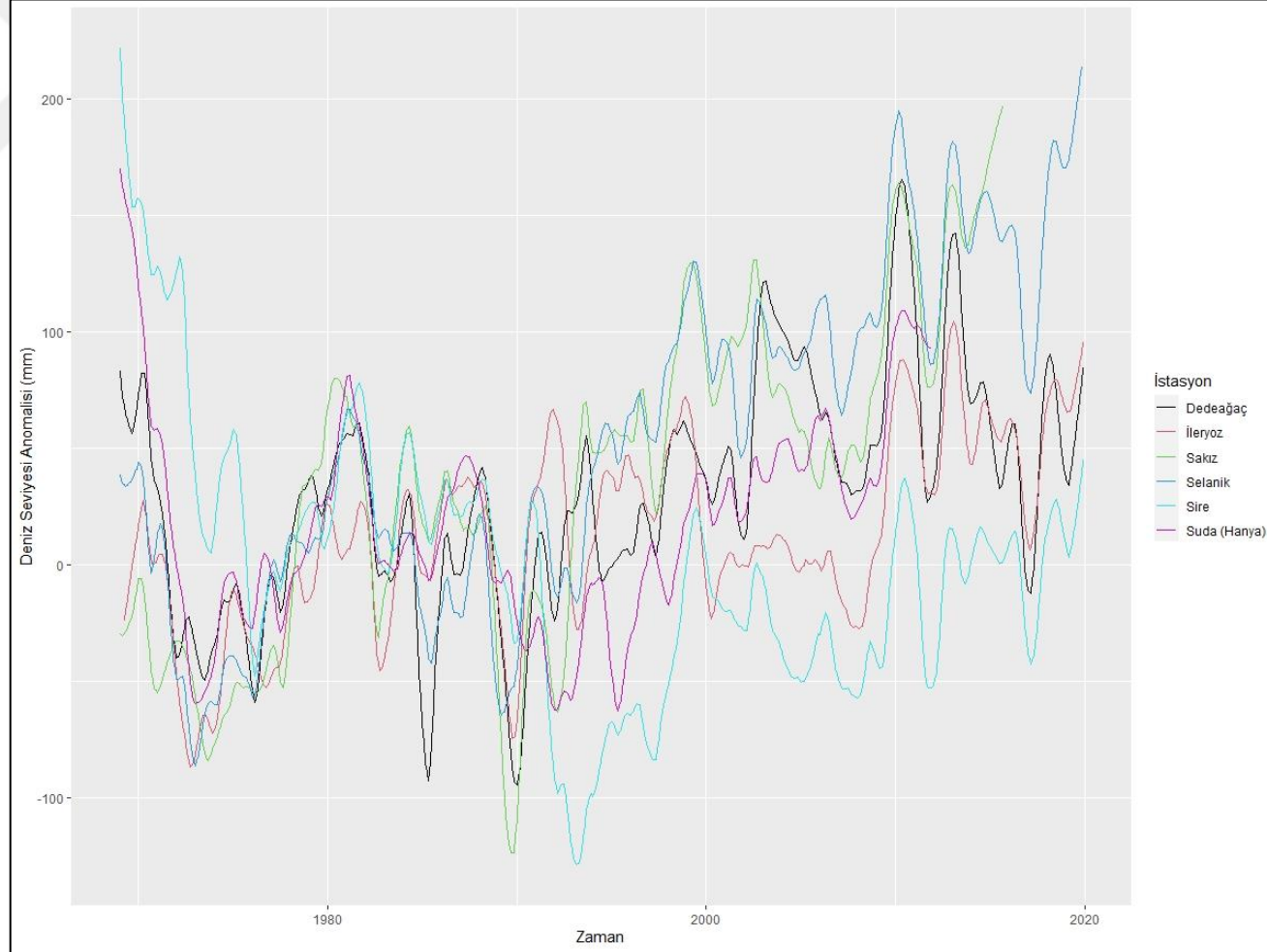
Çizelge 5.1 : 1974-1994 tarih aralığı için hesaplanan aylık ortalama deniz seviyeleri (mm), Ege İstasyonları.

Ay	Dedeğaç	Selanik	İleryoz	Sire	Suda (Hanya)	Sakız
Ocak	6985,76	6901,33	7026,35	6947,08	6976,83	6882,57
Şubat	6984,47	6899,27	7028,13	6949,22	6985,33	6878,95
Mart	6965,21	6859,20	6996,22	6911,64	6962,20	6852,82
Nisan	7026,03	6922,62	6991,35	6951,95	7007,69	6876,73
Mayıs	7032,25	6931,14	7016,52	6968,49	7010,92	6886,54
Haziran	7048,76	6973,32	7027,03	7018,72	7045,33	6907,23
Temmuz	7041,83	6972,31	7049,82	7063,75	7075,33	6908,71
Ağustos	7036,63	6986,53	7068,82	7072,13	7094,86	6920,83
Eylül	7023,69	6984,90	7046,49	7046,71	7089,07	6899,20
Ekim	7033,57	6977,82	7039,24	7033,28	7096,00	6901,46
Kasım	7044,15	6970,05	7036,59	6997,03	7079,56	6894,02
Aralık	7053,04	6973,76	7055,36	6991,49	7081,28	6907,01

Çizelge 5.2 : 1974-1994 tarih aralığı için hesaplanan aylık ortalama deniz seviyeleri (mm), Karadeniz İstasyonları.

Ay	Burgas	Varna	Köstence	Sivastopol	Tuapse	Poti
Ocak	7027,83	7035,91	6955,39	7043,33	7094,46	6855,82
Şubat	7071,02	7048,29	6993,68	7044,54	7087,81	6857,10
Mart	7076,50	7048,58	6975,38	7040,51	7072,57	6846,62
Nisan	7084,23	7072,27	6992,91	7081,53	7104,95	6857,57
Mayıs	7115,47	7090,14	7025,14	7126,02	7153,05	6900,91
Haziran	7115,95	7076,56	7020,52	7135,01	7166,38	6941,38
Temmuz	7106,02	7066,20	6999,52	7113,03	7182,10	6951,86
Ağustos	7070,27	7032,95	6966,05	7077,50	7134,48	6909,48
Eylül	7008,33	6986,08	6907,10	7008,54	7050,19	6829,00
Ekim	6990,07	6971,82	6900,01	6973,03	6999,88	6809,00
Kasım	6975,02	6972,62	6892,18	6968,51	7004,48	6790,91
Aralık	6995,43	7002,54	6928,57	7020,02	7061,14	6822,33

Üçüncü bölümde STL yöntemiyle bileşenlerine ayrılan zaman serilerinin eğilim bileşenlerine ait anomaliler de belirlenmiş olan taban periyoduna göre hesaplanan aylık eğilim ortalamalarının genel eğilim serisinden çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda elde edilen eğilim grafikleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de sunulmuştur.



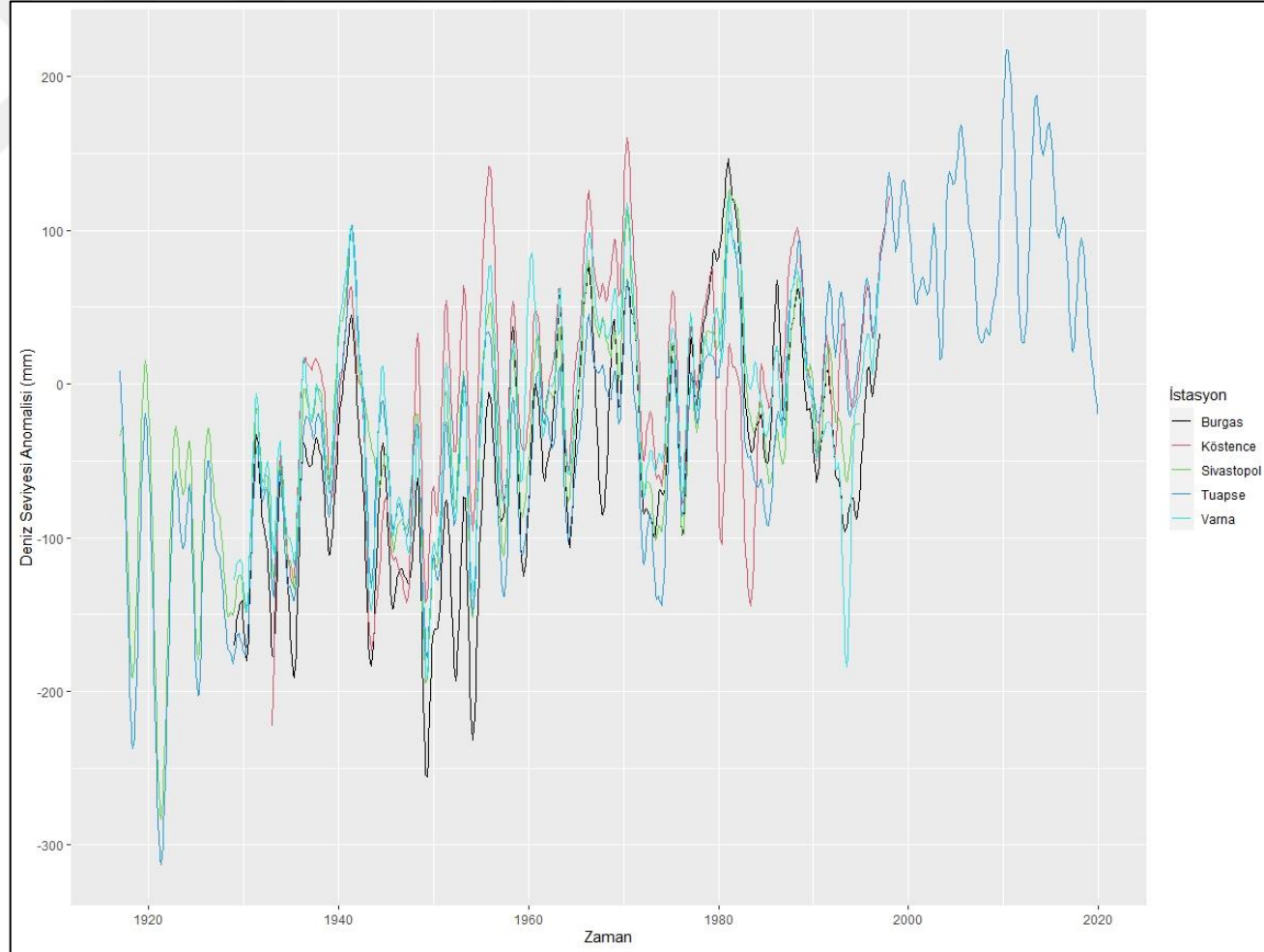
Şekil 5.1 : STL ayrıştırması ile elde edilmiş eğilim bileşenlerine ait anomaliler, Ege İstasyonları.



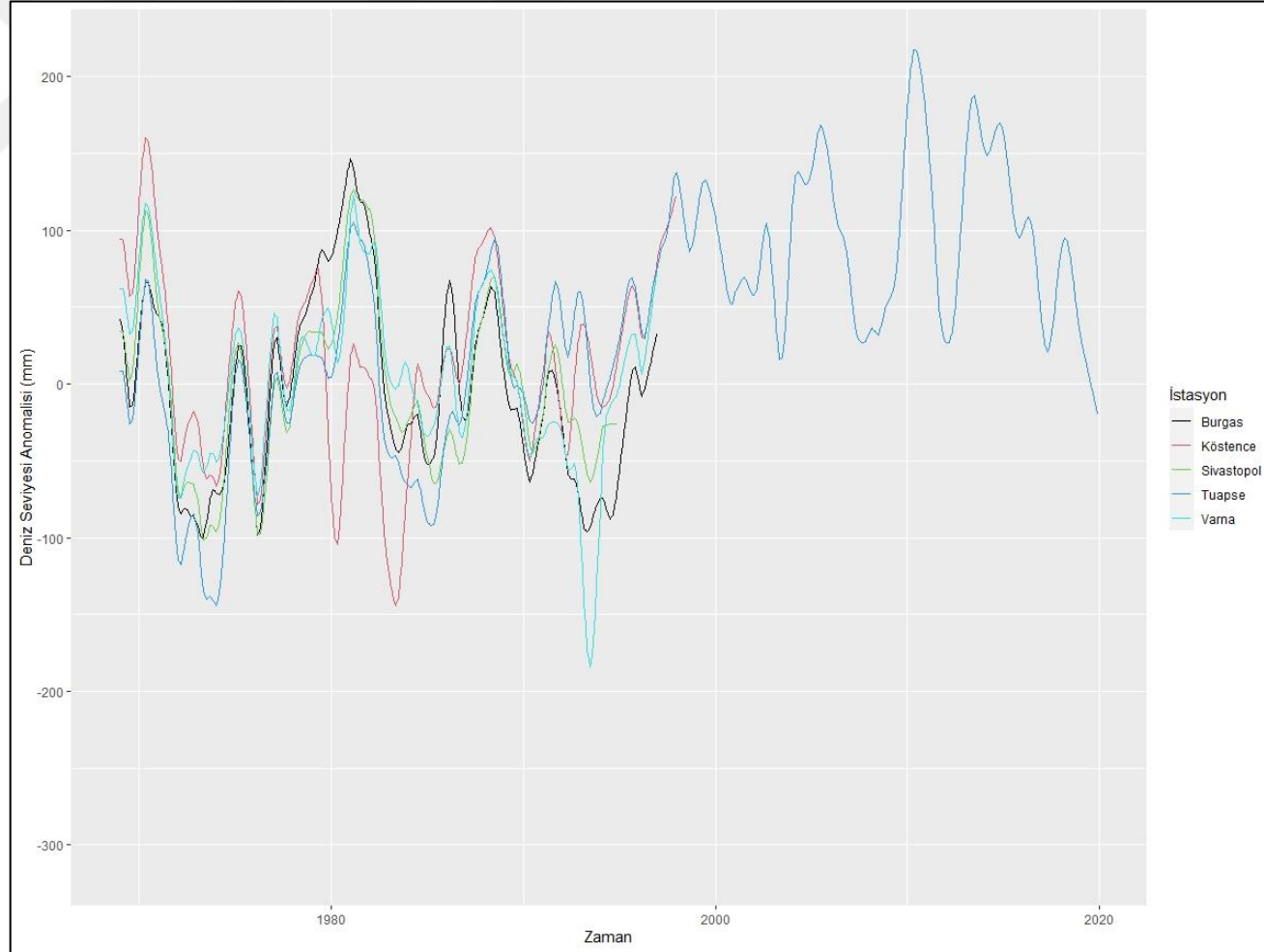
Şekil 5.2 : STL ayrıştırması ile elde edilmiş eğilim bileşenlerine ait anomaliler, Karadeniz İstasyonları (Poti dahil).

Şekiller incelendiğinde ilk tespit edilen durum, Poti istasyonuna ait grafiğin diğer grafiklerden belirgin biçimde aykırı hareket ediyor olmasıdır. Poti istasyonuna ait veri setinin başlangıç tarihinin 1874 yılı olmasına istinaden; o yıllarda mevcut ölçüm yöntemlerinin zaman içerisinde birçok defa değişime uğradığı, ancak bu farklılıkların veri setine ne ölçüde doğru aktarıldığından şüphe duyulmaktadır. Ayrıca, istasyonun Rioni ırmağının büyük ölçüde etkisi altında bulunmasından ötürü sediment hareketinden etkilenmiş olması muhtemeldir. Poti veri setinin aykırı durumundan ötürü değerlendirme dışı bırakılmasına karar verilmiştir.

Poti istasyonun değerlendirme dışı bırakılmasından sonra ortaya çıkan eğilim grafiklerinin durumu Şekil 5.3'te sunulmuştur. Öte yandan, Karadeniz istasyonlarına ait eğilim grafiklerinin Ege istasyonlarıyla zaman ölçeği bakımından karşılaştırılabilir olması adına Karadeniz istasyonlarının x-ekseni 1970 yılından başlatılmış olan eğilim grafikleri Şekil 5.4'te sunulmuştur.



Şekil 5.3 : STL ayrıştırması ile elde edilmiş eğilim bileşenlerine ait anomaliler, Karadeniz İstasyonları (Poti hariç).



Şekil 5.4 : STL ayrıştırması ile elde edilmiş eğilim bileşenlerine ait anomaliler, Karadeniz İstasyonları (1969 sonrası).

Ele alınan deniz seviyesi istasyonlarına ait eğilim bileşeni anomalisi grafikleri incelendiğinde hem Ege denizi hem de Karadeniz’de 1969 sonrası durum için bazı istasyonların başlangıç noktasına göre artış, bazı istasyonların ise azalış durumunda olduğu görülmektedir. Ege istasyonlarından Sire ve Suda (Hanya) istasyonlarındaki deniz seviyesi başlangıç durumuna göre azalmış; Selanik, Sakız ve İlyoz istasyonlarında artmış; Dedeğaç istasyonunda ise belirgin bir değişim göstermemiştir. Karadeniz istasyonlarının 1970 sonrası durumu ele alındığında Sivastopol istasyonundaki deniz seviyesi başlangıç durumuna göre azalmış, geriye kalan 4 istasyonda ise (Burgas, Varna, Köstence, Tuapse) belirgin bir değişim meydana gelmemiştir. Ancak Karadeniz istasyonlarının tümünde veri setlerinin başladığı 1920’lerden itibaren uzun dönem grafikler incelendiğinde tüm istasyonların başlangıç ve bitiş ölçümleri arasında belirgin bir artış ortaya çıkmıştır.

Aşağıda tüm istasyonların eğilim durumları ayrı ayrı lineer regresyon kullanılarak incelenecektir. Grafiklerde zaman serilerine ait anomaliler mavi çizgilerle, Loess düzleştirmesiyle hesaplanan eğilim bileşeni grafiği mor çizgilerle, deterministik eğilim çizgileri ise siyah, sarı, yeşil ve pembe renklerle gösterilmiştir. Deterministik eğilim hem tüm zaman serisini kapsayacak şekilde (siyah çizgi) hem de zaman serisinin kapsadığı yıl aralığına göre segmentlere (bordo, yeşil ve kırmızı çizgiler) ayrılarak çizilmiştir. Ege istasyonları 2’şer segmente (1969-1993 arası bordo, 1993-2020 arası yeşil), Karadeniz istasyonları ise Tuapse’de 3 (1917-1967 arası bordo, 1967-1993 arası yeşil, 1993-2020 arası kırmızı), geri kalan istasyonlarda 2’şer segmente (1917-1967 arası bordo, 1967-1993 arası yeşil) ayrılmıştır. Segmentlerin kapsadığı zaman aralıkları 1. Bölüm’de anlatılan NAO İndisi kırılma noktaları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Zaman serilerinde eğilimleri ve bunlara ait eğim katsayılarını hesaplamadan önce eğilim saptama prosedürlerinin uygulanması önemle tavsiye edilir (Fatichi ve diğ., 2009). Hidrometeorolojik ve deniz seviyesi verilerindeki eğilimlerin tespiti yaygın olarak Cox – Stuart (C-S) (Niedzielski ve Kosek, 2011; Cox ve Stuart, 1955), Mann – Kendall (M-K) (Feist, ve diğerleri, 2021; Hipel ve McLeod, 1994) ve Spearman's Rho (S) (Hipel ve McLeod, 1994; Spearman, 1904) testleri kullanılarak yapılır. Bu tez çalışmasında da veri dağılımına bağımlılıktan kaçınmak için bu parametrik olmayan testler tercih edilmiştir. Eğilimlerin tespiti durumunda, en küçük kareler yöntemiyle (Wilks, 2011) doğrusal regresyon modelleri, anomali verilerine her bir zamansal

segment için ve ayrıca tam gözlem süresi için ayrı ayrı yerleştirilmiştir. STL ayrıştırmasından elde edilen Loess eğilimi de deterministik lineer eğilimlerle birlikte grafiklerde çizilmiştir.

Çizelge 5.3 : Ege istasyonlarında zaman serisi eğilim testi sonuçları.

Veri Seti		Mann-Kendall		Cox-Stuart		Spearman's Rho		
		Z	p-değeri	Tau	T	p-değeri	Rho	p-değeri
Dedeğaç	Tüm zaman serisi	8.55	<10 ⁻¹⁵	0.23	7.14	<10 ⁻¹³	0.33	<10 ⁻¹⁶
	1969 – 1993 arası	-2.66	0.0077	-0.01	1.43	0.153*	-0.16	0.006
	1993 – 2020 arası	3.57	0.0004	0.13	2.89	0.004	0.19	0.0005
Selanik	Tüm zaman serisi	14.67	<10 ⁻¹⁵	0.4	9.69	<10 ⁻¹⁵	0.57	<10 ⁻¹⁵
	1969 – 1993 arası	-1.61	0.107*	-0.006	1.63	0.103*	-0.10	0.081*
	1993 – 2020 arası	6.90	<10 ⁻¹⁰	0.26	4.08	<10 ⁻⁴	0.37	<10 ⁻¹⁰
İleryoz	Tüm zaman serisi	8.90	<10 ⁻¹⁵	0.24	5.83	<10 ⁻⁸	0.36	<10 ⁻¹⁵
	1969 – 1993 arası	3.43	0.0006	0.14	3.6	0.0003	0.21	0.0003
	1993 – 2020 arası	4.10	<10 ⁻⁴	0.15	2.5	0.012	0.21	<10 ⁻⁴
Sire	Tüm zaman serisi	-5.72	<10 ⁻⁷	-0.15	7.14	<10 ⁻¹²	-0.23	<10 ⁻⁸
	1969 – 1993 arası	-8.15	<10 ⁻¹⁵	-0.32	6.74	<10 ⁻¹⁰	-0.46	<10 ⁻¹⁵
	1993 – 2020 arası	4.84	<10 ⁻⁵	0.18	2.12	0.034	0.26	<10 ⁻⁵
Suda (Hanya)	Tüm zaman serisi	2.16	0.03	0.06	1.83	0.07*	0.09	0.036
	1969 – 1993 arası	-6.12	<10 ⁻⁹	-2.42	6.53	<10 ⁻¹⁰	-0.34	<10 ⁻⁸
	1993 – 2011 arası	5.04	<10 ⁻⁶	0.22	3.21	0.001	0.3	<10 ⁻⁶
Sakız	Tüm zaman serisi	14.84	<10 ⁻¹⁵	0.42	11.04	<10 ⁻¹⁵	0.61	<10 ⁻¹⁵
	1969 – 1993 arası	1.52	0.127*	0.06	2.86	0.004	0.12	0.04
	1993 – 2016 arası	5.55	<10 ⁻⁷	0.23	4.51	<10 ⁻⁵	0.33	<10 ⁻⁷

*İstatistiksel olarak anlamlı değil

Çizelge 5.4 : Karadeniz istasyonlarında zaman serisi eğilim testi sonuçları.

Veri Seti		Mann-Kendall		Cox-Stuart		Spearman's Rho		
		Z	p-değeri	Tau	T	p-değeri	Rho	p-değeri
Burgas	Tüm zaman serisi	8.77	<10 ⁻¹⁵	0.21	6.91	<10 ⁻¹¹	0.30	<10 ⁻¹⁵
	1929 – 1967 arası	5.63	<10 ⁻⁷	0.17	2.92	0.0035	0.26	<10 ⁻⁷
	1967 – 1993 arası	-0.75	0.45*	-0.03	0.38	0.705*	-0.05	0.343*
Varna	Tüm zaman serisi	5.7	<10 ⁻⁷	0.13	5.21	<10 ⁻⁶	0.20	<10 ⁻⁸
	1929 – 1967 arası	5.96	<10 ⁻⁸	0.19	2.43	0.015	0.27	<10 ⁻⁸
	1967 – 1993 arası	-2.65	0.008	-9.87	0	1*	-0.15	0.005
Köstence	Tüm zaman serisi	6.70	<10 ⁻¹⁰	0.16	5.95	<10 ⁻⁸	0.25	<10 ⁻¹¹
	1933 – 1967 arası	5.96	<10 ⁻⁸	0.2	4.46	<10 ⁻⁵	0.3	<10 ⁻⁹
	1967 – 1993 arası	-1.23	0.217*	-0.05	0.2	0.845*	-0.08	0.142*
Sivastopol	Tüm zaman serisi	9.09	<10 ⁻¹⁵	0.19	8.35	<10 ⁻¹⁵	0.29	<10 ⁻¹⁵
	1910 – 1967 arası	4.98	<10 ⁻⁶	0.13	3.71	0.0002	0.19	<10 ⁻⁶
	1967 – 1993 arası	-0.87	0.382*	-0.03	0.39	0.695*	-0.26	0.29*
Tuapse	Tüm zaman serisi	17.59	<10 ⁻¹⁵	0.33	12.02	<10 ⁻¹⁵	0.48	<10 ⁻¹⁵
	1917 – 1967 arası	6.74	<10 ⁻¹⁰	0.18	4.10	<10 ⁻⁴	0.27	<10 ⁻¹⁰
	1967 – 1993 arası	3.85	0.0001	0.15	2	0.045	0.23	<10 ⁻⁴
	1993 – 2020 arası	1.61	0.107*	0.06	1.13	0.257*	0.097	0.074*

*İstatistiksel olarak anlamlı değil

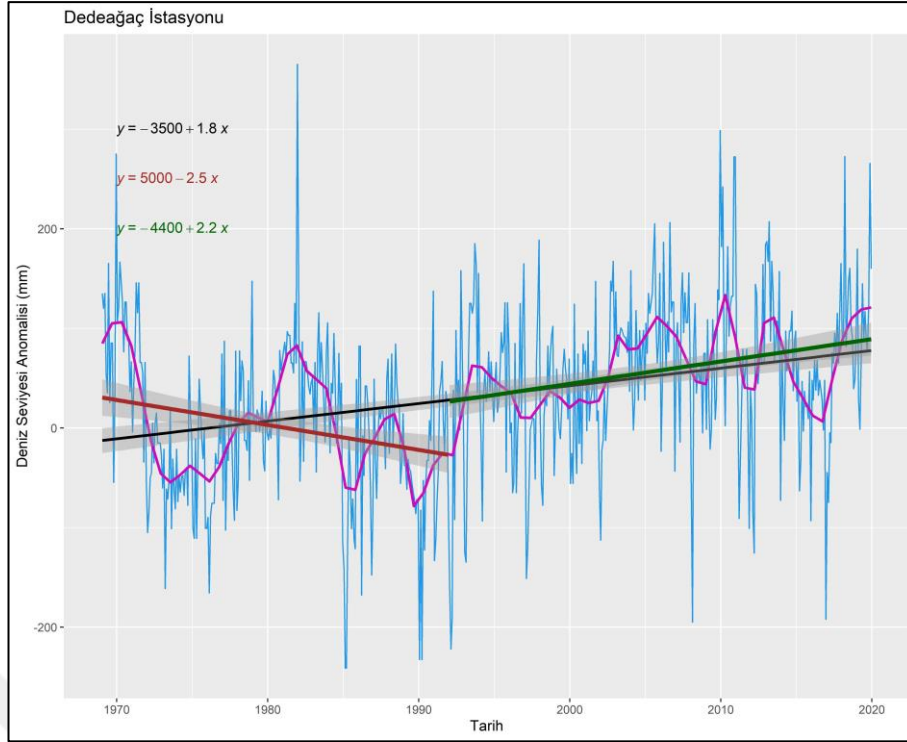
5.1 Akdeniz (Ege) İstasyonlarında Deniz Seviyesi Eğilimleri

Akdeniz (Ege) deniz seviyelerine ait eğilimlerin test sonuçları incelendiğinde;

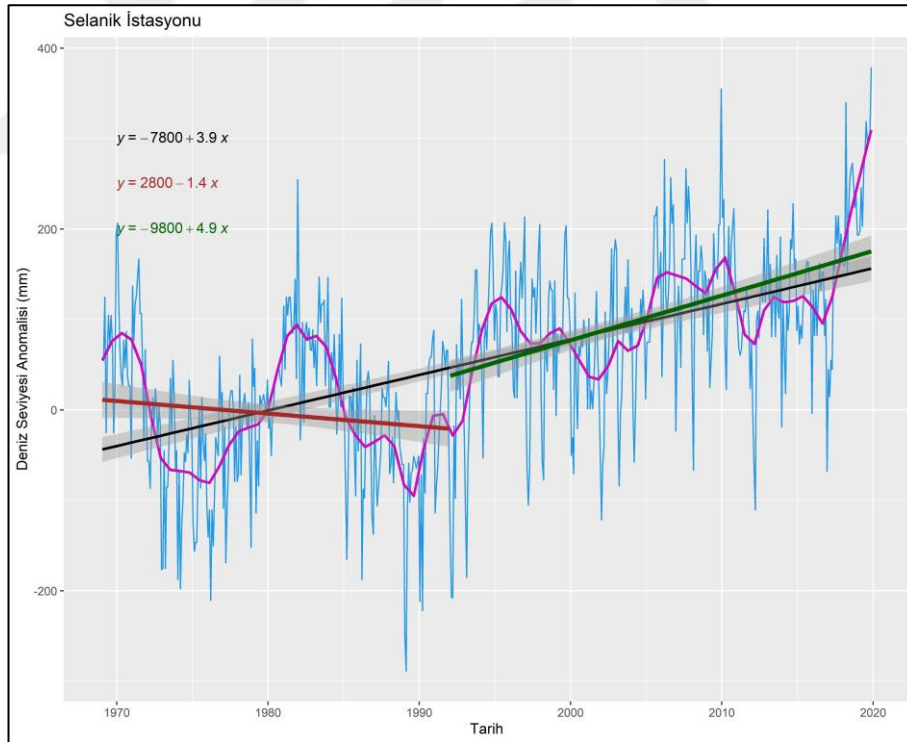
- Selanik istasyonunun ilk segmentinde her 3 eğilim tespit yöntemine göre herhangi bir eğilim bulunmadığı,
- Sakız istasyonunun 1. Segmentinin M-K test sonucuna göre bir eğilime sahip olmadığı, ancak C-S ve S test sonuçlarına göre pozitif eğilim bulunduğu,
- Dedeğaç'ın ilk segmenti ile Suda istasyonunun tüm zaman serisi için C-S test sonucuna göre eğilim bulunmadığı, ancak M-K ve S test sonuçlarına göre her 2 istasyonun ilgili veri setleri için negatif (Dedeğaç) ve pozitif (Suda) eğilimler bulunduğu

anlaşılmaktadır. Geriye kalan tüm analizlerin eğilim sonuçları her 3 test açısından da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

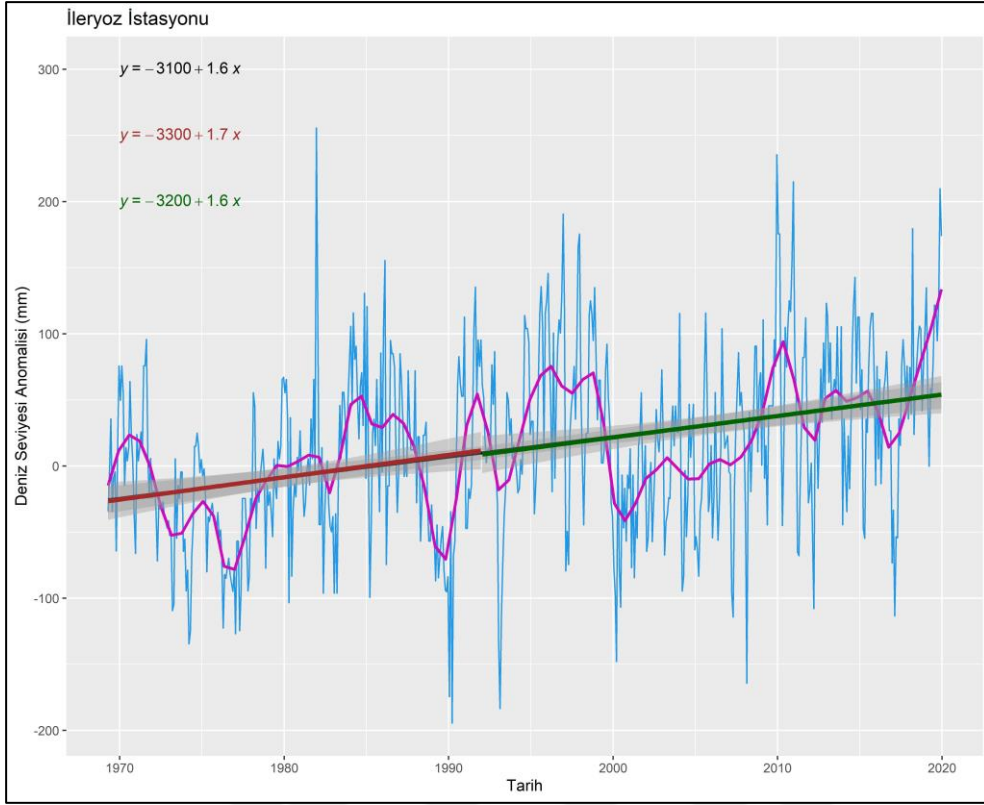
Veri setinin tümünü kapsayan segmentler ele alındığında Sire istasyonu hariç tüm eğilimlerin pozitif yönlü oldukları görülmektedir. Kapsanan tarih aralıkları 2 segmente ayrılarak incelendiğinde ortaya çıkan durumda; Dedeğaç (-2,5 mm/yıl), Sire (-7,4 mm/yıl), Suda (Hanya) (-4,8 mm/yıl) istasyonlarında deniz seviyesi anomalileri ilk segmentte azalan bir eğilim göstermektedir. Yalnız İleryoz ve Sakız istasyonlarında her 2 segmentte de artan eğilimler mevcuttur. İleryoz istasyonunda hem her 2 segmentteki, hem de tüm dönemi kapsayan deterministik eğilimlere ait pozitif eğimler yaklaşık eşit bulunmuştur (1,6~1,7 mm/yıl). Sakız istasyonu ise ilk dönemde 1,2 mm/yıl, ikinci dönemde 4,5 mm/yıl eğimlerine sahip pozitif eğilimler göstermiştir. Genel olarak Akdeniz istasyonlarının tümünde 1990 yılı sonrasında günümüze kadar olan ikinci segmentlerde artan eğilimler tespit edilmiştir. Tüm eğilimlere ait grafikler aşağıda Şekil 5.5 – Şekil 5.10 arasında sunulmuştur.



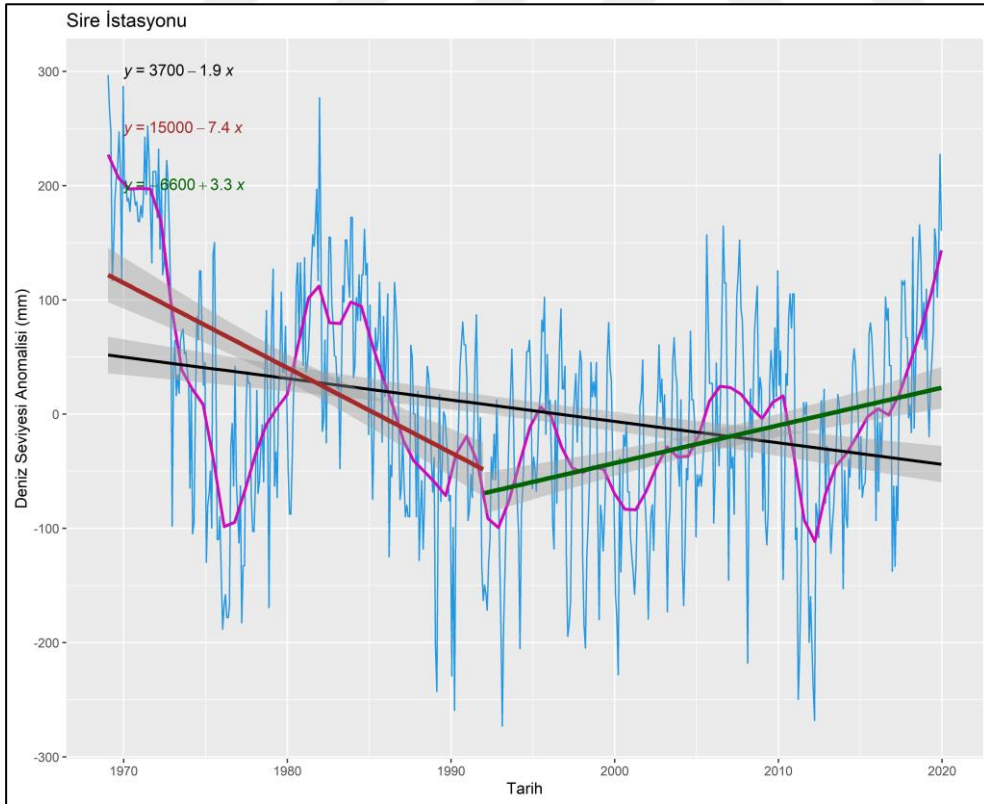
Şekil 5.5 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Dedeağaç İstasyonu.



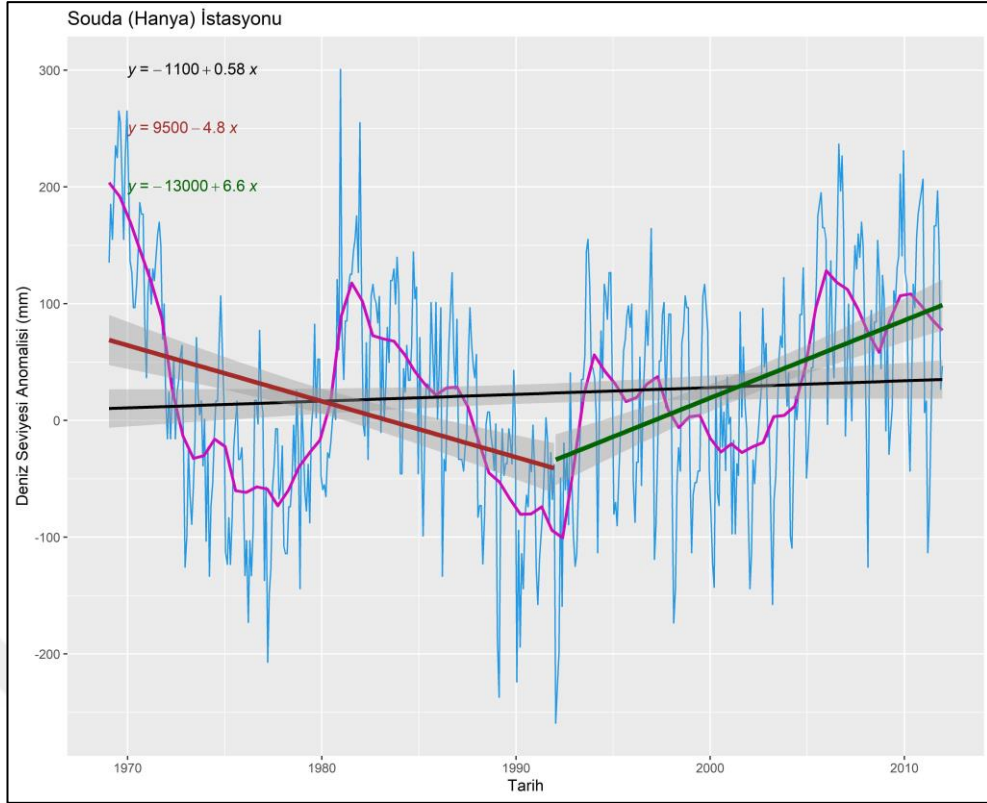
Şekil 5.6 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Selanik İstasyonu.



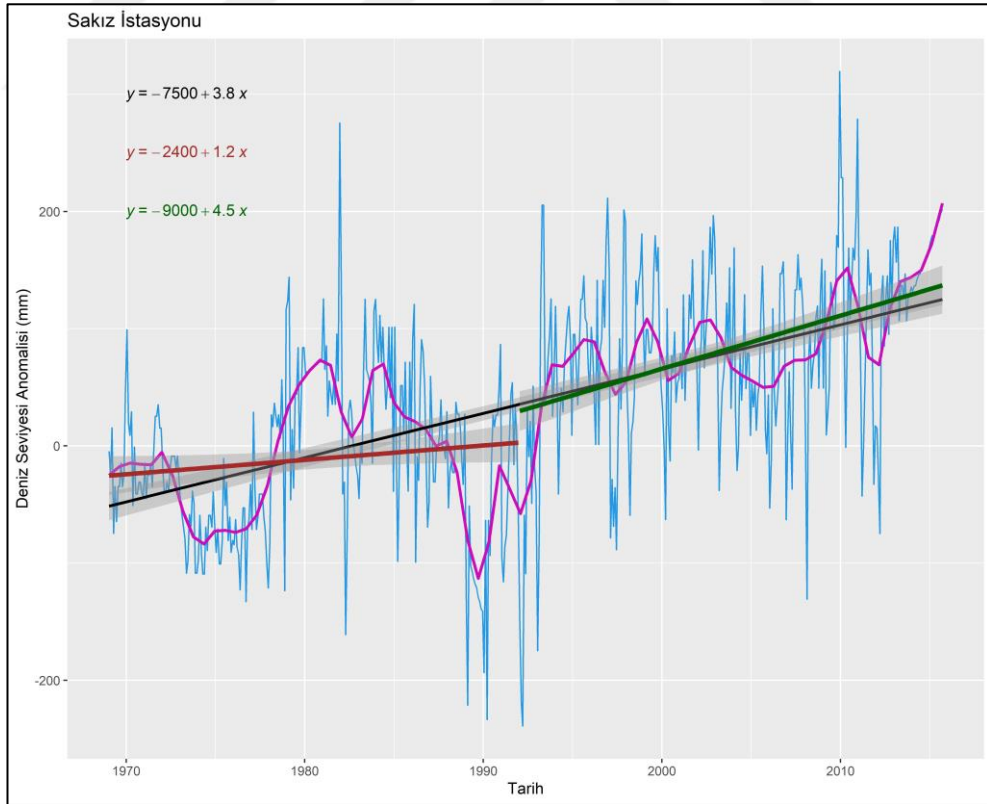
Şekil 5.7 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, İleryoz İstasyonu.



Şekil 5.8 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Sire İstasyonu.



Şekil 5.9 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Suda İstasyonu.



Şekil 5.10 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Sakız İstasyonu.

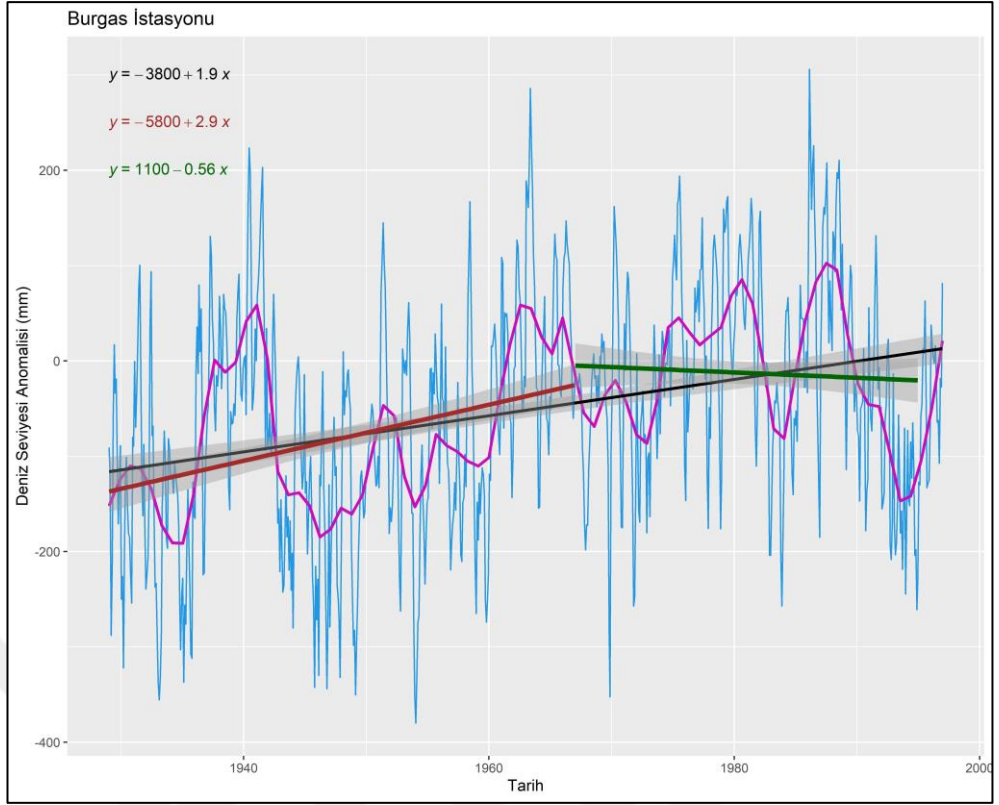
5.2 Karadeniz İstasyonlarında Deniz Seviyesi Eğilimleri

Karadeniz’de deniz seviyelerine ait eğilimlerin test sonuçları incelendiğinde;

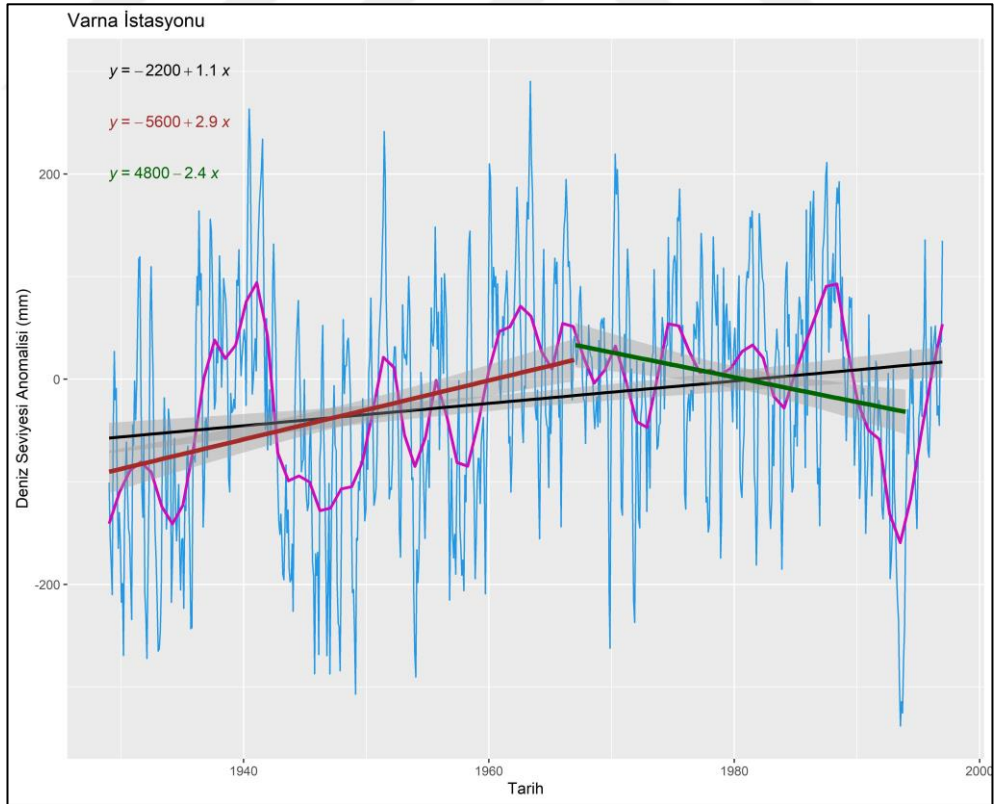
- Burgas, Köstence ve Sivastopol istasyonlarının ikinci segmentleri (1967-1993) ile Tuapse istasyonunun üçüncü segmentinde (1993-2020) her 3 eğilim tespit yöntemine göre herhangi bir eğilim bulunmadığı,
- Varna istasyonunun 2. segmentinin C-S test sonucuna göre bir eğilime sahip olmadığı, ancak M-K ve S test sonuçlarına göre negatif eğilim bulunduğu,

anlaşılmaktadır. Geriye kalan tüm analizlerin eğilim sonuçları her 3 test açısından da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

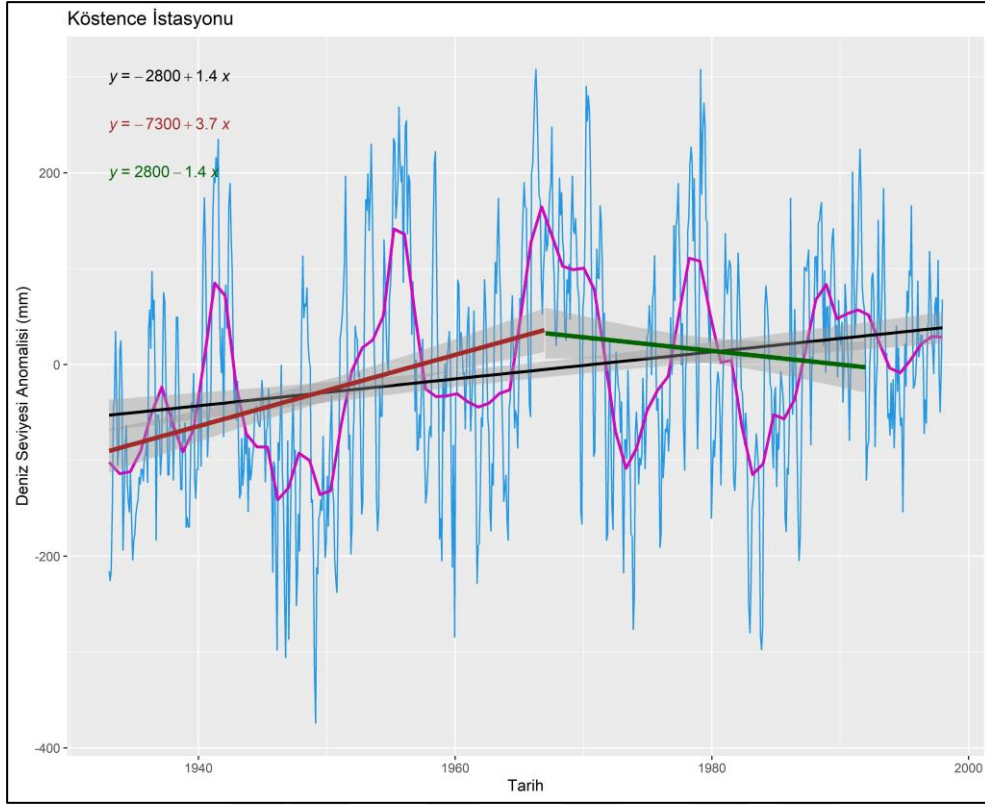
Veri setlerinin tümünü kapsayan segmentler ele alındığında, tüm istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı eğilimlerin bulunduğu ve tümünün pozitif yönlü oldukları görülmektedir. Eğilimlere ait pozitif eğimler 1,1 mm/yıl (Varna) ile 2,3 mm/yıl (Tuapse) arasında değişmektedir. Zaman serisi segmentlere ayrılarak incelendiğinde ortaya çıkan durumda, Varna istasyonunda önce pozitif yönlü (2,9 mm/yıl), sonra azalan (-2,4 mm/yıl) eğilimler bulunmuştur. Burgas, Köstence ve Sivastopol istasyonlarında yalnız ilk segmentlerde pozitif eğimli (sırasıyla 2,9 mm/yıl, 3,7 mm/yıl ve 1,4 mm/yıl) eğilim çizgileri tespit edilmiştir. Tuapse istasyonu hem 1 hem de 2. segmentinde artan (sırasıyla 2,7 ve 3,7 mm/yıl) eğilimlere sahiptir. Tüm eğilimlere ait grafikler aşağıda Şekil 5.11 – Şekil 5.15 arasında sunulmuştur.



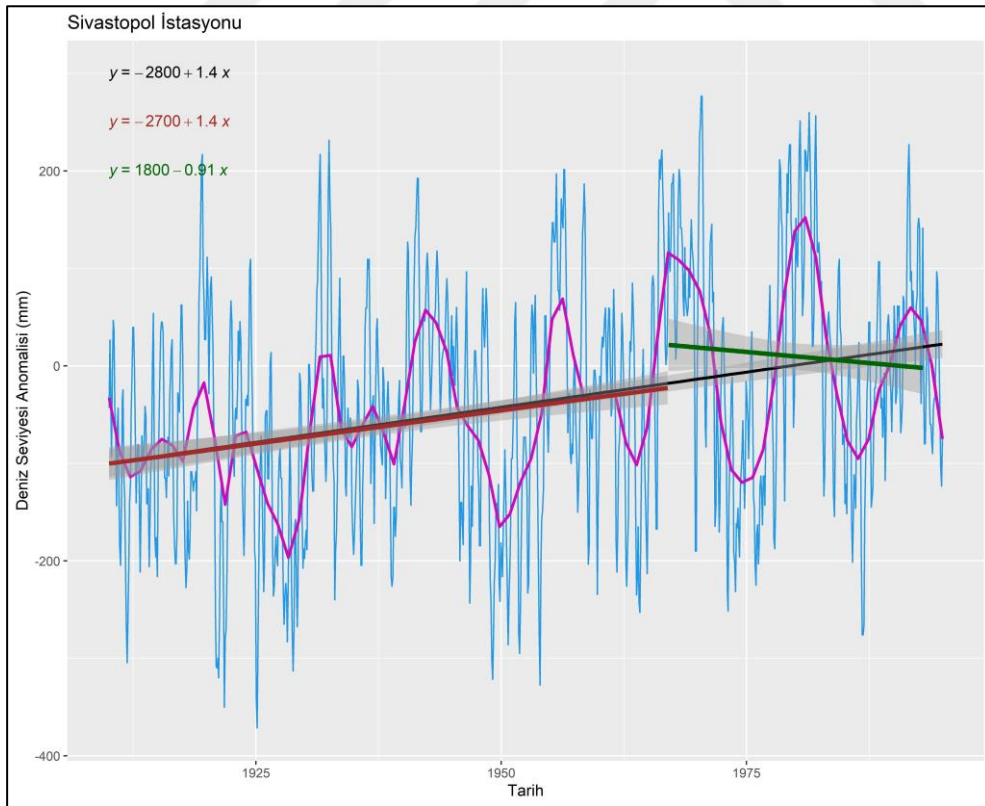
Şekil 5.11 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Burgas İstasyonu.



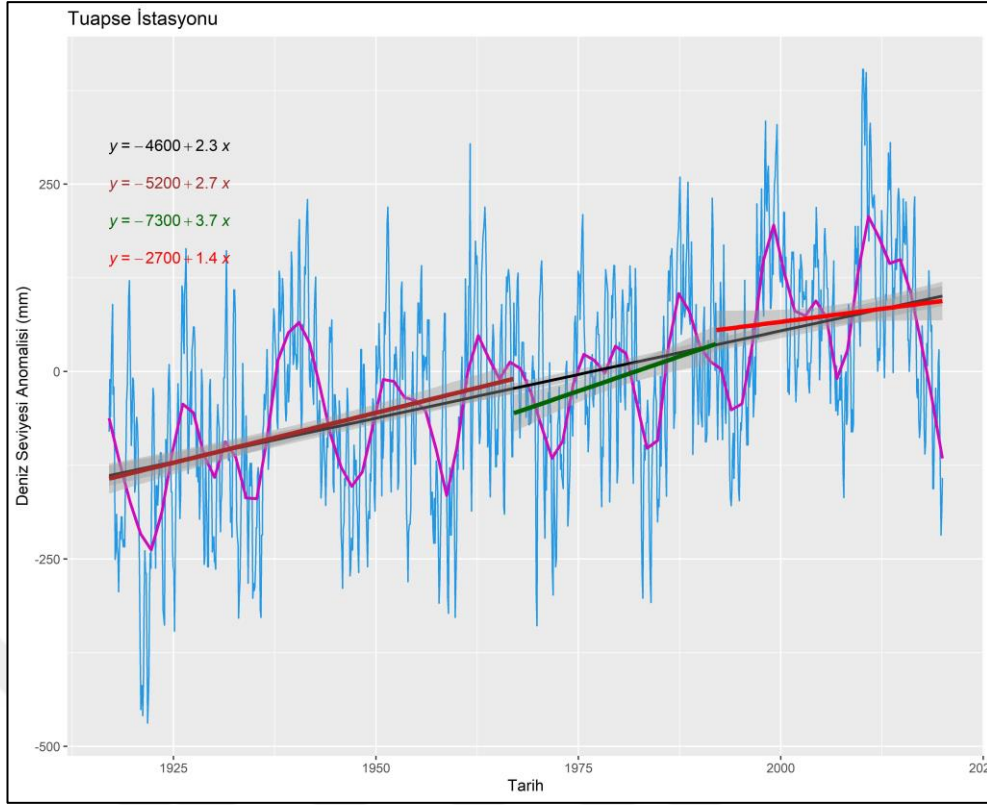
Şekil 5.12 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Varna İstasyonu.



Şekil 5.13 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Köstence İstasyonu.



Şekil 5.14 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Sivastopol İstasyonu.



Şekil 5.15 : Deniz seviyesi anomalisi ve eğilim modelleri, Tuapse İstasyonu.

5.3 Eğilimlere Dair Sonuçlar

Deterministik lineer eğilimler ve Loess düzleştirilmesi ile örtüşen zaman serisi anomalilerinin çizimleri, deniz seviyesi değişimlerinin karmaşıklığını iyi bir şekilde ortaya koymaktadır. Tüm Loess düzleştirme grafikleri, Ege deniz seviyelerinde yüksek derecede rastgelelik ve 1989-1990 (Dedeagaç, Selanik, İleryoz ve Sakız) ve 1992-1993'te (Siros ve Suda) gözlemlenen ortak minimumlar dışında hiçbir belirgin desen göstermeyen yükselme ve alçalma dönemlerini ortaya koymaktadır.

Karadeniz'de ise bu minimalara tekabül eden dönemlerde benzer alçalmalara rastlanmamıştır. Bunun yerine, tüm istasyonlarda 10-20 yıl zaman aralıklarında değişen periyotlarda döngüsel hareketlere rastlanmıştır. Döngüsel hareketlerin mevsimsellikten farkı, çok daha düşük frekanslı hareketler olarak meydana gelmeleridir. En belirgin döngüsel hareketin Tuapse istasyonunda meydana geldiği (10 yıllık periyotla düzenli tepe ve dipler gösteren Loess eğrisi) belirlenmiştir (Şekil 5.15).

90'lı yıllardan önceki dönem, yani erken 1960'lar ile erken 1990'lar arası, Akdeniz'de o zaman diliminde deniz seviyesinin alçalmasıyla ilişkilendirilen pozitif NAO İndisi dönemi olarak belirlenmiştir (Vigo ve diğ., 2005; Tsimplis ve Josey, 2001). İkinci

bölümde (Çizelge 2.2) verilen Flemming ve Woodworth (1988) tarafından hesaplanmış negatif eğilimler, bu çalışmada hesapladığımız Dedeğaç, Sire ve Suda birinci segment negatif eğilimleri ile örtüşmektedir. Ancak bu araştırmacılar, hesapladıkları eğilimleri sterik deniz seviyesi bileşeninden ziyade dikey kara hareketlerine bağlayarak açıklamışlardır.

90'ların başındaki minimumlardan sonra gözlemlenen pozitif eğilimler büyük olasılıkla o dönemde meydana gelen Kuzey Atlantik Salınım (NAO) İndisi'ndeki kayma ile (Mariotti ve diğerleri 2002) ve kısmen de bu kaymanın neden olduğu Doğu Akdeniz Geçişi (EMT) olarak adlandırılan fenomenle ilgilidir (Lascaratos, ve diğerleri, 1999). Özetle, NAO İndisi kaymasına kadar soğuma ve sonrasında daha tuzlu Levanten sularını Ege'ye taşıyan EMT'nin neden olduğu tuzluluk artışı, 90'lı yılların başına kadar sterik deniz seviyesi bileşeninde azalmaya neden olmuştur. Artan deniz seviyeleri, daha sonra Akdeniz'de termosterik bileşen halosterik bileşene göre baskın olduğu için artan sıcaklıklarla ilişkilidir (Criado-Aldeanueva ve diğ., 2008).

Deterministik lineer eğilim sonuçları, dikkate alınan konuma ve zaman periyoduna bağlı olarak farklı büyüklüklerde deniz seviyesindeki yükselme veya düşüşler vermiştir (Örn: Suda anomalilerinin ilk segmentte azalan bir eğilimi var, ancak genel olarak eğilim artıyor). Bu durum, aslında, Çizelge 2.2'de sunulan daha önceki çalışmalarda gösterildiği gibi, bir zaman serisi verilerinin eğilimini araştırmak için seçilen zaman çerçevesine açıkça bağlı olduğundan, zaman serisi analizinde deterministik yöntemlerin nesnellliğini sorgulamaktadır.

Analiz edilen tüm gelgit ölçüm istasyonlarında 1992-1993 sonrası zamansal segmentleri için istatistiksel olarak anlamlı pozitif eğilimler tespit edilmiştir. Büyük olasılıkla bu tarihlerde negatif tarafa kayan NAO İndisi ve onun tetiklediği sıcaklık artışına bağlı olan bu durumu destekleyici olarak deniz yüzeyi sıcaklıkları (SST) ve deniz seviyesi anomalileri arasındaki yüksek korelasyonu ilk olarak Cazenave, et. al. (2002) ve ardından Vigo, et. al. (2005) ortaya koymuştur.

Bu çalışmada hidrometeorolojik parametrelerin NAO İndisi ile olan ilişkisi ele alınmıştır. Bu kapsamda yapılan korelasyon testlerinin sonucunda Karadeniz'de yağış, buharlaşma ve yüzeysel akım ile NAO İndisi arasında;

- Varna, Köstence'de (gözlem) ve Karadeniz genelinde (ERA5) yağış ve NAO İndisi arasında negatif korelasyon,

- Tuapse'de sıcaklık ve NAO İndisi arasında negatif korelasyon,
- Karadeniz geneli yüzeysel akım ve NAO İndisi arasında negatif korelasyon

tespit edilmiştir. Karadeniz genelinde buharlaşmanın NAO İndisi ile korelasyon halinde olmadığı, buharlaşmanın zamana karşı da herhangi bir eğilimi bulunmadığı ortaya konmuştur.

Ege'de ise;

- Selanik (gözlem) ve Ege genelinde (ERA5) yağış ve NAO İndisi arasında negatif korelasyon,
- Selanik ve Suda (gözlem) sıcaklıkları ve NAO İndisi arasında negatif korelasyon,
- Ege geneli buharlaşma ve NAO İndisi arasında negatif, yüzeysel akım ve NAO İndisi arasında yine negatif korelasyonlar

tespit edilmiştir. Yüzeysel akım zamanla azalma eğilimi de göstermektedir.

Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) Küresel Deniz Seviyesi Bütçe Grubu'nun (2018) çalışma sonuçları, bu çalışmadaki 1992 sonrası negatif NAO İndisi etkisi altında deniz seviyesi eğilim hesaplamalarıyla tutarlı olan, 1993'ten 2018'e kadar olan küresel deniz seviyesi artışını kapsamaktadır. Yukarıda bahsedilen çalışma, küresel deniz seviyesindeki yükselme oranını 3,1 mm/yıl olarak belirlemiştir. Bu çalışmanın bulgularına göre elde edilen yükselme oranları ise ikinci segmentte 1,6 mm/yıl'dan (İleryoz adası) 6,6 mm/yıl'a (Girit adasında Suda) değişim gösterirken; Ege Denizi'nde 6 istasyonun hepsinin ortalaması zaman serisinin tamamı için ~1,6 mm/yıl'a, ikinci segmentler için ise ~3,85 mm/yıl'a eşittir.

Bu tez çalışması ile 1993'ten günümüze kadar hesaplanmış olan global trend (3,1 mm/yıl) ile Ege denizi için bu zaman dilimi ile örtüşen ikinci segment sonuçlarının 6 istasyon için ortalamasının (3,85 mm/yıl) çok yakın olduğu belirlenmiştir. Ancak, birinci segment eğilim sonuçlarının gösterdiği gibi, bölgesel denizlerin deniz seviyesi dinamikleri yerel olarak küresel trendin tersi yönünde davranışlar da gösterebilmektedir.

5.4 Zaman Serisi Bileşenlerine Dair Sonuçlar

Tüm istasyonların incelemeye tabi tutulan zaman aralıklarında Loess eğilim bileşeninde ortaya çıkmış deniz seviyesi zaman serisinin bitiş ve başlangıç tarihlerindeki farkları (ΔE) Çizelge 5.5'te sunulmuştur.

Çizelge 5.5 : İzlenen istasyonlara ait zaman serisi eğilim bileşenlerinin bitiş ve başlangıç tarihleri arasındaki seviye farkları (mm).

İstasyon	Başlangıç	Bitiş	ΔE
Dedeğaç*	Aralık 1969	Aralık 2019	+17
İleryoz*	Aralık 1969	Aralık 2019	+83
Sakız*	Eylül 1969	Eylül 2015	+221
Selanik*	Kasım 1969	Kasım 2019	+171
Sire*	Aralık 1969	Aralık 2019	-110
Suda (Hanya)*	Aralık 1969	Aralık 2011	-33
Burgas	Aralık 1929	Aralık 1996	+181
Varna	Aralık 1929	Aralık 1996	+195
Köstence	Aralık 1933	Aralık 1997	+172
Sivastopol	Aralık 1910	Aralık 1994	+68
Tuapse	Aralık 1917	Aralık 2019	+158
Poti	Aralık 1874	Aralık 2016	+1060

*Akdeniz (Ege) istasyonları

Genel bir sonuç olarak neredeyse tüm istasyonlarda zaman içerisinde bitiş ve başlangıç tarihleri arasında pozitif farklar bulunduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, Ege'de Sire ve Suda hariç tüm istasyonlarda, Karadeniz'de ise tüm istasyonlarda deniz seviyesinde yükselme durumuna işaret etmektedir.

Mevsimsellik bileşeni ele alındığında, Ege ve Karadeniz istasyonlarının farklı fazlarda salınımlar yaptıkları belirlenmiştir. Mevsimsel en yüksek ve en düşük seviyelerin hangi aylarda meydana geldiği ve bu 2 seviye arasındaki su seviyesi farkları Çizelge 5.6'da sunulmuştur.

Çizelge 5.6 : Mevsimsellik bileşeninin en yüksek ve en düşük değerleri, meydana gelme zamanları ve iki seviye arasındaki farklar.

İstasyon	Mevsimsel en yüksek	Mevsimsel en düşük	Su Seviyesi Farkı (mm)
Dedeğaç*	Kasım (25,5)	Mart (-40,5)	66
İleryoz*	Ağustos (42)	Nisan (-44)	86
Sakız*	Ağustos (29,4)	Mart (-37,7)	67,1
Selanik*	Ağustos (46)	Mart (-63,5)	109,5
Suda (Hanya)*	Ağustos (56,5)	Mart (-75)	131,5
Sire*	Ağustos (77)	Mart (-75)	152
Burgas	Haziran (79,3)	Kasım (-74)	153,3
Varna	Haziran (72,3)	Ekim (-71,4)	143,7
Köstence	Mayıs (68)	Ekim (-72,3)	140,3
Sivastopol	Haziran (94,8)	Ekim (-88,3)	183,1
Tuapse	Temmuz (86,6)	Ekim (-92,6)	179,2
Poti	Haziran (108,9)	Kasım (-91)	199,9

*Akdeniz (Ege) istasyonları

Deniz seviyelerindeki mevsimsellik bileşenini daha sağlıklı yorumlayabilmek adına hidrometeorolojik parametrelere ait mevsimsellik bileşenlerinin en yüksek ve en düşük değerlerini aldığı dönemler Çizelge 5.7’de sunulmuştur.

Çizelge 5.7 : Hidrometeorolojik parametrelere ait mevsimsellik bileşeninin en yüksek ve en düşük değerlerinin meydana gelme zamanları.

İstasyon	Yağış (maks)	Yağış (min)	Nehir deşarjı (maks)	Nehir deşarjı (min)	Buharlaşma (maks)	Buharlaşma (min)
Karadeniz	Aralık	Mayıs	Mart	Ağustos	Eylül	Nisan
Ege Denizi	Aralık	Ağustos	Şubat	Ağustos	Aralık	Mayıs
Selanik	Aralık	Ağustos				
Suda	Aralık	Temmuz				
Varna	Haziran	Ağustos				
Köstence	Haziran	Ağustos				
Sivastopol	Aralık	Mayıs				
Tuna Nehri (debi)*			Mayıs	Ekim		

*1982’ye kadar veri mevcut.

Karadeniz istasyonları deniz seviyesi mevsimsellik salınımı maksimum seviyesine yaz mevsiminde (Haziran) ulaşırken, minimum seviyesine sonbaharda (Ekim-Kasım) inmektedir. Ege istasyonlarında ise mevsimsellik salınımı maksimumu Dedeğaç haricindeki 5 istasyonda da Ağustos aylarında gözlemlenmektedir. Mevsimsellik salınımı minimumları İlkbahar mevsiminde (Mart) gerçekleşmektedir.

Mevsimsellik bileşeni minimum ve maksimum seviyeleri arasındaki farklar Karadeniz istasyonlarında genel olarak Akdeniz istasyonlarına göre daha yüksektir. Karadeniz istasyonları farkları en düşük Köstence’de (140,3 mm), en fazla ise Poti’de (199,9 mm) hesaplanmıştır. Akdeniz istasyonları için en düşük fark Dedeğaç’ta (66 mm), en yüksek fark ise Sire’de (152 mm) hesaplanmıştır.

Mevsimsellik bileşenine ait seviyelerin Karadeniz’de pik yaptığı Haziran ayından minimum yaptığı Ekim ayına varıncaya kadar çok hızlı bir şekilde düştüğü ortaya konmuştur. Bunun nedeninin yağış rejimlerine bağlı olarak azalan akarsu debileri olduğu düşünülmektedir. Nitekim Çizelge 5.7’de görülen akarsu debilerinin en düşük olduğu dönemin Ağustos ayı olması bu fikri desteklemektedir.

Dedeğaç’ta FFT işlemi sonucunda 12 aylık kuvvetli periyodikliğin yanı sıra 6 aylık da nispeten kuvvetli periyodiklik tespit edilmiştir. Mevsimsel en yüksek zamanının diğer Ege istasyonlarına göre farklı bulunmasının nedeninin bu periyodiklik olduğu düşünülmektedir.

FFT işleminin tüm istasyonlar açısından sonuçları incelendiğinde, ele alınan tüm istasyonlarda birincil periyodikliğin 12 aylık fazda gerçekleşen hareket olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, bazı istasyonlarda 12 aylık periyodik hareketin yanı sıra kuvvetli sayılabilecek 6 aylık ve daha az belirgin 9 aylık periyodik hareketlerin varlığı tespit edilmiştir. Aşağıda 12 aylık kuvvetli periyodik hareketin yanı sıra meydana gelen diğer periyodik hareketlerin bir listesi verilmiştir:

- Dedeğaç; 6 aylık orta kuvvetli
- Selanik; 6 aylık zayıf
- İleryoz; 6 aylık az kuvvetli, 9 aylık zayıf
- Sire; 8 aylık zayıf
- Suda; 10 aylık zayıf
- Sakız; 9 ve 10 aylık az kuvvetli
- Burgas; 6 aylık az kuvvetli
- Varna; 6 aylık az kuvvetli
- Köstence; 6 ve 9 aylık az kuvvetli

- Sivastopol; 6 aylık az kuvvetli
- Tuapse; 6 aylık az kuvvetli
- Poti; 6 aylık az kuvvetli

Karadeniz istasyonlarının tümünde 12 aylık kuvvetli periyodikliğin yanında 6 aylık da nispeten az kuvvetli periyodiklik tespit edilmiştir. Köstence istasyonunda ayrıca 9 aylık zayıf bir periyodiklik daha görülmüştür.

Akdeniz (Ege) istasyonlarındaki periyodiklikler Karadeniz'e göre daha çeşitlidir. Dedeağaç istasyonunda orta kuvvetli 6 aylık, Selanik'te 6 aylık zayıf, İleryoz'da 6 aylık az kuvvetli ve 9 aylık zayıf, Sire'de 8 aylık zayıf, Suda'da 10 aylık zayıf, Sakız'da ise 9 ve 10 aylık az kuvvetli periyodiklikler tespit edilmiştir.

Karadeniz'de görülen periyodikliklerin daha az çeşitli olmasının nedeni hidrolojik olarak nehir akımları tarafından yönetilen kapalı bir sistem şeklinde çalışmasıyla açıklanabilir. Ege denizinde ise hem kuzeyden boğazlar vasıtasıyla gelen Karadeniz akımının hem de Lavant baseninden gelerek Girit'in doğusundan Ege'ye giren akımın etkileri bu farklı periyodik hareketlere yol açıyor olabilir.

Zaman serilerinde ayrıştırılan bileşenlerin sonuncusu olan rastgelelik (kalıntı) bileşenlerine ait durum incelendiğinde, tüm istasyonlar için bu hareketlerin beklendiği gibi normal dağılıma yakın dağılımlar gösterdiği ve herhangi bir eğilim ya da desene tabi olmadıkları ortaya konmuştur.

Deniz seviyelerinde gözlemlenen eğilimlerin deterministik olarak ele alınmasında bazı sınırlamaların meydana geldiği 5.1 ve 5.2 başlıkları altında ortaya çıkmıştır. Zaman serilerinin bütüncül olarak ele alınması ile farklı tarih aralıklarındaki çerçevelerde ele alınmaları arasında, eğilim bileşeninin durumu açısından önemli farklılıklar meydana geldiği tespit edilmiştir. Sire istasyonunun zaman serisi bütüncül olarak ele alındığında azalan eğilime sahipken sadece ikinci segment ele alındığında artan bir eğilim göstermesi bu duruma bir örnek teşkil eder.

Sire istasyonu haricinde, ele alınan tüm zaman serilerinin başlangıç ve bitiş noktalarına ait ölçüm değerlerine bakıldığında sonuç olarak seviyelerde bir artış meydana geldiği görülmektedir. Ancak bu artışın miktarı ve meydana geldiği tarih çerçevelerinin belirli bir düzene tabi olmadığı istasyonların çoğunluğunda belirlenmiştir. Loess

düzleştirmesiyle elde edilen eğilimler deterministik yöntemle göre durumun karmaşık yapısını daha iyi ifade etmektedir.

Deniz seviyesi değişimlerine etki eden faktörlerin sterik etki ve net tatlısu değişimleri olduğuna değinilmiştir. Sterik etkinin ise bu çalışma için kısıtlayıcı olarak kabul edildiği, ancak incelenen deniz seviyesi izleme istasyonlarının kayıtları tarafından yansıtıldığı kabul edilmiştir. Net tatlısu değişimleri bakımından inceleme yapılacak olursa, Karadeniz’de pozitif bütçeye neden olan nehir akımlarının durumu, yağış ve buharlaşma miktarı önem kazanmaktadır. Bu 3 hidrolojik bileşen için Arnell (1999) Tuna nehri havzasında yaptığı model çalışmasında 2050 yılına kadar ortalama -%20 nehir akımı azalması, ortalama -%5 yağış azalması, ve ortalama %20 buharlaşma artışı öngörmüştür.

Denklem 2.2’de bulunan R , P ve E değerleri için Oğuz ve diğ.’nin (2004) verdiği sayıların Bölüm 2.2’de verilen Arnell’in (1999) hesaplarına göre değiştiği var sayılacak olursa Karadeniz’deki tatlısu fazlalığı olan F değeri 2050 yılına kadar;

$$(350*0,8 + 300*0,95) - 350*1,20 = 145 \text{ km}^3/\text{yıl}$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada Tuna nehri havzası için kullanılan model sonuçlarının tüm Karadeniz havzası için benzer olacağı var sayılmıştır. Bu durum Karadeniz’de 2000’li yılların verileriyle hesaplanmış olan $300 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ’lık değerin neredeyse yarı yarıya azalması anlamına gelmektedir. Azalan net tatlısu bütçesinin Karadeniz su seviyesinde azalmaya neden olması kaçınılmaz bir durumdur. Tuna nehri havzasında nehir akımlarının azalması 2. Bölüm’de detaylı anlatıldığı gibi su kullanımlarının artışına, buharlaşmanın artması ise yine aynı bölümde NOAA’dan (2021) aktarıldığı gibi Avrupa sıcaklık anomalilerindeki 1968’den 2021’e $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ’lik deterministik, $2 \text{ }^\circ\text{C}$ ’lik Loess düzleştiricisi artışına bağlanabilir.

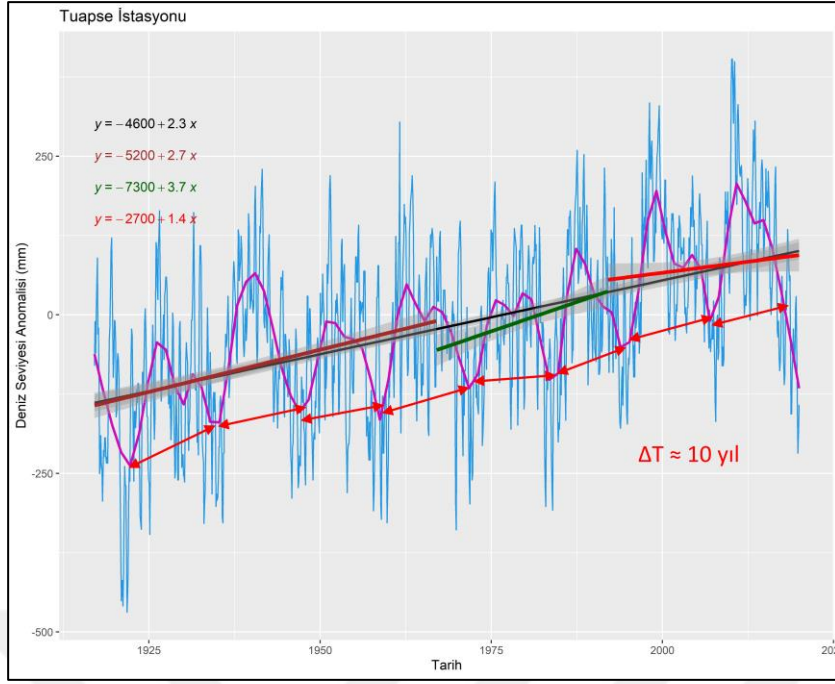
Öte yandan, üzerinden geçen yıllar içerisinde Arnell’in 1999 tarihli çalışmasındaki model hesaplamaları ile örtüşmeyecek biçimde meteorolojik koşulların meydana geldiği elde edilen gözlem ve ERA5 reanaliz verilerinden anlaşılmaktadır. Bu nedenle yukarıdaki senaryonun gerçekçilikten uzak olduğu düşünülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan değerlendirmelere göre, Karadeniz’deki hidrometeorolojik parametrelerin herhangi bir artış ya da azalım eğilimi göstermediği bulgusuna varılmıştır. Buradan hareketle Karadeniz tatlısu bütçesinin gelecekte de sabite yakın seyredeceğini söylemek daha gerçekçi bir yaklaşımdır.

Karadeniz’de incelemeye alınan istasyonlardan sadece Tuapse istasyonunda 1994 sonrasına ait ve 2020’ye kadar devam eden güncel veri mevcuttur. Tuapse’nin Karadeniz’deki durumu yansıttığı var sayılacak olursa, 1917’den günümüze kadar artan eğilim çizgisinin yanı sıra, zaman serisinin 3. segmentinde (1996’dan 2020’ye kadar) herhangi bir eğilim tespit edilmemiştir. Dolayısıyla azalan net tatlısu bütçesinin etkisini doğrulayıcı bir deniz seviyesi bulgusu mevcut değildir.

Bölüm 5.3’te tespiti yapılmış olan Ege’de mevsimsellik bileşeninin pik yaptığı Ağustos ayları ile dip yaptığı Kasım ayları Skliris, ve diğ.’nin (2011) 1985-2008 yılları arasındaki verileri kullanarak hesapladığı deniz yüzeyi sıcaklığındaki mevsimsellik bileşeninin pik ve dip yaptığı aylarla bire bir örtüşmektedir. Bu duruma bakılarak deniz suyu sıcaklığının ölçülen deniz seviyesi üzerindeki etkisinin önemi görülmektedir.

Bu sonuçlara göre Boğazlar sistemi üst akımında Karadeniz’den Boğaz’a giren daha az tuzlu su miktarında önemli bir değişim beklenmemekle birlikte, alt akımında Karadeniz’e giren Akdeniz tuzlu suyunda bir artış beklenebilir. Alpar ve diğ. (2004) Karadeniz’in İstanbul Boğazı girişi ile Ege Denizi’nin Çanakkale Boğazı girişi arasındaki ortalama deniz seviyesi farkını 55 cm olarak hesaplamıştır. Karadeniz’de meydana gelen pozitif tatlısu bütçesi devam ettiği takdirde bu farkın zaman içerisinde Ege’den gelen akımın etkisiyle Ege denizi lehine değişmesi beklenebilir.

Bunların yanı sıra, hidrolojik özellikleri bakımından kapalı bir göl sistemine benzeyen Karadeniz’de deniz seviyelerindeki mevsimsellik hareketlerinin haricinde, uzun yıllara dayalı döngüsel hareketlerin mevcut olduğu ortaya konmuştur. Tuapse istasyonunda diğer istasyonlara göre daha belirgin olmak üzere mevsimsellik haricinde uzun dönem döngüsel hareketi olarak nitelendirilebilecek bir desene rastlanmıştır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 : Tuapse istasyonunda 10 yıl periyotlu döngüsellik.

Şekilde görüldüğü gibi artan eğilimle birlikte Loess düzleştirmesi grafiğinde düzenli olarak yaklaşık 10 yılda bir periyotlarla dip ve tepeler yapan bir desen ortaya çıkmıştır. Bu bulgunun Karadeniz için yapılan diğer hidrolik ve ekolojik çalışmalarda yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

6. SONUÇLAR

Ege denizi ve Karadeniz'deki deniz seviyesi izleme istasyonlarına ait veriler üzerinde yapılan analizlere göre her 2 denizde de ortalama deniz seviyeleri bakımından zaman içerisinde artan bir değişimin (pozitif eğilim) bulunduğu tespit edilmiştir.

Ancak bu artışların birbirlerinden farklı hızlarda (mm/yıl) meydana geldiği ve farklı dinamiklere bağlı olarak sirayet ettikleri ortaya çıkarılmıştır. Bir marjinal deniz niteliğinde olan Karadeniz'deki deniz seviyesi değişimlerinin büyük oranda tatlısu bütçesine (kütle bileşeni) bağlı olarak meydana geldiği, sterik bileşen nedeniyle meydana gelen hareketlerin bu denizde görece daha az önem arz ettiği belirlenmiştir. Ege denizinde ise bunun aksine termosterik bileşenin deniz seviyesi değişiminde oldukça önem taşıdığı ortaya çıkarılmıştır.

Her 2 denizde de takvim tarihlerine bağlı olarak sürekli kendini tekrar eden desenlerin mevcut olduğu belirlenmiştir. Mevsimsellik hareketi denilen bu su seviyesi bileşeninin Karadeniz'de maksimum ve minimumları arasındaki farkın yıl içerisinde ortalama olarak 150 mm'nin üzerine çıktığı, Ege'de ise istasyona göre önemli farklar göstererek ortalama ~100 mm civarında olduğu belirlenmiştir.

Mevsimsellik hareketinin dışında, Karadeniz'de uzun dönem periyodik hareketi olarak da tanımlanan düşük frekanslı döngüsel hareketler bulunduğu tespit edilmiştir. Özellikle Tuapse istasyonunda 10'ar yıllık düzenli aralıklarla tepe ve dipler yapan bir desen bulunduğu ortaya çıkarılmıştır.

Karadeniz ve Ege coğrafyası üzerindeki hidrometeorolojik parametrelerin Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) İndisi ile olan ilişkileri incelenerek, NAO ile tüm parametreler arasında (yağış, sıcaklık, buharlaşma, nehir akımı) negatif korelasyonlar bulunduğu tespit edilmiştir. Bunun anlamı NAO İndisi'nin mevcut durumdaki pozitif işaretli hareketi devam ettiği sürece, bahsi geçen parametrelerde azalma yönünde hareketlerin beklenmesidir.

Hidrometeorolojik parametrelere ait zamana karşı korelasyonlar incelendiğinde ise Karadeniz'de istasyonlar bazında yağış miktarlarında pozitif yönlü eğilim tespit

edilmiştir. Ege denizi yüzeyinde, ERA5 reanaliz alansal verisine göre yağış miktarlarında azalan eğilim mevcuttur. Ege’de benzer durum nehir deşarjları için de tespit edilmiştir.

Karadeniz’de deniz yüzeyi sıcaklıkları ve deniz seviyesi anomalileri arasında belli bölgelerde bulunan kısmi zayıf korelasyonlar haricinde genel bir korelasyon bulunmadığı bu tez çalışması kapsamında ortaya konmuştur. Yani Karadeniz’de deniz seviyesi, sterik bileşenden daha ziyade ağırlıklı olarak deniz seviyesinin kütle bileşeninin etkisi altındadır. Ege denizindeki durum ise Karadeniz’e nazaran çok farklı olup, termosterik bileşenin önemli ölçüde deniz seviyesini etkilediği tespit edilmiştir.

Deniz seviyesinin kütle bileşenini meydana getiren yağış ve buharlaşma arasındaki farkı temsil eden net akının 1994-2020 arasındaki durumu ile 1979-1994 arasındaki durumunun farkı incelendiğinde, Karadeniz yüzeyinde azalma eğilimi bulunduğu, ancak Karadeniz’in en önemli beslenme alanı olan Kuzeybatı şelfindeki karasal alanlarda pozitif fark verdiği, yani nehir akımlarının artacağı tespit edilmiştir. Ege’de ise genel olarak Girit ve güney Ege hariç tüm alanda artan net akı tespit edilmiştir. 2025’ten 2050 yılına kadar olan model sonuçları ile 2005-2020 arasındaki durum kıyaslandığında ise gelecekte hem Ege hem de Karadeniz üzerinde ve bunları besleyen su toplama havzalarında net akının azalacağı öngörülmektedir.

Karadeniz’in pozitif su bütçesinde herhangi bir artış ya da azalım eğilimi belirlenememiş olmakla birlikte, Boğazlar sisteminden geçen az tuzlu Karadeniz suyundaki miktarın değişmemesi, Ege’den gelen tuzlu su miktarının ise zaman içerisinde deniz seviyesindeki artış nedeniyle kısmen artması beklenmektedir. Bu durum boğazlardaki alt akım katmanının kalınlaşması ve zaman içinde Karadeniz’de tuzluluğun artmasını beraberinde getirecektir.

Karadeniz’de meydana gelen pozitif tatlısu bütçesinin uzun dönemde küçük bir miktar azalması, bu nedenle Karadeniz’den İstanbul Boğazı’na girişteki su seviyesi ile Ege’den Çanakkale Boğazı’na girişteki su seviyesi arasındaki kot farkının zaman içerisinde azalması beklenmektedir. Özellikle son NAO İndisi kırılmasından sonra günümüze kadar olan dönemde Karadeniz su seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimin ortaya konamaması nedeniyle hesaplanan ortalama eğilimler üzerinden geleceğe yönelik bir projeksiyon yapmanın doğru olmayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aivazyan, S. R., & Bulgakov, S. N.** (1992). A linear analytical model for stabilized currents in the Bosphorus. *Complex Oceanographic Research of the Black Sea* (s. 71-79). içinde Utrecht, the Netherlands: CRC Press.
- Aksu, A. E., Hiscott, R. N., & Yaşar, D.** (1999). Oscillating Quaternary water levels of the Marmara Sea and vigorous outflow into the Aegean Sea from the Marmara Sea-Black Sea drainage corridor. *Marine Geology*, 153(1-4), 275-302. doi:10.1016/S0025-3227(98)00078-4
- Alcamo, J., Flörke, M., & Marker, M.** (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52(2), 247-275. doi:10.1623/hysj.52.2.247
- Alpar, B., & Yüce, H.** (1998). Sea-level variations and their interactions between the Black Sea and the Aegean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46, 609-619.
- Alpar, B., Dogan, E., Yuce, H., & Altıok, H.** (2000). Sea level changes along the turkish coasts of the Black Sea, the Aegean Sea, and the Eastern Mediterranean. *Mediterranean Marine Science*, 1, 141-156.
- Antonov, J., Levitus, S., & Boyer, T.** (2002). Steric sea level variations during 1957-1994: Importance of salinity. *J. Geophys. Res.*, 197(C12), 8013. doi:10.1029/2001JC000964
- Armstrong, J. S.** (2001). *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practicioners*. Boston, MA: Springer. doi:10.1007/978-0-306-47630-3
- Arnell, N. W.** (1999). Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9, S31-S49. doi:10.1016/S0959-3780(99)00017-5
- Arnell, N. W.** (2003). Effects of IPCC SRES* emissions scenarios on river runoff: a global perspective. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 7(5), 619-641. doi:10.5194/hess-7-619-2003
- Aubrey, D., Moncheva, S., Demirov, E., Diaconu, V., & Dimitrov, A.** (1996). Environmental changes in the western Black Sea related to anthropogenic and natural conditions. *Journal of Marine Systems*, 7(2-4), 411-425. doi:10.1016/0924-7963(95)00031-3
- Belkin, M.** (2009). Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Progr. Oceanogr.*, 81, 207-213.
- Bloomfield, P.** (1976). *Fourier Analysis of Time Series*. Raleigh, North Carolina, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Calafat, F. M., & Chambers, D. P.** (2013). Quantifying recent acceleration in sea level unrelated to internal climate variability. *Geophysical Research Letters*, 40(14), 3661-3666. doi:10.1002/grl.50731
- Cazenave, A., Bonnefond, P., Mercier, F., Dominh, K., & Toumazou, V.** (2002). Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges. *Global and Planetary Change*, 34(1-2), 59-86. doi:10.1016/S0921-8181(02)00106-6
- Chandler, R., & Scott, M.** (2011). *Statistical Methods for Trend Detection and Analysis in the Environmental Sciences*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

- Church, J. A., & White, N. J.** (2006). A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical Research Letters*, 33(1), 94-97.
doi:10.1029/2005GL024826
- Church, J. A., White, N. J., Thorkild, A., Stanley Wilson, W., Woodworth, P. L., Domingues, C. M., . . . Lambeck, K.** (2008). Understanding global sea levels: past, present and future. *Sustainability Science*, 3(1), 9-22.
doi:10.1007/s11625-008-0042-4
- Cleveland, R. B., Cleveland, W. S., McRae, J. E., & Terpenning, I.** (1990). STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. *Journal of Official Statistics*, 6(1), 3-33.
- Cox, D. R., & Stuart, A.** (1955). Quick sign tests for trend in location and dispersion. *Biometrika*, 42, 80-95.
- Criado-Aldeanueva, F., Del Rio Vera, J., & Garcia-Lafuente, J.** (2008). Steric and mass-induced Mediterranean sea level trends from 14 years of altimetry data. *Global and Planetary Change*, 60(3-4), 563-575.
doi:10.1016/j.gloplacha.2007.07.003
- Cryer, J. D., & Chan, K.-S.** (2008). *Time Series Analysis With Applications in R. Second Edition*. New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Dangendorf, S., Marcos, M., Müller, A., Zorita, E., Riva, R., Berk, K., & Jensen, J.** (2015). Detecting anthropogenic footprints in sea level rise. *Nature Communications*, 6, 7849. doi:10.1038/ncomms8849
- Demircan, M., Gürkan, H., Türkoğlu, N., & Çiçek, İ.** (2018). Türkiye sıcaklıklarının Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) İndisi ile ilişkisi. *International Geography Symposium on the 30th Anniversary of TUCAUM*, (s. 799-812). Ankara.
- Douglas, B. C.** (1992). Global Sea Level Acceleration. *Journal of Geophysical Research*, 97, 699-706. doi:10.1029/92JC01133; doi:10.1029/9
- Fatichi, S., Barbosa, S. M., Caporali, E., & Silva, M. E.** (2009). Deterministic versus stochastic trends: Detection and challenges. *Journal of Geophysical Research*, 114, D18121. doi:10.1029/2009JD011960
- Feist, S. E., Hoque, M. A., Islam, M. A., Ahmed, K. M., & Fowler, M.** (2021). Recent trends in inland water level change in coastal Bangladesh-implications of sea level rise in low-lying deltas. *Global and Planetary Change*, 206, 103639. doi:10.1016/j.gloplacha.2021.103639
- Fenoglio-Marc, L., Rietbroek, R., Grayek, S., Becker, M., Kusche, J., & Stanev, E.** (2012). Water mass variation in the Mediterranean and Black Seas. *Journal of Geodynamics*, 59-60, 168-182. doi:10.1016/j.jog.2012.04.001
- Flemming, N. C., & Woodworth, P. L.** (1988). Monthly mean sea levels in Greece during 1969-1983 compared to relative vertical land movements measured over different time scales. *Tectonophysics*, 148(1-2), 59-72.
doi:10.1016/0040-1951(88)90160-6
- Foster, G., & Brown, P. T.** (2014). Time and tide: analysis of sea level time series. *Climate Dynamics*, 45, 291-308.
- Galassi, G., & Spada, G.** (2014). Sea-level rise in the Mediterranean Sea by 2050: Roles of terrestrial ice melt, steric effects and glacial isostatic adjustment. *Global and Planetary Change*, 123, 55-66.
doi:10.1016/j.gloplacha.2014.10.007
- Gehrels, R., & Garrett, E.** (2021). Chapter 11 - Rising sea levels as an indicator of global change. T. M. Letcher (Dü.) içinde, *Climate Change (Third Edition)* (s. 205-217). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-821575-3.00011-6

- Gerdes, F.** (2002). *A Study of the Effects of Friction and Mixing on the Exchange Flow through the Bosphorus (Strait of Istanbul)*. Doktora Tezi: University of Victoria, School of Earth and Ocean Sciences.
- Ghigi, G., Humphrey, V., Gudmundsson, L., & Seneviratne, S. I.** (2021). G-RUN ENSEMBLE. figshare. Dataset. doi:10.6084/m9.figshare.12794075.v1
- Ginzburg, A. I., Kostianoy, A. G., & Sheremet, N. A.** (2004). Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1982-2000). *J. Mar. Syst.*, 52, 33-50.
- Haigh, I. D., Wahl, T., Rohling, E. J., Price, R. M., Pattiaratchi, C. B., Calafat, F. M., & Dangendorf, S.** (2014). Timescales for detecting a significant acceleration in sea level rise. *Nature Communications*, 5, 1-11. doi:10.1038/ncomms4635
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horanyi, A., Muñoz Sabater, J., . . . Thepaut, J.-N.** (2018). ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). doi:10.24381/cds.adbb2d47
- Hipel, K. W., & McLeod, A. I.** (1994). *Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Holgate, S. J., & Woodworth, P. L.** (2004). Evidence for coastal sea level rise during the 1990s. *Geophysical Research Letters*, 31(7), 2-5. doi:10.1029/2004GL019626
- Hurrell, J. W.** (1995). Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science*, 269(5224), 676-679. doi:10.1126/science.269.5227.676
- IPCC.** (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Core Writing Team; Pachauri, R.K.; Meyer, L.A. (ed.)]. Geneva, Switzerland: IPCC.
- IPCC.** (2022). *AR5 GCM Data*. May 1, 2022 tarihinde Data Distribution Center: ipcc-data.org/sim/gcm_monthly/AR5 adresinden alındı
- ISI.** (2011). *The ISI Glossary of Statistical Terms*. <https://www.isi-web.org/isi.cbs.nl/glossary/index.htm> adresinden alındı
- Jevrejeva, S., Grinsted, A., Moore, J. C., & Holgate, S.** (2006). Nonlinear trends and multiyear cycles in sea level records. *Journal of Geophysical Research*, 111(9), 1-11. doi:10.1029/2005JC003229
- Kıdeys, A. E.** (2002). Fall and rise of the Black Sea ecosystem. *Science*, 297(5586), 1482-1484. doi:10.1126/science.1073002
- Kleeman, L.** (1996). Understanding and applying Kalman filtering. *Proc. 2nd Workshop on Perceptive Systems*. Perth: Curtin University of Technology.
- Kubryakov, A. A., & Stanichnyi, S. V.** (2013). The Black Sea level trends from tide gages and satellite altimetry. *Russian Meteorology and Hydrology*, 38(5), 329-333. doi:10.3103/s1068373913050051
- Kuleli, T., & Bayazit, Ş.** (2020). Summer season sea surface temperature changes in the Aegean Sea based on 30 years (1989-2019) of Landsat thermal infrared data. *Environ Monit Assess*, 192, 716. doi:10.1007/s10661-020-08689-1
- Lascaratos, A., Roether, W., Nittis, K., & Klein, B.** (1999). Recent changes in deep water formation and spreading in the eastern Mediterranean Sea: a review. *Progress in Oceanography*, 44(1-3), 5-36. doi:10.1016/S0079-6611(99)00019-1

- Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Gleason, B. E., Williams, C. N., Wuertz, D. B., Vose, R. S., & Rennie, J.** (2011). Global Historical Climatology Network - Monthly (GHCN-M), Version 3. *NOAA National Centers for Environmental Information*. doi:10.7289/V5X34VDR
- Levy, S. D.** (2020). *The Extended Kalman Filter: An Interactive Tutorial for Non-Experts*. September 17, 2021 tarihinde <https://simondlevy.academic.wlu.edu/kalman-tutorial/> adresinden alındı
- Ludwig, W., Dumont, E., Meybeck, M., & Heussner, S.** (2009). River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and the Black Sea: Major drivers for ecosystem changes during past and future decades? *Progress in Oceanography*, 80(3-4), 199-217. doi:10.1016/j.pocean.2009.02.001
- Malanotte-Rizzoli, P., & Pan-Med Group.** (2011). *Physical forcing and physical/biochemical variability of the Mediterranean Sea: A review of unresolved issues and direction of future research*. Report of the Workshop "Variability of the Eastern and Western Mediterranean circulation and thermohaline properties: similarities and differences", Rome, Italy.
- Marcos, M., & Tsimplis, M. N.** (2007). Forcing of coastal sea level rise patterns in the North Atlantic and the Mediterranean Sea. *Geophysical Research Letters*, 34, L18604. doi:10.1029/2007GL030641
- Mariotti, A., Struglia, M. V., Zeng, N., & Lau, K.-M.** (2002). The Hydrological Cycle in the Mediterranean Region and Implications for the Water Budget of the Mediterranean Sea. *Journal of Climate*, 15(13), 1674-1690. doi:10.1175/1520-0442(2002)015%3C1674:THCITM%3E2.0.CO;2
- Marshall, J., Kushnir, Y., Battisti, D., Chang, P., Czaja, A., Dickson, R., . . . Visbeck, M.** (2001). North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms. *International Journal of Climatology*, 21, 1863-1898.
- Meli, M., Olivieri, M., & Romagnoli, C.** (2021). Sea-Level Change along the Emilia-Romagna Coast from Tide Gauge and Satellite Altimetry. *Remote Sensing*, 13(1), 97. doi:10.3390/rs13010097
- Milly, P. C., Dunne, K. A., & Vecchia, A. V.** (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(7006), 347-350. doi:10.1038/nature04312
- Mohamed, B., & Skliris, N.** (2021). Steric and atmospheric contributions to interannual sea level variability in the eastern mediterranean sea over 1993-2019. *Oceanologia*. doi:10.1016/j.oceano.2021.09.001
- Moritz, S., & Bartz-Beielstein, T.** (2017). imputeTS: Time Series Missing Value Imputation in R. *R Journal* 9.1. doi:10.32614/RJ-2017-009
- Murray, J. W.** (1991). Hydrographic Variability in the Black Sea. E. İzdar, & J. W. Murray (Dü) içinde, *Black Sea Oceanography* (s. 1-15). Çeşme-İzmir, Turkey: Kluwer Academic Publishers. doi:10.1007/978-94-011-2608-3
- Niedzielski, T., & Kosek, W.** (2011). Minimum time span of TOPEX/Poseidon, Jason-1 and Jason-2 global altimeter data to detect a significant trend and acceleration in sea level change. *Advances in Space Research*, 47(7), 1248-1255. doi:10.1016/j.asr.2010.12.003
- NOAA National Centers for Environmental Information.** (2021). *Climate at a Glance: Global Time Series*. September 7, 2021 tarihinde <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/> adresinden alındı
- NOAA PSL.** (2022). NOAA OI SST V2. Boulder, Colorado, USA. May 1, 2022 tarihinde <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html> adresinden alındı

- Nykjaer, L.** (2009). Mediterranean Sea surface warming 1985-2006. *Climate Research*, 39, 11-17.
- Oğuz, T., Tuğrul, S., Kideys, A. E., Ediger, V., & Kubilay, N.** (2004). Physical and biochemical characteristics of the Black Sea. A. R. Robinson, & K. H. Brink (Dü) içinde, *The Sea* (s. 1331-1369). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Orlić, M., Pasarić, M., & Pasarić, Z.** (2019). Mediterranean Sea-Level Variability in the Second Half of the Twentieth Century: A Bayesian Approach to Closing the Budget. I. Vilibić, K. Horvath, & J. Palau (Dü) içinde, *Meteorology and Climatology of the Mediterranean and Black Seas*. Birkhäuser, Cham: Pageoph Topical Volumes. doi:10.1007/978-3-030-11958-4_15
- Overland, J. E., & Wang, M.** (2005). The Arctic climate paradox: the recent decrease of the Arctic Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 32:L06701. doi:10.1029/2004GL021752
- Piecuch, C., Calafat, F., Dangendorf, S., & Jorda, G.** (2019). The Ability of Barotropic Models to Simulate Historical Mean Sea Level Changes from Coastal Tide Gauge Data. *Survey in Geophysics*, 40, 1399-1435. doi:10.1007/s10712-019-09537-9
- Pinto, J. G., & Raible, C. C.** (2012). Past and recent changes in the North Atlantic oscillation. *WIREs Clim. Change*, 3, 79-90. doi:10.1002/wcc.150
- PSMSL.** (2021, January). *Permanent service for mean sea level, data*. September 17, 2021 tarihinde <http://www.psmsl.org/data/obtaining> adresinden alındı
- R Core Team.** (2021). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. <http://www.r-project.org> adresinden alındı
- Robinson, A. R., Leslie, W. G., Theoharis, A., & Lascaratos, A.** (2001). Mediterranean Sea Circulation. J. H. Steele (Dü.) içinde, *Encyclopedia of Ocean Sciences* (s. 1689-1705). Academic Press. doi:10.1006/rwos.2001.0376
- Sakallı, A.** (2017). Sea surface temperature change in the Mediterranean Sea under climate change: A linear model for simulation of sea surface temperature up to 2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(1), 707-716. doi:10.15666/aeer/1501_707716
- Sayın, E., Beşiktepe, Ş. T., Gündüz, M., Eronat, C., Tokat, E., & Aydın, M.** (2018). *İklimsel Değişimlerin Ege Denizi Derin Su Oluşumu ve Doğu Akdeniz Taşınımına Olan Etkileri*. 115Y260: TÜBİTAK ÇAYDAG.
- Skirris, N., Sofianos, S. S., Gkanasos, A., Axaopoulos, P., Mantziadou, A., & Vervatis, V.** (2011). Long-term sea surface temperature variability in the Aegean Sea. *Advances in Oceanography and Limnology*, 2(2), 125-139. doi:10.1080/19475721.2011.601325
- Smith, J. B., & Lazo, J. K.** (2001). A summary of climate change impact assessments from the U.S. Country Studies Program. *Climatic Change*, 50(1-2), 1-29. doi:10.1023/A:1010642529072
- Spearman, C.** (1904). "General Intelligence," Objectively Determined and Measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2), 201-292. doi:10.2307/1412107
- Stanev, E. V.** (1990). On the mechanisms of the Black Sea circulation. *Earth-Science Reviews*, 28, 285-319.

- Stanev, E. V., & Peneva, E. L.** (2002). Regional sea level response to global climatic change: Black Sea examples. *Global and Planetary Changes*, 32, 33-47.
- Talley, L., Pickard, G., Emery, W. J., & Swift, J.** (2011). *Descriptive Physical Oceanography: An Introduction* (6th b.). Boston, MA: Academic Press.
- Theocharis, A., Nittis, K., Kontoyannis, H., Papageorgiou, E., & Balopoulos, E.** (1999). Climatic changes in the deep waters of the Aegean Sea and their influence in the deep thermohaline circulation of the Eastern Mediterranean (1986-1997). *Geophys. Res. Letters*, 20, 1617-1620.
- Tsimplis, M. N., & Baker, T. F.** (2000). Sea level drop in the Mediterranean Sea: An indicator of deep water salinity and temperature changes? *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1731-1734.
- Tsimplis, M. N., & Josey, S. A.** (2001). Forcing of the Mediterranean Sea by atmospheric oscillations over the North Atlantic. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 803-806.
- Tsimplis, M. N., & Rixen, M.** (2002). Sea level in the Mediterranean Sea: The contribution of temperature and salinity changes. *Geophys. Res. Lett.*, 29. doi:10.1029/2002GL015870
- Tsimplis, M., Spada, G., Marcos, M., & Flemming, N.** (2011). Multi-decadal sea level trends and land movements in the Mediterranean Sea with estimates of factors perturbing tide gauge data and cumulative uncertainties. *Global and Planetary Change*, 76(1-2), 63-76. doi:10.1016/j.gloplacha.2010.12.002
- Ünlüata, Ü., Oğuz, T., Latif, M. A., & Özsoy, E.** (1990). On the physical oceanography of the Turkish Straits. L. J. Pratt (Dü.) içinde, *The Physical Oceanography of Sea Straits* (s. 25-60). Kluwer Academic.
- Vargas-Yanez, M., Moya, F., Garcia-Martinez, M. C., Tel, E., Zunino, P., Plaza, F., . . . Serra, M.** (2010). Climate change in the Western Mediterranean Sea 1900-2008. *Journal of Marine Systems*, 82, 171-176. doi:10.1016/j.marsys.2010.04.013
- Vigo, I., Garcia, D., & Chao, B. F.** (2005). Change of sea level trend in the Mediterranean and Black seas. *Journal of Marine Research*, 63(6), 1085-1100. doi:10.1357/002224005775247607
- Visser, H., Dangendorf, S., & Petersen, A. C.** (2015). A review of trend models applied to sea level data with reference to the “acceleration-deceleration debate”. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(6), 3873-3895. doi:10.1002/2015JC010716
- Vörösmarty, C. J., Fekete, B., & Tucker, B. A.** (1998). River Discharge Database, Version 1.1 (RivDIS v1.0 supplement). Available through the Institute for the Study of Earth, Oceans, and Space / University of New Hampshire, Durham NH (USA). April 15, 2022 tarihinde alındı
- Wanner, H., Bronnimann, S., Casty, C., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Schmutz, C., . . . Xoplaki, E.** (2001). North Atlantic oscillation. Concepts and studies. *Surv Geophys*, 22, 321-382.
- WCRP Global Sea Level Budget Group.** (2018). Global sea-level budget 1993-present. *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 1551-1590. doi:10.5194/essd-10-1551-2018
- Wilks, D. S.** (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press.
- WMO.** (2022). *Climate Explorer*. April 15, 2022 tarihinde European Climate Assessment & Dataset KNMI: <http://climexp.knmi.nl> adresinden alındı

Woodworth, P. L. (1990). A search for accelerations in records of European mean sea level. *International Journal of Climatology*, 10(2), 129-143.
doi:10.1002/joc.3370100203

Woodworth, P. L., & Player, R. (2003). The permanent service for mean sea level: an update to the 21st century. *Journal of Coastal Research*, 19, 287-295.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Cem ŞENDURAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2004, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2007, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kıyı ve Liman Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2009-2015 yılları arasında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü'nde araştırmacı ve uzman araştırmacı olarak çalıştı.
- 2018 yılından beri DOLSAR Mühendislik firmasında kıdemli mühendis olarak çalışmaktadır.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Şenduran C.**, Kabdaşlı M. S. (2022). Aegean Sea-Level Variability in the Past Half-Century Based on Tide Gauge Data. *International Journal of Environment and Geoinformatics*.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Senduran, C.**, Gunes, K., Topaloglu, D., Dede, O. H., Masi, F., Arlı Kucukosmanoglu, O. (2018). Mitigation and treatment of pollutants from railway and highway runoff by pocket wetland system; a case study. *Chemosphere*, 204, 335-343. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.201>
- Aydöner, C., Sarıkaya, O. V., Ayaz, S., Aytış, E., Haksevenler, B. H., Aynur, Ş., Çınar, N., Dilaver, M., Erdoğan, N., Beşiktaş, M., Dereli, E., Kıran, B., **Şenduran, C.**, Karaaslan, Y., (2014, October). *AB Su Çerçeve Direktifine Göre Türkiye'deki Yüzeysel Su Kütlelerinin CBS Ortamında Belirlenmesi*. 5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), İstanbul, Türkiye.
- Sweeney, R., Birnstingl, J., Brown, D., Durkheim, Y., Favata, F., Mitchell, S., Ockier, P., Osjamets, M., **Senduran, C.**, Wallace, G., Tiberiu, M., Tierce, P., (2014, September). *HEISTT: High Efficiency in situ Treatment Technology*. In *Situ Remediation '14: Book of Abstracts*. (pp. 38-38). London, UK.

- Gunes, K., Oktar, B., Ayaz, S., Gunay, A. S., Ozden, G., Disbudak, K., **Senduran, C.**, Dikerler, T., Metin, E., Masi, F., Kaya, B., Turkben, L., Tuncsiper, B., (2013). Large scale constructed wetland implementation projects in Turkey in Salt Lake Special Environmental Protection Area. *Desalination and Water Treatment*, 51(22-24), 4758-4767.
- Tüfekçi, H., Tüfekçi, V., Güneş, K., Günay, A. S., Atabay, H., **Şenduran, C.**, Metin, E., Dikerler, T., Turan, M., Erul, G., (2011). *Eğirdir Gölü Besin Elementleri Değişimi (2000-2010)*. X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi: Özetler Kitabı (ss. 311-311). Çanakkale, Türkiye.
- **Senduran, C.**, Ustun, B., (2008). *Hydrographical Classification of Küçükçekmece Lagoon*. Poster presented at the International Conference on the Dynamics of the Coastal Zone of Non-Tidal Seas, Baltysk, Kaliningrad Oblast, Russian Federation.

