T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

ÇOK BOYUTLU KURAKLIK ANALİZİ: KUZEY EGE HAVZASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DUYGU DEMİRAY

Tez Danışmanı
DOÇ. DR. FAİZE SARIŞ

ÇANAKKALE – 2025

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

ÇOK BOYUTLU KURAKLIK ANALİZİ: KUZEY EGE HAVZASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DUYGU DEMİRAY

Tez Danışmanı
DOÇ. DR. FAİZE SARIŞ

ÇANAKKALE – 2025

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Duygu DEMİRAY tarafından Doç. Dr. Faize SARIŞ yönetiminde hazırlanan ve **21/11/2025** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Çok Boyutlu Kuraklık Analizi: Kuzey Ege Havzası**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Coğrafya Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Doç. Dr. Faize SARIŞ (Danışman)	……
Dr. Öğr. Üyesi Kemal GÖKKAYA	……
Dr. Öğr. Üyesi Emre ELBAŞI	…….

Tez No : 10665578
Tez Savunma Tarihi : 21/11/2025

……
Prof. Dr. Melis ULU DOĞRU
Enstitü Müdürü

…/…/2025

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Duygu DEMİRAY
21/11/2025

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden, akademik gelişimime büyük katkılar sağlayan saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Faize SARIŞ'a ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle sabırları, sevgileri ve inançlarıyla göğüsleyen hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bununla birlikte, tez sürecinde benden manevi desteklerini esirgemeden güç veren kıymetli arkadaşlarım ile bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli kişilere de içten teşekkür ederim.

Duygu DEMİRAY

Çanakkale, Kasım 2025

ÖZET

ÇOK BOYUTLU KURAKLIK ANALİZİ: KUZEY EGE HAVZASI

Duygu DEMİRAY
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Coğrafya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Faize SARIŞ
21/11/2025, 144

Bu tez çalışmasında, Anadolu'nun kuzeybatısında yer alan Kuzey Ege Havzası'nda çok boyutlu kuraklık analizi yapıldı. Hidro-meteorolojik veri setleriyle, Kuzey Ege Havzası için meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık indis hesaplamaları standardize edilmiş yöntemler kullanılarak ayrı ayrı hesaplanarak kuraklığın karakteri ve zamansal değişimi saptandı. Ardından indis hesaplamalarından çıkan değerler Bütünleşik Kuraklık İndis yöntemiyle bir arada değerlendirildi. Kuraklığın alansal etkilerini değerlendirmek için seçilmiş yıllara ait uydu görüntüleri üzerinden NDVI ve VCI analizleri de eklenerek çok boyutlu bir kuraklık tanımlaması gerçekleştirildi. Havzada kuraklığa etki edecek sıcaklık eğilimleri, arazi örtüsü değişimleri ve antropojenik baskı unsurları (nüfus, yerleşme, beşerî faaliyetler, su kaynakları yönetimi, vs.,) değerlendirildi. Böylelikle, havza içerisindeki kuraklığın yayılım karakteristiği ve esas itici güç/güçleri çok boyutlu bir şekilde incelendi.

Akdeniz ikliminin tipik özelliklerini taşıyan Kuzey Ege Havzası'nda ilkbahar ve yaz aylarındaki yağış açığı, SPI, SPEI ve SDI indis göstergelerinde, yaklaşık olarak 1980'lerden bu yana 10-15 yıllık periyotlarla tekrarlanan ve özellikle 2013-2015 yılları arası dönemden günümüze doğru şiddeti artan uzun süreli kuraklık döngülerine işaret etti. Meteorolojik kuraklık eğilimi havzanın güneyinde (Akhisar, Bergama, Yağcılı) daha belirginken, hidrolojik kuraklık dalgalanmaları Tuzla Çayı ve Zeytinli Çayı alt havzalarında öne çıktı. SPEI sonucunda 2007-2008, 2012 ve 2023 dönemlerinde SDI indisi sonucunda 1990, 2007-2009 ve 2020-2021 dönemlerinde güçlü su stresi olayları ortaya çıktı. Uzun vadeli BKİ-12 indeksi, Çanakkale, Edremit ve Manisa'da orta ve şiddetli kuraklıkları vurgularken, artan

sıcaklıklar (özellikle Çanakkale, Dikili, Edremit) ve buharlaşma su kayıplarını derinleştirmektedir. NDVI ve VCI analizleri ise güneyde tarımsal ve ekosistem içerisinde bitki örtüsünün hâlâ kırılgan, kuzeyde ise daha dirençli olduğunu ortaya koydu. Son olarak, hızlı arazi kullanım değişimleri, sulama odaklı su yapıları ve yoğun antropojenik baskılar, havzanın kuraklık riskini hem süreklileştiren hem de şiddetlendiren temel faktörler olarak öne çıktı.

Anahtar Kelimeler: Kuzey Ege Havzası, Kuraklık, İndis hesaplamaları, NDVI, VCI

ABSTRACT

MULTIDIMENSIONAL DROUGHT ANALYSIS: NORTH AEGEAN BASIN

Duygu DEMİRAY
Çanakkale Onsekiz Mart University
School of Graduate Studies
Master's Thesis in Geography Department
Advisor: Assoc. Prof. Faize SARIŞ
21/11/2025, 144

In this thesis, a multidimensional drought analysis was conducted in the North Aegean Basin, located in the northwestern part of Anatolia. Using hydro-meteorological datasets, standardized methods were applied to calculate meteorological, agricultural, and hydrological drought indices separately for the North Aegean Basin, in order to determine the characteristics and temporal variability of drought. Subsequently, the results from these indices were evaluated collectively through the Integrated Drought Index method. To assess the spatial impacts of drought, NDVI and VCI analyses were also performed using satellite images from selected years, enabling a multidimensional characterization of drought. Additionally, temperature trends, land cover changes, and anthropogenic pressure factors (such as population, settlements, human activities, and water resources management) were evaluated to identify the key driving forces of drought within the basin. Thus, the spatial distribution characteristics and primary driving factors of drought in the basin were examined from a multidimensional perspective.

In the Northern Aegean Basin, which has the typical characteristics of the Mediterranean climate, the rainfall deficit in spring and summer, indicated long-term drought cycles that have been recurring approximately every 10-15 years since the 1980s, particularly since the period between 2013 and 2015, as reflected in the SPI, SPEI, and SDI indices. The meteorological drought trend is more pronounced in the southern part of the basin (Akhisar, Bergama, Yağcılı), while hydro-meteorological drought fluctuations are

more prominent in the Tuzla and Zeytinli river sub-basins. The SPEI results showed that strong water stress events occurred in the 2007-2008, 2012 and 2023 periods, while the SDI index results showed that strong water stress events occurred in the 1990, 2007-2009 and 2020-2021 periods. The long-term BKİ-12 index highlights moderate to severe droughts in Çanakkale, Edremit, and Manisa, while rising temperatures (particularly in Çanakkale, Dikili, and Edremit) and evaporation are exacerbating water losses. NDVI and VCI analyses revealed that vegetation cover remains fragile in the south but is more resilient in the north. Finally, rapid land-use changes, irrigation-focused water structures, and intense anthropogenic pressures emerged as key factors both perpetuating and intensifying the basin's drought risk.

Keywords: North Aegean Basin, Drought, Index calculations, NDVI, VCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI ……. i
ETİK BEYAN …… ii
TEŞEKKÜR ……... iii
ÖZET ……..…….. iv
ABSTRACT ……... vi
İÇİNDEKİLER ……..…… viii
SİMGELER ve KISALTMALAR …….. xiii
TABLOLAR DİZİNİ ……. xvi
ŞEKİLLER DİZİNİ …… xvii

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

1.1. Literatür Değerlendirmesi …… 4

İKİNCİ BÖLÜM
MATERYAL VE YÖNTEM 16

2.1. Veri …… 16
2.1.1. Sayısal Veriler ……..... 16
2.1.2. Meteorolojik ve Hidrolojik Veriler ……. 18
2.1.3. Kentsel Nüfus ve Yerleşme Verileri ……... 21
2.2. Yöntem …….. 22
2.2.1. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index-SPI) …… 22
2.2.2. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI) ……... 24
2.2.3. Akım Kuraklık İndeksi (Streamflow Drought Index-SDI) ……... 26
2.2.4. Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) (Aggregated Drought Index-ADI) …… 28
2.2.5. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) ……... 31

2.2.6. Bitki Örtüsü Durum İndeksi (Vegetation Condition Index-VCI) ……... 32
2.2.7. Arazi Örtüsü Değişimi …… 34
2.2.8. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (Inverse Distance Weighting-IDW) Yöntemi ……. 35
2.2.9. Gidişler Sınaması (Runs Test) Yöntemi ……. 36
2.2.10. Mann-Kendall (M-K) Sıra Korelasyon Katsayısı Trend Analiz Yöntemi …… 36

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ÇALIŞMA SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ 39

3.1. Kuzey Ege Havzası Fiziki Coğrafya Özellikleri …… 39
3.1.1. Topografik Özellikler …….. 39
3.1.2. İklim Özellikleri ……... 42
3.1.3. Hidrolojik Özellikler …… 45
3.1.4. Bitki Örtüsü Özellikleri …… 49
3.2. Kuzey Ege Havzası Beşerî Coğrafya Özellikleri ……... 50
3.2.1. Nüfus Özellikleri ……. 50
3.2.2. Yerleşme Özellikleri ……... 52
3.2.3. Ekonomik Faaliyetler …….. 53

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI 56

4.1. Kuzey Ege Havzası Standardize Kuraklık İndis Analizleri …… 56
4.1.1. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index-SPI) …… 56
4.1.2. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI) …….. 66
4.1.3. Akım Kuraklık İndeksi (Streamflow Drought Index-SDI) ……... 75
4.1.4. Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) (Aggregated Drought Index-ADI) ….. 84
4.2. Kuzey Ege Havzası Bitki Örtüsü İndis Analizleri ……. 94
4.2.1. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) ……... 94
4.2.2. Bitki Örtüsü Durum İndeksi (Vegetation Condition Index-VCI) …… 97

4.3. Kuzey Ege Havzası'nda İklimsel Eğilimler 100
4.3.1. Standardize Kuraklık İndisleri Gidişler Sınaması (Runs Test) 100
4.3.2. Kuzey Ege Havzası MGİ Sıcaklık Verilerinde Mann-Kendall (M-K) Sıra Korelasyon Katsayısı Trend Analizi 103
4.4. Kuzey Ege Havzası'nda Antropojenik Etkiler 107
4.4.1. Kuzey Ege Havzası CORINE Sınıflandırmasında Arazi Örtüsü Kullanımı ve Değişiminde Gözlenen Eğilimler 107
4.4.2. Kuzey Ege Havzası'ndaki Su Kaynaklarının Kullanımı ve Geliştirilme Sürecinin Yarattığı Baskılar 110

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER 116

KAYNAKÇA 123
EKLER I
EK 1. KUZEY EGE HAVZASI MGİ BİLGİLERİ TABLOSU I
EK 2. KUZEY EGE HAVZASI AGİ BİLGİLERİ TABLOSU II
EK 3. CORINE SINIFLANDIRMA SİSTEMİ TABLOSU III
EK 4. KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNİN AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNİN K-W TÜRDEŞLİK SINAMASI SONUÇLARI IV
EK 5. KUZEY EGE HAVZASI BAKI HARİTASI V
EK 6. KUZEY EGE HAVZASI AKARSU STRAHLER SINIFLARI HARİTASI VI
EK 7. KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPI-1 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ VII
EK 8. KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPI-3 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ VIII
EK 9. KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPI-9 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ IX
EK 10. KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPI-24 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ X
EK 11. KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPEI-1 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ XI
EK 12. KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPEI-3 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ XII
EK 13. KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPEI-9 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ XIII
EK 14. KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPEI-24 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ XIV

EK 15. KUZEY EGE HAVZASI AGİ'LERİNDE SDI-3 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ ……... XV

EK 16. KUZEY EGE HAVZASI AGİ'LERİNDE SDI-6 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ ……... XVI

EK 17. KUZEY EGE HAVZASI AGİ'LERİNDE SDI-12 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ ……... XVII

EK 18. KUZEY EGE HAVZASI AKHİSAR MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER ……... XVIII

EK 19. KUZEY EGE HAVZASI AYVALIK MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER ……... XIX

EK 20. KUZEY EGE HAVZASI BERGAMA MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER …… XX

EK 21. KUZEY EGE HAVZASI BURHANİYE MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER …… XXI

EK 22. KUZEY EGE HAVZASI ÇANAKKALE MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLERİ ……... XXII

EK 23. KUZEY EGE HAVZASI DİKİLİ MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER ……... XXIII

EK 24. KUZEY EGE HAVZASI EDREMİT MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER ……... XXIV

EK 25. KUZEY EGE HAVZASI MANİSA MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER ……... XXV

EK 26. KUZEY EGE HAVZASI İLLER BAZINDA YILLARA GÖRE NÜFUS YOĞUNLUĞU GRAFİKLERİ …….. XXVI

EK 27. KUZEY EGE HAVZASI ANA AKARSULAR VE ÇEVRELERİ …… XXVII

EK 28. KUZEY EGE HAVZASI AKIM GÖZLEM İSTASYONLARI VE ÇEVRELERİ …….. XXVIII

EK 29. KARAMENDERES ÇAYI ALT HAVZASI AKARSU YAN KOLLARI VE ÇEVRESİ ……... XXIX

EK 30. KARAMENDERES ÇAYI ALT HAVZASI'NIN ORTA KESİMİNDE AKARSU KANAL DEGRADASYONU VE ANTROPOJENİK BASKILAR …… XXX

EK 31. KARAMENDERES ÇAYI ALT HAVZASI PINARBAŞI MEVKİİ KARAMENDERES ANA AKARSU KANAL DEGRADASYONU VE ÇEVRESİNDEKİ ANTROPOJENİK BASKILAR ……... XXXI

EK 32. KARAMENDERES ÇAYI ALT HAVZASI BAYRAMİÇ BARAJI VE ÇEVRESİ ……... XXXII

EK 33. TUZLA ÇAYI ALT HAVZASI AYVACIK/TUZLA KÖYÜ İÇİ VE ÇEVRESİ ……... XXXIII

EK 34. TUZLA ÇAYI ALT HAVZASI AKARSU KANAL DEGRADASYONU VE ÇEVRESİ ……... XXXIV

EK 35. TUZLA ÇAYI ALT HAVZASI AKARSU YAN KOLLARINDAKİ KURU DERELER VE ÇEVRELERİ ……. XXXV

EK 36. TUZLA ÇAYI ALT HAVZASI ANTROPOJENİK BASKILAR …….. XXXVI

EK 37. TUZLA ÇAYI ALT HAVZASI AYVACIK BARAJI VE ÇEVRESİ …… XXXVII

EK 38. ZEYTİNLİ, EDREMİT, HAVRAN VE KARADERE-KARINCA DERESİ ALT HAVZALARI AKARSU KANAL DEGRADASYONU VE ANTROPOJENİK BASKILAR …… XXXVIII

EK 39. BAKIRÇAY ALT HAVZASI AKARSU KANAL DEGRADASYONU VE ANTROPOJENİK BASKILAR ……. XXXIX

EK 40. KUZEY EGE HAVZASI'NDA İÇME, KULLANMA VE SULAMA SUYU AMACIYLA KULLANILAN YÜZEYSEL SU KAYNAKLARI GENEL TABLOSU …… XL

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AÇA	Avrupa Çevre Ajansı
ADI	Aggregated Drought Index
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
AMO	Atlantik Çok On Yıllık Salınımı
AO	Arktik Salınımı
ASTER GDEM	ASTER Küresel Dijital Yükseklik Modeli
BKİ	Bütünleşik Kuraklık İndeksi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CLC	CORINE Arazi Örtüsü
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DEM	Digital Elevation Model
DMA	Dinamik Mod Ayrıştırması
DSI	Kuraklık Şiddeti İndeksi
DSİ	Devlet Su İşleri
ENSO	El Niño–Güney Salınımı
ETo	Referans Evapotranspirasyon
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
IDI	Entegre Kuraklık İndeksi
IDW	Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
KEGM	Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü
KHGM	Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
K-W	Kruskal-Wallis
METI	Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü

M-K	Mann-Kendall
MSDI	Çok Değişkenli Standartlaştırılmış Kuraklık İndeksi
NAO	Kuzey Atlantik Salınımı
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NDMC	Ulusal Kuraklık Azaltma Merkezi
NDVI	Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
NDWI	Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi
NHYP	Nehir Havza Yönetim Planı
NMSDI	Parametrik Olmayan Çok Değişkenli Standartlaştırılmış Kuraklık İndeksi
OCHA	Birleşmiş Milletler İnsani Yardım Koordinasyon Ofisi
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
OSSI	Optimum Standartlaştırılmış Akış İndeksi
PDO	Pasifik Dekadal Salınımı
PET	Potansiyel Evapotranspirasyon
RDI	Keşif Kuraklık İndeksi
SDI	Akım Kuraklık İndeksi
SPDI	Standartlaştırılmış Palmer Kuraklık İndeksi
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
SPESI	Standardize Yağış, Evapotranspirasyon ve Akış İndeksi
SPI	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
SSI	Standartlaştırılmış Akış İndeksi
SYİ	Standart Yağış İndisi
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TBA	Temel Bileşenler Analizi
TCI	Sıcaklık Durum İndeksi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UA	Uzaktan Algılama
USBS	Ulusal Su Bilgi Sistemi
USGS	ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu

VCI	Bitki Örtüsü Durum İndeksi
VHI	Bitki Örtüsü Sağlığı İndeksi
WeMO	Batı Akdeniz Salınımı

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Landsat 4-5 TM C2 L2 ve Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 uyduları bant özellikleri	17
Tablo 2	SPI değerlerinin kuraklık sınıflandırması	23
Tablo 3	SPEI değerlerinin kuraklık sınıflandırması	26
Tablo 4	SDI değerlerinin kuraklık sınıflandırması	28
Tablo 5	NDVI değerlerinin sınıflandırması	32
Tablo 6	VCI değerlerinin kuraklık sınıflandırması	34
Tablo 7	SPI değerlerinin 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerdeki kuraklık şiddetlerine göre değişkenliği	57
Tablo 8	SPEI değerlerinin 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerdeki kuraklık şiddetlerine göre değişkenliği	67
Tablo 9	SDI değerlerinin 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerdeki kuraklık şiddetlerine göre değişkenliği	76
Tablo 10	BKİ değerlerinin 12 aylık seride kuraklık şiddetlerine göre değişkenliği	84
Tablo 11	SPI değerlerinin 3, 6, 9 ve 12 aylık serilerinde gidişler sınaması (Runs Test)	101
Tablo 12	SPEI değerlerinin 3, 6, 9 ve 12 aylık serilerinde gidişler sınaması (Runs Test)	101
Tablo 13	SDI değerlerinin 3, 6, 9 ve 12 aylık serilerinde gidişler sınaması (Runs Test)	102
Tablo 14	Kuzey Ege Havzası MGİ aylık ortalama sıcaklık verilerinde Mann-Kendall (M-K) sıra korelasyon katsayısı trend analizi	103
Tablo 15	Kuzey Ege Havzası'nda 1990-2018 yılları arası arazi kullanımının alansal (ha) değişimi	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Kuzey Ege Havzası'nın lokasyon haritası	3
Şekil 2	Kuzey Ege Havzası MGİ ve AGİ dağılış haritası	20
Şekil 3	Kuzey Ege Havzası topografya (yükselti) haritası	41
Şekil 4	Kuzey Ege Havzası eğim haritası	41
Şekil 5	Kuzey Ege Havzası mevsimlik (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz, (d) sonbahar aylık ortalama sıcaklık enterpolasyon haritaları	43
Şekil 6	Kuzey Ege Havzası (a) yıllık ortalama toplam yağış ve (b) yıllık ortalama sıcaklık enterpolasyon haritaları	44
Şekil 7	Kuzey Ege Havzası mevsimlik (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz, (d) sonbahar aylık ortalama toplam yağış enterpolasyon haritaları	45
Şekil 8	Kuzey Ege Havzası alt havzalar ve drenaj haritası	47
Şekil 9	Kuzey Ege Havzası AGİ yıllık ortalama toplam akım grafiği	48
Şekil 10	Kuzey Ege Havzası göller, göletler ve barajlar haritası	49
Şekil 11	Kuzey Ege Havzası'ndaki yerleşimlerin nüfus dağılış haritası	51
Şekil 12	Kuzey Ege Havzası idari yapılanma ve yerleşim yerleri haritası	53
Şekil 13	Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde SPI-6 değerlerinin yıllar arası değişkenliği	58
Şekil 14	Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde SPI-12 değerlerinin yıllar arası değişkenliği	61
Şekil 15	Kuzey Ege Havzası SPI değerlerinin 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerde kuraklık şiddet oranlarının mekânsal dağılış haritaları	64
Şekil 16	Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde SPEI-6 değerlerinin yıllar arası değişkenliği	68
Şekil 17	Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde SPEI-12 değerlerinin yıllar arası değişkenliği	71
Şekil 18	Kuzey Ege Havzası SPEI değerlerinin 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerde kuraklık şiddet oranlarının mekânsal dağılış haritaları	73

Şekil 19	Kuzey Ege Havzası AGİ'lerinde SDI-9 değerlerinin yıllar arası değişkenliği	78
Şekil 20	Kuzey Ege Havzası AGİ'lerinde SDI-24 değerlerinin yıllar arası değişkenliği	80
Şekil 21	Kuzey Ege Havzası SDI değerlerinin 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerde kuraklık şiddet oranlarının mekânsal dağılış haritaları	82
Şekil 22	Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde BKİ-12 değerlerinin yıllar arası değişkenliği	86
Şekil 23	Kuzey Ege Havzası her bir MGİ özelinde BKİ-12 aylık seride kuraklık şiddet oranlarının mekânsal dağılış haritası	91
Şekil 24	Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde BKİ-12 değerlerinin (1976-2011) ve (1976-2023) yıllar arası değişkenliği	92
Şekil 25	Kuzey Ege Havzası ve alt havzalarında aralıklarla seçilen 10 yıllık periyotta temmuz ayı NDVI değerlerinin yıllar içerisindeki değişkenliği	96
Şekil 26	Kuzey Ege Havzası ve alt havzalarında aralıklarla seçilen 10 yıllık periyotta temmuz ayı VCI değerlerinin yıllar içerisindeki değişkenliği	98
Şekil 27	Kuzey Ege Havzası (a) Akhisar MGİ ve (b) Edremit MGİ aylık ortalama sıcaklık serilerinde Mann-Kendall (M-K) trend değişim eğilimleri	105
Şekil 28	Kuzey Ege Havzası CORINE sınıflandırmasında arazi örtüsü kullanımı ve değişiminde gözlenen eğilimler	108

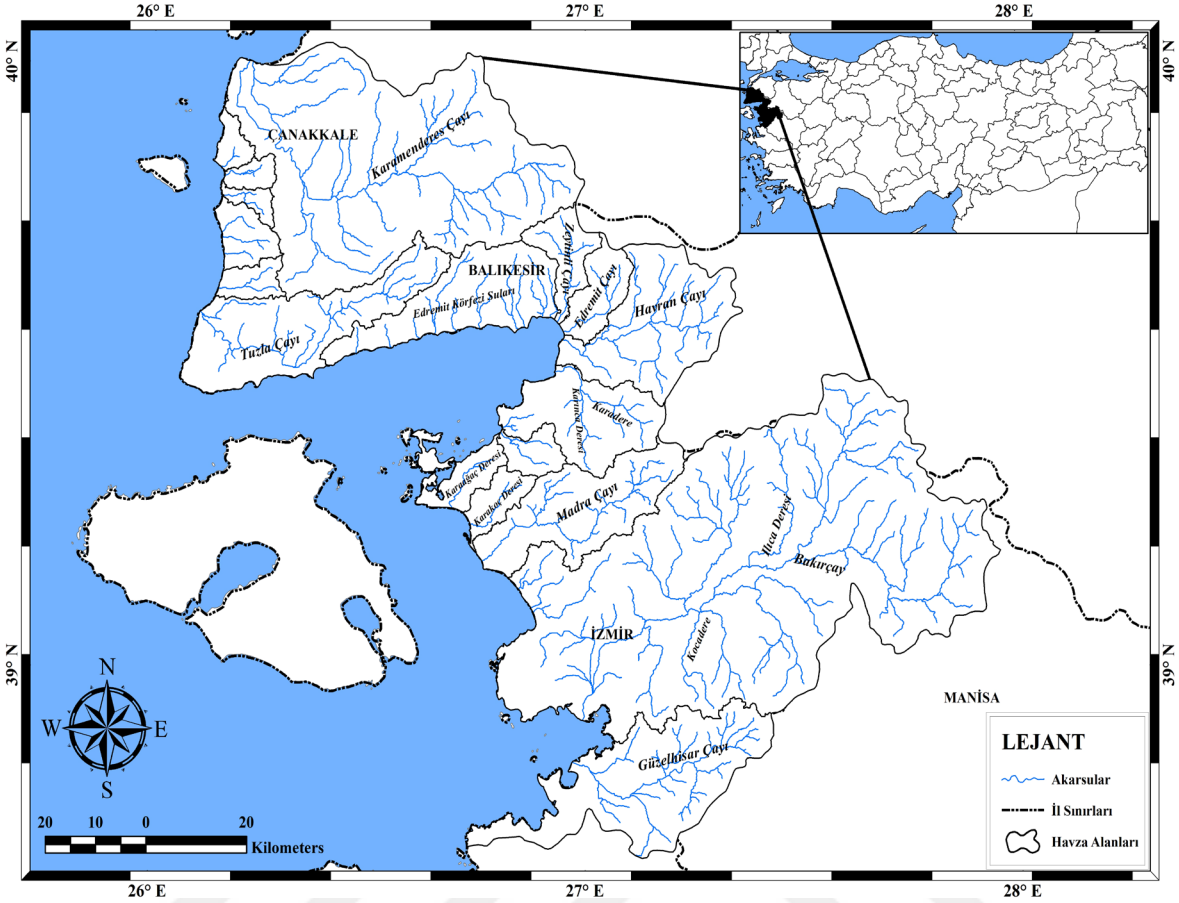
BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

Kuraklık, insan topluluklarını derinden etkileyen doğal bir fenomen olarak, günümüzde iklim değişikliği ve diğer antropojenik süreçlerle etkisi giderek artan küresel bir sorundur. "Kalıcı, tekrarlayan ve kaçınılmaz bir olgu ve dünyada en az anlaşılan doğal afetlerden biri" (Chang vd., 2016: 824), "uzamış ve aralıksız devam eden yağış azalması" (WMO, 2016; T.C. İstanbul Valiliği, 2023: 8) ya da (Akın, 2019: 44) "yeryüzündeki çeşitli sistemlerce kullanılan doğal su varlığının, belirli bir zaman süresince ve bölgesel ölçekte, uzun süreli ortalamanın ya da normalin altında gerçekleşmesi sonucunda oluşan su açığı olarak şiddet, süre ve coğrafi yayılış (dağılış deseni) bileşenleri ile nitelendirilebilen üç boyutlu bir doğa olayı" olarak tanımlanan kuraklık, küresel ve antropojenik faaliyetlerin birleşik etkileriyle şiddetlenerek su kaynaklarının azalmasına, tarımsal verimliliğin düşmesine ve ekosistemlerin bozulmasına neden olan karmaşık ve yıkıcı bir doğa olayıdır. Hidrolojik süreçlerin doğal sınırlarına işaret eden; çeşitli fiziksel, biyolojik ve ekolojik ilişkilerin ve etkileşimlerin bir araya geldiği (Küçükali ve Atabay, 2013) havzalarda belirli itici güç/güçler veya dinamikler çerçevesinde gelişim gösteren kuraklığın yayılma süreci, su kaynakları ve diğer doğal kaynaklar üzerinde baskı oluşturur.

Türkiye ve Dünya genelinde iklim değişikliği, hızlı nüfus artışı ve sürdürülebilir olmayan su yönetimi gibi faktörlerin etkisiyle, su stresi acil bir sorun haline gelmektedir (Gökçe, 2022; Karaman ve Gökalp, 2010; Molden, 1997). Özellikle de iklim değişikliği, yağış düzenlerini değiştirdiği için kuraklık olaylarının sıklığını artırmakta ve su verimliliğini azaltmaktadır (IPCC, 2021). Türkiye'nin yarı kurak iklim özellikleri, su kaynaklarının yetersizliği ve su talebinin artışıyla birlikte su stresinin derinleşmesine neden olmaktadır. Su verimliliği, tarım ve evsel kullanımlar dahil olmak üzere su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için kritik bir faktördür (Çakmak ve Gökalp, 2013; Kırtorun ve Karaer, 2018; Sarış, 2021). Bu bağlamda, tarımda ve sanayide su kullanımının etkinliğini artırmak için kritik bir unsurdur; aksi takdirde, gıda güvenliğini sağlamak da zorlaşacaktır. Ayrıca, evsel su tüketimi, bireylerin sağlığı ve yaşam kalitesi açısından hayati bir rol oynamaktadır; şehirleşme ile bu tüketim giderek artış göstermektedir (Akdağ, 2015).

Kuraklık, su stresinin en belirgin göstergelerinden biri olup tarımsal üretimi, su teminini ve biyoçeşitliliği olumsuz yönde etkilemektedir (Mengü, vd., 2011). Türkiye'de kuraklık ve su stresiyle mücadele kapsamında, çeşitli projeler de yürütülmektedir. Ancak, geleneksel tek boyutlu ve yüzeysel analizlerin yetersiz kaldığı günümüzde, kuraklığın karmaşık doğasını anlamak ve etkilerini yönetmek için çok boyutlu analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda kuraklık sürecinin meteorolojik, tarımsal, hidrolojik, sosyoekonomik ve ekolojik boyutları birbirleriyle iç içe geçmiş olduğundan kapsamlı bir kuraklık analizi, farklı sektörler ve topluluklar üzerindeki etkileşimlerin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Böylece kuraklığın tarımsal faaliyetler, yerel ekonomi ve sosyal yapı üzerindeki etkileri değerlendirilerek, kuraklığın geniş kapsamlı bir perspektiften nasıl anlaşılması gerektiği de tartışılabilir. Sonuçta, yerel ve bölgesel yönetimlerin, iklim değişikliği ve havza içerisindeki kuraklığın olumsuz etkilerine karşın sürdürülebilir su yönetimi politikaları geliştirmeleriyle, bölgesel stratejiler ve yol haritası oluşturmaları mümkün olacaktır.

Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından Kuzey Ege Havzası şeklinde ifade edilen ve tarımsal açıdan pek çok önemli alt havza ile karakterize olan çalışma alanı özellikle sulama suyu ihtiyacı bakımından öne çıkan bir havzadır (Şekil 1). Havzada pek çok baraj ve gölet gibi yüzeysel su kaynaklarının yanında yeraltı suyu da sulama amacıyla kullanılabilmektedir. Nüfusun dağılışı ve yoğunluğu önemli ölçüde Edremit, Soma ve Bergama'da ova kesimlerindeki yerleşimlerin bulunduğu kısımlardadır. Bu yerleşim birimleri Edremit-Havran ve Bakırçay ovaları üzerinde bulunmakta olup tarımsal üretimin de en yoğun olarak yapıldığı bölgeleri oluşturmaktadır. Bu alanlarda sosyoekonomik aktivitelerin ve antropojenik çevresel etkilerin oldukça yoğun yaşandığı dikkat çekmektedir. Kuzey Ege Havzası'nın turizm potansiyeli göz önüne alındığında, yerleşik nüfusa ek olarak yaz aylarında geçici bir nüfusun artış eğilimi gösterdiği ve doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırdığı da bilinmektedir.



Şekil 1. Kuzey Ege Havzası'nın lokasyon haritası

Türkiye'nin önemli tarım bölgelerinden biri olan Kuzey Ege Havzası, iklim değişikliği etkilerinin yoğun olarak hissedildiği ve son yıllarda kuraklık riskinin giderek arttığı önemli bir bölgedir. Bölgenin doğal su kaynakları ve tarımsal sulama sistemleri, bu kuraklık olaylarından doğrudan etkilenmektedir. Hidroklimatolojik değişkenler kadar havzadaki antropojenik değişkenler de kuraklığın süresi, şiddeti ve yayılma süreçlerine etki edebilen itici güç/güçler veya dinamikler çerçevesinde değerlendirilebilir.

Bu tez çalışmasında Kuzey Ege Havzası için meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik olmak üzere kuraklığı çok boyutlu bir perspektifle ortaya koymak, havza içerisinde kuraklığın yayılım karakterinin mekânsal ve zamansal olarak analizini gerçekleştirmek ve havzada kuraklığı kontrol eden temel mekanizmaları ortaya çıkarmak amaçlandı. Hidroklimatolojik değişkenlerin havzadaki vejetasyon üzerine etkileri ve antropojenik

süreçlerin kuraklık bakımından yarattığı baskılar değerlendirildi. Böylelikle havzada kuraklık için strateji ve yol haritasının oluşturulması noktasında katkı sağlamak hedeflendi.

Bu tez çalışmasının kapsamı ve belirtilen amaçları doğrultusunda öne çıkan araştırma soruları aşağıdaki gibi belirlendi:

1. Kuzey Ege Havzası'nda kuraklık karakteri (meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik) 1975-2023 dönemi için nasıldır?
2. Kuzey Ege Havzası'nda kuraklığın zamansal ve alansal değişim desenleri nasıldır?
3. Kuzey Ege Havzası'nda antropojenik değişkenlerin kuraklık üzerine etkisi nedir?
4. Kuzey Ege Havzası'nda kuraklığın vejetasyon üzerindeki etkisi nasıldır?
5. Kuzey Ege Havzası'ndaki kuraklığın yayılım karakteristiği ve itici güçleri nedir?

Özellikle 2000'li yıllar itibariyle kuraklık, bilim insanlarının en fazla çalıştıkları afet konularından birisini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, kuraklık konusu için pek çok farklı yöntemin olmasından ve kuraklığın birbirinden çok farklı bilim dallarınca incelenmesiyle kuraklık konusu üzerine çok fazla bilimsel yayın ortaya çıkarılmış ve çıkarılmaya da devam etmektedir (Deniz Öztürk ve Ünlü, 2022). Bu tez, kuraklığın meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik boyutlarını birlikte ele alarak, Kuzey Ege Havzası'ndaki kuraklık dinamiklerini daha kapsamlı bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Uygulama açısından ise, elde edilen bulgular, bölgedeki su yönetimi politikalarının geliştirilmesine ve tarımsal stratejilerin kuraklık koşullarına uyum sağlamasına yardımcı olarak yerel ve ulusal düzeyde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı destekleyecektir. Ayrıca, bu çalışmayla Kuzey Ege Havzası'nda mevcut kuraklık yönetimi yaklaşımlarına ve bilimsel kuraklık literatürüne katkı sağlamak amaçlandı.

1.1. Literatür Değerlendirmesi

Kuraklık, yalnızca atmosferik koşullarla sınırlı kalmayıp hidrolojik, ekolojik, tarımsal ve sosyoekonomik boyutlarda karmaşık etkileşimler sergileyerek doğal sistemler

üzerinde derin etkiler yaratan ve günümüzde artan bir endişe kaynağı haline gelen çok boyutlu bir olgudur. Kuraklık, özellikle 2000'li yıllar itibariyle Dünya, Akdeniz Havzası ve Türkiye genelinde geniş bir literatürde ele alınan bir araştırma konusudur.

Küresel ölçekte gerçekleştirilen iklim çalışmalarından sıcaklık ve yağış desenlerinin uzun dönemli değişimlerinin ele alındığı çalışmalarda (Panda ve Sahu, 2019; Laseter, vd., 2012; Hoffmann ve Spekat, 2021; Jakob ve Walland, 2016; Beranová ve Kyselý, 2018; Lu, vd., 2014; Tufa, vd., 2024; Manzoor ve Ahanger, 2022; Mondal, vd., 2015; Guo ve Xia, 2014; Feizi, vd., 2014; El-Geziry, 2021; Phuyal, 2024; Ogunrinde, vd., 2024; Yu, vd., 2023; Domonkos ve Tar, 2003; Gulakhmadov, vd., 2020; Haider, vd., 2024; Cuadrat, vd., 2024; Wypych, vd., 2018; Viola, vd., 2014; Repel, vd., 2021) coğrafi ve iklimsel bağlamlarda tutarlı ve karşılaştırmalı bulgular sunulmaktadır. Genel olarak, 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren gözlemlenen belirgin ısınma eğilimi, yıllık ortalama sıcaklıklarda 0.04-0.5 °C/on yıl arasında değişen artış oranlarıyla karakterize edilmektedir. Minimum ve maksimum sıcaklık değerlerinde ise özellikle kış ve ilkbahar mevsimlerinde daha fazla yoğunlaşan bu yükseliş, yüksek rakımlı bölgelerde (örneğin, Polonya Karpatları, Pireneler ve Himalaya) daha hızlıdır ve atmosferik dolaşım modelleri (Kuzey Atlantik Salınımı – NAO ve El Niño–Güney Salınımı – ENSO) ile yakından ilişkilendirilmektedir (Wypych, vd., 2018; Cuadrat, vd., 2024; Manzoor ve Ahanger, 2022). Yağış desenleri ise bölgesel heterojenlik sergilemekte olup, bazı alanlarda (örneğin, İli-Balkhash Havzası'nda 0.65-2.18 mm/yıl, Hindistan-Odisha'da 4.03 mm/yıl monsoonal/seasonal yağış artışı ve İskenderiye'de 2.94 mm/yıl yağış artışları) toplam miktar ve mevsimsel yağışlarda pozitif eğilimler hâkimken, diğerlerinde (örneğin, Macaristan'da yıllık azalışlar, Çin'in Aşağı Sarı Nehir Bölgesi'nde -11.7 mm/on yıl, İran'ın güneydoğusunda yaz-sonbahar negatif eğilimleri ve kurak Asya-Afrika'da hafif negatif trendler) azalma veya ekstrem olayların (yoğun yağış ve kuraklık) sıklığında artış tespit edilmiştir (Guo ve Xia, 2014; Panda ve Sahu, 2019; El-Geziry, 2021; Domonkos ve Tar, 2003; Lu, vd., 2014; Feizi, vd., 2014; Ogunrinde, vd., 2024). Bu varyasyonlar orografik faktörler, antropojenik etkiler ve iklim salınımlarının etkileşimiyle açıklanabilmekte olup genel olarak kuraklık stresinin yoğunlaşması, su döngüsünün hızlanması ve ekosistemlerdeki bozulma gibi sonuçlar doğurmakta; dolayısıyla su kaynakları yönetimi ve iklim adaptasyonu stratejilerinin bölgesel ölçekte acilen güçlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Kuraklığın Dünya genelinde indis temelli olarak incelendiği yayınlar da mevcuttur (Paredes-Trejo, vd., 2021; Chen, vd., 2018; Yan, vd., 2018; Huang, vd., 2015; Bazrafshan, vd., 2014; Hong, vd., 2015; Shah ve Mishra, 2020; Li, vd., 2012; Zewdie, vd., 2017; Wang, vd., 2020; Liu, vd., 2012; Nasanbat, vd., 2018; Abbas ve Kousar, 2021; Kubiak-Wójcicka, vd., 2023; Bong ve Richard, 2020; Elkollaly, vd., 2018). Kuraklığın uluslararası literatürde indis temelli olarak incelendiği çalışmalarda; farklı coğrafi bölgelerde ve çeşitli yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen kuraklık analizleri, küresel ölçekte kuraklık olaylarının sıklığı, şiddeti ve mekânsal-zamansal dağılışında belirgin değişimler olduğunu ortaya koymaktadır. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Akım Kuraklık İndeksi (SDI), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI), Standartlaştırılmış Palmer Kuraklık İndeksi (SPDI), Çok Değişkenli Standartlaştırılmış Kuraklık İndeksi (MSDI), Parametrik Olmayan Çok Değişkenli Standartlaştırılmış Kuraklık İndeksi (NMSDI), Optimum Standartlaştırılmış Akış İndeksi (OSSI), Entegre Kuraklık İndeksi (IDI), Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ve Standardize Yağış, Evapotranspirasyon ve Akış İndeksi (SPESI) gibi farklı kuraklık indeksleri kullanılarak yapılan değerlendirmeler, tek değişkenli indekslerin kuraklık başlangıcını tespit etmede etkili, çok değişkenli ve entegre indekslerin ise kuraklığın süresi, şiddeti ve eş zamanlı meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik etkilerini daha kapsamlı biçimde yansıttığını göstermektedir. Çin'de Poyang, Sarı Nehir ve Luanhe havzalarında yapılan analizler, kuraklığın özellikle El Niño–Güney Salınımı (ENSO), Arktik Salınımı (AO), Pasifik Dekadal Salınımı (PDO), Atlantik Çok On Yıllık Salınımı (AMO) ve güneş lekesi aktiviteleri gibi büyük ölçekli iklim salınımlarıyla yakından ilişkili olduğunu ve kısa vadeli kuraklıkların artış gösterdiğini ortaya koymuştur (Yan, vd., 2018; Huang, vd., 2015; Chen, vd., 2018). Benzer şekilde Amazon, Nil, İndus ve Hindistan havzalarında kuraklık riskinin iklim değişikliğiyle birlikte yükseldiği, Etiyopya ve Moğolistan çalışma sahalarında ise NDVI yöntemi kullanılarak bitki örtüsü bozulmasının hem iklimsel stresler hem de insan faaliyetleriyle hızlandığı belirlenmiştir (Abbas ve Kousar, 2021; Paredes-Trejo, vd., 2021; Elkollaly, vd., 2018; Shah ve Mishra, 2020; Zewdie, vd., 2017; Nasanbat, vd., 2018). Avrupa ölçeğinde ise Polonya kıyı havzalarında uzun vadeli kuraklık şiddetinde ve sıklığında artışlar gözlemlenmiştir (Kubiak-Wójcicka, vd., 2023). Özetle kuraklığın sıklığının bazı bölgelerde azalmasına rağmen şiddetinin arttığını, ciddi kuraklıkların nadir fakat yıkıcı etkiler yarattığını vurgulamaktadır.

Akdeniz Havzası genelinde ya da Akdeniz'e kıyısı olan ülkeler özelinde yapılan, sıcaklık ve yağıştaki uzun dönemli değişimleri ele alan çalışmalarda (Mariotti, vd., 2015; Mariotti ve Dell'Aquila, 2012; Lionello ve Scarascia, 2018; Philandras, vd., 2011; Milano, vd., 2012; Vicente-Serrano, vd., 2025; Xoplaki, vd., 2006; Drobinski, vd., 2018; González-Hidalgo, vd., 2024; Deitch, vd., 2017; Knippertz, vd., 2003; Gonçalves, vd., 2014; Piervitali, vd., 1997; Hadi ve Tombul, 2018; De Girolamo, vd., 2022; Xoplaki, vd., 2004) sıcaklıkta belirgin bir artış eğilimi ve yağışta azalma ya da yüksek değişkenlik paternleri ortaya konulmuştur. 19. yüzyıl sonundan 21. yüzyılın ilk çeyreğini kapsayan gözlem verileri ve model simülasyonları, bölgedeki yüzey sıcaklıklarının yaklaşık 1-1,4 °C arttığını, bu artışın özellikle yaz aylarında küresel ortalamadan %50'ye varan oranda fazla, karasal alanlarda ve kuzey sınırlarında ise %100'e varan oranda daha yoğun bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Yirminci yüzyıl boyunca gözlenen ısınma, küresel ortalamadan yaklaşık %20 daha hızlı olup gelecek tahminlerinde de bu eğilimin hızlanarak devam edeceği öngörülmektedir. Sıcaklık artışlarıyla birlikte, Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), Atlantik Çok On Yıllık Salınımı (AMO) ve büyük ölçekli atmosferik dolaşım desenleri gibi faktörler decadal değişkenlikleri tetiklemekte, bu da iklimsel desenlerin bölgesel ve mevsimsel farklılıklarını artırmaktadır. Yağış rejimi açısından bakıldığında, 20. yüzyıl boyunca gözlenen sıcaklık yükselmesi ve yıllık toplam yağışlarda %5-13 arasında azalma eğilimi özellikle güney ve doğu kıyılarda (Türkiye, Fas, İspanya, İtalya, vs.,) daha belirgin hale gelmiş, kış ve ilkbahar mevsimlerinde baskın olmak üzere mevsimsel kaymalar yaşanmıştır (Hadi ve Tombul, 2018; Knippertz, vd., 2003; González-Hidalgo, vd., 2024). NAO, özellikle kış ve ilkbahar yağışlarını yönlendirmekte; bu durum, yağış miktarlarında belirgin azalmalar yaratırken, bazı uzun dönemli analizler (1871-2020) net bir trend yerine yüksek zamansal değişkenliğin hâkim olduğunu vurgulamaktadır (Lionello ve Scarascia, 2018; Vicente-Serrano, vd., 2025). Bölgesel ölçekte Batı Akdeniz'de mevsimsel kaymalar ve yüksek zamansal değişkenlik öne çıkarken, Doğu Akdeniz'de yağış uçlarının ölçeklendirilmesi ve uzun vadeli değişkenlik dikkat çekmektedir. Gelecek projeksiyonları (2050-2100) ise antropojenik sera gazı emisyonları altında sıcaklık artışının küresel ortalamadan %20 fazla olabileceğini, yağışlarda ise %4-50 arasında düşüş yaşanabileceğini ortaya koymaktadır. Bu durum su stresi, kuraklık ve akış rejimi bozulmalarını şiddetlendirecek nitelikte olup kritik sektörler üzerinde orta ve uzun vadeli riskler oluşturmaktadır.

Kuraklık olaylarının sıklığı, şiddeti ve süresinde belirgin bir artış gösteren kuraklık dinamiklerinin yoğunlaştığı Akdeniz Havzası, kuraklık bakımından bir sıcak nokta olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan çeşitli çalışmalarda meteorolojik ve hidrolojik kuraklık olaylarının sıklığı ile şiddetinde artan bir eğilimin olduğu belirlenmiştir. Örneğin 1950'lerden 2010'lara uzanan dönemde SPI, SPEI, Keşif Kuraklık İndeksi (RDI), SDI, Standartlaştırılmış Akış İndeksi (SSI), Kuraklık Şiddeti İndeksi (DSI) ve MSDI gibi indeksler kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde, özellikle 1990'lardan itibaren Güney Avrupa, Kuzey Afrika ve Doğu Akdeniz'de kuraklık sürelerinin uzadığı ve yoğunluğunun yükseldiği; 2000'li yıllarda İtalya, Fransa ve İspanya'da tarımsal verimliliği etkileyen şiddetli kuraklıkların yaşandığı ortaya konulmuştur (Marcos-Garcia, vd., 2017; Salvati, vd., 2009; Terzi ve Önöz, 2025; Bayer Altin ve Altin, 2021; Mathbout, vd., 2021). Son 900 yıldaki rekonstrüksiyonlara göre güncel kuraklıkların en şiddetliler arasında yer aldığı belirtilmiştir (Cook, vd., 2016). Yağış azalması, evapotranspirasyon artışı ve meteorolojik kuraklığın hidrolojik kuraklığa genellikle bir yıl gecikmeyle dönüşmesi, kısa vadede (3-6 aylık) bitki örtüsü ve tarımı, uzun vadede (12-24 aylık) su kaynaklarını daha fazla etkilemektedir. Mekânsal olarak İber Yarımadası, İtalya, Yunanistan, Türkiye, Libya ve Mısır gibi bölgelerde negatif eğilimlerin baskın olduğu görülmüştür (González-Hidalgo, vd., 2018; Caloiero, vd., 2018). Türkiye'deki Seyhan, Ceyhan, Doğu ve Orta Akdeniz havzalarında akım verilerinde azalan trendlerin gözlendiği, trend analiz yöntemleri (Mann-Kendall ile Sen'in yenilikçi yaklaşımı, vs.,) kullanılarak azalan akış eğilimlerinin doğrulandığı, Fas ve İspanya gibi alanlarda kuraklık karakterizasyonunun benzer desenler gösterdiği de ortaya konulmuştur (Terzi ve Önöz, 2025; Taylan, vd., 2023; Şimşek, 2021; Aghrab, vd., 2008; Alashan, vd., 2025; Hoerling, vd., 2012). Genel olarak Akdeniz Havzası'nda su yönetimi ile tarımsal sürdürülebilirliği tehdit eden uzun süreli kurak dönemlerin arttığı tespit edilmiştir. Diğer yandan araştırmalar, antropojenik sera gazı emisyonları ile NAO ve Batı Akdeniz Salınımı (WeMO) gibi atmosferik dolaşım desenlerinin kuraklık frekansını %50'ye varan oranda artırdığını; bunun tarımsal üretim, su kaynakları ve ekosistemler üzerinde ciddi baskılar yarattığını ve gelecekte Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) senaryolarına göre kuraklaşma eğiliminin süreceğini ortaya koymaktadır (Mathbout, vd., 2021).

Küresel iklim değişikliği, tüm canlı yaşamını ve çevreyi tehdit ederek su kaynakları üzerinde önemli etkilere neden olmaktadır. Hidroklimatolojik değişkenlerin zamansal ve mekânsal değişimini ortaya koymak için günümüzde, Uzaktan Algılama (UA) destekli ve çok değişkenli (boyutlu) analizler öne çıkmaktadır (Hınıs, 2013; Chang, vd., 2016; Yenipınar, vd., 2021; Yılmaz ve Yılmaz, 2022; Chang, vd., 2018; Tian, vd., 2023; Hao ve AghaKouchak, 2013; Wable, vd., 2018; Topçu ve Karaçor, 2021; Özvan, vd., 2023; Aydın ve Öz, 2021; Coşkun, 2020; Aawar, vd., 2019; Karabulut, 2012; Durmuş, vd., 2021).

Çeşitli disiplinlerden gelen verileri ve metodolojileri bir araya getiren bu çok boyutlu kuraklık analizi yaklaşımı, kuraklığın tüm yönlerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda, kuraklığın sadece su eksikliğiyle değil, aynı zamanda ekolojik, ekonomik, sosyal ve politik bağlamları da içeren bir perspektifle ele alınmasını sağlar. Bu analiz, su kaynaklarının yönetiminden tarımın sürdürülebilirliğine, toplumların direnç kazanmasından ekosistemlerin korunmasına kadar geniş bir yelpazede uygulama alanı bulmaktadır. Çok boyutlu değişkenlerle ele alınacak bir kuraklık olayının doğru olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla kuraklığın şiddetini, süresini ve sıklığını nesnel bir şekilde karşılaştırabilen kuraklık araştırması ve değerlendirilmesi için tek değişkenli bir kuraklık indeksinin karmaşık kuraklık durumunu tam şekilde ortaya koyması zor olacağından kuraklık olayının özelliklerini tanımlayarak ortaya koymak için çok değişkenli (parametreli), kapsayıcı bir kuraklık indeksinin kullanılması gereklidir (Tian, vd., 2023).

Türkiye literatüründe 2000'li yılların başlarına kadar özellikle meteorolojik kuraklık hesaplamalarının öne çıktığı gözlense de son yıllarda havza ölçeğinde tarımsal ve hidrolojik kuraklık analizlerine yönelindiği ve yalnızca zamansal desenlerin değil, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) yöntemleriyle alansal analiz ve modelleme çalışmalarının da yaygınlaştığı ifade edilebilir. Türkiye'de ulusal, bölgesel ve havza ölçekli pek çok kuraklık çalışması gerçekleştirilmiştir (Yüceer ve Aktürk, 2025; Khozima, vd., 2020; Tuğrul ve Hınıs, 2023; Çelik ve Karabulut, 2017; Çelik ve Yakar, 2024; Turhan ve Değerli, 2021; Sarış ve Gedik, 2021; Serkendiz, vd., 2025; Dikici, 2020; Aktürk, vd., 2022; Şener ve Şener, 2021; Akar, vd., 2015; Yılmaz, 2023; Şarlak, vd., 2024; Sarış, 2016; Aksoy, vd., 2018; Özkan ve Partal, 2024; Köken, 2009; Özfidaner, vd., 2018; Katipoğlu, vd., 2022;

Ghasemlounia ve Utlu, 2024; Durmuş ve Bulut, 2023; Erişmiş, 2023; Batan, 2021; Serkendiz ve Tatlı, 2023; Akbaş, 2014; Keskiner ve Çetin, 2023; Yüceerim, vd., 2019).

Cebeci vd. (2019) Türkiye aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerini kullanarak Bagnouls-Gaussen kuraklık indisini hesaplamış ve illere göre kurak dönemler belirleyerek Türkiye'de kuraklığın 15 yıllık değişimini ele almıştır. Çalışma bulguları, iklim ve coğrafi koşullar göz önüne alındığında, özellikle Güneydoğu Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinin büyük bir kısmının çok kurak alanlar olarak dikkat çektiğini göstermiştir.

Onuşluel Gül (2024) Sıcaklık Durum İndeksi (TCI), Bitki Örtüsü Durum İndeksi (VCI) ve Bitki Örtüsü Sağlığı İndeksi (VHI) hesaplamalarıyla yakın geçmiş periyot (2018-2021) ile geçmiş periyotlar (2002, 2005, 2010 ve 2015 yılları) için temmuz ve ocak ayları özelinde kuraklık durumunu ele aldığı bu çalışmada, 2018-2021 arası dönem ve 2002, 2005, 2010, 2015 yıllarındaki dönem için temmuz ve ocak ayları karşılaştırıldığında ocak ayı içinde de yaygın şekilde şiddetli kuraklıkların yaşandığı gözlenmiştir. İklim değişikliğinin etkisiyle kış aylarında sıcaklıkların artması ve yağışların azalması, bölgesel farklılıklarla birlikte bu sonuçların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye için tarımsal kuraklık durumu ortaya çıkarılmıştır.

Özüpekçe (2021) Batı Akdeniz Havzaları (Antalya, Batı Akdeniz, Eşen Çayı, Dalaman Çayı ve Aksu Çayı alt havzaları) ve yakın çevresini kapsayan alanda, iklim değişikliği ve kuraklık eğiliminin sulak alanlar üzerindeki etkisini incelemek için 1951-2017 yılları arası ortalama, minimum, maksimum sıcaklık ve yağış verilerini kullanarak Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ile kuraklık analizi ve Thornthwaite iklim sınıflandırması ile su bilançosu yöntemlerini uygulamıştır. Aralık-ocak aylarında yağış maksimumunun olduğu havzada 2000'li yıllardan itibaren kurak ve nemli dönemlerin şiddet ve frekansında artış gözlendiğini ve su bilançosunda ise yaz aylarında belirgin su noksanlığı yaşandığını; Acıgöl'ün son 40 yılda 92 km² daraldığını ve Eğirdir ile Burdur göllerinin hızla küçüldüğünü ve Kovada Gölü'nde ötrofikasyonun arttığını ortaya koymuştur. Kuraklık eğiliminin artması ve hatalı arazi kullanımı gibi faktörlerin sulak alanları hızla yok ettiğine

ve iklim-kuraklık-sulak alan ilişkisini kapsayan yönetim planlarının gereksinimine dikkat çekilmiştir.

Türkiye'de akarsulardan doğrudan yararlanma ve havzalarda başta baraj/gölet projeleri olmak üzere, artan ekonomik kullanım kuraklığı şiddetlendirici bir etki göstermektedir. Kuzey Ege Havzası'nın komşu havzalarından birisini oluşturan Küçük Menderes Havzası'nı ele alan Kermen (2019) yüksek lisans tez çalışmasında, Küçük Menderes Havzası'nda meydana gelen hidrolojik kuraklıkların meteorolojik kuraklıklardan daha şiddetli ve daha uzun süreli olduğunu bu durumun da havzanın kuraklıktan etkilenme düzeyini yükselttiğini ortaya çıkartmıştır.

Kumanlıoğlu ve Fıstıkoğlu (2019), Standardize Yağış İndis yöntemini kullanarak Yukarı Gediz Havzası'ndaki kuraklığı inceledikleri çalışmada, orta ve üstü şiddette kuraklıkların aylık, mevsimlik ve yıllık dönemler ölçeğinde günümüze doğru sıklığı artarak gözlenmekte olduğunu ve havzadaki yağış koşullarına bağlı meteorolojik kuraklığın, akım miktarlarını önemli derecede etkileyerek Demirköprü Barajı'nın su teminini önemli ölçüde azaltıp, baraj mansabında yeterli sulama suyu sağlanamamasından kaynaklı olarak hâlihazırda yaşanmakta olan tarımsal kuraklıkların gelecekte daha sık ve daha şiddetli bir şekilde ortaya çıkacağı bulgusuna ulaşmıştır.

Akacak ve Taş (2021), Kuzey Ege Havzası için farklı mekânsal enterpolasyon yöntemlerini kullanarak alansal yağışı hesapladıkları çalışmalarında, havzanın topografyasına bağlı olarak yağışı zamansal ve mekânsal olarak değişkenlik gösteren meteorolojik bir olay olarak tanımlamıştır. Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nden yararlanarak Kuzey Ege Havzası'nın ortalama yağış yüksekliğinin hesaplaması yapılmıştır. Sonuç olarak, yağış dağılışı/miktarının topografik yükseltiyle doğru orantılı olarak arttığı, havzanın yüksek ve batı kesimlerinde daha yüksek yağış değerlerinin görüldüğü saptanmıştır.

Erlat ve Yavaşlı (2011), Ege Bölgesi'nde 1939-2008 yılları arasında 10 meteoroloji istasyonuna ait günlük sıcaklık verileri üzerinden ekstrem sıcaklık değişimleri ve

eğilimlerini inceledikleri çalışmada, soğuk gün ve gece sayılarında genel bir azalma eğilimi olmakla birlikte bu azalmanın çoğunlukla istatistiksel olarak anlamlı olmadığını; buna karşın özellikle son 35 yılda sıcak gün ve sıcak gece sayılarında belirgin ve anlamlı artışların ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Ayrıca 1970'lerin ortalarından itibaren yaz ve tropikal gün sayılarında da istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimleri saptanmıştır. Ege Bölgesi'nde sıcaklık ekstremlerinde gözlenen değişimlerin, soğuk ekstremlerin azalmasından çok sıcak ekstremlerin artışı yönünde olduğu ve bölgesel iklim koşullarının giderek daha sıcak değerlere kaydığı ve ekstrem sıcaklıklarla (1994-2007) şiddetli kuraklıklar arasındaki ilişkinin varlığı ortaya konmuştur.

Ege Bölgesi kıyılarında Edremit, Burhaniye, Bergama, Seferihisar, Çeşme, Selçuk, Aydın, Datça ve Marmaris istasyonlarında sıcaklık değişimini ele alan Dün ve Gönençgil (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 1990 sonrası belirginleşen maksimum ve minimum sıcaklık artışları, sıcak gün/gece ve sıcak dönemlerin süre, şiddet ve sıklığında artış; günlük sıcaklık aralığında daralma, soğuk ve donlu günlerde ise azalma bulguları ortaya konmuştur.

Kayan ve Erlat (2024), Ege Bölgesi'nde meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların zamansal değişimini belirlemek için Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) yöntemini kullanarak 1951-2022 dönemi için 3, 6 ve 12 aylık zaman dilimlerinde kuraklık ve aşırı yağış olaylarının mekânsal dağılışını incelemiştir. Özellikle 1980'li yıllardan itibaren artan kuraklık olaylarının tarımsal verimlilikte önemli dalgalanmalara yol açtığı; 2001, 2007, 2008, 2016 ve 2021 yıllarında gözlemlenen ortak kuraklıkların da bu durumu desteklediği ortaya konulmuştur. Bölgedeki kuraklık koşullarının uzun vadeli etkileriyle toprağın depolama kapasitesinde ve su kaynaklarında görülen değişimlerin tarımsal verim ve üretimi doğrudan etkilediği; bu durumun da bölgesel ekonomik yapılar üzerinde kentsel ve kırsal alanlarda farklılaşan sosyoekonomik sonuçlar doğurduğu belirtilmiştir.

Aslan ve Fıstıkoğlu (2021) Ege Bölgesi'ndeki Alt Kuzey Ege Havzalarında (Bakırçay ve Güzelhisar) yer alan Soma, Bergama, Aliağa ve Dikili meteoroloji

istasyonlarının 1963-2014 yılları arasındaki yağış verilerini kullanarak istasyon bazlı Standart Yağış İndisi (SYİ) ile düşük çözünürlüklü NCEP/NCAR yeniden analiz verilerinden elde edilen atmosferik SYİ arasındaki ilişkileri Kuantil Regresyon yöntemiyle incelemiş ve kuraklık sürelerine (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık periyotlar) göre önemli mekânsal ve zamansal farklılıkları ortaya koymuştur. Analiz sonuçlarına göre, NCEP/NCAR SYİ değerlerinin şiddetli ve aşırı kurak dönemlerde iç bölgelerdeki istasyon SYİ kuantillerinin kıyı istasyonlarından daha düşük (daha kurak) olduğunu, uzun süreli kuraklıklarda ise kıyı istasyonlarının NCEP/NCAR SYİ değerlerine daha yakın kaldığını; en şiddetli kuraklıkların istasyon verilerine göre 1992, 1994 ve 2007 yıllarında, NCEP/NCAR verilerine göre ise 1990, 1992 ve 2003-2004'de gerçekleştiği ve kuraklıkların, sonbahar-kış yağış eksikliklerinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Özçelik ve Akkuzu (2023), Türkiye'nin önemli tarımsal üretim merkezlerinden biri olan Ege Bölgesi'nde 29 meteoroloji istasyonunun 1975-2014 yılları arasındaki aylık toplam yağış ve referans evapotranspirasyon (ETo) değerlerini kullanarak 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman aralıklarında SPEI (Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon) indis değerlerini hesaplamıştır. Elde edilen bulgulara göre, Ege Bölgesi'nde SPEI değerlerine dayanarak özellikle 1989, 1993, 2007, 2008, 2011 ve 2012 yıllarında şiddetli ve çok şiddetli kuraklıkların meydana geldiği saptanmıştır. Özellikle, 2007-2008 döneminde çok şiddetli kuraklıklar gözlemlenmiştir.

Yüksel ve Sökün (2022), Ege Bölgesi için son 13 yılın Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) verilerini incelemiş ve gelecekteki kuraklık durumunu tahmin etmek amacıyla Dinamik Mod Ayrıştırması (DMA) yöntemini kullanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, DMA algoritması, gerçek SPI değerlerine yakın değerler tahmin etmiş olup, buradan da DMA yönteminin gelecekteki 1 (bir) aylık dönemdeki aşırı kurak olan lokasyonların doğru tahminini yaptığı görülmüştür. En kurak lokasyonlar ise kıyı kesimlerinden uzakta olan deniz etkisinin ulaşamadığı, Ege Bölgesi'nin iç kesimlerinde olup iç bölgelerde kuraklık şiddetinin daha fazla olduğu bilgisiyle örtüştüğü gözlenmiştir.

Bacanlı ve Kargı (2019) Bursa, İznik, Keleş, Mustafakemalpaşa ve Uludağ meteoroloji istasyonlarının 1969-2015 yılları arasındaki kaydedilen yağış toplamlarına dayanarak lineer regresyon analiziyle yağış eğilimlerini, gidişler analiziyle kuraklık süresi ve genliğini, Standart Yağış İndisi (SYİ) yöntemiyle ise 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık periyotlarda kuraklık durumunu incelemiştir. Yıllık yağışlarda önemli bir eğilim olmamasına karşın aralık ayında İznik, Keleş ve Uludağ istasyonlarında, ekim ayında ise Bursa istasyonunda istatistiksel olarak anlamlı azalma eğilimi olduğu gözlenmiştir. Gidişler analizinde kesme seviyesinin artmasıyla süre-genlik korelasyonunun yükseldiğini ve SYİ değerlerinde istasyonlar arasında kurak (%10-23), sulak (%7-25) ve normal (%62-76) periyot oranlarının benzerlik gösterdiği ortaya konulmuştur. Kısa süreli periyotlarda (1-6 ay) normal veya hafif kuraklıklar sık görülürken uzun süreli periyotlarda (12-48 ay) ise şiddetli ve çok şiddetli kuraklıkların gözlendiği belirlenmiştir.

Ilgar (2013) Çanakkale ilinin 1929-2007 yılları arasında kuraklık durumu ve eğilimlerini Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemiyle hem 12 aylık (yıllık) hem de 3 aylık (mevsimlik) analizler yaparak incelediği çalışmasında, Çanakkale'de 1930-2007 yılları arasında hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli kuraklıkların yaşandığını, en çok hafif kurak koşulların etkili olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle bölge meteorolojik açıdan hafif kurak bir bölgedir. Yıllık ve mevsimsel kuraklıklarda artış eğilimi gözlenirken özellikle mevsimsel olarak kış mevsimi kuraklık koşullarında artış eğilimi söz konusudur. İlkbahar kuraklığında yağış artışı nedeniyle azalma, yaz ve sonbahar kuraklıklarında ise belirgin olmayan hafif bir artış eğilimi saptanmıştır. Kış mevsimi, yıllık yağışın büyük kısmını oluşturduğundan kuraklıkta belirleyici olup yağış azlığı yıllık kuraklığın şiddetlenmesine neden olmaktadır. Son 30 yılda Azor Antisiklonu uzantısının Ege ve Akdeniz Bölgeleri üzerinde etkisiyle kış kuraklıkları artmış, Çanakkale'nin kuraklığa eğilimli olduğu ve meteorolojik kuraklığın yanı sıra tarımsal ve hidrolojik kuraklık riskiyle de karşı karşıya olduğu belirlenmiştir.

Mucan ve Yıldırım (2023), Çanakkale ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen uzun yıllara ait iklim verilerini kullanarak yağış analizi yapmış ve kuraklık durumunu değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında, Çanakkale Merkez meteoroloji istasyonuna ait 1970-2022 zaman diliminde R programı ve HydroTSM paketi kullanılarak yağış analizi gerçekleştirilmiş ve Standart Yağış İndisi (SYİ) yöntemi ile kuraklık analizi

yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre genelde hafif kuraklıklar ağırlıktayken nemli ve yarı nemli periyotların da yaşandığı ifade edilmiştir. Kuraklık şiddetinin en fazla olduğu yıllar ise 1997, 2009 ve 2020 yılları olarak tespit edilmiş olup analizlerdeki zaman periyodu artıkça da kuraklık şiddeti ve toplam kuraklık süreleri de yaklaşık olarak benzerlik göstermiştir.

Havza, hidrolojik sistem üzerinde kontrol sağlayan, coğrafi yapısı ve çeşitli ekolojik ilişkilerle tanımlanan doğal bir alandır. Bu alan, çevresel ve insan kaynaklı süreçlerle etkileşimde bulunur ve çevresindeki ekosistemlerle makro ve mikro düzeyde ilişki içindedir. Hidrometeorolojik kökenli afetler arasında en yavaş gelişen fakat uzun vadede etkilerini sürdüren kuraklık afetinin etkilerinin azaltılması ve rasyonel yönetilmesi süreçlerinde de havza yönetimi yaklaşımları gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Türkiye'de bulunan havzalar ölçeğinde 2004 yılıyla birlikte "Havza Koruma Eylem Planları" hazırlanma çalışmaları yürütülmeye başlanmış, bu çalışmalar 2010 yılında tamamlanarak 2014 yılından günümüze bazı havzalarda uygulama safhalarına geçmiştir (Sarış ve Gedik, 2021). Kuzey Ege Havzası özelinde havza ve nehir koruma eylem veya nihai planlama raporları açısından 2010, 2016, 2018, 2020 ve 2021 yıllarındaki planlamalar dikkat çeker. Bunlardan, Kuzey Ege Havzası Nehir Havza Yönetim Planı (NHYP) 2020 yılında hazırlanarak, 2021 yılı itibariyle de uygulanması ise Ulusal Su Bilgi Sistemi (USBS) üzerinden takip edilmeye başlanmıştır. Kuzey Ege Havzası için, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı tarafından, Kuraklık Yönetim Planı Hazırlanması çalışmalarına ise 2016 yılında başlanmış ve plan 2018 yılında üç cilt halinde ve sonunda nihai rapor (yönetici özeti) şeklinde Kuzey Ege Havzası Yönetim Planı olarak tamamlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, Kuzey Ege Havzası ve alt havzaları için kuraklığın hidroklimatolojik, arazi/bitki örtüsü ve antropojenik değişkenler bağlamında çok boyutlu bir şekilde analiz edilmesiyle havza içerisinde kuraklığın şiddeti, yayılım karakteri ve esas itici gücünün/güçlerinin belirlenmesi bakımından literatürdeki boşluğun doldurulması hedeflendi.

İKİNCİ BÖLÜM
MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Veri

Tez çalışması kapsamında, sayısal (mekânsal), meteorolojik ve hidrolojik veriler ile kentsel nüfus, yerleşme ve arazi örtüsü verilerinden yararlanıldı. Bu veriler çeşitli istatistiksel yöntemlerle analiz edildi. Bu bölümde, veri kaynakları ve kuraklık analizi için kullanılan yöntemler detaylarıyla açıklandı.

2.1.1. Sayısal Veriler

Sayısal veriler, farklı türde kaynaklardan toplanmış olan bilgisayar ortamında mevcut sayısallaştırılmış ve analizlerde büyük bir etkisi bulunan veriler olarak ifade edilmektedir. Çalışma alanının Harita Genel Müdürlüğü'ne (HGM) ait 1/25000'lik paftalardan elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), verilerin temelini oluşturmaktadır. Avrupa bileşenini koordine eden Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) ve küresel bileşeni koordine eden Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi Genel Müdürlüğü tarafından ortaklaşa uygulanmakta olan Copernicus Arazi İzleme Servisi (The Copernicus Land Monitoring Service) tarafından sağlanan arazi örtüsü verileri kullanılmıştır (https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover). Coordination of Information on the Environment (CORINE), Avrupa Birliği'nin (AB) 1985 yılında başlattığı, kurumsallaşarak önce 10 yılda, son olarak 6 yılda bir güncellediği, AB ülkelerinde belirli aralıklarla uygulanan ve tüm üye ülkeleri kapsayan arazi örtüsü/arazi kullanımı belirleme sistemi ve sınıflandırma projesidir (Sarı ve Özşahin, 2016; Karakaş Özür ve Ataol, 2018). Online olarak temin edilebilen arazi örtüsü haritalarıyla, Kuzey Ege Havzası'nda 1990-2018 yılları arasında gözlenen arazi örtüsü değişimleri ortaya konuldu. 100 metre mekânsal çözünürlüğe sahip CORINE verileri, genel itibari ile Kuzey Ege sularındaki arazi durumunu incelerken uygun detay düzeyine sahiptir.

Kuzey Ege Havzası'nda kuraklık riski altındaki alanlarda bitki örtüsünün durumunu göstermek için kullanılan Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ve tarımsal kuraklığın belirlenmesi için değerlendirilen Bitki Örtüsü Durum İndeksi (VCI) yöntemleri için kuraklık şiddet ve risk durumuna bağlı olarak kuraklığın şiddetli olduğu tespit edilen yıllara ait Landsat 4-5 TM C2 L2 (1982-2013 yılları arası) ile Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 (2013-günümüz arası) uydularının yüzey yansıması uydu görüntüleri, ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu'nun (USGS) sunduğu ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) hükümetinin resmi web sitesi olan kullanıcıların dünya çapında çeşitli uydu görüntülerine ve coğrafi verilere erişmesini sağlayan çevrimiçi bir platformu oluşturan USGS Earth Explorer sitesinden (https://earthexplorer.usgs.gov/) temin edilmiş olup, Tablo 1'de Landsat uydularının çalışmanın amacına yönelik olarak ArcGIS/ArcMap 10.5 programında NDVI ve VCI indis hesaplamalarında kullanılan bantlarının özellikleri verilmiştir.

Tablo 1

Landsat 4-5 TM C2 L2 ve Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 uyduları bant özellikleri

Landsat 4-5 TM C2 L2			Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2		
Spektral Aralık	Bant Aralığı (nm)	Çözünürlük (m)	Spektral Aralık	Bant Aralığı (nm)	Çözünürlük (m)
B1-Mavi	450-520	30	B1-Kıyı Aerosol	435-451	30
B2-Yeşil	520-600	30	B2-Mavi	452-512	30
B3-Kırmızı	630-690	30	B3-Yeşil	533-590	30
B4-Yakın Kızılötesi (NIR)	760-900	30	B4-Kırmızı	636-673	30
B5-Kısa Dalga Boylu Kızılötesi (SWIR) 1	1550-1750	30	B5-Yakın Kızılötesi (NIR)	851-879	30
B7-SWIR 2	2080-2350	30	B6-Kısa Dalga Boylu Kızılötesi (SWIR) 1	1566-1651	30
Analizde Kullanılmayan Bant: B6-Termal Kızılötesi			B7-SWIR 2	2107-2294	30

Kaynak: Engebretson, 2020: 4; Engebretson, 2022: 4

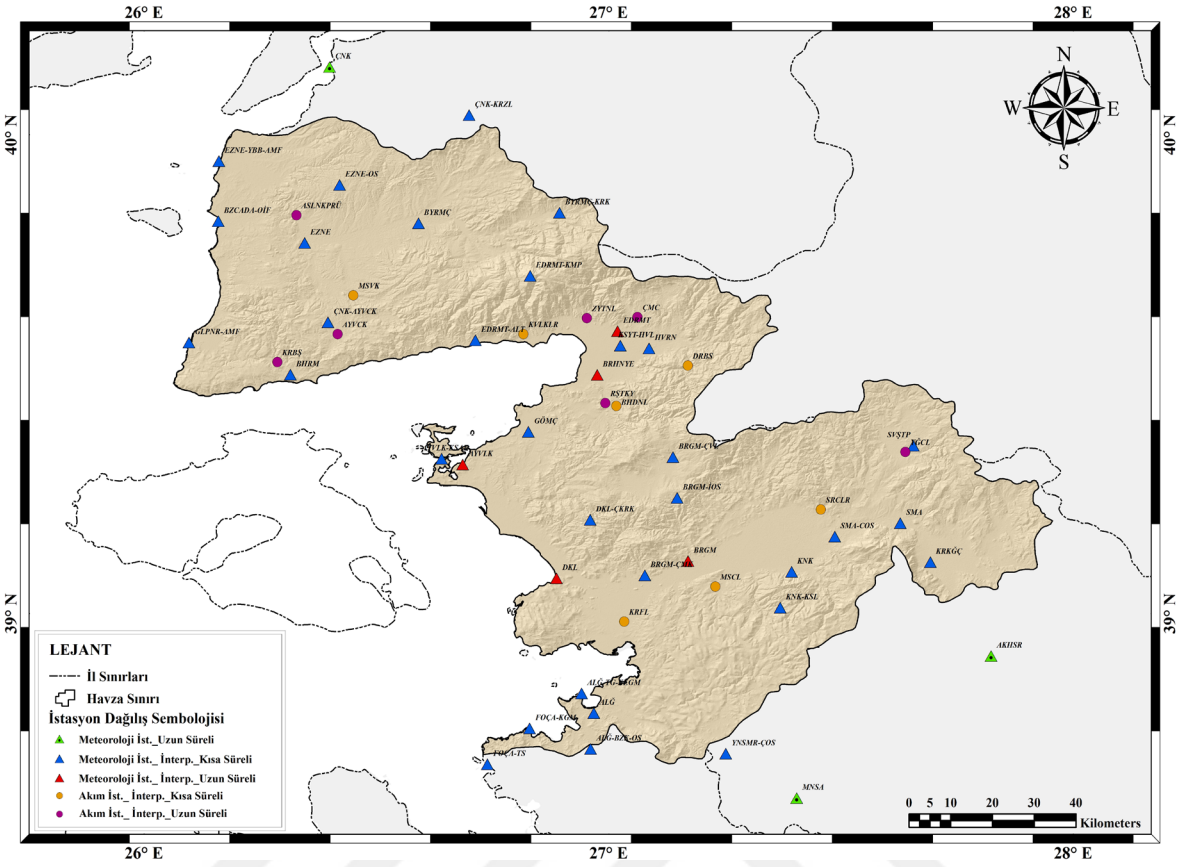
Kuzey Ege sularındaki genel topografik ve fiziksel özelliklerin yorumu yapılırken 35 metrelik çözünürlüklü Digital Elevation Model (DEM) verileri kullanılmıştır. Bu veriler, Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (METI) ile Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından uydu üzerindeki "ASTER" sensöründen toplanan ve yeryüzündeki tüm kara parçalarını kapsayan bir DEM verisi niteliğindeki ASTER Küresel Dijital Yükseklik Modelinin (ASTER GDEM), ASTER GDEM Sürüm 3 veri ürünü olan ASTGTMv003 DEM

verisinden temin edilmiştir (https://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/). Çalışmanın konusu ve kapsamına uygun olarak Kuzey Ege Havzası'nı temsil eden DEM verileri kullanılmıştır. ArcGIS/ArcMap 10.5 programının ArcHydro modülü ile gerçekleştirilen analizlerde ortaya çıkan topoloji hataları giderilmiş; Harita Genel Müdürlüğü'nün harita sunucularının sağladığı "HGM-Atlas" ile DSİ tarafından belirlenen havza sınırları referans alınmıştır. Bu doğrultuda, Kuzey Ege suları içerisinde yer alan havza ve alt havzaların sınırları, su toplama alanları, akarsu çatallanma dereceleri, akarsuların denize döküldüğü noktalar ve topografya yapısına bağlı meydana gelen akarsu yatakları oluşturulmuştur. Diğer yandan, oluşturulan havza sınırlarının doğruluğu Landsat 9 OLI/TIRS uydusuna ait olan uydu görüntüsü ile kontrol edilmiştir. Ayrıca, Kuzey Ege Havzası'na ait olan bu 35x35 metrelik çözünürlüklü DEM kullanılarak havzanın yükseklik (topografya), eğim ve bakı haritaları oluşturulmuştur.

2.1.2. Meteorolojik ve Hidrolojik Veriler

Çalışma sahasında bulunan meteoroloji istasyonlarından aylık ortalama sıcaklık ile aylık toplam yağış tutarları ve akım gözlem istasyonlarından da aylık ortalama akım verileri alındı. İstasyon bilgilerinin listesi EK 1 ve EK 2'de verilmiş olup havza genelinde istasyonların dağılışları Şekil 2'de verilmiştir. İstasyonlarda kaydedilen verilerden güvenilirliği ve homojenliği kontrol edilmiş en uzun süreli veriler analizlerde değerlendirilmiştir. Meteoroloji gözlem istasyonlarında kaydedilen meteoroloji verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve akım gözlem istasyonları tarafından kaydedilen akım verileri, Devlet Su işleri (DSİ) Müdürlüğü'nden temin edildi. Kuzey Ege Havzası sınırları içerisinde kalan meteoroloji ve akım istasyonları ile enterpolasyon haritalarında (37 adet meteoroloji gözlem istasyonu sıcaklık haritalarında ve 29 adet meteoroloji gözlem istasyonu yağış haritalarında kullanıldı) sahayı temsil edebilecek havza içinde 36 ve çevresinde 4 meteoroloji istasyonuyla toplamda 40 adet meteoroloji istasyonu ve toplamda 14 adet akım gözlem istasyonunun bilgileri temin edildi. Kuzey Ege Havzası içerisinde veya yakın çevresinde yer alan farklı sürelerdeki uzun dönem verilere sahip olan Meteoroloji Gözlem İstasyonları (MGİ) ile Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) (Şekil 2) üzerinden standardize kuraklık indis analizleri gerçekleştirilmiştir. Kuraklık indis analizlerinde kullanılan Reşitköy AGİ (1980-2021) Karadere-Karınca Deresi alt havzasında bulunmakta

olup Karıncadere Çayı üzerinde plan ve projesi devam eden Reşitköy Barajı'yla şu anlık bir ilişkisi yoktur ancak akarsuyun yönlendirilmesi veya kısmen yükseltilmesi için kullanılan akarsu akımı üzerinde antropojenik müdahale ile su akışını düzenleyici beton duvar şeklinde regülatör yapılmıştır (EK 27 ve EK 38). Korubaşı/Ayvacık (1986-2021) ve Tuzla/Ayvacık (1973-2008) AGİ'leri Tuzla Çayı alt havzasında yer almakta olup 2007 yılında yapımı tamamlanan ve 2008 yılı itibariyle faaliyete geçen Ayvacık Barajının çıkışında bulunmaktadırlar. Çamcı AGİ (1980-2021) Edremit Çayı alt havzasında yer almaktadır. Zeytinli AGİ (1989-2021) Zeytinli Çayı alt havzasında yer almakta olup planlama durumunda olan Zeytinli Barajı ile şu anlık bir ilişkiselliği yoktur. Aslanköprü AGİ (1965-1997) Karamenderes Çayı alt havzasında bulunan 1992 yılında Bayramiç Barajının işletmeye alınmasından 5 yıl sonra kapatılmış olup bu sebeple akım verileri 1997 yılında sona ermektedir. Yağcılı AGİ (1980-2021) Bakırçay alt havzasında 1981 yılında işletmeye alınan Sevişler Barajının çıkışında bulunmaktadır. AGİ veri sürelerindeki değişkenlik genellikle bulundukları alt havzalarda işletilmekte olan barajların varlığıyla birlikte istasyonların kapatılmasıyla da ilişkilidir (Şekil 2). Kuzey Ege Havzası genelinde kuraklık analiz çalışmaları doğrultusunda nisan-haziran ayları arasında akım gözlem istasyonlarının konumlarına göre yapılan arazi çalışması fotoğrafları da tez çalışmasının ilgili kısımlarında değerlendirilmek üzere EKLER bölümünde sunulmuştur.



Şekil 2. Kuzey Ege Havzası MGİ ve AGİ dağılış haritası (Meteoroloji İst._Uzun Süreli: Kuraklık indis analizlerinde kullanılan uzun süreli veriye sahip meteoroloji istasyonları; Meteoroloji İst._İnterp._Kısa Süreli: Sadece enterpolasyon haritalarında kullanılan kısa süreli veriye sahip meteoroloji istasyonları; Meteoroloji İst._İnterp._Uzun Süreli: Kuraklık indis analizlerinde ve enterpolasyon haritalarında kullanılan uzun süreli veriye sahip meteoroloji istasyonları; Akım İst._Kısa Süreli: Sadece akım grafiklerinde kullanılan kısa süreli veriye sahip akım istasyonları; Akım İst._Uzun Süreli: Akım grafikleri ve kuraklık indis analizlerinde kullanılan uzun süreli veriye sahip akım istasyonları)

Göl, gölet ve baraj verileri, açık içerik lisansıyla yayınlanan, tüm dünyanın ücretsiz ve düzenlenebilir bir haritasını oluşturan OpenStreetMap sitesi üzerinden Overpass Turbo (overpass-turbo.eu), OpenStreetMap için web tabanlı bir veri madenciliği aracı üzerinden temin edilmiş olup, OpenStreetMap üzerinden konumlarına göre ulaşılabilmiş olan (havza içindeki tüm göl, gölet ve barajların konumlarına ve bilgilerine ulaşılamadığı için harita üzerinde sadece konumlarına göre poligon verisi olan göller, göletler ve barajlar

gösterilmiştir) göl, gölet ve baraj verileri Devlet Su İşleri'nin göl, gölet ve baraj verileri referans alınarak kontrol edilip kullanılmıştır.

2.1.3. Kentsel Nüfus ve Yerleşme Verileri

Kuzey Ege Havzası sınırları içerisine giren il ve ilçe sınırları ile yerleşim noktalarının verileri, HGM'nin resmî sitesinde bulunan Türkiye Mülki İdare Sınırları kategorisinden ArcMap 10.5 programına uygun olan formatta indirilmiştir. Birleşmiş Milletler İnsani Yardım Koordinasyon Ofisi (OCHA) tarafından hizmet vermesi sağlanan İnsani Veri Değişimi (The Humanitarian Data Exchange) sitesinden ise yine Harita Genel Müdürlüğü'nün kaynak sağladığı ve Bölgesel IM Çalışma Grubu-Avrupa'nın katkıda bulunduğu Türkiye'nin Alt Ulusal İdari Sınırları ile yerleşim birimlerinin nokta ve poligon verileri temin edilmiştir (https://data.humdata.org/dataset/cod-ab-tur-rimwge) (OCHA, 2023). Kuzey Ege Havzası'nın doğal sınırları içerisinde çok düşük bir oranda yüzölçümünün dahil olduğu Balya, İvrindi, Çan, Yenice, Saruhanlı ve Akhisar (sadece bir yerleşim birimi girdiğinden nüfusa zaten dahil edilmedi) ilçelerinin havzada alanı olmasına karşın havza sınırları içinde yerleşimlerinin olmaması dolayısıyla nüfusa katkıları bulunmadığından havzanın nüfus dağılışına dahil edilmemiştir. Havzanın doğal sınırları içerisinde kalan Çanakkale, Balıkesir, İzmir ve Manisa illerine bağlı ilçeler olan; Çanakkale merkez ilçeye bağlı köy yerleşmeleri ile Ezine, Ayvacık, Bayramiç, Edremit, Havran, Burhaniye, Gömeç, Ayvalık, Dikili, Bergama, Aliağa, Foça, Menemen, Soma, Kırkağaç, Yunusemre, Kınık ve Savaştepe ilçelerine bağlı yerleşmelerin (köy, mahalle veya belde vd.,) nüfus verileri, Kuzey Ege Havzası'nda kentlerin kentsel gelişimini, artan nüfus ve yerleşme değişimleri sonucundaki baskıyı anlamak adına, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) resmi sayfasından temin edilmiştir. Bu verilerden yararlanılarak, nüfus dağılışı haritasında havzanın doğal sınırı içerisinde kalan alanın nüfus dağılışı, alansal dağılışta tematik bir şekilde gösterilmiştir.

2.2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında kullanılan yöntemler; yağış, sıcaklık ve akım verileri üzerine uygulanan kuraklık indis analizleri, indis değerleri üzerine uygulanan bütünleşik kuraklık analizi, CORINE verileri üzerinden arazi örtüsü değişimleri, uydu görüntüleri üzerinden hesaplanan NDVI ve VCI analizleri, kuraklık indis değerleri üzerine uygulanan Gidişler Sınaması ve sıcaklık verileri üzerine uygulanan Mann-Kendall (M-K) trend analizi şeklinde belirtilebilir.

2.2.1. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index-SPI)

Farklı iklim özellikleri gösteren alanların kuraklığını tanımlayabilmek adına yağış parametresinin tek bir sayısal değere dönüştürülmesini yapan SPI yöntemi ilk olarak McKee vd. (1993) tarafınca geliştirilmiştir. SPI hesaplama periyodu 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ve 48 aylık zaman ölçeklerindeki değişimlerin hidrolojik sistemlerin her biri üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Özellikle meteorolojik kuraklığın ortaya konulabilmesi açısından bu çalışmada, SPI analizi tercih edilmiştir. Uzun süreli yağış verilerinin kullanılmasıyla farklı zaman ölçeklerinde (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 ay gibi) hesaplanabilmesi en önemli avantajıdır. Bu bağlamda, birikimli olan yağış açıklarının etkilerinin analizini gerçekleştirmek için elverişli bir yöntemdir. SPI değerleri 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ve 48 aylık farklı periyotlar için hesaplanabilmektedir; ancak yağış verileri, 12 ay ve daha kısa dilimlerde normal dağılıma uymayabilirler. Bu sebeple her bir veri setinin Gamma fonksiyonuna uydurulması gerekir (Bakanoğulları, 2020). Bu yöntemde seçilen bir zaman diliminin içerisinde yağışın (X_i) ortalamadan ($\bar{X}_i$) olan farkının standart sapmaya (σ) bölünmesiyle Denklem 2.1'deki SPI formülü ile hesaplanmaktadır.

(2.1)

$$SPI = (X_i - \bar{X}_i) / \sigma$$

SPI: Standartlaştırılmış Yağış İndeksi

X_i: Aktüel yağış miktarı

$\bar{X}_i$: Ortalama yağış miktarı

σ: Standart sapma

Sonuçta elde edilen SPI değerleri, (-2) ve daha düşük olduğunda aşırı kuraklık koşullarını gösterirken, iklimde aşırı nemliliğin hâkim olduğu 2 ve daha yüksek SPI değerlerinde ortaya çıkmaktadır (Tablo 2). SPI indis sonuç değerleri negatif bir yönelim göstermekteyse kurak dönem, pozitif değerler ile ifade ediliyorsa nemli dönem ile karakterize olmaktadır. SPI metodunda en az 30 yıllık kesintisiz dönem için aylık yağış veri setleri düzenlenir. SPI yöntemi ile kuraklık şiddeti Tablo 2'de gösterilen kategorilere göre sınıflandırılabilir. Bu çalışma için kritik SPI kuraklık değerleri (-2,0), (-1,50), (-1,0) ve 0 (yaklaşık (-0,99) değeri) olarak seçilmiştir.

Tablo 2

SPI değerlerinin kuraklık sınıflandırması

SPI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırması
SPI ≥ 2,0	Son Derece Islak/Nemli
1,50 <SPI≤ 1,99	Çok Islak/Nemli
1,0 <SPI≤ 1,49	Orta Derecede Islak/Nemli
0 <SPI≤ 0,99	Hafif Islak/Nemli
(-0,99) <SPI≤ 0	Hafif Kurak
(-1,49) <SPI≤ (-1,0)	Orta Derecede Kurak
(-1,99) <SPI≤ (-1,50)	Şiddetli Kurak
SPI ≤ (-2,0)	Aşırı Kurak

Kaynak: Gümüş vd., 2016: 38; Yüceerim vd., 2019: 73; Mucan ve Yıldırım, 2023: 342

SPI analizi için Kuzey Ege Havzası'ndaki 8 adet MGİ'nin, 6 tanesinin 1975-2023 ve 2 tanesinin ise 1975-2011 yılları arasındaki kesintisiz şekilde ölçülmüş uzun dönem aylık

toplam yağış verileri kullanılmıştır. Hesaplamada, Ulusal Kuraklık Azaltma Merkezi (NDMC) tarafından sağlanan SPI Generator yazılımı kullanılmıştır (https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx) (NDMC, 2018). SPI Generator programı aracılığıyla yağış değerleri Gamma dağılımına uydurulup, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yöntemi ile normalize edilerek kuraklık analizi yapılmıştır. 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık seri yağış verileri kullanılarak elde edilen SPI değerlerinin zamansal değişimi; 6 meteoroloji istasyonu için 1975-2023 ve diğer 2 meteoroloji istasyonu içinse 1975-2011 yılları olmak üzere iki farklı dönem şeklindedir. Her bir dönem için (MGİ toplam gözlem yılları x 12 ay) kuraklık hesaplaması 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 ardışık (kümülatif) seriler şeklinde hesaplanmıştır.

2.2.2. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI)

SPEI kuraklık indeksi, ilk olarak Vicente-Serrano vd. (2010) tarafından bitki evapotranspirasyonu ve meteorolojik kuraklığı göz önüne alarak tarımsal kuraklık şiddetinin değerlendirilmesi adına geliştirilmiştir. Bu bağlamda, SPEI kuraklık indeksi yaygın şekilde kullanılmakta olan SPI kuraklık indeksinin temeline dayanmaktadır. Özellikle tarımsal kuraklığın ortaya konulabilmesi açısından bu çalışmada, SPEI analizi tercih edilmiştir. SPEI, kuraklığın belirlenmesinde aylık veya haftalık yağış (P) ile potansiyel evapotranspirasyonu (PET) hesaba katacak şekilde P ile PET arasındaki fark (D) olarak ifade edilmektedir. Bu da basit şekilde iklimsel su dengesini temsil eder. Bu bağlamda SPEI, SPI'den farklı şekilde su talebi üzerinde artan sıcaklıkların ana etkisini yakalamaktadır. SPEI'de SPI kuraklık indeksi gibi 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 ve 48 aylık değişen bir zaman ölçeğinde hesaplanabilmektedir (Yüce, vd., 2022). Yalnızca sıcaklık ve yağış gibi sınırlı veriler varsa, PET basit bir şekilde Thornthwaite (1948) yöntemi ile tahmin edilebilmektedir (Bakanoğulları, 2020). Bu basitleştirilmiş yaklaşımla PET'i etkileyebilecek yüzey nemi, rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu gibi değişkenler hesaba katılmamaktadır. Daha fazla verinin olduğu durumlarda, kuraklık değişkenliğinin eksiksiz bir takibini yapmak; PET'in daha karmaşık bir yöntem ile hesaplanmasıyla mümkün olabilir. Fakat bu ek değişkenler büyük belirsizliklere de sahip olabilmektedirler (Yüce, vd., 2022). SPEI kuraklık indeksi, aşağıda sırasıyla verilmiş olan Denklem 2.2, Denklem 2.3 ve Denklem 2.4 dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

(2.2)

$$D_i = P_i - PET_i$$

Öncelikle PET, Penman-Monteith ve bu çalışmada kullanılan Thornthwaite (1948) yöntemi olmak üzere iki şekilde hesaplanmaktadır (Yüce, vd., 2022). Bir giriş parametresi olarak sadece hava sıcaklığına ihtiyaç duyan Thornthwaite yöntemi, aşağıda verilen formüldeki gibi hesaplanmaktadır.

(2.3)

$$\mathrm{PET} = 16\mathrm{k}\left(\frac{10\mathrm{T}}{\mathrm{I}}\right)^{\mathrm{m}}$$

Formüldeki T, ortalama aylık sıcaklık (°C), k, ölçme istasyonunun enlemine göre değerlendirilen bir faktör, I, yıllık sıcaklık indeksi ve m, I ile ilgili bir katsayıyı oluşturmaktadır (Yüce, vd., 2022). P ile PET arasındaki fark olarak hesaplanan "D" değerleri, farklı zaman ölçeklerinde aşağıda verilen formüldeki gibi hesaplanır.

(2.4)

$$D_i^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1} - PET_{n-1})$$

Burada, n hesaplama ayı, k (ay) ise toplamın zaman ölçeğini ifade etmektedir. Tablo 3'te kuraklık kategorisi sınıflandırması verilmiştir. Bu çalışma için kritik SPEI kuraklık değerleri (-2,0), (-1,50), (-1,0) ve 0 (yaklaşık (-0,99) değeri) olarak seçilmiştir.

Tablo 3

SPEI değerlerinin kuraklık sınıflandırması

SPEI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırması
SPEI ≥ 2,0	Son Derece Islak/Nemli
1,50 <SPEI≤ 1,99	Çok Islak/Nemli
1,0 <SPEI≤ 1,49	Orta Derecede Islak/Nemli
0 <SPEI≤ 0,99	Hafif Islak/Nemli
(-0,99) <SPEI≤ 0	Hafif Kurak
(-1,49) <SPEI≤ (-1,0)	Orta Derecede Kurak
(-1,99) <SPEI≤ (-1,50)	Şiddetli Kurak
SPEI ≤ (-2,0)	Aşırı Kurak

Kaynak: Yüce vd., 2022: 289; Çamalan, 2022: 4

SPEI analizi için Kuzey Ege Havzası'ndaki 8 adet MGİ'nin, 6 tanesinin 1975-2023 ve 2 tanesinin ise 1975-2011 yılları arasındaki kesintisiz şekilde ölçülmüş uzun dönem aylık toplam yağış verileri ve Thornthwaite yöntemiyle aylık ortalama sıcaklık verilerinden üretilen PET değerleri kullanılmıştır. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) kuraklık indeksi ile ilgili uygulamaların ve hesaplamaların hepsi Serkendiz vd. (2023) çalışmalarında kullandıkları "R Studio" programı ile oluşturdukları kod temin edilerek, "R Studio" programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık seri için enlem-boylam bilgileri, yağış ve PET verileri (sıcaklık verilerinden üretildi) kullanılarak elde edilen SPEI değerlerinin zamansal değişimi; 6 meteoroloji istasyonu için 1975-2023 ve diğer 2 meteoroloji istasyonu içinse 1975-2011 yılları olmak üzere iki farklı dönem şeklindedir. Her bir dönem için (MGİ toplam gözlem yılları x 12 ay) kuraklık hesaplaması 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 ardışık (kümülatif) seriler şeklinde hesaplanmıştır.

2.2.3. Akım Kuraklık İndeksi (Streamflow Drought Index-SDI)

Nalbantis (2008) tarafından geliştirilen bu yöntem ile bir çalışma bölgesindeki hidrolojik kuraklık incelenebilmektedir. Akarsu akımlarındaki anomalileri belirleyerek hidrolojik kuraklığı tespit etmek adına en elverişli yöntem olup çalışma kapsamında kullanılmıştır. Akım Kuraklık İndeksi (SDI), aylık akım verileri ($Q_{i,j}$) kullanılarak hesaplanır (Gümüş, 2017). Burada i; hidrolojik yılı ve j ise ekim-eylül ayları arasındaki zaman olarak tanımlanmakta olan hidrolojik yıl içerisindeki ayı ifade etmektedir. Kümülatif akım hacmi,

aşağıda sırasıyla verilen Denklem 2.5, Denklem 2.6 ve Denklem 2.7'deki gibi hesaplanmaktadır.

(2.5)

$$V_{i,j} = \sum_{j=3(k-1)+1}^{3k} Q_{i,j}\,, k = 1, 2, 3, 4$$

(2.6)

$$V_{i,j} = \sum_{j=6(k-1)+1}^{6k} Q_{i,j}\,, k = 1, 2$$

(2.7)

$$V_{i,j} = \sum_{j=1}^{12} Q_{i,j}$$

Yukarıdaki formüllerde sırasıyla 3, 6 ve 12 aylık kuraklık indis değerleri hesaplanmaktadır. Formüllerdeki k, referans periyodu ifade eder ve k=1 ekim-aralık (SDI-3 ekim), k=2 ocak-mart (SDI-3 ocak), k=3 nisan-haziran (SDI-3 nisan), k=4 ise temmuz-eylül (SDI-3 temmuz) dönemlerini temsil eder. Formüldeki k=1 ve k=2 sırasıyla ilk 6 ay (SDI-6 ekim) ve son 6 aylık (SDI-6 nisan) periyodları, yıllık kuraklık indis değerini (SDI-12) ifade etmektedir. Referans periyot k ve i'inci hidrolojik yıl için SDI aşağıda verilen Denklem 2.8'deki gibi hesaplanmaktadır (Gümüş, 2017).

(2.8)

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k}, k = 1, 2, 3, 4$$

Burada, $\bar{V}_k$ ve S_k sırasıyla kümülatif akım hacimlerinin ortalamasını ve standart sapmasını ifade eder. SDI değerleri, Hong vd. (2014) tarafından aşırı nemli ile aşırı kurak arasında değişen sekiz farklı sınıfta ortaya konulmuştur. Bu sınıflandırma Tablo 4'te verilmiştir. Bu çalışma için kritik SDI kuraklık değerleri (-2,0), (-1,50), (-1,0) ve 0 (yaklaşık (-0,99) değeri) olarak seçilmiştir.

Tablo 4

SDI değerlerinin kuraklık sınıflandırması

SDI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırması
SDI ≥ 2,0	Son Derece Islak/Nemli
1,50 <SDI≤ 1,99	Çok Islak/Nemli
1,0 <SDI≤ 1,49	Orta Derecede Islak/Nemli
0 <SDI≤ 0,99	Hafif Islak/Nemli
(-0,99) <SDI≤ 0	Hafif Kurak
(-1,49) <SDI≤ (-1,0)	Orta Derecede Kurak
(-1,99) <SDI≤ (-1,50)	Şiddetli Kurak
SDI ≤ (-2,0)	Aşırı Kurak

Kaynak: Gümüş, 2017: 68; Turhan ve Değerli, 2021: 281

Akım Kuraklık İndeksi (SDI), hidrolojik yıl içerisinde SDI-3, SDI-6, SDI-9, SDI-12 ve SDI-24 referans periyodunda Excel programı üzerinden 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler olarak hesaplanmıştır.

2.2.4. Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) (Aggregated Drought Index-ADI)

Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ), Keyantash ve Dracup (2004) tarafından geliştirilerek ortaya konulmuştur. Bütünleşik Kuraklık İndeksi yöntemi hidrolojik çevrim içerisindeki 6 parametreyi esas almaktadır. Bunlar; yağış, buharlaşma, akarsu akım verisi, rezervuar depolama hacmi, zemin nemi ve kar yükü parametreleridir (Hınıs, 2013). Bütünleşik Kuraklık İndeksinin hesaplanmasında esas olarak alınan değişkenlerin indeksin kullanılacağı bölgenin özelliklerine göre farklılık gösterebileceği de belirtilmiştir. Çeşitli çalışmalarda da bu verilerin hepsi veya bir kısmı kullanılmaktadır. Hidrolojik çevrim içerisinde kuraklık analizi yapılacak bölge için ele alınan veriler çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden birisi olan "Temel Bileşenler Analizi" ile bütünleştirilip, Bütünleşik

Kuraklık İndeksi olarak ortaya çıkarılmıştır (Hınıs, 2013). Temel Bileşenler Analizi (TBA), Bütünleşik Kuraklık İndeksinde olduğu gibi birbirleriyle ilişkili parametreleri içermekte olan veri serilerinin boyutlarını ve veri seti içinde oluşan değişimleri koruyup, daha az boyuta basitleştirmeye yardımcı olan bir dönüşüm tekniğidir (Topçu ve Karaçor, 2021). Buradaki esas amaç, elde bulunan veri setinin daha az değişken ile ifade edilmesidir. Temel Bileşenler Analizi, orijinal veri seti arasındaki korelasyonu tanımlamakta olan kare simetrik R matrisinin kurulmasını gerektirmektedir (Topçu ve Karaçor, 2021). Temel bileşenleri hesaplayabilmek için belli adımlar gerekir:

- Elde edilmiş olan parametrelerden (bu tez çalışması için çalışma sahası içerisinde kuraklığın çok boyutlu ele alınabilmesi adına SPI ve SPEI indis değerleri giriş parametreleri olarak seçildi) her bir hidrolojik yılın her bir ayı için veri matrisi oluşturulmaktadır. Bu veri matrisinde her bir sütun bir veriyi (bileşenleri, parametreleri, vs.,) gösterir. O (observed values) gözlenmiş değerleri gösteren bir matristir. O (observed values) matrisi, N x p boyutunda oluşturulmaktadır. "N" hesaplamada kullanılan hidrolojik yıl sayısını ifade ederken, "p" ise parametre sayısını ifade etmektedir.

- İkinci adımda, her bir sütun kendi ortalamasından çıkarılıp, standart sapmasına bölünerek standartlaştırılır (yani X matrisi elde edilir). Çünkü burada kullanılan gözlenmiş değerlerin, sonuçlarda ağırlığının olmaması istenmektedir.

- Üçüncü adım ise standartlaştırılan bu veri setinden oluşturulmuş olan matrisin, korelasyon matrisi (R) meydana getirilir. Böylece, her bir parametrenin birbirleriyle olan ilişkisi elde edilmiş olur. Her bir ay için 12 farklı korelasyon matrisinin oluşturulması gereklidir. R korelasyon matrisi, X ise standartlaştırılmış gözlem matrisi olmak üzere gözlenmiş veri matrisinin korelasyon matrisi (R), aşağıda verilen Denklem 2.9'daki gibi bulunmaktadır. Standartlaştırılmış matrisin transpozesi X^T'dir. N ise hesaplanan hidrolojik yıl sayısını ifade etmektedir.

(2.9)

$$R = \frac{1}{N-1} X^T X$$

- Elde edilmiş olan korelasyon matrisi (R) üzerinde Temel Bileşenler Analizi (TBA) gerçekleştirilmektedir. Böylece, matrisin özvektörleri ve özdeğerleri de bulunmuş olur. Özvektörler, orijinal değişkenlerin standartlaştırılmış lineer kombinasyonu olan korelasyonsuz temel bileşeni hesaplamayı sağlamaktadır. Özdeğerler ise her bir temel bileşen tarafından açıklanmakta olan varyasyon miktarını ölçmektedir.

- Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) oluşturulurken korelasyon matrisi kullanıldığı için indis değerleri parametrelerin birimlerinden etkilenmez. Parametrelerin her biri, kendi biriminde kullanılabilir.

Bütünleşik Kuraklık İndeksi, temel bileşenler analizi yöntemiyle oluşturulduğu için diğer kuraklık indekslerinden farklı olması buradan kaynaklanmakta olup oldukça güçlü, çok boyutlu ve kapsamlı kuraklık indeksleri kategorisi içerisinde yer almaktadır. Özellikle çok boyutu bir şekilde kuraklığın ortaya konulabilmesi açısından bu çalışmada, BKİ analizi tercih edilmiştir.

Temel bileşenler matrisine Z, standartlaştırılmış gözlem verisi matrisine X, korelasyon matrisinden (R) elde edilmiş olan özvektör matrisine ise E denilirse, Z=XE olarak elde edilmektedir (Topçu ve Karaçor, 2021). $BKİ_{ik}$ i. yıl k. aya ait Bütünleşik Kuraklık İndeks değerini, Z_{ik} i. yıl k. aya ait birinci temel bileşeni, σ tüm hidrolojik yıllarda yer almakta olan k. aya ait birinci temel bileşenin standart sapmasını göstermek üzere aşağıda verilen Denklem 2.10'daki gibi elde edilmektedir (Topçu ve Karaçor, 2021). Bütünleşik Kuraklık İndeksi hesaplanırken, sadece birinci temel bileşen kullanılmaktadır. Çünkü bütün standartlaştırılmış veri setinde bulunan parametrelerin en büyük varyasyon miktarını birinci temel bileşen açıklar.

(2.10)

$$BK\dot{I}_{ik} = (Z_{ik}) / \sigma$$

$BK\dot{I}_{ik}$ değerleri elde edildikten sonra hidrolojik yılların her ayı seri haline getirilip, Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) değerleri elde edilir. BKİ değerleri, 12 aylık (BKİ-12) periyot için hesaplanmaktadır. BKİ'nin de SPI ya da SPEI yöntemlerindeki gibi kesin bir kuraklık şiddet sınıflandırması bulunmamaktadır. BKİ'de de bu kümülatif olasılık değerlerine karşılık gelmekte olan sınır değerleri tespit edilmiş olup, SPI ve SPEI kuraklık sınır değerlerine çok yakın çıktığından aynı kuraklık şiddet sınıflandırması kabul edilmiştir. Böylece, bu çalışma için kritik BKİ kuraklık değerleri (-2,0), (-1,50), (-1,0) ve 0 (yaklaşık (-0,99) değeri) olarak seçilmiştir. Bütünleşik Kuraklık İndeksi ile ilgili uygulamaların ve hesaplamaların hepsi Topçu ve Karaçor (2021) çalışmalarında kullandıkları "MATLAB R2012b" programı ile oluşturdukları kod temin edilerek, "MATLAB R2024b" programının daha güncel sürümü üzerinden gerçekleştirilmiştir.

2.2.5. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI)

Vejetasyon analizi için birçok bitki indeksi kullanımının yanında bilimsel çalışmalarda da genelde farklı zamanlı uydu görüntüleri için topografik ve atmosferik etkilerden izole edilmiş Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) kullanılmaktadır (Karadaş ve İmamoğlu, 2019). Yakın kızılötesi (NIR) ve görünür kırmızı (R) bantları arasındaki zıtlığı artırmak veya iki banttaki bilgiyi tek bir bantta toplayıp, bitki varlığını incelemek adına aşağıdaki Denklem 2.11'de verildiği gibi Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) formalize edilmiştir.

(2.11)

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeks değerleri veya yakın kızılötesi bandı, kırmızı bantla oranlayıp ortaya çıkarılan sonuçlar, yeşil bitki örtüsü ile ilgili bilgiyi verdiği gibi bunun yanında bitkinin zayıf olduğu veya bitkisiz boş alanları da ortaya çıkartmaktadır. NDVI indeksinde değerler genelde, -1 ile +1 arasında değişmektedir. NDVI indeksi, yeşil bitkilerin pikseli tamamen kapladıkları zamanda yüksek çıkmakta ve hiçbir yeşil bitkinin olmadığı boş alanlarda (çorak alanlarda) ise düşük çıkmaktadır. İndeksin normalize edilmiş olması da farklı güneş açısı etkilerinin ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır (Karadaş ve İmamoğlu, 2019). Yakın kızılötesi ve kırmızı bantlar arasındaki yansımayı karşılaştırarak bitki örtüsünün varlığını ve yoğunluğunu güvenilir şekilde ortaya koyabilmesi açısından bu çalışmada, NDVI indeksi kullanılmıştır. Referans alınan 1985, 1992, 1994, 2001, 2005, 2008 yılları için Landsat 4-5 TM C2 L2 uydu görüntüleri ve referans alınan 2014, 2018, 2020, 2023 yılları içinse Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 uydu görüntüleri üzerinden ArcMap 10.5 programında sırasıyla "ArcToolbox" "Spatial Analyst Tools" içerisinde bulunan "Map Algebra" ve "Raster Calculator" bölümünden NDVI formülüne göre indeks hesaplaması yapılmıştır. NDVI analizi ile ilgili tüm uygulamalar ve hesaplamaların ardından haritalamaların da hepsi ArcMap 10.5 programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda, çalışma sahası için yapılan NDVI hesaplamaları sonucunda elde edilen NDVI değerlerine göre oluşturulan NDVI sınıflandırması Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

NDVI değerlerinin sınıflandırması

NDVI Değerleri	NDVI Alan Özelliği
(-0,06)- (0,09)	Su Yapıları (Baraj, Göl, Gölet, Akarsular vs.)
(0,10)- (0,14)	Yapay Yapılar/Kentsel Alanlar
(0,15)- (0,19)	Çıplak Arazi/Çalı ve Çayır
(0,20)- (0,26)	Seyrek Bitki Örtüsü
(0,27)- (0,90)	Yoğun (Sağlıklı) Bitki Örtüsü

Kaynak: Akbar vd., 2019: 6

2.2.6. Bitki Örtüsü Durum İndeksi (Vegetation Condition Index-VCI)

VCI indeksi, uzun yıllar boyunca belli bir ekosistem için karşılaşılan NDVI değerlerinin maksimum ve minimumlarının bir fonksiyonu şeklinde bitki örtüsü durumunun

bir göstergesi olarak tanımlanmaktadır (Onuşluel Gül, 2024). Su stresi durumunu ortaya koyabilmek adına NDVI indeksinden daha fazla tercih edilmekte olan bir kuraklık indis yöntemidir. Bitki örtüsü durumunda meydana gelen değişiklik ve kuraklığın bitki büyümesi üzerindeki etkisinin bir göstergesi olan VCI, aşağıda verilen Denklem 2.12'deki gibi hesaplanmaktadır.

(2.12)

$$VCI_j = (NDVI_j - NDVI_{min})/(NDVI_{maks} - NDVI_{min}) * 100$$

$NDVI_{maks}$ ve $NDVI_{min}$, uzun süreli veriler kullanılarak elde edilmekte olan maksimum ve minimum NDVI değerleri; *j*, hesap yapılan ayı; $NDVI_j$, hesap yapılan aya ait NDVI değerini ifade etmektedir (Onuşluel Gül, 2024). $NDVI_{maks}$ ve $NDVI_{min}$, belirli bir iklime referansla bir piksel için çok yıllık maksimum NDVI ve minimum NDVI'dır. Bitki Örtüsü Durum İndeksi (VCI), mevcut NDVI değerini önceki yıllarda aynı dönemde gözlenen değer aralığıyla karşılaştırır. VCI, (%) olarak ifade edilir ve gözlenen değerin önceki yıllardaki uç değerler (maksimum ve minimum) arasında nerede yer aldığına dair bir fikir verir. Daha düşük ve daha yüksek değerler sırasıyla kötü ve iyi bitki örtüsü durumu koşullarını gösterir. VCI, son derece elverişsiz (kurak) koşullar için 0'dan, optimum (nemli) koşullar için 100'e kadar değişmektedir. Uzun yıllar boyunca elde edilen NDVI verilerinin maksimum ve minimum değerlerini referans alarak, bitki örtüsündeki değişimleri ve kuraklık etkilerini daha güvenilir şekilde ortaya koyabilmesi açısından bu çalışmada, VCI yöntemi tercih edilmiştir. Referans alınan 1985, 1992, 1994, 2001, 2005, 2008, 2014, 2018, 2020 ve 2023 yılları için ArcMap 10.5 programında sırasıyla "ArcToolbox" "Spatial Analyst Tools" içerisinde bulunan "Local" ve "Cell Statistics" bölümünden VCI formülüne göre NDVI maksimum ve minimum değerleri hesaplanmıştır. Daha sonraki aşamada ise yine "Spatial Analyst Tools" içerisinde bulunan "Map Algebra" ve "Raster Calculator" bölümünden VCI formülüne göre indeks hesaplaması yapılmıştır. VCI analizi ile ilgili tüm uygulamalar ve hesaplamaların ardından haritalamaların da hepsi ArcMap 10.5 programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. VCI sınıflandırması, Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6

VCI değerlerinin kuraklık sınıflandırması

VCI Değerleri (%)	Sayısal Dizin	Kuraklık Sınıflandırması
(0-20)	5	Aşırı Kurak
(20-40)	4	Şiddetli Kurak
(40-60)	3	Orta Derecede Kurak
(60-80)	2	Hafif Kurak
(80-100)	1	Kuraklık yok (Nemli Koşullar)

Kaynak: Vallejo-Villalta vd., 2019: 8

2.2.7. Arazi Örtüsü Değişimi

Avrupa bileşenini koordine eden Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) ve küresel bileşeni koordine eden Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi Genel Müdürlüğü tarafından ortaklaşa uygulanmakta olan Copernicus Arazi İzleme Servisi (The Copernicus Land Monitoring Service) tarafından sağlanan arazi örtüsü verileri kullanılmıştır.

CORINE, Avrupa Birliği'nin 1985 yılında Avrupa Birliği için toplanan su, hava, toprak, arazi örtüsü, kıyı erozyonu ve biyotoplar gibi verilerin işlenmesi ve uygulanması için başlattığı kurumsallaşarak önce 10 yılda, son olarak 6 yılda bir güncellediği Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde belirli aralıklarla uygulanan ve tüm üye ülkeleri kapsayan arazi örtüsü/arazi kullanımı belirleme sistemi ve sınıflandırma projesidir (Sarı ve Özşahin, 2016; Karakaş Özür ve Ataol, 2018). Online olarak temin edilebilen arazi örtüsü haritalarıyla, Kuzey Ege Havzası'nda 1990-2018 yılları arasında gözlenen arazi örtüsü değişimleri ortaya konulacaktır.

Türkiye'nin 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait CORINE arazi örtüsü değişim verileri Copernicus Arazi İzleme Servisi'nden indirildikten sonra ArcMap 10.5 programına aktarılmıştır. Daha sonraki aşamada programda açılan veri "Geoprocessing" sekmesi altındaki "Clip" komutundan çalışma alanının sınırına göre alınmıştır. "ArcToolbox" "Data Management Tools" içerisinde bulunan "Projections and Transformations" "Project" komutundan koordinat sistemi belirlenmiştir. "Table Of Contents" kısmındaki "Layers" bölümünden veri katmanına sağ tıklanarak çıkan "Open

Attribute Table" bölümüne yani öznitelik tablo bilgilerine gidilerek burada çalışma sahası için arazi örtüsü değişim haritalarının oluşturulabilmesi adına verinin öznitelik tablosu üzerinden CORINE sınıflandırma sistemi (EK 3) tablosunda 3. düzey alt sınıflandırma numaralarının bulunduğu öznitelik tablosundaki alt sınıflandırma numaralarının çokluk durumlarını tek hale getirebilmek adına ilgili katman için "Editor" sekmesini aktifleştirerek yine "Editor" sekmesi altındaki "Merge" komutundan aynı sayıları birleştirme işlemi yapılmıştır. Böylece haritaların görselleştirme ve renklendirme aşamasında aynı alt sınıf numaralarına aynı renklerin verilmesi sağlanmıştır. Arazi örtüsü değişimi ile ilgili tüm bu uygulamaların ardından haritalamaların da hepsi ArcMap 10.5 programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Kuzey Ege Havzası'nda 1990-2018 yılları arasındaki arazi kullanımının alansal (ha) değişimi (Tablo 15) ise CORINE sınıflandırma sistemine ait 3. düzey alt sınıflandırma numaralarına "Merge" işlemi uygulanmamış verilerinin ArcMap 10.5 programından Excel'e aktarılmasıyla bu veriler üzerinden hesaplanarak oluşturulmuştur. 100 metre mekânsal çözünürlüğe sahip 1990-2018 yılları arasına ait CORINE verileri, genel itibari ile Kuzey Ege sularındaki arazi durumunu incelerken uygun detay düzeyine sahiptir. CORINE sınıflandırma sistemi EK 3'te verilmiştir.

2.2.8. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (Inverse Distance Weighting-IDW) Yöntemi

Kuzey Ege Havzası'nda sıcaklık ve yağışın alansal dağılış deseni Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (Inverse Distance Weighting, IDW) kullanılarak ortaya konulmuştur.

IDW yöntemi, bilinen örnek noktalara ait değerlerin yardımıyla örneklenmeyen noktalara ait hücre değerlerinin belirlenmesi için kullanılan bir enterpolasyon tekniğidir (Taylan ve Damçayırı, 2016). Alakalı hücreden uzaklaşan farklı noktalar dikkate alınarak ve mesafenin artışına bağlı olarak hücre değeri hesaplanır. Tahmin edilen değerler, komşu noktaların uzaklığı ve büyüklüğüne bağlıdır; mesafe arttıkça tahmin edilecek hücre üzerindeki önem ve etki azalacaktır. Bu yöntem, enterpole edilecek yüzeydeki yakın noktaların, uzak noktalara göre daha fazla ağırlık taşıması ilkesine dayanır (Yenipınar, vd.,

2021). Bu çalışmada IDW yöntemi, iklim verilerinin mekânsal dağılışını tahmin etmede etkili bir yöntem olarak kullanılmıştır (Çağlıyan ve Ayhan, 2018; Yasan, vd., 2019). Sıcaklık ve yağışın alansal dağılış haritaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla ArcGIS/ArcMap 10.5 programında "ArcToolbox" "Spatial Analyst Tools" içerisindeki "Interpolation" yöntemlerinden IDW yöntemi kullanılarak oluşturulmuş ve ilgili tüm uygulamalar bu program üzerinden gerçekleştirilmiştir.

2.2.9. Gidişler Sınaması (Runs Test) Yöntemi

Gidişler Sınaması (Runs Test) parametrik olmayan bir yöntemdir. Zaman serilerindeki ısrar bileşenini, bir başka ifadeyle rastgele olmama durumunu belirlemek adına kullanılmaktadır. "Gidiş" terimi, diğer bir deyişle "run" terimi, belirli bir gözlem dizisinde medyan değerinin altında ya da üstünde gitmekte olan ardışık gözlemlerin her birini ifade etmektedir (Sarış ve Gedik, 2021). Gözlem dizisinde gidiş sayılarının düşük olması, belirli bir yönde ısrar (persistence) gözlendiğinin, dolayısıyla veride rastgele olmama (non-randomness) durumunu ifade etmektedir. Test istatistiği ise z standart normal tablosuyla karşılaştırılmaktadır. %5 anlamlılık düzeyinde, işaretine bakılmaksızın mutlak z değerinin 1,96'dan büyük olması durumunda rastgele olmama durumunun istatistiksel olarak anlamlılığı kabul edilmektedir (Sarış ve Gedik, 2021). Özellikle zaman serilerindeki ısrar bileşenini belirlemek adına bu çalışmada, Gidişler Sınaması (Runs Test) analiz yöntemi kullanılmıştır. Gidişler Sınaması (Runs Test) analizi ile ilgili uygulamaların ve hesaplamaların hepsi "IBM SPSS Statistics 2022" programı üzerinden gerçekleştirilmiştir.

2.2.10. Mann-Kendall (M-K) Sıra Korelasyon Katsayısı Trend Analiz Yöntemi

Mann-Kendall testi, hidrometeorolojik zaman serilerindeki trendleri belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve Kendall'ın tau istatistiği olarak da bilinmektedir (Katipoğlu, vd., 2022). Hidroklimatolojik parametrelerden olan aylık ortalama sıcaklık bileşeninin zaman serilerindeki uzun süreli eğilimlerini ve trendlerini belirlemek üzere parametrik olmayan, eksik verilere toleranslı ve belirli bir veriyi dağılıma uydurmayı gerektirmeyen avantajlı bir istatistiksel yöntem olmasından dolayı bu çalışmada, Mann-

Kendall (M-K) Sıra Korelasyon Katsayısı Yöntemi kullanıldı (Türkeş, vd., 2007; Katipoğlu, vd., 2022). Mann-Kendall sıra korelasyon katsayısı olan tau (τ) hesaplamasında, analiz edilen orijinal x_i terimli gözlem dizisi yerine, bu gözlemlerin küçükten büyüğe sıralanmasıyla oluşturulan k_i sıra numaraları dizileri esas alınır (Türkeş, vd., 2007). Her elemanın kaçıncı sırada olduğu bulunarak böylelikle sıralı dizi k_i de bulunur. İkinci olarak ise P istatistiği hesaplanmaktadır. k_i dizilerindeki ilk terimin değeri, ikinci terim değerinden başlayarak N'inci terime kadar, dizideki tüm terimlerin değerleri ile karşılaştırılmaktadır (Türkeş, vd., 2007). ki,'i aşan terimlerin sayısı bulunarak, n_1 olarak ifade edilir. Aynı işlem, ikinci terimin değeriyle kendisinden sonraki terimler arasında uygulanır ve k_2'yi aşan sonraki terimlerin sayısı n_2 olarak kaydedilir (Türkeş, vd., 2007). Bu işlem ise dizideki her terim için k_{n-1}'e kadar gerçekleştirilir. n_i değerlerinin toplamı, Denklem 2.13'te tanımlanan P istatistiğini vermektedir.

(2.13)

$$P = \sum_{i=1}^{n} n_i$$

M-K sınama örneklem değeri (τ), *N* ve *P*'den faydalanarak aşağıda verilen Denklem 2.14 ile hesaplanır.

(2.14)

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1$$

Tau (τ)'nun anlamlılık sınaması $(\tau)_t$, aşağıda verilmiş olan Denklem 2.15 ile hesaplanmaktadır.

(2.15)

$$\tau_{(t)} = 0 \mp t_g \sqrt{\frac{4N + 10}{9N(N-1)}}$$

Burada t_g normal dağılımın iki yanlı yapısına göre, istenmekte olan anlamlılık düzeyine karşılık gelen kritik değerdir (Türkeş, vd., 2007). Uygulamalarda genellikle, t_g için %5 ve %1 anlamlılık düzeylerine karşılık gelen, sırası ile 1.960 ve 2.576 kritik değerleri kullanılmaktadır (Türkeş, vd., 2007). Gözlemlerin herhangi bir eğilim içermediği boş hipotezi *Ho*, normal dağılımın iki yanlı yapısına göre $\tau_{(t)}$ ile karşılaştırılan τ istatistiğinin büyük değerleri için reddedilmektedir (Türkeş, vd., 2007). Mann-Kendall (M-K) analizi ile ilgili uygulamaların ve hesaplamaların hepsi Excel programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Mann-Kendall analizinin sonucunda değerler, $p \leq 0{,}01$ olduğunda %99 anlamlılık düzeyinde ve $p \leq 0{,}05$ olduğunda ise %95 düzeyinde anlamlı bir ısrar eğiliminin olduğu ortaya çıkmaktadır.

"IBM SPSS Statistics 2022" programı üzerinden Kuzey Ege Havzası genelindeki meteoroloji istasyonlarının uzun dönemli (1975-2023) aylık ortalama sıcaklıklarına uygulanan Kruskal-Wallis (K-W) homojenlik analizi sonucunda, mayıs ve eylül ayları arasında homojen olmama durumu tespit edilmiştir (EK 4). Homojen olmama durumu veri setinde zamansal bir değişime ya da yapay bir etkiye işaret edilebilir. MGM'den alınan metadata bilgisine göre istasyonlarda yapay bir etki söz konusu değildir, nitekim bulgular bölümünde açıklanacağı gibi mayıs-eylül arası dönemde gözlenen inhomojenlik, Mann-Kendall Sıra Korelasyon Katsayısı yönteminin sonuçları ile uyumludur ki bu da zamansal değişkenliğin verilerde homojen olmama durumuna yol açtığını göstermektedir. Hidroklimatolojik parametrelerin zaman serilerindeki homojenliğin sınandığı bir yöntem olarak birçok çalışmada Kruskal-Wallis (K-W) Homojenlik (Türdeşlik) Sınaması kullanılmaktadır (Tekkanat ve Sarış, 2015; Sarış, 2016; Yılmaz, 2021).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ÇALIŞMA SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Çalışma sahası olarak seçilen ve DSİ tarafından Kuzey Ege Havzaları şeklinde tanımlanmış havzalar topluluğu olarak, Anadolu'nun kuzeybatısında yer alan ve 40°-38° kuzey enlemleri ile 26°-28° doğu boylamları arasında bulunan Kuzey Ege Havzası Çanakkale, Balıkesir, İzmir ve Manisa illerinden oluşan hidrolojik bir havzadır. Havza kuzeyde Marmara Havzası, güneyde Gediz Havzası, doğuda Susurluk Havzası, batıda Ege Denizi ile çevrelenmiştir. Kuzey Ege Havzası'nın sınırı, kuzeyde Çanakkale Boğazı'ndan başlayarak Kayalı Dağı (879 m), Kazdağları (1.766 m) ile Kocakatran Dağları su bölümü çizgisinden geçmekte olup doğuda Madra Dağı ve güneyde Kılıçdağ, Dumanlı Dağ (1.098 m) su bölümü çizgisinden geçip Foça ilçesinin yakınlarında ise Ege Denizi'ne bağlanır durumdadır. Kuzey Ege Havzası toplamda 9861,3 km^2'lik bir drenaj alanıyla, Ege Bölgesi içinde Büyük Menderes ve Gediz havzalarından sonraki en büyük üçüncü hidrolojik havza konumunda olup, Türkiye'nin yüzölçümünün yaklaşık olarak %1,3'ünü kaplamaktadır (Şekil 1).

Kuzey Ege Havzası içerisinde, Ege Denizi'ne sularını boşaltan daimî ve mevsimlik akarsular ile bu akarsuların su toplama alanlarından oluşan havzadaki en önemli akarsular şunlardır: Karamenderes Çayı, Tuzla Çayı, Havran Çayı, Madra Çayı, Güzelhisar Çayı, Edremit Çayı, Akçin Çayı, Zeytinli Çayı, Karadere-Karınca Çayı, Karaağaç Çayı, Karakoç Çayı, Yağcılar Çayı ve Bakırçay Nehri'dir.

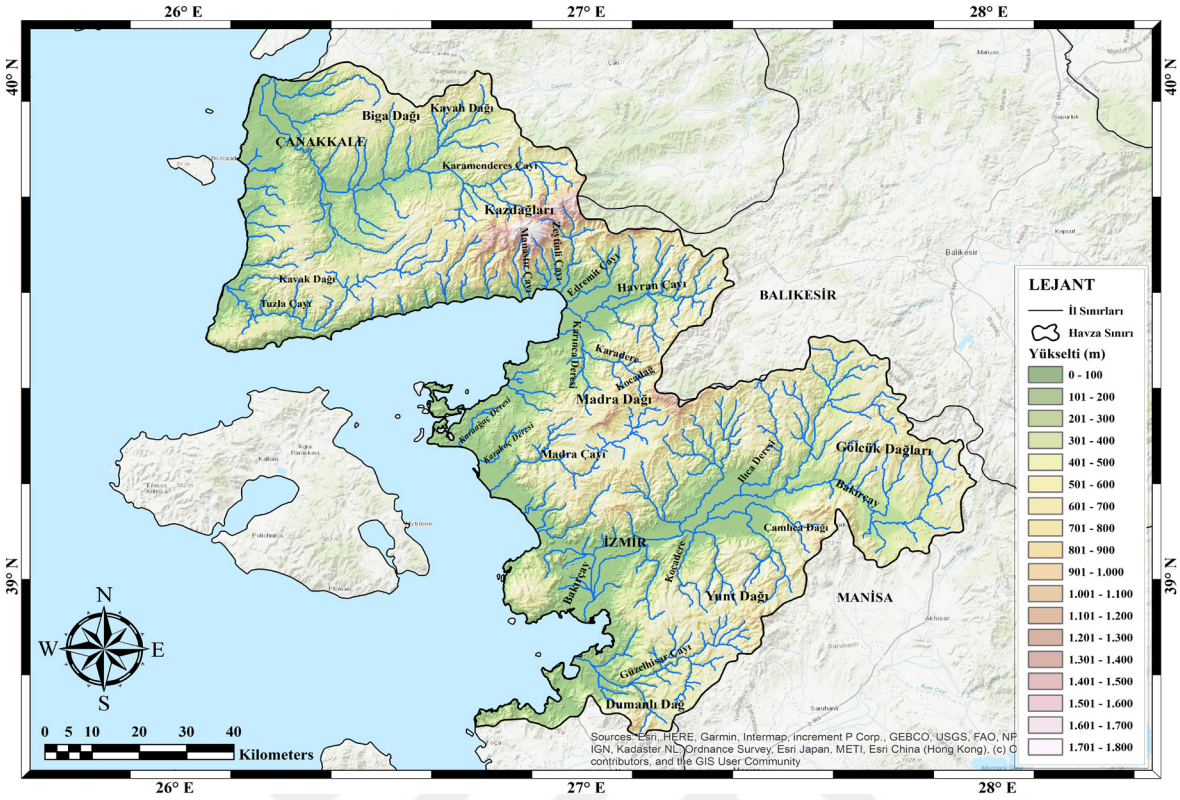
3.1. Kuzey Ege Havzası Fiziki Coğrafya Özellikleri

3.1.1. Topografik Özellikler

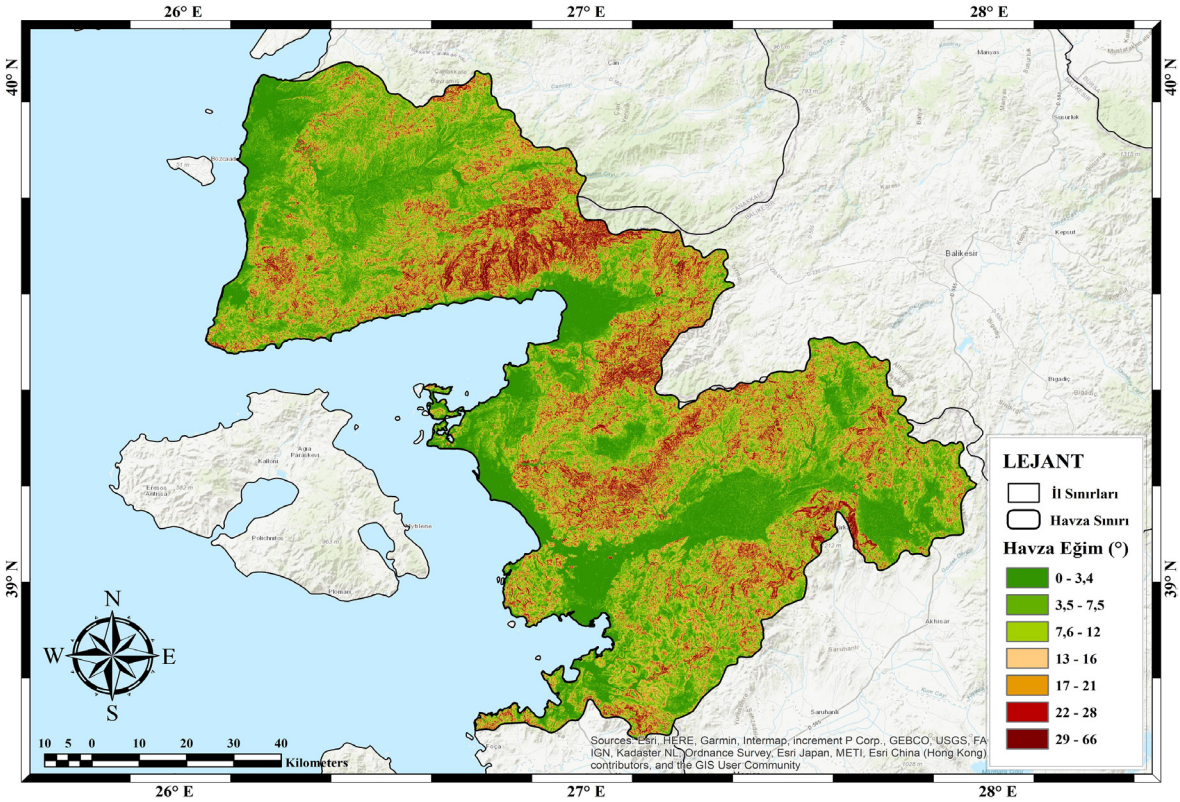
Kuzey Ege Havzası sınırlarının içinde bulunan dağlar denize dik bir şekilde uzanmaktadır. Kuzey Ege Havzası'nda da Ege Bölgesi'ndeki gibi oluşan engebeler, doğu ve batı yönünde uzanmaktadır. Doğu ve batı yönlü dizilmiş olan dağlar horstları oluştururken,

grabenler ise alçak kesimleri oluşturmaktadır. Bu dağlar, Menderes masifinin faylarla parçalanması sonucunda yüksekte kalan bloklara karşılık gelmektedir. Kıvrılmaların biçimi bölgenin oluşum dönemlerinde, enlemlere paralel doğrultuda gelişim göstermiş olup kıyı kesmi de bu duruma uyarak girintili çıkıntılı bir görünüm almıştır. Kuzey Ege Havzası'ndaki engebe yapısı, Alp-Himalaya kıvrım kuşağının bir uzantısı olan Kuzey Anadolu Dağ Sistemi'nin alçalmış, yer yer yumuşamış ve kısmen dağılmış bir devamı niteliğindedir (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010). Pek çok noktada tepe ve dağ uzantıları parmak şeklinde denize doğru sokulmuşsa da Edremit Körfezi'nin kuzey kesiminde yer alan Biga Yarımadası'ndaki dağ alanın yükseltisi kıyıya paralel, fazlaca dik ve kısmen hiç düzlük alan bırakmayan şekilde yer almıştır.

Kuzey Ege Havzası'nın yükselti dağılımına göre havzanın toplam alanının %77,8 kadarı 100 m'den daha yüksek sahaları oluşturmaktadır. Kıyı alanları şeklinde tanımlanmakta olan 100 m'den daha alçak sahalar ise havza alanının %22,2 kadarına denk gelmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021) (Şekil 3 ve Şekil 4). Yükseklikleri 200 metreden daha küçük sahalar ise 3.785 km^2 olarak belirlenmiş ve bu alanlar havzanın toplam alanının %38,4 kadarına denk gelmektedirler. Buna karşın ise 1.000 m ve daha yüksek sahaların havza içerisindeki payları %2,2 oranındadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021) (Şekil 3 ve Şekil 4). Kuzey Ege Havzası'nda tepelik ve fazlaca yüksek sayılmayan dağlık yüksek araziyle kısmen de düz alüvyal taban arazilerle iki farklı fizyografik yapı mevcuttur (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010). Kuzey Ege Havzası'nın yaklaşık %60'ından fazlasını kaplamakta olan bu yüksek arazilerin yükseklikleri genel olarak 250-300 m arasında değişmekte olup, horstlar ve grabenlerin arasındaki yükselti farkı 1.000 m üzerindedir (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018) (Şekil 4). Ancak havzada belli alanlarda 1.000 m'ye kadar uzanan araziler içinde nadiren de olsa 1.500-2.000 m aralığına ulaşan yüksek yerler de bulunmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018) (Şekil 3). Kuzeyde bulunan Kazdağları (1.766 m) havzanın en önemli yükseltisi olup güneyde bulunan Dumanlı Dağ (1.098 m) ve Ayvalık'ın doğusunda bulunan Yaylacık Dağı (1.114 m) havza içerisindeki önemli yükseltileri oluşturmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018) (Şekil 3). Genellikle, havzanın arazisini yaklaşık %60 oranında dalgalı ve tepelik, yaklaşık %12 oranında eğimi dik, çok dik ve sarp araziler oluşturmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018) (Şekil 4). Kuzey Ege Havzası bakı haritası ise EK 5'te verilmiştir.



Şekil 3. Kuzey Ege Havzası topografya (yükselti) haritası



Şekil 4. Kuzey Ege Havzası eğim haritası

Büyük ölçüde engebeli bir yapıya sahip olan Kuzey Ege Havzası akarsu vadileri, birikinti ovaları ve taban arazileri dışında çoğunlukla yarıntılar ve yamaçlardan oluşmaktadır (Öztürk, 2019). Bu nedenle kısa mesafelerde belirgin derecede fazla yükselti farkları görülmektedir. Havzadaki jeolojik özellikler açısından, volkanik ve metamorfik kayaçların büyük ölçüde egemen olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle de Biga Yarımadası çevresinde, alçak kesimlerde konglomera, şeyl, kiltaşı, kumtaşı ve kireçtaşının dışında kıyıya yakın olan akarsu yataklarında alüvyon birikimlerinin yayılışı gözlemlenmiştir. Tersiyer dönemine ait andezitik karakterdeki volkanik oluşumlu araziler İzmir'in kuzeyinde yer alan Yamanlar Dağı'ndan başlayarak Marmara Bölgesi'ne kadar uzanmaktadır (Öztürk, 2019).

Genel olarak havza içerisindeki dağlar denize dik indiğinden buna bağlı olarak da graben ovaları oluşmuştur. Sadece Kazdağları silsilesi bu yapının dışında kalmış olup havzanın bu kesiminde dağlar deniz paralel bir şekilde uzanış göstermektedir. Havzanın içinde irili ufaklı birçok ova da yer almaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021) (Şekil 3 ve Şekil 4). Çanakkale ili içinde bulunan Karamenderes Çayı'nın akış yolu üzerinde yer alan Bayramiç ve Ezine Ovaları; Körfez Ovaları olarak bilinen Balıkesir iline ait Edremit, Burhaniye ve Ayvalık Ovaları ile havzanın en önemli ovası olarak kabul görmüş Bakırçay Nehri'nin yatağı boyunca devam eden İzmir/Çandarlı Körfezi'nden Ege Denizi'ne kadar uzanan Bakırçay Ovası arazideki belli başlı olan ovaları oluşturmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018). Ovalar büyük oranda grabenlere yerleşmiş olan akarsuların taşıdıkları malzemelerle meydana gelmiş alüvyal alanlardır. Bu nedenle de birçok tarım ürününün yetişebildiği verimli sahaları oluşturmaktadır (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010).

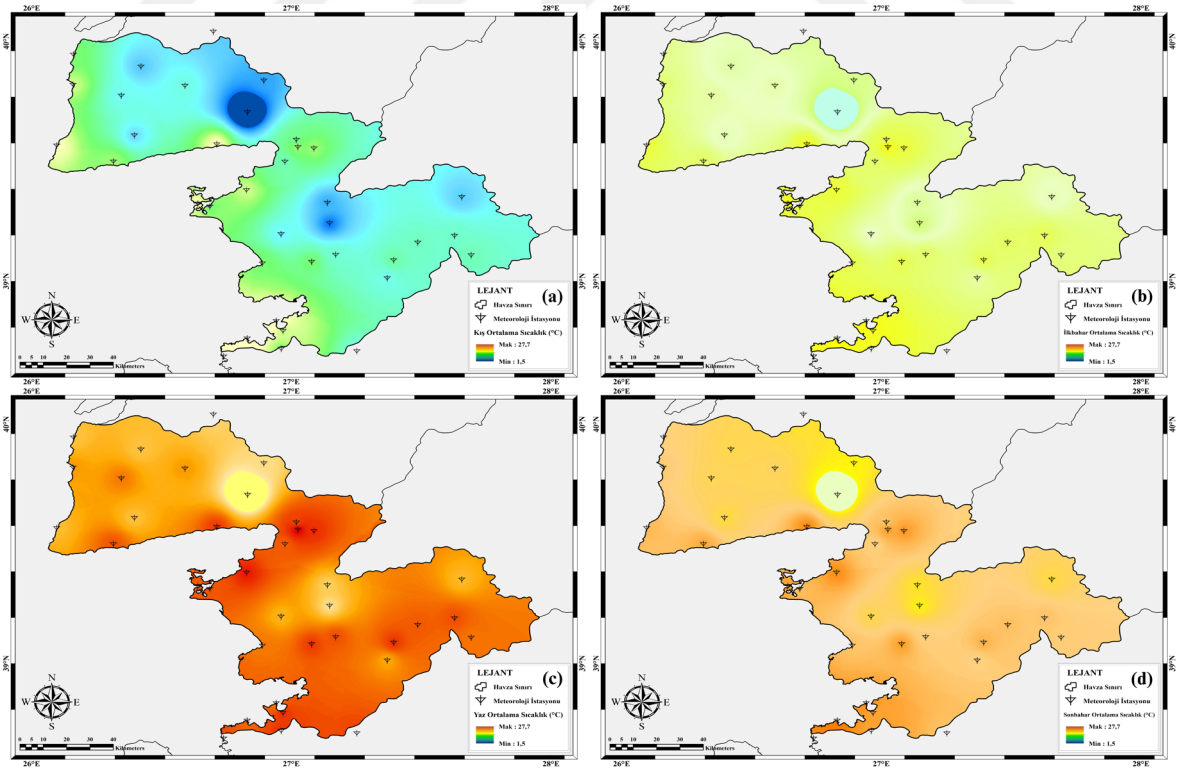
3.1.2. İklim Özellikleri

Akdeniz iklim bölgesinde yer alan havzada, yaz mevsiminde kurak, sıcak ve su açığı olan; kışın ise ılık, yağışlı, mezotermal ve su fazlası ile karakterize bir iklim hakimdir (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010). Kuzey Ege Havzası'nın topografik yapısına bağlı olarak Ege Denizi'nin etkileri havzanın içerilerine sokulmakta, ancak doğuya doğru

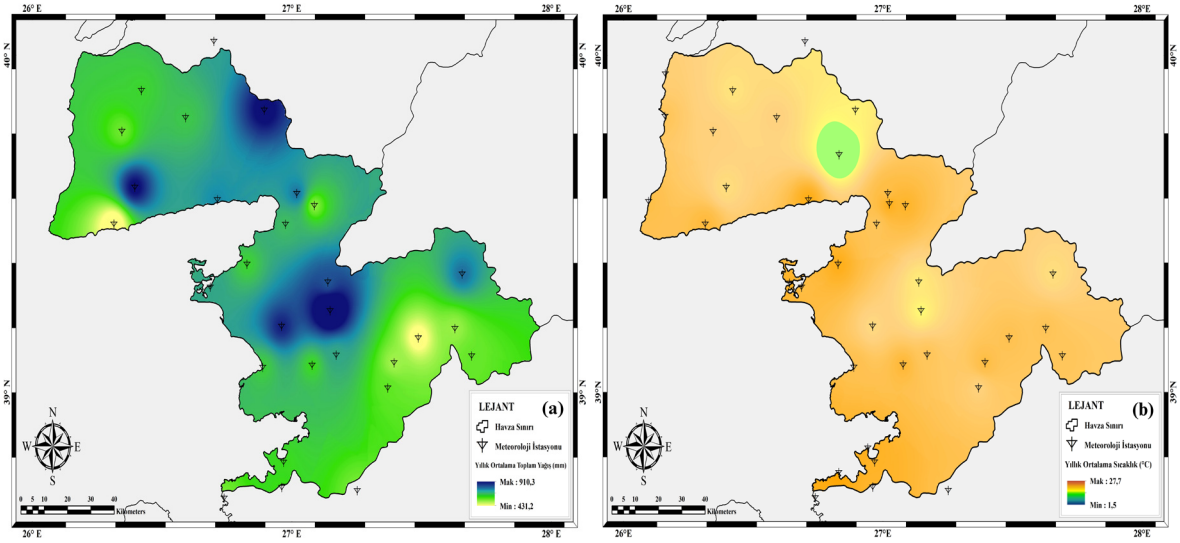
ilerledikçe (Kırkağaç, Soma ve Savaştepe) karasallık etkisi belirgin hale gelmektedir (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010).

Kuzey Ege Havzası'na ait 37 meteoroloji istasyonunun aylık ortalama sıcaklıkları ile 29'unun aylık toplam yağışlarından elde edilen yıllık ve mevsimlik ortalama sıcaklık ve ortalama toplam yağış enterpolasyon haritaları Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Yıllık sıcaklık ortalamasının 16,3 °C olduğu Kuzey Ege Havzası'nda kış mevsimi sıcaklık ortalaması 8,1 °C olup, yaz ayları ortalaması 25,1 °C olarak hesaplanmıştır (Şekil 5a ve Şekil 5c). Geçiş mevsimlerinde ortalama sıcaklık ilkbahar için 14,3 °C olup, sonbaharda 17,5 °C olarak hesaplanmıştır (Şekil 5b ve Şekil 5d). Aylık ortalamalardan elde edilen yıllık ortalama sıcaklıkta en düşük yıllık ortalama sıcaklık 9,6 °C ile havzadaki Edremit-Kazdağları Milli Parkı meteoroloji istasyonu olarak hesaplanmış olup, en yüksek yıllık ortalama sıcaklık ise 18,6 °C Foça Trafik Gözetleme KEGM istasyonunda hesaplanmıştır (Şekil 6b).

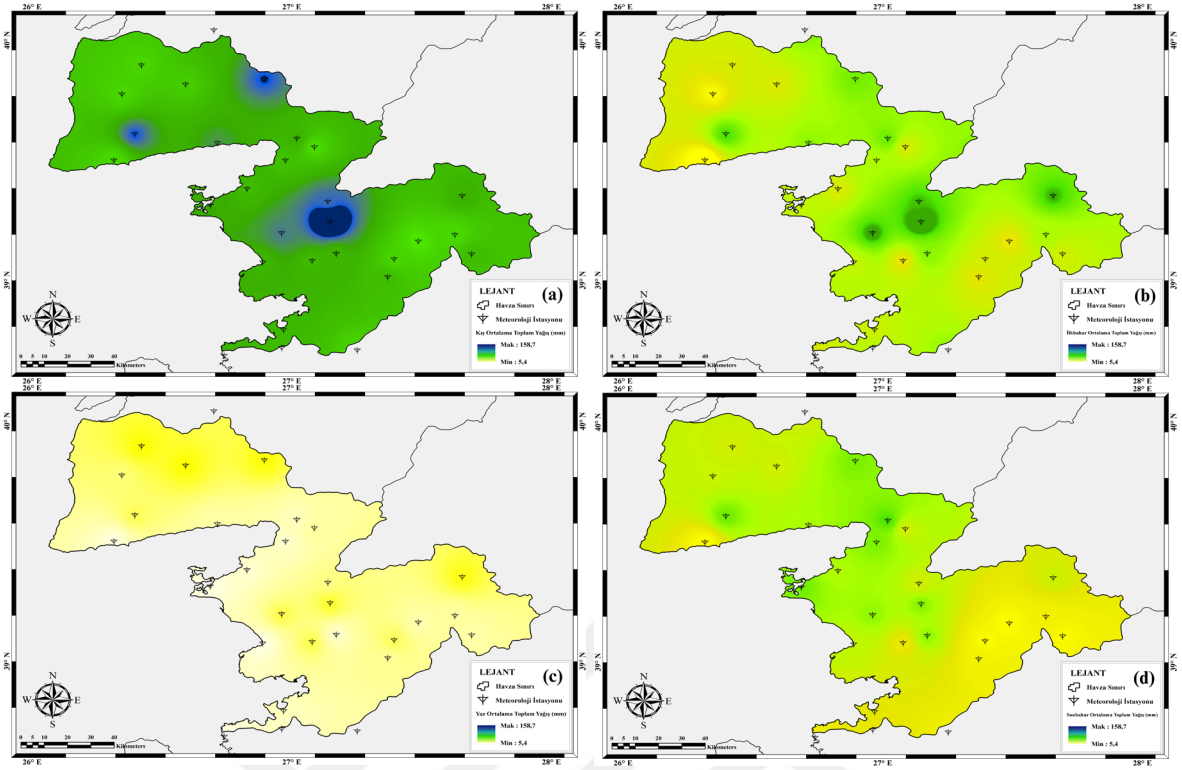


Şekil 5. Kuzey Ege Havzası mevsimlik (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz, (d) sonbahar aylık ortalama sıcaklık enterpolasyon haritaları



Şekil 6. Kuzey Ege Havzası (a) yıllık ortalama toplam yağış ve (b) yıllık ortalama sıcaklık enterpolasyon haritaları

Kuzey Ege Havzası'nın toplam yağış alanı 9.032 km^2 olup, yıllık ortalama yağış yüksekliği 624 mm ve yıllık ortalama akışı ise 43,93 m^3/s'dir (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010). Yıllık ortalama verimi 4,86 $L/s/km^2$ olan Kuzey Ege Havzası'ndaki akışın yağışa oranı 0,25 iken; iştirak oranı ise %0,75 olarak hesaplanmıştır (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010). Akdeniz iklim tipinin gözlemlendiği Kuzey Ege Havzası içerisinde en yüksek yağış ortalamaları kış mevsimi (aralık ayı), en düşük yağış ortalamaları ise yaz mevsiminde (ağustos ayı) görülmektedir. Havzaya yağış neredeyse tamamen yağmur şeklinde düşmektedir. Kar yağışı yüksek dağ kesimlerinin dışında pek gözlenmemektedir. Bölge içindeki istasyonlara ait yıllık toplam yağış miktarının ortalaması 613,7 mm iken; kışın toplam yağış miktarının ortalaması 97,5 mm; ilkbaharda 47,2 mm; yaz mevsiminde 16,0 mm ve sonbahar da ise 43,7 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 6a, Şekil 7a, Şekil 7b, Şekil 7c ve Şekil 7d).



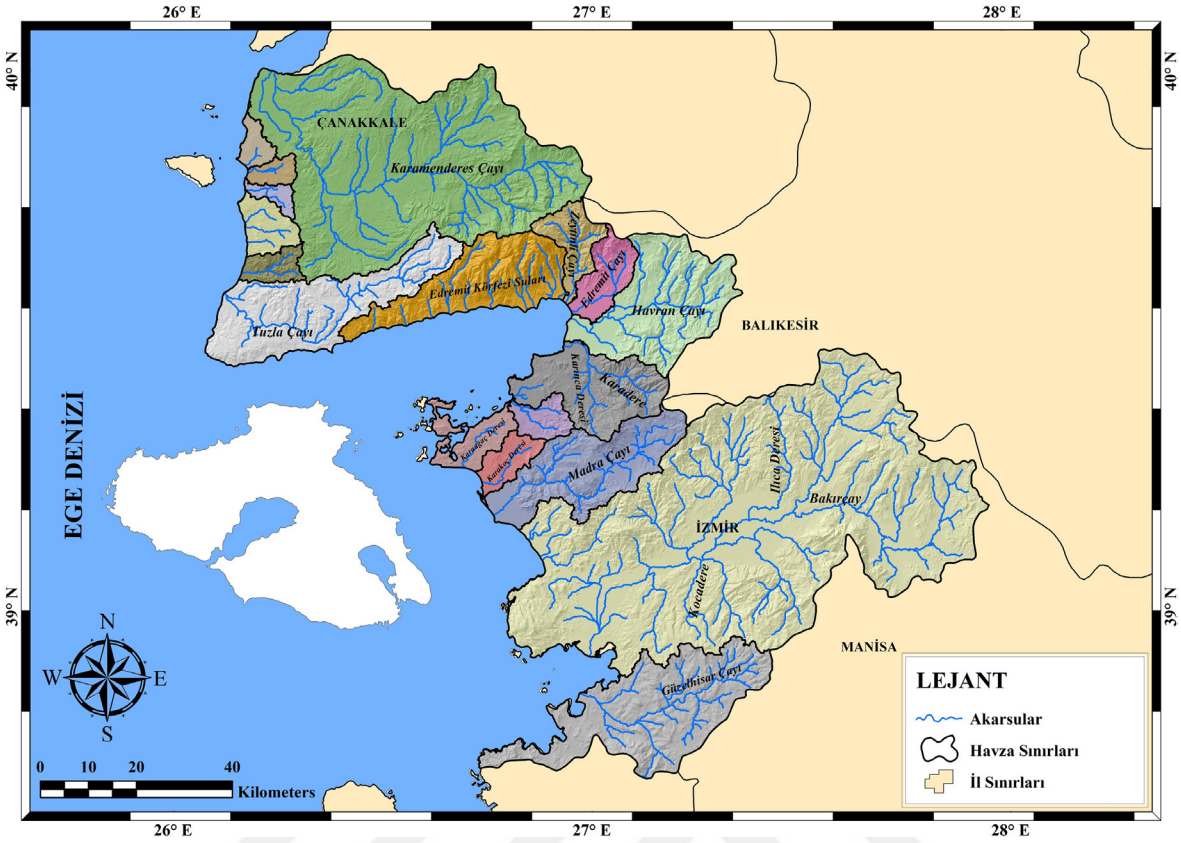
Şekil 7. Kuzey Ege Havzası mevsimlik (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz, (d) sonbahar aylık ortalama toplam yağış enterpolasyon haritaları

En yüksek yıllık ortalama toplam yağış 910,3 mm ile Bergama İncecikler Orman Sahası istasyonu olarak belirlenmiş olup, en düşük yıllık ortalama toplam yağış 431,2 mm ile Ayvacık-Behram istasyonu olarak hesaplanmıştır (Şekil 6a). Havzada özellikle sonbahar-kış mevsimlerinde (kasım ve aralık aylarında) gözlenen yüksek yağış miktarlarının, yaz mevsimi dönemine doğru doğrusal bir şekilde azalıp temmuz ve ağustos aylarını içeren dönemlerde çok kurak eğilimler gösterdiği de gözlemlenmektedir (Şekil 7c).

3.1.3. Hidrolojik Özellikler

Kuzey Ege Havzası toplamda 9861,3 km^2'lik bir drenaj alanına sahip olarak Ege Bölgesi içinde Büyük Menderes ve Gediz havzalarından sonraki en büyük üçüncü hidrolojik havza konumundadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Kuzey Ege Havzası içerisinde Ege Denizi'ne sularını boşaltan Karamenderes Çayı, Tuzla Çayı, Havran Çayı, Madra Çayı, Güzelhisar Çayı ve Bakırçay Nehri en önemli akarsuları oluşturmaktadır (TÜBİTAK MAM

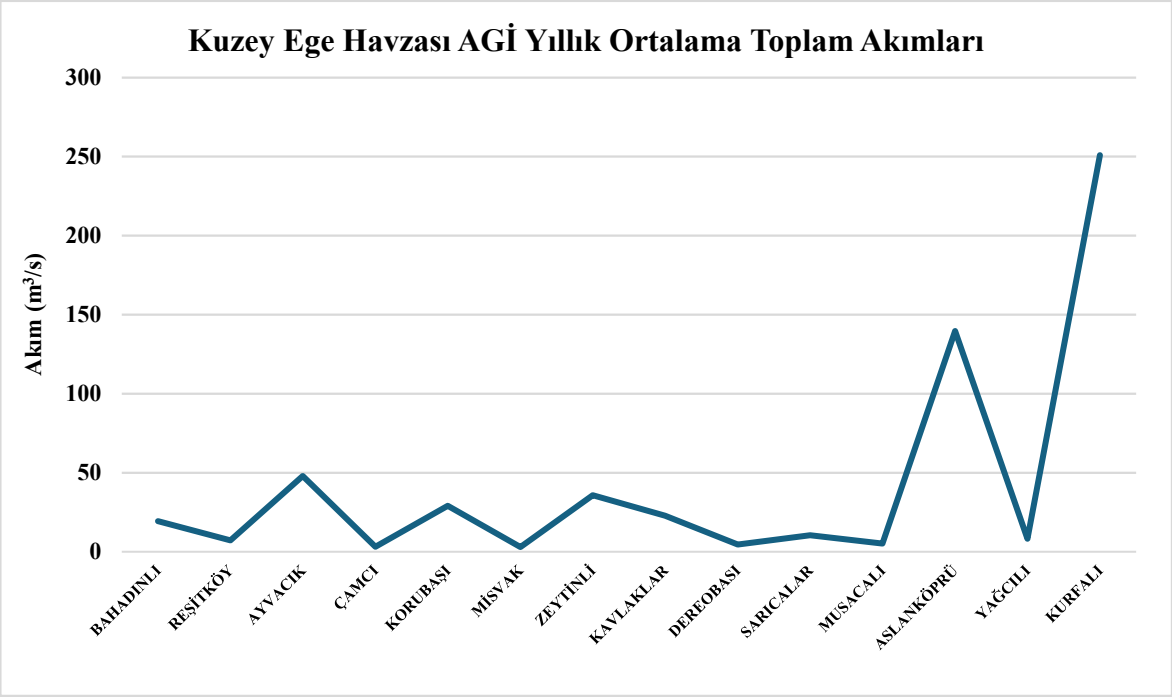
Çevre Enstitüsü, 2010). Havzanın en önemli yükseltisini oluşturan 1.760 metre rakımlı Kazdağları'nın yüksek eğimle denize inmekte olan güney yamaçlarında ise irili ufaklı birçok dere ve çay oluşumu mevcuttur. Bunların dışında ise havza içinde farklı karakteristik özelliklere sahip, farklı boyut ve debisi olan daha çok mevsimlik yağışlardan oluşan kaynakları birbirinden bağımsız, kollarla birleşmeyen irili ufaklı birçok akarsu, dere ve çay da havzanın su potansiyeline katkıda bulunmaktadır (Şekil 8; Kuzey Ege Havzası akarsularının Strahler sınıfları haritası EK 6'da verilmiştir). Bu akarsular çoğunlukla şiddetli yağışların olduğu mevsimlerde yüzeysel akışları taşıyan ancak yazın ise kuruyan mevsimlik su kütlelerini oluşturmaktadır. Akış gerçekleşen bazı çaylarda ise (örneğin; Bakırçay) akış yaz aylarında büyük oranda evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları sayesinde oluşmaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Kuzey Ege Havzası'nda yıl içerisinde büyük çoğunlukta akışta bulunan akarsularda debiler değişken olup yağışa ve yapılan deşarjlara bağlı değişkenlik göstermektedir. Havzanın önemli bir bölümünün engebeli arazilerden meydana gelmesi ve akarsu boylarının fazla olmaması nedeniyle yağış düştüğü anda hızlı bir şekilde akışa geçmekte ve hızlı bir biçimde de drene olmaktadır. Kuzey Ege Havzası: Karamenderes Çayı Alt Havzası, Tuzla Çayı Alt Havzası, Edremit Körfezi Suları Alt Havzası, Zeytinli Çayı Alt Havzası, Edremit Çayı Alt Havzası, Havran Çayı Alt Havzası, Karadere-Karınca Deresi Alt Havzası, Karaağaç Deresi Alt Havzası, Karakoç Deresi Alt Havzası, Madra Çayı Alt Havzası, Bakırçay Alt Havzası ve Güzelhisar Çayı Alt Havzası'nı kapsamaktadır (bu alt havza ayrımı Sayısal Yükseklik Modeli kullanılarak, ArcMap 10.5 programında belirlenmiştir). Kuzey Ege için belirlenmiş olan bu alt havzaların sınırları Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Kuzey Ege Havzası alt havzalar ve drenaj haritası

Kuzey Ege Havzası'nda kuzey-güney yönlü yer alan, farklı sürelerde akım verilerine sahip 14 adet AGİ'nin yıllık ortalama toplam akımları Şekil 9'da verilmiştir. Reşitköy, Çamcı, Misvak, Dereobası, Sarıcalar, Musacalı ve Yağcılı istasyonlarının bulunduğu Karamenderes, Tuzla, Edremit-Havran, Karadere-Karınca Deresi ve Bakırçay alt havzalarını içeren bölgelerde yıllık ortalama toplam akımların düşük seviyelerde seyrettiği görülür (1-10 m^3/s). Edremit-Havran ve Tuzla Çayı alt havzalarında yer alan Bahadınlı, Tuzla/Korubaşı, Ayvacık/Tuzla, Zeytinli ve Kavlaklar AGİ'lerinin olduğu bölgelerde ise akım seviyeleri nispeten orta düzeylerdedir (19-48 m^3/s). Karamenderes Çayı alt havzasında bulunan Aslanköprü (139,6 m^3/s) ve Bakırçay alt havzasının aşağı kesimlerinde bulunan Kurfalı (250,9 m^3/s) istasyonları diğer bölgelere kıyasla çok daha yüksek akım değerlerine sahiptir. Bölgeye sonbahar ve kış aylarında düşen yağışlar nedeniyle, en yüksek debi seviyelerine mart ve nisan aylarında ulaşmaktadır. Kar yağışı çok nadir görüldüğünden bu bölgede buna bağlı olarak akarsu kaynağı da bulunmamaktadır (Öztürk, 2019). Nisan ve mayıs aylarından sonra yağışların son bulmasıyla akımlar azalma eğilimine girmekte, hatta

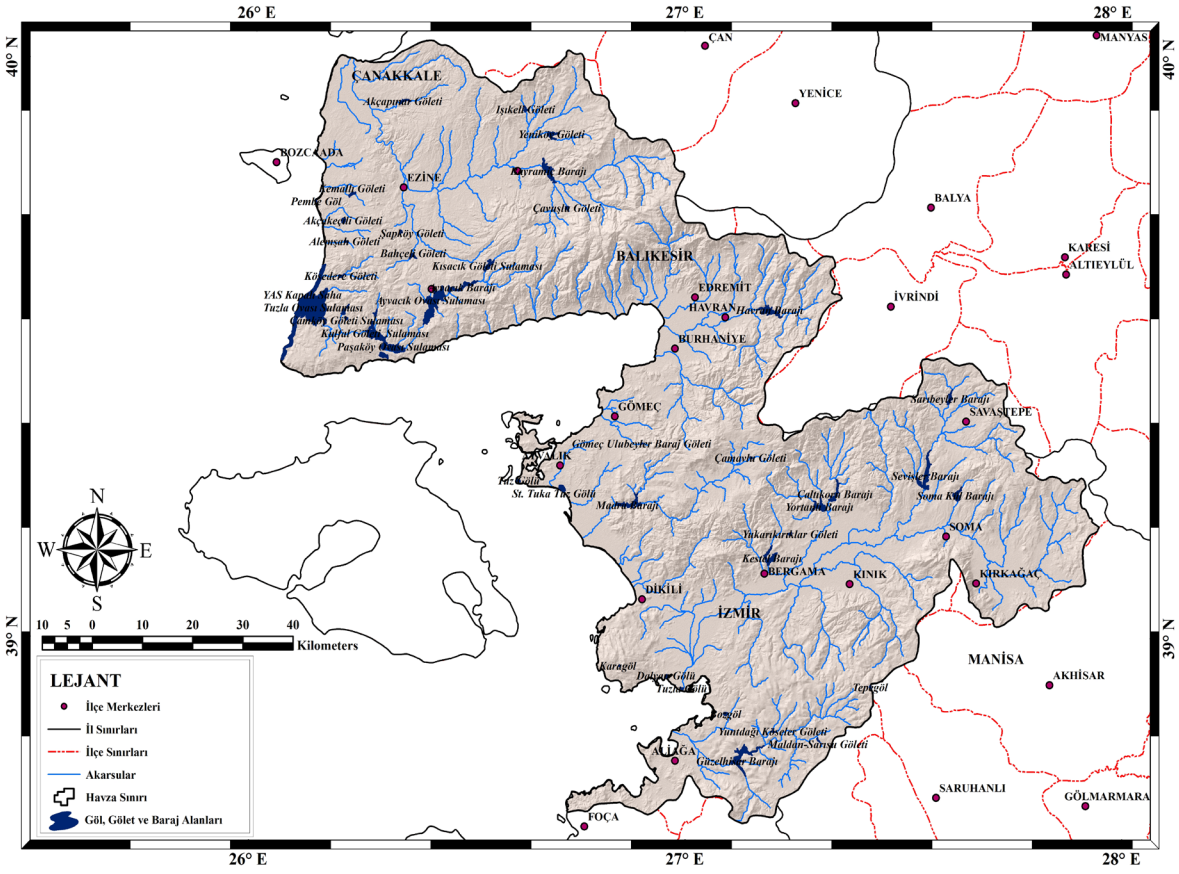
bazı dereler de kurumaktadır. Havzada bulunan küçük derelerin aktifliği sadece uzun süreli yağışlar sonucunda oluşmaktadır.



Şekil 9. Kuzey Ege Havzası AGİ yıllık ortalama toplam akım grafiği

Kuzey Ege Havzası içerisinde olan tek doğal göl, Aliağa-Yenişakran yakınlarında bulunan Bozgöl olup, yaklaşık olarak 35 hektar (ha) büyüklüğünde bir alana sahiptir. Bozgöl, sulak bir alan niteliğinde doğal bir göl olmakla birlikte, Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) tarafından sulama amacıyla kullanılabilecek bir gölete çevrilmiştir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Kuzey Ege Havzası'nda 27 tane baraj yer almaktadır (Şekil 10). Bunlardan; Madra, Sevişler, Yortanlı, Sarıbeyler, Kestel, Bayramiç, Ayvacık, Havran, Çaltıkoru ve Güzelhisar barajları işletmede olup, diğer barajlar ise inşaat halinde, proje ve planlama aşamasındadırlar (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Kuzey Ege Havzası'nda farklı mertebede 4 tanesi içme suyu ve 68 tanesi ise sulama amaçlı kullanılmakta olan toplam 72 tane büyük veya küçük gölet yer almaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020). Havzada toplamda 3 tane gölet, içme suyu sağlamak amacıyla inşa edilmiş durumdadır. Bunlar; Arıklı ve Kayalar ile Çandarlı göletleridir. Bunlar dışındaki tüm göletler ise tarımsal sulama amacıyla inşa edilmiştir. Tüm havzadaki göletlerin 13 tanesi Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü

tarafından planlanmış, diğer 59 tane gölet ise Devlet Su İşleri tarafınca gerçekleştirilmiştir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Kuzey Ege Havzası'ndaki göletler içinde en yüksek sulama sahasına sahip olan göletler; Yeniceköy/Köylüçay, Akçapınar, Karaköy, Bahçeli ve Kösedere göletleridir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Havzanın içerisinde doğal göl veya su birikim alanları bulunmamakta olup, verilen su yüzeyleri ise yapay göletler ve barajlardır. Burada bahsedilen göllerden, göletlerden ve barajlardan verilerine ulaşılabilenlerden hazırlanmış olan göl, gölet ve baraj haritası Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Kuzey Ege Havzası göller, göletler ve barajlar haritası

3.1.4. Bitki Örtüsü Özellikleri

Kuzey Ege Havzası'nın kuzeyinde yer alan Kazdağları, Avrupa-Sibirya, Akdeniz ve İran-Turan flora bölgelerinin kesişim noktasında yer almakta; mikro iklim özellikleri ve paleocoğrafik evrimi ile biyolojik çeşitliliğin yüksek olduğu önemli bir dağ ekosistemi olarak öne çıkmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018).

Kuzey Ege Havzası'nın alçak kesimlerinde ve sahil kıyısı şeritlerinde ise Akdeniz ikliminin etkisiyle oluşmuş maki bitki örtüsü hâkim durumdadır fakat havzadaki tarımsal faaliyetler sebebiyle geniş alanlarda tahribatlar meydana gelmiştir. Kuzey Ege Havzası'nda en geniş araziyi, %43,8 oranı ile orman sahaları kaplamakta olup, orman sahaları içinde; iğne yapraklı (kızılçam ve karaçam) ve yapraklı ormanlar (meşe türleri), karışık ormanlar, maki ve otsu bitkiler sahayı kaplamaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018). Ege Bölgesi'nin kuzey kesiminde maki formasyonu, çoğunlukla tahrip edilmiş kızılçam ormanlarının bulunduğu alanlarda yayılış gösterir. Ancak bu formasyon, güney ve orta Ege kesimlerine kıyasla tür çeşitliliği açısından azalmış, yayılımı ise daha düşük yükseltilerle sınırlı kalmıştır (Aydınözü, 2008). Keçiboynuzu (*Ceratonia siliqua*), pırnal meşesi (*Quercus ilex*) ve boz pırnal (*Quercus aucheri*) gibi türler bu kesimde ortadan kalkar (Aydınözü, 2008). Bölgede en yaygın maki türleri arasında; menengiç (*Pistacia terebinthus*), yabani zeytin (*Olea oleaster*), koca yemiş (*Arbutus unedo*), sandal ağacı (*Arbutus andrachne*), erguvan (*Cercis siliquastrum*), funda (*Erica arborea*), kermes meşesi (*Quercus coccifera*), katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*) ve laden (*Cistus salviifolius*) yer alır (Aydınözü, 2008). Kuzey Ege kesiminde maki formasyonunun erişebildiği yükselti ise 500-550 metredir (Aydınözü, 2008). Kuzey Ege Havzası, Türkiye'deki en zengin havzalardan biri olarak endemik türler bakımından da önemli bir havzayı oluşturmaktadır. Havzada Kazdağı göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) en önemli endemik türü oluşturmaktadır (Öztürk, 2019).

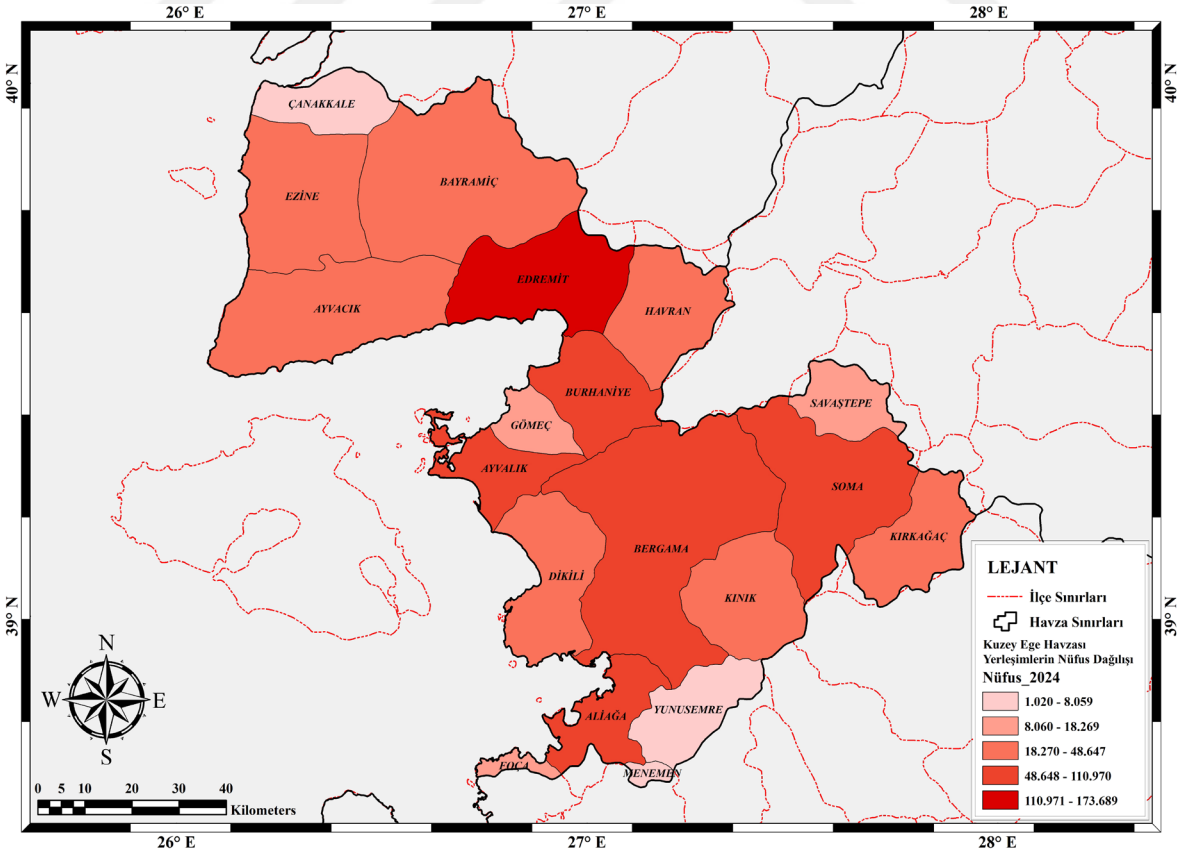
3.2. Kuzey Ege Havzası Beşerî Coğrafya Özellikleri

3.2.1. Nüfus Özellikleri

Kuzey Ege Havzası'ndaki yerleşim birimlerinin tespit edilebilmesi için TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'nden beldelere, köylere ve mahallelere ait 2024 yılı verileri kullanılarak, yerleşimlerin en güncel verilerine ulaşılmış ve bir veri tabanında toplanmıştır (TÜİK, 2024). Buna göre, havza içerisinde elde edilen yerleşimlerin toplam sayısı 776'dır. Büyük oranda (yüzölçümü açısından) havza içerisinde kalan ilçe merkezlerinin, köylerinin ve mahallelerinin TÜİK 2024 yılı nüfus verileri baz alınarak yeniden hesaplama yapılıp,

buradaki havza içi yerleşmelerin toplam nüfusu 906.712 kişi olarak belirlenmiştir (Şekil 11). Bu nüfusun yaklaşık olarak %60 kadarlık oranı belediye nüfusunu oluşturmakta olup bu nüfus da ilçe merkezlerinde yaşamlarını sürdürmektedir.

Kuzey Ege Havzası'nın, havza alanına oranla nüfusu en büyük olan ili, Balıkesir'dir. Balıkesir ilinin toplam alanının %15,37'si havza sınırlarında kalmaktayken, ilin toplam nüfusunun %23,83'ü havza sınırlarının içinde ikamet göstermektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Bu istatistikte en düşük orana sahip olan il ise İzmir'dir. İzmir ilinin toplam alanının yaklaşık %25 kadarı havza sınırlarının içinde bulunurken, ilin toplam nüfusunun yaklaşık %6 kadarıysa havza sınırlarının içerisinde yaşamlarını sürdürmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Kuzey Ege Havzası içerisindeki il ve ilçelerinin 2024 yılı nüfus verilerine göre, nüfusun en fazla olduğu yerleşim birimi 173.689 kişi ile Edremit'tir. Soma (110.970), Bergama (107.347), Aliağa (87.945), Ayvalık (75.126) ve Burhaniye (67.039) nüfus miktarının yüksek olduğu diğer yerleşimlerdir (TÜİK, 2024) (Şekil 11). Havza sınırları içerisine dahil edilen ilçe yerleşimlerinin nüfus dağılışı Şekil 11'de sunulmaktadır.



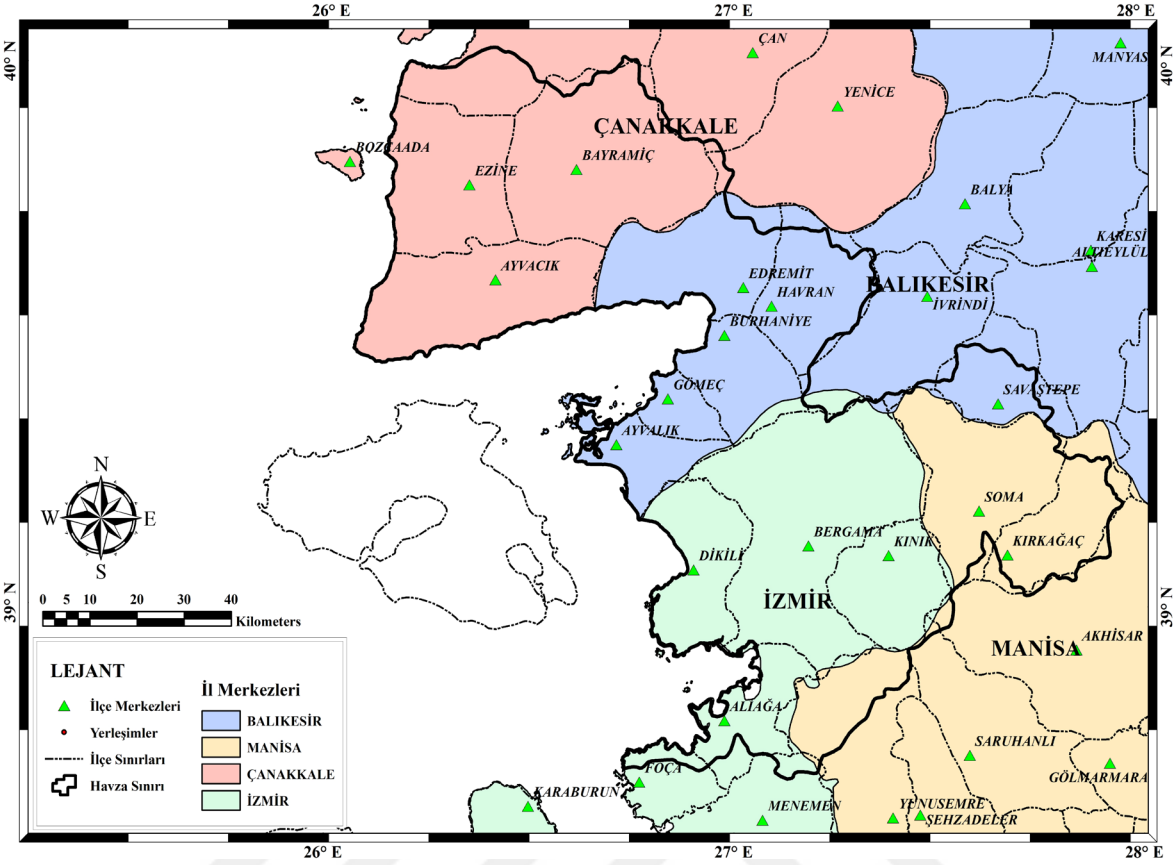
Şekil 11. Kuzey Ege Havzası'ndaki yerleşimlerin nüfus dağılış haritası

Balya, İvrindi, Çan, Yenice, Saruhanlı ve Akhisar (havza içine sadece bir yerleşim birimi girdiğinden nüfusa dahil edilmedi) ilçelerinin havzada alanı olmasına karşın havza sınırları içinde yerleşiminin olmadığı dolayısıyla nüfusa katkısının bulunmadığı görülmüştür. Bunun haricinde ise Çanakkale/Merkez İlçe, Foça, Menemen, Yunusemre (Manisa/Merkez İlçe) merkezleri de havza dışında kalmalarına rağmen bazı mahalleleri havzanın sınırları içerisine girmektedir. Nüfusun dağılışı ve yoğunluğu önemli ölçüde Edremit, Bergama ve Soma'da ova kesimlerindeki yerleşimlerin bulunduğu kısımlardadır. Bu yerleşim birimleri Edremit-Havran ve Bakırçay ovaları üzerinde bulunmakta olup tarımsal üretimin de en yoğun olarak yapıldığı bölgeleri oluşturmaktadır. Bu anlamda ise bahsi geçen sahadaki bu alanlarda, sosyoekonomik aktivitelerin ve antropojenik çevresel etkilerin oldukça yoğun yaşandığı dikkat çekmektedir.

3.2.2. Yerleşme Özellikleri

Kuzey Ege Havzası idari yapı açısından Balıkesir, Çanakkale, Manisa ve İzmir illerinin sınırları içerisinde yer almakta, bu illerin hiçbiri tamamen havzanın doğal sınırı içinde bulunmamakta ve hiçbir ilin il merkezi de havza sınırları içerisinde yer almamaktadır (Şekil 12). Havza alanının %31,1'i Çanakkale il sınırlarında, %30'u İzmir il sınırlarında, %22,9'u Balıkesir il sınırlarında ve %16'sı ise Manisa il sınırlarına girmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Kuzey Ege Havzası'nda toplamda 15 tane ilçe merkezi (Çanakkale iline bağlı Ezine, Bayramiç ve Ayvacık; İzmir iline bağlı Aliağa, Bergama, Dikili ve Kınık; Balıkesir iline bağlı Ayvalık, Burhaniye, Edremit, Havran, Gömeç ve Savaştepe; Manisa iline bağlı Kırkağaç ve Soma) yer alırken bazı ilçelerin (Çanakkale iline bağlı merkez ilçe, Çan ve Yenice ilçeleri; Balıkesir iline bağlı Balya ve İvrindi ilçeleri; İzmir iline bağlı Foça ve Menemen ilçeleri ve Manisa iline bağlı olan Akhisar, Saruhanlı, Yunusemre-Merkez İlçe) mahalleleri de havzanın sınırları içerisinde bulunmaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021) (Şekil 12). Havzadaki tüm yerleşim birimlerinin dağılışı ise Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Kuzey Ege Havzası idari yapılanma ve yerleşim yerleri haritası

3.2.3. Ekonomik Faaliyetler

Kuzey Ege Havzası içerisinde %49 oranında hizmet, %24 oranında tarım ve %27 oranında sanayi olacak şekilde bir sektörel dağılım mevcuttur (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Kuzey Ege Havzası'nda ekonomik faaliyetler büyük ölçüde tarım ve hayvancılığa yönelik yapılmakta olup havzada bulunan verimli topraklarda ise zeytincilik ve meyve-sebze yetiştiriciliği de yoğun olarak yapılmaktadır. Kuzey Ege Havzası'nda 991.476 hektar alana yayılmış olan tarım yapılan topraklarda 407.899 ha olup havzanın yaklaşık %41,1'ini kaplamaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018). Havza içinde zeytin, pamuk, tütün, hububat, domates ve biber gibi yetiştirilen ürünler en önemli tarım ürünlerini oluşturmaktadır. Havzadaki tarım arazilerinin %44,6'sını meyve, içecek ve baharat bitkileri oluşturmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018). Diğer yandan tarımsal arazi kullanımı içinde bir diğer önemli payı ise tahıllar ile diğer bitkisel ürünlerin ekildiği alan

oluşturmaktadır. Nadas alanı ise havza içinde oldukça düşük bir paya sahip olup, sebze bahçelerinin alanı da tarımsal arazinin toplamının %8,3'üne denk gelmektedir.

Çanakkale, ekime elverişli arazi yapısı ve sınırlı tarım dışı alanlarının oluşuyla tarımsal verimlilik üzerinde büyük bir rol oynamakta; Bayramiç en fazla tarım arazisine, Ayvacık ise en fazla meyve üretim alanına sahiptir (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010). Balıkesir ili, iklimi ve toprak yapısıyla tropikal ürünler dışında birçok bitkisel ürünün yetişmesine uygun olup Manyas, Gönen, Balıkesir, Edremit, Havran, Burhaniye ve Sındırgı ovalarıyla öne çıkmaktadır. İlde toplam 513.946 hektar tarım arazisinin 286.571 hektarı sulanabilir nitelikte, bunun %59'u devlet, %41'i halk sulamasıyla gerçekleştirilmektedir (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010). Manisa, sanayi kimliğinin yanı sıra üzüm, zeytin, pamuk, tütün, kiraz ve hububat üretimiyle Türkiye tarımında önemli bir yere sahiptir; havza sınırları içindeki Soma-Kırkağaç Ovası verimli tarım alanlarından biridir (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010). İzmir'de ise 344.894 hektarlık tarım arazisinin %51,45'i sulanabilir olup, 115 farklı bitkisel ürün yetiştirilmektedir. Özellikle Bergama'da salçalık sebze üretimi ve Bergama ile Dikili'de seracılık faaliyetleri öne çıkarken Bergama, Dikili ve Kınık ilçelerinde Türkiye'nin ve dünyanın en kaliteli pamuk çeşitlerinden biri olan mıntıka pamuğu üretilmektedir (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010).

Hayvancılık açısından Türkiye'de önemli bir konuma sahip olan havzada, bu konuda en yoğun faaliyetin yürütüldüğü il Balıkesir'dir. Türkiye'de 2007 yılında kırmızı et üretiminde birinci olan Balıkesir ilinde küçük ve büyükbaş hayvancılık çayırlar ve meralarla, yüksek kesimlerde yapılmakta olup ayrıca il kümes hayvancılığı bakımından ön sıralarda yer almaktadır. Türkiye'deki tavuk işletmelerinin %9'u burada bulunmakta olup, diğer yandan Balıkesir'in merkez ilçesi ile Havran, İvrindi, Susurluk, Manyas ve Savaştepe ilçelerinde peynir ve yoğurt mandıraları oldukça yaygındır. Çanakkale ilinin havza içerisinde kalan kısmında hayvancılık bakımından Ayvacık, Ezine ve Bayramiç ilçeleri en önde gelen ilçelerdir. Manisa ve İzmir illerinde bu faaliyetlerin biraz daha geri planda kaldığı görülse de dikkate değer bir potansiyeli mevcuttur. Ege Bölgesi'ndeki diğer illere göre, Manisa ilindeki hayvancılık faaliyetleri daha ileri noktalardadır. Manisa ilinde büyük ve küçükbaş hayvancılık dışında kümes hayvancılığı ve su ürünleri üretiminde de önemli gelişmeler

yaşanmaktadır. Havzanın önemli bir bölümünü oluşturmakta olan İzmir'in özellikle de Bergama ilçesinde tarımla birlikte hayvancılık faaliyetleri de yapılmaktadır.

Havza genelinde sanayi faaliyetleri bölgesel farklılık göstermektedir. İzmir, İstanbul ve Kocaeli ile Türkiye'nin en gelişmiş sanayi merkezlerinden biridir (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010). Havza içindeki Bergama ve Kınık ilçelerinde tarıma dayalı sanayi öne çıkarken, Aliağa Türkiye'nin petrol ve petrokimya sanayisinde öncü konumdadır. Dikili ise turizm odaklıdır ve sanayi gelişimi sınırlıdır. Çanakkale'de sanayi daha çok tarıma dayalıdır. Balıkesir'de tarım ve hayvancılığa bağlı sanayi gelişmiş olup, özellikle zeytin ve zeytinyağı tesisleri önemlidir. İzmir'den sonra Ege Bölgesi'nin ikinci büyük ticari merkezi olan Manisa'nın havza içindeki Soma ve Kırkağaç ilçelerinde ise kayda değer sanayi bulunmamaktadır. Havzadaki tek Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Aliağa'dadır ve burada Aliağa Limanı desteğiyle gelişmekte olan petrol-petrokimya sanayisi başta olmak üzere inşaat, makine, metal ve plastik sanayisi de bulunmaktadır (TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010: 119-128).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI

Kuzey Ege Havzası için meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık indis hesaplamaları standardize edilmiş yöntemler kullanılarak ayrı ayrı hesaplandı, daha sonra bu indis hesaplamalarından çıkan değerler Bütünleşik Kuraklık İndis yöntemiyle bir arada değerlendirildi ve uydu görüntüleri üzerinden hesaplanan NDVI ve VCI analizleri de eklenerek çok boyutlu bir kuraklık tanımlaması gerçekleştirildi. Kuraklık indis ve sıcaklık değerlerine uygulanan zamansal analizlerle iklimsel değişkenlik etkileri, CORINE verileri üzerinden gerçekleştirilen arazi örtüsü analizleriyle de havzadaki antropojenik baskı (nüfus, yerleşme, beşerî faaliyetler, su kaynakları yönetimi, vs.,) kuraklıkla bağlantılı olarak değerlendirildi. Böylelikle, havza içerisindeki kuraklığın yayılım karakteristiği ve esas itici güç/güçleri çok boyutlu bir şekilde incelenmeye çalışıldı.

4.1. Kuzey Ege Havzası Standardize Kuraklık İndis Analizleri

4.1.1. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index-SPI)

SPI analizinde, Kuzey Ege Havzası'ndaki 8 adet meteoroloji istasyonunun (Akhisar, Ayvalık, Çanakkale, Dikili, Edremit ve Manisa için 1975-2023) (Bergama ve Burhaniye için 1975-2011) aylık toplam yağış verileri kullanılarak, SPI Generator programında kısa ve uzun süreli zaman dilimleri için 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SPI analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 7'de farklı sürelerdeki aylık toplam yağış serilerine uygulanan SPI analizi sonucunda, SPI değerlerinde 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerdeki aylık toplam kuraklık sayılarının, kuraklık şiddet sınıflarına göre dağılımı sunulmuştur.

Tablo 7

SPI değerlerinin 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerdeki kuraklık şiddetlerine göre değişkenliği

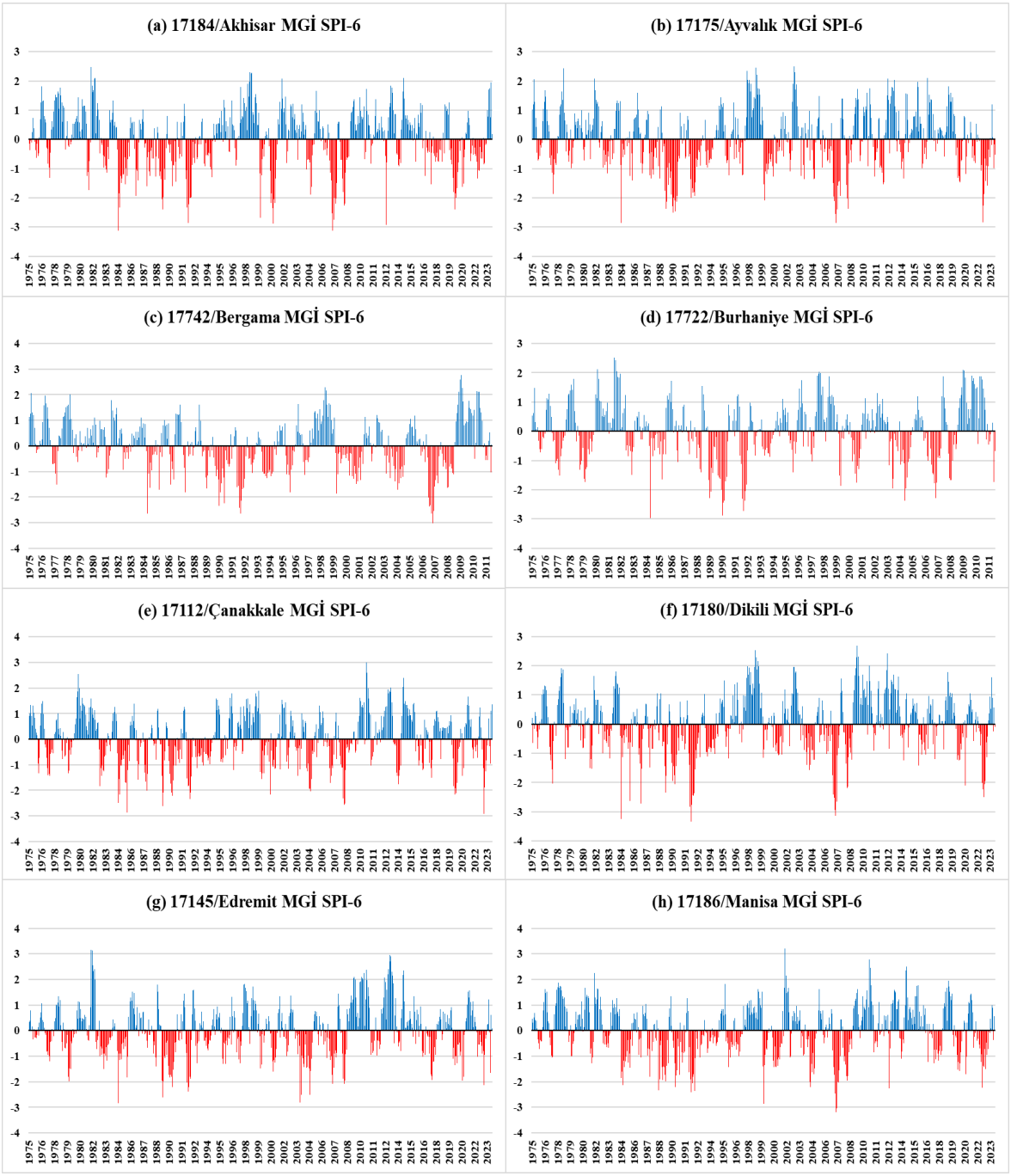
	Akhisar MGİ				Ayvalık MGİ				Bergama MGİ				Burhaniye MGİ			
Dönem/Kuraklık Şiddeti	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.
1	206	54	14	15	149	45	18	14	137	27	19	8	146	31	15	6
3	178	46	26	24	192	66	25	12	130	43	20	14	149	44	18	11
6	173	44	18	28	190	48	20	20	136	43	21	12	134	30	24	15
9	171	39	31	23	202	42	22	23	135	44	10	17	133	33	24	14
12	158	36	40	22	215	40	14	26	117	47	18	13	144	37	20	13
24	144	59	36	15	125	59	32	23	105	48	25	13	154	50	19	2
	Çanakkale MGİ				Dikili MGİ				Edremit MGİ				Manisa MGİ			
Dönem/Kuraklık Şiddeti	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.
1	187	52	18	11	146	33	22	15	192	39	25	9	148	42	28	13
3	171	42	40	18	168	56	21	21	198	41	31	17	179	53	28	15
6	176	65	22	18	184	49	14	24	197	52	26	16	175	59	25	18
9	173	60	38	10	191	53	13	23	200	48	31	13	187	53	28	19
12	176	66	39	5	211	39	21	21	199	66	20	10	183	48	31	21
24	174	68	30	7	189	23	39	18	217	71	16	4	158	42	44	16

Tablo 7'de görüldüğü üzere, istasyonlarda kuraklığın frekans/şiddet durumunda uzun vadede orta ve şiddetli kuraklık sayılarında artış vardır. Aşırı kuraklık genel olarak düşük seviyelerde görülmekle birlikte özellikle 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde daha fazla gözlenme eğilimindedir. Kısa vadede 1-3-6 aylık zaman ölçeklerinde; Akhisar, Bergama, Edremit ve Çanakkale orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkta öne çıkan istasyonlardır. Uzun vadede 9-12-24 aylık zaman ölçeklerinde; Ayvalık, Bergama, Edremit ve Çanakkale istasyonları orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkta öne çıkan istasyonlardır.

Kuzey Ege Havzası'na ait meteoroloji gözlem istasyonlarının SPI-1, SPI-3, SPI-6, SPI-9, SPI-12 ve SPI-24 aylık kümülatif serilerinin zamansal değişkenlik desenini incelemek için kısa dönemi temsilen 6 aylık, uzun dönemi temsilen ise 12 aylık serilerdeki zamansal değişimler Şekil 13 ve Şekil 14'te sunuldu. SPI-1, SPI-3, SPI-9 ve SPI-24 aylık kümülatif serilerin SPI değerlerinin yıllar arası değişkenliği grafikleri sırasıyla EK 7, EK 8, EK 9 ve EK 10'da verilmiştir.

Havzanın genelinde kuraklıkta dönemsellikle birlikte, şiddet bakımından artma eğilimi ve zamansal değişim noktası tespit edilmiştir. Özellikle 1980'li yılların başlarından itibaren başlayan kurak dönemlerin, 1990-1992, 2007-2008 ve 2014 sonrası dönemlerde tekrar eden, uzun süreli ve şiddetli kuraklık olayları ile belirginleştiği görülmektedir. Bu

dönemler, havzadaki yağış açığı süresi uzadıkça meteorolojik kuraklığın şiddetlenmesi ve beraberinde kuraklığın yayılarak ekolojik ve hidrolojik sistemlerin de etkilenmeye başlamasıyla tarımsal ve hidrolojik kuraklıklar şeklinde yoğunlaştığı kritik yıllar olarak ortaya çıkmaktadır. 1984-1994, 2000-2008 ve 2014-2023 yılları arasındaki dönemlerde uzun süreli kuraklık döngüleri meydana gelerek, SPI serilerinde farklı sürelerde kümülatif şekilde tutarlı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 13. Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde SPI-6 değerlerinin yıllar arası değişkenliği

Kuzey Ege Havzası meteoroloji istasyonları için kısa dönemi temsilen 6 aylık, uzun dönemi temsilen ise 12 aylık serilerdeki zamansal değişimler incelendi. Havzanın, 6 aylık sürelerdeki SPI değerlerinin zamansal değişkenliğinde (Şekil 13), kurak şartlardaki dönemsellikler belirgin olarak gözlenmiştir. Özellikle 1984 ve 2007-2008 yıllarındaki aşırı kuraklıklar seçilen tüm meteoroloji istasyonlarında öne çıkmıştır. Bu dönemler dışında da meydana gelen ortak kurak dönemler mevcuttur.

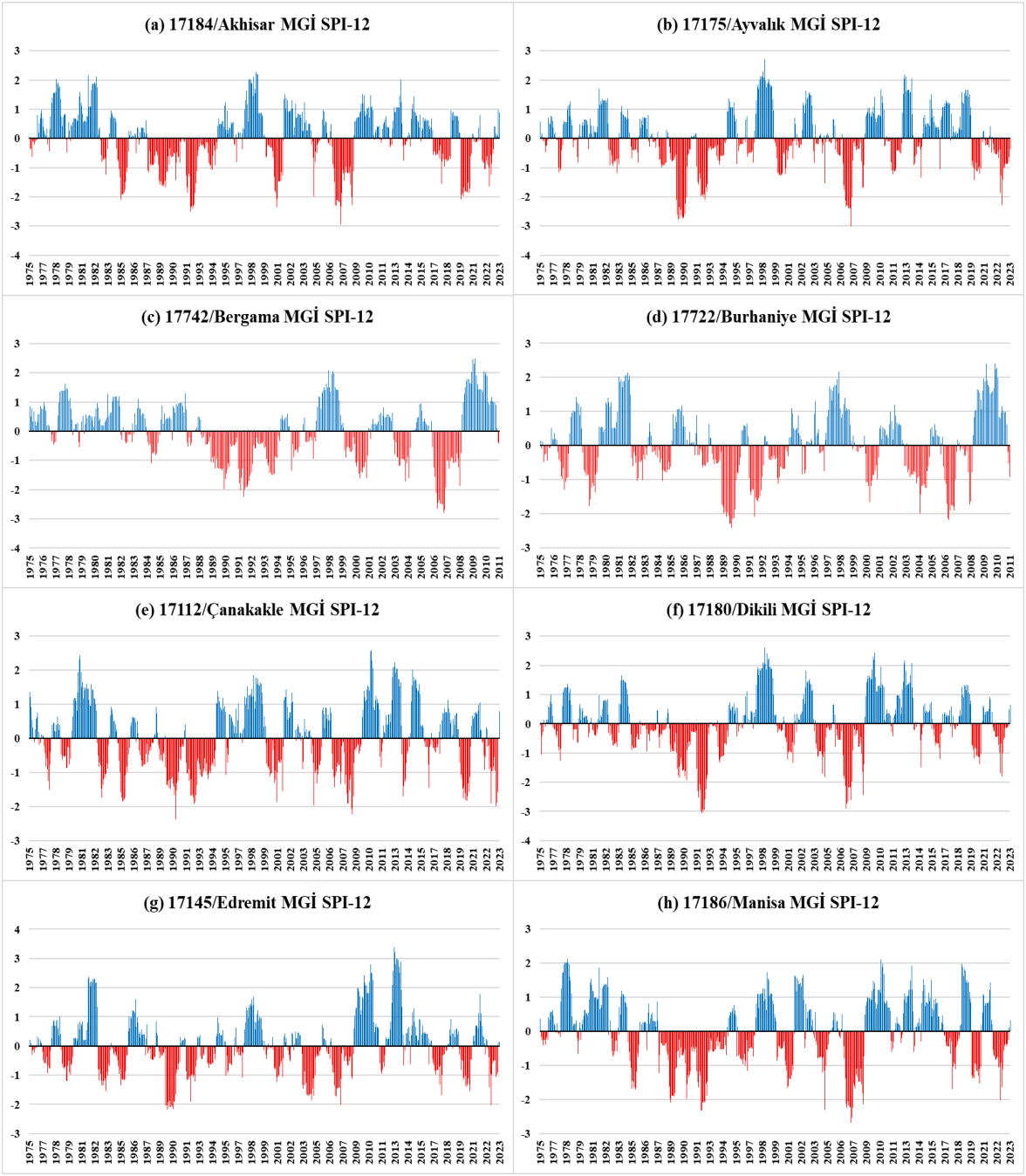
Bakırçay alt havzasının yukarı kısımlarını temsil eden Akhisar istasyonunda 1984-1992 yılları arası dönemde şiddetli ve aşırı kuraklıklarda uzun dönemli dalgalanma görülürken; 1992 yılının başından 2001 yılının sonuna kadar olan dönemde kısa süreli dalgalanmalar hakimdir. 2007-2008 yıllarında ve 2012 yılında yaşanan aşırı kuraklıkların dışında 2023'e kadar uzun, ağırlıklı olarak şiddetli ve aşırı ancak bazı yıllar hafif kurak özelliği gösteren kurak dönemler de dikkati çekmektedir (Şekil 13a). Karadere-Karınca Deresi, Karaağaç Deresi, Karakoç Deresi ve Madra Çayı alt havzalarını temsil edebilecek olan Ayvalık meteoroloji istasyonunda, 1984-1992 yılları arasındaki dönemde uzun süreli şiddetli ve aşırı kuraklıkların, 1999 yılı itibariyle 2008'e kadar uzun, ağırlıklı olarak şiddetli ve aşırı ancak bazı yıllar hafif kurak özelliği gösteren kuraklıklar olarak gözlendiği, 2008-2023 yılları arasında ise kısa süreli kurak ve nemli dönemlerin egemen olduğu dikkati çekmektedir (Şekil 13b).

Bakırçay alt havzasının orta kısımlarını temsil edebilecek olan Bergama istasyonunda şiddetli ve aşırı kuraklıklar 1989-1996 yılları arasında yoğunluk gösterirken, 1997-1999 yılları arasında da daha kısa süreli kurak dönemler ile ağırlıklı olarak nemli dönemler yaşanmıştır. 2000 yılı itibariyle 2008 yılına kadar uzun, şiddetli ve aşırı ancak bazı yıllar hafif kurak özelliği gösteren kurak dönemler, 2011 yılına doğru da nemli dönemler yaşanmıştır (Şekil 13c). Karadere-Karınca Deresi ve Havran Çayı alt havzalarını temsil edebilecek olan Burhaniye meteoroloji istasyonunda 1984-1992 yılları arası dönemde uzun süreli şiddetli ve aşırı kuraklıkların, 1993 yılının başından 2011 yılının sonuna kadar daha kısa süreli hafif ve orta kurak dönemlere kaydığı; şiddetli ve aşırı kuraklıkların belli periyotlarda yaşandığı dikkat çekmektedir (Şekil 13d). Havzanın en kuzeyinde bulunan direkt havzanın hidrolojik sınırları içerisine girmese de Karamenderes Çayı'nı bünyesinde bulunduran, daha çok Karamenderes Çayı alt havzasını iyi temsil edecek olan Çanakkale

istasyonunda öne çıkan orta, şiddetli ve aşırı kurak sınıfında bulunan dönemler 1982-1992, 2000-2008 ile 2014-2023'tür (Şekil 13e).

Havzanın güney kesimlerinde Bakırçay'ın döküldüğü alana karşılık gelen Dikili istasyonunda, 1977-1989 yılları arasında kısa nemli dönemlerle kesintiye uğrayan kuraklıklar yaşanmış, 1990-1992 döneminde ise aşırı kuraklıklar görülmüştür. 2007-2008 yıllarında yeniden şiddetli kuraklıklar öne çıkarken, 2008 sonrası dönemlerde zaman zaman nemli dönemler gözlense de 2007-2023 arasında genel olarak orta ve şiddetli kuraklıkların hakim olduğu bir eğilim izlenmiştir (Şekil 13f).

Kuzey Ege Havzası'nın daha orta kesimlerinde Edremit Körfezi Suları, Zeytinli ve Edremit-Havran alt havzalarını temsil edebilecek bir alanda yer alan Edremit istasyonuna bakıldığında, 1989 yılına kadar daha kısa süreli orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemler baskın olup 1989, 1990 ve 1992 yıllarında ekstrem kuraklıklar yaşanmıştır. Bu yıllardan sonra 1993-2003 yılları arasında uzun, ağırlıklı olarak orta ve şiddetli ancak bazı yıllar hafif kurak özelliği gösteren kurak dönemler de dikkati çekmektedir. Edremit istasyonunda 6 aylık SPI değerlerinde, uzun kurak dönem sıklığı dikkat çekerken, kuraklığın şiddetinde de yine 2004 yılı sonrasında 2023 yılına doğru bazı nemli dönemler dışında belirgin artışlar gözlenebilmektedir (Şekil 13g). Havzanın en güneyinde bulunan direkt havzanın hidrolojik sınırları içerisine girmese de Güzelhisar Çayı alt havzasını temsil edebilecek olan Manisa istasyonunda ise SPI-6 aylık indis değerlerine göre, yoğun olarak şiddetli ve aşırı kurak periyotların hakimiyeti görülmektedir. 1984-1992 yılları arasında kısa sürelerde yaşanan şiddetli ve aşırı kuraklıklardan söz edilebilirken, 1999 yılında ektrem kuraklık gözlenmiştir. 1999 yılından sonra kısa süreli orta ve şiddetli kısmende aşırı kuraklıklar yaşanmaya devam etmiş olup 2007-2008 yıllarında yaşanan aşırı kuraklığın ardından, 2012 yılına kadar havzada nemli dönemler ve hafif kuraklıklar gözlenmiştir. 2014-2023 yılları arasındaki dönemde de ağırlıklı olarak hafif, orta ve şiddetli kuraklıklar ile dönem dönem yaşanan nemli dönemler dikkati çekmektedir (Şekil 13h).



Şekil 14. Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde SPI-12 değerlerinin yıllar arası değişkenliği

Kuzey Ege Havzası meteoroloji istasyonlarının, kümülatif şekilde hesaplanmış 12 aylık uzun sürelerdeki SPI değerlerinin zamansal değişkenliği incelendiğinde (Şekil 14), kurak şartlardaki dönemsellikler belirgin olarak gözlenmiştir. Özellikle 1990-1992 ve 2007-2008 yıllarındaki aşırı kuraklıkların yanında tüm meteoroloji istasyonlarında öne çıkan ortak kurak dönemler mevcuttur. Şekil 14'teki grafiklere bakıldığında kurak dönemlerin daha belirgin olduğu görünmekte olup Akhisar istasyonunda 1985-1992, 2001-2008 ve 2017-

2023 yılları arası dönemde tekrar eden uzun süreli şiddetli ve aşırı kuraklıkların yaşandığı dönemler de dikkati çekmektedir (Şekil 14a). Ayvalık meteoroloji istasyonunda 1988-1994 yılları arasındaki dönemde uzun süreli şiddetli ve aşırı kuraklıklar, 2000-2008 yılları arasında ağırlıklı olarak şiddetli ve aşırı ancak bazı yıllar hafif kurak özelliği gösteren kurak dönemler gözlenirken, 2014-2023 yılları arası daha kısa süreli orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemler ile nemli dönemler yaşanmıştır (Şekil 14b).

Bergama istasyonunda 1989-1994 ve 2000-2008 yılları arasında da ağırlıklı olarak daha uzun süreli şiddetli ve aşırı kurak dönemler, 2011 yılına doğru da uzun süreli nemli dönemler dikkat çeker (Şekil 14c). Burhaniye meteoroloji istasyonunda 1989-1996 yılının sonuna kadar daha uzun süreli orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemler ile çok kısa süreli nemli dönemler gözlenirken, 2001-2008 yılları arasında kısa veya uzun nemli dönemlerle birlikte şiddetli ve aşırı kuraklıklar belli periyotlarda yaşanmış, diğer yandan da 2011 yılına doğru uzun süreli nemli dönemlerin yaşanması dikkat çekmektedir (Şekil 14d). Çanakkale istasyonunda öne çıkan orta, şiddetli ve aşırı kurak sınıfında bulunan dönemler 1983-1994, 2001-2008 ile 2014-2023'tür (Şekil 14e).

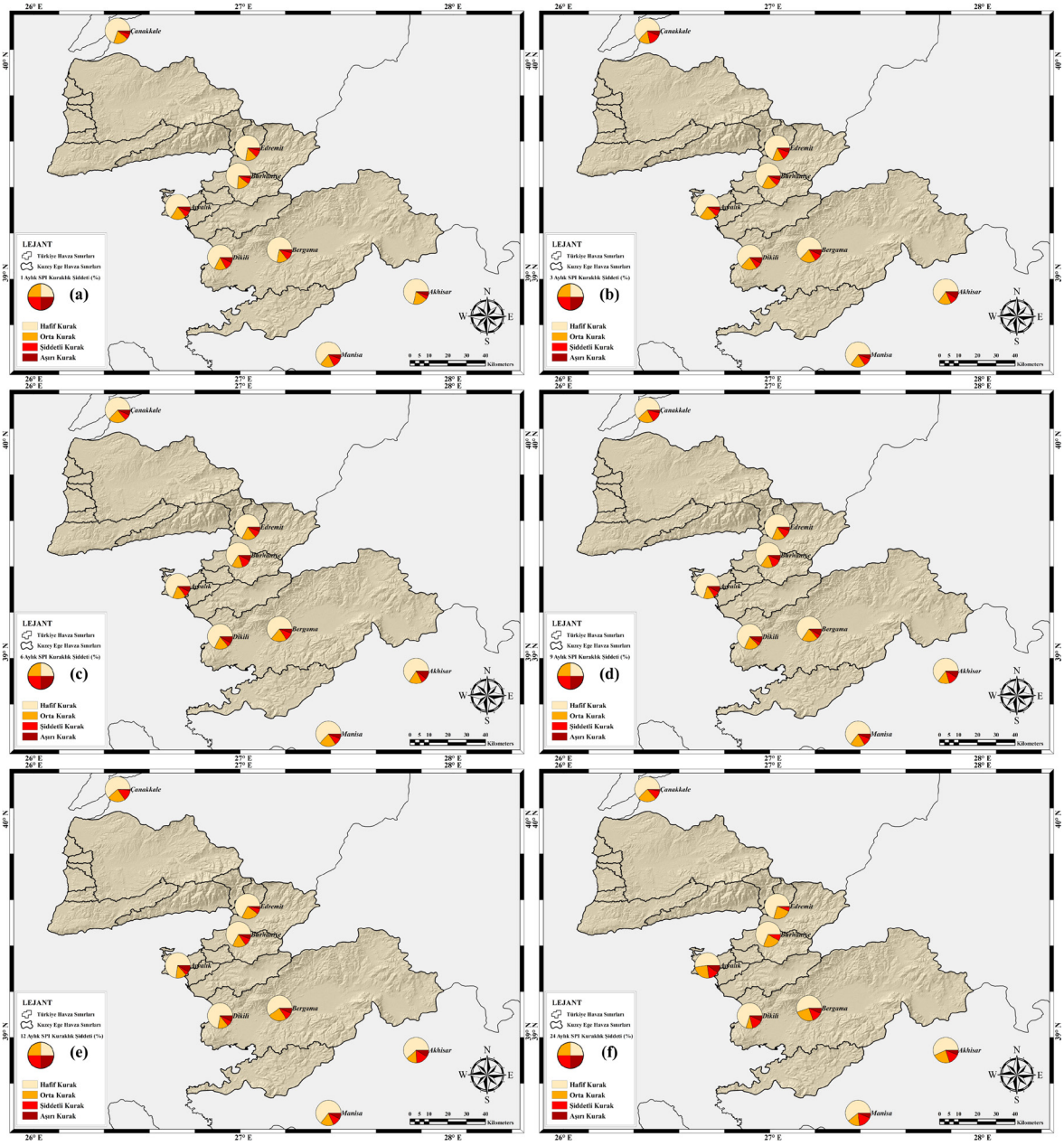
Dikili istasyonunda, 1989-1994 ve 2001-2008 yılları arası dönemde yaşanan uzun süreli aşırı kuraklıklardan belli sürelerde nemli dönemlere gidişat keskin olup, belirgin şekilde tekrardan aşırı kuraklıklar gözlenmiştir. 2020-2023 yılları arasında ise kısa süreli orta ve şiddetli kuraklık gidişatı söz konusudur (Şekil 14f). Edremit istasyonunda, 1990-1992 yılları arasında ekstrem kuraklıklar yaşanmıştır. Bu yıllardan sonra 1994-2008 yılları arasında uzun, ağırlıklı olarak orta ve şiddetli ancak bazı yıllar aşırı kurak özelliği gösteren kurak dönemler de dikkati çekmektedir. Edremit istasyonunda 2018-2023 yılları arasında kısa kurak dönem sıklığı dikkat çekerken, aşırı kuraklığın şiddetinde de yine belirli nemli dönemler dışında belirgin artışlar gözlenebilmektedir (Şekil 14g).

Manisa istasyonunda ise 1985 yılında yaşanan aşırı kuraklık daha ileriki sürelerde 1992-2008 yılları arasında daha uzun süreli ektrem kuraklıklara dönüşmüştür. 2008 yılından sonra 2017 yılına kadar ağırlıklı olarak kısa ve uzun sürelerde nemli dönemler yaşanmış,

2018-2023 yılları arasındaki dönemde de ağırlıklı olarak hafif, orta ve şiddetli kuraklıklar ile kısa dönem yaşanan nemli dönemler dikkati çekmektedir (Şekil 14h).

Özellikle 1985-1994 ve 2000-2008 dönemlerinde uzun süreli şiddetli ve aşırı kuraklıklar yaygın olarak görülmüştür. 2008-2018 yılları arası genel olarak nemli dönemler hakim olurken 2018'den sonra tekrar şiddetli kuraklık periyotları artış göstermiştir. Ayrıca, 2020-2023 yılları arasında kısa süreli orta ve şiddetli kuraklıklar bölge genelinde dikkat çekici bir trend olarak ortaya çıkmaktadır.

Kuzey Ege Havzası'nda uzun süreli yağış verisine sahip meteoroloji istasyonları üzerinden zamansal olarak yağış eksikliğine bağlı kuraklığın şiddet sayılarına göre havzanın genelinde mekânsal ölçekteki oransal dağılışına da bakmak önem taşımaktadır. 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SPI değerlerinde nemli dönemler hariç bırakılıp, yalnızca kurak dönemler kendi içinde oranlanarak havzadaki oranları Şekil 15'teki haritalarda verilmiştir.



Şekil 15. Kuzey Ege Havzası SPI değerlerinin 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerde kuraklık şiddet oranlarının mekânsal dağılış haritaları

Kuzey Ege Havzası'nda aşırı (ekstrem) ve şiddetli kuraklık oranlarının alansal dağılışına bakıldığında (Şekil 15), 1 aylık analiz sonuçlarında aşırı kuraklık en yüksek oranda Dikili, Ayvalık ve Manisa istasyonlarında görülürken, şiddetli kuraklık Manisa, Dikili ve Bergama çevresinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 15a). 3 aylık periyotta aşırı kuraklıklar Akhisar, Dikili ve Bergama'da ön planda iken, şiddetli kuraklıklar Çanakkale, Edremit ve Manisa'da daha belirgindir (Şekil 15b). 6 aylık SPI serisinde aşırı kuraklık en

çok Akhisar, Dikili ve Burhaniye'de gerçekleşirken, şiddetli kuraklık Burhaniye, Bergama ve Manisa'da öne çıkar (Şekil 15c). 9 aylık kümülatif değerlendirmede aşırı kuraklık Akhisar, Bergama ve Dikili'de yoğunlaşırken, şiddetli kuraklık Çanakkale, Burhaniye ve Akhisar gibi noktalarda yaygındır (Şekil 15d). 12 aylık analiz sonuçlarında ise aşırı kuraklık Ayvalık, Akhisar ve Manisa'da en yüksek düzeye ulaşırken, şiddetli kuraklık Akhisar, Çanakkale ve Manisa'da belirginleşmektedir (Şekil 15e). Son olarak, 24 aylık uzun vadede aşırı kuraklık Ayvalık, Bergama ve Dikili'de en yüksek oranda görülürken, şiddetli kuraklık Manisa, Dikili ve Akhisar'da yoğunlaşmaktadır (Şekil 15f). Havzada genel olarak, aylık periyotlar uzadıkça kuraklığın mekânsal dağılışında farklılıklar gözlenmektedir.

Kuzey Ege Havzası için yapılan SPI analizleri, havzada yağış açığı süresinin uzaması sonucunda kuraklık şiddetinde artış yaşandığını göstermiştir. Kuzey Ege Havzası özelinde orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemlerin yaşandığı ve bazı alt havzalarda oldukça kurak alanların gözlendiği bulgusu önceki çalışmalarla uyumludur. Ege Bölgesi'nde artan kuraklık eğilimlerine dikkat çeken Cebeci vd. (2019) ile Aslan ve Fıstıkoğlu (2021) yanı sıra; Akbaş (2014) çalışmasında aşırı kuraklıkların sıklıkları göz önüne alınırsa; Marmara, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege ve Karadeniz bölgeleri şeklinde şiddet derecesine göre sıralamış olup Ege Bölgesi genelinde 1984, 1989, 1991 ve 2007-2008 yıllarındaki orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkların varlığını tespit etmiştir. Diğer yandan Çanakkale ilindeki şiddetli kuraklık eğilimlerine dikkat çeken Mucan ve Yıldırım (2023) ile Ilgar (2013) çalışmalarının yanı sıra; Özelkan (2019) bölgenin tek su kaynağını oluşturan Çanakkale merkez ilçe sınırlarında yer alan Atikhisar Baraj Gölü'nde SPI ve Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (NDWI) yöntemlerini kullanarak uzaktan algılamayla belirlenmiş olan baraj gölü alanının zamansal değişimini meteorolojik kuraklıkla değerlendirdiği çalışmasında, bölge içerisinde zaman zaman 1984-1994, 2001-2006, 2010-2016 ve 2017-2018 dönemlerinde ortaya çıkan yoğun kurak dönemlerin varlığını ortaya çıkarmıştır. Türkeş (2011) çalışmasında da Akhisar ve Manisa yörelerinde belirgin kuraklaşma eğiliminin 1980'lerle birlikte kuvvetlendiğini ve 2007-2008 döneminde ise, kuraklık olaylarının şiddetlendiğini ortaya koymuştur. Meteorolojik kuraklıkların zamansal değişkenliği, özellikle 1980'li yıllardan itibaren artış gösteren kurak dönemler, 1990-1992, 2007-2008 ve 2014 sonrası tüm meteoroloji istasyonlarında belirgin aşırı kuraklık olaylarıyla öne çıkmıştır. Kısa dönemli SPI-6 ve uzun dönemli SPI-12 ile SPI-24 analizleri, Kuzey Ege Havzası

genelinde kuraklıkların hem süre hem de şiddet açısından artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle Akhisar, Ayvalık ve Bergama gibi istasyonlarda 1980 sonrası artan kuraklık eğilimleri dikkat çekmiştir. Ayrıca havzanın kuzeyinden güneyine doğru ilerledikçe aşırı kuraklıkların şiddeti ve frekansı artış göstermektedir. SPI-1 ve SPI-3 serilerinde ise mevsimsel dalgalanmalar ve kısa vadeli yüksek şiddetli kuraklık atakları belirlenmiştir. Özellikle yaz aylarında yağış eksikliğiyle birleşen yüksek sıcaklıklar, tarımsal faaliyetler açısından risk oluşturmaktadır. Ayrıca 10-15 yıllık periyotlarla tekrarlanan kuraklık döngüleri, havzanın iklimsel ritmi açısından önemli bir bulgudur.

4.1.2. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI)

SPEI analizinde, Kuzey Ege Havzası'ndaki 8 adet meteoroloji istasyonunun (Akhisar, Ayvalık, Çanakkale, Dikili, Edremit ve Manisa için 1975-2023) (Bergama ve Burhaniye için 1975-2011) aylık toplam yağış verileri ve Thornthwaite yöntemiyle aylık ortalama sıcaklık verilerinden üretilen PET değerleri kullanılarak, Serkendiz vd. (2023) çalışmalarında kullandıkları "R Studio" programı ile oluşturdukları kod temin edilerek, "R Studio" programında kısa ve uzun süreli zaman dilimleri için 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SPEI analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 8'de farklı sürelerdeki aylık toplam yağış ve PET serilerine uygulanan SPEI analizi sonucunda, SPEI değerlerinde 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerdeki aylık toplam kuraklık sayılarının, kuraklık şiddet sınıflarına göre dağılımı sunulmuştur.

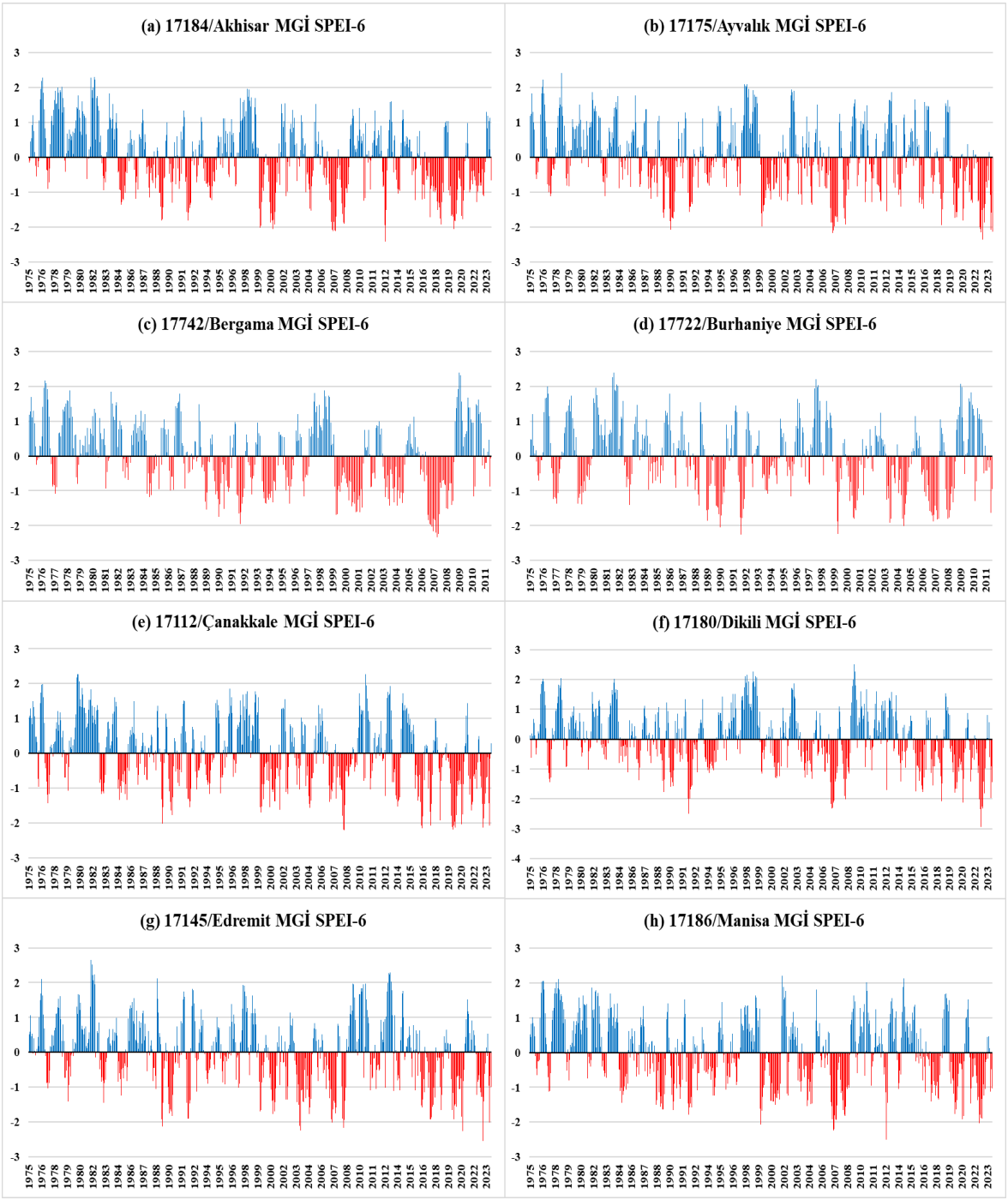
Tablo 8

SPEI değerlerinin 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerdeki kuraklık şiddetlerine göre değişkenliği

	Akhisar MGİ				Ayvalık MGİ				Bergama MGİ				Burhaniye MGİ			
Dönem/ Kuraklık Şiddeti	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.
1	213	60	28	6	202	58	29	7	153	43	24	3	153	47	16	8
3	187	66	35	6	207	63	23	8	146	50	21	5	147	51	22	4
6	196	47	33	8	205	55	31	9	140	50	20	5	142	40	29	4
9	175	61	33	8	208	52	26	11	138	53	20	6	144	30	37	3
12	172	55	37	6	213	42	31	8	138	55	21	6	149	36	23	5
24	196	46	27	10	155	57	46	2	135	51	18	7	130	45	21	5
	Çanakkale MGİ				Dikili MGİ				Edremit MGİ				Manisa MGİ			
Dönem/ Kuraklık Şiddeti	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.
1	197	62	28	6	208	57	34	6	195	65	24	8	191	66	28	6
3	183	68	37	4	194	62	23	10	185	55	30	10	198	61	32	7
6	190	67	21	13	198	57	20	14	183	59	33	8	196	71	28	5
9	173	75	27	5	195	57	19	14	192	44	33	7	194	59	34	5
12	207	60	19	13	184	60	30	10	194	45	42	5	184	60	37	4
24	183	37	43	5	184	62	24	7	173	76	31	2	186	70	16	11

SPEI, yalnızca yağış eksikliklerine değil, sıcaklık artışlarına bağlı su kayıplarına da duyarlı olması sayesinde hem meteorolojik hem de tarımsal kuraklık koşullarını ortaya koyabilen güçlü bir indistir. Özellikle iklim değişikliğinin etkisiyle sıklaşan ve şiddetlenen sıcak dönemlerin neden olduğu toprak nemi kayıplarını yansıtarak, meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklığa evrildiği süreci izleme imkânı sunar. Klasik kuraklık indekslerinden farklı olarak, su dengesini hem yağış hem de artan potansiyel evapotranspirasyon üzerinden değerlendiren SPEI, bu özelliğiyle tarım alanlarının maruz kalabileceği su stresini daha gerçekçi biçimde ortaya koyar. SPEI kuraklık indisinin negatif değerleri, toprak nemi eksikliklerini ve buna bağlı tarımsal üretim risklerini işaret eder. Bu çalışmada yapılan SPEI analiziyle, incelenen dönem boyunca bölgedeki kuraklık eğilimleri, şiddeti ve süresi belirlenmiş; meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklığa dönüşme süreci değerlendirilmiş olup Tablo 8'de görüldüğü üzere, istasyonlarda kuraklığın frekans/şiddet durumunda uzun vadede orta ve şiddetli kuraklık sayılarında artışlar belirlenmiştir. Aşırı kuraklık genel olarak düşük seviyelerde görülmekle birlikte özellikle 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde daha fazla gözlenme eğilimindedir. Kısa vadede 1-3-6 aylık zaman ölçeklerinde; Akhisar, Ayvalık, Çanakkale ve Dikili istasyonları orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkta öne çıkan istasyonlardır. Uzun vadede 9-12-24 aylık zaman ölçeklerinde; Çanakkale, Ayvalık ve Dikili istasyonları orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkta öne çıkan istasyonlardır.

SPEI serilerindeki zamansal değişim, Kuzey Ege Havzası meteoroloji istasyonları üzerinden bir kısa dönem (6 aylık SPEI) ve bir uzun dönem (12 aylık SPEI) sonuçları gösterge olarak alınarak Şekil 16 ve Şekil 17'de verilip açıklanmıştır. SPEI-1, SPEI-3, SPEI-9 ve SPEI-24 aylık kümülatif serilerin SPEI değerlerinin yıllar arası değişkenliği grafikleri sırasıyla EK 11, EK 12, EK 13 ve EK 14'te verilmiştir.



Şekil 16. Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde SPEI-6 değerlerinin yıllar arası değişkenliği

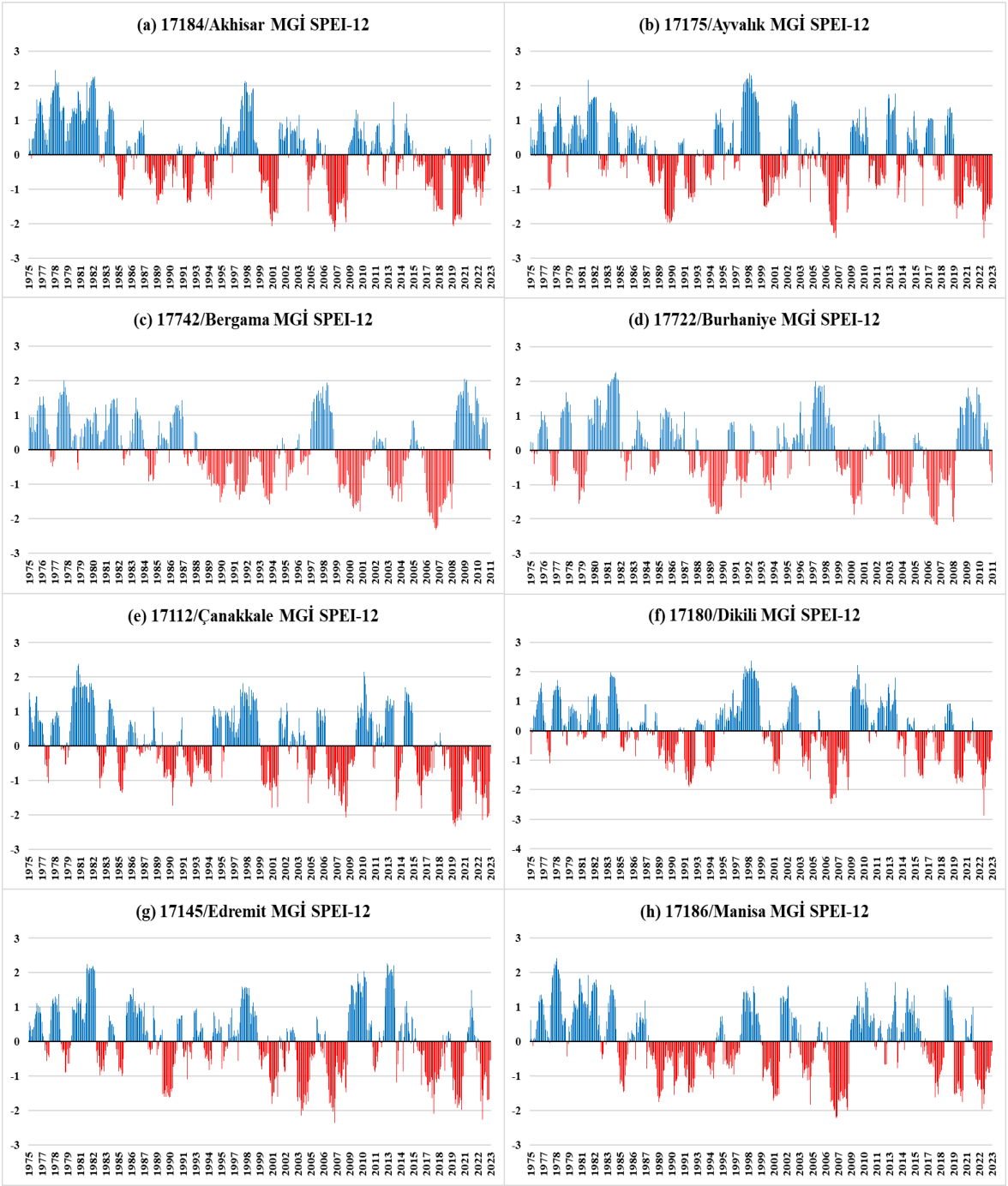
Kuzey Ege Havzası meteoroloji istasyonlarının, kümülatif şekilde hesaplanmış 6 aylık uzun sürelerdeki SPEI değerlerinin zamansal değişkenliği incelendiğinde (Şekil 16), kurak şartlardaki dönemsellikler belirgin olarak gözlenmiştir. Özellikle 1990-1992 ve 2007-2008 yıllarındaki aşırı kuraklıklar seçilen tüm meteoroloji istasyonlarında öne çıkmıştır. Bu dönemler dışında da meydana gelen ortak kurak dönemler mevcuttur.

Akhisar istasyonunda, 1985 yılının başına kadar uzun süreli nemli dönemler gözlense de 1985 yılı sonrasında kurak dönemlerin frekansı ve şiddetlerinde belirgin artışlar gözlenmektedir. 1990-1991 sonrası özellikle 2001, 2007-2008, 2012 ve 2015-2023 yıllarında uzun, ağırlıklı olarak şiddetli ve aşırı (ekstrem) kuraklıklar ile bazı yıllar nemli koşullar ama hafif ile orta kurak özelliği gösteren kurak dönemler de dikkati çekmektedir (Şekil 16a). Ayvalık meteoroloji istasyonunda özellikle son 10 yılda kuraklık daha sık ve şiddetli hale gelmiş olup 1990-1991 yıllarına kadar ağrılıklı nemli ve orta derecede kuraklıklar yaşanmış, 2000 sonrası 2001-2008 ve 2018-2020 yıllarındaki periyotta uzun süreli şiddetli ve aşırı kuraklıklar sıklaşarak, 2021-2023 yılları arası dönemde üst üste şiddetli ve aşırı kurak dönemlerin sıklığının artması dikkat çekmektedir (Şekil 16b).

Bergama istasyonunda belli dönemlerde kısa ve uzun aralıklarda yoğun olarak şiddetli ve aşırı kuraklıklar gözlenmektedir. İstasyonun bulunduğu alanda geçmiş dönemde 1990 yılına kadar yoğun olarak nemli dönemler ve hafif kuraklıklar gözlenirken, 1990 itibariyle 2000 yılı sonrasında düzenli aralıklarla ağırlıklı olarak daha uzun süreli şiddetli ve aşırı kurak dönemler yaşanmıştır. 2000-2008 yılları arası ve 2010 yılı itibariyle 2011 yılına kadar uzun süreli nemli dönemler, bazı yıllar hafif kurak özelliği gösteren kurak dönemlerin yaşanması dikkat çekmektedir (Şekil 16c). Burhaniye meteoroloji istasyonunda 1980'lere kadar kuraklık eğilimi kısa süreli hafif ve orta kuraklıklar ile yoğun şekilde nemli dönemler şeklinde, 1990 yılından itibaren daha belirgin olarak uzun süreli orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemler gözlenirken, 1990-1992, 1999, 2000-2008 ve 2010 yıllarında kısa veya uzun birer yıllık nemli dönemlerle birlikte ağırlıklı şiddetli ve aşırı kuraklıklar belli periyotlarda yaşanmış, diğer yandan 2011 yılında da kuraklık şiddeti nemli dönemlerin ardından artış göstermiştir (Şekil 16d). Çanakkale istasyonunda öne çıkan orta, şiddetli ve aşırı kurak sınıfında bulunan dönemler 1989-1992, 2000-2008 ile 2014-2023'tür (Şekil 16e).

Dikili istasyonunda, 1984 yılına kadar kısa süreli hafif ve orta kurak dönemler yaklaşık olarak birer yıllık nemli dönemlerle kesintiye uğrayıp, 1992 yılı sonrası dönemde yaşanan uzun süreli aşırı kuraklıklar belirgin bir artış göstermiştir. Dikili istasyonunda yaklaşık olarak 2008 yılı sonrasında aşırı ve şiddetli kuraklıklar, 2012-2021 periyoduyla birlikte 2023 yılına doğru daha yoğunlaşarak artış gösterme eğilimine girmiştir (Şekil 16f).

Edremit istasyonuna bakıldığında, 1989 yılına kadar daha kısa süreli orta ve şiddetli kurak dönemler baskın olup, 1990-2000 yılları arasındaki 10 yıllık periyotta üst üste ekstrem kuraklıklar yaşanmıştır. 2000'li yıllardan sonra kurak ayların sıklığındaki artış, 2001-2008 yılları arasında ağırlıklı olarak art arta gelen şiddetli ve aşırı kuraklıklar şeklinde dikkat çekerken, 2016 yılı sonrasında 2023 yılına doğru 7 yıllık periyotta belirli kısa dönemlerde yaşanan hafif ve orta kuraklıklar dışında şiddetli ve aşırı kurak dönemlerde de istikrarlı artışlar gözlenmektedir (Şekil 16g). Manisa istasyonunda ise SPEI-6 aylık indis değerlerine göre yoğun olarak şiddetli ve aşırı (ekstrem) kurak periyotların hakimiyeti gözlenmektedir. Daha geçmiş dönemlerde 1985 yılına kadar ağırlıklı olarak yaşanan nemli koşullar, 1985 yılında yaşanan aşırı kuraklıkla daha ileriki sürelerde 1999 yılında ektrem kuraklığa dönüşmüştür. 1990 sonrasındaki kuraklık eğilimindeki artış, 2007-2008 yılları sonrasında kısa ve uzun sürelerde şiddetli ve aşırı kurak dönemler şeklinde, 2023 yılına doğru birer dönem nemli dönemler dışında düzenli şekilde kuraklık şiddetleri artış göstermiştir (Şekil 16h).



Şekil 17. Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde SPEI-12 değerlerinin yıllar arası değişkenliği

Kuzey Ege Havzası meteoroloji istasyonlarının, kümülatif şekilde hesaplanmış 12 aylık uzun sürelerdeki SPEI değerlerinin zamansal değişkenliği incelendiğinde (Şekil 17), kurak şartlardaki dönemsellikler belirgin olarak gözlenmiştir. Özellikle 2007-2008 ve 2023 yıllarındaki aşırı kuraklıkların yanında, istasyonların tümünde ortak kurak dönemler belirlenmiştir. Akhisar istasyonunda 1994, 2000-2008, 2012 ve 2017-2023 yıllarında uzun,

ağırlıklı olarak şiddetli ve aşırı kuraklıklar ile bazı yıllar nemli koşullar ama hafif ile orta kurak özelliği gösteren kurak dönemler de dikkati çekmektedir (Şekil 17a). Ayvalık meteoroloji istasyonunda 1988-1990, 2000-2008 ve 2020-2023 yıllarındaki periyotta üst üste şiddetli ve aşırı kurak dönemlerin sıklığının artması dikkat çekmektedir (Şekil 17b).

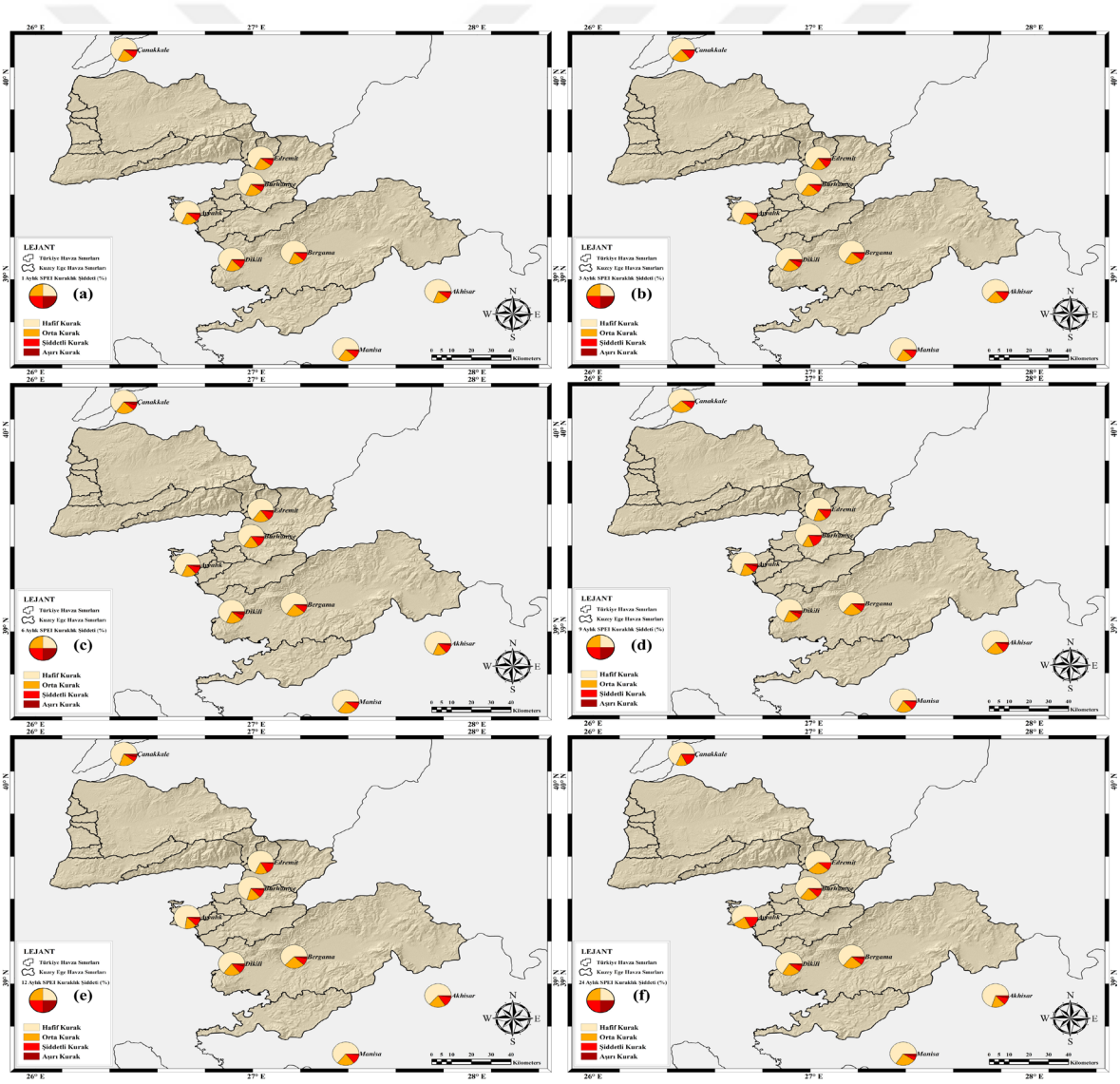
Bergama istasyonunda, 1985-2000 döneminde düzenli aralıklarla ağırlıklı olarak daha uzun süreli şiddetli ve aşırı kurak dönemler, 2000-2008 yıllarından sonra 2011 yılına doğru kuraklık şiddeti nemli dönemlerin ardından artış göstermiştir (Şekil 17c). Burhaniye meteoroloji istasyonunda 1990 yılından itibaren daha belirgin olarak uzun süreli orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemler gözlenirken, 1992-1994 ve 2000-2008 yıllarından sonra 2011 yılına doğru kuraklık şiddeti nemli dönemlerin ardından artış göstermiştir (Şekil 17d). Çanakkale istasyonunda öne çıkan orta, şiddetli ve aşırı kurak sınıfında bulunan dönemler 2000-2008 ve 2014-2023'tür (Şekil 17e).

Dikili istasyonunda, 1990 yılı sonrası dönemde yaşanan uzun süreli aşırı kuraklıklar 1995-1999 yılları arasında nemli dönemlerin yaşanmasından önce bir artış göstermiştir. Yaklaşık olarak 2004-2008 yılları sonrasında aşırı ve şiddetli kuraklıklar, 2014-2023 periyodunda yoğunlaşarak artış gösterme eğilimine girmiştir (Şekil 17f). Edremit istasyonuna bakıldığında, 2000'li yıllardan sonra kurak ayların sıklığındaki artış, 2001-2008 yılları arasında ağırlıklı olarak art arta gelen şiddetli ve aşırı kuraklıklar şeklinde dikkat çekerken, 2016-2023 dönemindeki 7 yıllık periyotta belirli kısa dönemlerde yaşanan hafif ve orta kuraklıklar dışında şiddetli ve aşırı kurak dönemlerde de istikrarlı artışlar gözlenmektedir (Şekil 17g).

Manisa istasyonunda ise 1990-2000 yılları arasındaki 10 yıllık periyot sonrasında kuraklık eğilimindeki artış, 2007-2008 yılları sonrasında kısa ve uzun sürelerde şiddetli ve aşırı kurak dönemler şeklinde, 2023 yılına doğru birer dönem nemli dönemler dışında düzenli şekilde kuraklık şiddetleri artış göstermiştir (Şekil 17h). 1985 sonrası neredeyse tüm istasyonlarda kuraklık şiddeti ve süresi artış göstermekte olup özellikle 1992-1999, 2000-2008 ve 2014-2023 yılları arasındaki bu dönemler, bölgesel ölçekte tekrarlayan ve artan

şiddetle görülen kuraklık periyotlarıdır. Bu dönemler, iklimsel kuraklık eğiliminde belirgin bir kırılmaya ve artan kuraklık riskine işaret etmektedir.

Kuzey Ege Havzası'nda uzun süreli yağış ve sıcaklık verisine sahip meteoroloji istasyonları üzerinden zamansal olarak yağış eksikliğine ve sıcaklığın artışına bağlı kuraklığın şiddet sayılarına göre havzanın genelinde mekânsal ölçekteki oransal dağılışına da bakmak önem taşımaktadır. 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SPEI değerlerinde nemli dönemler hariç bırakılıp, yalnızca kurak dönemler kendi içinde oranlanarak havzadaki oranları Şekil 18'deki haritalarda verilmiştir.



Şekil 18. Kuzey Ege Havzası SPEI değerlerinin 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerde kuraklık şiddet oranlarının mekânsal dağılış haritaları

Kuzey Ege Havzası'nda aşırı (ekstrem) ve şiddetli kuraklık oranlarının SPEI serilerine göre incelenmesinde (Şekil 18), 1 aylık seride aşırı kuraklık Burhaniye, Edremit ve Ayvalık çevresinde öne çıkarken, şiddetli kuraklık Dikili, Bergama ve Ayvalık istasyonlarında yoğunlaşmaktadır (Şekil 18a). 3 aylık periyotta aşırı kuraklıklar Edremit, Dikili ve Ayvalık'ta ön planda iken, şiddetli kuraklıklar Çanakkale, Akhisar ve Edremit çevresinde belirginleşmektedir (Şekil 18b). 6 aylık SPEI serisinde aşırı kuraklıklar Dikili, Çanakkale ve Ayvalık'ta yüksek oranlarda görülürken, şiddetli kuraklıklar Burhaniye, Edremit ve Akhisar çevresinde daha yaygındır (Şekil 18c). 9 aylık seride aşırı kuraklık Dikili, Ayvalık ve Akhisar'da ön plana çıkarken, şiddetli kuraklık Burhaniye, Edremit ve Akhisar civarında öne çıkmaktadır (Şekil 18d). 12 aylık zaman ölçeğinde aşırı kuraklık en fazla Çanakkale, Dikili ve Ayvalık'ta gerçekleşirken, şiddetli kuraklık Edremit, Akhisar ve Manisa çevresinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 18e). Son olarak, 24 aylık uzun vadeli değerlendirmede aşırı kuraklık Manisa, Akhisar ve Bergama'da yüksek oranlarda görülmekte, şiddetli kuraklık ise Ayvalık, Çanakkale ve Edremit çevresinde öne çıkmaktadır (Şekil 18f). Genel olarak, havzada SPEI serilerine göre aşırı ve şiddetli kuraklıkların zaman ölçekleri arttıkça mekânsal dağılışta değişiklik gösterdiği, bazı istasyonlarda kuraklık şiddetlerinin kalıcılık kazandığı, bazı noktalarda ise farklı periyotlarda yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

SPEI analizleri, SPI ile benzer dönemsel kuraklık döngülerini ortaya koymakla birlikte, sıcaklık artışlarını da hesaba kattığı için özellikle buharlaşma yoluyla su kaybının da hesaba katıldığı daha kapsamlı sonuçlar sunmuştur. Kuzey Ege Havzası özelinde orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemlerin yaşandığı ve bazı alt havzalarda oldukça kurak alanların gözlendiği bulgusu önceki çalışmalarla da uyumludur. Ege Bölgesi'nde 2001, 2007, 2008, 2016 ve 2021 yıllarında gözlemlenen artan kuraklık eğilimlerine dikkat çeken Kayan ve Erlat (2024) yanı sıra; Özçelik ve Akkuzu (2023) Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksini (SPEI) kullanarak yaptıkları çalışmada, Ege Bölgesi genelinde SPEI değerlerinde 1989, 1993, 2007, 2008, 2011 ve 2012 yıllarında aşırı kuraklıkların yaşandığını ortaya koymuştur. Erlat ve Yavaşlı (2011) tarafından da ifade edildiği gibi Ege Bölgesi'nde ekstrem sıcaklıklar 20. Yüzyılda özellikle 1990 sonrası dikkat çekici şekilde kuvvetlenmiştir. Artan yıllık sıcak gün sayıları 1994, 2007 ve 2008 yıllarında maksimum sayılarına ulaşmış; sıcaklıklardaki artışlar, toprak neminin azalması, yüzey suyu buharlaşmasının artması ve bitkilerin yetişme

döneminde su stresinin büyümesi gibi olumsuzlukları tetiklemiştir. Kuzey Ege Havzası'nda, su en fazla tarım sektöründe kullanıldığından, iklimsel değişimlerden kaynaklı en büyük negatif etkiler de tarımda meydana gelecektir. Meteorolojik kuraklık ve su açığının uzaması sonucunda tarımsal ve hidrolojik kuraklığa doğru bir yayılım göstermesi ve havzada ekosistem hizmetlerini ve başta tarımsal sulama olmak üzere pek çok sosyoekonomik sistemi su krizi ile karşı karşıya bırakacaktır. SPEI değerleri dikkate alındığında, meteorolojik kuraklıkların yanında sıcaklık artışlarının etkisiyle buharlaşmanın da kuraklık şiddetini artırdığı görülmektedir. Akhisar ve Ayvalık istasyonlarında, 1985 sonrası dönemde şiddetli ve aşırı kuraklıkların artması bu durumu desteklemektedir. SPEI-6 ve SPEI-12 serileri de 2000 sonrası dönemde özellikle 2007-2008, 2012 ve 2023 yıllarında hidrolojik sistemler üzerindeki baskının arttığını göstermektedir. SPEI analizlerinde, zaman ölçekleri uzadıkça aşırı ve şiddetli kuraklıkların mekânsal dağılışının değiştiği görülmüş; bazı istasyonlarda kuraklık şiddetlerinin kalıcı hale geldiği belirlenmiştir. Özellikle 24 aylık serilerde Manisa, Akhisar ve Bergama gibi alanlarda aşırı kuraklıklar ön plana çıkarken, kıyı kesimlerde ise şiddetli kuraklıklar daha sık gözlemlenmiştir. Bu durum, havzada iç kesimlerde su kaybının daha belirgin olduğunu ve sıcaklık artışlarının kuraklık riskini derinleştirdiğini göstermektedir. SPEI bulguları, iklim değişikliğinin bölgesel etkilerini ve özellikle tarımsal su talebine olası olumsuz etkileri gözler önüne sermektedir.

4.1.3. Akım Kuraklık İndeksi (Streamflow Drought Index-SDI)

Akarsu akımlarındaki anomalileri belirleyerek, hidrolojik kuraklığı belirlemeye dönük SDI analizinde, Kuzey Ege Havzası'nda bulunan 7 adet AGİ; Reşitköy (1980-2021), Ayvacık/Tuzla Çayı (1973-2008), Çamcı (1980-2021), Ayvacık/Tuzla Korubaşı (1986-2021), Zeytinli (1989-2021), Karamenderes/Aslanköprü (1965-1997) ve Yağcılı (1980-2021) uzun süreli aylık (1 Ekim-30 Eylül su yılı boyunca) akım verileri kullanılarak, Excel programı üzerinden 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemler için hidrolojik kuraklık karakteri analiz edilmiştir.

Tablo 9'da farklı sürelerdeki aylık ortalama akım serilerine uygulanan SDI analizi sonucunda, SDI değerlerinde 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerdeki aylık toplam kuraklık sayılarının, kuraklık şiddet sınıflarına göre dağılımı sunulmuştur.

Tablo 9

SDI değerlerinin 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerdeki kuraklık şiddetlerine göre değişkenliği

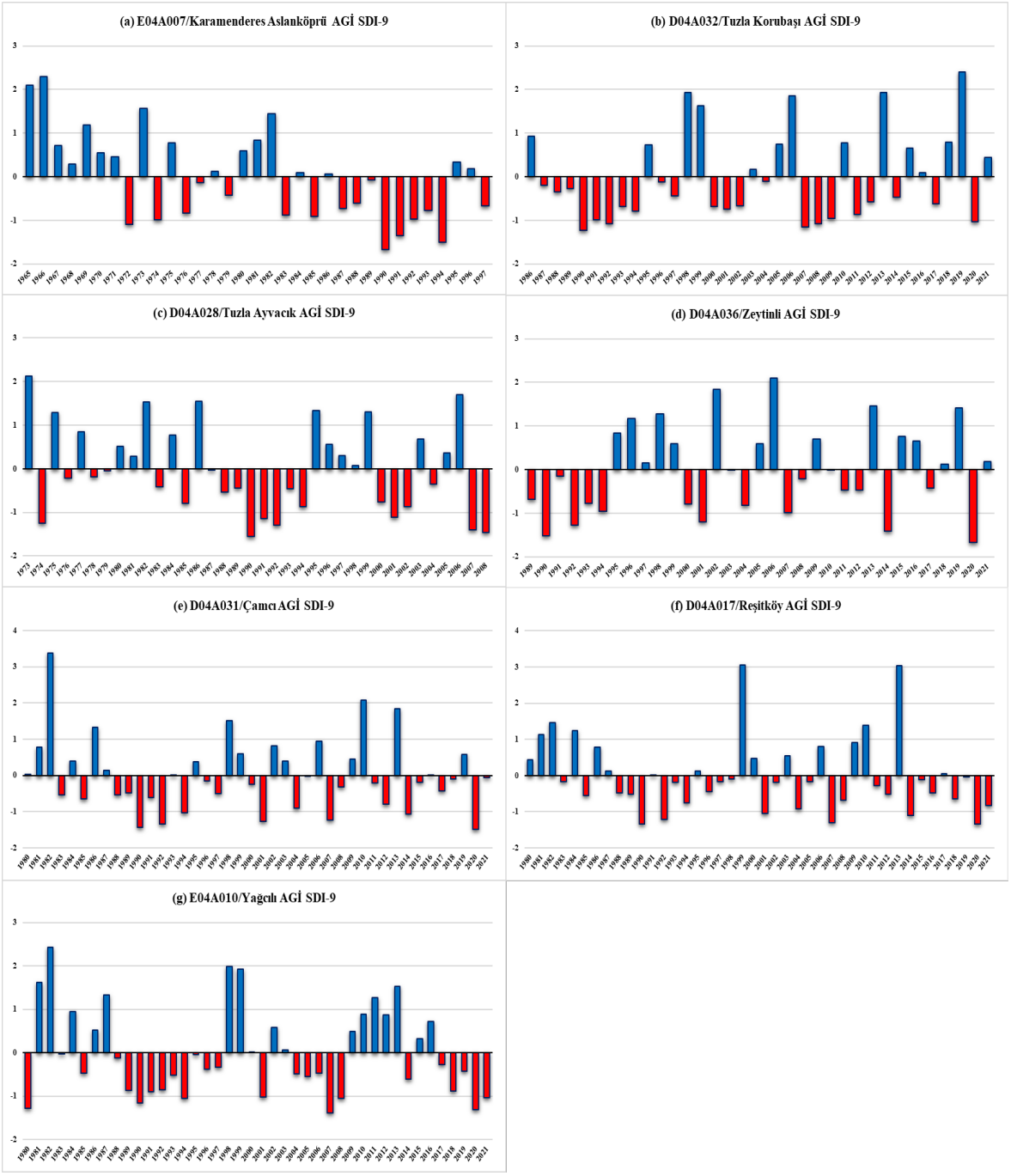
	Reşitköy AGİ				Tuzla Çayı Ayvacık AGİ				Çamcı AGİ			
Dönem/Kuraklık Şiddeti	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.
3	26	0	0	0	26	0	0	0	28	0	0	0
6	20	6	0	0	13	7	0	0	19	7	0	0
9	20	6	0	0	13	6	1	0	17	7	0	0
12	20	6	0	0	13	6	1	0	20	6	0	0
24	20	4	1	0	6	3	2	2	18	6	0	0

	Tuzla Korubaşı AGİ				Zeytinli AGİ				Aslanköprü AGİ				Yağcılı AGİ			
Dönem/Kuraklık Şiddeti	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.
3	27	0	0	0	27	0	0	0	21	0	0	0	21	4	1	0
6	17	5	0	0	13	4	1	0	9	5	1	0	20	4	0	1
9	17	5	0	0	13	3	2	0	12	2	2	0	17	8	0	0
12	17	5	0	0	13	3	2	0	12	2	2	0	17	7	0	0
24	12	5	2	0	10	4	3	0	12	4	1	0	16	6	1	0

Tablo 9, kuraklığın frekans/şiddet durumunda uzun vadede şiddetli ve aşırı kuraklık değerleri kısa sürelerde hiç gözlenmezken, uzun dönemlerde sınırlı da olsa artışların gözlenmeye başlandığı ifade edilebilir. Şiddetli ve aşırı kuraklıklar bazı bölgelerde düşük seviyelerde gözlenmekte veya hiç görülmemekle birlikte özellikle 9 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde artış eğilimindedir. Kısa vadede 3-6-9 aylık zaman ölçeklerinde; Tuzla Ayvacık, Zeytinli, Yağcılı ve Aslanköprü AGİ'leri orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkta öne çıkan istasyonlardır. Uzun vadede 12-24 aylık zaman ölçeklerinde; Tuzla Ayvacık, Zeytinli ve Yağcılı AGİ'leri orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkta öne çıkan istasyonlardır. Akım kuraklıklarındaki zamansal değişkenlik desenlerini daha net bir şekilde vurgulamak için kısa dönemler (SDI-3, SDI-6 ve SDI-9) ve uzun dönemler (SDI-12 ve SDI-24) için sonuçlar havzanın kuzeyinden güneyine doğru alansal temsili de sağlayabilecek şekilde Karamenderes/Aslanköprü (1965-1997), Ayvacık/Tuzla Korubaşı (1986-2021), Ayvacık/Tuzla Çayı (1973-2008), Zeytinli (1989-2021), Çamcı (1980-2021), Reşitköy (1980-2021) ve Yağcılı (1980-2021) uzun süreli akım verisine sahip akım gözlem istasyonları üzerinden zamansal ve mekânsal olarak yağış eksikliğine bağlı olarak Kuzey Ege Havzası'ndaki hidrolojik kuraklık durumu açıklanmıştır.

Kuzey Ege Havzası akım kuraklıklarında, 1980 yılı sonrası kurak dönemlerin sıklığı artmış ve belli yıllarda da ortak kuraklıkların yaşandığı tespit edilmiştir. Tüm akım gözlem istasyonlarında 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SDI serilerinde 1990, 2007-2009 ve 2020-2021 yılları ortak kurak dönemler şeklinde öne çıkmaktadır. 1970'li yıllardan itibaren genellikle nemli koşullar şeklinde ortaya çıkarak, 1980 yılı sonrası kurak dönemlerin sıklıkları artmış, özellikle 1987-1997 yılları arası ve 2000 sonrası kuraklıklar sık şekilde tekrarlanarak akım kuraklıklarında dönemsellik eğilimi göstermiştir.

Yağış açığındaki zamansal ilerleme, uzun vadede toprak nemi açığının oluşmasıyla tarımsal kuraklığın ortaya çıkışı ve daha uzun sürelerde sığ yeraltı akışında ve yeraltı sularındaki seviye düşüşleriyle akımların ortalamanın altına düşmesine, havza içerisindeki kuraklığın meteorolojik kuraklıktan başlayarak, tarımsal kuraklığa ve hidrolojik kuraklığa doğru evrilmesine neden olmaktadır. Kuzey Ege Havzası akım kuraklıklarındaki zamansal değişkenlik desenlerini daha net bir şekilde vurgulamak için kısa dönem (9 aylık SDI) ve uzun dönem (24 aylık SDI) sonuçları Şekil 19 ve Şekil 20'de verilip açıklanmıştır. SDI-3, SDI-6 ve SDI-12 aylık kümülatif serilerin SDI değerlerinin yıllar arası değişkenliği grafikleri sırasıyla EK 15, EK 16 ve EK 17'de verilmiştir.



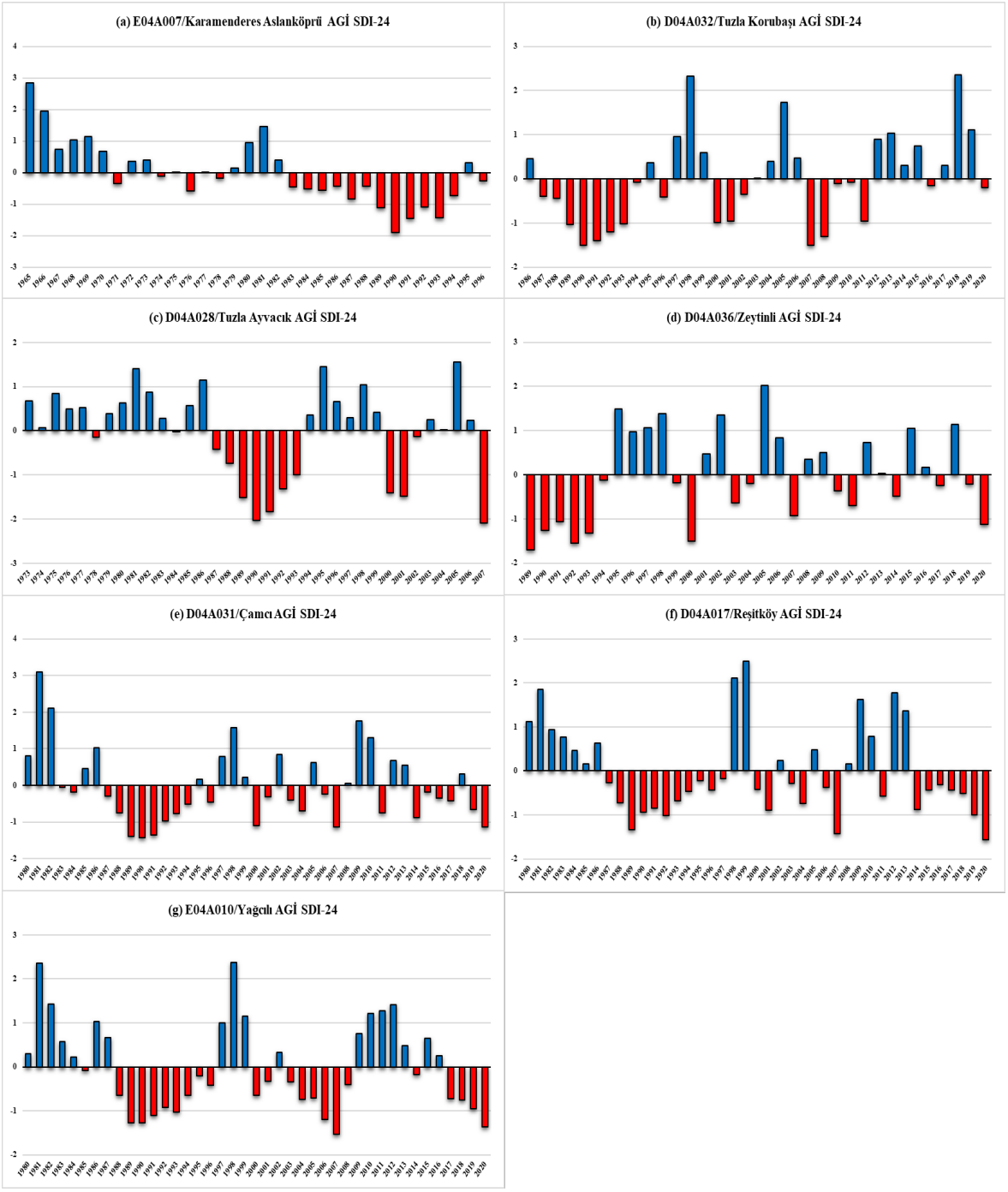
Şekil 19. Kuzey Ege Havzası AGİ'lerinde SDI-9 değerlerinin yıllar arası değişkenliği

Kuzey Ege Havzası'ndaki AGİ'lerin SDI-9 aylık grafiklerinde (Şekil 19), kurak şartlardaki dönemsellikler belirgin olarak göze çarpmakta; özellikle 1990, 2007-2008 ve 2020 yıllarında yaşanan kuraklıklar öne çıkmaktadır.

Karamenederes alt havzasında ve Karamenderes Nehri üzerinde bulunan Aslanköprü AGİ'de gözlem döneminin ilk yarısında kurak etkiler zayıftır ve 1972-1979 yılları arasında kısa süreli orta, şiddetli ve aşırı kuraklıklar gözlenmiştir. 1980 sonrasında özellikle 1983-1997 yılları arasında daha uzun süreli orta ve şiddetli kurak dönemler egemen olup kurak yılların frekansı artmıştır (Şekil 19a). Tuzla Çayı alt havzasında ve Tuzla Çayı'nın üzerinde bulunan Tuzla Korubaşı AGİ'de öne çıkan orta ve şiddetli kurak sınıfında bulunan dönemler daha geçmiş yıllarda 1987-1994 yılları arasındayken, 2000 yılı ve sonrasında 2007-2020 yılları arası dönemde de kuraklık şiddetlerinde artışlar söz konusudur (Şekil 19b). Tuzla Çayı alt havzasında ve Tuzla Çayı'nın üzerinde bulunan Tuzla Ayvacık AGİ'de öne çıkan orta ve şiddetli kuraklık sınıflarında bulunan belirgin dönemler, 1983 yılına kadar ağırlıklı nemli koşulların yaşanmasından sonra 1988-1994 yılları ile iki ila üç yıl art arda kurak dönemlerle üç veya dört yıl nemli dönemlerin yaşandığı 2000-2008 arası dönemdir (Şekil 19c).

Edremit Körfezi Suları ile Edremit-Havran alt havzalarını temsil eden ve Zeytinli Çayı üzerinde bulunan önemli bir akım istasyonu olan Zeytinli istasyonunda 9 aylık SDI değerlerinde, 1989-1994 yılları arasında sıklıkla orta ve şiddetli kuraklıklar meydana gelmiş olup 2000-2021 yılları arasında ağırlıklı olarak nemli ancak 2021 yılının sonuna kadar hafif, orta ve şiddetli kuraklığa doğru bir gidişat görülmektedir (Şekil 19d). Edremit-Havran alt havzasını temsil eden ve Eybek Deresi üzerinde bulunan Çamcı AGİ'de 9 aylık SDI değerlerinde, nemli koşullara karşın hafif ve orta derece kuraklıkların 1980-2021 yılları arası dönemde belli bir dönemsellik içerisinde yaşandığı gözlenmektedir (Şekil 19e).

Karadere-Karınca Deresi alt havzasını temsil eden ve Karınca Deresi üzerinde bulunan Reşitköy istasyonunda, 1988-1998 yılları arası dönemde birer dönemlik nemli koşullardan sonra art arda yaşanan kurak dönemlerin ardından yoğun olarak 2001-2021 yılları arası dönemde hafif ve orta derecede kuraklıklar yaşanmıştır (Şekil 19f). Bakırçay alt havzasının yukarı kesimlerinde yer alan ve bu alanı temsil eden bir AGİ olan Yağcılı istasyonunda ise 1980 yılında meydana gelen orta derecede bir kuraklığın ardından, 1989-1997 yılları arası dönemdeki kuraklıklar dikkat çekerken 2001-2008 ile 2014-2021 yılları arasındaki orta ve şiddetli kuraklıklar da bölgenin hidrolojik açıdan etkilendiği kurak dönemleri oluşturmaktadır (Şekil 19g).



Şekil 20. Kuzey Ege Havzası AGİ'lerinde SDI-24 değerlerinin yıllar arası değişkenliği

Kuzey Ege Havzası için, iki yıllık kümülatif (24 aylık) uzun süreleri SDI değerlerinin zamansal değişkenliği incelendiğinde (Şekil 20), 1990-1992, 2000, 2007-2008 ve 2020 yıllarında tüm akım istasyonlarında ortak zamansal desenler tespit edilmiştir.

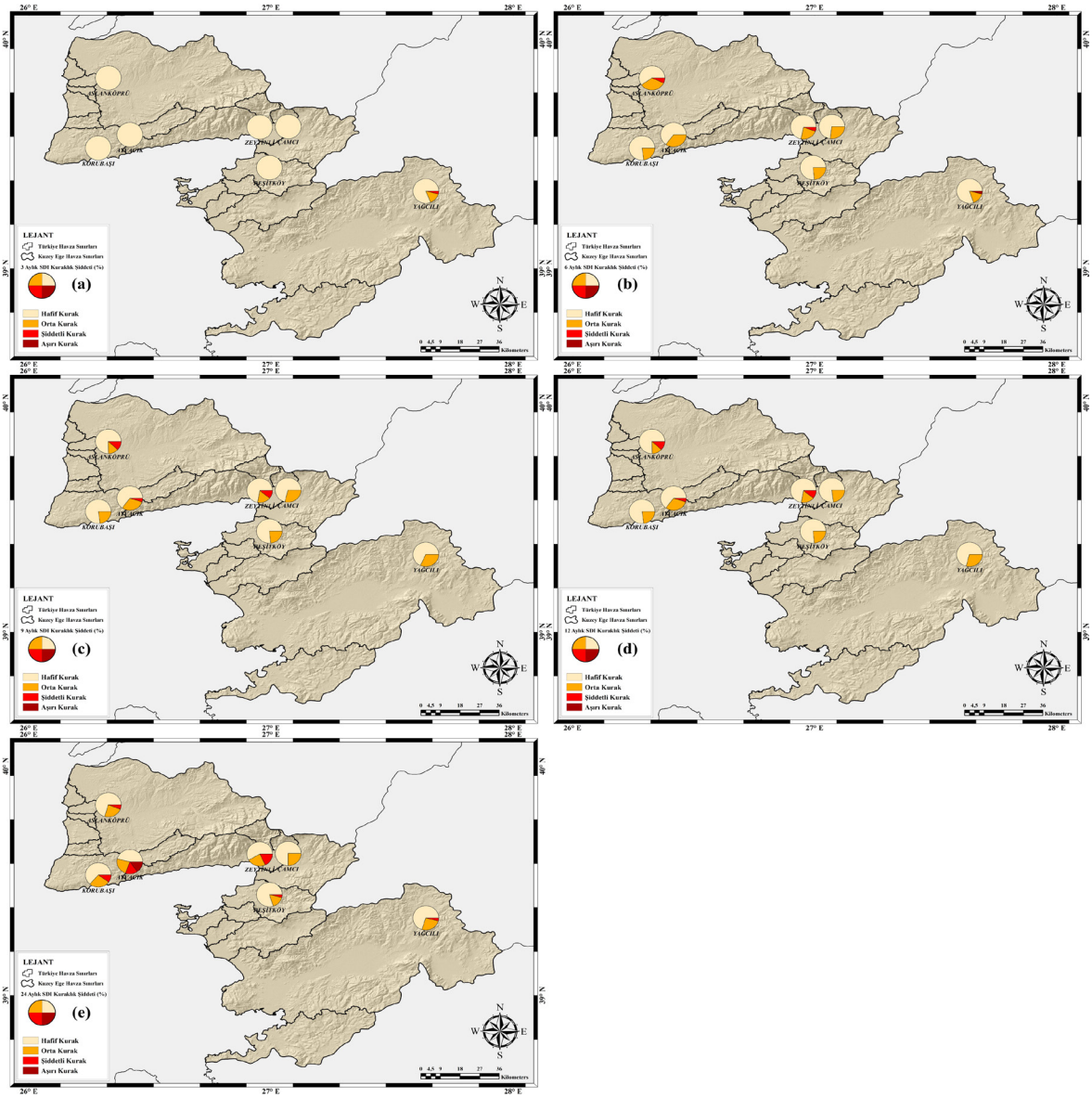
Karamenederes alt havzasında ve Karamenderes Nehri üzerinde bulunan Aslanköprü AGİ'de öne çıkan orta, şiddetli ve aşırı kurak sınıfında bulunan dönemler 1983 yılına kadar kısa süreli hafif kuraklıklar ile uzun dönem nemli koşullar ve 1983-1996 yılları arasında daha uzun süreli orta ve şiddetli kurak dönemler olup, kurak dönemlerin sıklığı artış göstermiştir (Şekil 20a). Tuzla Çayı alt havzasında ve Tuzla Çayı'nın üzerinde bulunan Tuzla Korubaşı AGİ'de öne çıkan orta ve şiddetli kurak sınıfında bulunan dönemler daha geçmiş yıllarda 1987-1993 yılları arasındayken, 2000 yılı ve sonrasında 2004-2011 yılları arası dönemde hafif, orta ve şiddetli kuraklıklar yaşansa da 2012 yılı itibariyle nemli koşullarda artış söz konusudur (Şekil 20b). Tuzla Çayı alt havzasında ve Tuzla Çayı'nın üzerinde bulunan Tuzla Ayvacık AGİ'de öne çıkan orta ve şiddetli kuraklık sınıflarında bulunan belirgin dönemler, 1987 yılına kadar ağırlıklı nemli koşulların yaşanmasından sonra 1987-1993 yıllarında şiddetli ve aşırı kuraklıklar yaşanarak, 2000-2008 arası dönemde iki ila üç yıl art arda kurak dönemlerle üç veya dört yıl nemli dönemler yaşanmıştır (Şekil 20c).

Edremit Körfezi Suları ile Edremit-Havran alt havzalarını temsil eden ve Zeytinli Çayı üzerinde bulunan önemli bir akım istasyonu olan Zeytinli istasyonunda 24 aylık SDI değerlerinde, 1989-1994 yılları arasında sıklıkla orta ve şiddetli kuraklıklar meydana gelmiş olup, 2000-2020 yılları arasında ağırlıklı olarak nemli ancak 2020 yılının sonuna kadar hafif, orta ve şiddetli kuraklığa doğru bir gidişat görülmektedir (Şekil 20d). Edremit-Havran alt havzasını temsil eden ve Eybek Deresi üzerinde bulunan Çamcı AGİ'de 24 aylık SDI değerlerinde, nemli koşullara karşın 1987-1996 yılları arası hafif ve orta derece kuraklıkların dikkat çekmesinin yanı sıra kuraklıklar, 2000-2020 yılları arası dönemde belli bir dönemsellik içinde yaşanmaktadır (Şekil 20e).

Karadere-Karınca Deresi alt havzasını temsil eden ve Karınca Deresi üzerinde bulunan Reşitköy istasyonunda, 1987-1997 yılları arası dönemde art arda yaşanan kurak dönemlerin ardından yoğun olarak 2000-2020 yılları arası dönemde hafif, orta ve şiddetli kuraklıklar yaşanmıştır (Şekil 20f). Bakırçay alt havzasının yukarı kesimlerinde yer alan ve bu alanı temsil eden bir AGİ olan Yağcılı istasyonunda ise 1988 yılına kadar nemli koşulların hakimiyetinin ardından 1988-1996 yılları arası dönemdeki kuraklıklar dikkat çekerken, 2000-2008 arasındaki hafif, orta ve şiddetli kuraklıklar ile 2017-2020 yılları arasındaki orta

derece kuraklıklar da bölgenin hidrolojik açıdan etkilendiği kurak dönemleri oluşturmaktadır (Şekil 20g).

Kuzey Ege Havzası'nda uzun süreli akım verisine sahip akım istasyonları üzerinden zamansal olarak akarsu akımlarındaki anomalilere bağlı kuraklığın şiddet sayılarına göre havzanın genelinde mekânsal ölçekteki oransal dağılışına da bakmak önem taşımaktadır. 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SDI değerlerinde nemli dönemler hariç bırakılıp, yalnızca kurak dönemler kendi içinde oranlanarak havzadaki oranları Şekil 21'deki haritalarda verilmiştir.



Şekil 21. Kuzey Ege Havzası SDI değerlerinin 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık serilerde kuraklık şiddet oranlarının mekânsal dağılış haritaları

Kuzey Ege Havzası'nda kümülatif olarak hesaplanan SDI-3, SDI-6, SDI-9, SDI-12 ve SDI-24 kuraklığın kendi içindeki kuraklık sınıflarında toplam kurak aylar içindeki kuraklık şiddetlerinin oransal olarak dağılışında (Şekil 21), havzada genelinde 3 aylık SDI değerlerinde tamamen hafif kuraklığın oransal olarak %100 oranında gerçekleştiği görülmekte; sadece Yağcılı akım gözlem istasyonunda %3,8 oranında şiddetli ve %15,4 oranında orta derecede kuraklığın meydana geldiği görülmektedir (Şekil 21a). 6 aylık SDI değerlerinde genelde hafif ve orta kuraklık oranları yüksekken, Zeytinli (%5,6) ve Aslanköprü (%6,7) akım istasyonlarında şiddetli kuraklık ve Yağcılı istasyonunda orta derece kuraklıklardan sonra aşırı kuraklık da gözlenmiştir (Şekil 21b). 9 aylık SDI değerlerinde genelde hafif ve orta kuraklık oranları yüksekken, Tuzla Ayvacık (%5,0), Zeytinli (%11,1) ve Aslanköprü (%12,5) akım istasyonlarında şiddetli kuraklık da gözlenmiştir (Şekil 21c). 12 aylık SDI değerlerinde genelde hafif ve orta kuraklık oranları yüksekken, Tuzla Ayvacık (%5,0), Zeytinli (%11,1) ve Aslanköprü (%12,5) akım istasyonlarında şiddetli kuraklık da gözlenmiştir (Şekil 21d). 24 aylık (iki yıllık kümülatif) SDI değerlerinde genelde hafif ve orta kuraklık oranları yüksekken, Reşitköy (%4,0), Tuzla Ayvacık (%15,4), Korubaşı (%10,5), Zeytinli (%17,6) ve Aslanköprü (%5,9) akım istasyonlarında şiddetli kuraklık yaşanmış olup, Tuzla Ayvacık akım istasyonunda ise %15,4 oranında aşırı kuraklık gözlenmiştir (Şekil 21e).

Kuzey Ege Havzası özelinde orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemlerin yaşandığı ve bazı alt havzalarda oldukça kurak alanların gözlendiği bulgusu önceki çalışmalarla uyumlu olup Gülmez (2022), Ege Bölgesi'nde Akım Kuraklık İndeksi (SDI) ve Standart Yağış İndeksinin (SPI) ortak incelemesini yaptığı tez çalışmasında zaman zaman bölge içerisinde ortaya çıkan aşırı kuraklıkların varlığını ortaya çıkarmıştır. Bu tez çalışması da SDI analizleriyle, Kuzey Ege Havzası'ndaki hidrolojik kuraklık karakterinin hem zamansal hem de mekânsal olarak belirgin bir desen izlediğini ortaya koymuştur. Hidrolojik kuraklık analizleri kapsamında kullanılan SDI-9 ve SDI-24 serileri de meteorolojik bulgularla paralellik göstermekte ve özellikle 1980 sonrası dönemde artan kuraklık sıklığı, özellikle 1990, 2000, 2007-2009 ve 2020-2021 yıllarında ortak kurak dönemlerin yaşandığını göstermekte olup aşırı kuraklıkların akış sistemleri üzerinde belirgin etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle uzun süreli 9, 12 ve 24 aylık periyotlarda Karamenderes, Tuzla Korubaşı, Tuzla Ayvacık, Zeytinli ve Yağcılı gibi istasyonlarda orta, şiddetli ve aşırı

kuraklıkların öne çıkması, akarsu ekosistemleri ve tarımsal sulama için su arzı üzerinde artabilecek baskılara işaret etmektedir.

4.1.4. Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) (Aggregated Drought Index-ADI)

Bütünleşik Kuraklık İndeksi, temel bileşenler analizi yöntemiyle oluşturulan çok boyutlu ve kapsamlı kuraklık indeksleri kategorisinde yer almaktadır.

Kuzey Ege Havzası'ndaki 8 adet meteoroloji istasyonunun farklı sürelerde olmasından dolayı iki ayrı hesaplama yapılmıştır. 8 istasyon için 1976-2011, 6 istasyon içinse 1976-2023 verileri kullanılmış; bunun sonucunda ortaya çıkan kurak dönemler üzerinden havzadaki kuraklığın yayılım karakteristiği ve esas itici güç/güçleri çok boyutlu bir şekilde ele alınmıştır. Tablo 10'da farklı sürelerdeki SPI-12 ve SPEI-12 serileriyle tüm istasyonların veri sürelerinin uzunluklarının eşitlenmesiyle oluşturulan SPI-12 ve SPEI-12 serilerine uygulanan BKİ analizi sonucunda, BKİ değerlerinde 12 aylık serilerdeki aylık toplam kuraklık sayılarının, kuraklık şiddet sınıflarına göre dağılımı sunulmuştur.

Tablo 10

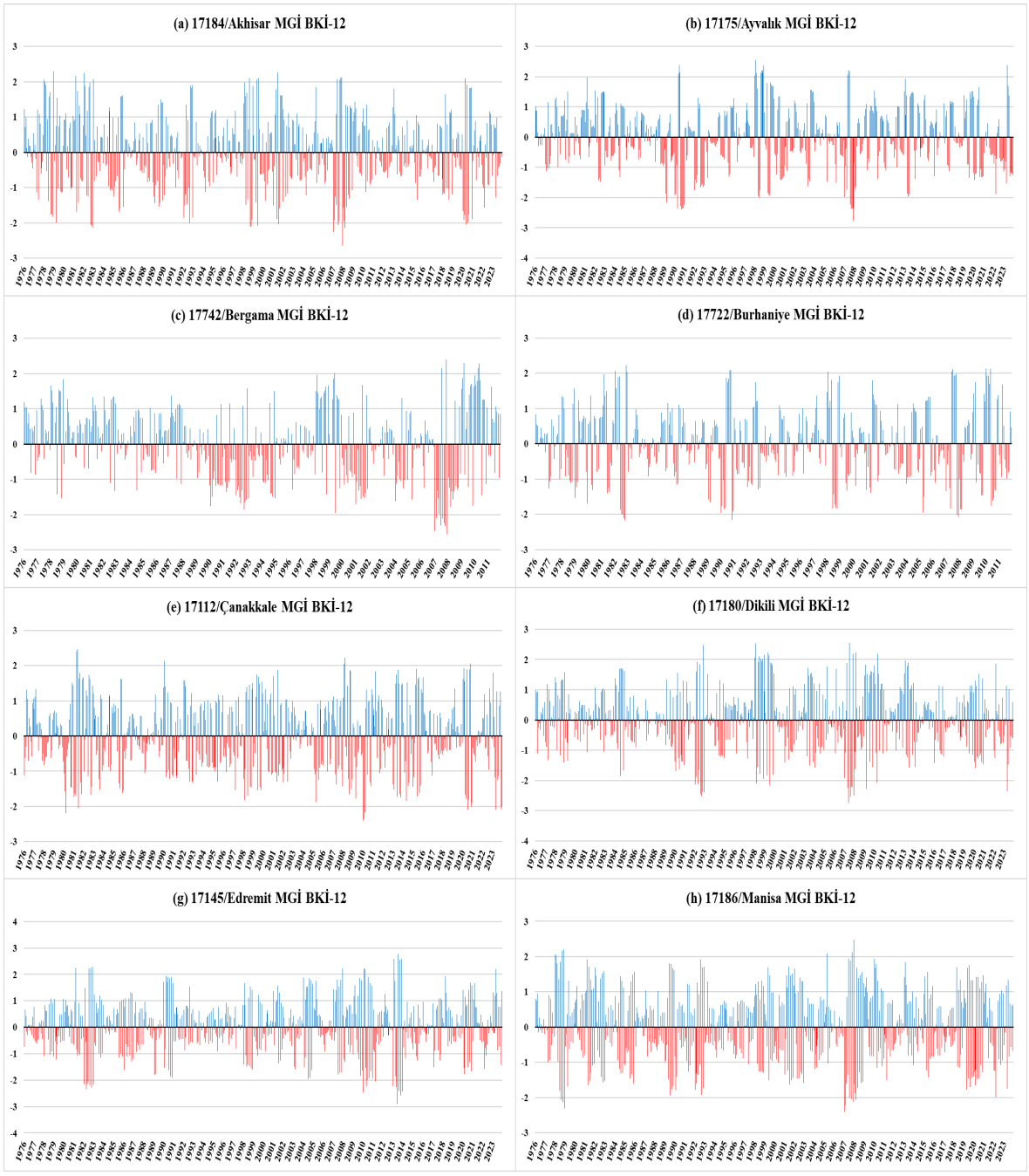
BKİ değerlerinin 12 aylık seride kuraklık şiddetlerine göre değişkenliği

	Akhisar MGİ				Ayvalık MGİ				Bergama MGİ				Burhaniye MGİ			
Dönem/ Kuraklık Şiddeti	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.
BKİ-12	202	50	26	13	203	48	26	13	133	55	20	7	150	40	22	7
	Çanakkale MGİ				Dikili MGİ				Edremit MGİ				Manisa MGİ			
Dönem/ Kuraklık Şiddeti	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.	H. K.	O. K.	Ş. K.	A. K.
BKİ-12	186	66	29	10	187	58	20	17	206	35	31	17	196	55	32	9

	Kuzey Ege Havzası 8-MGİ BKİ (1976-2011)				Kuzey Ege Havzası 6-MGİ BKİ (1976-2023)			
Dönem/Kuraklık Şiddeti	H.K.	O.K.	Ş.K.	A.K.	H.K.	O.K.	Ş.K.	A.K.
BKİ-12	145	43	25	7	185	57	26	13

İklim değişikliğiyle artan meteorolojik dengesizlikler, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini tehdit ederken kuraklık ise çevresel, tarımsal ve ekonomik kayıpları

derinleştirmektedir. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yalnızca yağışa; Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ise buharlaşma ve sıcaklığa (potansiyel evapotranspirasyon) dayandığından, tek bir gösterge çoğu zaman kuraklığın tüm boyutlarını yansıtamamaktadır. Bu nedenle, farklı indislerin güçlü yanlarını birleştiren Bütünleşik Kuraklık İndisi (BKİ) yöntemi geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında, seçilen istasyonlara ait uzun dönemli iklim verileriyle SPI-12 ve SPEI-12 değerleri hesaplanmış, ardından BKİ ile birleştirilerek havza ölçeğinde kuraklık eğilimleri incelenmiştir. Tablo 10'da görüldüğü üzere, istasyonlarda kuraklığın frekans/şiddet durumunda uzun vadede orta ve şiddetli kuraklık sayılarında artışlar bulunmaktadır. Aşırı kuraklık genel olarak düşük seviyelerde görülmekle birlikte BKİ değerlerinin her bir istasyon özelindeki 12 aylık zaman ölçeklerinde; Çanakkale, Edremit ve Manisa istasyonları orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkta öne çıkan istasyonlardır. Tüm istasyonların veri sürelerinin uzunluklarının eşitlenmesiyle oluşturulan Kuzey Ege Havzası 8-MGİ (1976-2011) BKİ-12 ile Kuzey Ege Havzası 6-MGİ (1976-2023) BKİ-12 aylık zaman ölçeklerinde; 6 adet meteoroloji istasyonunun ortak BKİ değerlerinde orta, şiddetli ve aşırı kuraklıklar öne çıkmaktadır. Buradaki amaç, Kuzey Ege Havzası'ndaki bölgesel kuraklık riskini zamansal ve mekânsal olarak daha kapsamlı ve bütüncül bir şekilde belirlemek ortak aşırı kurak dönemleri tespit etmek ve elde edilen bulguları, kuraklığın meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik yönleriyle bütüncül bir şekilde ele almaktır.



Şekil 22. Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde BKİ-12 değerlerinin yıllar arası değişkenliği

Şekil 22'deki BKİ-12 indisinde, iki indis (SPI-12 aylık ve SPEI-12 aylık) birleştirilerek hesaplama yapıldığından, ayrı ayrı yapılan SPI-12 ve SPEI-12 indislerinin analiz sonuçlarıyla karşılaştırmalı değerlendirilmesi; BKİ-12 indis değerlerinin sonuçlarının SPI-12 ve SPEI-12 ile olan benzerlik ve farklılıkları yağış açığının veya sıcaklık ve buharlaşmanın kuraklık üzerinde daha önemli olduğu çıkarımı için önemlidir. Akhisar istasyonunda, 1976-1985 yılları arasındaki daha geçmiş dönemlerde kuraklıkların frekansı

ve şiddetlerinde belirgin artışlar ve dönemsellikler gözlenmektedir. 1992 sonrası özellikle 2000-2008 ve 2018-2023 yıllarında uzun, ağırlıklı olarak şiddetli ve aşırı kuraklıklar ile bazı yıllar nemli koşullar ama hafif ile orta kurak özelliği gösteren kurak dönemler de dikkati çekmektedir (Şekil 22a). Akhisar istasyonu BKİ-12 grafiğinde, özellikle 2000-2008 ve 2018-2023 yılları arası dönemlerde şiddetli ve aşırı kuraklıkların baskın olması, hem SPI-12 hem de SPEI-12 ile büyük ölçüde uyum göstermiştir. SPI-12, 1985-1992 gibi daha erken dönemde de kuraklığı işaret ederken, SPEI-12'de bu dönem daha az çarpıcıdır. Bu durum, 1985-1992 arasındaki kuraklıkların daha çok yağış eksikliği kaynaklı olduğunu, sıcaklık ve buharlaşma etkisinin ise daha sınırlı kaldığını göstermektedir. Akhisar istasyonun da BKİ-12'nin SPI-12 ile 1985-1992 arasındaki uyumu, yağış açığının bu dönemde belirleyici olmasına; buna karşın da 2012 sonrası özellikle 2017-2023 arasında SPEI-12 ile gösterdiği örtüşmeyle bu dönemde sıcaklık artışı ve buharlaşmanın kuraklık üzerindeki etkisinin arttığını göstermektedir.

Ayvalık meteoroloji istasyonunda 1989 yılına kadar ağrılıklı nemli ve orta derecede kuraklıklar yaşanmış, 1990 sonrası 2000-2008 ve 2013-2023 yıllarındaki periyotta şiddetli ve aşırı kuraklıklar sıklaşarak, nemli koşulların dışında üst üste şiddetli kurak dönemlerin sıklığının artması dikkat çekmektedir (Şekil 22b). Ayvalık istasyonunun BKİ-12 aylık indis değerlerinde, 1990 sonrası özellikle 2000-2008 ve 2013-2023 dönemlerinde artan şiddetli kuraklıklar, SPI-12 ve SPEI-12 ile oldukça paralellik göstermiştir. Fakat, SPEI-12'de 2020-2023 yılları arasında üst üste gelen şiddetli kurak dönemlerin daha baskın olduğu görülmektedir; bu da sıcaklık ve buharlaşmanın bu dönemde kuraklığı daha da derinleştirdiğini göstermektedir. SPI-12 indis değerleriyle olan uyum, özellikle 2000-2008 arası dönemde yağış eksikliğinin baskın etkide olduğunu gösterirken, BKİ-12'nin SPEI-12 ile 2020 sonrası artan benzerliği, bu son dönemde ise sıcaklık artışlarından kaynaklı kuraklığın daha belirleyici olduğunu gösterir.

Bergama istasyonunda belli dönemlerde kısa ve daha çok uzun aralıklarda yoğun olarak şiddetli ve aşırı kuraklıklar gözlenmektedir. İstasyonun bulunduğu alanda geçmiş dönemde 1990 yılına kadar yoğun olarak nemli dönemlerle hafif, orta ve şiddetli kuraklıklar gözlenirken, 1990'lar itibariyle 2000 yılına kadar düzenli aralıklarla ağırlıklı olarak daha uzun süreli şiddetli ve aşırı kurak dönemler yaşanmıştır. 2000-2008 yıllarından sonra 2011

yılına doğru kuraklık şiddeti nemli dönemlere göre azalış göstermiştir (Şekil 22c). Bergama'da BKİ-12, 1990'lardan itibaren görülen uzun süreli şiddetli ve aşırı kuraklık dönemleriyle SPI-12 ve SPEI-12 ile oldukça benzerdir. SPI-12 ve SPEI-12'de 2000-2008 arasında artan kuraklıklar, BKİ-12'de de belirgin şekildedir. Ancak, SPEI-12'de 1985-2000 arası düzenli kuraklık eğilimi vurgulanırken, SPI-12'de bu daha az belirgin; bu fark, erken dönemde sıcaklık ve buharlaşmanın belirleyici olduğunu göstermektedir. BKİ-12 indis değerleri her iki indisle de ortaklık gösteriyor gibi görünse de SPEI-12 ile daha fazla örtüşmektedir. Bu durum, bölgedeki kuraklıklarda sıcaklık ve evapotranspirasyon etkisinin önemli olduğunu göstermektedir.

Burhaniye meteoroloji istasyonunda 1982 yılına kadar kuraklık eğilimi kısa süreli hafif, orta ve şiddetli kuraklıklar ile yoğun şekilde nemli dönemler şeklinde, 1982 yılından itibaren daha belirgin olarak uzun süreli orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemler gözlenirken, 1989-1992 ve 1998-2008 yıllarından sonra 2011 yılına doğru kuraklık şiddeti nemli dönemlere göre artış eğilimi göstermiştir (Şekil 22d). Burhaniye istasyonunda BKİ-12 grafiklerinde, 1982 sonrası uzun süreli kuraklıklar güçlü biçimde gözlenir. SPI-12 indis değerlerine göre, 1989-1996 ve 2001-2008 arasında kuraklığın yağış eksikliğine dayandığını gösterirken; SPEI-12'de özellikle 1990 sonrası sıcaklık ve buharlaşmanın etkili olduğu dönemler daha belirgindir. BKİ-12'nin SPEI-12 ile uyumu, özellikle 2011 sonrası dönemde artış gösteren kuraklık şiddetinden kaynaklanmaktadır. Bu da BKİ kuraklık indis analizinde sıcaklık ve evapotranspirasyon etkisinin daha ağır bastığını gösterir.

Çanakkale istasyonunda öne çıkan orta, şiddetli ve aşırı kurak sınıfında bulunan dönemler 1980-1988, 1990-2002, 2005-2016 ve 2020-2023'tür (Şekil 22e). BKİ-12 indis değerlerinde ortaya çıkan orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemler SPI-12 ve SPEI-12 ile genel olarak uyumludur, özellikle de 2000-2008 ve 2014 sonrası her üç indiste de benzer kuraklık eğilimleri gözlenmektedir. Ancak, SPI-12 aylık indis değerlerinde özellikle 1983-1994 döneminde kuraklığı vurgularken, SPEI-12'de daha çok 2000 sonrası dönemler dikkat çeker. Bu fark, erken dönemde yağış açığının belirleyici olduğunu; son dönemde ise sıcaklık ve buharlaşmanın etkisinin arttığını gösterir.

Dikili istasyonunda, 1992 yılına kadar kısa süreli hafif, orta ve şiddetli kurak dönemler nemli dönemlerle kesintiye uğrayıp, 1992 yılı sonrası dönemde yaşanan uzun süreli aşırı kuraklıklar artış göstermiştir. Dikili istasyonunda yaklaşık olarak 1998-2010 yılları arasındaki uzun süreli aşırı ve şiddetli kuraklıklar, 2013-2023 yılları arasındaki 10 yıllık periyotta yoğunlaşarak artış gösterme eğilimine girmiştir (Şekil 22f). BKİ-12 indis değerlerinde, özellikle 1998-2010 ve 2013-2023 dönemlerinde yoğun kuraklık eğilimi, SPI-12 ve SPEI-12 ile büyük oranda uyumludur. SPI-12'de 1989-1994 ve 2001-2008 dönemleri vurgulanırken, SPEI-12'de 1990 sonrası dönemde aşırı kuraklıkların daha baskın oluşu sıcaklığın etkisini öne çıkarmaktadır. BKİ-12 değerleri, SPEI-12 aylık serideki indis değerleriyle daha fazla örtüşmekte olup bu da bölgedeki kuraklıkta evapotranspirasyonun önemli bir bileşen olduğunu göstermektedir. SPEI-12'nin 2014 sonrası eğilimlerinin BKİ-12 tarafından da güçlü şekilde yansıtılması bunu desteklemektedir.

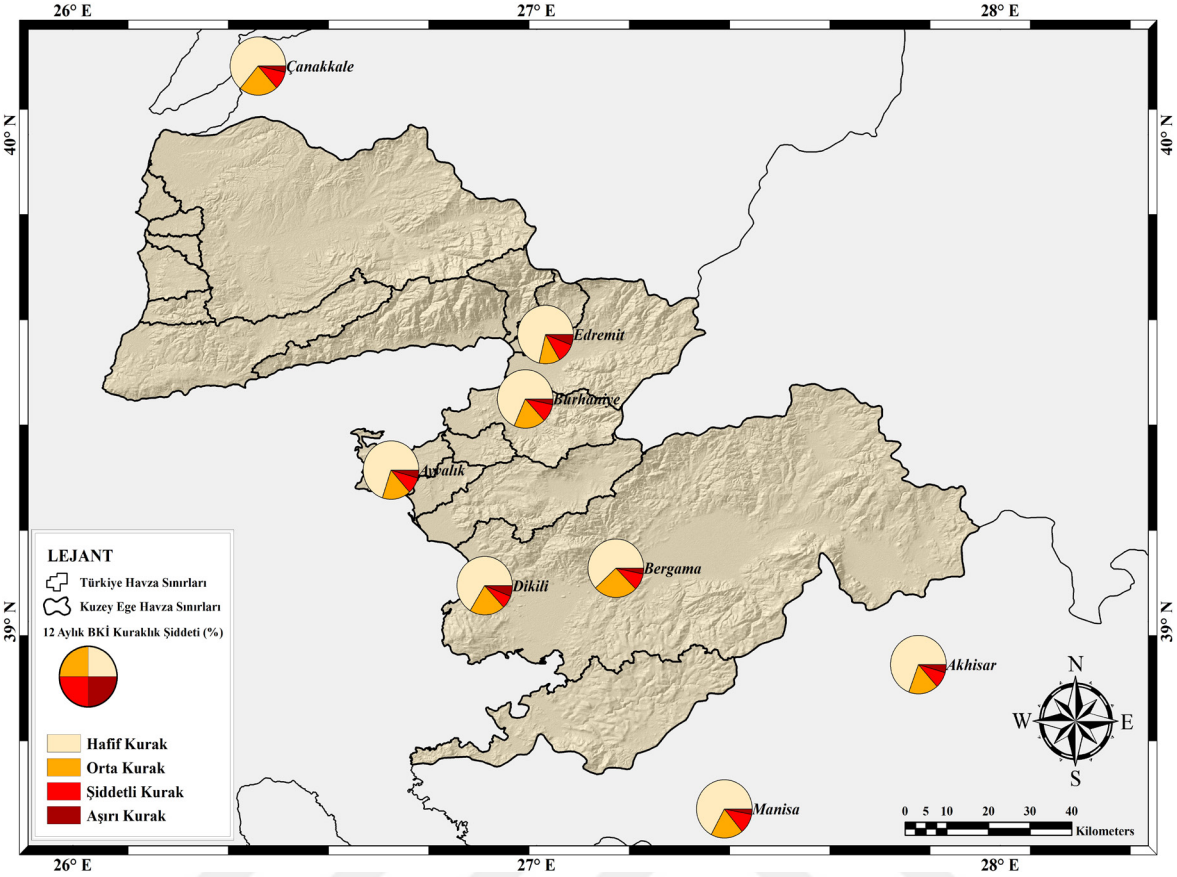
Edremit istasyonuna bakıldığında, 1990 yılına kadar daha kısa süreli orta, şiddetli ve aşırı kurak dönemler baskın olup 2000'li yıllardan sonra kurak ayların sıklığındaki artış, 2001-2008 yılları arasında ağırlıklı olarak art arta gelen şiddetli ve aşırı kuraklıklar şeklinde dikkat çekerken, 2013 yılı sonrasında 2023 yılına doğru 10 yıllık periyotta belirli kısa dönemlerde yaşanan hafif ve orta kuraklıklar dışında şiddetli kurak dönemlerde gözlenmektedir (Şekil 22g). Edremit istasyonunda BKİ-12 değerleri, 2001-2008 ve 2013-2023 arasında şiddetli kuraklıkların arttığını göstermektedir. SPI-12, 1990-1992'deki ekstrem kuraklıkları vurgularken, SPEI-12 indis değerlerindeki 2001 yılı sonrası dönemi daha detaylı biçimde göstermektedir. BKİ-12'de SPEI-12 ile daha güçlü benzerlikler gözlenmekte olup, özellikle 2016 sonrası sıcaklık artışları kuraklığı şiddetlendirmektedir. SPI-12 indis değerlerinin daha çok 1990'lar başına odaklı olması, o dönemlerde yağış eksikliğinin daha baskın olduğunu gösterir.

Manisa istasyonunda ise BKİ-12 aylık indis değerlerine göre yoğun olarak şiddetli ve aşırı kurak periyotların hakimiyeti gözlenmektedir. Daha geçmiş dönemlerde 1985 yılına kadar nemli koşullarla ağırlıklı olarak yaşanan orta, şiddetli ve aşırı kuraklıklar, daha ileriki sürelerde giderek artış gösteren şiddetli ve aşırı kuraklıklara dönüşmüştür. 1990-2000 yılları arasındaki 10 yıllık periyot sonrasındaki kuraklık eğilimindeki artış, 2007-2008 yılları sonrasında kısa ve uzun sürelerde şiddetli ve aşırı kurak dönemler şeklinde, 2023 yılına

doğru birer dönem nemli dönemler dışında düzenli şekilde kuraklık şiddetleri artış göstermiştir (Şekil 22h). BKİ-12 indis değerlerine göre, Manisa'da 1992-2008 ve 2018-2023 dönemlerinde yoğun şiddetli ve aşırı kurak dönemler, SPI-12 ve SPEI-12 ile de oldukça örtüşmektedir. SPI-12, 1985-2008 arasında kuraklığı daha çok yağış eksikliğine bağlarken, SPEI-12 indis değerlerinde 2007 sonrası sıcaklık etkisi daha fazla göze çarpmaktadır. BKİ-12 indis değerlerinin özellikle 2007 sonrası dönemde SPEI-12 ile olan benzerliği, Manisa bölgesinde yakın dönemde sıcaklık ve buharlaşma etkisinin kuraklık şiddeti üzerinde belirgin rol oynadığını ortaya koymaktadır.

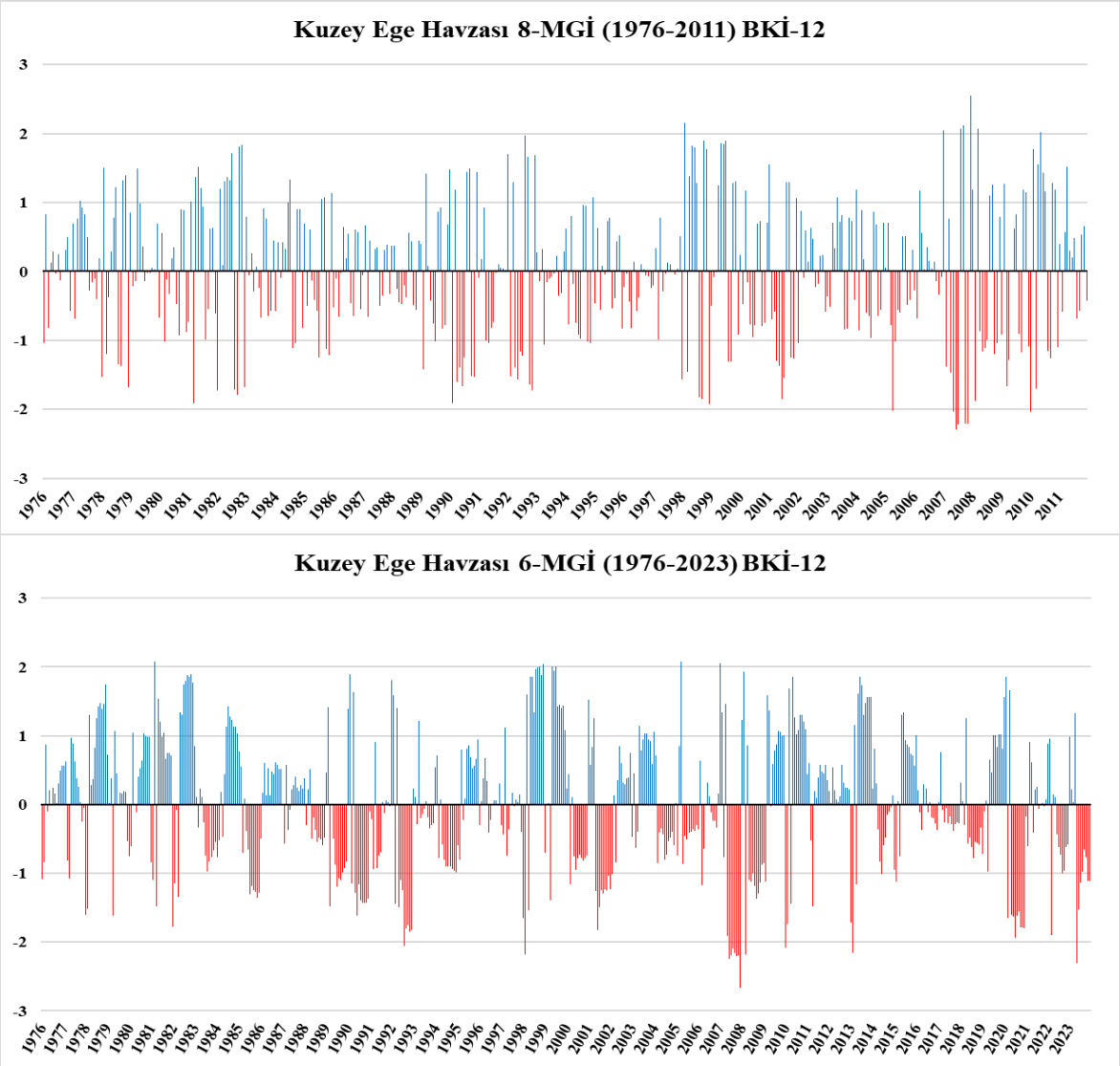
BKİ-12 indisi, SPI-12 aylık ve SPEI-12 aylık indislerinin güçlü ve zayıf yönlerini bir araya getirerek hem yağış açığı hem de sıcaklık ve buharlaşma etkilerini dikkate alan daha kapsamlı bir kuraklık analizi sunmaktadır. Ortaya çıkan bulgulara göre, bazı istasyonlarda BKİ-12, SPI-12 ile daha fazla örtüşerek yağış eksikliğini ön plana çıkarırken (örneğin; Ayvalık ve Akhisar), bazı istasyonlarda SPEI-12 ile daha çok benzerlik göstermektedir (örneğin; Edremit ve Dikili). Bu durum, kuraklık analizinde tek bir indise bağlı kalmadan hem yağış hem sıcaklık etkilerinin birlikte değerlendirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Kuzey Ege Havzası'nda uzun süreli SPI-12 ve SPEI-12 verisine sahip meteoroloji istasyonları üzerinden zamansal olarak kuraklığın şiddet sayılarına göre havzanın genelinde mekânsal ölçekteki oransal dağılışına da bakmak önem taşımaktadır. Her bir meteoroloji istasyonunun özelinde, 12 aylık BKİ değerlerinde nemli dönemler hariç bırakılıp, yalnızca kurak dönemler kendi içinde oranlanarak havzadaki oranları Şekil 23'teki haritada verilmiştir.



Şekil 23. Kuzey Ege Havzası her bir MGİ özelinde BKİ-12 aylık seride kuraklık şiddet oranlarının mekânsal dağılış haritası

12 aylık BKİ değerlerine göre kuraklık şiddet sınıflarının havzadaki oransal dağılışında (Şekil 23), özellikle hafif kuraklığın daha sonra orta kuraklığın oransal olarak yüksek bir oranda gerçekleştiği görülmektedir. Hafif kuraklığı orta, şiddetli ve aşırı kuraklıklar takip etmekte olup kuraklık şiddetlerinde en öne çıkan aşırı ve şiddetli kuraklıkların havzada en yüksekten en düşük oranda sırasıyla; Dikili, Edremit, Ayvalık, Akhisar, Çanakkale, Bergama, Burhaniye ve Manisa meteoroloji istasyonlarında aşırı (ekstrem) kuraklıklar ile havzada en yüksekten en düşük oranda sırasıyla; Manisa, Edremit, Burhaniye, Çanakkale, Bergama, Ayvalık, Akhisar ve Dikili meteoroloji istasyonlarında şiddetli kuraklıklar belli dönem veya yıllarda yaşanmıştır.



Şekil 24. Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde BKİ-12 değerlerinin (1976-2011) ve (1976-2023) yıllar arası değişkenliği

Kuzey Ege Havzası'nı mekânsal ve zamansal olarak temsil eden; 8 adet (Akhisar, Ayvalık, Bergama, Burhaniye, Çanakkale, Dikili, Edremit ve Manisa için 1976-2011) meteoroloji istasyonuyla ortak zamansal farklılık ve 6 adet (Akhisar, Ayvalık, Çanakkale, Dikili, Edremit ve Manisa için 1976-2023) meteoroloji gözlem istasyonuyla ise daha güncel zamansal değişimi görmek amaçlanmıştır (Şekil 24).

1976-2011 yılları arasındaki 12 aylık BKİ değerlerine göre, 1976-1990 yılları arasında baskın şekilde nemli dönemler yaşanmış olup özellikle de 1980-1987 yılları

arasındaki 7 yıllık periyotta art arda nemli koşullar dikkat çekmektedir. 1990 sonrası dönemlerde kurak dönemlerin sıklığı artmaya başlamış; 1993-1994, 1996, 2001 ve 2007-2008 yıllarında belirgin şekilde orta, şiddetli ve aşırı kuraklıklarda artışlar, 2000 sonrası nemli dönemlerde de artışlar varken bu doğrultuda, kuraklık şiddetlerinin frekanslarındaki artışlar da söz konusudur (Şekil 24a). 1976-2023 yılları arasındaki 12 aylık BKİ değerlerinin daha güncel zamansal değişimine göre, genel eğilim daha net görülmektedir. Bu bağlamda, 1990 sonrası kuraklık eğilimi daha keskin şekilde dikkat çekmektedir. Özellikle 2007-2008, 2012-2014, 2019 ve 2021-2023 yıllarındaki dönemlerde aşırı kuraklık minimumları oldukça ön plandadır. Nemli dönemlerin sıklığındaki ciddi azalışa karşın neredeyse 2010 yılı sonrası şiddetli ve aşırı kuraklık değerleri baskındır. 2020 yılı sonrası dönemde özellikle sık tekrarlanan kuraklık karakteri söz konusu olup 6-MGİ ile hesaplanan BKİ-12 indis değerlerinde son yıllarda kuraklık şiddetinin ve süresinin belirgin şekilde arttığı gözlenmektedir (Şekil 24b).

Sonuç olarak, Kuzey Ege Havzası 1976 sonrası dönemde nemli koşullardan kurak koşullara geçiş yaşayan bir bölge görünümünde olup 2000 sonrası ve özellikle 2010 yılından itibaren artan kuraklık sıklığı havzanın su kaynakları, tarımsal üretim ve ekosistem dengesi açısından risk altında olduğunu da göstermektedir. Burada, 6 adet (Akhisar, Ayvalık, Çanakkale, Dikili, Edremit ve Manisa için 1976-2023) meteoroloji istasyonuyla gerçekleştirilen hesaplamada BKİ-12 değerlerine göre, iklim değişikliğinin etkisiyle de kuraklık şiddetinin ve süresinin arttığı güçlü bir şekilde ortaya konulmaktadır.

Çalışmada kullanılan BKİ değerleri, SPI ve SPEI indislerinin güçlü yönlerinin birleştirilmesiyle kuraklığın daha bütüncül bir şekilde değerlendirilmesini sağlamıştır. BKİ-12 serisi sonuçları, 1976-2023 döneminde orta ve şiddetli kuraklıkların frekansında artış olduğunu, aşırı kuraklıkların ise özellikle Çanakkale, Edremit ve Manisa istasyonlarında öne çıktığını göstermektedir. 6-MGİ (1976-2023) BKİ-12 aylık seride havzanın tamamında kuraklıkların hem süresel hem de şiddet açısından belirgin şekilde arttığı ortaya konmuştur. Bu artışın, özellikle 2010 sonrası dönemde hızlandığı görülmektedir. Bulgulara göre, BKİ-12 değerleri havzanın tüm istasyonlarında şiddetli kuraklıkların sıklığında belirgin bir artış olduğunu göstermektedir. Özellikle 2010 sonrası dönemde aşırı kuraklıkların sıklığındaki artış, SPI ve SPEI serilerinin trendleriyle örtüşmektedir. 6-MGİ (1976-2023) BKİ-12 analizi,

havzanın tamamında kuraklık eğilimlerinin giderek şiddetlendiğini ve süreklilik kazandığını göstermektedir. Bu eğilimler özellikle Çanakkale, Edremit ve Manisa istasyonlarında belirgin şekilde öne çıkmaktadır.

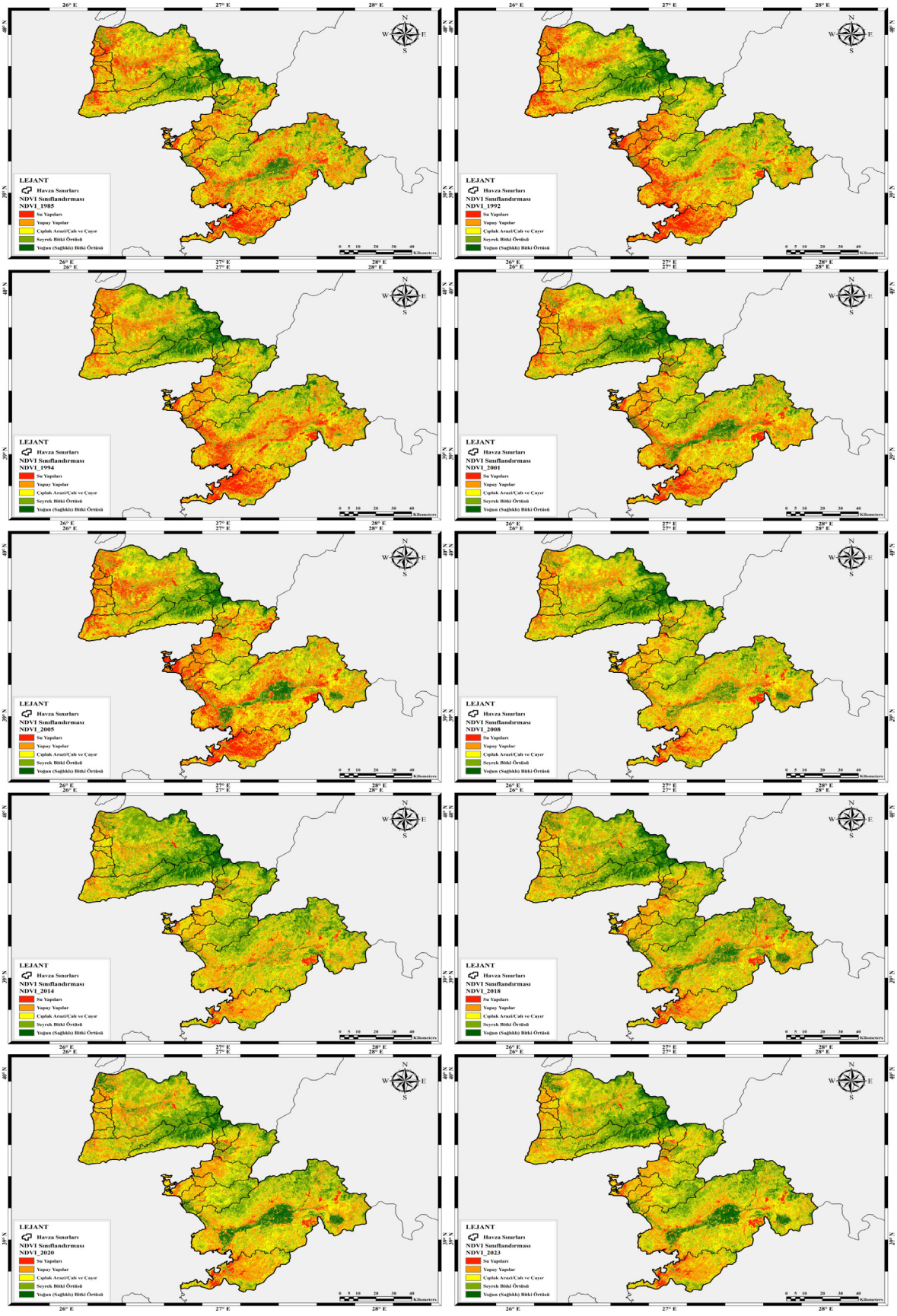
4.2. Kuzey Ege Havzası Bitki Örtüsü İndis Analizleri

Kuzey Ege Havzası ve alt havzaları için hidroklimatolojik değişkenler bağlamında standartlaştırılmış kuraklık indis yöntemleriyle hesaplamalar yapılmış, Bütünleşik Kuraklık İndis yöntemiyle birlikte de kuraklığın yayılım karakteri açısından havza içerisindeki kuraklığın çok boyutlu analiziyle, şiddetli ve aşırı kuraklıkların baskın şekilde gerçekleştiği yıllar ortaya çıkarılmıştır. Bitki örtüsü indis analizleri için belirlenen kurak yıllar, SPI ve SPEI kuraklık indislerini bütüncül şekilde ele alarak oluşturulan BKİ kuraklık indis değerlerine göre belirlenmiştir. BKİ kuraklık indisine göre kurak yıl ve kurak yıla en yakın ortak dönemler referans alınarak bitki örtüsü değişimleri ve durumları açısından, 10 yıllık periyot içerisinde uzaktan algılama yöntemlerinin kullanıldığı NDVI ve VCI indislerinde değerlendirilmiş olup özellikle havzadaki yağış eksiklikleri ve sıcaklık artışlarına bağlı olarak tarımsal kuraklığın etkileri incelenmiştir.

4.2.1. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI)

NDVI, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde, bitki örtüsü değişimlerinin izlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Şekil 25'te, Kuzey Ege Havzası ve alt havzalarındaki bitki örtüsü dinamikleri, temmuz ayına ait belirlenen kurak yıllarda NDVI değerleri üzerinden bitki örtüsündeki değişkenliği değerlendirilmiştir. Temmuz ayı, yağışların oldukça azaldığı ve sıcaklıklarında artışa geçtiği, bitki örtüsünün kuraklığa daha duyarlı hale geldiği bir döneme denk gelmektedir. Bununla birlikte, bölgedeki bitki örtüsünün stres altına girdiği, su kaynaklarının azalmasına bağlı olarak su stresinin belirginleştiği ve kuraklığın etkisinin arttığı ay olarak tercih edilmiştir. Mevsimsel ve yıllık değişimlerin izlenmesi ile yaz kuraklık dinamiklerinin anlaşılabilmesi, mekânsal olarak havza geneli ve alt havzalar ölçeğinde bitki örtüsünün kuraklığa tepkisinin de ortaya konulabilmesi açısından önemlidir.

Havza genelinde, kırmızı renkte gösterilen su yapılarının haricinde bitki örtüsü kuzey ve kuzeybatı kesimlerde (Kazdağları ve çevresi) daha çok dağlık alanlarda, yoğun orman ve doğal bitki örtüsü hâkim şekilde görülmektedir. Güney ve kıyı kesimlerinde ise tarım alanları, kentsel alanlar/yapay alanlar ve çıplak/çalı ve çayır arazilerin varlığına bağlı olarak NDVI değerleri düşüktür. Hidroklimatolojik ve iklimsel etkilerle birlikte kuraklık şiddetinin arttığı, tarımsal faaliyetlerin de yoğunluğuna bağlı olarak 1985-2000 yıllarındaki dönemlerde genel olarak NDVI değerleri düşük seviyelerdedir. Yine 2005 yılında havzanın kuzey ve orta kısımlarındaki kıyı kesimlerinde yer alan alt havzalarda bitki örtüsü gelişimi negatif yöndeyken çoğunlukla su yapıları, yapay alanlar ve çorak arazilerin varlığı yoğundur. 2008-2023 arası dönemde özellikle kuzeyde ve iç kesimlerde NDVI değenlerindeki artışlar, sağlıklı vejetasyon gelişiminin pozitif yönde olduğunu göstermektedir. Aralıklarla seçilen 10 yıllık kurak yıl periyodunda özellikle 2008 yılına kadar bitki örtüsü zayıf ve yoğun şekilde stres altındadır. Havzanın Bakırçay ve Güzelhisar Çayı alt havzalarını da içeren güney ve güneydoğu kesimlerinde istikrarlı olarak düşük NDVI değerleri, kurak yıllarda bu bölgelerde bitki örtüsünün yoğun stres altında olduğunu göstermektedir.

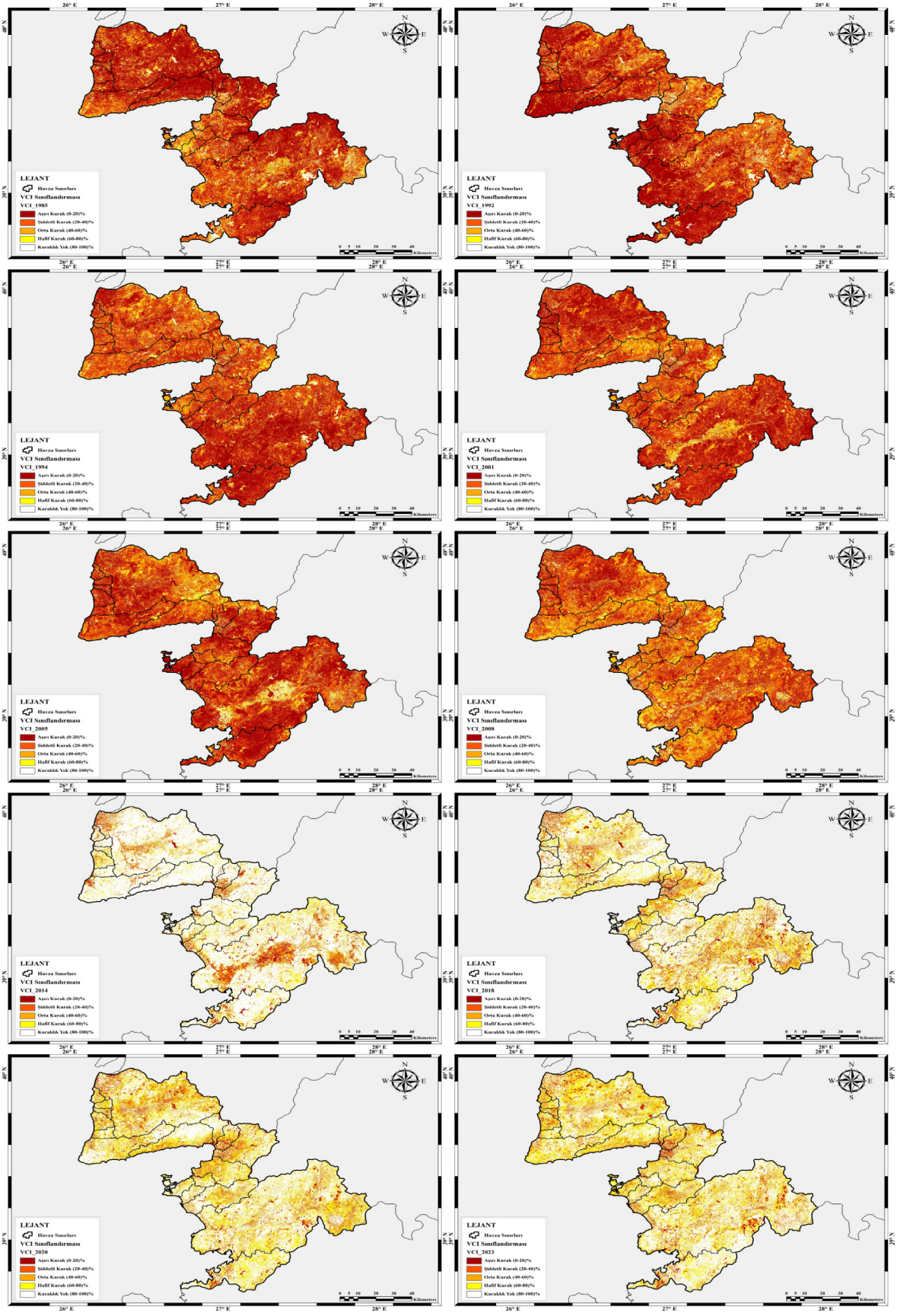


Şekil 25. Kuzey Ege Havzası ve alt havzalarında aralıklarla seçilen 10 yıllık periyotta temmuz ayı NDVI değerlerinin yıllar içerisindeki değişkenliği

4.2.2. Bitki Örtüsü Durum İndeksi (Vegetation Condition Index-VCI)

Uzun yıllar boyunca belli bir ekosistem için karşılaşılan NDVI değerlerinin maksimum ve minimumlarının bir fonksiyonu şeklinde bitki örtüsü durumunun bir göstergesi olarak tanımlanan VCI indeksi, su stresi durumunu ortaya koyabilmek, bitki örtüsü durumunda meydana gelen değişiklik ve kuraklığın bitki büyümesi üzerindeki etkisini göstermek için kullanılır. Mevcut NDVI değeri, önceki yıllarda aynı dönemde gözlenen değer aralığıyla karşılaştırılarak analiz edilir. VCI, (%) olarak ifade edilerek gözlenen değerin önceki yıllardaki uç değerler (maksimum ve minimum) arasında nerede yer aldığına dair bir fikir verirken, daha düşük ve daha yüksek değerler sırasıyla kötü ve iyi bitki örtüsü durumu koşullarını göstermektedir. VCI, son derece elverişsiz (kurak) koşullar için 0'dan, optimum (nemli) koşullar için 100'e kadar değişmektedir. Şekil 26'da görüldüğü üzere, %60-80 oranından daha yüksek VCI değerleri nemli koşulları gösterirken, daha düşük VCI değerleri hafif, orta, şiddetli ve aşırı kuraklık durumlarını göstermektedir.

Kuzey Ege Havzası'nda 1985-2008 yılları arasında özellikle güneydoğu ve merkez kısımlarında yoğun şiddetli ve aşırı kurak koşullar 2008 yılı sonrasında hafif ve orta şiddette kuraklıklar şeklinde yaşanmıştır. 2014-2023 yılları arası dönemde ise %60 üzeri değerlerin işaret ettiği normal ve sağlıklı vejetasyon koşulları, kuzey ve kuzeybatıda belirgin şekilde gözlenmekte olup kuraklık şiddetlerinde azalma görülmektedir. Havzanın kuzeyinde (Kazdağları ve çevresi) zamanla kuraklık şiddeti azalmış, eski yıllarda yoğun şekilde meydana gelen kuraklık güney ve güneydoğu kesimlerinde halen zaman zaman etkili ve orta kesimlerde ise tarımsal faaliyetlerin olduğu alanlarda dönemsel kuraklık etkileri gözlenmektedir. Burada ortaya çıkan sonuç, mekânsal ölçekte havzanın kuzey kesimleri kurak koşullara karşı direnç gösterirken, güney kesimleri kurak koşullara karşı hassasiyet göstermektedir.



Şekil 26. Kuzey Ege Havzası ve alt havzalarında aralıklarla seçilen 10 yıllık periyotta temmuz ayı VCI değerlerinin yıllar içerisindeki değişkenliği

Kuzey Ege Havzası'nda aralıklarla seçilen 10 yıllık periyotta elde edilen NDVI ve VCI değerlerine göre, bölgedeki bitki örtüsü gelişimi ve kuraklık şiddeti arasındaki ilişki açıkça ortaya çıkmaktadır. 1985-2008 arası dönemde şiddetli ve aşırı kuraklıkların yüksek frekansı ile NDVI ve VCI değerlerinin oldukça düşük olmasına bağlı olarak havzanın genelinde bitki örtüsü stresinden söz edilebilir. 2014-2023 döneminde ise vejetasyon iyileşmesi ve kuraklık şiddetlerinde azalma olsa da; güney kesimlerde zaman zaman bitki stresi gözlemlenebilmektedir. Yağışların azalması ve sıcaklıklardaki artışların devam etmesiyle, NDVI değerleri ile VCI değerlerinin düşmesi ve bunun sonucunda ilerleyen süreçte Kuzey Ege Havzası'nın özellikle güney kesimlerinde tarımsal kuraklık riskinin artması söz konusu olabilir.

NDVI analizleri, Kuzey Ege Havzası'ndaki bitki örtüsü değişimlerinin kuraklık ve iklim değişikliği etkisiyle nasıl şekillendiğini ortaya koymuştur. Özellikle temmuz aylarında yapılan analizler, bitki örtüsünün kuraklığa karşı tepkisini izlemek açısından oldukça uygun bir zaman dilimi sunmuştur. 1985-2008 döneminde NDVI değerlerinin düşük seyretmesi, bölgedeki bitki örtüsünün uzun süreli su stresi altında olduğunu göstermektedir. 2008 sonrası dönemde NDVI değerlerinde özellikle kuzey kesimlerde görülen artış, bitki örtüsünün kısmen toparlanma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ancak güney ve güneydoğu kesimlerinde düşük NDVI değerleri, kuraklığın bu bölgelerde tarımsal üretim ve doğal ekosistemler üzerinde kalıcı etkiler oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. NDVI sonuçları, kuzey kesimlerin kuraklığa daha dirençli olduğunu, güney kesimlerin ise daha kırılgan bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir.

VCI analizleri, NDVI bulgularını destekler nitelikte olup bitki örtüsünün su stresi altındaki durumunu geçmiş yıllarla kıyaslayarak ortaya koymuştur. Özellikle 1985-2008 döneminde şiddetli ve aşırı kuraklık koşulları güneydoğu ve merkez kısımlarda yoğunlaşırken, 2014-2023 döneminde kuzey ve kuzeybatı kesimlerde sağlıklı vejetasyon koşulları görülmüştür. Ancak güney kesimlerde bitki örtüsünün kuraklığa karşı hâlen kırılgan olduğu anlaşılmaktadır. VCI analizlerinde zamanla kuzey kesimlerin direnç kazandığı, güney kesimlerin ise tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu nedeniyle kuraklık etkilerine açık kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, ilerleyen süreçte özellikle tarımsal kuraklık

riskinin artabileceğini göstermektedir. VCI verileri, tarımsal planlamalarda mekânsal önceliklerin belirlenmesi açısından kritik önemdedir.

4.3. Kuzey Ege Havzası'nda İklimsel Eğilimler

Standardize kuraklık indis değerlerinin 3, 6, 9 ve 12 aylık serilerine uygulanan Gidişler Sınaması (Runs Test) ile kuraklıktaki ısrar bileşeni ve sıcaklık verilerine uygulanan Mann-Kendall (M-K) trend analiziyle zamansal eğilimler ortaya konulmuştur.

4.3.1. Standardize Kuraklık İndisleri Gidişler Sınaması (Runs Test)

SPI indis değerlerinin 3, 6, 9 ve 12 aylık serilerin uygulanan Gidişler Sınaması (Runs Test) sonuçlarına göre yalnızca Akhisar SPI-9 serisinde istatistiksel açıdan %95 düzeyinde (17 gidiş ve 0,029≤0,05) anlamlı sonuca ulaşılmıştır (Tablo 11). SPEI serileri içinde ise sadece Bergama istasyonunun SPEI-12 aylık serisinde %95 düzeyinde (12 gidiş ve 0,028≤0,05) anlamlı sonuç elde edilmiştir (Tablo 12). Akhisar ve Bergama MGİ için Kuzey Ege Havzası MGİ'lerinde EK 9'daki SPI-9 ve Şekil 17'deki SPEI-12 değerlerinin yıllar arası değişkenliği grafiklerindeki serilerde 1985 sonrasındaki süreçte meteorolojik ve tarımsal kuraklık şiddetlerinde dikkat çekici şekilde anlamlı ısrar eğilimleri özellikle bu istasyonlarda uzun dönemli trendlere de işaret etmektedir. SPI ve SPEI serilerinde kuraklığın havza genelinde belirgin bir yönde ısrar bileşeni ile karakterize olmadığı ifade edilebilir. Öyle ki, SPI ve SPEI serilerinin grafiklerinde de belirli bir yönde ısrar (rastgele olmama) durumundan çok kısa ve uzun süreli dalgalanmalar egemendir.

Tablo 11

SPI değerlerinin 3, 6, 9 ve 12 aylık serilerinde gidişler sınaması (Runs Test) (%95 anlamlılık düzeyi: sarı renkte gösterilmiştir)

SPI_3_Runs (Gidişler) Testi

	Akhisar	Ayvalık	Bergama	Burhaniye	Çanakkale	Dikili	Edremit	Manisa
Gidiş Sayısı	21	29	18	20	27	29	28	23
Z	-1,021	1,021	-0,169	0,169	0,438	1,021	0,729	-0,438
Anlamlılık	0,307	0,307	0,866	0,866	0,662	0,307	0,466	0,662

SPI_6_Runs (Gidişler) Testi

	Akhisar	Ayvalık	Bergama	Burhaniye	Çanakkale	Dikili	Edremit	Manisa
Gidiş Sayısı	23	21	16	20	24	23	27	19
Z	-0,438	-1,021	-0,845	0,169	-0,146	-0,438	0,438	-1,605
Anlamlılık	0,662	0,307	0,398	0,866	0,884	0,662	0,662	0,109

SPI_9_Runs (Gidişler) Testi

	Akhisar	Ayvalık	Bergama	Burhaniye	Çanakkale	Dikili	Edremit	Manisa
Gidiş Sayısı	**17**	21	17	16	25	26	23	19
Z	-2,188	-1,021	-0,507	-0,845	0,000	0,146	-0,438	-1,605
Anlamlılık	**0,029**	0,307	0,612	0,398	1,000	0,884	0,662	0,109

SPI_12_Runs (Gidişler) Testi

	Akhisar	Ayvalık	Bergama	Burhaniye	Çanakkale	Dikili	Edremit	Manisa
Gidiş Sayısı	25	24	14	18	26	25	27	23
Z	0,000	-0,146	-1,522	-0,169	0,146	0,000	0,438	-0,392
Anlamlılık	1,000	0,884	0,128	0,866	0,884	1,000	0,662	0,695

Tablo 12

SPEI değerlerinin 3, 6, 9 ve 12 aylık serilerinde gidişler sınaması (Runs Test) (%95 anlamlılık düzeyi: sarı renkte gösterilmiştir)

SPEI_3_Runs (Gidişler) Testi

	Akhisar	Ayvalık	Bergama	Burhaniye	Çanakkale	Dikili	Edremit	Manisa
Gidiş Sayısı	21	29	18	20	25	29	26	23
Z	-1,021	1,021	-0,169	0,169	0,000	1,021	0,146	-0,438
Anlamlılık	0,307	0,307	0,866	0,866	1,000	0,307	0,884	0,662

SPEI_6_Runs (Gidişler) Testi

	Akhisar	Ayvalık	Bergama	Burhaniye	Çanakkale	Dikili	Edremit	Manisa
Gidiş Sayısı	23	21	13	20	26	23	29	23
Z	-0,438	-1,021	-1,860	0,169	0,146	-0,438	1,021	-0,438
Anlamlılık	0,662	0,307	0,063	0,866	0,884	0,662	0,307	0,662

SPEI_9_Runs (Gidişler) Testi

	Akhisar	Ayvalık	Bergama	Burhaniye	Çanakkale	Dikili	Edremit	Manisa
Gidiş Sayısı	23	27	17	16	24	24	26	20
Z	-0,438	0,438	-0,507	-0,845	-0,146	-0,146	0,146	-1,313
Anlamlılık	0,662	0,662	0,612	0,398	0,884	0,884	0,884	0,189

SPEI_12_Runs (Gidişler) Testi

	Akhisar	Ayvalık	Bergama	Burhaniye	Çanakkale	Dikili	Edremit	Manisa
Gidiş Sayısı	23	22	**12**	16	20	24	22	20
Z	-0,438	-0,729	-2,198	-0,845	-1,313	-0,146	-0,729	-1,313
Anlamlılık	0,662	0,466	**0,028**	0,398	0,189	0,884	0,466	0,189

Tablo 13

SDI değerlerinin 3, 6, 9 ve 12 aylık serilerinde gidişler sınaması (Runs Test) (%99 anlamlılık düzeyi: mavi ve %95 anlamlılık düzeyi: sarı renkte gösterilmiştir)

SDI_3_Runs (Gidişler) Testi

	Reşitköy	Tuzla Ayvacık	Çamcı	Tuzla Korubaşı	Zeytinli	Aslanköprü	Yağcılı
Gidiş Sayısı	20	20	23	18	18	14	**11**
Z	-0,469	0,169	0,156	-0,169	0,049	-1,057	-3,281
Anlamlılık	0,639	0,866	0,876	0,866	0,961	0,291	**0,001**

SDI_6_Runs (Gidişler) Testi

	Reşitköy	Tuzla Ayvacık	Çamcı	Tuzla Korubaşı	Zeytinli	Aslanköprü	Yağcılı
Gidiş Sayısı	26	18	25	19	16	16	**15**
Z	1,094	-0,169	0,781	0,000	-0,349	-0,349	-2,031
Anlamlılık	0,274	0,866	0,435	1,000	0,727	0,727	**0,042**

SDI_9_Runs (Gidişler) Testi

	Reşitköy	Tuzla Ayvacık	Çamcı	Tuzla Korubaşı	Zeytinli	Aslanköprü	Yağcılı
Gidiş Sayısı	26	18	25	19	16	16	**15**
Z	1,094	-0,169	0,781	0,000	-0,349	-0,349	-2,031
Anlamlılık	0,274	0,866	0,435	1,000	0,727	0,727	**0,042**

SDI_12_Runs (Gidişler) Testi

	Reşitköy	Tuzla Ayvacık	Çamcı	Tuzla Korubaşı	Zeytinli	Aslanköprü	Yağcılı
Gidiş Sayısı	24	18	25	19	16	16	**15**
Z	0,469	-0,169	0,781	0,000	-0,349	-0,349	-2,031
Anlamlılık	0,639	0,866	0,435	1,000	0,727	0,727	**0,042**

SDI indis değerlerinin 3, 6, 9 ve 12 aylık serileri için gerçekleştirilen Gidişler Sınaması sonuçlarına göre tüm serilerde yalnızca Yağcılı akım gözlem istasyonunda %99 düzeyinde (11 gidiş ve 0,001≤0,01) ve %95 düzeyinde (15 gidiş ve 0,042≤0,05) anlamlılık gözlenmiştir (Tablo 13). Yağcılı AGİ için sırasıyla EK 15, EK 16, Şekil 19 ve EK 17'deki Kuzey Ege Havzası AGİ'lerinde SDI-3, SDI-6, SDI-9 ve SDI-12 değerlerinin yıllar arası değişkenliği grafiklerindeki serilerde 1990 sonrasındaki süreçte hidrolojik kuraklık şiddetlerinde dikkat çekici şekilde anlamlı ısrar eğilimleri uzun dönemli trendlere de işaret etmektedir.

4.3.2. Kuzey Ege Havzası MGİ Sıcaklık Verilerinde Mann-Kendall (M-K) Sıra Korelasyon Katsayısı Trend Analizi

Kuzey Ege Havzası meteoroloji istasyonlarının 1975-2011 (Bergama ve Burhaniye) ve 1975-2023 (Akhisar, Ayvalık, Çanakkale, Dikili, Edremit ve Manisa) yılları arasındaki 12 aya ait olan aylık ortalama sıcaklıkları için Mann-Kendall sıra korelasyon katsayısı trend analizi yapılmıştır. Tablo 14'e bakıldığında Kuzey Ege Havzası'ndaki meteoroloji istasyonlarında sıcaklıklar, özellikle yaz mevsimi ve geçiş dönemlerinde belirgin artış eğilimleri göstermektedir.

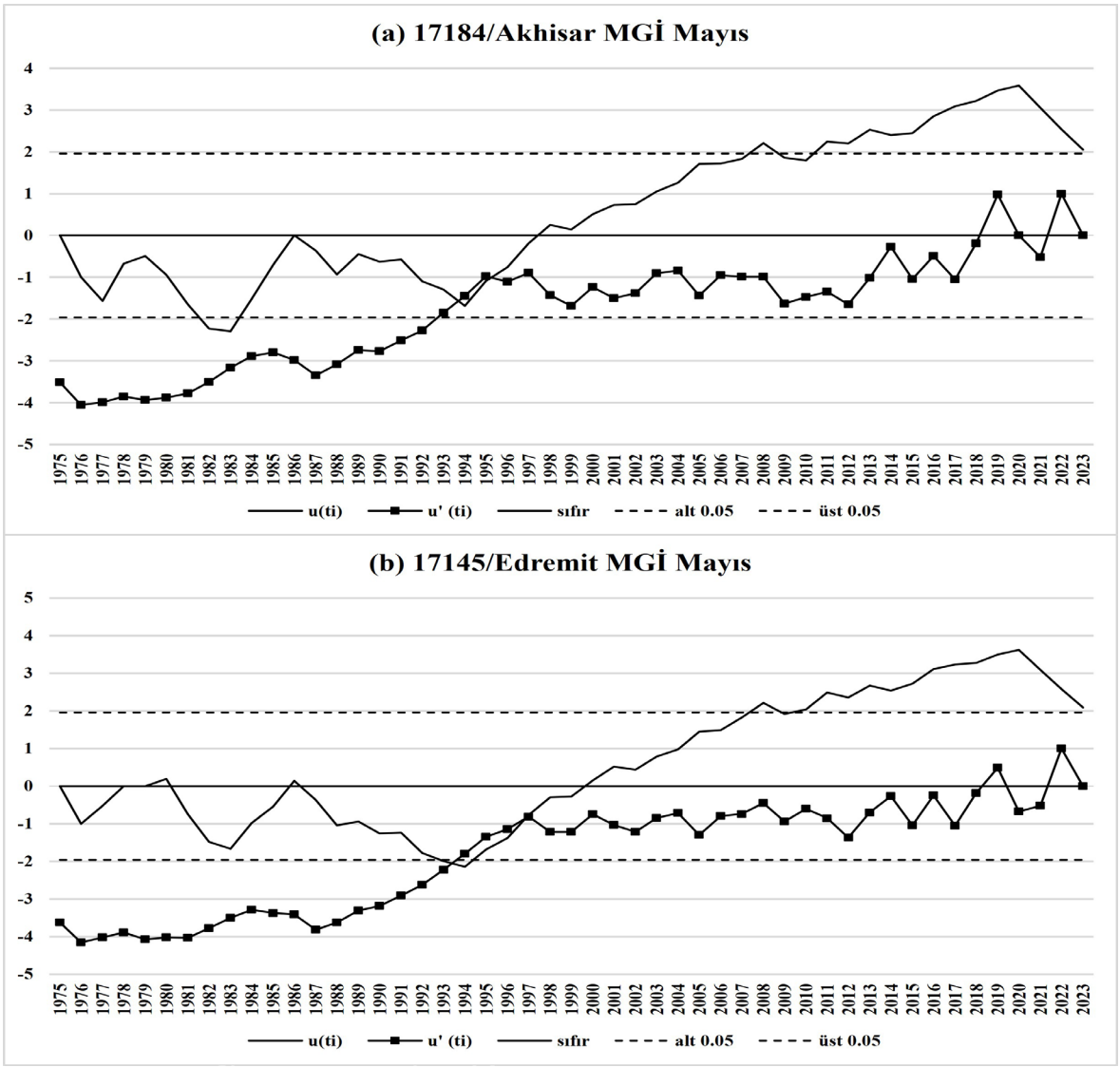
Tablo 14

Kuzey Ege Havzası MGİ aylık ortalama sıcaklık verilerinde Mann-Kendall (M-K) sıra korelasyon katsayısı trend analizi (%99 anlamlılık düzeyi: sarı ve %95 anlamlılık düzeyi: mor renkte gösterilmiştir)

Ay/MGİ	Akhisar (17184)	Ayvalık (17175)	Bergama (17742)	Burhaniye (17722)	Çanakkale (17112)	Dikili (17180)	Edremit (17145)	Manisa (17186)
Ocak u(t)	-1,48	-1,10	-0,81	-0,74	-0,33	-0,55	-0,52	-1,22
Şubat u(t)	0,76	1,07	0,93	1,12	1,14	1,62	1,34	0,83
Mart u(t)	-0,12	0,47	-0,03	0,31	0,90	0,55	0,59	-0,09
Nisan u(t)	0,45	0,33	0,40	0,57	0,66	0,88	1,00	0,72
Mayıs u(t)	**2,05**	1,55	1,69	1,79	**2,62**	**2,09**	**2,09**	1,71
Haziran u(t)	1,50	1,29	0,93	1,57	**2,59**	1,79	1,83	0,02
Temmuz u(t)	**3,02**	**2,83**	**2,78**	**2,97**	**3,83**	**3,15**	**2,65**	**2,24**
Ağustos u(t)	**3,52**	**4,24**	**4,02**	**4,50**	**4,52**	**3,95**	**3,91**	**3,31**
Eylül u(t)	**2,50**	**1,97**	**2,31**	**2,41**	**2,72**	**2,55**	**2,12**	**2,10**
Ekim u(t)	0,66	0,29	0,03	0,83	1,05	0,66	0,95	0,09
Kasım u(t)	1,38	1,28	1,21	1,74	1,57	1,66	1,81	1,00
Aralık u(t)	0,34	0,41	0,29	0,47	0,86	0,71	1,09	0,12

Trend analizine göre (Tablo 14), yaz aylarındaki (haziran, temmuz ve ağustos) sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamlı pozitif sıcaklık artış eğilimleri vardır. Bu durum, iklim değişikliğinin bölgesel ölçekte en belirgin etkilerinin yaz döneminde gözlemlendiğini göstermektedir. Özellikle de temmuz ve ağustos aylarında neredeyse tüm istasyonlarda güçlü ve %99 anlamlılık düzeyinde ($p \leq 0,01$) (sarı ile işaretli) anlamlı artışlar gözlenmiş, haziran ayında ise Çanakkale istasyonunda %99 anlamlılık düzeyinde ($p \leq 0,01$) (sarı ile işaretli) pozitif trendler tespit edilmiştir. Bu bulgu, havza genelinde yaz aylarının giderek daha sıcak

geçtiğini, dolayısıyla tarımsal ve ekolojik sistemler açısından büyük önem taşıyan evapotranspirasyon kayıplarının da artış gösterdiğini işaret etmektedir. Özellikle sulama ihtiyacının en yüksek seviyelere ulaştığı bu dönemde sıcaklık artışlarının su kaynakları üzerinde ek baskılar yaratması muhtemeldir. İlkbahar ve sonbahar aylarında da %95 anlamlılık düzeyinde ($p \leq 0,05$) (mor ile işaretli) anlamlı artışlar dikkat çekmektedir. Mayıs ve eylül aylarında da bazı istasyonlarda (özellikle Akhisar, Dikili ve Edremit) %95 anlamlılık düzeyinde anlamlı ve Çanakkale istasyonunda ise %99 anlamlılık düzeyinde sıcaklık artışları belirlenmiştir. Bu bağlamda, yaz aylarındaki kuvvetli eğilimlere kıyasla daha sınırlı olmakla birlikte, ilkbahar ve sonbahar aylarında da iklimsel ısınma etkisinin göz ardı edilemeyecek düzeyde olduğu söylenebilir. Buna karşın kış aylarında (aralık, ocak ve şubat) ve büyük ölçüde ilkbahar (mart ve nisan) ve sonbahar (ekim ve kasım) aylarında istatistiksel olarak anlamlı bir trend saptanmamıştır. Bu sonuç, mevsimsel farklılıkların belirginleştiğini ve özellikle yaz ile sonbaharın sıcaklık artışlarından daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Özellikle SPI ve SPEI analizlerinde de öne çıkan alt havza alanları içinde yer alan Çanakkale, Akhisar, Dikili ve Edremit istasyonlarında yıl boyunca kuvvetli sıcaklık artışları gözlenmiştir. Çanakkale, Akhisar, Dikili ve Edremit istasyonlarında yıl boyunca güçlü sıcaklık artışlarının gözlemlenmiş olması, söz konusu bölgelerin iklim değişikliğine karşı daha hassas konumda olduğunu ortaya koymaktadır. Sıcaklık artışlarının bu şekilde mevsimsel olarak yoğunlaşmasının kurak koşulları şiddetlendirerek, havzada tarımsal sulama baskısını artırması ve su verimliliğini azaltması olasıdır.



Şekil 27. Kuzey Ege Havzası (a) Akhisar MGİ ve (b) Edremit MGİ aylık ortalama sıcaklık serilerinde Mann-Kendall (M-K) trend değişim eğilimleri (u(ti) eğrisi değişim eğilimini temsil ederken, u'(ti) eğrisi bunun ters serisidir. Pozitif bir u(ti) değeri artan bir eğilimi, ters bir u(ti) değeri ise azalan bir eğilimi gösterir. Anlamlılık düzeyi ±1,96 değeriyle 0,05 olarak tanımlanmıştır. 1,96'dan büyük bir u(ti) değeri önemli bir artış eğilimini, kabaca tersi de benzer şekildedir. Güven aralığı içindeki kesişim noktası (±1,96), değişim noktası olarak alınmıştır)

Kuzey Ege Havzası meteoroloji istasyonlarının uzun süreli aylık ortalama sıcaklık verilerine uygulanan Mann-Kendall (M-K) trend analizinin toplu sonuçları (Tablo 14) incelendiğinde, istasyonlar arasında anlamlı bulunan aylar içerisinde yalnızca Akhisar ve Edremit meteoroloji istasyonlarının grafiklerinde mayıs aylarında kesişim noktası belirgin

bir şekilde ayırt edilebilmektedir (Şekil 27). Mann-Kendall (M-K) sıra korelasyon katsayısı analizi sonuçlarına göre (Şekil 27a ve Şekil 27b), Akhisar ve Edremit meteoroloji gözlem istasyonlarının mayıs ayı sıcaklık serilerinde uzun dönemli bir artış eğilimi saptanmıştır. Akhisar meteoroloji istasyonunda u(ti) ve u'(ti) eğrilerinin kesişim noktaları 1994-1995 yıllarında ve Edremit meteoroloji istasyonunda ise u(ti) ve u'(ti) eğrilerinin kesişim noktaları 1993-1997 yıllarında ortaya çıkmıştır. Her iki istasyonun da sıcaklık serilerinde bir artış eğilimi vardı fakat bu artış eğiliminin anlamlı bir hale geçip daha belirgin olduğu bu yıllar serilerdeki yapısal değişim yılları olarak değerlendirilmektedir. Ancak söz konusu artış eğilimi, bu kesişim noktasını izleyen dönemde giderek güçlenmiş ve 2010 yılı sonrasında u(ti) değerlerinin ±1,96 eşiğini aşmasıyla birlikte istatistiksel olarak anlamlı hale gelmiştir. Dolayısıyla, Akhisar ve Edremit istasyonları için mayıs ayı sıcaklıklarında 1990'ların ortasında başlayan eğilim değişimi, 2010 sonrası dönemde belirgin ve anlamlı bir artış trendine dönüşmüştür. Diğer meteoroloji istasyonlarının anlamlı çıkan ayları için bir kesişim noktasından ve dolayısıyla belirgin bir değişim noktasından söz edilememektedir (EK 18, EK 19, EK 20, EK 21, EK 22, EK 23, EK 24 ve EK 25). Burada bir değişim başlamış ancak istatistiksel olarak belirlenen %95 anlamlılık (0,05 alt ve üst değerler) düzeyine erişemediğinden anlamlı değildir. İstasyonların genelinde neredeyse bütün aylarda baskın olan bir sıcaklık artış eğilimi net bir şekilde gözlemlenmektedir. Ancak istatistiksel olarak tüm istasyonlarda olmasa da bazı istasyonlarda değişim/kırılma noktası çok belirgin şekilde ortaya çıkmıştır. Anlamlılığın yüksek ve değişim/kırılma noktasının belirgin olduğu istasyonlarda anlamlı çıkmasının nedeni, bu değişimin büyüklüğü ile ilgili olup anlamlılığın yüksek olduğu istasyon ve aylarda daha büyük bir değişim olduğu için anlamlı çıkmıştır. Bu değişim geçiş mevsimleri (ilkbahar ve sonbahar) ve özellikle yaz aylarına denk gelmektedir. Bu da aslında artış trendinin gözlem döneminden itibaren belirgin olduğunu; ancak net bir değişim/kırılma noktası olmadığını göstermiştir. Genel olarak da bu eğilim baskındır.

Kuzey Ege Havzası'nda meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık eğilimleri çok boyutlu bir yaklaşımla incelenmiş; elde edilen veriler doğrultusunda kuraklık karakteristikleri, ısrar eğilimleri ve zamansal-mekânsal dağılışları detaylı şekilde ortaya konulmuştur. SPI ve SPEI indis serileri için yapılan Gidişler Sınaması (Runs Test) sonucunda havza genelinde anlamlı sonuçlar gözlenmese de tipik Akdeniz ikliminin gözlendiği Ege Bölgesi kıyılarının incelendiği önceki çalışmalardan Dün ve Gönençgil (2021)

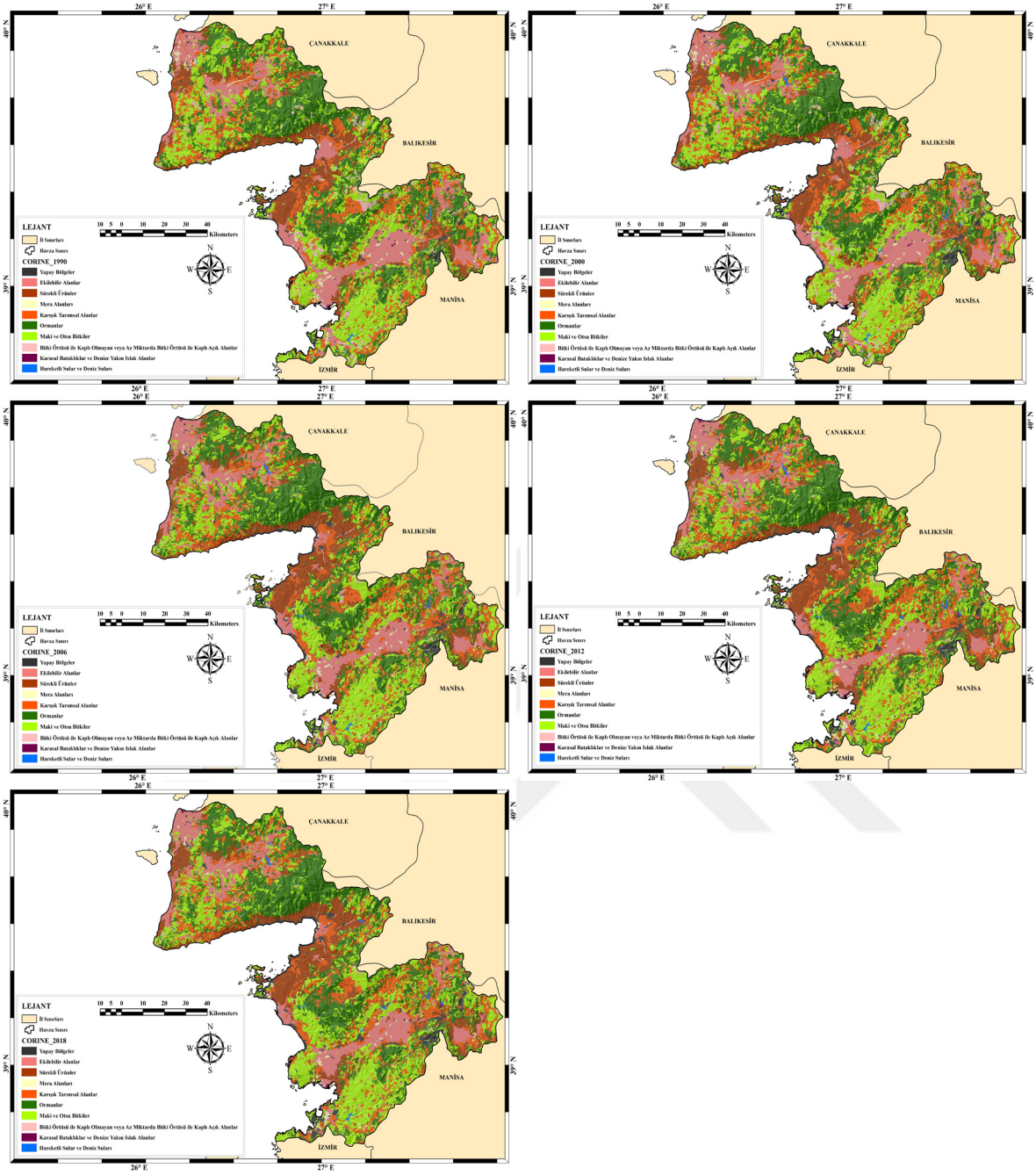
çalışmasındaki Edremit, Burhaniye, Bergama, Seferihisar, Çeşme, Selçuk, Aydın, Datça ve Marmaris istasyonlarında 1990 sonrası belirginleşen maksimum ve minimum sıcaklık artışları, sıcak gün/gece ve sıcak dönemlerin süre, şiddet ve sıklığını artırmış; günlük sıcaklık aralığı daralmış, soğuk ve donlu günler ise azalmış bulgusuyla bu tez çalışmasındaki çalışılan ortak istasyonlar açısından da uyumlu bulgular ortaya çıkmıştır. Kuzey Ege Havzası'nda da sıcaklık trend analizleriyle egemen bir sıcaklık artış trendi ortaya konulmuştur. Sıcaklıklardaki bu artışlar, toprak nemi buharlaşmasını artırarak yağış eksikliğinin yanı sıra kuraklığı şiddetlendiren klimatolojik bir güç olarak öne çıkmaktadır.

SDI analizleri kapsamında 3, 6, 9 ve 12 aylık seriler için yapılan Gidişler Sınaması (Runs Test) sonuçları, özellikle Yağcılı AGİ'de %99 düzeyinde anlamlı ısrar eğilimleri ortaya çıkarmıştır. Bu durum, Yağcılı akım gözlem istasyonunda hidrolojik kuraklıkların uzun dönem boyunca tesadüfi değil, düzenli ve tekrarlayan bir yapı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle 1990 sonrası dönemde SDI-9 ve SDI-12 serilerindeki dikkat çekici ısrar eğilimleri, hidrolojik dengede kırılmalar olduğunu göstermektedir. Bu eğilim, kuzeyden güneye doğru artan kuraklık şiddetiyle birlikte düşünüldüğünde, havzanın güney kesimlerinin hidrolojik kuraklığa daha fazla maruz kaldığını göstermekte olup hidrolojik kuraklıkların ısrarla devam etmesi, su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır.

4.4. Kuzey Ege Havzası'nda Antropojenik Etkiler

4.4.1. Kuzey Ege Havzası CORINE Sınıflandırmasında Arazi Örtüsü Kullanımı ve Değişiminde Gözlenen Eğilimler

Kuzey Ege Havzası'nda 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait CORINE Arazi Örtüsü (CLC) verileri (Şekil 28) kullanılarak yapılan arazi örtüsü değişimi analizi, doğal alanlardan tarım ve yerleşim alanlarına doğru dönüşüm eğilimlerini, orman ve yarı doğal alanların korunma durumunu ve insan etkisiyle oluşan arazi değişimlerini ortaya koymayı amaçlamakta olup arazi örtüsü ve kullanımında belirgin değişim eğilimleri tespit edilmiştir.



Şekil 28. Kuzey Ege Havzası CORINE sınıflandırmasında arazi örtüsü kullanımı ve değişiminde gözlenen eğilimler

Kuzey Ege Havzası CORINE sınıflandırmasında en geniş alanı, yaklaşık olarak %56,88 oranıyla orman ve yarı doğal alanlar (geniş ve ince yapraklı ormanlar, karışık ormanlar, maki ve otsu bitkilerin kapladıkları alanlarla birlikte bitki örtüsünün az olduğu ya da hiç olmadığı kumsallar, kayalıklar ve yanmış sahalar gibi alanların da tamamı) ile %39,52 oranıyla tarımsal alanlar (her türlü şekilde ekilebilir alanlar, sürekli ürünler, meralar ve

karışık tarım alanlarını kapsamakta) oluşturmaktadır. 1990-2000 yıllarında havza genelinde ekilebilir alanlar, sürekli ürünler, ormanlar, maki ve otsu bitkilerin baskın olduğu görülmektedir. 1990-2000 yıllarındaki karışık tarımsal alanlar yerlerini 2006 yılında sürekli ürün alınan alanlara bırakmış olup 2018 yılında ormanlık alanların yayılım sahası daralarak havzanın genelinde daha çok Kazdağları ve çevresinde yoğunluk göstermektedir. 1990 yılında Tuzla Çayı alt havzası kıyıları boyunca yaygın olarak ormanlar, maki ve otsu bitkilerin kapladığı alanın 2006 yılı itibariyle karışık tarımsal alanlar ve sürekli ürün alınan alanlara dönüştürülmesiyle azaldığı görülmektedir. CORINE sınıflandırmasında 1990-2018 yılları arasında tarım alanlarının ve tarım dışı alan şeklinde tanımlanan havza içindeki yerleşim yerlerini de içermekte olan yapay alanların (maden sahaları, endüstriyel alanlar, inşaat sahaları, ulaşım altyapısı, kıyı şeridi boyunca kentleşme ve ikinci konut yapımı, vb.,) özellikle havzanın kıyı kesimlerindeki verimli ovalarda yayılım göstermesiyle bu alanlardaki orman alanları ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca havzanın iç kesimlerindeki kırsal yerleşim yerleri olan mahalle ve köyler de yine yapay alanların ciddi bir kısmına denk gelmekte olup bataklıklar ve tuzlalar gibi ıslak alanlar ise oldukça küçük oranda bir alanı kaplamaktadır. 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarında havzanın Bakırçay alt havzasının daha çok orta ve üst havza kesimlerine denk gelen alanlar ile Güzelhisar Çayı alt havzasındaki yapay bölgelerdeki artış dikkat çekicidir. Özellikle Soma ilinin çevresindeki maden sahalarının Bakırçay alt havzası içinde bulunması, bu havza içerisindeki yapay saha miktarını da arttırmaktadır. Diğer yandan söz edilen sahalarda gerek yerüstü gerekse yeraltı su kalitesi üzerinde önemli derecede etkileri bulunan antropojenik faaliyetler sürdürülmektedir. Kuzey Ege Havzası arazi örtüsü kullanımında gözlenen değişim bulgusu önceki çalışmalarla da uyumludur. Bakırçay Havzası'nda yüksek eğimli ve ormansızlaşmaya yoğun şekilde maruz kalan alanlarda toprak kaybı ve erozyon riskinin oldukça yüksek olduğu, özellikle madencilik faaliyetlerinin bu riski artırdığına dikkat çeken Danacıoğlu ve Tağıl (2017) yanı sıra; Uzun ve Somuncu (2013) ile Üzülmez (2021) çalışmalarında da bölge içerisinde insan faaliyetlerinin arazi kullanımında belirgin değişimlere ve orman tahribatı nedeniyle ormanlık alanların azalmasıyla toprak kaybı riskinin artmasına yol açtığını tespit etmiştir.

Havza genelinde, 1990-2018 yılları arasında arazi kullanım değişimleri içerisinde ekilebilir alanların yayılımının çok fazla değişmeyerek, akarsuların geçtikleri alanlar boyunca en yoğun olduğu bölgeler Karamenderes Çayı ve Bakırçay alt havzalarıdır.

CORINE sınıflandırması içinde 1990-2018 yılları arasında mera alanlarının yayılım sahası oldukça daralmış olup, bu alanlar yerlerini daha çok karışık tarım alanları ve ekilebilir alanlara bırakmıştır. 1990 yılından 2018 yılına kadarki CORINE arazi örtüsü kullanımı ve değişiminde gözlenen eğilimleri; karışık tarımsal faaliyetlerle birlikte ekilebilir alanların artırılması, il ve ilçe merkezlerinin yıllar boyunca nüfus yoğunluğunun (EK 26) artışıyla, özellikle havzanın hidrolojik sınırları içerisindeki kıyı kesimlerinde kent alanlarının ve ikincil konut yapımının genişlemesi, kıyı kesimlerindeki turizm yatırımlarından kaynaklı insan etkilerinin artış göstermesiyle ilişkilidir (EK 36).

4.4.2. Kuzey Ege Havzası'ndaki Su Kaynaklarının Kullanımı ve Geliştirilme Sürecinin Yarattığı Baskılar

Kuzey Ege Havzası'nın genelinde proje halinden, inşa aşamasına ve sonrasında Devlet Su İşleri tarafından işletilmesine kadar toplamda 27 adet baraj, farklı mertebede 4 tanesi içme suyu ve 68 tanesi ise sulama amaçlı kullanılmakta olan toplam 72 tane büyük veya küçük gölet yer almaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020). Barajlar, göller ve göletler genelde tarımsal sulama için yapılsa da yine barajlardan içme ve kullanma suyu temini için su çekimi yapılmaktadır. Özellikle yoğun bir nüfusa sahip olan Ege Bölgesi'nde belli bir zaman boyunca yoğun şekilde yeraltı suyu çekimi, daha sonraki zamanda yüzey sularının kullanımına evrilmiş olup su kaynaklarının geliştirilmesinin yarattığı baskılar ise havza üzerinde etkilidir. Havza ve alt havzalardaki önemli barajlardan; Güzelhisar Barajı 1982 yılında (sulama, içme suyu ve sanayi kullanım suyu amacıyla), Bayramiç Barajı 1992 yılında (sulama ve içme suyu amacıyla), Tuzla/Ayvacık Barajı 2008 yılında (sulama ve içme suyu amacıyla), Madra Barajı 1998 yılında (sulama ve içme suyu amacıyla), Sarıbeyler Barajı 1985 yılında (sulama amacıyla) ve Sevişler Barajı 1981 yılında (sulama ve sanayi kullanım suyu amacıyla) faaliyete geçmiş olup, daha çok 1980 sonrasında barajların inşa edilerek faaliyete geçtiği görülmüştür. Alt havzalardaki barajlar, göletler ve depolama sayıları ile bunlardan yararlanılması açısından Karamenderes Çayı Alt Havzası'nda 26 tane (sulama, içme suyu ve enerji üretimi amaçlı); Tuzla Çayı Alt Havzası'nda 5 tane (sulama ve içme suyu amaçlı); Edremit ve Havran Alt Havzalarında 9 tane (sulama ve içme suyu amaçlı); Karadere-Karınca Deresi Alt Havzası'nda 2 tane (sulama amaçlı); Madra Çayı Alt Havzası'nda 3 tane (sulama ve içme suyu amaçlı); Bakırçay Alt Havzası'nda 28 tane

(sulama, içme suyu, taşkın koruma ve sanayi kullanım suyu); Güzelhisar Çayı Alt Havzası'nda 15 tane (sulama, içme suyu ve kullanma suyu temini amaçlı) şeklinde yararlanılmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018). Kuzey Ege Havzası içerisinde yer alan Bakırçay, Madra Çayı, Güzelhisar Çayı, Karadere-Karınca Deresi, Edremit Çayı ve Havran Çayı alt havzalarını içeren, Balıkesir ve İzmir illeri en yoğun nüfusun olduğu bölgeler olarak su kaynaklarının da sürekli kullanımda olduğu alanları oluşturmaktadırlar ve bu sebeple de kişi başına düşen su miktarı giderek azalma eğilimi göstermektedir (TÜİK, 2022).

Kuzey Ege Havzası'nda uzun süreli kuraklığın son yıllarda ısrar bileşeni ile karakterize olması ve dönemsellik bileşeninin zayıflamasına paralel olarak su verimliliğindeki kısa süreli dalgalanmalar, havza için ilerleyen dönemlerde su yönetimi konusunda zorlukların artmasına ve karmaşıklaşmasına yol açabilir. Bu doğrultuda bölgede, ağırlıklı olarak sulama ve içme suyu temini amaçlı baraj/gölet yapımı yaygındır. Evsel su tüketiminde barajlara bağlılığın düşük seviyelerde olduğu Ege Bölgesi'nde, evsel amaçlı su tüketiminde en fazla su çekimi yapan bölgelerden birisini Ege Bölgesi oluşturmaktadır (Sarış, 2021). 1980 ve sonrasında kısa süre aralıklarla açılmaya başlayan barajlardan yararlanılması yine özellikle 1990 yılından sonra havza içerisindeki bölgede sanayileşmenin hızla yayılmasıyla birlikte bölgenin göç almasıyla nüfusun artması, arazi örtüsündeki hızlı değişimlerle birlikte iklimdeki değişiklikler döneminin şiddeti ile Kuzey Ege Havzası'ndaki kuraklık olgusu sıkı sıkıya ilişkilendirilebilir.

Kuzey Ege Havzası genelinde kuraklık analiz çalışmaları doğrultusunda, nisan-haziran ayları arasında akım gözlem istasyonlarının konumlarına göre yapılan arazi çalışması sonucunda görülmüştür ki havza içerisinde yağış eksiklikleri ve sıcaklık artışlarına bağlı, hidroklimatalojik değişkenlerin etkisi nedeniyle havzaya yağışın kar olarak istenilen ölçüde düşmemesi; yağışların erken vadede azalma eğilimine girmesiyle alt havzalardaki akım seviyeleri nispeten düşük (Şekil 9) olan akarsuların gelmekte olan yağışı da yataklarında tam olarak tutamayarak gelen az miktardaki yağışın direkt akışa geçmesi ve yan kollarının mayıs ayı itibariyle kuru derelere dönüşmesi (EK 35) ve kuraklık şiddetlerindeki artışların yanında; havzanın verimli ovalarında yürütülen tarım ve hayvancılık faaliyetleriyle baraj (EK 32 ve EK 37), göl, gölet, nehir ve akarsulardan yoğun şekilde tarımsal ağırlıklı

olmak üzere tarımsal kullanma suyu şeklinde yararlanılmaktadır. Bunun yanı sıra akarsu kanal degradasyonları (bozulmaları) (örneğin; EK 39'da görüldüğü üzere Bakırçay ana akarsuyunun bir yan kolu olan Yağcılı Deresi kanalının çevresindeki inşaat faaliyetleri sebebiyle bozulması veya EK 31'de görüldüğü üzere Bayramiç/Pınarbaşı mevkiinde Karamenderes ana akarsu kanalının yerinin değiştirilmesi-soldan sağa kaydırılması ve yine tarımsal faaliyeler ile hayvancılık faaliyetlerinin ana akarsu üzerinde baskı yaratması) da antropojenik değişikliklerle birlikte havzada baskı unsuru olarak ortaya çıkmıştır. Bu baskının en yoğun şekilde gözlendiği alan ise Bakırçay alt havzası olup bu bölgedeki yoğun nüfus ve sanayi faaliyetleri de bu baskı da önemli rol oynamaktadır (akış yaz aylarında büyük oranda evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları sayesinde). Diğer yandan Karamenderes Çayı Tuzla Çayı, Edremit Körfezi Suları, Madra Çayı, Zeytinli Çayı, Edremit Çayı, Havran Çayı, Karadere-Karınca Deresi, Karaağaç Deresi, Karakoç Deresi, Madra Çayı ve Güzelhisar Çayı alt havzalarında da yoğun antropojenik etkinlikler ağırlıktadır. Arazi çalışmaları kapsamında inceleme fırsatı bulunan Kuzey Ege Havzası'nın belirli alt havzalarının geneli üzerinde hidroklimatolojik ve antropojenik etkilerin sonuçları; EK 27, EK 28, EK 29, EK 30, EK 31, EK 32, EK 33, EK 34, EK 35, EK 36, EK 37, EK 38 ve EK 39'da verilen saha çalışması fotoğraflarında daha net bir şekilde görülmektedir.

Kuzey Ege Havzası'nda 1990-2018 yılları arasında gerçekleşen arazi örtüsü değişimleri, bölgedeki sosyoekonomik dönüşüm, nüfus artışı, tarımsal faaliyetlerin yoğunlaşması ve turizm yatırımları gibi insan etkilerinin belirgin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. CORINE arazi örtüsü verilerine dayalı analiz, özellikle doğal alanların (ormanlar, makilik ve otsu bitki örtüsü gibi yarı doğal alanlar), tarım alanları ve yapay yerleşim alanlarına dönüşme eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu değişim hem kıyı kesimlerdeki kentleşme baskısı hem de iç bölgelerdeki sulama yatırımlarıyla desteklenen tarımsal genişlemeyle doğrudan ilişkilidir. Havzanın kıyı şeridinde, özellikle turizme dayalı yapılaşmanın artmasıyla birlikte doğal alanlar hızla daralmış ve yerlerini çoğunlukla ikincil konutlar ve kentleşmiş alanlara bırakmıştır. Bununla birlikte, tarımsal faaliyetlerdeki çeşitlilik ve yoğunluk da artış göstermiş; mera alanlarının daralmasıyla birlikte bu bölgeler ekilebilir ve karışık tarım alanlarına dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm, kırsal ekonomiyi kısa vadede desteklese de uzun vadede biyolojik çeşitliliğin azalması, erozyon riski ve arazi bozulması gibi çevresel tehditleri beraberinde getirmektedir. Ormanlık alanlar 1990'lardan

itibaren özellikle Kazdağları ve çevresinde yoğunlaşmış, diğer bölgelerde ise yerleşim ve tarım baskısıyla gerilemiştir. Bu durum, koruma önlemlerinin yalnızca belirli alanlarda etkili olabildiğini, havzanın geneline yayılan etkin bir arazi planlaması ve doğa koruma yaklaşımının ise eksik kaldığını göstermektedir.

Bölgedeki su kaynakları kullanımı da arazi örtüsü değişimiyle paralel bir eğilim göstermektedir. 1980 sonrası hız kazanan baraj ve gölet inşaatları, başta tarımsal sulama olmak üzere içme suyu ve sanayi kullanımına yönelik önemli bir altyapı gelişimini temsil etmektedir (EK 40). Ancak bu gelişim, aynı zamanda havza üzerindeki hidrolojik baskıyı artırmış, yeraltı suyu kullanımından yüzey suyu kullanımına geçişle birlikte suyun daha sistematik ancak potansiyel olarak daha yoğun tüketimine neden olmuştur. Nüfus artışı, sanayileşme ve göç ile artan su talebi; özellikle sulama amaçlı baraj yatırımlarını ön plana çıkarmış, bu da tarımın yaygınlaşmasını ve buna bağlı olarak arazi örtüsünün dönüşümünü hızlandırmıştır. Ancak bu eğilim, uzun vadeli su kıtlığı ve kuraklık olgularının bölge için ciddi bir risk haline gelmesine de neden olmaktadır. Özellikle son yıllarda artan kuraklık şiddeti, arazi kullanımı değişimleri ve su yönetimi politikaları arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir.

CORINE verileri üzerinden yapılan arazi örtüsü analizlerindeki tüm bu süreçlerin kesişiminde CORINE sınıflandırma sistemi (EK 3) kapsamında 3. düzey alt sınıfların her birinin havza içerisindeki toplam alanlarının (ha) 1990 ve 2018 yılları arasındaki farkları hesaplanarak ortaya konulan 1990-2018 yılları arası arazi kullanımının alansal (ha) değişimine (Tablo 15) bakıldığında, Kuzey Ege Havzası'nda özellikle 1990-2018 yılları arasında beşerî baskının giderek arttığı; doğal alanların tarım ve yerleşim (ek olarak endüstriyel ve ticari birimler ile maden çıkarım sahaları) alanlarına dönüştüğü gözlenmiştir. Özellikle kıyı şeridi boyunca kentleşme ve ikinci konut yapımıyla birlikte ormanlık alanlarda ciddi kayıplar yaşanmıştır. Ekilebilir alanlarda belirgin bir yapısal değişim söz konusu olup, karışık tarımsal alanlar daralmıştır. Bunun yanı sıra mera alanlarının ciddi oranda azalması, tarımsal üretim tercihleri açısından önemli bir dönüşümü işaret etmektedir. Havzadaki baraj ve gölet sayısının fazlalığı, su kaynaklarının büyük oranda tarımsal faaliyetlere yönlendirildiğini göstermektedir.

Tablo 15

Kuzey Ege Havzası'nda 1990-2018 yılları arası arazi kullanımının alansal (ha) değişimi

CORINE ARAZİ SINIFLARI		YILLAR		
1/2. Düzey	**3. Düzey**	**1990 (ha)**	**2018 (ha)**	**Fark**
Yapay Alanlar	1.1.1. Sürekli Şehir Yapısı	801,33	1327,76	+526,43
	1.1.2. Kesintili/Süreksiz Şehir Yapısı	33131,54	55053,05	+21921,51
	1.2.1. Endüstriyel ve Ticari Birimler	4488,08	15983,67	+11495,59
	1.2.3. Limanlar	196,22	482,30	+286,08
	1.2.4. Havaalanları	101,81	521,95	+420,15
	1.3.1. Maden Çıkarım Sahaları	9508,75	22539,75	+13031,01
	1.3.2. Boşaltım Sahaları	-	266,38	+266,38
	1.3.3. İnşaat Sahaları	1649,95	2923,53	+1273,58
	1.4.1. Yeşil Şehir Alanları	-	89,82	+89,82
	1.4.2. Spor ve Eğlence Alanları	4112,35	11372,84	+7260,49
Ekilebilir Alanlar	2.1.1. Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	737742,68	196816,09	-540926,59
	2.1.2. Sürekli Sulanan Alanlar	239319,00	536476,81	+297157,81
	2.1.3. Pirinç Tarlaları	3351,82	2891,64	-460,18
Sürekli Ürünler	2.2.1. Üzüm Bağları	2248,31	241,25	-2007,07
	2.2.2. Meyve Bahçeleri	7466,91	22971,46	+15504,55
	2.2.3. Zeytinlikler	419599,27	583714,78	+164115,51
Mera Alanları	2.3.1. Mera Alanları	33123,95	23777,80	-9346,15
Karışık Tarımsal Alanlar	2.4.2. Karışık Tarım Alanları	495095,60	323100,28	-171995,32
	2.4.3. Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları	381682,79	432152,58	+50469,79
Ormanlar	3.1.1. Geniş Yapraklı Ormanlar	141397,74	182803,67	+41405,92
	3.1.2. İğne Yapraklı Ormanlar	1523787,76	1466041,51	-57746,25
	3.1.3. Karışık Ormanlar	307812,15	369280,10	+61467,95
Maki ve Otsu Bitkiler	3.2.1. Doğal Çayırlıklar	348828,89	412551,08	+63722,19
	3.2.3. Sklerofil Bitki Örtüsü	462450,15	352457,74	-109992,41
	3.2.4. Bitki Değişim Alanları	647098,67	774762,81	+127664,15
Bitki Örtüsü ile Kaplı Olmayan veya Az Miktarda Bitki Örtüsü ile Kaplı Açık Alanlar	3.3.1. Sahiller, Kumsallar, Kumlar	7025,52	4430,36	-2595,16
	3.3.2. Kayalıklar	567,44	-	-567,44
	3.3.3. Seyrek Bitki Alanları	87953,38	16776,04	-71177,34
	3.3.4. Yanmış Alanlar	844,99	182,98	-662,01
Karasal Bataklıklar ve Denize Yakın Islak Alanlar	4.1.1. Karasal Bataklıklar	734,66	649,00	-85,66
	4.2.1. Tuz Bataklığı	1734,67	2763,09	+1028,42
	4.2.2. Tuzluklar	299,48	296,11	-3,37
Hareketli Sular ve Deniz Suları	5.1.1. Su Yolları	298,33	347,39	+49,06
	5.1.2. Su Kütleleri	8619,16	16783,91	+8164,75
	5.2.1. Kıyı Lagünleri	311,17	80,88	-230,29
	5.2.2. Nehir Ağızları ve Deltaları	-	105,54	+105,54

Sonuç olarak Kuzey Ege Havzası'ndaki arazi dönüşümleri (Tablo 15), doğal bir değişimden ziyade yoğun ve çok yönlü antropojenik baskıların ürünüdür. Yerleşim, turizm, tarım, altyapı ve su yönetimi uygulamaları havzanın doğal yapısını yeniden şekillendirmiştir. Buna paralel olarak mera alanları, maki ve otsu bitkiler ile bazı orman alt sınıflarında alan kayıpları yaşanırken, su yüzeyleri ve sulak alanlarda sınırlı artış ve azalışların birlikte gerçekleştiği, özellikle bazı ıslak alanlarda daralmaların öne çıktığı görülmektedir. Doğal

ekosistemlerin geri dönüşü zor biçimde sınırlandırılması havzayı giderek daha kırılgan bir ekolojik yapıya dönüştürmüştür. Bu durum, su kaynakları yönetiminde doğal ekosistemlerin korunması ile tarımsal üretim arasındaki dengeyi gözetmenin zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır. CORINE bulguları, kuraklık riskini artıran insan etkisinin somut göstergelerini sunmaktadır.

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Kuzey Ege Havzası ve alt havzalarında meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik olmak üzere kuraklığı çok boyutlu bir perspektifle ortaya koymak, havza içerisinde kuraklığın yayılım karakterinin mekânsal ve zamansal olarak analizini gerçekleştirmek ve havzada kuraklığı kontrol eden temel mekanizmaları ortaya çıkarmak amaçlandı. Hidroklimatolojik değişkenlerin havzadaki vejetasyon üzerine etkileri ve antropojenik süreçlerin kuraklık bakımından yarattığı baskıların değerlendirildiği; böylelikle havzada kuraklık için strateji ve yol haritasının oluşturulması noktasında katkı sağlamanın hedeflendiği çalışmada yağış, sıcaklık ve akım verileri üzerine uygulanan kuraklık indis analizleri, indis değerleri üzerine uygulanan bütünleşik kuraklık analizi, CORINE verileri üzerinden arazi örtüsü değişimleri, uydu görüntüleri üzerinden hesaplanan NDVI ve VCI analizleri, kuraklık indis değerleri üzerine uygulanan Gidişler Sınaması ve sıcaklık verileri üzerine uygulanan Mann-Kendall (M-K) trend analiz yöntemleri değerlendirildi. Çalışma sahasının genel fiziki coğrafya ve beşerî coğrafya özellikleri çalışma sonucunda tespit edilmiş olan bulguların büyük bir kısmına yön vermektedir. Diğer yandan bu hidroklimatalojik ve antropojenik etkiler yapılan arazi çalışmalarıyla gözlemlenmiştir. Tez çalışması sonucunda Kuzey Ege Havzası genelinde ve alt havzaların özeline ait elde edilen bulgular aşağıda verildiği gibi özetlenebilir:

- Kuraklıkların özellikle yaz ve ilkbahar aylarında yoğunlaşması, Akdeniz ikliminin karakteristik özelliğiyle uyumludur. SPI verilerine göre ortaya çıkan bu döngü, hidrolojik denge üzerinde kalıcı etkilere neden olabilecek uzun süreli kuraklık periyotlarının varlığına işaret etmektedir. Alt havzalarda görülen bu kuraklık eğilimi, özellikle su kaynakları yönetimi açısından risk teşkil etmektedir. Kısa ve uzun vadeli SPI serilerinde görülen kuraklıkların bölgesel su kaynakları üzerindeki etkileri dikkate alındığında, iklim değişikliği etkisiyle kuraklıkların süresinde ve şiddetinde artış eğilimi olduğu sonucuna ulaşılabilir.

- SPI sonuçları, Kuzey Ege Havzası'nın genelinde uzun vadede orta derecede kuraklıktan şiddetli ve aşırı kuraklıklara doğru bir yayılmanın olduğunu 1984-1994, 2000-2008 ve 2014-2023 yılları arasında uzun süreli kuraklık şiddetindeki bu kuvvetlenmenin 2013-2015 yıllarından sonra daha da belirginleştiğini; şiddetli ve aşırı kuraklık şiddet sayılarında artışın dikkat çekici olduğunu göstermektedir. Akhisar ve Dikili istasyonlarının kümülatif SPI-6 aylık ve SPI-12 aylık zaman serilerindeki şiddetli ve aşırı kuraklıklardaki zamansal kuvvetlenme eğilimi, Çanakkale ve Edremit'e oranla daha önemlidir ki bu durum da havzanın güneyinde meteorolojik kuraklıkların daha önemli olduğunu vurgulamaktadır.

- Yağış açığı Bergama, Edremit ve Çanakkale istasyonlarda hem kısa hem de uzun vadede diğer istasyonlara göre daha belirgin olup bu istasyonlarda kuraklığın uzun döneme yayıldığının bir göstergesidir. Havzada güneyden kuzeye doğru kuraklık yoğunluğundaki artış, 10-15 yıllık periyotlarla tekrar eden kuraklık döngülerinin iklimsel ritminden kaynaklıdır.

- SPEI analiz sonuçları, kuraklıkların yalnızca yağış eksikliğiyle değil sıcaklık artışıyla da şekillendiğini göstermekte olup 1992-1999, 2000-2008 ve 2014-2023 yılları arasındaki dönemlerde kuraklık şiddeti belirgin bir şekilde artmıştır.

- SPEI-6 ve SPEI-12 analizleriyle 2007-2008, 2012 ve 2023 yıllarında yoğun kuraklıklar tespit edilmiştir. Ayvalık, Dikili, Çanakkale ve Akhisar istasyonlarında sıcaklık artışına bağlı su kayıpları etkili olmuştur.

- SPEI-24 analizlerinde iç kesimlerde (örneğin; Manisa, Akhisar ve Bergama) aşırı kuraklık daha sık gözlenmiştir. SPEI, SPI ile paralel sonuçlar verirken, sıcaklık etkisinin daha yoğun olduğu dönemlerde farklılık göstermektedir. SPEI analizleri tarımsal su stresi, toprak nemi kaybı ve buharlaşmaya bağlı riskleri net biçimde ortaya koymuş olup havzanın genelindeki sıcaklık artışına bağlı kuraklık riski zamanla derinleşmektedir.

- Kısa vadede 3-6-9 aylık zaman ölçeklerinde; Tuzla Ayvacık, Zeytinli, Yağcılı ve Aslanköprü AGİ'leri orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkta öne çıkan istasyonlardır. Havzanın hem kuzeyini (Tuzla, Zeytinli) hem de güneyini temsil eden (Bakırçay-Yağcılı) istasyonlarında akım kuraklıklarında dönemsellik desenlerinin öne çıktığı ifade edilebilir. Alansal olarak daha büyük alt havzalar olan Bakırçay ve Tuzla Çayı'nı temsil eden istasyonlarda uzun süreli dalgalanmalar daha belirginken, küçük alt havzalarda değişkenlik daha yüksek olup kısa süreli dalgalanmalar gözlenmektedir. Uzun süreli kuraklıklarda gözlenen şiddetli ve aşırı kuraklık olayları bakımından da Tuzla ve Zeytinli çayları ön plana çıkmaktadır.

- SDI analizleri sonucunda 1990, 2007-2009 ve 2020-2021 yılları arası dönemler istasyonların geneline endekslenebilecek şekilde orta kurak dönemler olarak öne çıkmaktadır. SDI analizleriyle akım kuraklığı karakteri belirgin şekilde ortaya konularak, 3-6 aylık periyotlarda hafif ve orta kuraklıklar; 9-12-24 aylık periyotlarda ise daha şiddetli ve aşırı kuraklıklar baskındır. Genel olarak Tuzla Ayvacık, Tuzla Korubaşı, Karamenderes, Zeytinli ve Yağcılı AGİ'leri hidrolojik kuraklıktan yoğun şekilde etkilenmiştir.

- SPI-12 ve SPEI-12'nin birleşimiyle oluşturulan BKİ kuraklık indisi, kuraklığın uzun vadede 12 aylık periyotta çok boyutlu analizine imkân tanımıştır. Çanakkale, Edremit ve Manisa istasyonlarında BKİ değerleri, orta, şiddetli ve aşırı kuraklık açısından öne çıkmaktadır. Ortaya çıkan başlıca 2000-2008 ve 2013-2023 dönemleri, hemen hemen tüm istasyonlarda şiddetli kuraklıkların yoğunlaştığı yıllardır. Sıcaklık artışına bağlı buharlaşma, özellikle son yıllarda kuraklık şiddetini artırmıştır.

- 1985-2008 döneminde NDVI değerleri düşük seyretmiş, bu da su stresi ve zayıf vejetasyon durumunu göstermekte olup bitki örtüsünün kuraklığa duyarlı olduğu görülmüştür. 2008 sonrası dönemde kuzey kesimlerde NDVI artışı gözlemlenmiş, bu bölgelerde bitki örtüsünün toparlandığı anlaşılmıştır. Güney ve güneydoğu kesimlerde NDVI değerleri düşük kalmaya devam etmiş, bu durum tarımsal üretim ve ekosistemler açısından risk oluşturmakta olup kalıcı stres koşullarını işaret etmektedir.

- NDVI analizleri, kurak yıllarda özellikle temmuz ayında bitki örtüsünde belirgin düşüşler göstermiştir. Temmuz aylarında yapılan analizler, bitki örtüsünün kuraklığa karşı tepkisini en iyi yansıtan dönemi temsil etmektedir. Bitki örtüsü gelişimi kıyı ve çorak alanlarda zayıf kalırken, Kazdağları ve çevresinde yoğun doğal örtü korunmuştur. Kazdağları çevresi gibi kuzey alanlar daha dirençli; güney kesimler ise kuraklığa veya gizli kuraklık durumlarına karşı daha kırılgandır.

- VCI analizi, bitki örtüsünün mevcut durumunu geçmiş yıllara göre değerlendirerek su stresi koşullarını göstermiştir. VCI sonuçları, NDVI analizlerini desteklemekte; su stresi altındaki vejetasyon durumunu geçmiş yıllarla karşılaştırarak değerlendirmektedir. 1985-2008 döneminde özellikle güneydoğu ve merkez bölgelerde şiddetli ve aşırı kuraklık etkisi gözlenmiştir. 2014-2023 döneminde kuzey ve kuzeybatıda sağlıklı bitki örtüsü gözlemlenmiş, kuraklık şiddeti bu bölgelerde azalmıştır. Tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu güney bölgelerde bitki örtüsü hâlen kırılgan olduğundan kuraklığa karşı hassastır, bu da tarımsal kuraklık riskini artırmaktadır. Zamanla kuzeyde direnç artarken, tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu güney bölgeler daha savunmasız kalmıştır. Bu da gelecekte güneydeki tarımsal kuraklık riskinin artabileceğini göstermektedir.

- SPI, SPEI ve SDI serilerinde belirli istasyonlarda anlamlı ısrar eğilimleri gözlenmiştir. Akhisar MGİ (SPI-9), Bergama MGİ (SPEI-12) ve Yağcılı AGİ (SDI-6, SDI-9 ve SDI-12) serilerinde %95 anlamlılık ile Yağcılı AGİ (SDI-3) serisinde %99 anlamlılık düzeyinde kuraklık ısrarı saptanmıştır. Bu eğilimler, kuraklığın bazı bölgelerde süreklilik kazandığını göstermektedir. Genel olarak SPI, SPEI ve SDI serilerinde belirli yönlü bir ısrar tüm havza geneli için söz konusu değildir; dalgalı bir kuraklık eğilimi hâkimdir.

- Çoğu meteoroloji istasyonunda aylık ortalama sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimi belirlenmiştir. Sıcaklıklar, özellikle yaz mevsimi (haziran, temmuz ve ağustos) ve geçiş mevsimlerinin (mayıs ve eylül ayları) olduğu dönemlerde belirgin artış eğilimi göstermiştir. Özellikle Çanakkale, Akhisar, Dikili ve Edremit istasyonları sıcaklık artış trendlerinde öne çıkmıştır. Bu artışlar kuraklık şiddetini tetikleyen en önemli iklimsel bileşenlerdendir.

- Mann-Kendall trend analizi sonucunda, istasyonlar arasında anlamlı bulunan aylar içerisinde yalnızca Akhisar (1994-1995) ve Edremit (1993-1997) istasyonlarının mayıs ayı sıcaklıklarında yapısal değişim gözlenmiştir. 1990'ların ortasında başlayan trend değişim eğilimi, 2010 sonrası dönemde belirgin ve anlamlı bir artış trendine dönüşmüştür. Söz konusu artış eğilimi, bu kesişim yıllarını izleyen dönemde giderek güçlenmiştir.

- 1990-2018 yılları arasında doğal alanlar (orman, maki, otsu bitki örtüsü) hızla tarım ve yerleşim alanlarına, kıyı kesimlerde kentleşme, ikinci konut ve turizm yatırımları; iç kesimlerde ise sulama odaklı tarımsal genişleme arazi örtüsünü dönüştürmüştür.

- Ormanlık alanlar sadece Kazdağları ve çevresinde yoğun kalmış; diğer bölgelerde gerilemiştir. Mera alanlarının daralmasıyla birlikte bu alanlar tarım arazisine dönüştürülmüştür. Karışık tarım ve sürekli ürün alınan alanlar belirgin şekilde artmıştır. Arazi değişimi, biyolojik çeşitlilik kaybı, erozyon riski ve çevresel baskılara yol açmaktadır.

- Havza genelinde pek çok su yapısı inşa edilmiştir; büyük bölümü sulama amaçlıdır. 1980 sonrası yeraltı sularından yüzey sularına geçişle birlikte su tüketimi yoğunlaşarak, baraj ve gölet inşaatları hız kazanmış; tarımsal sulamaya öncelik verilmiştir. Tarımsal sulama için artan talep, yeraltı ve yüzey su kaynakları üzerinde büyük baskı oluşturmuştur. Yüzey sularına yönelim, su tüketiminde sistematik fakat yoğun bir artışa neden olmuştur.

- Antropojenik faaliyetler (inşaat, kanal değişimleri, sanayi atıkları, tarım ve hayvancılık faaliyetleri, vb.,) akarsu sistemlerinde bozulmaya neden olmuştur. Su kaynakları üzerindeki bu antropojenik baskılar, havzanın birçok alt havzasında belirginleşmiştir. Havzanın verimli ovalarında, özellikle yaz aylarında akarsuların kuruması ve tarım baskısı yoğunlaşmıştır. Bu antropojenik süreçler, uzun vadeli kuraklık riskini artıran temel faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Kuzey Ege Havzası'nda ilkbahar ve yaz kuraklıkları, değişen yağış rejimleri ve artan sıcaklıklara bağlı olarak son kırk yılda hem sürede hem de şiddette belirgin bir artış göstermiştir. Kuzey Ege Havzası ve alt havzalarında kuzey-güney yönünde, kurak şartlardaki dönemsellikler zamansal ölçeklerde belirgin şekilde ortaya çıkmıştır. Bölgesel dağılışta, güney alt havzalarda uzun süreli ve derinleşmiş kuraklıklar, kuzeye kıyasla daha belirgin görülmüş; tarımsal su stresi ve toprak nemi kaybı riskinin yüksek olduğu bu alanlarda, kısa periyotlu kuraklık dalgalanmaları da akış rejimlerinde dönemsel bozulmalara yol açmıştır. Özellikle de 2000-2008 ile 2013-2023 aralıklarındaki dönemlerde orta dereceden şiddetli ve aşırı kuraklığa doğru kayma eğilimi ortaya çıkmıştır.

Uzun dönem kuraklıklar, yağış açığındaki zamansal ilerleme ve sıcaklık artışlarının da etkisiyle buharlaşma ve toprak nemi kayıpları tarımsal kuraklığa, uzun vadede sığ yeraltı akışında ve yeraltı sularındaki seviye düşüşleriyle akımların ortalamanın altına düşmesine, havza içerisindeki kuraklığın meteorolojik kuraklıktan hızla tarımsal ve hidrolojik kuraklığa doğru evrilmesine, bu şekilde de yayılarak su kaynaklarının üzerinde baskıya yol açmaktadır. Yağış rejimlerindeki ve akımlardaki değişkenlikler, havzadaki su kaynakları açısından eşitsizliklere yol açmakta, mevsimsel kaymalardan kaynaklı olarak uzun vadede akımların ortalamanın altına düşmesiyle ana akarsu ve yan kollarının ilkbahar ayları itibariyle tamamen kurumaya başlaması, iklim kriziyle birlikte hızla yükselen nüfus ve buna bağlı artan su ihtiyacı, su yapılarının artışı, arazi kullanımındaki değişimler, havza içerisindeki hidrolojik sistem üzerinde, mevcut ve gelecekteki baskıyı artırmaya devam edecektir. Havzanın güney kesiminde Türkiye'nin yoğun nüfus, sanayi, ticaret ve turizm merkezleri niteliğinde olan önemli şehirlerinin varlığından dolayı su tüketimi daha yüksektir. Bu nedenle, yerel yönetimler yeni sondaj kuyuları açarak ya da yüzey sularından yararlanma yollarını araştırarak su kaynaklarını geliştirme eğilimindedirler. İklimsel değişimlere bağlı olarak kurak dönemlerin sıklaşması ve şiddetini artırmasıyla birlikte havzada artan insan etkinlikleri kaynaklı su çekiminin fazlalaşması, hem ekolojik hem de sosyoekonomik bakımdan su stresi, dönemsel olarak da su azlığına yol açacak süreçlere neden olmaktadır. Bu bağlamda, Kuzey Ege Havzası'nda yapılan çok boyutlu kuraklık analizleriyle özellikle orta, şiddetli ve aşırı kuraklık seviyelerinde artışların yaşandığı ve uzun vadede su kaynaklarının verimlerinin etkilenerek, ciddi baskılar altında kalabilecekleri öngörülmüştür.

Kuzey Ege Havzası'nda kısa vadede kuraklık izleme ve erken uyarı sistemlerinin kurulması; uzun vadede ise bilim temelli, bütüncül ve sürdürülebilir bir su yönetimi yaklaşımının benimsenmesi önerilmektedir. Bu bağlamda, veri altyapısının ve gözlem ağının (MGİ – AGİ) güçlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle Akhisar, Dikili, Tuzla, Yağcılı ve Zeytinli gibi yüksek riskli alt havzalarda kuraklık eylem planları güncellenmeli, iklim projeksiyonlarına dayalı senaryolar geliştirilmelidir. Su tasarruf teknikleri, yenilenebilir su kullanımı, tarımsal su kotaları ve kuraklığa dayanıklı bitkiler desteklenmelidir. Kazdağları çevresindeki doğal örtü korunmalı, madencilik ve inşaat baskıları sınırlandırılmalı; su kalitesi açısından evsel ve endüstriyel kirlilik kontrol altına alınmalıdır. Ayrıca, yerel çiftçilere yönelik iklim ve su yönetimi eğitimleri teşvik edilmelidir.

KAYNAKÇA

Aawar, T., Khare, D. and Singh, L. (2019). "Identifcation of the trend in precipitation and temperature over the Kabul River sub basin: a case study of Afghanistan". *Modeling Earth Systems and Environment,* 5, 1377-1394. https://doi.org/10.1007/s40808-019-00597-9

Abbas, S. and Kousar, S. (2021). "Spatial analysis of drought severity and magnitude using the standardized precipitation index and streamflow drought index over the Upper Indus Basin, Pakistan". *Environ Dev Sustain,* 23, 15314-15340. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01299-y

Aghrab, A., Bouabid, R. and Chafai Elalaoui, A. (2008). "Drought characterization using drought indices in two areas of the Mediterranean Basin: Meknès, Morocco, and Córdoba, Spain". A. López-Francos (ed.). in: *Drought Management: Scientific and Technological İnnovations.* (pp. 193-198). CIHEAM: Zaragoza. http://om.ciheam.org/om/pdf/a80/00800441.pdf

Akacak, A. K. ve Taş, İ. (2021). "Farklı mekânsal enterpolasyon yöntemleriyle alansal yağış hesaplanması: Kuzey Ege Havza örneği". *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi,* 8 (2), 528-539. https://doi.org/10.30910/turkjans.877581

Akar, Ö., Oğuz, İ. ve Yürekli, K. (2015). "İkikara Havzasının kurak ve ıslak dönemlerinin bazı kuraklık indisleri yardımıyla karşılaştırılması". *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG),* 32 (2), 9-13. https://doi.org/10.13002/jafag794

Akbar, T. A., Hassan, Q. K., Ishaq, S., Batool, M., Jannat Butt, H. and Jabbar, H. (2019). "Investigative spatial distribution and modelling of existing and future urban land changes and its impact on urbanization and economy". *Remote Sensing,* 11 (2), 105, 1-15. http://dx.doi.org/10.3390/rs11020105

Akbaş, A. (2014). "Türkiye üzerindeki önemli kurak yıllar". *Coğrafi Bilimler Dergisi,* 12 (2), 101-118. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000155

Akdağ, R. (2015). "Kentsel su sunumunda bir yönetim aracı olarak su talep tahmini". *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* 8 (3), 69-81. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/185173

Akın, B. (2019). "Tuz Gölü Havzası'nın kuraklık analizi". *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi,* 2 (1), 44-56. https://dergipark.org.tr/tr/pub/ucbad/issue/44367/549001

Aksoy, H., Çetin, M., Önöz, B., Yüce, M. İ., Eriş, E., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., Eşit, M., Orta, S. ve Çavuş, Y. (2018). "Hidrolojik havzalarda düşük akımlar ve kuraklık analizi". *Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB)-Türkiye Ulusal Meteorolojik ve Hidrolojik Afetler Programı (TÜMEHAP)-2015-01; Proje Sonuç Raporu.* Erişim: 8 Mart 2025, https://www.tujjb.org.tr/uploads/files/nationalprojects/hidrolojik-havzalarda-dusuk-akimlar-ve-kuraklik-analizi-tujjb-tumehap-2015-01-2240.pdf

Aktürk, G., Zeybekoğlu, U. ve Yıldız, O. (2022). "SPI ve SPEI yöntemleri ile kuraklık araştırması: Kırıkkale örneği". *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi,* 14 (2), 762-776. https://doi.org/10.29137/umagd.1100886

Alashan, S., Gül, E., Toprak, A. ve İkincioğulları, E. (2025). "Investigation of hydrological droughts in the Eastern Mediterranean Basin using hybrid trend analysis methods". *Turkish Journal of Nature and Science,* 14 (2), 73-81. https://doi.org/10.46810/tdfd.1639048

Aslan, D. ve Fıstıkoğlu, O. (2021). "Kuantil regresyon ile istasyon bazlı kuraklıkların büyük ölçekli atmosferik kuraklıklarla ilişkilerinin araştırılması". *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,* 23 (67), 233-246. https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236720

Aydın, M. ve Öz, A. (2021). "Van Gölü havzasında hidrometeorolojik verilerin eğilim analizi". *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi,* 36 (2), 441-456. https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.982808

Aydınözü, D. (2008). "Maki formasyonunun Türkiye'deki yayılış alanları üzerine bir inceleme". *Kastamonu Education Journal,* 16 (1), 207-220. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/819056

Bacanlı, Ü. G. ve Kargı, P. G. (2019). "Uzun ve kısa süreli periyotlarda kuraklık analizi: Bursa örneği". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi,* 5 (1), 166-174. http://dx.doi.org/10.21324/dacd.429391

Bakanoğulları, F. (2020). "SPEI ve SPI indisleri kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi havzasında kuraklık şiddetlerinin analizi". *Toprak Su Dergisi,* 9 (1), 1-10. https://doi.org/10.21657/topraksu.566693

Batan, M. (2021). "Çeşitli kuraklık indisleri ile Batman ilinin kuraklık analizi ve kontur haritalarının çıkarılması". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi,* 7 (2), 252-265. https://doi.org/10.21324/dacd.817903

Bayer Altin, T. and Altin, B. N. (2021). "Response of hydrological drought to meteorological drought in the Eastern Mediterranean Basin of Turkey". *J. Arid Land,* 13 (5), 470-486. https://doi.org/10.1007/s40333-021-0064-7

Bazrafshan, J., Hejabi, S. and Rahimi, J. (2014). "Drought monitoring using the multivariate standardized precipitation index (MSPI)". *Water Resour Manage,* 28, 1045-1060. https://doi.org/10.1007/s11269-014-0533-2

Beranová, R. and Kyselý, J. (2018). "Trends of precipitation characteristics in the Czech Republic over 1961-2012, their spatial patterns and links to temperature and the North Atlantic Oscillation". *International Journal of Climatology,* 38 (1), e596-e606. https://doi.org/10.1002/joc.5392

Bong, C. H. J. and Richard, J. (2020). "Drought and climate change assessment using standardized precipitation index (SPI) for Sarawak River Basin". *Journal of Water and Climate Change,* 11 (4), 956-965. https://doi.org/10.2166/wcc.2019.036

Caloiero, T., Veltri, S., Caloiero, P. and Frustaci, F. (2018). "Drought analysis in Europe and in the Mediterranean Basin using the standardized precipitation index". *Water,* 10 (8), 1043, 1-13. https://doi.org/10.3390/w10081043

Cebeci, İ., Demirkıran, O., Doğan, O., Karagöz Sezer, K., Öztürk, Ö. ve Elbaşı, F. (2019). "Türkiye'nin iller bazında kuraklık değerlendirmesi". *Toprak Su Dergisi,* Özel Sayı, 169-176. https://doi.org/10.21657/topraksu.655613

Chang, J., Li, Y., Wang, Y. and Yuan, M. (2016). "Copula-based drought risk assessment combined with an integrated index in the Wei River Basin, China". *Journal of Hydrology,* (540), 824-834. https://doi.org/10.1016/j.jhidrol.2016.06.064

Chang, J., Yang, J., Wang, Y., Li, Y., Hu, H., Chen, Y., Huang, Q. and Yao, J. (2018). "Comprehensive drought characteristics analysis based on a nonlinear multivariate drought index". *Journal of Hydrology,* 557, 651-667. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.055

Chen, X., Li, F. and Feng, P. (2018). "Spatiotemporal variation of hydrological drought based on the optimal standardized streamflow index in Luanhe River basin, China". *Natural Hazards,* 91, 155-178. https://doi.org/10.1007/s11069-017-3118-6

Cook, B. I., Anchukaitis, K. J., Touchan, R., Meko, D. M. and Cook, E. R. (2016). "Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years". *J. Geophys. Res. Atmos.,* 121, 2060-2074. https://doi.org/10.1002/2015JD023929

Coşkun, S. (2020). "Aras-Kura Kapalı havzasının ortalama sıcaklık, yağış ve akım verilerinin trend analizi (Türkiye)". *Fırat University Journal of Social Sciences,* 30 (2), 29-42. https://doi.org/10.18069/firatsbed.713550

Cuadrat, J. M., Serrano-Notivoli, R., Prohom, M., Cunillera, J., Tejedor, E., Saz, M. Á., de Luis, M., Llabrés-Brustenga, A. and Soubeyroux, J. M. (2024). "Climate of the Pyrenees: Extremes indices and long-term trends". *Science of the Total Environment,* 933, 173052, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173052

Çağlıyan, A. ve Ayhan, G. (2018). "Türkiye'de yağışın mekânsal analizi", *TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu,* 3-6 Ekim 2018, Ankara. 103-120.

Çakmak, B. ve Gökalp, Z. (2013). "Kuraklık ve tarımsal su yönetimi". *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi,* (4), 1-11. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/311593

Çamalan, G. (2022). "SPEI yöntemi ile Türkiye kuraklık tahmini", *11. Ulusal Hidroloji Kongresi,* 13-14 Ekim 2022, Gaziantep. 1-8.

Çelik, M. A. ve Karabulut, M. (2017). "Uydu ve istasyon tabanlı kuraklık indeksleri kullanılarak Akdeniz Bölgesinde kuraklık analizi". *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi,* (5) 44, 341-370. http://dx.doi.org/10.16992/ASOS.12077

Çelik, M. Ö. ve Yakar, M. (2024). "Mersin'in farklı kuraklık indeksleri aracılığıyla kuraklık tehdidinin araştırılması". *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 24 (1), 71-84. https://doi.org/10.35414/akufemubid.1331753

Danacıoğlu, Ş. ve Tağıl, Ş. (2017). "Bakırçay Havzası'nda RUSLE modeli kullanarak erozyon riskinin değerlendirmesi". *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 20 (37), 1-18. https://doi.org/10.31795/baunsobed.645168

De Girolamo, A. M., Barca, E., Leone, M. and Lo Porto, A. (2022). "Impact of long-term climate change on flow regime in a Mediterranean Basin". *Journal of Hydrology: Regional Studies,* 41, 101061, 1-19. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101061

Deitch, M. J., Sapundjieff, M. J. and Feirer, S. T. (2017). "Characterizing precipitation variability and trends in the world's Mediterranean-Climate Areas". *Water,* 9 (4), 259, 1-21. https://doi.org/10.3390/w9040259

Deniz Öztürk, Y. ve Ünlü, R. (2022). "Türkiye'de yapılan kuraklık analiz çalışmaları üzerine bir derleme". *Afet ve Risk Dergisi,* 5 (2), 669-680. https://doi.org/10.35341/afet.1124880

Dikici, M. (2020). "Drought analysis with diferent indices for the Asi Basin (Turkey)". *Scientifc Reports,* (10), 20739, 1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-020-77827-z

Domonkos, P. and Tar, K. (2003). "Long-term changes in observed temperature and precipitation series 1901-1998 from Hungary and their relations to larger scale changes". *Theor Appl Climatol,* 75, 131-147. https://doi.org/10.1007/s00704-002-0716-2

Drobinski, P., Silva, N. D., Panthou, G., Bastin, S., Muller, C., Ahrens, B., Borga, M., Conte, D., Fosser, G., Giorgi, F., Güttler, I., Kotroni, V., Li, L., Morin, E., Önol, B., Quintana Segui, P., Romera, R. and Torma, C. Z. (2018). "Scaling precipitation extremes with temperature in the Mediterranean: past climate assessment and projection in anthropogenic scenarios". *Clim Dyn,* 51, 1237-1257. https://doi.org/10.1007/s00382-016-3083-x

Durmuş, B. ve Bulut, İ. (2023). "Batı Akdeniz'deki ekstrem kuraklık şartlarının SPEI yöntemiyle belirlenmesi". *Türk Coğrafya Dergisi,* (84), 41-52. https://doi.org/10.17211/tcd.1327588

Durmuş, B., Bulut, İ. ve Gönençgil, B. (2021). "Antalya Bölümünde sıcaklık ve yağış indislerinin değişim analizleri". *Türk Coğrafya Dergisi,* (78), 91-108. https://doi.org/10.17211/tcd.1009270

Dün, S. ve Gönençgil, B. (2021). "Ege Bölgesi kıyılarında sıcaklık indislerinin analizi". *Türk Coğrafya Dergisi,* (77), 77-86. https://doi.org/10.17211/tcd.897028

El-Geziry, T. M. (2021). "Analysis of long-term rainfall and air temperature patterns in Alexandria (Egypt)". *Arab J Geosci,* 14, 1199, 1-12. https://doi.org/10.1007/s12517-021-07589-z

Elkollaly, M., Khadr, M. and Zeidan, B. (2018). "Drought analysis in the Eastern Nile basin using the standardized precipitation index". *Environ Sci Pollut Res,* 25, 30772-30786. https://doi.org/10.1007/s11356-016-8347-9

Engebretson, C. (2020). "Landsat Thematic Mapper (TM) Collection 2 (C2) Level 2 (L2) Data Format Control Book (DFCB)". *LSDS-1336 Version 4.0. Landsat Mission Management Officer U.S. Landsat DPAS CCB Chair Geological Survey (USGS). Earth Resources Observation and Science (EROS) Center.* South Dakota: Sioux Falls. https://www.usgs.gov/media/files/landsat-4-5-tm-collection-2-level-2-data-format-control-book

Engebretson, C. (2022). "Landsat 8-9 Operational Land Imager (OLI)-Thermal Infrared Sensor (TIRS) Collection 2 (C2) Level 2 (L2) Data Format Control Book (DFCB)". *LSDS-1328 Version 7.0. Landsat Mission Management Officer U.S. Landsat DPAS CCB Chair Geological Survey (USGS). Earth Resources Observation and Science (EROS) Center.* South Dakota: Sioux Falls. https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-9-olitirs-collection-2-level-2-data-format-control-book

Erişmiş, M. (2023). "Standartlaştırılmış yağış buharlaşma indeksine göre Meriç Nehri havzasında uzun dönem kuraklık analizi". *International Journal of Geography and Geography Education,* (50), 313-328. https://doi.org/10.32003/igge.1297107

Erlat, E. ve Yavaşlı, D. D. (2011). "Ege Bölgesi'nde sıcaklık ekstremlerinde gözlenen değişim ve eğilimlerin değerlendirilmesi". *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi,* 3 (1), 25-38. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000042

Feizi, V., Mollashahi, M., Farajzadeh, M. and Azizi, G. (2014). "Spatial and temporal trend analysis of temperature and precipitation in Iran". *ECOPERSIA,* 2 (4), 727-742. https://ecopersia.modares.ac.ir/article_17128_03e2e05daeebab05db85d5aa0a199255.pdf

Ghasemlounia, R. and Utlu, M. (2024). "Evaluation of drought using meteorological drought indices, a case study: Alanya (Türkiye)". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi,* 10 (1), 192-210. https://doi.org/10.21324/dacd.1359193

Gonçalves, M., Barrera-Escoda, A., Guerreiro, D., Baldasano, J. M. and Cunillera, J. (2014). "Seasonal to yearly assessment of temperature and precipitation trends in the North Western Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution (1971-2050)". *Climatic Change,* 122, 243-256. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0994-y

González-Hidalgo, J. C., Trullenque-Blanco, V., Beguería, S. and Peña-Angulo, D. (2024). "Seasonal precipitation changes in the Western Mediterranean Basin: The case of the Spanish mainland, 1916-2015". *International Journal of Climatology,* 44 (5), 1800-1815. https://doi.org/10.1002/joc.8412

González-Hidalgo, J. C., Vicente-Serrano, S. M., Peña-Angulo, D., Salinas, C., Tomas-Burguera, M. and Beguería, S. (2018). "High-resolution spatio-temporal analyses of drought episodes in the Western Mediterranean Basin (Spanish mainland, Iberian Peninsula)". *Acta Geophysica,* 66, 381-392. https://doi.org/10.1007/s11600-018-0138-x

Gökçe, N. (2022). "Küresel su stresi ve ölçüm yöntemleri". *Bulletin of Economic Theory and Analysis,* 7 (1), 189-208. https://doi.org/10.25229/beta.1117054

Gulakhmadov, A., Chen, X., Gulahmadov, N., Liu, T., Davlyatov, R., Sharofiddinov, S. and Gulakhmadov, M. (2020). "Long-term hydro-climatic trends in the Mountainous Kofarnihon River Basin in central Asia". *Water,* 12 (8), 2140, 1-25. https://doi.org/10.3390/w12082140

Guo, L. and Xia, Z. (2014). "Temperature and precipitation long-term trends and variations in the Ili-Balkhash Basin". *Theor Appl Climatol,* 115, 219-229. https://doi.org/10.1007/s00704-013-0883-3

Gülmez, A. (2022). Ege Bölgesinde Akım Kuraklık İndeksi ve Standart Yağış İndeksinin Ortak İncelenmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.

Gümüş, V. (2017). "Akım kuraklık indeksi ile Asi havzasının hidrolojik kuraklık analizi". *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology,* 5 (1), 65-73. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/290259

Gümüş, V., Başak, A. ve Oruç, N. (2016). "Standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI) yöntemi ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklık analizi". *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi,* 1 (1), 36-44. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/298757

Hadi, S. J. and Tombul, M. (2018). "Long-term spatiotemporal trend analysis of precipitation and temperature over Turkey". *Meteorological Applications,* 25 (3), 445-455. https://doi.org/10.1002/met.1712

Haider, S., Haq, F. and Mark, B. G. (2024). "Analyzing precipitation trends in the Cholistan Desert, Pakistan: a statistical and GIS-based study". *INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL GEOGRAPHICA ANNONICA,* 28 (4), 294-311. https://doi.org/10.5937/gp28-53241

Hao, Z. and AghaKouchak, A. (2013). "Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model". *Advances in Water Resources,* 57, 12-18. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2013.03.009

Hınıs, M. (2013). "Bütünleşik kuraklık indeksi ile Aksaray'da hidrometeorolojik kuraklık analizi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 28 (4), 711-721. https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6705/89140

Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X., Zhang, T. and Pegion, P. (2012). "On the increased frequency of Mediterranean drought". *Journal of Climate,* 25, 2146-2161. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00296.1

Hoffmann, P. and Spekat, A. (2021). "Identification of possible dynamical drivers for long-term changes in temperature and rainfall patterns over Europe". *Theor Appl Climatol,* 143, 177-191. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03373-3

Hong, X., Guo, S., Xiong, L. and Liu, Z. (2015). "Spatial and temporal analysis of drought using entropy-based standardized precipitation index: a case study in Poyang Lake

basin, China". *Theor Appl Climatol,* 122, 543-556. https://doi.org/10.1007/s00704-014-1312-y

Hong, X., Guo, S., Zhou, Y. and Xiong, L. (2014). "Uncertainties in assessing hydrological drought using streamflow drought index for the upper Yangtze River basin". *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,* 29 (4), 1235-1247. https://doi.org/10.1007/s00477-014-0949-5

Huang, S., Huang, Q., Chang, J., Zhu, Y., Leng, G. and Xing, L. (2015). "Drought structure based on a nonparametric multivariate standardized drought index across the Yellow River Basin, China". *Journal of Hydrology,* (530), 127-136. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.042

Ilgar, R. (2013). "Çanakkale'de kuraklık durumu ve eğilimlerinin standartlaştırılmış yağış indisi ile belirlenmesi". *Marmara Coğrafya Dergisi,* (22), 183-204. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3218

IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report_smaller.pdf

Jakob, D. and Walland, D. (2016). "Variability and long-term change in Australian temperature and precipitation extremes". *Weather and Climate Extremes,* 14, 36-55. http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2016.11.001

Karabulut, M. (2012). "Doğu Akdeniz'de ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi". *KSÜ Doğa Bilimler Dergisi,* Özel Sayı, 37-44. https://www.academia.edu/6439059/Do%C4%9Fu_Akdenizde_Ekstrem_Maksimum_ve_Minimum_S%C4%B1cakl%C4%B1klar%C4%B1n_Trend_Analizi_Analayzes_of_Extrem_Maxsimum_and_Mininum_Temperature_at_the_East_Mediterranian

Karadaş, S. ve İmamoğlu, A. (2019). "Süvari Çayı Havzası'nın uzaktan algılama teknikleriyle (NDVI) normalize fark bitki indeks analizi", *TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi,* 23-25 Ekim 2019, Ankara. 1-8.

Karakaş Özür, N. ve Ataol, M. (2018). "Türkiye'de CORINE verilerinin kullanılmasına dair değerlendirme". *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 9 (2), 110-130. https://dergipark.org.tr/tr/pub/jiss/issue/42297/474900

Karaman, S. ve Gökalp, Z. (2010). "Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkileri". *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi,* 3 (1), 59-66. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/412801

Katipoğlu, O. M., Yeşilyurt, S. N. ve Dalkılıç, H. Y. (2022). "Yeşilırmak Havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve yenilikçi şen yöntemi ile trend analizi". *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,* 12 (2), 422-442. https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1026893

Kayan, O. ve Erlat, E. (2024). "Ege Bölgesi'nde standardize yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi (1951-2022)". *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 61 (2), 249-258. https://doi.org/10.20289/zfdergi.1412233

Kermen, Ç. (2019). Küçük Menderes Havzasında Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Keskiner, A. D. ve Çetin, M. (2023). "Kuraklık gidiş ve büyüklüğünün zaman ve mekân boyutunda belirlenmesi: Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) alanında bir uygulama". *Politeknik Dergisi,* 26 (3), 1079-1089. https://doi.org/10.2339/politeknik.1000596

Keyantash, A. J. and Dracup, A. J. (2004). "An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage". *Water Resources Research,* 40, W09304, 1-13. http://dx.doi.org/10.1029/2003WR002610

Khozima, M. Y., Aşık, S., Yıldırım, T., Abdelmalik, A. M. and Khashoggi, A. J. (2020). "Agricultural drought monitoring using surface temperature and vegetation indices from satellite images". *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi,* Özel Sayı, 151-160. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1432254

Kırtorun, E. ve Karaer, F. (2018). "Su yönetimi ve suyun sürdürülebilirliği". *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi,* 1 (2), 151-159. https://dergipark.org.tr/tr/pub/smutgd/issue/41240/453264

Knippertz, P., Christoph, M. and Speth, P. (2003). "Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates". *Meteorol Atmos Phys,* 83, 67-88. https://doi.org/10.1007/s00703-002-0561-y

Köken, E. (2009). Dicle Havzası Düşük Akım Karakteristiklerinin Bölgeselleştirilmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Kubiak-Wójcicka, K., Owczarek, M., Chlost, I., Olszewska, A. and Nagy, P. (2023). "Assessment of meteorological drought trends in a selected coastal basin area in Poland—A case study". *Water,* 15 (15), 2836, 1-20. https://doi.org/10.3390/w15152836

Kumanlıoğlu, A. ve Fıstıkoğlu, O. (2019). "Yukarı Gediz Havzası yağışlarının meteorolojik kuraklık analizleri". *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,* 21 (62), 509-523. https://doi.org/10.21205/deufmd.2019216216

Küçükali, U. F. ve Atabay, S. (2013). "Havzaların fiziki planlamasına ekolojik yaklaşım". *Turkish Journal of Scientific Reviews,* (1), 180-183. https://dergipark.org.tr/en/pub/derleme/issue/35088/389187

Laseter, S. H., Ford, C. R., Vose, J. M. and Swift, L. W. (2012). "Long-term temperature and precipitation trends at the Coweeta Hydrologic Laboratory, Otto, North Carolina, USA". *Hydrology Research,* 43 (6), 890-901. https://doi.org/10.2166/nh.2012.067

Li, Y., Zheng, X., Lu, F. and Ma, J. (2012). "Analysis of drought evolvement characteristics based on standardized precipitation index in the Huaihe River Basin". *Procedia Engineering,* 28, 434-437. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.746

Lionello, P. and Scarascia, L. (2018). "The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming". *Reg Environ Change,* 18, 1481-1493. https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1

Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, C. N., Yong, B., Shafer, M. A., Riley, R. and Hocker, J. E. (2012). "Hydro-climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin, Oklahoma". *Water Resour Manage,* 26, 2761-2779. https://doi.org/10.1007/s11269-012-0044-y

Lu, H., Jing, W., Zhao, J., Liu, X. and Huang, Z. (2014). "Characteristics of the temporal variation in temperature and precipitation in China's Lower Yellow River Region". *Advances in Meteorology,* 2014 (1), 186823, 1-15. https://doi.org/10.1155/2014/186823

Manzoor, S. and Ahanger, M. A. (2022). "Spatio-temporal trends in precipitation and temperature means/extremes in the Himalayan states of India". *Journal of Water and Climate Change,* 13 (7), 2531, 1-28. https://doi.org/10.2166/wcc.2022.395

Marcos-Garcia, P., Lopez-Nicolas, A. and Pulido-Velazquez, M. (2017). "Combined use of relative drought indices to analyze climate change impact on meteorological and hydrological droughts in a Mediterranean Basin". *Journal of Hydrology,* 554, 292-305. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.028

Mariotti, A. and Dell'Aquila, A. (2012). "Decadal climate variability in the Mediterranean region: roles of large-scale forcings and regional processes". *Clim Dyn,* 38, 1129-1145. https://doi.org/10.1007/s00382-011-1056-7

Mariotti, A., Pan, Y., Zeng, N. and Alessandri, A. (2015). "Long-term climate change in the Mediterranean region in the midst of decadal variability". *Clim Dyn,* 44, 1437-1456. https://doi.org/10.1007/s00382-015-2487-3

Mathbout, S., Lopez-Bustins, J. A., Royé, D. and Martin-Vide, J. (2021). "Mediterranean-scale drought: regional datasets for exceptional meteorological drought events during 1975-2019". *Atmosphere,* 12, 941, 1-45. https://doi.org/10.3390/atmos12080941

McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales", *Eighth Conference on Applied Climatology,* 17-22 January 1993, American Meteorological Society, California. 179-184. https://www.scinapse.io/papers/2153179024

Mengü, G. P., Anaç, S. ve Özçakal, E. (2011). "Kuraklık yönetim stratejileri". *Journal of Agriculture Faculty of Ege University,* 48 (2), 175-181. https://dergipark.org.tr/tr/pub/zfdergi/issue/5101/69652

Milano, M., Ruelland, D., Fernandez, S., Dezetter, A., Fabre, J. and Servat, E. (2012). "Facing climatic and anthropogenic changes in the Mediterranean Basin: What will be the medium-term impact on water stress?". *Comptes Rendus Geoscience,* 344 (9), 432-440. http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2012.07.006

Molden, D. (1997). *Accounting for Water Use and Productivity (SWIM Paper 1).* International Irrigation Management Institute (IIMI): Colombo, Sri Lanka. https://hdl.handle.net/10568/36522

Mondal, A., Khare, D. and Kundu, S. (2015). "Spatial and temporal analysis of rainfall and temperature trend of India". *Theor Appl Climatol,* 122, 143-158. https://doi.org/10.1007/s00704-014-1283-z

Mucan, U. ve Yıldırım, M. (2023). "Çanakkale ilinin uzun yıllar iklim verilerine bağlı kuraklık analizi". *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi,* 11 (2), 339-350. https://doi.org/10.33202/comuagri.1395101

Nalbantis, I. (2008). "Evaluation of a hydrological drought index". *European Water,* 23 (24), 67-77. https://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2008_23-24_06.pdf

Nasanbat, E., Sharav, S., Sanjaa, T., Lkhamjav, O., Magsar, E. and Tuvdendorj, B. (2018). "Frequency analysis of modis NDVI time series for determining hotspot of land degradation in Mongolia". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* XLII-3, 1299-1304. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1299-2018

OCHA. (2023). *İnsani Veri Değişimi (The Humanitarian Data Exchange).* Erişim: 5 Ocak 2025, https://data.humdata.org/dataset/cod-ab-tur-rimwge

Ogunrinde, A. T., Adeyeri, O. E., Xian, X., Yu, H., Jing, Q. and Faloye, O. T. (2024). "Long-term spatiotemporal trends in precipitation, temperature, and evapotranspiration across Arid Asia and Africa". *Water,* 16 (22), 3161, 1-29. https://doi.org/10.3390/w16223161

Onuşluel Gül, G. (2024). "Türkiye'de tarımsal kuraklığın uzaktan algılama verileri ile Google Earth Engine üzerinden izlenmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 30 (1), 71-80. https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/83370/1445238

Özçelik, Ş. ve Akkuzu, E. (2023). "Ege Bölgesinde standart yağış evapotranspirasyon indeksi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi". *Journal of Agriculture Faculty of Ege University,* 60 (3), 515-528. https://doi.org/10.20289/zfdergi.1286331

Özelkan, E. (2019). "Uzaktan algılama ile belirlenen baraj gölü alanının zamansal değişiminin meteorolojik kuraklık ile değerlendirilmesi: Atikhisar Barajı (Çanakkale) örneği". *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi,* 6 (4), 904-916. https://doi.org/10.30910/turkjans.633634

Özfidaner, M., Şapolyo, D. ve Topaloğlu, F. (2018). "Seyhan Havzası akım verilerinin hidrolojik kuraklık analizi". *Toprak Su Dergisi,* 7 (1), 57-64. https://doi.org/10.21657/topraksu.410140

Özkan, S. ve Partal, T. (2024). "Yeşilırmak Havzasında düşük akarsu akımlarının analizi". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi,* 10 (1), 77-88. https://doi.org/10.21324/dacd.1332448

Öztürk, O. (2019). Kuzey Ege Havzalarında Yüksek Akım ve Taşkın Analizi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale.

Özüpekçe, S. (2021). "Batı Akdeniz havzaları ve yakın çevresinde kuraklık eğilimi ve su kaynakları ile ilişkisi". *International Journal of Geography and Geography Education,* (43), 317-337. https://doi.org/10.32003/igge.790949

Özvan, H., Arık, B., Yeler, O., Şatır, O. ve Bostan, P. (2023). "Alansal değişimin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknikleri kullanılarak belirlenmesi: Karataş Gölü ve çevresi örneği". *PEYZAJ,* 5 (1), 30-39. https://doi.org/10.53784/peyzaj.1287192

Panda, A. and Sahu, N. (2019). "Trend analysis of seasonal rainfall and temperature pattern in Kalahandi, Bolangir and Koraput districts of Odisha, India". *Atmospheric Science Letters,* 20 (1), e932, 1-10. https://doi.org/10.1002/asl.932

Paredes-Trejo, F., Barbosa, H. A., Giovannettone, J., Lakshmi Kumar, T. V., Thakur, M. K. and de Oliveira Buriti, C. (2021). "Long-term spatiotemporal variation of droughts in the Amazon River Basin". *Water,* 13 (3), 351, 1-26. https://doi.org/10.3390/w13030351

Philandras, C. M., Nastos, P. T., Kapsomenakis, J., Douvis, K. C., Tselioudis, G. and Zerefos, C. S. (2011). "Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region." *Natural Hazards and Earth System Sciences,* 11, 3235-3250, https://doi.org/10.5194/nhess-11-3235-2011

Phuyal, S. (2024). "Precipitation in Kathmandu Valley: A spatial-temporal study". *International Journal of Environment and Climate Change,* 14 (9), 266-278. https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i94410

Piervitali, E., Colacino, M. and Conte, M. (1997). "Signals of climatic change in the Central-Western Mediterranean Basin". *Theor Appl Climatol,* 58, 211-219. https://doi.org/10.1007/BF00865021

Repel, A., Zelenáková, M., Jothiprakash, V., Hlavatá, H., Blišťan, P., Gargar, I. and Purcz, P. (2021). "Long-term analysis of precipitation in Slovakia". *Water,* 13 (7), 952, 1-13. https://doi.org/10.3390/w13070952

Salvati, L., Venezian-Scarascia, M. E. and Zitti, M. (2009). "Monitoring drought severity in agriculture through a synthetic index based on dry periods: A case study in the Mediterranean Basin". *Irrigation and Drainage,* 58 (5), 596-606. https://doi.org/10.1002/ird.441

Sarı, H. ve Özşahin, E. (2016). "CORINE sistemine göre Tekirdağ ilinin AKAÖ (arazi kullanımı/arazi örtüsü) özelliklerinin analizi/Analysis of LULC (Landuse/Landcover) Characteristics of Tekirdag Province based on the CORINE System". *Alinteri Journal of Agriculture Science,* 30 (1), 13-26. https://dergipark.org.tr/tr/pub/alinterizbd/issue/24325/257756

Sarış, F. (2016). "Porsuk Çayı Havzasında düşük akım analizi". *İstanbul Coğrafya Dergisi,* (33), 73-81. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/365658

Sarış, F. (2021). "Türkiye'de evsel su tedarik ve tüketim istatistiklerinin değerlendirilmesi". *Coğrafi Bilimler Dergisi,* 19 (1), 195-216. https://doi.org/10.33688/aucbd.883794

Sarış, F. ve Gedik, F. (2021). "Konya Kapalı Havzası'nda meteorolojik kuraklık analizi". *Journal of Geography,* (42), 295-308. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1596977

Serkendiz, H. ve Tatlı, H. (2023). "Sosyo-ekonomik ve biyofiziksel bileşenlerine dayalı geliştirilen dirençlilik indeksi ile Türkiye'de kuraklığın incelenmesi". *Dirençlilik Dergisi,* 7 (1), 73-91. https://doi.org/10.32569/resilience.1196557

Serkendiz, H., Tatli, H., Kılıç, A., Çetin, M. and Sungur, A. (2023). "Analysis of drought intensity, frequency and trends using the spei in Turkey". *Theoretical and Applied Climatology,* 155, 2997-3012. https://doi.org/10.1007/s00704-023-04772-y

Serkendiz, H., Tatli, H., Özelkan, E. and Çetin, M. (2025). "Machine learning and geographic information systems-based framework for multidimensional analysis of cascading drought impacts using remote sensing and in-situ data". *Science of the Total Environment,* 1001, 180504, 1-24. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180504

Shah, D. and Mishra, V. (2020). "Integrated drought index (IDI) for drought monitoring and assessment in India". *Water Resources Research,* 56 (2), 1-22. https://doi.org/10.1029/2019WR026284

Şarlak, N., Muratoğlu, A. ve Tiğrek, Ş. (2024). "Devegeçidi Baraj Gölü meteorolojik-hidrolojik-tarımsal kuraklık analizi". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi,* 10 (1), 16-28. https://doi.org/10.21324/dacd.1280267

Şener, E. ve Şener, Ş. (2021). "SPI ve CZI kuraklık indislerinin CBS tabanlı zamansal ve konumsal karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası örneği". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi,* 7 (1), 41-58. https://doi.org/10.21324/dacd.800036

Şimşek, O. (2021). "Hydrological drought analysis of Mediterranean basins, Turkey". *Arabian Journal of Geosciences,* 14, 2136, 1-17. https://doi.org/10.1007/s12517-021-08501-5

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2020). *Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) Yönetmeliği'nin Uygulanmasının Desteklenmesi Projesi: Kapsam Belirleme Raporu-Nitrat Eylem Planı (TR2018 ESOP MI A3 12/CNP/03) Kuzey Ege Havzası için Nitrat Eylem Planı SÇD Pilot Projesi.* Erişim: 4 Şubat 2025,

https://webdosya.csb.gov.tr/db/scd/icerikler/scd_nep_kapsam-bel-rleme_f-nal-tr-20200529101342.pdf

T.C. İstanbul Valiliği. (2023). *Tarımsal Kuraklıkla Mücadele Strateji ve Eylem Planı (2023-2027).* Erişim: 8 Şubat 2025, https://istanbul.tarimorman.gov.tr/Belgeler/%C4%B0stanbul%20Tar%C4%B1msal%20Kurakl%C4%B1k%20Eylem%20Plan%C4%B1%20(2023-2027)-%C3%A7%C4%B1kt%C4%B1.pdf

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi: Kuzey Ege Havzası Proje Nihai Raporu.* Erişim: 3 Şubat 2025, https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim_Nihai_Rapor_Kuzey_Ege_Ek_6_REV_nihai.pdf

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2018). *I. Cilt: Havzanın Genel Tanıtımı ve Kuraklık Analizleri.* Erişim: 3 Şubat 2025, https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/KURAKLIK%20Y%C3%96NET%C4%B0M%20PLANLARI%2009.01.2023/Kuzey%20Ege%20Havzas%C4%B1%20Kurakl%C4%B1k%20Y%C3%B6netim%20Plan%C4%B1%20Cilt%201.pdf

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2021). *Kuzey Ege Nehir Havzası Yönetim Planının Hazırlanması Projesi: Stratejik Çevresel Değerlendirme Raporu.* Erişim: 3 Şubat 2025, https://webdosya.csb.gov.tr/db/scd/icerikler/kuzey-ege-nhyp-taslak-scd-raporu-20211111085245.pdf

Taylan, D., Aydın, T., Baykal, T. and Terzi, Ö. (2023). "Temporal analysis of meteorological and hydrological drought in the Middle Mediterranean Basin". *Bilecik Seyh Edebali University Journal of Science,* 10 (1), 82-94. https://doi.org/10.35193/bseufbd.1146214

Taylan, E. D. ve Damçayırı, D. (2016). "Isparta Bölgesi yağış değerlerinin IDW ve kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini". *Teknik Dergi,* 27 (3), 7551-7559. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/284992

Tekkanat, İ. ve Sarış, F. (2015). "Porsuk Çayı Havzasında akarsu akımlarında gözlenen uzun dönemli eğilimler". *Türk Coğrafya Dergisi,* (64), 69-83. https://doi.org/10.17211/tcd.44842

Terzi, T. B. and Önöz, B. (2025). "Drought analysis based on nonparametric multivariate standardized drought index in the Seyhan River Basin". *Natural Hazards,* 121, 11051-11078. https://doi.org/10.1007/s11069-025-07234-y

Tian, Q., Wang, F., Tian, Y., Jiang, Y., Weng, P. and Li, J. (2023). "Copula-based comprehensive drought identification and evaluation over the Xijiang River Basin in South China". *Ecological Indicators,* (154), 110503. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110503

Topçu, E. ve Karaçor, F. (2021). "Erzurum istasyonunun standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi ve bütünleşik kuraklık indeksi kullanılarak kuraklık analizi". *Politeknik Dergisi,* 24 (2), 565-574. https://doi.org/10.2339/politeknik.682168

Tufa, Z. D., Bekele, W., Abebe, H., Bultuma, B. and Mengistu, B. (2024). "Long term historical precipitation and temperature trend analysis for selected stations in Bale and East Bale Zones of Southeastern Ethiopia". *International Journal of Atmospheric and Oceanic Sciences,* 8 (1), 24-29. https://doi.org/10.11648/j.ijaos.20240801.12

Tuğrul, T. ve Hınıs, M. A. (2023). "Konya Apa Barajı havzasında meteorolojik ve hidrolojik kuraklık trend analizi". *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi,* 13 (1), 151-163. https://doi.org/10.7212/karaelmasfen.1203887

Turhan, E. ve Değerli, S. (2021). "Fırtına Deresi Alt Havzası akım verilerine dayalı 1965-2015 yılları arası nemli ve kurak dönemlerin analizi". *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi,* 11 (1), 277-288. https://doi.org/10.31466/kfbd.915979

TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü. (2010). *Havza Koruma Eylem Planı Kuzey Ege Havzaları Nihai Rapor.* Erişim: 2 Şubat 2025, https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/havza%20koruma%20eylem%20planlar%C4%B1/Kuzey_Ege_Havzasi.pdf

Türkeş, M. (2011). "Akhisar ve Manisa yörelerinin yağış ve kuraklık indisi dizilerindeki değişimlerin hidroklimatolojik ve zaman dizisi çözümlemesi ve sonuçların çölleşme

açısından coğrafi bireşimi". *Coğrafi Bilimler Dergisi,* 9 (1), 79-99. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000119

Türkeş, M., Koç, T. ve Sarış, F. (2007). "Türkiye'nin yağış toplamı ve yoğunluğu dizilerindeki değişikliklerin ve eğilimlerin zamansal ve alansal çözümlemesi". *Coğrafi Bilimler Dergisi,* 5 (1), 57-73. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000073

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2022). *Belediye su istatistikleri.* Erişim: 8 Şubat 2025, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2024). *2024 Nüfus verileri.* Erişim: 16 Nisan 2025, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr

Ulusal Kuraklık Azaltma Merkezi (NDMC). (2018). *SPI Generator [yazılım].* Nebraska Üniversitesi, Lincoln. Erişim: 8 Şubat 2025, https://drought.unl.edu/Monitoring/SPI/SPIProgram.aspx

Uzun, A. ve Somuncu, M. (2013). "Madra Dağı ve çevresinin arazi örtüsü/kullanımındaki zamansal değişimin uzaktan algılama yöntemi ile değerlendirilmesi". *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 16 (30), 1-21. https://dergipark.org.tr/tr/pub/baunsobed/issue/50175/645682

Üzülmez, M. (2021). "Ahmetli ilçesinde arazi örtüsünün/kullanımının zamansal değişimi (1995-2015)". *Mavi Atlas,* 9 (2), 133-147. https://doi.org/10.18795/gumusmaviatlas.998457

Vallejo-Villalta, I., Rodríguez-Navas, E. and Márquez-Pérez, J. (2019). "Mapping forest fire risk at a local scale-a case study in Andalusia (Spain)". *Environments,* 6 (3), 1-22. https://doi.org/10.3390/environments6030030

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. and López-Moreno, J. I. (2010). "A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index". *Journal of Climate,* 23 (7), 1696-1718. http://dx.doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1

Vicente-Serrano, S. M., Tramblay, Y., Reig, F., González-Hidalgo, J. C., Beguería, S., Brunetti, M., Kalin, K. C., Patalen, L., Kržič, A., Lionello, P., Lima, M. M., Trigo, R. M., El-Kenawy, A. M., Eddenjal, A., Türkeş, M., Koutroulis, A., Manara, V., Maugeri, M., Badi, W., Mathbout, S., Bertalanič, R., Bocheva, L., Dabanli, I.,

Dumitrescu, A., Dubuisson, B., Sahabi-Abed, S., Abdulla, F., Fayad, A., Hodzic, S., Ivanov, M., Radevski, I., Peña-Angulo, D., Lorenzo-Lacruz, J., Domínguez-Castro, F., Gimeno-Sotelo, L., García-Herrera, R., Franquesa, M., Halifa-Marín, A., Adell-Michavila, M., Noguera, I., Barriopedro, D., Garrido-Perez, J. M., Azorin-Molina, C., Andres-Martin, M., Gimeno, L., Nieto, R., Llasat, M. C., Markonis, Y., Selmi, R., Rached, S. B., Radovanović, S., Soubeyroux, J. M., Ribes, A., Elmehdi Saidi, M., Bataineh, S., El Khalki, E. M., Robaa, S., Boucetta, A., Alsafadi, K., Mamassis, N., Mohammed, S., Fernández-Duque, B., Cheval, S., Moutia, S., Stevkov, A., Stevkova, S., Luna, M. Y. and Potopová, V. (2025). "High temporal variability not trend dominates Mediterranean precipitation". *Nature,* 639 (8055), 658-666. https://doi.org/10.1038/s41586-024-08576-6

Viola, F., Liuzzo, L., Noto, L. V., Lo Conti, F. and La Loggia, G. (2014). "Spatial distribution of temperature trends in Sicily". *International Journal Of Climatology,* 34 (1), 1-17. https://doi.org/10.1002/joc.3657

Wable, P. S., Jha, M. K. and Shekhar, A. (2018). "Comparison of drought indices in a Semi-Arid River Basin of India". *Water Resources Management,* 33, 75-102. https://doi.org/10.1007/s11269-018-2089-z

Wang, F., Wang, Z., Yang, H., Di, D., Zhao, Y. and Liang, Q. (2020). "A new copula-based standardized precipitation evapotranspiration streamflow index for drought monitoring". *Journal of Hydrology,* 585, 124793, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124793

World Meteorological Organization (WMO). (2016). *Handbook of Drought Indicators and Indices.* (WMO-No. 1173), Cenevre. Erişim: 8 Şubat 2025, https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf

Wypych, A., Ustrnul, Z. and Schmatz, D. R. (2018). "Long-term variability of air temperature and precipitation conditions in the Polish Carpathians". *Journal of Mountain Science,* 15 (2), 237-253. https://doi.org/10.1007/s11629-017-4374-3

Xoplaki, E., González-Rouco, J. F., Luterbacher, J. and Wanner, H. (2004). "Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends". *Climate Dynamics,* 23, 63-78. https://doi.org/10.1007/s00382-004-0422-0

Xoplaki, E., Luterbacher, J. and González Rouco, J. F. (2006). "Mediterranean summer temperature and winter precipitation, large-scale dynamics, trends". *Nuovo Cimento-Societa Italiana di Fisica Sezione C.,* 29, 45-54. http://dx.doi.org/10.1393/ncc/i2005-10220-4

Yan, G., Wu, Z., Li, D. and Xiao, H. (2018). "A comparative frequency analysis of three standardized drought indices in the Poyang Lake basin, China". *Natural Hazards,* 91, 353-374. https://doi.org/10.1007/s11069-017-3133-7

Yasan, O., Sarış, F. ve Bayrakdar, C. (2019). "Dağlık Alanların İklim Özelliklerini Belirlemede CBS Tabanlı Enterpolasyon Yöntemlerinin Kullanımı: Batı Toroslar örneği". E. Akköprü ve M. F. Döker (eds.). içinde *Coğrafya Araştırmalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları Kitabı.* (s. 197-214). PEGEM AKADEMİ Yayınları: Ankara.

Yenipınar, E., Kayhan, M., Çubukçu, A., Demir, V. ve Sevimli, M. F. (2021). "Türkiye'nin uzun dönem yağış miktarının IDW ve kriging yöntemleri ile tahmin edilmesi". *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi,* 3 (2), 47-52. https://doi.org/10.51489/tuzal.949782

Yılmaz, A. (2021). "Muğla'da sıcaklık verilerinin trend analizi". *Turkish Studies-Social,* 16 (5), 1871-1896. https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.49295

Yılmaz, M. U. (2023). "Keşif kuraklık indeksi ve standartlaştırılmış yağış indeksi kullanılarak Kırklareli ilinde kuraklığın eğilimi ve zamansal değişkenliği". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi,* 9 (2), 341-364. https://doi.org/10.21324/dacd.1296428

Yılmaz, M. U. ve Yılmaz, H. (2022). "Çok değişkenli kuraklık indeksi kullanılarak kuraklık değerlendirmesi: Kırklareli ili örneği", *11. Ulusal Hidroloji Kongresi,* 13-14 Ekim 2022, Gaziantep. 499-509.

Yu, X., Zhang, L., Zhou, T. and Zhang, X. (2023). "Long-term changes in the effect of drought stress on ecosystems across global drylands". *Science China Earth Science,* 66 (1), 146-160. https://doi.org/10.1007/s11430-022-1001-0

Yüce, M. İ., Aksoy, H., Aytek, A., Eşit, M., Uğur, F., Yaşa, İ., Şimşek, A. ve Deger, İ. H. (2022). "SPI ve SPEI ile Samsun ili kuraklık analizi". *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 25 (3), 285-295. https://doi.org/10.17780/ksujes.1108663

Yüceer, D. ve Aktürk, G. (2025). "Spatio-temporal characteristics of meteorological droughts using RDI and SPI in the Kizilirmak Basin of Türkiye". *Pure and Applied Geophysics,* 182, 3781-3811. https://doi.org/10.1007/s00024-025-03826-8

Yüceerim, G., Yılmaz, G., Etöz, M. ve Acar, C. O. (2019). "Kocadere Havzasında standartlaştırılmış yağış indeksi ile farklı zaman ölçeğinde kuraklık analizi". *Toprak Su Dergisi,* Özel Sayı, 70-76. https://doi.org/10.21657/topraksu.655270

Yüksel, G. ve Sökün, H. (2022). "Ege Bölgesi için dinamik mod ayrıştırması ile kuraklık analizi". *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry,* 6 (1), 54-61. https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1025073

Zewdie, W., Csaplovics, E. and Inostroza, L. (2017). "Monitoring ecosystem dynamics in Northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability". *Applied Geography,* 79, 167-178. http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.019

EKLER

EK 1

KUZEY EGE HAVZASI MGİ BİLGİLERİ TABLOSU

İstasyon No	İstasyon Adı	İl	İlçe	Gözlem Yılı	Enlem	Boylam	Rakım
17112	Çanakkale	Çanakkale	Merkez	1975-2023	40.1410	26.3993	6
17143	Balıkesir Koca Seyit Havalimanı	Balıkesir	Edremit	2001-2023	39.5592	27.0253	19
17145	Edremit	Balıkesir	Edremit	1975-2023	39.5895	27.0192	21
17175	Ayvalık	Balıkesir	Ayvalık	1975-2023	39.3113	26.6861	4
17180	Dikili	İzmir	Dikili	1975-2023	39.0737	26.8880	3
17184	Akhisar	Manisa	Akhisar	1975-2023	38.9118	27.8233	92
17186	Manisa	Manisa	Şehzadeler	1975-2023	38.6153	27.4049	71
17421	Ayvalık Kanal Sancak A Feneri	Balıkesir	Ayvalık	2013-2023	39.3233	26.6406	3
17428	Ayvacık Gülpınar Ana Mendirek Feneri	Çanakkale	Ayvacık	2013-2023	39.5658	26.0967	8
17432	Bozcaada Odunluk İskele Feneri	Çanakkale	Bozcaada	2013-2023	39.8192	26.1597	7
17434	Ezine Yeniköy Bal. Bar. Ana Mendirek Feneri	Çanakkale	Ezine	2013-2023	39.9447	26.1611	7
17487	Foça Trafik Gözetleme KEGM	İzmir	Foça	2018-2023	38.760500	26.829900	54
17488	Aliağa Trafik Gözetleme KEGM	İzmir	Aliağa	2018-2023	38.833433	26.941800	54
17671	Ezine	Çanakkale	Ezine	2004-2023	39.7739	26.3456	73
17722	Burhaniye	Balıkesir	Burhaniye	1975-2011	39.4983	26.9755	20
17742	Bergama	İzmir	Bergama	1975-2011	39.1098	27.1710	53
17782	Foça Toprak Su	İzmir	Foça	2009-2023	38.6856	26.7392	37
17787	Aliağa	İzmir	Aliağa	2004-2023	38.7922	26.9682	27
18038	Aliağa Bozköy Orman Sahası	İzmir	Aliağa	2012-2023	38.7175	26.9613	144
18039	Soma Cenkyeri Orman Sahası	Manisa	Soma	2012-2023	39.1608	27.4871	134
18040	Soma	Manisa	Soma	2012-2023	39.1886	27.6281	166
18044	Yunusemre Çakmak Orman Sahası	Manisa	Yunusemre	2012-2023	38.7077	27.2522	320
18434	Savaştepe	Balıkesir	Savaştepe	2014-2023	39.3506	27.6561	293
18435	Çanakkale Ayvacık	Çanakkale	Ayvacık	2014-2023	39.6081	26.3958	341
18436	Bayramiç	Çanakkale	Bayramiç	2014-2023	39.8147	26.5906	92
18813	Edremit Kazdağı Milli Parkı	Balıkesir	Edremit	2017-2023	39.705	26.8311	1733
18817	Bayramiç Karaköy Köyü	Çanakkale	Bayramiç	2017-2023	39.8369	26.8942	310
18818	Çanakkale Kirazlı Beldesi	Çanakkale	Merkez	2017-2023	40.0406	26.6997	375
18819	Ezine Orman Sahası	Çanakkale	Ezine	2017-2023	39.8947	26.4211	436
18820	Kınık Köseler Köyü	İzmir	Kınık	2017-2023	39.0122	27.3694	424
18821	Bergama Çamavlu Köyü	İzmir	Bergama	2017-2023	39.3269	27.1386	572
18823	Bergama İncecikler Orman Sahası	İzmir	Bergama	2017-2023	39.2414	27.1475	746
18901	Dikili Çukuralan Köyü	İzmir	Dikili	2013-2023	39.1956	26.9606	643
18917	Kınık	İzmir	Kınık	2017-2023	39.087231	27.393908	84
18945	Bergama Çamköy	İzmir	Bergama	2018-2023	39.08006	27.07820	86
19126	Gömeç	Balıkesir	Gömeç	2018-2023	39.37962	26.82737	15
19127	Havran	Balıkesir	Havran	2018-2023	39.55364	27.08699	35
19129	Edremit Altınoluk	Balıkesir	Edremit	2018-2023	39.57059	26.71326	33
19130	Ayvacık Behram	Çanakkale	Merkez	2018-2023	39.49868	26.31507	111
19137	Kırkağaç	Manisa	Kırkağaç	2018-2023	39.10755	27.69258	158

EK 2

KUZEY EGE HAVZASI AGİ BİLGİLERİ TABLOSU

İstasyon No	Nehir Adı	İstasyon Adı	Bulunduğu Alt Havza	İl	İlçe	Gözlem Yılı	Enlem	Boylam	Rakım
D04A016	KARADERE	BAHADINLI	Karadere-Karınca Deresi	Balıkesir	Burhaniye	2001-2021	39,4333	27,0167	87
D04A017	KARINCA D.	REŞİTKÖY	Karadere-Karınca Deresi	Balıkesir	Burhaniye	1980-2021	39,4397	26,9928	83
D04A028	TUZLA Ç.	AYVACIK	Tuzla Çayı	Çanakkale	Ayvacık	1973-2008	39,5833	26,4167	234
D04A031	EYBEK D.	ÇAMCI	Edremit	Balıkesir	Edremit	1980-2021	39,6189	27,0619	80
D04A032	TUZLA Ç.	KORUBAŞI	Tuzla Çayı	Çanakkale	Ayvacık	1986-2021	39,5253	26,2867	75
D04A035	KOCADERE	MİSVAK	Tuzla Çayı	Çanakkale	Ayvacık	1988-2014	39,6642	26,4503	135
D04A036	ZEYTİNLİ Ç.	ZEYTİNLİ	Zeytinli Çayı	Balıkesir	Edremit	1989-2021	39,6169	26,9531	35
D04A042	MANASTIR Ç.	KAVLAKLAR	Edremit Körfezi Suları	Balıkesir	Edremit	2001-2021	39,5833	26,8167	55
D04A052	KIŞLA D.	DEREOBASI	Havran	Balıkesir	Havran	2006-2021	39,5178	27,1706	208
D04A053	ILICA D.	SARICALAR	Bakırçay	İzmir	Bergama	2006-2021	39,2175	27,4567	90
D04A054	KOCADERE	MUSACALI	Bakırçay	İzmir	Kınık	2006-2020	39,0567	27,2297	90
E04A007	KARAMENDERES	ASLANKÖPRÜ	Karamenderes	Çanakkale	Ezine	1965-1997	39,8316	26,3278	20
E04A011	BAKIRÇAY	KURFALI	Bakırçay	İzmir	Bergama	1999-2021	38,9833	27,0333	12
E04A010	YAĞCILI Ç.	YAĞCILI	Bakırçay	Balıkesir	Savaştepe	1980-2021	39,3375	27,6386	210

EK 3

CORINE SINIFLANDIRMA SİSTEMİ TABLOSU

1. Yapay Bölgeler	**3. Orman ve Yarı Doğal Alanlar**
1.1. Şehir Yapısı	3.1. Ormanlar
1.1.1. Sürekli Şehir Yapısı	3.1.1. Geniş Yapraklı Ormanlar
1.1.2. Kesintili/Süreksiz Şehir Yapısı	3.1.2. İğne Yapraklı Ormanlar
1.2. Endüstri Ticaret ve Ulaşım Birimleri	3.1.3. Karışık Ormanlar
1.2.1. Endüstriyel ve Ticari Birimler	3.2. Maki ve Otsu Bitkiler
1.2.2. Karayolları, Demiryolları ve İlgili Alanlar	3.2.1. Doğal Çayırlıklar
1.2.3. Limanlar	3.2.2. Fundalıklar
1.2.4. Havaalanları	3.2.3. Sklerofil Bitki Örtüsü
1.3. Maden Ocağı Boşaltım ve İnşaat Sahaları	3.2.4. Bitki Değişim Alanları
1.3.1. Maden Çıkarım Sahaları	3.3. Bitki Örtüsü ile Kaplı Olmayan veya Az Miktarda Bitki Örtüsü ile Kaplı Açık Alanlar
1.3.2. Boşaltım Sahaları	3.3.1. Sahiller Kumsallar Kumluklar
1.3.3. İnşaat Sahaları	3.3.2. Kayalıklar
1.4. Yapay Tarımsal Olmayan Yeşil Alanlar	3.3.3. Seyrek Bitki Alanları
1.4.1. Yeşil Şehir Alanları	3.3.4. Yanmış Alanlar
1.4.2. Spor ve Eğlence Alanları	3.3.5. Buzul ve Kalıcı Kar
2. Tarımsal Alan	**4. Sulak Alanlar**
2.1. Ekilebilir Alan	4.1. Karasal Bataklıklar
2.1.1. Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	4.1.1. Karasal Bataklıklar
2.1.2. Sürekli Sulanan Alanlar	4.1.2. Turbalıklar (Türkiye Kullanmıyor)
2.1.3. Pirinç Tarlaları	4.2. Denize Yakın Islak Alanlar
2.2. Sürekli Ürünler	4.2.1. Tuz Bataklığı
2.2.1. Üzüm Bağları	4.2.2. Tuzlalar
2.2.2. Meyve Bahçeleri	4.2.3. Gelgit Olayı ile Oluşan Düzlükler (Türkiye Kullanmıyor)
2.2.3. Zeytinlikler	**5. Su Yapıları**
2.3. Meralar	5.1. Hareketli Sular
2.3.1. Mera Alanları	5.1.1. Su Yolları
2.4. Karışık Tarımsal Alanlar	5.1.2. Su Kütleleri
2.4.1. Sürekli Ürünlerle Birlikte Bulunan Senelik Ürünler (Türkiye Kullanmıyor)	5.2. Deniz Suları
2.4.2. Karışık Tarım Alanları	5.2.1. Kıyı Lagünleri
2.4.3. Doğal Bitki Örtüsü ile Bulunan Tarım Alanları	5.2.2. Nehir Ağızları Deltalar
2.4.4. Ormanla Karışık Tarım Alanları (Türkiye Kullanmıyor)	5.2.3. Deniz Okyanus

Kaynak: Karakaş Özür ve Ataol, 2018: 116

EK 4

KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNİN AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNİN K-W TÜRDEŞLİK SINAMASI SONUÇLARI (%99 anlamlılık düzeyi: sarı ve %95 anlamlılık düzeyi: mor renkte gösterilmiştir)

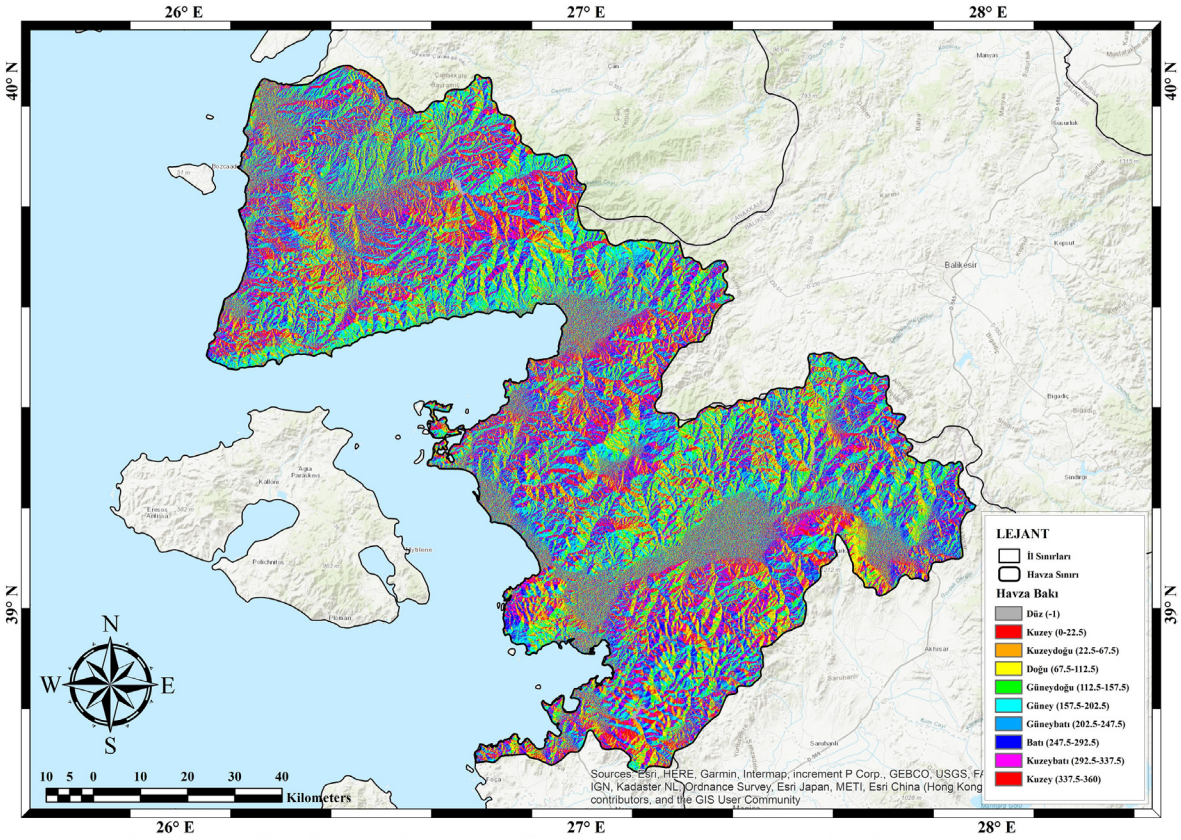
17184/Akhisar MGİ_Test İstatistikleri[a,b]												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ki-Kare	4,611	8,684	5,707	3,397	17,026	15,704	26,542	27,275	21,748	10,359	15,602	6,056
Serbestlik Derecesi (df)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Anlamlılık	0,595	0,192	0,457	0,758	**0,009**	**0,015**	**0,000**	**0,000**	**0,001**	0,110	**0,016**	0,417
17175/Ayvalık MGİ _ Test İstatistikleri[a,b]												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ki-Kare	6,262	11,555	9,722	3,638	15,899	15,739	24,462	32,984	21,982	10,305	15,672	8,315
Serbestlik Derecesi (df)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Anlamlılık	0,395	0,073	0,137	0,726	**0,014**	**0,015**	**0,000**	**0,000**	**0,001**	0,112	**0,016**	0,216
17742/Bergama MGİ _ Test İstatistikleri[a,b]												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ki-Kare	4,860	10,004	6,208	3,702	16,293	10,909	27,808	30,866	22,808	6,440	15,967	6,406
Serbestlik Derecesi (df)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Anlamlılık	0,562	0,124	0,400	0,717	**0,012**	0,091	**0,000**	**0,000**	**0,001**	0,376	**0,014**	0,379
17722/Burhaniye MGİ _ Test İstatistikleri[a,b]												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ki-Kare	7,069	10,919	10,244	3,655	17,589	18,464	24,667	34,896	20,864	12,746	18,135	8,663
Serbestlik Derecesi (df)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Anlamlılık	0,315	0,091	0,115	0,723	**0,007**	**0,005**	**0,000**	**0,000**	**0,002**	**0,047**	**0,006**	0,193
17112/Çanakkale MGİ _ Test İstatistikleri[a,b]												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ki-Kare	8,238	12,492	10,057	5,028	21,233	21,991	30,479	34,371	24,646	12,283	16,601	11,732
Serbestlik Derecesi (df)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Anlamlılık	0,221	0,052	0,122	0,540	**0,002**	**0,001**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	0,056	**0,011**	0,068
17180/Dikili MGİ _ Test İstatistikleri[a,b]												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ki-Kare	7,222	13,838	9,898	6,065	18,898	17,053	23,390	30,781	24,291	11,092	17,305	9,144
Serbestlik Derecesi (df)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Anlamlılık	0,301	**0,032**	0,129	0,416	**0,004**	**0,009**	**0,001**	**0,000**	**0,000**	0,086	**0,008**	0,166
17145/Edremit MGİ _ Test İstatistikleri[a,b]												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ki-Kare	7,224	12,613	10,010	6,204	21,506	21,327	26,704	32,940	20,335	11,616	19,459	9,345
Serbestlik Derecesi (df)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Anlamlılık	0,301	**0,050**	0,124	0,401	**0,001**	**0,002**	**0,000**	**0,000**	**0,002**	0,071	**0,003**	0,155
17186/Manisa MGİ _ Test İstatistikleri[a,b]												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ki-Kare	6,715	9,099	7,901	4,582	14,578	10,790	21,872	26,286	19,942	8,846	12,437	6,405
Serbestlik Derecesi (df)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Anlamlılık	0,348	0,168	0,245	0,598	**0,024**	0,095	**0,001**	**0,000**	**0,003**	0,182	0,053	0,379

a. Kruskal Wallis Test

b. Gruplama Değişkeni: K-W

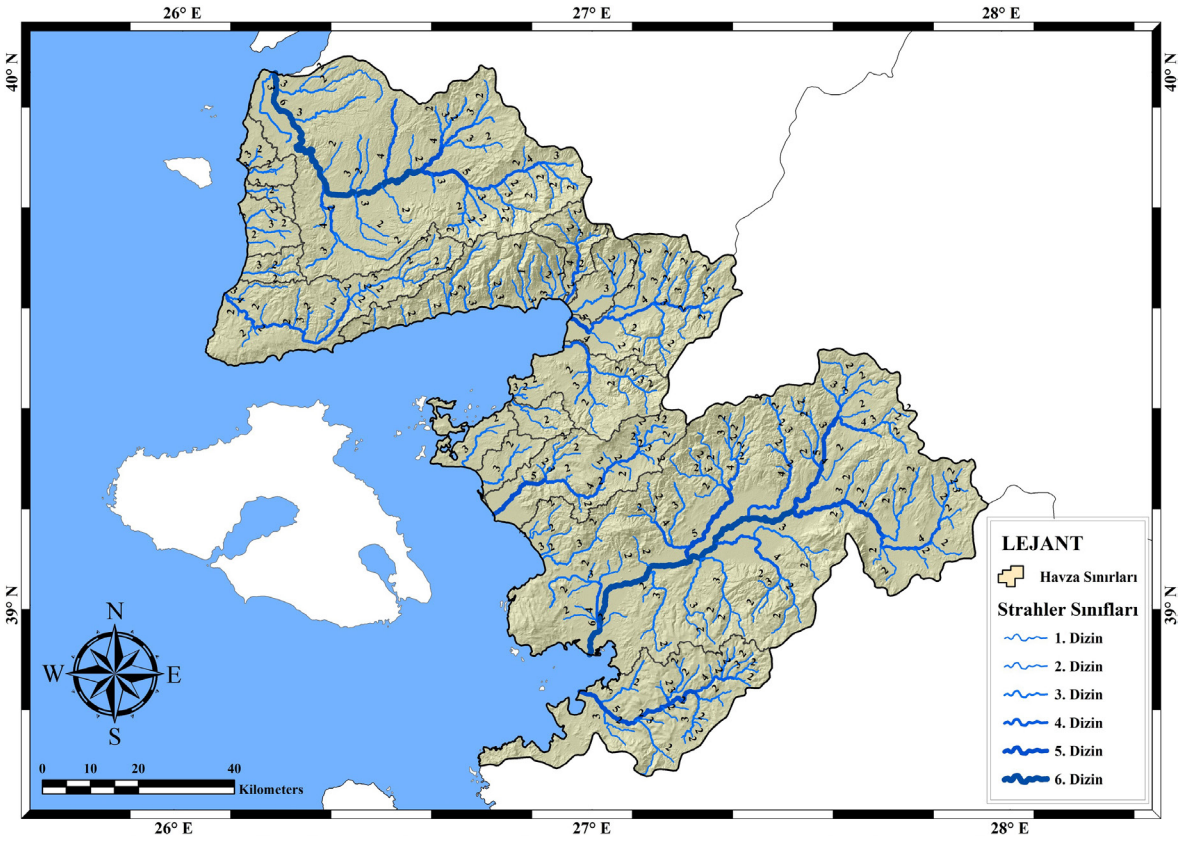
EK 5

KUZEY EGE HAVZASI BAKI HARİTASI



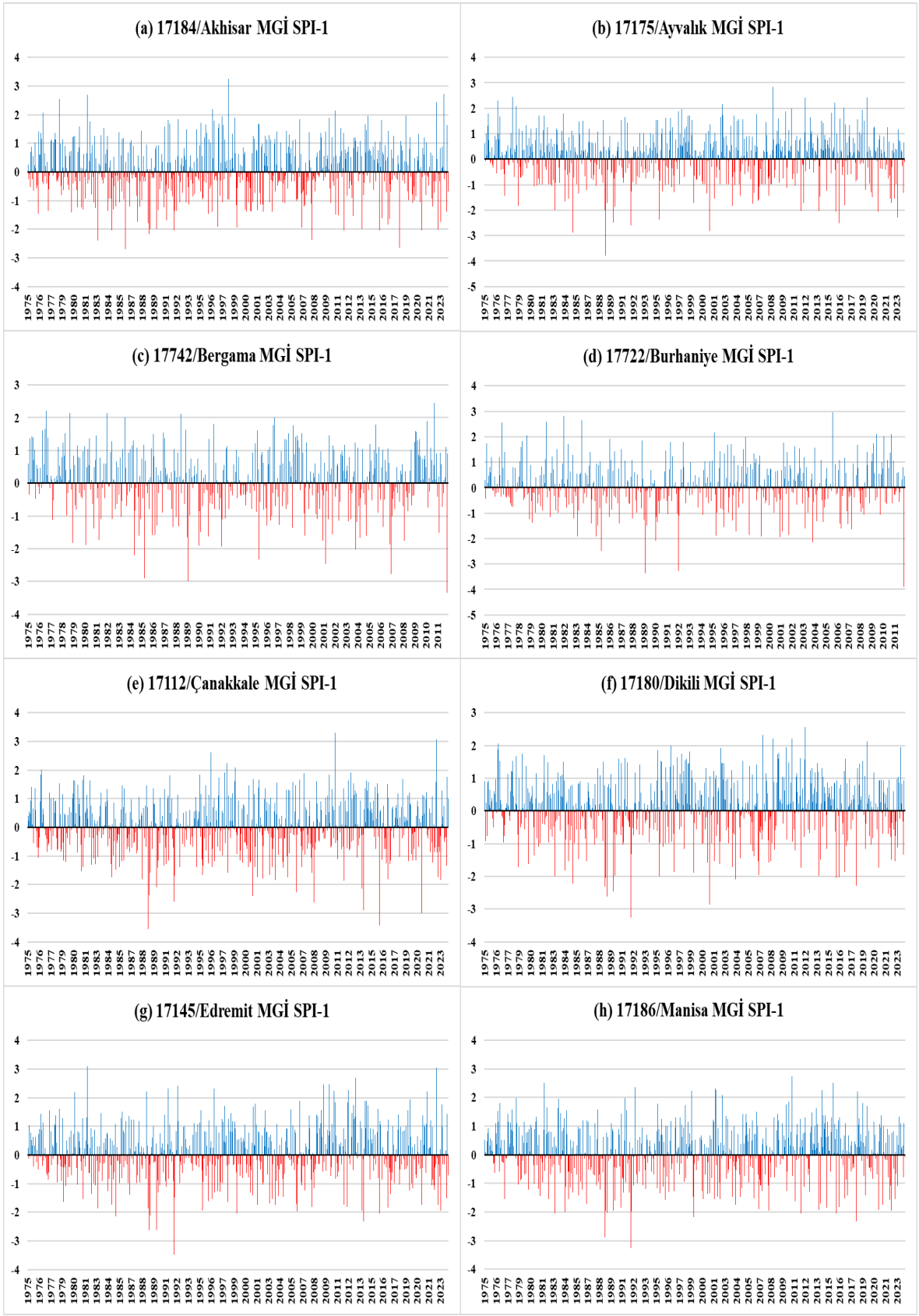
EK 6

KUZEY EGE HAVZASI AKARSU STRAHLER SINIFLARI HARİTASI



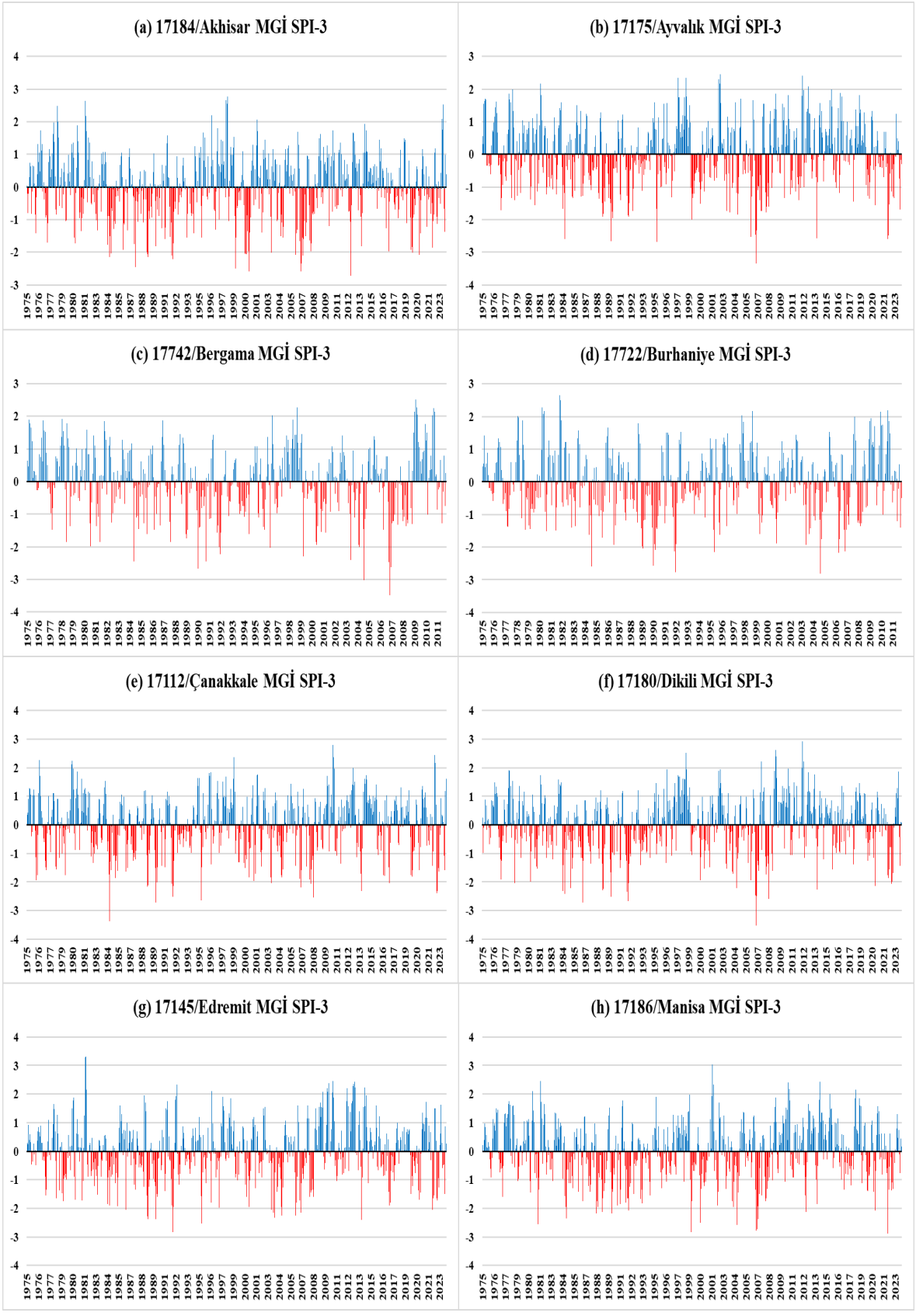
EK 7

KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPI-1 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



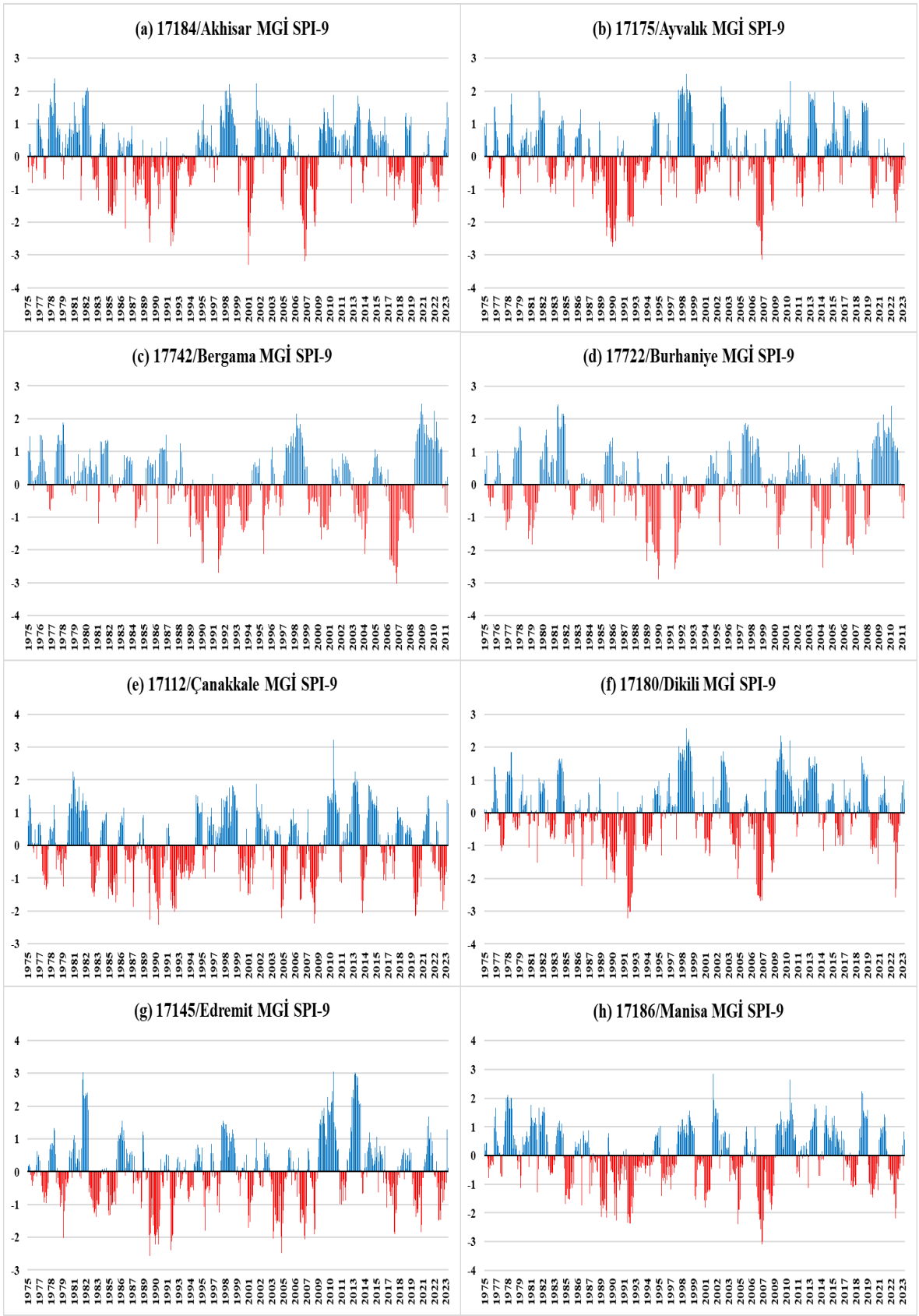
EK 8

KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPI-3 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



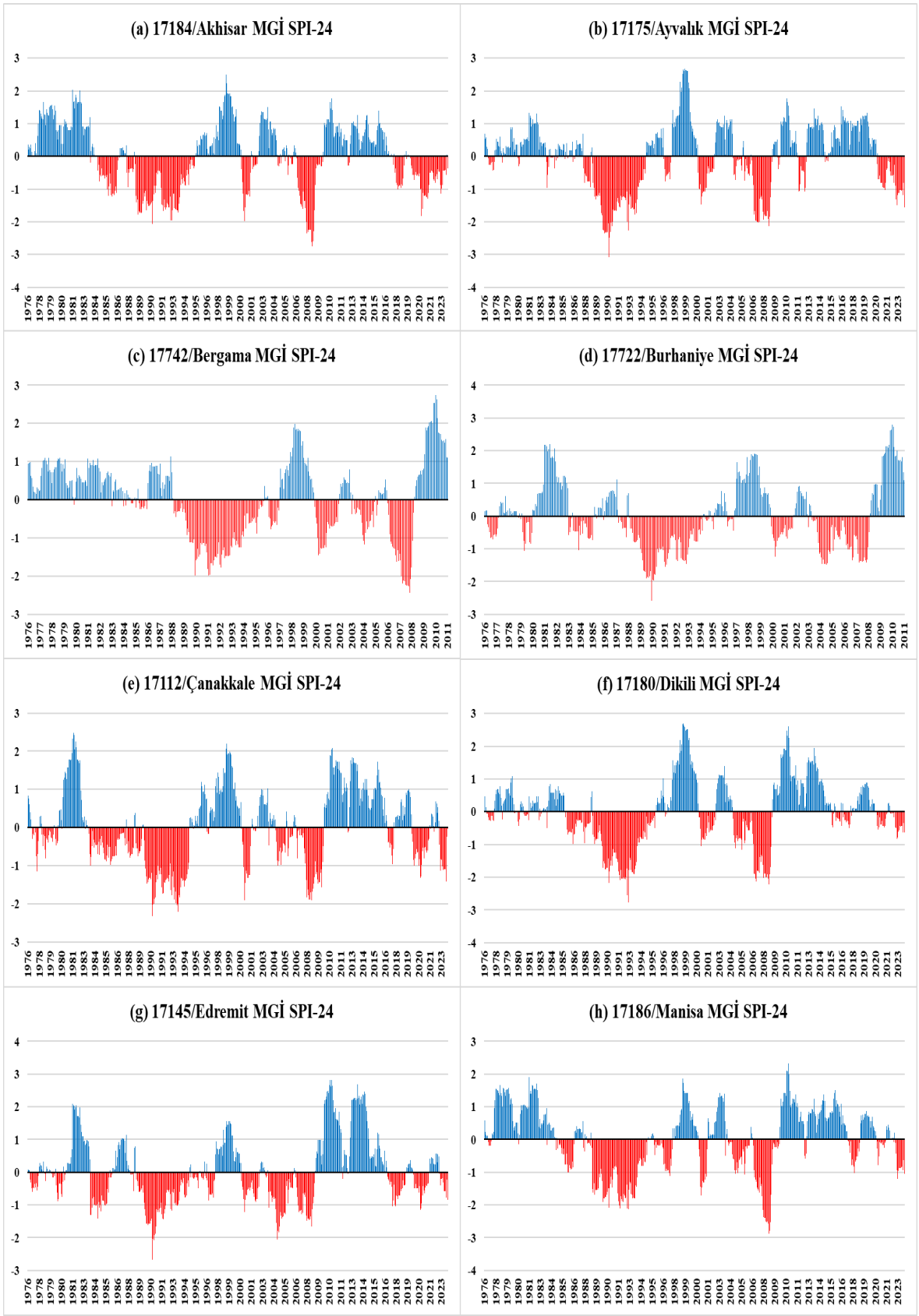
EK 9

KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPI-9 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



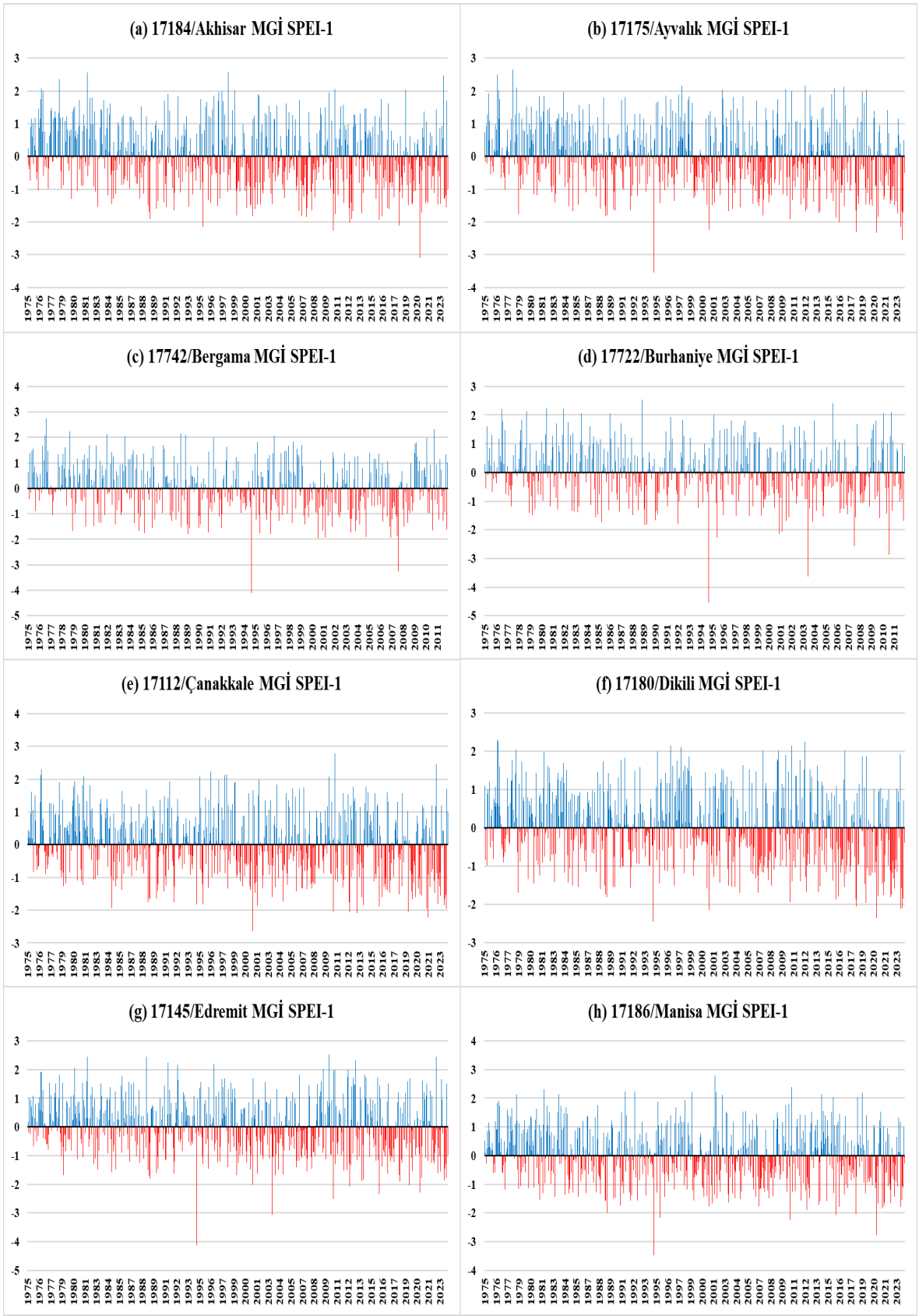
EK 10

KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPI-24 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



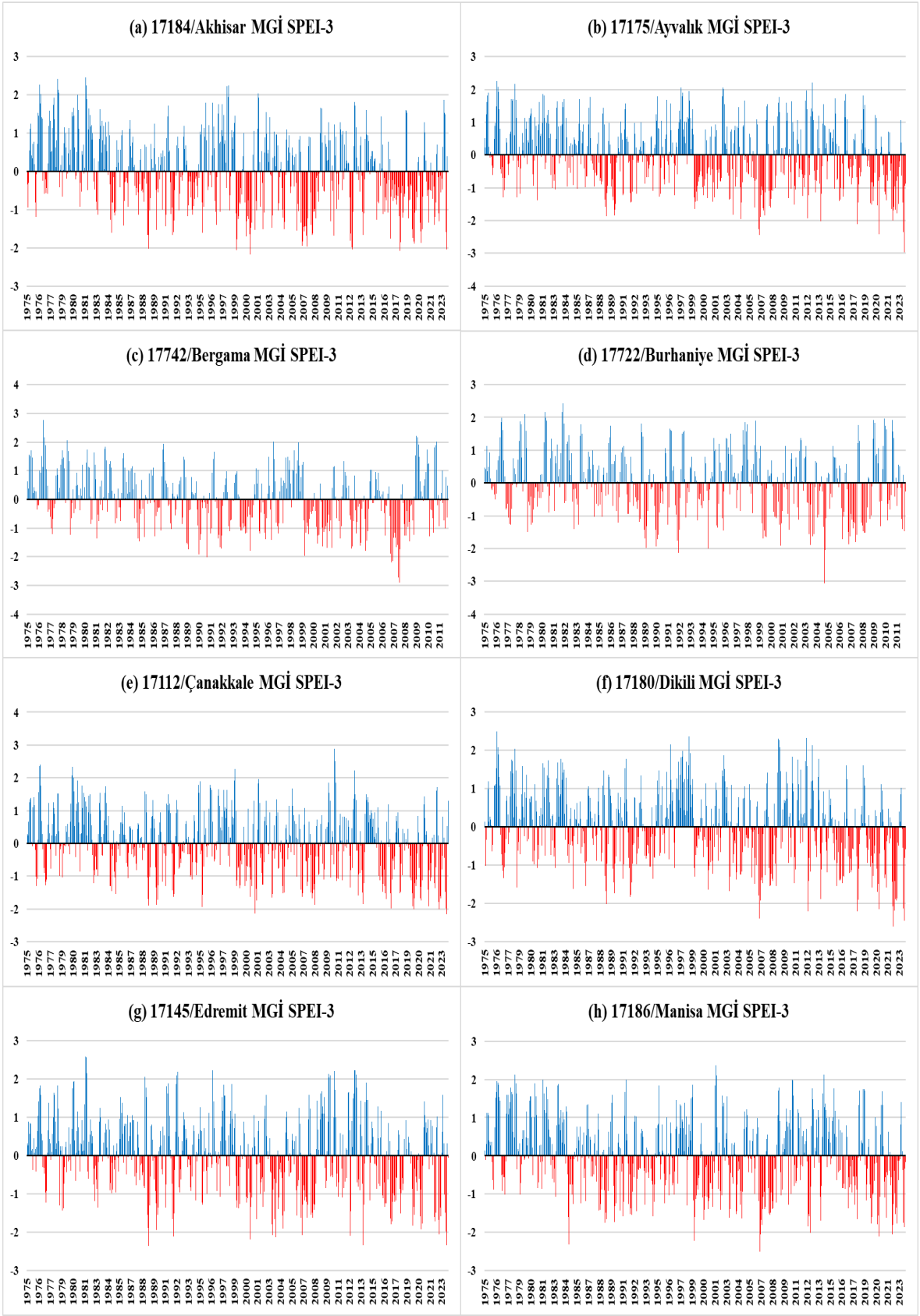
EK 11

KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPEI-1 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



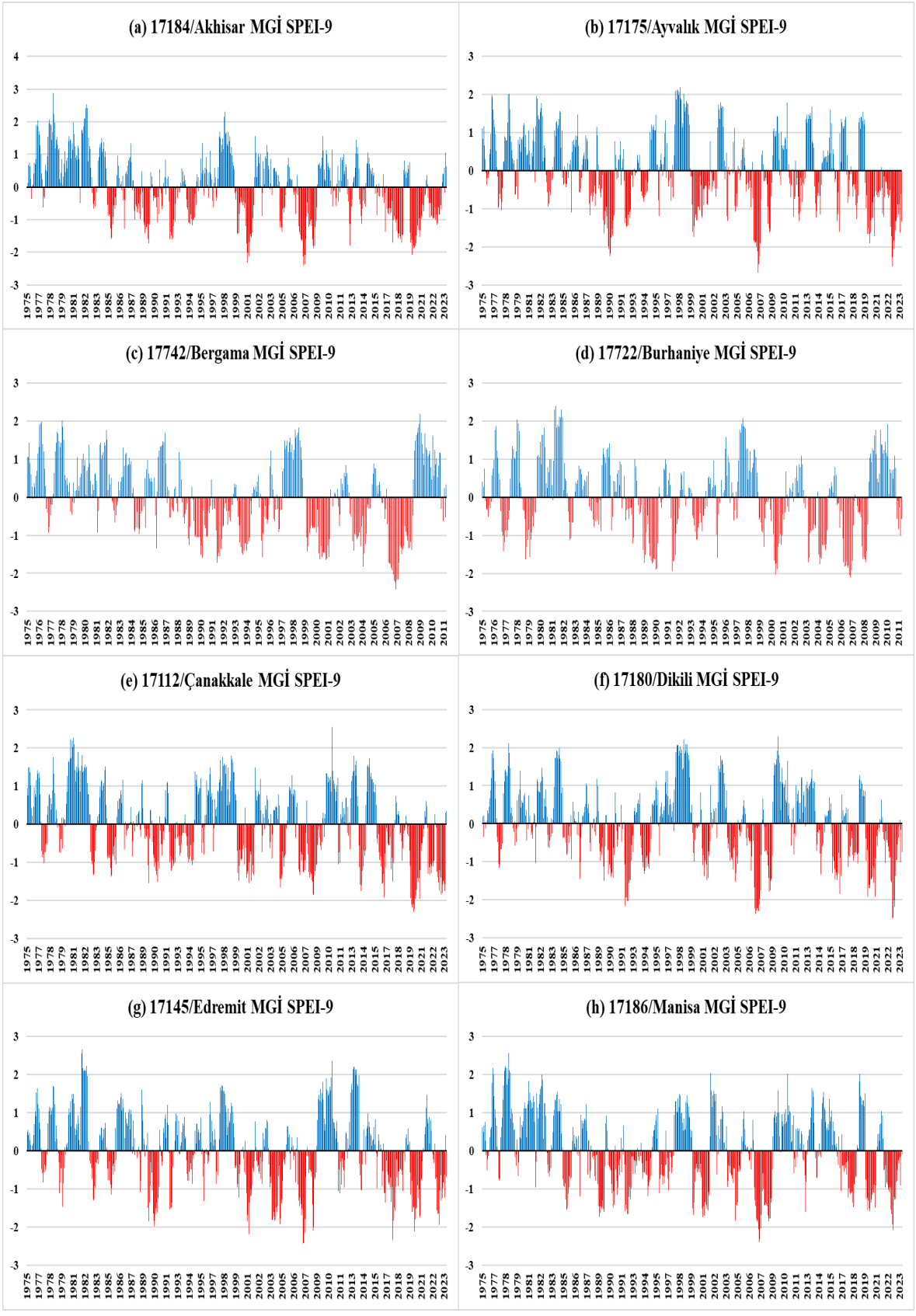
EK 12

KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPEI-3 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



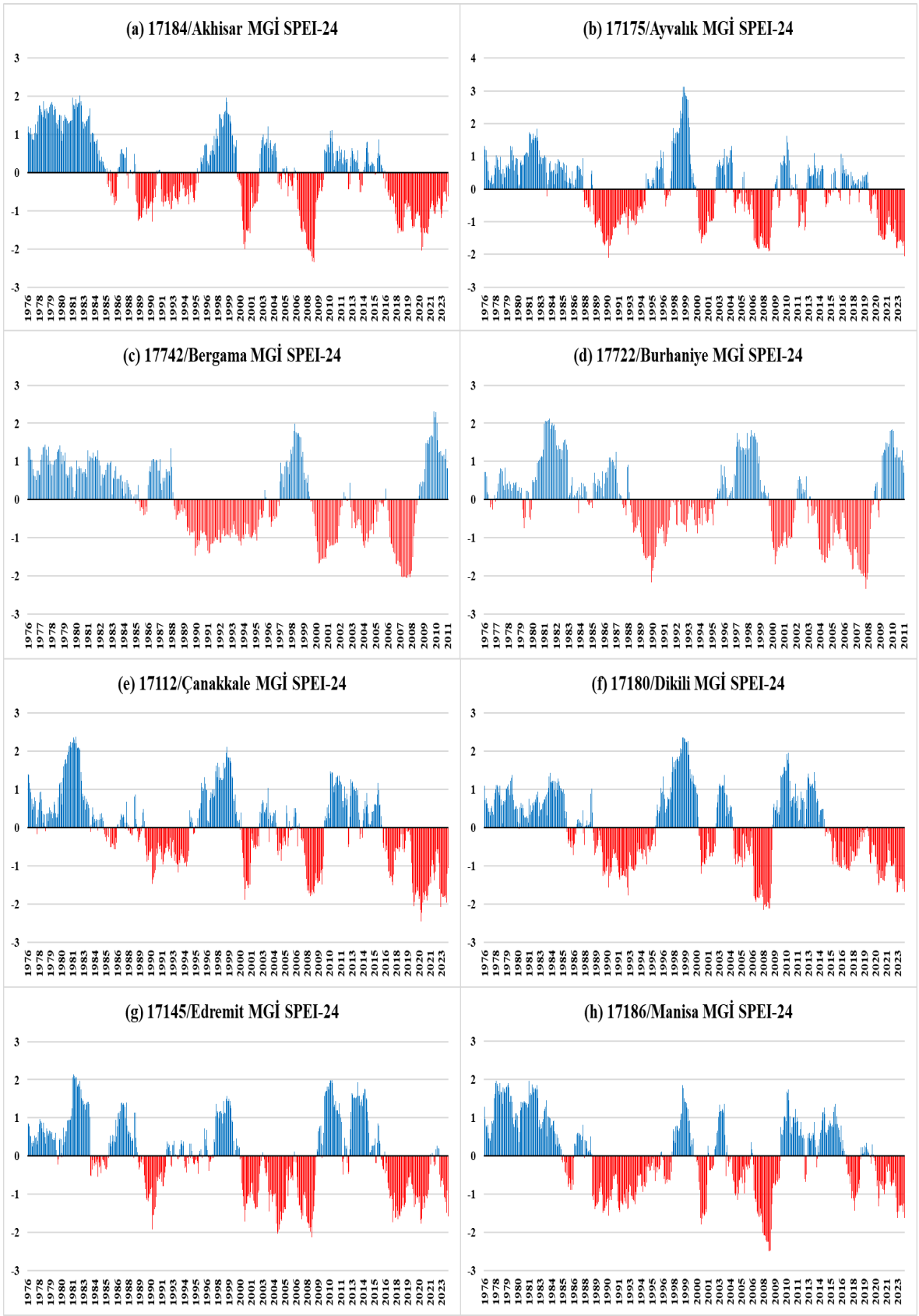
EK 13

KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPEI-9 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



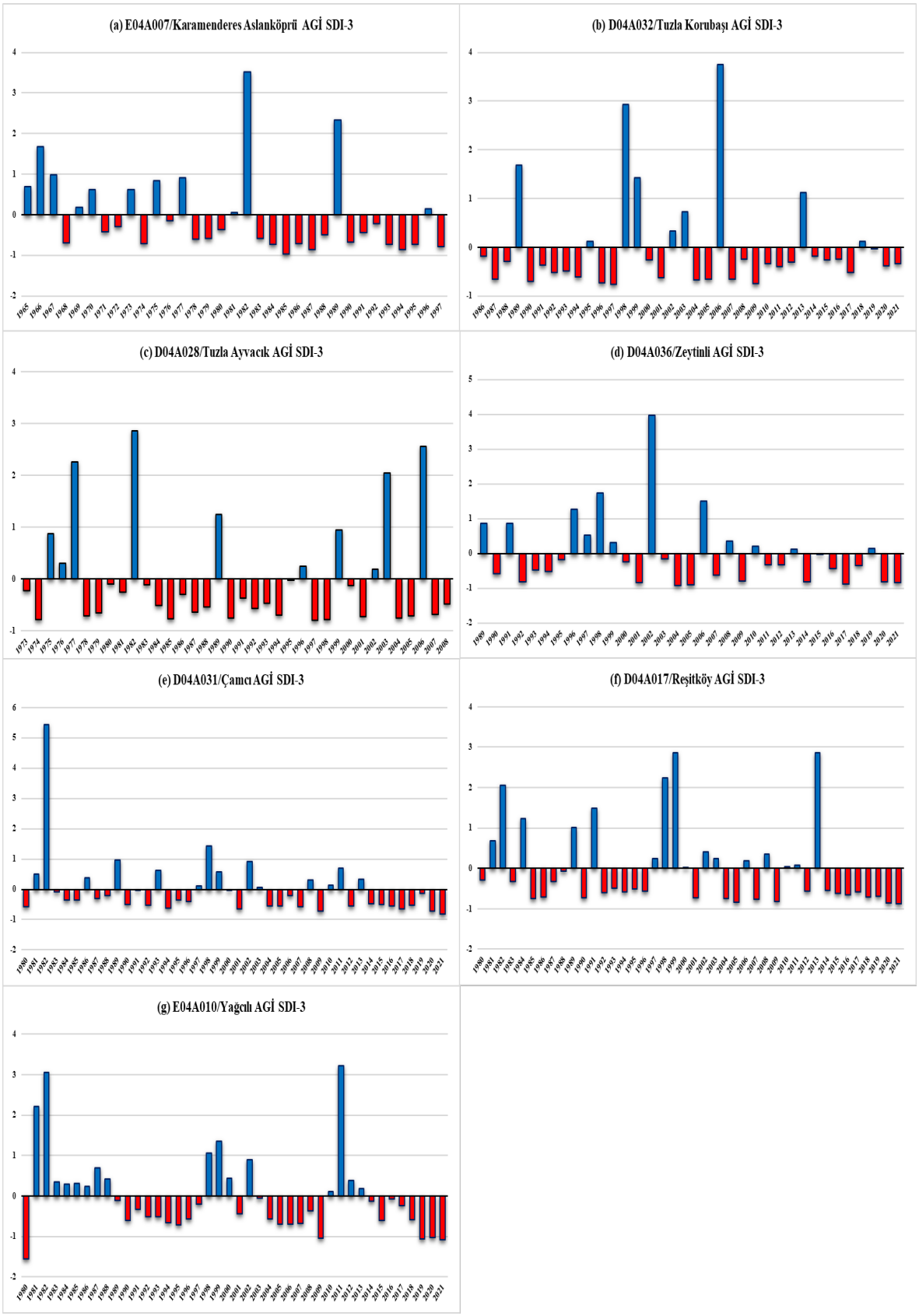
EK 14

KUZEY EGE HAVZASI MGİ'LERİNDE SPEI-24 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



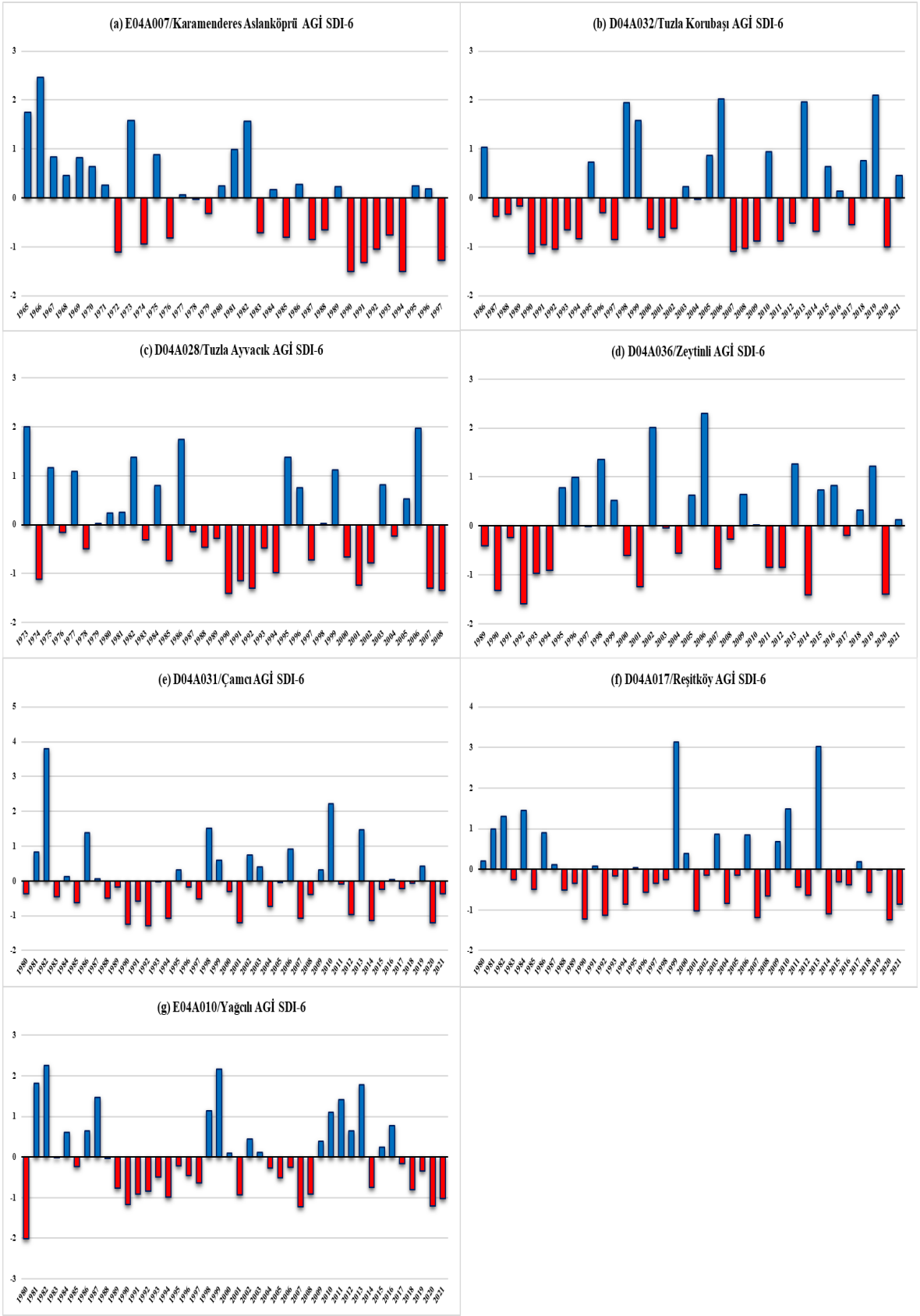
EK 15

KUZEY EGE HAVZASI AGİ'LERİNDE SDI-3 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



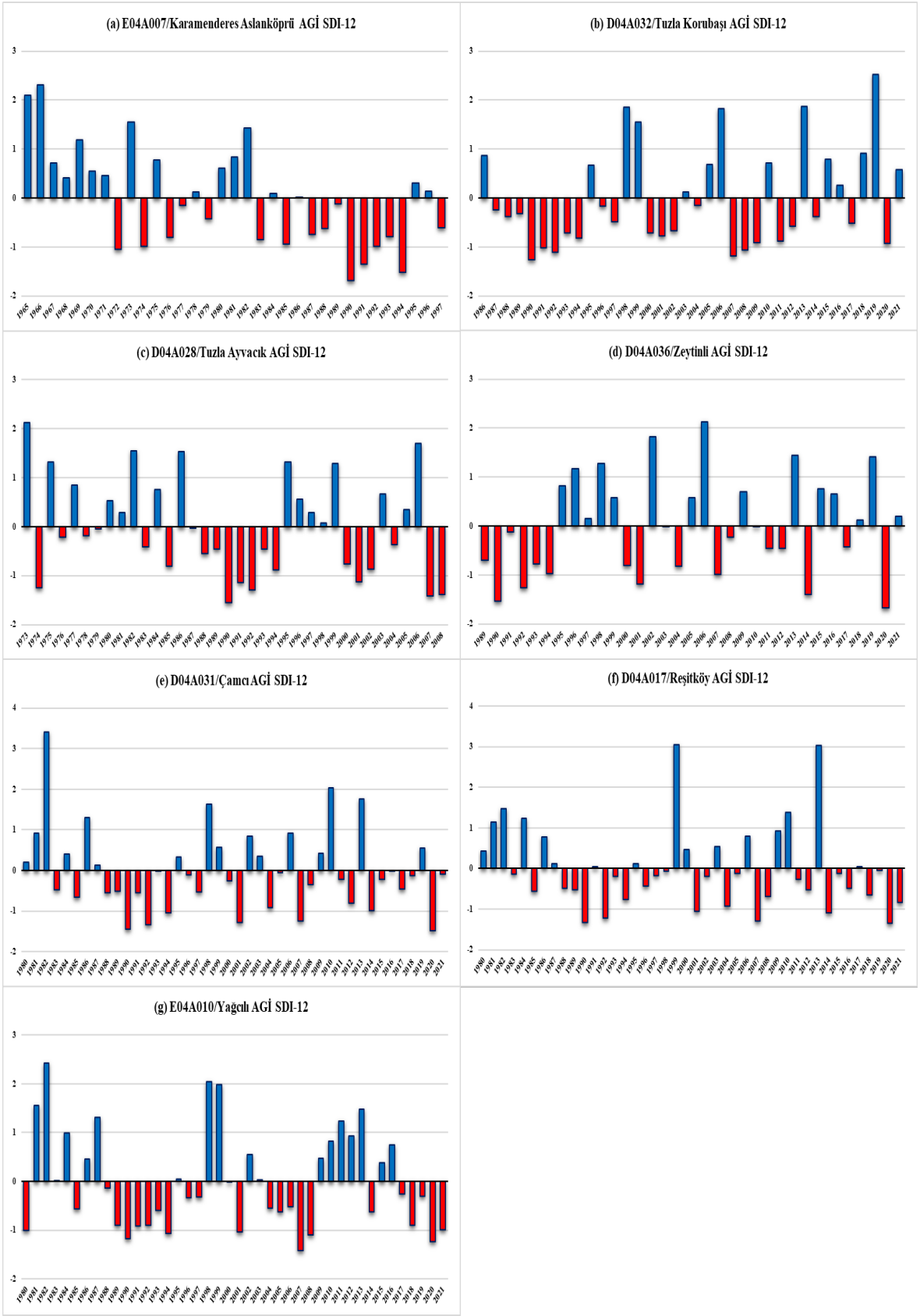
EK 16

KUZEY EGE HAVZASI AGİ'LERİNDE SDI-6 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



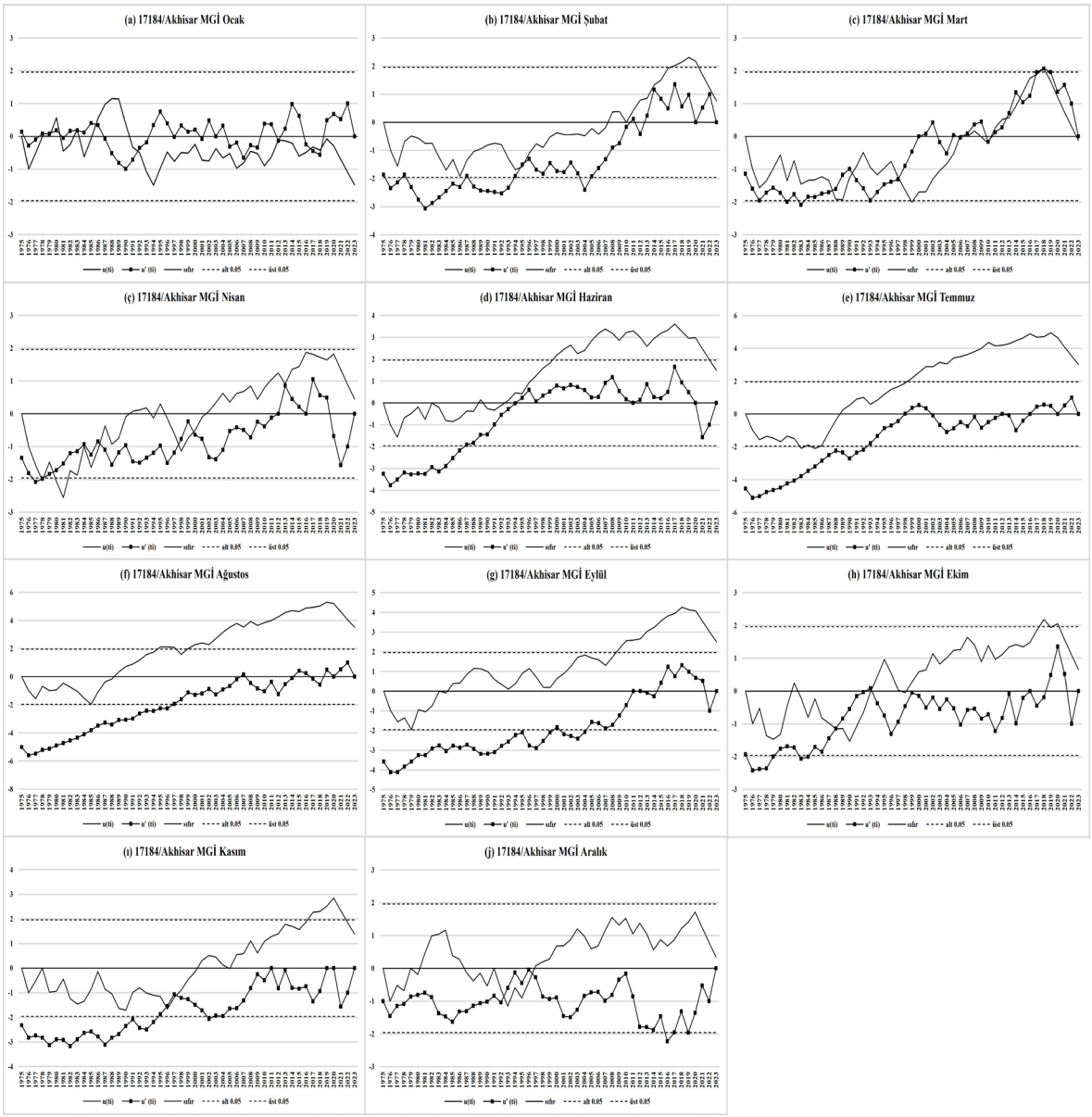
EK 17

KUZEY EGE HAVZASI AGİ'LERİNDE SDI-12 DEĞERLERİNİN YILLAR ARASI DEĞİŞKENLİĞİ



EK 18

KUZEY EGE HAVZASI AKHİSAR MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER



EK 19

KUZEY EGE HAVZASI AYVALIK MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER



EK 20

KUZEY EGE HAVZASI BERGAMA MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER



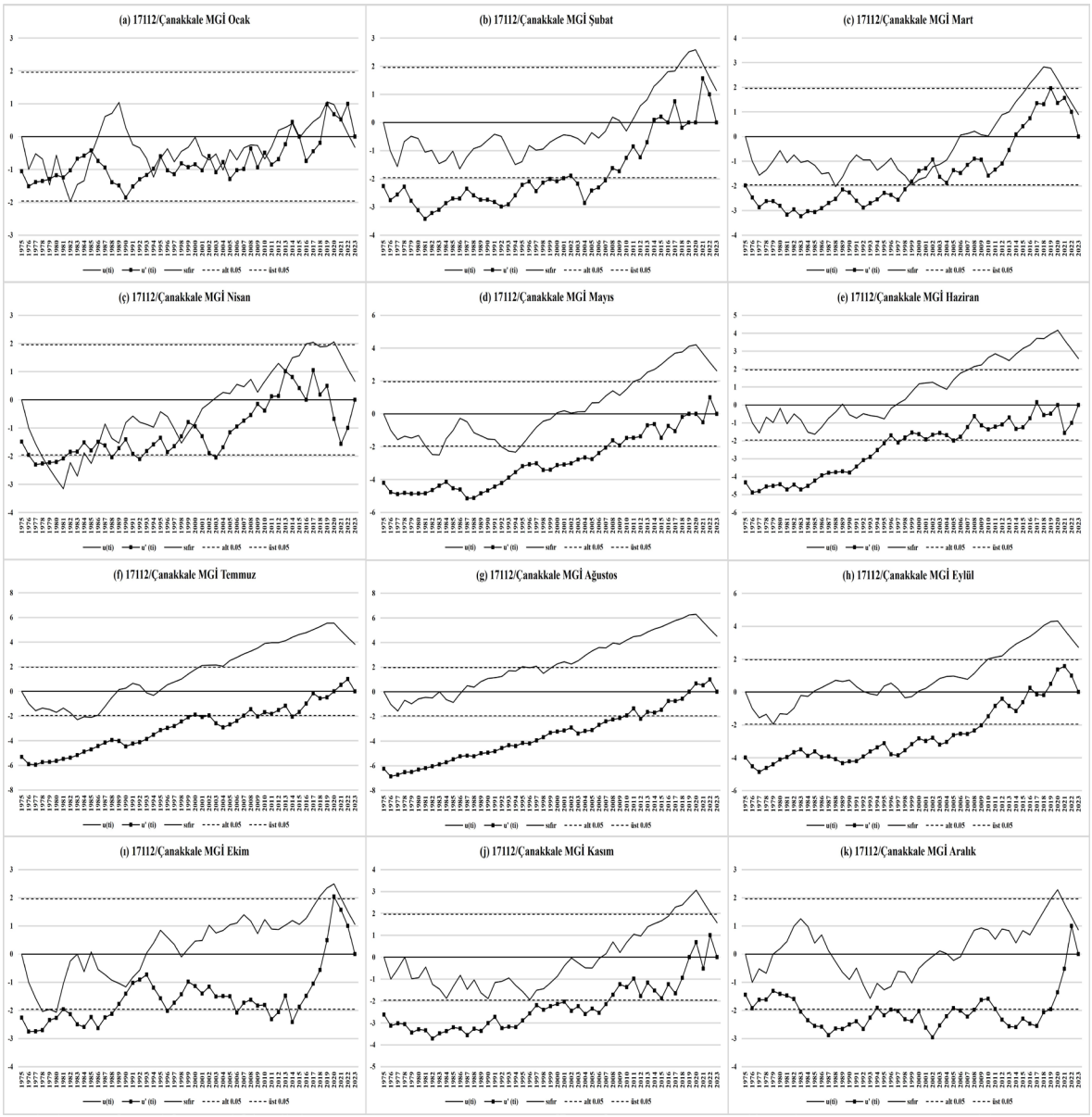
EK 21

KUZEY EGE HAVZASI BURHANİYE MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER



EK 22

KUZEY EGE HAVZASI ÇANAKKALE MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER



EK 23

KUZEY EGE HAVZASI DİKİLİ MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER



EK 24

KUZEY EGE HAVZASI EDREMİT MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER



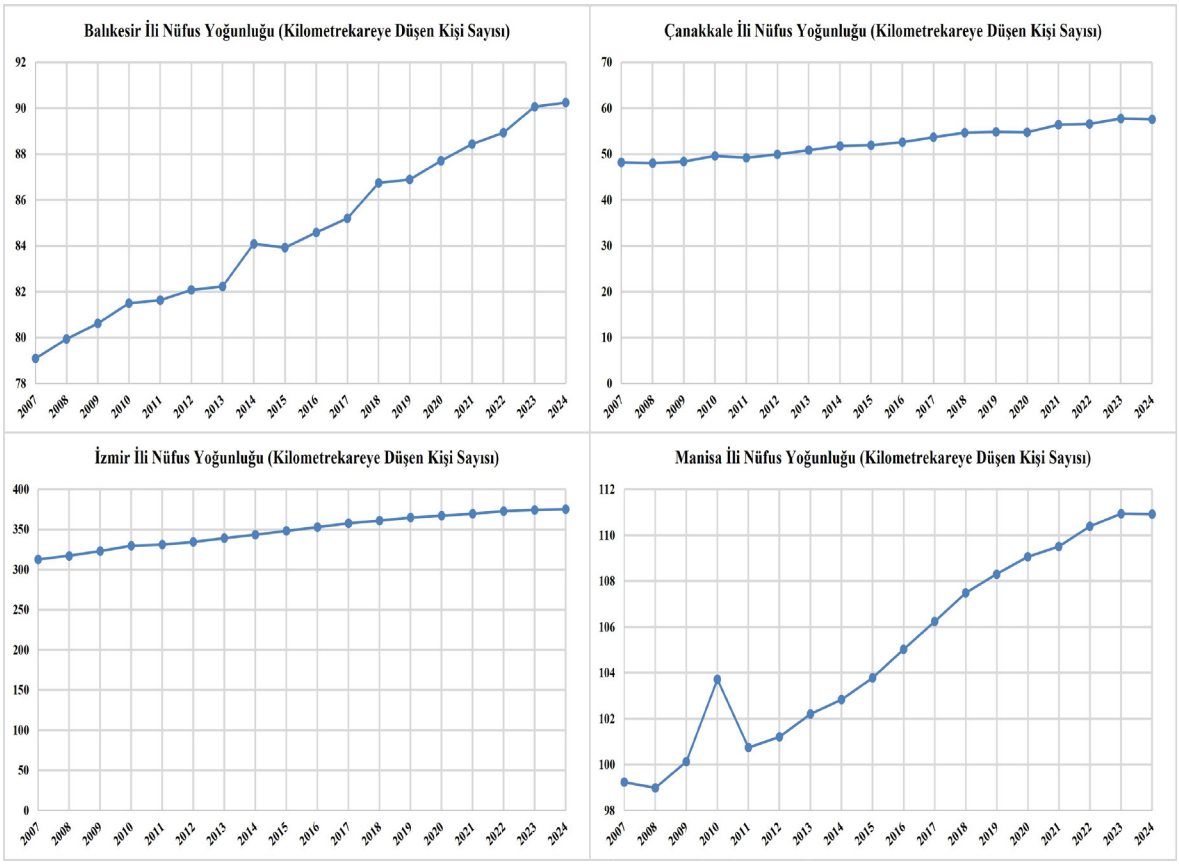
EK 25

KUZEY EGE HAVZASI MANİSA MGİ AYLIK ORTALAMA SICAKLIK SERİLERİNDEKİ EĞİLİMLER



EK 26

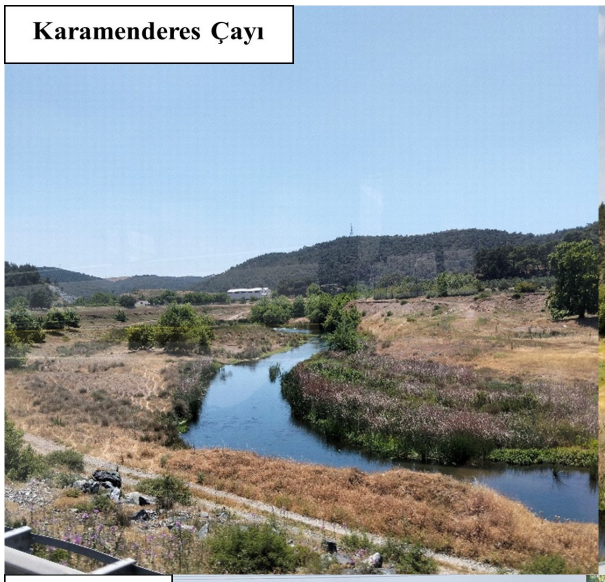
KUZEY EGE HAVZASI İLLER BAZINDA YILLARA GÖRE NÜFUS YOĞUNLUĞU GRAFİKLERİ



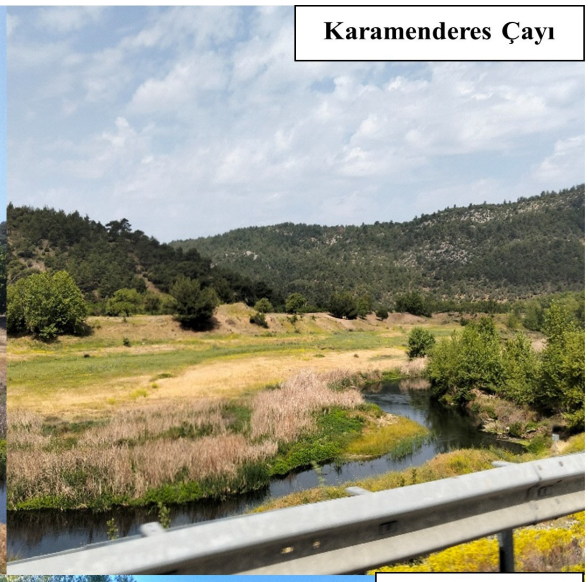
EK 27

KUZEY EGE HAVZASI ANA AKARSULAR VE ÇEVRELERİ

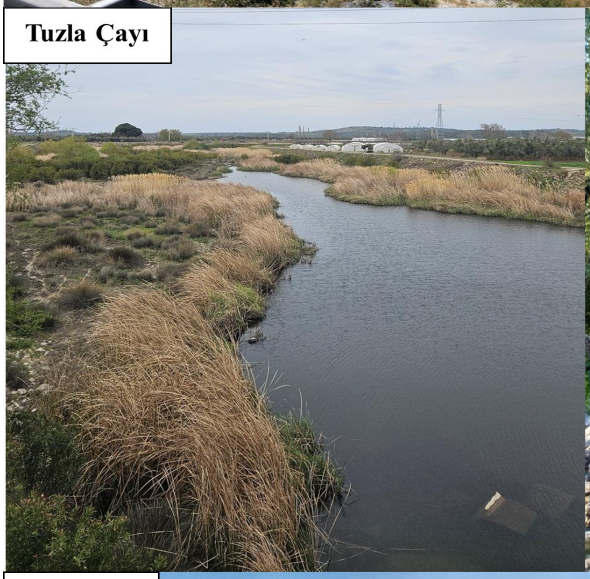
Karamenderes Çayı



Karamenderes Çayı



Tuzla Çayı



Zeytinli Çayı



Bakırçay



Karadere-Karınca Deresi



EK 28

KUZEY EGE HAVZASI AKIM GÖZLEM İSTASYONLARI VE ÇEVRELERİ



EK 29

KARAMENDERES ÇAYI ALT HAVZASI AKARSU YAN KOLLARI VE ÇEVRESİ



EK 30

KARAMENDERES ÇAYI ALT HAVZASI'NIN ORTA KESİMİNDE AKARSU KANAL DEGRADASYONU VE ANTROPOJENİK BASKILAR



EK 31

KARAMENDERES ÇAYI ALT HAVZASI PINARBAŞI MEVKİİ KARAMENDERES ANA AKARSU KANAL DEGRADASYONU VE ÇEVRESİNDEKİ ANTROPOJENİK BASKILAR



EK 32

KARAMENDERES ÇAYI ALT HAVZASI BAYRAMİÇ BARAJI VE ÇEVRESİ



EK 33

TUZLA ÇAYI ALT HAVZASI AYVACIK/TUZLA KÖYÜ İÇİ VE ÇEVRESİ



EK 34

TUZLA ÇAYI ALT HAVZASI AKARSU KANAL DEGRADASYONU VE ÇEVRESİ



EK 35

TUZLA ÇAYI ALT HAVZASI AKARSU YAN KOLLARINDAKİ KURU DERELER VE ÇEVRELERİ



EK 36

TUZLA ÇAYI ALT HAVZASI ANTROPOJENİK BASKILAR



EK 37

TUZLA ÇAYI ALT HAVZASI AYVACIK BARAJI VE ÇEVRESİ



EK 38

ZEYTİNLİ, EDREMİT, HAVRAN VE KARADERE-KARINCA DERESİ ALT HAVZALARI AKARSU KANAL DEGRADASYONU VE ANTROPOJENİK BASKILAR



EK 39

BAKIRÇAY ALT HAVZASI AKARSU KANAL DEGRADASYONU VE ANTROPOJENİK BASKILAR



EK 40

KUZEY EGE HAVZASI'NDA İÇME, KULLANMA VE SULAMA SUYU AMACIYLA KULLANILAN YÜZEYSEL SU KAYNAKLARI GENEL TABLOSU

Su Kaynağı	Bulunduğu İl	Akarsu	Kullanım Amacı
Bayramiç Barajı	Çanakkale	Karamenderes Çayı	S, İ, E
Ayvacık Barajı	Çanakkale	Tuzla Çayı	S, İ
Madra Barajı	Balıkesir	Madra Çayı	S, İ
Sarıbeyler Barajı	Balıkesir	Yağcılı Çayı	S
Havran Barajı	Balıkesir	Havran Çayı	S, T
İnönü Barajı	Balıkesir	Eğri Deresi	S, İ
Karakoç Barajı	Balıkesir	Karakoç Deresi	İ
Reşitköy Barajı	Balıkesir	Karıncadere	S
Zeytinli Barajı	Balıkesir	Zeytinli Çayı	S, İ
Kestel Barajı	İzmir	Kestel Çayı	S, T
Güzelhisar Barajı	İzmir	Güzelhisar Çayı	S, SA, İ
Çaltıkoru Barajı	İzmir	İlyas Çayı	S
Yortanlı Barajı	İzmir	Yortanlı Deresi	S
Kapıkaya Barajı	İzmir	Kırkgeçitdere	S
Karadere Barajı	İzmir	Karadere	S
Kunduz Barajı	İzmir	Kunduz Çayı	İ
Musacalı Barajı	İzmir	Kocadere	S
Sarıcalar Barajı	İzmir	Ilıcadere	S
Yukarı Geyikli Barajı	İzmir	Geyiklidere	S
Sevişler Barajı	İzmir	Yağcılı Çayı	SA, S
Uluköy Göleti	Çanakkale	Körüktaşı Deresi	S
Tavaklı Alemşah Göleti	Çanakkale	Alemşah Deresi	S
Akçin Göleti	Çanakkale	Akçin Göleti	S, İ
İntepe Göleti	Çanakkale	Çatı Deresi	S, İ
Örenli Göleti	Çanakkale	Viranlı Deresi	S
Bakır Göleti	Manisa	Kerimağa Deresi	S
Çaltıcak Göleti	Manisa	İndere	S
Köseler Göleti	Manisa	Köseler Deresi	S

S: Sulama, T: Taşkın koruma, İ: İçme suyu, E: Enerji üretimi ve SA: Sanayi kullanım suyu

Kaynak: TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, 2010: 132; T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016: 6; T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018: 2-51