

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ KULLANILARAK KURAKLIK
OLAYLARININ ALANSAL, ZAMANSAL VE FREKANS ANALİZLERİ:
EGE BÖLGESİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Semra KOCAASLAN KARAMZADEH

Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Doktora Programı

ŞUBAT 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ KULLANILARAK KURAKLIK
OLAYLARININ ALANSAL, ZAMANSAL VE FREKANS ANALİZLERİ:
EGE BÖLGESİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

**Semra KOCAASLAN KARAMZADEH
(706132006)**

Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Doktora Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU

ŞUBAT 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 706132006 numaralı Doktora Öğrencisi Semra KOCAASLAN KARAMZADEH, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ KULLANILARAK KURAKLIK OLAYLARININ ALANSAL, ZAMANSAL VE FREKANS ANALİZLERİ: EGE BÖLGESİ ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ayşe Gül TANIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Murat TÜRKEŞ
Boğaziçi Üniversitesi

Doç. Dr. Orkan ÖZCAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Sinan ŞAHİN
Namık Kemal Üniversitesi

Teslim Tarihi : 27 Ocak 2022
Savunma Tarihi : 21 Şubat 2022





Aileme,



ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı, Coğrafi Bilgi Teknolojileri programında gerçekleştirilen bu tez çalışmasında danışmanlığımı üstlenmeyi kabul eden, akademik bilgi ve deneyimleri ile desteğini her daim hissettiğim danışman hocam Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU'na öncelikle teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Değerli görüş ve katkılarıyla çalışmanın akışına yön veren, hoşgörüsünü hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Ayşe Gül TANIK'a ve Prof. Dr. Murat TÜRKEŞ'e en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyon verilerinin bilabedel temini konusunda Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve uydu verilerini ise tamamen ücretsiz açık erişime sunan Google Earth Engine (GEE) platformu sağlayıcılarına teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarımınla beraber mesai harcadığım Kültür ve Turizm Bakanlığı mülga 1 Nolu Yenileme Alanları K.V.K.B.K. Müdürlüğündeki değerli Müdürüm ve çalışma arkadaşlarıma tüm alakaları ve anlayışları için çok teşekkür ederim.

Bu uzun akademik yolculuğa başlamam ve devam etmemdeki itici güç ve motivasyon kaynağım olan, bana benden çok inanan ve güvenen kıymetli annem Nezaha KOCAASLAN'a; tez çalışmasının mutfağında gerçekleşen ön hazırlık aşamalarında vaktini ve enerjisini cömertçe paylaşan kardeşim Selman KOCAASLAN'a ve GEE uygulamalarında kodlama desteği veren manevi kardeşim Elektronik Müh. Bilal YÜKSEL'e; adeta akademisyen olmak için yaratılmış, çalışma aşkı her şeye galip gelen, gayreti ve azmiyle örnek aldığım, olmasaydı yapamazdım dediğim, bir nevi gönüllü eş danışmanlığımı üstlenen sevgili eşim Doç. Dr. Saeid KARAMZADEH'e gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2022

Semra KOCASLAN KARAMZADEH
(Geomatik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi	3
1.2 Çalışma Alanı.....	4
1.3 Tezin Akışı	6
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
2.1 Kuraklık.....	9
2.2 Kuraklık İndikatör ve İndisleri	11
2.2.1 Meteorolojik verilere dayalı kuraklık indisleri	12
2.2.2 Uzaktan algılama verilerine dayalı kuraklık indisleri	14
2.3 Dünyada ve Türkiye’deki Başlıca Kuraklık İzleme Sistemleri.....	19
2.4 Ege Bölgesi’ne İlişkin Kuraklık İzleme Çalışmaları.....	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1 Kullanılan Veriler.....	23
3.1.1 Uydu verileri	23
3.1.2 Yersel veriler.....	25
3.2 Uygulanan İndisler	27
3.2.1 Bitki durum indisi	27
3.2.2 Sıcaklık durum indisi	28
3.2.3 Bitki sağlık indisi	28
3.2.4 Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi	29
3.3 Zaman Frekans Analizleri	31
3.3.1 Fourier dönüşümü	31
3.3.2 Kısa zamanlı fourier dönüşümü	32
3.3.3 Dalgacık dönüşümü.....	32
3.3.3.1 Sürekli dalgacık dönüşümü.....	33
3.3.3.2 Çapraz dalgacık dönüşümü	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	35
4.1 Kuraklık Olaylarının Mekansal ve Zamansal Analizleri.....	36
4.1.1 VCI, TCI ve VHI ile kuraklığın mekansal deseni.....	36
4.1.2 VCI, TCI ve VHI zaman serileri	38
4.1.3 SPEI zaman serisi.....	41
4.2 Frekans Analizleri	46

4.3 Korelasyon Analizleri	48
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR.....	61
EKLER	71
ÖZGEÇMİŞ.....	81



KISALTMALAR

CRED	: The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
EROS	: Earth Resources Observation Systems
FAO	: Food and Agriculture Organization of United Nations
EOS	: Earth Observing System
GEE	: Google Earth Engine
HDF-EOS	: Hierarchical Data Format-Earth Observing System
JRC	: European Commission Joint Research Center
LST	: Land Surface Temperature
LP DAAC	: Land Processes Distributed Active Archive Center
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NDMC	: National Drought Mitigation Center
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
NIR	: Near-Infrared
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
PET	: Potansiyel Evapotraspirasyon
SPI	: Standardized Precipitation Index
SPEI	: Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index
TERRA	: EOS satellite-NASA flagship satellite under Earth System Enterprise
TIR	: Thermal Infrared
TRMM	: Tropical Rainfall Measurement Mission
UNDRR	: UN Office for Disaster Risk Reduction
USGS	: United States Geological Survey
WGS	: World Geodetic System
WMO	: World Meteorological Organization



SEMBOLLER

C	: Celcius
$C_x(a, \tau)$	: Dalgacık dönüştürme katsayısı
$C_x^*(a, \tau)$	: Dalgacık dönüştürme katsayısının konjugesi
kg	: Kilogram
mm	: Milimetre
m²	: Metrekare
P_i	: Aktüel aylık yağış miktarını
T	: Aylık ortalama sıcaklık
α	: Ağırlık katsayısı
ψ	: Ana dalgacık fonksiyonu
ω	: Radyan/örnek cinsinden normalleştirilmiş frekans
σ_i	: Standart sapma



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Uydu verilerine dayalı başlıca kuraklık indisleri, geliştiren yazarlar ve formülasyonları.....	18
Çizelge 3.1 : Kullanılan uydu verileri ve teknik özellikleri.....	24
Çizelge 3.2 : Meteoroloji gözlem istasyonları konum ve yükseklik bilgileri.....	26
Çizelge 3.3 : VCI ve VHI kuraklık sınıflandırması	29
Çizelge 3.4 : SPEI kuraklık sınıflandırması	31



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dünya genelinde meydana gelen doğal afetlerden etkilenen insan sayısı..	2
Şekil 1.2 : Çalışma alanının konumu ve topografyası	5
Şekil 1.3 : Ege Bölgesi yıllık ortalama alansal yağış miktarı grafiği	6
Şekil 1.4 : Ege Bölgesi yıllık ortalama alansal yağışların 1981-2010 yılları normaline göre fark grafiği	6
Şekil 2.1 : Kuraklık türleri, ilişkileri ve etkilerini yansıtan diyagram	11
Şekil 3.1 : Meteoroloji istasyonlarının mekânsal dağılımı	26
Şekil 3.2 : Zaman-frekans ekseninde dönüşümlerin şematik gösterimi	33
Şekil 4.1 : Çalışmanın işlem adımlarına ilişkin akış şeması.....	35
Şekil 4.2 : GEE arayüzünde a) indislerin kodlamayla hesaplanması, b) renklendirilmiş gösterimi.....	37
Şekil 4.3 : Bitki gelişim dönemine ilişkin indis sonuçları a) TCI Mayıs 2007, b) VCI Mayıs 2007, c) VHI Mayıs 2007, d) TCI Haziran 2007, e) VCI Haziran 2007, f) VHI Haziran 2007, g) TCI Temmuz 2007, h) VCI Temmuz 2007 ve j) VHI Temmuz 2007	38
Şekil 4.4 : 2000-2018 yılları aralığı VHI temmuz ayı örneği ile kuraklığın zamansal ve alansal dağılımı.....	39
Şekil 4.5 : Uydu bazlı indislerin zaman serisi ve kuraklık sınır değer aralıkları a) VCI, b) TCI ve c) VHI.....	40
Şekil 4.6 : SPEI-3 zaman serisi ve kuraklık sınır değer aralıkları	41
Şekil 4.7 : FFT dönüşümüyle spektral analizler a) VCI, b) TCI ve c) VHI	43
Şekil 4.8 : SPEI-3 için STFT zaman-frekans analizi	44
Şekil 4.9 : 1980-2018 yılları aralığında aylık SPEI-3 zaman serisi ve Morlet kullanılan CWT'nin gerçek kısmı	45
Şekil 4.10 : SPEI-3 zaman serisi Dalgacık güç spektrum analizi.....	46
Şekil 4.11 : Çapraz Dalgacık analiz sonuçları a) SPEI-3 ve VCI, b) SPEI-3 ve TCI, c) SPEI-3 ve VHI.....	47
Şekil 4.12 : Dalgacık Tutarlılık analiz sonuçları a) SPEI-3 ve VCI, b) SPEI-3 ve TCI, c) SPEI-3 ve VHI.....	49
Şekil 4.13 : Çapraz Dalgacık ile korelasyon analizleri a) SPEI-1 ile VCI, b) SPEI-3 ile VCI, c) SPEI-6 ile VCI, d) SPEI-9 ile VCI, e) SPEI-12 ile VCI	51
Şekil 4.14 : Çapraz Dalgacık ile korelasyon analizleri a) SPEI-1 ile VHI b) SPEI-3 ile VHI, c) SPEI-6 ile VHI, d) SPEI-9 ile VHI, e) SPEI-12 ile VHI	54
Şekil A.1 : GEE platformunda veri koleksiyonu ve entegrasyonu	72
Şekil A.2 : GEE platformunda filtreleme	73
Şekil A.3 : GEE platformunda indisler için oluşturulan kodlamalar.....	74
Şekil A.4 : GEE platformunda örnek indis sonucu	76
Şekil B.1 : MATLAB yazılımında kodlama örneği	77
Şekil C.1 : R yazılımında “yatağan” istasyonu için PET ve SPEI kodlama örneği ..	78
Şekil D.1 : Farklı zaman ölçeklerinde hesaplanan SPEI örnek sonuç tablosu	79



UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ KULLANILARAK KURAKLIK OLAYLARININ ALANSAL, ZAMANSAL VE FREKANS ANALİZLERİ: EGE BÖLGESİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Çağımızın yüzleştiği sorunların en önde geleni şüphesiz ki küresel ısınma ve beraberinde getirdiği iklim değişikliğidir. İklim değişikliğinin, iklim modellerini değiştireceği ve aşırı hava olaylarının sıklığını artıracak tahmin edildiğinden, dünyanın karşı karşıya olduğu en önemli sorunlardan biridir. Bu değişikliğin; iklim kuşaklarının yer değiştirmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, şiddetli hava olaylarının yaşanması, taşkın ve sellerin kuvvetli etkilerinin daha sık görülmesi, kuraklık ve çölleşme gibi insan yaşamını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilecek olumsuz sonuçlara yol açtığı aşikârdır.

Kuraklık ise karmaşık yapısı nedeniyle diğer afetlere göre anlaşılması güç bir afettir. Başlangıç ve bitişi, etki süresi, şiddeti gibi niteliklerini tespit etmek zordur. Diğer yandan, geçmişte yaşanan kuraklık olaylarının tespit edilmesi ve takibinin yapılması, gelecekte ortaya çıkabilecek olası risklerin önceden kestiriminin yapılması, bu doğrultuda erken uyarı sistemlerinin oluşturulması ve kuraklıkla mücadele planlanması kapsamında gerekli tedbirlerin alınması bakımından oldukça önemlidir.

Geleneksel kuraklık izleme ve değerlendirme yöntemleri genellikle sürekli olmayan istasyon bazlı meteorolojik verilere dayanmakta iken, uzaktan algılama teknolojisi ve yöntemleri sağladığı sinoptik görüşle, hızlı bilgi üretme imkânı ve mekânsal olarak sürekli bilgi sunması bakımından bu tür çalışmalar için güçlü bir alternatiftir.

Uzaktan algılama verilerinin meteorolojik verilere göre gözlem kapsamı, doğrudan görüntüleme ve meteorolojik olmayan faktörlerin etkilerini yakalama yeteneği gibi bazı avantajları vardır. Bu anlamda, uydulardan elde edilen yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüklü veri setleri, meteorolojik istasyonların bulunmadığı veya dağılımının seyrek olduğu alanlarda bile kuraklığın değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar için önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasının öncelikli amacı; neredeyse gerçek zamanlı, çoğunlukla ücretsiz veya çok ekonomik uydu verilerinin kuraklık olaylarını izleme ve öngörme çalışmalarında kullanılabilirliğini araştırmak, uzaktan algılama yöntemlerinin sunduğu olanaklarla Türkiye'deki geleneksel kuraklık izleme yöntemleri için destekleyici ve gerekli bir unsur olduğunu ortaya koymaktır.

Bu temel amaç çerçevesinde ikincil amaçlar; (1) yapılan literatür incelemesi doğrultusunda uzaktan algılamaya dayalı kuraklık indisleri olarak seçilen gerek bölgesel gerekse ülke bazında dünya çapında sayısız çalışmada doğruluğu test edilmiş Bitki Durum İndisi (VCI), Sıcaklık Durum İndisi (TCI), Bitki Sağlık İndisi (VHI) ile kuraklık olaylarını mekânsal ve zamansal olarak değerlendirmek, (2) uzaktan algılamaya dayalı kuraklık indisleriyle karşılaştırmalı olarak yersel meteorolojik gözlem istasyon verilerine dayalı Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi

(SPEI) ile kuraklık olaylarını değerlendirmek, (3) uydu ve yersel olmak üzere farklı iki kaynaktan gelen verilere dayalı kuraklık indislerinin zaman serilerinin frekans analizlerini irdelemek, (4) VCI, TCI, VHI indisleri ile SPEI indisinin korelasyonunu ve tutarlılığını literatürde ilk kez bu çalışma ile çapraz dalgacık yöntemi aracılığıyla test etmek olarak belirlenmiştir.

Bu amaçlar doğrultusunda; büyük Akdeniz Havzası'nın bir parçası olan, Akdeniz ikliminin tipik özelliklerini göstermesi ve topografyası bakımından yaz kuraklıklarının yoğun olarak yaşandığı bilinen Ege Bölgesi örnek çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Uzaktan algılamaya dayalı kuraklık indisleri için gerekli olan veriler, orta ölçekli ve yüksek zamansal çözünürlüklü, hiperspektral MODIS uydusunun sunulmaya başlandığı tarih olan 2000 yılından bu yana çalışma bölgesini kapsayan alan için temin edilmiştir.

VCI, TCI ve VHI kuraklık indislerinin uygulamalarına ilişkin işlem adımları, Google tarafından başlatılan güncel uygulamalardan biri olan bulut tabanlı Google Earth Engine (GEE) platformunda javascript kodlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bahsi geçen indislerin elde edilmesinde gerekli olan yer yüzey sıcaklığı, Normalize Edilmiş Bitki Fark İndisi (NDVI) gibi verilerin temin edilmesi, ilgili bant kombinasyonlarının seçilmesi, ilgili alanın sınırlarının tanımlanması, tarih aralığının filtrelenmesi, bulutluluk maskeleymesi gibi ön işlem adımları ile verilerin işlenmesi, indislere ait formülasyonların uygulanması, zaman serilerinin elde edilmesi, sonuçların analiz edilmesi, görselleştirilmesi ve saklanması gibi işlem adımlarında GEE platformunun sunduğu olanaklardan yararlanılmıştır.

Uydu bazlı VCI, TCI ve VHI indislerinin zaman serileri incelenerek durağan veri formuna uyduğu belirlenerek frekans analizleri Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) ile yapılmıştır. Sonuçlar, bu üç indis için kuraklık modellerinin periyodik özelliklerinin çok yakın olduğunu göstermiştir. Kuraklık zaman serilerinin harmonik davranışı incelendiğinde ise döngülerin yaklaşık 5.9, 3.01 ve 2.01 yıl olduğu görülmüştür.

Bununla birlikte, bu periyod içerisinde aylık olarak elde edilen uydu temelli kuraklık indisleri olan TCI, VCI ve VHI zaman serileri (19 yıl; 228 ay) ile yersel istasyon verilerine dayalı SPEI-3 (39 yıl; 468 ay) zaman serisinin kesiştikleri ortak zaman periyodu içindeki korelasyon ve frekans analizleri yapılmıştır.

Diğer yandan; meteorolojik istasyon verilerine dayalı SPEI için uzun yıllar veri seti gerektiğinden çalışma alanını kapsayan mümkün olduğunca homojen dağılımlı 23 adet meteoroloji gözlem istasyonuna ait 1980-2018 yılları aralığında aylık toplam yağış ($\text{mm}=\text{kg}/\text{m}^2$), aylık ortalama sıcaklık verileri ($^{\circ}\text{C}$), coğrafi koordinatları içeren veri seti Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Yersel istasyon verilerinden elde edilen SPEI yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki iklimsel dengeye dayanır. PET hesaplanmasında basit ve etkili bir yöntem olan Thornthwaite yaklaşımı benimsenmiştir. 39 yıllık periyodu kapsayan veri seti ile SPEI değerleri, 1-aylık (SPEI-1), 3-aylık (SPEI-3), 6-aylık (SPEI-6), 9-aylık (SPEI-9) ve 12 aylık (SPEI-12) zaman ölçeklerinde elde edilmiş olup, oluşturulan zaman serileri ile kuraklık olaylarının zamansal dağılımını değerlendirilmiştir.

SPEI zaman serisi durağan olmayan zaman serisi özelliği gösterdiğinden, diğer bir deyişle farklı zaman dilimlerinde farklı davranış sergilediğinden, tüm zamanlar için aynı fonksiyonun kullanıldığı klasik Fourier ve Hızlı Fourier dönüşümü yerine, zaman serisinin frekans analizi Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (STFT) ve Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT) yöntemleri ile yapılmıştır. SPEI zaman serisinin güç spektrumu ile

gösterilen dalgacık dönüşümü sonucuna göre, 10-12 ay (1988-1992 yıllarında), 12-14 ay (2006-2009 yıllarında) ve 8-10 ay (2012-2015 yıllarında) periyodik döngülerinin olduğu görülmüştür. SPEI zaman serisinin güç spektrumu ile gösterilen dalgacık dönüşümü sonucuna göre, 10-12 aylık (1988-1992 yıllarında), 12-14 aylık (2006-2009 yıllarında) ve 8-10 aylık (2012-2015 yıllarında) periyodik döngülerinin olduğu görülmüştür.

Farklı iki kaynak olan uydu ve yersel verilere dayalı kuraklık indislerinin zaman serilerinin korelasyonu ve tutarlılığı literatürde ilk kez Çapraz Dalgacık Dönüşümü (XWT) ve Dalgacık Tutarlılığı (WTC) yöntemleriyle bu çalışmada test edilmiştir. Bu yöntemlerle, zaman serilerinin yalnızca ilişkisi değil aynı zamanda hangi dönemlerde ortak yüksek güç gösterdikleri zamandaki frekans bölgeleri tespit edilmiştir. Faz yapısı ve ayrıntıları zaman alanında ve frekans alanında incelenmiş olup, sonuçları tartışılmıştır.





SPATIO-TEMPORAL AND FREQUENCY ANALYSIS OF DROUGHT EVENTS VIA REMOTE SENSING DATA: CASE STUDY OF AEGEAN REGION

SUMMARY

The foremost of the problems facing our age is undoubtedly global warming and the climate change it brings. Climate change is one of the most important problems facing the world, as it is predicted to alter climate patterns and increase the frequency of extreme weather events. It is obvious that this change has negative consequences that may directly or indirectly affect human life, such as displacement of climatic regions, melting of land and sea glaciers, rising sea levels, severe weather events, more frequent effects of floods, drought and desertification.

Drought, conversely, is a disaster that is difficult to understand compared to other disasters due to its complex structure. It is a slow-spreading, silent disaster that can affect large areas. It is difficult to determine its characteristics such as its beginning and end, duration of effect, and severity. It is considered a relative situation, not an absolute one. It can occur in both high and low rainfall areas and in almost any climate regime, even in deserts and rainforests.

In the literature, drought has been divided into four main classes according to the varying impact areas and the parameters used to distinguish it. These have been defined as meteorological, agricultural, hydrological, and socioeconomic. Drought varieties occur at different time scales and are closely related to each other. Basically, meteorological as a result of the lack of precipitation, then agricultural due to the lack of water in the soil, hydrological losses due to the decrease in rivers and underground water reserves, and socio-economic drought due to all social and environmental consequences.

On the other hand, it is very important to detect and follow up the drought events in the past, to predict the possible risks that may arise in the future, to establish early warning systems in this direction and to take the necessary measures within the scope of planning the mitigate against drought.

While traditional drought monitoring and evaluation methods are generally based on non-continuous station-based meteorological data, remote sensing technology is a strong alternative for such studies in terms of providing fast information production and spatially continuous information with the synoptic view it offers. Remotely sensed data has some advantages over meteorological data, such as the scope of observation, direct imaging, and the ability to capture the effects of non-meteorological factors. In this sense, high spatial and temporal resolution data sets obtained from satellites constitute an important resource for studies conducted to evaluate drought even in areas where there are no meteorological stations or where their distribution is sparse.

The main purpose of this thesis is to investigate the usability of near real-time, mostly free or very economical satellite data for monitoring and forecasting drought events,

and to demonstrate that it is a supportive and necessary element for the existing traditional drought monitoring methods especially in Turkey.

Secondary purposes within the framework of this main purpose; (1) to evaluate drought events spatially and temporally with Vegetation Condition Index (VCI), Temperature Condition Index (TCI), and Vegetation Health Index (VHI) which have been selected as remote sensing drought indices in line with the literature review, which have been tested in numerous studies on a regional and country basis, worldwide; (2) to evaluate drought events with the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) time series based on terrestrial meteorological station based data in comparison with remote sensing drought indices, (3) to examine the time-frequency analyzes of the time series of drought indices based on data from two different sources, (4) to test the correlation and consistency of VCI, TCI, VHI indices with SPEI via Cross Wavelet (XWT), and Coherence Wavelet (CWT) methods.

In line with these purposes, The Aegean Region, which is known to experience intense summer droughts in terms of its topography and showing the typical characteristics of the Mediterranean climate, was chosen as the case study area.

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor products MOD11A2.006 and MOD13A2.006 have been used and analyzed as remotely sensed data. The time series of satellite-based indices (VCI, TCI, VHI) were obtained by using the javascript language codes via the cloud-based Google Earth Engine (GEE), one of Google's current applications. As well, preprocessing steps such as preparation of related bands, selecting region, filtering date, masking clouds, and processing steps such as obtaining, analyzing, visualizing, and storing the necessary data were performed with GEE.

Since the time series of satellite-based VCI, TCI and VHI indices are in the form of stationary data, frequency analyzes were performed with Fast Fourier Transform (FFT). The results showed that the periodic characteristics of the drought patterns for these three indices were very close. When the harmonic behavior of the drought time series is examined, it is seen that the cycles are approximately 5.9, 3.01 and 2.01 years.

On the other hand, to calculate SPEI as a meteorological based drought indice, the data set containing the monthly total precipitation ($\text{mm}=\text{kg}/\text{m}^2$), monthly average temperature data ($^{\circ}\text{C}$), geographical coordinates, between 1980-2018 belonging to 23 meteorological observation stations with as homogeneous distribution as possible covering the study area, was obtained from the Turkish State Meteorological Service.

SPEI derived from in situ data is based on the climate balance between precipitation and potential evapotranspiration (PET). Thornthwaite approach, which is a simple and effective method, is adopted for PET calculation. SPEI values with a dataset covering a period of 39 years, 1-month (SPEI-1), 3-month (SPEI-3), 6-month (SPEI-6), 9-month (SPEI-9) and 12-month (SPEI-12) obtained on time scales. The temporal distribution of drought events was evaluated with the time series.

Since the SPEI time series exhibits non-stationary characteristics, in other words, it behaves differently in different time periods, instead of the classical Fourier and Fast Fourier transform, where the same function is used for all times, frequency analysis was performed with Short-Time Fourier Transform (STFT) and Continuous Wavelet Transform (CWT) methods. According to the wavelet transform result of the SPEI time series shown on the power spectrum, periodic cycles of 10-12 months (in the

years 1988-1992), 12-14 months (in the years 2006-2009) and 8-10 months (in the years 2012-2015) were observed.

In addition, the correlation and frequency analyzes were performed in the common time period where the monthly satellite-based drought indices TCI, VCI, and VHI time series (19 years; 228 months) and SPEI-3 (39 years; 468 months) time series based on station data intersect.

Also, the correlation and consistency of the time series of drought indices on satellite and station-based data which are two different sources, were tested for the first time in the literature with the Cross Wavelet Transform (XWT) and Wavelet Coherence (WTC) methods in this study. With these methods, the frequency domains of the time series showing common high power were determined, and the phase structure and details were examined in the time domain and frequency domain.



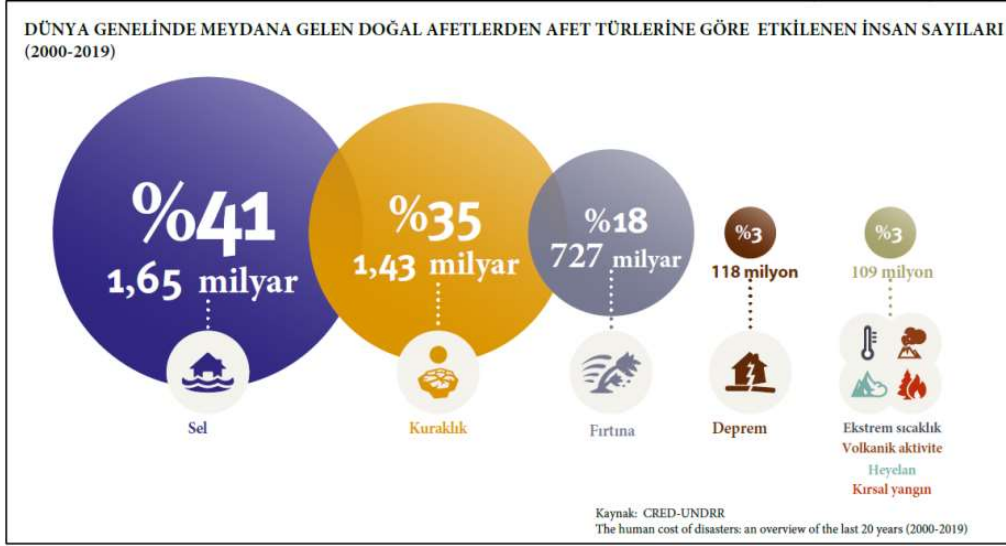


1. GİRİŞ

Çağımızın yüzleştiği sorunların en önde geleni şüphesiz ki küresel ısınma ve beraberinde getirdiği iklim değişikliğidir. İklim değişikliği, iklim modellerini değiştireceği ve aşırı hava olaylarının sıklığını artıracığı tahmin edildiğinden, dünyanın karşı karşıya olduğu en önemli sorunlardan biridir (Hayes vd., 2004; IPCC, 2018) Bu değişikliğin; iklim kuşaklarının yer değiştirmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, şiddetli hava olaylarının yaşanması, taşkın ve sellerin kuvvetli etkilerinin daha sık görülmesi, kuraklık ve çölleşme gibi insan yaşamını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilecek olumsuz sonuçlara yol açtığı aşîkardır.

Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi'nin (The UN Office for Disaster Risk Reduction-UNDRR) on veya daha fazla kişinin ölümüne neden olan afetleri kaydeden Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi'nin (The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters-CRED) Acil Durum Veri Tabanından (EM-DAT) alınan verilere dayanan istatistikleri içeren güncel raporda dünya genelinde 2000-2019 yılları aralığında gerçekleşen doğal afetlerden etkilenen insan sayısının afet türlerine göre sıralanışı oldukça dikkat çekicidir (CRED-UNDRR, 2020). Rapora göre, doğa kaynaklı afetlerden etkilenen insan sayısı bakımından tüm afetler içerisinde 1,65 milyar insanın etkilenmesine neden olarak %41'lik bir oran ile ilk sırada sel felaketi yer alırken, hemen ardından ikinci sırada sel afetini 1,43 milyar kişi %35'lik yüksek bir oran ile kuraklık takip etmektedir (Şekil 1.1). Bunu, 727 milyar kişi (%18) ile fırtına ve 118 milyon kişi (%3) ile deprem 109 milyon kişi ile diğer afetlerin izlediği görölmektedir (MGM, 2021).

Kuraklık, doğası gereği tüm doğal afetler içinde en karmaşık olanıdır (Wilhite, 1992). Sel, fırtına, hortum, heyelan, deprem gibi diğer afetlerden farklı olarak etkileri hemen ortaya çıkmaz. Geniş alanları etkileyen, yavaş yayılan sessiz bir afettir. Kuraklık, yağışsız geçen uzun bir dönemden sonra görüldüğünden başlangıcını, kapsamını ve sonunu belirlemek, etkileri daha kısa sürede anlaşılan diğer afetlere göre güçtür (Wilhite, 2000; Mishra ve Singh, 2010; Türkes, 2012).



Şekil 1.1 : Dünya genelinde meydana gelen doğal afetlerden etkilenen insan sayısı (CRED-UNDRR 2020 raporundan Türkçeleştiren MGM, 2021a).

Kuraklığın etkileri önemli ve yaygındır, herhangi bir zamanda birçok ekonomik sektörü ve insanı etkiler. Kuraklığa karşı ilk ve en savunmasız sektör ise tarımdır (FAO, 2017). Tarım ürünlerinde azalmayla sonuçlanan kuraklık olayları insanının temel ihtiyaçlarını karşılamayı da maliyetli bir hale getirir.

Kuraklığa maruz kalan alanlar ise genellikle taşkın alanları, yangın bölgeleri, fırtına izleri veya fay bölgeleri gibi sınırları belirgin olan diğer afetlere göre tipik olarak daha geniş alanları kapsadığından bu alanların izlenmesi, mevcut durum analizlerinin yapılması veya yapılan iyileştirmelerin takip edilmesi uzun zaman almaktadır. Uzaktan algılama, kuraklıkla ilişkili değişkenlerin ölçülmesinde periyodik olarak güncellenen veriler sunar. Bu veriler doğrudan veya dolaylı olarak kuraklık çeşitlerini belirlemeye yönelik uydular aracılığıyla farklı frekans aralıklarında algılanan yağış, toprak nemi, bitki örtüsü ve yüzey sıcaklığı gibi parametreleri içerir. Kuraklığın izlenmesi amacıyla bu parametrelerden yararlanılarak çok sayıda yöntem geliştirilmiştir.

Geleneksel kuraklık izleme ve değerlendirme yöntemleri genellikle sürekli olmayan istasyon bazlı meteorolojik verilere dayanmakta iken, uzaktan algılama teknolojisi sağladığı sinoptik görüşle, hızlı bilgi üretme imkânı ve mekansal olarak sürekli bilgi sunması bakımından bu tür çalışmalar için güçlü bir alternatiftir. Uzaktan algılama

verilerinin meteorolojik verilere göre gözlem kapsamı, doğrudan görüntüleme ve meteorolojik olmayan faktörlerin etkilerini yakalama yeteneği gibi bazı avantajları vardır. Bu anlamda, uydulardan elde edilen yüksek mekansal ve zamansal çözünürlüklü veri setleri, meteorolojik istasyonların bulunmadığı veya dağılımının seyrek olduğu alanlarda bile kuraklığın değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar için önemli bir kaynak oluşturmaktadır (Peters vd., 1991; Ji ve Peters, 2003; Caccamo vd., 2011).

1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu tez çalışmasının öncelikli amacı; küçük ve büyük ölçekli alanlar için sınırsız veri sunan, neredeyse yakın zamanlı, çoğunlukla ücretsiz veya oldukça ekonomik uydu verilerinin, küresel iklim değişikliğinin sebep olduğu başlıca sorunlardan biri olan kuraklık olaylarını izleme ve öngörme çalışmalarında kullanılabilirliğini araştırmak, uzaktan algılama yöntemlerinin sunduğu olanaklarla Türkiye'deki mevcut geleneksel kuraklık izleme yöntemleri için destekleyici ve gerekli bir unsur olduğunu ortaya koymaktır. Bu temel amaç çerçevesinde ikincil amaçlar;

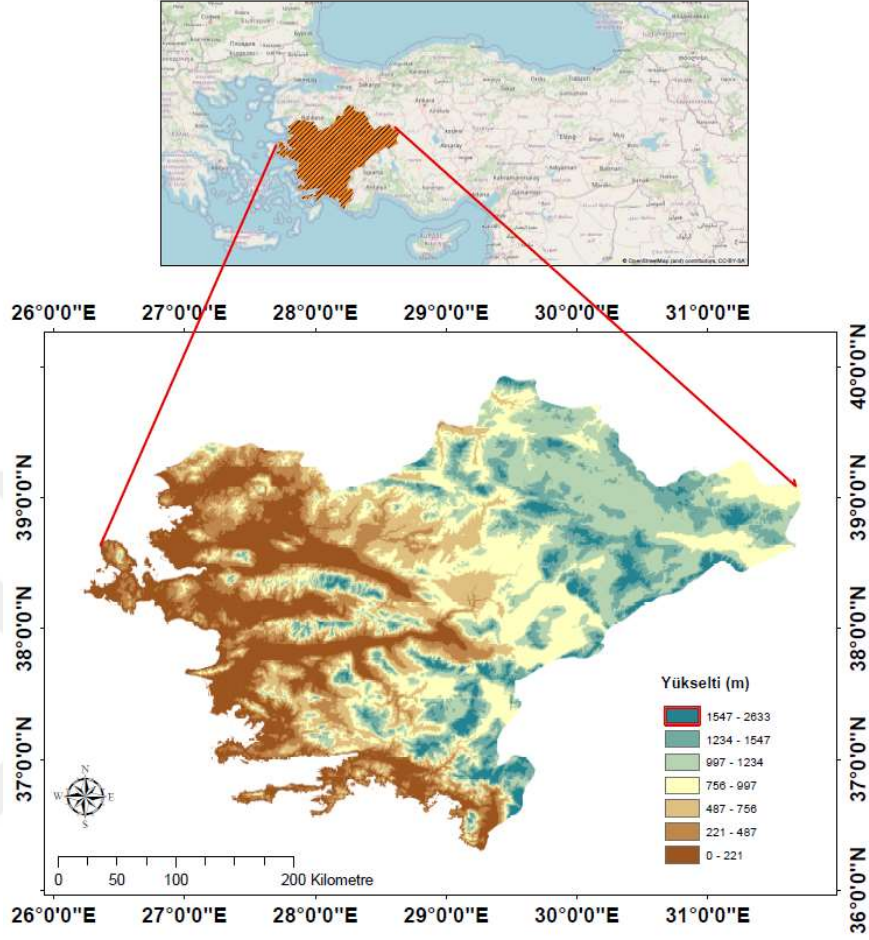
- yapılan literatür incelemesi doğrultusunda uzaktan algılamaya dayalı kuraklık indisleri olarak seçilen Bitki Durum İndisi (VCI), Sıcaklık Durum İndisi (TCI), Bitki Sağlık İndisi (VHI) ile kuraklık olaylarını mekânsal ve zamansal olarak değerlendirmek,
- uzaktan algılamaya dayalı kuraklık indisleriyle karşılaştırmalı olarak yersel meteorolojik gözlem istasyon verilerine dayalı Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index- SPEI) zaman serileri ile kuraklık olaylarını değerlendirmek,
- farklı iki kaynaktan gelen (uydu ve yersel) verilere dayalı kuraklık indislerinin zaman serilerinin frekans analizlerini irdelemek,
- literatürde ilk kez bu çalışmada uygulanan VCI, TCI, VHI indisleri ile SPEI indisinin Çapraz Dalgacık Yöntemi ile korelasyonunu ve tutarlılığını test etmek olarak belirlenmiştir.

1.2 Çalışma Alanı

Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) Dördüncü Değerlendirme Raporuna (AR4) göre Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası'nda genel sıcaklık artışının 1-2°C'ye ulaşacağı, kuraklığın geniş bölgelerde hissedileceği ve özellikle iç kesimlerde sıcak hava dalgalarının ve aşırı sıcak günlerin sayısının artacağı, Türkiye'de ise yıllık ortalama sıcaklığın gelecek yıllarda 2,5-4°C artacağı, Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde 4°C' yi, iç bölgelerinde ise bu artışın 5°C'yi bulacağı öngörülmekte olup (IPCC, 2007), IPCC'nin 2018 yılındaki güncel raporunda ise Akdeniz Bölgesi de dahil olmak üzere birçok bölgede insan kaynaklı (antropojenik) küresel ısınmanın sonucu olarak kuraklığın sıklığında, yoğunluğunda ve/veya kuraklık şiddetinde kayda değer artış olduğuna dair önemli kanıtlar sunulmuştur (IPCC, 2018). Bu nedenle, büyük Akdeniz Havzası'nın bir parçası olan, Akdeniz ikliminin tipik özelliklerini göstermesi ve topografyası bakımından yaz kuraklıklarının yoğun olarak yaşandığı bilinen Ege Bölgesi örnek çalışma bölgesi olarak seçilmiştir.

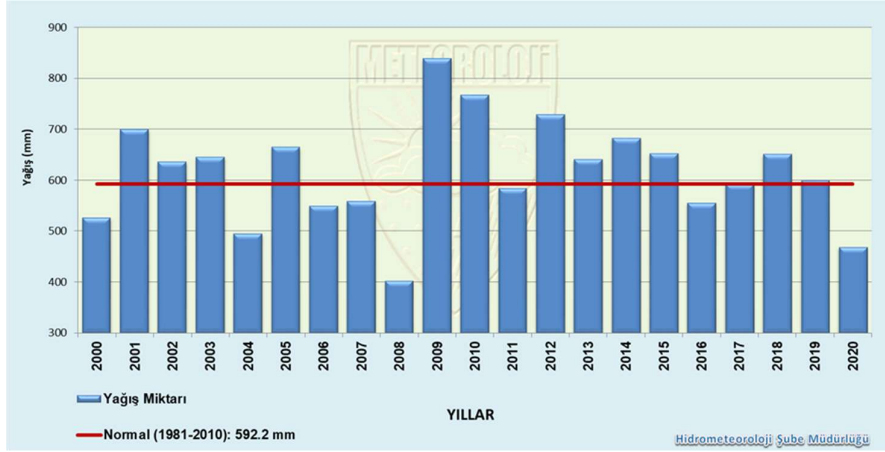
Türkiye'nin batısında yer alan Ege Bölgesi (38° 57' 58" Kuzey, 28° 43' 14" Doğu), farklı iklim koşullarına ve topografik özelliklerine göre ayrılmış yedi coğrafi bölgeden biridir (Şekil 1.2). Bölgedeki sıradağlar Ege kıyı şeridinde dik bir seyir izlediğinden deniz iklimi iç kesimlerdeki geniş ovalara kadar etki eder (Ünal vd., 2003). Diğer yandan, iç kesimlere doğru rakımın artması ve deniz etkisinden uzaklaşması nedeniyle kıyı şeridindeki kısmen iklim iç bölgelerden ayrışır. İç Batı Anadolu bölümüne gidildikçe irtifa artışı ve denize olan uzaklık nedeniyle iklim kesintili bir hal alır (Önol, 2012). Genel itibarıyla, Akdeniz iklim rejiminin etkisi altında olan bölgede, kışları serin ve yağışlı, kıyılarında yazları daha çok sıcak ve kurak, iç kesimlerinde ise yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve karlı olan yarı kurak karasal iklim hakimdir (Kutiel ve Türkeş, 2017).

Bununla birlikte, bölgenin ülke ekonomisine katkısı daha çok tarım alanındadır. İklim koşulları ve yer şekillerine bağlı olarak yetiştirilen ürünler çeşitlilik göstermektedir. Tütün, pamuk, zeytin, incir, turuncgiller, üzüm, haşhaş ve hububat bölgede yetiştirilen başlıca tarım ürünleridir.

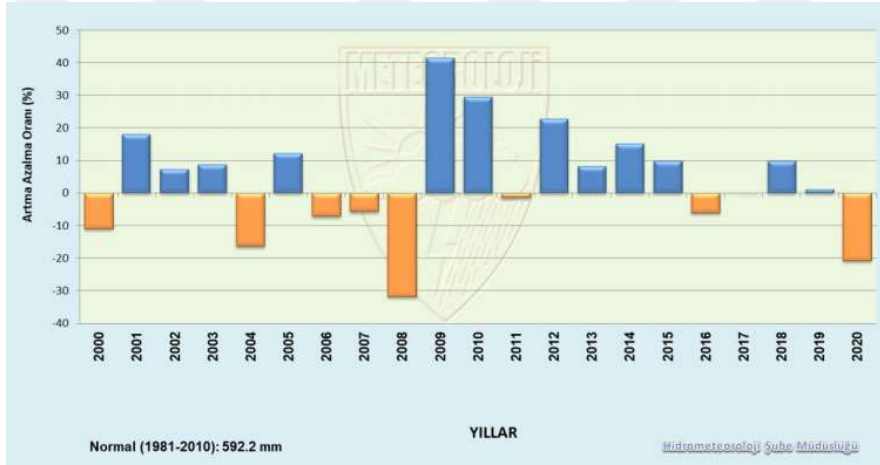


Şekil 1.2 : Çalışma alanının konumu ve topografyası.

Meteoroloji Genel Müdürlüğünün güncel raporuna göre Bölgedeki son yirmi yıldaki ortalama alansal yağış miktarı karşılaştırıldığında ise en fazla yağışın 2009 ve 2010 yıllarında gerçekleştiği, 400 mm ile en az yağışın 2008 yılında olduğu, 468.7 mm yağışla 2020 yılının en az yağış alınan ikinci yıl olduğu ve bir önceki yıla göre %21,8 ile en fazla azalmanın olduğu bölge olduğu anlaşılmaktadır (MGM, 2021b) (Şekil 1.2). Bölgenin 2000-2020 yılları aralığında yıllık ortalama alansal yağışlarının 1981-2010 yılları aralığındaki 592.2 mm yağış normali ile karşılaştırmasında en fazla azalmanın sırasıyla 2008, 2020, 2004 ve 2000 yıllarında olduğu görülmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 : Ege Bölgesi yıllık ortalama alansal yağış miktarı grafiği (MGM, 2021b).



Şekil 1.4 : Ege Bölgesi yıllık ortalama alansal yağışların 1981-2010 yılları normaline göre fark grafiği (MGM, 2021b).

1.3 Tezin Akışı

Tezin ikinci bölümünde, uzaktan algılama temelli kuraklık değerlendirme çalışmaları odağında yapılan kapsamlı literatür incelemesi sonucu kısa bir derlemeye yer verilmiştir. Kuraklık tanımı ve türleri hakkında kısaca bilgiler verilmiş, kuraklığın belirlenmesi noktasında yararlanılan indis ve indikatör kavramlarına değinilmiştir. Kuraklık olaylarını nitelik ve niceliksel olarak değerlendirmeye yarayan kuraklılık indislerinden daha çok meteorolojik ve tarımsal kuraklığı belirlemeye yönelik bir inceleme yapılmıştır. Uydu bazlı indisler daha öz halde çizelge halinde sunulmuştur. Dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan başlıca meteorolojik indislerden ve kuraklık izleme sistemlerinden ve Ege Bölgesi'ne ilişkin yapılan kuraklık izleme çalışmalarından söz edilmiştir.

Üçüncü bölümde, girdi parametre olarak yararlanılan uydu ve yersel verilerin özellikleri hakkında bilgiler verilerek, kullanılan uydu verilerine dayalı kuraklık indisleri olan VCI, TCI, VHI ile meteoroloji verilerine dayalı SPEI uygulama adımlarına ilişkin metodoloji anlatılmıştır. Bu indislerin zaman ve frekans analizi için belirlenen yöntemlerin temel mantığı ve matematiksel ifadelerine kısaca yer verilmiştir. Bu iki farklı kaynaktan elde edilen zaman serilerinin korelasyon ve tutarlılığını test etmek için literatürde ilk kez bu çalışmada uygulanan Çapraz Dalgacık yönteminden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde ise, bu tezin bulgularına ve Arcgis yazılımı GEE platformu arayüzü kullanılarak elde edilen görsel çıktılarına yer verilmiştir. Anlaşılabilirliği kolaylaştırması bakımından, tez kapsamında yapılan çalışmanın işlem adımlarına ilişkin hazırlanan akış şeması bölüm başında paylaşılmıştır.

Beşinci ve son bölümde ise, araştırmanın sonuçları ve yapılan çıkarımlar özetlenerek, gelecekteki araştırmalar için öneriler vurgulanmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Kuraklık

Kuraklığın evrensel bir tanımı olmamakla birlikte, zaman içerisinde gelişen beklemedik ve karmaşık etkileri olan doğal bir felaket olarak tanımlanmıştır (Wilhite, 1992). Bunun sonucu olarak da tanımlar çeşitli disiplinlere göre farklılık göstermektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü kuraklığı nem eksikliğinden kaynaklanan ürün eksilmesinin yıllık yüzdesi olarak tanımlarken (FAO, 1983), Dünya Meteoroloji Örgütü yağışın uzun süreli ve sürekli eksikliği olarak (WMO, 1986), Amerika Ulusal Kuraklıkla Mücadele Merkezi konsept olarak kuraklığı ürünlerde büyük çapta zarara yol açmasıyla ve verim kaybıyla sonuçlanan yağış yetersizliğinin uzun süreli bir dönemi olarak tanımlamıştır (NDMC, 2021).

Mishra ve Singh'in kuraklık konusunda yaptıkları derleme(review) çalışmasında, kuraklıktan genellikle aylık, mevsimlik veya yıllık periyotlar için bir bölgedeki yağış miktarındaki azalmayla ilişkili olan ve yavaş bir başlangıcı(slow-onset) olan doğal bir afet olarak bahsedilmiştir (Mishra ve Singh, 2010). Türkeş ise kuraklığa getirdiği “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” genel tanımına (Türkeş, 2007) ilaveten kuraklık olaylarını, ikliminin kendi doğal değişkenliğinin bir ürünü olarak, büyük ölçekli basınç ve rüzgar dolaşımındaki ve atmosfer salınımı desenlerindeki değişimlerle bağlantılı olarak etkili olan yüksek basınç sistemlerinin bir bölgede görece uzun bir süre etkili olması sonucunda oluşması şeklinde ifade etmiştir (Türkeş, M., 2014).

Kuraklık, mutlak değil, göreceli bir durum olarak kabul edilmektedir. Hem yüksek hem de düşük yağış alan bölgelerde ve hemen hemen tüm iklim rejimlerinde hatta çöllerde ve yağmur ormanlarında bile meydana gelebilir (Svoboda ve Fuchs, 2016). Kesin ve evrensel olarak kabul edilmiş bir kuraklık tanımının olmaması, kuraklığın

var olup olmadığı ve varsa şiddetinin derecesi konusunda kafa karışıklığına neden olsa da aslında kuraklık tanımları bölgeye ve /veya etki alanına özel olmalıdır (Wilhite ve Glantz, 1985). Bu nedenle, evrensel bir kuraklık tanımı arayışının pek de önemi yoktur (Wilhite vd., 2014).

Literatürde kuraklık değişen etki alanlarına ve ayırt etmek için kullanılan parametrelere göre dört ana sınıfa ayrılmıştır. Bunlar meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik olarak tanımlanmıştır (Wilhite ve Glantz, 1985; Mishra ve Singh, 2010). Temelde yağış eksikliği ile ortaya çıkan kuraklığın tüm çeşitleri aslında birbiriyle yakından ilişkilidir.

Meteorolojik kuraklık, genellikle yağışın belli bir periyod içindeki normale veya uzun süreli ortalamaya kıyasla az olduğu kuru dönemin süresine ve derecesine göre tanımlanır (Wilhite, 2005; Türkeş, 2007; Mishra ve Singh, 2010; Türkeş, 2014;). Yağış eksikliğine neden olan atmosferik koşullar bölgeden bölgeye son derece değişken olduğundan meteorolojik kuraklık varlığı da bölgeye özgü olarak düşünülmelidir.

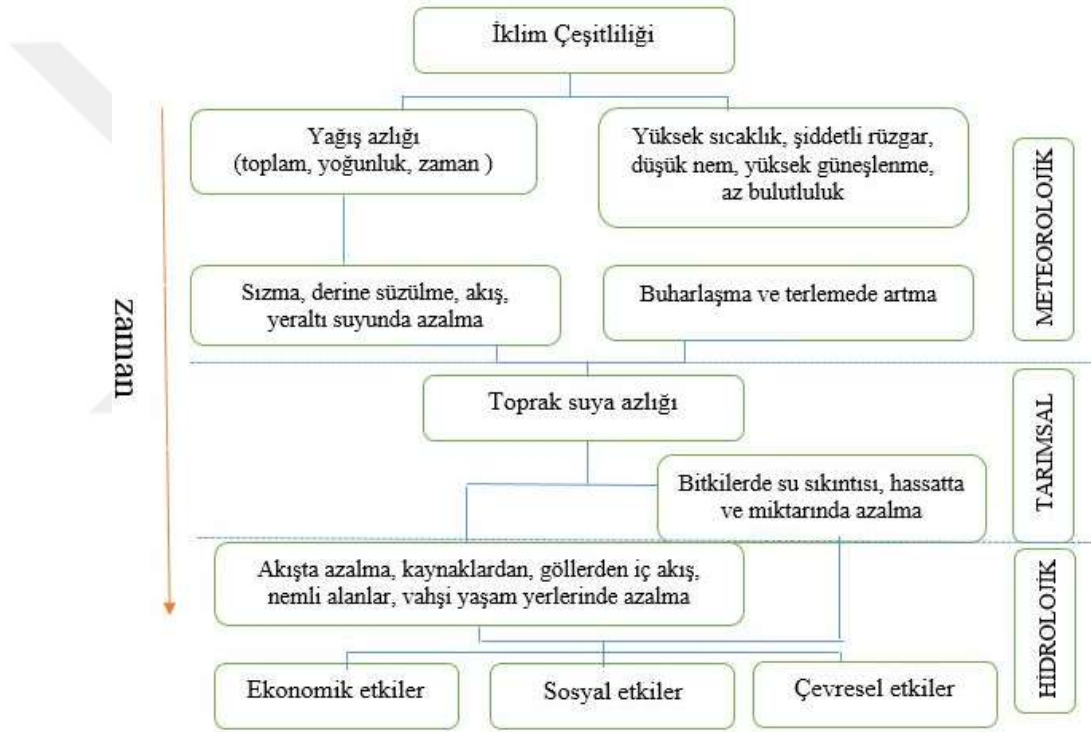
Meteorolojik kuraklığın akabinde meydana gelen tarımsal kuraklık ise, bitkilerin gelişim ve olgunlaşmalarının farklı evrelerinde ihtiyaç duydukları toprak neminin bitki büyümesi ve gelişmesi için gerekenden daha düşük olduğu dönemlerle ilişkilidir. Toprak nemindeki azalma, gerçek evapotranspirasyon ve potansiyel evapotranspirasyon arasındaki farklar ile meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkları etkileyen çeşitli faktörlere bağlıdır. Tarımsal kuraklıkları incelemek için yağış, sıcaklık ve toprak nemi kombinasyonuna dayanan çeşitli kuraklık indisleri ile türetilmiştir (Mishra ve Singh, 2010; NDMC, 2021).

Hidrolojik kuraklık, uzun süreli yetersiz yağışlar sonucunda belirli bir su kaynağı yönetim sistemindeki su kullanımı için yetersiz yüzey ve yüzey altı (akarsu akışı, rezervuar ve göl seviyeleri vb.) su kaynaklarına sahip olunan dönemle ilgilidir. Akarsu akışı verileri, hidrolojik kuraklık analizi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrolojik kuraklıklar, akarsu akışı açısından incelendiğinde, etkileri bir mevsim veya daha uzun bir süre boyunca hissedilir. (Mishra ve Singh, 2010; NDMC, 2021). Hidrolojik kuraklığın şiddeti ve periyodu baraj, nehir, havzası ölçeğinde incelenebilir.

Sosyoekonomik kuraklık ise diğer kuraklık çeşitlerinin bir sonucu olarak su kaynaklarının su taleplerini karşılayamaması durumundaki arz talep unsurlarının dengesine bağlıdır (Mishra ve Singh, 2010; NDMC, 2021). Dolayısıyla, başta ekonomi

olmak üzere sosyal ve çevresel alanlardaki tüm canlı yaşamları ve ondan yararlanan endüstriler üzerindeki olumsuz etkileri ifade etmektedir.

Kısacası, kuraklık çeşitleri farklı zaman ölçeklerinde meydana gelir ve birbirleri ile yakından ilişkilidir. Temelde yağış eksikliği sonucunda meteorolojik, akabinde topraktaki suyun yetersizliğinden tarımsal, buna bağlı olarak akarsular ve toprak altı su rezervlerinin azalması gibi nedenlerle hidrolojik, ortaya çıkan ekonomik kayıplar, sosyal ve çevresel sorunların sonucunda da sosyo-ekonomik kuraklık görülür. Şekil 2.1’de kuraklığın çeşitleri ve zamanla meydana gelen etkileri görülmektedir.



Şekil 2.1 : Kuraklık türleri, ilişkileri ve etkilerini yansıtan şematik diyagram (NDMC, 2021).

2.2 Kuraklık İndikatör ve İndisleri

Karmaşık yapıya sahip kuraklığın frekansı, şiddeti, süresi ve etki alanı gibi niteliklerini tespit etmek, izlemek ve nesnel olarak değerlendirmek için indikatör (gösterge) ve indisler önemli araçlardır.

İndikatörler, kurak koşulları tanımlamak için kullanılan yağış, sıcaklık, akarsu akışı, yeraltı suyu ve rezervuar seviyeleri, toprak nemi gibi değişken veya parametrelerdir. İndisler, indikatörler dahil olmak üzere klimatolojik, meteorolojik veya hidrolojik

girdiler kullanılarak tüm kuraklık çeşitlerini için kuraklığın şiddetinin hesaplanmış sayısal temsilleridir (Zargar vd, 2015; Svoboda ve Fuchs, 2016; Türkeş, 2017).

İndisler belirli bir zaman periyodu için kuraklıkların niteliksel ve niceliksel durumunu ölçmeyi amaçlar. İklimin çeşitli zaman ölçeklerinde izlenmesi, uzun süreli kuraklıklarda, kısa süreli yağışlı dönemlerin veya uzun süreli yağışlı dönemlerde, kısa süreli kurak dönemlerin belirlenmesine olanak tanır. Bir kuraklığın ne zaman başladığını ne zaman sona erdiğini, yayıldığı coğrafi alanı, şiddeti, süresi ve sıklığını tanımlanan şiddet eşiği (ing. threshold) ile sınıflandırılabilir (Svoboda ve Fuchs, 2016). İndisler aynı zamanda, karmaşık ilişkileri basitleştirerek halk da dahil olmak üzere çeşitli kullanıcılar için anlaşılır hale getiren iletişim araçlarıdır.

Uygun kuraklık indis ve indikatörlerin benimsenmesi, (1) kurak koşulların tespit edilmesine ve izlenmesine, (2) kuraklık tepkilerinin zamanlaması ve seviyesinin belirlenmesine, (3) kuraklık olaylarının karakterize edilmesi ve karşılaştırılmasına (4) kuraklık seviyelerini birbiriyle ilişkilendirmesine olanak sağlar. Böylece operasyonel olarak uygulanabilir kuraklık yönetim planı oluşturulmasını mümkün kılar.

Bu doğrultuda, yapılan literatür incelemesinde meteorolojik, tarımsal, hidrolojik kuraklığın tespiti ve izlenmesi için artan bir şekilde kuraklık indislerinin üretildiği görülmüştür. Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi'nin (European Commission Joint Research Center-JRC) 2008 de yaptığı bir çalışmaya göre aralarında uydu verilerinden elde edilenler de dahil 50'den fazla kuraklık indisi tespit edilmişken, Zargar ve ark. tarafından 2015'te yapılan derleme çalışmasında ise 74 indis incelenmiş ve yaklaşık 150 kadar da indisin varlığından söz edilmiştir. Geçen süre zarfında gelişen yeni imkanlar dahilinde günbegün bunlara yenilerinin eklenmeye devam ettiği anlaşılmaktadır.

2.2.1 Meteorolojik verilere dayalı kuraklık indisleri

Kuraklığın izlenmesi amacıyla en yaygın kullanılan meteorolojik verilere dayalı kuraklık indisi, McKee ve ark. (1993) tarafından geliştirilmiş olan Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (2012) de tavsiye ettiği Standartlaştırılmış Yağış İndisidir (Standardized Precipitation Index-SPI). Standartlaştırılmış Yağış İndisi hesabında girdi parametre olarak yalnız toplam yağış verileri kullanılmakta olup, kısa dönemli (ör. 1 aylık, 3 aylık gibi) değişimleri, genel olarak meteorolojik kuraklığı ya da nemli (yağışlı) koşulları temsil eder. SPI değerlerinin ve olasılıklarının, 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık

ya da daha uzun zaman ölçekleri için hesaplanması, kuraklıkların çeşitli zaman ölçekleri için izlenmesini ve değerlendirilmesini mümkün kılar (McKee vd., 1993; Komuscu, 1999; Türkeş ve Tatlı, 2008, Türkeş ve Tatlı, 2009; Türkeş, 2011; Türkeş, 2017).

SPI hesaplamasında ideal olarak en az 20-30 yıl için aylık toplam yağış veri setine ihtiyaç duyulmakla birlikte, 50-60 yıllık veriler daha optimal ve tercih edilir sonuçlar sunar (Guttman, 1999; WMO 2012). Kullanılacak uzun yıllık veri kayıtlarına eksiklik olması veya istenen konumda yeterli sayıda istasyon bulunmaması gibi deavantajının yanı sıra yalnızca yağış parametresini esas alan diğer meteorolojik verilere dayalı kuraklık izleme sistemlerinden daha az karmaşık sayılacak bir hesaplama yöntemi olması bakımından avantajlıdır. Bununla birlikte, girdi değişkeni olarak sıcaklık, PET, rüzgâr hızı ve toprak nemi verilerinin dikkate alınmaması, görece güvenilir kuraklık bilgisi üretmek için önemli bir kısıt olarak görülür (Mishra ve Singh, 2010; Vicente-Serrano vd., 2010; Ahmatalipour vd., 2017; Mukherjee vd., 2018).

SPI sınıfları, standart normal dağılımlı (Gaussian) yağış dizilerinden elde edilir. Oysa yağış dizilerinin olasılık dağılım fonksiyonu genelde normal dağılıma uymaz (McKee vd., 1993; WMO 2012; Türkeş, 2017). Yağış verilerine en iyi uyan olasılık dağılımı Gamma olasılık dağılımıdır (Thom, 1966). SPI yönteminde, yağış verilerinden elde edilen olasılık dağılım fonksiyonları Gamma olasılık dağılım fonksiyonlarına dönüştürülür. Gamma olasılık dağılım fonksiyonundan elde edilen yağış olasılıkları, ters standart normal dağılım fonksiyonu kullanılarak, “normalleştirilmiş” standart yağış dizilerine dönüştürülür. Sonuçta ortalaması sıfır ve varyansı bir olan standartlaştırılmış bir yağış indisi hesaplanmış olur (Türkeş ve Tatlı, 2008, Türkeş ve Tatlı, 2009; Türkeş, 2011; Türkeş, 2017).

Diğer bir meteorolojik indis ise yakın zamanda Vicente-Serrano ve ark. (2010) tarafından geliştirilmiş SPI indisinin modifiye edilmiş hali olan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisidir (SPEI). Hesaplama yöntemi SPI ile oldukça benzer olmakla birlikte, farklı olarak yağışla birlikte sıcaklık parametresi de devreye girerek bitki örtüsünün terleme-buharlaşma dengesi de hesaba katılır. SPEI de SPI gibi kuraklıktan etkilenme durumlarında değişen tepki sürelerine uyum sağlamak için genellikle, farklı zaman ölçeklerinde (3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık gibi) hesaplanabilir (Begueria vd., 2014). Hem meteorolojik hem de tarımsal kuraklık değerlendirmeleri için etkili bir araçtır.

Palmer (1965) tarafından geliştirilen Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (Palmer Drought Severity Index-PDSI) ise belirli bir bölge için yağış ve sıcaklık verisinin yanı sıra toprağın tuttuğu kullanılabilir su içeriğine göre hesaplanır. Ampirik bir yaklaşım benimsemiş olan Palmer, PDSI tahmininde bölgeye göre değişen iklimsel özellikleri dikkate almadığından, çeşitli klimatolojik bölgeler arasında PDSI değerlerinin alansal ve zamansal karşılaştırılması güçtür (Vicente-Serrano vd., 2010). Mukherjee ve ark. PDSI'nin göreceli bir kuraklık ölçüsü olduğu ve kalibre etmek için benimsenen yöntemlerin, sürekli değişen iklim bağlamında yeterince güçlü bir yöntem olmadığını belirtmiştir (Dai, 2013; Mukherjee vd., 2018).

Bununla birlikte; meteorolojik kuraklık indislerinde uygun olasılık dağılımının seçimi, özellikle değişkenlerin durağan ve durağan olmayan durumlarını göz önünde bulundurarak, güçlü kuraklık indislerinin türetilmesinde önemli rol oynar. Örneğin, SPI hesaplaması ya Gamma olasılık dağılımı ya da Pearson tip III dağılımına dayanırken, SPEI'nin hesaplanması log-log dağılımına dayanmaktadır. Bu dağılımların, değişen iklim koşullarına sahip geniş alanlarda değişkenlerin zaman serilerine uygun olarak iyi performans gösterdiği ortaya konmuştur (Vicente-Serrano, 2006; Vicente-Serrano vd., 2010). Ayrıca; Vicente-Serrano ve ark. Standardize Akarsu Akış İndisini (SSI) hesaplamak için yaptıkları bir çalışmada en iyi olasılık dağılımını araştırırken, akış verileri frekans analizi için yaygın olarak kullanılan olasılık dağılımları olan log-normal, Pearson tip III, log-lojistik, genel uç değer, genelleştirilmiş Pareto ve Weibull yöntemlerinin iyi uyum sağladığını ancak altı olasılık dağılımının hiçbirinin L-moment diyagramına dayalı akış serisine yeterince uymadığını bildirmiştir (Vicente-Serrano vd., 2012;). Bu nedenle, kuraklığın şiddet-süre-frekans (sıklık) analizi için, bir kuraklık indisinin uygun olasılık dağılımı seçimine bağlı olarak kuraklık özellikleri farklı olacağından indisin zaman serisinin durağan ve durağan olmayan durumları dikkate alınarak uygun yöntemlerin benimsenmesi elzemdir (Mukherjee vd., 2018).

2.2.2 Uzaktan algılama verilerine dayalı kuraklık indisleri

Meteorolojik indisler için çoğunlukla uzun yıllar veri seti gerektiğinden, verilerin kesintiye uğraması (sürekli olmayan), yersel gözlem istasyonlarının zaman zaman işlevsiz kalması gibi durumlarda veya seyrek istasyon dağılımına sahip alanlar için

kurak koşulların bölgesel olarak kapsamlı izlenmesi kısıtlı hale gelir (Karnieli vd., 2010; Rhee vd., 2010).

Bunun yanında, uzaktan algılama teknikleri kuraklığın çeşitleri ile doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili olan bitki örtüsü durumu, yağış, yüzey sıcaklığı, toprak nemi gibi indis ve indikatör sunması sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitki örtüsünün kuraklık olaylarına karşı hızlı ve doğrudan verdiği refleks çok sayıda bitki örtüsüyle ilişkili uzaktan algılama verilerine dayalı kuraklık bitki indisinin üretilmesine olanak sağlamış olup, kuraklık olaylarının zaman serisi analizleri şeklinde izlenmesi gibi çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır (Kogan, 1995; Ji ve Peters, 2003; Gu vd., 2007).

Bunlardan en bilineni Normalize Edilmiş Bitki Fark İndisi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) olup, Rouse ve ark. tarafından yapılan bir çalışma ile yeryüzündeki yeşil biyokütleyi değerlendirmek için ortaya konulmuştur (Rouse vd., 1974). Uydu verilerinden üretilen bitki örtüsü indisi olan NDVI, spektral banttaki kırmızı (R) ile yakın kızılötesi (NIR) yansıtım değerleri arasındaki orana dayanır (Tucker, 1979). Uzaktan algılamanın bu temel prensibi aracılığıyla bitki örtüsünün fotosentetik aktivitesinin izlenmesine olanak sağlar. Bitki örtüsü varlığını ve sağlıklı olup olmama koşullarını değerlendirmek için kullanılan NDVI, tek başına kurak veya kurak olmayan koşulları tanımlamak için yeterli değildir (Kogan ve Guo, 2015). NDVI bitki sağlığına ilişkin bir gösterge olurken, bitki türleri arasında ayırım yapmaksızın bitki stresinin yalnızca kuraklıktan mı yoksa diğer stres faktörlerinden mi (hastalık, zararlılar gibi biyolojik faktörler) kaynaklandığına ilişkin ayırteci bir bilgi veremez (Moorhead vd., 2015). Ancak, NDVI'nin bitki örtüsünün içerdiği nem durumuna ilişkin verdiği bilgi sayesinde belirli bir periyod için zaman serilerindeki normal ya da ortalama değerden sapması durumuna göre kuraklık olaylarını tespit etmek ve izlemek için etkili bir gösterge haline gelebilir (Ji ve Peters 2003). Bu durum kullanılarak, kuraklığı değerlendirmek üzere NDVI'nin girdi olarak ele alındığı çok sayıda kuraklık indisi önerilmiştir (Kogan, 1990; Prihodko ve Goward, 1997; Thenkabail vd., 2004; Rhee vd., 2010; Amri vd., 2011). Bunlardan, uzaktan algılamaya dayalı ilk tarımsal kuraklık izleme indislerinden sayılan Bitki Durum İndisi (Vegetation Condition Index-VCI) de NOAA uydusu Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre (Advanced Very High Resolution Radiometer-AVHRR) algılayıcısından üretilmiş olan NDVI indisinin normalizasyonuna dayanır (Kogan, 1990). VCI fomülasyonu, kuraklığı değerlendirmek için kısa vadeli atmosferik etkileri uzun vadeli ekolojik etkilerden

ayırmak için NDVI değerlerini minimum ve maksimum değerleri arasında ölçeklenir (Kogan, 2002). VCI'nin zamansal ve mekânsal değişiminin izlenmesi tarımsal kuraklığın değerlendirilmesi bakımından önemlidir. Yine bu yaklaşımla önerilen Kuraklık Şiddet İndisi (Drought Severity Index-DEV_{NDVI}) NDVI indis değerlerinin uzun bir period içindeki ortalama değerlerinden olan sapmasını göz önünde bulundurur. DEV_{NDVI} negatif değerler aldığı durumda sağlıklı bitki örtüsünün olması gereken normalin altında olduğunu, kurak koşulların hâkim olduğunu gösterir (Thenkabail vd., 2004). Bitki Anomali İndisi ise (Vegetation Anomaly Index-VAI) NDVI değerlerinin uzun süreli bir periyot içindeki ortalama değerinden farkının standart sapma değerine bölünmesi ile elde edilir (Amri vd., 2011; Zribi vd., 2016).

Bununla birlikte, NDVI tabanlı kuraklık indislerinin yanı sıra, kuraklık analizleri için uzaktan algılamaya dayalı uydu temelli algılayıcının termal kanalından üretilmiş olan yüzey sıcaklığı (ya da parlaklık sıcaklığı ing. brightness temperature) indikatörü kullanılır. MODIS, NOAA, Landsat TM ETM gibi uyduların termal kızılötesi (TIR) bantlarından hesaplanan yer yüzey sıcaklığının (LST), yüzey nem koşulları hakkında değerli bilgiler sağlar (Gutman, 1990). LST indikatörünün değişken olarak kullanıldığı Kogan'ın (1995) geliştirdiği Sıcaklık Durum İndisi (Temperature Condition Index-TCI) dünyada küresel ve bölgesel ölçekte birçok çalışmada yaygın olarak kullanılmaktadır (Tsiros vd, 2004; Bento vd., 2018; Jiao vd., 2019). Diğer yandan; kuraklık değerlendirme çalışmalarında yüzey sıcaklığı etkisinin dikkate alındığı LST indikatörü, daha çok NDVI gibi bitki örtüsü indisleri ile kombine bir şekilde kullanılan indislerin geliştirilmesinde kullanılmıştır (Xiao vd., 1995, Kogan, 1995; Prihodko ve Goward, 1997; Wang vd., 2001; Sandholt vd., 2002; Rhee vd., 2010). Bu mantık çerçevesinde Kogan (1997) tarafından kuraklık izleme hassasiyetini artırmak amacıyla geliştirilen, Sıcaklık Durum İndisi ile Bitki Durum İndisinin ağırlıklandırılmasına dayanan, geçerliliği kabul edilmiş Bitki Sağlık İndisi (Vegetation Health Index-VHI) ise dünyada önemli kurum ve kuruluşlarca da kuraklık izleme çalışmaları için benimsenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalarda iklim verileri ile uydu kaynaklı bitki örtüsü kuraklık indisleri arasında güçlü bir ilişki kurulduğu görülmüştür. McVicar ve Bierwirth (2001) kuraklık değerlendirmesi için AVHRR algılayıcısından gelen NDVI ile toplam yağış arasında yüksek bir korelasyon ($r^2 = 0.81$) bulmuşlardır. Ayrıca; Yang ve ark. (1998), Amerika Birleşik Devletleri'nde (A.B.D.) otlak alanlar üzerinde yaptıkları bir kuraklık

değerlendirme çalışmasında (1989-1993) NDVI ile yaz ve ilkbahar dönemi yağışları arasında önemli bir pozitif korelasyon bulmuştur. Gebrehiwot ve ark. (2011), istasyon bazında ve bölgesel ölçekte VCI ile 3 aylık yağış eksikliği arasında güçlü bir ilişki bulmuştur. Benzer şekilde; Bajgiran ve ark. (2008), VCI ile 3 aylık yağış verileri arasında arazi kullanımının ağırlıklı olarak ekili alan ($r=0,8$) ve otlak ($r=0,81$) olduğu bölgelerdeki istasyonlarda yüksek korelasyon bulmuştur. Ji ve Peters (2003) tarafından yine çalışma bölgesi olarak seçilen A.B.D. Kuzey Great Plains'de yapılan bir çalışmada AVHRR'den elde edilen 1989–2000 yılları aralığını kapsayan aylık NDVI verileri ile 1, 3, 6, 9, 12 aylık zaman adımları ile hesapladıkları istasyon bazlı SPI arasında en yüksek korelasyonu SPI-3 ile bulmuşlardır. Ayrıca; NDVI için bitki örtüsü nem durumunun etkili bir göstergesi olduğu vurgusu yapılarak, bitki örtüsündeki kuraklık şiddetini ve süresini belirlemek için SPI-3'ün en iyi sonucu verdiği öne sürülmüştür. Wu ve ark. (2010) ise otlak alanlarda VCI ve SPI-3 arasında çok iyi bir korelasyon olduğunu ortaya koymuştur.

Çizelge 2.1'de yukarıda bahsi geçen ve diğer uydu verilerine dayalı başlıca kuraklık indisleri ve formülasyonları geliştiren yazarlarla birlikte verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Uydu verilerine dayalı başlıca kuraklık indisleri, geliştiren yazarlar ve formülasyonları.

Kuraklık İndisleri	Geliştiren Yazar(lar)	Formülasyon
Normalized Difference Vegetation Index	Tucker, 1979	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$
Normalized Difference Water Index	Gao, 1996	$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$
Vegetation Condition Index	Kogan, F.N., 1990	$VCI = 100 * (NDVI_i - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$
Temperature Condition Index	Kogan, F.N., 1995	$TCI = 100 * (LST_{max} - LST_i) / (LST_{max} - LST_{min})$
Vegetation Health Index	Kogan, F.N., 1997	$VHI = \alpha * VCI + (1 - \alpha) * TCI$
Drought Severity Index	Thenkabail vd., 2004	$DEV_{NDVI} = NDVI_i - NDVI_{mean,m}$
Vegetation Anomaly Index	Amri vd., 2011	$VAI = NDVI_i - NDVI_{mean,m} / \sigma_i$
Temperature Vegetation Index	Prihodko & Goward, 1997	$TVX = LST / NDVI$
Vegetation Water Supply Index	Xiao vd., 1995	$VWSI = NDVI / LST$
Visible Atmospherically Resistant Index	Gitelson vd., 2002	$VARI = (Green - Red) / (Green + Red - Blue)$
Soil Adjusted Vegetation Index	Huete, 1988	$SAVI = (NIR - Red) / (1 + L) / (NIR + Red + L)$
Enhanced Vegetation Index	Huete vd., 2002	$EVI = 2.5(NIR - Red) / (NIR + 6Red - 7.5Blue + 1)$
Normalized Difference Drought Index	Gu vd., 2007	$NDDI = (NDVI - NDWI) / (NDVI + NDWI)$
Precipitation Condition Index	Du vd., 2013	$PCI = (TRMM_i - TRMM_{min}) / (TRMM_{max} - TRMM_{min})$
Vegetation Temperature Condition Index	Wang vd., 2001	$VTI = (LST_{NDVI_{max}} - LST_{NDVI}) / (LST_{NDVI_{max}} - LST_{NDVI_{min}})$
Temperature Vegetation Dryness Index	Sandholt vd., 2002	$TVDI = (T_s - T_{smin}) / (a + bNDVI - T_{smin})$
Scaled Drought Condition Index	Rhee vd., 2010	SDCI = NDVI, LST, TRMM kombinasyonu

NIR: Near-Infrared, SWIR: Short Wave Infrared

2.3 Dünya’da ve Türkiye’deki Başlıca Kuraklık İzleme Sistemleri

ASIS (Agricultural Stress Index System), B.M. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)’nın, büyüme sezonunda tarım ürünlerinin bulunduğu alanlardaki bitki indislerini takip ederek küresel, bölgesel ve ülke düzeyinde muhtemel su sıkıntısı ve kuraklıktan etkilenmesi olası tarım alanlarını tespit etmek için geliştirdiği bir sistemdir. ASIS, büyüme mevsimi boyunca küresel mahsul alanlarındaki bitki örtüsü indislerini izleyerek, dünya genelinde mahsullerin kuraklıktan etkilenebileceği “sıcak noktaları” tespit edebilir. ASIS, tarımsal kuraklığın şiddetini (yoğunluğu, süresi ve mekansal boyutu) değerlendirir ve nihai sonuçları ile ülke düzeyinde tarımsal istatistiklerle karşılaştırma imkanı verir.

Bu kompleks sistem, 10 günlük 1 km çözünürlüklü METOP-AVHRR sensörünün optik ve termal kanallarının kullanıldığı bitki örtüsü ve yer yüzey sıcaklığı verilerine dayanır. Temelde Bitki Sağlık İndisi (VHI) kullanılan bu sistemde özellikle tarım alanlarının bulunduğu bölgelerle ilgilenildiğinden ürünlerin büyüme başlangıç (SOS) ve bitiş dönemleri (EOS) baz alınır. Asya, Afrika, Avrupa, Kuzey Amerika ve Güney Amerika olmak üzere dünya çapında birçok farklı çevresel koşula sahip alanda uygulanmaktadır (<http://www.fao.org/resilience/news-events/detail/en/c/296089/>).

USDM (United States Drought Monitor), The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), A.B.D. Tarım Bölümü (U.S. Department of Agriculture- USDA) ve Nebraska-Lincoln Üniversitesindeki Ulusal Kuraklıkla Mücadele Merkezi (National Drought Mitigation Center-NDMC) iş birliğiyle 1999 yılında kurulmuştur. İklimbilimciler, tarımsal araştırma uzmanları, su kaynakları yöneticileri gibi farklı alandaki birçok uzmanın katkılarıyla hazırlanan kuraklık durum haritaları haftalık olarak düzenli yayımlanmaktadır (Svoboda vd., 2002).

Geleneksel verilere dayalı Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI), Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Yağış Normali Yüzdesi İndisi (PNP) gibi indislerle beraber uzaktan algılama verilerine dayalı (AVHRR ve MODIS sensörlerinden elde edilen) VCI, TCI ve VHI gibi indislerin entegresini prensip edinen bir sistemdir (<http://droughtmonitor.unl.edu/>).

VegDRI (Vegetation Drought Response Index), NDMC ve USGS Earth Resources Observation Science (EROS) Center iş birliği ile yaklaşık gerçek zamanlı kuraklık izleme aracı olarak uzaktan algılama ile iklim verilerinin birleşimi ile kapsamlı ve

detaylı olarak kuraklık stresinin bitki örtüsündeki etkilerini izlemeye olanak sağlar (Brown vd., 2008). Güncel bitki örtüsü durumu hakkında bilgi üretilmesinde kullanılan uydu verileri ile iklim verilerine dayalı kuraklık indislerinin çevrenin biyofiziksel koşulları (arazi örtüsü tipi, sulama durumu, toprak) da dikkate alınarak oluşturulan bütünleşmiş hibrit bir indis olduğu da söylenebilir (Wardlow vd., 2012). Bu modelde, 1989-2008 aralığındaki veriler de dahil olmak üzere 2009 yılından bu yana mekansal çözünürlüğü 1 km olan MODIS ve AVHRR verilerinden elde edilen USDM ile de uyumlu olan haritalar çıktı olarak sunulmaktadır (<http://vegdril.unl.edu/Home.aspx>)(<http://vegdril.unl.edu/ExperimentalProducts.aspx>).

Vegetation Outlook (VegOut) sisteminde, VegDRI ile benzer şekilde uzaktan algılama, iklim ve biyofiziksel veriler kullanılırken, farklı olarak okyanus ve atmosfer etkilerinin bitki örtüsü üzerindeki etkileri de dikkate alınır (Tadesse vd. 2005, 2010). Bu model, Tadesse ve ark. (2014) tarafından 1983-2006 yılları aralığında 10 günlük ve komposit 8 km AVHRR NDVI verileri kullanılarak VegOut-Ethiopia olarak farklı bir alan için de uygulanmıştır (<http://vegdril.unl.edu/ExperimentalProducts.aspx>).

The Evaporative Stress Index (ESI), Anderson ve ark. (2007) tarafından kuraklık için topraktaki buharlaşma ile bitkilerdeki terlemenin toplam dengesiyle ilişkili olan evapotranspirasyon parametresi esas alınarak geliştirilmiş bir erken uyarı sistemidir. 4 km çözünürlüklü NOAA-GOES uydusunun termal infrared kanalından elde edilen verilerin kullanıldığı, Kuzey ve Güney Amerika'yı kapsayan tüm kıta için 2000'li yıllardan bu yana yürütülen bir sistemdir (<http://hrrsl.arsusda.gov/drought/>).

European Drought Observatory (EDO), Avrupa Birliği- Joint Research Center (JRC) tarafından geliştirilen bu kuraklık izleme sisteminde diğer sistemlerden farklı olarak, temelde SPI, toprak nemi verilerinin yanı sıra biyofiziksel parametrelerden Fraction of Absorbed Photosynthetic Active Radiation (faPAR) verisinin yıllara göre değişen anomalileri, istatistik yöntemlerle ve entegre kuraklık indisi olan EDO Combined Drought Indicator (CDI) ile izlenerek bitki örtüsünün biyokütle miktarında ortaya çıkabilecek herhangi bir yetersizlik durumunun önceden tahmin edilmesi ilkesine dayanır (<http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1003>).

Türkiye'de resmi olarak yapılmakta olan kuraklık izleme çalışmaları ise, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nce (MGM) Standartlaştırılmış Yağış İndisi, Palmer Kuraklık Şiddet İndisi, Normalin Yüzdesi İndisi (PNI), Aydeniz Metodu gibi meteorolojik

verilere dayalı indislerle ve güncel haritalar şeklinde yapılmaktadır. MGM Kuraklık Analizi 3.0 sisteminde ise Türkiye geneli, bölgeleri ve lokal istasyonlar için aylık güncel olarak sunulan 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SPI yöntemlerini kapsamaktadır. Uydu verilerinin entegre olduğu hibrit bir sistemi ise henüz bulunmamaktadır (<http://kuraklikizle.mgm.gov.tr/>).

2.4 Ege Bölgesi’ne İlişkin Kuraklık İzleme Çalışmaları

Literatür incelemesinde, çalışma alanı olarak belirlenen Ege Bölgesi’ne ilişkin yapılan kuraklık izleme çalışmalarının çoğunlukla meteorolojik verilere dayalı kuraklık indisleri ile gerçekleştirildiği görülmüştür. Bölge için uzaktan algılama verilerine dayalı kuraklık izleme çalışmasına ise yok denecek kadar az rastlanmıştır. Bölgeye ilişkin literatür incelemesi sonucu tespit edilen başlıca kuraklık izleme çalışmalarından aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

Özgürel ve ark. tarafından (2002) yapılan bir çalışmada Ege Bölgesinde seçilen 35 istasyona ait yağış ve sıcaklık verileriyle elde edilen Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi aracılığıyla yapılan aylık kuraklık analizi sonuçlarına göre “Orta Kurak” ve “Normale Yakın Nemli” olarak tanımlanan Bölgedeki en kurak Haziran olmak üzere Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının diğer aylara nispeten kurak olarak gözlemlendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Pamuk ve ark. tarafından (2004) Ege Bölgesinde 1971-2001 dönemine ait 14 gözlem istasyonunun yağış verilerinden yararlanılarak yapılan çalışmada, Standartlaştırılmış Yağış İndisi sonucuna göre kuraklık analizinde özellikle temmuz ve ağustos aylarında istasyon bazında normal seviyenin üzerinde kuraklık yaşandığı belirtilmiştir.

Şimşek ve ark. tarafından (2008) Türkiye genelinde 2006-2007 Tarım Yılı’na ilişkin yapılan kuraklık değerlendirme çalışmasında 106 istasyona ait aktüel aylık ortalama yağış değerleri kullanılarak yağıştaki en fazla düşüşün %44 ile Ege bölgesinde tespit edildiği, Standartlaştırılmış Yağış İndisi sonucuna göre de Ege Bölgesi’nin orta kıyı kesimleri ve Gediz çevresinde çok şiddetli kuraklık yaşandığı belirtilmiştir.

Türkeş (2011) tarafından yapılan Ege Bölgesi kapsamında kalan Manisa ve Akhisar yörelerine ilişkin normalleştirilmiş yıllık yağış ve kuraklık indislerinin serilerine dayanan çalışmada bölgedeki kuraklaşma eğilimi ortaya konulmuş olup, bu eğilimin

1980'lerle birlikte kuvvetlendiği, 2007-2008 döneminde ise çok şiddetlendiği vurgulanmıştır.

Yağcı ve ark. (2011) tarafından geliştirilen Küresel Tarımsal Kuraklık Bilgi Hizmetleri Sistemi (Global Agricultural Drought Information Services System-GADISS) ile ilişkili hazırlanan 8 günlük NDVI ile elde edilen Bitki Durum İndisi kuraklık haritalarının yıllık üzüm üretimine karşı performansı araştırılmış, 2007 yılındaki Ege Bölgesi'ndeki şiddetli kuraklık örnek alınarak 2009 yılı ile karşılaştırmalı olarak, tarımsal kurağın üzüm rekotesi üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Kumanlioglu ve Fıstıkoğlu (2019) tarafından Ege Bölgesi'ndeki havzalardan biri olan Yukarı Gediz Havzası için 1960-2017 yılları aralığında yapılan meteorolojik kuraklık analiz çalışmasında, seçilen 6 istasyona ait verilerle elde edilen Standartlaştırılmış Yağış İndisi sonuçlarına göre 1988-1992, 1995-1999 yılları aralığı ve 2008 yılında ilk altı ayın hepsinde kurak koşulların görüldüğü, yıllık olarak ise özellikle 1980 sonrasında kurak dönemlerin nispeten yoğunluğunun arttığı, 1961, 1987, 2006, 2008, 2011 ve 2014 yıllarında ise çok şiddetli kuraklıkların oluştuğu, mevsimsel olarak en uzun kuraklığın 8 yıl sürdüğü, yıllık olarak en uzun kurak dönemin 12 yıl devam ettiği belirtilmiştir.

Eriş ve ark. (2020) tarafından Küçük Menderes Havzası içinde seçilen 5 meteoroloji istasyon verisi ile 1960-2018 tarih aralığında, Standartlaştırılmış Yağış İndisi, Standartlaştırılmış, Yağış Evapotranspirasyon İndisi ve Boyutsuz Yağış Anomali İndisi (Dimensionless Precipitation Anomaly Index-DPAI) kullanılarak yapılan meteorolojik kuraklık değerlendirmesi; en uzun kurak dönemin 1 aylık zaman ölçeğinde en şiddetli meteorolojik kuraklığın ocak 1992'de yaşandığı, havza genelinde SPI3'e bakıldığında en şiddetli 3 aylık mevsimsel kuraklığın mart 1992'de görüldüğü, aynı yaklaşımla 6 ve 9 aylık diğer zaman ölçeklerinde en şiddetli kuraklıkların her ikisinin de şubat 1992'de, en şiddetli 12 aylık kuraklığın ise mayıs 1992'de kaydedildiği belirtilerek kuraklık indislerinin birbirinden önemli ölçüde farklı davranmadığı sonuçlarını içermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Veriler

3.1.1 Uydu verileri

Çalışma kapsamında uydu veri kaynağı olarak, geniş tarama genişliği ile 1-2 günlük aralıklarla yüksek zamansal ve spektral küresel gözlem verisi sağladığı için MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) optik sensörü seçilmiştir. MODIS uydusu, NASA (National Aeronautical and Space Administration) tarafından TERRA (EOS AM-1) ve AQUA (EOS PM-1) adlı algılayıcılarıyla sırasıyla 1999 ve 2002 yıllarında yörüngeye oturtulmuştur. Terra'nın Dünya etrafındaki yörüngesi, sabahları ekvator boyunca kuzeyden güneye geçecek şekilde, Aqua'nın öğleden sonra ekvator üzerinden güneyden kuzeye geçecek şekilde zamanlanmış olup tüm dünya yüzeyini 1-2 günde bir görüntüleyebilme kapasitesine sahiptir. Terra algılayıcısıyla, 2000'lerden bu yana 1 ve 2.'si 250 metre, 3-7 arası 500 metre ve diğerleri 1 km mekansal çözünürlüğe sahip, 0.4 μm ile 14.4 μm dalga boyu aralığında toplamda 36 spektral kanal genişliğinde veri sağlamaktadır (URL-1).

Yüksek zamansal ve spektral çözünürlüğe sahip MODIS verileri kullanılarak, bitki örtüsü, arazi kullanımı, yüzey sıcaklıkları gibi kuraklıkla yakından ilişkili pek çok parametre temin edilmekle birlikte bu parametrelerde meydana gelen değişimlerin zaman serileri şeklinde izlenmesi de mümkündür. Bu çalışmada Çizelge 3.1'te özellikleri verilen yer yüzey sıcaklığı ile NDVI başlıca uydu verisi olarak kullanılmıştır.

The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) tarafından MODIS verileri hdf (Hierarchical Data Format) formatında Sinüzoidal Projeksiyon Sisteminde ücretsiz olarak yayımlanmakta olup, bu tez kapsamındaki çalışmada bulut tabanlı Google Earth Engine platformu üzerinden temin edilmiştir.

Çizelge 3.1 : Kullanılan uydu verileri ve teknik özellikleri.

Veri Seti	Veri tipi	Veri Aralığı	Zamansal Çözünürlük	Mekansal Çözünürlük
MOD11A2.006	raster	2000-2018	8-günlük kompozit	1 km
MOD13A2.006	raster	2000-2018	16- günlük kompozit	1 km

Yer Yüzey Sıcaklığı (Land Surface Temperature-LST), atmosfer ile yeryüzü arasındaki etkileşimi ve enerji akışını birleştiren, bölgesel ve küresel ölçekte kara-yüzey süreçlerine ilişkin kilit bir parametredir (Wan, 2014). Çalışmada kullanılan MOD11A2 Sürüm 6 ürünü, 1200 x 1200 km'lik grid veri olup 1 kilometre (km) mekansal çözünürlükle her bir piksel için ortalama 8 günlük Yer Yüzey Sıcaklığı ve Emisivite (LST&E) verisi sağlar. MOD11A2'deki her piksel değeri, 8 günlük o süre içinde toplanan ilgili tüm MOD11A1 LST piksellerinin ortalamasıdır. 8 günlük periyodun iki katı süre, Terra ve Aqua platformlarının her ikisinin yer izi tekrar periyodu olduğundan 8 günlük kompozit periyot seçilmiştir. MODIS'in 31 ve 32 bantları aracılığıyla gündüz ve gece yüzey sıcaklığıyla birlikte, ilgili kalite kontrol değerlendirmeleri (quality indicator-QC), gözlem süreleri, görüş başucu açıları ve açık gökyüzü kapsamaları ve arazi örtüsü türlerinin emisyonları sağlanır. Bu veri tipi unsigned 16 bitlik sayısal veri olup Kelvin birimindedir. Kalibrasyonunu sağlamak ve Celcius(C) birimine dönüşümü için 7500-65535 aralığındaki değerler 0.02 ölçek faktörü ile çarpılarak, 273.15 değeri çıkarılıp işlem yapılmalıdır (URL-2, Wan, 2009). LST'yi hesaplamak için genellikle bölünmüş pencere algoritması (split-window algorithm) (Wan ve Dozier, 1996) kullanılır (3.1).

$$LST = b_0 + (b_1 + b_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + b_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}) \frac{T_i+T_j}{2} + (b_4 + b_5 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + b_6 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}) \frac{T_i-T_j}{2} \quad (3.1)$$

Eşitlikteki ε ve $\Delta\varepsilon$, sırasıyla 31 (11.03 μm) ve 32. (12.02 μm) bantlarındaki ortalama ve yayılım değerlerinin farkını yansıtır ($i = 31, j = 32$). katsayı olan b_k ($k = 0, 1-6$) zenit açısına, atmosferik yüzey sıcaklığına ve su buharına bağlıdır. Bu katsayılar, T_{s-air} (-16 K) ile T_{s-air} (+ 16 K) aralığında değişen LST'ler için ışımsal transfer simülasyon verilerinin regresyon analizinden türetilmiş olup, T_{s-air} yüzey hava sıcaklığıdır (Wan, 2014).

Çalışmada kullanılan bir diğer uydu verisi MODIS'in başlıca Normalize Edilmiş Bitki Fark İndisi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) ve Gelişmiş Bitki Örtüsü

İndisi (Enhanced Vegetation Index -EVI) gibi vejetasyon indislerini (Vegetation Indices-VI) içeren MOD13A2 Sürüm 6 ürünüdür (URL-3). VI'ler fenolojik değişikliklerin tespiti, bitki örtüsü biyofiziksel parametrelerinin üretilmesi, fotosentetik bitki örtüsü aktivitesini izlenmesi gibi uygulamaları mümkün kılar. küresel ve bölgesel ölçekte mekansal ve zamansal olarak karşılaştırılmalarına da olanak sağlar. NDVI sağlıklı bitki örtüsünün varlığına ve yoğunluğuna ilişkin bilgi veren bir indisen, EVI daha çok yoğun biyokütle bölgeleri için gelişmiş hassasiyete sahiptir (Rouse, 1974; Huete vd., 1999). Burada MOD11A2 LST verisi ile uyumlu olması açısından 1 km çözünürlüklü 16 günlük kompozit NDVI verisi kullanılmıştır. NDVI, aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad (3.2)$$

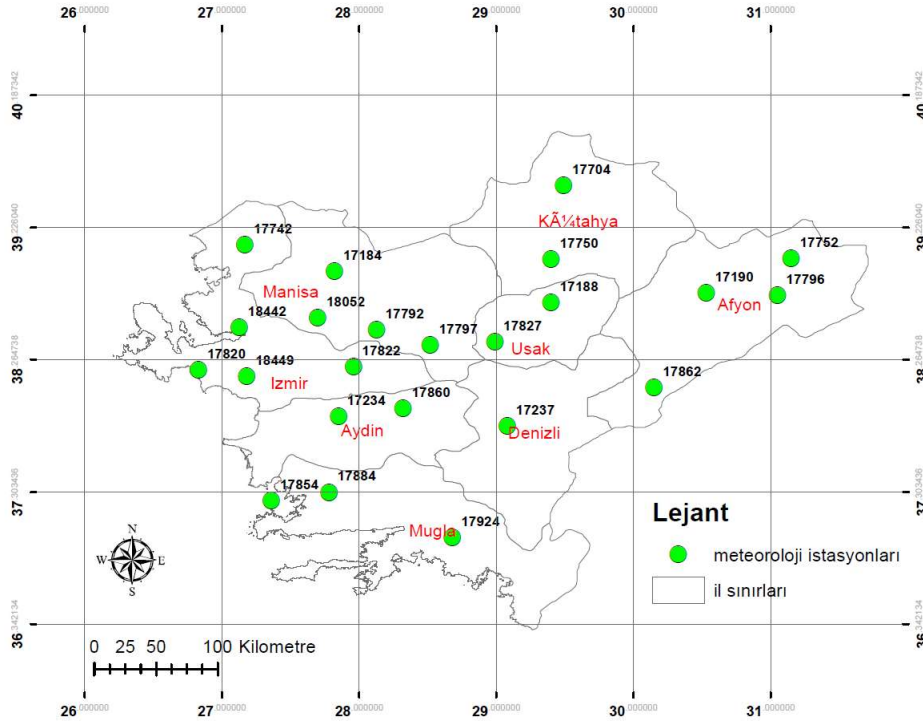
buradaki R_{NIR} ve R_{RED} , MODIS'in 1 (620–670 nm) ve 2 (841–876 nm) bantlarından elde edilen sırasıyla yakın kızılötesi ve görünür bölgedeki kırmızı band yansıtım değerleridir (URL-4). Sağlıklı bitki örtüsünün varlığına göre (-1) ile (+1) aralığında değerler alır ve sonuç (+1) değerine yaklaştıkça sağlıklı bitki örtüsünü ifade eder.

3.1.2 Yersel veriler

Uydu verilerinden elde edilen kuraklık indisleriyle karşılaştırmalı olarak kullanılacak indislerin uygulaması için uzun yıllar veri seti gerektiğinden 1980-2018 yılları aralığında çalışma alanını kapsayan mümkün olduğunca homojen dağılımlı 25 adet meteoroloji gözlem istasyonu seçilmiştir. Bu istasyonlara ilişkin, evapotranspirasyonun hesaplanmasında ve meteorolojik indisin elde edilmesinde gerekli girdi (input) parametreler olan aylık toplam yağış ($\text{mm}=\text{kg}\div\text{m}^2$), aylık ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) ve coğrafi koordinatları içeren veri seti Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Ancak, uzun yıllar veri seti içerisinde sürekliliği bulunmayan istasyonlar elimine edilmek durumunda kaldığından çalışmada 23 yersel meteorolojik gözlem istasyonuna ait veri seti kullanılmıştır. Bu istasyonlara ilişkin konum ve yükseklik bilgileri Çizelge 3.2'de, çalışma alanı üzerindeki mekânsal dağılımı ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Meteoroloji gözlem istasyonları konum ve yükseklik bilgileri.

No	İstasyon Adı	Kodu	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (m)
1	Acıpayam	17890	37.43	29.34	941
2	Afyon	17190	38.75	30.53	1034
3	Akhisar	17184	38.91	27.82	92
4	Aydın	17234	37.85	27.85	57
5	Bergama	17742	39.10	27.17	53
6	Bolvadin	17796	38.73	31.05	1018
7	Denizli	17237	37.78	29.08	425
8	Dinar	17862	38.06	30.15	950
9	Gediz	17750	38.99	29.40	736
10	Güney	17824	29.05	38.15	825
11	Köyceğiz	17924	36.97	28.68	24
12	Kütahya	17155	39.41	29.99	833
13	Manisa	17186	38.37	27.26	71
14	Milas	17884	37.30	27.78	57
15	Muğla	17292	37.21	28.36	646
16	Nazilli	17860	37.91	28.32	262
17	Ödemiş	17822	38.21	27.96	111
18	Salihli	17792	38.48	28.12	189
19	Seferihisar	17820	38.19	26.83	22
20	Selçuk	17854	37.94	27.36	17
21	Simav	17748	39.00	28.97	809
22	Uşak	17188	38.68	29.40	919
23	Yatağan	17886	37.33	28.13	365



Şekil 3.1 : Meteoroloji istasyonlarının mekânsal dağılımı

3.2 Uygulanan İndisler

Literatürde genel kabul görmüş olan uzaktan algılama verilerine dayalı Bitki Durum İndisi (VCI), Sıcaklık Durum İndisi (TCI) ile bu indislerin kombinasyonuna dayanan Bitki Sağlık İndisi (VHI) indisi, Kuraklık Şiddet İndisi (DEV_{NDVI}), Bitki Anomali İndisi (VAI) yine uydu bazlı TRMM yağış verisinden elde edilen Yağış Durum İndisi (PCI) gibi indisler tez çalışması kapsamında araştırılıp incelenmiş olup, çalışma alanı olarak seçilen Türkiye, Ege Bölgesi, Büyük Menderes Havzası olmak üzere sırasıyla ülke, bölge ve havza ölçeğindeki alanlar için yapılan uygulamalar neticesinde zamansal ve mekânsal sonuçların bir kısmını içeren üç adet bildirinin uluslararası katılımlı konferansta sunumu gerçekleştirilmiştir (Karamzadeh ve Musaoğlu, 2017; Karamzadeh vd., 2017, 2019).

Bu tez kapsamında, tarımsal kuraklık çalışmalarında dünyada yaygın olarak kullanılan güvenilirliği bölgesel ve küresel birçok çalışmada teyit edilmiş olan VCI, TCI ve VHI uzaktan algılamaya dayalı indisler olarak, tarımsal kuraklıkla yakından ilişkili potansiyel evaporaspirasyon göstergesini de içeren SPEI indisi ise meteorolojik verilere dayalı kuraklık indisi olarak ele alınmıştır.

3.2.1 Bitki durum indisi

Bitki Durum İndisi (VCI), girdi olarak NDVI indisinin normalize edilmesi ilkesine dayanır (Kogan, 1990). Özellikle homojen olmayan alanlarda bitki örtüsü üzerindeki iklimsel farklılıklardan kaynaklanan etkileri minimize etmek için tasarlanmıştır (Kogan vd., 1995; Yağcı vd. 2015;). Aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$VCI = 100 * \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (3.3)$$

$NDVI_i$: her bir pikselin mevcut NDVI değeri,

$NDVI_{min}$: periyod içindeki (multi-year) minimum değer

$NDVI_{max}$: periyod içindeki (multi-year) maksimum değer

VCI değerleri 0 ile 1 arasında değişir, düşük değerler stresli bitki örtüsü koşullarını, orta değerler uygun koşulları ve yüksek değerler optimal veya normalin üzerindeki koşulları temsil eder (Karnieli vd., 2006). 0 ile 1 aralığındaki oransal değerler 100 çarpanıyla yüzdelik hale getirilir. 0 ile 100 aralığında değişen bu değerler için 40 sınırdeğer (threshold) olup, altındaki değerlerde kuraklığa eğilim olduğu üstünde ise

tam tersi durumun söz konusu olduğu söylenebilir (Kogan, 2001; Yagci ve ark., 2013). Çok zamanlı verilerin normalizasyonuna dayanılarak oluşturulan VCI indisi, bitki örtüsünün sağlık durumuna ve kurak dönemlerde verdiği tepkilere ilişkin önemli bilgiler sunar.

3.2.2 Sıcaklık durum indisi

Sıcaklık Durum İndisi (TCI), termal kanallardan edinilen yüzey parlaklık (brightness temperature) veya yer yüzey sıcaklığı verileri kullanılarak hesaplanır (Kogan, 1995). Formülasyonu VCI ile benzerlik göstermekle birlikte burada maksimum değerden gözlenen aktüel değer çıkarılmalıdır. Sonuçta her bir piksel için bu değerler hesaplanır. TCI sonuçları bitki örtüsünün sıcaklık durumlarına verdiği farklı tepkileri yansıtır. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$TCI = 100 * \frac{LST_{max} - LST_i}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (3.4)$$

LST_i : her bir pikselin mevcut değeri,

LST_{min} : periyod içindeki (multi-year) minimum değer,

LST_{max} : periyod içindeki (multi-year) maksimum değer olarak temsil edilir.

Yüksek sıcaklık değerleri istenmeyen kurak koşullara eğilimi gösterirken, düşük sıcaklık değerleri aksi duruma işaretler. Bu indis çoğunlukla tek başına kurak koşulları tanımlamada kullanılmaz. Bunun yerine, vejetasyon indisleriyle birlikte değerlendirildiğinde anlamlı sonuçlar sunar.

3.2.3 Bitki sağlık indisi

Bitki Sağlık İndisi (VHI), bitki sağlık durumunu içeren NDVI indisinden üretilen VCI ile bitki örtüsün sıcak koşullardaki verdiği tepkiyi de hesaba katan ve LST verisinden elde edilen TCI indisinin kombinasyonuna dayanır. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$VHI = \alpha * VCI + (1 - \alpha) * TCI \quad (3.5)$$

α ve $(1 - \alpha)$; VCI ve TCI ağırlığı ile ilişkili katsayı olup, katkı oranlarının bilinmediği durumlarda genellikle eşit ağırlıklı olarak değerlendirilir ve kaynaklarda 0,5 olarak gösterilir (Kogan, 1997; Kogan, 2001). Artan sıcak koşullara bağlı olarak bitki örtüsündeki terleme-buharlaşma miktarındaki değişim, topraktaki nem ihtivasi gibi etmenlerin değerlendirilmesinde etkili sonuçlar sunan yaygın olarak kullanılan bir

tarımsal kuraklık indisi. 0 ile 100 arasında değerler alırken 70'ten yüksek olan değerler bitki örtüsünün sağlıklı olduğunu ve uygun koşulları yansıtırken, 40'ın altındaki değerlerde ise bitki stres durumundan söz edilebilir (Kogan, 1997; Kogan, 2001). VCI ve VHI değer aralıklarına göre kuraklık sınıflandırması Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : VCI ve VHI kuraklık sınıflandırması (Kogan, 1997).

Kuraklık Sınıfı	İndis Değeri
Aşırı Kurak (Extreme Drought)	0 -10
Şiddetli Kurak (Severe Drought)	10- 20
Orta Kurak (Moderate Drought)	20- 30
Hafif Kurak (Mild Drought)	30- 40
Kuraklık Yok (NonDrought)	>40

3.2.4 Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi

SPEI, kuraklığı değerlendirmek için yağış ve PET arasındaki iklimsel dengeyi hesaba katarak Vicente-Serrano ve ark. (2010) tarafından geliştirilmiştir. SPI indisinden farklı olarak yağışla birlikte sıcaklık parametresi de hesaba katılır. Tarımsal kuraklığın izlenmesi ve karakterize edilmesi için etkili bir yöntemdir.

SPI ile benzer şekilde 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık şeklinde çoklu zaman ölçeklerinde hesaplanabilir ve negatif değerler kurak dönemleri gösterir (Begueria vd., 2014; Vicente-Serrano vd., 2015). Buna karşın bitki örtüsünün evapotranspirasyon durumlarına karşı duyarlılığı göz önünde bulundurulduğunda kuraklık olaylarıyla daha yakından ilişkili olması bakımından SPEI indisinin görece üstünlüğü bulunmaktadır. SPI indisi ile oldukça benzer olmakla birlikte görece karmaşık bir hesaplama yöntemi vardır. Şu şekilde hesaplanır;

$$D_i = P_i - PET_i \quad (3.6)$$

P_i ; aktüel aylık yağış miktarını

PET_i ; potansiyel evapotranspirasyonu

D_i ; aylık yağış miktarı ile potansiyel evapotranspirasyon arasındaki farkı ifade eder.

PET değeri, genellikle Thornthwaite, Penman-Monteith veya Hargreaves yaklaşımlarıyla hesaplanabilir. Ancak; diğer yöntemler solar radyasyon, minimum-

maksimum sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem gibi çok sayıda ilave veri gerektirdiğinden, daha basit ve etkili olan Thornthwaite yöntemi (Thornthwaite,1948) aylık PET değerinin hesaplanmasında sıklıkla tercih edilmektedir (Vicente-Serrano vd., 2017). Bu çalışma için de Türkiye'nin doğal bitki örtüsünü en iyi yansıtan olması bakımından Thornthwaite yöntemi benimsenmiştir.

$$PET = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m \quad (3.7)$$

T; aylık ortalama sıcaklık (°C),

m; I ya bağlı bir katsayı ($m = 6.75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.492$),

I; “i” nin 12 aylık toplam değerinden hesaplanan ısı indeksidir.

i; aşağıdaki formülden ortalama sıcaklık değerinden hesaplanır;

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (3.8)$$

K; konumun enlemine bağlı düzeltme katsayısı olup, matematiksel ifadesi şu şekildedir;

$$K = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right) \quad (3.9)$$

N; maksimum güneşli geçen saat sayısı

NDM; aydaki gün sayısı şeklinde ifade edilebilir.

SPEI, Abramowitz and Stegun'ın geleneksel yaklaşımı ile elde edilir;

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 - d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (3.10)$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(Pr)} \quad Pr \leq 0.5 \quad (3.11)$$

$$Pr = 1 - F(x) \quad (3.12)$$

$C_0 = 2.515517$, $C_1 = 0.8022853$, $C_2 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$ ve $d_3 = 0.001308$ katsayıları ile SPEI elde edilir (Vicente-Serrano, 2010). $Pr \leq 0.5$ için, Pr belirli bir D değerini aşma olasılığı olup, Pr belirli bir D değerinin olasılığının aşılması durumunda örneğin $Pr > 0.5$ olduğunda, Pr, $1 - Pr$ olarak değiştirilir ve elde edilen SPEI'nin işareti ters çevrilir. SPEI'nin ortalama değeri 0 ve standart sapması ise 1'dir. SPEI standartlaştırılmış bir değişken olduğundan farklı zaman ve mekansal SPEI

değerleriyle karşılaştırılabilir. SPEI metoduna göre indis değerleri ve karşılık geldiği kuraklık sınıfları Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3.4 : SPEI kuraklık sınıflandırması (Li vd., 2015).

Kuraklık Sınıfı	İndis Değeri
Aşırı Nemli (Extremely Wet)	2.0+
Çok Nemli (Very Wet)	1.5 ile 1.99
Orta Nemli (Moderately Wet)	1.0 ile 1.49
Normale Yakın (Near Normal)	-0.99 ile 0.99
Orta Kurak (Moderately Dry)	-1.0 ile -1.49
Şiddetli Kurak (Severely Dry)	-1.5 ile -1.99
Aşırı Kurak (Extremely Dry)	-2 ve daha az

3.3 Zaman Frekans Analizleri

Bir zaman serisi, endeksi bir birim zaman aralığı ile ayrılmış ardışık tarihlere karşılık gelen bir dizi olarak tanımlanmaktadır. Literatürde, zaman serilerini analiz edip, çıkan sonuçları yorumlayarak, sonuç elde edilmesi için belli başlı birkaç yöntem önerilmektedir. Bu yöntemlerin temel prensibi, bağımsız değişkeni zaman olan bu diyagramların (zaman serilerinin), periyodik yapısı, tekrarlanma frekansı, örüntüsü ve davranışlarını incelemektir. Aşağıda, bahsedilen yöntemlerden bu çalışma için uygun olanları seçilerek kısaca açıklanmıştır.

3.3.1 Fourier dönüşümü

Fourier dönüşümü (Fourier Transform-FT), bir zaman serisini zaman alanından frekans alanına dönüştüren bir analiz yöntemidir. Zamana bağlı olan bir fonksiyonu (işareti), temel bileşenlerine ayırarak analiz edip frekans bilgilerini sunar. Aşağıdaki denklem $x(t)$ işaretinin Fourier dönüşümü alınarak $x(f)$ işaretine ulaşılmasını gösteren temel Fourier dönüşüm denklemidir (Pipes ve Harvill 1971):

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (3.13)$$

Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) ise, bir zaman serisini frekans alanındaki bir temsile aktarmak için etkili bir algoritmadır. FFT örneklenmiş sayısal işaretin Fourier dönüşümünü oluştururken kullanılmaktadır (Davis 1986).

3.3.2 Kısa zamanlı fourier dönüşümü

Durağan olmayan işaretlerin (veya zaman serilerinin) analizi için Fourier dönüşümü yetersiz kaldığı durumlarda diğer yöntemlere başvurulmaktadır.

En etkin yöntemlerden biri Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (Short-Time Fourier Transform-STFT)'dür. Durağan olmayan işaretler farklı zaman dilimlerinde farklı davranışlar sergiledikleri için, STFT pencereleme yöntemi kullanarak, zaman dilimlerini ayrı ayrı analiz etme yeteneğine sahiptir (Allen, 1977; Mateo ve Talavera, 2018).

$$\text{STFT}(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)g(\tau - t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (3.14)$$

Yukarıda STFT denkleminde yer alan;

$x(t)$ Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü alınacak işaret,

$g(t)$ pencereleme fonksiyonu,

τ ise spektrum yerleştirme zamanıdır.

3.3.3 Dalgacık dönüşümü

Durağan olmayan işaretlerin analizi için önerilen bir diğer yöntem ise Dalgacık (Wavelet) dönüşümüdür. Pencereleme fonksiyonunun ölçekleme ve öteleme katsayılarını kontrol edilebilme yeteneği, bu yöntemle daha iyi bir çözünürlüğe sahip sonuçlar elde etme kazanımı sağlamaktadır (Foufoula-Georgiou ve Kumar, 1994; Kumar ve Foufoula-Georgiou, 1997).

$$C(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t)\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3.15)$$

a ölçek fonksiyonu, b pozisyon fonksiyonu, $s(t)$ işaret (zaman serisi) ve ψ ana dalgacık fonksiyonudur.

$$Wx(a, \tau) = C_x(a, \tau)C_x^*(a, \tau) = |C_x(a, \tau)| \quad (3.16)$$

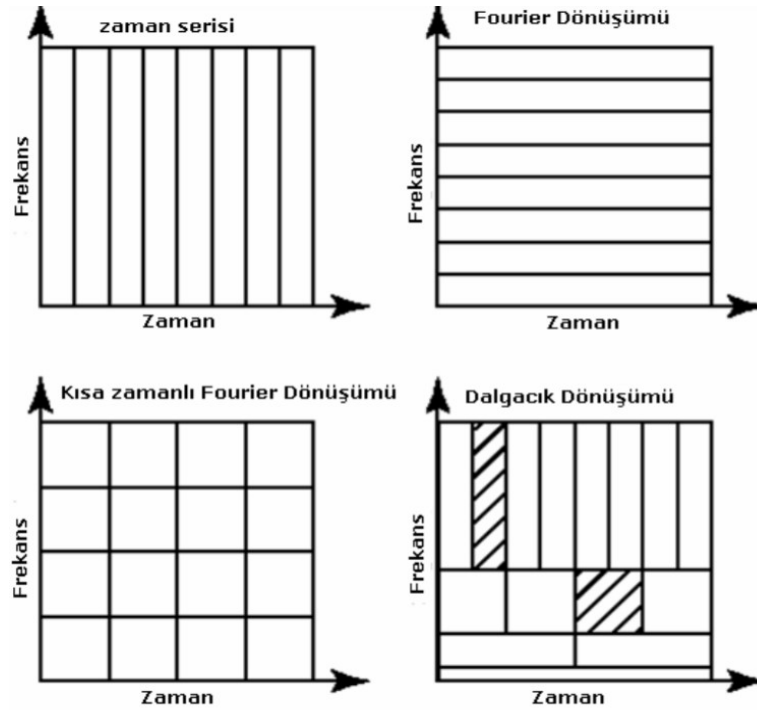
$C_x(a, \tau)$ dalgacık dönüştürme katsayısı,

$C_x^*(a, \tau)$ dalgacık dönüştürme katsayısının konjügesidir.

Birçok dalgacık fonksiyonundan Morlet dalgacık fonksiyonu, sinyal işleme için en uygun olanı olarak kabul edilmiştir. (Percival ve Walden, 2000; Prokoph, A. ve El Bilali H., 2008). Bu çalışma için, zaman ve frekans lokalizasyonu arasında iyi bir denge sağladığı bilinen Morlet (1983) fonksiyonu ana dalgacık olarak kullanılmıştır. Şekil 3.2’de sırasıyla zaman serisi, Fourier Dönüşümü, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü ve Dalgacık Dönüşümünün grafik gösterimi verilmiştir (Öner vd., 2017).

3.3.3.1 Sürekli dalgacık dönüşümü

Sürekli dalgacık dönüşümü (Continuous Wavelet Transform-CWT), zaman serilerinin farklı bileşenleri arasındaki senkronizasyon derecesini ve zaman içindeki evrimini ölçmemize izin veren bir yöntemdir. Bununla birlikte, iki zaman serisi arasındaki benzerlik / farklılıkları ortaya koymaya yardımcı olur. Klasik yöntemlerde (DRP, Hilbert dönüşümü vb.) zaman serileri iki veya daha fazla ana frekans bileşeninden oluştuğunda bozulurken, bu tür durumlar CWT yöntemine çok uygundur çünkü zaman serilerinin doğası hakkında herhangi bir hipotez gerektirmez. CWT'nin temel mantığı, dalgacı zaman serisine bir bant geçiren filtre olarak uygulamaktır (Boashash vd., 2016).



Şekil 3.2 : Zaman-frekans ekseninde dönüşümlerin şematik gösterimi (Öner vd., 2017).

3.3.3.2 Çapraz dalgacık dönüşümü

Çapraz Dalgacık Dönüşümü (Cross Wavelet Transform-XWT) iki zaman serisi arasındaki korelasyonun değerlendirilmesini sağlayan bir analiz yöntemidir. Bu yöntemin amacı, ortak yüksek güç gösteren zaman serilerinin zamandaki frekans bölgelerini bulmaktır. Bu yöntemle faz yapısı ve ayrıntıları, zaman alanında ve frekans alanında incelenebilir. X_n ve Y_n dizilerinin sırasıyla sürekli dalgacık dönüşümü $W_n^X(s)$ ve $W_n^Y(s)$ dir. XWT ise şöyle tanımlanır ;

$$W_n^{XY}(s) = W_n^X(s)W_n^{Y*}(s) \quad (3.17)$$

$W_n^{XY}(s)$ fonksiyonunun karmaşık argümanı olan $arg(W_n^{XY}(s))$ zaman frekans alanındaki $W_n^X(s)$ ve $W_n^Y(s)$ dizisi arasındaki yerel faz bilgisini yansıtır. (X_n ve Y_n) dizileri aynı fazdaysa, faz okları sağa işaret eder, anti-faz ise solu işaret eder, X_n Y_n 'den öndeyse 90 derece aşağıyı gösterir ve X_n , Y_n 'den gerideyse 90 derece yukarıyı gösterir (Grinsted vd., 2004).

Dalgacık Tutarlılığı (Wavelet Coherence-WTC) ise, iki sinyal arasındaki korelasyonun bir ölçüsüdür. Zaman frekansı uzayında iki zaman serisinin birlikte değiştiği (ancak mutlaka yüksek güce sahip olmadığı) bölgeleri bulur (Torrence ve Webster, 1998). İki zaman serisi x ve y 'nin dalgacık tutarlılığı aşağıdaki eşitlikle :

$$R_n^2(s) = \frac{|S(s^{-1}W_n^{XY}(s))|^2}{S(s^{-1}|W_n^Y(s)|^2).S(s^{-1}|W_n^X(s)|^2)} \quad (3.18)$$

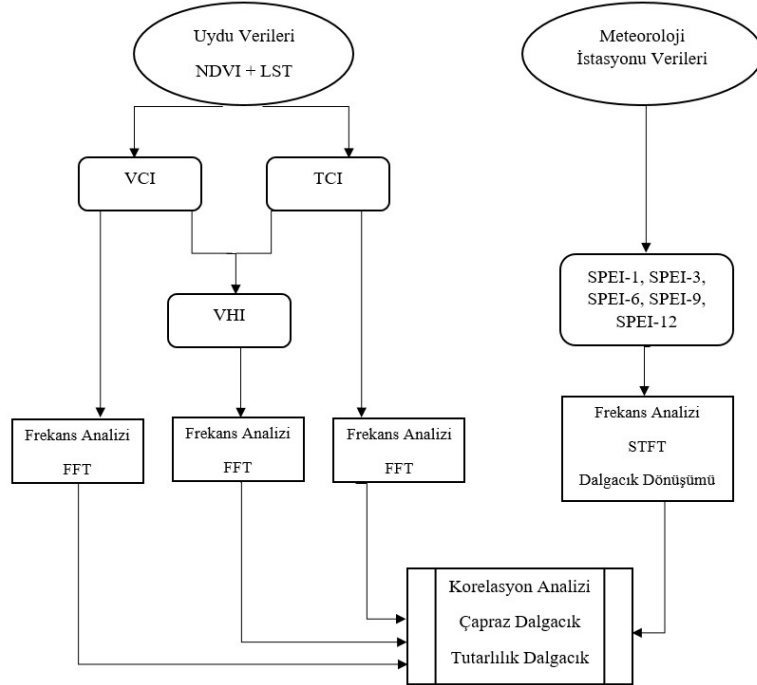
S zaman ve ölçek açısından bir yumuşatma operatörüdür. Burada bildiğimiz geleneksel korelasyon yöntemlerine çok benzer olmakla birlikte dalgacık tutarlılığını zaman-frekans uzayında lokalize bir korelasyon olarak düşünmek daha doğrudur (Grinsted vd., 2004). Zaman serilerinin harmonik tutumunu göstermek içinse periyodogram fonksiyonu kullanılmış olup, radyan/örnek cinsinden frekans aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$P(f) = \frac{1}{2\pi N} + |\sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{-j\omega n}|^2 - \pi < \omega < \pi \quad (3.19)$$

burada ω radyan/örnek cinsinden normalleştirilmiş frekanstır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma, kuraklık olaylarının sıklığını, frekansını, şiddetini izlemeyi ve analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, uydu verilerine dayalı TCI, VCI ve VHI (19 yıl; 228 ay) kuraklık indisleri ile kuraklık olaylarının mekânsal ve zamansal dağılımı incelenmiş, oluşturulan aylık zaman serileri ile yersel istasyon verilerinden üretilen SPEI (39 yıl; 468 ay) zaman serisinin bir önceki bölümde bahsedilen yöntemler aracılığıyla frekans analizleri yapılmış olup, kesiştikleri ortak zaman periyodu için bu serilerin Çapraz dalgacık ve tutarlılık yöntemleri korelasyon analizleri yapılmıştır. Şekil 4.1 işlemlerle ilgili akış şemasını yansıtmaktadır. Uydu bazlı indislerin uygulamaları Google Earth Engine platformunda java kodlama dili ile gerçekleştirilmiş olup, hazırlanan zaman serileri MATLAB R2020a yazılımı kullanılarak analiz edilip sonuçları tartışılmıştır.



Şekil 4.1 : Çalışmanın işlem adımlarına ilişkin akış şeması.

4.1 Kuraklık Olaylarının Mekansal ve Zamansal Analizleri

4.1.1 VCI, TCI ve VHI ile kuraklığın mekansal deseni

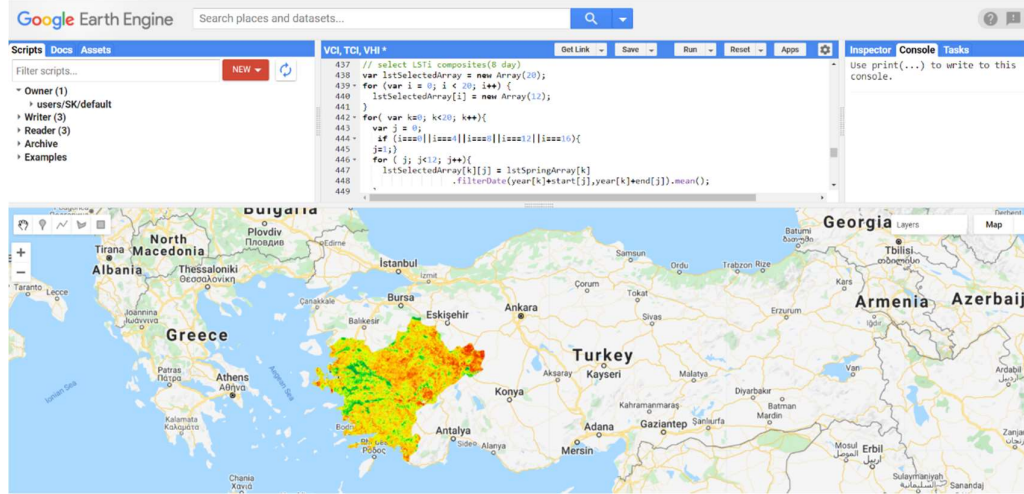
Bu bölümde Google Earth Engine platformunda hesaplanan VCI, TCI ve VHI indisleriyle kuraklık olaylarının zamansal ve mekansal dağılım desenlerine ilişkin sonuçlar sunulmuştur.

Vektör veri formatındaki çalışma bölgesi sisteme entegere edilerek, tarih aralığı seçilerek ve diğer filtreleme işlemleri yapıldıktan sonra, bölüm 3.1’de özellikleri tanımlanan LST ve NDVI verileri kullanılarak 3.3, 3.4 ve 3.5’te verilen eşitliklerle söz konusu kuraklık indisleri hesaplanmıştır. Şekil 4.2 Google Earth Engine arayüzünde indislerin hesaplaması ve harita üzerine yansıtılmasına örnek olarak verilmiştir. Hesaplama için kullanılan kodlama örnekleri ve arayüz gösterge detayları Ek-A ve Ek-B’de verilmiştir.

Kullanılan parametreler itibariyle tarımsal kuraklıkla ilişkili bir değerlendirmeyi amaçlanan bu çalışma kapsamında, söz konusu kuraklık indisleri ile literatürde bitki gelişme dönemi (ing. growing season) olarak tanımlanan Mayıs, Haziran, Temmuz ayları dikkate alınarak Şekil 4.3’te örnek olarak aynı yıl için (2007 yılı) bitki gelişme dönemine ilişkin VCI, TCI ve VHI sonuçları sunulmuştur. Burada, yer yüzey sıcaklığına dayanan TCI indisi ile tek başına bir kuraklık değerlendirmesi yapmanın mümkün olmadığı, VCI ve VHI indislerinin ise oldukça yakın sonuçlar sunduğu söylenebilir.

Yıllar arasındaki değişimi ve kuraklığın mekansal dağılımını görselleştirmek adına, araştırma yıllarının (2000-2018) aynı ayını baz alıp indislerin sonuçları da analiz edilmiştir. Şekil 4.4 örnek olarak seçilen temmuz ayı için Çizelge 3.3’te verilen kuraklık sınıflandırmasındaki aralıklar referans alınarak ArcGIS yazılımı ile görselleştirilmiş tüm yıllardaki VHI sonuçlarını yansıtmaktadır.

Şekil 4.4’e göre yapılan değerlendirmede, literatüre geçmiş 2007 yılının araştırma yılları içerisinde Bölge genelinde en kurak yıl olarak öne çıktığını söylemek mümkünken bu yılı takip eden yıllar ise sırasıyla 2000, 2001 ve 2008 yılları olarak görülmektedir. Bununla beraber; şiddetli kuraklık yaşanan lokal alanlar yıllara göre değişkenlik göstermektedir. Bu durum, arazi örtüsü ve kullanımından kaynaklı kuraklık olaylarından etkilenen bitki örtüsünün varlığıyla ilişkindirilebilir.

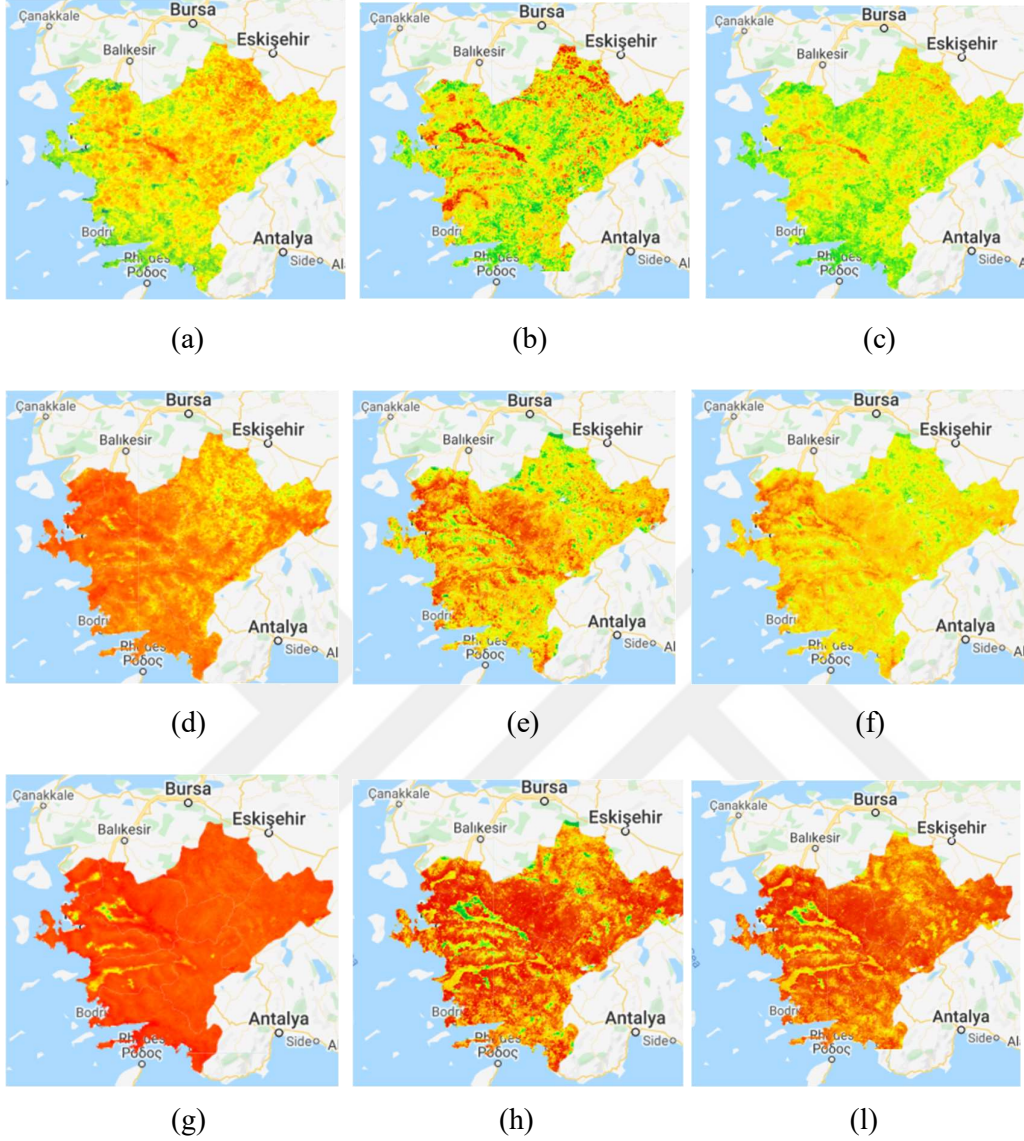


(a)



(b)

Şekil 4.2 : GEE arayüzünde a) indislerin kodlamayla hesaplanması, b) renklendirilmiş gösterimi.



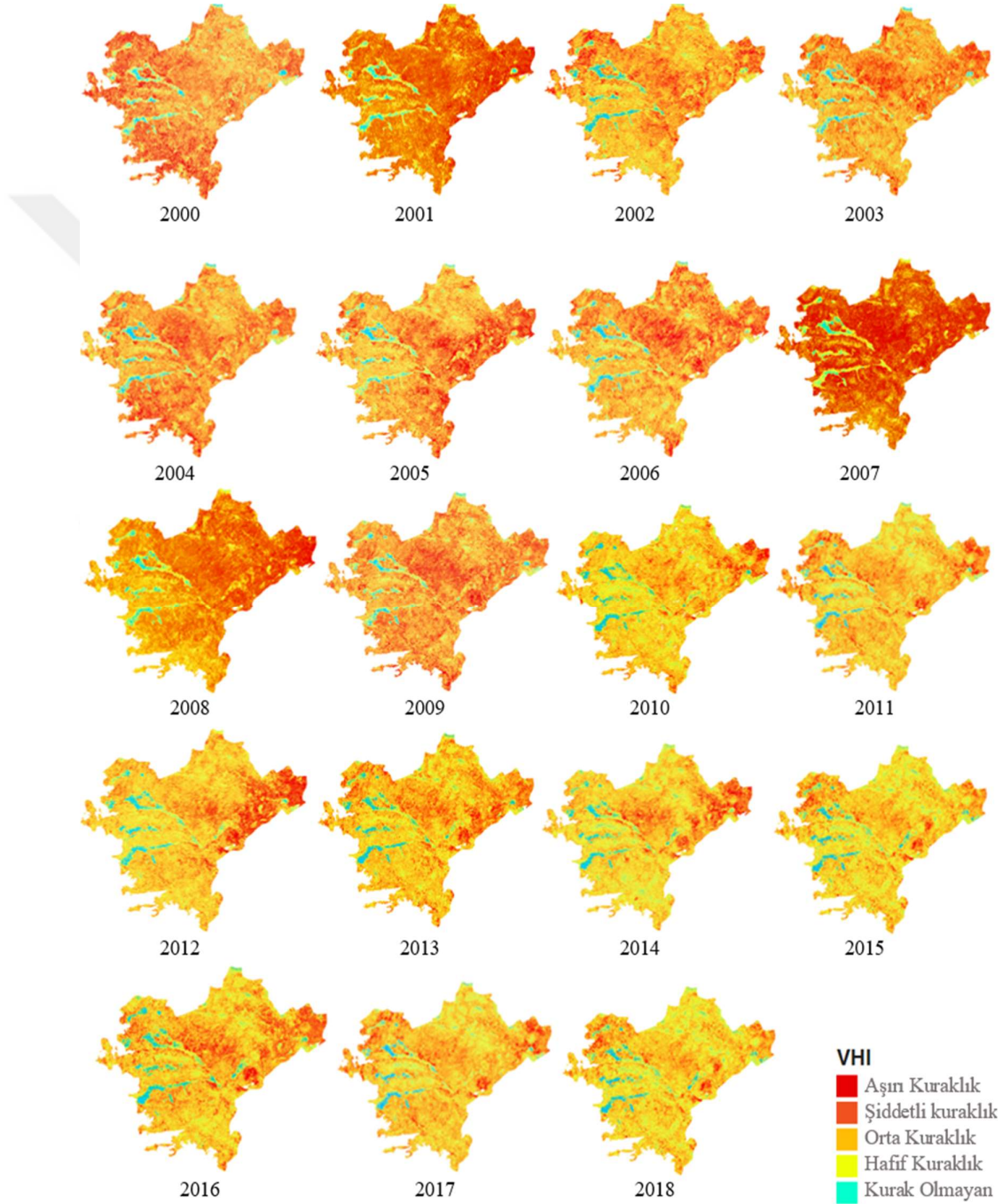
Şekil 4.3 : Bitki gelişim dönemine ilişkin indis sonuçları a) TCI Mayıs 2007, b) VCI Mayıs 2007, c) VHI Mayıs 2007, d) TCI Haziran 2007, e) VCI Haziran 2007, f) VHI Haziran 2007, g) TCI Temmuz 2007, h) VCI Temmuz 2007 ve j) VHI Temmuz 2007.

4.1.2 VCI, TCI ve VHI zaman serileri

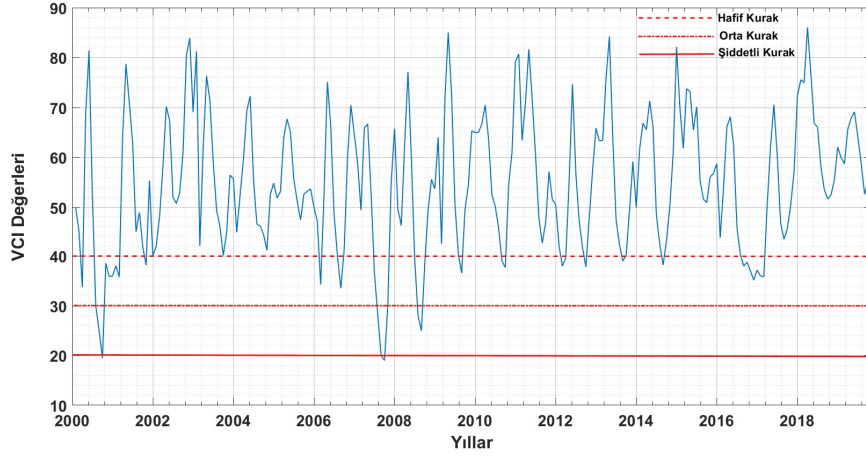
Google Earth Engin platformunda VCI, TCI ve VHI indislerinin araştırma yılları içerisinde (2000-2018) aylık değerleri hesaplanıp, bu indislere ait zaman serileri oluşturulmuştur. Oluşturulan zaman serileri bir sonraki aşamadaki analizler için Matlab programına aktarılmıştır.

Şekil 4.5 VCI, TCI ve VHI indislerinin zaman serilerini göstermektedir. Çizelge 3.3'te verilen değerlere göre kuraklık sınırları (farklı kırmızı hatlarla) görsellere eklenmiştir.

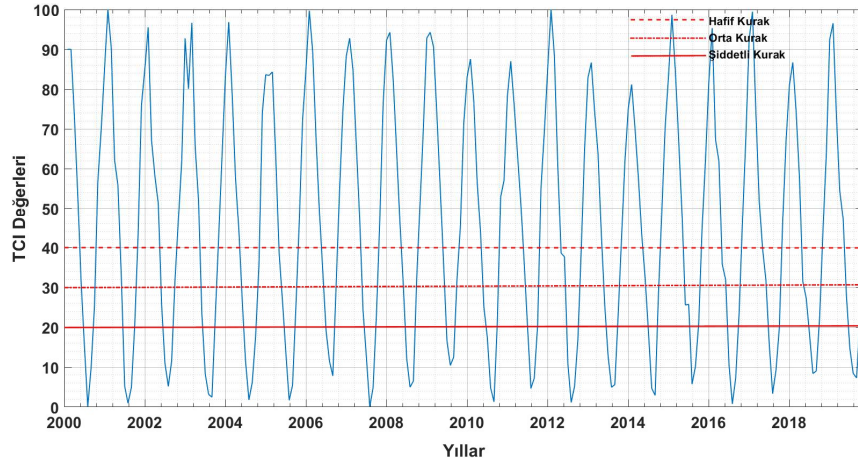
Belirtilen eşik değerlere göre; Şekil 4.5a'da verilen VCI zaman serisinde literatüre geçmiş kurak yıllar olarak bilenen 2000-2001 ve 2007-2008 yıllarının şiddetli kurak sınırına değen orta kurak yıllar olarak, Şekil 4.5c'de verilen VHI serisinde aynı yılların şiddetli kurak yıllar olarak, 2013-2014 ve 2016 yıllarının orta şiddette kurak olarak öne çıktığı tespit edilmiştir.



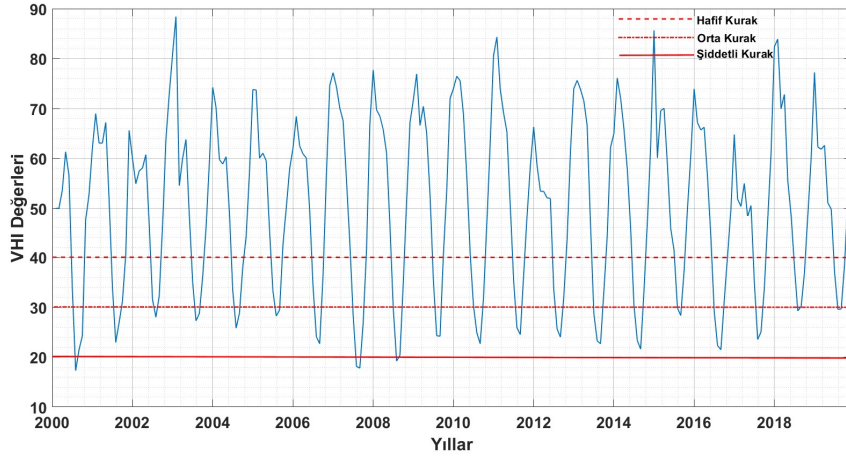
Şekil 4.4 : 2000-2018 yılları aralığında VHI temmuz ayı örneği ile kuraklığın zamansal ve alansal dağılımı.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.5 : Uydu bazlı indislerin zaman serisi ve kuraklık sınır değer aralıkları
a) VCI, b) TCI ve c) VHI.

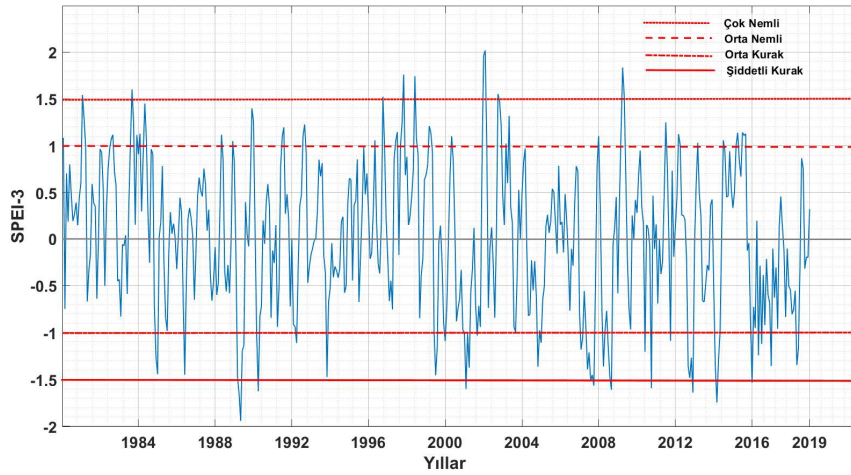
4.1.3 SPEI zaman serisi

Bir önceki bölümde uydu tabanlı kuraklık indislerine (VCI, TCI ve VHI) ait hesaplamalar, görseller ve zaman serilerine ait çalışmalar sunulmuştur. Bu bölümde ise, yersel istasyonlardan gelen sıcaklık ve yağış, enlem verileri kullanılarak hesaplanan PET'ye bağlı olarak elde edilen SPEI sonuçları sunulmaktadır.

SPEI indisini hesaplamak için, Ege Bölgesi için üniform bir şekilde dağılan 23 istasyondan elde edilen verilerden yararlanılarak R yazılımı kullanılmıştır. Bu istasyonların dağılım haritası Şekil 3.2'de verilmiştir. Ek 3'te istasyonlara ait örnek dosyalar ve R yazılımı arayüzünü içeren görseller sunulmuştur.

SPEI değerleri, 1 aylık (SPEI-1), 3 aylık (SPEI-3), 6 aylık (SPEI-6), 9 aylık (SPEI-9) ve 12 aylık (SPEI-12) olarak hesaplanmıştır. R yazılımdan elden edilen sonuçlar Matlab programına aktarılıp, 23 istasyonun ortalaması alındıktan sonra, 1980 – 2018 yıllarına ait zaman serileri oluşturulmuştur. Hesaplanan SPEI zaman serileri, sonraki bölümlerde, frekans ve korelasyon analizleri için kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

Şekil 4.6 SPEI-3 için oluşturulan zaman serisini göstermektedir. Kuraklık sınırları Çizelge 3.4'e göre görsele eklenmiştir.



Şekil 4.6 : SPEI-3 zaman serisi ve kuraklık sınır değer aralıkları.

Kuraklık sınır değerlerine göre VHI zaman serisi ve SPEI-3 zaman serisi karşılaştırılarak incelendiğinde, kurak yıllar olduğu bilinen 2000-2001, 2007-2008, 2013-2014 yıllarının orta/şiddetli kurak olarak her ikisinde de görüldüğü, bununla birlikte SPEI-3 sonuçlarının farklı olarak 1989-1990 yıllarının en şiddetli kurak yılları

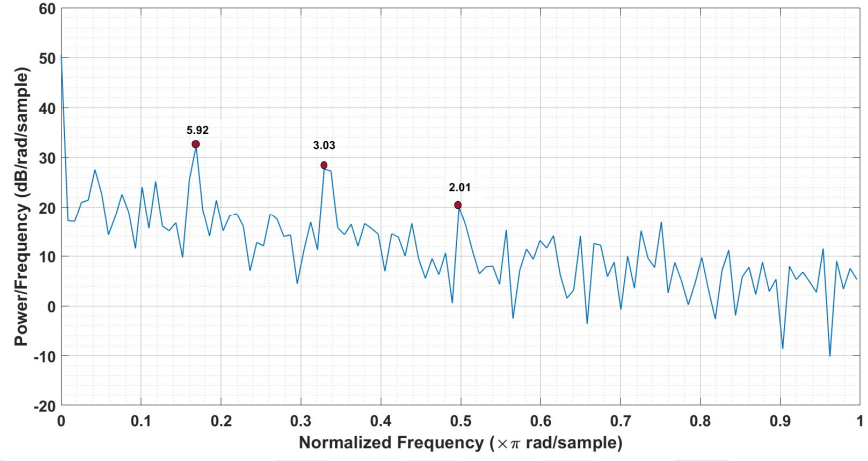
yansıttığı, 2016 yılının da şiddetli kurak sınırına yakın bir orta/şiddetli kurak yıl olarak bu yıllara eşlik etmekte olduğu tespit edilmiştir.

4.2 Frekans Analizleri

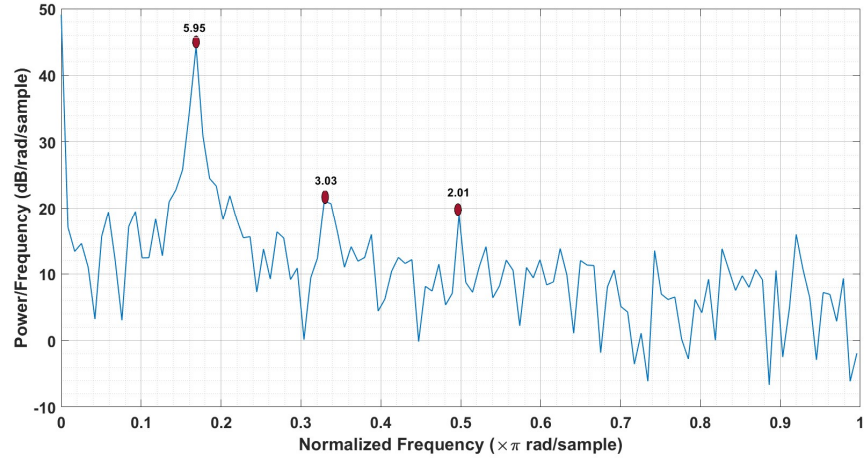
Frekans analizi kuraklık şiddeti ve zaman içerisinde nasıl tekrarlandığı inceleyen ve sadece geçmiş yıllarla ilgili bilgi vermeyip, önümüzdeki yıllarla ilgili de kestirimde bulunmak için önemli katkıda bulunan bir araç ve analiz yöntemidir.

Bu doğrultuda, elde edilen uydu tabanlı kuraklık indislerinin zaman serilerinin Fourier dönüşümü uygulanarak frekans analizleri yapılması planlanmıştır. Uydu bazlı Kuraklık zaman serilerinin harmonik tutumunu incelemek için VCI, TCI ve VHI indislerinde Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılmıştır. Daha sonra, sonuçların daha iyi gösterimi için periodogram ifadesi kullanılmıştır. VCI, TCI ve VHI indislerine ait periyodogram sonuçları Şekil 4.7’de sunulmuştur. Sonuçlar, bu üç indis için kuraklık modellerinin periyodik özelliklerinin çok yakın olduğunu göstermektedir. Kuraklık zaman serilerinin harmonik davranışı incelendiğinde döngülerin VCI’nin 5.92, 3.03, 2.01, TCI’nin 5.95, 3.03, 2.01, VHI’nin 5.88, 2.94 ve 1.96 yıl olduğu görülmektedir. Sonuçların, daha önce verilen sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir. Spektral analizde kurak yıllar ve bu yıllar arasındaki harmonik döngüler makul bir modele sahiptir.

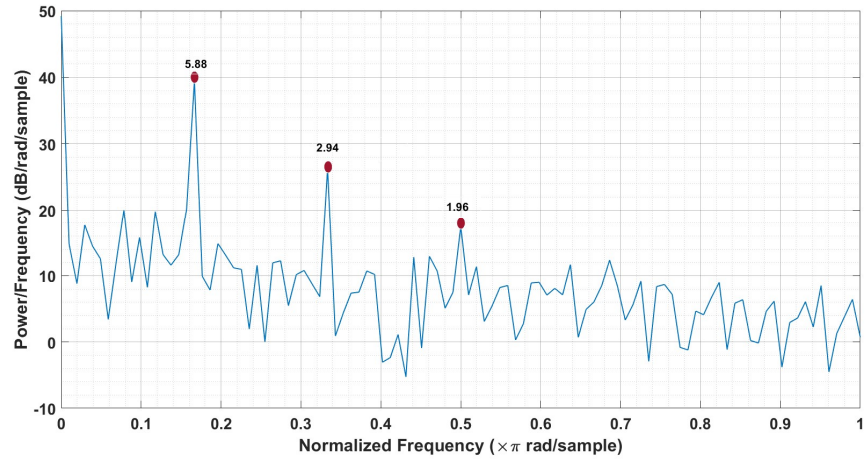
Uydu tabanlı kuraklık indislerinin (TCI, VCI ve VHI) zaman serileri durağan veri formuna da benzer olduğunda, harmonik tutumlar Hızlı Fourier Dönüşümü ile analiz sonuçları elde edilmiştir. Ancak, SPEI gibi durağan olmayan zaman serilerin FFT yöntemiyle analiz edilmesi mümkün olmadığından diğer yöntemlerin kullanılması uygun görülmüştür. Bunun için, literatürde durağan olmayan zaman serilerinin analizi için en iyi iki yöntem olarak önerilen yöntemlerle SPEI zaman serisi incelenmiştir.



(a)



(b)

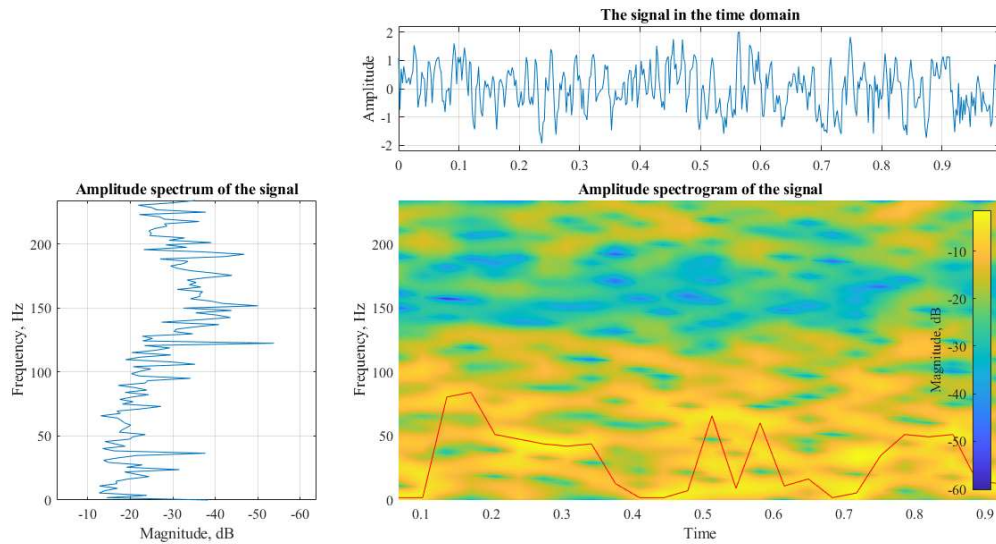


(c)

Şekil 4.7 : FFT dönüşümüyle spektral analizler a) VCI, b) TCI ve c) VHI.

Durağan olmayan zaman serileri, farklı zaman dilimlerinde farklı davranış sergilediğinden, tüm zamanlar için aynı fonksiyonun kullanıldığı klasik Fourier ve Hızlı Fourier dönüşümü uygun olmayacaktır. Bunun yerine, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü'nun tanımında olduğu gibi, zaman serisini eşit zaman pencerelere bölüp, bu zaman pencereleri içerisinde Fourier Dönüşümü uygulamak daha doğru sonuçlara ulaşmamıza yardımcı olacaktır.

İlk aşamada, SPEI zaman serisine, STFT uygulanıp sonucu Şekil 4.8'de paylaşılmıştır. Uygulama sonucu, Şekil 4.8'de de görüldüğü üzere, zaman serisi grafiğinin yanı sıra, zaman-frekans ve genlik-frekans grafikleri de dikkate alınacaktır. Sonuçlar, zaman serisinin frekans ve güç yoğunluğu spektrumunu göstermektedir. SPEI zaman serisinin periyodik döngüsü, baskın frekans dikkate alınarak çıkarılmıştır.

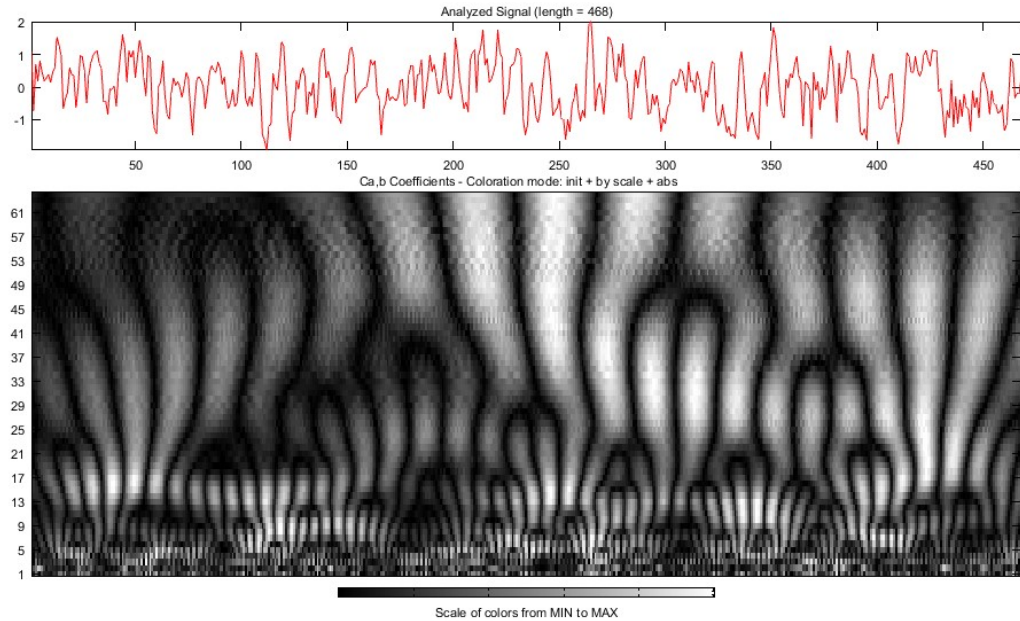


Şekil 4.8 : SPEI-3 için STFT zaman-frekans analizi.
(Baskın frekanslar spektrogramda kırmızı çizgi ile işaretlenmiştir.)

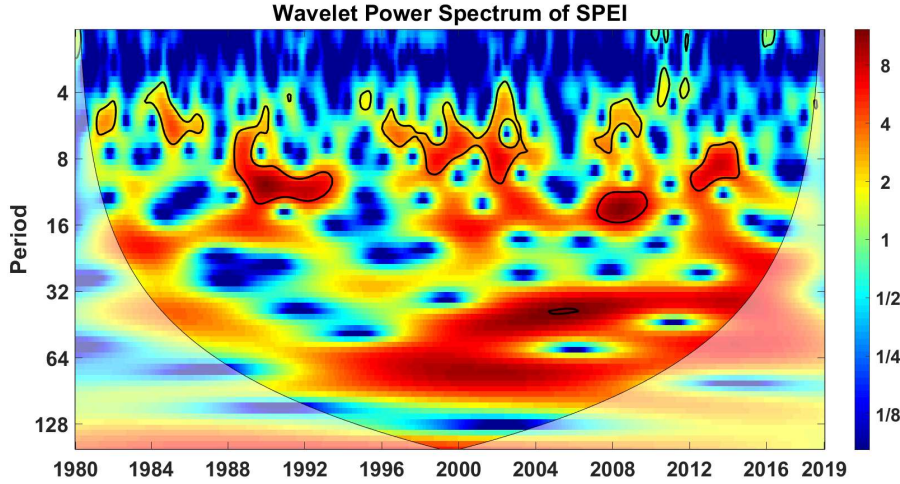
Durağan olmayan zaman serilerini incelemek için diğer bir yöntem ise Dalgacık Dönüşümüdür (Wavelet Transform). Farklı zaman dilimlerinde farklı davranışları olan bir zaman serisini zaman dilimlerine ayırarak işlem yapıp frekans analizinin gerçekleştirildiği bir analiz yöntemidir. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümüne göre avantajı ise, zaman pencerelerinin eşit olma zorunluluğunun olmamasıdır. Zaman penceresinin ölçekleme ve kaydırma fonksiyonunun kontrol edilebilir olması analiz edilen zaman serisinde çözünürlüğü daha yüksek bir sonuç elde edilmesini sağlamaktadır.

Şekil 4.9'da Ocak 1980'den Aralık 2018'e kadar aylık SPEI zaman serisini ve Sürekli Dalgacık Dönüşümü gerçek (reel) bölümünü göstermektedir. Dalgacık Dönüşümünde Morlet fonksiyonu ana fonksiyon (Mother Wavelet) olarak, zaman serisinin dalgacık katsayılarını gerçek ve pozitif ölçeklerde hesaplamak için kullanılmıştır. Dalgacık katsayılarının büyüklüğü, her x-y noktasındaki yoğunluk ile temsil edilir. Dalgacık dönüşüm katsayılarının büyük değerleri, büyük bir dalgalanma ile birleştirilmiş zaman serisi ile şekildeki açık renkle gösterilen Morlet Dalgacığı arasında yüksek bir korelasyon olduğunu gösterir. Dalgacık dönüşüm katsayılarının düşük değerleri, Morlet ve zaman serisinin dalgacık spektrumunda koyu renkle gösterilen fazın dışında olduğu anlamına gelir ve örtüşmediğini ifade eder. Ölçeğin alt kısmındaki ince ayrıntı düzeyi, SPEI verilerindeki tepe noktalarını (en yüksek değerlerini) yansıtır.

Şekil 4.10, aylık SPEI zaman serisinin Dalgacık güç spektrum sonucunu göstermektedir. Dalgacık dönüşümü sonucuna göre, 10-12 ay (1988-1992 yıllarında), 12-14 ay (2006-2009 yıllarında) ve 8-10 ay (2012-2015 yıllarında) periodik döngülerden söz edilebilir.



Şekil 4.9 : 1980-2018 yılları aralığında aylık SPEI-3 zaman serisi (üstte) ve Morlet kullanılan CWT'nin gerçek kısmı (altta).



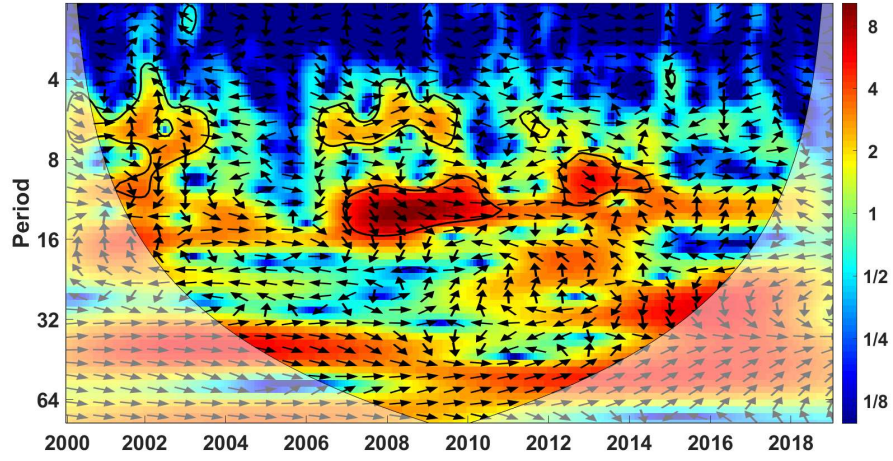
Şekil 4.10 : SPEI-3 zaman serisi Dalgacık güç spektrum analizi. (kırmızı: güç yoğunluğunun maksimum olduğu, koyu mavi: güç yoğunluğunun minimum olduğu durumu yansıtır.)

4.3 Korelasyon Analizleri

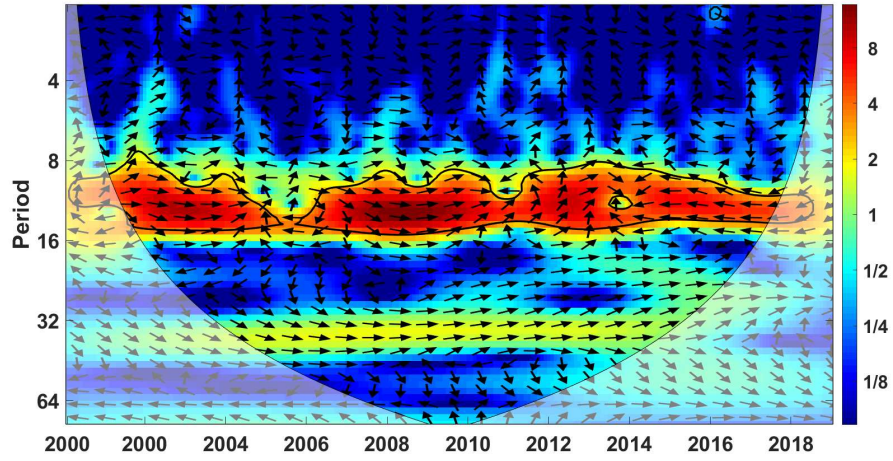
Dalgacık güç spektrumu, belirli zaman serilerinin ana periyodik bileşenleri ve zaman içindeki gelişimi incelenirken, Çapraz Dalgacık Dönüşümü ve Çapraz Dalgacık Tutarlılığı ile zaman-frekanstaki iki durağan olmayan zaman serisi arasındaki ilişkinin derecesini zaman-frekans alanında ölçmek için kullanılır. Faz analizi, farklı frekanslar veya zaman ölçeklerinde iki zaman serisi arasındaki senkronizasyon ve gecikmeleri incelemeyi mümkün kılan doğrusal olmayan bir tekniktir.

Bu bölümde, uydu bazlı kuraklık indisleri (VCI, TCI ve VHI) ile meteorolojik kuraklık indisi (SPEI) arasındaki korelasyon ve tutarlılık, verilerin çakıştığı dönemi kapsayan Ocak 2000'den Aralık 2018'e (228 ay) kadar olan aylık zaman serileriyle analiz edilmiştir. Çapraz Dalgacık (XWT) ve Tutarlılık Dalgacık (CWT) sonuçları sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmektedir.

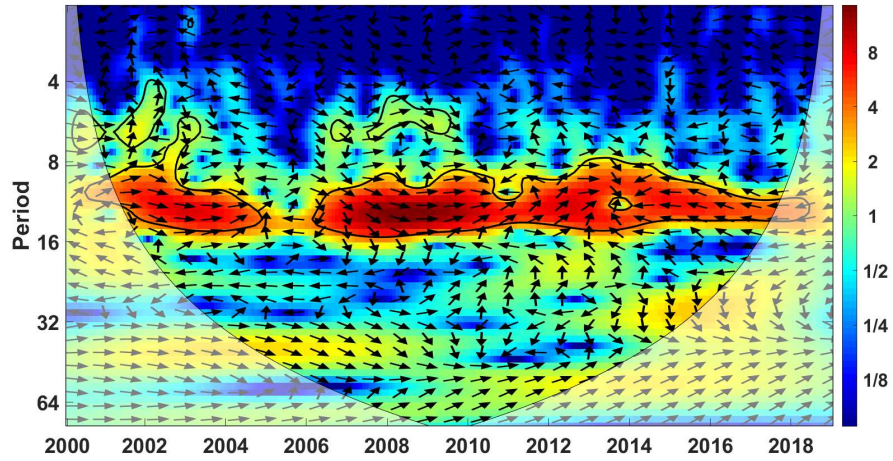
Şekil 4.11 (a) SPEI zaman serisi ile VCI zaman serisi, (b) SPEI zaman serisi ile TCI zaman serisi ve (c) SPEI zaman serisi ile VHI zaman serisi arasındaki ilişkiye odaklanan Çapraz Dalgacık sonuçları sunulmuştur. Şekil 4.11 a'ya göre, SPEI ve VCI zaman serileri, 2007'den 2011'e kadar 12-16 aylık kayda değer bir rezonans süresine sahiptir. Bahsedilen dönem, bu yıllarda esas olarak faz içindedir ve her iki zaman serisi (VCI ve SPEI) birbirini takip etmekte. Şekil 4.11 b'den, SPEI ve TCI zaman serilerinin tüm yıllar için 8-16 aylık bir periyoda sahip olduğu görülebilir.



(a)



(b)



(c)

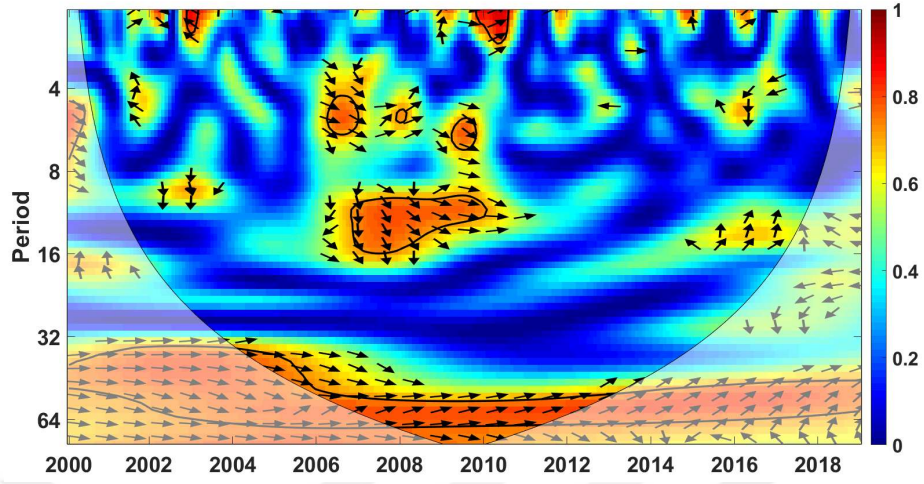
Şekil 4.11 : Çapraz Dalgacık analiz sonuçları a) SPEI-3 ve VCI, b) SPEI-3 ve TCI, c) SPEI-3 ve VHI. (Oklar, seriler arasındaki faz ilişkisini gösterir. Okların yönüne göre sağa: faz içi; sola: anti-faz; aşağı yönlü: seri-1, 90 dereceyle seri-2'nin önünde; yukarı yönlü: seri-2, 90 dereceyle seri-1'in önünde anlamına gelmektedir.)

2000'den 2006'ya ve 2006'dan 2011'e kadarki dönemlerde esas olarak faz içerisinde ve her iki zaman serisi birbirini takip etmektedir. 2011'den 2013'e kadar olan periyotlarda ise SPEI'nin TCI'yi 90 derece gecikmeyle takip ettiği ve 2013 ile 2018 yılları arasında ise iki zaman serisi anti-fazda olduğu gözlemlenebilir. Şekil 4.11 c'de, SPEI ve VHI zaman serilerinin 2000-2005 ve 2007-2018 yılları için 9-15 aylık bir periyoda sahip olduğunu göstermektedir. 2000'den 2005'e ve 2007'den 2014'e kadar dönemler esas olarak faz ilişkisine sahip olan her iki zaman serisinin (VHI ve SPEI) birbirini takip etmekte olduğu ve 2014'ten 2018'e kadarki yıllarda ise anti-faz ilişkisi içerisinde oldukları görünmektedir.

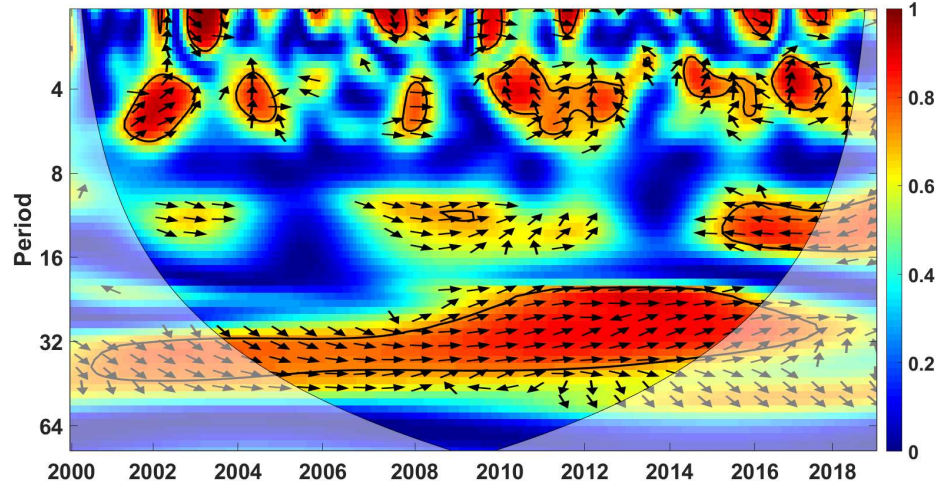
Sonuçlar, SPEI'nin tüm yıllar boyunca 35-45 aylık bir dönemde VCI, TCI ve VHI ile önemli bir uyumluluğa sahip olduğunu göstermektedir. Önemli bir sonuç olarak, söz konusu dönem için uydu bazlı indisler ile SPEI arasında kayda değer bir pozitif korelasyon olduğunu söylemek mümkündür.

Bir sonraki aşamada ise, uydu tabanlı indisler ile meteorolojik indis zaman serileri arasındaki ilişkiyi ve tutarlılığı incelemek için uygulanan Dalgacık Tutarlılık analizi sonuçları sunulmuştur. İlk olarak VCI, TCI ve VHI indisleri ile SPEI-3 arasındaki ilişkiyi yansıtan sonuçlara Şekil 4.12'de yer verilmiştir.

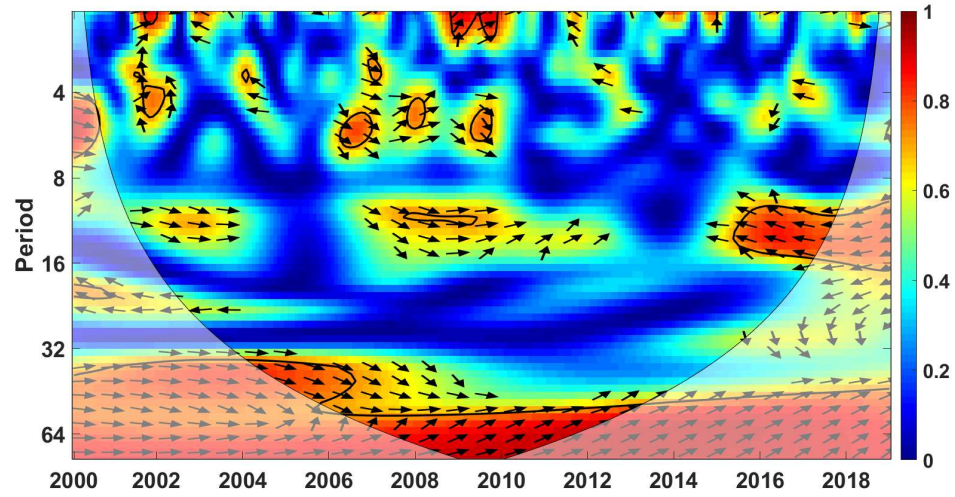
Şekil 4.12a, 2007-2010 yılları arasında 4-6 aylık ve 10-16 aylık dönemlerde, VCI ve SPEI, bir tutarlılık göstermektedirler. Şekil 10b ve Şekil 10c, SPEI'nin TCI ve VHI ile 2016'dan 2018'e kadar 9-14 aylık dönemde anti-fazda olduğunu göstermektedir. Ayrıca, aynı dönem için 2007'den 2012'ye kadar tutarlılık gözlemlenmektedir. SPEI ve TCI için 2001-2002 ve 2015-2016 arasında 3-7 aylık dönemdeki faz farkı 30-45 derecedir. Diğer bir deyişle, SPEI'nin TCI'yi 1-2 ay geriden takip ettiği söylenebilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.12 : Dalgacık Tutarlılık analiz sonuçları a) SPEI-3 ve VCI, b) SPEI-3 ve TCI ve c) SPEI-3 ve VHI.

Buraya kadar tartışılan uydu bazlı kuraklık indisleri ile meteorolojik kuraklık indisinin hesaplanması, zaman serilerinin incelenmesi ve korelasyonlarına ilişkin elde edilen sonuçların bir kısmı “Evaluating Drought Events by Time-Frequency Analysis: A Case Study in Aegean Region of Turkey” başlıklı çalışma olarak IEEE Access dergisinde yayımlanmıştır (Kocaaslan vd., 2021). Tezin bu kısmında ise VCI ve VHI zaman serileri ile farklı zaman ölçeklerindeki SPEI sonuçları arasındaki korelasyon Çapraz Dalgacık yöntemi ile incelenmiştir. 1, 3, 6, 9, 12 aylık zaman ölçeklerindeki SPEI serileri için ayrı ayrı VCI ve VHI ile ilişkilerine bakılarak hangisinin uydu bazlı kuraklık indisleri ile daha belirgin şekilde uyum içerisinde olduğu incelenmiştir. Şekil 4.13’te SPEI-1 ile VCI, SPEI-3 ile VCI, SPEI-6 ile VCI, SPEI-9 ile VCI ve SPEI-12 ile VCI Çapraz Dalgacık analiz sonuçları gösterilmektedir.

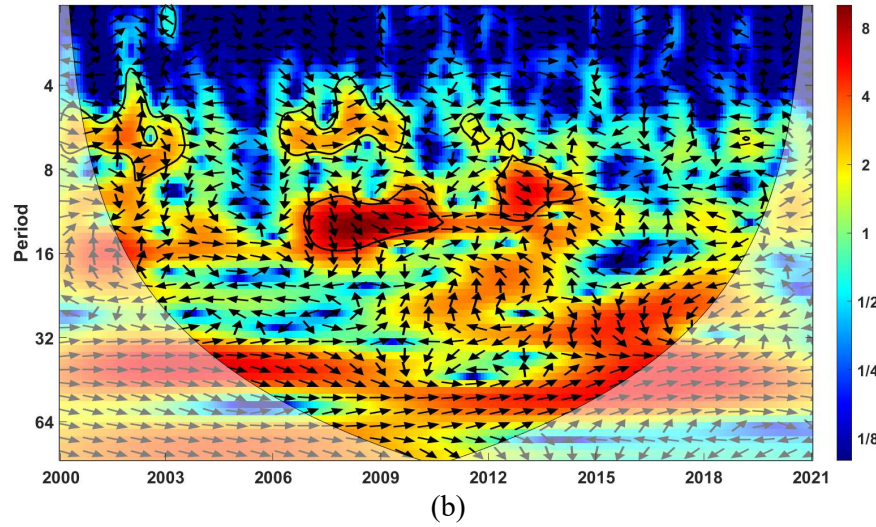
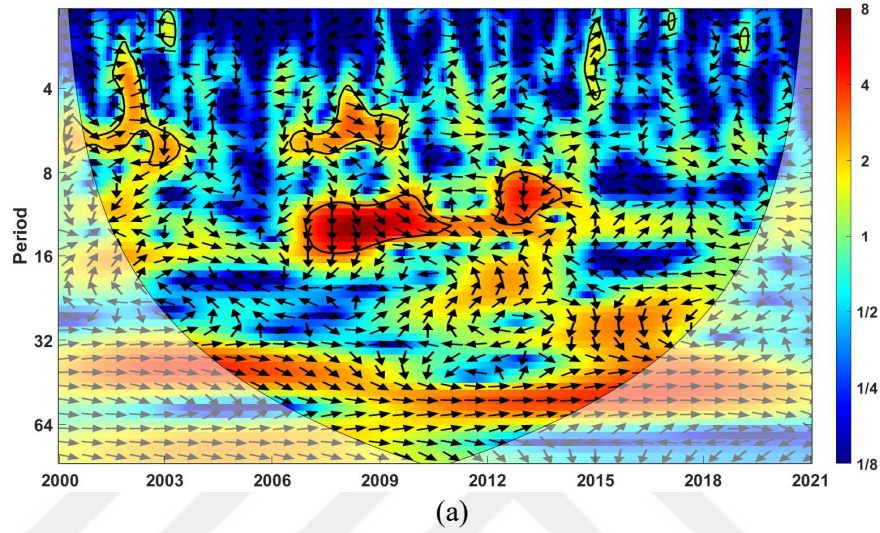
SPEI-1 ile VCI zaman serilerinin çapraz korelasyonuna baktığımızda, 32-64 periyodlarında tüm zamanlar için faz uyumunda olduklarını ve birbirlerini takip ettiklerini görmek mümkündür. 2006-2013 yıllarında 10-16 periyodlarına bakıldığında, renk yoğunluğundan daha kuvvetli bir çapraz korelasyon olduğunu, ancak okların aşağı yönü işaret etmesi ve bu SPEI-1, VCI zaman serisini 90 derecelik bir faz farkıyla takip ettiğini gözlenebilir. Buradaki korelasyonun şiddeti ve oluşan faz farkı, aslında zaman serilerinin birbiriyle ilişkili olduğunu sadece birkaç ay gecikmeyle yaklaşık değerlere ulaştığının habercisidir. Şekil 4.12 (b) göz önünde bulundurulduğunda, SPEI-1 ile VCI ve SPEI-3 ile VCI zaman serilerinin hemen hemen aynı çapraz korelasyon sonuçlarına sahip oldukları dikkat çekmektedir.

Şekil 4.13 (c)’ye bakıldığında, tüm araştırma yılları için, yine 32-64 periyodlarında bir uyum görmek mümkündür. Ancak; 2006-2013 yıllarında 8-16 periyodlarına baktığımızda, iki zaman serisinin birbiriyle daha kuvvetli korelasyon içerisinde oldukları ve aynı zamanda da faz uyumları göze çarpmaktadır.

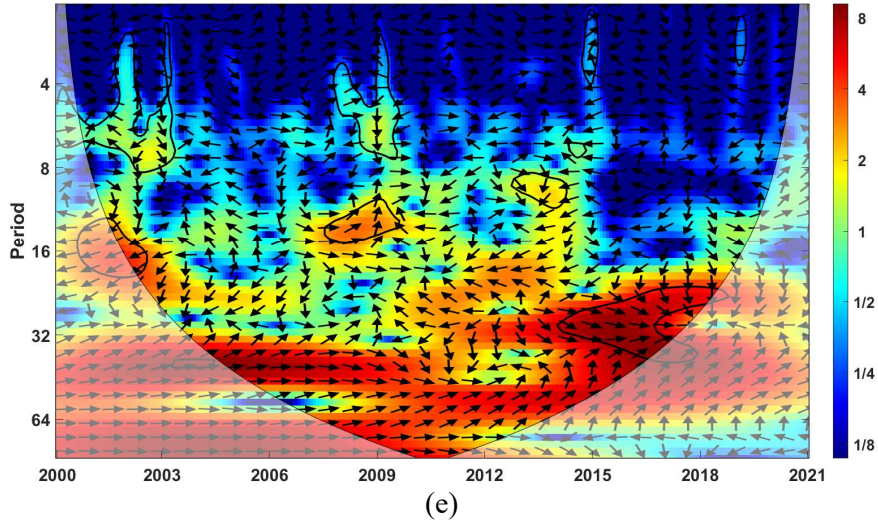
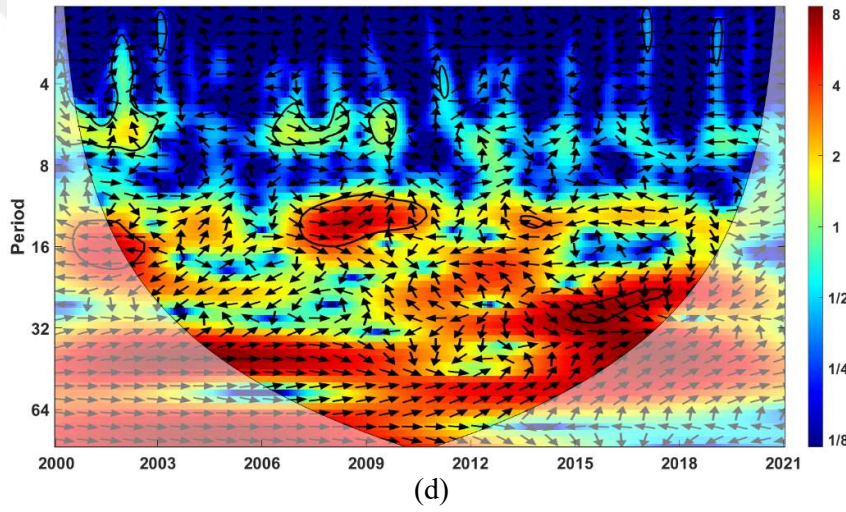
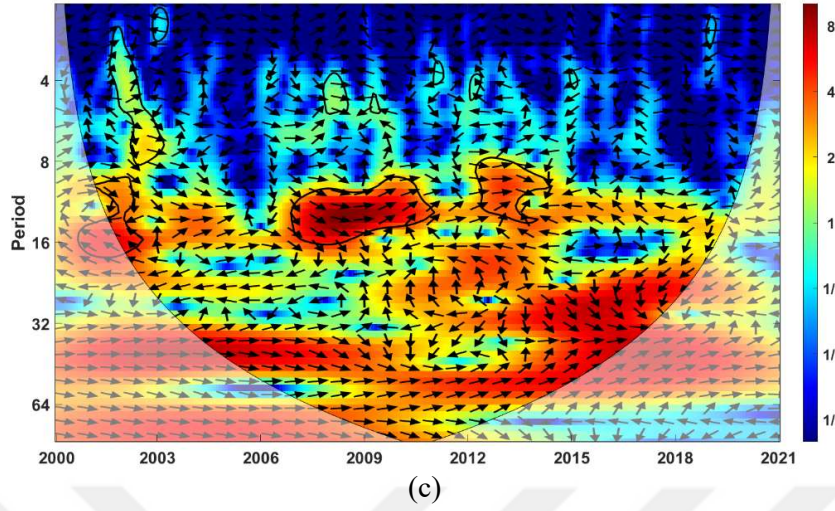
Şekil 4.13 (d)’de, tüm araştırma yılları için, 32-64 periyodlarında SPEI-9 ile VCI zaman serileri uyumlu olup aynı fazda oldukları gözlemlenebilir. 8-16 periyodlarında ise daha yüksek korelasyon elde edildiğini, 2007–2013 yılları için faz uyumunun sağlandığını, 2001-2003 yılları için ise iki zaman serisinde anti-faz oluştuğu görülmektedir.

Şekil 4.13 (e), SPEI-12 ve VCI zaman serilerinin tüm yılları için (2000-2020), 32-64 periyodlarında kuvvetli çapraz korelasyona sahip oldukları ve faz uyumu içerisinde

olduklarını göstermektedir. Yüksek çapraz korelasyon katsayısı ve faz uyumu 26-36 periyodlarında, 2013-2017 yılları arasında da gözlemlenmektedir. Ancak 10-18 periyodlarında, 2001-2003 yılları için 135 derecelik bir faz farkı, iki zaman serisi arasında oluşan önemli bir gecikmeyi işaret etmektedir.



Şekil 4.13 : Çapraz Dalgacık ile korelasyon analizleri a) SPEI-1 ile VCI, b) SPEI-3 ile VCI, c) SPEI-6 ile VCI, d) SPEI-9 ile VCI, e) SPEI-12 ile VCI.

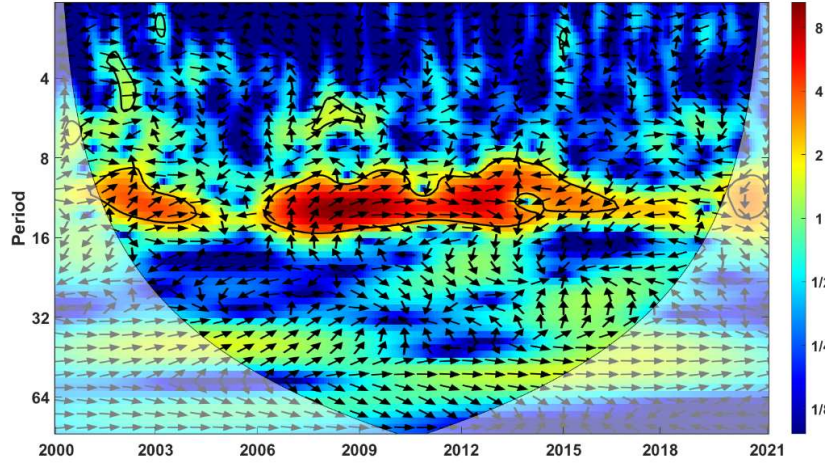


Şekil 4.13 (devam) : Çapraz Dalgacık ile korelasyon analizleri a) SPEI-1 ile VCI, b) SPEI-3 ile VCI, c) SPEI-6 ile VCI, d) SPEI-9 ile VCI ve e) SPEI-12 ile VCI.

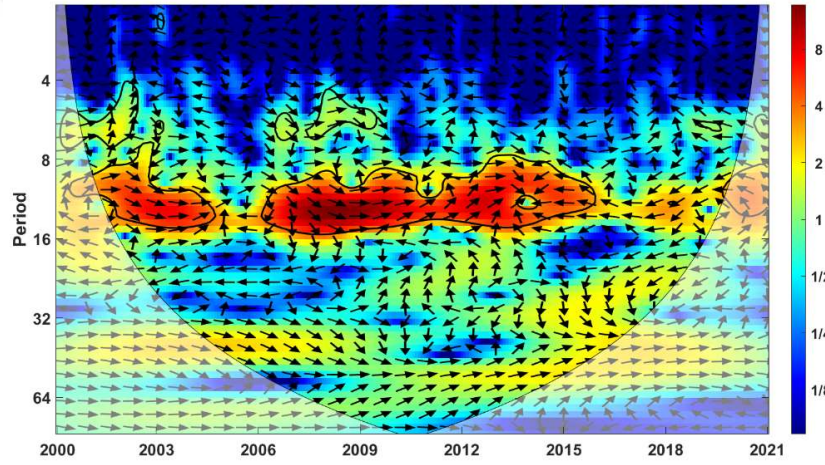
Şekil 4.14'te, SPEI-1 ile VHI, SPEI-3 ile VHI, SPEI-6 ile VHI, SPEI-9 ile VHI ve SPEI-12 ile VHI Çapraz Dalgacık korelasyon analiz sonuçları sunulmuştur. SPEI-1 ile VHI zaman serileri incelendiğinde 8-16 periyodlarında yüksek korelasyon görülmektedir. Bu periyodlarda 2009-2013 yıllarında faz uyumu, 2014-2017 yıllarında anti-faz ve 2001-2004 yıllarında ise 20 ile 90 derece faz farkı olduğu olduğundan iki zaman serisi arasında gecikmelerin olduğunu söylemek mümkündür.

Şekil 4.14 (b)'de, SPEI-3 ile VHI zaman serilerinin 8-16 periyodlarında 2001-2005 ve 2007-2013 yılları için faz uyumu içerisinde olup diğer yıllar için anti-faz ve gecikme durumlarının olduğu görülmektedir.

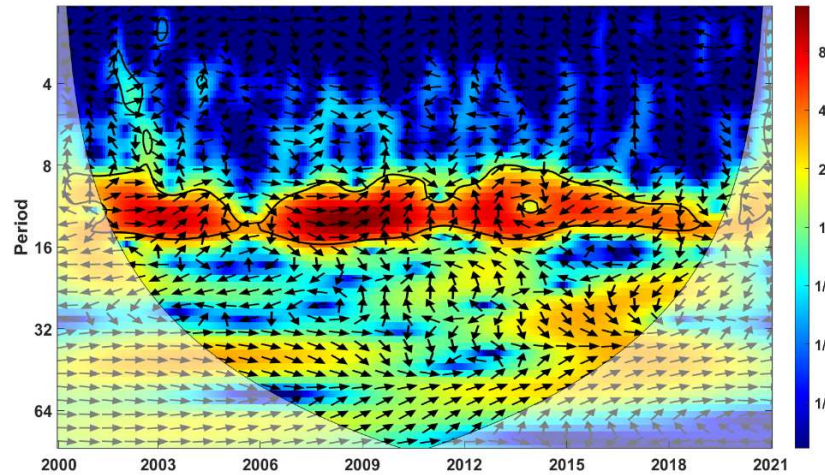
Şekil 4.14(c)'ye bakıldığında, SPEI-6 ile VHI Çapraz Dalgacık Korelasyon sonucu Şekil 4.14 (b) de verilen SPEI-3 ile VHI zaman serilerinin Çapraz Dalgacık Korelasyon sonucuna yakın olduğunu görebiliriz. Şekil 4.13(d) ise, SPEI-9 ile VHI zaman serilerinin 10-18 periyodlarında 2000-2001 yılları için 90 derece faz farkı olduğunu ve seri 1'in seri 2'nin önünde olduğunu, 2002 yılında 45 derece faz farkı ve gecikme olduğunu, 2003-2005 ve 2009-2010 yıllarında seri 2, 90 derece ile seri 1'in önünde olduğunu, 2007-2008 yıllarına iki zaman serisi faz uyumu içerisinde olduklarını, 2011-2013, 2015-2017 ve 2019-2020 yıllarında iki zaman serisi birbirini gecikmeli takip ettiklerini, 2013-2014'te iki serinin anti-faz olduklarını ve 2018'de seri 1'in, 90 derece seri 2'nin önünde olduğunu ifade etmektedir. Şekil 4.14(e)'de elde edilen sonuç ise, iki zaman serisinin 32-64 periyotlarında 2000-2010 yılları için faz uyumlu ilişkileri, 2010-2011 ve 2013-2020 yılları için iki zamans serisinin gecikmeyle birbirlerini takip ettikleri ve 2012'de ise anti-faz oldukları göze çarpmaktadır.



(a)

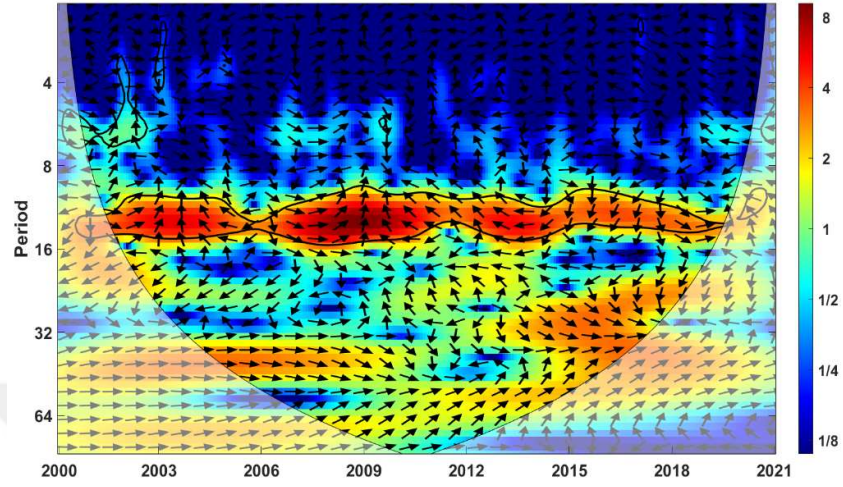


(b)

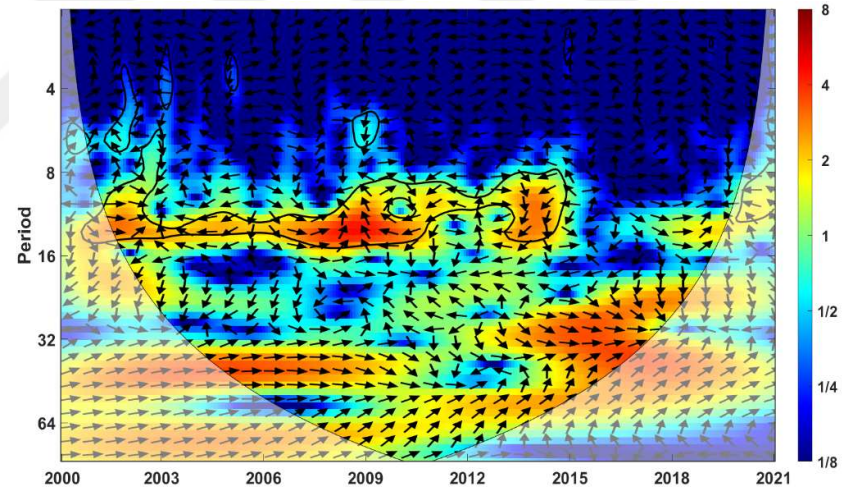


(c)

Şekil 4.14 : Çapraz Dalgacık ile korelasyon analizleri a) SPEI-1 ile VHI, b) SPEI-3 ile VHI, c) SPEI-6 ile VHI, d) SPEI-9 ile VHI ve e) SPEI-12 ile VHI.



(d)



(e)

Şekil 4.14 (devam) : Çapraz Dalgacık analiz sonuçları a) SPEI-1 ile VHI, b) SPEI-3 ile VHI, c) SPEI-6 ile VHI, d) SPEI-9 ile VHI ve e) SPEI-12 ile VHI.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; kuraklığın izlenmesine yönelik uzaktan algılama yöntemlerinin ve Coğrafi Bilgi Teknolojilerinin kullanılabilirliği araştırılmış olup sunduğu olanaklardan yararlanılmıştır. Bu kapsamda; uyduların VIS, NIR ve TIR spektral kanalları aracılığıyla elde edilen kuraklıkla doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili indis ve indikatörler kullanılmıştır. Uzaktan algılama temelli uzun süreli NDVI verilerinin normalizasyonu ilkesine dayanan VCI ve yer yüzey sıcaklığı parametresine dayanan TCI ile bu iki indisin ağırlıklandırılmış kombinasyonu olan VHI kuraklık indisleri ile örnek çalışma alanı olarak seçilen Ege Bölgesi üzerinde kuraklık olaylarının 2000-2018 yılları aralığında mekânsal ve zamansal dağılımı incelenmiştir. Sonuçlara göre; literatüre geçmiş kurak yıllar olarak bilenen 2000-2001, 2007-2008 yıllarının belirgin şekilde gerek mekânsal dağılım desenlerinde gerekse zaman serileri üzerinde tanımlanan kuraklık sınıflarına göre orta ve/veya şiddetli kurak yıllar olarak öne çıktığı görülmüştür.

Öte yandan; uydu verileriyle yapılan çalışmayı desteklemek üzere yararlanılan, çalışma alanı kapsamındaki 23 adet yer gözlem istasyona ait 1980-2018 yılları aralığında aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık gibi iklim verilerinden farklı zaman ölçeklerinde hesaplanan SPEI sonuçlarıyla oluşturulan zaman serileri ile kuraklık olaylarının zamansal dağılımı değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlara göre, 1989-1990 yıllarının en şiddetli kurak yıllar olarak öne çıktığı, bunun haricinde 2000-2001, 2007-2008, 2013-2014 yıllarının orta/şiddetli kurak olarak uydu bazlı kuraklık indislerini doğruladığı, 2016 yılının da şiddetli kurak sınırına yakın bir orta/şiddetli kurak yıl olarak bu yıllara eşlik etmekte olduğu tespit edilmiştir.

Bununla birlikte, doğası gereği karmaşık yapıya sahip olan kuraklık olaylarının tekrarlanma sıklığını (periyodikliğini) tespit etmek; şiddetini ve etki alanını belirlemek kadar önemli ve gerekli olduğundan, oluşturulan zaman serilerinin karakteristik yapılarına uygun frekans analiz yöntemleri belirlenmiştir. Bu doğrultuda, uydu bazlı VCI, TCI, VHI indislerinin daha çok durağan özellik gösteren zaman serilerinin

frekans analizleri metodolojide açıklanan FFT yöntemi ile durağan olmayan özellikteki istasyon bazlı SPEI zaman serisinin frekans analizleri ise STFT ve Dalgacık Dönüşümü yöntemleri ile yapılarak tekrarlanma periyotları elde edilmiştir.

Frekans analiz sonuçları, VCI, TCI, VHI indisleri için kuraklık modellerinin periyodik özelliklerinin çok yakın olduğunu göstermiştir. Kuraklık zaman serilerinin harmonik davranışı incelendiğinde ise döngülerin yaklaşık 5.9, 3.01 ve 2.01 yıl olduğu görülmüştür. Periyodikliğin yanı sıra hangi zaman aralığında bu periyodikliğin gerçekleştiği bilgisini de verme üstünlüğü bulunan Dalgacık Dönüşümü yöntemi ile yapılan SPEI zaman serisinin frekans analiz sonucuna göre ise, 10-12 aylık (1988-1992 yıllarında), 12-14 aylık (2006-2009 yıllarında) ve 8-10 aylık (2012-2015 yıllarında) periyodik döngülerin oluştuğu belirlenmiştir.

Literatürde rastlanan birçok çalışmada; uzaktan algılama temelli kuraklık indislerinin yersel istasyon verilerinin referans alındığı kuraklık indisleriyle arasındaki ilişkinin varlığı ve bu ilişkinin gücü bilenen istatistik yöntemlerle elde edilen korelasyon katsayıları ile ifade edilmiştir. Bu çalışmada ise farklı ve ilk olarak; istatistiksel yöntemlere alternatif Çapraz Dalgacık Dönüşümü (XWT) ve Dalgacık Tutarlılığı (WTC) yöntemleriyle yersel ve uydu bazlı iki farklı kaynaktan elde edilen VCI, TCI, VHI ile SPEI kuraklık indislerinin korelasyonu ve tutarlılığı test edilmiştir. Bu yöntemlerle, yalnızca iki zaman serisi arasındaki ilişkiyi değil aynı zamanda bu ilişkinin şiddetiyle beraber zaman bilgisi de vererek hangi dönemlerde yoğunlaştığı dahası aralarındaki senkronizasyonu ve gecikmeleri faz ilişkisiyle açıklanabilir kılar.

SPEI ile VCI, TCI, VHI indislerinin zaman serilerinin çakıştığı dönemi kapsayan Ocak 2000'den Aralık 2018'e (228 ay) kadar olan aylık zaman serileriyle yapılan çapraz korelasyon analizinde ortak yüksek güç gösteren zaman serilerinin zamandaki frekans bölgeleri tespit edilmiş olup, faz yapısı ve ayrıntıları zaman alanında ve frekans alanında incelenmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre; genel itibariyle bu indislerin serilerinin tüm zamanlar içinde birbirini takip ederek güçlü bir korelasyon içinde olduğu ve önemli bir tutarlılığa sahip olduğu ortaya konmuştur.

Tüm çalışma sonuçlarına ek olarak genel çıkarımlar yapılacak olursa;

- Ülkeye özellikle tarım alanında ciddi anlamda katkısı olan Ege Bölgesi özelinde kuraklık izleme çalışmalarının hızlı ve etkin yapılabilmesi adına uzaktan algılama tekniklerinden olabildiğince yararlanılmasının elzem olduğu,

- topografyası ve iklimi gereği kuraklık olaylarına sıklıkla maruz kalan Bölge’de geçmiş yıllarda yaşanan kuraklık olaylarının frekans analizlerinin yapılması ile kuraklığın şiddeti ve zaman içerisinde nasıl tekrarlandığı incelenerek önümüzdeki yıllarda oluşması muhtemel kuraklık risklerinin öngörülmesi operasyonel olarak kuraklık eylem planlarının oluşturulmasında önemli bir basamak olduğu,
- çağımızın diğer bir sorunu olan uydu verileri gibi büyük verilerin (literatürde big data olarak tanımlanan) saklanmasında, analiz edilip, işlenmesinde ve anlamlı sonuçlar elde edilmesinde kolaylık sağlayan, bulut tabanlı sistemi ile internet olan her yerden erişilebilirliği, arşivinde birçok uyduya ait petabaytlık boyutta veri içeren koleksiyonları barındıran, aynı zamanda dışarıdan veri ve koleksiyonların eklenebildiği, kullanıcı dostu GEE platformunun kullanımının yalnızca kuraklık izleme çalışmaları değil pek çok farklı uygulama ve araştırma için çözüme giden yolda uygun ortam sağlayacağı,
- Gıda Tarım Örgütü (FAO), Amerika Ulusal Kuraklıkla Mücadele Merkezi (NDMC) gibi kurumlar başta olmak üzere dünya örneklerinde olduğu gibi iklimbilimciler, tarımsal araştırma uzmanları, su kaynakları yöneticileri vb. farklı alanlardaki birçok uzmanın katkılarıyla hazırlanan iklim verilerine dayalı PDSI, SPI, PNP gibi indislerle beraber METOP, AVHRR, MODIS sensörlerinin optik ve termal kanallarından elde edilen uzaktan algılama verilerine dayalı VCI, TCI ve VHI gibi indislerin entegrasyonuna dayanan, doğruluğu ve güvenilirliği farklı çevresel koşullarda test edilmiş kuraklık izleme sistemlerine benzer şekildeki bir entegre sistemin Türkiye ölçeğinde geliştirilmesi ile daha anlamlı ve kapsamlı bir kuraklık değerlendirmesinin mümkün olacağı, geleneksel yöntemlere dayanan mevcut sistemin verimliliğinin artırılabilceği,
- kullanılan indislerin içerdikleri parametreler itibariyle daha çok tarımsal kuraklıkla ilişkili olan bu tez çalışmasının başlarında nem verisi araştırılmış araştırılmış olup, Türkiye’deki yersel toprak nem verisinin o dönem itibariyle verifikasyonu sağlanmadığından kullanıcıyla paylaşamadığı belirtildiğinden Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilememiş olup, çalışma planı

kapsamından çıkarılmış olmakla birlikte; uzaktan algılamaya dayalı global toprak nem verisi sağlayan Avrupa Uzay Ajansı (ESA-European Space Agency)'nın 1978-2010 yılları arası aktif ve pasif mikrodalga verilerinin entegrasyonu ile elde edilen ECV verisi; 2009 yılından bu yana 50 km konumsal çözünürlüklü %4 doğruluklu olan SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) verisi; NASA tarafından 31 Ocak 2015'ten bu yana veri alımına başlanan radar ve radyometre sistemlerinin kombinasyonundan oluşan 36 km çözünürlüklü 2-3 günlük SMAP (Soil Moisture Active Passive) verisi, yine NASA'nın 2002-2011 yılları arası 25 km çözünürlüklü AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer- Earth Observing System) sensörlerinin nem verisinin bundan sonra yapılacak özellikle Türkiye ölçeğindeki tarımsal kuraklık izleme çalışmaları için önemli kaynaklar olarak değerlendirilebileceği,

- Landsat (30 m), Sentinel (10 m-60 m) gibi MODIS'ten (250m-1000m) daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip uyduların verileri kullanılarak, havza veya il bazında özellikle kuraklığa eğilimli tarım alanlarında, bitki örtüsünün hem biyolojik hem de fiziki özellikleriyle ilişkili biyofiziksel karakteristiklerinden topografya (eğim, yükseklik), biyokütle miktarı, yaprak alan indeksi, toprağın yapısı, nem ihtivasi, arazi kullanımı, sulama durumu gibi etmenler de dikkate alınarak tarımsal kuraklığın yakından izlenebileceği, yapılacak arazi çalışmaları ile doğruluğu daha fazla test edilebilir güvenilir ve anlamlı sonuçlar elde edileceği, metodolojide tanımlanan korelasyon yöntemleriyle belirli ürün grupları için tarımsal ürün rekoltesinin kuraklık olaylarıyla ilişkisinin irdelenebileceğini söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

- Abrahart, R. J. & See, L.** (1998). Neural Network vs. ARMA Modelling: Constructing Benchmark Case Studies of River Flow Prediction. In J. Blenc, (Ed.), *GeoComputation'98. Proceedings of the Third International Conference on GeoComputation*, (145-154). United Kingdom: University of Bristol, September 17-19.
- Abramowitz, M., & Stegun, I. A.** (1965). *Handbook of mathematical functions* Dover Publications. New York, 361.
- Ahmadalipour, A., Moradkhani, H., Demirel, M.C.** (2017). A comparative assessment of projected meteorological and hydrological droughts: elucidating the role of temperature. *Journal of Hydrology*, 553, 785-797.
- Allen, J.** (1977). Short Time Spectral Analysis, Synthesis, and Modification by Discrete Fourier Transform. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. ASSP-25(3): 235–238.
- Amri, R., Zribi, M., Chabaane, Z.L., Duchemin, B., Gruhier, C., and Chehbouni, A.** (2011). Analysis of vegetation behavior in a North African semi-arid region using SPOT-Vegetation NDVI data, *Remote Sensing*, 3(12), 2568-2590.
- Anderson, M. C., Norman, J. M., Mecikalski, J. R., Otkin, J. A., & Kustas, W. P.** (2007). A climatological study of evapotranspiration and moisture stress across the continental United States based on thermal remote sensing: 1. Model formulation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D10).
- Aydin, O., & Çiçek, İ.** (2013). Ege Bölgesi'nde yağışın mekânsal dağılımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 101-120.
- Bajgiran, P. R., Darvishsefat, A. A., Khalili, A., and Makhdoum, M. F.** (2008). Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72(6):1086-1096.
- Beguería, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., and Latorre, B.** (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring, *International Journal of Climatology*, 34(10), 3001-3023.
- Bento, V. A., Trigo, I. F., Gouveia, C. M., & DaCamara, C. C.** (2018). Contribution of land surface temperature (TCI) to vegetation health index: A comparative study using clear sky and all-weather climate data records. *Remote Sensing*, 10(9), 1324.

- Boashash, B., Touati, S., Flandrin, P., Hlawatsch, F., Tauböck, G., Oliveira, P. M., ... & Akan, A.** (2016). Advanced time-frequency signal and system analysis. In *Time-Frequency Signal Analysis and Processing: A Comprehensive Reference* (141-236). Elsevier.
- Brown, J.F., B.D. Wardlow, T. Tadesse, M.J. Hayes, and B.C. Reed.** (2008). The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience and Remote Sensing*, 45(1):16–46.
- Caccamo, G., Chisholm, L. A., Bradstock, R. A., & Puotinen, M. L.** (2011). Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 115(10), 2626-2639.
- CRED&UNDRR** (2020). *Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years 2000-2019*. <<https://reliefweb.int/report/world/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019>> erişim tarihi 02 Kasım 2021.
- Dai, A.** (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature climate change*, 3(1), 52-58.
- Davis, J. C., & Sampson, R. J.** (1986). *Statistics and data analysis in geology* (Vol. 646). New York: Wiley.
- Du, L., Q. Tian, Y. Tao, Q. Meng, T. Jancso, P. Udvardy, and Y. Huang.** (2013). A Comprehensive Drought Monitoring Method Integrating MODIS and TRMM Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 23: 245-253.
- Eris, E., Cavus, Y., Aksoy, H., Burgan, H. I., Aksu, H., & Boyacioglu, H.,** 2020. Spatiotemporal analysis of meteorological drought over Kucuk Menderes River Basin in the Aegean Region of Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3), 1515-1530.
- Fan, W. and Tao, X.,** 2012. Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation by Green Vegetation, *Adv. Remote Sens.*, 383–414.
- FAO** (1983). *Guidelines: Land Evaluation for Rainfed Agriculture*, FAO Soils Bulletin, 52, Rome.
- FAO** (2017). Patrick, E., Drought characteristics and management in Central Asia and Turkey. *FAO Water Reports 44; Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome: Rome, Italy*. 114.
- Foufoula-Georgiou, E., Kumar, P., & Chui, C. K. (Eds.).** (1994). *Wavelets in geophysics* (Vol. 4). Academic Press. p. 373.
- Gebrehiwot, T., van der Veen, A., and Maathuis, B.** (2011). Spatial and temporal assessment of drought in the Northern highlands of Ethiopia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3):309 – 321.
- Gao, B. C.** (1996). NDWI-A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sens Environ*, 58, 257-266.
- Gitelson, A. A., Stark, R., Grits, U., Rundquist, D., Kaufman, Y., & Derry, D.** (2002). Vegetation and soil lines in visible spectral space: A concept

- and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2537-2562.
- Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S.** (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear processes in geophysics*, 11(5/6), 561-566.
- Gu, Y., Brown, J. F., Verdin, J. P., & Wardlow, B.** (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical research letters*, 34(6).
- Gutman, G. G.** (1990). Towards monitoring droughts from space. *Journal of climate*, 3(2), 282-295.
- Guttman, N. B.** (1999). Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311-322.
- Hayes, M. J., Wilhelmi, O. V., & Knutson, C. L.** (2004). Reducing drought risk: bridging theory and practice. *Natural Hazards Review*, 5(2), 106-113.
- Huete, A. R.** (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295-309.
- Huete, A., Justice, C., & Van Leeuwen, W.** (1999). MODIS vegetation index (MOD13). *Algorithm theoretical basis document*, 3(213), 295-309.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G.** (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213.
- IPCC** (2007). Solomon, S., Manning, M., Marquis, M., & Qin, D. *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge university press. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- IPCC** (2018). Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., ... & Zougmore, R. B. *Impacts of 1.5 °C global warming on natural and human systems, Global warming of 1.5 C*. An IPCC special report, 175-311.
- Jiao, W., Tian, C., Chang, Q., Novick, K. A., & Wang, L.** (2019). A new multi-sensor integrated index for drought monitoring. *Agricultural and forest meteorology*, 268, 74-85.
- Ji, L., and A. J. Peters,** (2003). Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices, *Remote Sens Environ*, 87, 85-98.
- JRC** (2008). Niemeyer S. *New Drought Indices*. In Conference Proceedings: Lopez-Francos A., editor. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens. Zaragoza (Spain): CIHEAM-IAMZ, 267-274, JRC56675.

- JRC (2012).** JRC Scientific and Technical Reports, Horion, S., Carrão, H., Singleton, A., Barbosa, P., Vogt, J., *JRC experience on the development of Drought Information Systems. Europe, Africa and Latin America.* EUR 25235 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union, JRC68769, doi: 10.2788/15761.
- Karnieli, A., Bayasgalan, M., Bayarjargal, Y., Agam, N., Khudulmur, S., & Tucker, C. J. (2006).** Comments on the use of the vegetation health index over Mongolia. *International Journal of Remote Sensing*, 27(10), 2017-2024.
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R. T., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G. G., ... & Goldberg, A. (2010).** Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. *Journal of climate*, 23(3), 618-633.
- Karamzadeh, S. K., Musaoğlu, N., Türkeş, M., & Tanık, A.G. (2017).** Using satellite-based indices for monitoring drought effects on the Buyuk Menderes River Basin, *8th International Symposium on Atmospheric Sciences ATMOS 2017*, Istanbul, 01.11.2017-04.11.2017.
- Karamzadeh, S. K., Musaoğlu N. (2017).** Evaluating the impact of agricultural drought using MODIS sensor: a case of study over the Aegean Region, *International Symposium on GIS Applications in Geography & Geosciences*, Çanakkale, 18.10.2017-21.10.2017.
- Karamzadeh, S. K., Yüksel, B., Musaoğlu, N. (2019).** Multisource satellite data for investigation of drought impacts in the Google Earth Engine Platform, *9th International Symposium on Atmospheric Sciences ATMOS 2019*, Istanbul, 23.10.2019-26.10.2019.
- Kocaaslan, S., Musaoğlu, N., & Karamzadeh, S. (2021).** Evaluating Drought Events by Time-Frequency Analysis: A Case Study in Aegean Region of Turkey. *IEEE Access*, 9, 125032-125041.
- Kogan, F. N. (1990).** Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of remote sensing*, 11(8), 1405-1419.
- Kogan, F. N. (1995).** Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in space research*, 15(11), 91-100.
- Kogan, F. N. (1997).** Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), 621-636.
- Kogan, F. N. (2001).** Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(9), 1949-1964.
- Kogan, F., (2002).** World Droughts in the New Millennium from AVHRR-Based Vegetation Health Indices. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 83 (48): 557-563.
- Kogan, F., & Guo, W. (2015).** Agricultural drought detection and monitoring using vegetation health methods. *Remote Sensing of Water Resources, Disasters, and Urban Studies*; Thenkabail, PS, Ed, 339-348.
- Komuscu, A.U. (1999).** Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey. *Drought Network News (1994-2001)*, 49.

- Kumanlioglu, A., & Fıstıkoğlu, O.** (2019). Yukarı Gediz Havzası Yağışlarının Meteorolojik Kuraklık Analizleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(62), 509-523.
- Kumar, P., & Foufoula-Georgiou, E.** (1997). Wavelet analysis for geophysical applications. *Reviews of geophysics*, 35(4), 385-412.
- Kutiel, H., & Türkeş, M.** (2017). Spatial and temporal variability of dryness characteristics in Turkey. *International Journal of Climatology*, 37, 818-828.
- Li, X., He, B., Quan, X., Liao, Z. and Bai, X.** (2015). Use of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) to characterize the drying trend in southwest China from 1982-2012. *Remote Sensing*, 7(8), 10917-10937.
- Mateo, C., & Talavera, J. A.** (2018). Short-time Fourier transform with the window size fixed in the frequency domain. *Digital Signal Processing*, 77, 13-21.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J.** (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179-183.
- Mishra A. and Singh V.** (2010). A Review of Drought Concepts, *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
- McVicar, T. R., & Bierwirth, P. N.** (2001). Rapidly assessing the 1997 drought in Papua New Guinea using composite AVHRR imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 22(11), 2109-2128.
- MGM** (2021a). *2020 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi*, 2021 Ankara.
- MGM** (2021b). *2020 Yılı Yağış Değerlendirmesi*, Ocak 2021 Ankara.
- Moorhead, J. E., Gowda, P. H., Singh, V. P., Porter, D. O., Marek, T. H., Howell, T. A., & Stewart, B. A.** (2015). Identifying and evaluating a suitable index for agricultural drought monitoring in the Texas high plains. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 51(3), 807-820.
- Morlet, J.** (1983). Sampling theory and wave propagation. In *Issues in acoustic Signal-image processing and recognition* (233-261). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mu, Q., Zhao, M., & Running, S. W.** (2011). Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote sensing of environment*, 115(8), 1781-1800.
- Mu, Q., Heinsch, F. A., Zhao, M., & Running, S. W.** (2007). Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote sensing of Environment*, 111(4), 519-536.
- Mukherjee, S., Mishra, A., & Trenberth, K. E.** (2018). Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports*, 4(2), 145-163.

- NDMC (2021). The National Drought Mitigation Center, University of Nebraska, Lincoln <<http://drought.unl.edu/DroughtBasics/WhatisDrought.aspx>>, erişim tarihi 11 Kasım 2021.
- Öner, İ. V., Yeşilyurt, M. K., & Yılmaz, E. Ç. (2017). Wavelet Analiz Tekniği ve Uygulama Alanları. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 42-56.
- Önol, B. (2012). Effects of coastal topography on climate: high-resolution simulation with a regional climate model. *Climate Research*, 52, 159-174.
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought* (30). US Department of Commerce, Weather Bureau. Research Paper No. 45, 58.
- Pamuk G., Özgürel M., Topçuoğlu K. (2004). Standart yağış indeksi (SPI) ile Ege Bölgesinde kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(1), 99-106.
- Percival, D. B., & Walden, A. T. (2000). *Wavelet methods for time series analysis* (Vol. 4). Cambridge university press, Cambridge, 594.
- Özgürel, M., Pamuk, G., & Topçuoğlu, K. (2002). Palmer kuraklık şiddeti indisi ile Ege Bölgesinde kuraklığın irdelenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 39(1).
- Peters, A. J., Rundquist, D. C., & Wilhite, D. A. (1991). Satellite detection of the geographic core of the 1988 Nebraska drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57(1-3), 35-47.
- Pipes, L.A. & Harvill, L.R. (1971). *Applied Mathematics for Engineers and Physicists*, 3rd edn (Singapore: McGraw-Hill).
- Prihodko, L., Goward, S.N. (1997). Estimation of air temperature from remotely sensed observations, *Remote Sensing of Environment*, 60 (3), 335-346.
- Prokoph, A., & El Bilali, H. (2008). Cross-wavelet analysis: a tool for detection of relationships between paleoclimate proxy records. *Mathematical geosciences*, 40(5), 575-586.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *In Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-I Symposium*, 1, 48-62.
- Rhee, J., Im, J., & Carbone, G. J. (2010). Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2875-2887.
- Sandholt, I., Rasmussen, K., and Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature-vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79(2-3): 213-224.
- Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., ... & Stephens, S. (2002). The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1181-1190.
- Svoboda, M. D., & Fuchs, B. A. (2016). *Handbook of drought indicators and indices*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization (WMO), 1-44.

- Şimşek, O., Asar, M., & Çakmak, B.** (2008). 2006-2007 Tarım Yılı Kuraklık Analizi. *Kuraklık ve Su Yönetimi Toplantısı Bildiri Kitabı*, 15-16 Mayıs 2008 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Türkiye Bölgesel Su Toplantısı. ÇOB DSİ Genel Müdürlüğü V. Bölge Müdürlüğü, 199-213.
- Thenkabail, P.S., Gamage, M.S.D.N., and Smakhtin, V.U.** (2004). *The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia*, International Water Management Institute (IWMI), 85, 25.
- Tadesse, T., G.B. Demisse, B. Zaitchik, and T. Dinku.** (2014). Satellite-based hybrid drought monitoring tool for prediction of vegetation condition in Eastern Africa: A case study for Ethiopia. *Water Resources Research*, 50(3):2176-2190.
- Tadesse, T., B.D. Wardlow, M.J. Hayes, M., Svoboda, and J.F. Brown.** (2010). The vegetation outlook (VegOut): A new method for predicting vegetation seasonal greenness. *GIScience and Remote Sensing* 47(1),25-52.
- Tadesse, T., D.A. Wilhite, M.J. Hayes, S.K. Harms, and S. Goddard.** (2005). Discovering associations between climatic and oceanic parameters to monitor drought in Nebraska using data-mining techniques. *Journal of Climate* 18(10):1541-1550.
- Thom, H. C. S.** (1966). *Some Methods of Climatological Analysis*. Technical Note No. 81. World Meteorological Organization-WMO, Geneva.
- Thornthwaite, C. W.** (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.
- Torrence, C., & Webster, P. J.** (1998). The annual cycle of persistence in the El Niño/Southern Oscillation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 124(550), 1985-2004.
- Tsiros, E., Domenikiotis, C., Spiliotopoulos, M., & Dalezios, N. R.** (2004). Use of NOAA/AVHRR-based vegetation condition index (VCI) and temperature condition index (TCI) for drought monitoring in Thessaly, Greece. *In EWRA Symposium on water resources management: risks and challenges for the 21st century*, Izmir, Turkey, 2-4.
- Tucker, C. J.** (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
- Tucker, C. J., & Choudhury, B. J.** (1987). Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote sensing of Environment*, 23(2), 243-251.
- Türkeş, M.** (2007). Türkiye'nin kuraklığa, çölleşmeye eğilimi ve iklim değişikliği açısından değerlendirilmesi, *Pankobirlik*, 91, 38-47.
- Türkeş, M., & Tatlı, H.** (2008). Türkiye'de kuraklık olasılıklarının standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) kullanılarak saptanması ve iklimsel değişkenlik açısından değerlendirilmesi. *Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 13-14.
- Türkeş, M. and Tatlı, H.** (2009). Use of the standardized precipitation index (SPI) and modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29, 2270-2282.

- Türkeş, M.** (2011). Akhisar ve Manisa yörelerinin yağış ve kuraklık indisi dizilerindeki değişimlerin hidroklimatolojik ve zaman dizisi çözümlemesi ve sonuçların çölleşme açısından coğrafi bileşimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9, 79-99.
- Türkeş, M.** (2014). ‘Kuraklık Olaylarının İklim Değişikliği ve Çölleşme Açısından Önemi ve Türkiye’deki 2013-2014(?) Kuraklığının Sinoptik Klimatolojik / Meteorolojik ve Atmosferik Bağlantıları’. 3 Mart 2014. Hidropolitik Akademi İklim Değişikliği ve Kuraklık Çalışmaları, Ankara.
- Türkeş, M.** (2017). Türkiye’nin iklimsel değişkenlik ve sosyo-ekolojik göstergeler açısından kuraklıktan etkilenebilirlik ve risk çözümlemesi (Drought vulnerability and risk analysis of Turkey with respect to climatic variability and socio-ecological indicators). *Ege Coğrafya Dergisi* 26(2), 47-70.
- Unal, Y., Kindap, T., & Karaca, M.** (2003). Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(9), 1045-1055.
- URL-1:** <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>>, erişim tarihi 15.06.2018.
- URL-2:** <<https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A2.006>>, erişim tarihi 15.09.2018.
- URL-3:** <<https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.006>>, erişim tarihi 15.09.2018.
- URL-4:** <<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>>, erişim tarihi 15.09.2018.
- Vicente-Serrano, S. M.** (2006). Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula. *Water resources management*, 20(1), 37-60.
- 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.
- Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., & Morán-Tejeda, E.** (2012). Accurate computation of a streamflow drought index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2), 318-332.
- Vicente-Serrano, S. M., Cabello, D., Tomás-Burguera, M., Martín-Hernández, N., Beguería, S., Azorin-Molina, C., & Kenawy, A. E.** (2015). Drought variability and land degradation in semiarid regions: Assessment using remote sensing data and drought indices (1982–2011). *Remote Sensing*, 7(4), 4391-4423.
- Vicente-Serrano, S. M., Tomas-Burguera, M., Beguería, S., Reig, F., Latorre, B., Peña-Gallardo, M., ... & González-Hidalgo, J. C.** (2017). A high resolution dataset of drought indices for Spain. *Data*, 2(3), 22.

- Wan, Z., & Dozier, J.** (1996). A generalized split-window algorithm for retrieving landsurface temperature from space. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34, 892-905.
- Wan, Z.** (2009). *MODIS land surface temperature products users' guide*. Institute for Computational Earth System Science, University of California: Santa Barbara, CA, USA, 805.
- Wan, Z.** (2014). New refinements and validation of the collection-6 MODIS land-surface temperature/emissivity product. *Remote sensing of Environment*, 140, 36-45.
- Wang, P. X., Li, X. W., Gong, J. Y., & Song, C.** (2001). Vegetation temperature condition index and its application for drought monitoring. In *IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IEEE)*, 1, 141-143.
- Wardlow, B.D., T. Tadesse, J.F. Brown, K. Callahan, S. Swain, and E. Hunt.** (2012). The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): An integration of satellite, climate, and biophysical data. In *Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches*, eds. B.D. Wardlow, M.A. Anderson, and J. Verdin. Boca Raton, FL: CRC Press, 51-7.
- Wardlow, B.D., T. Tadesse, J.F. Brown, and Gu, Y.** (2016). The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A New Drought Monitoring Approach for Vegetation. *Sante Publique (Paris)*. 28, 391-397.
- Wilhite, D.A. and Glantz, M.H.** (1985). Understanding The Drought Phenomenon: The Role Of Definitions, *Water International*, 10 (3), 111-120.
- Wilhite, D.A.** (1992). *Preparing for Drought: A Guidebook for Developing Countries*, Climate Unit, United Nations Environment Program, Nairobi, Kenya.
- Wilhite, D.A.** (2005). *Drought and water crises: science, technology, and management issues*. Crc Press, 6-10.
- Wilhite, D.A.** (2008). *Encyclopedia of Water Science*, Second Edition, Volume I-II: Drought, Taylor & Francis Press, 215-217.
- Wilhite, D. A., Sivakumar, M. V., & Pulwarty, R.** (2014). Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and Climate Extremes*, 3, 4-13.
- WMO**, (1986). *Report on drought and countries affected by drought during 1974-1985*. World Meteorological Organization, Geneva, 118.
- WMO**, (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide* (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). (WMO-No. 1090), Geneva.
- Wu, J., Zhou, L., Liu, M., Zhang, J., Leng, S., & Diao, C.** (2013). Establishing and assessing the Integrated Surface Drought Index (ISDI) for agricultural drought monitoring in mid-eastern China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23, 397-410.
- Wu, J., Zhou, L., Zhang, J., Liu, M., Zhao, L., and Zhao, F.** (2010). Analysis of relationships among vegetation condition indices and multiple-time scale SPI of grassland in growing season. In *In Proceedings of the 2010*

18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, China, 18-20 June, 1-6.

- Xiao, Q., Chen, W., Liang, G., & Du, P.** (1995). *A study on drought monitoring using meteorological satellite data*. Technical Reports of the National Satellite Meteorological Centre, 9509(9).
- Xue, Y., Cai, G.Y., Guan, Y.N.** (2005). Iterative self-consistent approach for earth surface temperature determination. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 185-192.
- Yagci, A. L., Di, L., Deng, M., Han, W., & Peng, C.** (2011). Vegetation index based technique for global agricultural drought monitoring. *In Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies-RAST2011*, IEEE, 137-141.
- Yagci, A. L., Di, L., & Deng, M.** (2013). The effect of land-cover change on vegetation greenness-based satellite agricultural drought indicators: a case study in the southwest climate division of Indiana, USA. *International journal of remote sensing*, 34(20), 6947-6968.
- Yagci, A. L., Di, L., & Deng, M.** (2015). The effect of corn–soybean rotation on the NDVI-based drought indicators: a case study in Iowa, USA, using Vegetation Condition Index. *GIScience & Remote Sensing*, 52(3), 290-314.
- Yang, L., Wylie, B. K., Tieszen, L. L., & Reed, B. C.** (1998). An analysis of relationships among climate forcing and time-integrated NDVI of grasslands over the US northern and central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 65(1), 25-37.
- Yuan, H., Dai, Y., Xiao, Z., Ji, D., & Shangguan, W.** (2011). Reprocessing the MODIS Leaf Area Index products for land surface and climate modelling. *Remote Sensing of Environment*, 115(5), 1171-1187.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F. I.** (2011). A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19(NA), 333-349.
- Zribi, M., Dridi, G., Amri, R. and Lili-Chabaane, Z.** (2016). Analysis of the Effects of Drought on Vegetation Cover in a Mediterranean Region through the Use of SPOT-VGT and TERRA-MODIS Long Time Series. *Remote Sensing*, 8(12), 992,1-16.

EKLER

EK A: Google Earth Engine Platformunda kodlama örnekleri

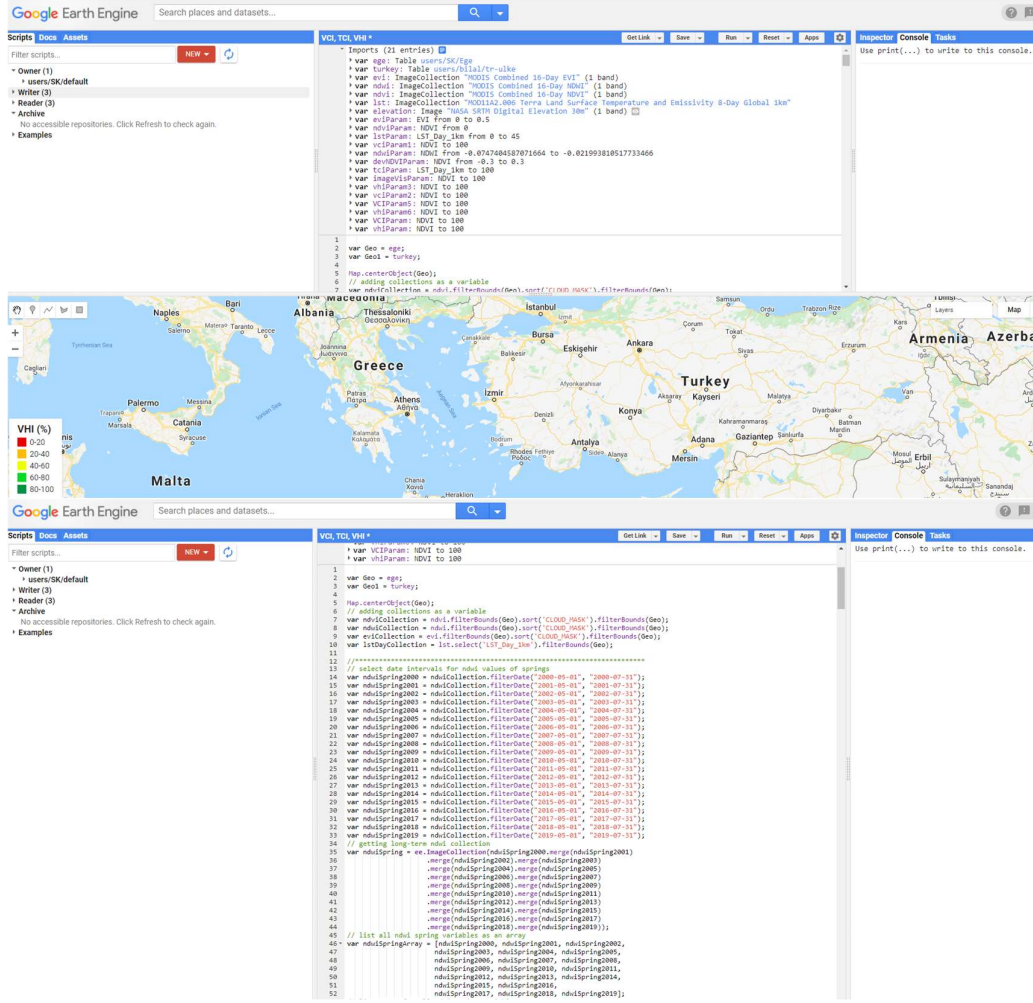
EK B: MATLAB yazılımında kodlama örneği

EK C: R yazılımında PET ve SPEI kodlama örneği

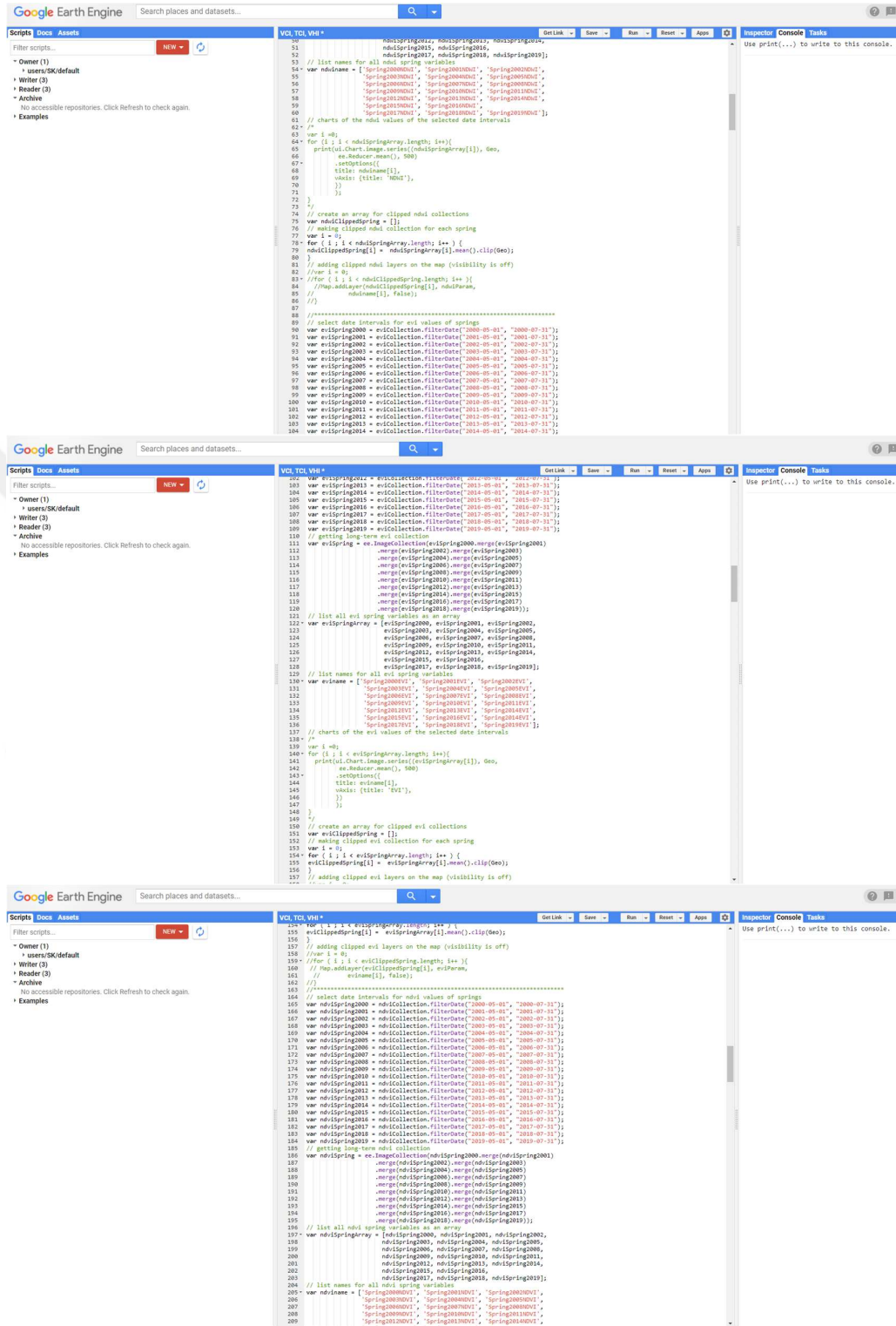
EK D: SPEI örnek sonuç tablosu



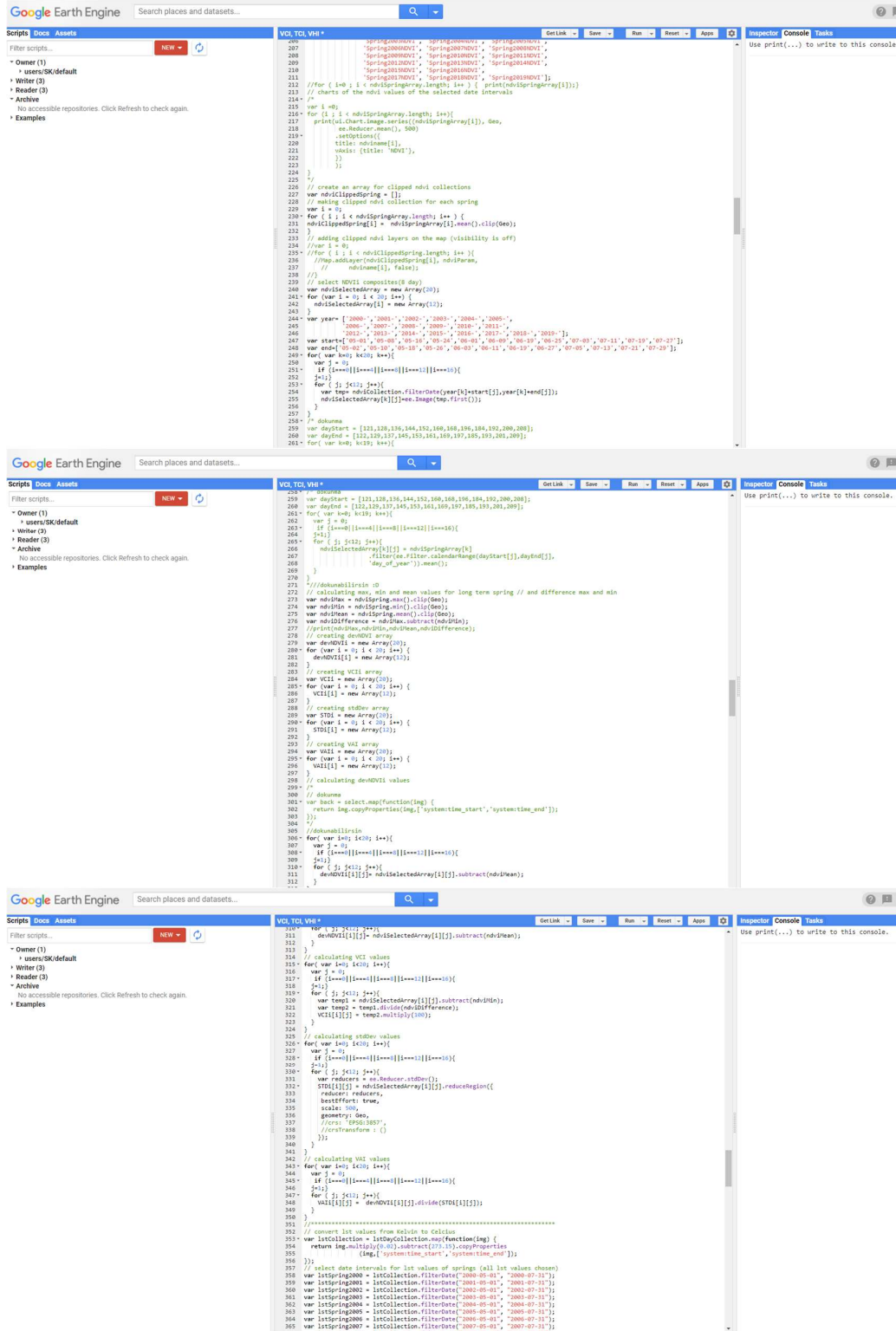
EK A : Google Earth Engine Platformunda kodlama örnekleri.



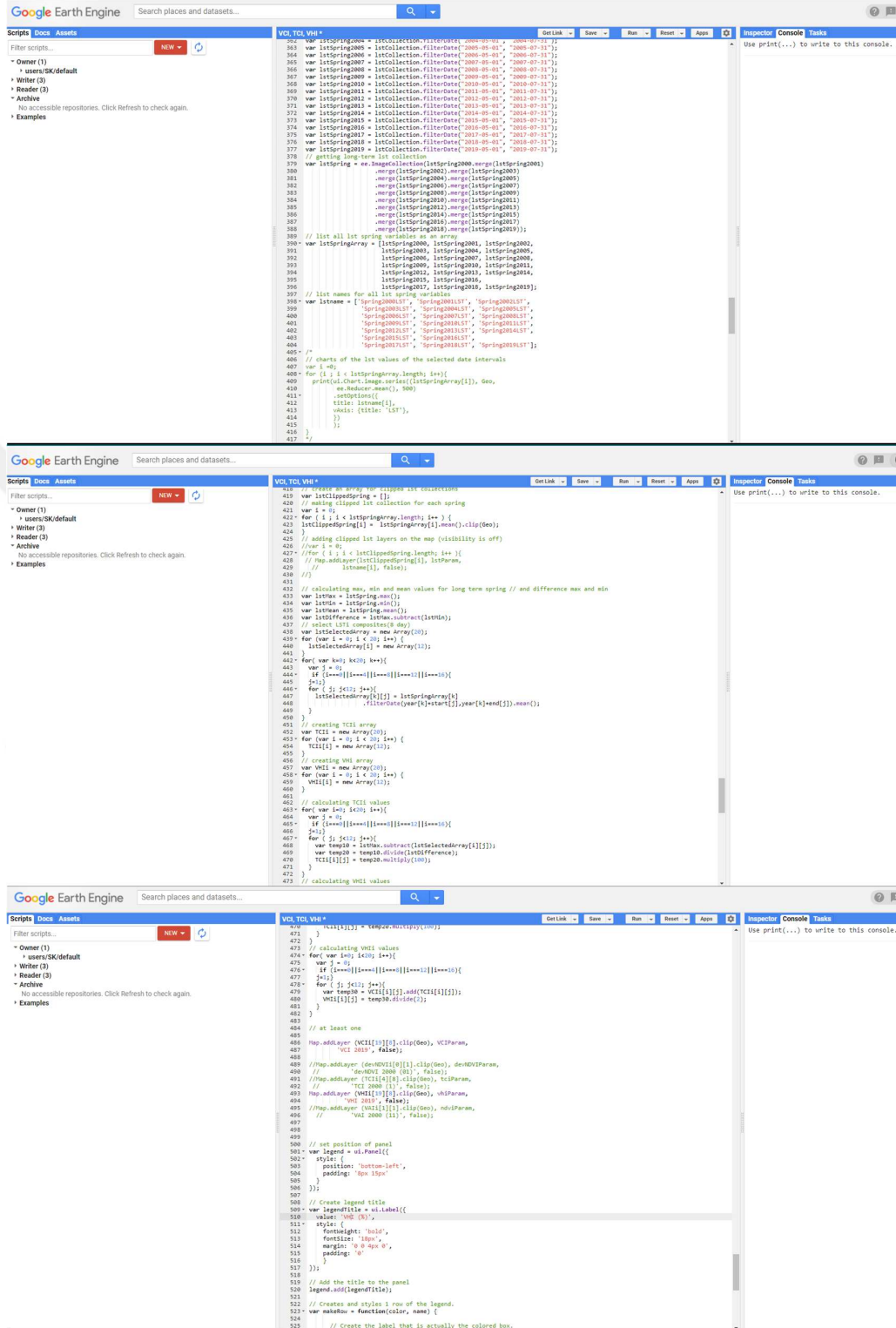
Şekil A.1 : GEE platformunda veri koleksiyonu ve entegrasyonu.



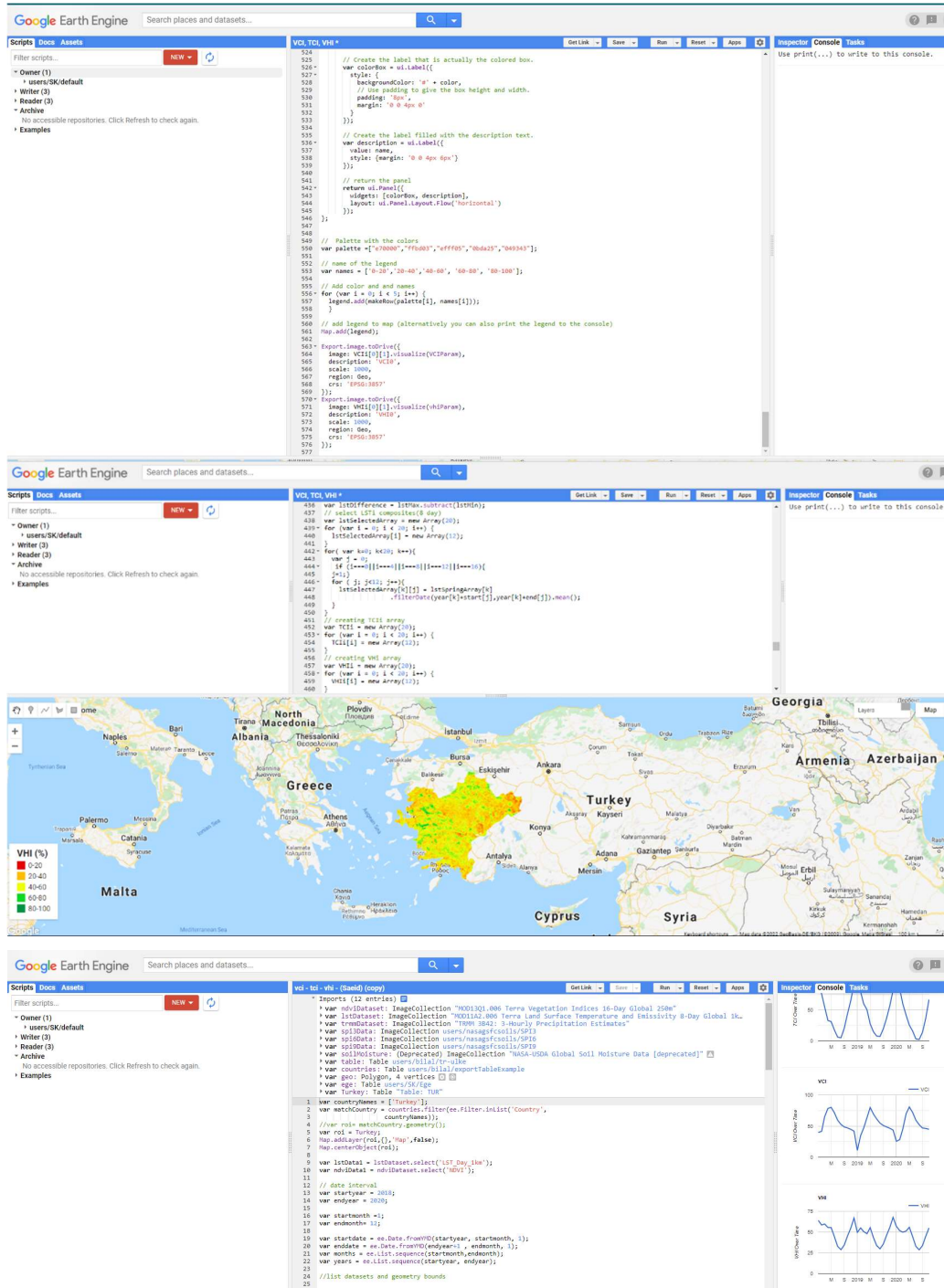
Şekil A.2 : GEE platformunda filtreleme.



Şekil A.3 : GEE platformunda indisler için oluşturulan kodlamalar.

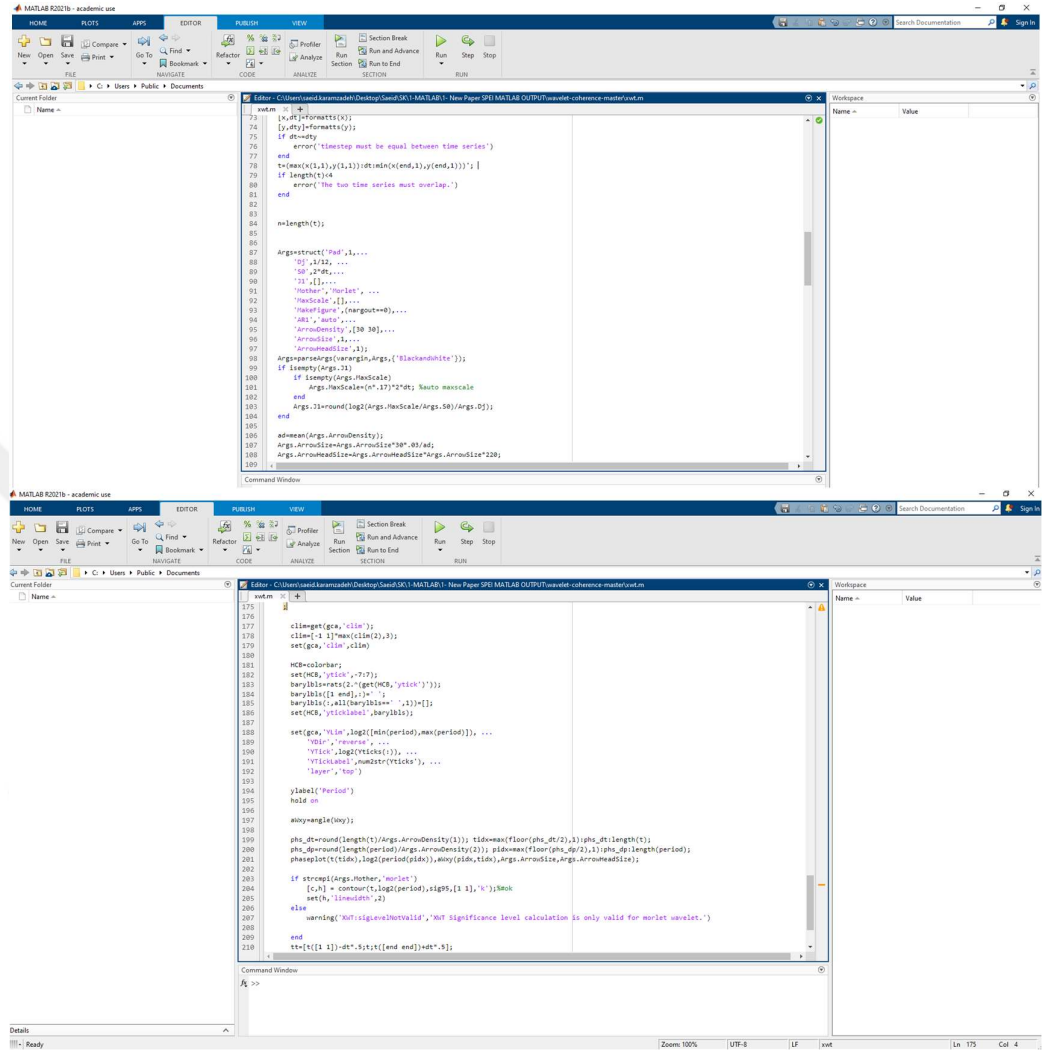


Şekil A.3 (devam) : GEE platformunda indisler için oluşturulan kodlamalar.



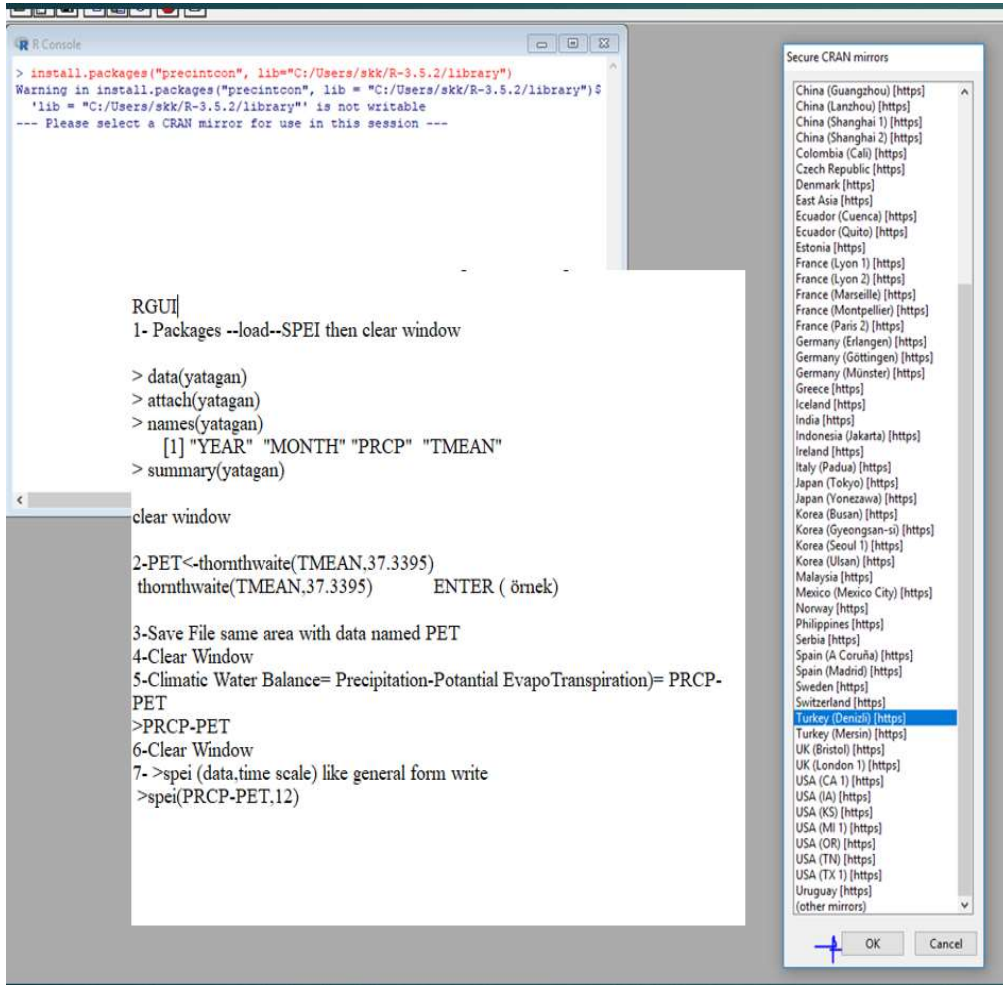
Şekil A.4 : GEE platformunda örnek indis sonucu.

EK B : MATLAB yazılımında kodlama örneği.



Şekil B.1 : MATLAB yazılımında kodlama örneği.

EK C : R yazılımında PET ve SPEI kodlama örneği.



Şekil C.1 : R yazılımında “yatagan” istasyonu için PET ve SPEI kodlama örneği.

EK D : SPEI örnek sonuç tablosu.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	>	spei(PRCP-PET 3)											
2		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
3	1980	NA	NA	0.4203959	0.1015189	0.241373	-0.27719	-1.20118	-0.93716	0.098207	0.730976	1.098809446	0.400914094
4	1981	1.169466605	0.680147	0.0194956	-0.894477	-0.782092	-0.04853	0.376587	0.516083	-0.14721	-0.40003	-0.360814984	-0.438002188
5	1982	-0.484177203	-0.5889019	-0.616579	-0.085565	-0.268866	0.265356	0.667102	1.015169	0.533658	-0.36276	-1.166574994	-1.207971393
6	1983	-1.272979554	-0.680813	-0.275189	-0.188483	-0.807596	0.458475	1.205582	1.521799	1.091382	-0.01041	0.812833529	0.712506565
7	1984	0.765605488	-0.1410705	0.2446206	1.6222663	1.575138	0.771549	-0.24371	0.478542	0.40269	-1.01167	-2.26249341	-1.436849887
8	1985	0.07432169	0.6263038	0.9264853	-0.02616	-0.758681	-0.39458	0.20765	0.487608	-0.17362	0.644425	0.020275947	0.463143913
9	1986	-0.13354832	0.66200795	-0.517869	-1.257699	-1.602783	-0.66668	0.275652	0.227399	0.698692	0.188797	0.176623284	-0.042334521
10	1987	0.697140706	0.84515126	0.6746153	1.2177469	1.092886	0.753212	-0.20988	0.386154	-0.54158	-0.41794	-0.166209687	0.685068638
11	1988	0.160990052	0.09393323	0.4439178	1.0516684	0.616796	0.057257	0.11929	0.276628	-0.41748	0.338218	1.299686795	1.051464632
12	1989	-0.55111221	-1.7364025	-1.955633	-2.093927	-1.946912	-1.58571	-0.11	-0.74897	-0.67601	0.607075	1.715726663	2.18099792
13	1990	0.824246211	-1.0482554	-1.757772	-0.920793	-0.395033	0.598801	0.444863	0.517995	0.349181	0.445492	-0.369619833	-0.721036977
14	1991	-0.102169399	0.7093549	-0.226397	0.2735346	1.266884	1.213581	0.900697	0.165794	0.388686	0.207907	-0.52481092	1.135925473
15	1992	0.435169826	0.22599603	-0.583565	-0.382707	0.79354	0.872507	1.963155	1.746947	1.701285	0.14864	0.371023051	0.009427191
16	1993	0.191737616	-0.1166251	-0.101525	-0.071081	1.111125	0.883099	0.771939	-0.64243	-1.07074	-2.17591	-0.960870526	-1.052304225
17	1994	-0.188529466	-0.698996	-0.262062	-0.284036	-1.001603	-0.54673	-0.05877	0.569822	-0.49964	-0.44806	0.732294644	1.10259346
18	1995	0.646703602	-1.0663424	0.1743674	0.3030502	0.335986	-1.2582	-0.12938	0.443372	0.39874	-0.57938	0.583956258	0.243354817
19	1996	0.745143447	-0.1177255	1.0951478	0.4770308	0.483491	-0.8899	0.86431	1.065499	1.968283	0.735032	0.026418593	-0.83833187
20	1997	-1.52325651	-0.3560434	-0.406913	0.8170995	0.175457	0.721344	0.174468	1.557844	1.63253	2.105861	0.905720569	0.405548149
21	1998	-0.658913346	-0.9267685	0.9621519	1.3518994	1.933095	0.779878	0.352415	-0.97863	-1.18383	-1.26885	-0.316194583	0.295452485
22	1999	0.450006428	1.16812845	1.1572167	1.3762046	-0.212602	-0.72356	-1.21933	0.731869	0.984063	0.392417	-0.602825421	-1.670247196
23	2000	-0.471311911	0.24716139	1.1932527	0.7321593	1.036059	0.445141	0.125028	-0.41669	-0.50185	-0.20227	-1.265266966	-0.817384389
24	2001	-1.53052647	-0.4746332	-1.13824	-0.389537	-0.274753	-0.8773	-0.85166	-1.19516	-0.95724	-1.87134	-0.591034788	2.160652369
25	2002	2.963114956	2.08352894	-0.000454	0.0657496	0.682413	0.528883	-0.17419	-0.08702	1.077966	0.888819	0.52748455	-0.563653108
26	2003	-1.140479613	0.99360074	0.8412258	1.4608389	0.477946	-0.13521	-0.79801	-1.18468	-0.9058	0.03124	-0.249916603	0.681499177
27	2004	0.27884104	0.91735298	-0.688599	-0.303764	-0.908327	-0.46465	-1.09231	-0.39581	-0.67523	-0.99787	-0.965451363	-1.393365164
28	2005	-1.461616322	-1.2490106	-0.23155	0.1789062	-0.003685	0.169152	-0.01161	-0.1468	-0.39229	0.260769	1.300482558	0.067998805
29	2006	0.32024709	0.00258982	0.8596505	-0.242028	-0.326491	-0.79402	-0.27807	-1.51783	0.650451	1.65243	1.944941773	0.105113281
30	2007	0.190103732	-0.0741689	0.6662819	-0.359231	-1.674416	-1.66125	-2.95653	-1.59535	-1.79177	-1.74616	0.483829718	1.345908247
31	2008	1.208505862	-0.1975735	-0.981434	-0.804448	-0.907757	-1.2065	-1.36939	-1.76242	0.503321	1.56125	1.689796363	-0.002214929
32	2009	0.412504798	0.99404535	1.5111331	1.1307555	0.815459	-0.41891	-1.08016	-0.96624	0.441638	0.106628	0.346306219	0.143121684
33	2010	-0.701180112	1.2301723	0.1691666	0.3231161	0.731636	0.670932	-0.44163	-0.35751	-2.22666	-0.77943	-0.698580998	0.073204106
34	2011	-1.197762857	0.02705275	0.0970183	0.1914731	1.687759	2.06359	1.742232	0.523631	-1.50391	0.422728	0.453217015	0.405706667
		SPEI1	SPEI 3	SPEI 6	SPEI12	SPEI 24	SPEI 48						

Şekil D.1 : Farklı zaman ölçeklerinde hesaplanan SPEI örnek sonuç tablosu.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Semra Kocaaslan Karamzadeh

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı, Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2013 yılından itibaren Kültür ve Turizm Bakanlığında Harita Mühendisi olarak çalışmaktadır.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kocaaslan, S.**, Musaoğlu, N., & Karamzadeh, S. (2021). Evaluating Drought Events by Time-Frequency Analysis: A Case Study in Aegean Region of Turkey. *IEEE Access*, 9, 125032-125041.
- **Kocaaslan, S.**, Musaoğlu, N. (2021). Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Verilerden Elde Edilen Kuraklık İndislerinin Zaman-Frekans Analizi, *International Symposium on Remote Sensing In Meteorology Meteo IRS 2021*, İstanbul, 01.12.2021- 03.12.2021.
- **Karamzadeh, S. K.**, Musaoğlu, N., Türkeş, M., & Tanık, A.G. (2017). Using satellite-based indices for monitoring drought effects on the Büyük Menderes River Basin, *8th International Symposium on Atmospheric Sciences ATMOS 2017*, İstanbul, 01.11.2017-04.11.2017.
- **Karamzadeh, S. K.**, Musaoğlu N. (2017). Evaluating the impact of agricultural drought using MODIS sensor: a case of study over the Aegean Region, *International Symposium on GIS Applications in Geography & Geosciences*, Çanakkale, 18.10.2017- 21.10.2017.
- **Karamzadeh, S. K.**, Yüksel, B., Musaoğlu, N. (2019). Multisource satellite data for investigation of drought impacts in the Google Earth Engine Platform, *9th International Symposium on Atmospheric Sciences ATMOS 2019*, İstanbul, 23.10.2019- 26.10.2019.

