



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA PROGRAMI

**ÇEKEREK NEHRİ HAVZASI İÇİN KURAKLIĞIN GERÇEK
ZAMANLI VE UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİYLE
ZAMANSAL VE ALANSAL ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Müberra ERDOĞAN KARAAĞAÇLI

Danışman: Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ

TOKAT- 2025

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisans Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Çekerek Nehri Havzası İçin Kuraklığın Gerçek Zamanlı Ve Uzaktan Algılama Verileriyle Zamansal Ve Alansal Analizi” adlı Doktora tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../...

Müberra ERDOĞAN KARAAĞAÇLI

JÜRİ KABUL VE ONAY

Müberra ERDOĞAN KARAAĞAÇLI tarafından hazırlanan “Çekerek Nehri Havzası İçin Kuraklığın Gerçek Zamanlı Ve Uzaktan Algılama Verileriyle Zamansal Ve Alansal Analizi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 15/09/2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmza

Üye (Başkan):

.....

Danışman:

.....

Üye:

.....

Üye:

.....

Üye:

.....

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

İTHAF



Doktora tez çalışmamı hayatta olduğu süre boyunca attığım her adımda yanımda olan, şimdi kalbimin en güzel köşesinde yer alan BİRİCİK BABAM merhum İhsan ERDOĞAN'a ithaf ediyorum...

ÖNSÖZ



Bu tez çalışması;

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından 2023/85 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimimde danışmanlığımı üstlenen, bu tez konusunda ve çeşitli konularda çalışma fırsatı sunan, beraber çalışmaktan son derece keyif aldığım, yanına her gidişimde her türlü ilgi ve yardımları ile birlikte tavsiyelerini gördüğüm, sadece akademik bilgi ve birikimi ile değil karakteri, insani ve ahlaki değerleri ile örnek aldığım ve büyük saygı duyduğum kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ'ye sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum. Doktora tezimin yürütülmesinde fikirleri ile katkılarını esirgemeyen ve çalışmanın daha iyi olması için bilgi ve birikimleri aktaran tez jürisinde bulunan Prof. Dr. Tekin ÖZTEKİN, Prof. Dr. Mehmet Ali HİNİS ve Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA hocalarıma, zorlandığım içinden çıkamadığım her durumda işlerimi kolaylaştıran, akademik ve manevi anlamda her zaman yanımda olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Murat CÖMERT'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni her konuda destekleyen, kendimi değerli hissettiren, tezin hazırlanması aşamasında motivasyonumu sürekli yüksek tutan ve babamın yokluğunu hissettirmemeye çalışan biricik annem İkraniye ERDOĞAN'a, ablam Seda ERDOĞAN ve Maide ULU'ya, kardeşim Orhan ERDOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

En büyük teşekkürümü kalbimde ve hayatımda büyük yer kaplayan, mental ve fiziksel olarak her düştüğümde tüm gücüyle beni tekrar ayağa kaldıran, tez çalışmamın her alanında emeği ve desteğini gördüğüm, varlığıyla güçlendiğim CANİM EŞİM Hasan KARAAĞAÇLI'ya, son teşekkürümü ise varlığıyla beni dünyanın en mutlu annesi yapan, tez yazım aşamasında minik tekmelerinden güç aldığım CANİM KIZIM Ceylin KARAAĞAÇLI'ya sunuyorum.

ÖZET

ÇEKEREK NEHRİ HAVZASI İÇİN KURAKLIĞIN GERÇEK ZAMANLI VE UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİYLE ZAMANSAL VE ALANSAL ANALİZİ

Erdoğan Karaağaçlı, Müberra
Doktora, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadri Yürekli
Eylül 2025, xxi + 194 sayfa

Günümüzün en önemli çevre sorunlarından biri iklim değişikliğidir. İklim değişikliği nüfusun artması, sanayileşme, ormansızlaşma, kaynakların bilinçsizce tüketilmesi gibi nedenlerden dolayı birçok çevresel ve sosyal problemler meydana getirmektedir. Bu bağlamda kuraklık, ekoloji, çevre, meteoroloji, hidroloji ve tarım üzerindeki etkileri nedeniyle en önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Literatürde kuraklıkla ilgili yapılan araştırmalar, kuraklığın şiddetini, mekânsal kapsamını ve etkilerini belirleyebilmek için doğal göstergelere dayalı sürekli kuraklık izleme çalışmalarının önemine dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, Çekerek Havzası'ndaki kuraklık durumu, meteorolojik veriler ve uzaktan algılama verileri kullanılarak farklı kuraklık indeksleri ile değerlendirilmiştir. İlk aşamada, seçilen istasyonların tarımsal kuraklık durumu, meteorolojik ve yersel veriler kullanılarak hesaplanan Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla, sulanmayan buğday ekili arazilerinden elde edilen yersel veriler ile beş PDSI hesaplaması yapılmıştır: Geleneksel PDSI, $PDSI_{(30)}$, $PDSI_{(B.CROP)}$, Gerçek Zamanlı PDSI (Real-Time PDSI) ve Uydu Tabanlı PDSI. Bu PDSI yaklaşımları arasındaki ilişki korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. İkinci aşamada havzanın meteorolojik kuraklık durumu Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile analiz edilmiştir. SPEI indeksinin zamansal değişimi Yenilikçi Trend Analizi (ITA), mekansal değişimi ise Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi ile değerlendirilmiştir. Son aşamada, meteorolojik kuraklığın (SPEI), tarımsal kuraklık üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla SPEI ile Bitki Sağlık İndeksi (VHI) arasındaki ilişki korelasyon analizi ile incelenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre Geleneksel PDSI ve $PDSI_{(30)}$ yaklaşımları arasında güçlü bir ilişki bulunmuş; $PDSI_{(B.CROP)}$ yaklaşımı da benzer şekilde yüksek ilişki göstermiştir. Uydu Tabanlı PDSI ile diğer yaklaşımlar arasında belirli bir ilişki olduğu saptanmakla birlikte, bu ilişkinin güçlü olmadığı gözlemlenmiştir. Aylık toprak nem takibi yapılarak hesaplanan Real Time PDSI değerlerinin diğer yaklaşımlarla örtüşmediği saptanmıştır.

Meteorolojik kuraklığın zamansal ve mekânsal dağılımına ilişkin bulgular, yalnızca Sulusaray istasyonu dışında havza genelinde belirgin bir kuraklık eğilim değişimi olmadığını, ancak yıllar içerisinde kuraklığın mekânsal dağılımının değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklık üzerindeki etkisi incelendiğinde, sadece belirli aylarda SPEI ile VHI arasında anlamlı bir ilişki olduğu; genel olarak bu iki indeks arasında zayıf bir ilişki bulunduğu görülmüştür. Elde edilen bulgulara göre tarımsal kuraklığın, geniş havza yerine bitki bazında ve daha dar alanlar (örneğin parsel veya tarla) için değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca meteorolojik verilerin kuraklık değerlendirmesinde tek başına kullanılmasının yerine yersel ve uydu verileriyle desteklenmesi gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, Kuraklık Analizi, Uzaktan Algılama, Meteorolojik Kuraklık, Tarımsal Kuraklık

ABSTRACT

TEMPORARY AND SPATIAL ANALYSIS OF DROUGHT IN ÇEKEREK RİVER BASİN WITH REAL-TIME AND REMOTE SENSING DATA

Erdoğan Karaağaçlı, Müberra

Doctora Thesis, Department of Biosystem Engineering

Advisor: Prof. Dr. Kadri Yürekli

Sep 2025, xxi + 194 pages

Climate change is one of the most environmentally critical problems of the present day. Climate change creates many environmental and social problems due to population growth, industrialization, deforestation, and the reckless consumption of resources. In this context, drought is among the most critical issues affecting ecology, environment, meteorology, hydrology, and agriculture. Studies on drought in the literature highlight the importance of continuous drought monitoring studies based on natural indicators in determining drought severity, spatial extent, and impacts. In this study, the drought status in the Çekerek Basin was evaluated with different drought indices using meteorological and remote sensing data. In the first stage, the agricultural drought status of the selected stations was assessed with the Palmer Drought Severity Index (PDSI), which is calculated using meteorological and ground-based data. For this purpose, five PDSI calculations were made using terrestrial data obtained from non-irrigated wheat fields: Conventional PDSI, PDSI₍₃₀₎, PDSI_(B.CROP), Real-Time PDSI (Real-Time PDSI), and Satellite-Based PDSI. The relationship between these PDSI approaches was evaluated using correlation analysis. In the second stage, the meteorological drought status of the basin was analyzed using the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). The temporal change of the SPEI index was evaluated using Innovative Trend Analysis (ITA), and its spatial change was assessed using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method. In the final stage, the relationship between SPEI and the Plant Health Index (VHI) was examined using correlation analysis to determine the impact of meteorological drought (SPEI) on agricultural drought.

According to the analysis results, a strong correlation was found between the Traditional PDSI and PDSI₍₃₀₎ approaches; similarly, the PDSI_(B.CROP) approach showed high consistency with these indices. While the Satellite-Based PDSI showed some correlation with the other methods, the strength of this relationship was observed to be relatively weak. It was also determined that Real-Time PDSI values, calculated through monthly

soil moisture monitoring, did not align with those obtained from the other methods. Findings regarding the temporal and spatial distribution of meteorological drought revealed no significant change in drought trend throughout the basin except for Sulusaray station, but the spatial distribution of drought varied over the years. Furthermore, when the impact of meteorological drought on agricultural drought was examined, a significant relationship between SPEI and VHI was observed only during certain months, indicating a generally weak correlation between these two indices. According to the findings, it was concluded that agricultural drought should be evaluated at the plant level and over smaller areas (e.g., plot or field scale), rather than across large basins. Moreover, it was determined that meteorological data alone are insufficient for drought assessment and should be supported by ground-based and satellite data.

Keywords: Drought, Analysis of Drought, Remote Sensing, Meteorological Drought, Agricultural Drought

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK SÖZLEŞME.....	i
JÜRİ KABUL VE ONAY	ii
İTHAF.....	iii
ÖNSÖZ	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	14
2.1 Meteorolojik Tabanlı Kuraklık İndeksleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar	14
2.2 Uydu Tabanlı Kuraklık İndeksleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar	20
2.3 Kuraklığın Zamansal ve Mekansal Analizi İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	24
2.4 Kuraklık Yayılım Durumu İle İlgili Yapılan Çalışmalar	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM	35
3.1 Materyal	35
3.1.1 Çalışma alanının iklimsel özelliği	35
3.1.2 Lokosyonların belirlenmesi.....	36
3.1.3 Meteorolojik verilerin temin edilmesi.....	37
3.1.4 Uzaktan algılama verilerinin temin edilmesi.....	37
3.2 Yöntem.....	39
3.2.1 Toprak fiziksel özelliklerinin belirlenmesi.....	39
3.2.2 Kullanılan kuraklık indeksleri	44
3.2.3 İstatistiksel analizler	52
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	60
4.1 Meteorolojik Verilerin Normallik ve Homojenlik Analiz Sonuçları	60
4.2 Toprak Fiziksel Özelliklerine İlişkin Analiz Sonuçları	66
4.3 Toprak Nem Miktarına İlişkin Analiz Sonuçları	67

4.4. Palmer Kuraklık Şiddeti İndeks (PDSI) Sonuçları	71
4.7. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeks (SPEI) Sonuçları	116
4.8. Meteorolojik Kuraklığın (SPEI) Zamansal ve Mekansal Analiz Sonuçları.....	123
4.8.1. Zamansal analiz sonuçları	123
4.8.2. Mekansal analiz sonuçları	125
4.9. Uydu Tabanlı Tarımsal Kuraklık İndeks Sonuçları	131
4.10. Meteorolojik Kuraklık (SPEI) ve Uydu Tabanlı Tarımsal Kuraklık (VHI) İndeksleri Arasındaki İlişkinin Analiz Sonuçları	137
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	147
KAYNAKLAR	152
ÖZGEÇMİŞ	170

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No	Sayfa
Çizelge 1.1 Yaygın olarak kullanılan kuraklık indekslerinin tanımı.....	8
Çizelge 3.1. Belirlenen lokasyonlara ait genel bilgiler.....	36
Çizelge 3.2. Aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerine ait bilgiler.....	38
Çizelge 3.3. Eksik verisi olan istasyonlar ve bu istasyonlara komşu istasyonlar.....	38
Çizelge 3.4. Spektral bantların kullanım alanları.....	37
Çizelge 3.5. Uydu verileri ve teknik özellikleri.....	37
Çizelge 3.6. Toprak örneklerinin alınması için planlanan zamanlar ve alınma tarihleri.....	40
Çizelge 3.7. Palmer kuraklık şiddeti indeksi (PDSI) kuraklık sınıflandırması.....	48
Çizelge 3.8. Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SPEI) kuraklık sınıflandırması (McKee ve ark., 1993).....	50
Çizelge 3.9. VCI ve VHI indeksleri kuraklık sınıflandırması.....	52
Çizelge 4.1. İstasyonlara ait aylık toplam yağış verisinin normallik analiz sonucu.....	60
Çizelge 4.2. İstasyonlara ait aylık ortalama sıcaklık verisinin normallik analiz sonucu.....	61
Çizelge 4.3. Normal dağılım gösteren aylık toplam yağış verisinin f testi sonucu.....	62
Çizelge 4.4. Normal dağılım gösteren aylık ortalama sıcaklık verisinin f testi sonucu.....	62
Çizelge 4.5. Aylık toplam yağış verisinin t testi sonuçları.....	63
Çizelge 4.6. Aylık ortalama sıcaklık verisinin t testi sonuçları.....	63
Çizelge 4.7. Aylık toplam yağış verisinin Mann-Whitney U testi sonuçları.....	64
Çizelge 4.8. Aylık ortalama sıcaklık verisinin Mann-Whitney U testi sonuçları.....	64
Çizelge 4.9. Çift birikimli eğri yöntemiyle elde edilen yağış verilerinin homojenlik analiz sonuçları.....	65
Çizelge 4.10. İstasyonlara ait tesktür analiz sonuçları.....	66
Çizelge 4.11. Zile istasyonuna ait ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri.....	68
Çizelge 4.12. Sulusaray istasyonuna ait ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri.....	68
Çizelge 4.13. Çamlıbel istasyonuna ait ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri.....	69
Çizelge 4.14. Çekerek istasyonuna ait ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri.....	70
Çizelge 4.15. Yeşilyurt istasyonuna ait ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri.....	70
Çizelge 4.16. İstasyonlara ait hesaplanmış AWC değeri.....	71
Çizelge 4.17. Geleneksel PDSI yaklaşımında yapılan kabuller.....	72

Çizelge 4.18. PDSI ₍₃₀₎ yaklaşımında yapılan kabuller.....	78
Çizelge 4.19. PDSI _(B.CROP) değerlerinin hesaplanmasında kullanılan AWC değeri	84
Çizelge 4.20. 03.11.2023 tarihi için hesaplanan AWC değeri.....	91
Çizelge 4.21. 20.04.2024 tarihi için hesaplanan AWC değeri.....	91
Çizelge 4.22. Zile istasyonunun toprak örneği alınma tarihleri için hesaplanan AWC değerleri.....	92
Çizelge 4.23. Sulusaray istasyonunun toprak örneği alınma tarihleri için hesaplanan AWC değerleri.....	93
Çizelge 4.24. Çamlıbel istasyonunun toprak örneği alınma tarihleri için hesaplanan AWC değerleri.....	94
Çizelge 4.25. Çekerek istasyonunun toprak örneği alınma tarihleri için hesaplanan AWC değerleri.....	95
Çizelge 4.26. Yeşilyurt istasyonunun toprak örneği alınma tarihleri için hesaplanan AWC değerleri.....	96
Çizelge 4.27. Her bir istasyon için hesaplanmış ‘Real Time PDSI’ değerleri.....	97
Çizelge 4.28. Uzun Yıllık Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksleri Arasındaki Spearman korelasyon analiz sonuçları.....	105
Çizelge 4.29. Zile istasyonu için Real Time PDSI değerleri ile diğer yaklaşımlara ait indeks sonuçları.....	112
Çizelge 4.30. Sulusaray istasyonu için Real Time PDSI değerleri ile diğer yaklaşımlara ait indeks sonuçları.....	112
Çizelge 4.31. Çamlıbel istasyonu için Real Time PDSI değerleri ile diğer yaklaşımlara ait indeks sonuçları.....	113
Çizelge 4.32. Çekerek istasyonu için Real Time PDSI değerleri ile diğer yaklaşımlara ait indeks sonuçları.....	113
Çizelge 4.33. Yeşilyurt istasyonu için Real Time PDSI değerleri ile diğer yaklaşımlara ait indeks sonuçları.....	114
Çizelge 4.34. Kuraklık düzeylerine göre ay sayıları (A.S) ve görülme yüzdeleri (G.Y)	122
Çizelge 4.35. SPEI indeksi Yenilikçi Trend Analiz sonuçları.....	124
Çizelge 4.36. Aylık olarak en kurak değerler ve kuraklığın meydana geldiği yıllar...	125

Çizelge 4.37. VHI indeksi kuraklık düzeylerine göre ay sayıları (A.S) ve görülme yüzdeleri (G.Y).....	137
Çizelge 4.38. Aylık SPEI ve VHI indekslerinin normallik analiz sonuçları.....	138
Çizelge 4.39. Aylık SPEI ve VHI indeksleri arasındaki korelasyon analiz sonuçları..	140



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 1.1. Kuraklık transfer süreçleri ve etkileşimleri	5
Şekil 3.1. Belirlenen lokasyonların havza üzerindeki konumları.....	36
Şekil 3.2. Zile istasyonuna ait toprak örneği alınma tarihlerindeki arazi görünümü.....	40
Şekil 3.3. Sulusaray istasyonuna ait toprak örneği alınma tarihlerindeki arazi görünümü	41
Şekil 3.4. Çamlıbel istasyonuna ait toprak örneği alınma tarihlerindeki arazi görünümü	41
Şekil 3.5. Çekerek istasyonuna ait toprak örneği alınma tarihlerindeki arazi görünümü	42
Şekil 3.6. Yeşilyurt istasyonuna ait toprak örneği alınma tarihlerindeki arazi görünümü	42
Şekil 3.7. Toprak örneği alınırken kullanılan aletler (A: spiral burgu; B: toprak delme makinesi; C: dijital terazi ve örnekleme kabı).....	43
Şekil 4.1. Yeşilyurt istasyonuna ait mart ayı aylık toplam yağış verisinin çift birikimli eğri grafiği.....	65
Şekil 4.2. Zile istasyonuna ait nem değerleriyle eş zamanlı iklim verisi.....	68
Şekil 4.3. Sulusaray istasyonuna ait nem değerleriyle eş zamanlı iklim verisi.....	69
Şekil 4.4. Çamlıbel istasyonuna ait nem değerleriyle eş zamanlı iklim verisi.....	69
Şekil 4.5. Çekerek istasyonuna ait nem değerleriyle eş zamanlı iklim verisi.....	70
Şekil 4.6. Yeşilyurt istasyonuna ait nem değerleriyle eş zamanlı iklim veri.....	71
Şekil 4.7. Zile istasyonuna ait Geleneksel PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	73
Şekil 4.8. Sulusaray istasyonuna ait Geleneksel PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	74
Şekil 4.9. Çamlıbel istasyonuna ait Geleneksel PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	75
Şekil 4.10. Çekerek istasyonuna ait Geleneksel PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	76
Şekil 4.11. Yeşilyurt istasyonuna ait Geleneksel PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	77

Şekil 4.12. Zile istasyonuna ait $PDSI_{(30)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	79
Şekil 4.13. Sulusaray istasyonuna ait $PDSI_{(30)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	80
Şekil 4.14. Çamlıbel istasyonuna ait $PDSI_{(30)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	81
Şekil 4.15. Çekerek istasyonuna ait $PDSI_{(30)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	82
Şekil 4.16. Yeşilyurt istasyonuna ait $PDSI_{(30)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	83
Şekil 4.17. Zile istasyonuna ait $PDSI_{(B,CROP)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	85
Şekil 4.18. Sulusaray istasyonuna ait $PDSI_{(B,CROP)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	86
Şekil 4.19. Çamlıbel istasyonuna ait $PDSI_{(B,CROP)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	87
Şekil 4.20. Çekerek istasyonuna ait $PDSI_{(B,CROP)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	88
Şekil 4.21. Yeşilyurt istasyonuna ait $PDSI_{(B,CROP)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	89
Şekil 4.22. Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin elde edilmesinde izlenen adımlar.....	98
Şekil 4.23. Zile istasyonuna ait Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	99
Şekil 4.24. Sulusaray istasyonuna ait Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	100
Şekil 4.25. Çamlıbel istasyonuna ait Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	101
Şekil 4.26. Çekerek istasyonuna ait Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	102
Şekil 4.27. Yeşilyurt istasyonuna ait Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B).....	103

Şekil 4.28. Uzun yıllık palmer kuraklık şiddeti indekslerine ait box-plot kutu grafiği	107
Şekil 4.29. Geleneksel PDSI yaklaşımı ve diğer PDSI yaklaşımları arasındaki ilişkiyi veren 1:1 doğrusuna ait grafik	111
Şekil 4.30. ‘Real Time PDSI’ yaklaşım değerleri ile SPEI ve VHI değerlerinin zamansal dağılım grafiği	115
Şekil 4.31. Zile istasyonuna ait SPEI indeksi zamansal grafikleri	117
Şekil 4.32. Sulusaray istasyonuna ait SPEI indeksi zaman grafikleri	118
Şekil 4.33. Çamlıbel istasyonuna ait SPEI indeksi zaman grafikleri	119
Şekil 4.34. Çekerek istasyonuna ait SPEI indeksi zaman grafikleri	120
Şekil 4.35. Yeşilyurt istasyonuna ait SPEI indeksi zaman grafikleri	121
Şekil 4.36. Aylara ait en kurak yılların IDW haritaları	127
Şekil 4.37. Zile istasyonuna ait uydu tabanlı indekslerin zamansal grafikleri	132
Şekil 4.38. Sulusaray istasyonuna ait uydu tabanlı indekslerin zamansal grafikleri	133
Şekil 4.39. Çamlıbel istasyonuna ait uydu tabanlı indekslerin zamansal grafikleri	134
Şekil 4.40. Çekerek istasyonuna ait uydu tabanlı indekslerin zamansal grafikleri	135
Şekil 4.41. Yeşilyurt istasyonuna ait uydu tabanlı indekslerin zamansal grafikleri	136
Şekil 4.42. SPEI ve VHI indeksleri arasındaki korelasyon grafikleri	141

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklamalar
μm	Mikrometre
m	Metre
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
K	Kelvin
cm	Santimetre
%	Yüzde
g	Gram
g/cm^3	Gram/santimetre küp
mm	Milimetre
α	Ölçek parametresi
β	Şekil parametresi
γ	Konum parametresi
D_i	İklimsel su dengesi
H_0, H_1	Hipotez
$n_x n_y$	İki gruba ayrılan verilerin herbir gruptaki gözlem sayısı
Z	Standart normal dağılım
S_{crit}	Standart normal dağılım tablosuna göre elde edilen kritik değer
r	Korelasyon katsayısı
t	T testi
F	F testi
Q_1	Birinci çeyrek
Q_2	İkinci çeyrek
Q_3	Üçüncü çeyrek
s	Eğim

Kısaltmalar	Açıklamalar
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
UN	Birleşmiş Milletler
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
CO ₂	Karbondioksit
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
AWCH	Tarla Kapasitesindeki Toprak Su İçeriği
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi
SPI	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
RDI	Keşif Kuraklık İndeksi
CZI	Çin-Z İndeksi
NDVI	Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
VCI	Bitki Örtüsü Durumu İndeksi
TCI	Sıcaklık Durum İndeksi
VHI	Bitki Sağlığı İndeksi
PET	Potansiyel Evapotranspirasyon
DI	Desiller İndeksi
PNI	Normalin Yüzdesi İndeksi
EDI	Efektif Kuraklık İndeksi
PHDI	Palmer Hidrolojik Kuraklık İndeksi
RD	Yağış Ayrılması
scPDSI	Kendini Kalibre Eden PDSI
RAI	Yağış Anamoli İndeksi
GEV	Genelleştirilmiş Aşırı Değerler
LN3	Üç parametrelili Log Normal
PE3	Pearson Type III
GLO	Genelleştirilmiş Lojistik
SPAEl	Standartlaştırılmış Yağış-Gerçek Evapotranspirasyon indeksi
SEDI	Standartlaştırılmış Buharlaşma Açığı İndeksi
SSMI	Standartlaştırılmış Toprak Nem İndeksi

MTVDI	Modifiye Sıcaklık Bitki Örtüsü Kuraklık Endeksi
NVSWI	Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Su Sağlama Endeksi
HOA	Afrika Boynuzu Bölgesi
ESI	Buharlaştırma Stresi İndeksi
EVI	Güçlendirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi
SAI	Standart Sapma İndeks
CDI	Birleşik Kuraklık İndeksi
SMA	Toprak Nem Anomalisi
DHI	Kuraklık Tehlike İndeksi
MSDI	Çok Değişkenli Standartlaştırılmış Kuraklık İndeksi
SR	Spearman'ın Rho
IDW	Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi
RBF	Işınimsal Tabanlı Fonksiyon
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi
ITA	Yenilikçi Trend Analizi
SNHT	Standart Normal Homojenlik Testi
IV-ITA	Geliştirilmiş ITA Görselleştirme Yöntemini
WRB	Wei Nehri Havzası
SSI	Standartlaştırılmış Akış İndeksi
SM	Toprak Nemi
SSMI	Standartlaştırılmış Toprak Nemi İndeksi
MPCC	Maksimum Pearson Korelasyon Katsayıları
MODIS	MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NIR	Yakın Kızılötesi
TIR	Termal Kızılötesi
SWIR	Kısa Dalga Kızılötesi
LP DAAC	Land Processes Distributed Active Archive Center
LST	Arazi Yüzey Sıcaklık İndeksi
T	Sıcaklık
P	Yağış
APE	Düzeltilmiş Potansiyel Evapotranspirasyon

L_s	Üst Katmandaki Evapotranspirasyon Kaybı
L_u	Alt Katmandaki Evapotranspirasyon Kaybı
S_s	Üst Katmandaki Kullanılabilir Su Tutarı
S_u	Alt Katmanda Depolanan Kullanılabilir Su Miktarı
PR	Potansiyel Yeniden Doldurma
PL	Potansiyel Kayıp
PRO	Potansiyel Yüzey Akış
CAFEC	İklimsel Olarak Uygun Koşullar İçin Yağış
K-S	Kolmogorov–Smirnov
EDF	Ampirik Dağılım Fonksiyonu
MWU	Mann-Whitney U
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
$PDSI_{(B.CROP)}$	Bitki Bazlı PDSI
MN	Mevcut Nem
SN	Solma Noktası
TK	Tarla Kapasitesi
HA	Hacim Ağırlığı
D	Toprak Derinliği
ARCMAP	Coğrafi İşlem Programları Paketi
AS	Ay Sayısı
GY	Görölme Yüzdesi

1. GİRİŞ

Su, insanların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri açısından büyük önem arz etmektedir. Tarih boyunca bütün medeniyetler su kenarlarına kurulmuş ve sahip oldukları suyu kullanabildikleri ölçüde medeniyetler ilerletilebilmiştir. İklim değişikliği ve artan nüfus yoğunluğuna bağlı olarak su kaynaklarında hem nitelik hem de nicelik olarak bozulmalar meydana gelmektedir (Köse ve Akın, 2024). Böylelikle insan ve doğal kaynaklı stres faktörleri su kaynakları üzerinde giderek daha fazla baskı yaratmaktadır. Dünya Meteoroloji Örgütü (The World Meteorological Organization-WMO)'nın 2021 yılında yayınladığı raporda yaklaşık 2 milyar insanın su sıkıntısı çeken ülkelerde yaşadığı ve 3.6 milyar insanın en az bir ay su yetersizliğiyle karşı karşıya kaldığı vurgulanmaktadır. Ayrıca raporda son 20 yılda su ile ilgili felaketlerin sıklığında artış yaşandığı ifade edilmektedir. 2000 yılından bu yana sel olaylarında %134 artış yaşanırken kuraklık sayısı ve süresinde %29 artış yaşandığı gözlemlenmiştir (WMO,2021). Birleşmiş Milletler (UN), su kıtlığının dünya nüfusunun %40'ından fazlasını etkileyen bir sorun olduğunu ve bu oranın artmasının beklediğini belirtmektedir (Guppy ve Anderson 2017; Bobadilla ve ark., 2024).

Keeling ve ark., (2009) tarafından, 1958 yılından beri yapılmakta olan Mauna Loa ölçümlerine göre atmosferdeki karbondioksit (CO₂) birikiminin çok hızlı bir biçimde artmakta olduğu bildirilmiştir. Yerküre atmosferdeki sera gazlarının salınımından dolayı sürekli ısınmaya maruz kalmakta ve bu durum küresel iklimde olumsuz değişimlere yol açmaktadır. İklim değişikliğinin dünyanın büyük bir bölümünde özellikle halihazırda önemli su stresi yaşayan yarı kurak bölgelerde kuraklık sıklığını ve şiddetini artırması beklenmektedir (Dai, 2013; Cook ve ark., 2018). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından 2019 yılında yayımlanan İklim Değişikliği ve Arazi Özel Raporu'na göre, ısınmanın artmasıyla birlikte, sıcak hava dalgaları da dahil olmak üzere sıcaklığa bağlı tüm olayların sıklığının, yoğunluğunun ve süresinin 21. yüzyıl boyunca artmaya devam edeceği öngörülmektedir. IPCC (2024), 'AR6 Synthesis Report-Climate Change 2023' adlı raporda ise iklim değişikliği ile ilgili aşağıda sıralanan maddelere dikkat çekilmektedir:

- Küresel ortalama deniz seviyesi, 1901 ve 2018 yılları arasında 0.20 m artmıştır. Deniz seviyesi yükselme oranının, 1901-1971 yılları arasında yılda ortalama 1.3 mm, 1971-2006 yılları arasında yılda 1.9 mm, 2006-2018 yılları arasında ise yılda

3.7 mm olduğu bildirilmiştir. Bu verilere dayanarak insan etkisinin, 1950'lerden bu yana bileşik aşırı olayların, özellikle eşzamanlı ısı dalgaları ve kuraklıkların sıklığını artırma olasılığını yükselttiği vurgulanmıştır.

- Yaklaşık 3.3 ila 3.6 milyar insan, iklim değişikliğine son derece duyarlı koşullarda yaşamaktadır. İnsan ve ekosistem kırılganlığı birbiriyle bağlantılıdır. Gelişim kısıtlamaları yüksek olan bölgeler ve insanlar, iklimsel tehlikelere karşı yüksek kırılganlık göstermektedir. Artan hava ve iklim aşırılıkları, milyonlarca insanı akut gıda güvensizliği ve azalan su güvenliğiyle karşı karşıya bırakmıştır. 2010-2020 yılları arasında, seller, kuraklıklar ve fırtınalardan kaynaklanan insan ölümleri, yüksek kırılganlığa sahip bölgelerde, çok düşük kırılganlığa sahip bölgelere kıyasla 15 kat daha fazla meydana gelmiştir.
- Aşırı sıcaklık olaylarının büyüklüğündeki artışlar, yüzlerce yerel tür kaybına yol açmıştır ve hem karada hem de okyanusta kitlesel ölümler kaydedilmiştir.
- Dünya nüfusunun yaklaşık yarısı, iklimsel ve iklim dışı etkenlerin birleşimi nedeniyle yılın en az bir bölümünde ciddi su kıtlığı yaşamaktadır.
- İklitle ilişkili gıda kaynaklı ve su kaynaklı hastalıkların görölme sıklığı artmıştır.
- İklime değişikliği, doğa ve insanlar üzerinde geniş çaplı olumsuz etkilere ve bunlarla ilgili kayıplara ve zararlara neden olmuş, bu etkiler sistemler, bölgeler ve sektörler arasında eşit olmayan bir şekilde dağılmıştır.
- Kentsel alanlarda, gözlemlenen iklim değişikliği insan sağlığı, geçim kaynakları ve temel altyapı üzerinde olumsuz etkilere yol açmıştır.

Özetle sanayi devriminden günümüze kadar olan süreçte yerküre, artan fosil yakıt kullanımı, sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve ormansızlaşma gibi insan faaliyetlerinden dolayı büyük ölçüde değişime maruz kalmıştır. İklime değişikliği olarak da adlandırılan bu değişim, atmosferde, okyanusta, kriyosferde ve biyosferde geniş çaplı ve hızlı başkalaşımlara sebep olmuştur. Doğal dengenin bozulması hususunda önemli etkisi olan insanoğlunun gerekli önlemleri almaması ve bu doğal dengenin bozulmasına neden olan eylemlerin aynı biçimde ve yoğunlukta devam etmesi halinde, gelecekte, küresel ısınmaya bağlı olarak iklimdeki bozulmaların ve yaşamsal etkilerinin artacağı öngörülmektedir (Partigöç ve Soğancı, 2019).

İklim değişikliğinin etkileri çok yönlüdür. İnsan kaynaklı iklim değişikliği, dünya genelindeki her bölgede birçok hava ve iklim aşırılığını hali hazırda etkilemektedir. Yoğunluk, süre ve alansal kapsam bakımından bölgesel, hatta yerel olarak değişiklik göstermektedir. İklim değişiklinin neden olduğu ani zararlar sıcaklık veya yağıştaki kademeli değişikliklerden değil, esas olarak sel ve kuraklık gibi ekstrem olaylardan kaynaklanmaktadır (Loukas ve ark., 2008). Doğal afet olarak adlandırılan bu durumun, doğa ve insanlar üzerinde geniş çaplı olumsuz etkilere ve bunlarla ilgili kayıplara ve zararlaraya yol açtığı vurgulanmaktadır.

Doğal afet, insanları veya çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek doğal olarak meydana gelen bir olaydır. İklim değişikliğinin neden olduğu önemli doğal afetlerden biride kuraklıktır. Kadioğlu (2001), pek çok araştırmacıya göre literatürde geçen otuz bir doğal afetten en önemli olan afetin kuraklık olduğunu bildirmiştir. Kuraklık birçok yönüyle diğer doğal afetlerden ayrılmaktadır. Çok kısa sürede gelişerek ve ciddi tahribatlara yol açarak jeolojik veya hidrometeorolojik karakterli afetlere göre daha uzun bir zaman dilimine yayılmaktadır (Yetmen, 2013). Kuraklık, ani olarak ortaya çıkan bir afet olmasada, diğer doğal afetlere kıyasla daha fazla insana zarar verebilen ve yıllık zararı ortalama 8- 10 milyar doları bulan yüksek maliyetli afetlerdendir (Wilhite, 2000). şiddeti, başlangıç ve bitiş zamanı belirsiz olan, kümülatif olarak artan kuraklık aynı anda birden fazla doğal ve beşeri faktörleri etkilemektedir (Kömüşçü ve ark., 2002).

Kuraklık olayının ortaya çıkma nedenleri karmaşıktır. Bu durum sadece atmosferik olaylarla değil beraberinde atmosfere nem sağlayan hidrolik süreçlerle de ilişkilidir. Bravar ve Kavvas (1991), bu süreci şöyle açıklamaktadır; kurak hidrolik koşullar bir kez oluştuğunda, kuraklıkların pozitif geri bildirim mekanizması devreye girmektedir; st toprak katmanında nemin azalması, buharlaşma ve terleme (evapotranspirasyon) oranını düşürmekte, bu da atmosferik bağıl nemin azalmasına neden olmaktadır; bağıl nem ne kadar düşükse, yağmur olasılığı da o kadar azalır, çünkü bölge üzerindeki düşük basınç sistemi için doyunluk koşullarına ulaşmak zorlaşmaktadır.

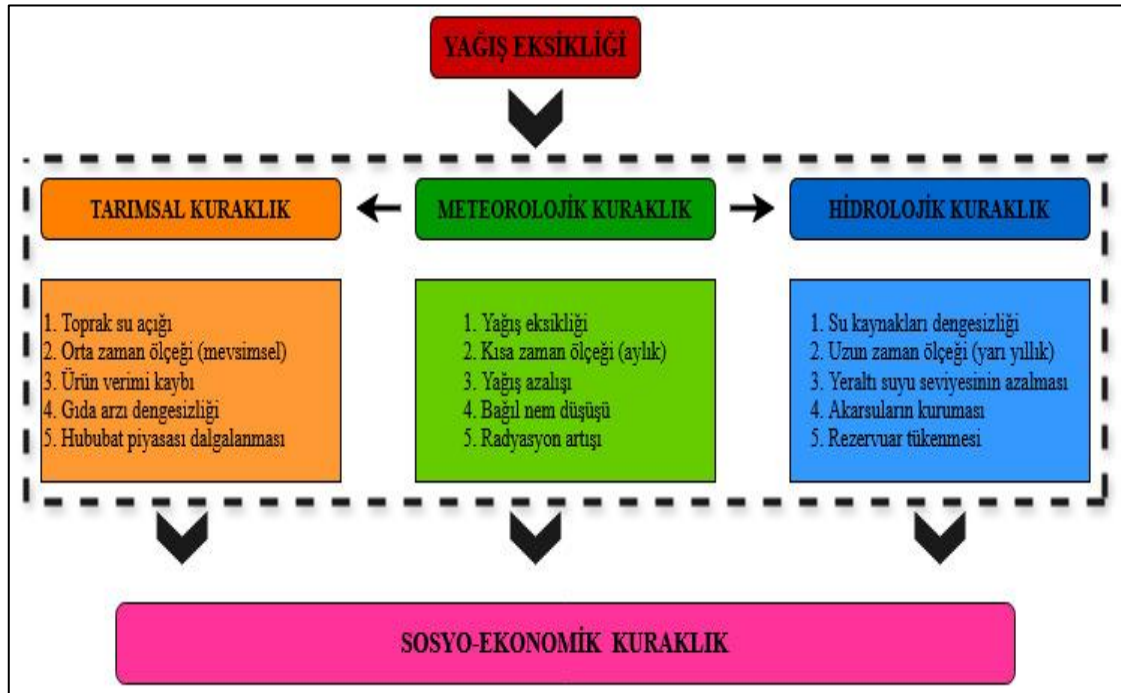
Kuraklık olayı, iklim değişikliğinin normal bir parçası olarak kabul edilmekte ve dünya genelinde genellikle yağış eksikliği olarak tanımlanmaktadır. Hidrometeorolojik değişkenler, sosyoekonomik faktörler ve farklı bölgelerdeki su talebinin değişken doğası, kuraklığın kesin bir şekilde tanımlanmasını engellemiş ve bu nedende kuraklık teriminin evrensel bir tanımı üzerinde uzlaşılması mümkün olmamıştır (Mishra ve Sing, 2010;

Lloyd-Hughes, 2014). Kuraklık üzerine birçok kuruluş ve araştırmacı tarafından çeşitli tanımlar yapılmıştır. Kullanılan bazı yaygın tanımlar şunlardır:

- (I) **Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO, 1986):** ‘Kuraklık, sürekli ve uzun süreli yağış eksikliğini ifade eder.’
- (II) **Birleşmiş Milletler Kuraklık ve Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi (UN Secretariat General, 1994):** ‘Kuraklık, yağışın normal kaydedilen seviyelerin önemli ölçüde altında olduğu, arazi kaynak üretim sistemlerini olumsuz şekilde etkileyen ciddi hidrolojik dengesizliklere neden olan doğal bir olaydır.’
- (III) **Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, 1983):** ‘Kuraklık tehlikesi, bitkilerin nem eksikliği nedeniyle büyüyemediği yılların yüzdesidir.’
- (IV) **İklim ve Hava Ansiklopedisi (Schneider, 1996):** ‘Kuraklık, bir bölge için istatistiksel çok yıllık ortalamaya kıyasla yetersiz yağışın olduğu uzatılmış bir dönemdir (bir sezon, bir yıl veya birkaç yıl).’
- (V) **Gumbel (1963):** ‘Kuraklık, günlük akarsu debisinin yıllık en düşük değeridir.’
- (VI) **Palmer (1965):** ‘Kuraklık, bir bölgenin normal hidrolojik koşullarından önemli oranda sapmasıdır.’
- (VII) **Linseley ve ark. (1959):** ‘Kuraklık, belirgin yağışsız uzun bir dönemdir.’
- (VIII) **Sheffield ve Wood (2011):** ‘Kuraklık, normal koşullara göre su açığıdır.’

Kuraklık için yapılan tanımlar incelendiğinde genel bir tanımlama yapmanın mümkün olmadığı anlaşılmaktadır. Kuraklık tanımları, kuraklığı tanımlamak için kullanılan değişkene bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle, belirlenmiş disiplinlerarası yaklaşımlar ve terminolojilerle ilgili olarak kuraklık için dört sınıflandırma yapılmıştır. Bunlar meteorolojik kuraklık, tarımsal kuraklık, hidrolojik kuraklık ve sosyo-ekonomik kuraklıktır (Wilhite and Glantz, 1985; Rossi ve ark., 1992; Tallaksenn ve Van Lanen, 2004; Cook ve ark., 2018). Chen ve ark. (2009), kuraklık sınıflarını şu şekilde tanımlamıştır. Meteorolojik kuraklık, yağış ve buharlaşma arasındaki dengesizlikten kaynaklanan su eksikliğini ifade etmektedir. Tarımsal kuraklık, toprak nemi özellikleri ve bitkilerin büyüme dönemindeki morfolojisini analiz ederek, toprak neminin bitkilerin en az gereksinim duyduğu seviyenin altına düşme derecesini yansıtmaktadır. Hidrolojik

kuraklık, nehir akışının normal değerin altına düşmesi veya bir akiferin su seviyesinin azalması durumunda meydana gelmektedir. Son olarak sosyo-ekonomik kuraklık ise üretim ve tüketimin, hem doğal sistemde hem de insan sosyo-ekonomik sisteminde su eksikliğinden etkilendiği bir kuraklık türüdür. Kuraklık türlerinin tanımları farklı olsa da, hepsi yağış eksikliğinin sebep olduğu su eksikliği olayına dayanmaktadır ve tümü birbirleriyle ilişkilidir (Şekil 1). Yağış azaldığında sürekli su buharlaşması nedeniyle aşamalı olarak önce meteorolojik kuraklık meydana gelmekte, ardından tarımsal kuraklık ve hidrolojik kuraklık, gelişmektedir. Tarımsal kuraklık, çoğunlukla toprakta su arzının azalmasından dolayı bitkilerdeki su eksikliği ile ilgilidir. Burada yağıştaki azalmadan kaynaklanan toprak nem kaybı, tarımsal kuraklıkta ilk görülen olgudur. Transpirasyon nedeniyle, bitkilerdeki su, fizyolojik aktiviteler için temel ihtiyaçları karşılayamaz hale gelir ve bitki büyümesi baskı altına girer. Bu baskı ürün veriminde azalmaya veya hatta ürün kaybına yol açmaktadır. Hidrolojik kuraklık, esas olarak nehirlerdeki ve rezervuarlardaki su miktarının azalmasına ve yeraltı suyu seviyelerinin düşmesine neden olmaktadır. Sosyo-ekonomik kuraklık, tarımsal ve hidrolojik kuraklıklar belirli bir seviyeye ulaştığında tetiklenmektedir (Zhang ve ark., 2014; Liu ve ark., 2016).



Şekil 1.1. Kuraklık transfer süreçleri ve etkileşimleri

(Liu ve ark., 2016)

Kuraklık, yalnızca fiziksel bir doğa olayı olarak görülmemelidir. İnsan faaliyetlerinin su kaynaklarına olan bağımlılığı nedeniyle sosyal, çevresel ve ekonomik olarak önemli zararlar ortaya çıkarabilir (Van Loon ve Van Lanen, 2013). Arazi kullanım durumu, tarımsal faaliyetler, ormansızlaşma gibi insan faaliyetleri hidrolojik çevrimi etkileyerek kuraklığın oluşumuna sebep olmaktadır (Kapluhan, 2013; Zhu ve ark., 2018). Bu açıdan bakıldığında, meteorolojik karakterli doğal afetler kategorisinde yer alan kuraklığın kapsamı geniştir ve birçok sektör üzerinde olumsuz yönde etkilere sahiptir. Dünyayı etkisi altına alan kuraklık olayını mevcut teknolojilerle önlemek mümkün değildir. Yapılan çalışmalar kuraklığın tamamen ortadan kaldırılamayacağını ancak etkisinin ve yayılımının azaltılabileceğini göstermektedir. Bu sebeple, kuraklığın ve karakteristiklerinin belirlenmesi, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi ve kuraklığa karşı alınacak önlemlerin belirlenmesinde ya da kuraklık eylem planlarının hazırlanmasında önemli rol oynamaktadır (Mishra ve Nagarajan 2011). Kuraklık şiddet, süre ve frekans (tekerrür, dönüş aralığı) gibi değişkenlerle karakterize edilebilmektedir (Şen 1976; Mishra ve Singh, 2009; Dai, 2011; Xu ve ark., 2015). Bir bölgedeki kuraklık durumunun izlenmesi ve değerlendirilmesi için yapılan sistematik sürece kuraklık izleme denilmektedir. Kuraklık izleme süreci, kuraklığın şiddeti, mekansal kapsamı ve etkilerini belirlemek için doğal göstergelerin sürekli değerlendirilmesini içermektedir (Wilhite ve Buchanan-Smith, 2005).

Kuraklık oldukça karmaşık bir yapıya sahip doğal afettir ve zamanını, gelişim sürecini ve etki alanını doğrudan gözlemlemek zordur (Solomon ve ark., 2007). Kuraklığın frekansı, şiddeti, süresi ve etki alanı gibi niteliklerini tespit etmek, izlemek ve nesnel olarak değerlendirmek için indeksler önemli araçlardır. Tsakiris ve ark., (2007), kuraklığın karakterize edilebilmesi için çeşitli yöntemler bulunduğunu ancak kuraklık indekslerinin kullanımının yaygın olduğunu belirtmişlerdir. Bir indeks, yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme, yüzey akışı ve diğer su kaynakları göstergeleri gibi çeşitli meteorolojik ve hidrolojik parametreleri tek bir sayısal değerde veya formülde birleştirmekte ve karar verme süreçlerine kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır (Wang ve ark., 2012; Hao ve Singh 2015; Jiao ve ark., 2019). Bu tür indeksler, kuraklık yönetimi planlamasında ilgili kişilerin karar alma süreçlerini desteklemek amacıyla genellikle sayısal bir değer olarak sunulmaktadır. Yetkililer, kamu ve özel kuruluşlar, bu indeksleri kullanarak kuraklığın

şiddeti hakkında bilgi sahibi olmakta ve mevcutsa kuraklığa karşı gerekli önlemleri alabilmek için harekete geçmektedirler (Eslamian ve ark., 2017).

Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization) 1992 yılında kuraklık indeksini, ‘uzun süreli ve anormal nem eksikliğinin bazı kümülatif etkileriyle ilişkili bir indeks’ olarak tanımlamıştır. Friedman, bir kuraklık indeksinin karşılaması gereken dört temel kriteri şu şekilde belirlemiştir (Hayes, 2006; Eslamin ve ark., 2017):

1. Zaman ölçeği (dönem), ele alınan probleme (kuraklık) uygun olmalıdır.
2. İndeks, geniş çaplı ve uzun süre devam eden kuraklık koşullarını niceliksel olarak ölçmelidir.
3. İndeks, incelenen probleme uygulanabilir olmalıdır.
4. İndeksin uzun ve doğru bir geçmiş kaydı mevcut olmalı veya hesaplanabilir olmalıdır.

Kuraklığın tek ve evrensel bir şekilde kabul edilmiş bir tanımı olmadığı gibi, tek ve evrensel bir kuraklık indeksi de yoktur. Kuraklık koşullarını karakterize etmede çeşitli bakış açıları sunan bir çok indeks mevcuttur (Xu ve ark., 2024). Niemeyer (2008), 150’den fazla kuraklık indeksinin geliştirildiğini ve yakın zamanda da literatüre yeni indeksler ekleneceğini ifade etmiştir (Karamouz ve ark., 2009; Cai vd. 2011; Rhee ve ark., 2010; Vicente-Serrano ve ark., 2010; Vasiliades ve ark., 2011).

Kuraklık indekslerinin kullanım amaçları şunlardır (Zargar, 2011) ;

- Kurak koşulların tespiti ve izlenmesi
- Kurak sürelerin başlangıcını veya sonunu açıklama
- Kuraklık olayının karakterize edilmesi ve değerlendirilmesi
- Kuraklık seviyelerini tespit etme ve kuraklığa karşı müdahale önlemlerinin alınması

Kuraklık indeksleri, meteorolojik verilere dayalı (istasyon tabanlı) ve uzaktan algılama tabanlı indeksler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Heim, 2002). Literatürde yaygın olarak kullanılan kuraklık indeksleri ve bu indekslere ait genel bilgiler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Yaygın olarak kullanılan kuraklık indekslerinin tanımı

Kuraklık İndeksi	Kuraklık Tipi	Veri Türü	Referans
PDSI	Meteorolojik/Tarımsal Kuraklık	Yağış, Sıcaklık, Kullanılabilir Su İçeriği (AWC)	Palmer (1965)
SPI	Meteorolojik Kuraklık	Yağış	McKee ve ark., (1993)
SPEI	Meteorolojik Kuraklık	PET, Yağış	Vicente-Serrano ve ark., (2010)
RDI	Meteorolojik Kuraklık	Yağış, PET	Tsakiris ve Vangelis (2005)
CZI	Meteorolojik Kuraklık	Yağış	Ju ve ark., (1997)
NDVI	Bitki Örtüsü İndeksi	NIR	Rouse ve ark., (1974)
VCI	Bitki Örtüsü Durum İndeksi	MODIS NDVI	Kogan (1995)
TCI	Sıcaklık Durum İndeksi	MODIS LST	Kogan (1995)
VHI	Bitki Sağlığı İndeksi	VCI, TCI	Kogan (1995)

Bir bölgedeki kuraklık olaylarının izlemesinde, kuraklık olaylarının alansal boyutu ve şiddetinin incelenmesinde, Palmer (1965) tarafından geliştirilen Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (Palmer Drought Severity Index-PDSI) dönüm noktası olmuştur (Hobbins ve ark., 2008; Vicente-Serrano ve ark., 2010; Jacobi ve ark., 2013). PDSI, nem arzı ve talebi arasındaki denge prensibine dayanmaktadır (Heddinghaus ve Sabol, 1991). Başka bir ifadeyle PDSI hesaplama algoritması, uzun süreli aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri ile tarla kapasitesindeki kullanılabilir su içeriği (AWC) bilgilerini girdi olarak kullanarak iklimsel su dengesinin saptanmasına dayanmaktadır (Alley, 1984). Wayne Palmer PDSI indeksini ABD'nin Kansas ve Iowa eyaletlerine ait bölgesel iklim verilerini kullanarak elde ettiği ampirik sabitler ile test etmiş ve yeni bir kuraklık indeksi olarak literatüre kazandırmıştır. İndeksin hesaplama algoritması oldukça komplekstir ve iklimsel özelliklerin her yerde farklılık göstermesinden dolayı elde edilen sabitlerin dünyanın her yerinde aynı şekilde kullanılması kuraklığın değerlendirmesini yanıltmaktadır. Bu nedenle bu sabitlerin ilgili bölgenin iklim koşullarına göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Alley (1984), PDSI indeksinin bazı kısıtlamaları ve

eksikleri olmasına rağmen yaygın bir şekilde kullanılan bir meteorolojik kuraklık izleme indeksi olduğunu ifade etsede, indeksin hesaplama algoritması içerisinde yer alan parametrelerden dolayı tarımsal ve hidrolojik kuraklığın izlenmesinde de sıklıkla tercih edilmiştir (Akbaş, 2014).

Kuraklığın izlenmesinde literatürde yaygın olarak kullanılan meteorolojik verilere dayalı kuraklık indeksi, McKee ve ark., (1993) tarafından geliştirilen Standartlaştırılmış Yağış İndeksi'dir (Standardized Precipitation Index-SPI) (Hayes ve ark., 1999; Zhang ve Jia 2013; Park ve ark., 2017). SPI indeksinin yaygın olarak tercih edilmesinin sebebi ihtiyaç duyulan tek meteorolojik değişkenin yağış olması, uygulamasının kolaylığı, güvenilir olması, 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık veya daha uzun zaman periyotlarında hesaplanabilmesi yani meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların izlenmesi ve değerlendirmesini mümkün kılmasıdır (Edwards, 1997; Wu ve ark., 2001). Veri uzunluğu olarak en az 20-30 yıllık aylık toplam yağış kayıtlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Daha optimal sonuçlar elde edilmek istendiğinde 50-60 yıllık daha uzun veri kayıtlarına ulaşılması gerekmektedir (Guttman, 1994). SPI kuraklık sınıfları, standart normal dağılıma (Gaussian) uyan yağış serilerinden elde edilmektedir. Standart normal dağılım, ortalaması sıfır ve varyansı bir olan dağılımdır. Ancak yağış serilerinin olasılık dağılım fonksiyonu genellikle normal dağılıma uymamaktadır. Thom (1966), yağış serilerine en iyi uyan olasılık dağılımının Gamma olasılık dağılım fonksiyonu olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle SPI hesaplanmasında, aylık toplam yağış Gamma olasılık dağılım fonksiyona dönüştürülmektedir. Gamma olasılık dağılım fonksiyonundan elde edilen yağış olasılıkları, standart normal dağılım fonksiyonu kullanılarak, "normalleştirilmiş" standart yağış serileri elde edilmektedir. Sonuç olarak, ortalaması sıfır ve varyansı bir olan standartlaştırılmış yağış indeksi hesaplanmaktadır (McKee ve ark., 1993; Türkeş, 2017; Uçar ve ark., 2019).

SPI kuraklık indeksi yukarıda ifade edilen özelliklerinden dolayı literatürde yaygın olarak kullanılsa bile sadece tek bir değişkeni dikkate alarak kuraklığı değerlendirmesi indeksin zayıf yönünü ortaya çıkarmaktadır. Vicente-Serrano ve ark., (2010), tarafından yakın zamanda SPI indeksinin modifiye edilmiş hali olan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI) geliştirilmiştir. Hesaplama algoritması SPI indeksine benzerdir. SPI dan farklı olarak bu indekste, yağış serileri ve sıcaklık parametresine bağlı olarak elde edilen, Thornthwaite

(1948) tarafından önerilmiş potansiyel evapotranspirasyon (PET) parametresi hesaba katılmaktadır. Son yıllarda araştırmacılar veri sıkıntısının olmadığı bölgelerde potansiyel evapotranspirasyon yerine referans evapotranspirasyon değerini yaygın olarak kullanmaktadır (Begueria ve ark., 2014; Ogunrinde ve ark., 2020; Özçelik ve Akkuzu, 2023). Bu sayede yağış ve sıcaklık değişkenlerinin yanı sıra bağıl nem, rüzgar hızı, net radyasyon, güneşlenme süresi gibi iklim parametreleri de indeksin hesaplanmasına dahil edilmektedir. SPEI indeksinde SPI gibi farklı zaman ölçeklerinde kuraklık şiddeti hesaplanmaktadır (Vicente-Serrano ve ark., 2010; Begueria ve ark., 2014).

Meteorolojik verilere dayalı kuraklık indeksleri kuraklık izleme ve değerlendirmede yaygın olarak tercih edilsede, meteorolojik verilerin kesintiye uğraması, istasyonlarda eksik veya hatalı ölçümlerin yapılması veya hiç ölçüm yapılmaması, homojen olmayan istasyon ağı gibi sebepler kuraklığın izlenmesi ve değerlendirmesini kısıtlamaktadır (Karnieli ve ark., 2010; Rhee ve ark., 2010). Kuraklığın zamanı ve şiddetinin belirlenmesinde uzaktan algılama araçları kapsamlı, hızlı ve dinamik özelliklere sahip ileri bir teknoloji olup, çok ölçekli ve çok zamanlı bilgileri hızlı ve doğru bir şekilde elde edebilmektedir. Bu nedenle kuraklık izleme alanında hem öncü bir teknoloji hem de popüler bir araştırma konusu haline gelmiştir (Kogan 1995; Liang ve ark. 2016; Liang, 2017). Bhuiyan ve ark., (2006); Anderson ve ark., (2011), meteorolojik verilerin, geniş alan ve farklı ekosistemleri kapsayan detaylı ve sürekli veriler sağlayan uzaktan algılama verileriyle bütünleştirildiğinde kuraklığın izlenmesinin daha kapsayıcı, güvenilir ve doğru sonuçlar verebildiğini ifade etmişlerdir (Çelik ve Karabulut, 2017). İfade edilen bu avantajlar dünyada uydu kaynaklı indekslerin kuraklık çalışmalarında sıklıkla kullanımını sağlamaktadır (Rhee vd., 2010; Caccamo vd., 2011). Uzaktan algılama teknolojisi, geniş bir alanda toprak nemini ve bitki örtüsü durumunu izleme imkânı sunmaktadır (Rhee ve ark., 2010; Wu ve ark., 2013; Zhang ve ark. 2017). Bu nedenle, uzaktan algılama teknolojisinin gelişmesiyle, birçok uzaktan algılama verisi mevcut hale gelmiş ve büyük ölçekli kuraklık izleme için önemli bir veri kaynağı olmuştur (Rhee ve ark., 2010). Literatürde yaygın olarak kullanılan uydu tabanlı kuraklık indeksleri Çielge 1’de verilmiştir.

Uzaktan algılama verileri ile geliştirilen indeksler genellikle bitki örtüsünün ve toprağın mevcut durumunun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu indeksler, elektromanyetik spektrumdaki farklı dalga boylu yansıma değerlerine matematiksel

işlemler uygulanarak her piksel değeri için çalışma konusu ile ilgili tek bir değerin elde edilmesidir. Bitki indeksleri için yüksek değerler bitki yoğunluğunun arttığı yerleri gösterirken düşük değerler bitkinin seyrek olduğu yerleri ifade etmektedir. Aynı şekilde kuraklık için olan indekslerde düşük değerler kuraklığın olduğu yerleri ifade etmektedir (Orhan, 2014).

Uzaktan algılama teknolojisinde yeşil bitki örtüsünün izlenmesinde en çok kullanılan araçlardan biri Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksidir (NDVI). 1979 yılında Tucker tarafından geliştirilmiş olan NDVI, kızılötesi ve görünür bantlardan elde edilen matematiksel işlemlerle bitki örtüsünün sağlığı ve nem içeriğini ifade etmekte ve kuraklık analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Özalkan ve ark., 2011). NDVI, bitki örtüsü değişikliklerini tanımlamak ve çevresel etmenlerin etkilerini yorumlamak için birincil araç haline gelmiştir. Kapsamlı araştırmalar, NDVI'nın yalnızca kıtasal arazi örtüsünün doğru bir şekilde tanımlanması, bitki örtüsü sınıflandırması ve bitki örtüsü fenolojisi için kullanılmadığını (Tucker ve ark., 1982; Tarpley ve ark., 1984; Justice ve ark., 1985) aynı zamanda yağış ve kuraklık izleme, bitki örtüsünün net birincil üretimini ve ürün verimlerini tahmin etme, hava koşullarının etkilerini ve tarım, ekoloji ve ekonomi için önemli olan diğer olayları tespit etmede de etkili olduğunu göstermiştir (Tucker ve ark., 1985; Prince ve Tucker, 1986; Hielkema ve ark., 1986; Kogan, 1990). Ancak NDVI indeksi coğrafi çevreye ve konuma duyarlılığı nedeniyle, özellikle arazi yapısının heterojen olduğu bölgelerde kuraklık izleme sürecinde çeşitli sorunlara yol açabilmektedir (Kogan, 1990; Liu ve Kogan, 1996; Liang ve ark., 2017). Bu sorunları aşmak amacıyla Kogan (1990) Bitki Örtüsü Durumu İndeksi (Vegetation Condition Index-VCI)'ni önermiştir. VCI indekside NDVI indeksi gibi National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) /Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) görüntülerinden alınan yakın kızılötesi ve kırmızı bant verileri kullanılarak elde edilmektedir. Kuraklığa karşı duyarlı olan VCI indeksi, coğrafi konumun, ekolojik sistemlerin ve toprak koşullarının NDVI üzerindeki etkisini azaltabilmekte veya ortadan kaldıracabilmektedir (Kogan, 1990). Bu da VCI indeksinin kuraklığı tespit etmek ve kuraklığın başlangıç zamanını, şiddetini, süresini, dinamiklerini ve bitki örtüsü üzerindeki etkilerini ölçmek için iyi bir araç olduğunu göstermiştir (Kogan, 1995).

Kogan (1995), VCI verilerinin doğru kuraklık analizi için tek başına yeterli olmadığını ifade etmiştir. Bu nedenle, ek bilgi elde etmek amacıyla termal koşullar incelenmiş ve

Sıcaklık Durum İndeksi (Temperature Condition Index-TCI) geliştirilmiştir. TCI algoritması, VCI algoritmasına benzer yapıdadır. İndeks maksimum ve minimum sıcaklık aralıklarına göre tahmin edilmektedir. TCI, sıcaklığa bağlı bitki örtüsü stresini ve aşırı nemden kaynaklanan stresi belirlemek için kullanılmaktadır. TCI indeksi, VCI indeksiyle beraber kullanıldığında tarımsal açıdan etkilerin değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Akçapınar,2023).

Uzaktan algılama ile kuraklık izleme konusunda en yaygın kullanılan göstergelerden biri VCI (NDVI'ya dayalı) ve TCI (LST'ye dayalı) indekslerinin kombinasyonu ile geliştirilen Bitki Sağlığı İndeksi (Vegetation Health Index-VHI)'dir (Kogan, 1997). Bhuiyan ve ark. (2017), VHI indeksinin avantajlı özelliklerini şu şekilde sıralanmıştır;

- Diğer uydu tabanlı yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk sağlamaktadır.
- Parlaklık sıcaklığı (BT) ve NDVI'nın kombinasyonu sayesinde hava koşullarına bağlı değişimleri daha başarılı bir şekilde izleyebilmektedir.
- Bitki sağlığının takibinde ve kuraklık şiddetinin değerlendirilmesinde üstün performans göstermektedir.

Kuraklık için ifade edilen tüm durumlar göz önüne alındığında yapılacak bu tez çalışması için temel amaç Çekerek Havzası'ndaki kuraklık durumunun, uzaktan algılama verileri ve meteorolojik verilere dayalı olarak hesaplanan kuraklık indeksleri aracılığıyla araştırılmasıdır. Temel amaç çerçevesinde;

1. Sulanmayan buğday arazilerinde tarımsal kuraklığı temsil eden meteorolojik tabanlı PDSI indeksinin farklı türlerde hesaplanması ve hesaplanan PDSI değerlerinin karşılaştırılması

- Meteorolojik iklim verileri ve Çekerek Havzası'nda lokasyonları belirlenen arazilerden alınan topraklara ait toprak fiziksel özellikleri kullanılarak geleneksel Palmer yaklaşımı ile PDSI hesaplanması (**Geleneksel PDSI**)
- Meteorolojik iklim verileri ve Çekerek Havzası'nda lokasyonları belirlenen arazilerden alınan topraklara ait toprak fiziksel özellikleri kullanılarak üst katman derinliğindeki kullanılabilir su miktarı (AWC) değerinin 30 cm'de olduğu varsayımı ile PDSI hesaplanması (**PDSI(30)**)
- Sulanmayan buğday arazilerinden elde edilen gerçek nem değerleri ile PDSI hesaplanması (**Real Time PDSI**)

- Meteorolojik iklim verileri, Çekerek havzasına ait toprak fiziksel özellikleri ve bitki bazlı Solma Noktası değeri kullanarak PDSI hesaplanması (**PDSI_(B.CROP)**)
2. Uzaktan algılama tabanlı PDSI indeksinin uydu görüntülerinden yararlanarak elde edilmesi ve meteorolojik tabanlı PDSI indeksleriyle karşılaştırılması
 3. Tarımsal kuraklığı temsil eden uzaktan algılama tabanlı VHI indeksinin hesaplanması ve havzanın kuraklık durumunun değerlendirilmesi
 4. Meteorolojik kuraklığı temsil eden meteorolojik tabanlı SPEI indeksinin hesaplanarak, meteorolojik kuraklığın zamansal ve mekânsal analizinin yapılması ve havzanın kuraklık durumunun değerlendirilmesi
 5. Meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklık üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla SPEI ve VHI indeksleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Bu bölümde çalışma konusu ile ilgili literatür özetleri meteorolojik tabanlı kuraklık indeksleri ile ilgili yapılan çalışmalar, uydu tabanlı kuraklık indeksleri ile ilgili yapılan çalışmalar, kuraklığın zamansal ve mekansal analizi ile ilgili yapılan çalışmalar, kuraklık yayılım durumu ile ilgili yapılan çalışmalar olmak üzere dört başlık altında verilmiştir.

2.1 Meteorolojik Tabanlı Kuraklık İndeksleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Özgürel ve ark., (2003) Ege bölgesinde tarımsal kuraklığı temsil eden PDSI ve Aydeniz kuraklık indekslerini karşılaştırmıştır. PDSI indeksinin Ege bölgesinde tarımsal kuraklığı daha iyi ifade eden bir indeks olduğu belirlenmiştir.

Morid ve ark., (2006), İran'ın Tahran eyaletinde kuraklık izleme amacıyla Desiller İndeksi (DI), Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI), Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Çin-Z İndeksi (CZI), Modifiye Edilmiş CZI (MCZI), Z-Skoru İndeksi ve Efektif Kuraklık İndeksi (EDI) olmak üzere yedi farklı kuraklık indeksinin performansını karşılaştırmışlardır. SPI, CZI ve Z-Skoru'nun kuraklık tespiti açısından benzer performans gösterdiğini ve kuraklığın başlangıcına yavaş tepki verdiğini, DI indeksinin belirli bir yıldaki yağış olaylarına karşı oldukça duyarlı olduğunu, ancak mekânsal ve zamansal değişim açısından tutarsız sonuç gösterdiğini ifade etmişlerdir. SPI ve EDI indekslerinin kuraklığın başlangıcını, mekânsal ve zamansal değişimini tutarlı bir şekilde tespit edebildiği ve Tahran'da operasyonel kuraklık izleme aracı olarak önerilebileceği vurgulanmıştır.

Tsakiris ve ark., (2007), Yunanistan'ın Mornos ve Nestos havzalarının bölgesel kuraklık değerlendirmesinde SPI, DI ve Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) indekslerinin durumunu değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre RDI indeksinin genel olarak SPI indeksine ve daha düşük oranda DI indeksine benzer şekilde yanıt verdiği ancak değişen bir çevre koşullarında daha hassas ve uygun bir gösterge olduğu sonucuna varıldığı ifade edilmiştir.

Quiring (2009) Amerika Birleşik Devletleri'nde meteorolojik kuraklığı izlemek için yaygın olarak kullanılan yedi kuraklık indeksinin güçlü ve zayıf yönlerini ele aldığı

çalışmada SPI ve DI indekslerinin meteorolojik kuraklığı izlemek için en uygun indeksler olduğunu belirlemiştir.

Vasiliades ve Loukas (2009), Yunanistan'ın Teselya bölgesinde değişken jeomorfolojik özelliklere sahip seçilmiş havzalarda nehir debileri ve toprak nemindeki hidrolojik kuraklığı izlemek için Palmer kuraklık indekslerinin (PDSI, Ağırlıklı PDSI, Palmer Hidrolojik Kuraklık İndeks (PHDI) ve nem anomalisi Z-İndeksi) etkinliğini değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçların, Ağırlıklı PDSI ve nem anomalisi Z-indeksinin bölgenin jeofiziksel ve hidroklimatik özelliklerine bakılmaksızın tüm çalışma havzaları için sırasıyla nehir akışını ve toprak nemini daha iyi temsil ettiği ifade edilmiştir. Palmer kuraklık indeksleri, tarihsel kuraklık olaylarının şiddetini başarılı bir şekilde tanımlayabilse de, kuraklığın süresini belirleme konusunda yetersiz kaldığı hükmüne varılmıştır.

Zoljoodi ve Didevarasl (2013), 1951-2005 döneminde PDSI, toprak nemi, sıcaklık ve yağış olmak üzere dört değişken kullanarak İran'daki kuraklığın şiddeti ve değişkenliğini incelemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, PDSI indeksinin toprak nemi ile yüksek korelasyona sahip olduğunu, ancak diğer değişkenlerle düşük korelasyon gösterdiği saptanmıştır. Bununla birlikte, sıcak mevsimde sıcaklık ile PDSI arasında yüksek korelasyon varlığının tespit edildiği ayrıca 1999-2002 yılları arasında ülkede şiddetli bir kuraklık yaşandığı ifade edilmiştir.

Rahmat ve ark., (2015), yaptıkları çalışmada Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) ve Desiller İndeksinin Avustralya'nın Victoria eyaletindeki kuraklık koşullarını ne kadar iyi yansıttığını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre tarımsal kuraklıkların karakterize edilmesi için RDI indeksinin uygulanması önerilmiştir. SPI'nin meteorolojik kuraklıkları değerlendirme ve izleme açısından tatmin edici olduğu ayrıca, SPI'nin seçilen olaylar için tarihsel kuraklıkların başlangıcını ve sonunu başarılı bir şekilde tespit ettiği belirlenmiştir.

Jain ve ark., (2015), Hindistan'ın merkezinde bulunan Ken Nehri Havzası'nın kuraklığa eğilimli bölgelerinde SPI, EDI, ZSI, CZI, DI ve Yağış Ayrılması (RD) indekslerini kullanarak en yüksek duyarlılığa ve doğruluğa sahip indeksi belirlemişlerdir. Kuraklık şiddet değerleri tüm kuraklık indeksleri için 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık farklı zaman

periyotlarında hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. 1 aylık zaman periyodunda tüm indekslerde kuraklık süresinin hatalı tahminlere yol açabileceği, 9 aylık zaman periyodunda ise kuraklık indekslerinin birbiriyle en iyi ilişkiyi gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca kuraklık indekslerinin aynı zaman periyotlarında güçlü bir ilişki gösterirken, farklı zaman dilimlerinde ise zayıf bir ilişki sergilediği belirtilmiştir. Bu durumun kuraklığın meydana gelip gelmediğini değerlendirmeyi zorlaştırdığı saptanmıştır. Sonuç olarak EDI indeksinin diğer kuraklık indeksleriyle en yüksek korelasyona sahip olması ve kuraklık durumunu diğer indekslerden daha erken belirlemesi gibi faktörler çalışma havzası için en uygun kuraklık indeksi olduğunu ortaya koymuştur.

Yang ve ark., (2017), Çin’de yedi farklı kuraklık indeksinin bölgesel uygulanabilirliğini değerlendirdikleri çalışmada kendini kalibre eden PDSI (scPDSI) indeksinin Çin için en uygun kuraklık indeksi olduğunu ifade etmişlerdir. SPI ve SPEI indekslerinin ise nemli bölgeler için kurak ve yarı kurak bölgelere kıyasla daha uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışmada incelenen yedi kuraklık indeksi kurak alanların uzun vadeli eğilimlerini tutarlı bir şekilde ortaya koysada tespit edilen kuraklık alanların değerleri arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farklılıkların, iklim değişikliğinin yanı sıra kuraklık indekslerinin tanımlarına da bağlı olabileceği belirtilmiştir.

Çatal (2010) yürüttüğü tez çalışmasında, PDSI kuraklık indeksini kullanarak 1978-2015 yılları arasında Kuzey Kıbrıs’taki kuraklık olaylarının süresi ve şiddetini ele almıştır. Analizlere göre 1978 Eylül ile 2015 Ağustos arasında toplamda 6 kurak dönem yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır. 2004-2005 yılları arasında ise şiddetli kuraklık olayının gözlemlendiği ifade edilmiştir.

Lossato ve ark., (2017), toprak neminin kurak dönemler üzerindeki etkisini PDSI kuraklık indeksi ile değerlendirmişlerdir. 2000-2015 yılları arasındaki PDSI kuraklık değerleri ve gelecekteki kuraklık projeksiyon değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, PDSI’nin her türlü mekânsal ve zamansal ölçekte (gelecek projeksiyonlar dahil) yağış ve toprak nemi ile doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, PDSI indeksinin farklı su koşullarında toprak nemini değerlendirmek için önemli bir indeks olduğu sonucuna ulaşıldığı ayrıca, ekonomik ve sosyal verilerle ilişkilendirilerek risk haritaları

oluşturulması ve karar alıcılara destek sağlanması açısından da büyük öneme sahip olduğu ifade edilmiştir.

Adnan ve ark., (2018), Pakistan'da 15 kuraklık indeksinin performansını ve uygulanabilirliğini karşılaştıran bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İndeksler arasında SPI, SPEI, CZI, DI, MCZI, ZSI, Yağış Değişkenliği İndeksi, Standartlaştırılmış Toprak Nem Anomalisi İndeksi, Ağırlıklı Anomali Standartlaştırılmış Yağış İndeksi, Normal Yağış İndeks Yüzdesi, scPDSI, Bileşik İndeks, Yüzde Alan Ağırlıklı Sapma ve RDI bulunmaktadır. Kuraklık değerlendirmesi için 58 meteoroloji istasyonunun 1951-2014 yıllarını kapsayan veriler kullanılmıştır. Çalışmada SPI, SPEI ve RDI indekslerinin Pakistan'daki kuraklık durumunu izlemek için iyi bir performans gösterdiği belirtilmiştir.

Erdoğan ve ark., (2019), yaptıkları çalışmada gözlenen ve CLİGEN modeli ile tahmin edilen yağış verilerini kullanarak SPI indeksinin farklı zaman periyotlarındaki performansını değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre gözlenen ve simüle edilen yağış verileri ile hesaplan SPI değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği ancak zaman periyodu arttıkça modelin başarısının azaldığı saptanmıştır.

Yürekli ve Anlı (2019) Tokat ilinin kuraklık durumunu aylık toplam yağış verilerini kullanarak hesapladıkları SPI indeksi ve Yağış Anomali İndeksi (RAI) ile değerlendirmişlerdir. Ayrıca L-Moment yöntemi ile ilin bölgesel kuraklığını analiz etmişlerdir. Kuraklık indeksi sonuçlara göre SPI indeksi ile aşırı nemli ve aşırı kurak olayların tespit edildiği ifade edilmiştir. Bölgesel kuraklık analizinde iki homojen bölge olduğu, birinci bölge için Genelleştirilmiş Aşırı Değerler (GEV), 3 parametrelili Log Normal (LN3) ve Pearson Type III (PE3) ve ikinci bölge için ise Genelleştirilmiş Lojistik (GLO) dağılımının en uygun dağılım olduğu vurgulanmıştır.

Li ve ark., (2020), SPI ve SPEI indekslerini kullanarak 1980-2015 yılları arasında Çin'in kuraklık özelliklerini incelemişlerdir. SPEI indeksinin 1998-2015 yılları arasında 1980-97 yılları arasındaki kuraklık şiddeti, alanı ve sıklığında genel bir artışı karakterize ettiğini, bunun da esas olarak artan potansiyel evapotranspirasyondan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Aynı dönemler için yağış genel olarak önemli bir değişim göstermediğinden SPI indeksinin bu olguyu ortaya koyamadığını saptamışlardır. Tüm

sonuçlar değerlendirildiğinde SPEI' nin iklim değişikliği altında kuraklık olaylarını izlemede SPI' dan daha uygun olabileceği öne sürölmüştür.

Demir ve ark., (2020) Tokat ilinin gözlenen ve CLİGEN modeli ile tahmin edilen yağış verilerini kullanarak hesaplanan SPI indeksi ile kuraklık durumunu değerlendirmişlerdir. Hem gözlenen hemde simüle edilen yağış verileri ile hesaplanan SPI sonuçlarına göre Tokat ilinde orta şiddetin üzerinde bir kuraklığın görölme riskinin yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Geyikli ve ark., (2022) Yeşilırmak Havzası'nın kuraklık durumunu 12 aylık SPI ve RDI kuraklık indeksleri ile değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre her iki indeksin kurak dönemler için genellikle benzer sinyaller verdiğini, kurak dönemler için RDI'nın SPI'ya göre daha çok aşırı kurak dönem tanımladığı ifade edilmiştir. Kuraklık analizinde tek bir değişkene bağlı olan indeks (SPI) yerine birden fazla meteorolojik parametreye bağlı indeksin (RDI) kullanılmasının daha güvenli sonuçlar vereceği vurgulanmıştır.

Isia ve ark., (2022) Malezya-Sawarak eyaletinin kurak dönemlerini 1981–2020 yılları arasında otuz üç yağış istasyonundan alınan aylık toplam yağış ve aylık ort. sıcaklık verilerine dayalı olarak SPI ve SPEI indekslerini kullanarak incelemişlerdir. Kurak koşulların analizi farklı zaman periyotlarında her iki indeks için uygulanmıştır. Yağış ve evapotraspirasyon verileri dikkate alındığında, SPEI indeksinin SPI kuraklık indeksine kıyasla çalışma alanında daha uzun süreli dönemlerde şiddetli ve aşırı kuraklıkları, daha kısa süreli dönemlerde ise orta şiddette kuraklıkları daha iyi tespit ettiği belirlenmiştir. Pearson korelasyon katsayılarına göre, hidrojik kuraklık dönemlerinde SPI ve SPEI arasında önemli bir ilişki olduğu görölmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde sıcaklık parametresinin, kuraklık sınıflandırmasında belirleyici bir faktör olduğu, SPI indeksinin yalnızca sıcaklık verisinin bulunmadığı durumlarda kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Singh ve ark., (2022), Hindistan'ın Betva Nehri Havzası'nda SPI, CZI, MCZI, PNI, DI, RAI ve ZSI indekslerini kullanarak meteorolojik kuraklığı değerlendirmişlerdir. Kuraklık 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotları için analiz edilmiş ve kuraklık sınıflandırması ve eşik değerleri tahmin edilmiştir. Kuraklığın yönetimi ve modellenmesi için diğer indekslere kıyasla SPI'nin en iyi kuraklık indeksi olduğu sonucuna varılmıştır. SPI' nin

yanı sıra, RAI ve CZI indekslerinin de kuraklık değerdendirilmesi için kullanılabılacağı vurgulanmıştır.

Yimer ve ark., (2022) Etiyopya'da yaptıkları çalışmada, su dengesine dayalı olarak hesaplanan SPEI kuraklık indeksinin olasılık dağılım fonksiyonlarını değerdendirmişlerdir. Çalışmada ayrıca potansiyel evapotranspirasyon yerine gerçek evapotranspirasyon kullanmanın ve sınırlı miktarda veriyle (10, 15, 20 ve 25 yıl) çalışmanın etkisi incelenmiştir. Farklı zaman periyotları için hesaplanan su dengesi değerdelerleri için en uygun dağılımın Genelleştirilmiş Lojistik dağılım olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Standartlaştırılmış Yağış-Gerçek Evapotraspirasyon indeksi (SPAEl) ile SPEI arasında önemli farklılıklar olduğu görülmüş, uygun kuraklık izleme için doğru kuraklık indeksi seçiminin önemi vurgulanmıştır. Kısa süreli veri setleriyle elde edilen kuraklık değerdelerlerinin uzun veri setleriyle elde edilen değerdelerle yakın sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Özçelik ve Akkuzu (2023), Ege bölgesinde kuraklığı SPEI indeksi ile değerdendirmişlerdir. Ege Bölgesi genelindeki 29 meteoroloji istasyonunun 1975-2014 yılları arasındaki iklim değerdeleri kullanılarak farklı zaman periyotları için (1, 3, 6, 12 ve 24 ay) SPEI değerdeleri hesaplanmıştır. SPEI değerdelerine göre Ege Bölgesi'nin tamamında şiddetli ve ekstrem kuraklıklar gözlemlendiğı, özellikle 1989, 1993, 2007, 2008, 2011 ve 2012 yıllarında kuraklık olaylarının yaşandığı, 2007 ve 2008 yıllarında ise aşırı kuraklıkların tespit edildiğı ifade edilmiştir. Sonuç olarak SPEI indeksinin, kuraklık riskine karşı tarımsal üretim ve su kaynaklarının planlanmasında ve sosyo-ekonomik etkilerin en aza indirilmesinde karar vericilere önemli bilgiler sağladığı vurgulanmıştır.

Geyikli (2023) yaptığı tez çalışmasında Yeşilırmak, Kızılırmak ve Konya Kapalı havzalarının kuraklık durumunu 38 meteoroloji istasyonuna ait verileri kullanarak SPI, RDI, SPEI ve SRI indeksleriyle değerdendirmiştir. Kuraklık indeksleri en uygun dağılıma göre hesaplanmış ve farklı zaman periyotlarında değerdendirilmiştir. Ayrıca çalışmada istasyonlar arasındaki kuraklık ilişki korelasyon analizi ile değerdendirilmiştir. Havzanın kuraklık dağılımı IDW yöntemi, kuraklık eğilimi ITA yöntemi ile incelenmiştir.

Şimşek ve ark., (2024), tarafından Türkiye'nin kuzeyinde Karadeniz bölgesinde meydana gelen meteorolojik kuraklık 3, 6 ve 12 aylık zaman periyotlarında SPI ve RDI

yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Çalışma alanında en fazla yağış alan iki istasyonda tüm zaman ölçeklerinde kuraklık meydana gelme yüzdesinin %50'nin üzerinde olduğu, bölge genelinde aşırı kuraklık ve şiddetli kuraklık değerlerinin toplamı tüm alan için yaklaşık %15 olduğu ifade edilmiştir. Genel olarak yağışlı bir bölge olan Karadeniz bölgesinde meteorolojik kuraklığın değerlendirilmesinde SPI ve RDI yöntemleri arasında 3, 6 ve 12 aylık zaman periyotlarının herbiri için yüksek korelasyon katsayısı saptanmıştır.

Menevşe (2024) yaptığı tez çalışmasında Fırat-Dicle Havzası'nda kuraklığı SPEI indeksi ile değerlendirmiştir. SPEI indeksinin hesaplamasında literatürde kabul gören log-lojistik dağılım dışındaki dağılımların ve parametre tahmin yöntemlerinin etkisini incelemiştir. Sonuçlara göre istasyonların farklı zaman periyotları için (3, 6, 9, 12 ve 24) en uygun teorik olasılık dağılımlarının çoğunlukla Genelleştirilmiş Log-logistik (GLOG), Weibull ve Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GEV) olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulardan yola çıkarak tek bir dağılım biçimine bağlı kalarak SPEI tahmininde bulunmanın güvenilir kuraklık analizi açısından risk oluşturacağı vurgulanmıştır.

Sosa ve ark., (2025), Arjantin'in Pampas bölgesinde yağışa bağlı mısır ürününün yıllık veriminin beş farklı kuraklık indeksi (SPI, SPEI, SPAEI, Standartlaştırılmış Toprak Nem İndeksi (SSMI), Standartlaştırılmış Buharlaşma Açığı İndeksi (SEDI) kullanarak 1 ila 12 ay arasındaki farklı zaman periyotlarında verdiği tepkiyi analiz etmişlerdir. Sonuçlara göre, SEDI ve SPEI'nin mısır verimi ile en yüksek korelasyonu gösterdiğini, ardından SPI'nin geldiğini, SPAEI'nin ise en düşük korelasyonu sergilediğini ifade etmişlerdir. SEDI ve SPEI'nin daha güçlü korelasyonlar sergilemesinin, bu indekslerin hesaplamalarına atmosferik buharlaşma talebinin dahil edilmesiyle ilişkilendirilmiştir. Bu durum, kuraklık etkilerini belirleyen tek meteorolojik faktörün yağış olmadığını, bu nedenle bitkiler üzerindeki stresi artıran sıcaklık ve hava nemi gibi faktörleri de dikkate alan indekslerin kullanılmasının önemli olduğu vurgulanmıştır.

2.2 Uydu Tabanlı Kuraklık İndeksleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Zarei ve ark., (2013), İran'da 1997-2005 (Mart-Temmuz) dönemi için kuraklığın izlenmesi amacıyla uydu tabanlı NDVI, VCI, TCI, VHI ve meteorolojik tabanlı SPI indeksi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, uydu tabanlı indeksler

arasında yüksek düzeyde korelasyonlar bulunurken, uydu indeksleri ile SPI arasında daha düşük düzeyde veya anlamlı bir ilişki bulunmadığı belirtilmiştir. Kurak, normal ve yağışlı yıllarda TCI ve VHI ile VCI ve VHI arasında yüksek korelasyonlar olduğu tespit edilmiştir (0.662 - 0.813). Uzaktan algılama tabanlı kuraklık indeksleri ve SPI indeksine göre, 2002-2005 yılları arasında bölgenin büyük bir kısmının normal koşullar yaşadığı belirlenmiştir.

Wang ve ark., (2014), yaptıkları çalışmada 2001-2010 yılları arasında Güneybatı Çin’de uzaktan algılama tabanlı kuraklık izleme (VHI) ile meteorolojik tabanlı kuraklık izleme (SPI) arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir. Kuraklık başlangıcında VHI (< 50) değerinin zayıf olduğu, kuraklık şiddetlendikçe VHI değerinde tutarlı ve belirgin bir tepki (< 30) tespit edildiği ifade edilmiştir. VHI ile 3 aylık SPI arasındaki en yüksek korelasyon tarım alanlarında gözlemlenirken, VHI ile 6 aylık SPI arasındaki en yüksek korelasyon ormanlık alanlarda gözlemlendiği belirtilmiştir. SPI ve VHI kuraklık indekslerinin, Güneybatı Çin’deki kuraklık döneminde iyi bir mekânsal ve zamansal uyumluluk gösterdiği vurgulanmıştır.

Molavizadeh ve ark., (2016), Ocak 2004 - Aralık 2013 dönemi boyunca Türkiye’nin kuraklık koşullarını analiz etmek amacıyla uydu tabanlı TCI, VCI ve VHI indekslerini kullanmışlardır. İndekslerin sonuçlarına göre, 2007-2008 ve 2013 yıllarında bölgede ciddi bir meteorolojik kuraklık yaşandığını ve bu süreçte tarımsal kuraklık ve hidrolik kuraklığında geliştiği ifade edilmiştir.

Amalo ve ark., (2017), Doğu Cava’da kuraklığı izlemek amacıyla TCI, VCI ve VHI gibi uzaktan algılama tabanlı kuraklık indekslerini karşılaştırarak her bir indeks arasındaki farklılıkları ve uygulama alanlarını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre her bir indeksin kuraklık izleme için yararlı, hızlı, yeterli ve düşük maliyetli birer araç olduğunu ancak herbirinin kendine özgü farklılıkları bulunduğunu ifade etmişlerdir. TCI indeksinin, yüksek sıcaklıkların yaşandığı kurak mevsimlerde veya aylarda kuraklığı hassas bir şekilde tespit edebildiği, VCI indeksinin ise TCI ve VHI’ye kıyasla yağışlı mevsimlerde (Aralık-Ocak-Şubat-Mayıs) kuraklığı daha hassas bir şekilde tespit edebildiği, TCI ve VCI’nın birleşimi olan VHI indeksinin de, iki göstergenin entegrasyonu sayesinde kuraklık olaylarını daha kapsamlı açıkladığı belirtilmiştir.

Wang ve ark., (2018), yaptıkları çalışmada beş farklı uydu tabanlı kuraklık indeksi (VCI, TCI, VHI, Modifiye Sıcaklık Bitki Örtüsü Kuraklık İndeksi (MTVDI), Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Su Sağlama İndeksi (NVSWI)) ile meteorolojik tabanlı SPEI indeksini karşılaştırmışlardır. Uydu tabanlı indekslerin, SPEI ile tutarlı olarak, kış hariç, çalışma alanı genelinde azalan bir kuraklık eğilimini ortaya koyduğunu ve mevsimsel eğilimlerin mekânsal olarak farklı değişimler gösterdiği ifade edilmiştir. Bahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde en uygun uydu tabanlı indekslerin sırasıyla VHI, TCI, MTVDI ve VCI olduğu ve bu indeksler ile SPEI indeksi arasındaki ortalama korelasyon katsayısının 0.577 olduğu tespit edilmiştir.

Qu ve ark., (2019), Afrika Boynuzu (HOA) olarak bilinen bölgedeki (Cibuti, Eritre, Etiyopya ve Somali dahil) 2000-2017 yılları arasındaki aşırı kuraklık olaylarını VCI, TCI ve VHI indeksleri ile değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçların, son on yıllarda bitki örtüsünün ciddi strese maruz kaldığını ve aşırı kuraklığın şiddetini artırdığını ifade etmişlerdir. 1998-2017 yılları arasında, büyüme sezonları boyunca aylık yağış miktarında önemli bir azalma meydana geldiğini, 2001-2017 yılları arasında TCI ve VHI eğilimlerinde önemli azalmanın gözlemlendiği ve bu durumun HOA'daki ekili arazilerin kuraklık koşulları nedeniyle bozulduğunu gösterdiği belirtilmiştir.

Shahzaman ve ark. (2021) Afganistan, Pakistan, Hindistan ve Bangladeş'te 2002–2019 yılları arasında uzaktan algılama verilerini kullanarak tarımsal kuraklık değerlendirmesi için VHI, Buharlaştırma Stresi İndeksi (ESI), Güçlendirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI) ve Standart Sapma İndeks (SAI) 'lerinin performansını incelemişlerdir. Her bir indeks için mekansal haritalar oluşturulmuş ve 2002 yılının diğer yıllara kıyasla şiddetli tarımsal kuraklık gösterdiği belirtilmiştir. Sonuçlara göre Pakistan'ın güneydoğusu ile Hindistan ve Afganistan'ın kuzey, kuzeybatı ve güneybatı bölgelerinin kuraklıktan önemli ölçüde etkilendiğini; Bangladeş'te 2002 yılında kuzeydoğu ve kuzeybatı bölgelerinde önemli bir kuraklık yaşandığı saptanmıştır. Yapılan bu çalışmada, ESI indeksinin hızlı ve daha yüksek duyarlılıkla tarımsal kuraklık göstergesi olarak iyi bir performans sergilediğini ve bu nedenle VHI, EVI ve SAI bitki örtüsü indekslerine göre daha avantajlı olduğu belirtilmiştir.

Gümüş ve ark., (2023), Ergene Havzası'nın 2001-2020 yılları arasındaki (Mayıs-Ekim dönemi) kuraklık analizini uydu tabanlı kuraklık indekslerinden (TCI, VCI, VHI, SMA)

türetilen Birleşik Kuraklık İndeksi (CDI) ve meteorolojik tabanlı SPI ve SPEI indeksleriyle gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara göre Ergene Havzası'nda en az 1 ay süren kuraklık olaylarının meydana geldiği ve en yağışlı ayın Mayıs, en kurak ayın ise Eylül olarak belirlendiği ifade edilmiştir. CDI indeksinin, 3- ve 6- aylık zaman periyotlarındaki SPI ve SPEI indekslerine kıyasla 1 aylık zaman periyodunda daha güçlü korelasyon sergilediği ayrıca CDI ile mahsul verimi arasında 0.79 gibi güçlü bir korelasyon tespit edildiği belirtilmiştir. Sonuç olarak, CDI indeksinin Ergene Havzası için kuraklığın olumsuz etkilerini hafifletmeye yardımcı olabilecek etkili kuraklık izleme ve yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği vurgulanmıştır.

Gümüş ve Durduran (2023) Beyşehir-Kaşaklı Alt Havzası'nın 35 yıllık dönemdeki (1984-2018) kuraklık analizini uzaktan algılama teknikleri kullanarak gerçekleştirmişlerdir. VHI ile değerlendirilen kuraklık kategorilerine göre, Beyşehir ve çevresi ile tüm havza en yüksek kuraklığı 1985, 2000 ve 2006 yıllarında, Seydişehir ve çevresi için ise en yüksek kurak yılların 1985, 1996 ve 2000 yılları olduğu saptanmıştır. Ayrıca, farklı yıllara ait VHI sonuçlarını varyans analizi ile değerlendirmişlerdir. Varyans analiz sonucuna göre farklı yıllara ait VHI değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edildiği belirtilmiştir.

Hang ve ark., (2024), Çin'deki Sarı Nehir Havzası'nın kurak koşullarını tespit etmek amacıyla VCI ve TCI indekslerini optimize ederek optimal VHI (VHI_{opt}) indeksini geliştirmişlerdir. Çalışmada VHI_{opt} indeksi, Toprak Nem Anomalisi (SMA) ve SPEI indeksleri ile karşılaştırılarak performansı değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre VCI'nin VHI'ye olan optimal katkısının TCI'ya göre daha düşük olduğunu, VHI_{opt} ormanlar, otlaklar, tarım arazileri ve diğer bitki örtüsü türlerinde kuraklık izleme başarısı, orijinal VHI ile karşılaştırıldığında daha yüksek olmuştur. Genel olarak çalışmanın bulguları değerlendirildiğinde, VHI_{opt} 'nin Sarı Nehir Havzası'nın özgül iklim ve bitki örtüsü koşullarına daha uygun olduğu ve bu bölgedeki tarımsal kuraklık izleme etkinliğini artırdığı vurgulanmıştır.

Nadabi ve ark., (2024), yaptıkları çalışmada 2001-2023 yılları arasında uydu tabanlı VCI, TCI, VHI kuraklık indeksleriyle tarımsal kuraklığın izlenmesi ve Kuraklık Tehlike İndeksi (DHI) kullanılarak kuraklık risklerinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. TCI sonuçlarının çalışma dönemi boyunca zamansal varyasyonlar sergilediği ve 2014-2023

yılları arasında sıcaklıklarda artan bir eğilim olduğu belirtilmiştir. VCI endeksine göre, 2001, 2003, 2006, 2008-2023 yıllarının, hafif kuraklık koşullarıyla karakterize edildiği ve 2005 ve 2007 hariç, incelenen tüm yılların VHI endeksine göre orta düzeyde kuraklık yılı olarak sınıflandırıldığı ifade edilmiştir. Pearson korelasyon katsayısı analizi ile kuraklık indeksleri arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve VHI ile VCI arasında yüksek bir pozitif korelasyon (0.829 , $p < 0.01$) bulunduğu bildirilmiştir. DHI indeksi sonucuna göre ise mekansal analiz temel alındığında, çalışma alanının kuzey bölgelerinin en şiddetli kuraklık tehlikeleriyle karşı karşıya olduğu vurgulanmıştır.

Gül (2024) yaptığı çalışmada Türkiye'nin tarımsal kuraklık durumunu VCI, TCI ve VHI gibi uydu tabanlı kuraklık indekslerini kullanarak değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yakın geçmiş dönem (2018-2021) ve geçmiş dönem (2002, 2005, 2010, 2015 yılları) için Temmuz ve Ocak ayları karşılaştırıldığında, ocak ayında yaygın ve şiddetli kuraklıkların tespit edildiği belirtilmiştir. Tarımsal kuraklığın değerlendirildiği çalışmalarda VHI indeksinin kullanılması, tarımsal kuraklığın izlenmesine katkı sağlayacağı ve kuraklık risk değerlendirmelerinin yapılmasına da olanak sunacağı ifade edilmiştir.

Alqadhi ve ark., (2025), yaptıkları çalışmada Suudi Arabistan genelinde 2004-2021 yılları arasında kuraklık süreçlerini ve bitki örtüsü stresinin ayrıntılı bir değerlendirmesini sunmuşlardır. Çalışmada kuraklık analizi için SPEI, TCI ve VCI gibi uydu tabanlı ve meteorolojik tabanlı indeksler birbirine entegre edilerek geliştirilen VHI indeksi kullanılmıştır. Sonuçların, özellikle 2014-2018 yılları arasında aşırı kuraklıkların arttığını ve belirgin iklim değişkenliklerinin yaşandığı ifade edilmiştir. Mekânsal eğilim analizinin ise Suudi Arabistan'ın güney ve merkezi bölgelerindeki bitki örtüsünün, tekrarlayan kuraklık ve artan sıcaklık nedeniyle sürekli stres altında olduğu belirtilmiştir.

2.3 Kuraklığın Zamansal ve Mekansal Analizi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Tomas ve ark., (2015), Hindistan'ın Bundelkhand bölgesindeki kuraklık senaryosunun mekânsal ve zamansal değişimlerini SPI indeksini kullanarak 3, 6 ve 12 aylık zaman periyotları için incelemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, Bundelkhand bölgesinde son on yılda kuraklıkların sıklığının ve şiddetinin arttığı, kuraklık olaylarının 3 ila 5 yılda bir değişkenlik gösterdiğini belirlemişlerdir. İklim değişkenlerinin eğilim analizini

incelemek amacıyla parametrik olmayan Mann-Kendall testi uygulanmış ve son birkaç on yılda düzenli kuraklık olaylarının meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bölgedeki birçok alt bölgede 3 aylık SPI için %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı düşüş eğilimlerinin tespit edildiği, bu durumun, başlıca yağış ayları olan Temmuz, Ağustos ve Eylül'de kuraklık şiddetinin arttığını gösterdiği belirtilmiştir.

Golian ve ark., (2015), İran'da farklı iklim koşullarına sahip birkaç alt bölgede 1980-2013 yılları arasındaki meteorolojik ve tarımsal kuraklıkların özelliklerini ve eğilimlerini araştırmışlardır. Çalışmada meteorolojik ve tarımsal kuraklığın birleşik bir modelini sağlayan Çok Değişkenli Standartlaştırılmış Kuraklık İndeksi'ni (MSDI) kullanarak geçmişte yaşanan kuraklıkları Mann-Kendall testi ile değerlendirmişlerdir. Test sonuçlarına göre İran'ın kuzey, kuzeybatı ve merkezi bölgelerinde %95 güven düzeyinde önemli bir kuraklık eğilimi tespit edildiği ancak doğu kesiminde istatistiksel olarak anlamlı bir kuraklık eğilimi gözlemlenmediği ifade edilmiştir.

Mustafa ve Rahman (2018) Ürdün'de uzun yağış verilerine dayalı olarak hesaplanan SPI indeksi ile kuraklığın eğilim ve şiddetini değerlendirmişler ve yağış parametresinin mekânsal ve zamansal değişkenliğini araştırmışlardır. Kısa ve uzun vadeli kuraklık olaylarını değerlendirmek için SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 hesaplamışlar, ayrıca çalışma bölgesindeki kuraklık eğilimini belirlemek için Mann-Kendall ve doğrusal regresyon testleri uygulamışlardır. Her zaman ölçeğinde ve her meteoroloji istasyonunda farklı süre ve şiddette kuraklık olaylarının tespit edildiği, SPI sonuçlarına göre Ürdün'de kuraklık sıklığının arttığını ve her 2 ila 3 yılda bir kuraklık yaşanma olasılığının yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuç olarak Ürdün'de kuraklık eğiliminin arttığını ve yağış miktarının giderek azalması nedeniyle gelecekte bu durumun daha da kötüleşeceğini belirtmişlerdir.

Ye ve ark., (2019), Çin'in Kuzeydoğusu'ndaki kuraklığın mekânsal ve zamansal özelliklerini anlamak amacıyla kuraklık indeksinin hesaplanmasında kullanılan yağış ve sıcaklık parametreleri ile SPEI kuraklık indeksinin eğilimini değerlendirmişlerdir. Zamansal ve mekânsal kuraklık modellerini Trendsizleştirilmiş Ön-Beyazlaştırma Mann-Kendall testi ile analiz etmişlerdir. Sonuçlara göre, yağışta artış eğilimlerinin ağırlıklı olarak Heilongjiang ve Jilin eyaletlerinde tespit edilmiş, ancak bu eğilimlerin çoğunun istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Öte yandan sıcaklıkta artış eğilimleri Çin'in kuzeydoğusunda gözlemlenmiş olup, büyük çoğunluğunun istatistiksel olarak

anlamalı olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık eğilimlerinin Heilongjiang eyaletinde ve Jilin eyaletinin bazı sınır bölgelerinde azaldığı görülürken, Liaoning eyaletinde ve Jilin eyaletinin bazı sınır bölgelerinde ise artış eğilimleri tespit edilmiştir.

Rahman ve ark., (2021), Pakistan'ın Khyber Pakhtunkhwa bölgesinde kurak ve nemli dönemleri değerlendirmek amacıyla yağıştaki mekânsal ve zamansal dalgalanmaları analiz etmişlerdir. Yağıştaki zamansal değişimler doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak değerlendirilirken, kurak ve nemli dönemler SPEI indeksi kullanılarak belirlenmiştir. SPEI indeksinin 1 ve 12 aylık değerlerinin zamansal eğilimlerini belirlemek için Spearman'ın Rho (SR) testi kullanılmıştır. Regresyon analizi sonuçlarına göre, Balakot, Kakul ve Dir bölgelerinde yağış miktarının azaldığı, ancak Parachinar ve Cherat gibi eyaletlerin güney kesimlerinde yağış miktarının arttığı tespit edilmiştir. SR testi sonuçlarına göre ise, batıda yer alan Parachinar meteoroloji istasyonunda belirgin bir nemlilik eğilimi olduğu, ancak çalışma alanının kuzeydoğusundaki Balakot istasyonunda belirgin bir kuraklık eğilimi saptandığı belirtilmiştir.

Katipoğlu ve ark., (2021), Türkiye'nin Fırat Havzası'ndaki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların zamansal-mekansal analizi için kriging, ışımsal tabanlı fonksiyon (RBF) ve ters mesafe ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada aylık, üç aylık ve 12 aylık zaman dilimlerinde kuraklık indeksleri hesaplanmış ve en şiddetli kuraklıkların yaşandığı yıllar için kuraklıkların mekânsal ve zamansal dağılımlarını belirlemişlerdir. Sonuçlara göre, aylık ve üç aylık periyotlarda özellikle havzanın kuzey kesiminde olmak üzere, havzanın büyük bir bölümünde şiddetli ve aşırı kuraklıkların meydana gelmesi nedeniyle meteorolojik kuraklık riski altında olduğu tespit edilmiştir. 12 aylık dönemde ise özellikle güney kesimlerde meydana gelen şiddetli ve aşırı kuraklıklar nedeniyle havzanın büyük bir bölümünün hidrolojik kuraklık riski altında olduğu belirlenmiştir.

Gümüş ve ark., (2021), Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) bölgesinde kuraklığın zamansal ve mekansal değişimini ele aldıkları çalışmada SPI kuraklık indeksini farklı zaman periyotları (SPI-3, SPI-6, SPI-12) için hesaplamışlardır. Kuraklık indekslerinin monoton eğilimlerini ve başlangıç yılını belirlemek için parametrik olmayan Mann–Kendall ve Mann–Kendall Sıralı Korelasyon testleri uygulanmıştır. Eğilimlerin büyüklükleri Şen'in Eğim yöntemiyle belirlenmiş ve mekansal analiz için

Ters Mesafe Ağırlıklı Yöntem (IDW) kullanılmıştır. GAP bölgesinin zamansal kuraklık eğilimlerine göre, 12 aylık SPI değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde istasyonların %30'unda azalan bir eğilim tespit edildiği belirtilmiştir. Mekansal analiz sonuçlarına göre ise, bölgenin büyük bir kısmında neredeyse tüm zaman ölçeklerinde azalan bir eğilim görülmüş ve trend eğimlerinin bölgenin kuzey ve güneyinde nispeten daha yüksek bulunduğu ifade edilmiştir.

Kourouma ve ark., (2022), Etiyopya'da 1983-2020 dönemine ait meteorolojik kuraklığın zamansal mekansal analizini 4 ve 12 aylık zaman periyotlarında SPI ve SPEI indekslerini kullanarak incelemiştir. İncelenen dönem boyunca, 12 aylık zaman ölçeğinde 2015 ve 2019 yıllarının ülke genelinde en aşırı kuraklıkların yaşandığı yıllar olarak kaydedildiği, en uzun süren kuraklık olayının 2015 yılında 12 ay boyunca devam ettiği bildirilmiştir. Etiyopya kuraklığa yatkın bir ülke olmasına rağmen, kuraklığın sıklığı, büyüklüğü ve şiddetinin bölgelere göre mekânsal olarak değişim gösterdiği ifade edilmiştir.

Soylu Pekpostalıcı ve ark., (2023), Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'ndeki meteorolojik kuraklığın eğilim analizini gerçekleştirdikleri çalışmada ilk olarak 35 meteoroloji istasyonundan 1971–2021 yılları arasındaki uzun dönemli gözlemlenen yağış verilerini kullanarak bölgeyi bulanık kümeleme yöntemi ile sınıflandırmış ve 3, 6 ve 12 aylık periyotlar için SPI (SPI-3, SPI-6, SPI-12) değerlerini hesaplamışlardır. SPI'daki mekansal ve zamansal değişiklikler, çalışma alanında genellikle orta kurak olayların yaşandığını, ancak çalışma dönemi boyunca önemli sayıda şiddetli ve aşırı kurak olaylarında meydana geldiğini göstermiştir. Bulanık kümeleme yöntemi ile Akdeniz bölgesi üç sınıfa ayrılmış ve tüm sınıflarda ITA sonuçlarında 1995 yılından itibaren orta kurak, şiddetli kurak ve aşırı kurak olayların sayısının arttığı tespit edilmiştir.

Yüce ve ark., (2023), Türkiye'nin Yeşilirmak Havzası'nda 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotları için ortalama aylık akım verilerini kullanarak Akarsu Kuraklık İndeksini (SDI) hesaplamışlar ve havzanın hidrolojik kuraklığının zamansal ve mekansal analizini gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara göre nemli kategorilerin kuraklık kategorilerinden daha fazla olduğu, en baskın kuraklık sınıfının hafif kuraklık sınıfı olduğu, kuraklık şiddeti ve süresi değerlendirildiğinde en uzun süren kuraklığın SDI-9 ölçeğinde 1997-2009 yılları arasında, en şiddetli kuraklığın ise SDI-12 ölçeğinde 2001-2009 yılları arasında gerçekleştiği belirtilmiştir. IDW analiz sonucuna göre havzanın farklı bölgelerinin

zamansal ölçeğe bağlı olarak farklı şekillerde kuraklıktan etkilendiği, ITA sonucuna göre ise tüm zaman periyotlarında genel olarak bir eğilimin mevcut olduğu ve bu eğilimlerin çoğunluğunun azalma yönünde bir karakteristik gösterdiği ifade edilmiştir.

Gümüş ve ark., (2023), yaptıkları çalışmada ilk olarak Türkiye'nin Dicle havzasında bulunan sekiz meteoroloji gözlem istasyonuna ait 1965-2020 yılları arasında yağış verilerini kullanarak SPI indeksini hesaplamışlardır. Tarihsel kuraklığı değerlendirmek amacıyla çalışma zaman aralığı 1965–1983, birinci dönem (FP); 1983–2001, ikinci dönem (SP); ve 2001–2020, üçüncü dönem (TP) olarak ayrılmıştır. Kuraklık indeksi değerlerinin eğilimlerini yenilikçi trend analizi (ITA) yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Havzadaki en yüksek kuraklık indeksi ortalama değerinin, tüm zaman ölçekleri için FP'den TP'ye doğru önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir. SPI-3 değerlerinin eğilim analizi sonuçları, havzada azalan eğilim gösteren istasyon sayısının geçmişten günümüze arttığını, SPI-6 ve SPI-12'de neredeyse tüm kuraklık sınıflarında (kurak veya nemli) azalan eğilim gösteren istasyon sayısında dikkate değer bir artış gözlemlendiği ifade edilmiştir.

Soni ve Joshi (2024) Hindistan'ın yarı kurak Kuzey Gujarat bölgesinde kısa süreli (SPI-6) meteorolojik kuraklığın mekansal ve zamansal değişkenliğini, SPI ve parametrik olmayan eğilim testleri kullanarak analiz etmişlerdir. Bölgede ortalama SPI-6 değerlerine dayalı olarak, 1985-1987 ve 1999-2002 dönemlerinin şiddetli kurak dönemler olarak gözlemlendiği ve 1987 yılının -4.24 SPI-6 değeriyle aşırı kurak yıl olarak belirlendiği ifade edilmiştir. SPI-6 değerlerinin eğilim analizi sonuçlarına göre ise, grid noktalarının yaklaşık %17'sinde kuraklık eğiliminin tespit edildiği, grid noktalarının yaklaşık %83'ünde yağışlı dönemlere işaret eden eğilimlerin tespit edildiği belirtilmiştir.

Keskin ve ark., (2024), Türkiye'nin Akdeniz kıyı bölgesinde yer alan 11 meteoroloji gözlem istasyonunda 1972-2020 yılları arasında ölçülen yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak, 3, 6 ve 12 aylık zaman periyotlarında üç farklı kuraklık indeksi (SPI, SPEI, RDI) hesaplamışlardır. İlk olarak kuraklık indeksi zaman serilerindeki ani değişiklikleri tespit etmek için iki mutlak homojenlik testi uygulanmıştır (Standart Normal Homojenlik Testi, SNHT; Pettitt testi). Daha sonra, bölgedeki kuraklığın zamansal değişimini belirlemek amacıyla yenilikçi trend analizi (ITA) ve geliştirilmiş ITA görselleştirme yöntemini (IV-ITA) kullanmışlardır. SNHT ve Pettitt testi sonuçlarına göre, tüm

indekslerin sırasıyla %91,92'sinde ve %85,86'sında %5 anlamlılık seviyesinde önemli değişim noktaları tespit edildiği belirtilmiştir. Aşırı koşullar (aşırı kurak ve aşırı nemli) arasındaki eğilim farkları, zaman periyotları arttıkça belirgin bir şekilde azalmıştır. ITA eğilimleri 3 aylık zaman periyotlarında neredeyse aynı olup, zaman periyodu arttıkça farklılaşmaya başladığı ifade edilmiştir.

2.4 Kuraklık Yayılım Durumu İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Huang ve ark., (2017), tarafından Çin'de kurak ve yarı kurak bir bölge olan Wei Nehri Havzası'nda meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkları karakterize etmek için sırasıyla SPI ve Standartlaştırılmış Akış İndeksi (SSI) kullanılmıştır. Hidrolojik ve meteorolojik kuraklıklar arasındaki korelasyonları incelemek için çapraz dalga analizi uygulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa olan yayılım süresinin ilkbahar ve yaz aylarında kısa, sonbahar ve kış aylarında ise uzun olduğu, hidrolojik ve meteorolojik kuraklıkların hem uzun hem de kısa zaman ölçeklerinde istatistiksel olarak pozitif ilişkiler gösterdiği ve gerçek buharlaşmanın meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa olan yayılım süresini önemli ölçüde etkilediği ifade edilmiştir.

Bento ve ark., (2018), yaptıkları çalışmada VCI, TCI, VHI indeksleri ile SPEI indeksi arasındaki kuraklık yayılım ilişkisini incelemişlerdir. VCI-SPEI ve TCI-SPEI arasındaki korelasyon sonuçları, VCI ve TCI'nin vejetasyon sağlığına olan göreceli katkılarının vejetasyon örtüsüne bağlı olduğunu gösterdiği ifade edilmiştir. Kuraklık etkisi, yarı kurak iklim sınıflarında VCI üzerinde daha belirgin olurken, daha nemli iklim sınıflarında ise TCI üzerinde daha belirgin olmuştur.

Sattar ve ark., (2019), meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa yayılım durumunu inceledikleri çalışmada, yayılım oranının %27 ile %60 arasında değiştiğini ve gecikme süresinin maksimum 4 ila 10 hafta arasında öngörüldüğü sonucuna ulaşıldığı bildirilmiştir. Orta şiddetteki meteorolojik kuraklık için gecikme süresinin oluşma olasılığının yüksek olduğu, şiddet seviyesi aşırıya doğru değiştikçe azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, her bir hidrolojik kuraklık şiddeti sınıfının olasılığı mekânsal olarak değişmekte

ve yayılmış meteorolojik kuraklık şiddeti orta düzeyden aşırı düzeye ilerledikçe arttığı ifade edilmiştir.

Behrang Manesh ve ark., (2019), İran için 2000-2017 yılları arasında tarımsal kuraklık ile meteorolojik kuraklık arasındaki bağlantıyı araştırmışlardır. Tarımsal kuraklığı uydu tabanlı VHI indeksi ile meteorolojik kuraklığı ise SPEI indeksi ile değerlendirmişlerdir. İki indeks arasındaki ilişkiyi Pearson korelasyon katsayısı ve doğrusal regresyon yöntemleri ile tespit etmişlerdir. Sonuçlara göre korelasyonun, sıcaklık arttıkça arttığını belirtmişlerdir. Bu artışın kuru ve aşırı kuru iklimlerde meydana geldiği ve sıcaklık arttıkça VHI ile SPEI-12 için doğrusal regresyon eğiminin arttığı ifade edilmiştir. Sonuç olarak SPEI-12 ile VHI arasında en yüksek korelasyonun ve en yüksek eğim etkisinin Haziran ayında kuru iklim sınıfında gerçekleştiği sonucuna varıldığı bildirilmiştir.

Bae ve ark., (2019), meteorolojik kuraklığın tarımsal ve hidrolojik kuraklıklara yayılımını araştırmak amacıyla, Güney Kore'de 1998-2015 yılları arasında gözlenen yağış ve tarımsal rezervuar ve baraj depolama seviyeleri kullanarak kuraklıklar arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir. Farklı kuraklık türleri arasındaki ilişkiye bakıldığında, yağışlı sezonda (Haziran-Eylül ayları arasında) yoğun yağış sonrası meydana gelen meteorolojik kuraklıkların genellikle tarımsal veya hidrolik kuraklıklara yol açmadığı tespit edilmiştir. Nisan-Eylül ayları arasında, büyük miktarda sulama suyunun tüketildiği dönemde yağış eksikliği hem meteorolojik hem de tarımsal kuraklıkları tetiklediği, meteorolojik kuraklıklardan kaynaklanan hidrolojik kuraklıklar açısından, kurak dönemdeki (Ekim-Mart ayları arasında) yağış eksikliklerinin yalnızca baraj depolama seviyelerinin düşmesine neden olduğu ifade edilmiştir.

Ding ve ark., (2021), yaptıkları çalışmada Çin'de farklı iklim bölgeleri ve mevsimler arasında birden fazla kuraklık türünün etkileşimini incelemişlerdir. Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığı sırasıyla temsil etmek için SPEI, SRI ve scPDSI indeksleri kullanılmıştır. Farklı kuraklık türleri arasındaki yayılım ilişkisini analiz etmek ve kuraklık yayılımı için en duyarlı mevsimi belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. Genel olarak, tarımsal kuraklıktan hidrolojik kuraklığa olan yayılım ilişkisinin, meteorolojik kuraklıktan tarımsal kuraklığa olan yayılımdan daha zayıf bulunduğu bildirilmiştir. Kuzey Çin'de (kurak ve yarı kurak bölgelerde), yaz ve

sonbahar aylarında tarımsal kuraklıktan hidrolojik kuraklığa daha güçlü bir yayılım ilişkisi gözlemlendiği, ilkbaharda bu ilişkinin daha zayıf olduğu; Doğu Çin’de, Batı Çin’e kıyasla tarımsal kuraklıktan hidrolojik kuraklığa olan yayılımın daha güçlü olduğu ifade edilmiştir. Son olarak tüm iklim bölgelerinde tarımsal kuraklığın en önemli tetikleyici faktörünün toprak nemi (SM) olduğu belirtilmiştir.

Zhang ve ark., (2022), çalışmalarında son on yıllarda kuraklık yayılımı ile ilgili önemli ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen kuraklık yayılımının özellikleri, yaklaşımları, süreçleri ve yayılımı kontrol eden faktörlere dair kapsamlı bir araştırmanın bulunmadığını ifade etmişlerdir. Bu boşluğu kapatmak amacıyla, kuraklık yayılımındaki son gelişmeleri gözden geçirerek karşılaşılan zorlukları ve gelecekteki araştırma yönelimlerini tartışmışlardır. Yapılan incelemeler sonucunda kuraklık yayılımını etkileyen kontrol faktörleri arasında iklim faktörleri (örneğin kuraklık durumu, mevsimsellik ve meteorolojik değişkenlerin anomalileri), havza özellikleri (örneğin eğim, yükseklik, arazi örtüsü, akifer, taban akışı) ve insan faaliyetlerinin (örneğin rezervuar işletimi ve su yönlendirme, sulama ve yeraltı suyu çekimi) yer aldığı belirtilmiştir. Kuraklık yayılımı konusundaki başlıca zorluklar arasında, kuraklık göstergeleri (ve yaklaşımları) arasındaki tutarsızlık, tam yayılım sürecinin karakterize edilmesindeki zorluklar ve etkileyen faktörleri izole etme güçlüğü olduğu ifade edilmiştir.

Dai ve ark., (2022), Çin’de kurak ve yarı kurak bir bölge olan ve aynı zamanda önemli bir tarımsal üretim merkezi olan Wei Nehri Havzası’nda meteorolojik kuraklıktan tarımsal kuraklığa olan mevsimsel dinamik yayılımı ve baskın etkileyici faktörleri incelemişlerdir. Meteorolojik ve tarımsal kuraklık sırasıyla SPI ve Standartlaştırılmış Toprak Nemi İndeksi (SSMI) ile karakterize edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkileri aynı anda dikkate alan koşullu olasılık yönteminin, kuraklık yayılım süresini belirlemek için daha uygun bir yaklaşım olduğu, tüm havza genelinde mevsimsel yayılım süresinin genel olarak kısalmakta olduğu ve artan sıcaklık, azalan toprak nemi ve azalan yağış parametrelerinin yayılım dinamikleri üzerinde güçlü etkilere sahip olduğu, ancak sulama suyu tüketiminin etkisinin nispeten düşük olduğu vurgulanmıştır.

Shi ve ark., (2022), çalışmalarında dünyanın farklı iklim bölgelerinde 1902-2014 yılları arasında meteorolojik kuraklık ve hidrolojik kuraklık özelliklerini analiz etmişler ve farklı

zaman periyotlarında meteorolojik kuraklık ve hidrolojik kuraklık arasındaki maksimum Pearson korelasyon katsayıları (MPCC) hesaplanarak, her iklim bölgesindeki kuraklık yanıt süresini belirlemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre çoğu iklim bölgesinde meteorolojik kuraklık, 1902-1958 yılları arasında yoğunlaşmış ancak 1959-2014 yılları arasında nemlilik eğilimi göstermiştir. Karasal nemli sıcak iklim bölgesindeki kuraklık yanıt ilişkisinin en güçlü, kutup iklim bölgesindeki ilişkinin ise en zayıf olduğu belirtilmiştir. Son olarak dünya genelinde, çeşitli iklim bölgelerindeki kuraklık yanıt süresinin genellikle 5-10 ay arasında olup, bu durumun genellikle iklim tipi ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir.

Li ve ark., (2024), çalışmalarında Çin'deki Sarı Nehir Havzası'nda farklı kuraklık türleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Meteorolojik kuraklığı SPEI, tarımsal kuraklığı SMAI, vejetasyon kuraklığını ise VHI indeksi ile değerlendirmişlerdir. Kuraklık türleri arasındaki ilişkiyi çapraz korelasyon analizi ile test etmişlerdir. Son olarak iklim ve havza karakterinin kuraklık özellikleri ve yayılmaları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Analiz sonuçları, dağlık arazilerin tüm kuraklık türleri için düşük riske sahip olduğunu, orta engebeli arazilerin meteorolojik kuraklık için düşük riske ve tarımsal kuraklık için yüksek riske sahip olduğunu ve ovaların havzada meteorolojik kuraklık için yüksek riske sahip olduğunu göstermiştir. Ovada tüm kuraklık türlerinde yüksek korelasyon ilişkisi bulunurken, dağlık arazilerde ise bu korelasyonun daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Feng ve ark., (2024), yaptıkları çalışmada 1960-2018 yılları arasındaki meteorolojik ve tarımsal kuraklıkları karakterize etmek için SPEI ve SSMI indekslerini kullanmışlardır. Bu kuraklık türleri arasındaki yayılma süresi, Pearson korelasyon analizi ile tespit edilmiştir ve zaman-frekans ölçekleri boyunca bağlantılarını tanımlamak için çapraz dalgacık dönüşümü ve dalgacık çapraz korelasyonu uygulanmıştır. Sonuçların, Kuzeybatı Çin'de tarımsal kuraklığın, meteorolojik kuraklığın ortalama 6 ay gerisinde olduğu ve belirgin mevsimsel ve bölgesel özellikler taşıdığı belirtilmiştir. Meteorolojik ve tarımsal kuraklıklar arasında çoklu zaman periyotlarında bir yanıt bulunduğu, uzun zaman periyotlarında nispeten kararlı ve anlamlı pozitif bir korelasyon görüldüğü, kısa zaman periyotlarında ise korelasyonun daha az belirgin olduğu ifade edilmiştir. Yayılma süresini etkileyen ana faktörlerin toprak nemi, yükselti, yağış ve potansiyel evapotranspirasyon olduğu bildirilmiştir.

Wu ve ark., (2024), yaptıkları çalışmada Çin'in Anhui eyaletinde meteorolojik kuraklıktan tarımsal kuraklığa yayılma sürecini incelemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre meteorolojik kuraklık ile tarımsal kuraklık arasındaki statik yayılma süresinin 1 ile 4 ay arasında değiştiğini ve farklı mevsimlerde hafif farklılıklar gösterdiğini ayrıca, ilkbahar ve yazdaki kuraklık yayılma süresinin, sonbahar ve kıştan belirgin şekilde daha uzun olduğu ifade edilmiştir. Dinamik kuraklık yayılma süresinin ise, Anhui eyaletinde kış, ilkbahar ve yazda azalan bir trend sergilediği, ancak sonbaharda hafif bir artış eğilimi gösterdiği ifade edilmiştir.

Tez çalışmasında literatür taraması yukarıda ifade edildiği gibi dört farklı grupta değerlendirilmiştir. Burada tez çalışmasının bir kısmını oluşturan PDSI yaklaşımının nem değeriyle ilişkilendirilmesini içeren örnek çalışmalara ilişkin açıklamalara yer verilmiştir. Literatürde konuyla ilgili araştırmacılar tarafından çalıştıkları bölge için hesaplanan PDSI değeri, toprak nem değeri ve nem değeri kullanılarak hesaplanan PDSI değeriyle karşılaştırılmıştır. Örnek verilecek olursa; Dai ve ark., (2004), global veri setiyle elde ettikleri PDSI değeriyle bir metre toprak derinliğindeki nem içeriği değeri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu çalışma Illinois (19 istasyon), Çin (43 istasyon), Moğalistan (42 istasyon) ve Eski Sovyetler Birliği (50 istasyon) için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sadece Illinois için PDSI ve toprak nem içeriği değerlerinin yüksek korelasyon ilişkisi sergilediği ifade edilmiştir. Bunun sebebi olarak ise PDSI yaklaşımının ABD'nin orta kesimlerine özgü koşullara göre geliştirilmiş olması gösterilmiştir. Mika ve ark., (2005), Maceristan'ın başkenti Budapeşte'de yürüttükleri çalışmada PDSI indeksinin hesaplanmasında iki önemli adım olduğunu bunların potansiyel evapotranspirasyon yönteminin ve referans bitkinin seçilmesi olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışmada PET ilk olarak Thornthwaite yöntemine göre hesaplanmış ancak Blaney-Criddle yöntemiyle elde edilen PET değerinin daha başarılı sonuç verdiği belirtilmiş ve bundan sonraki adımlarda Blaney-Criddle yöntemi ile hesaplanan PET değeri dikkate alınmıştır. İncelenen bölge için karakteristik bir ürün olan mısır bitkisinin referans bitki olarak seçildiği ifade edilmiştir. PDSI hesaplanmasında kullanılan AWC değeri 150 mm kabul edilmiş ve Palmer (1965)'in geliştirdiği şekilde PDSI indeksi hesaplanmıştır. Daha sonra üst bir metre toprak tabakasındaki toprak nem içeriği değeri kullanılarak tekrar PDSI değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu iki PDSI değerleri arasındaki ilişki korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Palmer (1965)'in

önerdiği yöntemle hesaplanan PDSI değerlerinin toprak nem içeriği değerleri ile hesaplanan PDSI değerleriyle yakından ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Wang ve ark., (2015), Çin’de yaygın olarak kullanılan kuraklık indekslerinin farklı derinliklerdeki (0-100 cm) toprak nemine karşı verdiği tepkiyi incelenmiştir. Çalışmada kuraklık indeksleri çok ölçekli kuraklık indeksi (SPI, SPEI) ve iki katmanlı kova modeli kuraklık indeksi (PDSI, Z) olarak iki kategoride sınıflandırılmıştır. Toprak nem takibi 0-100 cm arasında her 10 cm’de bir ölçüm olacak şekilde yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre SPEI indeksinin hem yüzey katmanında (0-5 cm) hemde en derin katmandaki (90-100 cm) toprak nemiyle, Z indeksinin 0-10 cm katmandaki toprak nemiyle, PDSI indeksinin ise 30-100 cm katmandaki toprak nemiyle yüksek korelasyona sahip olduğu ifade edilmiştir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması Çekerek Nehri Havzası üzerinde yürütülmüştür. Çekerek Nehri Havzası'nda yer alan Tokat- Zile, Çamlıbel, Yeşilyurt, Sulusaray; Yozgat-Çekerek istasyonlarına ait toprak fiziksel özellikleri ve iklim parametreleri (aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık) materyal olarak kullanılmıştır. Ayrıca uydu tabanlı kuraklık indekslerinin hesaplanmasında kullanılan haritalar MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) optik sensörü ve TerraClimate veri tabanından sağlanmıştır. Çalışma alanının iklimsel özelliği, tez çalışmasında kullanılan materyal ve yöntemler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışma alanının iklimsel özelliği

Çekerek Havzası Türkiye'nin orta kesimlerinde yer almakta olup ülkenin büyük su toplama havzalarından Yeşilırmak Havzası'nın önemli bir alt koludur. Coğrafi konum olarak 39° 30' ve 40° 45' Kuzey enlemleri ve 35° 15' ve 36° 15' Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Bu alan yaklaşık 1.165.440 hektar olup, Türkiye'nin toplam alanının yaklaşık %1,5'ini oluşturmaktadır. Havzasının rakımı 600-1300 m arasında değişmektedir. Çekerek Nehri, Çamlıbel ilçesi yakınlarındaki Kızık, Dinar, Çalı ve Kavak tepelerinden çıkan küçük derelerin birleşmesiyle oluşur. Nehir yaklaşık 276 km uzunluğunda olup, Kayabaşı yakınlarında Yeşilırmak'la birleşmektedir.

Çekerek havzası Tokat, Amasya, Sivas, Çorum ve Yozgat illerinin bir kısmını kapsamaktadır. Bu nedenle İç Anadolu ve Karedeniz bölgeleri arasında geçit kuşağında yer almaktadır. Havzada daha çok İç Anadolu bölgesi iklimi hakim olmakla birlikte yazları sıcak ve kurak, kışlar yağışlı ve soğuk geçmektedir. Havza dalgalı topoğrafyaya sahip olup tepeliktir. Tepelerin arasında geniş ve büyük düzlükler yer almaktadır. Geçiş kuşağında yer alması ve Çekerek nehrinin yöredeki faaliyetleri, arazi kullanımı açısından sahanın çeşitlilik göstermesine neden olmaktadır. Havzada arpa, buğday, şeker pancarı, ayçiçeği, baklagil ve meyvecilik faaliyetleri yaygın olarak yapılmaktadır. Ayrıca hayvancılık faaliyetleride yöre halkı için ekonomik olarak önemli katkılar sağlamaktadır.

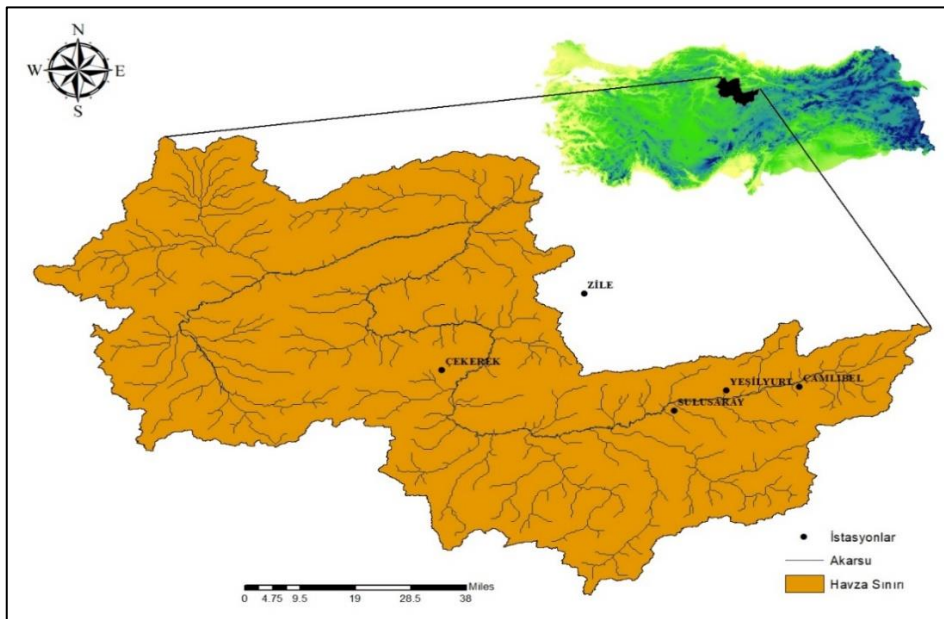
Yörede Çekerek Barajı sulama, enerji üretimi ve taşkın önleme açısından kritik bir yapı olup, özellikle tarım alanlarının sulanmasında önemli rol oynamaktadır.

3.1.2 Lokasyonların belirlenmesi

Tez çalışmasının arazi uygulamaları ve uydu tabanlı kuraklık indekslerin hesaplanmasında kullanılacak haritaların indirilmesi amacıyla Tokat-Zile, Çamlıbel, Yeşilyurt, Sulusaray ve Yozgat-Çekerek ilçelerinde lokasyonlar belirlenmiştir. Tez çalışması sulanmayan (sadece yağışlarla beslenen) buğday tarlalarında yürütülmüştür. Lokasyonlar belirlenirken bu durum dikkate alınmıştır. Belirlenen lokasyonlar hakkında genel bilgiler (enlem, boylam, yükseklik, veri kayıt uzunluğu) Çizelge 3.1’de, lokasyonların havza üzerindeki konumları ise Şekil 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Belirlenen lokasyonlara ait genel bilgiler

İstasyon	Boylam (° 1 ^m)	Enlem (° 1 ^m)	Yükseklik (m)
Çekerek	40° 53' 51 ^m	35° 30' 21 ^m	1100
Çamlıbel	40° 27' 5 ^m	36° 23' 58 ^m	1343
Sulusaray	39° 58' 46 ^m	36° 5' 19 ^m	1025
Yeşilyurt	40° 2' 6 ^m	36° 13' 9 ^m	1141
Zile	40° 17' 51 ^m	35° 51' 54 ^m	719



Şekil 3.1. Belirlenen lokasyonların havza üzerindeki konumları

3.1.3 Meteorolojik verilerin temin edilmesi

Tez çalışmasında kuraklık indekslerinin hesaplanmasında kullanılacak aylık toplam yağış miktarı ve aylık ortalama sıcaklık verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Veriler incelendiğinde eksik verilerin olduğu tespit edilmiştir. Verilere ilişkin bilgiler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çizelgede eksik verilerin olduğu yıllar turuncu punto ile, tam verilerin olduğu yıllar ise yeşil punto ile gösterilmiştir. Analizlere başlamadan önce eksik verilerin tamamlanması için lineer doğrusal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla eksik verisi olan istasyona yakın istasyon veya istasyonlar kullanılmıştır. Çizelge 3.3'te eksik verili istasyonların tamamlanmasında seçilen istasyonlar verilmiştir.

3.1.4 Uzaktan algılama verilerinin temin edilmesi

Tez çalışmasında uydu verileri Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) optik sensörü ve TerraClimate veri tabanı olmak üzere iki farklı şekilde elde edilmiştir. MODIS optik sensörü, VCI ve TCI indekslerine bağlı olarak hesaplanan VHI indeksinin hesaplaması için tercih edilmiştir. TerraClimate veri tabanı ise uydu tabanlı PDSI indeksinin elde edilmesinde kullanılmıştır.

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) optik sensörü

MODIS optik sensörü, 2.330 km genişliğindeki tarama alanı sayesinde Dünya üzerindeki her noktayı 1-2 gün içinde görüntülemektedir. NASA tarafından geliştirilmiş olup 1999 yılında TERRA (EOS AM-1) uydusuyla ve 2002 yılında AQUA (EOS PM-1) uydusuyla uzaya gönderilmiştir. Algılayıcıları 0.4 ile 14.4 µm arasında 36 spektral bantı ölçmekte ve 250 m (Bant 1-2), 500 m (Bant 3-7) ve 1000 m'lik (Bant 8-36) üç mekansal çözünürlükte veri toplamaktadır. Spektral bantlar görünür, yakın kızılötesi (NIR), kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve termal kızılötesi (TIR) bölgelerinde veri toplayarak yüzeyin farklı özelliklerini incelemeye olanak tanımaktadır. Çizelge 3.4'te bazı önemli bantlar ve kullanım alanları verilmiştir. Yüksek zamansal ve spektral çözünürlüğe sahip MODIS uydu verileri kullanılarak bitki örtüsü, arazi kullanımı, yüzey sıcaklıkları gibi kuraklıkla yakından ilişkili pek çok parametre temin edilmektedir. Ayrıca bu parametrelerde meydana gelen değişimlerin zamansal seriler şeklinde işlenmeside mümkündür (Karamzadeh, 2022).

Çizelge 3.2. Aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerine ait bilgiler

İstasyon	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1																																			
2																																			
3																																			
4																																			
5																																			
	Eksik verilerin olduğu yıllar																																		
	Tam verilerin olduğu yıllar																																		

*Not: 1: Çekerek; 2: Çamlıbel; 3: Sulusaray; 4: Yeşilyurt; 5:Zile

Çizelge 3.3. Eksik verisi olan istasyonlar ve bu istasyonlara komşu istasyonlar

Eksik Verisi Olan İstasyonlar	Komşu İstasyon-1	Komşu İstasyon-2	Komşu İstasyon-3
Çekerek	Aydıncık	Zile	Yozgat
Çamlıbel	Tokat	Sivas	Yozgat
Sulusaray	Tokat	Zile	Sivas
Yeşilyurt	Tokat	Zile	Sivas

Çizelge 3.4. Spektral bantların kullanım alanları

Bant	Dalga Boyu (µm)	Çözünürlük (m)	Kullanım Alanı
1-2	0.62-0.87	250	Bitki örtüsü haritalama, arazi kullanım değişimi
3-7	0.47-2.13	500	Su kalitesi, bulut ve aerosoller
8-36	0.41-14.4	1000	Okyanus yüzey sıcaklığı, kar/buz gözlemleri, atmosferik izleme

Tez çalışmasında VHI kuraklık indeksin hesaplanması amacıyla Çizelge 3.5’te özellikleri verilen LST ve NDVI uydu verileri kullanılmıştır. NASA aracılığıyla The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) tarafından sağlanan MODIS verileri hdf (Hierarchical Data Format) formatında ücretsiz olarak yayımlanmaktadır.

Çizelge 3.5. Uydu Verileri ve Teknik Özellikleri

Veri Türü	Veri Seti	Veri Tipi	Veri Aralığı	Zamansal Çözünürlük	Mekansal Çözünürlük
NDVI	MOD13Q1 v061	raster	2000-2024	16- günlük	250 m
LST	MOD11A2 v061	raster	2000-2024	8-günlük	1 km

Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Farkı İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) tarımsal kuraklığın izlenmesinde yaygın olarak kullanılan indekslerden biridir. NDVI indeksinin yaygın olarak kullanılmasının temel nedeni, bitki kök bölgesinde oluşan nem eksikliğinin bitki üzerinde meydana getirdiği stresin yansımalarının elektromanyetik spektrumun kırmızı (RED) ve yakın kızılötesi (NIR) yansımalarında keskin artış göstermesidir. Eşitlik 3.1’de yakınötesi ve kızılötesi bantlar kullanılarak hesaplanan NDVI ilişkisi verilmiştir.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3.1)$$

Eşitlikte verilen NIR yakın kızılötesi yansıma, RED ise görünür kırmızı yansıma olarak tanımlanır. NIR bandının dalga boyu aralığı $0.68 - 0.78 \mu\text{m}$, RED bandının dalga boyu $0.61 - 0.68 \mu\text{m}$ 'dir. NDVI (birimsiz) vejetasyon indeks değerini ifade etmektedir (Tucker 1979). NDVI, -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Yeşil bitki örtüsünün fazla olduğu alanlarda +1 değerine yakın değerler alırken bulutlar, kar, su, çıplak toprak yapısı ve bitki örtüsünün yetersiz olduğu koşullarda -1'e yakın değerler almaktadır (Hatfield ve ark., 1985). Tez çalışmasında kullanılan MOD13Q1 v061 ürünü 250 metre (m) mekansal çözünürlükte her 16 günde bir veri üretmektedir. MOD13Q1 ürünü, Normalize NDVI ve Gelişmiş Bitki Örtüsü İndisi (Enhanced Vegetation Index -EVI) olmak üzere iki bitki örtüsü indeksi sağlamaktadır. NDVI indeksi sağlıklı bitki örtüsünün varlığına ve yoğunluğuna işaret ederken, EVI indeksi ise yoğun biyokütle bölgeleri için gelişmiş hassasiyeti içermektedir (Anonim, 2025a).

Arazi Yüzey Sıcaklık İndeksi (Land Surface Temperature-LST) ise dünya yüzeyinin ışımsal enerji dengesinin değerlendirilmesi açısından önemli bir parametredir (Hulley ve ark., 2019). LST, yüzeyden yayılan uzun dalga radyasyonuna karşılık gelmektedir. Ayrıca yüzey ile atmosfer arasındaki duyulur (Hall ve ark., 1992; Sun ve Mahrt, 1995) ve gizli (Sellers ve ark., 1997; van der Hurk ve ark., 2000) ısı akışlarının yönlendirilmesinde önemli rol oynamakta (Trigo ve ark., 2008) ve bu nedenle kuraklık izleme, toprak nemi tahmini ve buharlaşma-terleme tahminleri için arazi yüzey modellerine temel bir girdi olarak kullanılmaktadır (Anderson ve ark., 2011; Semmens ve ark., 2016). Tez çalışmasında kullanılan MOD11A2 v06.1 ürünü, 1.200×1.200 kilometrelik bir ızgara üzerinde 1 km mekânsal çözünürlükte ortalama 8 günlük piksel başına Arazi Yüzey Sıcaklığı ve Emisyon (LST&E) verisi sağlamaktadır. MOD11A2'deki her piksel değeri, bu 8 günlük dönemde toplanan tüm ilgili MOD11A1 LST piksellerinin basit bir ortalamasını ifade etmektedir. 8 günlük kompozit süre, hem uzamsal hem de zamansal olarak tutarlı ve güvenilir veriler elde edebilmek amacıyla seçilmektedir. Bu sürenin belirlenmesinde, MODIS sensörlerini taşıyan Terra ve Aqua uydularının yer gözlem sıklıkları önemli bir rol oynamaktadır. Terra uydusu sabah saatlerinde, Aqua ise öğleden sonra geçiş yaparak Dünya yüzeyini günde iki kez taramaktadır. Ancak, her iki uydunun belirli bir bölgeyi aynı açıyla tekrar gözlemleme sıklığı, yani yer izi tekrar periyodu, yaklaşık 16 gündür. Bu nedenle, 8 günlük bir

kompozit periyot, Terra ve Aqua uydularının yer izi tekrar döngüsünün yarısını temsil etmektedir (Anonim, 2025b).

LST verilerini hesaplamak için yaygın olarak Eşitlik 3.2’de verilen bölünmüş pencere algoritması (split-window algorithm) (Wan ve Dozier, 1996) kullanılmaktadır.

$$LST (K) = b_0 + \left(b_1 + b_2 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + b_3 \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_i + T_j}{2} + \left(b_4 + b_5 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + b_6 \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_i - T_j}{2} \quad (3.2)$$

Eşitlikte verilen ε ve $\Delta \varepsilon$, sırasıyla 31. (11.03 μm) ve 32. (12.02 μm) bantlardaki ortalama ve yayılım değerlerinin farkıdır ($i = 31, j = 32$). Katsayı olan b_k ($k = 0, 1-6$) zenit açısına, atmosferik yüzey sıcaklığına ve su buharına bağlı bir katsayıdır. Bu katsayılar, T_{s-air} (-16 K) ile T_{s-air} (+16 K) aralığında değişen LST’ler için ışımsal transfer simülasyon verilerinin regresyon analizinden türetilmiştir. T_{s-air} yüzey hava sıcaklığıdır (Wan, 2014).

Elde edilen 8 günlük LST verileri her aya ait gün sayısı ile ağırlıklandırılarak aylık değeri hesaplanmıştır. LST verileri artı veya eksi işareti olmayan, işaretsiz (unsigned) sayısal veri tipinde olup Kelvin biriminde okuması yapılmaktadır. TCI indeksinin hesaplanması için Eşitlik 3.3 kullanılarak Santigrat (Celcius-°C) birimine dönüşümü yapılmaktadır.

$$LST (^\circ\text{C}) = (0.02 \times LST (K)) - 273.15 \quad (3.3)$$

3.2 Yöntem

3.2.1 Toprak fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

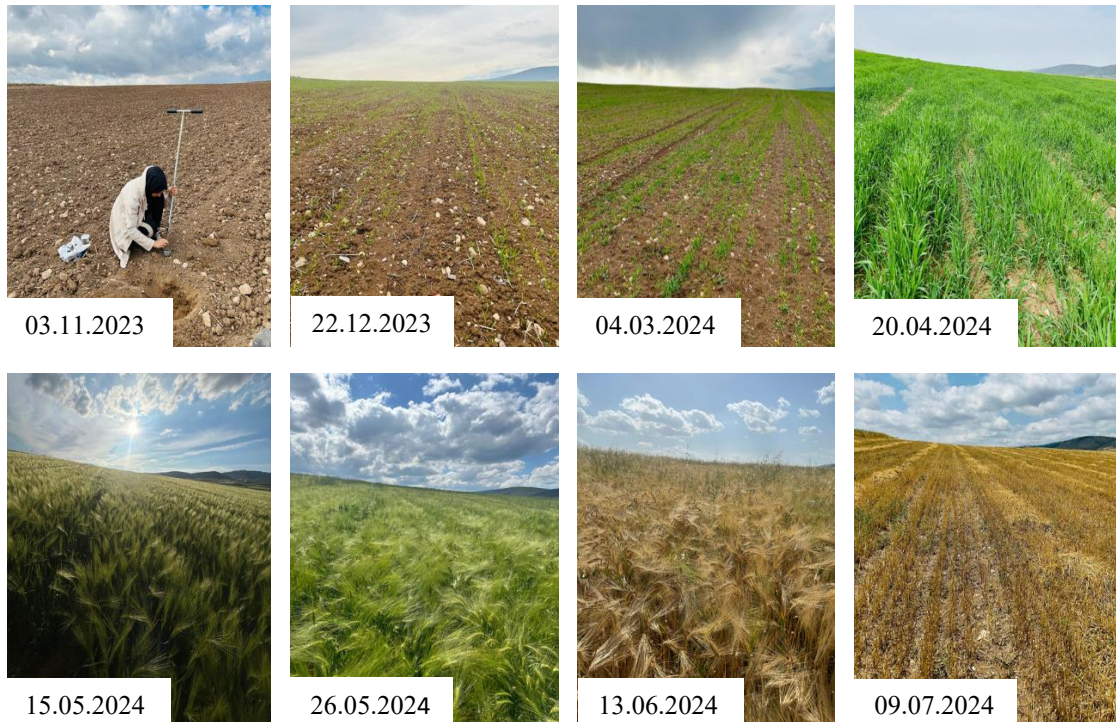
Toprak örneklerinin alınması

Tez çalışmasında lokasyonları belirlenen noktalardan 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm olacak şekilde üç farklı derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örneklerinin alınmasında planlanan zamanlar ve örneklerin alınma tarihleri Çizelge 3.6’da verilmiştir. Toprak örneklerinin alındığı tarihlerdeki arazi görünümleri Zile istasyonu için Şekil

3.2’de, Sulusaray istasyonu için Şekil 3.3’te, Çamlıbel istasyonu için Şekil 3.4’te, Çekerek istasyonu için Şekil 3.5’te ve Yeşilyurt istasyonu için Şekil 3.6’da verilmiştir. Toprak örnekleri alınırken kullanılan aletler Şekil 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Toprak örneklerinin alınması için planlanan zamanlar ve alınma tarihleri

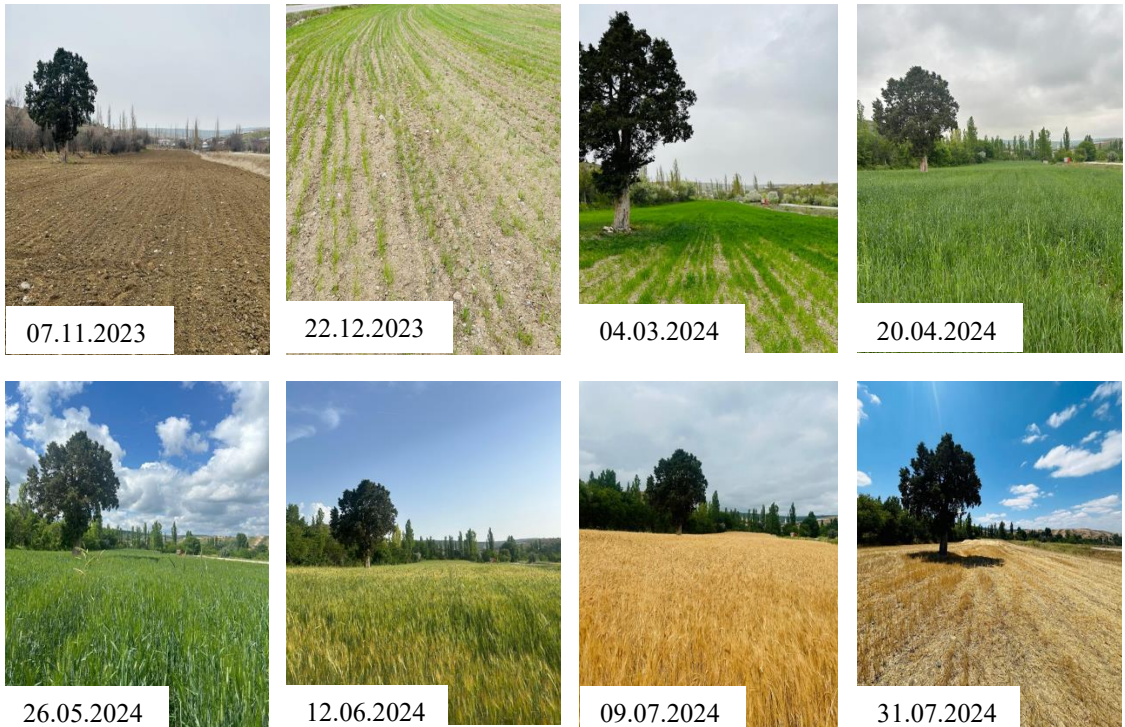
TOPRAK ÖRNEKLERİ İÇİN PLANLANAN ZAMANLAR	TOPRAK ÖRNEKLERİNİN ALINMA TARİHİ	
	Zile-Çekerek	Çamlıbel-Yeşilyurt- Sulusaray
Buğday Ekiminden Önce	03.11.2023	07.11.2023
Buğday Ekiminden Sonra	22.12.2023	22.12.2023
Mart	04.03.2024	04.03.2024
Nisan	20.04.2024	20.04.2024
Mayıs	26.05.2024	26.05.2024
Haziran	13.06.2024	12.06.2024
Temmuz	09.07.2024	09.07.2024
Buğday Hasatı Sonrası	09.07.2024	31.07.2024



Şekil 3.2. Zile istasyonuna ait toprak örneği alınma tarihlerindeki arazi görünümü



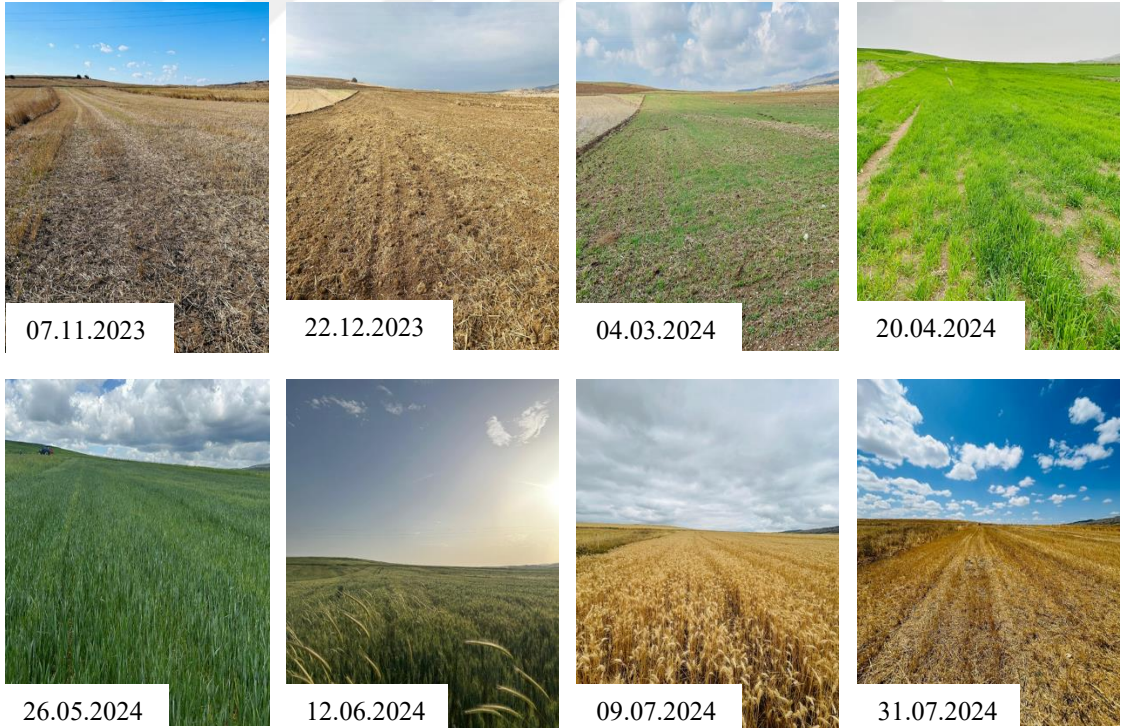
Şekil 3.3. Sulusaray istasyonuna ait toprak örneği alınma tarihlerindeki arazi görünümü



Şekil 3.4. Çamlıbel istasyonuna ait toprak örneği alınma tarihlerindeki arazi görünümü



Şekil 3.5. Çekerek istasyonuna ait toprak örneği alınma tarihlerindeki arazi görünümü



Şekil 3.6. Yeşilyurt istasyonuna ait toprak örneği alınma tarihlerindeki arazi görünümü



Şekil 3.7. Toprak örneği alınırken kullanılan aletler (A: spiral burgu; B: motorlu toprak burgu makinesi; C:dijital terazi ve örnekleme kabı)

Ağırlık Yüzdesi Cinsinden Toprak Nem İçeriği (%): Alınan toprak örneklerinin yaş ağırlıkları tartılarak etüvde 105°C’de 24 saat kurutulmuştur. Örneklerin kurutma işlemi tamamlandıktan sonra ortamdan etkilenmemesi için hızlı bir şekilde kuru ağırlığı tartılmaktadır. Eşitlik 3.4 kullanılarak ağırlık yüzdesi cinsinden nem içeriği belirlenmektedir.

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_2 - m_0)} \times 100 \quad (3.4)$$

Burada

m_0 = boş kabın darası (g)

m_1 = nemli toprak örneği bulunan kabın ağırlığı (g)

m_2 = 105 °C de kurutulmuş toprak örneği bulunan kabın kütlesi (g)

Bünye (%) : Bouyoucous hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Uzunoğlu, 1992).

Tarla Kapasitesi (%) : 1/3 atm basınç altında basınçlı membran aleti ile tespit edilmiştir (Black, 1965).

Solma Noktası (%) : 15 atm basınç altında basınçlı membran aleti ile tespit edilmiştir (Black, 1965).

Hacim Ağırlığı (g/cm³) : Bozulmuş toprak örneğinin 2 mm'lik elekten elenerek 100 cm³'lük örnek alma kabına sıkıştırılmış ve 105 °C etüvde bir gün bekletilmiştir. Ertesi gün tartılmış ve çıkan ağırlık 100'e bölünerek hacim ağırlığı hesaplanmıştır (Black, 1965).

3.2.2 Kullanılan kuraklık indeksleri

Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (Palmer Drought Severity Index-PDSI)

Palmer (1965) tarafından geliştirilen PDSI indeksinin 1 aylık zaman adımı için hesaplama algoritması Alley (1984), Wells ve ark., (2004) ve Türkeş ve ark., (2009)'dan yararlanılarak aşağıda açıklanmıştır.

PDSI hesaplama algoritması beş aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşama hidrolojik hesaplamalar ve bazı kabullerin yapılması, ikinci aşama iklim katsayılarının hesaplanması, üçüncü aşama CAFEC yağış değerinin hesaplanması, dördüncü aşama nem anomoli indeksinin hesaplanması ve beşinci aşama ise kuraklık şiddeti değerinin belirlenmesini kapsamaktadır. İndisin hesaplanmasında aylık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış ve kullanılabilir su miktarı (AWC) gözlem değeri olarak kullanılmaktadır. AWC değeri Eşitlik 3.5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$AWC = \frac{(TK - SN)}{100} \times HA \times d \quad (3.5)$$

Burada; TK: tarla kapasitesi, SN: solma noktası, HA: hacim ağırlığı, d: toprak derinliğini ifade etmektedir.

1. Aşama: Hidrolojik hesaplamalar ve kabuller

PDSI indeksinin hesaplama süreci, su dengesi ile başlamaktadır. Su dengesi, genel olarak aylık toplam yağış (P) ve aylık ortalama sıcaklık (T) verisine dayanmaktadır. Hesaplama sürecinde iki aşamalı bir 'kova-bucket' yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu ampirik yaklaşımda toprak tabakası düşey olarak geliş güzel iki bölüme ayrılarak toprak nem biriktirme yapısı üst katman veya yüzey nemi ve alt katman nemi olarak tanımlanmaktadır. Tarla kapasitesindeki kullanılabilir suyun (topraktaki su varlığı) bir inç (yaklaşık 25 mm)' nin üst katmanda tutulduğu kabul edilir. Toplam AWC değeri üst katmanda 25 mm olmak üzere, bu iki toprak katmanı arasında paylaştırılmaktadır. Üst

katman yağmurun düştüğü ve buharlaşmanın olduğu katman olarak ifade edilir. Toprağın alt katmanındaki kullanılabilir su miktarı, bitki köklerinin etkili kök derinliğine ve toprak özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Toprak üstünde buharlaşma ve terleme ile gerçekleşen su kaybı, potansiyel evapotranspirasyon (PET) olarak tanımlanmaktadır. PET değeri Thornthwaite yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (Thornthwaite, 1948).

Thornthwaite Hesaplama Yöntemi

Thornthwaite (1948) tarafından geliştirilmiştir bir yöntemdir. Willmott ve ark., (1985) tarafından orijinal hesaplaması sınırlı bir ortalama hava sıcaklığı aralığı (T: °C) ekleyenerek değiştirilmiştir.

$$PET = \begin{cases} 0 & T < 0 \\ 16 \left(\frac{16T}{I} \right)^a & 0 \leq T < 26.5 \\ -145.85 + 32.24T - 0.43T^2 & T \geq 26.5 \end{cases} \quad (3.6)$$

Eşitlikte PET: aylık potansiyel evapotranspirasyonu, I: aylık ısı indeksi, a:I ile ilişkili olup ampirik olarak elde edilmektedir.

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad T > 0 \quad (3.7)$$

$$a = 0.49239 + 1.792 \times 10^{-2} I - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 6.75 \times 10^{-7} I^3 \quad (3.8)$$

Bulunan PET değeri için Thornthwaite'in gün ve ay uzunluklarına göre değişimi içeren düzeltme tablosu (Thornthwaite, 1948) kullanılarak, düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyon (APE) değeri elde edilmektedir.

Topraktan evapotranspirasyon ile nem kaybı, $PET > P$ olduğunda meydana gelmektedir. Burada P, aylık toplam yağıştır. Üst katmandan evapotranspirasyon kaybının (L_s) potansiyel oranda gerçekleştiği varsayılır. Alt katmandaki kaybın (L_u), alt katmandaki ilk nem içeriğine, potansiyel evapotranspirasyona ve toplam AWC değerine bağlı olduğu varsayılır.

Yani, eğer $PET > P$ ise,

$$L_s = \min[S_s, (PET - P)] \quad (3.9)$$

$$L_u = [(PET - P) - L_s] \frac{S_u}{AWC}, L_u \leq S_u \quad (3.10)$$

Eşitlikte S_s , başlangıçta üst katmandaki kullanılabilir su miktarını (mm); PET , o aya ait potansiyel evapotranspirasyon; P , aynı aya ait aylık toplam yağış miktarı; S_u , ayın başlangıcında alt katmanda depolanan kullanılabilir su miktarı ve AWC , her iki tabakadaki toplam kullanılabilir su miktarıdır.

Su bütçesinin bir parçası olarak, Palmer yaklaşımında potansiyel yeniden doldurma (PR), potansiyel kayıp (PL) ve potansiyel yüzey akış (PRO) olmak üzere üç parametre hesaplanmaktadır.

Potansiyel yeniden dolum (PR), toprağı tarla kapasitesine getirmek için gereken nem miktarı olarak tanımlanmaktadır:

$$PR = AWC - (S_s + S_u) \quad (3.11)$$

Potansiyel kayıp (PL), hiç yağış olmadığında topraktan kaybedilebilecek olan su miktarıdır.

$$PL = PL_s + PL_u \quad (3.12)$$

$$PL_s = \min(PET, S_s) \quad (3.13)$$

$$PL_u = (PET - PL_s) \frac{S_u}{AWC}, \quad PL_u \leq S_u \quad (3.14)$$

Potansiyel yüzey akışı topraktaki kullanılabilir su tutarının bir fonksiyonu olarak tanımlanır.

$$PRO = AWC - PR = S_s + S_u \quad (3.15)$$

2. Aşama : İklim katsayılarının hesaplanması

İklimsel analizlerin yapılması için gerekli olan iklimsel katsayılar, hidrolojik hesaplamalar sonucunda elde edilen dört potansiyel değer (PET , PR , PL , PRO) kullanılarak hesaplanmaktadır. Potansiyel evapotranspirasyon katsayısı α , yeniden dolum

katsayısı β , yüzey akış katsayısı γ , kaybedilen nem katsayısı δ için hesaplama formülleri Eşitlik 3.16, 3.17, 3.18 ve 3.19’da verilmiştir.

$$\alpha_j = \frac{\overline{ET}}{\overline{PET}} \quad (3.16)$$

$$\beta_j = \frac{\overline{R_j}}{\overline{PR}} \quad (3.17)$$

$$\gamma_j = \frac{\overline{RO}}{\overline{PRO}} \quad (3.18)$$

$$\delta_j = \frac{\overline{L}}{\overline{PL_j}}, j = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad (3.19)$$

Eşitliklerdeki üst çizgiler (ortalamalar) katsayıların herhangi bir j ayı için ortalama değerler kullanılarak hesaplandığını ifade eder. 12 ay için ayrı ayrı katsayı değerleri hesaplanmaktadır.

3. Aşama: CAFEC ($\hat{P}$) yağışı ve d değerinin hesaplanması

İkinci aşamada hesaplanan katsayılar, her ay için gerçek yağış (P) ile CAFEC (iklimsel olarak uygun koşullar için) yağışı ($\hat{P}$) arasındaki farkı (d) hesaplamak için kullanılmaktadır.

$$\hat{P} = (\alpha_j \times PET) + (\beta_j \times PR) + (\gamma_j \times PRO) - (\delta_j \times PL) \quad (3.20)$$

$$d = P - \hat{P} \quad (3.21)$$

4. Aşama: Nem anomali indeksinin hesaplanması

Yukarıda Denklem 3.16, 3.17, 3.18 ve 3.19 ile tanımlanan α , β , γ ve δ katsayıları (yılın her 12 ayı için veya 52 hafta için) belirlendikten sonra, Palmer Nem Anomali İndeksi (Z-İndeksi), nem sapmasına bağlı olarak (her ay için hesaplanan; d_j , j’inci ay) hesaplanır.

$$Z = d_j \times K_j \quad (3.22)$$

Buradaki K_j ampirik bir katsayıdır ve j’inci ayın ağırlık faktörü olarak tanımlanır. Bu katsayı, başlangıçta bölgesel iklim düzeltme katsayısı olarak adlandırılan ve ampirik olarak bulunan, K_j ’lerden hesaplanır.

$$K_j = \left(\frac{17.67}{\sum_i^{12} \bar{D}_i \bar{K}_i} \right) \bar{K}_j \quad (3.23)$$

Bu ifadede kullanılan $\bar{K}_j$, ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\bar{K}_j = 1.5 \times \log \left(\frac{\frac{\overline{PET}_j + \bar{R}_j + \overline{RO}_j}{\bar{P}_j + \bar{L}_j} + 2.8}{D_j} \right) + 0.5 \quad (3.24)$$

Eşitlikte D_j kalibrasyon veya normal değerlerin hesaplandığı periyot boyunca elde edilen, nem sapma değerleri olan d_j 'lerin aritmetik ortalamasıdır. Tüm yukarıda tanımlanan katsayılar ve değişkenler belirlendikten sonra, PDSI değerleri her j. ay için aşağıda verilen Eşitlik 3.25 ile ardışık olarak elde edilir.

$$X_j = X_{j-1} + \frac{Z_i}{3} - 0.103 \times X_{j-1} \quad (3.25)$$

Burada X_j , j. ay için hesaplanan PDSI değeridir.

Çizelge 3.7'de PDSI indeks değerinin kuraklık sınıflandırılması verilmiştir. Değerler -4 ve 4 arasında değişmekte ve -4' ten küçük +4' ten büyük değerler de alabilmektedir.

Çizelge 3.7. Palmer kuraklık şiddeti indeksi (PDSI) kuraklık sınıflandırması

PDSI Değeri	Kuraklık Sınıfı
$\geq +4$	Aşırı nemli
3.00 – 3.99	Çok nemli
2.00 – 2.99	Orta nemli
1.00 – 1.99	Hafif nemli
0.50 – 0.99	Islak dönem başlangıcı
0.49 – (-0.49)	Normal
-0.50 – (-0.99)	Kurak dönem başlangıcı
-1.00 – (-1.99)	Hafif kurak
-2.00 – (-2.99)	Orta Kurak
-3.00 – (-3.99)	Çok kurak
≤ -4	Aşırı Kurak

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

Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) Vicente-Serrano ve ark., (2010), tarafından geliştirilmiştir. SPI indeksinden farklı olarak yağış ile birlikte potansiyel evapotranspirasyon verileride kullanılmaktadır. SPI indeksinde olduğu gibi farklı zaman periyotlarında hesaplanabilmektedir. SPEI hesaplama prosedürü, i) potansiyel evapotranspirasyonun hesaplanması, ii) farklı zaman periyotlarında iklimsel su dengesinin hesaplanması, iii) SPEI serisinin elde edilmesi adımlarından oluşmaktadır. İlk aşamada potansiyel evapotranspirasyon değeri Thornthwaite yöntemine göre hesaplanmış olup, yöntemle ilişkin denklemler Eşitlik 3.6, Eşitlik 3.7 ve Eşitlik 3.8’de verilmiştir. İkinci aşamada farklı zaman periyotları için (1, 3, 6, 9, 12) Eşitlik 3.26 kullanılarak iklimsel su dengesi hesaplanmıştır.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (3.26)$$

Burada P_i ve PET_i sırasıyla i. ay için yağış ve potansiyel evapotranspirasyondur.

Teorik bir olasılık dağılım fonksiyonu kullanılarak hesaplanan D_i değerlerine ait kümülatif olasılık değerleri tahmin edilmektedir. D_i değerinin alt sınırlarının negatif değerlere ulaşabileceği gözönüne alındığında iki parametrelili dağılımlar bu amaç için kullanılamamaktadır. Vicente-Serrano ve ark., (2010), D_i değerlerine en uygun dağılımın üç parametrelili log-logistik olasılık dağılım fonksiyonu olduğunu bildirmiştir. Dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 3.27’de verilmiştir.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{a} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x - \gamma}{a} \right)^{\beta} \right]^{-2} \quad (3.27)$$

Burada α , β ve γ parametreleri, D_i değerlerine ait sırasıyla ölçek, şekil ve konum parametreleridir ve $-\infty < D < \gamma$ aralığında geçerlidir. Üç parametrelili log-logistik kümülatif olasılık fonksiyonunun düzenlenmiş hali Eşitlik 3.28’de verilmiştir.

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{a}{x - \gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (3.28)$$

Son adımda, D_i değerleri için hesaplanan kümülatif olasılık değerleri, ortalaması sıfır ve standart sapması bir olan standart normal dağılım fonksiyona dönüştürülerek SPEI değerleri elde edilir.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (3.29)$$

Eşitlik 3.29’da verilen W değeri Eşitlik 3.30 ile elde edilmektedir.

$$W = \sqrt{-2\ln(P)}, \quad P > 0.5 \quad (3.30)$$

Burada P, belirli bir D değerini aşma olasılığıdır. Eğer $P=1-F(x)$ değeri 0.5’ten büyükse, P değeri 1-P olarak değiştirilir ve SPEI’nin işareti ters çevrilir. Sabit katsayıların değerleri ise aşağıdaki gibidir.

$C_0=2.515517$, $C_1= 0.802853$, $C_2= 0.010328$, $d_1= 1.432788$, $d_2= 0.189269$, $d_3=0.001308$.

SPEI indeks değerlerinin kuraklık sınıflandırması SPI indeksi kuraklık sınıfı ile aynı olup Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SPEI) kuraklık sınıflandırması (McKee ve ark., 1993)

SPEI Değeri	Kuraklık Sınıfı
$\geq +2$	Çok Şiddetli Nemli
$\geq +1.5$ ile $<+2$	Şiddetli Nemli
$\geq +1$ ile $<+1.5$	Orta Derecede Nemli
> -1 ile $<+1$	Normal
>-1.5 ile ≤ -1	Orta Derecede Kurak
>-2 ile ≤ -1.5	Şiddetli Kurak
≤ -2	Çok Şiddetli Kurak

Vejatasyon Durum İndeksi (Vegetation Condition Index-VCI)

Kogan (1990) tarafından geliştirilen Vejetasyon Durum İndeksi (VCI) girdi olarak NDVI indeksinin normalize edilmesi ilkesine dayanmaktadır. VCI indeksi, belirli bir ekosistem için uzun yıllar boyunca elde edilen NDVI değerlerinin minimum ve maksimumlarının bir fonksiyonu olarak bitki örtüsü durumunu yansıtmaktadır. Bitki örtüsü durumundaki

değişiklik ve kuraklığın bitki büyümesi üzerindeki etkisinin bir göstergesi olan VCI indeksi Eşitlik 3.31 ile elde edilmektedir.

$$VCI = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{mak} - NDVI_{min}} \right) \times 100 \quad (3.31)$$

Burada,

$NDVI_i$ = her bir pikselin mevcut NDVI değeri

$NDVI_{min}$ = periyod içindeki (multi – year) minumum değer

$NDVI_{mak}$ = periyod içindeki (multi – year) maksimum değer

VCI değerleri % olarak ifade edilmekte olup 0 – 100 arasında değer almaktadır. VCI değerlerine ait kuraklık sınıf değerleri Çizelge 3.9’da verilmiştir. Çizelgeye göre düşük VCI değerleri stresli bitki örtüsü koşullarını, orta değerler uygun bitki örtüsü koşullarını ve yüksek değerler optimal veya normalin üzerindeki bitki örtüsü koşullarını ifade etmektedir (Karnielli ve ark., 2006).

Sıcaklık Durum İndeksi (Temperature Condition Index-TCI)

Sıcaklık Durum İndeksi (TCI), sıcaklık faktörünün bitki örtüsü üzerindeki stres etkisini belirlemek için kullanılan uydu tabanlı bir indekstir. Kogan (1995) tarafından geliştirilen TCI indeksi, VCI hesaplama algoritmasına benzer olup maksimum ve minimum yer yüzey sıcaklık değerlerine göre hesaplanmaktadır. Ancak, bitki örtüsü büyüme sezonunda yüksek yer yüzeyi sıcaklığı, olumsuz veya kuraklık koşullarını gösterirken, düşük yer yüzeyi sıcaklığı en uygun koşulları göstermektedir ve bu durum NDVI ile ters orantılıdır. İndeks değeri Eşitlik 3.32 kullanılarak elde edilmektedir.

$$TCI = \left(\frac{LST_{mak} - LST_i}{LST_{mak} - LST_{min}} \right) \times 100 \quad (3.32)$$

LST_i = her bir pikselin mevcut NDVI değeri

LST_{min} = periyod içindeki (multi – year) minumum değer

LST_{mak} = periyod içindeki (multi – year) maksimum değer

TCI değerleri 0-100 arasında değer almaktadır. Yüksek TCI değerleri istenmeyen kurak koşulları yansıtırken, düşük TCI değerleri ise uygun koşulları yansıtmaktadır.

Vejetasyon Sağlığı İndeksi (Vegetation Health Index-VHI)

Vejetasyon Sağlığı İndeksi (VHI), NDVI değerlerinden elde edilen VCI ve LST verilerinden elde edilen TCI indekslerinin bir kombinasyonudur (Masitoh ve Rusydi 2019). VHI indeksi tarımsal kuraklığı etkin şekilde yansıtmaktadır ve Eşitlik 3.33 ile elde edilmektedir.

$$VHI = a \times VCI + (1 - a) \times TCI \quad (3.33)$$

Burada, a , kuraklık durumunu değerlendirmek amacıyla VCI ve TCI indekslerinin katkısını göstermek için verilen ağırlık katsayısıdır. VCI ve TCI indekslerinin VHI indeksine olan katkısının bilinmediği durumlarda bu katkı oranı eşit olarak kabul edilmektedir ve bu oran genellikle 0.5 olarak alınmaktadır. VHI değerleri 0 ile 100 arasında değerler almaktadır. 70'ten yüksek olan değerler uygun koşulları yansıtırken, 40'ın altındaki değerlerde ise kurak koşulları yansıtmaktadır (Kogan, 2001). VHI değer aralıklarına göre kuraklık sınıflandırması izelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. VCI ve VHI indeksleri kuraklık sınıflandırması

Kuraklık Sınıfı	VCI-VHI Değerleri
Aşırı Kurak	< 10
şiddetli Kurak	10 – 20
Orta Kurak	20 – 30
Hafif Kurak	30 – 40
Kuraklık Yok	40 - 60
Nemli	> 60

3.2.3 İstatistiksel analizler

Verilerin Normallik Analizi

Normallik testleri birçok istatistiksel test için n bir gerekliliktir. Tez çalışmasında meteorolojik verilerin normallik analizinde Kolmogorow-Smirnov testi kullanılmıştır.

Kolmogorow-Smirnov Testi

Kolmogorov–Smirnov (K-S) testi, normallik analizi için kullanılan ve "uygunluk testi" istatistikleri alt sınıfına dahil olan bir testtir. Bu tür test ADF (Ampirik Dağılım Fonksiyonu) olarak adlandırılmaktadır. K-S testi, bir popülasyonun kümülatif dağılım fonksiyonu $S_n(X)$ ile gözlemlenen verilerden elde edilen ampirik kümülatif dağılım fonksiyonu $F_0(X)$ arasındaki maksimum mutlak farka dayanmaktadır.

Kolmogorov-Smirnov testine ilişkin hipotez aşağıdaki gibi kurulur.

H_0 : Örneğin alındığı popülasyon normal dağılım göstermektedir.

H_1 : Örneğin alındığı popülasyon normal dağılım göstermemektedir.

Kolmogorov-Smirnov D istatistiği Eşitlik 3.33'te aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$D = \max |S_n(X) - F_0(X)| \quad (3.34)$$

Buradan hesaplanan test istatistiği tablo değerinden büyük olduğunda H_0 hipotezi belirlenen önem seviyesinde reddedilir. Yani gözlenen verilerin normal dağılıma uyum sağlamadığı sonucuna ulaşılır. Kolmogorov-Smirnov test istatistiği Eşitlik 3.35'te verilmiştir.

$$KS = \max[D^+, D^-]$$

$$D^+ = \max \left[\frac{i}{n} - u_i \right]$$

$$D^- = \max \left[\frac{(i-1)}{n} - u_i \right] \quad (3.35)$$

Burada; $i = 1, 2, \dots, n$, n :örnekteki toplam gözlem sayısı, $u_i = F_0(X)$ eklemeli (kümülatif) $N(0,1)$ dağılım fonksiyonunu gösterir.

Verilerin Homojenlik Analizi

Hidro-meteorolojik iklim serileri, sadece iklim değişikliğinden etkilenen seriler olarak tanımlanmaktadır. Veri setinde iklimden bağımsız sapmalar tespit edilmesi durumunda çalışmanın daha güvenilir ve sorunsuz olması için verinin düzeltilmesi gerekmektedir. Homojenlik şartını sağlamayan istasyonda, komşu istasyonlara ait ortalama verilere

kıyasla ani kırılmalar meydana gelmektedir. Bu duruma meteoroloji istasyonun yerinin değişmesi, çevresel faktörlerin etki etmesi, ölçüm tekniklerindeki farklılıklar, ölçme aletinden kaynaklanan hatalar neden olabilmektedir. Hidrolojik verilerin homojenlik analizi parametrik ve parametrik olmayan yöntemlerle test edilmektedir. Parametrik testlerin kullanılabilmesi için verilerin normallik koşulunu sağlaması gerekmektedir. Tez çalışmasında verilerin homojenlik analizi parametrik test olan f ve t testi ve parametrik olmayan Mann-Whitney U testleri ile incelenmiştir.

Parametrik Homojenlik Testi

Varyans homojenlik test istatistiği olan f testi, karşılaştırması yapılan grupların varyanslarının birbirine oranlanmasıyla Eşitlik 3.36 ile belirlenmektedir.

$$f = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (3.36)$$

Eşitlikte verilen S_1^2 , n_1 elemanlı ve $v_1=n_1-1$ serbestlik dereceli 1.grubun varyansını, S_2^2 n_2 elemanlı ve $v_2=n_2-1$ serbestlik dereceli 2. grubun varyansını ifade etmektedir. f değeri 1'den büyük olacak şekilde hesaplanmaktadır ($S_1>S_2$) ve α önem düzeyindeki $f_\alpha(v_1;v_2)$ tablo değeri (f_{kr}) ile karşılaştırılmaktadır.

Varyans homojenlik analizi f testi ile belirlendikten sonra iki grubun ortalamaları arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı t testi ile değerlendirilmektedir. t testine ait matematiksel ilişki Eşitlik 3.37'de verilmiştir.

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (3.37)$$

Burada n_1 elemanlı 1. örnekteki X_1 gözlemlerinin ortalaması, n_2 elemanlı 2. örnekteki gözlemlerinin ortalaması X_2 olduğuna göre $H_0 = \mu_1 = \mu_2$ (ortalamalar arasında fark yok) hipotezi $H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$ (ortalamalar arasında fark var) karşıt hipotezine göre test edilmektedir. S_1 ve S_2 örneklemelere ait standart sapmadır. H_0 ve H_1 hipotezleri seçilen α önem seviyesinde Eşitlik 3.37 ile hesaplanan $t > t_\alpha$ ise H_0 hipotezi red edilir ve ortalamalar arasında fark var sonucuna varılmaktadır ($\alpha= 0.05$ olarak kabul edilmektedir).

Mann-Whitney U (MWU) testi

Wilcoxon sıralar toplamı testi olarak da bilinen Mann-Whitney U (MWU) test istatistiği, belirli bir dağılıma uymayan tek sıralı bir değişken üzerindeki iki grup arasındaki farkları test etmektedir (Mann ve Whitney, 1947; Wilcoxon, 1945). MWU testi, iki gruba ayrılan veri setinin medyanları arasındaki farkı analiz etmek için kullanılmaktadır. Teste ait matematiksel ilişkiler aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$U_x = n_x n_y + \left(\frac{n_x(n_x + 1)}{2} \right) - R_x \quad (3.38)$$

$$U_y = n_x n_y + \left(\frac{n_y(n_y + 1)}{2} \right) - R_y \quad (3.39)$$

Eşitlikte verilen n_x ve n_y , iki gruba ayrılan verinin her bir gruptaki gözlem sayısını, R_x ve R_y her gruptaki sıraların toplamını ifade etmektedir. Eşitlik 3.36 ve 3.37’ de verilen U değerlerinin yaklaşık normal dağıldığı kabul edilmektedir. Mann-Whitney istatistiği olarak belirtilen Z_U değeri Eşitlik 3.40 ile elde edilmektedir.

$$Z_U = \frac{(U - \mu_U)}{\sigma_U} \quad (3.40)$$

Eşitlikte verilen μ_U ve σ_U , U değerinin ortalama ve standart sapmasıdır. Bu değerler Eşitlik 3.41 ve Eşitlik 3.42 ile elde edilmektedir.

$$\mu_U = n_x n_y / 2 \quad (3.41)$$

$$\sigma_U = [((n_x n_y)(N + 1))/12]^{1/2} \quad (3.42)$$

Eşit 3.40 ile elde edilen Z değeri $\alpha=0.05$ önem seviyesinde standart normal dağılım talo değeri (± 1.96) ile karşılaştırılmaktadır. Bu değer standart normal dağılım tablo değerinden büyükse ($Z > \pm 1.96$) iki grup arasında anlamlı bir farklılığın olduğuna karar verilmektedir.

Kuraklığın Zamansal Analizi

Hidro-meteorolojik zaman serilerindeki anlamlı değişkenliğin varlığını tespit etmek amacıyla parametrik ve parametrik olmayan yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Parametrik eğilim testleri, verilerin bağımsız ve normal dağılım özelliğine sahip olmasını gerektirirken parametrik olmayan eğilim testlerinde ise yalnızca Mann-Kendal testi bağımsız olması şartı ararken diğer testlerde herhangi bir şart aranmamaktadır. Kuraklık gibi iklimsel tabanlı doğa olaylarının eğilim analizlerinde Mann-Kendal, Spearman Rho, Doğrusal regresyon ve Yenilikçi Trend Analizi (ITA) testleri sıklıkla tercih edilmektedir (Gocic ve Trajkovic, 2013).

Tez çalışmasında kuraklık değerlerinin zamansal eğilimi Yenilikçi Trend Analizi (ITA) testi ile incelemiştir. Şen (2012) tarafından geliştirilen ITA testi, testin uygulanması noktasında veride herhangi bir ön koşul gereksinimi olmaksızın eğilimi ortaya koyma gücü açısından diğerlerine göre daha büyük bir avantaja sahiptir. Ayrıca bu avantajının yanısıra, yaklaşımın bir diğer ayırt edici üstünlüğü, metodolojik yapısı açısından verilerin iç değişkenliği hakkında da bir yargıya varılmasına izin vermesidir (Yürekli 2023). Bu yaklaşımın grafiksel yapısı ve istatistiksel analiz metodolojisi sırasıyla Şen (2012) ve Şen (2017) tarafından literatüre kazandırılmıştır. ITA testine dayalı herhangi bir hidro-meteorolojik zaman serisinin hem grafiksel yapısı hem de istatistiksel anlamlılık analizi için, ilk olarak bütün seri iki eşit alt seriye bölünür ve ardından her iki yarım serinin artan dizilimleri yapılmaktadır. Zaman serisindeki trendin varlığını görsel olarak tespit etmek amacıyla, artan düzendeki iki alt seri kartezyen koordinatta birbirine göre konumlandırılır ve bu konumların (noktaların) 45 derecelik eğimli çizgi etrafındaki (1:1 doğrusu üzerinde) saçılımı incelenmektedir. Veriler çizginin yukarısında ise artan trend, çizginin altında ise azalan trend, çizginin üzerinde ise trendin olmadığını göstermektedir.

ITA yaklaşımında zaman serisinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişimin olup olmadığına ilişkin hesaplamalar Eşitlik 3.43 ve Eşitlik 3.44'te verilmiştir.

$$S_{cal} = \frac{2(\bar{y}_2 - \bar{y}_1)}{n} \quad (3.43)$$

$$CI_{(1-a)} = 0 \pm S_{crit}\sigma_S \quad (3.44)$$

Eşitlik 3.43'te verilen S_{cal} eğim değeri başka bir ifadeyle ITA test değerini ifade etmektedir. $\bar{y}_1$ ve $\bar{y}_2$, birinci ve ikinci alt serilerin ortalaması ve n alt serilerdeki veri sayısıdır. Eşitlik 3.44'te elde edilen CI güven aralığıdır. σ_S parametresi Eşitlik 3.45 ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma_S = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \sigma \sqrt{1 - p_{\bar{y}_1\bar{y}_2}} \quad (3.45)$$

Eşitlikte $p_{\bar{y}_1\bar{y}_2}$ ve σ terimleri sırasıyla bütün verinin çapraz korelasyon katsayısı ve standart sapmasıdır. S_{crit} değeri, %5 güven düzeyi için Standart Normal Dağılım Tablosundan alınmaktadır.

Kuraklığın Mekansal Analizi

Günümüz teknolojileri doğanın bilgisayar ortamında modellenmesine, yorumlanmasına ve anlaşılmasına imkan sağlamaktadır. Bu teknolojilerden en önemlisi ise Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) dir. CBS içerisinde yapılması mümkün olan bu analizlerin en önemlileri mekansal analizlerdir. Mekansal analizlerin en önemli özelliği ise CBS'de var olan verilerden yararlanarak yeni veriler üretmektir. Coğrafi değişkenlerin dünya üzerinde her noktada ölçülmesi mümkün değildir. Bu nedenle bu tür verilerin değerlendirilmesinde enterpolasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Çalışmanın amacı, kapsamı ve detayı göz önüne alınarak seçilen bazı noktalardan ölçülen coğrafik veriler, konumsal enterpolasyon teknikleri ile tüm alana yayılmakta ve alana ait tahmin haritası elde edilmektedir (Heuvelink, 2006). Meteorolojik verilere dayalı çalışmalarda, kuraklık şiddeti ve büyüklüğünün haritalanmasında Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW), Radyal Tabanlı Fonksiyon Yöntemi ve Kriging Yöntemi araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Katipoğlu ve ark., 2021).

Tez çalışmasında kuraklığın alansal dağılımının belirlenmesinde IDW yöntemi kullanılmıştır. IDW fen bilimleri, mühendislik gibi alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. IDW yöntemi iklimatik ve hidrolojik nokta çalışmalarında alansal dağılımı en az hata ile belirleyen bir yöntem olması sebebiyle SPI, SPEI gibi indekslere dayalı kuraklık eğilimlerinin ve eğilim büyüklüklerinin alansal analizlerini yapmakta da

dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Feng ve ark., 2017; Qi ve ark., 2017; Ma ve ark., 2017). Ayrıca meteorolojik parametrelere dayalı alansal dağılımın araştırılması vb. gibi çalışmalarda IDW yönteminin, Spline ve Ordinary Kriging Enterpolasyon Yöntemlerine göre en az hatayı verdiği bildirilmiştir (Chuanyan ve ark., 2005; Tang ve ark., 2013). IDW yöntemi hem hesap kolaylığı hem de çözüm doğruluğu gibi avantajlarından dolayı sıklıkla tercih edilmektedir.

Tez çalışmasında temel olarak bilinen IDW yöntemi olarak Shepard's Yaklaşımı kullanılmıştır. Yöntemin matematiksel ilişkisi aşağıda açıklanmıştır.

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i x f_i \quad (3.46)$$

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{i=1}^n h_i^{-p}} \quad (3.47)$$

Eşitlikte p: kuvvet parametresi olarak bilinen üssü, h_i : örnek noktaları ve enterpolasyonlu noktalar arasındaki uzamsal mesafeyi, w_i : ağırlıklı değerleri gösterir ve toplamı 1 olmalıdır, f_i ise bilinen yükseklik değerlerini ifade etmektedir.

Meteorolojik Kuraklık ve Tarımsal Kuraklık Arasındaki Yayılım İlişkisinin Tespit Edilmesi

Kuraklık yayılımı temsili olarak jeofizik bir sürece benzetilmektedir (Huang ve ark., 2017; Shi ve ark., 2022). Kuraklığın toprak sistemi, yüzey suları ve yeraltı suyu gibi hidrolojik döngünün birbiriyle bağlantılı karasal bileşenleri boyunca yayıldığı ve bu yayılımın hidrometeorolojik süreçlerdeki değişimlerle ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Heudorfer ve Stahl, 2017). Bu süreçler sırasında, kuraklığın farklı aşamalarının zamanlaması (örneğin, başlangıç, iyileşme), sıklığı, süresi, şiddeti ve yoğunluğu gibi birden fazla özellik, farklı kuraklık tiplerine göre değişebilmektedir. Yayılma sürecini tasvir etmek için tepki süresi ölçeği, gecikme süresi ve yayılma oranı gibi kuraklık yayılımının çeşitli özellikleri veya niteliklerinin tanımlanması gerekmektedir (Zhang ve ark., 2022).

Kuraklık yayılım analizinde korelasyon analizi sıklıkla tercih edilmektedir. Korelasyon analizi, kuraklık yayılımını karakterize etmek için farklı kuraklık türleri arasındaki

ilişkileri anlamak için temel bir araçtır. Bu tez çalışmasında verinin dağılım özelliğine göre Pearson korelasyon analizi ve Spearman Korelasyon analizi kullanılmıştır.

Normal dağılım özelliğine sahip iki rastgele değişken X ve Y için (örneğin, SPEI ve VHI), Pearson korelasyon katsayısı şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\rho = \frac{N \sum(XY) - \sum(X) \sum(Y)}{\sqrt{\sigma^2(X)} \sqrt{\sigma^2(Y)}} \quad (3.48)$$

Burada N veri sayısını, $\sum(XY)$ X ve Y değişkenlerinin çarpımlarının toplamını, $\sum(X)$ ve $\sum(Y)$ X ve Y değişkenlerinin toplamını, $\sigma^2(X)$ ve $\sigma^2(Y)$ sırasıyla X ve Y değişkenlerine ait varyansı ifade etmektedir.

Normal dağılım özelliği göstermeyen iki rastgele değişken için (örneğin, SPEI ve VHI) Spearman korelasyon katsayısı şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3.49)$$

Burada d_i her gözlemin iki sıralaması arasındaki farkı ve n gözlem sayısını ifade etmektedir.

Her iki korelasyon analizinde elde edilen korelasyon katsayısı değeri (r), -1 ve +1 arasında değerler almaktadır. r değeri -1'e doğru yaklaştıkça veriler arasında negatif korelasyon ilişkisi, tersi durumda ise pozitif korelasyon ilişkisi artmaktadır. Ayrıca $\alpha=0.05$ önem seviyesinde testlere ilişkin hesaplanan p değerleri önem seviyesinden düşükse veriler arasında herhangi bir ilişkinin olmadığına karar verilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu bölümünde Çekerek Nehri Havzası'nda yer alan Tokat-Zile, Çamlıbel, Yeşilyurt, Sulusaray ve Yozgat-Çekerek istasyonlarına ait yağış ve sıcaklık verilerinin normallik ve homojenlik analiz sonuçları, istasyonlara ait toprak örneklerinin fiziksel analiz sonuçları, istasyonlara ait aylık nem takip durumları, farklı yaklaşımlar ile hesaplanan PDSI indeks sonuçları ve yaklaşımlar arasındaki ilişkinin analiz sonuçları, meteorolojik kuraklığı temsil eden SPEI indeks sonuçları, uydu tabanlı tarımsal kuraklık indeks sonuçları, meteorolojik kuraklık (SPEI) ve uydu tabanlı tarımsal kuraklık (VHI) arasındaki ilişkinin analiz sonuçları, kuraklığın zamansal ve mekânsal analiz sonuçları ve tüm bu sonuçlara ilişkin yorumlara yer verilmektedir.

4.1 Meteorolojik Verilerin Normallik ve Homojenlik Analiz Sonuçları

Tez çalışmasında istasyonlara ait yağış ve sıcaklık verilerinin normallik analizi Kolmogorov–Smirnov (K-S) testi ile belirlenmiştir. Homojenlik analizinde parametrik test olan “t ve F” testi ile non-parametrik test olan Mann-Whitney U (MWU) testi kullanılmıştır. Parametrik testler uygulanırken verinin normal dağılım özelliğine sahip olması gerekir. Verilerin varyans homojenlik koşulu f testi ile incelenmiştir. Non-parametrik test olan MWU testinde ise verinin herhangi bir dağılıma uyma zorunluğu aranmamaktadır. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de sırasıyla aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerine ilişkin normallik analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.1. İstasyonlara ait aylık toplam yağış verisinin normallik analiz sonucu

AYLAR	Çamlıbel		Yeşilyurt		Sulusaray		Zile		Çekerek	
	K-S	p	K-S	p	K-S	p	K-S	p	K-S	p
Ocak	0.125	.200*	0.106	.200*	0.158	0.018	0.129	0.018	0.161	0.021
Şubat	0.089	.200*	0.223	0.000	0.109	.200*	0.168	0.000	0.127	0.169
Mart	0.128	0.183	0.151	0.041	0.169	0.008	0.102	.200*	0.138	0.089
Nisan	0.155	0.042	0.217	0.000	0.218	0.000	0.104	.181*	0.172	0.010
Mayıs	0.127	0.194	0.160	0.024	0.207	0.000	0.124	0.027	0.127	0.164
Haziran	0.089	.200*	0.082	.200*	0.103	.200*	0.125	0.024	0.072	.200*
Temmuz	0.223	0.000	0.186	0.004	0.220	0.000	0.171	0.000	0.264	0.000
Ağustos	0.177	0.010	0.143	0.068	0.155	0.023	0.244	0.000	0.198	0.001
Eylül	0.158	0.036	0.166	0.016	0.192	0.001	0.154	0.001	0.244	0.000
Ekim	0.137	0.122	0.168	0.014	0.159	0.017	0.147	0.003	0.183	0.005
Kasım	0.142	0.091	0.149	0.048	0.108	.200*	0.147	0.003	0.157	0.029
Aralık	0.101	.200*	0.169	0.013	0.149	0.033	0.078	.200*	0.113	.200*

Çizelge 4.1 incelendiğinde aylık toplam yağış verilerinin Çamlıbel istasyonunda Ocak, Şubat, Mart, Mayıs, Haziran, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında; Yeşilyurt istasyonunda Ocak, Haziran ve Ağustos aylarında; Sulusaray istasyonunda Şubat, Haziran ve Kasım aylarında; Zile istasyonunda Mart, Nisan ve Aralık aylarında; son olarak Çekerek istasyonunda Şubat, Mart, Mayıs, Haziran ve Aralık aylarında normallik koşulunu sağladığı görülmektedir.

Çizelge 4.2. İstasyonlara ait aylık ortalama sıcaklık verisinin normallik analiz sonucu

Aylar	Çamlıbel		Yeşilyurt		Sulusaray		Zile		Çekerek	
	K-S	p	K-S	p	K-S	p	K-S	p	K-S	p
Ocak	0.173	0.014	0.189	0.003	0.183	0.008	0.112	0.070	0.161	0.022
Şubat	0.100	.200*	0.090	.200*	0.114	.200*	0.080	.200*	0.153	0.038
Mart	0.096	.200*	0.071	.200*	0.178	0.011	0.067	.200*	0.119	.200*
Nisan	0.090	.200*	0.129	0.153	0.118	.200*	0.088	.200*	0.131	0.137
Mayıs	0.090	.200*	0.097	.200*	0.140	0.113	0.105	0.170	0.092	.200*
Haziran	0.178	0.010	0.116	.200*	0.123	.200*	0.102	.200*	0.096	.200*
Temmuz	0.226	0.000	0.083	.200*	0.093	.200*	0.108	0.089	0.093	.200*
Ağustos	0.213	0.001	0.106	.200*	0.090	.200*	0.075	.200*	0.123	.200*
Eylül	0.226	0.000	0.110	.200*	0.117	.200*	0.107	0.095	0.094	.200*
Ekim	0.177	0.010	0.167	0.015	0.135	0.145	0.074	.200*	0.069	.200*
Kasım	0.131	0.160	0.171	0.011	0.135	0.148	0.066	.200*	0.116	.200*
Aralık	0.138	0.114	0.121	.200*	0.141	0.109	0.117	0.05	0.111	.200*

Aylık ortalama sıcaklık verilerinin normallik analiz sonuçlarını veren Çizelge 4.2 incelendiğinde ise Çamlıbel istasyonunda Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Kasım ve Aralık aylarının; Yeşilyurt istasyonunda Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Aralık aylarının; Sulusaray istasyonunda Şubat, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarının; Zile istasyonunda tüm ayların; son olarak Çekerek istasyonunda Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık ayların normallik koşulunu sağladığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te sırasıyla yağış ve sıcaklık verilerinde normal dağılım koşulunu sağlayan ayların f testi sonuçları verilmiştir. Yağış ve sıcaklık verilerinin f testi sonuçları incelendiğinde tüm sonuçların varyans homojenlik koşulunu sağladığı görülmektedir (Çizelge 4.3, Çizelge 4.4).

Çizelge 4.3. Normal dağılım gösteren aylık toplam yağış verisinin f testi sonucu

Aylar	Çamlıbel		Yeşilyurt		Sulusaray		Zile		Çekerek	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Ocak	0.862	0.360	0.264	0.611	-	-	-	-	-	-
Şubat	3.545	0.069	-	-	0.125	0.726	-	-	0.004	0.950
Mart	0.822	0.372	-	-	-	-	2.979	0.090	0.057	0.813
Nisan	-	-	-	-	-	-	1.208	0.276	-	-
Mayıs	0.015	0.904	-	-	-	-	-	-	0.293	0.592
Haziran	0.866	0.359	4.049	0.052	1.508	0.227	-	-	0.010	0.923
Temmuz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ağustos	-	-	0.377	0.543	-	-	-	-	-	-
Eylül	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ekim	0.002	0.962	-	-	-	-	-	-	-	-
Kasım	0.000	0.992	-	-	2.208	0.146	-	-	-	-
Aralık	0.075	0.785	-	-	-	-	0.163	0.207	0.017	0.898

Çizelge 4.4. Normal dağılım gösteren aylık ortalama sıcaklık verisinin f testi sonucu

Aylar	Çamlıbel		Yeşilyurt		Sulusaray		Zile		Çekerek	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Ocak	-	-	-	-	-	-	2.245	0.140	-	-
Şubat	0.003	0.957	0.160	0.691	0.712	0.405	1.335	0.253	-	-
Mart	2.456	0.127	1.605	0.214	-	-	1.545	0.219	0.248	0.622
Nisan	1.807	0.189	1.036	0.316	0.369	0.548	0.262	0.611	0.001	0.970
Mayıs	3.255	0.081	0.832	0.368	2.115	0.156	2.375	0.129	0.003	0.958
Haziran	-	-	2.126	0.154	0.497	0.486	0.005	0.944	0.022	0.884
Temmuz	-	-	0.096	0.758	0.034	0.854	0.005	0.980	0.531	0.471
Ağustos	-	-	3.834	0.059	0.726	0.401	0.747	0.391	1.989	0.168
Eylül	-	-	2.557	0.119	1.914	0.177	0.146	0.704	0.684	0.414
Ekim	-	-	-	-	1.376	0.250	0.217	0.643	0.882	0.355
Kasım	2.066	0.161	-	-	1.793	0.191	2.792	0.100	0.164	0.688
Aralık	2.044	0.163	3.728	0.063	0.579	0.453	0.011	0.916	0.225	0.638

Normallik ve varyans homojenlik koşulunu sağlayan yağış ve sıcaklık verilerinin t testi sonuçları sırasıyla Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 verilmiştir. Aylık toplam yağış verisinin t testi sonuçlarına göre Yeşilyurt istasyonunda Ocak ve Haziran ayı; Sulusaray istasyonunda Haziran ayı homojenlik koşulunu sağlamamıştır. Yani söz konusu aylarda yağış değerlerinin ortalamaları farklılık göstermiştir. Aylık ortalama sıcaklık verisinin t

testi sonuçlarına göre ise Yeşilyurt istasyonunda Şubat ve Ağustos ayları; Çekerek istasyonunda Haziran ve Ağustos ayları homojenlik koşulunu sağlamamış, bu aylarda ortalama sıcaklık verilerinin ortalamaları farklılık göstermiştir.

Çizelge 4.5. Aylık toplam yağış verisinin t testi sonuçları

Aylar	Çamlıbel		Yeşilyurt		Sulusaray		Zile		Çekerek	
	T	p	T	p	T	p	T	p	T	p
Ocak	-0.94	0.355	-3.35	0.002	-	-	-	-	-	-
Şubat	0.67	0.509	-	-	0.97	0.337	-	-	0.93	0.356
Mart	-0.72	0.477	-	-	-	-	-1.61	0.113	-1.97	0.057
Nisan	-	-	-	-	-	-	1.79	0.078	-	-
Mayıs	0.99	0.330	-	-	-	-	-	-	-0.34	0.735
Haziran	-1.14	0.264	-2.32	0.027	-2.59	0.014	-	-	-1.69	0.099
Temmuz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ağustos	-	-	-0.27	0.785	-	-	-	-	-	-
Eylül	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ekim	0.96	0.344	-	-	-	-	-	-	-	-
Kasım	0.76	0.454	-	-	1.37	0.179	-	-	-	-
Aralık	1.77	0.096	-	-	-	-	0.721	0.474	0.42	0.675

Not: Kırmızı bold ile gösterilen aylarda H_0 hipotezi red edilmiştir. ($p < 0.05$)

Çizelge 4.6. Aylık ortalama sıcaklık verisinin t testi sonuçları

Aylar	Çamlıbel		Yeşilyurt		Sulusaray		Zile		Çekerek	
	T	p	T	Sig.	T	Sig.	T	Sig.	T	Sig.
Ocak	-	-	-	-	-	-	-1.29	0.200	-	-
Şubat	-1.16	0.256	-2.80	0.008	-1.55	0.131	-1.68	0.098	-	-
Mart	-0.11	0.917	-1.68	0.102	-	-	-1.50	0.139	-1.59	0.122
Nisan	1.157	0.256	-1.24	0.225	0.50	0.622	-0.99	0.324	-0.57	0.571
Mayıs	0.313	0.756	-1.41	0.169	0.04	0.970	-1.98	0.053	-1.39	0.172
Haziran	-	-	-1.73	0.094	0.25	0.802	-0.63	0.531	-3.17	0.003
Temmuz	-	-	-1.16	0.253	-0.41	0.686	-1.39	0.171	-0.73	0.472
Ağustos	-	-	-3.16	0.003	0.12	0.906	-1.25	0.217	-2.50	0.017
Eylül	-	-	-1.10	0.278	-0.25	0.807	-1.70	0.094	-1.55	0.132
Ekim	-	-	-	-	0.78	0.443	-1.87	0.066	-0.57	0.571
Kasım	-1.13	0.267	-	-	-0.55	0.586	-0.95	0.348	-0.89	0.380
Aralık	-0.46	0.650	-0.82	0.427	0.69	0.492	-1.43	0.159	-0.97	0.339

Not: Kırmızı bold ile gösterilen aylarda H_0 hipotezi red edilmiştir. ($p < 0.05$)

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilen normallik analiz sonuçlarına göre normal çıkmayan aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerinin homojenliği MWU testi ile

incelenmiştir. MWU test sonuçları Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de verilmiştir. Aylık toplam yağış verisinin MWU testi sonucuna göre Çamlıbel istasyonunda Nisan ve Ağustos ayları; Yeşilyurt istasyonunda Mart ve Nisan ayları; Çekerek istasyonunda Nisan ayı homojenlik koşulunu sağlamamıştır. Aylık ortalama sıcaklık verisinde ise Çekerek istasyonun Şubat ayının homojenlik şartını sağlamadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. Aylık toplam yağış verisinin Mann-Whitney U testi sonuçları

Aylar	Çamlıbel		Yeşilyurt		Sulusaray		Zile		Çekerek	
	MWU	p	MWU	p	MWU	p	MWU	p	MWU	p
Ocak	-	-	-	-	-0.10	0.919	-0.47	0.635	-1.98	0.05
Şubat	-	-	-1.19	0.235	-	-	-0.20	0.840	-	-
Mart	-	-	-3.27	0.001	-1.42	0.157	-	-	-	-
Nisan	-2.74	0.006	-2.26	0.024	-1.79	0.073	-	-	-3.20	0.001
Mayıs	-	-	-0.68	0.499	-0.83	0.405	-1.28	0.199	-	-
Haziran	-	-	-	-	-	-	-0.59	0.555	-	-
Temmuz	-0.31	0.759	-1.35	0.176	-1.35	0.178	-0.31	0.756	-0.28	0.779
Ağustos	-2.00	0.045	-	-	-1.78	0.075	-0.02	0.981	-0.86	0.390
Eylül	-0.78	0.438	-1.02	0.306	-0.51	0.609	-0.35	0.726	-0.36	0.716
Ekim	-	-	-1.72	0.086	-1.94	0.052	-0.19	0.852	-0.29	0.766
Kasım	-	-	-0.23	0.817	-	-	-0.90	0.367	-0.83	0.409
Aralık	-	-	-0.79	0.428	-1.82	0.068	-	-	-	-

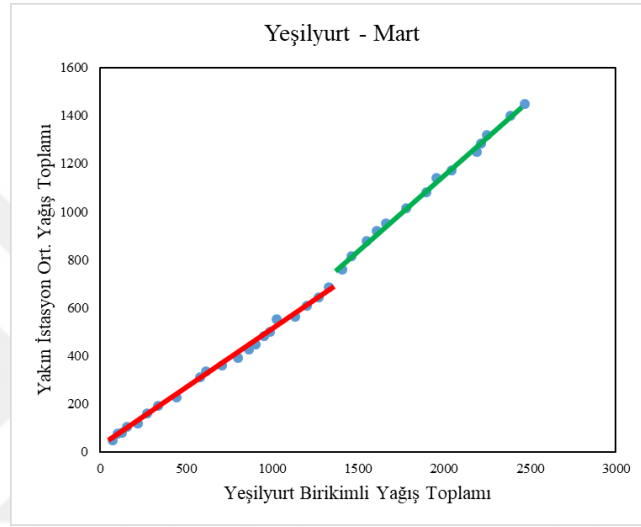
Not: Kırmızı bold ile gösterilen aylarda H_0 hipotezi red edilmiştir. ($p < 0.05$)

Çizelge 4.8. Aylık ortalama sıcaklık verisinin Mann-Whitney U testi sonuçları

Aylar	Çamlıbel		Yeşilyurt		Sulusaray		Zile		Çekerek	
	MWU	p	MWU	p	MWU	p	MWU	p	MWU	p
Ocak	-0.39	0.692	-0.81	0.418	-0.38	0.706	-	-	-0.86	0.39
Şubat	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.16	0.031
Mart	-	-	-	-	-0.76	0.450	-	-	-	-
Nisan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mayıs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Haziran	-0.94	0.349	-	-	-	-	-	-	-	-
Temmuz	-0.95	0.339	-	-	-	-	-	-	-	-
Ağustos	-0.23	0.815	-	-	-	-	-	-	-	-
Eylül	-0.76	0.449	-	-	-	-	-	-	-	-
Ekim	-1.23	0.219	-1.07	0.283	-	-	-	-	-	-
Kasım	-	-	-1.57	0.116	-	-	-	-	-	-
Aralık	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Not: Kırmızı bold ile gösterilen aylarda H_0 hipotezi red edilmiştir. ($p < 0.05$)

Homojenlik koşulunu sağlamayan veri setleri Çizelge 3.3’te verilen komşu istasyonların ilgili verileri kullanılarak çift birikimli eğri yöntemi ile homojen hale getirilmiştir. Şekil 4.1’de örnek olarak Yeşilyurt istasyonunun Mart ayına ait aylık toplam yağış verisinin çift birikimli eğri yöntemine ilişkin grafiği verilmiştir. Çift birikimli eğri uygulandıktan sonra veriler homojenlik şartını sağlamıştır. Yağış ve sıcaklık verilerinin homojenlik analiz sonucu sırasıyla Çizelge 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.1. Yeşilyurt istasyonuna ait mart ayı aylık toplam yağış verisinin çift birikimli eğri grafiği

Çizelge 4.9. Çift birikimli eğri yöntemiyle elde edilen yağış ve sıcaklık verilerinin homojenlik analiz sonuçları

Aylar	Çamlıbel		Yeşilyurt		Sulusaray		Zile		Çekerek	
	T(°C)	P(mm)	T(°C)	P(mm)	T(°C)	P(mm)	T(°C)	P(mm)	T(°C)	P(mm)
Ocak	-	-	-	0.119	-	-	-	-	-	-
Şubat	-	-	0.446	-	-	-	-	-	0.09	-
Mart	-	-	-	0.194	-	-	-	-	-	-
Nisan	-	0.102	-	0.113	-	-	-	-	-	0.13
Mayıs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Haziran	-	-	-	0.05	-	0.34	-	-	0.32	-
Temmuz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ağustos	-	0.411	0.278	-	-	-	-	-	0.09	-
Eylül	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ekim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kasım	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aralık	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.2 Toprak Fiziksel Özelliklerine İlişkin Analiz Sonuçları

Toprak fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için gerekli toprak örnekleri Çizelge 3.1’de verilen lokasyonlardan alınmıştır. Toprak analizleri Zile ve Çekerek istasyonları için 03.11.2023 tarihinde; Çamlıbel, Yeşilyurt, Sulusaray istasyonları için 07.11.2023 tarihinde alınan toprak örnekleri kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 4.10’da toprak fiziksel özellikleri verilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre Sulusaray istasyonu dışındaki istasyonların tüm derinliklerdeki toprak tekstür sınıfının killi bünyeye sahip olduğu görülmektedir. Sulusaray istasyonunda ise tüm derinliklerde toprak tekstür sınıfının kumlu killi tın olduğu belirlenmiştir. Tarla kapasitesi değerleri % 29.97 ile % 37.37 arasında, solma noktası değerleri % 18.52 ile 27.56 arasında, hacim ağırlığı değerleri ise 1.14 ile 1.24 arasında değerler almıştır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. İstasyonlara ait tekstür analiz sonuçları

Lokasyon	D (cm)	Tarla Kapasitesi (Gravimetrik, %)	Solma Noktası (Gravimetrik, %)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Tekstür Sınıfı
Zile	0-30	32.23	18.95	1.24	Killi
Zile	30-60	36.05	21.69	1.15	Killi
Zile	60-90	35.08	22.23	1.17	Killi
Sulusaray	0-30	29.38	20.05	1.17	Kumlu Killi Tın
Sulusaray	30-60	31.32	19.78	1.17	Kumlu Killi Tın
Sulusaray	60-90	29.97	19.14	1.16	Kumlu Killi Tın
Çamlıbel	0-30	30.11	17.26	1.16	Killi
Çamlıbel	30-60	30.72	18.59	1.19	Killi
Çamlıbel	60-90	30.66	18.52	1.22	Killi
Çekerek	0-30	36.43	27.54	1.14	Killi
Çekerek	30-60	36.58	27.50	1.16	Killi
Çekerek	60-90	37.37	27.56	1.16	Killi
Yeşilyurt	0-30	34.57	21.97	1.16	Killi
Yeşilyurt	30-60	33.42	21.31	1.17	Killi
Yeşilyurt	60-90	32.98	21.14	1.18	Killi

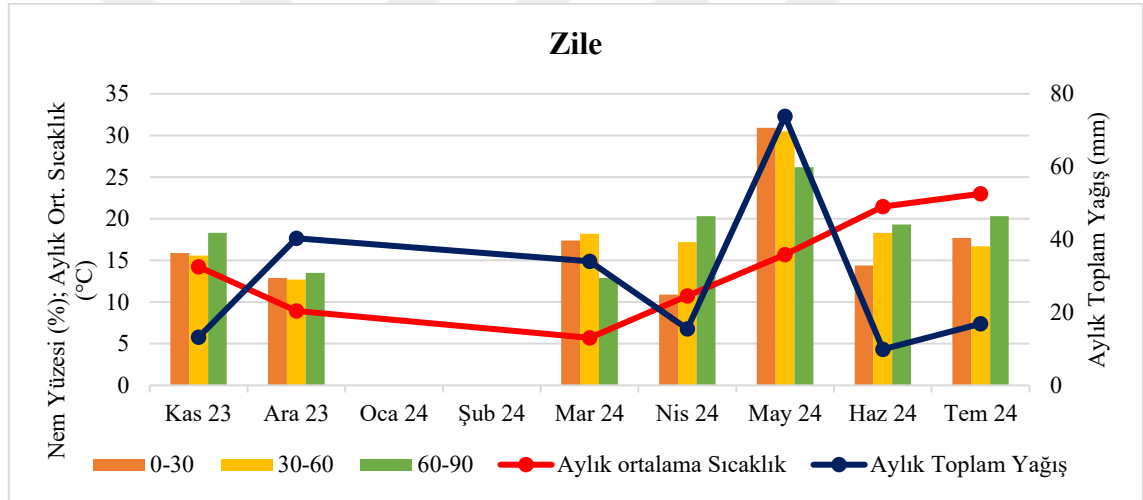
4.3 Toprak Nem Miktarına İlişkin Analiz Sonuçları

İstasyonlara ait aylık toprak nem takibi Çizelge 3.6'da verilen tarihlerde sulanmayan buğday arazilerinde yapılmıştır. Nem takibi için toprak örnekleri, her arazinin üç farklı noktasından olacak şekilde alınmıştır. Ağırlık yüzdesi cinsinden toprak nem içeriği değerleri Zile istasyonu için Çizelge 4.11'de, Sulusaray istasyonu için Çizelge 4.12'de, Çamlıbel istasyonu için Çizelge 4.13'te, Çekerek istasyonu için Çizelge 4.14'te ve Yeşilyurt istasyonu için Çizelge 4.15'te verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.2 – Şekil 4.6'da ilk noktaya (L-1) ait nem değerleri ve her örneklem arasındaki toplam yağış ve ortalama sıcaklık grafikleri verilmiştir. Çalışma alanının küçük olmasına rağmen yağışların lokal alanlarda farklılık göstermesi nedeniyle toprak nem değerleri aylık düşen yağışa göre farklılık göstermektedir. Çizelgeler ve grafikler incelendiğinde toprak neminin aynı arazi üzerinde bile oldukça değişken olduğu görülmektedir. Genel olarak 0-30 katmanında yağış ve sıcaklığa bağlı olarak daha dinamik ve değişken bir yapı mevcuttur. Bunun sebebi ise üst katmanın yağış ve sıcaklığa karşı daha hassas olmasından kaynaklanmaktadır (Deveci ve ark., 2019). Tüm istasyonlarda Mayıs ayında düşen yağışın her katmana etki ederek toprak nemini artırdığı görülmektedir. Yağışın azaldığı aylarda sıcaklığın artmasıyla birlikte toprak neminde de düşüşler meydana gelmiştir. Toprak katmanlarındaki nem oranını etkileyen bir diğer önemli etkende arazi üzerinde yetiştirilen bitki cinsidir. Chaghazardi ve ark., (2016), yağış ile beslenen kurak alanlarda buğday gibi tahılların topraktaki nemden faydalandığını ifade etmişlerdir. Kurak koşullarda bitki tarafından topraktan alınan suyun miktarını kök derinliği, kök dağılımı ve dokuların osmotik regülasyonu etkilemektedir (Öztürk ve Akten, 2011). Buğday bitkisi çeşitine ve toprak özelliklerine göre 1.5 - 2 m'ye kadar köklenmekte (Anonim, 2025), esas kök derinliği ise toprağın 20-30 cm'lik kısmını kapsamaktadır (Mutlu, 2020). Çizelgeler incelendiğinde ilk katman olan 0-30 cm derinliğindeki nem değişiminin yeterli yağış düştüğünde daha dinamik olduğu, yağışların azalmasıyla birlikte derinlere inen kök sistemi vasıtasıyla 30-60 ve 60-90 cm derinliklerindeki nem değişimin etkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.11. Zile istasyonuna ait ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri

Tarih	Farklı derinliklere ait nem değerleri (%)								
	L-1			L-2			L-3		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
03.11.2023	15.9	15.6	18.3	13.4	11.9	11.1	12.0	15.2	17.8
22.12.2023	12.9	12.7	13.5	10.8	12.0	12.2	14.0	10.9	14.4
04.03.2024	17.4	18.2	12.9	15.3	16.9	21.4	21.6	17.7	7.8
20.04.2024	10.9	17.2	20.3	17.5	17.7	17.4	11.1	17.7	20.5
26.05.2024	30.9	30.5	26.2	20.2	23.6	21.1	33.3	13.2	24.0
13.06.2024	14.4	18.3	19.3	15.0	18.0	21.7	13.9	19.8	18.0
09.07.2024	17.7	16.7	20.3	20.2	21.4	19.7	15.1	15.9	18.0

Not: L-1, L-2, L-3 aynı arazi üzerinde üç farklı lokasyonda alınan toprak örnekleri

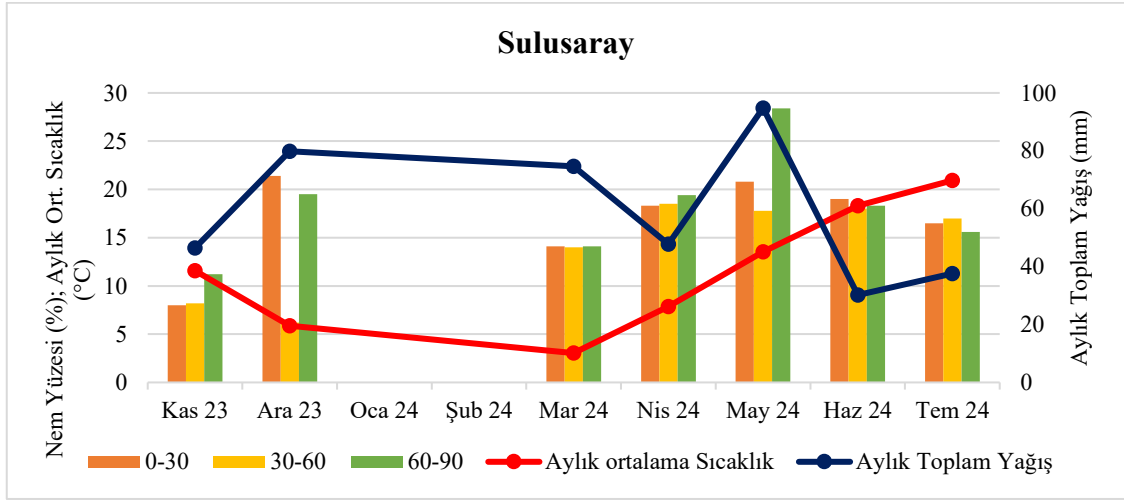


Şekil 4.2. Zile istasyonuna ait nem değerleriyle eş zamanlı iklim verisi

Çizelge 4.12. Sulusaray istasyonuna ait ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri

Tarih	Farklı derinliklere ait nem değerleri (%)								
	L-1			L-2			L-3		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
07.11.2023	8.0	8.2	11.2	7.1	9.6	12.7	8.6	8.8	8.5
22.12.2023	21.4	6.2	19.5	20.4	19.5	9.5	21.3	13.3	16.0
04.03.2024	14.1	14.0	14.1	15.4	15.5	16.7	18.2	15.9	13.3
20.04.2024	18.3	18.5	19.4	15.0	14.5	15.5	13.2	24.7	9.9
26.05.2024	20.8	17.8	28.4	15.1	17.8	17.2	20.5	13.5	10.8
12.06.2024	19.0	18.0	18.3	15.6	15.6	15.7	16.5	11.5	13.0
09.07.2024	16.5	17.0	15.6	13.7	13.6	13.7	12.3	9.7	9.9
31.07.2024	16.5	17.0	15.6	13.7	13.6	13.7	12.3	9.7	9.9

Not: L-1, L-2, L-3 aynı arazi üzerinde üç farklı lokasyonda alınan toprak örnekleri

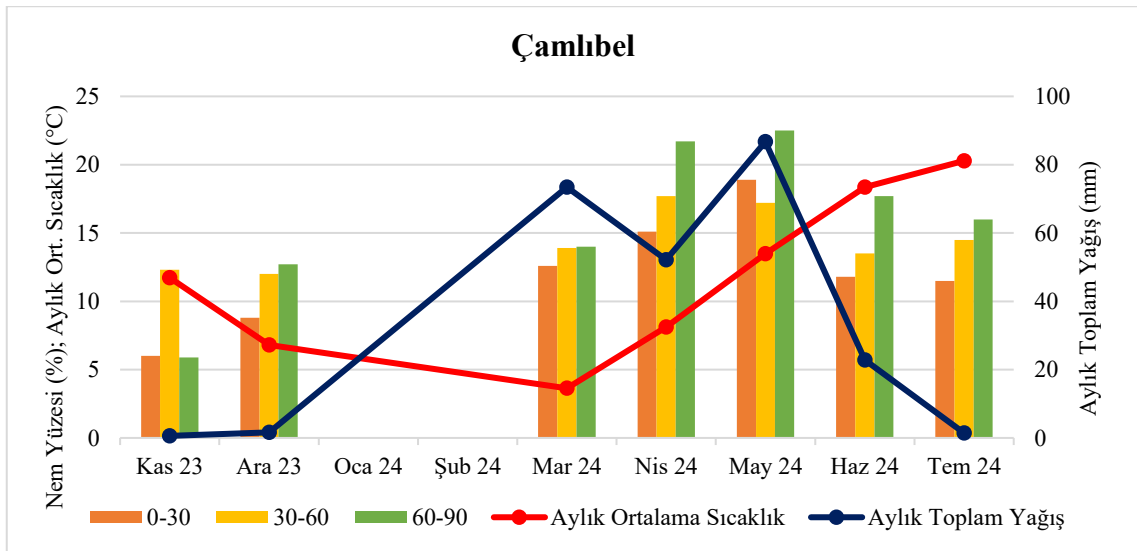


Şekil 4.3. Sulusaray istasyonuna ait nem değerleriyle eş zamanlı iklim verisi

Çizelge 4.13. Çamlıbel istasyonuna ait ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri

Tarih	Farklı derinliklere ait nem değerleri (%)								
	L-1			L-2			L-3		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
07.11.2023	6.0	12.3	5.9	12.2	9.7	12.8	12.8	5.8	13.2
22.12.2023	8.8	12.0	12.7	15.5	17.9	14.6	12.6	14.2	10.6
04.03.2024	12.6	13.9	14.0	16.7	18.9	12.8	16.2	16.3	14.2
20.04.2024	15.1	17.7	21.7	11.5	15.4	17.3	10.6	18.0	19.4
26.05.2024	18.9	17.2	22.5	19.7	16.5	21.6	21.1	21.1	18.4
12.06.2024	11.8	13.5	17.7	13.2	14.9	14.3	9.5	10.8	11.7
09.07.2024	13.1	13.1	15.9	12.4	14.0	14.8	11.8	12.0	12.5
31.07.2024	11.5	14.5	16.0	12.9	13.8	13.8	9.7	11.0	10.9

Not: L-1, L-2, L-3 aynı arazi üzerinde üç farklı lokasyonda alınan toprak örnekleri

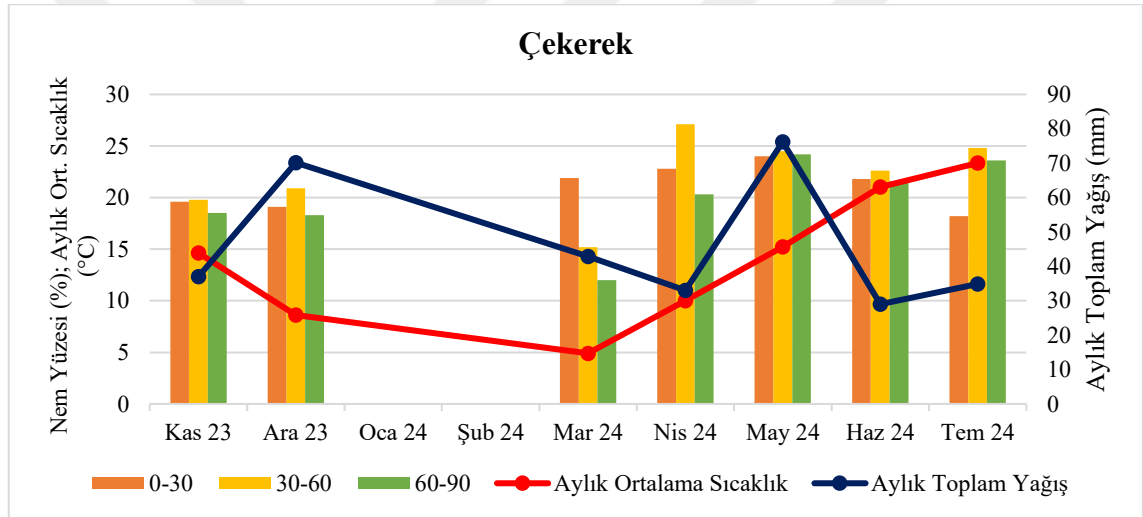


Şekil 4.4. Çamlıbel istasyonuna ait nem değerleriyle eş zamanlı iklim verisi

Çizelge 4.14. Çekerek istasyonuna ait ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri

Tarih	Farklı derinliklere ait nem değerleri (%)								
	L-1			L-2			L-3		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
03.11.2023	19.6	19.8	18.5	10.7	14.5	17.1	14.2	21.4	22.1
22.12.2023	19.1	20.9	18.3	17.9	18.1	14.6	20.0	19.6	17.9
04.03.2024	21.9	15.2	12.0	15.1	21.4	15.1	8.9	16.0	12.5
20.04.2024	22.8	27.1	20.3	13.9	24.3	27.4	14.2	23.9	22.5
26.05.2024	24.0	24.5	24.2	25.9	25.4	26.4	22.6	22.1	15.1
13.06.2024	21.8	22.6	21.6	35.3	30.4	26.5	23.8	24.8	25.0
09.07.2024	18.2	24.8	23.6	22.3	28.7	25.2	15.8	24.5	26.0

Not: L-1, L-2, L-3 aynı arazi üzerinde üç farklı lokasyonda alınan toprak örnekleri

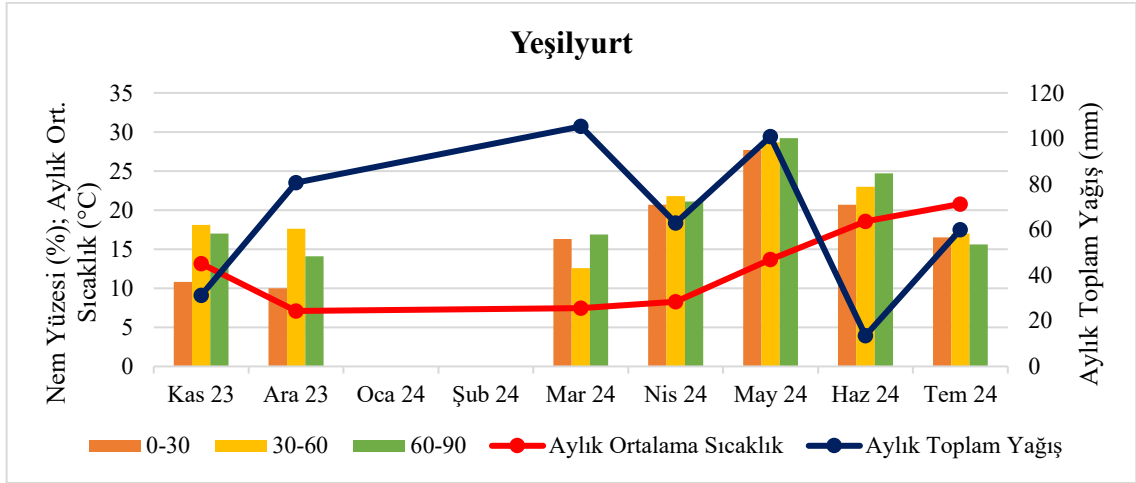


Şekil 4.5. Çekerek istasyonuna ait nem değerleriyle eş zamanlı iklim verisi

Çizelge 4.15. Yeşilyurt istasyonuna ait ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri

Tarih	Farklı derinliklere ait nem değerleri (%)								
	L-1			L-2			L-3		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
07.11.2023	10.8	18.1	17.0	11.6	9.1	12.6	10.6	9.5	10.6
22.12.2023	10.0	17.6	14.1	27.7	13.5	10.3	10.3	9.9	10.3
04.03.2024	16.3	12.6	16.9	17.1	16.0	23.5	19.1	16.5	16.5
20.04.2024	20.7	21.8	21.1	23.2	21.9	23.1	20.6	20.6	26.6
26.05.2024	27.7	28.7	29.2	30.9	26.9	29.1	30.1	29.1	27.3
12.06.2024	20.7	23.0	24.7	22.2	21.2	24.5	21.4	22.4	23.1
09.07.2024	17.6	19.6	23.2	19.3	22.9	22.7	20.5	23.7	24.1
31.07.2024	16.5	17.0	15.6	13.7	13.6	13.7	12.3	9.7	9.9

Not: L-1, L-2, L-3 aynı arazi üzerinde üç farklı lokasyonda alınan toprak örnekleri



Şekil 4.6. Yeşilyurt istasyonuna ait nem değerleriyle eş zamanlı iklim veri

4.4. Palmer Kuraklık Şiddeti İndeks (PDSI) Sonuçları

Palmer kuraklık şiddeti indeksinin hesaplanmasındaki ilk adım kullanılabilir su miktarının (AWC) belirlenmesidir. AWC değeri PDSI indeksi için önemli bir girdi parametresidir. AWC değeri Eşitlik 3.4 ile hesaplanmaktadır. Hesaplanmasında kullanılan veriler ve her bir istasyona ait hesaplanan AWC değeri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. İstasyonlara ait hesaplanmış AWC değeri

Lokasyon	Derinlik	d (mm)	TK (%)	SN (%)	HA (g/cm ³)	AWC (mm)	ΣAWC (mm)
Zile	0-30	300	32.23	18.95	1.24	49.42	144.25
Zile	30-60	300	36.05	21.69	1.15	49.58	
Zile	60-90	300	35.08	22.23	1.17	45.25	
Sulusaray	0-30	300	29.38	20.05	1.17	32.87	111.06
Sulusaray	30-60	300	31.32	19.78	1.17	40.53	
Sulusaray	60-90	300	29.97	19.14	1.16	37.67	
Çamlıbel	0-30	300	30.11	17.26	1.16	44.83	132.55
Çamlıbel	30-60	300	30.72	18.59	1.19	43.20	
Çamlıbel	60-90	300	30.66	18.52	1.22	44.51	
Çekerek	0-30	300	36.43	27.54	1.14	30.32	96.17
Çekerek	30-60	300	36.58	27.50	1.16	31.61	
Çekerek	60-90	300	37.37	27.56	1.16	34.25	
Yeşilyurt	0-30	300	34.57	21.97	1.16	43.81	128.39
Yeşilyurt	30-60	300	33.42	21.31	1.17	42.63	
Yeşilyurt	60-90	300	32.98	21.14	1.18	41.96	

Tez çalışmasında 5 farklı yaklaşım üzerinden PDSI indeksi hesaplanmıştır. Bunlar Geleneksel PDSI, $PDSI_{(30)}$, $PDSI_{(B.CROP)}$, Real Time PDSI ve Uydu Tabanlı PDSI yaklaşımlarıdır. Aşağıda her bir yaklaşımın hesaplanmasına ilişkin bilgiler ve sonuçlar verilmiştir.

Geleneksel PDSI Yaklaşımı

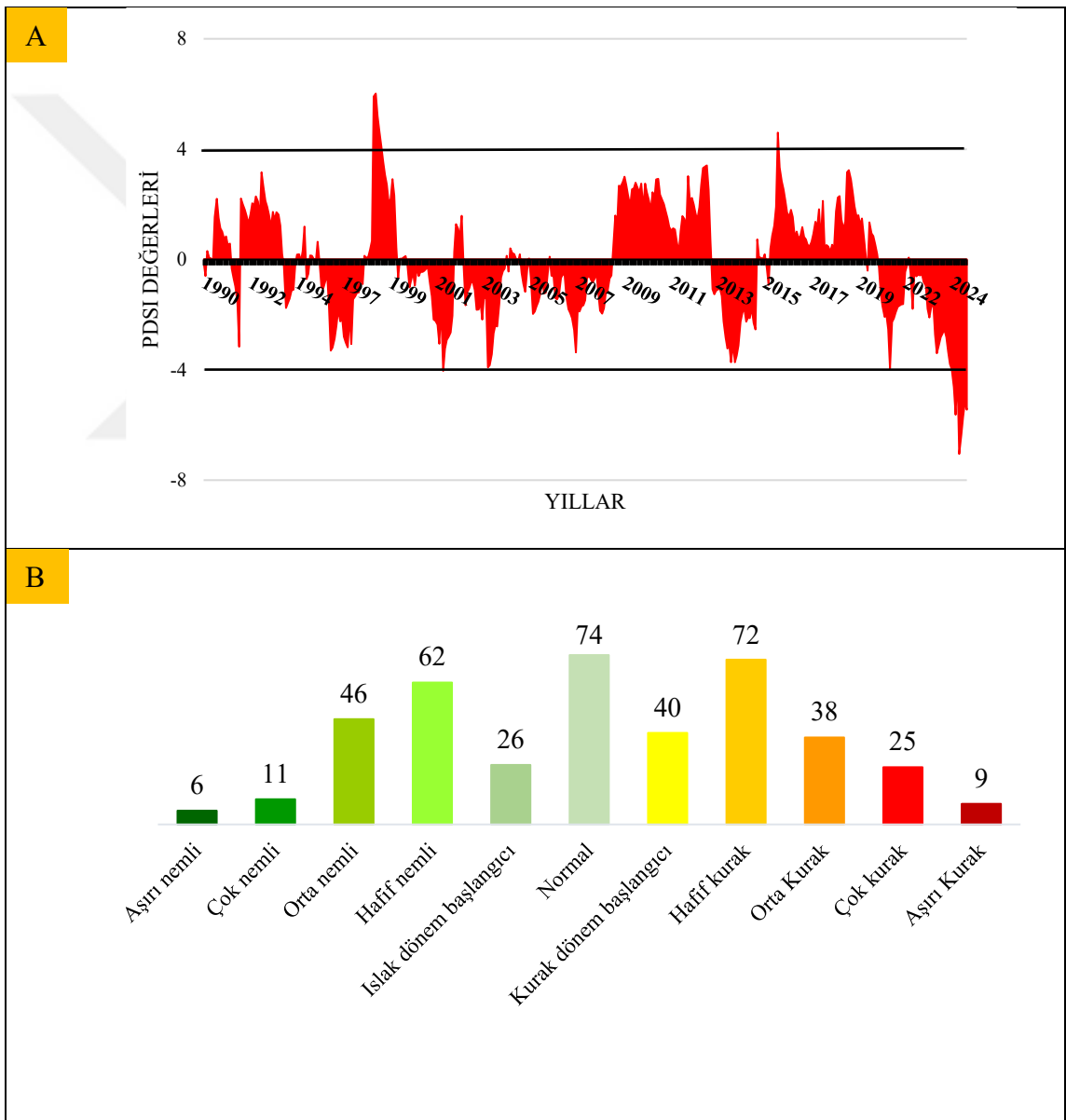
Geleneksel PDSI yaklaşımında Palmer (1965) tarafından geliştirilen PDSI yaklaşımına göre PDSI indeks değerleri hesaplanmıştır. PDSI indeksinin hesaplanma süreci, su dengesi ile başlamaktadır. Bunun için ilk olarak Çizelge 4.16’te verilen AWC değeri ve Thornthwaite yöntemi kullanılarak PET değerleri elde edilmiştir. Geleneksel PDSI yaklaşımının hesaplanmasında Çizelge 4.17’de verilen kabuller yapılmaktadır.

Çizelge 4.17. Geleneksel PDSI yaklaşımında yapılan kabuller

Parametreler		Kabul
Üst Katman	S_{s-1}	0
	L_{s-1}	25 mm
Alt Katman	S_{u-1}	0
	L_{u-1}	Toplam AWC – 25 mm

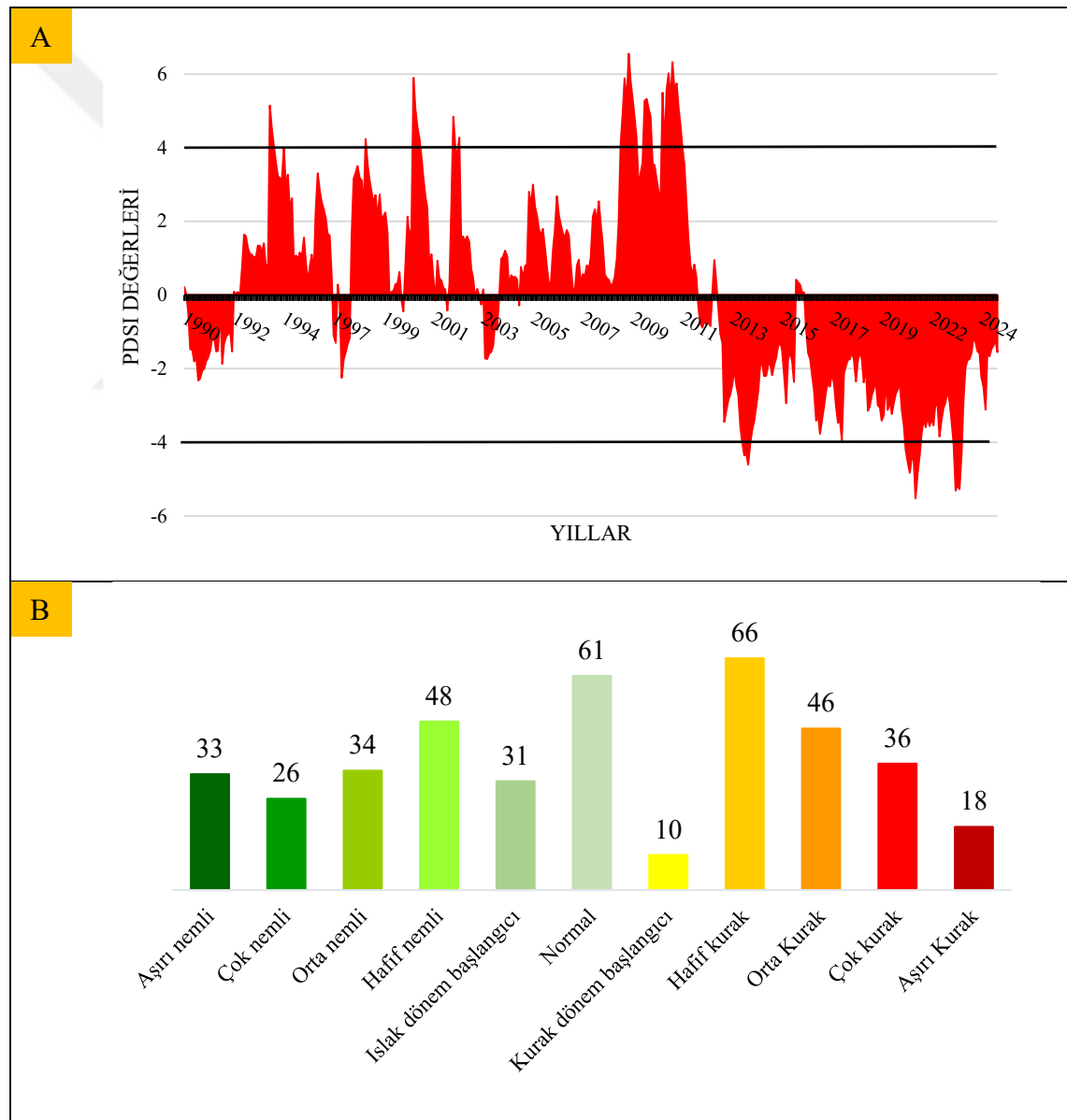
Çizelge 4.17 incelendiğinde üst katmanda bir önceki ayda depolanan nem miktarının 0 mm (sıfır), bir önceki ayda üst tabakadan buharlaşma kaybının 25 mm, alt katmanda bir önceki ayda depolanan nem miktarının 0 mm (sıfır), bir önceki ayda alt tabakadan buharlaşma kaybının toplam AWC değeri ile üst katmandaki buharlaşma kaybı arasındaki farkı (Toplam AWC – 25 mm) şeklinde kabuller yapıldığı görülmektedir. Kabuller yapıldıktan sonra Bölüm 3.2.2.1’de verilen adımlar takip edilerek ‘Geleneksel PDSI’ değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan ‘Geleneksel PDSI’ değerlerine ait zamansal grafikler ve kuraklık sınıflarına göre nemli ve kurak ayların sayılarını gösteren sütun grafiği Zile istasyonu için Şekil 4.7, Sulusaray istasyonu için Şekil 4.8, Çamlıbel istasyonu için Şekil 4.9, Çekerek istasyonu için Şekil 4.10 ve Yeşilyurt istasyonu için Şekil 4.11’de verilmiştir.

Şekil 4.7'ye göre Zile istasyonunda birçok yıl kurak geçmiştir. Özellikle 2019-2024 yılları arası son altı yılda tüm aylarda farklı şiddette kuraklık olayları meydana gelmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal ve nemli olay sayısından fazladır. Toplam 409 ayın % 18.1'inde normal dönem, %36.9'unda nemli dönem ve %45'inde kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 6.01 PDSI değeriyle 1998 yılı Haziran ayında gözlemlenmiştir. Aşırı kurak olaylar ise 2024 yılının sonunda meydana gelmiş olup, -7.05 PDSI değeriyle 2024 yılı Haziran ayı en kurak ay olarak tespit edilmiştir.



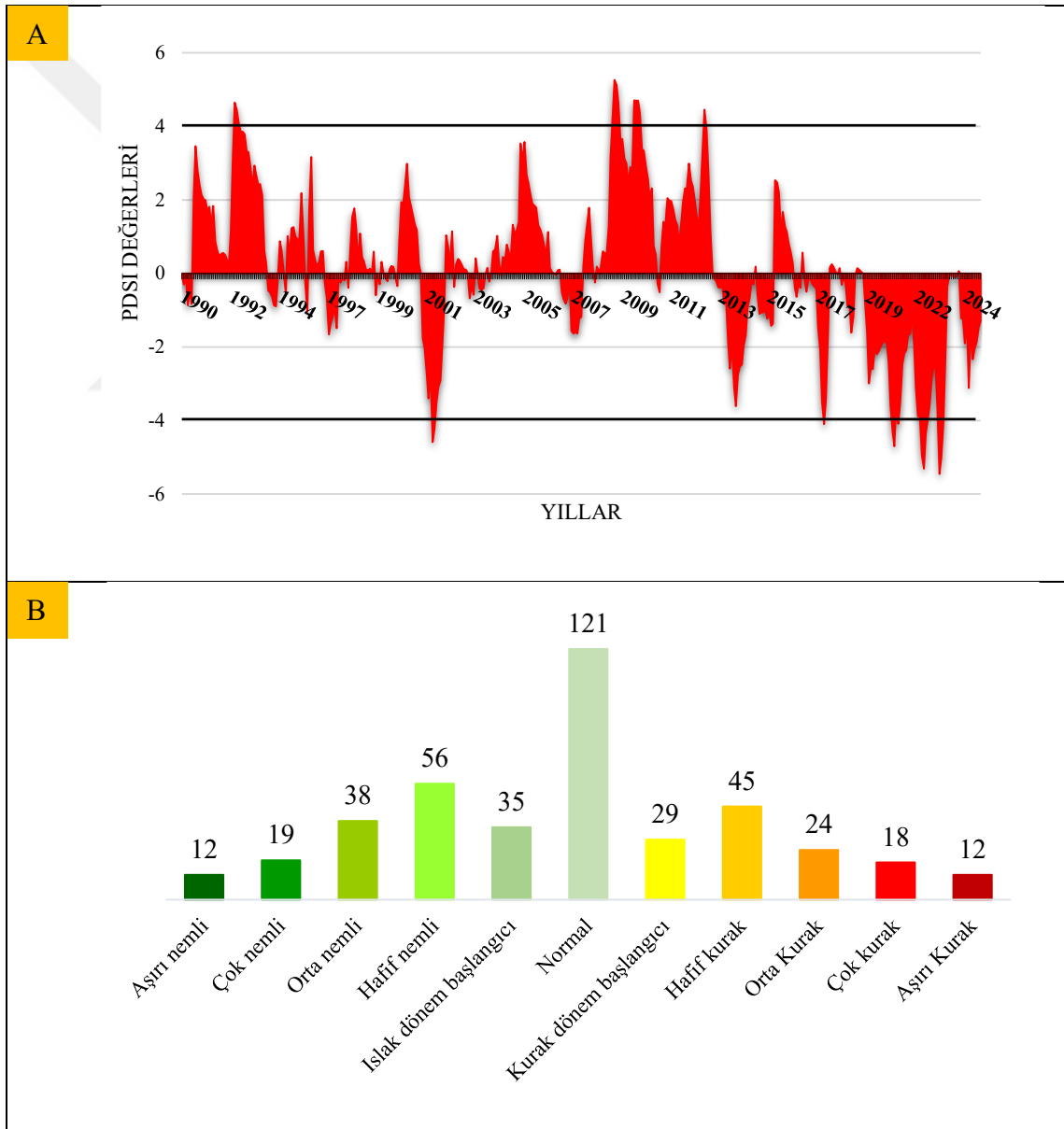
Şekil 4.7. Zile istasyonuna ait Geleneksel PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.8 incelendiğinde Sulusaray istasyonunda 1992-1996, 1998-2002, 2004-2011 yılları arası aylarda farklı şiddetle nemli olaylar meydana gelmiştir. 2012-2024 arasında birkaç ay dışındaki tüm aylarda farklı şiddetle kurak olaylar gerçekleşmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal ve nemli olay sayısından fazladır. Toplam 409 ayın % 14.9’unda normal dönem, %42.1’inde nemli dönem ve %44’ünde ise kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 6.56 PDSI değeriyle 2009 yılı Mayıs ayında gözlemlenmiştir. Aşırı kurak olay ise -5.53 PDSI değeriyle 2021 yılı Mayıs ayı olarak tespit edilmiştir.



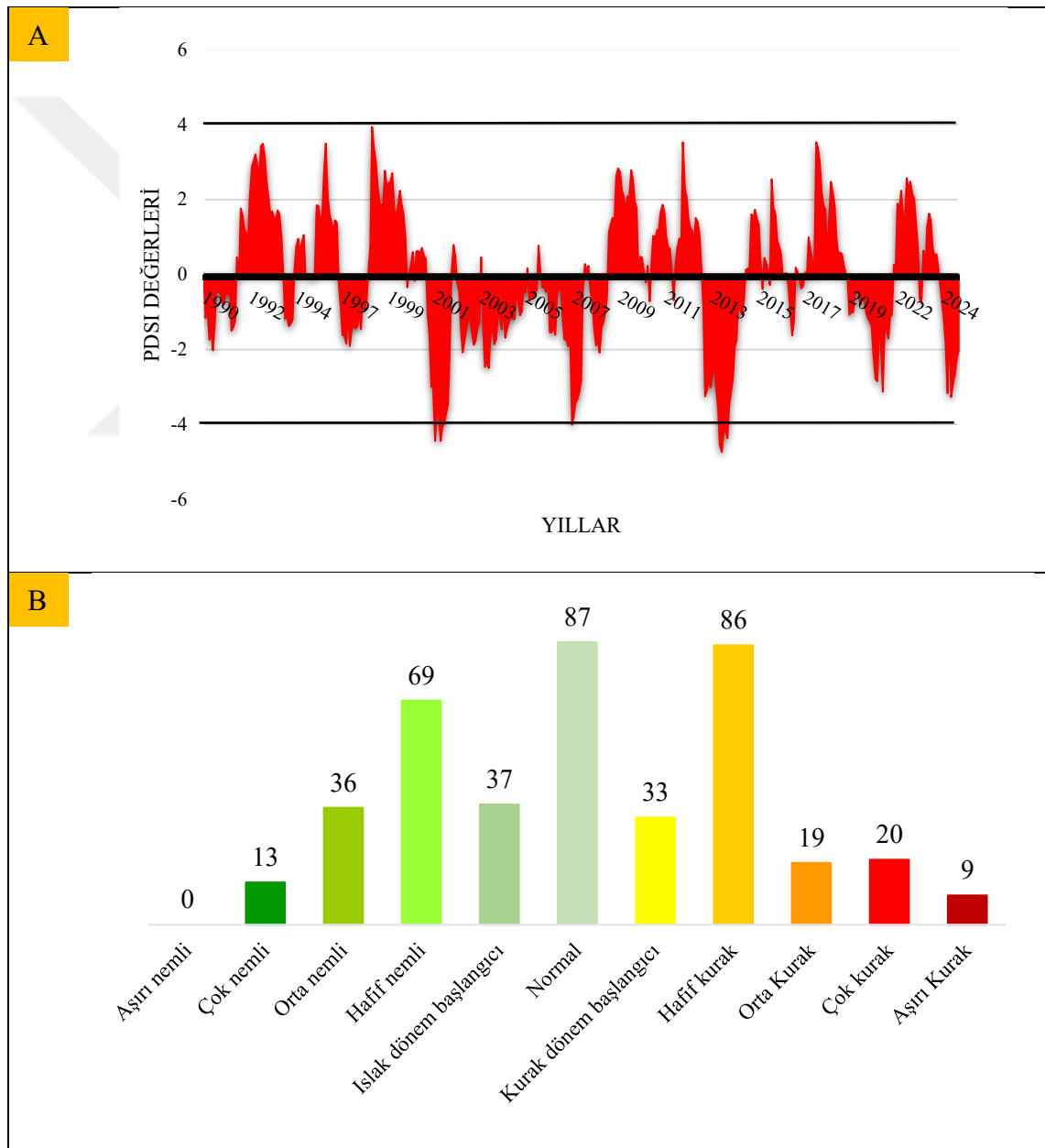
Şekil 4.8. Sulusaray istasyonuna ait Geleneksel PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.9’da verilen Çamlıbel istasyonuna ait PDSI kuraklık değerleri incelendiğinde yıllar arasında farklı şiddetle nemli ve kurak olaylar meydana gelmiştir. Özellikle 2019-2024 arasında birkaç ay dışındaki tüm aylarda farklı şiddetle kurak olaylar gerçekleşmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal olay sayısından fazla olup nemli olay sayısından daha azdır. Toplam 409 ayın % 29.6’ında normal dönem, %39.1’inde nemli dönem ve %31.3’ünde ise kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 5.26 PDSI değeriyle 2009 yılı Mart ayında, aşırı kurak olay ise -5.46 PDSI değeriyle 2023 yılı Ocak ayı olarak tespit edilmiştir.



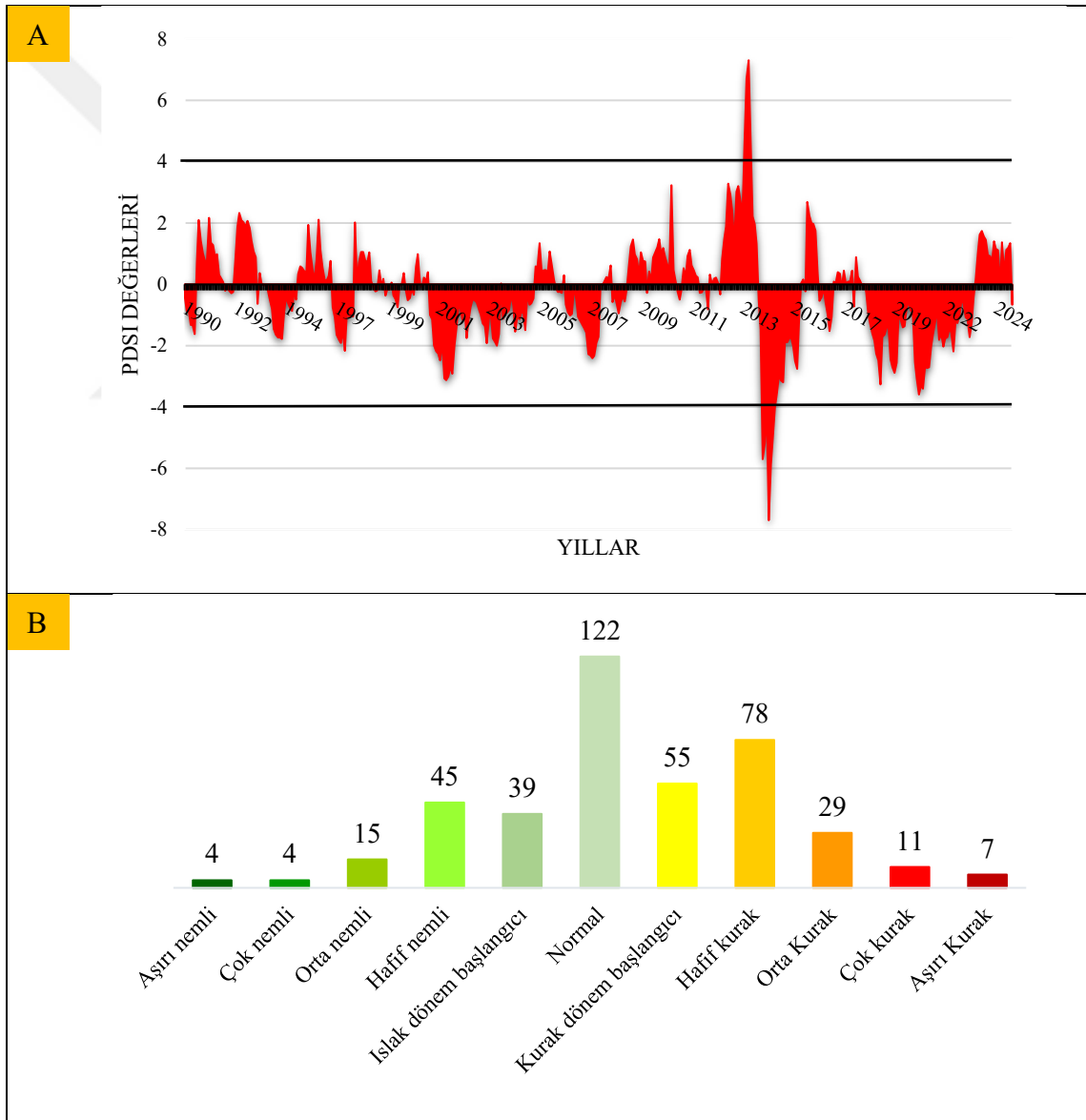
Şekil 4.9. Çamlıbel istasyonuna ait Geleneksel PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.10'da verilen Çekerek istasyonuna ait PDSI kuraklık değerlerinin zamansal grafiği incelendiğinde farklı şiddetle nemli ve kurak olayların meydana geldiği görülmektedir. 2024 yılına ait tüm aylarda farklı şiddete kurak olaylar gerçekleşmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal ve nemli olay sayısından fazladır. Toplam 409 ayın % 21.3'ünde normal dönem, %37.9'unda nemli dönem ve %40.8'inde ise kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli ve kurak olaylar gerçekleşmemiş olup en kurak ay -4.76 PDSI değeriyle 2014 yılı Şubat ayında gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10. Çekerek istasyonuna ait Geleneksel PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.11’de verilen Yeşilyurt istasyonuna ait PDSI kuraklık değerlerinin zamansal grafiği incelendiğinde farklı şiddetle nemli ve kurak olayların meydana geldiği görülmektedir. Yeşilyurt istasyonunda 2024 yılına ait tüm aylarda farklı şiddete nemli olaylar gerçekleşmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal ve nemli olay sayısından fazladır. Toplam 409 ayın % 29.8’inde normal dönem, %26.2’inde nemli dönem ve %44’ünde ise kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 7.31 PDSI değeriyle 2014 yılı Aralık ayında ve aşırı kurak olay ise -7.70 PDSI değeriyle 2014 yılı Eylül ayında tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Yeşilyurt istasyonuna ait Geleneksel PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

PDSI₍₃₀₎ Yaklaşımı

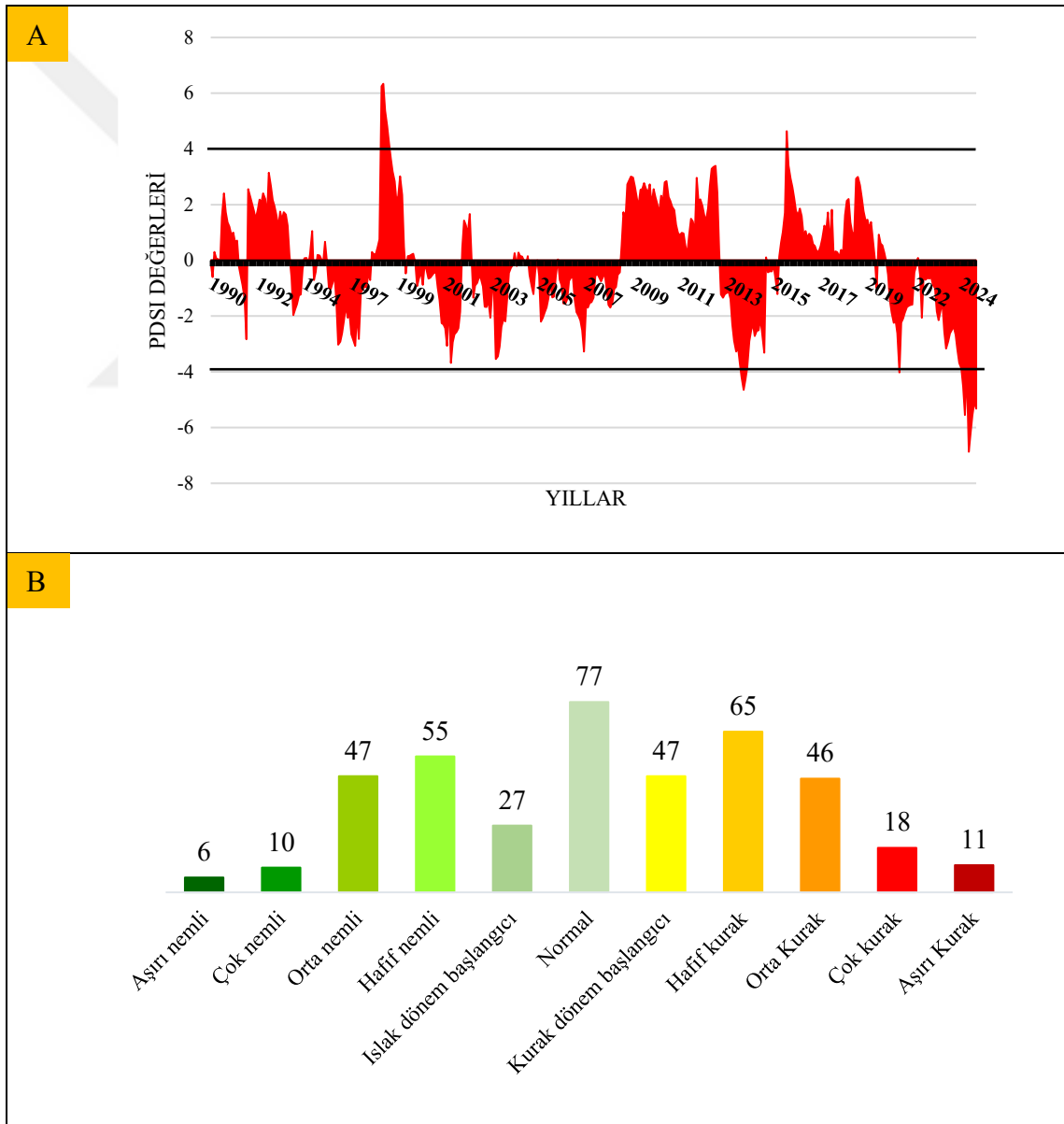
PDSI₍₃₀₎ yaklaşımının Geleneksel PDSI yaklaşımından farkı, toprak derinliği cinsinden ilk katman derinliği 0-30 cm olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla 0-30 cm arasındaki AWC değeri, nem içeriği cinsinden de ilk katmanın AWC değerini vermektedir. Geriye kalan 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerinin sahip olduğu toplam AWC değerleri ise alt katmanın kullanılabilir su miktarını ifade etmektedir. Her bir istasyonun tüm toprak derinlikleri için Çizelge 4.16’da AWC değerleri verilmiştir. Hesaplanan AWC değerleri ve Çizelge 4.18’de verilen kabuller dikkate alınarak PDSI₍₃₀₎ yaklaşımına göre PDSI indeks değerleri hesaplanmıştır. Çizelgede verilen kabullerden sonraki hesaplama prosedürü Geleneksel PDSI yaklaşımının hesaplama prosedürüyle aynıdır.

Çizelge 4.18. PDSI₍₃₀₎ yaklaşımında yapılan kabuller

İstasyonlar	Parametreler		Kabul
Zile	Üst Katman	S _{s-1}	0
		L _{s-1}	49.42 mm
	Alt Katman	S _{u-1}	0
		L _{u-1}	144.25 mm – 49.42 mm
Sulusaray	Üst Katman	S _{s-1}	0
		L _{s-1}	32.87 mm
	Alt Katman	S _{u-1}	0
		L _{u-1}	11.06 mm – 32.87 mm
Çamlıbel	Üst Katman	S _{s-1}	0
		L _{s-1}	44.83 mm
	Alt Katman	S _{u-1}	0
		L _{u-1}	132.35 mm – 44.83 mm
Çekerek	Üst Katman	S _{s-1}	0
		L _{s-1}	30.32 mm
	Alt Katman	S _{u-1}	0
		L _{u-1}	96.17 mm – 30.32 mm
Yeşilyurt	Üst Katman	S _{s-1}	0
		L _{s-1}	43.81 mm
	Alt Katman	S _{u-1}	0
		L _{u-1}	128.39 mm – 43.81 mm

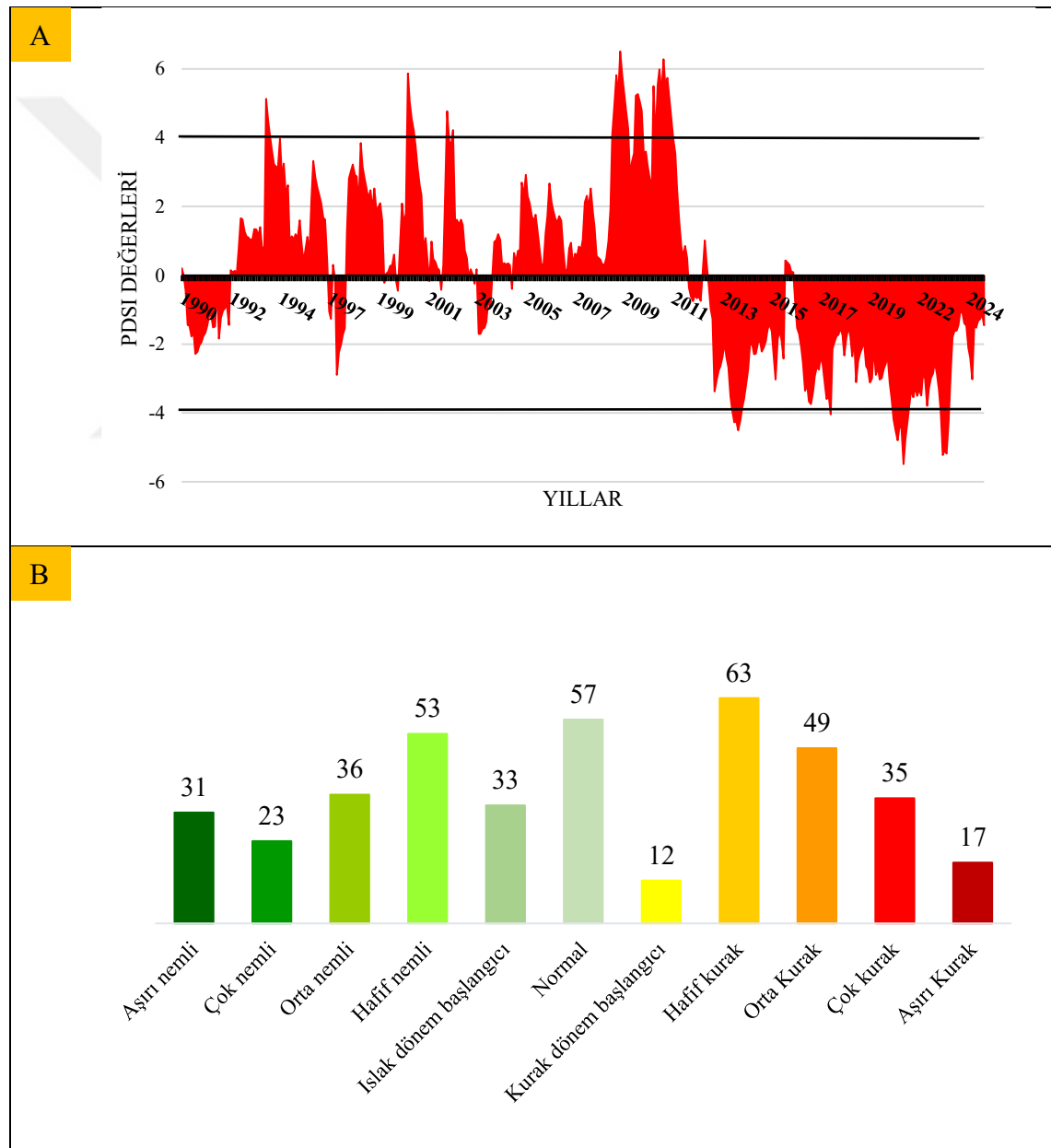
Hesaplanan ‘PDSI₍₃₀₎’ değerlerine ait zamansal grafikler ve kuraklık sınıflarına göre nemli ve kurak ayların sayılarını gösteren sütun grafiği Zile istasyonu için Şekil 4.12, Sulusaray istasyonu için Şekil 4.13, Çamlıbel istasyonu için Şekil 4.14, Çekerek istasyonu için Şekil 4.15 ve Yeşilyurt istasyonu için Şekil 4.16’da verilmiştir.

Şekil 4.12'ye göre Zile istasyonunda birçok yıl kurak geçmiştir. Özellikle 2019-2024 yılları arası son altı yılda tüm aylarda farklı şiddette kuraklık olayları meydana gelmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal olayların toplam sayısından sayısından fazlayken nemli olayların toplam sayısından daha az meydana gelmiştir. Toplam 409 ayın %29.6'sında normal dönem, %40.8'inde nemli dönem ve %31.3'ünde kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 6.34 PDSI değeriyle 1998 yılı Haziran ayında gözlemlenmiştir. Aşırı kurak olaylar ise 2024 yılının sonunda meydana gelmiş olup, -6.87 PDSI değeriyle 2024 yılı Haziran ayı en kurak ay olarak tespit edilmiştir.



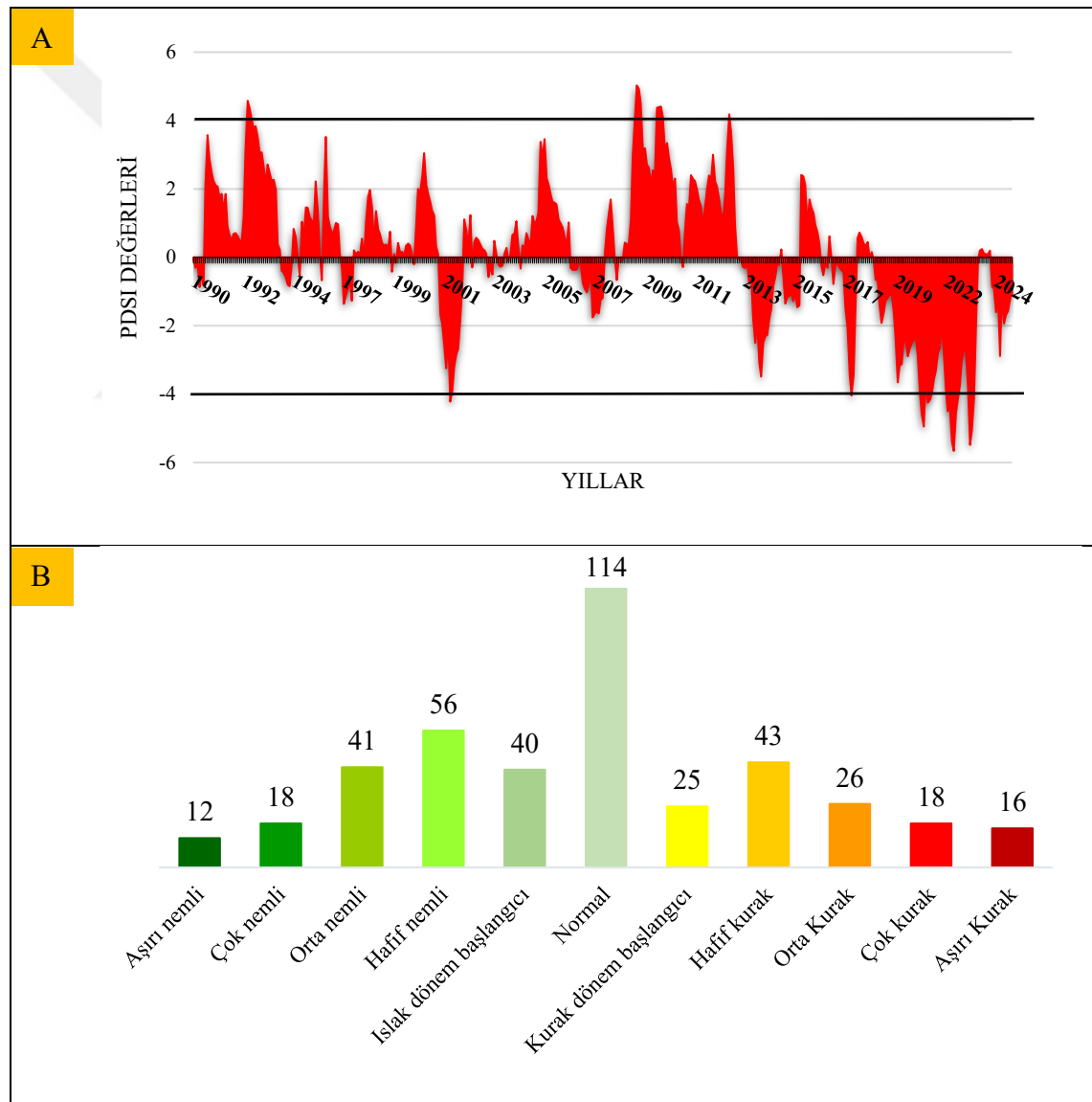
Şekil 4.12. Zile istasyonuna ait PDSI₍₃₀₎ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.13 incelendiğinde Sulusaray istasyonunda 1990-1991, 1997, 2003, 2012-2024 yılları arası birkaç ay dışındaki tüm aylarda farklı şiddetle kurak olaylar meydana gelmiştir. Kurak ve nemli olayların toplam sayısı eşit olup normal olay sayısından fazladır. Toplam 409 ayın % 14.9’unda normal dönem, %43.3’ünde nemli ve kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 6.51 PDSI değeriyle 2009 yılı Mayıs ayında gözlemlenmiştir. Aşırı kurak olay ise -5.49 PDSI değeriyle 2021 yılı Mayıs ayı olarak tespit edilmiştir.



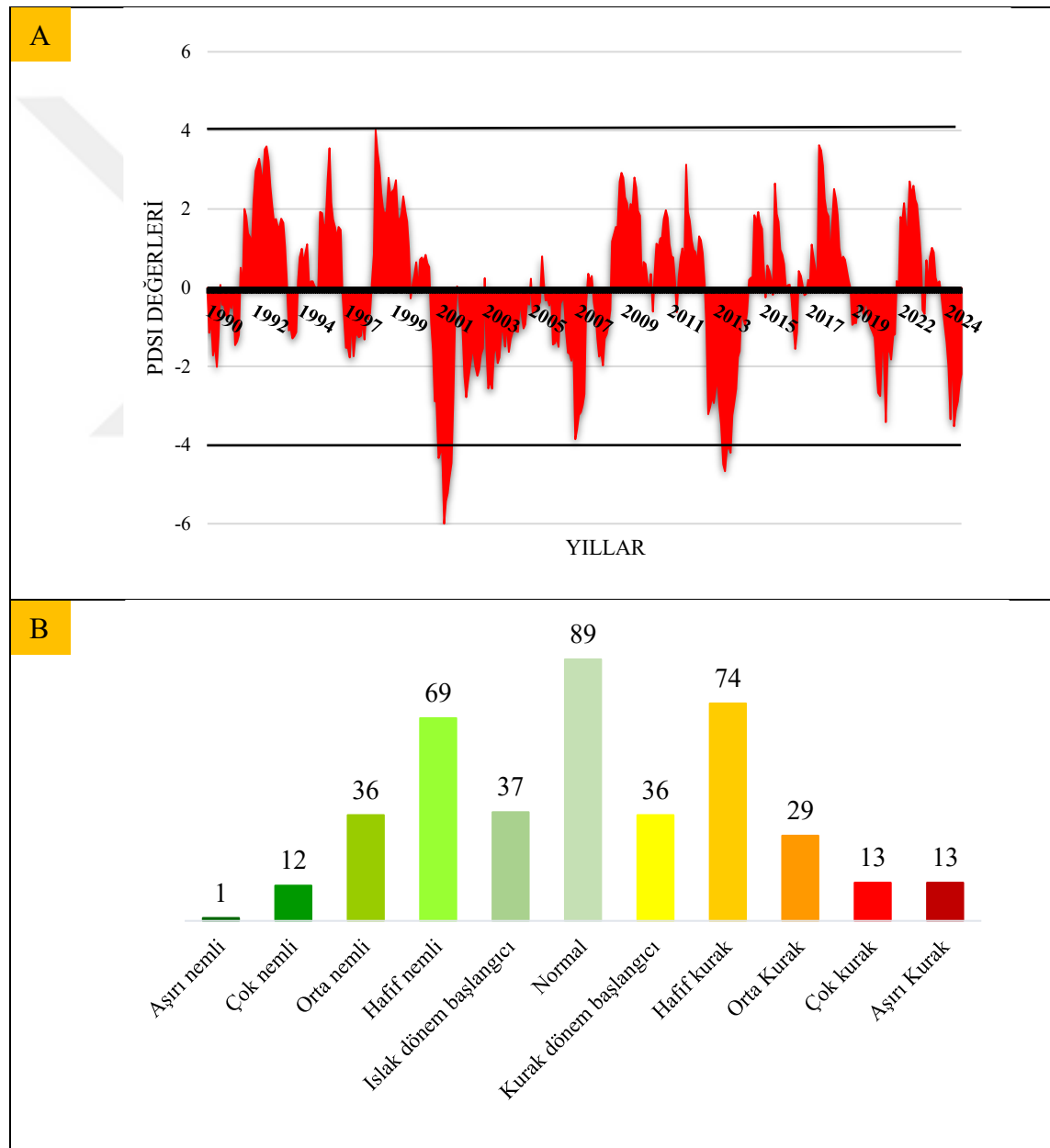
Şekil 4.13. Sulusaray istasyonuna ait $PDSI_{(30)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.14'te verilen Çamlıbel istasyonuna ait PDSI kuraklık değerleri incelendiğinde yıllar arasında farklı şiddette nemli ve kurak olaylar meydana gelmiştir. Özellikle 2019-2024 arasında birkaç ay dışındaki tüm aylarda farklı şiddette kurak olaylar gerçekleşmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal olay sayısından fazla olup nemli olay sayısından daha azdır. Toplam 409 ayın % 29.6'ında normal dönem, %40.8'inde nemli dönem ve %31.3'ünde ise kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 5.03 PDSI değeriyle 2009 yılı Mart ayı, aşırı kurak olay ise -5.66 PDSI değeriyle 2022 yılı Mayıs ayı olarak tespit edilmiştir.



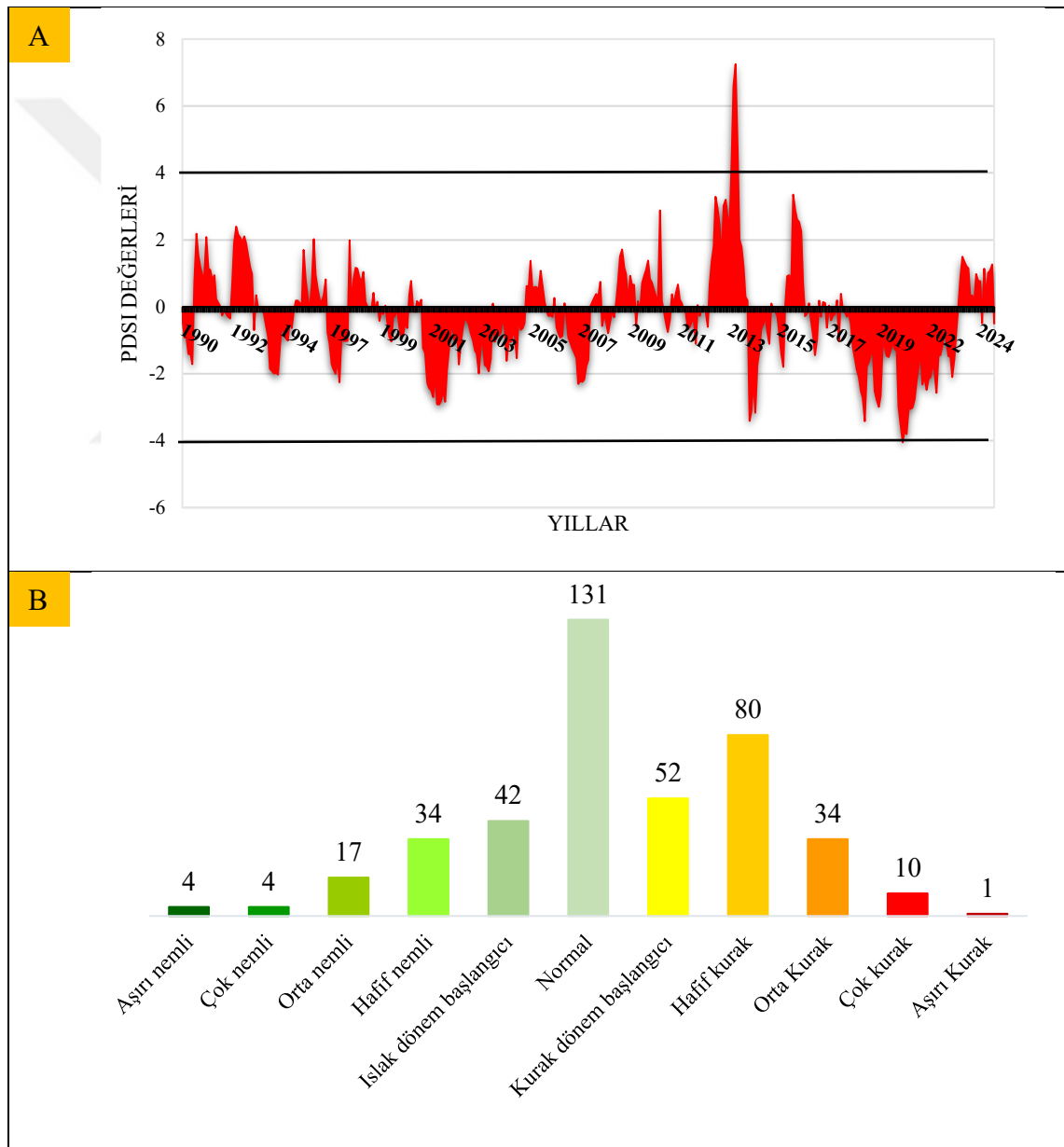
Şekil 4.14. Çamlıbel istasyonuna ait PDSI₍₃₀₎ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.15'te verilen Çekerek istasyonuna ait PDSI kuraklık değerlerinin zamansal grafiği incelendiğinde farklı şiddetle nemli ve kurak olayların meydana geldiği görülmektedir. 2024 yılına ait tüm aylarda farklı şiddetle kurak olaylar gerçekleşmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal ve nemli olay sayısından fazladır. Toplam 409 ayın % 21.3'ün de normal dönem, %37.9'unda nemli dönem ve %40.8'inde ise kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay gerçekleşmemiş olup en kurak ay -6.00 PDSI değeriyle 2001 yılı Haziran ayında gözlemlenmiştir.



Şekil 4.15. Çekerek istasyonuna ait PDSI₍₃₀₎ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.16’da verilen Yeşilyurt istasyonuna ait PDSI kuraklık değerlerinin zamansal grafiği incelendiğinde farklı şiddetle nemli ve kurak olayların meydana geldiği görülmektedir. Yeşilyurt istasyonunda 2024 yılı genel olarak nemli geçmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal ve nemli olay sayısından fazladır. Toplam 409 ayın % 32’sinde normal dönem, %24.7’s,nde nemli dönem ve %43.3’ünde ise kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 7.25 PDSI değeriyle 2013 yılı Aralık ayında ve aşırı kurak olay ise -4.05 PDSI değeriyle 2020 yılı Aralık ayında tespit edilmiştir.



Şekil 4.16. Yeşilyurt istasyonuna ait PDSI₍₃₀₎ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

PDSI_(B.CROP) (Bitki Bazlı PDSI) Yaklaşımı

PDSI_(B.CROP) yaklaşımı tez çalışmasında dikkate alınan buğday bitkisinin bitki bazlı solma noktası değerine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda diğer yaklaşımlardan farklı olarak AWC değerinin hesaplanmasında kullanılan solma noktası değeri olarak toprak özelliklerine bağlı olarak laboratuvar koşullarında elde edilen SN değerleri yerine, Tamsa (2013) tarafından arazi koşullarında tespit edilen buğday bitkisine ait %7.5 solma noktası değeri dikkate alınmıştır. Bitki bazlı solma noktası değeri kullanılarak hesaplanan ACW değeri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

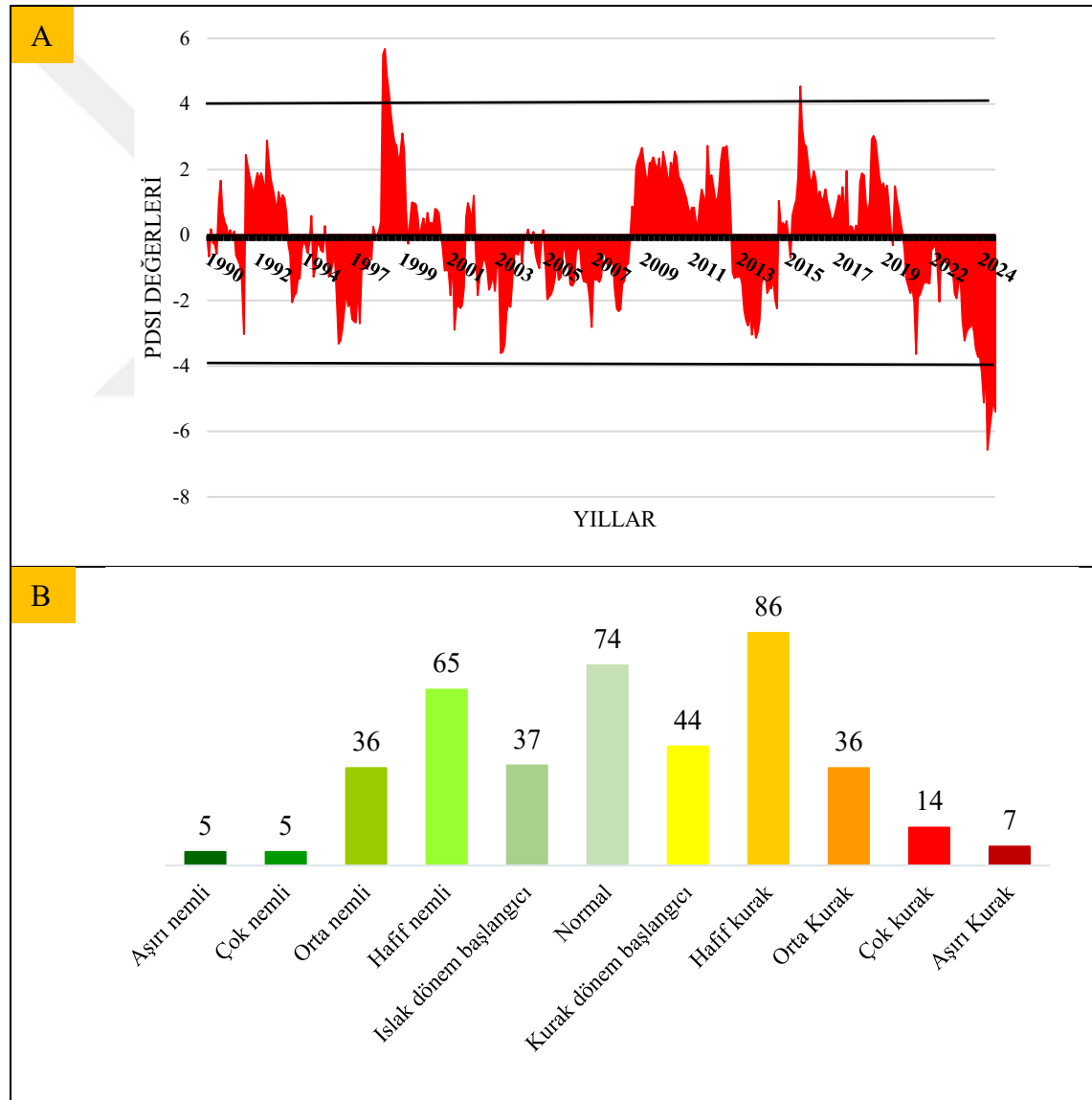
Çizelge 4.19. PDSI_(B.CROP) değerlerinin hesaplanmasında kullanılan AWC değeri

Lokasyon	Derinlik	d (mm)	TK (%)	SN (%)	HA	AWC	ΣAWC
Zile	0-30	300	32.23		1.24	92.06	
Zile	30-60	300	36.05	7.5	1.15	124.44	340.03
Zile	60-90	300	35.08		1.17	123.54	
Sulusaray	0-30	300	29.38		1.17	77.10	
Sulusaray	30-60	300	31.32	7.5	1.17	110.03	291.40
Sulusaray	60-90	300	29.97		1.16	104.27	
Çamlıbel	0-30	300	30.11		1.16	78.90	
Çamlıbel	30-60	300	30.72	7.5	1.19	109.43	300.71
Çamlıbel	60-90	300	30.66		1.22	112.38	
Çekerek	0-30	300	36.43		1.14	98.65	
Çekerek	30-60	300	36.58	7.5	1.16	127.35	356.48
Çekerek	60-90	300	37.37		1.16	130.48	
Yeşilyurt	0-30	300	34.57		1.16	94.13	
Yeşilyurt	30-60	300	33.42	7.5	1.17	117.70	328.72
Yeşilyurt	60-90	300	32.98		1.18	116.89	

Çizelge 4.18’de verilen AWC değerleri ve Çizelge 4.16’da verilen Geleneksel PDSI kabulleri dikkate alınarak PDSI_(B.CROP) yaklaşımına göre PDSI indeks değerleri hesaplanmıştır. Buradan da anlaşılabacağı üzere PDSI_(B.CROP) yaklaşımında, Geleneksel PDSI yaklaşımında olduğu gibi üst katmanda bir önceki ayda depolanan nem miktarının 0 mm (sıfır), bir önceki ayda üst tabakadan buharlaşma kaybının 25 mm, alt katmanda bir önceki ayda depolanan nem miktarının 0 mm (sıfır), bir önceki ayda alt tabakadan

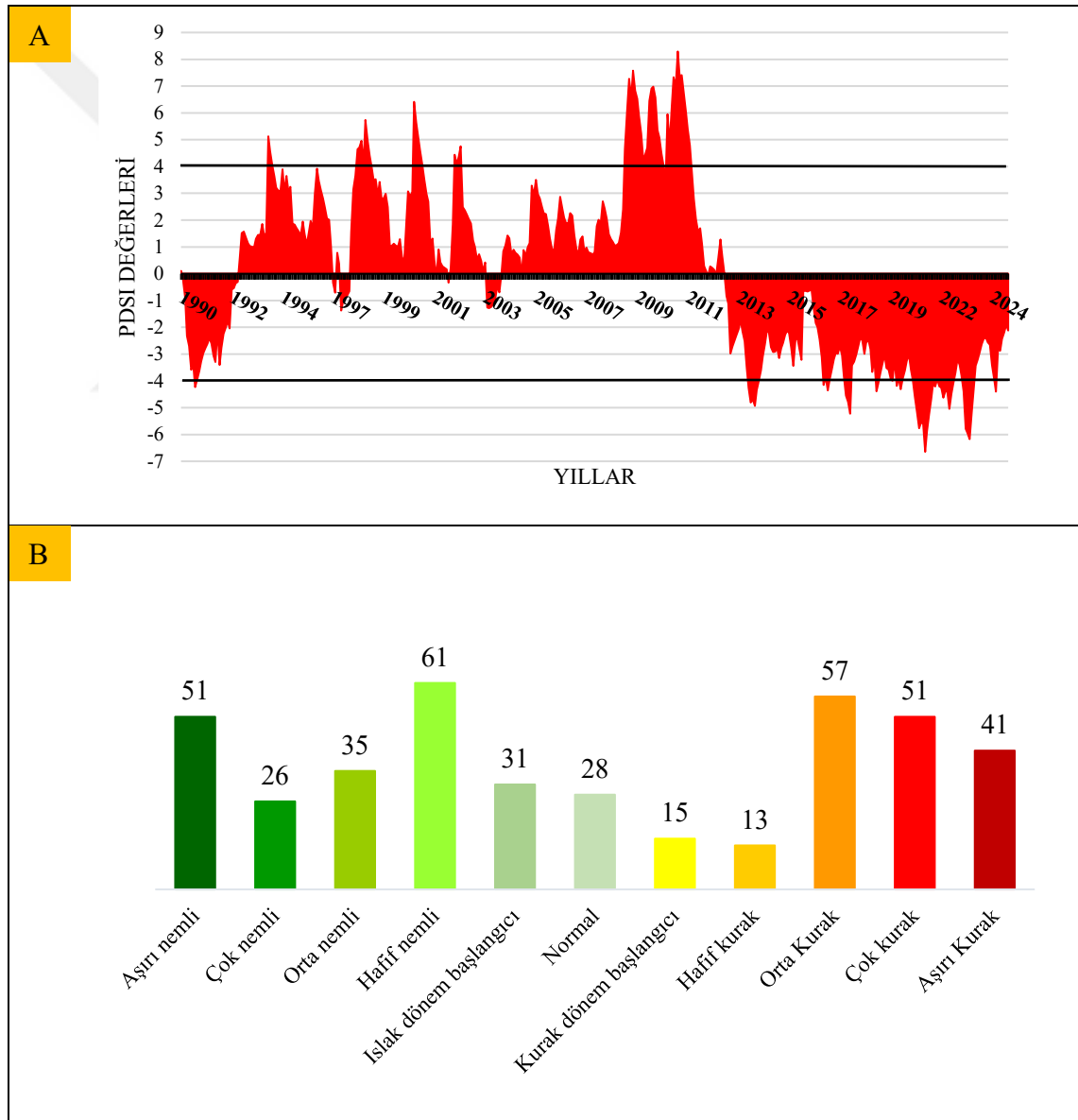
buharlaşma kaybının toplam AWC değeri ile üst katmandaki buharlaşma kaybı arasındaki farkı (Toplam AWC – 25 mm) şeklinde kabuller yapılmaktadır. Kabullerden sonraki hesaplama prosedürüde ‘Geleneksel PDSI’ yaklaşımının hesaplama prosedürüyle aynı adımları takip etmektedir.

Hesaplanan ‘PDSI_(B.CROP)’ değerlerine ait zamansal grafikler ve kuraklık sınıflarına göre nemli ve kurak ayların sayılarını gösteren sütun grafiği Zile istasyonu için şekil 4.17, Sulusaray istasyonu için şekil 4.18, amlıbel istasyonu için şekil 4.19, çekerek istasyonu için şekil 4.20 ve Yeşilyurt istasyonu için şekil 4.21’de verilmiştir.



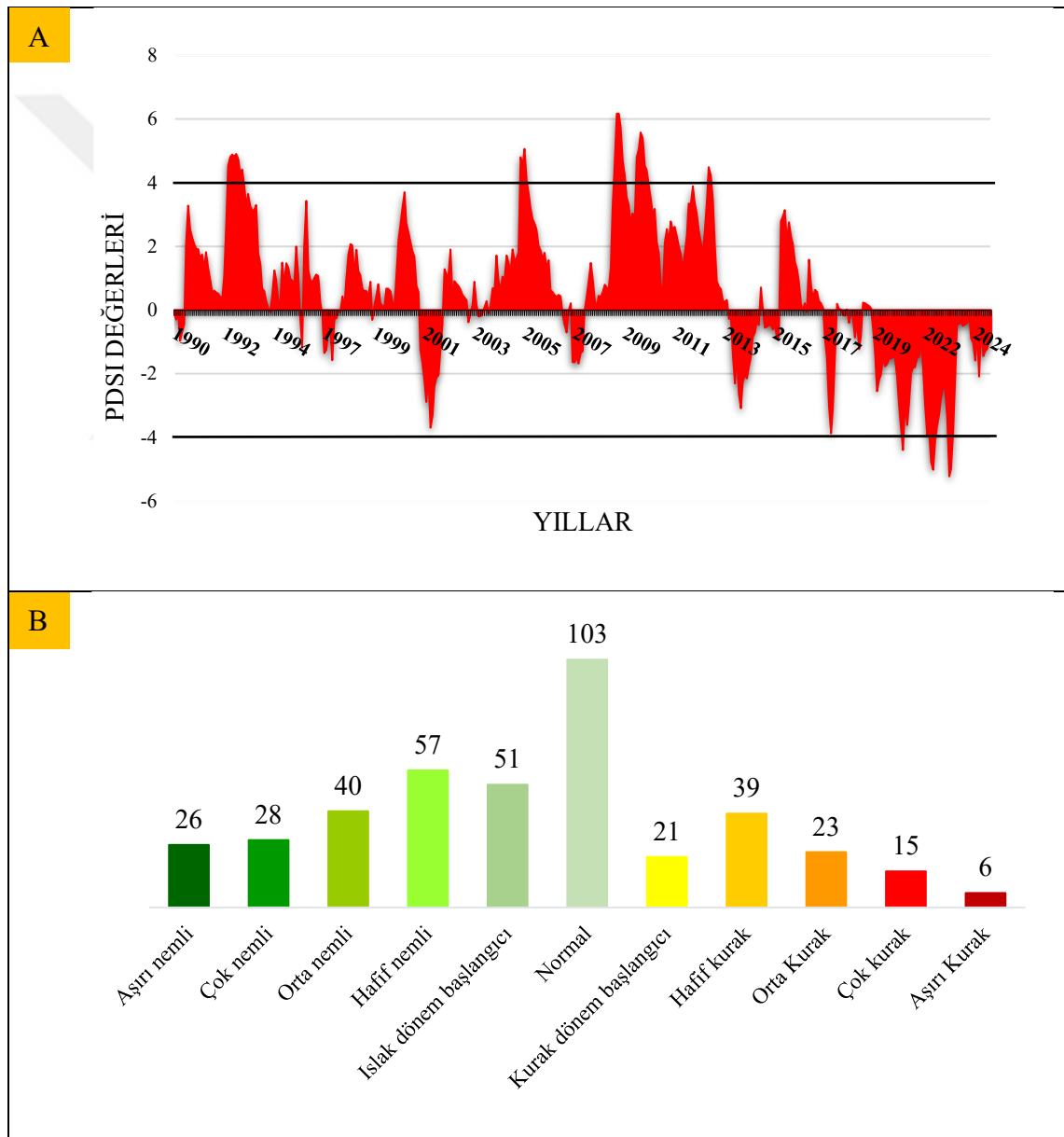
şekil 4.17. Zile istasyonuna ait PDSI_(B.CROP) değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.17'ye göre Zile istasyonunda birçok yılda farklı şiddette kuraklık olayları gözlemlenmiştir. Özellikle 2019-2024 yılları arası son altı yılda tüm aylarda farklı şiddette kuraklık olayları meydana gelmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal ve nemli olay sayısından fazladır. Toplam 409 ayın %18.1'inde normal dönem, %36.2'sinde nemli dönem ve %45.7'sinde kurak dönem tespit edilmiştir. Aşırı nemli olay 5.69 PDSI değeriyle 1998 yılı Haziran ayında gözlemlenmiştir. Aşırı kurak olaylar ise 2024 yılının sonunda meydana gelmiş olup, -6.56 PDSI değeriyle 2024 yılı Haziran ayı en kurak ay olarak tespit edilmiştir.



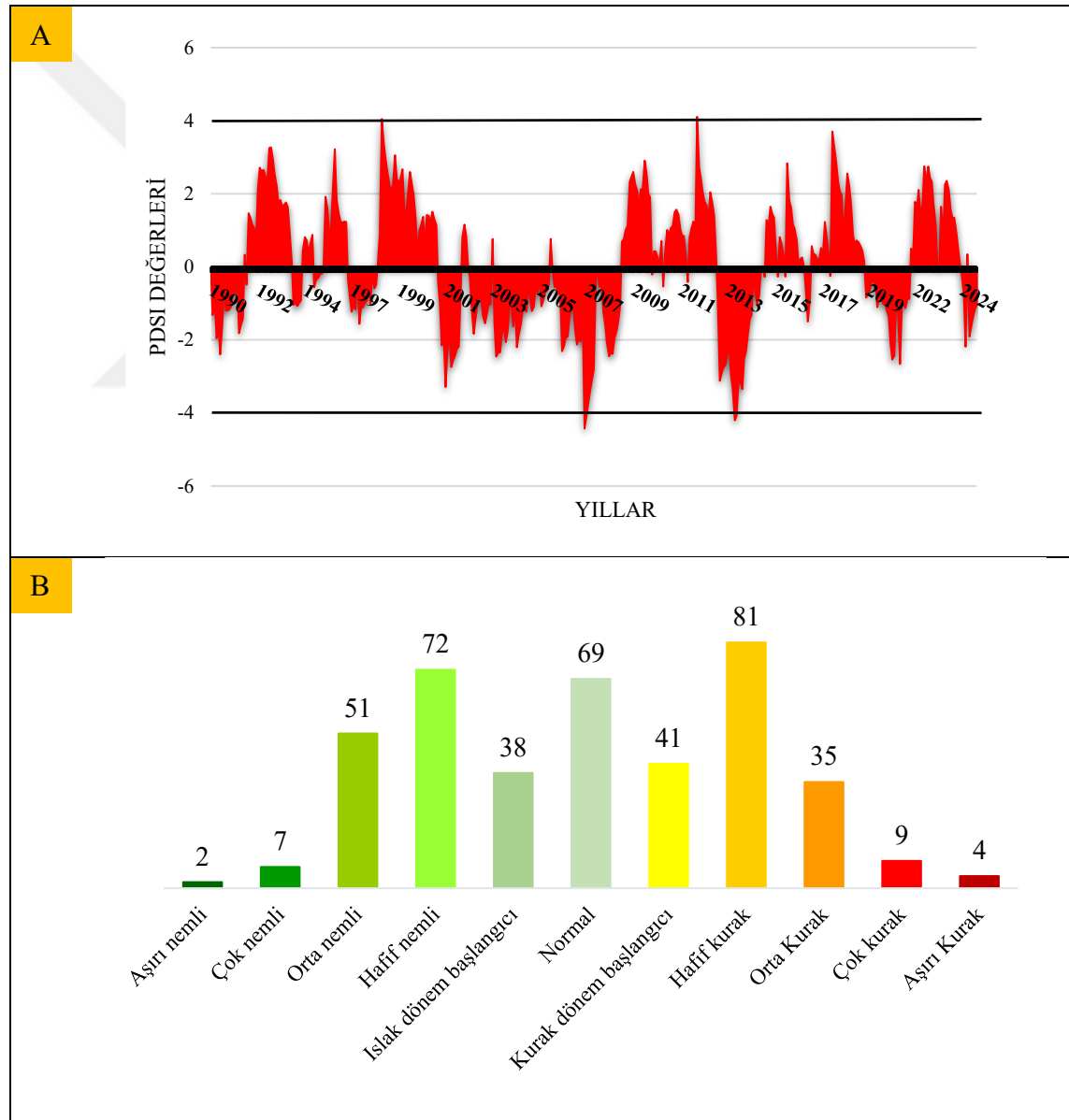
Şekil 4.18. Sulusaray istasyonuna ait PDSI_(B.CROP) değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.18 incelendiğinde Sulusaray istasyonunda 1990-1992, 2012-2024 yılları arası ve 1997 ve 2003 yıllarının ilk aylarında şiddetle kurak olayları gözlemlenmektedir. Kurak olayların toplam sayısı normal olayların toplam sayısından fazla olup nemli olayların toplam sayısından daha az meydana gelmiştir. Toplam 409 ayın %6.8'i normal, %49.9'u nemli ve %43.3'ünde kurak dönemler yaşanmıştır. Aşırı nemli olay 8.29 PDSI değeriyle 2010 yılı Mart ayında gözlemlenmiştir. Aşırı kurak olay ise -6.65 PDSI değeriyle 2020 yılı Mayıs ayı olarak tespit edilmiştir.



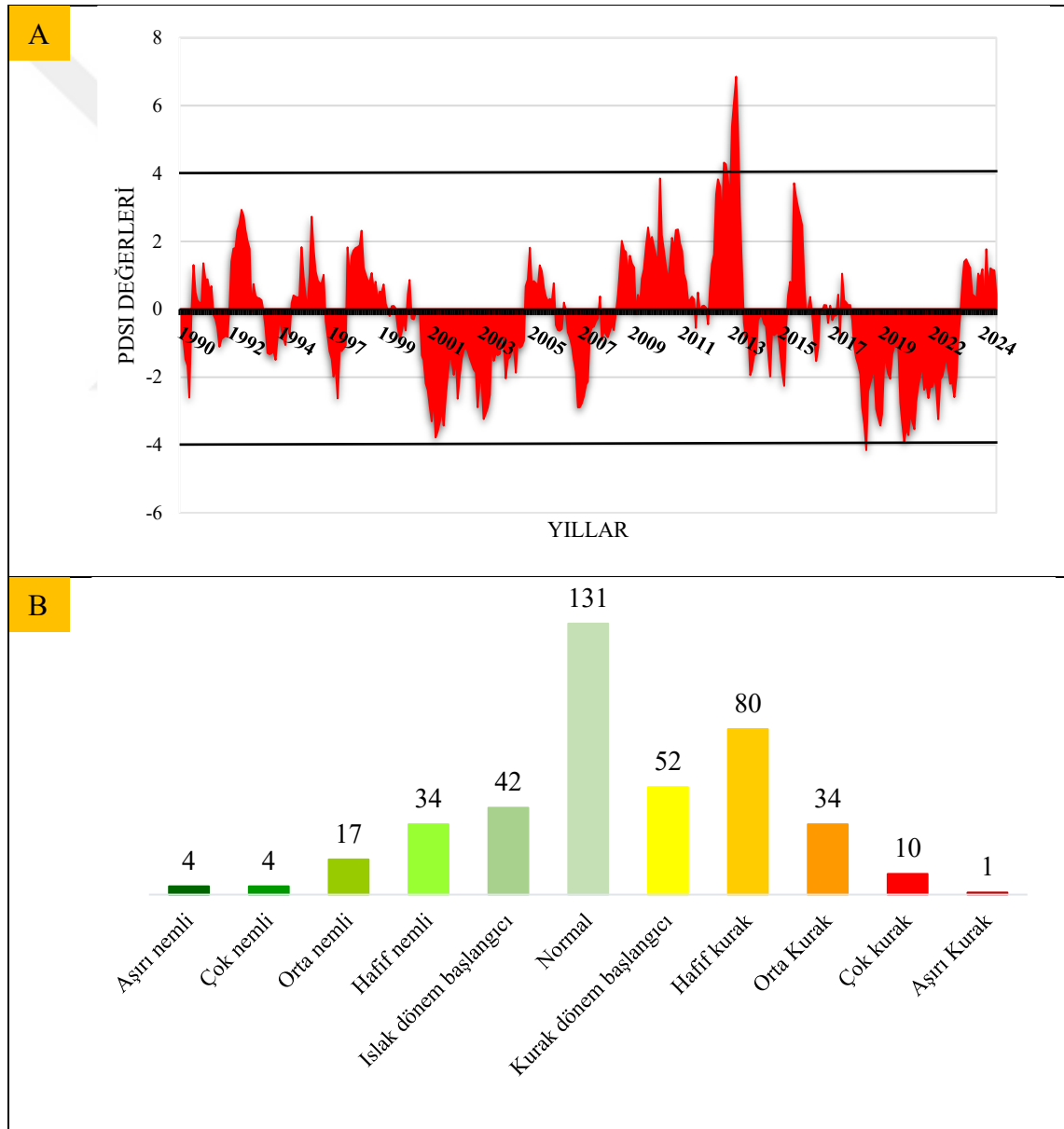
Şekil 4.19. Çamlıbel istasyonuna ait $PDSI_{(B,CROP)}$ değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.19’da verilen Çamlıbel istasyonuna ait PDSI kuraklık değerleri incelendiğinde çoğunlukla nemli olayların meydana geldiği görülmektedir. 2019-2024 yılları arasında tüm aylarda farklı şiddette kurak olaylar gerçekleşmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal olayların toplam sayısından fazla olup nemli olayların toplam sayısından daha azdır. Toplam 409 ayın % 25.2’sinde normal dönem, %49.4’ünde nemli dönem ve %25.4’ünde ise kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 6.17 PDSI değeriyle 2009 yılı Mart ve Nisan ayında, aşırı kurak olay ise -5.23 PDSI değeriyle 2023 yılı Ocak ayı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.20. Çekerek istasyonuna ait PDSI_(B.CROP) değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.20’de verilen Çekerek istasyonuna ait PDSI kuraklık değerlerinin zamansal grafiği incelendiğinde farklı şiddette nemli ve kurak olayların meydana geldiği görülmektedir. 2024 yılına ait son aylarda farklı şiddete kurak olaylar gerçekleşmiştir. Kurak olayların toplam sayısı nemli olayların toplam sayısına eşit olup, normal olayların toplam sayısından fazladır. Toplam 409 ayın % 16.9’unda normal dönem, %41.6’ında nemli ve kurak dönemler meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 4.11 PDSI değeri ile 2011 Mayıs ayında, en kurak ay ise -4.43 PDSI değeriyle 2006 yılı Mayıs ayında gözlemlenmiştir.



Şekil 4.21. Yeşilyurt istasyonuna ait PDSI_(B.CROP) değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.21’de verilen Yeşilyurt istasyonuna ait PDSI kuraklık değerlerinin zamansal grafiği incelendiğinde farklı şiddette nemli ve kurak olayların meydana geldiği görülmektedir. Yeşilyurt istasyonunda 2024 yılının tüm ayları nemli geçmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal ve nemli olayların toplam sayısından fazladır. Toplam 409 ayın %24.2’sin de normal dönem, %30.8’inde nemli dönem ve %45’inde ise kurak dönem meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 6.86 PDSI değeriyle 2013 yılı Aralık ayında ve aşırı kurak olay ise -4.16 PDSI değeriyle 2019 yılı Mayıs ayında tespit edilmiştir.

Real Time PDSI Yaklaşımı

Real Time PDSI yaklaşımının hesaplanması için ilk olarak AWC değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımda AWC değeri toprak özelliklerine bağlı olarak laboratuvar koşullarında elde edilen SN değeri, aylık takibi yapılan mevcut nem değerleri, hacim ağırlığı ve toprak derinliği kullanılarak Eşitlik 4.1 ile hesaplanmıştır.

$$AWC = \frac{(MN - SN)}{100} \times HA \times D \quad (4.1)$$

Burada MN: mevcut nem, SN: solma noktası, HA: Hacim ağırlığı, D: toprak derinliğini ifade etmektedir.

Burada örnek olarak buğday ekimi öncesi 03.11.2023 tarihinde ve buğday vejetasyon dönemi 20.04.2024 tarihleri için hesaplanan AWC değerleri sırasıyla Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21’de verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde tüm istasyonların her bir derinlikte solma noktası değerlerinin mevcut nem değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Solma noktasının mevcut nem değerinden fazla olması, arazi üzerinde herhangi bir bitki yaşamının olmaması anlamına gelmektedir. Bölüm 3.2.1’de verilen arazi görselleri incelendiğinde 03.11.2023 tarihinde arazi boş olduğu için yani herhangi bir bitki yaşamı olmadığından dolayı solma noktasının mevcut nem değerinden büyük olması doğal bir sonuçtur. Ancak 20.04.2024 tarihinde çıkan sonuçlar arazi görselleriyle uyumlu değildir. Yani Çizelge 4.21’de elde edilen sonuçlara göre tüm istasyonlar için arazi üzerinde buğday bitkisinin yaşamaması gerekmektedir. Benzer olarak diğer aylarda da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.20. 03.11.2023 tarihi için hesaplanan AWC değeri

İstasyon	Toprak Katmanı	SN (%)	MN (%)	HA (g/cm ³)	Derinlik (mm)	AWC (mm)
Zile	0-30	21.26	15.9	1.24	300	-20.10
	0-60	23.17	15.6	1.15	300	-26.27
	60-90	22.33	18.3	1.17	300	-14.30
Sulusaray	0-30	20.24	8.0	1.17	300	-42.97
	0-60	19.51	8.2	1.17	300	-39.62
	60-90	18.96	11.2	1.16	300	-26.95
Çamlıbel	0-30	19.51	6.0	1.16	300	-47.10
	0-60	20.86	12.3	1.19	300	-30.41
	60-90	20.71	5.9	1.22	300	-54.36
Çekerek	0-30	27.67	19.6	1.14	300	-27.66
	0-60	27.80	19.8	1.16	300	-27.73
	60-90	27.98	18.5	1.16	300	-33.04
Yeşilyurt	0-30	24.59	10.8	1.16	300	-47.96
	0-60	23.97	18.1	1.17	300	-20.50
	60-90	23.67	17.0	1.18	300	-23.68

Çizelge 4.21. 20.04.2024 tarihi için hesaplanan AWC değeri

İstasyon	Toprak Katmanı	SN (%)	MN (%)	HA (g/cm ³)	Derinlik (mm)	AWC (mm)
Zile	0-30	21.26	10.92	1.11	300	-34.35
	0-60	23.17	17.20	1.19	300	-21.28
	60-90	22.33	20.25	1.29	300	-8.03
Sulusaray	0-30	20.24	18.30	1.02	300	-5.92
	0-60	19.51	18.46	0.96	300	-3.02
	60-90	18.96	19.35	0.96	300	1.13
Çamlıbel	0-30	19.51	15.06	1.18	300	-15.74
	0-60	20.86	17.72	1.16	300	-10.89
	60-90	20.71	21.74	1.13	300	3.49
Çekerek	0-30	27.67	22.76	1.16	300	-17.12
	0-60	27.80	27.07	1.17	300	-2.55
	60-90	27.98	20.27	1.11	300	-25.67
Yeşilyurt	0-30	24.59	20.74	1.72	300	-19.92
	0-60	23.97	21.80	1.10	300	-7.10
	60-90	23.67	21.09	1.17	300	-9.04

Toprak özelliklerine bağlı elde edilen solma noktası ve mevcut nem değerlerinden hesaplanan AWC değerleri incelendiğinde PDSI indeksinin hesaplanmasının mümkün olmadığı görülmektedir. Arazi koşullarında karşılaşılan bu durumun çözüme kavuşmasında toprak özelliklerine bağlı elde edilen solma noktası değeri yerine bitki

bazlı solma noktası değerin kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Tamsa (2013) yaptığı tez çalışmasında buğday bitkisinin bitki bazlı solma noktası değerin %7.5 olduğunu ifade etmiştir. Bu nedenle bu tez çalışmasında Real Time PDSI değerlerinin hesaplanması için solma noktası değeri olarak %7.5 referans değer olarak alınmıştır. Bitki bazlı solma noktası değeri kullanılarak hesaplanan AWC değerleri Zile, Sulusaray, Çamlıbel, Çekerek, Sulusaray istasyonları için sırasıyla Çizelge 4.22, Çizelge 4.23, Çizelge 4.24, Çizelge 4.25 ve Çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.22. Zile istasyonunun toprak örneği alınma tarihleri için hesaplanan AWC değerleri

Tarih	Toprak Katmanı	SN (%)	MN (%)	HA (g/cm ³)	Derinlik (mm)	AWC (mm)	Toplam AWC (mm)
03.11.2023	0-30	7.5	15.9	1.24	300	31.10	96.77
	0-60		15.6	1.15	300	27.81	
	60-90		18.3	1.17	300	37.87	
22.12.2023	0-30	7.5	12.93	1.13	300	18.42	55.64
	0-60		12.69	1.11	300	17.21	
	60-90		13.47	1.12	300	20.01	
04.03.2024	0-30	7.5	17.42	1.15	300	34.29	89.98
	0-60		18.18	1.17	300	37.63	
	60-90		12.87	1.12	300	18.06	
20.04.2024	0-30	7.5	10.92	1.11	300	11.36	95.24
	0-60		17.20	1.19	300	34.55	
	60-90		20.25	1.29	300	49.32	
26.05.2024	0-30	7.5	30.85	1.18	300	82.54	232.53
	0-60		30.48	1.18	300	81.48	
	60-90		26.21	1.22	300	68.51	
12.06.2024	0-30	7.5	14.42	1.28	300	26.68	119.38
	0-60		18.73	1.29	300	43.37	
	60-90		19.68	1.35	300	49.32	
09.07.2024	0-30	7.5	17.66	1.34	300	40.82	126.73
	0-60		17.99	1.26	300	39.66	
	60-90		19.33	1.30	300	46.25	

Çizelge 4.23. Sulusaray istasyonunun toprak örneği alınma tarihleri için hesaplanan AWC değerleri

Tarih	Toprak Katmanı	SN (%)	MN (%)	HA (g/cm ³)	Derinlik (mm)	AWC (mm)	Toplam AWC (mm)
07.11.2023	0-30		8.0	1.17	300	1.76	17.21
	0-60	7.5	8.2	1.17	300	2.53	
	60-90		11.2	1.16	300	12.92	
22.12.2023	0-30		21.43	1.11	300	46.19	86.05
	0-60	7.5	6.16	1.09	300	0.00	
	60-90		19.50	1.11	300	39.86	
04.03.2024	0-30		14.10	1.16	300	22.98	66.11
	0-60	7.5	13.95	1.11	300	21.52	
	60-90		14.10	1.09	300	21.61	
20.04.2024	0-30		18.30	1.02	300	32.96	110.82
	0-60	7.5	18.46	1.10	300	36.05	
	60-90		19.35	1.18	300	41.81	
26.05.2024	0-30		20.83	1.14	300	45.71	163.11
	0-60	7.5	17.76	1.19	300	36.58	
	60-90		28.45	1.29	300	80.82	
12.06.2024	0-30		17.05	1.29	300	37.02	99.22
	0-60	7.5	15.01	1.33	300	30.06	
	60-90		15.66	1.31	300	32.14	
09.07.2024	0-30		14.17	1.31	300	26.27	72.07
	0-60	7.5	13.46	1.33	300	23.73	
	60-90		13.05	1.33	300	22.08	
31.07.2024	0-30		14.17	1.38	300	27.62	59.80
	0-60	7.5	13.46	1.36	300	24.34	
	60-90		13.05	1.36	300	22.60	

Çizelge 4.24. Çamlıbel istasyonunun toprak örneği alınma tarihleri için hesaplanan AWC değerleri

Tarih	Toprak Katmanı	SN (%)	MN (%)	HA (g/cm ³)	Derinlik (mm)	AWC (mm)	Toplam AWC (mm)
07.11.2023	0-30		6.0	1.16	300	0.00	17.26
	0-60	7.5	12.3	1.19	300	17.26	
	60-90		5.9	1.22	300	0.00	
22.12.2023	0-30		8.77	1.01	300	3.86	37.20
	0-60	7.5	12.03	1.14	300	15.45	
	60-90		12.66	1.16	300	17.89	
04.03.2024	0-30		12.56	1.10	300	16.71	61.25
	0-60	7.5	13.90	1.13	300	21.77	
	60-90		13.97	1.17	300	22.77	
20.04.2024	0-30		15.06	1.18	300	26.72	110.29
	0-60	7.5	17.72	1.16	300	35.42	
	60-90		21.74	1.13	300	48.15	
26.05.2024	0-30		18.88	1.24	300	42.21	127.07
	0-60	7.5	17.16	1.20	300	34.75	
	60-90		22.48	1.11	300	50.11	
12.06.2024	0-30		11.53	1.34	300	16.14	65.75
	0-60	7.5	13.05	1.26	300	21.01	
	60-90		14.55	1.35	300	28.60	
09.07.2024	0-30		12.45	1.33	300	19.76	69.15
	0-60	7.5	13.03	1.36	300	22.48	
	60-90		14.41	1.30	300	26.91	
31.07.2024	0-30		11.36	1.31	300	15.11	59.80
	0-60	7.5	13.07	1.30	300	21.75	
	60-90		13.57	1.26	300	22.94	

Çizelge 4.25. Çekerek istasyonunun toprak örneği alınma tarihleri için hesaplanan AWC değerleri

Tarih	Toprak Katmanı	SN (%)	MN (%)	HA (g/cm ³)	Derinlik (mm)	AWC (mm)	Toplam AWC (mm)
03.11.2023	0-30		19.6	1.14	300	41.19	122.47
	0-60	7.5	19.8	1.16	300	42.92	
	60-90		18.5	1.16	300	38.36	
22.12.2023	0-30		19.08	1.13	300	39.09	119.14
	0-60	7.5	20.92	1.10	300	44.17	
	60-90		18.31	1.11	300	35.89	
04.03.2024	0-30		21.90	1.12	300	48.39	90.37
	0-60	7.5	15.15	1.16	300	26.52	
	60-90		12.00	1.15	300	15.47	
20.04.2024	0-30		22.76	1.16	300	53.29	164.31
	0-60	7.5	27.07	1.17	300	68.52	
	60-90		20.27	1.11	300	42.50	
26.05.2024	0-30		24.00	1.14	300	56.39	175.77
	0-60	7.5	24.53	1.12	300	57.34	
	60-90		24.24	1.24	300	62.04	
12.06.2024	0-30		26.97	1.29	300	75.42	210.55
	0-60	7.5	25.92	1.32	300	72.72	
	60-90		24.35	1.23	300	62.40	
09.07.2024	0-30		18.78	1.35	300	45.78	186.04
	0-60	7.5	26.01	1.27	300	70.60	
	60-90		24.92	1.33	300	69.66	

Çizelge 4.26. Yeşilyurt istasyonunun toprak örneği alınma tarihleri için hesaplanan AWC değerleri

Tarih	Toprak Katmanı	SN (%)	MN (%)	HA (g/cm ³)	Derinlik (mm)	AWC (mm)	Toplam AWC (mm)
07.11.2023	0-30		10.8	1.16	300	11.51	82.54
	0-60	7.5	18.1	1.17	300	37.42	
	60-90		17.0	1.18	300	33.60	
22.12.2023	0-30		10.00	1.12	300	8.39	63.64
	0-60	7.5	17.57	1.11	300	33.45	
	60-90		14.10	1.10	300	21.80	
04.03.2024	0-30		16.28	1.15	300	30.25	82.36
	0-60	7.5	12.59	1.15	300	17.62	
	60-90		16.88	1.23	300	34.50	
20.04.2024	0-30		20.74	1.72	300	68.47	163.21
	0-60	7.5	21.80	1.10	300	47.03	
	60-90		21.09	1.17	300	47.71	
26.05.2024	0-30		27.73	1.14	300	69.12	216.95
	0-60	7.5	28.70	1.16	300	74.06	
	60-90		29.20	1.13	300	73.78	
12.06.2024	0-30		21.42	1.19	300	49.53	168.67
	0-60	7.5	22.21	1.26	300	55.76	
	60-90		24.13	1.27	300	63.38	
09.07.2024	0-30		19.12	1.21	300	42.07	155.17
	0-60	7.5	22.04	1.24	300	54.02	
	60-90		23.32	1.25	300	59.08	
31.07.2024	0-30		14.17	1.26	300	25.23	68.50
	0-60	7.5	13.46	1.23	300	21.98	
	60-90		13.05	1.28	300	21.30	

Çizelgelerde verilen AWC değerleri kullanılarak ilgili aylar için ‘Geleneksel PDSI’ yaklaşımında yapılan kabuller dikkate alınarak ‘Real Time PDSI’ değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan PDSI değerleri Çizelge 4.27’de verilmiştir.

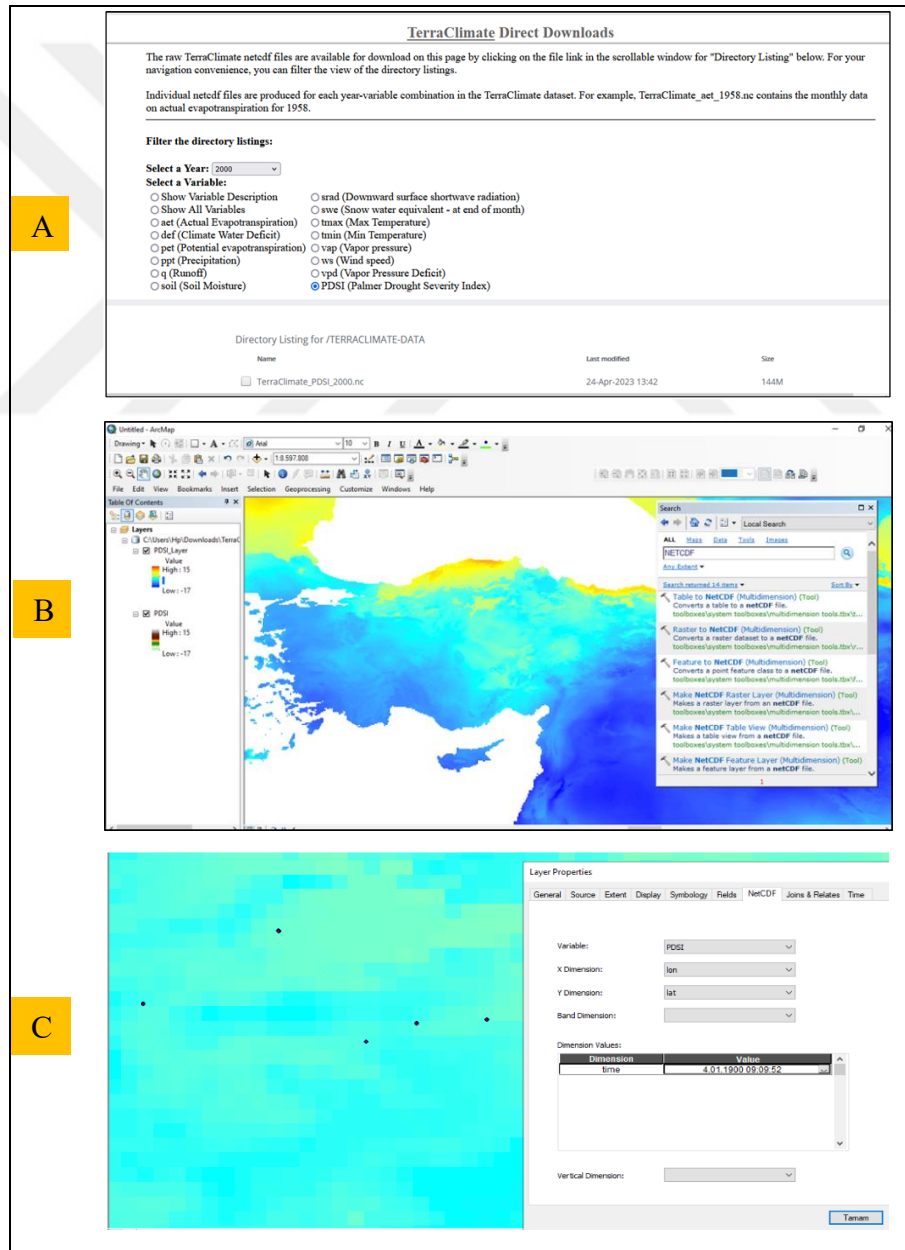
Çizelge 4.27. Her bir istasyon için hesaplanmış ‘Real Time PDSI’ değerleri

Aylar	Zile	Sulusaray	Çamlıbel	Çekerek	Yeşilyurt
Kas.23	-2.37	1.23	0.52	-0.25	0.66
Ara.23	-2.28	1.18	0.25	-0.91	0.99
Oca.24	-2.05	1.75	1.68	-1.72	2.33
Şub.24	-1.92	1.09	1.48	-2.23	2.18
Mar.24	-2.45	1.14	1.67	-2.66	2.24
Nis.24	-3.66	0.28	-0.27	-4.16	0.65
May.24	-2.06	1.78	1.12	-2.54	1.99
Haz.24	-5.15	1.08	0.40	-4.79	0.64
Tem.24	-4.62	0.99	0.42	-4.26	1.30

Çizelge 4.27’de verilen Real Time PDSI değerleri Çizelge 3.7’de verilen kuraklık sınıflarına göre değerlendirilmiştir. Zile istasyonu incelendiğinde Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Mayıs aylarının ‘orta kurak’ sınıfta; Nisan ayının ‘çok kurak’ sınıfta; Haziran ve Temmuz aylarının ‘aşırı kurak’ sınıfta yer aldığı görülmektedir. Sulusaray istasyonu incelendiğinde Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Mayıs ve Haziran aylarının ‘nemli’ sınıfta; Nisan ve Temmuz aylarının ‘normal’ sınıfta yer aldığı görülmektedir. Çamlıbel istasyonu incelendiğinde Kasım, Aralık, nisan, Haziran ve Temmuz aylarının ‘normal’ sınıfta; Ocak, Şubat, Mart ve Mayıs aylarının ‘nemli’ sınıfta yer aldığı görülmektedir. Çekerek istasyonu incelendiğinde Kasım ayının ‘normal’ sınıfta; Aralık ayının ‘kurak dönem başlangıç’ sınıfında; Ocak ayının ‘hafif kurak’ sınıfta; Şubat, Mart ve Mayıs aylarının ‘orta kurak’ sınıfta; Nisan, Haziran ve Temmuz aylarının ‘aşırı’ kurak sınıfta yer aldığı görülmektedir. Son olarak Yeşilyurt istasyonu incelendiğinde Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Mayıs ve Temmuz aylarının ‘nemli’ sınıfta, Haziran ayının ‘normal’ sınıfta yer aldığı görülmektedir.

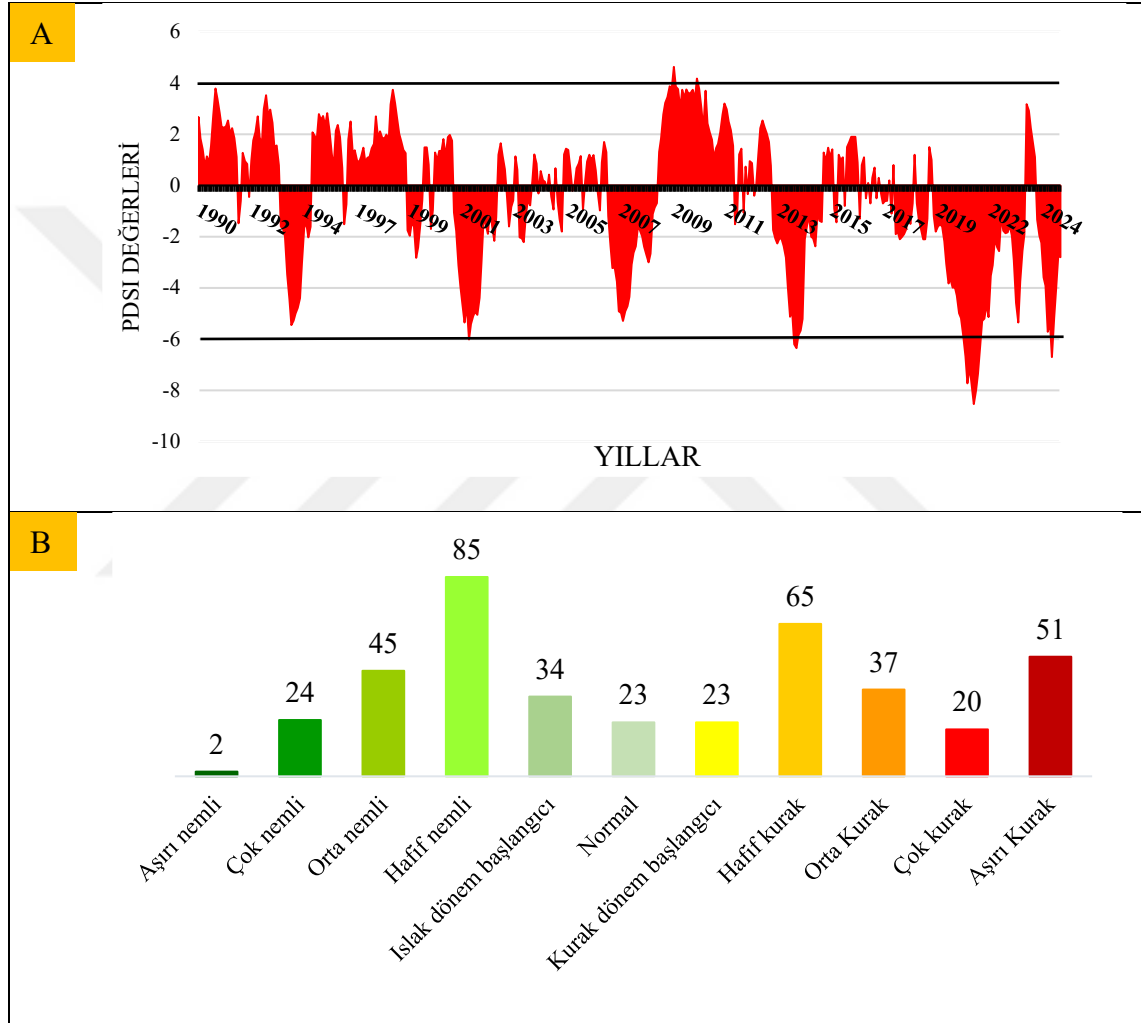
Uydu Tabanlı PDSI Yaklaşımı

Uydu Tabanlı PDSI değerleri TerraClimate veri tabanında üretilen haritalardan elde edilmiştir. PDSI haritaları <https://www.climatologylab.org/terraclimate.html> adresinden indirilmiştir (Şekil 4.22A). İndirilen PDSI haritaları ‘netcdf’ formatında olup ARCMAP paket programında açılarak raster haritalara dönüştürülmüştür (4.22B). Haritalar dönüştürüldükten sonra tez çalışmasında yer alan istasyonlar haritalar üzerine eklenerek (Şekil 4.22C) her bir istasyon için yıllık PDSI okumaları yapılmıştır.



Şekil 4.22. Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin elde edilmesinde izlenen adımlar

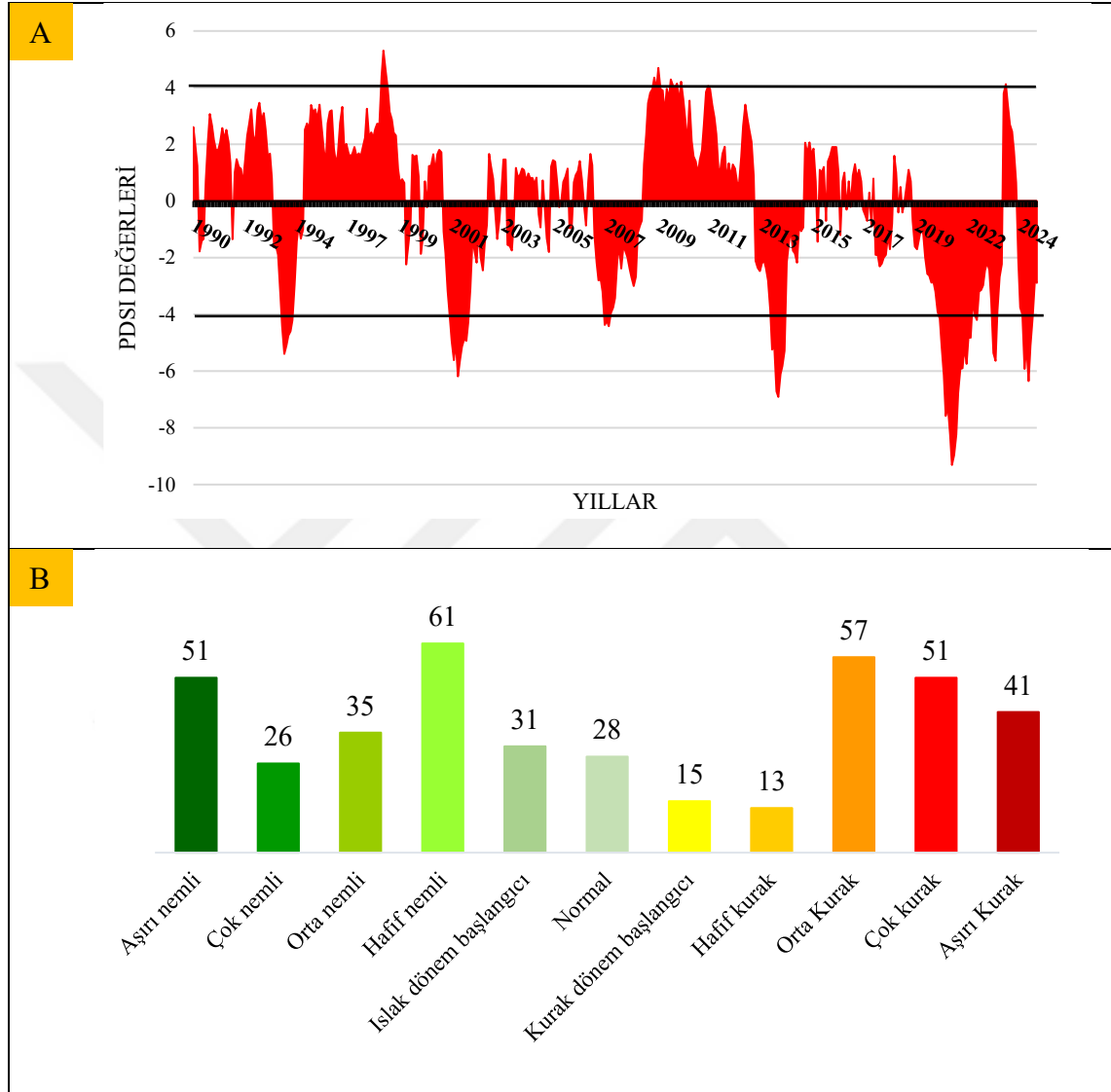
Harita üzerinden okuması yapılan ‘Uydu Tabanlı PDSI’ değerlerine ait zamansal grafikler ve kuraklık sınıflarına göre nemli ve kurak ayların sayılarını gösteren sütun grafiği Zile istasyonu için Şekil 4.23, Sulusaray istasyonu için Şekil 4.24, Çamlıbel istasyonu için Şekil 4.25, Çekerek istasyonu için Şekil 4.26 ve Yeşilyurt istasyonu için Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.23. Zile istasyonuna ait Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.23’e göre Zile istasyonunda birçok yılda farklı şiddette kuraklık olayları gözlemlenmiştir. Özellikle 2019-2020 yılları arası aşırı kuraklık olayları meydana gelmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal ve nemli olay sayısından fazladır. Toplam 409 ayın %5.6’sında normal dönem, %46.5’inde nemli dönem ve %47.9’unda kurak dönem tespit edilmiştir. Aşırı nemli olay 4.63 PDSI değeriyle 2009 yılı Temmuz ayında

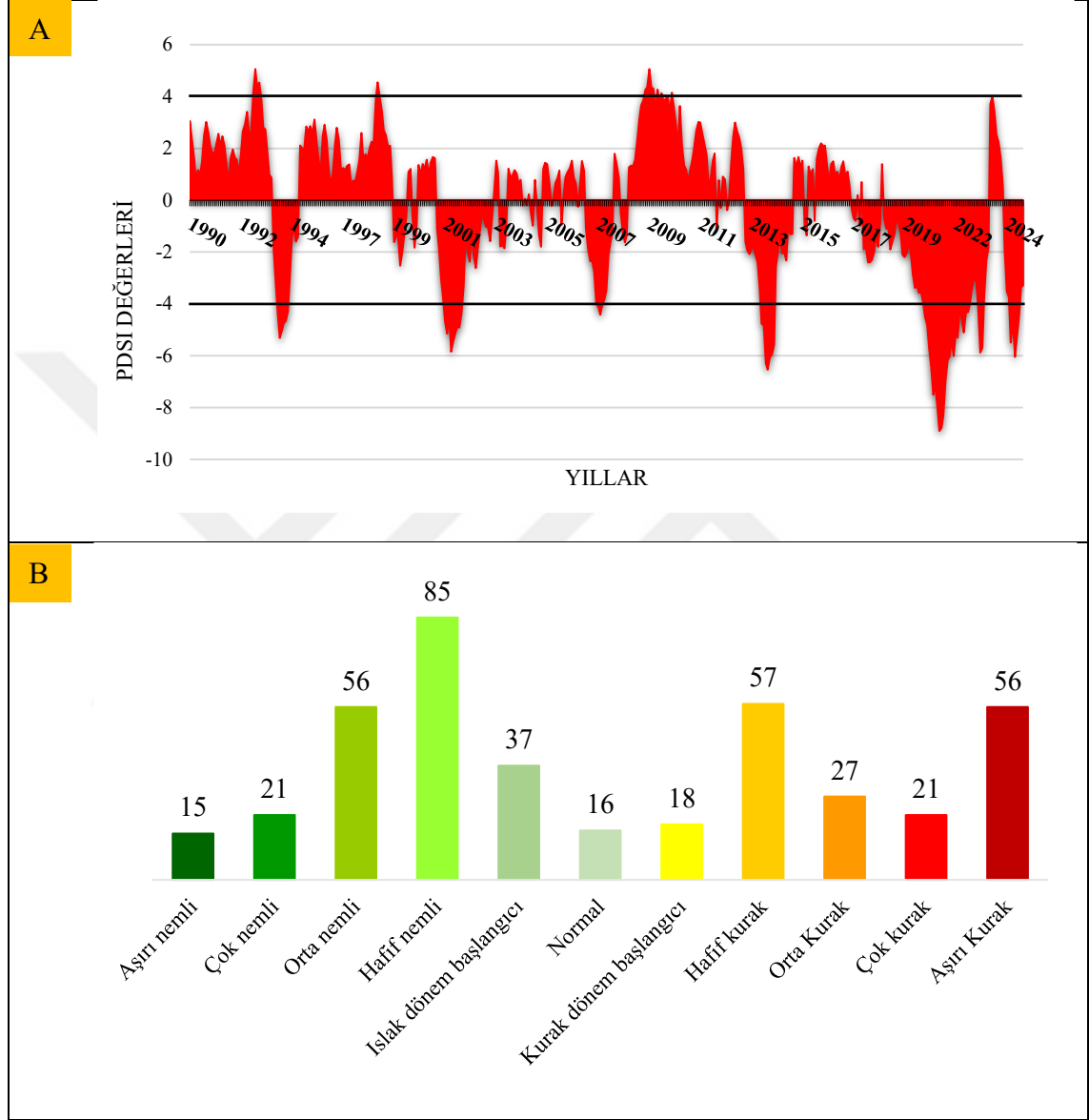
gözlemlenmiştir. Aşırı kurak olay ise -8.54 PDSI değeriyle 2021 yılı Mayıs ayında tespit edilmiştir.



Şekil 4.24. Sulusaray istasyonuna ait Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.24 incelendiğinde Sulusaray istasyonunda PDSI değerlerinin yıllar arasında oldukça değişken değerler aldığı gözlemlenmektedir. Özellikle 2019-2021 yılları arasında aşırı kurak olaylar gerçekleşmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal olayların toplam sayısından fazla olup nemli olayların toplam sayısından daha az meydana gelmiştir. Toplam 409 ayın % 4'ünde normal, % 53.5'inde nemli ve %42.5'ünde kurak dönemler yaşanmıştır. Aşırı nemli olay 5.31 PDSI değeriyle 1998 yılı

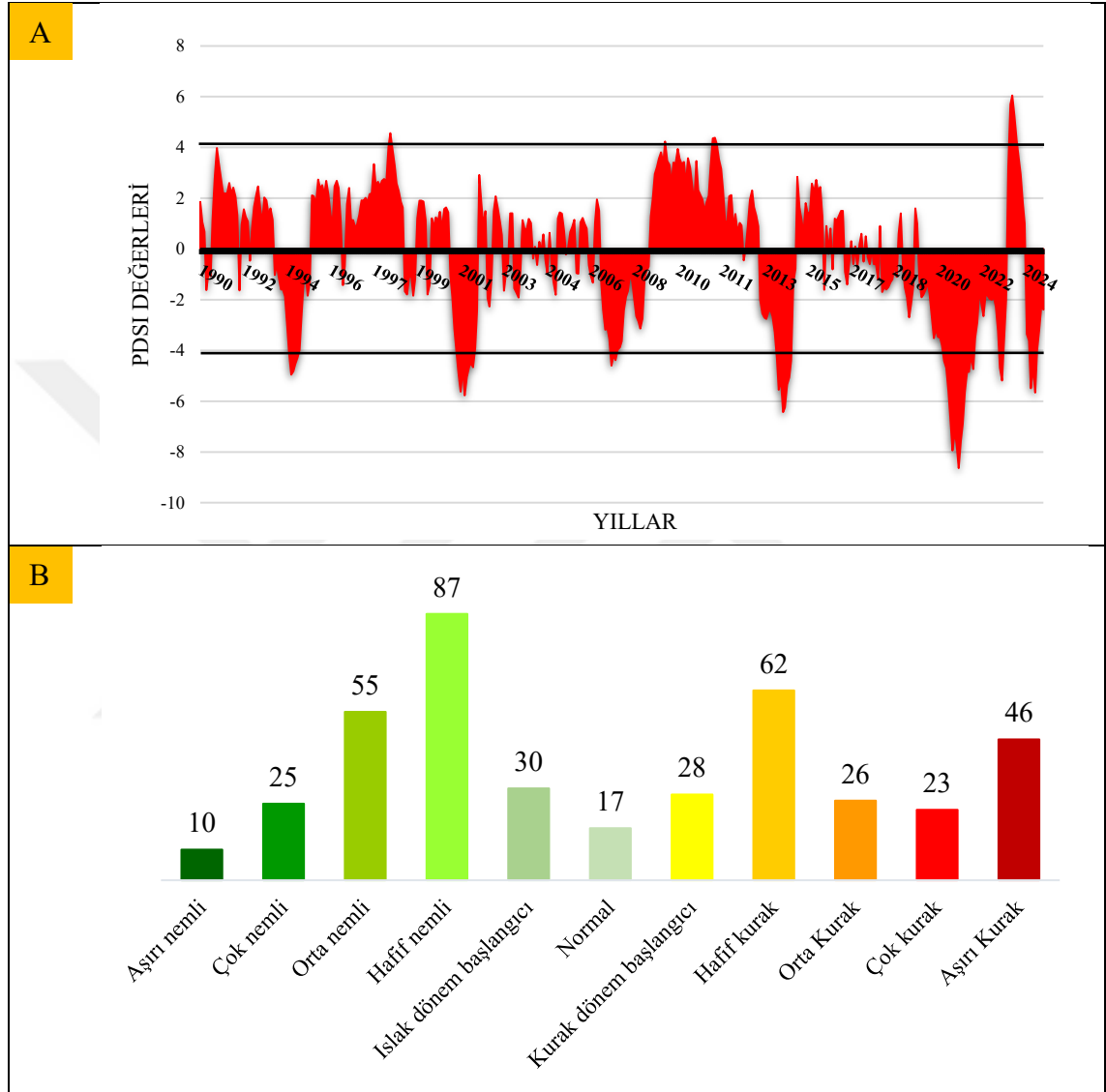
Haziran ayında gözlemlenmiştir. Aşırı kurak olay ise -9.31 PDSI değeriyle 2021 yılı Mayıs ayı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.25. Çamlıbel istasyonuna ait Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.25'te verilen Çamlıbel istasyonuna ait PDSI kuraklık değerleri incelendiğinde 2019-2021 yıllarında aşırı kuraklık olayların meydana geldiği görülmektedir. Kurak olayların toplam sayısı normal olayların toplam sayısından fazla olup nemli olayların toplam sayısından daha az meydana gelmiştir. Toplam 409 ayın % 3.9'unda normal dönem, %52.3'ünde nemli dönem ve %43.8'inde ise kurak dönem meydana gelmiştir.

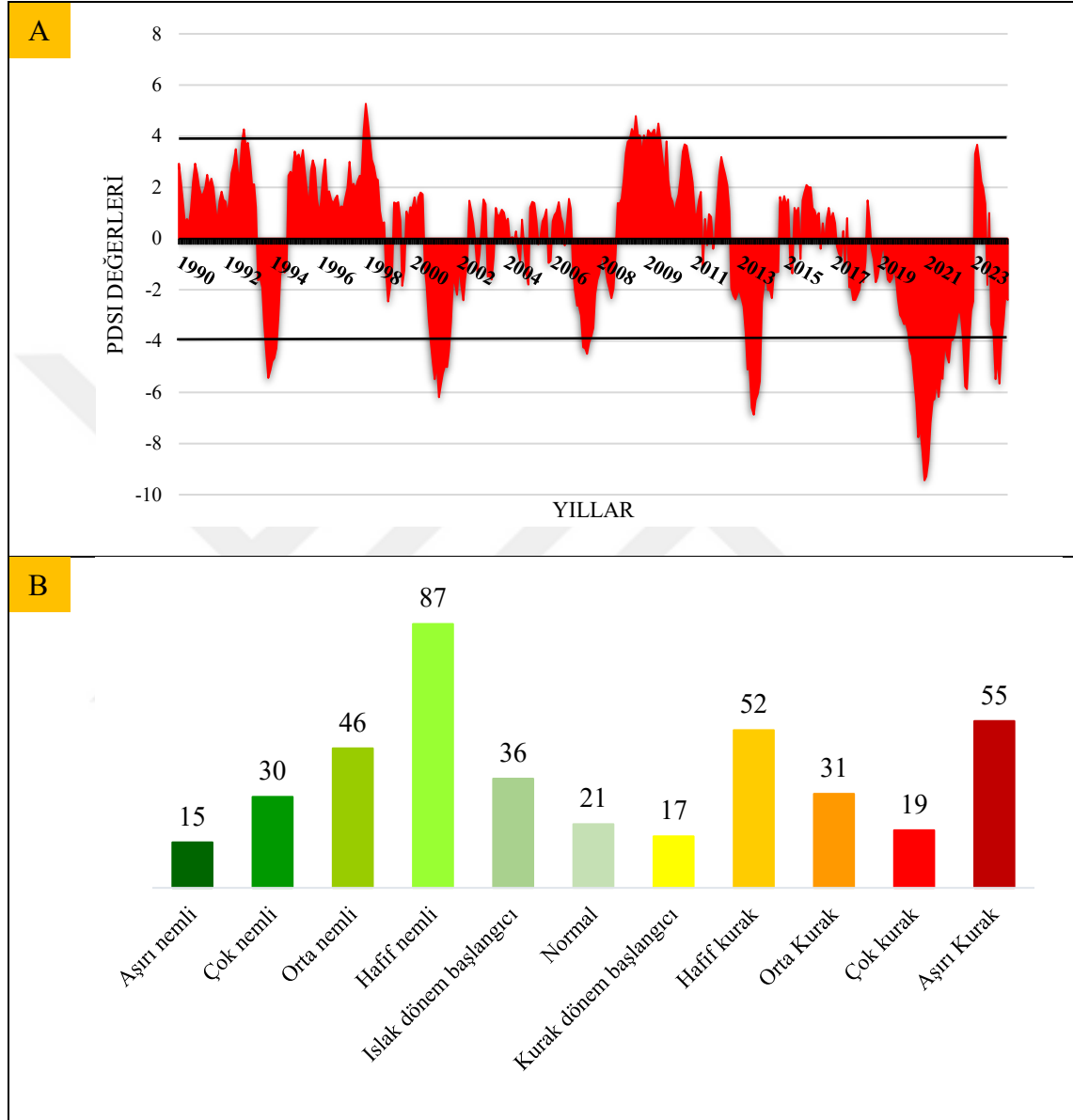
Aşırı nemli olay 5.06 PDSI değeriyle 2009 yılı Temmuz ayında, aşırı kurak olay ise -8.9 PDSI değeriyle 2021 yılı Mayıs ayı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.26. Çekerek istasyonuna ait Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.26’da verilen Çekerek istasyonuna ait PDSI kuraklık değerlerinin zamansal grafiği incelendiğinde farklı şiddetle nemli ve kurak olayların meydana geldiği görülmektedir. 2019-2021 yılları arasında farklı şiddete aşırı kurak olaylar gerçekleşmiştir. Kurak olayların toplam sayısı normal olayların toplam sayısından fazla olup nemli olayların toplam sayısından daha az meydana gelmiştir. Toplam 409 ayın %4.2’inde normal dönem, %56.6’ında nemli dönem, %45.2’sinde ise kurak dönemler

meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 6.05 PDSI değeri ile 2023 Temmuz ayında, en kurak ay ise -8.64 PDSI değeriyle 2021 yılı Mayıs ayında gözlemlenmiştir.



Şekil 4.27. Yeşilyurt istasyonuna ait Uydu Tabanlı PDSI değerlerinin zamansal grafiği (A), PDSI kuraklık sınıflarındaki ayların sayısı (B)

Şekil 4.27’de verilen Yeşilyurt istasyonuna ait PDSI kuraklık değerlerinin zamansal grafiği incelendiğinde farklı şiddetle nemli ve kurak olayların meydana geldiği görülmektedir. Kurak olayların toplam sayısı normal olayların toplam sayısından fazla olup nemli olayların toplam sayısından daha az meydana gelmiştir. Toplam 409 ayın %5.1’inde normal dönem, %52.3’ünde nemli dönem ve %42.5’inde ise kurak dönem

meydana gelmiştir. Aşırı nemli olay 5.27 PDSI değeriyle 1998 yılı Haziran ayında ve aşırı kurak olay ise -9.44 PDSI değeriyle 2019 yılı Mayıs ayında tespit edilmiştir.

Uzun yıllık hesaplanan PDSI sonuçları özellikle fazla yağış alan geçtiğimiz 2023 yılı için değerlendirildiğinde Zile, Sulusaray ve Çamlıbel istasyonlarında kurak sınıfta gözlemlenirken Yeşilyurt ve Çekerek istasyonlarında nemli sınıfta gözlemlenmektedir. Farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan PDSI değerleri incelendiğinde tüm istasyonlarda nemli olayların sayısı en fazla ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında tespit edilmiştir. Kurak olaylar ise en fazla Zile, Çamlıbel ve Çekerek istasyonları için ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında; Sulusaray ve Yeşilyurt istasyonları için ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımında belirlenmiştir. Literatürde konu ile ilgili genellikle meteoroloji tabanlı veriler kullanılarak hesaplanan indeksler ve uydu tabanlı veriler kullanılarak hesaplanan indekslerin karşılaştırılması yapılmıştır. Mun ve ark., (2020), uydu tabanlı yağış verileri ile istasyon temelli yağış verilerini kullanarak Güney Kore’de SPI kuraklık indeksini karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre uydu kaynaklı yağış tahminleri, kuraklık değerlendirmelerinde meteorolojik verilere kıyasla uzamsal kapsama, zamanında bilgi sağlama ve maliyet etkinliği açısından önemli avantajlar sunduğunu ifade etmiştir. Erdem ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada uydu görüntülerinden elde edilen analiz sonuçları ile yağış verilerinden elde edilen SPI değerlerinin birbirleriyle yüksek uyumluluk gösterdiğini ifade etmişlerdir. Çalışma sonucunda uydu görüntülerinin kuraklık analizinde başarıyla kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Türkyılmaz ve ark., (2020) termal uydu görüntüleri ve meteoroloji istasyonlarından ölçülen hava sıcaklığını karşılaştırmışlardır. Homojen arazi örtüsü koşulunda uydu görüntülerinden elde edilen hava sıcaklık değerinin ölçülen değerler ile yüksek doğruluk ilişkisi gösterdiğini ifade etmiştir. Çelik ve Karabulut (2017), Antalya bölgesi kuraklık analiz çalışmasında uydu-tabanlı bitki indeks modellerinin, kuraklık fenomenini anlamada ve önceden tahmin etmede önemli kolaylıklar sağladığını belirtmişlerdir.

4.5. Hesaplanan Uzun Yıllık Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Tez çalışmasının bu bölümünde Bölüm 4.4’te hesaplanan ‘Geleneksel PDSI’, ‘PDSI₍₃₀₎’, ‘PDSI_(B.CROP)’ ve ‘Uydu Tabanlı PDSI’ indekleri arasındaki ilişki incelenmiştir. PDSI

indeksleri arasındaki ilişki Spearman korelasyon analizi ve Box-plot kutu grafikleri kullanılarak açıklanmıştır.

Çizelge 4.28. Uzun Yıllık Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksleri Arasındaki Spearman korelasyon analiz sonuçları

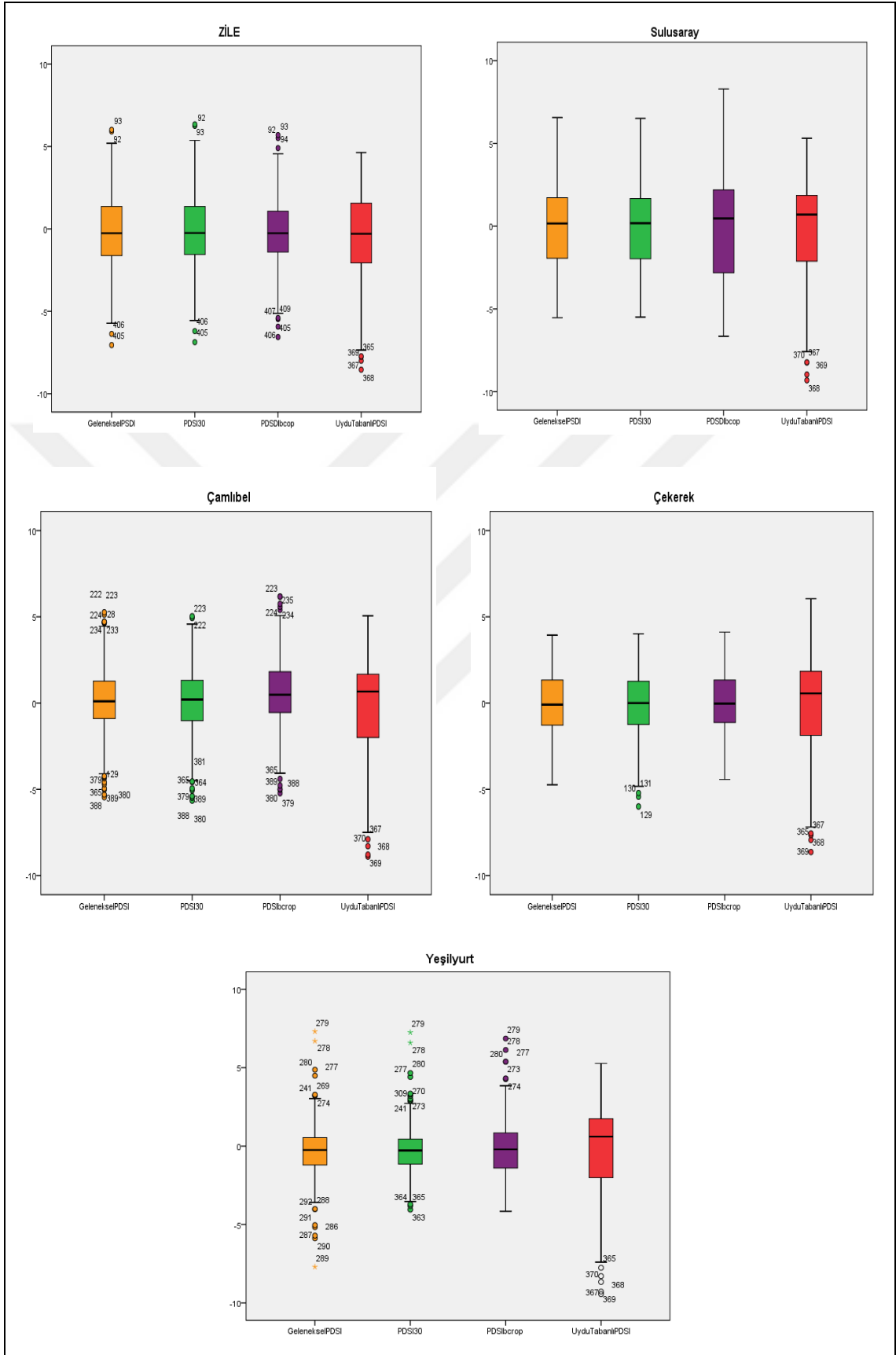
İstasyonlar	PDSI Yaklaşımları	Geleneksel PDSI	PDSI ₍₃₀₎	PDSI _(B.CROP)	Uydu Tabanlı PDSI
Zile	Geleneksel PDSI	1.00	0.996	0.979	0.565
	PDSI ₍₃₀₎		1.00	0.974	0.584
	PDSI _(B.CROP)			1.00	0.546
	Uydu Tabanlı PDSI				1.00
Sulusaray	Geleneksel PDSI	1.00	0.999	0.983	0.495
	PDSI ₍₃₀₎		1.00	0.980	0.490
	PDSI _(B.CROP)			1.00	0.487
	Uydu Tabanlı PDSI				1.00
Çamlıbel	Geleneksel PDSI	1.00	0.986	0.976	0.759
	PDSI ₍₃₀₎		1.00	0.963	0.775
	PDSI _(B.CROP)			1.00	0.727
	Uydu Tabanlı PDSI				1.00
Çekerek	Geleneksel PDSI	1.00	0.995	0.972	0.517
	PDSI ₍₃₀₎		1.00	0.960	0.511
	PDSI _(B.CROP)			1.00	0.485
	Uydu Tabanlı PDSI				1.00
Yeşilyurt	Geleneksel PDSI	1.00	0.955	0.919	0.588
	PDSI ₍₃₀₎		1.00	0.926	0.606
	PDSI _(B.CROP)			1.00	0.626
	Uydu Tabanlı PDSI				1.00

Çizelge 4.28’de uzun yıllık hesaplanan PDSI indekslerine ait Spearman korelasyon analiz sonuçları verilmiştir. Zile istasyonu için korelasyon sonuçları incelendiğinde ‘Geleneksel PDSI’-‘PDSI₍₃₀₎’ arasında 0.996, ‘Geleneksel PDSI’-‘PDSI_(B.CROP)’ arasında 0.979, ‘Geleneksel PDSI’-‘Uydu Tabanlı PDSI’ arasında 0.565, ‘PDSI₍₃₀₎’ -‘PDSI_(B.CROP)’ arasında 0.974, ‘PDSI₍₃₀₎’ -‘Uydu Tabanlı PDSI’ arasında 0.584, ‘PDSI_(B.CROP)’ -‘Uydu Tabanlı PDSI’ arasında 0.546 korelasyon ilişkisi elde edilmiştir. Sulusaray istasyonu için korelasyon sonuçları incelendiğinde ‘Geleneksel PDSI’-‘PDSI₍₃₀₎’ arasında 0.999, ‘Geleneksel PDSI’-‘PDSI_(B.CROP)’ arasında 0.983, ‘Geleneksel PDSI’-‘Uydu Tabanlı

PDSI' arasında 0.495, 'PDSI₍₃₀₎' - 'PDSI_(B.CROP)' arasında 0.980, 'PDSI₍₃₀₎' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.490, 'PDSI_(B.CROP)' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.487 korelasyon ilişkisi elde edilmiştir. Çamlıbel istasyonu için korelasyon sonuçları incelendiğinde 'Geleneksel PDSI' - 'PDSI₍₃₀₎' arasında 0.986, 'Geleneksel PDSI' - 'PDSI_(B.CROP)' arasında 0.976, 'Geleneksel PDSI' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.759, 'PDSI₍₃₀₎' - 'PDSI_(B.CROP)' arasında 0.963, 'PDSI₍₃₀₎' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.775, 'PDSI_(B.CROP)' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.727 korelasyon ilişkisi elde edilmiştir. Çekerek istasyonu için korelasyon sonuçları incelendiğinde 'Geleneksel PDSI' - 'PDSI₍₃₀₎' arasında 0.995, 'Geleneksel PDSI' - 'PDSI_(B.CROP)' arasında 0.972, 'Geleneksel PDSI' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.517, 'PDSI₍₃₀₎' - 'PDSI_(B.CROP)' arasında 0.960, 'PDSI₍₃₀₎' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.511, 'PDSI_(B.CROP)' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.485 korelasyon ilişkisi elde edilmiştir. Yeşilyurt istasyonu için korelasyon sonuçları incelendiğinde 'Geleneksel PDSI' - 'PDSI₍₃₀₎' arasında 0.995, 'Geleneksel PDSI' - 'PDSI_(B.CROP)' arasında 0.919, 'Geleneksel PDSI' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.588, 'PDSI₍₃₀₎' - 'PDSI_(B.CROP)' arasında 0.926, 'PDSI₍₃₀₎' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.606, 'PDSI_(B.CROP)' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında 0.626 korelasyon ilişkisi elde edilmiştir.

Tüm istasyonlar için korelasyon sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek korelasyon Geleneksel PDSI' ve 'PDSI₍₃₀₎' yaklaşımları arasında tespit edilmiştir. En düşük korelasyon ise Zile, Sulusaray, Çamlıbel ve Çekerek istasyonları için 'PDSI_(B.CROP)' - 'Uydu Tabanlı PDSI' arasında tespit edilirken, Yeşilyurt istasyonu 'Geleneksel PDSI' - 'Uydu Tabanlı PDSI' yaklaşımları arasında tespit edilmiştir.

Şekil 4.28'de farklı yaklaşımlara göre hesaplanan uzun yıllık palmer kuraklık şiddeti indeks değerlerine ait box-plot kutu grafikleri verilmiştir. Bu grafikler, PDSI değerlerinin dağılım özelliğini ortaya koymak ve yaklaşımları birbiriyle karşılaştırmak amacıyla elde edilmiştir. Box-plot grafiğinde kutunun ortasındaki çizgi medyan değerini (Q_2), kutunun alt ve üst çizgileri sırasıyla birinci çeyrek (Q_1) ve ikinci çeyrek (Q_3) değeri ifade etmektedir. Ayrıca çeyrekler arası (Q_1 ve Q_3) aralığının artması verilerin aşırı dağılmış olduğunu, azaltması ise daha dar bir dağılım olduğunu ifade etmektedir. İncelenen veri kümesinin sağa veya sola çarpıklık durumu, kutunun alt ve üst sınır çizgilerinin medyan değerine olan uzaklık miktarına bağlı olarak belirlenmektedir.



Şekil 4.28. Uzun yıllık palmer kuraklık şiddeti indekslerine ait box-plot kutu grafiği

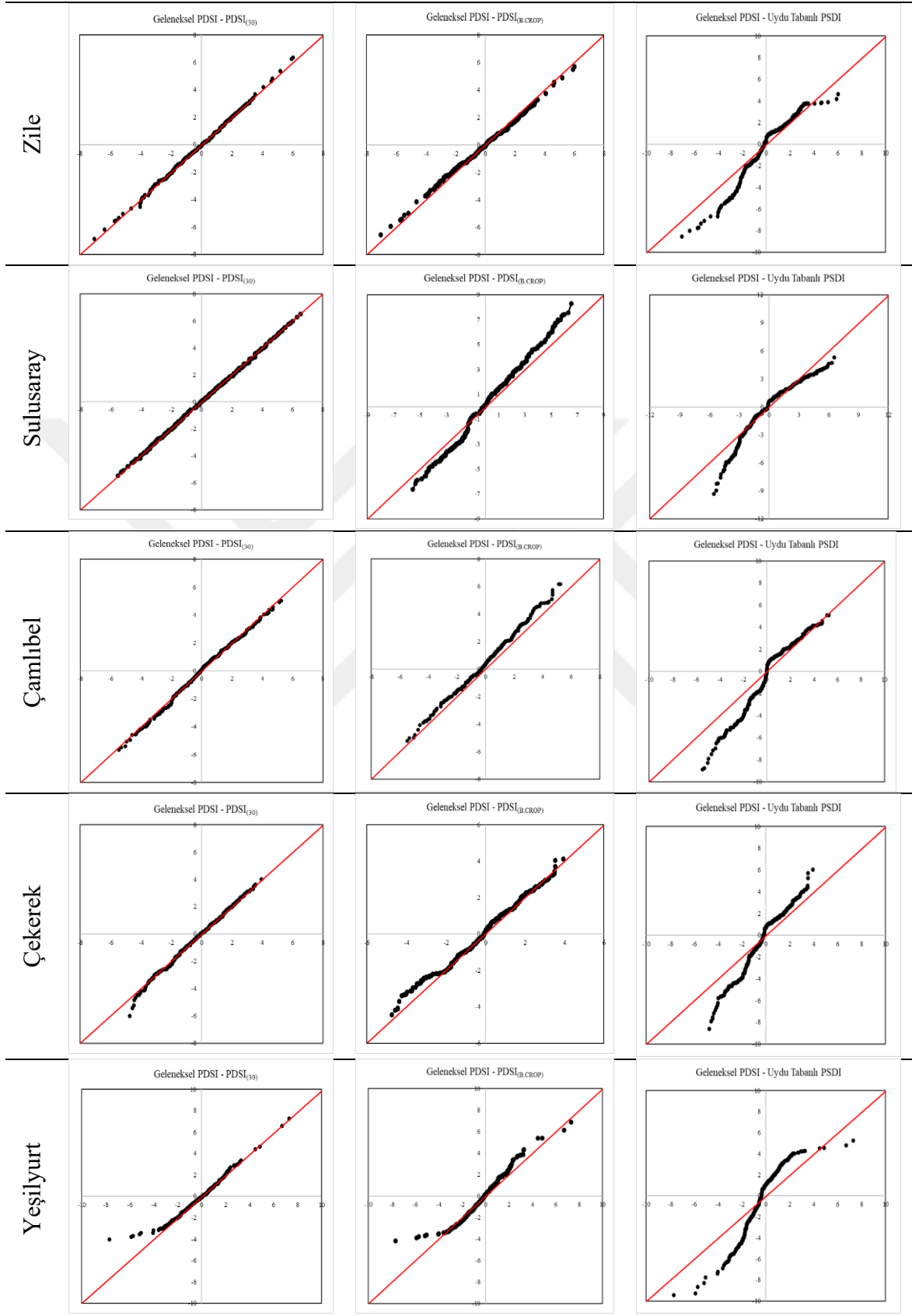
Yani $Q_2 - Q_1$ farkının artması verinin sola çarpık olduğunu, $Q_3 - Q_2$ farkının artması ise verinin sağa çarpık olduğunu göstermektedir. Medyan, ortalama ve mod değerlerinin alt ve üst sınır çizgilerinin tam ortasında yer alması durumu ise veri kümesinin simetrik dağıldığını ifade etmektedir. Kutulardan çıkan üst ve alt dikey çizgiler, bıyıkları temsil etmektedir. Alt ve üst bıyık çizgileri sırasıyla veri kümesindeki minimum ve maksimum değerleri göstermektedir. Bıyıkların dışındaki noktalar ise aykırı değerleri ifade etmektedir (Sabancı ve ark., 2023).

Zile istasyonuna ait box-plot grafiği incelendiğinde ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımlarının kutu genişliği, bıyık boyu ve aykırı değerlerin aynı olduğu; ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımında kutu genişliğinin diğer yaklaşımlardan oldukça küçük, bıyık boyunun kısa, alt ve üst bıyık çizgisinde aykırı değerlerin sayısının fazla olduğu görülmektedir. ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında ise kutu genişliğinin en fazla, üst bıyık boyunun kısa, alt bıyık boyunun diğerlerine göre daha uzun olduğu görülmektedir. Sulusaray istasyonuna ait box-plot grafiği incelendiğinde ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımlarının kutu genişliği ve bıyık boyunun aynı, aykırı değerlerin ise olmadığı; ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımında kutu genişliğinin diğer yaklaşımlardan oldukça büyük, üst bıyık çizgisinin ise daha uzun olduğu görülmektedir. ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında ise kutu genişliğinin ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımlarıyla aynı, üst bıyık çizgisinin diğer yaklaşımlardan daha kısa ve alt bıyık çizgisinin ise daha uzun olduğu görülmektedir. Ayrıca aykırı değerler sadece ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında alt bıyık çizgisindedir. Çamlıbel istasyonuna ait box-plot grafiği incelendiğinde ‘Geleneksel PDSI’, ‘PDSI₍₃₀₎’ ve ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımlarının kutu genişliğinin ve bıyık boylarının birbirine yakın olduğu, aykırı değerlerin üst bıyık çizgisinde ‘Geleneksel PDSI’ yaklaşımında, alt bıyık çizgisinde ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımında daha fazla olduğu görülmektedir. ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında ise diğer yaklaşımlara göre kutu genişliğinin daha uzun, üst bıyık çizgisinin daha kısa, alt bıyık çizgisinin daha uzun ve son olarak aykırı değerlerin alt bıyık çevresinde olduğu görülmektedir. Çekerek istasyonuna ait box-plot grafiği incelendiğinde ‘Geleneksel PDSI’, ‘PDSI₍₃₀₎’ ve ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımlarının kutu genişliği birbirine yakın olduğu, bıyık boyunun Geleneksel PDSI, ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımlarında birbirine çok yakın, ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımda daha uzun olduğu görülmektedir. Aykırı değer ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımlarında olmayıp ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımında alt bıyık çevresinde

tespit edilmiştir. ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında ise diğer yaklaşımlara göre kutu genişliğinin daha uzun, bıyık çizgilerinin daha uzun ve aykırı değerlerin ise alt bıyık çevresinde dağıldığı görülmektedir. Yeşilyurt istasyonuna ait box-plot grafiği incelendiğinde ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımlarının kutu genişliği ve bıyık boyunun birbirine çok yakın, aykırı değerlerin sayısının ve yerinin farklı olduğu görülmektedir. ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımında diğer yaklaşımlara göre kutu genişliğinin ve bıyık boyunun daha kısa, aykırı değer sayısının daha fazla olduğu görülmektedir. ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında ise diğer yaklaşımlara göre kutu genişliğinin ve bıyık çizgisinin daha uzun, son olarak aykırı değerlerin sayısının daha az ve alt bıyık bölgesinde dağıldığı görülmektedir.

Spearman korelasyon analiz sonucuna ve box-plot grafiklerine göre yaklaşımlar arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde tüm istasyonlarda ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımlarının birbiriyle oldukça yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımının korelasyon analizine göre ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımlarıyla bu iki yaklaşım arasındaki kadar güçlü ilişki tespit edilmiştir. Benzer şekilde tüm istasyonlarda ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında elde edilen PDSI değerlerinin diğer yaklaşımlardan elde edilen PDSI değerleriyle ilişkili olduğu ancak korelasyon gücünün diğerlerine göre düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Ayrıca Şekil 4.29’da verilen 1:1 doğrusu grafikleriyle, ‘Geleneksel PDSI’ yaklaşımı ile diğer yaklaşımlar arasında kurak ve nemli dönemlerin değişim durumu incelenmiştir. Grafikte ‘Geleneksel PDSI’ yaklaşımı değerleri x eksenine, diğer yaklaşımlar sırasıyla y eksenine yerleştirilerek grafikler oluşturulmuştur. Grafikler incelendiğinde Zile, Sulusaray ve Çamlıbel istasyonlarında ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımlarında PDSI değerlerinin 1:1 çizgisinin üzerinde dağıldığı yani kurak ve nemli dönemlerin her iki yaklaşımda yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir. Çekerek ve Yeşilyurt istasyonlarında ise ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımlarına ait grafiklere bakıldığında nemli dönemler birbirine yakın değerler alırken şiddetli kurak dönemlerde farklıların meydana geldiği tespit edilmektedir. Çekerek istasyonunda ‘PDSI₍₃₀₎’ yaklaşımında, Yeşilyurt istasyonunda ise ‘Geleneksel PDSI’ yaklaşımında aşırı kurak dönemler daha fazla meydana gelmiştir.



Şekil 4.29. Geleneksel PDSI yaklaşımı ve diğer PDSI yaklaşımları arasındaki ilişkiyi veren 1:1 doğrusuna ait grafik

‘Geleneksel PDSI’ ve ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımlarına ait 1:1 grafikleri incelendiğinde Zile istasyonunda PDSI değerlerinin 1:1 çizgisi üzerinde dağıldığı yani kurak ve nemli dönemlerin değişimi Zile istasyonunda aynı, diğer istasyonlarda ise değişimlerde farklılıkların olduğu görülmektedir. Sulusaray istasyonunda kurak dönemler ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımında daha şiddetli iken Çamlıbel, Çekerek ve Yeşilyurt istasyonlarında ‘Geleneksel PDSI’ yaklaşım daha şiddetlidir. Nemli dönemler ise Sulusaray, Çamlıbel ve Yeşilyurt istasyonlarında ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımında daha şiddetlidir.

‘Geleneksel PDSI’ ve ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımlarına ait 1:1 grafikleri incelendiğinde tüm istasyonlarda kurak ve nemli dönemlerin değişiminin oldukça farklı olduğu görülmektedir. Kurak dönemlere bakıldığında tüm istasyonlarda ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımının daha şiddetli değerler aldığı gözlemlenmektedir. Nemli dönemlerde ise özellikle Çekerek ve Yeşilyurt istasyonları olmak üzere genellikle diğer istasyonlarda da ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında şiddetli olaylar meydana gelmiştir.

4.6. Gerçek Zamanlı Verilerle Elde Edilen Palmer Kuraklık Şiddeti İndeks Yaklaşımı (Real Time PDSI) ve Diğer Yaklaşımlar Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Tez çalışmasının bu bölümünde ilk olarak buğday arazilerinde belirli aylarda takibi yapılan ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri ve bitki bazlı solma noktası değeri kullanılarak hesaplanan gerçek zamanlı palmer yaklaşımı olan ‘Real Time PDSI’ indeks değerleri ile ilgili aylar için hesaplanan ‘Geleneksel PDSI’, ‘PDSI₍₃₀₎’, ‘PDSI_(B.CROP)’ yaklaşımlarına ait PDSI değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Nem takibi Kasım 2023 – Temmuz 2024 tarihleri arasında yapılmıştır. Söz konusu aylar için PDSI yaklaşımlarına ait indeks karşılaştırma sonuçları Zile istasyonu için Çizelge 4.29, Sulusaray istasyonu için Çizelge 4.30, Çamlıbel istasyonu için Çizelge 4.31, Çekerek istasyonu için Çizelge 4.32 ve Yeşilyurt istasyonu için Çizelge 4.33’de verilmiştir. Çizelgelerde verilen PDSI değerleri Çizelge 3.7’de verilen kuraklık sınıflarına göre renklendirilerek değerlendirilmiştir. İkinci olarak ise gerçek zamanlı palmer yaklaşımı olan ‘Real Time PDSI’ indeks değerleri ile ilgili aylar için hesaplanan PDSI yaklaşımları, farklı zaman periyotları için hesaplanan SPEI indeks ve VHI indeks değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.30’da verilen dağılım grafiğine göre değerlendirilmiştir. Buradaki temel amaç arazi

koşullarında elde edilen indeks değerlerinin diğer yaklaşımlarla ne kadar ilişkili olduklarını ortaya koymaktır.

Çizelge 4.29. Zile istasyonu için Real Time PDSI değerleri ile diğer yaklaşımlara ait indeks sonuçları

	Real Time PDSI	Geleneksel PDSI	PDSI ₍₃₀₎	PDSI _(B.CROP)
Kas.23	-2.37	-2.81	-2.67	-2.97
Ara.23	-2.28	-3.35	-3.22	-3.48
Oca.24	-2.05	-3.79	-3.68	-3.72
Şub.24	-1.92	-3.97	-3.87	-3.72
Mar.24	-2.45	-4.63	-4.52	-4.16
Nis.24	-3.66	-5.63	-5.55	-5.12
May.24	-2.06	-4.03	-3.83	-3.73
Haz.24	-5.15	-7.05	-6.87	-6.56
Tem.24	-4.62	-6.37	-6.20	-5.93

Çizelge 4.29 incelendiğinde tüm yaklaşımlara göre ilgili ayların PDSI değerleri farklı şiddette kuraklık sınıflarında yer aldığı görülmektedir. ‘Real Time PDSI’ yaklaşımının Kasım ayı PDSI değeri ile diğer yaklaşımlara ait PDSI değerleri orta kurak sınıfta yer almaktadır. Yine benzer olarak Haziran ve Temmuz ayı PDSI değerleri tüm yaklaşımlarda aşırı kurak sınıfta bulunmaktadır. Diğer aylarda ise ‘Real Time PDSI’ yaklaşımına ait değerler diğer yaklaşımlara ait PDSI değerlerinden farklı sınıfta yer aldığı görülmektedir.

Çizelge 4.30. Sulusaray istasyonu için Real Time PDSI değerleri ile diğer yaklaşımlara ait indeks sonuçları

	Real Time PDSI	Geleneksel PDSI	PDSI ₍₃₀₎	PDSI _(B.CROP)
Kas.23	1.23	-1.25	-1.11	-2.39
Ara.23	1.18	-1.53	-1.39	-2.56
Oca.24	1.75	-1.58	-1.46	-2.65
Şub.24	1.09	-2.24	-2.12	-3.42
Mar.24	1.14	-2.50	-2.38	-3.92
Nis.24	0.28	-3.12	-3.02	-4.40
May.24	1.78	-1.59	-1.42	-2.81
Haz.24	1.08	-1.66	-1.52	-2.88
Tem.24	0.99	-1.46	-1.32	-2.44

Çizelge 4.30 incelendiğinde Sulusaray istasyonunda ‘Real Time PDSI’ yaklaşımı sonucu hesaplanan PDSI değerlerinin diğer yaklaşımlardan oldukça farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Yani ‘Real Time PDSI’ yaklaşımında tüm aylar nemli sınıfta yer alırken diğer yaklaşımlarda tüm aylarda farklı şiddette kurak değerlerin olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.31. Çamlıbel istasyonu için Real Time PDSI değerleri ile diğer yaklaşımlara ait indeks sonuçları

	Real Time PDSI	Geleneksel PDSI	PDSI ₍₃₀₎	PDSI _(B.CROP)
Kas.23	0.52	0.07	0.20	-0.20
Ara.23	0.25	-1.23	-0.86	-0.90
Oca.24	1.68	-1.23	-0.91	-1.04
Şub.24	1.48	-1.91	-1.60	-1.59
Mar.24	1.67	-1.36	-1.10	-0.59
Nis.24	-0.27	-3.12	-2.89	-2.09
May.24	1.12	-1.47	-1.03	-0.43
Haz.24	0.40	-2.33	-1.94	-1.44
Tem.24	0.42	-2.03	-1.68	-1.29

Çizelge 4.31 incelendiğinde Çamlıbel istasyonunda ‘Real Time PDSI’ yaklaşımı sonucu hesaplanan PDSI değerlerinin diğer yaklaşımlardan oldukça farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Yani ‘Real Time PDSI’ yaklaşımında tüm aylar nemli sınıfta yer alırken diğer yaklaşımlarda tüm aylarda farklı şiddette kurak değerlerin olduğu tespit edilmiştir. Sadece tüm yaklaşımlarda Kasım ayının nemli sınıfta yer aldığı görülmektedir.

Çizelge 4.32. Çekerek istasyonu için Real Time PDSI değerleri ile diğer yaklaşımlara ait indeks sonuçları

	Real Time PDSI	Geleneksel PDSI	PDSI ₍₃₀₎	PDSI _(B.CROP)
Kas.23	-0.25	0.22	-0.13	0.93
Ara.23	-0.91	-0.24	-0.54	0.51
Oca.24	-1.72	-0.74	-1.01	0.09
Şub.24	-2.23	-1.17	-1.41	-0.22
Mar.24	-2.66	-1.80	-2.00	-0.75
Nis.24	-4.16	-3.17	-3.35	-2.19
May.24	-2.54	-1.00	-1.13	0.35
Haz.24	-4.79	-3.27	-3.52	-1.90
Tem.24	-4.26	-2.90	-3.12	-1.63

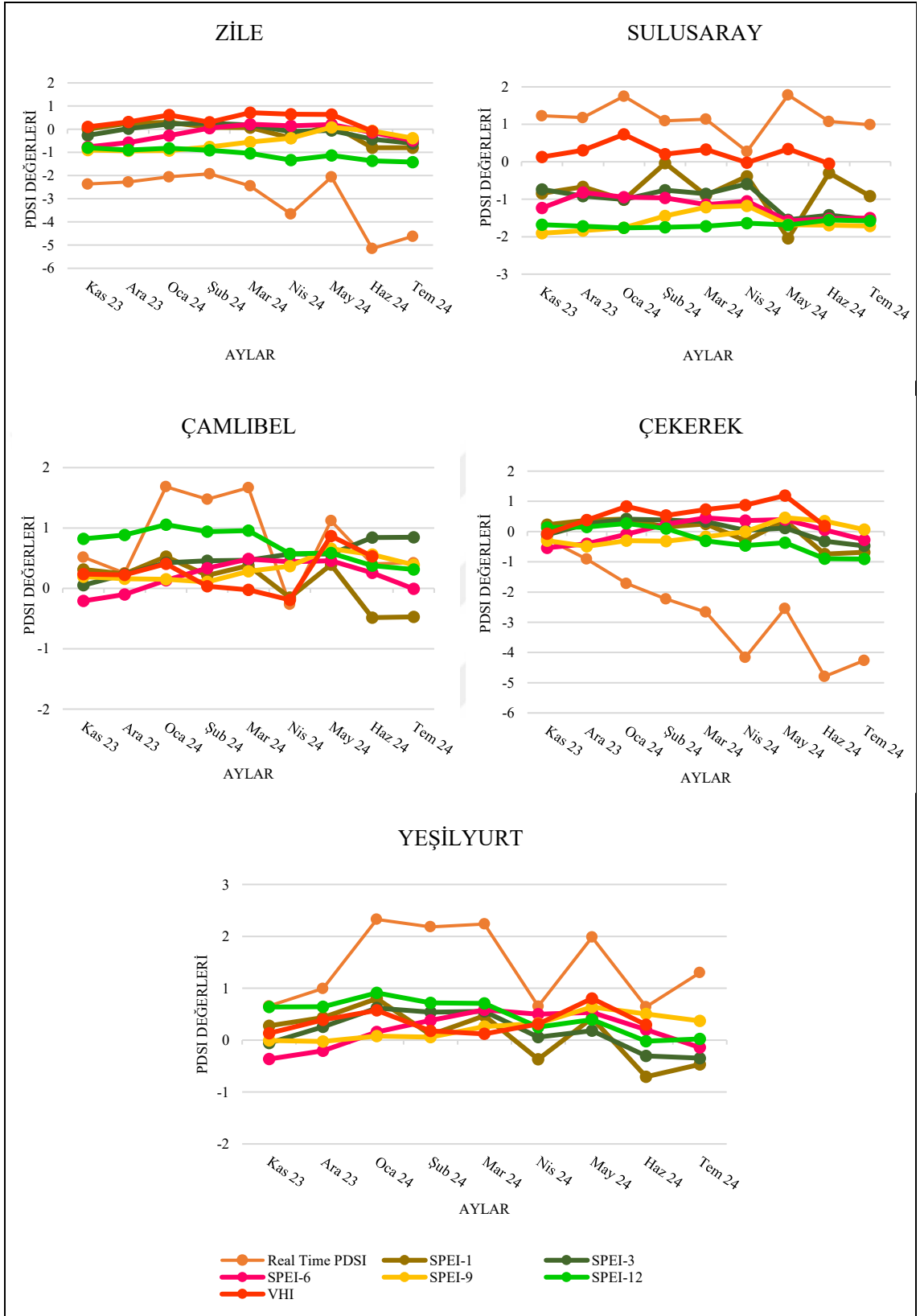
Çizelge 4.32 incelendiğinde tüm yaklaşımlara göre ilgili ayların PDSI değerleri farklı şiddette kuraklık sınıflarında yer aldığı görülmektedir. ‘Real Time PDSI’ yaklaşımının Kasım ayı PDSI değeri ile diğer yaklaşımlara ait PDSI değerleri nemli sınıfta yer almaktadır. Tüm yaklaşımlarda özellikle Haziran ve Temmuz aylarında kuraklık şiddetinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.33. Yeşilyurt istasyonu için Real Time PDSI değerleri ile diğer yaklaşımlara ait indeks sonuçları

	Real Time PDSI	Geleneksel PDSI	PDSI ₍₃₀₎	PDSI _(B.CROP)
Kas.23	0.66	0.92	0.34	0.39
Ara.23	0.99	0.71	0.19	0.27
Oca.24	2.33	1.40	0.98	1.05
Şub.24	2.18	1.16	0.76	0.90
Mar.24	2.24	1.12	0.77	1.18
Nis.24	0.65	-0.11	-0.49	-0.07
May.24	1.99	1.37	1.14	1.77
Haz.24	0.64	0.36	0.23	0.60
Tem.24	1.30	1.12	1.01	1.21

Çizelge 4.33 incelendiğinde Yeşilyurt istasyonunda tüm yaklaşımlara göre ilgili ayların PDSI değerlerinin farklı şiddette nemli sınıfta yer aldığı görülmektedir.

Şekil 4.30’da verilen zamansal dağılım grafikleri incelendiğinde ‘Real Time PDSI’ yaklaşım değerlerinin farklı zaman periyotlarında hesaplanan SPEI ve VHI değerleriyle örtüşmediği yani sonuçların birbirinden oldukça farklı çıktığı görülmektedir. Özellikle Zile ve Çekerek istasyonlarında PDSI değerleri kurak sınıfta yer alırken, diğer indeks değerlerinin nemli sınıfta olduğu gözlemlenmektedir. Sonuç olarak gerçek zamanlı veriler ile hesaplanan PDSI değerinin diğer yaklaşım ve kuraklık indeksleriyle değerlendirme sonuçlarını veren çizelgeler ve grafikler değerlendirildiğinde tüm istasyonlarda ‘Real Time PDSI’ yaklaşım sonuçlarının diğer yaklaşım ve indekslere ait sonuçlarla genellikle örtüşmediği tespit edilmiştir.



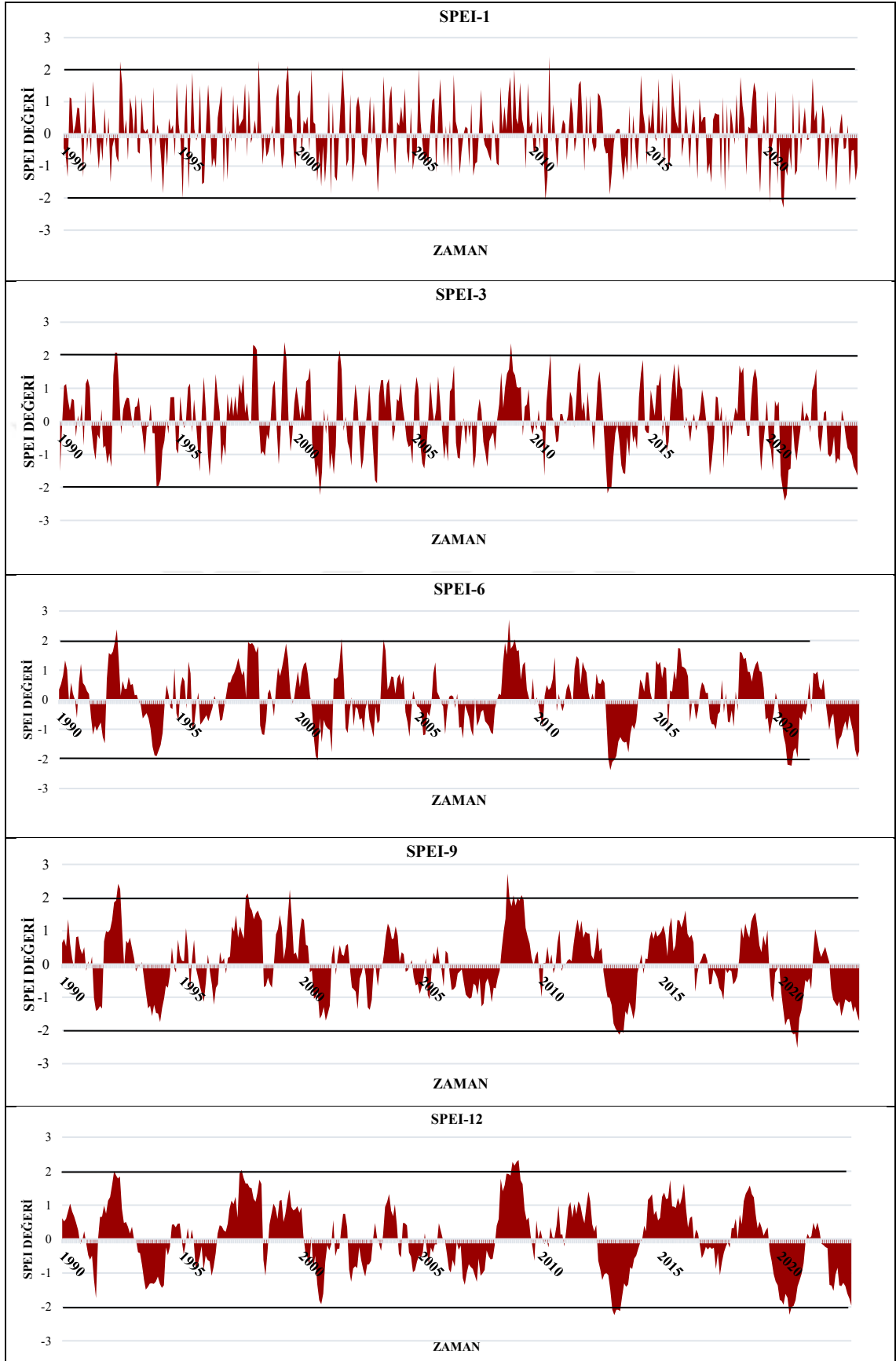
Şekil 4.30. 'Real Time PDSI' yaklaşım değerleri ile SPEI ve VHI değerlerinin zamansal dağılım grafiği

4.7. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeks (SPEI) Sonuçları

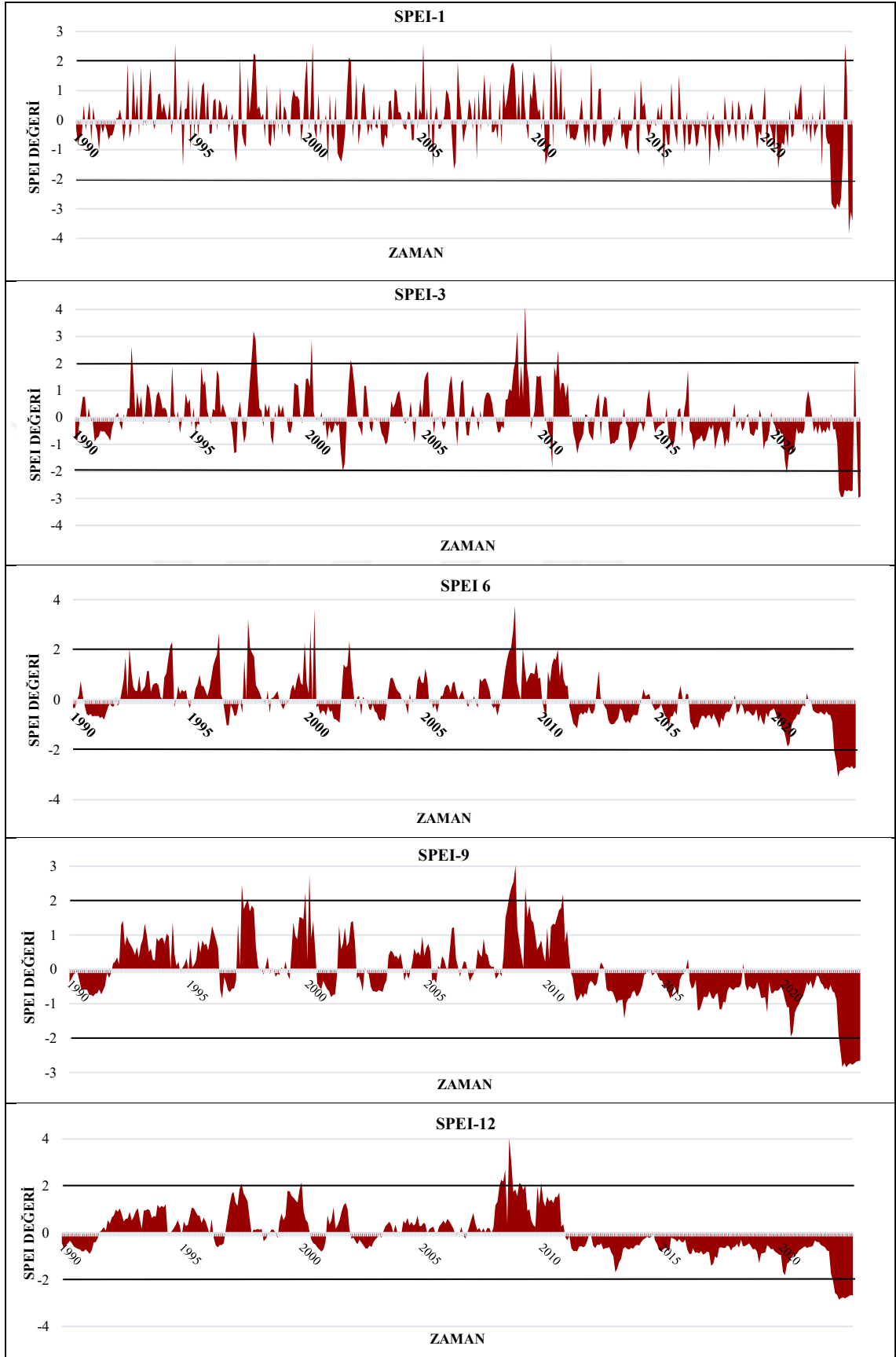
Tez çalışmasının bu aşamasında meteorolojik kuraklığı değerlendirmek amacıyla Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) hesaplanmıştır. Bu amaç doğrultusunda istasyonlara ait sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak hesaplanan PET ve PET'e bağlı olarak hesaplanan SPEI sonuçları verilmiştir.

SPEI indeksini hesaplamak için ilk olarak veriler meteoroloji istasyonlarından temin edildikten sonra PET ve aylık toplam yağış verilerine dayalı D değeri elde edilmiştir. Daha sonra D değeri kullanılarak R paket programında SPEI indeks değerleri elde edilmiştir. SPEI değerleri 1 aylık (SPEI-1), 3 aylık (SPEI-3), 6 aylık (SPEI-6), 9 aylık (SPEI-9) ve 12 aylık (SPEI-12) zaman periyotları için hesaplanmıştır. Her bir istasyona ait SPEI zamansal grafikleri Şekil 4.31 - Şekil 4.35'te verilmiştir. İstasyonlara ait SPEI zamansal grafikleri incelendiğinde farklı şiddette kurak ve nemli olayların meydana geldiği görülmektedir. Zile ve Sulusaray istasyonlarında tüm zaman periyotlarında son yıllarda kuraklık olayının arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.31 ve Şekil 4.32). Çamlıbel, Çekerek ve Yeşilyurt istasyonlarında ise tüm zaman periyotlarında son yıllarda nemli olayların meydana geldiği saptanmıştır (Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35).

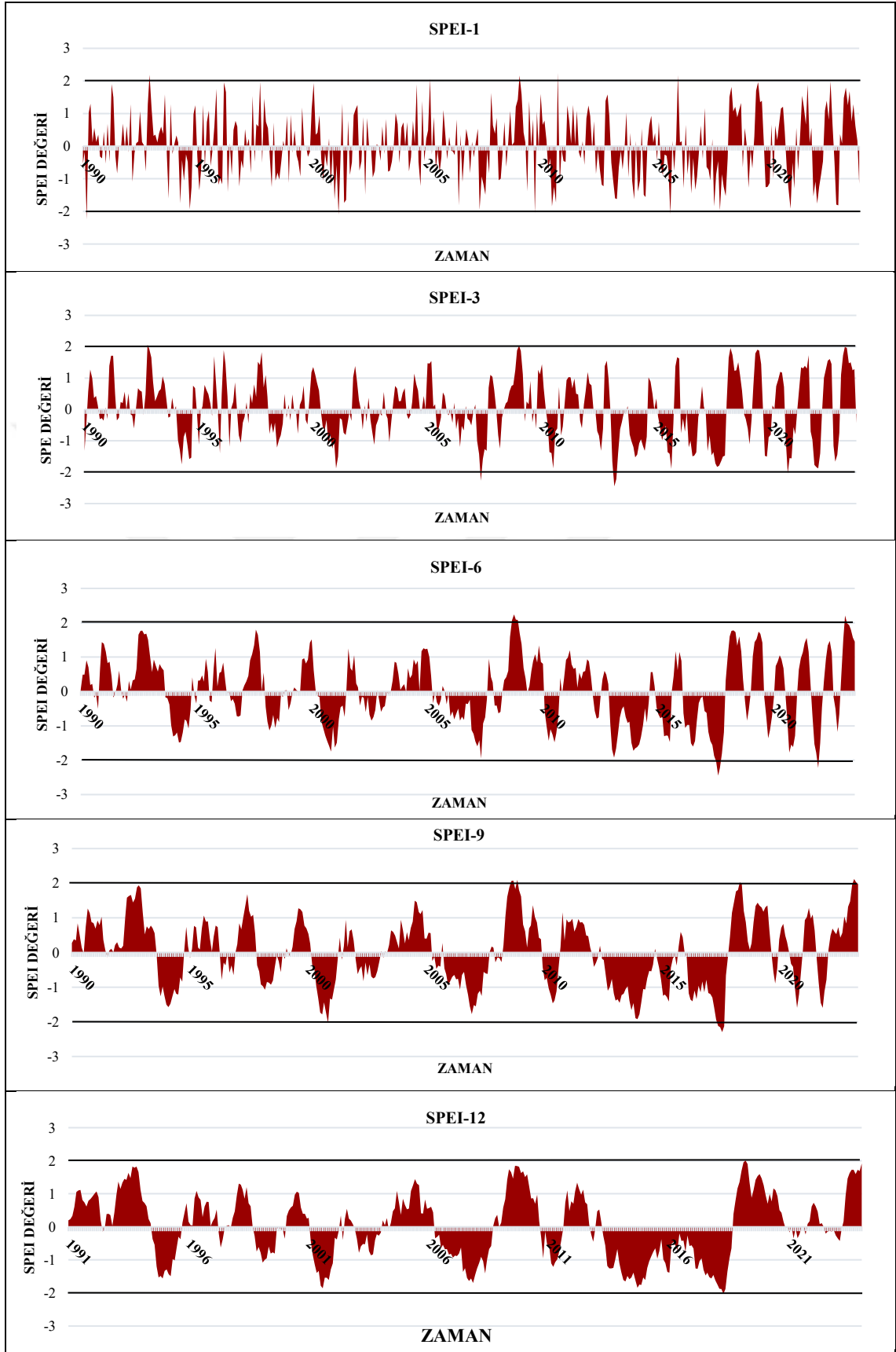
Hesaplanan SPEI indeksi değerlerine ait Çizelge 3.8'de verilen kuraklık sınıflarına göre görülme sıklığı ve frekans değerleri Çizelge 4.34'te verilmiştir. Tüm zaman periyotlarında kuraklık genellikle normal seviyelerde seyretmiş, aşırı kurak olayların sayısı aşırı nemli olayların sayısından çoğunlukla daha az meydana gelmiştir. Çizelge 4.34'te verilen değerler incelendiğinde tüm zaman periyotlarında en fazla olay sayısı normal kuraklık sınıfında meydana gelmiştir. Normal kuraklık sınıfını Zile istasyonunda SPEI-1, SPEI-9, SPEI-12 zaman periyotları için orta kurak sınıf, SPEI-3 ve SPEI-6 zaman periyotları için orta nemli sınıf takip etmektedir. Sulusaray istasyonunda tüm zaman periyotlarında normal kuraklık sınıfını nemli sınıf izlemektedir. Çamlıbel istasyonunda normal kuraklık sınıfını SPEI-1 ve SPEI-3 zaman periyotları için orta nemli sınıf, SPEI-6, SPEI-9 VE SPEI-12 zaman periyotları için orta kurak sınıf takip etmektedir. Çekerek istasyonu için normal kuraklık sınıfını SPEI-1, SPEI-3 ve SPEI-6 zaman periyotları için orta kurak sınıf, SPEI-9 ve SPEI-12 zaman periyotları için orta nemli sınıf izlemektedir. Yeşilyurt istasyonu için normal kuraklık sınıfını SPEI-1, SPEI-6, SPEI-9 ve SPEI-12 zaman periyotları için orta nemli sınıf, SPEI-3 zaman periyotu için orta kurak sınıf takip etmektedir.



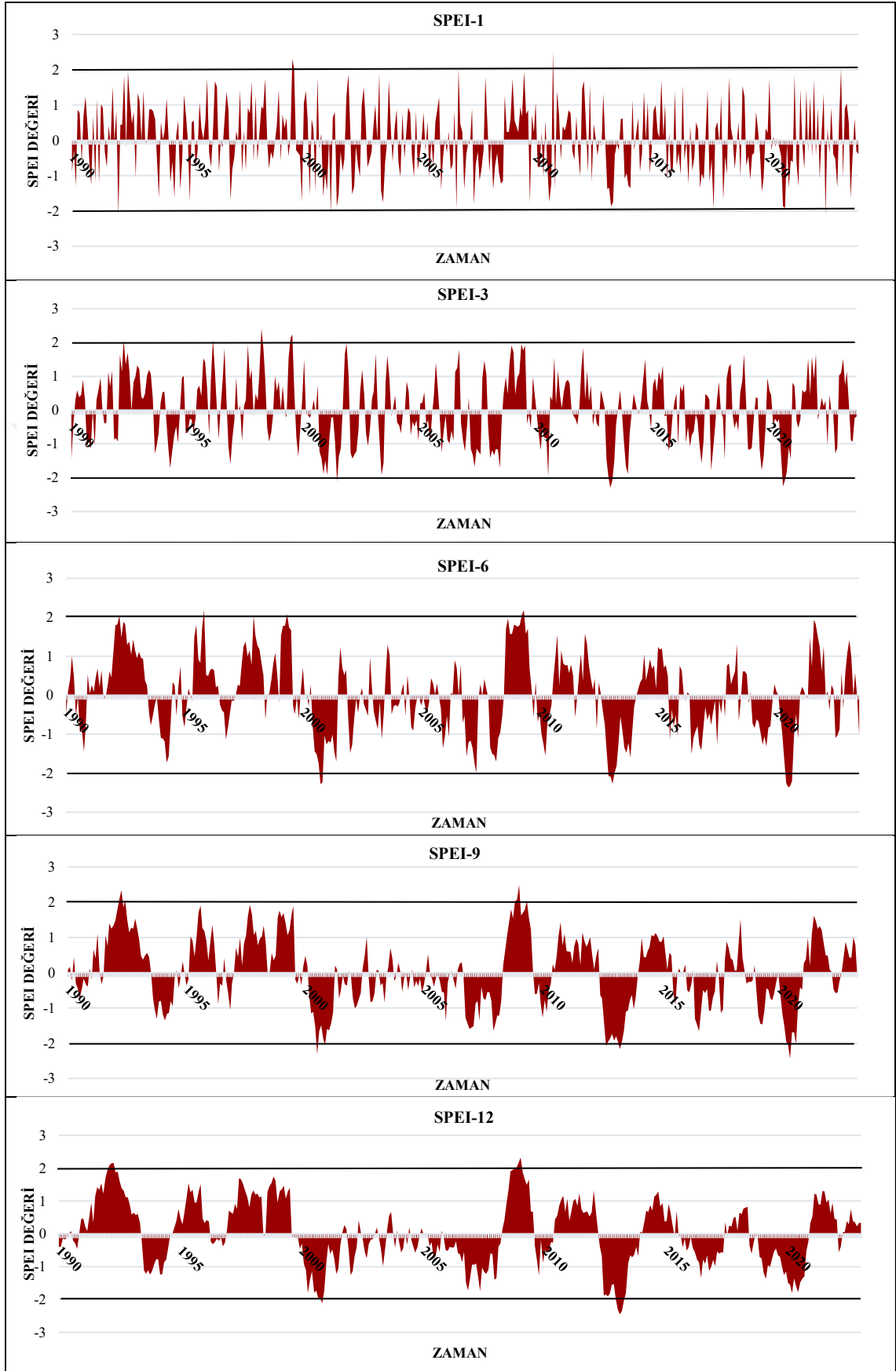
Şekil 4.31. Zile istasyonuna ait SPEI indeksi zamansal grafikleri



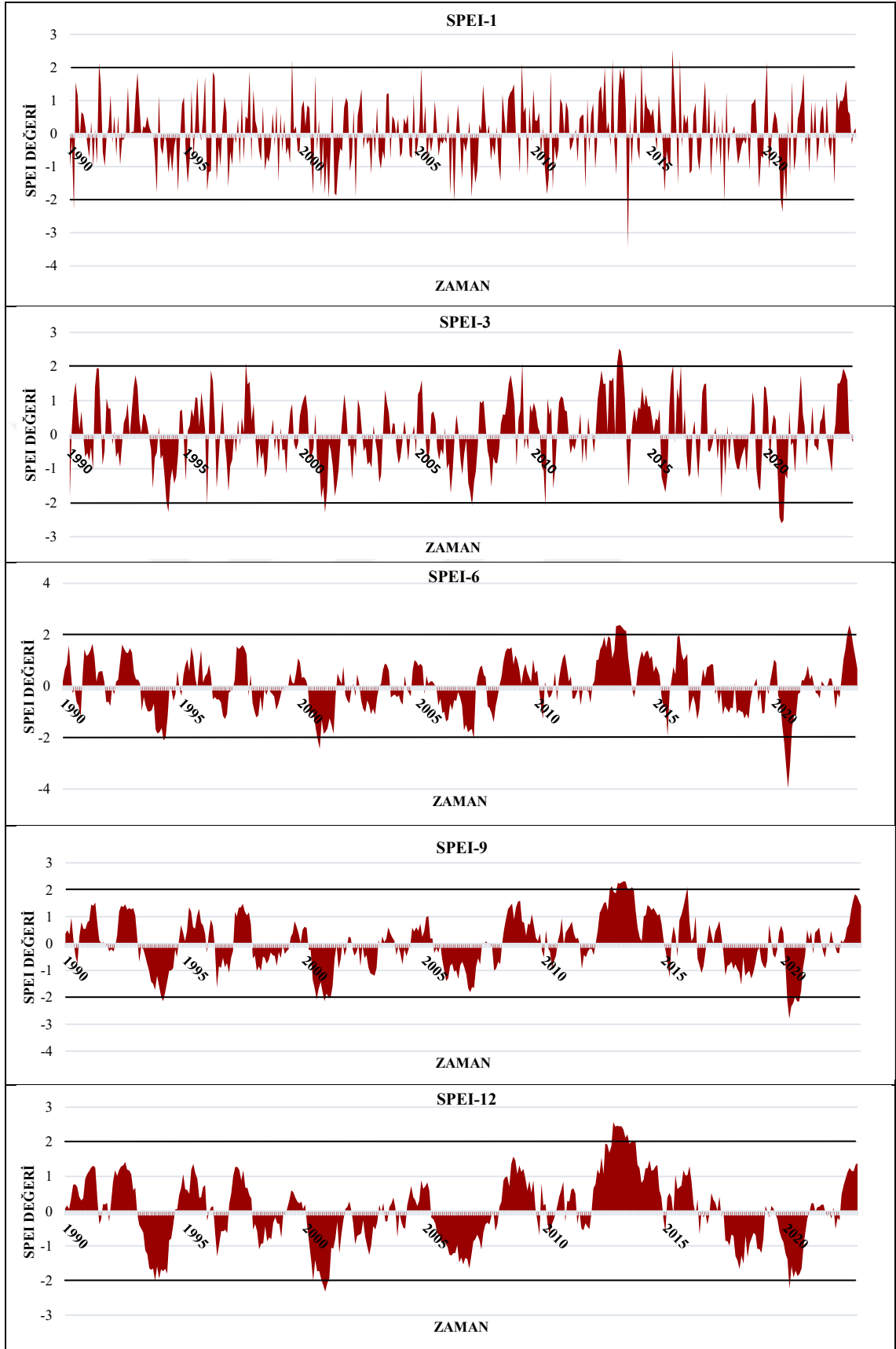
Şekil 4.32. Sulusaray istasyonuna ait SPEI indeksi zaman grafikleri



Şekil 4.33. Çamlıbel istasyonuna ait SPEI indeksi zaman grafikleri



Şekil 4.34. Çekerek istasyonuna ait SPEI indeksi zaman grafikleri



Şekil 4.35. Yeşilyurt istasyonuna ait SPEI indeksi zaman grafikleri

Çizelge 4.34. Kuraklık düzeylerine göre ay sayıları (A.S) ve görülme yüzdeleri (G.Y)

SPEI-1	Zile		Sulusaray		Çamlıbel		Çekerek		Yeşilyurt	
	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y
Çok Şiddetli Nemli	8	2.0	11	2.7	5	1.2	5	1.2	10	2.5
Şiddetli Nemli	26	6.4	16	3.9	23	5.6	25	6.1	18	4.4
Orta Derecede Nemli	39	9.6	30	7.4	45	11.0	37	9.1	39	9.6
Normal	263	64.5	316	77.5	265	65.0	271	66.4	281	68.9
Orta Derecede Kurak	47	11.5	18	4.4	44	10.8	45	11.0	32	7.8
Şiddetli Kurak	20	4.9	8	2.0	22	5.4	22	5.4	23	5.6
Çok Şiddetli Kurak	5	1.2	9	2.2	4	1.0	3	0.7	5	1.2
SPEI-3	Zile		Sulusaray		Çamlıbel		Çekerek		Yeşilyurt	
	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y
Çok Şiddetli Nemli	9	2.2	11	2.7	2	0.5	5	1.2	8	2.0
Şiddetli Nemli	16	3.9	16	3.9	28	6.9	25	6.2	24	5.9
Orta Derecede Nemli	49	12.1	30	7.4	44	10.8	36	8.9	34	8.4
Normal	265	65.3	315	77.6	263	64.8	266	65.5	277	68.2
Orta Derecede Kurak	42	10.3	19	4.7	43	10.6	52	12.8	36	8.9
Şiddetli Kurak	19	4.7	4	1.0	22	5.4	16	3.9	19	4.7
Çok Şiddetli Kurak	6	1.5	11	2.7	4	1.0	6	1.5	8	2.0
SPEI-6	Zile		Sulusaray		Çamlıbel		Çekerek		Yeşilyurt	
	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y
Çok Şiddetli Nemli	5	1.2	15	3.7	5	1.2	6	1.5	9	2.2
Şiddetli Nemli	22	5.5	13	3.2	25	6.2	27	6.7	15	3.7
Orta Derecede Nemli	38	9.4	19	4.7	36	8.9	33	8.2	48	11.9
Normal	277	68.7	327	81.1	270	67.0	268	66.5	270	67.0
Orta Derecede Kurak	37	9.2	15	3.7	41	10.2	43	10.7	35	8.7
Şiddetli Kurak	17	4.2	2	0.5	22	5.5	17	4.2	18	4.5
Çok Şiddetli Kurak	7	1.7	12	3.0	4	1.0	9	2.2	8	2.0

Not: Renklendireler Çizelge 3.8’de verilen kuraklık sınıfını ifade etmektedir.

Çizelge 4.34. (Devam) Kuraklık düzeylerine göre ay sayıları (A.S) ve görülme yüzdeleri (G.Y)

SPEI-9	Zile		Sulusaray		Çamlıbel		Çekerek		Yeşilyurt	
	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y
Çok Şiddetli Nemli	8	2.0	10	2.5	6	1.5	7	1.8	11	2.8
Şiddetli Nemli	14	3.5	26	6.5	19	4.8	23	5.8	13	3.3
Orta Derecede Nemli	43	10.8	14	3.5	38	9.5	43	10.8	47	11.8
Normal	262	65.5	325	81.3	260	65.0	260	65.0	271	67.8
Orta Derecede Kurak	49	12.3	11	2.8	55	13.8	39	9.8	29	7.3
Şiddetli Kurak	16	4.0	3	0.8	17	4.3	21	5.3	18	4.5
Çok Şiddetli Kurak	8	2.0	11	2.8	5	1.3	7	1.8	11	2.8
SPEI-12	Zile		Sulusaray		Çamlıbel		Çekerek		Yeşilyurt	
	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y
Çok Şiddetli Nemli	6	1.5	12	3.0	1	0.3	6	1.5	10	2.5
Şiddetli Nemli	21	5.3	18	4.5	26	6.5	20	5.0	8	2.0
Orta Derecede Nemli	39	9.8	29	7.3	43	10.8	45	11.3	53	13.4
Normal	264	66.5	312	78.6	254	64.0	263	66.2	265	66.8
Orta Derecede Kurak	44	11.1	10	2.5	44	11.1	38	9.6	32	8.1
Şiddetli Kurak	16	4.0	5	1.3	28	7.1	19	4.8	23	5.8
Çok Şiddetli Kurak	7	1.8	11	2.8	1	0.3	6	1.5	6	1.5

Not: Renklendireler Çizelge 3.8’de verilen kuraklık sınıfını ifade etmektedir.

4.8. Meteorolojik Kuraklığın (SPEI) Zamansal ve Mekansal Analiz Sonuçları

4.8.1. Zamansal analiz sonuçları

1990-2024 yılları arası Çekerek Havzası’nda yer alan beş istasyona (Zile, Sulusaray, Çamlıbel, Çekerek, Yeşilyurt) ait meteorolojik veriler kullanılarak hesaplanan SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6, SPEI-9 ve SPEI-12 aylık zaman periyotlarının zamansal analizi Yenilikçi Trend Analizi (ITA) yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. ITA testinde istatistiksel olarak elde edilen eğim (s) ve güven aralığı (G.A) değerine göre trendin varlığı değerlendirilmektedir. Yani hesaplanan eğim değeri

güven aralığının içerisindeyse trendin olmadığını, güven aralığının dışındaysa artan veya azalan yönde trendin olduğunu ifade etmektedir. Çizelge 4.35’te aşağı yönde kırmızı ok azalan trendi, yukarı yönde mavi ok artan trendi, sağ yönde yeşil ok ise veride istatistiki olarak değişimin olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.35. SPEI indeksi Yenilikçi Trend Analiz sonuçları

		Zile	Sulusaray	Çamlıbel	Çekerek	Yeşilyurt
SPEI-1	s	-0.0006 →	-0.0032 ↓	-0.0005 →	-0.0013 →	0.0014 →
	G.A	-0.0019 0.0019	-0.0018 0.0018	-0.0019 0.0019	-0.0019 0.0019	-0.0019 0.0019
SPEI-3	s	-0.0009 →	-0.0043 ↓	-0.0013 →	-0.0014 →	0.0020 →
	G.A	-0.0018 0.0018	-0.0018 0.0018	-0.0020 0.0020	-0.0019 0.0019	-0.0020 0.0020
SPEI-6	s	-0.0012 →	-0.0061 ↓	-0.0016 →	-0.0023 ↓	0.0024 →
	G.A	-0.0019 0.0019	-0.0005 0.0005	-0.0019 0.0019	-0.0016 0.0016	-0.0002 0.0002
SPEI-9	s	-0.0014 →	-0.0067 ↓	-0.0016 →	-0.0024 ↓	0.0005 →
	G.A	-0.0018 0.0018	-0.0016 0.0016	-0.0019 0.0019	-0.0017 0.0017	-0.0007 0.0007
SPEI-12	s	-0.0013 →	-0.0073 ↓	-0.0022 ↓	-0.0030 ↓	0.0011 ↑
	G.A	-0.0021 0.0021	-0.0017 0.0017	-0.0019 0.0019	-0.0018 0.0018	-0.0009 0.0009

Çizelge 4.35’te verilen sonuçlar incelendiğinde ITA testine göre Zile istasyonunda tüm SPEI indeksi zaman periyotlarında herhangi bir trendin varlığı tespit edilememiştir. Sulusaray istasyonunda tüm SPEI indeks zaman periyotlarında azalan trend saptanmıştır. Çamlıbel istasyonuna ait SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6 ve SPEI-9 zaman periyotlarında herhangi bir trend tespit edilmezken SPEI-12 zaman periyodunda azalan yönde trend tespit edilmiştir. Çekerek istasyonuna ait SPEI-1 ve SPEI-3 zaman periyotlarında herhangi bir trend belirlenmezken SPEI-6, SPEI-9 ve SPEI-12 zaman periyotlarında azalan yönde trend tespit edilmiştir. Yeşilyurt istasyonuna ait SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6 ve

SPEI-9 zaman periyotlarında herhangi bir trend tespit edilmezken SPEI-12 zaman periyodunda artan yönde trend tespit edilmiştir.

4.8.2. Mekansal analiz sonuçları

1990-2024 yılları arası Çekerek Havzası'nda yer alan beş istasyona (Zile, Sulusaray, Çamlıbel, Çekerek, Yeşilyurt) ait meteorolojik veriler kullanılarak hesaplanan aylık SPEI indeks değerlerinin mekansal analizi IDW yöntemine göre alansal dağılım haritaları hazırlanarak yapılmıştır. Buna göre her bir ay için tüm istasyonlarda en kurak değerler belirlenmiştir. Çizelge 4.36'te her bir ayda görülen en kurak değer ve kuraklığın meydana geldiği yıl verilmiştir. Çizelgede verilen renklendirme Çizelge 3.8'de verilen SPEI kuraklık sınıflandırmasına göre yapılmıştır.

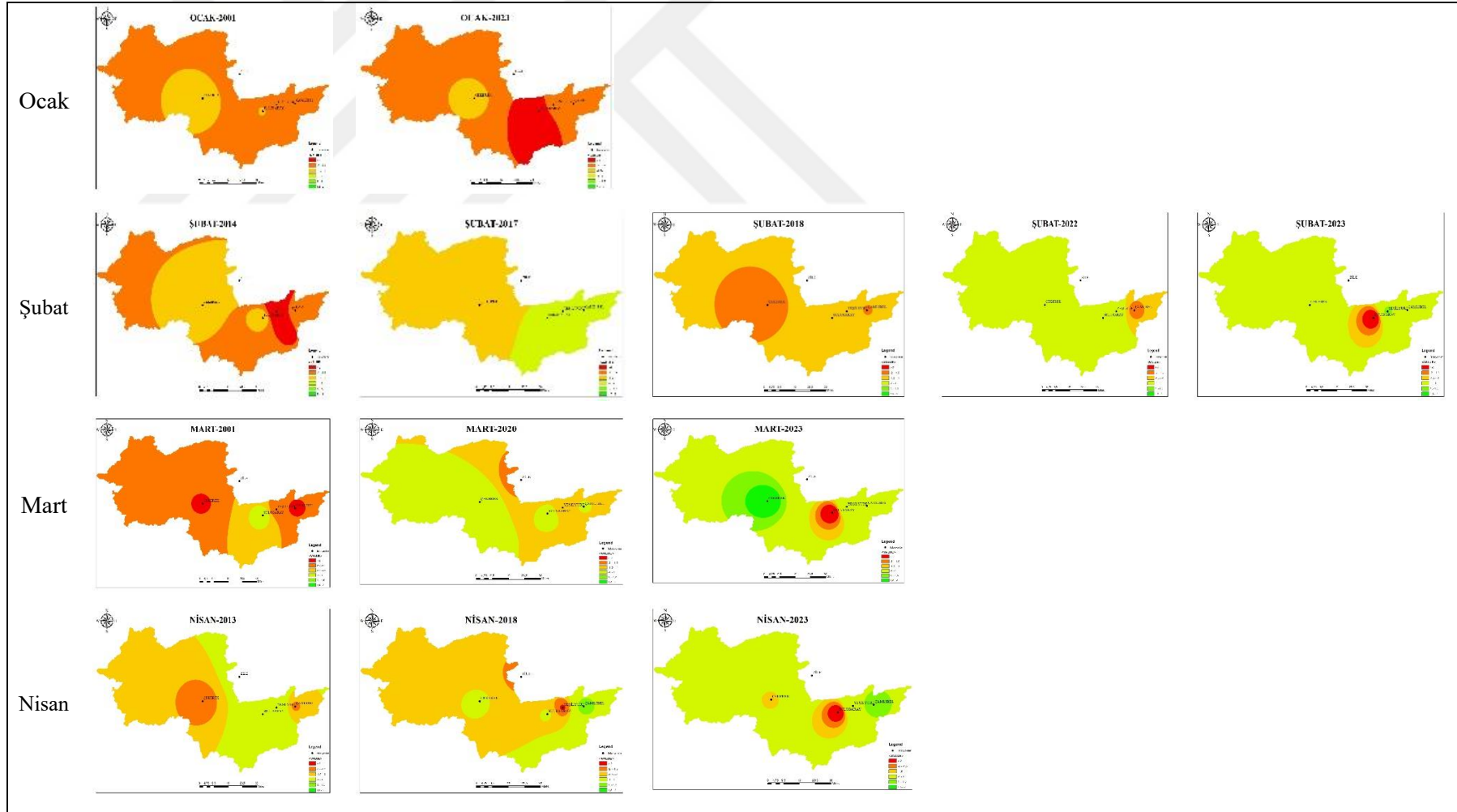
Çizelge 4.36. Aylık olarak en kurak değerler ve kuraklığın meydana geldiği yıllar

	Zile		Sulusaray		Çamlıbel		Çekerek		Yeşilyurt	
	SPEI Değeri	Yıl	SPEI Değeri	Yıl	SPEI Değeri	Yıl	SPEI Değeri	Yıl	SPEI Değeri	Yıl
Ocak	-1.8	2023	-2.82	2023	-1.8	2023	-1.41	2001	-1.83	2001
Şubat	-1.4	2017	-2.94	2023	-1.8	2022	-1.68	2018	-3.45	2014
Mart	-2.1	2020	-3.03	2023	-2.1	2001	-2.06	2001	-1.95	2001
Nisan	-1.8	2018	-2.82	2023	-1.6	2013	-1.87	2013	-2.09	2018
Mayıs	-1.9	2013	-2.96	2023	-2	2007	-1.81	2007	-1.92	2002
Haziran	-1.9	2001	-2.62	2023	-1.8	2006	-1.88	2001	-1.86	2006
Temmuz	-1.6	2020	-1.64	2006	-1.8	2010	-2.11	2021	-1.87	2001
Ağustos	-2.1	2010	-1.61	2005	-1.8	2017	-1.95	2006	-2.08	2006
Eylül	-2	2020	-1.65	2020	-2.1	2015	-1.94	2017	-1.88	2020
Ekim	-2.3	2020	-3.86	2023	-2.1	2009	-1.92	2020	-2.37	2020
Kasım	-1.47	2000	-3.1	2023	-2	2017	-1.6	2000	-1.7	2010
Aralık	-1.4	2013	-3.4	2023	-1.9	2020	-1.41	2005	-1.98	2020

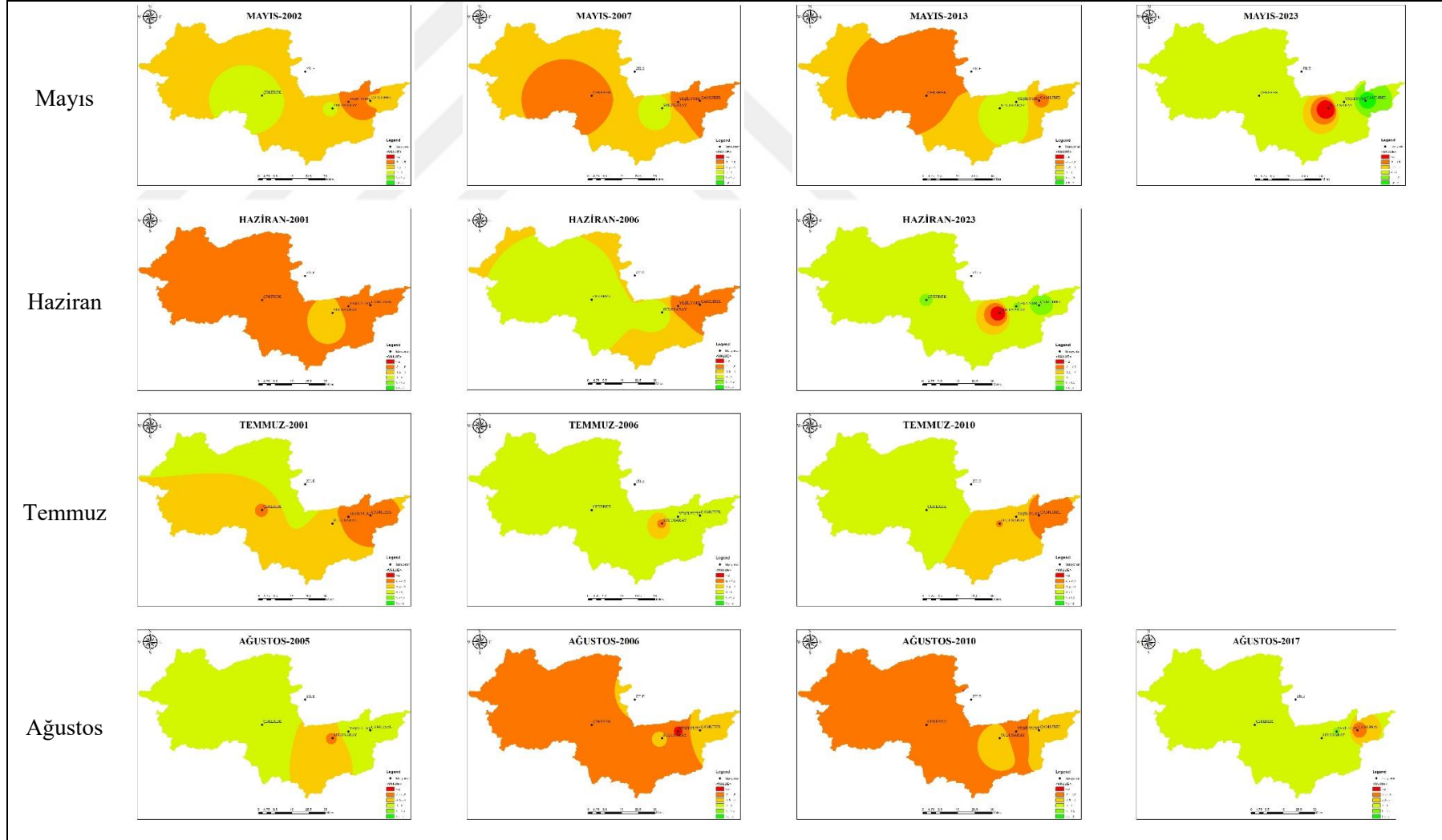
Çizelge 4.36'da verilen değerler incelendiğinde aylara göre en kurak yılların tespit edildiği görülmektedir. Örneğin Ocak ayı için Zile, Sulusaray ve Çamlıbel istasyonlarında 2023 yılı, Çekerek ve Yeşilyurt istasyonları için 2021 yılı en kurak yıl olarak belirlenmiştir. Şubat ayında 2014 (Yeşilyurt), 2017 (Zile), 2018 (Çekerek), 2022 (Çamlıbel) ve 2023 (Sulusaray) yıllarında; Mart ayında 2001 (Çamlıbel, Çekerek, Yeşilyurt), 2020 (Zile), 2023 (Sulusaray) yıllarında; Nisan ayında 2013 (Çamlıbel, Çekerek), 2018 (Zile, Yeşilyurt), 2023 (Sulusaray) yıllarında; Mayıs ayında 2002

(Yeşilyurt), 2007 (Çamlıbel, Çekerek), 2013 (Zile), 2023 (Sulusaray) yıllarında; Haziran ayında 2001 (Zile, Çekerek), 2006 (Çamlıbel, Yeşilyurt), 2023 (Sulusaray) yıllarında; Temmuz ayında 2001 (Yeşilyurt), 2006 (Sulusaray), 2010 (Çamlıbel), 2020 (Zile), 2021 (Çekerek) yıllarında; Ağustos ayında 2005 (Sulusaray), 2006 (Çekerek, Yeşilyurt), 2010 (Zile), 2017 (Çamlıbel) yıllarında; Eylül ayında 2015 (Çamlıbel), 2017 (Çekerek), 2020 (Zile, Sulusaray, Yeşilyurt) yıllarında; Ekim ayında 2009 (Çamlıbel), 2020 (Zile, Çekerek, Yeşilyurt), 2023 (Sulusaray) yıllarında; Kasım ayında 2000 (Zile, Çekerek), 2010 (Yeşilyurt), 2017 (Çamlıbel), 2023 (Sulusaray) yıllarında; Aralık ayında 2005 (Çekerek), 2013 (Zile), 2020 (Çamlıbel, Yeşilyurt), 2023 (Sulusaray) yıllarında en kurak değerler gözlemlenmiştir. IDW yöntemi ile tespit edilen ilgili yıllarda havzanın kuraklık dağılım haritaları elde edilmiş ve havzanın kuraklık durumu değerlendirilmiştir. Şekil 4.36'da aylara ait en kurak yılların IDW haritaları verilmiştir.

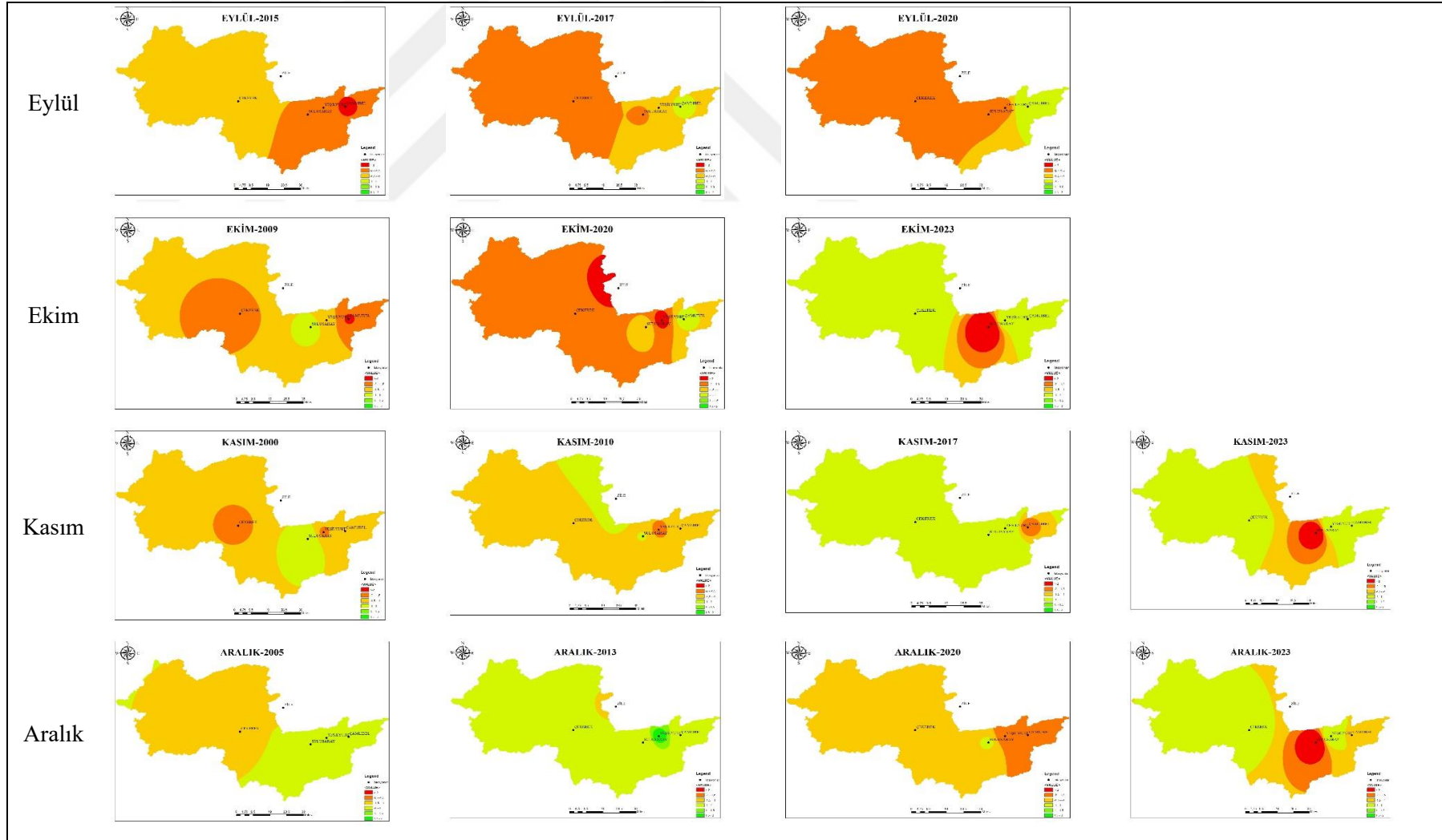
IDW haritaları incelendiğinde Ocak ayında kurak geçen her iki yılda tüm istasyonların kurak geçtiği görülmektedir. Şubat ayının 2014 ve 2018 yıllarında tüm istasyonlarda kuraklık olayları yaşanmıştır. Şubat ayına ait diğer yıllarda ise farklı şiddette nemlilik olayları meydana gelmiştir. 2001 Mart ayında Sulusaray istasyonu dışındaki istasyonlarda kuraklık olayları gözlemlenmektedir. Nisan ayına ait haritalar incelendiğinde kurak geçen istasyonlar dışında nemlilik olayları meydana geldiği, Mayıs ayında ise Sulusaray istasyonunun 2023 yılı dışındaki yıllarda nemli geçtiği tespit edilmiştir. 2001 Haziran ayı havza genelinde kurak geçmiş olup 2006 yılında Çamlıbel ve Yeşilyurt, 2023 yılında ise sadece Sulusaray istasyonunda kuraklık meydana gelmiştir. 2006 yılının Temmuz ayı Sulusaray hariç nemli geçmiş, 2001 yılında Zile, 2010 yılında ise Çekerek ve Zile istasyonları nemli geçmiştir. Ağustos ayının 2006 ve 2010 yılları, Eylül ayının ilgili yılları ve Ekim ayının 2009 ve 2020 yılları havza genelinde kurak geçmiştir. 2023 yılı ekim ayında sadece Sulusaray istasyonunda kuraklık yaşanmış olup diğer istasyonlarda farklı şiddette nemli olaylar meydana gelmiştir. Kasım ve aralık aylarında ise kurak geçen istasyonların dışında havza genelinin nemli geçtiği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.36. Aylara ait en kurak yılların IDW haritaları



Şekil 4.36. (Devam) Aylara ait en kurak yılların IDW haritaları



Şekil 4.36. (Devam) Aylara ait en kurak yılların IDW haritaları

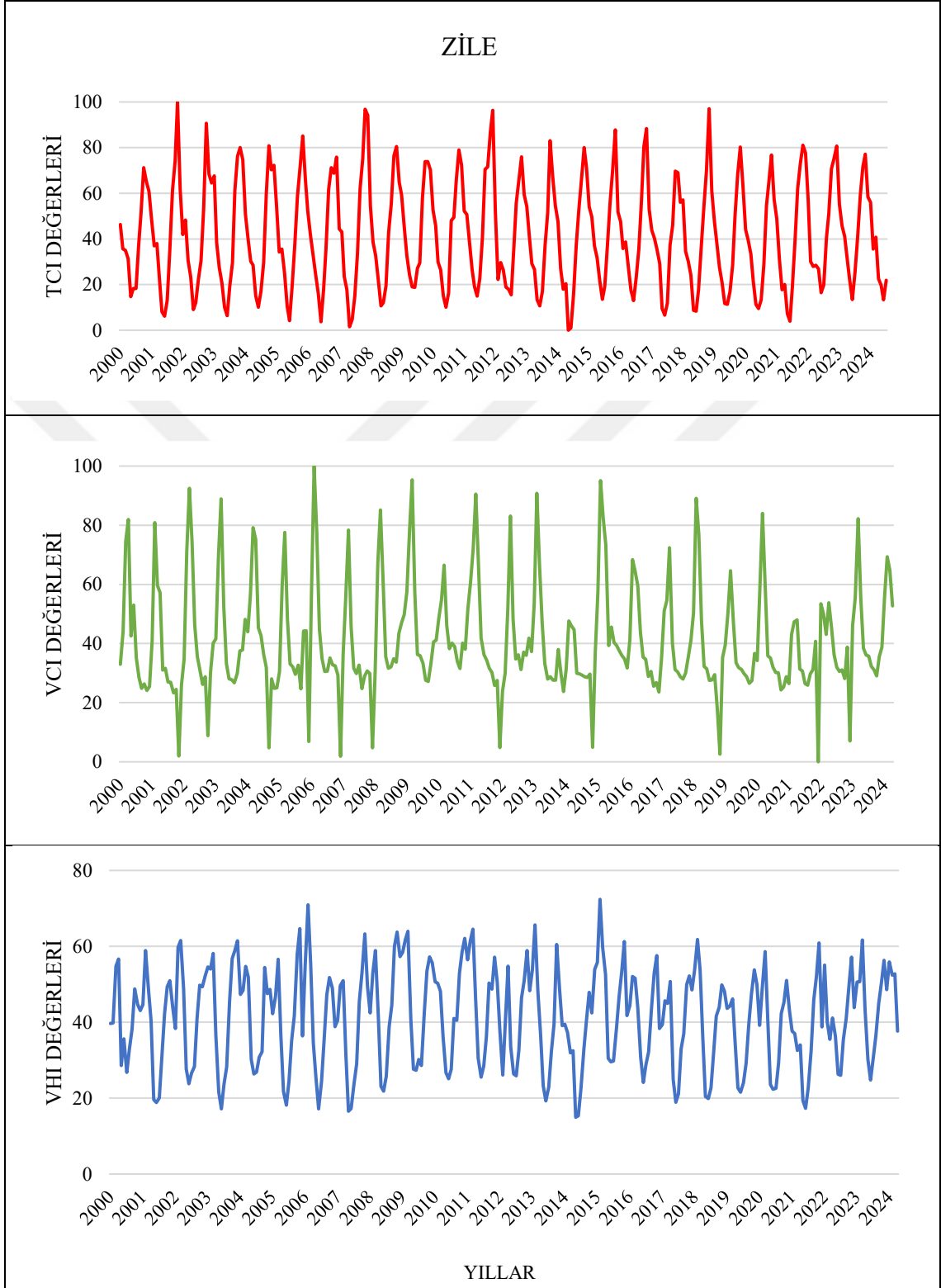
Literatürde farklı kurak türlerinin zamansal ve mekânsal analizi üzerine çalışılan havza için örnek çalışmalar olmamakla birlikte ülkemize ait birçok bölge ve il bazında çalışmalar mevcuttur. Birkaç örnek verilecek olursa; Özcan (2020) yaptığı tez çalışmasında Dicle Havzası'nda yer alan on altı akım gözlem istasyonuna ait akım verilerini kullanarak havzanın hidrolojik kuraklığını Akım Kuraklık indeksi ile değerlendirmiştir. Kuraklığı farklı zaman periyotlarında hesaplamış ve mekânsal dağılımını IDW yöntemi ile değerlendirmiştir. Elde ettiği bulgulara aylık bazda hesaplanan kuraklık değerinde Mart ayının diğer aylara göre kurak geçtiğini, tüm zaman periyotlarında kuraklığın mekânsal analizine göre havzanın batı ve orta kesiminin daha kurak olduğunu ifade etmiştir. Danandeh Mehr ve Vaheddoost (2020), Ankara ilinde belirledikleri altı meteoroloji istasyonuna ait yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak SPI ve SPEI indekslerinin eğilimini incelemişlerdir. Eğilim analizinde Spearman sıra korelasyon katsayısı ve ITA testleri kullanılmıştır. Sonuçlara göre ilin 1971-2016 yılları arasında beş önemli kuraklık olayı ile karşı karşıya olduğu, SPEI indeksi dikkate alındığında gözlemlenen kuraklık olaylarında hafif bir azalma eğilimi olduğunu ifade etmişlerdir. Partal ve Yavuz (2020), Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz bölgeleri için SPI ve De Martonne kuraklık indekslerinin eğilim analizini Mann-Kendal testi ile incelemişlerdir. Tokat ili için aylık SPI değerlerinde herhangi bir trend saptanmamıştır. De Martone indeksinde ise Ekim ayında artan trendin varlığı tespit edilmiştir. Yeşilköy ve Şaylan (2022), Türkiye'nin kuzeybatı kesiminin kuraklık durumunu SPEI ve scPDSI indeksleri ile değerlendirmiş ve indekslerinin eğiliminin belirlenmesinde ITA testini kullanmışlardır. SPEI'nin trend analizi sonucunda, bölgedeki kuraklığın artacağı ifade edilmiştir. sc-PDSI'nin trend analiz sonucunun ise, kuraklık yoğunluğunun farklı senaryolara göre istasyonlar arasında değişiklik gösterdiği belirtilmiştir. Korkmaz (2022), Yozgat ilinin kuraklık durumunu SPI ve PNI indeksleri ile değerlendirmiştir. Kuraklığın eğilim analizinde ITA testini kullanmıştır. 3 aylık SPI kuraklık sonuçlarına göre verilerin ilk yarısında kuraklık eğilimin olmadığını, ikinci yarısında ise azalan bir eğilim gösterdiği ifade edilmiştir. 6-9-12 aylık SPI serilerinde ise meydana gelen kuraklık olaylarının benzer olduğu ve azalan bir eğilim gösterdiği vurgulanmıştır. Yaşa ve Partal (2023), Güneydoğu bölgesi'nin kuraklığını SPI indeksi ile değerlendirmiştir. Kuraklık şiddet serilerinin eğilimini ise ITA ve MK testleri ile incelemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre ITA testinin kuraklık eğilimlerini belirlemede daha hassas olduğunu belirlemişlerdir.

Serkendiz ve ark., (2024), Türkiye genelinde yaptıkları çalışmada SPEI indeksi ile meteorolojik kuraklık olaylarının tarihsel oluşumlarını, geçmiş sıklıkları, yoğunlukları ve mekansal dağılımlarını araştırmışlardır. Kuraklık şiddeti koşu teorisi yöntemi ve kuraklık desenlerindeki eğilimler ise Mann-Kendall eğilim testi ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulguların, kurak dönemlerin oluşumunda zaman içinde belirgin bir artış olduğunu ortaya koyduğu ifade edilmiştir. Keskin ve ark., (2024), Türkiye'nin Akdeniz kıyı şeridinde yer alan 11 meteoroloji istasyonuna ait yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak hesapladıkları SPI, SPEI ve RDI indeksleri ile istasyonların kuraklık durumunu değerlendirmişlerdir. İndekslerin eğilim analizinde ITA testini kullanmışlardır. Elde edilen bulgulara göre ekstrem koşullar (aşırı kurak ve yağışlı) arasındaki trend farklılıklarının, zaman ölçeğindeki artışla birlikte belirgin bir şekilde azaldığı, ITA eğilimlerinin tüm istasyonlarda 3 aylık zaman ölçekleri için neredeyse aynı olduğu, zaman ölçeğindeki artışlarla eğilimin farklılaşmaya başladığı belirtilmiştir.

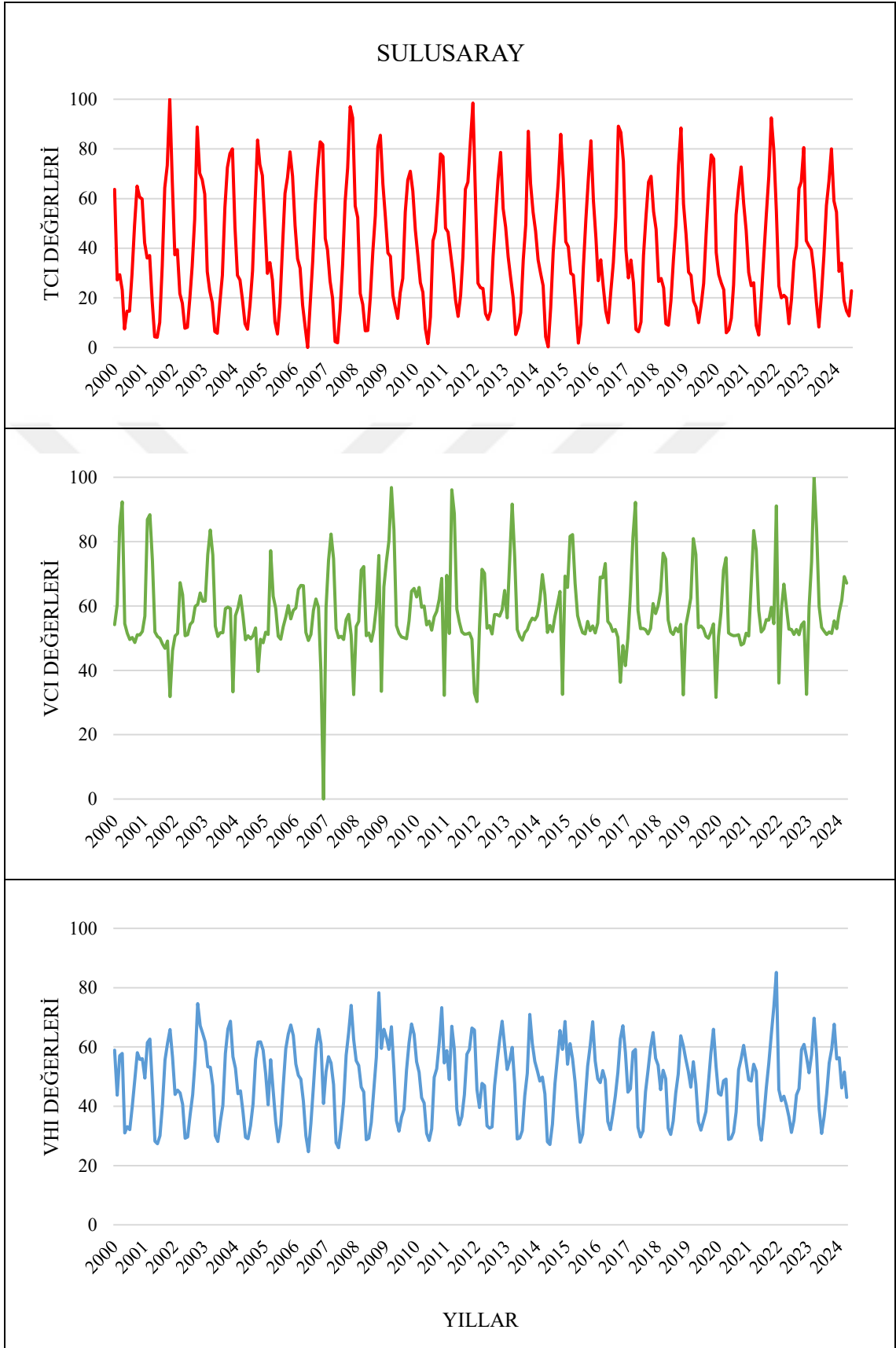
4.9. Uydu Tabanlı Tarımsal Kuraklık İndeks Sonuçları

Tez çalışmasının bu aşamasında uydu tabanlı tarımsal kuraklığı değerlendirmek amacıyla Vejetasyon Sağlığı İndeksi (VHI) kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak ilgili veri tabanından havzaya ait haritalar indirilmiş ve haritalar kullanılarak istasyonlara ait NDVI ve LST uydu verisi okumaları yapılmıştır. Daha sonra Eşitlik 3.29 ile VCI indeksi, Eşitlik 3.30 ile TCI indeksi ve Eşitlik 3.31 ile de VHI indeksi hesaplanmıştır. 2000 – 2024 yılları arasında her bir istasyona ait TCI, VCI ve VHI indekslerinin zamansal grafikleri Şekil 4.37 - Şekil 4.41'de verilmiştir. VCI ve TCI indekslerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda VHI indeksi geliştirilmiştir. İstasyonlara ait VHI zamansal grafikleri incelendiğinde farklı şiddette kurak ve nemli olayların meydana geldiği görülmektedir.

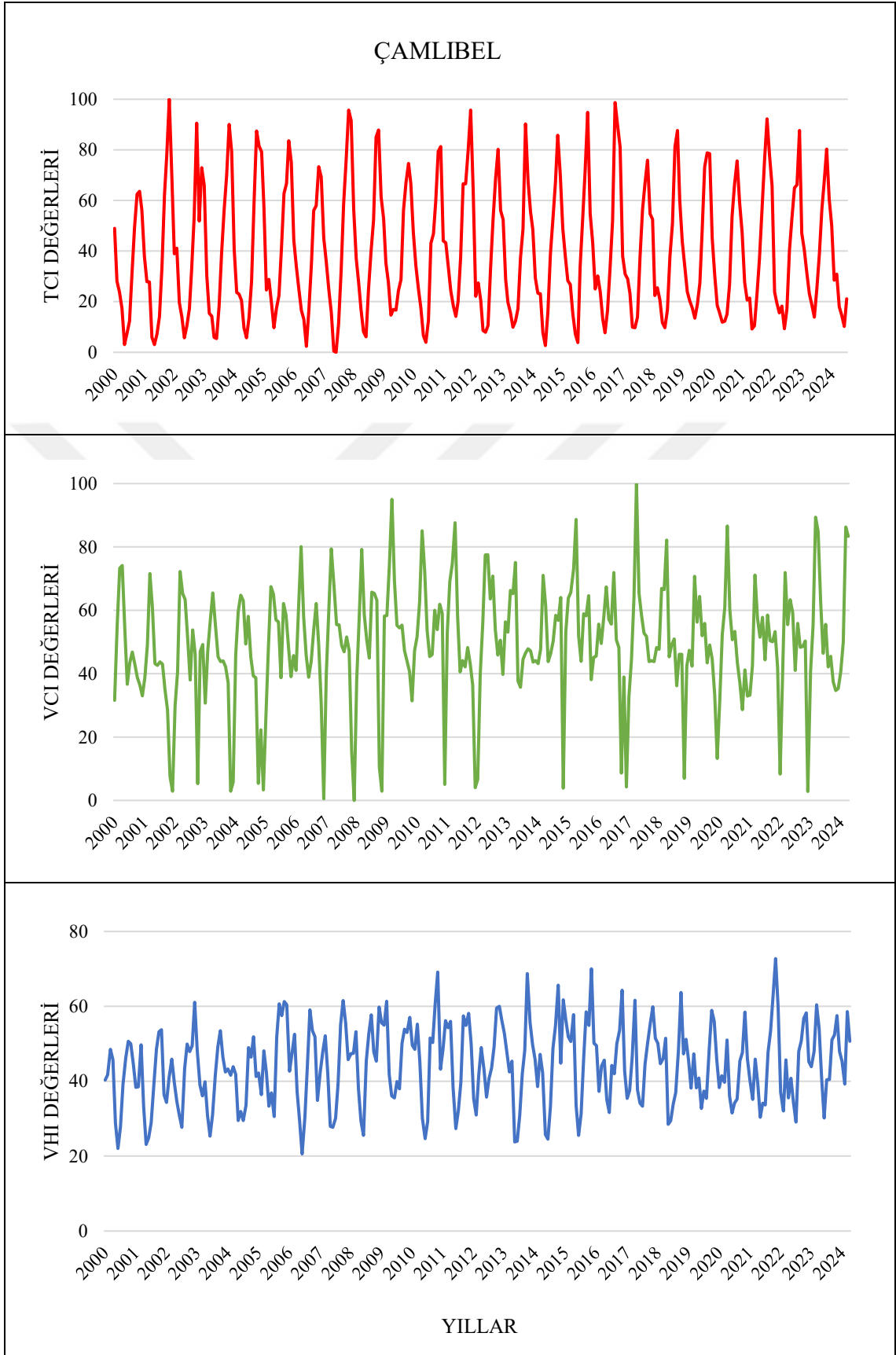
Hesaplanan VHI indeks değerlerine ait Çizelge 3.9'da verilen kuraklık sınıflarına göre görülme sayısı ve yüzde değerleri Çizelge 4.37'de verilmiştir. Tüm zaman periyotlarında kuraklık genellikle normal seviyelerde seyretmiş, aşırı kurak olay hiç meydana gelmemiştir. Çizelge 4.37'de verilen değerler incelendiğinde tüm zaman periyotlarında en fazla olay sayısı normal kuraklık sınıfında meydana gelmiştir. Normal kuraklık sınıfını Zile ve Çamlıbel istasyonunda hafif kurak sınıf, Sulusaray istasyonunda nemli sınıf; Çekerek ve Yeşilyurt istasyonlarında ise orta kurak sınıf takip etmektedir.



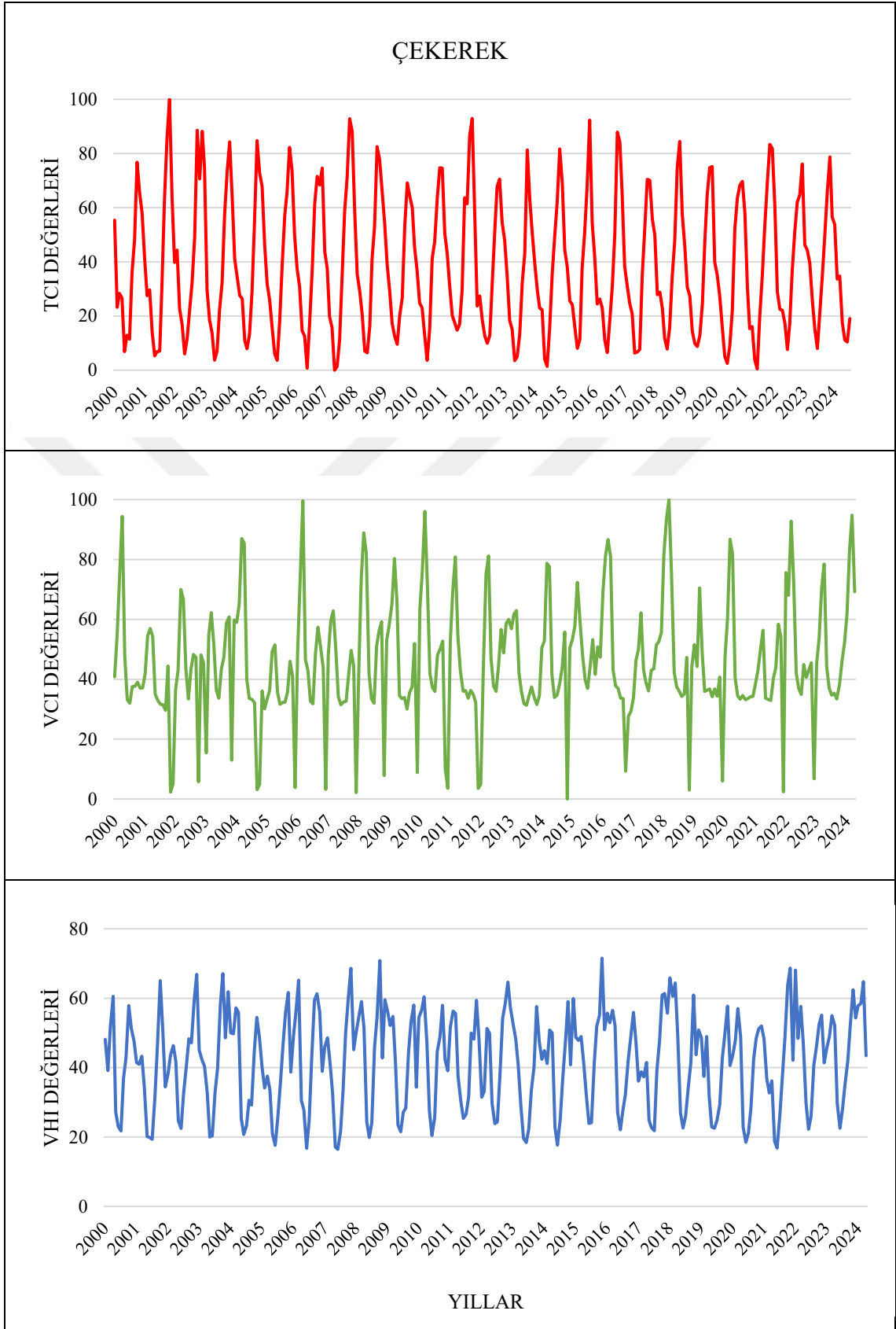
Şekil 4.37. Zile istasyonuna ait uydu tabanlı indekslerin zamansal grafikleri



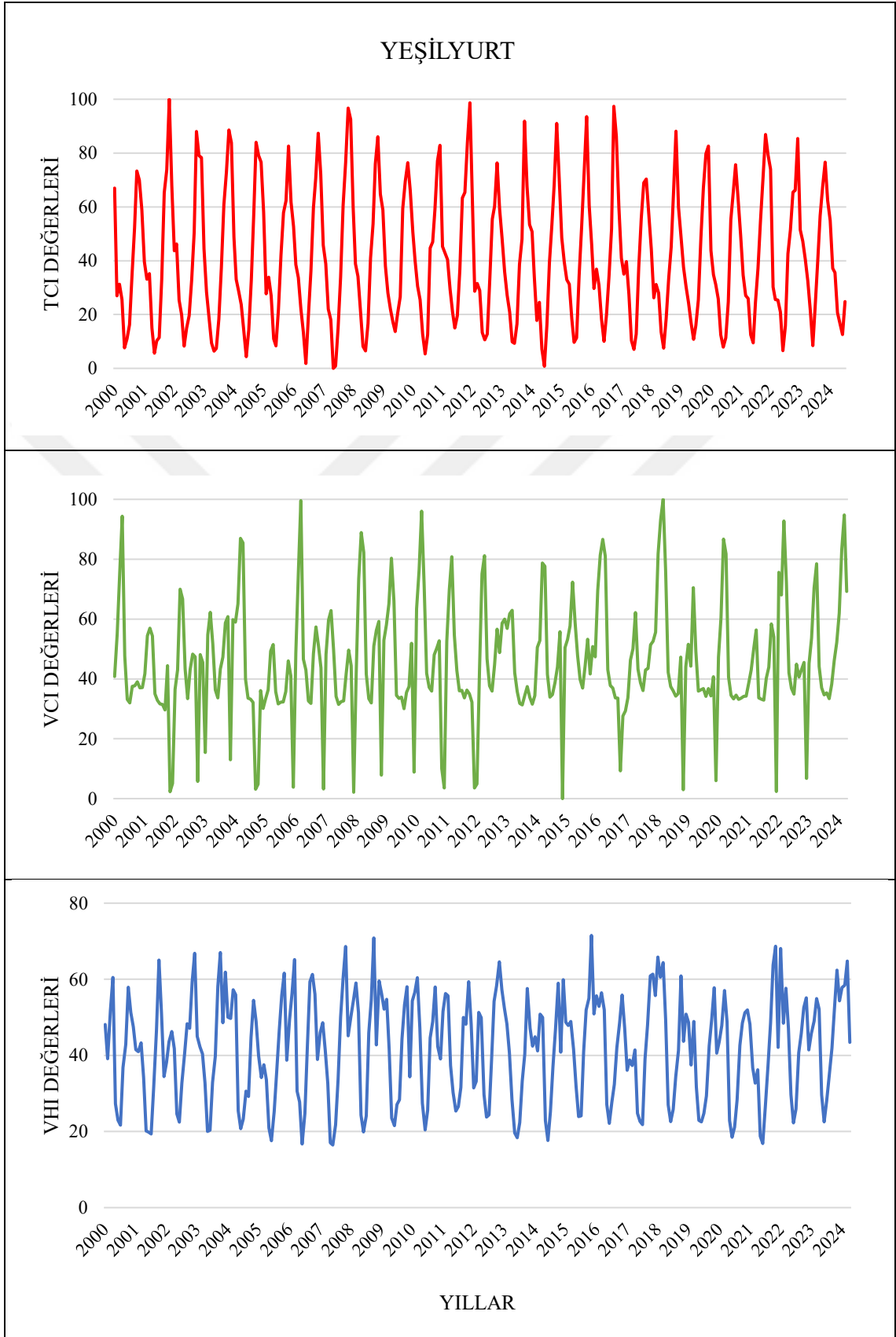
Şekil 4.38. Sulusaray istasyonuna ait uydu tabanlı indekslerin zamansal grafikleri



Şekil 4.39. Çamlıbel istasyonuna ait uydu tabanlı indekslerin zamansal grafikleri



Şekil 4.40. Çekerek istasyonuna ait uydu tabanlı indekslerin zamansal grafikleri



Şekil 4.41. Yeşilyurt istasyonuna ait uydu tabanlı indekslerin zamansal grafikleri

Çizelge 4.37. VHI indeksi kuraklık düzeylerine göre ay sayıları (A.S) ve görülme yüzdeleri (G.Y)

VHI	Zile		Sulusaray		Çamlıbel		Çekerek		Yeşilyurt	
	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y	A.S	G.Y
Aşırı Kurak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Şiddetli Kurak	14	4.8	0	0.0	0	0.0	13	4.5	27	9.2
Orta Kurak	55	18.8	23	7.9	27	9.2	60	20.5	57	19.5
Hafif Kurak	61	20.9	54	18.5	75	25.7	45	15.4	54	18.5
Kuraklı Yok	144	49.3	160	54.8	171	58.6	149	51.0	149	51.0
Nemli	18	6.2	55	18.8	19	6.5	25	8.6	4	1.4

Not: Renklendireler Çizelge 3.9’da verilen kuraklık sınıfını ifade etmektedir.

4.10. Meteorolojik Kuraklık (SPEI) ve Uydu Tabanlı Tarımsal Kuraklık (VHI) İndeksleri Arasındaki İlişkinin Analiz Sonuçları

Tez çalışmasının bu bölümünde meteorolojik kuraklığı temsil eden SPEI indeksi ve tarımsal kuraklığı temsil eden uydu tabanlı VHI indeksi arasındaki yayılım ilişkisi incelenmiştir. İndeksler arasındaki ilişki verinin dağılım özelliğine bağlı olarak Pearson Korelasyon testi veya Spearman korelasyon testi kullanılarak açıklanmıştır.

Kuraklık indeksleri arasındaki yayılım ilişkisi aylık olarak değerlendirilmiştir. Aylık SPEI ve VHI indeks değerlerinin arasında ilişkinin kurulması için her iki veri setinin ölçek ve dağılım özelliklerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle SPEI indeksi standartlaştırılmış bir indeks olduğundan genellikle normal dağılıma eğilim göstermektedir. Uydu tabanlı verilerden elde edilen VHI indeksi ise 0-100 arasında değerler almasından dolayı tamamen farklı dağılıma sahip olabilmektedir. Ayrıca bu iki indeks arasında ilişkinin kurulabilmesi için veri setlerinin benzer ölçek aralığında değerler alması gerekmektedir. Normalizasyon, her iki kuraklık indeksini ortak bir ölçeğe dönüştürmenin bir yoludur. Bu nedenle VHI indeksine normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Böylece VHI indeksi, SPEI indeksi ile karşılaştırılabilir hale gelmektedir (Moutia ve ark., 2021). Korelasyon analizi uygulanmadan önce ilk olarak VHI kuraklık indeksine ait aylık veri setleri normalleştirilmiş ve SPEI ve VHI veri setlerinin dağılım özelliği Kolmogorow-Smirnov (KS) testi ile incelenmiştir. KS test sonuçları Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Aylık SPEI ve VHI indekslerinin normallik analiz sonuçları

Zile	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
SPEI	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	0.162
VHI	0.184	.200*	0.075	.200*	.200*	0.135	.200*	.200*	.200*	0.062	.200*	.200*
Sulusaray	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
SPEI	.200*	.200*	0.092	.200*	0.025	.200*	.200*	.200*	.200*	0.070	0.128	0.024
VHI	.200*	0.027	.200*	.200*	.200*	0.055	0.190	.200*	.200*	.200*	.200*	0.128
Çamlıbel	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
SPEI	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*
VHI	.200*	.200*	.200*	0.138	.200*	0.071	.200*	0.191	0.057	.200*	0.014	.200*
Çekerek	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
SPEI	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*
VHI	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	0.117	.200*	.200*	0.199	.200*
Yeşilyurt	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
SPEI	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*	.200*
VHI	.200*	0.116	0.132	.200*	.200*	0.099	.200*	.200*	0.032	.200*	.200*	.200*

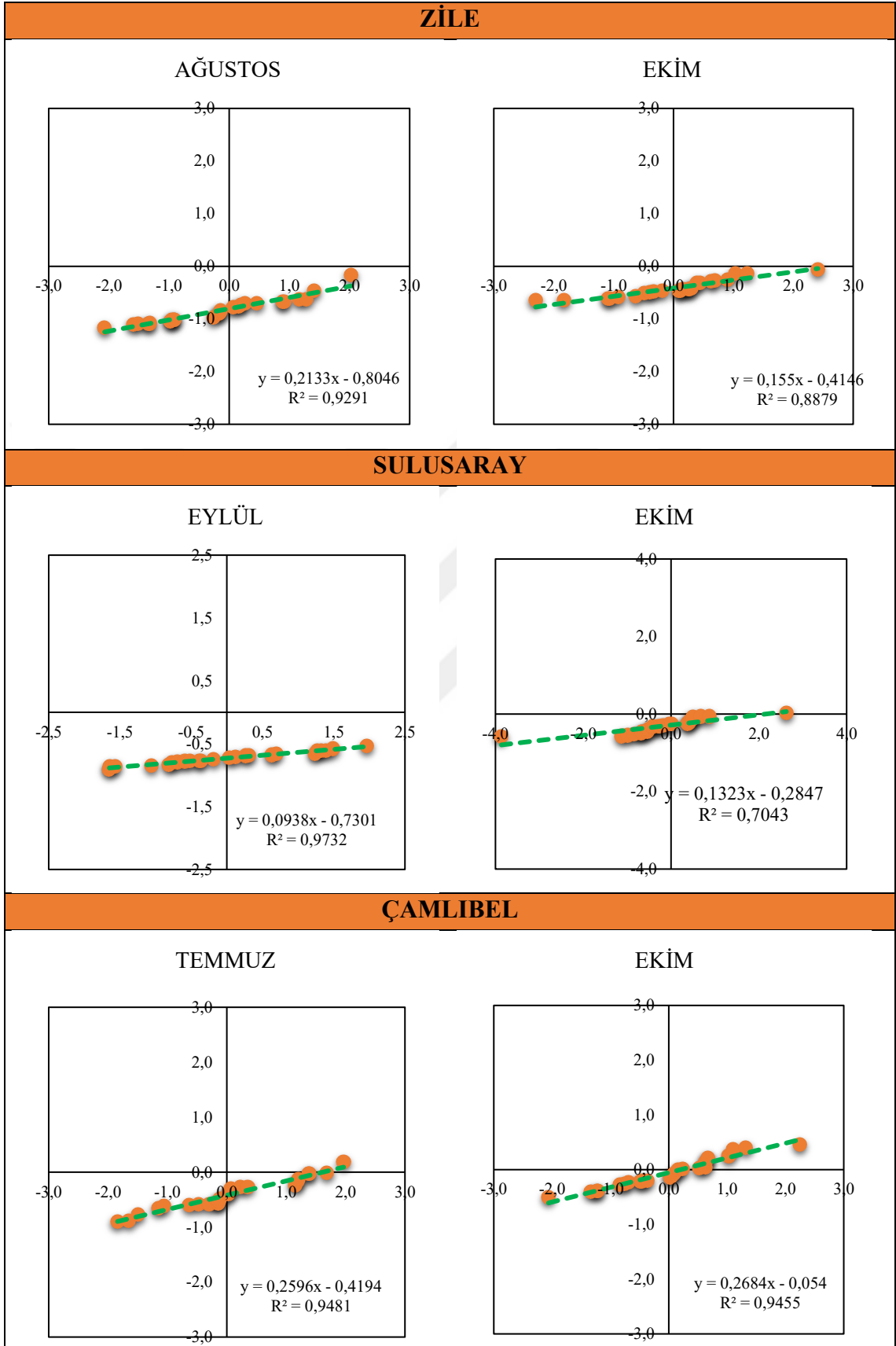
KS test sonuçları incelendiğinde Zile ve Çekerek istasyonlarında her iki kuraklık indeksine ait aylık veri setlerinin; Çamlıbel ve Yeşilyurt istasyonlarında ise SPEI indeksine ait tüm aylık veri setlerinin normallik koşulunu sağladığı görülmektedir. Sulusaray istasyonunda SPEI veri setlerinde Mayıs ve Aralık ayları, VHI veri setlerinde Şubat ayı; Çamlıbel istasyonunda VHI veri setlerinde Kasım ayı; Yeşilyurt istasyonunda VHI veri setlerinde Eylül ayı normallik koşulunu sağlamamıştır. Böylece Sulusaray istasyonunun Şubat, Mayıs, Aralık; Çamlıbel istasyonunun Kasım; Yeşilyurt istasyonunun Eylül ayının kuraklık yayılım ilişkisi Spearman Korelasyon testi ile incelenmiştir.

SPEI ve VHI indeksleri arasında korelasyon analiz sonuçları Çizelge 4.39'da verilmiştir. Şekil 4.42'de ise korelasyon analiz sonuçlarına göre ilişki tespit edilen aylara ait korelasyon grafikleri verilmiştir. Korelasyon değeri 'r', + 1 ile -1 arasında değerler almaktadır. Korelasyon ilişkisi pozitif ve negatif korelasyon olmak üzere iki şekilde ifade edilmektedir. Pozitif korelasyon 0 ile +1 arasında değer alırken, negatif korelasyon -1 ile 0 arasında değerler almaktadır. r değeri +1'e ne kadar yakınsa korelasyonun gücünün de arttığı ifade edilmektedir. Bu değer sıfıra yaklaştığında ise ilişkinin gücü azalmaktadır. Çizelge 4.39'da verilen korelasyon analiz sonuçlarına göre Zile istasyonunda Ağustos ve Ekim aylarında; Sulusaray istasyonunda Eylül ve Ekim aylarında; Çamlıbel istasyonunda Temmuz ve Ekim aylarında; Çekerek istasyonunda Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında; Yeşilyurt istasyonunda Mart, Haziran, Temmuz, Ağustos, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında SPEI ve VHI indeksleri arasında pozitif ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Havza bazında en güçlü korelasyon Yeşilyurt istasyonunda Temmuz ayında meydana gelmiştir. Zile, Çekerek ve Yeşilyurt istasyonlarında Ekim ayında tespit edilen korelasyon değerlerinin de diğerlerine göre güçlü olduğu görülmektedir.

Şekil 4.42'de verilen korelasyon grafikleride analiz sonuçlarını desteklemektedir. Korelasyon grafikleri incelendiğinde ilgili istasyonların belirtilen aylarında pozitif yönde korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Ancak havza genelinde belirtilen aylar dışında SPEI ve VHI indeksleri arasında düşük korelasyon varlığı söz konusudur. Elde edilen bulgulara tespit edilen ilgili aylardaki pozitif korelasyon tarımsal kuraklığın meteorolojik kuraklığın şiddetlenmesiyle kötüleştiğini göstermektedir.

Çizelge 4.39. Aylık SPEI ve VHI indeksleri arasındaki korelasyon analiz sonuçları

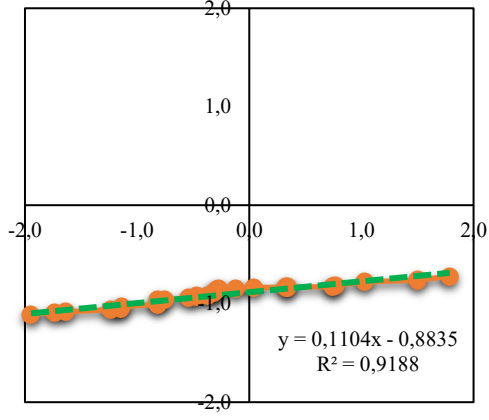
Zile		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pearson	r	0.365	0.050	0.082	0.159	-0.028	0.192	0.332	0.439	0.006	0.612	-0.079	-0.197
	p	0.080	0.817	0.704	0.458	0.897	0.368	0.113	0.032	0.979	0.001	0.714	0.357
Sulusaray		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pearson	r	0.097		0.278	-0.184		-0.260	0.225	0.146	0.541	0.438	0.275	
	p	0.652		0.189	0.390		0.219	0.291	0.495	0.006	0.032	0.194	
Spearman	r		0.022			0.138							0.263
	p		0.92			0.512							0.214
Çamlıbel		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pearson	r	-0.208	0.001	0.187	0.304	0.151	0.044	0.559	0.159	0.216	0.424		0.049
	p	0.330	0.997	0.381	0.149	0.481	0.839	0.005	0.458	0.312	0.039		0.820
Spearman	r											0.271	
	p											0.200	
Çekerek		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pearson	r	0.054	0.060	0.039	0.126	0.338	0.274	0.077	0.421	0.460	0.637	0.00	0.34
	p	0.803	0.782	0.857	0.557	0.106	0.195	0.722	0.041	0.024	0.001	0.987	0.100
Yeşilyurt		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Pearson	r	0.006	0.329	0.439	0.195	0.199	0.441	0.711	0.464		0.654	0.404	0.469
	p	0.978	0.116	0.032	0.362	0.350	0.031	0.000	0.022		0.001	0.050	0.021
Spearman	r									0.153			
	p									0.476			



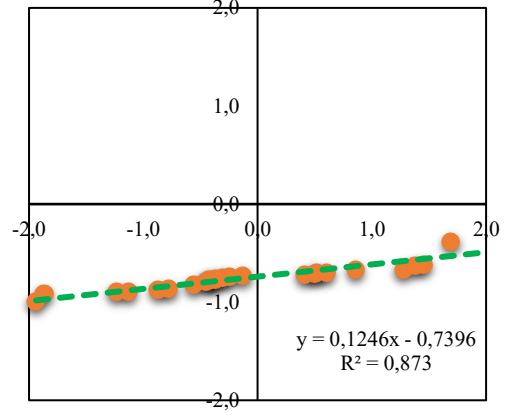
Şekil 4.42. SPEI ve VHI indeksleri arasındaki korelasyon grafikleri

ÇEKEREK

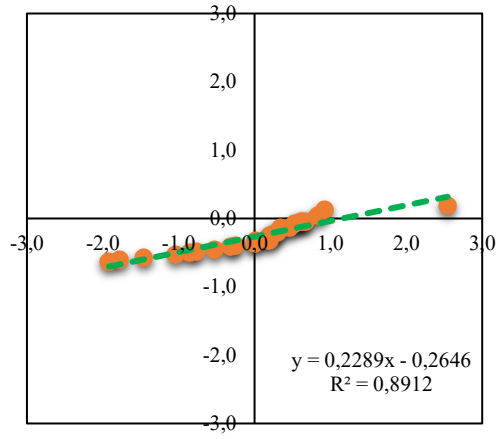
AĞUSTOS



EYLÜL

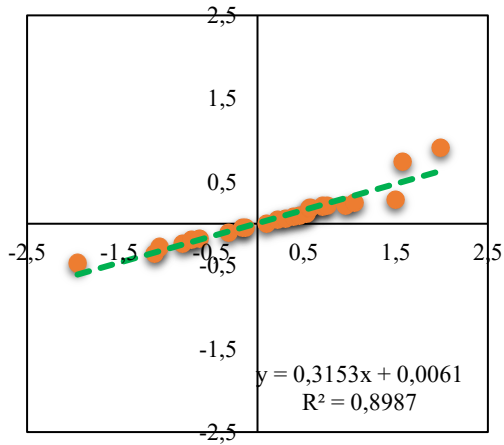


EKİM

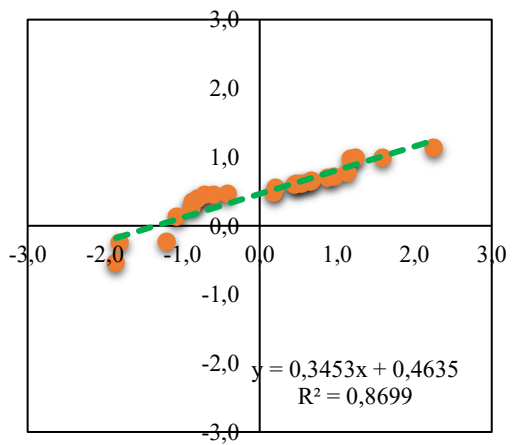


YEŞİLYURT

MART

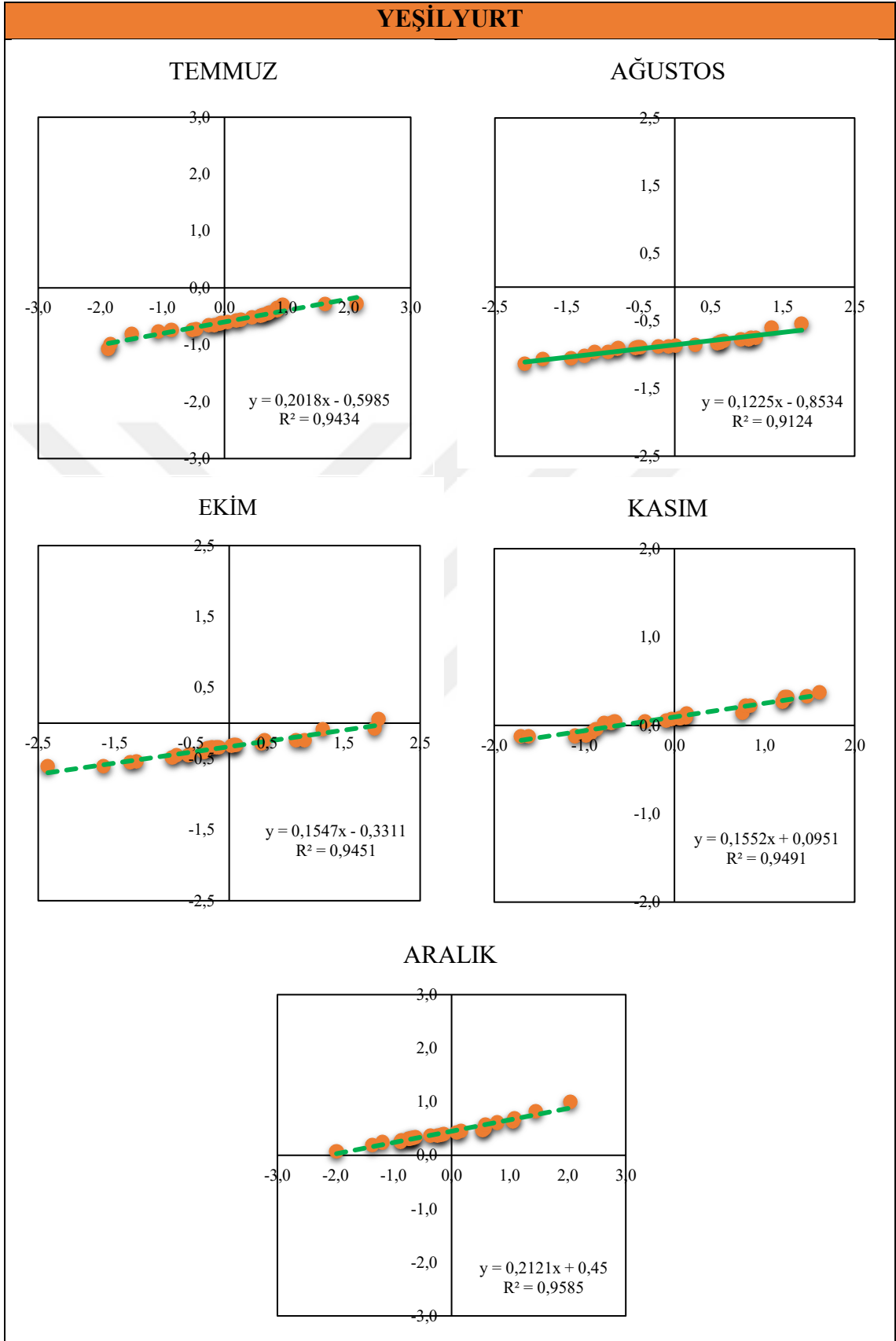


HAZİRAN



Şekil 4.42. (Devam) SPEI ve VHI indeksleri arasındaki korelasyon grafikleri

YEŞİLYURT



Şekil 4.42. (Devam) SPEI ve VHI indeksleri arasındaki korelasyon grafikleri

Literatürde SPEI ve VHI indeksleri arasındaki ilişkinin incelenmesine ilişkin farklı ülke ve bölgeler için güncel çalışmalar mevcuttur. Konu ile ilgili örnek çalışmalar verilecek olursa; Bento ve ark., (2018) yaptıkları çalışmada VCI, TCI, VHI indeksleri ile SPEI indeksi arasındaki kuraklık yayılım ilişkisini incelenmişlerdir. VCI-SPEI ve TCI-SPEI arasındaki korelasyon sonuçları, VCI ve TCI'nin vejetasyon sağlığına olan göreceli katkılarının vejetasyon örtüsüne bağlı olduğunu gösterdiği ifade edilmiştir. Kuraklık etkisinin, yarı kurak iklim sınıflarında VCI üzerinde daha belirgin olurken, daha nemli iklim sınıflarında TCI üzerinde daha belirgin olduğu vurgulanmıştır. Behrang Manesh ve ark., (2019) İran için 2000-2017 yılları arasında tarımsal kuraklık ile meteorolojik kuraklık arasındaki bağlantıyı araştırmışlardır. Tarımsal kuraklığı uydu tabanlı VHI indeksi ile meteorolojik kuraklığı ise SPEI indeksi ile değerlendirmişlerdir. İki indeks arasındaki ilişkiye Pearson korelasyon katsayısı ve doğrusal regresyon yöntemleri ile tespit etmişlerdir. Sonuçlara göre korelasyonun, sıcaklık arttıkça arttığını belirtmişlerdir. Bu artışın kuru ve aşırı kuru iklimlerde meydana geldiği ve sıcaklık arttıkça VHI ile SPEI-12 için doğrusal regresyon eğiminin arttığı ifade edilmiştir. Sonuç olarak SPEI-12 ile VHI arasında en yüksek korelasyonun ve en yüksek doğrusal regresyon eğim etkisinin Haziran ayında kuru iklim sınıfında gerçekleştiği sonucuna varıldığı vurgulanmıştır. Makula ve ark., (2024) yaptıkları çalışmada Tanzanya'da 1981-2016 yılları arasında ülke genelindeki kuraklık özelliklerini incelemek için SPEI ve VHI indekslerini kullanmışlardır. Kuraklık endekslerinin mekansal ve zamansal eğilimlerini analiz etmek için Theil-Sen ve Mann-Kendall testleri, kuraklık indeksleri arasındaki ilişkiyi incelemek için korelasyon ve regresyon analizleri tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma süresince birden fazla kuraklık yaşandığını, ülke genelinde SPEI kuraklık koşullarına göre Ekim-Aralık sezonunda sekiz kuraklık ve Mart-Mayıs sezonunda dokuz kuraklık yaşandığı tespit edilmiştir. SPEI indeksi için kuzeybatı ve güney bölgelerinde ve VHI indeksi için kuzeydoğu bölgelerinde yerel bölgeler, daha kısa süreli ancak daha yüksek yoğunluklu şiddetli ve aşırı kuraklıklar için sıcak noktalar olduğu ifade edilmiştir. Son olarak hem SPEI indeksi hem de VHI indeksinde, ülke genelinde kuraklık özelliklerinin genel olarak tutarlı gözlemler sergilediği, ancak en şiddetli kuraklık olayları için bazı farklılıkların gözlemlendiği vurgulanmıştır. Chere ve Debalke (2023), Etiyopya'nın Güney Wolla bölgesinde 2001'den 2021'e kadar tarımsal kuraklığın zamansal ve mekansal değişimini, sıklığını ve eğilimlerini dünya gözleminde türetilen

bitki sağlığı endeksi (VHI) ve standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon endeksi (SPEI) kullanarak karakterize etmişlerdir. VHI ve SPEI arasındaki eğilimi ve ilişkiyi belirlemek için Mann-Kendall (MK) eğilim analizi ve Pearson korelasyon analizi kullanılmıştır. Bulgulara göre, 2002, 2004, 2009, 2010, 2014 ve 2015 yıllarında farklı şiddette tarımsal kuraklıklar yaşandığı tespit edilmiştir. Sonuçlar, Temmuz ayında SPEI (%87,5) ve VHI (%57,4) eğiminin azaldığını, SPEI ve VHI arasındaki ilişkinin mevsimsel ölçekte pozitif ve anlamlı ($r = 0,56$, $p = 0,01$) olduğu vurgulanmıştır. Zhang ve ark., (2023) Moğalistan'ın i bölgesinde meteorolojik kuraklık (SPEI) ve uydu tabanlı tarımsal kuraklık (VHI) indekslerinin dinamik özelliklerini incelemişlerdir. Her iki kuraklık indeksi arasındaki ilişkinin belirlenmesi için korelasyon analizini uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre İ Moğalistan'da genellikle SPEI ve VHI indeksleri arasında pozitif korelasyon olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada ayrıca her iki indeks arasındaki ilişki mevsimsel olarakta incelenmiştir. Bölgenin tamamında yaz aylarında güçlü, sonbahar aylarında ise zayıf korelasyon tespit edildiğı vurgulanmıştır. Al Shoumik ve ark., (2023) Kuzeybatı Bangladeş'te meteorolojik ve tarımsal kuraklık koşullarını ve bunların dinamik ilişkilerini incelemişlerdir. Meteorolojik kuraklığı SPI, SPEI ve PDSI kuraklık indeksleri ile tarımsal kuraklığı NDVI, LST, TCI, VCI ve VHI indeksleri ile değerlendirmişlerdir. Çalışmada herbir indeks arasındaki ilişki ve meteorolojik-tarımsal kuraklık arasındaki ilişki peason korelasyon analizi ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre meteorolojik kuraklık indekslerinin (SPI, PDSI ve SPEI) birbirleriyle önemli ve güçlü bir ilişki gösterdiği, meteorolojik ve tarımsal kuraklık indeksleri arasında ise herhangi bir ilişki olmadığı vurgulanmıştır. Bu nedenle araştırmacılar Kuzey Bangladeş'te kuraklık değerlendirmesinin anlaşılması ve doğruluğunun sağlanabilmesi için hidrolojik kuraklık indekslerinin de dikkate alınmasının önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Ejaz ve ark., (2023), Suudi Arabistan'da yer alan Al-Lith havzasında kuraklığı izlemek için 2001-2020 yılları arasında uzaktan algılama tekniklerinin uygulanmasını ve uzaktan algılama tabanlı kuraklık indeksleri (TCI, VCI, VHI) ile SPEI indeksi arasındaki ilişkiyi Pearson korelasyon analizi ile incelemişlerdir. Sonuçlara göre tüm zaman ölçeklerinde VHI ve SPEI indeksleri arasında güçlü korelasyon tespit edildiğı ve veri kıtlığı olan aşırı kurak bölgelerde kuraklık izleme için VHI indeksinin uygun olduğunu ifade edilmiştir. Serban ve Maftai (2025), yaptıkları çalışmada Romanya'nın Dobruka bölgesi için 1 aylık ve mevsimsel zaman ölçeklerinde

SPEI ve VHI indeksleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre aylık ve mevsimsel zaman ölçekleri için indeksler arasında güçlü pozitif ilişkinin tespit edildiği ifade edilmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kuraklık uzun süreli su kıtlığı olarak ortaya çıkmakta ve yavaş yavaş gelişmesinden dolayı diğer doğal afetlerden ayrılmaktadır. İklim değişikliğinin neden olduğu küresel ısınmayla birlikte kuraklığında sıklığı ve şiddeti giderek artmıştır. Başta tarım sektörü olmak üzere birçok sektör üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle kuraklığın oluşumu ve mekanizmalarını anlamak oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında Çekerek Nehri Havzası için uzaktan algılama verileri ve meteorolojik veriler kullanılarak hesaplanan kuraklık indeksleri ile havzasının kuraklık durumunun izlenmesine yönelik ayrıntılı bir şekilde kuraklık analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- Kuraklık analizlerine başlamadan önce meteoroloji istasyonlarına ait meteorolojik verilerin analizlere uygunluğu ve kullanılabilirlik durumları incelenmiştir. Bu aşamada ilk olarak eksik gözlem verileri lineer regresyon yöntemi kullanılarak tamamlanmıştır. Veri setlerinin analize uygun olup olmadığını belirlemek için ise normallik ve homojenlik analizleri uygulanmıştır. Hidrolojik çalışmalarda verilerin homojenlik şartını sağlaması gerektiğinden dolayı homojenlik şartını sağlamayan veri setleri, çift birikimli eğri yöntemi kullanılarak homojen hale getirilmiştir.
- Toprak özelliklerine bağlı olarak hesaplanan PDSI indeksinin hesaplanmasında kullanılan toprak fiziksel özelliklerine ilişkin analizler yapılmıştır ve analiz sonuçlarına göre Sulusaray istasyonu dışındaki istasyonların tüm derinliklerdeki toprak tekstür sınıfının killi bünyeye sahip olduğu, Sulusaray istasyonunda ise tüm derinliklerde toprak tekstür sınıfının kumlu killi tın olduğu belirlenmiştir. Tarla kapasitesi değerleri % 29.97 ile % 37.37 arasında, solma noktası değerleri % 18.52 ile 27.56 arasında, hacim ağırlığı değerleri ise 1.14 ile 1.24 arasında değerler aldığı saptanmıştır.
- PDSI indeksinin yersel doğrulamasının yapılabilmesi için aylık 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm olmak üzere üç farklı derinlikte nem takibi yapılmıştır ve her bir katman için ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri elde edilmiştir. Çalışılan havzanın yağış rejiminin lokal olarak farklılık göstermesinden dolayı toprak neminin aynı arazi üzerinde bile oldukça değişken olduğu gözlemlenmiştir. İstasyonlarda genel olarak 0-30 katmanında yağış ve sıcaklığa bağlı olarak daha

dinamik ve değişken bir yapı mevcuttur. Bunun sebebi ise üst katmanın yağış ve sıcaklığa karşı daha hassas olmasından kaynaklanmaktadır.

- PDSI indeksinin hesaplanması sürecinde arazi ve toprak koşullarında karşılaşılan durumlar neticesinde modifiye edilmiş PDSI yaklaşımları geliştirilmiştir. Bunlar Geleneksel PDSI, $PDSI_{(30)}$, $PDSI_{(B.CROP)}$, ve Real Time PDSI yaklaşımlarıdır. Bu yaklaşımlara ek bir yaklaşım olarak TerraClimate veri tabanından elde edilen ‘Uydu Tabanlı PDSI’ değerleride elde edilmiştir. Hesaplanan PDSI değerleri arasındaki ilişkiler korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Korelasyon analizi uzun yıllık olarak hesaplanan PDSI değerleri ve toprak nem takibi yapılan süreler içerisindeki PDSI değerleri arasında yapılmıştır. Uzun yıllık PDSI verilerinin korelasyon ilişkisi Geleneksel PDSI, $PDSI_{(30)}$, $PDSI_{(B.CROP)}$ ve Uydu Tabanlı PDSI yaklaşımları arasında analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘ $PDSI_{(30)}$ ’ yaklaşımlarının birbiriyle oldukça yakın sonuçlar verdiği ve yaklaşımlar arasında güçlü korelasyon ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. İlişkinin yüksek çıkmasının sebebi ‘ $PDSI_{(30)}$ ’ yaklaşımında, 0-30 cm derinliğinde elde edilen AWC değerinin ‘Geleneksel PDSI’ yaklaşımında kabul edilen AWC değerine yakın sonuçlar vermesidir. Buradan anlaşılacağı üzere PDSI hesaplamasında 0-30 cm derinliğinde elde edilen AWC değerinin nem içeriği cinsinden ilk katman derinliği olarak kabul edilmesinde sakınca yoktur.
- ‘ $PDSI_{(B.CROP)}$ ’ yaklaşımının korelasyon analiz sonucuna göre ‘Geleneksel PDSI’ ve ‘ $PDSI_{(30)}$ ’ yaklaşımlarıyla ilişkisi bu iki yaklaşım arasındaki ilişki kadar güçlüdür. Hesaplamalara göre bitki bazlı solma noktası kullanılarak hesaplanan PDSI değeri ile geleneksel PDSI sonuçları yakındır. Bundan dolayı PDSI indeksi ile kuraklığı değerlendirirken bitki odaklı kuraklığın değerlendirilmesinin daha doğru olacağı sonucuna varılmıştır.
- ‘Uydu Tabanlı PDSI’ yaklaşımında elde edilen PDSI değerlerinin diğer yaklaşımlardan elde edilen PDSI değerleriyle ilişkili olduğu ancak korelasyon gücünün diğerlerine göre düşük olduğu gözlemlenmiştir. Araghi ve ark., (2023), uzun vadeli ve doğru şekilde ölçülmüş iklim verilerinin eksikliğinin ekoloji, hidroloji ve su kaynakları alanlarında simülasyon ve istatistiksel çalışmaların yürütülmesi açısından sınırlayıcı faktör olduğunu ifade etmiştir. Dolayısıyla iklim verilerinin eksikliği kuraklık çalışmalarını kısıtlamaktadır. Bu ifadeden ve elde

edilen sonuçlardan yola çıkarak PDSI indeksinin hesaplanması için gerekli olan meteorolojik verinin yetersizliği veya verinin olmadığı alanlarda kuraklığın uydu tabanlı PDSI verileriyle değerlendirilmesinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

- Gerçek zamanlı veriler kullanılarak hesaplanan dokuz aylık (Kas. 2023 - Tem. 2024) Real Time PDSI yaklaşım değerleri Geleneksel PDSI, $PDSI_{(30)}$ ve $PDSI_{(B.CROP)}$ yaklaşım değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadaki temel amaç gerçek zamanlı veriler kullanılarak hesaplanan PDSI değerlerinin literatürde kabul görmüş PDSI hesaplama prosedürüyle elde edilen değerler ile ne kadar ilişkili olduğunu ortaya koymaktır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde tüm istasyonlarda 'Real Time PDSI' yaklaşım sonuçlarının diğer yaklaşımlara ait sonuçlarla genellikle örtüşmediği tespit edilmiştir. Burada elde edilen bulgular Palmer (1965)'in geliştirdiği PDSI indeksinin gerçek gözlem nem verileriyle kalibre edilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca PDSI indeksi ile farklı bölgeler ve yılın farklı mevsimleri arasında yapılacak kuraklık karşılaştırmaları yerine bölgeye, araziye ve bitkiye özgü değerlendirmenin söz konusu indeksin kullanım gücünü artıracakı öngörülmektedir.
- Gerçek zamanlı veriler kullanılarak hesaplanan Real Time PDSI yaklaşım değerleri farklı zaman periyotları için hesaplan SPEI (SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6, SPEI-9, SPEI-12) ve VHI değerleriyle karşılaştırılmıştır. Söz konusun zaman süresinde tüm istasyonlarda Real Time PDSI yaklaşım değerlerinin hem SPEI hemde VHI değerleriyle örtüşmediği tespit edilmiştir. Burada elde edilen bulgulara göre meteorolojik verilere dayalı olarak hesaplan SPEI ve uydu tabanlı VHI değerlerinin arazi üzerindeki tarımsal kuraklığı yansıtmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.
- Çekerek Nehri Havzası'nın meteorolojik kuraklık durumu farklı zaman ölçeklerinde hesaplanan (1, 3, 6, 9, 12 aylık) SPEI kuraklık indeksi ile değerlendirilmiştir. Tüm zaman ölçekleri için hesaplanan SPEI değerleri kuraklık sınıflarına göre değerlendirildiğinde tüm istasyonlarda en fazla olayın normal sınıfta meydana geldiği belirlenmiştir. Şiddetli ve aşırı kurak olaylar tüm zaman ölçeklerinde az sayıda gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre havza genelinde meteorolojik kuraklık olayının şiddetli gerçekleşmediği ancak bazı yıllarda şiddetini artırdığı saptanmıştır. Meteorolojik kuraklığın zamansal ve

mekansal analiz sonuçları değerlendirildiğinde Sulusaray istasyonu dışında genel olarak kuraklık eğiliminin olmadığı, kuraklığın mekansal dağılımının havza genelinde farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle Sulusaray istasyonunda tespit edilen azalan yöndeki kuraklık eğilimine dikkat çekilmesi gerekmektedir. Çünkü kuraklık indeksindeki azalma kuraklığın artacağına işaret edeceğinden kuraklık gibi önemli bir olayın değişim sürecinin yakından takip edilmesi son derece önemlidir.

- Çekerek Nehri Havzası'nda meteorolojik kuraklığın ve tarımsal kuraklığa yayılımı değerlendirilmiştir. Tarımsal kuraklık uydu tabanlı veriler kullanılarak hesaplanan VHI indeksi ile değerlendirilmiştir. Her iki kuraklığın yayılım ilişkisi korelasyon analizi ile incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre Zile istasyonunda Ağustos ve Ekim aylarında; Sulusaray istasyonunda Eylül ve Ekim aylarında; Çamlıbel istasyonunda Temmuz ve Ekim aylarında; Çekerek istasyonunda Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında; Yeşilyurt istasyonunda Mart, Haziran, Temmuz, Ağustos, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında SPEI ve VHI indeksleri arasında pozitif ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar havza genelinde değerlendirildiğinde ilgili aylar dışında SPEI ve VHI kuraklık indeksleri arasında herhangi bir ilişki gözlemlenmemiştir. Bu da Çekerek Nehri Havzası'nda meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklık üzerinde yayılım etkisinin yok denecek kadar az olduğunu ifade etmektedir.

Çekerek Nehri Havzası'nın kuraklık durumunun gerçek zamanlı ve uzaktan algılama verileri kullanılarak zamansal ve mekansal değerlendirildiği tez çalışmasında elde edilen tüm sonuçlara ek olarak genel çıkarımlar yapılacak olursa;

- kuraklık çalışmalarının sadece meteorolojik veriler üzerinden değerlendirilmesinin yeterli olmadığı, meteorolojik verilere ek olarak gerçek zamanlı nem değerlerinin ve uydu gözlem verilerinin birlikte kullanılmasının son derece önemli olduğu
- tarımsal kuraklığı incelerken genel kabul görmüş kuraklık indekslerinin tek başına değerlendirilmemesi gerektiği ve incelenen bölgede tarımı yoğun yapılan bitkilerin özellikleri dikkate alınarak tarımsal kuraklığın değerlendirilmesinin daha doğru olacağı

- tarımsal kuraklığın genel alan içerisinde değilde bölge bölge gerek duyulduğunda arazi bazında değerlendirilmesi gerektiği
- bir bölgede veya alanda kuraklığın durumunun tek bir indeksle incelenmesinin yetersiz olduğu beraberinde ek indekslerle sonuçların değerlendirilmesinin daha güvenilir sonuçlar vereceğini söylemek mümkündür.

Küresel ölçekte kuraklığın izlemesi ve önlenmesine yönelik çalışmalar son yıllarda küresel ısınmanın verdiği etkilerle birlikte hız kazansada hala en büyük zorlukları ve belirsizlikleri içermektedir. Yapılan bu tez çalışması sonucunda elde edilecek sonuçlar bölgenin kuraklık yönetimi planlamasında ilgili kişilere veya kurumlara yararlanılacak bir araştırma sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Adnan, S., Ullah, K., Shuanglin, L., Gao, S., Khan, A. H. ve Mahmood, R., 2018. Comparison of various drought indices to monitor drought status in Pakistan. *Climate Dynamics*, 51, 1885-1899.
- Akbaş, A., 2014. Türkiye’de klimatolojik kuraklık olasılıklarının dağılışı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (63), 1-8.
- Akcapınar, M.C., 2023. Uydu tabanlı indekslerle konya altınova bölgesinde kuraklığın analizi ve buğday verimi ile ilişkisi (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi (Turkey).
- Al Nadabi, M.S., D’Antonio, P., Fiorentino, C., Scopa, A., Shams, E. M. ve Fadl, M.E., 2024. Utilizing the Google Earth Engine for Agricultural Drought Conditions and Hazard Assessment Using Drought Indices in the Najd Region, Sultanate of Oman. *Remote Sensing*, 16(16), 2960.
- Al Shoumik, B.A., Khan, M.Z. ve Islam, M. S., 2023. Spatio-temporal characteristics of meteorological and agricultural drought indices and their dynamic relationships during the pre-monsoon season in drought-prone region of Bangladesh. *Environmental Challenges*, 11, 100695.
- Alley, W.M., 1984. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of climate and applied meteorology*, 1100-1109.
- Alqadhi, S., Mallick, J. ve Hang, H.T., 2025. Assessing drought trends and vegetation health in arid regions using advanced remote sensing techniques: a case study in Saudi Arabia. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(1), 1-29.
- Amalo, L.F. ve Hidayat, R., 2017. Comparison between remote-sensing-based drought indices in East Java. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 54, No. 1, p. 012009).
- Anderson, M.C., Hain, C., Wardlow, B., Pimstein, A., Mecikalski, J.R. ve Kustas, W.P., 2011. Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the continental United States. *Journal of Climate*, 24(8), 2025-2044
- Araghi, A., Martinez, C. J., & Adamowski, J. F. (2023). Evaluation of TerraClimate gridded data across diverse climates in Iran. *Earth Science Informatics*, 16(2), 1347-1358.

- Bae, H., Ji, H., Lim, Y.J., Ryu, Y., Kim, M.H. ve Kim, B.J., 2019. Characteristics of drought propagation in South Korea: Relationship between meteorological, agricultural, and hydrological droughts. *Natural Hazards*, 99(1), 1-16.
- Beguería, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F. ve 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.
- Beguería, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F. ve 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.
- Behrang Manesh, M., Khosravi, H., Heydari Alamdarloo, E., Saadi Alekasir, M., Gholami, A. ve Singh, V.P., 2019. İran'ın farklı iklimlerinde tarımsal kuraklığın meteorolojik kuraklıkla bağlantısı. *Teorik ve Uygulamalı Klimatoloji*, 138, 1025-1033.
- Bento, V.A., Gouveia, C.M., DaCamara, C.C. ve Trigo, I.F., 2018. A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. *Agricultural and forest meteorology*, 259, 286-295.
- Bhuiyan, C., Singh, R.P. ve Kogan, F.N., 2006. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8, 289-302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2006.03.002>.
- Bhuiyan, C., Saha, A.K., Bandyopadhyay, N. ve Kogan, F.N., 2017. Analyzing the impact of thermal stress on vegetation health and agricultural drought—a case study from Gujarat, India. *GIScience & Remote Sensing*, 54(5), 678-699.
- Bobadilla, A., Stehr, A. ve Toro, N., 2024. Evaluation of climate-change impacts on the temporal and spatial behaviour of drought in South-Central Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 69(2), 165-184. <https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2288217>
- Bravar, L. ve Kavvas, M.L., 1991. On the physics of drought. I. A conceptual framework. *J. Hydrol.* 129, 281–297.

- Caccamo, G., Chisholm, L.A., Bradstock, R.A. ve Puotinen, M.L., 2011. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 115, ss. 2626–2639.
- Cai, G., Du, M. ve Liu, Y., 2011. Regional drought monitoring and analyzing using MODIS data — A case study in Yunnan Province. In *Computer and Computing Technologies in Agriculture IV*. Edited by D. Li, Yande Liu, and Y. Chen. Springer, Boston. pp. 243–251.
- Chaghazardi, H.R., Jahansouza, M.R., Ahmadi, A. ve Gorji, M., 2016. Effects of tillage management on productivity of wheat and chickpea under cold, rainfed conditions in western Iran. *Soil and Tillage Res.* 162:26-33.
- Chere, Z. ve Debalke, D.B., 2024. Modeling agricultural drought based on the earth observation-derived standardized precipitation evapotranspiration index and vegetation health index in the northeastern highlands of Ethiopia. *Natural Hazards*, 120(3), 3127-3151.
- Cook, B.I., Mankin, J.S. ve Anchukaitis, K.J., 2018. Climate change and drought: From past to future. *Current Climate Change Reports*, 4, 164-179.
- Çakal, S., 2016. Palmer drought analysis of North Cyprus (Master's thesis, Middle East Technical University).
- Çelik, M.A., ve Karabulut, M., 2017. Uydu Ve İstasyon Tabanlı Kuraklık İndeksleri Kullanılarak Akdeniz Bölgesinde Kuraklık Analizi (2000-2014). *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(44), 341-370.
- Dai, A., 2011. Drought under global warming: a review. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* 2, 45–65.
- Dai, A., Trenberth, K.E. ve Qian, T., 2004. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of hydrometeorology*, 5(6), 1117-1130.
- Dai, M., Huang, S., Huang, Q., Zheng, X., Su, X., Leng, G., ... Liu, Y., 2022. Propagation characteristics and mechanism from meteorological to agricultural drought in various seasons. *Journal of Hydrology*, 610, 127897.
- Danandeh Mehr, A. ve Vaheddoost, B., 2020. Identification of the trends associated with the SPI and SPEI indices across Ankara, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(3), 1531-1542.

- Demir, S., Yürekli, K., Oğuz, İ. ve Erdoğan, M., 2020. Farklı İklim Modelleri Kullanılarak Tokat İli'nde Kuraklık Analizi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 9(1), 37-46.
- Deveci, H., Konukcu, F. ve Altürk, B., 2019. İklim değişikliğinin Trakya Bölgesi'nde buğday yetiştirilen toprağın nem profiline etkisinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 202-218.
- Ding, Y., Gong, X., Xing, Z., Cai, H., Zhou, Z., Zhang, D. ve Shi, H., 2021. Attribution of meteorological, hydrological and agricultural drought propagation in different climatic regions of China. *Agricultural Water Management*, 255, 106996.
- Edwards, D.C., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Air force inst of tech wright-patterson afboh*.
- Ejaz, N., Bahrawi, J., Alghamdi, K.M., Rahman, K.U. ve Shang, S., 2023. Drought monitoring using landsat derived indices and Google Earth engine platform: A case study from Al-Lith Watershed, Kingdom of Saudi Arabia. *Remote Sensing*, 15(4), 984.
- Erdem, F., Atun, R., Avdan, Z. Y., Atila, I. ve Avdan, U., 2021. Drought analysis of Van Lake Basin with remote sensing and GIS technologies. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 1093-1102.
- Erdoğan, M., Yürekli, K. ve Cömert, M.M., 2019. Comparison of the Observed Rainfall with Rainfall Estimated by CLIGEN Climate Model in terms of Drought Analysis. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7, 6-12.
- Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., Singh, V. P., Dalezios, N. R., Ghane, M., Yihdego, Y. ve Matouq, M., 2017. A review of drought indices. *Int. J. Constr. Res. Civ. Eng*, 3(4).
- Feng, K., Yuan, H., Wang, Y., Li, Y., Wang, X., Wang, F. ve Zhang, Z., 2024. Propagation Dynamics from Meteorological to Agricultural Drought in Northwestern China: Key Influencing Factors. *Agronomy*, 14(9), 1987.
- Food and Agriculture Organization, 1983. Guidelines: Land evaluation for Rainfed Agriculture. *FAO Soils Bulletin 52*, Rome.
- Geyikli, M.S., 2023. Investigation of dry and wet periods characteristics with different drought indices in Yeşilirmak, Kızılırmak and Konya closed basins. *Hasan Kalyoncu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Doktora Tezi*.

- Geyikli, M.S., Hınıs, M.A. ve Yürekli, K., 2022. Drought Analysis with Two Different Indices in Yeşilırmak Basin. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 39(3), 151-160.
- Golian, S., Mazdiyasni, O. ve AghaKouchak, A., 2015. Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 119, 679-688.
- Gumbel, E.J., 1963. Statistical forecast of droughts. *Bull. Int. Assoc. Sci. Hydrol.* 8 (1), 5.23.
- Gumus, V., Dinsever, L. D. ve Avsaroglu, Y., 2023. Analysis of drought characteristics and trends during 1965–2020 in the Tigris River basin, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 151(3), 1871-1887.
- Gumus, V., Simsek, O., Avsaroglu, Y. ve Agun, B., 2021. Spatio-temporal trend analysis of drought in the GAP Region, Turkey. *Natural Hazards*, 109, 1759-1776.
- Guppy, L. ve Anderson, K., 2017. *Water Crisis Report*. United Nations University Institute for Water. Environment and Health, Hamilton, Canada, 1-16.
- Guttman, N.B., 1994. On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of Climate*, 7(6):1026–1029.
- Gül, G.O., 2024. Türkiye’de tarımsal kuraklığın uzaktan algılama verileri ile Google Earth Engine üzerinden izlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 71-80.
- Gümüş, K.A., Balçık, F.B., Esetlili, T. ve Kahya, C., 2023. Monitoring drought dynamics using remote sensing-based combined drought index in Ergene Basin, Türkiye. *Open Geosciences*, 15(1), 20220594.
- Gümüş, M.G. ve Durduran, S.S., 2023. Satellite-based investigation of drought effect on vegetation health index: Beyşehir-Kaşaklı Sub-Basin, Turkey. *Bulletin of Geophysics & Oceanography (BGO)*, 64(1).
- Hang, Q., Guo, H., Meng, X., Wang, W., Cao, Y., Liu, R. ve Wang, Y., 2024. Optimizing the Vegetation Health Index for Agricultural Drought Monitoring: Evaluation and Application in the Yellow River Basin. *Remote Sensing*, 16(23), 4507.
- Hao, Z. ve Singh, V.P., 2015. Drought characterization from a multivariate perspective: a review. *J Hydrol* 527:668–678.
- Hayes, M.J., Alvord, C. ve Lowrey, J., 2006. Drought indices. What is drought.

- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A. ve Vanyarkho, O.V., 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bull Am Meteorol Soc* 80(80):429–438
- Heddinghaus, T.R. ve Sabol, P., 1991. A review of the Palmer Drought Severity Index and where do we go from here. In *Proc. 7th Conf. on Applied Climatology* (pp. 242-246). Boston, MA, USA: American Meteorological Society.
- Heim, R.R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8): 1149.
- Hielkema, J.U., Prince, S.D. ve Astle, W.L., 1986. Rainfall and vegetation monitoring in the Savanna zone of Democratic Republic Sudan using NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer. *International Journal of Remote Sensing*, 7,1499-1514.
- Hobbins, M.T., Dai, A., Roderick, M.L. ve Farquhar, G.D., 2008. Revisiting the parameterization of potential evaporation as a driver of long-term water balance trends. *Geophysical Research Letters*, 35. L12403. <https://doi.org/10.1029/2008GL033840>.
- Huang, S., Li, P., Huang, Q., Leng, G., Hou, B. ve Ma, L., 2017. The propagation from meteorological to hydrological drought and its potential influence factors. *Journal of Hydrology*, 547, 184-195.
- Huailiang, C., Hongwei, Z. ve Ronghua, L., 2009. Agricultural drought monitoring, forecasting and loss assessment in China. *Technology Review*, (11): 82–92.
- IPCC, 2024. AR6 Synthesis Report Climate Change 2023. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (Erişim Tarihi: 02.01.2025)
- Isia, I., Hadibarata, T., Jusoh, M. N. H., Bhattacharjya, R. K., Shahedan, N. F., Bouaissi, A. ve Syafrudin, M., 2022. Drought analysis based on standardized precipitation evapotranspiration index and standardized precipitation index in Sarawak, Malaysia. *Sustainability*, 15(1), 734.
- Jacobi, J., Perrone, D., Duncan, L.L. ve Hornberger, G., 2013. A tool for calculating the Palmer drought indices. *Water Resources Research*, 49, 6086-6089. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20342>

- Jain, V.K., Pandey, R.P., Jain, M.K. ve Byun, H.R., 2015. Ken Nehri Havzası'ndaki kuraklık özelliklerinin değerlendirilmesi için kuraklık endekslerinin karşılaştırılması. Hava durumu ve iklim Ekstremleri, 8, 1-11.
- Jiao, W., Tian, C., Chang, Q., Novick, K.A. ve Wang, L., 2019. A new multi-sensor integrated index for drought monitoring. Agric For Meteorol 268:74–85
- Ju, X.S., Yang, X.W., Chen, L.J. ve Wang, Y.M., 1997. Research on determination of indices and division of regional flood/drought grades in China (in Chinese). Quarterly Journal of Applied Meteorology 8(1): 26–33.
- Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Holben, B.N. ve Tucker, C.J., 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. International Journal of Remote Sensing, 6,1271-1318.
- Kadıoğlu, M., 2001. Kuraklık Kıranı. Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi,17-24, İstanbul.
- Kapluhan, E., 2013. Türkiye’de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. Marmara Coğrafya Dergisi, 27: 487-510.
- Karamouz, M., Rasouli, K. ve Nazif, S., 2009. Development of a hybrid index for drought prediction: case study. J. Hydrol. Eng. 14 (6): 617–627. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000022.
- Katipoğlu, O.M., Acar, R. ve Şenocak, S., 2021. Spatio-temporal analysis of meteorological and hydrological droughts in the Euphrates Basin, Turkey. Water Supply, 21(4), 1657-1673.
- Kesgin, E., Yıldız, S.G. ve Güçlü, Y.S., 2024. Spatiotemporal variability and trends of droughts in the Mediterranean coastal region of Türkiye. International Journal of Climatology, 44(4), 1036-1057.
- Kesgin, E., Yıldız, S.G. ve Güçlü, Y.S., 2024. Spatiotemporal variability and trends of droughts in the Mediterranean coastal region of Türkiye. International Journal of Climatology, 44(4), 1036-1057.
- 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 15:91–100.
- Kogan, F.N., 1997. Global Drought Watch from Space. Bull. Am. Meteorol. Soc. 78, 621–636.

- Kogan, F.N., 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15, pp. 91–100.
- Korkmaz, M., 2022. Yozgat İlinin Kuraklık Araştırması Ve Trend Analizi. *Engineering Sciences*, 17(3), 21-34.
- Kourouma, J.M., Eze, E., Kelem, G., Negash, E., Phiri, D., Vinya, R. ve Zenebe, A., 2022. Spatiotemporal climate variability and meteorological drought characterization in Ethiopia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 2049-2085.
- Kömüşçü, A.Ü., Erkan, A. ve Turgu, E., 2002. Normalleştirilmiş Yağış İndeksi Metodu ile Türkiye’de Kuraklık Oluşumunun Coğrafik Analizi. DMİ Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Yayını, Ankara.
- Köse, A. ve Akın, B.S., 2024. Hydrological Drought Analysis of Upper Ceyhan Sub-Basin Using Standard Precipitation Index and Standard Runoff Index. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 9(3), 442-448.
- Li, L., Peng, Q., Wang, M., Cao, Y., Gu, X. ve Cai, H., 2024. Quantitative analysis of vegetation drought propagation process and uncertainty in the Yellow River Basin. *Agricultural Water Management*, 295, 108775.
- Li, L., She, D., Zheng, H., Lin, P. ve Yang, Z.L., 2020. Elucidating diverse drought characteristics from two meteorological drought indices (SPI and SPEI) in China. *Journal of Hydrometeorology*, 21(7), 1513-1530.
- Liang, L., Sun, Q., Luo, X., Wang, J., Zhang, L., Deng, M. ve Liu, Z., 2017. Long-term spatial and temporal variations of vegetative drought based on vegetation condition index in China. *Ecosphere*, 8(8), e01919.
- Liang, L., Qin, Z.H., Zhao, S.H., Di, L.P., Zhang, C., Deng, M.X., Lin, H., Zhang, L.P., Wang, L.J. ve Liu, Z.X., 2016. Estimating crop chlorophyll content with hyperspectral vegetation indices and the hybrid inversion method. *International Journal of Remote Sensing* 37:2923–2949.
- Linsely, R.K. Jr., Kohler, M.A. ve Paulhus, J.L.H., 1959. *Applied hydrology*. McGraw Hill, New York.
- Liu, W.T. ve Kogan, F.N., 1996. Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing* 17:2761–2782.

- Liu, X., Zhu, X., Pan, Y., Li, S., Liu, Y. ve Ma, Y., 2016. Agricultural drought monitoring: Progress, challenges, and prospects. *Journal of Geographical Sciences*, 26, 750-767.
- Lloyd-Hughes, B., 2014. The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and applied climatology*, 117, 607-611.
- Loukas, A., Vasiliades, L. ve Tzabiras, J., 2008. Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*, 17, 23-29.
- Makula, E.K., Mangara, R.J., Kazimili, B., Mbigi, D., Mteweale, Z.F., Kebacho, L.L., Kessy, W.P. ve Limbu, P.T.S., 2025. Assessment of drought characteristics using SPEI and VHI in Tanzania and their associated climate factors. *Natural Hazards*, 121(2), 2071-2093.
- Mckee T.B., Doesken N.J. ve Kleist J., 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, pp.179-184.
- Menevşe, N., 2024. Fırat-Dicle Havzası için standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI) hesaplama algoritmasına teorik olasılık dağılımın etkisi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- Mika, J., Horvath, S. Z., Makra, L. ve Dunkel, Z., 2005. The Palmer Drought Severity Index (PDSI) as an indicator of soil moisture. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30(1-3), 223-230.
- Mishra, S.S. ve Nagarajan, R., 2011. Spatio-temporal drought assessment in Tel river basin using Standardized Precipitation Index (SPI) and GIS, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2(1), 79-93.
- Mishra, A. K. ve Singh, V.P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Mishra, A.K. ve Singh, V.P., 2009. Analysis of drought severity-area-frequency curves using a general circulation model and scenario uncertainty,” *Journal of Geophysical Research- Atmosphere*, 114, D06120
- Molavizadeh, N., Sertel, E. ve Demirel, H., 2016. Drought conditions in Turkey between 2004 and 2013 via drought indices derived from remotely sensed data. *Energy, Transportation and Global Warming*, 113-121.

- Morid, S., Smakhtin, V. ve Moghaddasi, M., 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International journal of climatology*, 26(7), 971-985.
- Moutia, S., Sinan, M. ve Lekhlif, B., 2021. Assessment of agricultural drought in Morocco based on a composite of the Vegetation Health Index (VHI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). In *E3S web of conferences* (Vol. 314, p. 04003). EDP Sciences.
- Mun, Y.S., Nam, W.H., Kim, T., Hong, E.M. ve Sur, C., 2020. Evaluation and comparison of meteorological drought index using multi-satellite based precipitation products in East Asia. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 62(1), 83-93.
- Mustafa, A. ve Rahman, G., 2018. Assessing the spatio-temporal variability of meteorological drought in Jordan. *Earth Systems and Environment*, 2, 247-264.
- Niemeyer, S., 2008. New drought indices. *Options Méditerranéennes. Série A: Séminaires Méditerranéens*, 80: 267–274.
- Ogunrinde, A.T., Olasehinde, D.A. ve Olotu, Y., 2020. Assessing the sensitivity of standardized precipitation evapotranspiration index to three potential evapotranspiration models in Nigeria. *Scientific African*, 8, e00431.
- Orhan, O., 2014. Konya Kapalı Havzası'nda uzaktan algılama ve cbs teknolojileri ile iklim değişikliği ve kuraklık analizi (Master's thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ozelkan, E., Papila, I., Uca Avci, D.Z. ve Karaman, M., 2011. Drought determination by using land surface temperature and normalized difference vegetation index. In *34th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Sydney.
- Özcan, M., 2020. Dicle Havzasının zamansal ve mekânsal kuraklık analizi. *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*.
- Özçelik, Ş. ve Akkuzu, E., 2023. Ege Bölgesinde Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi. *Ege Univ. Ziraat Fak. Derg.*, 60 (3): 515-528. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.128633>
- Özgürel, M., Pamuk, G. ve Topçuoğlu, K., 2003. Ege bölgesi koşullarında farklı iki kuraklık indisinin karşılaştırılması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40(1).

- Öztürk, A. ve Akten, Ş. (2011). Buğday ve Kuraklık Stresi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(1).
- Palmer, W.C., 1965. Meteorologic Drought. US Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper No. 45, p. 58
- Park, S., Im, J., Park, S. ve Rhee, J., 2017. Drought monitoring using high resolution soil moisture through multi-sensor satellite data fusion over the Korean peninsula. Agric For Meteorol 237–238:257–269
- Partal, T. ve Yavuz, E., 2020. Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz Bölgesinde kuraklık indisleri üzerine trend analizi uygulanması. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(2), 851-861.
- Partigöç, N.S. ve Soğancı, S., 2019. Küresel iklim değişikliğinin kaçınılmaz sonucu: Kuraklık. Resilience, 3(2), 287-299.
- Prince, S.D. ve Tucker, C.J., 1986. Satellite remote sensing of rangelands in Botswana. International Journal of Remote Sensing, 7,1555-1570.
- Qu, C., Hao, X. ve Qu, J.J., 2019. Monitoring extreme agricultural drought over the Horn of Africa (HOA) using remote sensing measurements. Remote Sensing, 11(8), 902.
- Quiring, S.M., 2009. Monitoring drought: an evaluation of meteorological drought indices. Geography Compass, 3(1), 64-88.
- Rahman, G., Rahman, A.U., Ullah, S., Dawood, M., Moazzam, M.F.U. ve Lee, B.G., 2021. Spatio-temporal characteristics of meteorological drought in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. PloS one, 16(4), e0249718.
- Rahmat, S.N., Jayasuriya, N. ve Bhuiyan, M., 2015. Assessing droughts using meteorological drought indices in Victoria, Australia. Hydrology Research, 46(3), 463-476.
- Rhee, J., Im, J. ve 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.
- Rossato, L., Marengo, J.A., Angelis, C.F.D., Pires, L.B.M. ve Mendonça, E.M., 2017. Impact of soil moisture over Palmer Drought Severity Index and its future projections in Brazil. RBRH, 22, e36.

- Rossi, G., Benedini, M., Tsakiris, G. ve Giakoumakis, S., 1992. On regional drought estimation and analysis. *Water resources management*, 6, 249-277.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Deering, D.W. ve Sehell, J.A., 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation. Final Rep. RSC 1978-4, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station.
- Sabancı, D., Yurekli, K., Comert, M.M., Kilicarslan, S. ve Erdogan, M., 2023. Predicting reference evapotranspiration based on hydro-climatic variables: comparison of different machine learning models. *Hydrological Sciences Journal*, 68(7), 1050-1063.
- Sattar, M.N., Lee, J.Y., Shin, J.Y. ve Kim, T.W., 2019. Probabilistic characteristics of drought propagation from meteorological to hydrological drought in South Korea. *Water Resources Management*, 33, 2439-2452.
- Schneider, S.H. (Ed.), 1996. *Encyclopaedia of Climate and Weather*. Oxford University Press, New York.
- Serban, C. ve Maftai, C., 2025. Remote sensing evaluation of drought effects on crop yields across dobrogea, romania, using Vegetation Health Index (VHI). *Agriculture*, 15(7), 668.
- Serkendiz, H., Tatlı, H., Kılıç, A., Çetin, M. ve Sungur, A., 2024. Analysis of drought intensity, frequency and trends using the SPEI in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(4), 2997-3012.
- Shahzaman, M., Zhu, W., Bilal, M., Habtemicheal, B. A., Mustafa, F., Arshad, M. ve Iqbal, R., 2021. Remote sensing indices for spatial monitoring of agricultural drought in South Asian countries. *Remote Sensing*, 13(11), 2059.
- Sheffield, J. ve Wood, E.F., 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations, *Climate Dynamics*, 31(1): 79-105.
- Shi, H., Zhou, Z., Liu, L. ve Liu, S., 2022. A global perspective on propagation from meteorological drought to hydrological drought during 1902-2014. *Atmospheric Research*, 280, 106441.
- Singh, U., Agarwal, P. ve Sharma, P.K., 2022. Meteorological drought analysis with different indices for the Betwa River basin, India. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(3), 1741-1754.

- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. ve Miller, H.L., 2007. "Understanding and Attributing Climate Change". Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Soni, D.H. ve Joshi, G.S., 2024. Spatiotemporal Variability of Short-Term Meteorological Drought for Semi-arid North Gujarat Region, India. In: Vinod Chandra Menon, N., Kolathayar, S., Sreekesava, K.S. (eds) Environmental Engineering for Ecosystem Restoration. IACESD 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 464. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0910-6_7
- Sosa, G., Fernández-Long, M.E. ve Vicente-Serrano, S.M., 2025. Evaluating the performance of drought indices for assessing agricultural droughts in Argentina. *Agronomy Journal*, 117(1), e70008.
- Soylu Pekpostalci, D., Tur, R. ve Danandeh Mehr, A., 2023. Spatiotemporal variations in meteorological drought across the Mediterranean region of Turkey. *Pure and Applied Geophysics*, 180(8), 3089-3104.
- Şen, Z., 1976. Wet and dry periods of annual flow series. *Journal of Hydrology. Div., ASCE, Proc. Pap.* 12497 102 (No. HY10), 1503–1514.
- Şimşek, O., Yıldız-Bozkurt, S. ve Gümüş, V., 2024. Türkiye'nin Karadeniz bölgesinde farklı yöntemlerle meteorolojik kuraklığın analizi. *Acta Geophysica* , 72 (3), 1927-1943.
- Tallaksen, L.M. ve Van Lanen, H.A.J., 2004. Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater. In: *Developments in Water Science*, vol. 48. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science B.V.
- Tamsa, H.K., 2013. Solma noktasının nem tayininde yeni bir yaklaşım: Difüzyon toprak nem ilişkisi (Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tarpley, J.D., Schnieder, S.R. ve Money, R.L., 1984. Global vegetation indices from NOAA-7 meteorological satellite. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 491-503.

- Thom, H.C.S., 1966. Some Methods of Climatological Analysis. WMO Technical Note No.81, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 63 pp.
- Thomas, T., Nayak, P.C. ve Ghosh, N.C., 2015. Spatiotemporal analysis of drought characteristics in the Bundelkhand region of central India using the standardized precipitation index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(11), 05015004.
- Thorntwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, vol. 38, no. 1, pp. 55-94.
- Tonk, F. A., İlker, E., Tatar, Ö., Reçber, A., & Tosun, M. (2011). Farklı yağış miktarı ve dağılımlarının ekmeklik buğday verimi üzerine etkileri. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 48(2), 127-132.
- Tsakiris, G. ve Vangelis, H., 2005. Establishing a Drought Index incorporating evapotranspiration. *European Water* 9:10; 3–11.
- Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G. ve Cancelliere, A. 2007. Drought characterization. Chapter 7. *Options Méditerranéennes*, 58: 85–102.
- Tsakiris, G., Pangalou, D. ve Vangelis, H., 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water resources management*, 21, 821-833.
- Tucker, C.J., Gatlin, J., Schnieder, S.R. ve Kuchinos, M.A., 1982. Monitoring large scale vegetation dynamics in the Nile delta and river valley from NOAA AVHRR data. *Proceedings of the Conference on Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands held in Cairo, Egypt, in January 1982* (Ann Arbor: Environmental Research Institute of Michigan), pp. 973-977.
- Tucker, C.J., Townshend, J.R.G. ve Goff, T.E., 1985. African land-cover classification using satellite data. *Science*, 227, 369-375.
- 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.
- Türkyılmaz, M., Özelkan, E. ve Karaman, M., 2020. Termal uydu görüntülerinden üretilen yer yüzeyi sıcaklığı ile hava sıcaklığı ilişkisinin değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 932-948.

- Uçar, Y., Topçu, E. ve Demirel, E., 2019. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Yöntemi ile Isparta İli Kuraklık Analizi. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 1(1), 5-16
- UN Secretariat General, 1994. United Nations Convention to Combat Drought and Desertification in Countries Experiencing Serious Droughts and/or Desertification, Particularly in Africa. Paris.
- Van Loon, A.F. ve Van Lanen, H.A., 2013. Making the distinction between water scarcity and drought using an observation-modeling framework. *Water Resources Research*, 49(3), 1483-1502.
- Vasiliades, L. ve Loukas, A., 2009. Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly, Greece. *Desalination*, 237(1-3), 3-21.
- Vasiliades, L., Loukas, A. ve Liberis, N., 2011. A water balance derived drought index for Pinios River Basin, Greece. *Water Resources Management*, 25(4): 1087–1101.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. ve López-Moreno, J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Clim.* 23 (7): 1696–1718. doi:10.1175/2009JCLI2909.1.
- Wang, L., D'Odorico, P., Evans, J., Eldridge, D., McCabe, M., Caylor, K. ve King, E., 2012. Dryland ecohydrology and climate change: critical issues and technical advances. *Hydrol Earth Syst Sci* 16:2585–2603
- Wang, F., Wang, Z., Yang, H., Zhao, Y., Li, Z. ve Wu, J., 2018. Capability of remotely sensed drought indices for representing the spatio-temporal variations of the meteorological droughts in the Yellow River Basin. *Remote Sensing*, 10(11), 1834.
- Wang, H., Lin, H. ve Liu, D., 2014. Remotely sensed drought index and its responses to meteorological drought in Southwest China. *Remote sensing letters*, 5(5), 413-422.
- Wang, H., Rogers, J.C. ve Munroe, D.K., 2015. Commonly used drought indices as indicators of soil moisture in China. *Journal of Hydrometeorology*, 16(3), 1397-1408.
- Willhite, D.A. ve Glantz, M.H., 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water Int*, 10: 111–120.

- Wilhite, D.A. ve Buchanan-Smith, M., 2005. Drought as hazard: Understanding the natural and social context. In *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*, ed. D.A. Wilhite, pp. 3–29, Boca Raton, FL: Taylor and Francis.
- Wilhite, D.A., 2000. *Drought: A Global Assessment*. Natural Hazards and Disasters Series. London: Routledge Publishers.
- World Meteorological Organization (WMO), 2021. 2021 State of climate services: water. <https://library.wmo.int/records/item/57630-2021-state-of-climate-services-water?offset=2> (Erişim Tarihi: 28.10.2024)
- World Meteorological Organization (WMO), 1986. *Report on Drought and Countries Affected by Drought During 1974–1985*, WMO, Geneva, p. 118.
- Wu, J., Zhou, L., Liu, M., Zhang, J., Leng, S. ve Diao, C., 2013. Establishing and assessing the integrated surface drought index (ISDI) for agricultural drought monitoring in mid-eastern China. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 23:397–410
- Wu, C., Xu, Y., Jin, J., Zhou, Y., Nie, B., Li, R., ..., Zhang, L., 2024. Meteorological to Agricultural Drought Propagation Time Analysis and Driving Factors Recognition Considering Time-Variant Characteristics. *Water Resources Management*, 38(3), 991-1010.
- Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A. ve Hu, Q., 2001. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China Z Index and the statistical Z Score. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(6), 745-758. <https://doi.org/10.1002/joc.658>
- Xu, F., Qu, Y., Bento, V.A., Song, H., Qiu, J., Qi, J., ..., Wang, Q., 2024. Understanding climate change impacts on drought in China over the 21st century: A multi-model assessment from CMIP6. *npj Climate and Atmospheric Science*, 7(1), 32. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00578-5>
- Xu, K., Yang, D., Yang, H., Li, Z., Qin, Y. ve Shen, Y., 2015. Spatio-temporal variation of drought in China during 1961-2012: A climatic perspective. *Journal of Hydrology*, 526(July), 253–264. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.047>
- Yang, Q., Li, M., Zheng, Z. ve Ma, Z., 2017. Regional applicability of seven meteorological drought indices in China. *Science China Earth Sciences*, 60, 745-760.

- Yaşı, İ. ve Partal, T., 2024. Türkiye'nin Güneydoğu Bölgesinde Kuraklık Şiddetinin Trend Analizi. *Journal of the Institute of Science & Technology/Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(2).
- Ye, L., Shi, K., Zhang, H., Xin, Z., Hu, J. ve Zhang, C., 2019. Spatio-temporal analysis of drought indicated by SPEI over northeastern China. *Water*, 11(5), 908.
- Yeşilköy, S. ve Şaylan, L., 2022. Spatial and temporal drought projections of northwestern Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 149(1), 1-14.
- Yetmen, H., 2013. Türkiye'nin kuraklık analizi (Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi (Turkey)).
- Yimer, E.A., Van Schaeybroeck, B., Van de Vyver, H. ve Van Griensven, A., 2022. Evaluating probability distribution functions for the standardized precipitation evapotranspiration index over Ethiopia. *Atmosphere*, 13(3), 364.
- Yuce, M.I., Deger, I.H. ve Esit, M., 2023. Hydrological drought analysis of Yeşilirmak Basin of Turkey by streamflow drought index (SDI) and innovative trend analysis (ITA). *Theoretical and Applied Climatology*, 153(3), 1439-1462.
- Yürekli, K., 2023. Identification of possible risks to hydrological design under non-stationary climate conditions. *Natural Hazards*, 116(1), 517-536.
- Yürekli, K. ve Anlı, A.S., 2019. Analyzing drought based on annual total rainfalls over Tokat province.
- Zarei, R., Sarajian, M. ve Bazgeer, S., 2013. Monitoring meteorological drought in Iran using remote sensing and drought indices. *Desert*, 18(1), 89-97.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B. ve Khan, F.I., 2011. A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19(NA), 333-349.
- Zhang, A.Z. ve Jia, G.S., 2013. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. *Remote Sens Environ* 134:12–23.
- Zhang, Q., Han, L. ve Zhang, L., 2014. Analysis on the character and management strategy of drought disaster and risk under the climatic warming. *Advances in Earth Sciences*, 1: 80–91.
- Zhang, X., Chen, N., Li, J., Chen, Z. ve Niyogi, D., 2017 Multi-sensor integrated framework and index for agricultural drought monitoring. *Environ Remote Sens* 188:141–163

- Zhang, W., Wang, Z., Lai, H., Men, R., Wang, F., Feng, K., Qi, Q., Zhang, Z., Quan, Q. ve Huang, S., 2023. Dynamic characteristics of meteorological drought and its impact on vegetation in an arid and semi-arid region. *Water*, 15(22), 3882.
- Zhang, X., Hao, Z., Singh, V. P., Zhang, Y., Feng, S., Xu, Y. ve Hao, F., 2022. Drought propagation under global warming: Characteristics, approaches, processes, and controlling factors. *Science of the Total Environment*, 838, 156021.
- Zhu, Y., Wang, W., Singh, V. P. ve Liu, Y., 2016. Combined use of meteorological drought indices at multi-time scales for improving hydrological drought detection. *Science of the Total Environment*, 2016, 571: 1058-1068.
- Zoljoodi, M. ve Didevarasl, A., 2013. Evaluation of spatial-temporal variability of drought events in Iran using palmer drought severity index and its principal factors (through 1951-2005).

ÖZGEÇMİŞ

