



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KONYA KAPALI HAVZASINDA METEOROLOJİK, TARIMSAL VE
HİDROLOJİK KURAKLIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ: BEYŞEHİR VE
KARAMAN ALT HAVZALARI ÖRNEĞİ**

ABDULKADİR NİMETOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Şanlıurfa
2025**



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KONYA KAPALI HAVZASINDA METEOROLOJİK, TARIMSAL VE
HİDROLOJİK KURAKLIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ: BEYŞEHİR VE
KARAMAN ALT HAVZALARI ÖRNEĞİ**

ABDULKADİR NİMETOĞLU

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Tez Danışmanı: Doç. Dr. OĞUZ ŞİMŞEK
Tez 2./Eş Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi ALİ DEMİR KESKİNER**

**Şanlıurfa
2025**

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında bilgi birikimi, akademik rehberliği, yapıcı eleştirileri ve sabırlı yönlendirmeleriyle bana yol gösteren çok değerli danışmanım Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK'e en içten şükranlarımı sunarım. İkinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali Demir KESKİNER'e de bu çalışmaya olan katkılarından, değerli fikirlerinden ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Hayatım boyunca bana inanan, her daim dualarıyla yanımda olan ve koşulsuz desteklerini esirgemeyen aileme gönülden teşekkür ediyorum. Manevi desteği, teşvik edici tutumuyla yanımda olan kuzenim Mahmut NİMETOĞLU'na da içten teşekkür ederim. Onun katkısı, bu yolculuğun daha güçlü ve kararlı geçmesini sağlamıştır. Ayrıca, tez sürecinde bana çalışma koşulları açısından büyük kolaylık sağlayan, anlayışlarıyla bu süreci daha verimli kılan Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi'ndeki kıymetli kurum amirlerime teşekkür ederim. Bu çalışmada emeği geçen, doğrudan ya da dolaylı katkı sunan herkese en derin saygı ve teşekkürlerimle...

Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK ve Dr. Öğr. Üyesi Ali Demir KESKİNER (İkinci danışman) danışmanlığında, Abdulkadir NİMETOĞLU'nun hazırladığı **“Konya Kapalı Havzasında Meteorolojik, Tarımsal Ve Hidrolojik Kuraklıkların Değerlendirilmesi: Beyşehir Ve Karaman Alt Havzaları Örneği”** konulu bu çalışma 11/08/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

☒ Oybirliğiyle / ☐ Oy çokluğu ile

İmza

Danışman	: Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK	<i>e-imzalı</i>
İkinci Danışman	:Dr. Öğr. Üyesi Ali Demir KESKİNER	<i>onaylandı</i>
Üye	: Prof. Dr. Veysel GÜMÜŞ	<i>e-imzalı</i>
Üye	: Prof. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU	<i>e-imzalı</i>

Bu tezin İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yapıldığını ve enstitümüz kurallarına göre düzenlendiğini onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Sabri AKIN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma: HÜBAP Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No : 24072

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Meteorolojik Kuraklıkla İlgili Çalışmalar.....	6
2.2. Tarımsal Kuraklıkla İlgili Çalışmalar	11
2.3. Hidrolojik Kuraklıkla İlgili Çalışmalar	15
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	20
3.1. Gereç.....	20
3.2. Yöntem	24
3.2.1. Standartlaştırılmış yağış indeksi	25
3.2.2. Tarımsal standartlaştırılmış yağış indeksi.....	26
3.2.3. Akım kuraklık indeksi	28
3.2.4. Run teorisi	29
3.2.5. Korelasyon analizi	30
4. BULGULAR.....	31
4.1. Kuraklık Analiz Sonuçları	31
4.1.1. Beyşehir alt havzası meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığın değerlendirilmesi ...	31
4.1.2. Karaman alt havzası meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığın değerlendirilmesi ..	69
5. TARTIŞMA	83
6. SONUÇLAR	85
6.1. Beyşehir Alt Havzası Meteorolojik, Hidrolojik ve Tarımsal Kuraklığın Değerlendirilmesi	85
6.1.1. Beyşehir-Mavi kuraklıklarının değerlendirilmesi.....	85
6.1.2. Beyşehir-Taşagül kuraklıklarının değerlendirilmesi	85
6.1.3. Beyşehir-Aşağı Esence kuraklıklarının değerlendirilmesi.....	86
6.2. Run Analizi Sonuçları.....	87
6.2.1. Beyşehir meteoroloji istasyonuna ait run analizi sonuçları	87
6.2.2. Mavi akım gözlem istasyonuna ait run analizi sonuçları	87
6.2.3. Taşagül akım gözlem istasyonuna ait run analizi sonuçları.....	88
6.2.4. Aşağı Esence akım gözlem istasyonuna ait run analizi sonuçları	88
6.2.5. Karaman meteoroloji gözlem istasyonuna ait run analizi sonuçları	89
6.2.6. Seyit Hasan akım gözlem istasyonuna ait run analizi sonuçları	89
6.3. Çapraz Korelasyon Analizi Sonuçları.....	89
6.3.1. Beyşehir-Mavi istasyonlarına ait çapraz korelasyon analizi sonuçları.....	89
6.3.2. Beyşehir istasyonuna ait Çapraz Korelasyon Analizi Sonuçları	90
6.3.3. Beyşehir - Taşagül istasyonlarına ait çapraz korelasyon analizi sonuçları.....	90
6.3.4. Beyşehir-Aşağı Esence istasyonlarına ait çapraz korelasyon analizi sonuçları.....	90
6.3.5. Karaman-Seyithasan istasyonlarına ait çapraz korelasyon analizi sonuçları	90
6.4. Karaman Alt Havzası Meteorolojik, Hidrolojik ve Tarımsal Kuraklığın Değerlendirilmesi	91
6.4.1. Karaman-Seyithasan kuraklıklarının değerlendirilmesi.....	91
7. ÖNERİLER.....	92
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	96

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA KAPALI HAVZASINDA METEOROLOJİK, TARIMSAL VE HİDROLOJİK KURAKLIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ: BEYŞEHİR VE KARAMAN ALT HAVZALARI ÖRNEĞİ

ABDULKADİR NİMETOĞLU

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışman: Doç. Dr. OĞUZ ŞİMŞEK
Tez 2./Eş Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi ALİ DEMİR KESKİNER
Yıl: 2025, Sayfa:96

Kuraklık, özellikle su kaynaklarının sınırlı ve dengesiz dağıldığı yarı kurak coğrafyalarda, çevresel ve sosyoekonomik etkileriyle öne çıkan kritik bir sorundur. Türkiye'nin en kurak havzalarından biri olan Konya Kapalı Havzası, bu açıdan dikkatle incelenmesi gereken bir bölge konumundadır. Doğal bir afet türü olan ve su eksikliğiyle kendini gösteren kuraklık; meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik süreçlerde zaman ve mekâna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, Konya Kapalı Havzası özelinde söz konusu üç kuraklık türü ayrıntılı şekilde değerlendirilmiştir. Analizlerde farklı zaman dilimlerini kapsayan Standart Yağış İndeksi (SPI), Tarımsal Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (aSPI) ve Akım Kuraklık İndeksi (SDI) kullanılmıştır. Çalışmanın uygulama alanı olarak Beyşehir-Kaşaklı ve Karaman Ayrancı alt havzaları seçilmiş; bu bölgelerdeki Beyşehir ve Karaman meteoroloji istasyonları ile Mavi, Taşagül, Aşağı Esence ve Seyit Hasan akım gözlem istasyonlarından elde edilen 1984–2022 dönemine ait aylık yağış ve akış verileri analiz edilmiştir. SPI, aSPI ve SDI değerleri, 3, 6 ve 12 aylık zaman dilimlerinde değerlendirilerek havza genelinde kuraklık türleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda her bir istasyon için en uzun kuraklık süreleri, en yüksek şiddet değerleri, gerçekleşme zamanları ve bu olayların oluşum sıklıkları belirlenmiş; farklı şiddet düzeylerindeki kuraklıkların görülme oranları yorumlanmıştır. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında, SPI ve aSPI sonuçları arasında yüksek düzeyde bir uyum gözlenmiş; öte yandan SPI ile SDI arasında küçük çaplı uyumsuzluklar saptanmış ve bu durumun, akış verilerindeki gecikmeler ile yer altı su kullanımı gibi etkenlerden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların eş zamanlı değerlendirilmesi, havza genelinde artan kuraklık eğilimini ve kuraklık olaylarının zamanla daha da şiddetlendiğini açıkça ortaya koymuştur.

ANAHTAR KELİMELELER: Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), Korelasyon Katsayısı, Konya Kapalı Havzası, Tarımsal Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (aSYİ), Akım Kuraklık İndeksi (AKİ),

ABSTRACT

MASTER THESIS

EVALUATION OF METEOROLOGICAL, AGRICULTURAL AND HYDROLOGICAL DROUGHT IN THE KONYA CLOSED BASIN: THE EXAMPLE OF BEYŞEHİR AND KARAMAN SUB-BASINS

ABDULKADİR NİMETOĞLU

HARRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE EDUCATION
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. OĞUZ ŞİMŞEK
Thesis 2nd. Supervisor: Assist. Prof. Dr. ALİ DEMİR KESKİNER
Year: 2025, Page:96

Drought is a critical issue in semi-arid regions, particularly where water resources are scarce and unevenly distributed, exerting significant environmental and socio-economic impacts. The Konya Closed Basin, one of the driest basins in Türkiye, is a notable region requiring close examination in this context. Drought, a natural disaster characterized by water shortage, varies spatially and temporally within meteorological, agricultural, and hydrological processes. In this study, these three types of drought were comprehensively evaluated for the Konya Closed Basin. The analyses employed the Standardized Precipitation Index (SPI), Agricultural Standardized Precipitation Index (aSPI), and Streamflow Drought Index (SDI) across different time scales. The Beyşehir-Kaşaklı and Karaman Ayrancı sub-basins were selected as the study areas; monthly precipitation and streamflow data from the Beyşehir and Karaman meteorological stations, as well as the Mavi, Taşagıl, Aşağı Esence, and Seyit Hasan streamflow observation stations, covering the period 1984–2022, were analyzed. SPI, aSPI, and SDI values were examined at 3-, 6-, and 12-month time scales to reveal the relationships among drought types across the basin. For each station, the longest drought periods, the highest severity values, their occurrence times, and frequency rates were determined, and the occurrence percentages of drought events in different severity classes were evaluated. Comparative assessments showed a strong correlation between SPI and aSPI results, whereas minor discrepancies were found between SPI and SDI, likely due to delays in streamflow response and groundwater abstraction. Ultimately, the simultaneous assessment of meteorological, agricultural, and hydrological droughts clearly revealed an increasing trend of aridity in the basin, along with the intensification of drought events over time..

KEYWORDS: Standardized Precipitation Index (SPI), Correlation Coefficient, Konya Closed Basin, Agricultural Standardised Precipitation Index (aSPI), Standardized Stream Drought Index (SDI)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışma bölgesinde incelenen istasyonların mekânsal dağılımı	22
Şekil 4.1. Beyşehir-Mavi istasyonları 3 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri	33
Şekil 4.2. Beyşehir-Mavi istasyonları 6 ve 12 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri	35
Şekil 4.3. Kurak ve nemli durumların oluşum yüzdeleri	37
Şekil 4.4. Farklı kuraklık türlerinde kuraklık sınıflarının oluşum sayıları	39
Şekil 4.5. SPI ve SDI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Mavi)	43
Şekil 4.6. aSPI ve SDI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Mavi)	44
Şekil 4.7. aSPI ve SPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Mavi)	45
Şekil 4.8. Beyşehir-Taşagıl istasyonları 3 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri	47
Şekil 4.9. Beyşehir-Taşagıl istasyonları 6 ve 12 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri	49
Şekil 4.10. Kurak ve nemli durumların oluşum yüzdeleri	51
Şekil 4.11. Farklı kuraklık türlerinde kuraklık sınıflarının oluşum sayıları	53
Şekil 4.12. SDI ve SPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir-Taşagıl)	56
Şekil 4.13. SDI ve aSPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir-Taşagıl)	57
Şekil 4.14. Beyşehir-Aşağı Esence istasyonları 3 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri	60
Şekil 4.15. Beyşehir-Aşağı Esence istasyonları 6 ve 12 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri	61
Şekil 4.16. Kurak ve nemli durumların oluşum yüzdeleri	63
Şekil 4.17. Farklı kuraklık türlerinde kuraklık sınıflarının oluşum sayıları	64
Şekil 4.18. SDI ve SPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Aşağı Esence)	67
Şekil 4.19. SDI ve aSPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Aşağı Esence)	69
Şekil 4.20. Karaman-Seyit Hasan istasyonları 3 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri	71
Şekil 4.21. Karaman-Seyit Hasan istasyonları 6 ve 12 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri	73
Şekil 4.22. Kurak ve nemli durumların oluşum yüzdeleri	75
Şekil 4.23. Farklı kuraklık türlerinde kuraklık sınıflarının oluşum sayıları	76
Şekil 4.24. SDI ve SPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Karaman/Seyithasan)	80
Şekil 4.25. SDI ve aSPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Karaman/Seyithasan)	81
Şekil 4.26. SPI ve aSPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Karaman/Seyithasan)	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Konya Kapalı Havzası alanı dağılımı ile ilgili bilgiler	21
Çizelge 3.2. Hidrolojik alt havza detayları.....	22
Çizelge 3.3. Gözlem istasyonları detayları.....	23
Çizelge 3.4. SPI değerlerinin sınıflandırılması (McKee ve vd. (1993); Kömüştü vd. (2002); Vermes vd. (1998)).....	25
Çizelge 3.6. SDI değerlerinin sınıflandırılması Hong vd. (2015).....	29
Çizelge 4.1. Beyşehir istasyonu meteorolojik kuraklık karakteristikleri.....	40
Çizelge 4.2. Beyşehir istasyonu tarımsal kuraklık karakteristikleri	41
Çizelge 4.3. Mavi istasyonu hidrolojik kuraklık karakteristikleri	42
Çizelge 4.4. Taşagıl istasyonu hidrolojik kuraklık karakteristikleri.....	54
Çizelge 4.5. Aşağı Esence istasyonu hidrolojik kuraklık karakteristikleri.....	65
Çizelge 4.6. Karaman istasyonu meteorolojik kuraklık karakteristikleri	77
Çizelge 4.7. Karaman istasyonu tarımsal kuraklık karakteristikleri.....	78
Çizelge 4.8. Seyit Hasan istasyonu hidrolojik kuraklık karakteristikleri	79

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AK	Aşırı Kurak
AKİ	Akım Kuraklık İndeksi
aSPI	Agricultural Standardised Precipitation Index
AY	Aşırı Yağışlı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CZI	Çin-Z Endeksi
EDI	Etkin Kuraklık İndeksi
EKİ	Efektif Kuraklık İndeksi
ET	Evapotranspirasyon
ET_o	Referans Evapotranspirasyon
HK	Hafif Kurak
HY	Hafif Yağışlı
I_{DM}	De Martonne kuraklık indeksi
I_{DMG}	De Martonne-Gottman kuraklık indeksi
I_m	Erinç kuraklık indeksi
KKH	Konya Kapalı Havzası
KKİ	Keşif Kuraklık İndisi
KOP	Konya Ovası Projesi
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MK	Mann-Kendall
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
N	Sahip olunan verilerin toplamdaki kaç yıla ait olduğu
NY Y	Normal Yağış Yüzdesi
OK	Orta Kurak
OKİ	Ondalıklar Kuraklık İndisi
OY	Orta Yağışlı
P	Yıllık toplam yağış (mm) miktarı
P_d	En kurak ayın yağış (mm) miktarı
P_{ij}	İ. yılın j. ayının yağış (mm) miktarı
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi
PET	Potansiyel evapotranspirasyon
PET_{ij}	i. yılın j. ayının hesaplanan potansiyel evapotranspirasyonu
PN	Normal Yüzdesi
R²	Belirlilik Katsayısı
RDDI	Yağışa Dayalı Ondalık Kuraklık İndesi

SAI	Standart Akış İndeksi
SO	Güneyli Salınımı
SDI	Streamflow Drought Index
SPEI	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
SYEİ	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
SPI	Standardized Precipitation Index
SSFI	Standardized Streamflow Index
SYİ	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
ŞK	Şiddetli Kurak
ŞY	Şiddetli Yağışlı
T	Yıllık ortalama sıcaklık (°C)
TM	Thematic Mapper
USDA	United States Department of Agriculture
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification
YK	Yağış Kuyrukları
WEAP	Water Evaluation and Planning

1. GİRİŞ

Kuraklık; insan yaşamı, ekonomik faaliyetler ve ekolojik denge üzerinde derin etkiler bırakabilen, hidrolojik döngü üzerindeki olumsuz etkileriyle su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini tehdit eden en önemli hidrometeorolojik afetlerden biridir. Küresel ölçekte kuraklığın başlıca nedenleri arasında iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışı, yağış rejimlerindeki düzensizlikler, su kaynakların aşırı kullanımı, ormansızlaşma, aşırı yeraltı suyu çekimi ve arazi bozunumu yer almaktadır. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi (UNCCD) raporuna göre, insan faaliyetleri ve sera gazı emisyonları bu süreçleri hızlandırarak kuraklığın hem sıklığını hem de şiddetini artırmaktadır (UNCCD, 2022).

Doğal bir afet olmanın ötesinde, insan yaşamını ve iklim değişikliğiyle tetiklenen, çevresel, ekonomik ve sosyal dengeleri derinden sarsan küresel bir sorun haline gelmiştir. Ancak, diğer doğal afetlerden farklı olarak kuraklık, ani gelişen bir olay olmayıp uzun vadede kendini gösteren, hidrolojik rejimde ciddi ekonomik ve çevresel sonuçlara yol açan süreçtir. Oluşturduğu su açığı, tarımsal üretimden kent su teminine kadar geniş bir yelpazede maliyetli ve geri dönüşü zor etkiler doğurabilmektedir. Birleşmiş Milletler'in son raporuna göre Dünya'da kurak alanların %41'e ulaşması ve Türkiye'nin büyük ölçüde bu artıştan etkilenmesiyle birlikte, iklim değişikliğine bağlı olarak Türkiye'de de kuraklığın daha sık ve şiddetli hale geldiği belirtilmektedir (UNCCD, 2022).

Ülkemiz, hem iklim değişikliğinin hidrolojik parametreler üzerindeki etkileri hem de Akdeniz iklim kuşağında yer alması nedeniyle su kıtlığı ve kuraklık riskiyle karşı karşıyadır. Sıcaklık artışları ve yağış rejimlerindeki değişiklikler giderek daha belirgin hale gelmektedir. Bu durum, önümüzdeki yıllarda Türkiye'de kuraklık olaylarının daha sık, daha şiddetli ve daha uzun süreli olacağına işaret etmektedir (Simsek, 2021).

Küresel enerji dinamiklerindeki değişim, artan sıcaklıklarla birlikte atmosferik parametrelerin dağılımını etkilemiştir. Küresel sıcaklık artışı, kuraklık olaylarının meydana gelme sıklığını ve şiddetini artırarak hidrolojik döngü üzerinde doğrudan bir baskı oluşturmaktadır. Kuraklık modellerindeki bu değişimler, su kaynaklarının erişilebilirliği üzerinde doğrudan etki yaratarak gıda güvenliği, tarımsal verimlilik ve su açığı gibi kritik konuları etkilemektedir. Tarım sektörü, kuraklıktan diğer afet

türlerine kıyasla daha fazla zarar görmekte ve bu durum, su yönetimi ve tarımsal planlama açısından büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Kuraklık rejimlerindeki bu değişime verilen temel yanıt, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimidir (Topçu, 2022).

Yağış rejimindeki azalım, hidrolojik döngünün sosyo-ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği üzerinde çok yönlü etkiler oluşturmaktadır. Sosyal açıdan kuraklık; su temin sistemlerinin yetersiz kalması, içme suyu kaynaklarının azalması, göç hareketlerinin artması ve insan sağlığı üzerinde fiziksel ve psikolojik stres gibi ciddi sonuçlar doğurur. Hidrolojik perspektiften bakıldığında, uzun süreli kuraklıklar su kaynakları yönetiminde ciddi baskılar yaratırken, tarımsal üretimde düşüşe, yüzey ve yeraltı su seviyelerinde azalmaya ve su temininde belirsizliklere yol açmaktadır. Çevresel açıdan ise içme suyu arzındaki yetersizlik, ekosistem dengesinin bozulması, bitki örtüsünün zayıflaması, toprak nem kaybı ve artan rüzgâr erozyonu gibi olumsuzluklar gözlemlenmektedir. Ekonomik açıdan ise su kaynaklı enerji üretiminde (hidroelektrik) düşüş, tarım ve hayvancılık faaliyetlerinde verim kaybı, gıda arzında azalma ve buna bağlı olarak fiyat artışları gibi olumsuz etkiler gözlemlenir. (Topçu ve Seçkin, 2016)

Kuraklığı diğer doğal afetlerden ayıran temel özellikler, başlangıç ve bitiş zamanının net olarak belirlenememesi, etkilerinin kademeli olarak birikmesi, hidrolojik döngü içerisindeki birden fazla su kaynağını eşzamanlı olarak etkilemesi ve ekonomik maliyetinin yüksek olmasıdır. Kuraklık olaylarının başlangıcını, sıklığını ve şiddetini belirlemek, kuraklık karakteristiklerini öngörmek açısından büyük önem taşımaktadır. İklim olaylarının sistematik gelişimine ek olarak, çeşitli rastlantısal faktörler de hidrolojik döngüyü etkileyerek insan faaliyetleri üzerinde belirleyici bir rol oynar (Topçu, 2022). Ayrıca, kuraklık olayının yaşanması durumunda etkilediği alanlar ülkeler arası hatta kıtalar arası bile olabilir.

Yağış miktarının mekânsal ve zamansal değişkenlik göstermesi, su kaynaklarının varlığını ve sürdürülebilirliğini doğrudan etkileyen temel faktörlerden biridir. Kuraklığın tespit edilmesinde yağış koşullarının analizi, genellikle merkezi eğilim ölçütleri (medyan, ortalama vb.) ile kurak ve nemli dönemlerin karakteristik özelliklerini belirlemeyi, gözlemlenen yağış miktarları arasında karşılaştırma yapmayı, su sistemlerinin ihtiyaç duyduğu kritik yağış eşik değerlerini dikkate almayı

ve standart sapma gibi dağılım ölçütlerini kullanmayı içermektedir. Kuraklığın değerlendirilmesinde kullanılan birçok kuraklık indeksi, büyük ölçüde yağış verilerine dayanmaktadır (Pamuk vd., 2004).

Son dönemlerde küresel iklim değişikliği, hidrolojik sistemler ve su kaynakları yönetimi açısından önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Kuraklık riski, yalnızca belirli bir ülke veya coğrafya ile sınırlı kalmayıp, tüm ülkeleri tehdit eden küresel bir sorundur. Bu nedenle, su kıtlığının ve kuraklık olaylarının şiddetini azaltmaya yönelik sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi, küresel ölçekte ele alınması gereken kritik bir gerekliliktir (Zeybekoğlu vd., 2018).

Su, insan yaşamının sürdürülebilirliği için vazgeçilmez bir doğal kaynaktır. Su kıtlığı, küresel ölçekte yaşamı tehdit eden kritik bir sorun olup, hidrolojik sistemlerdeki dengesizlikler nedeniyle kuraklıkla doğrudan ilişkilidir. Kuraklık, oluşum mekanizmasına ve etkilediği alanlara bağlı olarak dört ana kategoride incelenmektedir: meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik kuraklık. Meteorolojik kuraklık, bir bölgedeki yağış miktarının buharlaşma oranından düşük olması durumunu ifade eder ve yağış eksikliği temel ölçüt olarak kabul edilir. Tarımsal kuraklık, toprak nem seviyesinin bitkisel üretimi destekleyemeyecek seviyeye düşmesiyle ortaya çıkarken, hidrolojik kuraklık ise yüzey ve yeraltı su kaynaklarındaki azalmanın uzun vadeli su temininde aksamalara yol açtığı durumu ifade etmektedir. Sosyo-ekonomik kuraklık ise su kıtlığının toplum üzerinde yarattığı ekonomik istikrarsızlık, gıda güvenliği riskleri, arz-talep dengesinin bozulması ve sosyo-politik gerilimler gibi olumsuz etkileri kapsar (Arslan vd., 2016).

Meteorolojik kuraklık, iki temel hidrometeorolojik süreç çerçevesinde gelişir. Bunlardan ilki, bölgesel yağış rejiminin uzun vadeli ortalamanın altına düşmesiyle ortaya çıkan yağış azalmasıdır. Bu durum, yüzey ve yeraltı su kaynaklarının beslenmesinde azalmaya yol açarak, hidrolojik döngünün bozulmasına neden olur. Ayrıca, toprak neminin yetersiz kalması, tarımsal üretim ve bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkiler yaratır. İkinci olgu ise, artan sıcaklıklarla birlikte buharlaşma ve terleme (evapotranspirasyon) oranlarının yükselmesidir. Yüksek sıcaklıkların tetiklediği aşırı buharlaşma, yüzey su kütlelerinin kurumasına, kar ve buz örtüsünün hızla erimesine ve topraktaki nem içeriğinin azalmasına sebep olur. Yağıştaki azalma ile sıcaklık ve buharlaşmadaki artış, meteorolojik kuraklığın temel nedenlerini

oluşturur ve bu durum, su kaynakları yönetimi açısından ciddi bir mücadele gerektirir (Poyrazoğlu ve Arıman, 2022).

Kuraklık olaylarının süresi, şiddeti, zamanlaması ve mekânsal dağılımı öngörülemediğinden, bu süreçlerin sürekli olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir (Keskiner vd., 2016). Bu nedenle, olası kuraklık senaryolarının belirlenmesi ve etkilerinin analiz edilmesi, gelecekte meydana gelebilecek su kaynakları yönetimi ile afet risklerinin azaltılması açısından kritik bir rol oynar (Poyrazoğlu ve Arıman, 2022). Kuraklığın tanımlanması ve izlenmesinde kullanılan yöntemler, temelde meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik boyutlara göre sınıflandırılır ve her biri için farklı indeksler ve analiz teknikleri uygulanır.

Bu tez çalışmasında meteorolojik kuraklık analiz yöntemlerinden sadece yağış verilerine dayalı Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index - SPI) yöntemi kullanılmış ve belirli zaman ölçeklerinde (3, 6, 12 ay) yağış anomalilerini standart sapma cinsinden ifade edilmiştir. Tarımsal kuraklık yöntemlerinde; toprak nemi, bitki su stresi ve tarımsal üretkenlik üzerine odaklanır. Tarımsal Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Agricultural Standardized Precipitation Index - aSPI), SPI'nin tarımsal zaman ölçeklerine uyarlanmış versiyonudur. Hidrolojik kuraklık yöntemleri; akarsu debileri, göl seviyeleri, yeraltı suyu seviyeleri gibi hidrolik göstergelere dayanır. Akım Kuraklık İndeksi (Streamflow Drought Index - SDI) akım verilerine dayalı olarak belirli periyotlarda kurak dönemleri tanımlar.

Konya Kapalı Havzası, Türkiye'nin en büyük kapalı havzası olup herhangi bir denize akışı bulunmayan yapısı nedeniyle tamamen yağış ve yeraltı suyu beslenmesine bağımlıdır. Yüksek buharlaşma oranları, havzanın su bütçesini olumsuz yönde etkilemektedir. Türkiye'nin tahıl üretiminde stratejik öneme sahip olan Konya Ovası'nı barındıran bu havza, tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu ve aşırı yeraltı suyu kullanımı nedeniyle yıllık 2,5–3 milyar m³ su açığı vermektedir. Kuraklık, bu açığı daha da derinleştirerek yeraltı su seviyelerinin hızla düşmesine yol açmakta; Beyşehir, Akşehir ve Suğla gibi önemli göl ekosistemlerinin küçülmesine veya tamamen kuruma riskiyle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerle, Konya Kapalı Havzası'nda kuraklık olgusunun incelenmesi hem su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi hem de bölgesel gıda güvenliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Konya Kapalı Havzası'nda kuraklık konusunu ele alan bir çalışmaya ihtiyaç duyulmasının temel nedeni, havzanın hidrolojik, tarımsal ve ekolojik açıdan kırılgan bir yapıya sahip olmasıdır. Düşük yağış miktarı, yüksek buharlaşma oranları ve yeraltı suyu rezervlerinin aşırı kullanımı, bölgeyi su kıtlığına karşı son derece hassas hale getirmektedir. Özellikle iklim değişikliğinin etkisiyle yağış rejimlerinin düzensizleşmesi ve kurak dönemlerin daha sık ve şiddetli yaşanması, tarımsal üretim, içme suyu temini ve doğal ekosistemler üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır. Bu koşullar, mevcut su kaynaklarının etkin yönetimi, kuraklık eğilimlerinin belirlenmesi ve olası risklere karşı önleyici stratejilerin geliştirilmesi amacıyla bilimsel temelli çalışmalara olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu bağlamda, Konya Kapalı Havzası'nda meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığın birlikte değerlendirilmesi hem mevcut durumu anlamak hem de geleceğe yönelik sürdürülebilir su yönetimi politikaları geliştirmek için kritik bir gerekliliktir.

Bu çalışmanın amacı, Konya Kapalı Havzası'nda (KKH) farklı boyutlarıyla kuraklık olgusunu ayrıntılı olarak inceleyerek, bölgedeki su kaynaklarının mevcut durumunu ve kuraklık eğilimlerini ortaya koymaktır. Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık göstergelerinin birlikte değerlendirilmesiyle, havzada kuraklık olaylarının sıklığı, şiddeti ve süreleri belirlenmekte; bu veriler aracılığıyla kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi analiz edilmektedir. Böylece hem geçmişe dönük bir durum tespiti yapmak hem de gelecekte uygulanabilecek su yönetimi stratejileri için bilimsel bir temel oluşturmak hedeflenmektedir. Bu yönüyle çalışma, bölgesel gıda güvenliği, ekosistemlerin korunması ve sürdürülebilir su kullanımı açısından karar vericilere yol gösterici nitelikte olmayı amaçlamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Meteorolojik Kuraklıkla İlgili Çalışmalar

Doğan vd. (2012), araştırmalarında kuraklık analizlerini değerlendirmek amacıyla farklı kuraklık indekslerini karşılaştırarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, Türkiye’deki kuraklık koşullarını belirlemek için SPI, Normal Yüzdesi (PN), Etkili Kuraklık Endeksi (EDI), Yağışa Dayalı Ondalık Kuraklık Endeksi (RDDI), Çin-Z Endeksi (CZI) ve istatistiksel Z-Skoru gibi yöntemlerle kuraklık parametreleri karşılaştırılmıştır. Yarı kurak karakteristiğe sahip, hidrolojik açıdan kapalı bir sistem olan KKH’da bu indekslerin farklı iklim koşulları altındaki performanslarının incelenmesi önemli bir araştırma konusu olmuştur. Çalışmalarında, 18 farklı zaman aralığında (1 aydan 48 aya kadar) hidrolojik veriler kullanılarak kuraklık indekslerinin performansı değerlendirilmiştir. Çalışma, iki temel amacı ele almaktadır: Birincisi, seçilen zaman aralıklarının uygun indeks değerlerinin belirlenmesindeki etkisini incelemek; ikincisi ise, kuraklık indekslerinin zaman ölçeklerine ve indeks seçimine karşı duyarlılığını analiz etmektir. 12 farklı meteoroloji istasyonundan elde edilen aylık yağış verileri kullanılarak, kuraklık indekslerinin farklı zaman aralıklarındaki korelasyonları incelenmiştir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, 1 aylık zaman aralıklarının mevsimsel yağış değişkenliği nedeniyle diğer zaman aralıklarıyla zayıf korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, hidrolojik kuraklık analizlerinde medyan zaman aralıklarının (6, 9 ve 12 aylık) kullanılmasının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma, hidrolojik kuraklık analizlerinde kullanılan indekslerin zaman aralığına bağlı olarak değişen duyarlılıklarını ortaya koymuştur. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, uzun vadeli kuraklık izleme çalışmalarında 6, 9 ve 12 aylık zaman aralıklarının kullanılması önerilmiştir. Bununla birlikte, 1 aylık zaman ölçeğinde hesaplanan indeksler, özel bir gereklilik olmadıkça yalnızca karşılaştırmalı analizlerde değerlendirilmelidir. Çalışmada, zaman ölçeği seçiminin, kuraklık şiddetini belirlemede kullanılan indeks türü kadar kritik bir faktör olduğu vurgulanmıştır.

Orhan (2014), KKH’da doğal kaynakların sürdürülebilir ve etkin kullanımını sağlamak ve tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğini desteklemek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışması kapsamında, Land-sat 5-TM uydu görüntüleri kullanılarak bölgenin 28 yıllık süreçteki yüzey sıcaklığı ve kuraklık haritaları

oluşturmuştur. Ayrıca, havzada bulunan 10 meteoroloji istasyonuna ait veriler ve yeraltı su seviyesi ölçümleri analiz edilerek iklimsel değişimlerin bölge üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, 1984, 1989, 1998, 2003, 2007 ve 2011 yıllarına ait toplam 29 adet Landsat-5 TM uydu görüntüsü temel veri kaynağı olarak kullanılmıştır. SPI değerleri de kullanılarak meteorolojik kuraklığın belirli periyotlarla tekrarlandığı ortaya konulmuştur. Tüm bu olumsuzluklara ek olarak, havzadaki yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarının kontrolsüz kullanımı ile su yönetim planlamasının eksikliği, bölgenin en önemli sorunlarından biri olarak değerlendirilmiştir.

Tunçok ve Bozkurt (2015), KKH'da, havza bazlı entegre su kaynakları yönetim planlamasıyla, projenin uygulama alanını topografik, iklimsel, hidrolojik dinamikler açısından kapsamlı şekilde analiz etmiştir. Bu kapsamda, havza ve alt havzalardaki dinamik ilişkilerin geçmiş veriler ve gelecekteki olası değişimler dikkate alınarak tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Sürecin devamında, yüzey ve yeraltı su kaynaklarının mekânsal ve zamansal değişimlerini belirlemek amacıyla hidrolojik ve hidrojeolojik modelleme teknikleri uygulanmıştır. Elde edilen analiz sonuçları doğrultusunda, havza ölçeğinde su bütçesi sürdürülebilir yönetim prensipleri çerçevesinde oluşturulmuştur. KKH özelinde yapılan çalışmalarda, su kaynaklarının mevcut kullanım dengesi ve alt havzalardaki bozulmalar belirlenmiş, farklı senaryolar altında değerlendirilerek su yönetim stratejileri geliştirilmiştir. Bu çerçevede, su kullanımının yarattığı baskılar ve bu baskıları azaltmaya yönelik projelerin etkileri değerlendirilmiştir. Havza ölçekli su yönetim modellerinde küresel ölçekte yaygın kullanılan WEAP (Water Evaluation and Planning) sistemi, Konya Kapalı Havzası çalışmalarında temel analiz aracı olarak tercih edilmiştir. WEAP, sektörel su arz-talep dengesi, kaynak güvenilirliği ve maliyet-fayda analizleri gibi temel göstergeleri çıktı olarak sunabilmekte ve değişen su kullanım senaryolarının performansını detaylı bir şekilde değerlendirme imkânı sağlamaktadır. WEAP modeli, su kaynakları ve talep noktaları arasındaki topolojik ilişkileri tanımlayarak, barajlar, regülatörler, sulama alanları ve kentsel su taleplerinin entegrasyonunu sağlayan bir çerçeve sunmaktadır. Modelde, barajlar, regülatörler gibi su arz noktaları ile sulama alanları ve kentler gibi su talep noktaları düğümler olarak modellenmiş; iletim sistemleri üzerinde ilişkiler kurulmuş ve sektörel bazda su arz-talep dengesi, kaynak güvenilirliği ve fayda-maliyet analizi gibi temel göstergeler değerlendirilmiştir. Modelin çıktıları, değişen su yönetimi senaryolarının performans analizine olanak tanıyarak, uzun vadeli optimizasyon süreçlerine katkı sağlamaktadır.

Musonda vd. (2020), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, SPI yöntemi kullanılarak, 1981-2017 yılları arasında Zambiya’da üç farklı zaman ölçeğinde (3, 6 ve 12 ay) kuraklık özelliklerinin zamansal ve mekânsal eğilimleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, Zambiya’daki kuraklık paternlerini incelemek amacıyla aylık, mevsimsel ve yıllık yağış verileri üzerinde yoğunluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, ülkenin güneybatısında kuraklık olaylarının arttığını, kuzeydoğusunda ise azaldığını ortaya koymuştur. Bu çerçevede, iki farklı bölgeyi temsil eden meteoroloji istasyonları (güneybatı ve kuzeydoğu) analiz edilmiş, sonuçlar güneybatıdaki Sesheke’de kuraklık eğilimlerinin arttığını, kuzeydoğudaki Kasama’da ise bu eğilimlerin azaldığını göstermiştir. Kuraklığın etkisi, güney bölgelerinde kuzeye kıyasla daha belirgin bir şekilde hissedilmekte olup, bu durum özellikle Güney Zambiya’nın kuraklığa yatkın bölgelerinde tarım ve hidroloji sektörleri için ciddi bir risk oluşturmaktadır. Çalışma, bölgesel kuraklık değişimlerine dayanarak iklim değişikliğine uyum sağlama ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi konusunda önemli bilimsel veriler sunmaktadır. Ayrıca, çalışmada 2010 yılı öncesinde kuraklık olaylarının istikrarlı bir artış gösterdiği, 2010-2017 yılları arasında ise belirgin bölgesel farklılıklarla birlikte istikrarsız bir davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, özellikle kuraklık yönetimi ve iklim adaptasyonu planlamaları için kritik bir perspektif sunmaktadır.

Sarış ve Gedik (2021), KKH’daki meteorolojik kuraklık dinamiklerini incelemek amacıyla, 20 farklı yağış serisini SPI yöntemiyle analiz etmişlerdir. Çalışmada, yağış veri setleri kısa vadeli (aylık, mevsimlik ve 6 aylık) ve uzun vadeli (12, 24 ve 36 aylık) periyotlar şeklinde sınıflandırılmıştır. Havzada yer alan 11 meteoroloji istasyonuna ait 1930-2019 yılları arasındaki değişken uzunluktaki aylık toplam yağış verileri temel alınarak istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel trend analizleri kapsamında, tüm istasyonlarda 24 ve 36 aylık SPI değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, havzada gözlemlenen kuraklık şiddetini hafif, orta, şiddetli ve aşırı kurak olarak sınıflandırmış ve özellikle aralık ayı, kış mevsimi ve 6 aylık ile daha uzun süreli (12, 24, 36 aylık) periyotlarda şiddetli ve aşırı kuraklık olaylarının belirgin olduğunu tespit etmişlerdir. İstasyonlar arasında kurak periyotların sıklığı ve şiddeti açısından farklılıklar gözlemlenmiş olsa da genel olarak havzada kuraklık olaylarının yaklaşık on yıllık döngülerle tekrarlandığı belirtilmiştir. 12 aylık analiz periyodu açısından Beyşehir, Cihanbeyli, Niğde ve Ereğli; 24 aylık analizde Karaman, Aksaray, Çumra ve

Seydişehir; 36 aylık analizde ise Konya, Karapınar ve Kulu, en yüksek kurak yıl frekansına sahip istasyonlar olarak öne çıkmıştır. Bu uzun vadeli kuraklık eğilimleri, KKH'da meteorolojik kuraklığın tarımsal ve hidrolojik kuraklığa dönüşme potansiyelini göstermekte olup, havzanın su kaynakları yönetimi açısından ciddi bir risk altında olduğunu ortaya koymaktadır.

Poyrazoğlu ve Arıman (2022), Akdeniz bölgesinde yer alan Kahramanmaraş ilinin meteorolojik kuraklık analizini gerçekleştirmek amacıyla, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman dilimlerinde SPI yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada, 1990-2020 yılları arasındaki aylık ortalama toplam yağış verileri, Afşin, Göksun, Elbistan ve Kahramanmaraş merkez meteoroloji gözlem istasyonlarından temin edilerek analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, incelenen dört meteorolojik istasyonda, özellikle 2000 yılı ve sonrasında kuraklık olaylarının sıklığında artış olduğunu ortaya koymuştur. SPI analizine göre, Kahramanmaraş merkez ve Göksun istasyonlarından alınan veriler, bölgede uzun süreli kurak dönemlerin varlığını işaret etmektedir. Öte yandan, Elbistan ve Afşin bölgelerinde kuraklık periyotlarının nispeten daha kısa sürdüğü belirlenmiştir. Ancak Kahramanmaraş merkez istasyonunda, kurak dönemlere ait yıllık toplam yağış miktarlarında önemli bir değişim gözlenmezken, yağışlı gün sayısındaki azalma bu durumun temel göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, Türkiye'nin yarı kurak ve yarı nemli iklim koşullarının hüküm sürdüğü orta enlem kuşağında yer alması nedeniyle, ülke genelinde kuraklık riskinin önemli bir sorun olarak öne çıktığı vurgulanmıştır.

Aktürk vd. (2022), Kızılırmak Nehri havzasındaki meteorolojik kuraklığı, 1960-2017 yılları arasında 22 meteoroloji istasyonunun aylık yağış verileriyle analiz etmiştir. Bu çalışmada aylık yağış verilerine en uygun olasılık dağılımları uyum iyiliği testleri kullanılmış havzadaki kuraklık özelliklerini değerlendirmek için SPI yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, 31 yıllık süreçteki kuraklık şiddetindeki değişimler ve mekânsal dağılımlar haritalandırılmıştır. SPI analizi, kuraklık olaylarının zaman içindeki evrimini ve yoğunluk farklılıklarını net bir şekilde ortaya koymuştur. Yapılan değerlendirmeler, 31 yıllık süreçte kuraklık olaylarının frekansını, şiddetini ve mekânsal yayılımını ortaya koyarken, SPI zaman serileri kuraklık eğilimlerini belirlemede güçlü bir gösterge olarak kullanılmıştır.

Özmen ve Batan (Baskıda), Batman ve Diyarbakır illerini kapsayan çalışmalarında, 1990–2020 yılları arasındaki uzun dönemli meteorolojik ve hidrolojik

veriler kullanılarak çok yönlü bir kuraklık analizi gerçekleştirilmişlerdir. Araştırmada, farklı kuraklık türlerini değerlendirmek amacıyla SPI, Keşif Kuraklık İndisi (KKİ), Ondalıklar Kuraklık İndisi (OKİ) ve Akım Kuraklık İndisi (AKİ) gibi çeşitli indeksler uygulanmıştır. Yıllık ve mevsimsel ölçeklerde yapılan analizler sonucunda, her iki ilin de farklı şiddetlerde kuraklık koşullarına maruz kaldığı, özellikle 2004, 2008 ve 2010 yıllarında belirgin düzeyde kuraklık yaşandığı belirlenmiştir. Çalışmada, elde edilen bulgular ışığında, kuraklığın etkilerinin zamanla artış gösterdiği ve bu durumun iklim değişikliği ile bağlantılı olabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca, kuraklık analizlerinin yalnızca bölgesel düzeyde değil, ülke genelinde de yapılmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Bu doğrultuda, yer altı suyu seviyeleri, toprak nem durumu ve tarımsal su tüketimi gibi parametreleri dikkate alan daha gelişmiş yöntemlerin kullanılmasının, hem erken uyarı sistemlerinin etkinliğini artıracak hem de sürdürülebilir su yönetimi politikalarının oluşturulmasına katkı sağlayacağı ifade edilmiştir. Söz konusu çalışma, iklim değişikliği kaynaklı kuraklık risklerinin daha iyi anlaşılmasına zemin hazırlayarak, olası etkilerin azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesine bilimsel katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Kuraklığın sınıflandırılmasında farklı göstergeler kullanılmakla birlikte, meteorolojik kuraklık için geliştirilen SPI, uygulama kolaylığı ve veri gereksiniminin asgari düzeyde olması gibi avantajları sayesinde literatürde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir. SPI yalnızca aylık yağış verisine ihtiyaç duymakta olup, bu veriler çoğu meteoroloji istasyonu tarafından uzun yıllardır düzenli biçimde kaydedildiğinden, farklı bölgeler ve iklim tipleri için hesaplamalar yapılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, farklı zaman ölçeklerinde hesaplanabilmesi sayesinde, tarımsal kuraklığa işaret eden kısa vadeli nem eksikliklerinden, hidrolojik etkileri yansıtan uzun süreli kuraklık eğilimlerine kadar geniş bir yelpazede değerlendirme yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Buna karşın, hidrolojik kuraklık için gerekli olan akarsu debisi, yer altı suyu seviyesi veya göl hacmi gibi göstergelerin uzun süreli, sürekli ve güvenilir ölçümler gerektirmesi; tarımsal kuraklık içinse toprak nemi, evapotranspirasyon veya bitki gelişimi gibi göstergelerin hem yerel düzeyde hem de yüksek zamansal çözünürlükte izlenmesi gerekliliği, bu tür analizlerin uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Bu bağlamda değerlendirildiğinde, SPI'nin istatistiksel olarak sağlam bir temele dayanması, farklı coğrafyalarda karşılaştırmalı analiz yapılmasına olanak sağlaması ve kuraklık şiddetini nesnel ölçütlerle sınıflandırabilmesi gibi nitelikleri,

yöntemi hem bilimsel araştırmalarda hem de karar destek süreçlerinde öne çıkarmaktadır (McKee vd., 1993).

2.2. Tarımsal Kuraklıkla İlgili Çalışmalar

Doğan (2013), doktora çalışmasında, Konya Kapalı Havzası'nda yaşanan kuraklık olaylarının karakteristik özelliklerini belirlemek ve farklı kuraklık indekslerinin bölge koşullarına uygunluğunu değerlendirmek amacıyla incelemelerde bulunmuştur. Çalışmada, havzanın su kaynakları üzerinde önemli baskı oluşturan kuraklık olaylarını analiz etmek için 1972-2009 yılları arasında 12 meteoroloji istasyonundan elde edilen aylık yağış verileri kullanılmış ve Normal Yağış Yüzdesi (NYY), Yağış Kuyrukları (YK), Z-Skoru, Çin Z İndeksi (CZI), SPI ve Efektif Kuraklık İndeksi (EKİ) olmak üzere altı farklı kuraklık indeksi 1 ila 48 aylık zaman adımlarıyla uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, incelenen 456 aylık dönemde EKİ ile 196 kuraklık olayı tespit edilmiş, havza genelinde ortalama her istasyonda 16.3 kuraklık olayı gözlenmiş ve toplam kuraklık süresi 156.9 ay olarak hesaplanmıştır. Özellikle 1973-1974 yılları arasında yaşanan çok şiddetli kuraklığın, Karapınar istasyonu hariç tüm istasyonlarda benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir. İndeks karşılaştırmalarında, EKİ'nin kuraklığın başlangıç ve bitişini belirlemede diğer indekslere göre daha duyarlı olduğu, SYİ ve CZI'nın da benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışmanın sonuçlarında, Konya Kapalı Havzası'nda kuraklık yönetimi ve erken uyarı sistemlerinde EKİ ve SYİ gibi indekslerin kullanılmasını, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için uzun vadeli stratejiler geliştirilmesini ve iklim değişikliği senaryolarına uygun adaptasyon politikalarının oluşturulmasını önermektedir. Bu bulgular, bölgedeki kuraklık riskinin azaltılması ve su kaynakları planlaması açısından önemli bir temel oluşturmaktadır.

Kapluhan (2013), çalışmasında Türkiye'de kuraklık olgusunu kapsamlı bir şekilde ele alarak, özellikle kuraklığın tarımsal üretim üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmanın temel amacı, farklı iklim koşullarında kuraklığın şiddetini, süresini ve etkilerini belirlemek, bunun yanı sıra tarımsal verim kayıplarını analiz ederek olası çözüm önerileri sunmaktır. Bu doğrultuda meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık analizleri gerçekleştirilmiş; meteorolojik kuraklık için SPI, tarımsal kuraklık için Bitki Sağlık İndeksi (VHI) ve hidrolojik kuraklık için akım verileri kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Araştırma bulguları, özellikle yağışa bağımlı tarımsal üretim alanlarında ciddi verim kayıplarının yaşandığını ve su

kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin kuraklığın etkilerini azaltmada kritik bir rol oynadığını ortaya koymuştur.

Çakmak ve Gökalp (2013), çalışmalarında, Türkiye'deki tarımsal su yönetimi ve kuraklık ile ilgili sorunları ele almakta, özellikle küresel ısınmanın etkileri altında su kaynaklarının azalmasını ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini hedef almaktadır. Kuraklık, yağış miktarındaki ani değişimler ve iklim değişikliği sebebiyle tarımda verim kaybını arttırmakta, dolayısıyla tarımsal su yönetiminin etkinliği kritik bir öneme sahiptir. Çalışma, sulamanın gıda güvenliği için hayati bir rol oynadığını ortaya koyarak, çeşitli su tasarrufu tekniklerinin uygulanmasını önermektedir. Basınçlı sulama yöntemlerinin yaygınlaştırılması, su kaynaklarının ölçülü kullanılması, kısıtlı sulama uygulamaları ve su iletim sistemlerindeki kayıpların minimize edilmesi gibi yapısal ve teknik çözümler geliştirilmiştir. Ayrıca, iklim değişikliğine adaptasyon için yeni su kaynaklarının bulunması ve mevcut kaynakların etkin kullanımının sağlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, su yönetimine dair yaşanan sorunların ele alınması ve önerilen çözümlerin uygulanması, tarım sektöründe kuraklığın olumsuz etkilerini en aza indirme amacı taşımaktadır.

Tunçok ve Bozkurt (2015), çalışmalarında, Konya Kapalı Havzası'nda bütüncül su kaynakları yönetimini WEAP modeli kullanarak analiz etmiş; havzanın hidrolojik, hidrojeolojik ve iklimsel dinamiklerini bütünleşmiş bir yaklaşımla değerlendirerek, yüzey ve yeraltı su kaynaklarının mevcut ve gelecekteki (2030-2050) durumunu senaryo bazlı modellemiştir. Proje kapsamında, yarı kurak iklim koşullarında yağışın %20-30 azalması, sıcaklık artışı (4-6°C) ve buharlaşmadaki yükselişe bağlı olarak yüzey suyunda %40, yeraltı suyunda ise %54'lük bir azalma öngörülmüş; bu durumun tarımsal su talebiyle (özellikle şekerpancarı, mısır gibi yüksek su tüketen ürünler) çakışması nedeniyle havza su bütçesinde %47'lik bir daralmaya yol açacağı tespit edilmiştir. WEAP modellemesiyle, Mavi Tünel Projesi'nin havzaya yıllık 415.5 hm³ su transfer ederek yüzey suyu açığını kısmen telafi edeceği (gelecekte %41 katkı sağlayacağı), ancak basınçlı sulama teknikleri (damla sulama ile %75-85 tasarruf) ve kuraklığa dayanıklı ürün desenine geçiş olmadan sürdürülebilirliğin sağlanamayacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, yeraltı suyu rezervlerindeki revizyonlar (1978'de 993.4 hm³/yıl iken 2015'te 2023 hm³/yıl) ve kaçak kuyuların (%70) yarattığı baskı, hidrojeolojik dengenin korunması için acil önlem gerektirdiğini ortaya koymuştur. Çalışma, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli veri entegrasyonu ve optimizasyon

prensipleriyle, havza ölçeğinde su-enerji-gıda bağlantısını vurgulayarak politika önerileri sunmaktadır.

Kabay (2019), çalışmasında, hidrolik anabilim dalında tarımsal kuraklığın etkileri ve su yönetimi stratejileri üzerine yoğunlaşmıştır. Araştırmada öncelikle meteorolojik, hidrolik ve tarımsal kuraklık tipleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiş; bu kuraklıkların bitki ve hayvansal üretkenliğe etkileri değerlendirilmiştir. Veri toplama yöntemleri arasında iklim verilerinin analizi, sulama sistemlerinin etkinliği gözlemleri ve üretici görüşmeleri yer almıştır. Araştırma sonucunda, sulama yetersizliklerinin tarımsal verimliliği ciddi ölçüde azalttığı, bunun yanı sıra bilinçsiz sulama uygulamaları ile su kaynaklarının aşırı tüketiminde artış gözlemlendiği bulunmuştur. Önerilen çözümler arasında akıllı sulama sistemlerinin entegrasyonu, yer altı su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve toplumsal bilinçlendirme faaliyetleri yer almıştır. Bu bulgular, tarımsal verimliliği artırmak ve su kaynaklarını korumak için kritik öneme sahiptir ve su yönetimi politikalarının yeniden değerlendirilmesine ışık tutmaktadır. Bu nedenle, önerilen stratejiler ile hem kuraklığın etkileri azaltılabilir hem de tarımsal sürdürülebilirlik sağlanabilir.

Taş ve Yıldırım (2020), çalışmalarında Türkiye'nin en büyük kapalı havzası olan Konya Kapalı Havzası için incelemelerde bulunmuşlardır. Tarımsal kuraklık, canlı yaşamından ekonomik dengelere, çevresel sistemlerden sosyal yapıya kadar geniş bir yelpazede yıkıcı etkilere yol açabilen en önemli doğal afetlerden biridir. Özellikle Konya Kapalı Havzası gibi tarımsal üretimin yoğun olduğu bölgelerde kuraklık, yalnızca ürün kayıplarına değil, aynı zamanda ciddi ekonomik maliyetlere ve su kıtlığına neden olmaktadır. İklim değişikliğiyle birlikte sıcaklıkların artması ve yağışların azalması, bu riski daha da belirgin hale getirmektedir. Bu çalışmalarında, HADGEM2 küresel iklim modeli kullanılarak, Temsili Konsantrasyon Senaryoları (RCP 4.5 ve RCP 8.5) altında 2100 yılına kadar olan dönemdeki aylık yağış verileri Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ile analiz edilmiş ve Konya Havzası'nda gelecekte yaşanabilecek kritik kuraklık dönemleri belirlenmiştir. RCP 4.5 senaryosuna göre 2043-2044, 2046-2047, 2086-2087 ve 2090-2091 yıllarında, RCP 8.5 senaryosuna göre ise 2060-2062, 2072-2074, 2092-2094 ve 2095-2097 yıllarında şiddetli kuraklık dönemlerinin yaşanacağı öngörülmüştür. Bu dönemlerde kuraklığın havza genelindeki dağılımını ve şiddetini gösteren haritalar oluşturularak, riskin boyutları görselleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, özellikle su kaynaklarının

sürdürülebilir yönetimi, kuraklığa dayanıklı tarım tekniklerinin yaygınlaştırılması ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi gibi acil önlemlerin alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, tarımsal üretim desenlerinin gözden geçirilmesi ve su tasarrufu sağlayan modern sulama yöntemlerinin teşvik edilmesi, olası kuraklık etkilerini azaltmada kritik rol oynayacaktır. Bu çalışmaları, iklim değişikliğinin tarımsal kuraklık üzerindeki etkilerini bilimsel verilerle ortaya koyarak, politika yapıcılar, tarım planlamacıları ve çiftçiler için yol gösterici bir kaynak niteliği taşımaktadır. Konya Havzası gibi stratejik bir bölgede alınacak önlemler, yalnızca bölgesel değil, ulusal ölçekte gıda güvenliği ve ekonomik istikrarın korunması açısından da büyük önem taşımaktadır.

Şarlak vd. (2024), Diyarbakır'da 1972 yılında inşa edilen başlangıçta bölgedeki 5800 hektarlık tarım arazisinin sulama ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanan Devegeçidi Barajı'nı incelemişlerdir. Zaman içerisinde baraj gölü, bölgedeki biyoçeşitliliğe önemli katkı sağlayarak göçmen kuşlar ve çeşitli fauna türleri için doğal bir yaşam alanı haline gelmiştir. Ancak operasyonel süreçte, rezervuardaki su seviyelerinin mevsimsel olarak kritik seviyelere düşmesi, bölgenin sulama ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmış ve Dicle Nehri havzasındaki diğer barajlardan destek su transferi ihtiyacını doğurmuştur. Bu araştırmalarında, söz konusu su seviyesi dalgalanmalarını meteorolojik koşullar, hidrolojik döngü ve tarımsal su kullanımı perspektifleriyle çok boyutlu olarak incelenmiştir. Çalışmada, Devegeçidi Barajı'nın 13 yıllık (2008-2021) işletme verileri çok katmanlı istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Rezervuarın hidrolojik davranışını anlamak üzere aylık ortalama su hacmi, giriş debisi ve tüketim miktarları öncelikle Mann-Kendall trend analizine tabi tutulmuş, ardından Bölgesel Ağırlıklı Dağılım Düzleştirme tekniği ile mekansal-zamansal desenler ortaya çıkarılmıştır. Kuraklık etkilerinin niceliksel analizinde ise SPI, Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI) ve kendinden kalibreli Palmer modelleri (sc-PDSI) karşılaştırmalı olarak uygulanmıştır. Tarımsal etki faktörünü belirlemek amacıyla, TÜİK'in ürün verimliliği istatistikleri ile CORINE arazi kullanım verileri entegre edilerek sulama taleplerindeki değişimler haritalandırılmıştır. Bu kapsamlı analitik yaklaşım, su yetersizliği sorununun temelindeki meteorolojik, hidrolojik ve antropojenik faktörlerin etki mekanizmalarını sistematik şekilde ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2.3. Hidrolojik Kuraklıkla İlgili Çalışmalar

Kim ve Chung (2017), çalışmalarında Cheongmicheon Havzasının 1985-2015 yılları arasındaki kuraklık dinamiklerini inceleyerek, bu periyotta meydana gelen en yüksek kuraklık süresini ve şiddetini belirlemişlerdir. Çalışmada, hidrolojik kuraklığın değerlendirilmesi amacıyla SDI yöntemi kullanılmıştır. SDI, özellikle su kaynaklarının planlanması ve kuraklık risklerinin belirlenmesi süreçlerinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu indeks, akarsu debilerindeki mevsimsel ve yıllık değişimleri nicel olarak ortaya koymakta ve uzun süreli debi düşüşlerini kuraklık dönemleri olarak tanımlamaktadır. Özellikle, uzun süre normal debi seviyelerinin altına düşen akım koşulları, SDI kullanılarak hidrolojik kuraklık periyotları olarak tanımlanmıştır. Su kaynaklarının yönetimi ve kuraklık risklerinin modellenmesi açısından kritik bir gösterge olan SDI, özellikle su temini sistemlerinin optimizasyonu, baraj işletme senaryoları ve sulama altyapılarının planlanması gibi mühendislik uygulamalarında önemli bir karar destek mekanizması sunmaktadır. Bu doğrultuda, SDI'nın kullanımı hidrolojik kuraklık tahminlerinin doğruluğunu artırarak, mühendislik ölçeğinde daha etkin ve sürdürülebilir su yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Araştırmanın bulguları, meteorolojik kuraklıkların yağış verileriyle tespit edilebilmesine rağmen, hidrolojik kuraklıkların aynı hızda çözümlenemediğini ortaya koymaktadır. Hidrolojik sistemlerin karmaşıklığını anlamak ve yönetmek için yalnızca meteorolojik değişkenler değil, havza ölçeğindeki hidrolojik süreçler, arazi kullanım değişiklikleri ve su yapılarının işletme politikaları gibi mühendislik parametreleri de dikkate alınmalıdır. Bu durum, yüzey ve yeraltı suyu bileşenleri arasındaki dinamik dengenin, meteorolojik değişkenlerden bağımsız olarak evrilebileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle, yağış miktarındaki artışa rağmen hidrolojik kuraklığın belirli bir süre devam edebildiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve kuraklık risklerinin azaltılması için bütünleşmiş bir yaklaşımın benimsenmesinin önemini vurgulamaktadır.

Kim ve Chung (2018), yaptıkları çalışmalarında, hidrolojik ve meteorolojik kuraklık endekslerini kullanarak kuraklık sürelerini ve kuraklık şiddetinin en yüksek olduğu dönemleri incelemişlerdir. Meteorolojik kuraklık endeksleri, yağış rejimi ve miktarı gibi parametreleri değerlendirirken, hidrolojik endeksler ise akarsu debileri ve yeraltı suyu seviyeleri gibi su kaynakları üzerindeki etkileri analiz etmektedir.

İncelenen analizler, atmosferik koşullar ile su kaynakları arasındaki etkileşimin değerlendirilmesine olanak sağlayarak, havza ölçeğinde kuraklık dinamiklerinin belirlenmesine katkı sunmaktadır. Bu kapsamlı yaklaşım, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve kuraklık risk analizleri açısından önemli mühendislik çıktıları sunmaktadır. Araştırma, kentsel ve kırsal alanların birlikte bulunduğu karma kullanım özelliklerine sahip Cheongmicheon havzasında gerçekleştirilmiştir. Havzanın hem tarımsal üretim yapılan kırsal alanları hem de yoğun yapılaşmanın olduğu kentsel bölgeleri içermesi, insan etkilerinin hidrolojik süreçler üzerindeki rolünü belirleme açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Çalışmada, meteorolojik kuraklığın değerlendirilmesi amacıyla Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) kullanılmış olup, hidrolojik kuraklığın belirlenmesi için Akarsu Akışı Kuraklık İndeksi (SDI) ile karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, hidrolojik süreçlerin detaylı bir şekilde incelenmesine olanak sağlayarak, özellikle akarsu rejimleri üzerindeki kuraklık etkilerinin daha iyi anlaşılmasını mümkün kılmaktadır. SDI ile kullanılan SPI hem meteorolojik hem de hidrolojik kuraklık süreçlerinin bir arada değerlendirilmesine imkân tanımıştır. Analizlerde kullanılan yağış veri seti 32,5 yıllık bir periyodu kapsamakta olup (Ocak 1985-Haziran 2017), bu uzun süreli veri dizisi hidrolojik kuraklık eğilimlerinin ve mekânsal değişim desenlerinin daha sağlıklı bir şekilde belirlenmesine olanak tanımaktadır. Uzun vadeli veri analizi, kuraklık olaylarının mevsimsel, yıllık ve uzun dönemli değişimlerini inceleyerek, su kaynaklarının yönetimi ve kuraklık risklerinin azaltılması konularında önemli bilgiler sağlamaktadır. Araştırmanın sonuçlarına göre, hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklıktan sonra ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Özellikle yağış rejiminde meydana gelen azalmaların ardından akarsu debilerinde ve yeraltı su seviyelerinde düşüşler gözlemlenmiş, bu durum su havzasındaki su depolama süreçlerinin gecikmeli tepki verdiğini ortaya koymuştur. Bu durum, meteorolojik kuraklığın hidrolojik kuraklığı tetiklediğini ve su kaynaklarının giderek azaldığını göstermektedir. Bu bulgu, su kaynaklarının yönetimi ve kuraklık risklerinin azaltılması için daha etkili planlama ve uygulama stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Altın vd. (2020), yaptıkları çalışmada farklı zaman dilimlerini kapsayan 4 meteoroloji istasyonunda 1972-2014, 2 istasyonda 1973-2015 ve diğer 2 istasyonda 1969-2011 yılları arasındaki hidrolojik verileri analiz etmişlerdir. Çalışmada, SDI yöntemi kullanılarak, hidrolojik kuraklığın zamansal ve mekânsal dağılımı belirlenmiştir. SDI analiz sonuçları, en yüksek kurak yıl sayısının Ekim-Aralık

aylarında gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, bu aylarda meydana gelen yağış azalmalarının akarsu debileri ve yeraltı suyu seviyeleri üzerindeki etkilerini ortaya koymakta olup, hidrolojik kuraklık riskinin bu dönemlerde arttığını göstermektedir. Çalışma kapsamında, Seyhan Nehri Havzası'nda yer alan Göksu-H ve Ceyhan Nehri Havzası'ndaki Söğütlü ve Savrun bölgelerinde tüm istasyonlarda orta derecede kuraklık koşulları gözlemlenmiştir. Ancak, belirli bölgelerde kuraklık şiddetinin daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu bulgu, farklı havza bölgelerindeki su kaynaklarının farklı kuraklık düzeylerine maruz kalabileceğini göstermektedir. Kuraklık risklerinin etkin bir şekilde yönetilebilmesi için havza bazlı yaklaşım benimsenmeli, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımı için bütünleşmiş su yönetimi planları geliştirilmelidir. Çalışmada, kuraklık yıllarının büyük bir kısmının ılımlı kuraklık şiddetinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında yaygın olarak gözlenen ılımlı kuraklıklar, tarımsal su kullanımı ve su arz-talep dengesi açısından dikkatle değerlendirilmesi gereken hidrometeorolojik olaylardır. Bu bağlamda, ılımlı kuraklık olaylarının nedenleri ve etkileri üzerine yapılan araştırmalar, su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Vazifekkhah ve Kahya (2019), çalışmalarında KKH'da tarımsal ve hidrolojik kuraklık durumlarını incelemiş ve bu olayların özelliklerini sırasıyla Standartlaştırılmış Toprak Nem İndeksi (SSI) ve Standartlaştırılmış Akarsu Akış İndeksi (SSFI) yöntemlerini kullanarak irdelemişlerdir. Çalışmada, bölgedeki eğilimleri tespit etmek için Modifiye Mann-Kendall (MMK) trend analizi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, 1999 yılından itibaren kuraklık şiddeti ve süresinde artış olduğu belirlenmiştir. MMK testi, SSFI serilerinde farklı zaman ölçeklerinde anlamlı negatif eğilimlerin varlığını ortaya koymuştur. Ayrıca, MMK testi sonuçları, havzanın kuzeyinde belirgin bir trend gözlemlenmezken, güneydoğu (güneybatı) bölgelerinde sırasıyla dikkate değer olumsuz (pozitif) eğilimlerin bulunduğunu göstermiştir.

Ogunjo vd. (2023), Nijer Nehri üzerinde yer alan iki farklı istasyonda uzun yıllara dayanan hidrolojik kuraklık eğilimlerini incelemişlerdir. Hidrolojik kuraklık olaylarının tespiti için SDI uygulanmış ve 1915-1990 yılları arasındaki dönem değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, 3 aylık, 6 aylık ve yıllık zaman dilimleri kullanılarak detaylı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, özellikle 1982-

1984 ve 1983-1984 yıllarında $-2 \leq SDI < -1,5$ aralığında aşırı ve şiddetli kuraklık olaylarının meydana geldiğini ortaya koymuştur. Yıllık ölçekli analizde ise 1971-1990 yılları arasındaki 7. ve 8. on yıllık dönemlerde, her iki istasyonda da önceki on yıllara kıyasla hafif ile aşırı arasında değişen derecelerde daha fazla kuraklık vakası kaydedilmiştir. Özellikle Baro istasyonunda 1974/75'ten 1988/89'a kadar, Lokoja istasyonunda ise 1979/80'den 1988/89'a kadar olan dönemler, en uzun süreli hidrolojik kuraklık periyotları olarak öne çıkmıştır. Gözlemlenen uzun süreli kuraklık olayları ve bunlara eşlik eden yıllık şiddetler, bölgedeki hidrolojik kuraklığın etkilerini hafifletmek amacıyla önlemlerin alınması gerektiğini göstermektedir.

Deger vd. (2023), Kızılırmak Havzası'nın hidrolojik kuraklık durumunu incelemek amacıyla SDI yöntemini kullanmışlardır. Araştırmada, 1, 3, 6 ve 9 aylık zaman ölçekleri dikkate alınmış ve kuraklık süresi ile şiddeti gibi temel parametreler, belirgin kuraklık dönemleri çerçevesinde incelenmiştir. Elde edilen bulgular, hafif kuraklık ve ıslaklık koşullarının ($SDI \geq 0$) havzada en sık gözlemlenen durumlar olduğunu göstermiştir. Özellikle 2000 yılı sonrasında, havzada hem uzun süreli hem de şiddetli kuraklık dönemlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, iklim değişikliği ve insan kaynaklı etkilerin, havza üzerindeki hidrolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyebileceğini düşündürmektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular, kuraklık risklerini minimize edebilmek adına uzun vadeli ve sürdürülebilir bir su kaynakları yönetim planının oluşturulmasının önemini vurgulamaktadır. Artan kuraklık frekansı ve şiddeti göz önünde bulundurulduğunda, havzadaki su yönetimi politikalarının gözden geçirilmesi ve uyarlanabilir stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Öztürk vd. (2023), Kızılırmak Havzası'ndaki meteorolojik ve hidrolojik verileri inceleyerek, havzanın kuraklık koşullarını derinlemesine analiz etmişlerdir. Bu analizde, hidrolojik kuraklık için SDI ve meteorolojik kuraklık için SPI kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, her iki indeksin benzer eğilimler gösterdiğini ve havzadaki kuraklık durumunun bu iki farklı yöntemle doğrulandığını ortaya koymuştur. Özellikle, iki indeksin uyumlu sonuçlar vermesi, kuraklık izlemeleri ve tahminlerinin doğruluğunu artırma adına bu tür metodolojik birleşimlerin etkinliğini vurgulamaktadır. Bu bulgular, kuraklık yönetimi açısından bölgesel stratejilerin geliştirilmesi ve daha kapsamlı değerlendirmeler yapılması gerektiğini de işaret etmektedir.

Literatürde bulunan meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkları konu alan çalışmalar incelendiğinde, KKH'da bu üç kuraklık türünü bir arada değerlendiren ve kuraklık sınıflarının oluşum oranlarını ve kuraklık karakteristiklerini bir arada değerlendiren çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Türkiye'nin en büyük kapalı havzası olan KKH'da kuraklık olayının etkilerinin detaylıca değerlendirilmesi amacıyla bölgede bulunan meteorolojik ve akım gözlem istasyonlarından ortak yıl aralığında elde edilen yağış, sıcaklık ve akım verileri kullanılarak farklı kuraklık türleri analiz edilecektir.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Gereç

Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesi'nde konumlanmış olan Konya havzası, kapalı bir havzadır. Alanı 4.980.534 hektar olan KKH, Türkiye'nin yaklaşık %7'sini kapsar. KKH, kuzeyde Sakarya ve Kızılırmak, doğuda Kızılırmak ve Seyhan, güneyde Doğu Akdeniz, batıda ise Antalya ve Akarçay havzaları tarafından çevrilmiştir.

Anadolu'nun merkezinde yükselen eski bir nehir yatağına dayanan Konya Kapalı Havzası, atmosferik koşulların etkisiyle oluşmuştur. 900 ila 1050 metre arasında değişen rakımlara sahip bu düz ovada, Havza'nın büyük bir kısmı bulunmakta olup, aynı zamanda İç Anadolu Platosu'nun ana bölümünü oluşturmaktadır (TUBITAK-MAM, 2010).

Konya Ovası olarak bilinen bu düzlük, kireç taşı ve 3.534 metreye kadar uzanan volkanik dağlarla çevrilidir, bu da yukarı su tutma havzasını oluşturur. Dağlar, ovayı çevrelediği için Havza'dan gelen suyun denize akmasını engeller. Bu durum, Konya Havzası'nın dünya genelinde nadir bulunan bir özelliği olan denize su deşarj etmeyen bir kapalı havza olmasına neden olur.

Türkiye'nin 25 akarsu havzasından biri olan Konya Kapalı Havzası, ülkemizin yaklaşık %7'sini oluşturan bir alanı kaplar. Havza, coğrafi konumu gereği Türkiye'nin yağışın en az olduğu bölgelerinden biridir.

Konya Kapalı Havzası'nın yıllık ortalama yağış yüksekliği 417 mm ve yıllık ortalama akışı ise 191,53 m³/s'dir. Havzadaki yıllık ortalama verim, kilometrekare başına 3,39 L/s olarak hesaplanırken, akışın yağışa oranı 0,26'dır. Ayrıca, havzanın iştirak oranı %3,29'dur.

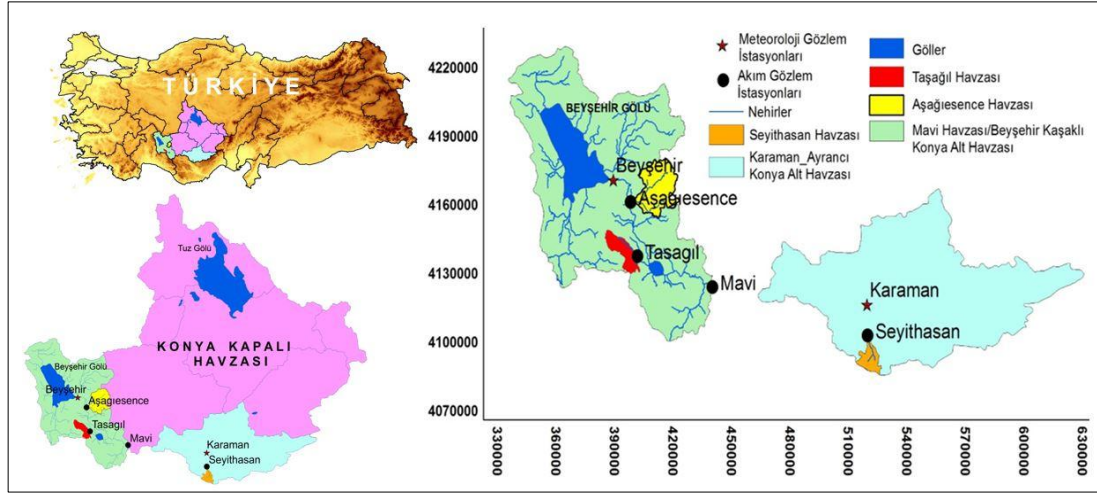
Havza içindeki yıllık su kaynağı 4,365 milyar m³ seviyesindedir, ancak yıllık su tüketimi 6,5 milyar m³ düzeyindedir. Su hacminin yaklaşık %90'ı tarımsal sulama amaçları için kullanılmaktadır. Havza'nın su bütçesinde yıllık olarak 2 milyar m³'lük bir açık olduğu gözlemlenmektedir. Bu su bütçesi açığının büyük bir kısmı, yeraltı suyunun statik rezervlerinden karşılanmaktadır. Dolayısıyla yeraltı su depoları hızla tükenmektedir. Bu durum, Havza'nın tarımsal ve çevresel sürdürülebilirlikten hızla uzaklaşmasına sebebiyet vermektedir.

Konya Kapalı Havzası, Aksaray, Ankara, Antalya, Isparta, Mersin, Konya, Kahramanmaraş, Nevşehir ve Niğde illerini kapsamaktadır. Bu illerin havza sınırları içinde kalan alanlarıyla ilgili detaylar aşağıdaki Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Konya Kapalı Havzası alanı dağılımı ile ilgili bilgiler

İller	Toplam Alan (Ha)	İlin Havza İçindeki Alanı (Ha)	Havzanın İllere Göre Dağılımı (%)	İl Alanının Havzaya Giren Kısım (%)
Aksaray	799.700	682.879	%14	%85
Ankara	3.071.500	213.963	%4	%7
Antalya	2.072.300	33.690	%1	2%
Isparta	893.300	123.978	%2	%14
Mersin	1.585.300	35.405	%1	%2
Konya	3.825.700	2.810.988	%56	%73
Karaman	959.000	572.668	%12	%60
Nevşehir	546.700	64.619	%1	%12
Niğde	1.429.400	440.467	%9	%31

KKH sınırları içerisinde çok sayıda meteoroloji gözlem istasyonu bulunmasına karşılık, akım gözlem istasyonlarının sayısı oldukça azdır. Bölgede şu an işletilmekte olan ve düzenli ölçüm verisi bulunan akım gözlem istasyonlarının toplanma havzaları belirlenmiş ve bu havzaların sınırları içerisinde kalan meteoroloji gözlem istasyonlarıyla akım gözlem istasyonları verileri kullanılarak alt havzaların meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkları ortak yıl aralığında analiz edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma bölgesinde incelenen istasyonların mekânsal dağılımı

Konya ilinin güneybatısında yer alan Konya Kapalı Havzası'nda bulunan en önemli akarsulardan biri, Çarşamba Çayı'dır. Çarşamba Çayı, doğu tarafındaki Pınarcık köyü civarında Beyşehir Kanalı ile birleşerek Beyşehir Gölü'ne dökülür. Aksaray'ın Melendiz Dağları'ndan doğan Melendiz Çayı, Konya Kapalı Havzası'ndaki diğer önemli akarsulardan biridir. Belisırma ve Ilısu Dereleri ile birleştikten sonra Tuz Gölü'ne ulaşır. Aksaray'ın temel su kaynağı olan ve şehrin içme suyu ile sulama suyu gereksinimini karşılayan Mamasın Baraj Gölü, Melendiz Çayı üzerine kurulmuştur. Havzada, Tuz Gölü ve Beyşehir Gölü olmak üzere iki temel göl bulunmaktadır.

Konya Kapalı Havzası'nda, su kaynaklarının yönetimi açısından kritik öneme sahip olan dokuz hidrolojik alt havza tespit edilmiştir. Bunlar Çizelge 3.2.'de sunulmuştur. Yürütülen tez çalışması kapsamında Şekil 3.1'de görüleceği üzere Beyşehir ve Karaman alt havzalarının kuraklıkları değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.2. Hidrolojik alt havza detayları

Alt Havza Kodu	Alt Havza Adı	Yüzölçümü (km ²)
16-1	Beyşehir	7.308
16-2	Konya Çumra	8.737
16-3	Karaman Ayrancı	6.116
16-4	Niğde Ereğli Bor	6.021
16-5	Aksaray	10.569
16-6	Altınekin	1.615
16-7	Cihanbeyli Yeniceoba Kulu	4.314
16-8	Şereflikoçhisar	1.463
16-9	Misli	1.672

Çizelge 3.3. Gözlem istasyonları detayları

İSTASYON NO	İSTASYON ADI	BULUNDUĞU İL	KOORDİNAT		RAKIM (m)	İŞLETME İDARE	YAĞIŞ ALANI (km ²)
			Kuzey	Doğu			
D16A003	Mavi	Konya-Cihanbeyli	37°15'34"	32°19'33"	918	DSİ	6416
D16A078	Taşağıl	Konya-Çumra	37°22'41"	31°53'29"	1095	DSİ	111,8
D16A101	Aşağıesence	Konya-Beyşehir	37°35'25"	31°50'53"	1111	DSİ	376,8
D16A117	Seyithasan	Karaman	37°4'14"	33°13'18"	1140	DSİ	124,4
17242	Beyşehir	Konya-Beyşehir	37°40'39"	31°44'46"	1141	MGM	-
17246	Karaman	Karaman	37°11'35"	33°13'12"	1018	MGM	-

Çalışmada Kullanılan Veriler

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından Beyşehir ve Karaman istasyonlarının 1985-2022 yılları arası (38 yıl) aylık toplam yağış verileri temin edilmiştir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı, Rasatlar Şube Müdürlüğü tarafından Mavi, Taşağıl, Aşağı Esence, Seyit Hasan akım gözlem istasyonlarının 1985-2022 yılları arası (38 yıl) aylık ortalama akım verileri temin edilmiştir.

İklim

Konya Kapalı Havzası, coğrafi konumu dolayısıyla Türkiye'nin en az yağış alan bölgelerinden biridir ve genellikle yarı kurak iklimin etkisi altındadır. Havza'nın çoğunda yıllık ortalama yağış miktarı 300-350 mm civarındadır ve bu, Türkiye genelindeki ortalama yağış miktarının (740 mm) neredeyse yarısı kadardır. Buna ek olarak, uzun yıllar boyunca Havza'ya düşen yağış miktarlarında, son 30 yılda yıllık ortalama 10-25 mm arasında bir azalma görülmüştür. Bu durum, bölgenin iklim karakterinin yarı kurak iklimden kurak iklime doğru kaydığına işaret etmektedir (Şen ve Başaran, 2007).

Demografik Yapı

Konya Kapalı Havzası, 1970'lerde 1,5 milyonun üzerinde bir nüfusa ev sahipliği yaparken, günümüzde şehirde 2.150.514 kişi, kırsalda ise 618.915 kişi yaşamaktadır. Toplamda, Havza'da 2.768.900 kişi yaşamaktadır, bu da Türkiye nüfusunun %4'üne denk gelmektedir.

TÜBİTAK-MAM (Marmara Araştırma Merkezi) Tahmin Senaryosu ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'na göre, Havza bölgesindeki nüfusun 2040

yılına doğru 3,5 milyonu aşması bekleniyor. Ancak, KOP (Konya Ovası Projesi) bölgesi illeri, nüfus artış hızı bakımından Türkiye genelindeki ortalamanın altında seyrediyor. Bölgede düzenli olarak dışarıya göç veriliyor ve kırsaldan kente yönelik bir göç eğilimi gözleniyor. Toplam nüfusun arttığı bir dönemde olmasına rağmen, artış oranı Türkiye ortalamasının gerisinde kalıyor.

3.2. Yöntem

Meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın nicel olarak değerlendirilmesi amacıyla literatürde farklı indeksler geliştirilmiş olup, bu indeksler analiz amaçlarına göre çeşitli meteorolojik ve hidrolojik parametrelere dayanmaktadır. Bu çalışma kapsamında kuraklık analizleri, yağış verilerini kullanarak meteorolojik kuraklık koşullarını değerlendiren SPI, tarımsal kuraklığın belirlenmesinde kullanılan ve su-besin dengesi ilişkisini dikkate alan aSPI ve akım verilerine dayalı olarak hidrolojik kuraklık durumunu ortaya koyan SDI yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. aSPI yöntemi, sulama suyu ihtiyacının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan CropWat modeli ile entegre şekilde çalışarak tarımsal üretim üzerindeki su stresi koşullarını daha ayrıntılı biçimde yansıtmaktadır. Böylece, çalışmada meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık bileşenleri bir arada değerlendirilmiş ve çok yönlü bir kuraklık analiz yaklaşımı benimsenmiştir.

Tarımsal kuraklığın değerlendirilmesinde kullanılan aSPI, klasik SPI yaklaşımının tarımsal su gereksinimlerine uyarlanmış bir türevidir. SPI yalnızca yağış verisine dayanırken, aSPI, bitkisel su ihtiyacını da dikkate alarak su arz-talep dengesine dayalı daha kapsamlı bir değerlendirme sunar. Özellikle uzun süreli negatif aSPI değerleri, kuraklık şiddetinin arttığını ve tarımsal üretimde verim düşüşlerinin olasılığını ortaya koymaktadır.

aSPI'nin kullanımı, sadece yağış verisi ile yapılan klasik değerlendirmelere kıyasla daha tarım odaklı ve gerçekçi sonuçlar sunmaktadır. Yağışın yalnızca miktarı değil, ne zaman ve hangi büyüklükte gerçekleştiği ile bitkisel gelişim dönemine denk gelip gelmediği gibi hususlar da bu yöntemde dikkate alınmaktadır. Bu sayede, özellikle sulamaya bağımlı tarım alanlarında, iklimsel su arzı ile tarımsal su talebi arasındaki dengesizlikler daha doğru bir şekilde analiz edilebilmektedir.

3.2.1. Standartlaştırılmış yağış indeksi

Meteorolojik kuraklık koşullarının nicel olarak analizinde kullanılan ve yalnızca yağış verilerine dayalı olarak geliştirilen SPI, McKee ve vd., (1993) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu indeksin hesaplanmasında, belirli bir zaman ölçeğinde gözlenen yağış miktarının, uzun dönemli iklim normallerine göre hesaplanan ortalama yağıştan sapmasının, ilgili periyodun standart sapmasına oranlanması esas alınmaktadır. Söz konusu yöntem Denklem 3.1.'de belirtilmiş olup, zamansal yağış anomalilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (McKee vd., 1993; Turgu vd., 2015).

$$SYI = \frac{x_{ij} - x_{im}}{\sigma} \quad (3.1.)$$

Burada; x_{ij} , i. yağış istasyonundaki j. gözlemdaki aylık yağışı, x_{im} , uzun dönemli yağış ortalamasını ve σ standart sapmayı ifade etmektedir.

SPI değerinin negatif olduğu dönemler, meteorolojik kuraklık koşullarının yaşandığı zaman aralıkları olarak kabul edilmektedir; pozitif değerler ise normallerin üzerinde yağış alan nemli dönemleri temsil etmektedir. Belirli bir zaman dilimi boyunca SPI değerinin sürekli olarak sıfırın altında seyretmesi, söz konusu dönemin kurak dönem olarak tanımlanmasına olanak tanımaktadır (Gümüş vd., 2016). McKee ve arkadaşları (1994) tarafından geliştirilen sınıflandırmaya göre, SPI değerleri doğrultusunda hidroklimatik koşullar farklı kuraklık ve nemlilik kategorilerine ayrılmıştır. Bu sınıflandırma, Çizelge 3.4'te ayrıntılı biçimde sunulmaktadır.

Çizelge 3.4. SPI değerlerinin sınıflandırılması (McKee ve vd. (1993); Kömüşçü vd. (2002); Vermes vd. (1998))

SPI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırılması
$2.0 < SPI$	Aşırı yağışlı (AY)
$1.5 < SPI \leq 2.0$	Şiddetli yağışlı (ŞY)
$1.0 < SPI \leq 1.5$	Orta yağışlı (OY)
$0 < SPI \leq 1.0$	Hafif yağışlı (HY)
$-1.0 < SPI \leq 0$	Hafif Kurak (HK)
$-1.5 < SPI \leq -1.0$	Orta kurak (OK)
$-2.0 < SPI \leq -1.5$	Şiddetli kurak (ŞK)
$-2.0 \geq SPI$	Aşırı kurak (AK)

SPI hesaplamalarında güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için, minimum 30 yıllık süreklilik arz eden, aylık çözünürlükteki yağış verilerinden oluşan zaman serileri kullanılmaktadır. Bu seriler temel alınarak 3, 6, 12, 24 ve 48 aylık kümülatif periyotlar

üzerinden indeks değerleri türetilmektedir. Zaman ölçeğinin farklılaştırılması, atmosferik su döngüsündeki bileşenlerin kuraklık koşullarına verdikleri tepki sürelerini ayırt etmeye olanak tanımaktadır. Örneğin, kısa süreli SPI analizleri (ör. 3 aylık) tarımsal kuraklığın izlenmesinde etkin olurken; daha uzun süreli periyotlar (ör. 24 ya da 48 aylık) hidrolojik kuraklığın, özellikle yüzey suyu ve yeraltı suyu rezervleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için tercih edilmektedir. SPI hesaplamalarında, her ay için indeks değeri belirlenirken, o ay ve öncesine ait yağış verilerinin kümülatif yapısı dikkate alınmakta ve bu değerlerin istatistiksel parametrisasyonu doğrultusunda indeks değeri oluşturulmaktadır (Turgu vd., 2015).

3.2.2. Tarımsal standartlaştırılmış yağış indeksi

McKee et al. (1993) tarafından geliştirilen SPI yöntemi; Tigkas et al. (2019) tarafından tarımsal kuraklık analizlerinde kullanılmak üzere modifiye edilmiştir. Tarımsal Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Agricultural Standardised Precipitation Index-aSPI) olarak adlandırdıkları bu yöntemin SPI yönteminden farkı kuraklık analizlerinde SPI toplam yağış değişkenini kullanırken aSPI yöntemi ise yağışın toprakta kalan ve ürünlerin yetişmesine katkıda bulunan miktarı olarak ifade edilen etkili yağışı (Pe) kullanmaktadır. Çalışma kapsamında aSPI için etkili yağış, Denklem 3.2. takımında verilen USDA Soil Conservation Service Method (USDA-SCS) CROPWAT modeli kullanılarak elde edilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} P \leq 250 \text{ mm} &\Rightarrow Pe = (P(125 - (0.2P)) / 125) \\ P > 250 \text{ mm} &\Rightarrow Pe = 125 + 0.1P \end{aligned} \right\} \quad (3.2.)$$

Burada; P, aylık toplam yağış (mm); Pe, aylık etkili yağış (mm)'dir.

SPI yönteminin modifikasyonu ile elde edilmiş olan aSPI yöntemi SPI ile benzer standardizasyonu kullanmaktadır. aSPI; etkili yağış zaman serisinin olasılık yoğunluk fonksiyonuna uydurulması yoluyla normal dağılıma dönüştürülerek elde edilir. Etkili yağış serileri çoğunlukla Gama olasılık yoğunluk fonksiyonuna uydurulmaktadır (Tigkas et al., 2022). aSPI değerlerinin Gama olasılık yoğunluk fonksiyonuna uydurularak elde edilmesi aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (3.3.)$$

Burada α ve β ölçek ve şekil parametrelerini ($\alpha > 0$; $\beta > 0$), x ise Pe 'yi ifade eder ($x > 0$). Gamma fonksiyonu ($\Gamma(\alpha)$):

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (3.4.)$$

α ve β parametrelerinin optimum değeri şöyle bulunur:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right), \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (3.5.)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (3.6.)$$

Burada; n, etkili yağış serisinin kayıt uzunluğunu, yani toplam kayıt yılı sayısını gösterir. Belirli bir j ayı için kümülatif olasılığı hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılır

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (3.7.)$$

$t = \frac{x}{\beta}$ olarak alındığında, Eşitlik 3.6. eksik gama fonksiyonuna dönüşür:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (3.8.)$$

Gamma dağılımının $x = 0$ için tanımlı olmadığı göz önüne alındığında sıfır etkili yağışın (q) kümülatif olasılığını hesaba katmak için aşağıdaki formülasyon kullanılır

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (3.9.)$$

aSPI'nın hesaplanması için kümülatif olasılık dağılımı aşağıdaki yaklaşım kullanılarak normal dağılıma dönüştürülür.

$$aSPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (3.10.)$$

$$\text{burada } t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{H(x)^2} \right)}$$

$$aSPI = \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), 0.5 < H(x) \leq 1.0 \quad (3.11.)$$

$$\text{burada } t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{[1 - H(x)^2]} \right)}$$

Verilen sabitler ise; $C_0=2.515517$, $C_1= 0.802853$, $C_2=0.010328$, $d_1=1.432788$, $d_2=0.189269$, $d_3=0.001308$. Kuraklık şiddetlerinin sınıflandırılması Çizelge 3.3'e göre yapılarak yorumlanacaktır.

Çizelge 3.5. aSPI değerlerinin sınıflandırılması

aSPI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırılması
$2.0 < \text{aSPI}$	Aşırı yağışlı (AY)
$1.5 < \text{aSPI} \leq 2.0$	Şiddetli yağışlı (ŞY)
$1.0 < \text{aSPI} \leq 1.5$	Orta yağışlı (OY)
$0 < \text{aSPI} \leq 1.0$	Hafif yağışlı (HY)
$-1.0 < \text{aSPI} \leq 0$	Hafif Kurak (HK)
$-1.5 < \text{aSPI} \leq -1.0$	Orta kurak (OK)
$-2.0 < \text{aSPI} \leq -1.5$	Şiddetli kurak (ŞK)
$-2.0 \geq \text{aSPI}$	Aşırı kurak (AK)

3.2.3. Akım kuraklık indeksi

Nalbantis (2008) tarafından geliştirilen Akım Kuraklık İndeksi (SDI-Streamflow Drought Index-SDI) yöntemi ile bir çalışma bölgesindeki hidrolojik kuraklığın tarihsel değişimi belirlenebilmektedir. Bu yöntem ile aylık akım verileri ($Q_{i,j}$) kullanılarak kuraklık indisi hesaplanmaktadır. Burada i , hidrolojik yılı, j ise Ekim-Eylül arasındaki zaman olarak tanımlanan hidrolojik yıl içerisindeki ayı temsil etmektedir. Kümülatif akım hacmi, 3, 6 ve 12 aylık zaman periyodları için sırasıyla Denklem 3.12., 3.13. ve 3.14'te verildiği gibi hesaplanır.

$$V_{i,j} = \sum_{j=3(k-1)+1}^{3k} Q_{i,j}, \quad k=1,2,3,4 \quad (3.12.)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=6(k-1)+1}^{6k} Q_{i,j}, \quad k=1,2 \quad (3.13.)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=1}^{12} Q_{i,j} \quad (3.14.)$$

Denklemlerdeki k , referans periyodu ifade eder ve Denklem 3.12.'de $k=1$ Ekim-Aralık (SDI 3-Dec), $k=2$ Ocak-Mart (SDI 3-Mar) $k=3$ Nisan-Haziran (SDI 3-Jun), $k=4$ ise

Temmuz-Eylül (SDI 3-Sep) dönemlerini temsil eder. Denklem 3.13.'de $k=1$ ve $k=2$ sırasıyla ilk 6 ay (SDI 6-Mar) ve son 6 aylık (SDI 6-Sep) periyodları, Denklem 3.14. ise yıllık kuraklık indis değerini (SDI 12) ifade etmektedir.

Referans periyot k ve i 'inci hidrolojik yıl için SDI aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k}, \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (3.15.)$$

Burada, V_k ve S_k sırasıyla kümülatif akım hacimlerinin ortalamasını ve standart sapmasını temsil eder. SDI değerleri Hong vd. (2015) tarafından aşırı nemli ile aşırı kuraklık arasında değişen sekiz farklı sınıfta ifade edilmiştir. Bu sınıflandırma Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5. SDI değerlerinin sınıflandırması Hong vd. (2015)

SDI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırılması
$2.0 < SDI$	Aşırı yağışlı (AY)
$1.5 < SDI \leq 2.0$	Şiddetli yağışlı (ŞY)
$1.0 < SDI \leq 1.5$	Orta yağışlı (OY)
$0 < SDI \leq 1.0$	Hafif yağışlı (HY)
$-1.0 < SDI \leq 0$	Hafif Kurak (HK)
$-1.5 < SDI \leq -1.0$	Orta kurak (OK)
$-2.0 < SDI \leq -1.5$	Şiddetli kurak (ŞK)
$-2.0 \geq SDI$	Aşırı kurak (AK)

3.2.4. Run teorisi

Kuraklığın zamansal analizine ek olarak, kuraklık özelliklerinin değerlendirilmesi kuraklığın daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını kolaylaştırır. (Yevjevich, 1967) tarafından geliştirilen "run teorisi", kuraklık özelliklerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir metodolojidir. Kuraklık analizinde, "şiddet" (S), "süre" (D), "yoğunluk" (I) ve "zirve" (P) terimleri kuraklığın en temel özelliklerini temsil eder. Bu terimler sırasıyla kuraklık dönemindeki toplam yağış açığını veya yağış eksikliğini, kuraklığın uzunluğunu, en küçük negatif veya en büyük pozitif değeri ve kuraklığın yoğunluğunu tanımlar. Kuraklığın yoğunluğu, toplam yağış açığının kuraklığın süresine bölünmesiyle hesaplanır. Bu son terim, kuraklığın süresine göre bir oran olarak ifade edilen kuraklığın yoğunluğuna aittir. Kuraklığın sona erdiğini tespit etmek için endeks değerinin pozitif olması, yağışın varlığını

göstermesi gerekir. Kuraklığın bu tanımlayıcı özelliklerine ek olarak, kuraklıktan etkilenen alanın kapsamını değerlendirmek ve belirlemek de büyük önem taşımaktadır. Kuraklıktan etkilenen alanın belirlenmesi ve zaman içindeki değişikliklerin belirlenmesi, kuraklığın bir zaman serisi olarak analiz edilmesini ve etkilenen alanın değerlendirilmesini kolaylaştıracaktır. Sonuç olarak, önerilen önlemlerin etkinliği ve bunlara atfedilecek önem düzeyi artacaktır.

3.2.5. Korelasyon analizi

Yıllık atmosferik indis değerleri ile yıllık kuraklık ve yağış kayıtları arasındaki ilişki Eşitlik 3.16. ile ifade edilen Pearson Korelasyon Katsayısı aracılığı ile incelenmiştir.

$$r_{X,Y} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{NS_X S_Y} \quad (3.16)$$

Korelasyon katsayılarının istatistiksel değerlendirmesi ise Eşitlik 3.17.'de belirtilen t testi kullanılarak $\alpha=0.05$ önem seviyesi için değerlendirilecektir.

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3.17)$$

r korelasyon değerini ve N veri sayısını ifade etmektedir.

4. BULGULAR

4.1. Kuraklık Analiz Sonuçları

Kuraklığın mekânsal ve zamansal yapısını anlamaya yönelik olarak SPI, aSPI ve SDI göstergeleri üzerinden gerçekleştirilen analizlerde, kuraklık ve nemlilik olaylarının frekansları ile farklı kuraklık sınıflarının oluşum yüzdeleri belirlenmiştir. Run teorisi aracılığıyla hesaplanan kuraklık süresi, şiddeti ve büyüklüğü gibi karakteristikler saptanmıştır. Korelasyon analizi yardımıyla kuraklık türleri arasındaki geçişler belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1.1. *Beyşehir alt havzası meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığın değerlendirilmesi*

Beyşehir ve Mavi İstasyonlarının Kuraklıklarının Değerlendirilmesi

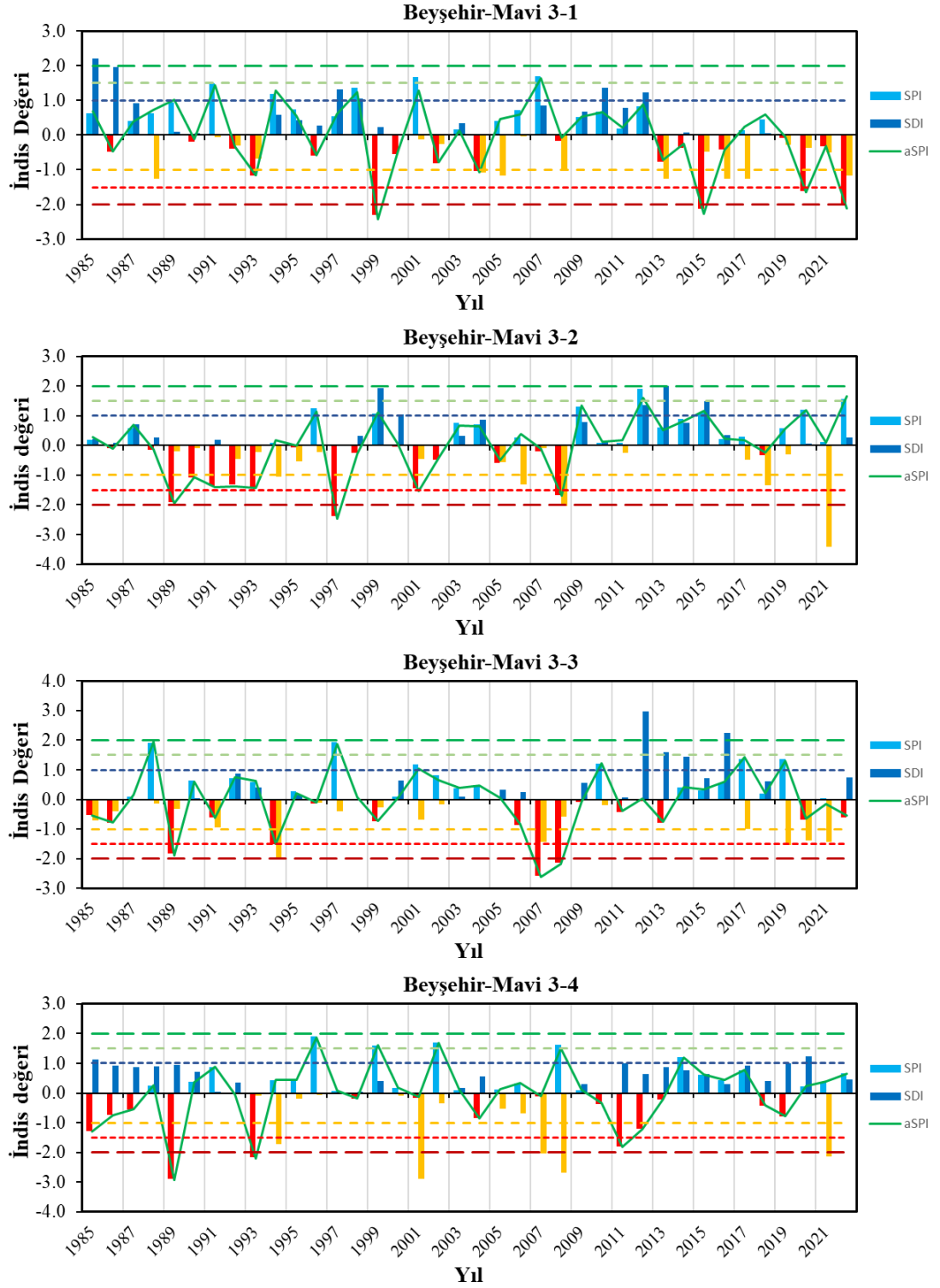
Beyşehir meteoroloji gözlem istasyonunda 1985-2022 yılları arasında gözlemlenen aylık toplam yağış verileri kullanılarak 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçekleri için SPI, aSPI değerleri periyodik olarak hesaplanmıştır. Beyşehir meteoroloji gözlem istasyonunun ile eş zamanlı gözleme sahip Beyşehir alt havzasında bulunan Mavi akım gözlem istasyonundan temin edilen aylık akım değerleri dikkate alınarak ise SDI değerleri elde edilmiştir. SPI, aSPI ve SDI değerlerinin 1985-2022 gözlem periyodundaki 3 aylık zaman ölçeği için hesaplanan şiddetlerinin zamansal değişimi Şekil 4.1’ de verilmiştir. Şekil, 4.2’ de ise 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde periyodik olarak hesaplanan SPI, aSPI ve SDI şiddetlerinin 1985-2022 gözlem periyodundaki zamansal dağılımı görülmektedir. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere; Beyşehir ve Mavi istasyonlarında 3-1 zaman ölçeğinde (Ekim-Kasım- Aralık) tüm gözlem periyodu dikkate alındığında 2013-2022 yılları arasında, meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığın şiddetini artırdığı tespit edilmiştir. Meteorolojik ve tarımsal kuraklık ilişkisi bakımından SPI ve aSPI dağılımlarının salımlarının çok benzer olduğu görülmektedir. SDI değerlerinin zamansal dağılımı ise kuraklık oluşumu bakımından farklılık göstererek, SPI ve aSPI değerlerine göre daha küçük şiddetlerde temsil edilmiştir. Bu durumda 2013-2022 yılları arasında SDI değerleri dikkate alındığında, yağış akış ilişkisi bakımından meteorolojik ve tarımsal kuraklık oluşumlarının kuraklığa çok hızlı ve şiddetli tepki vermiştir. Hidrolojik kuraklığın yeraltı akışı vb. durumlar nedeniyle

belli bir akış potansiyeline sahip olması hidrolojik kuraklık şiddetinin azalmasına neden olduğu düşünülmüştür. 1985- 2013 döneminde ise yine SPI ve aSPI kuraklık oluşumlarının benzer tavır sergilediği görülmüştür.

Ocak-Şubat-Mart aylarını kapsayan 3-2 periyodik döneminde; 1989 ile 1995 yılları arasında meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık belirgin olarak yaşanmıştır. SPI ve aSPI şiddetleri benzer salınım gösterirken, SDI şiddetlerinin 3-1 döneminde olduğu gibi SPI ve aSPI şiddetlerine göre farklı dağılıma sahip olduğu görülmektedir 2012-2018 yıllarında, SPI, aSPI ve SDI dağılımları oldukça benzer olup bu dönemde nemliliğin hâkim olduğu dikkat çekmektedir. Ocak-Şubat-Mart aylarının yağışların yüksek olduğu aylar olması meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık arasındaki ilişkiyi arttırdığı söylenebilir.

Nisan-Mayıs-Haziran dönemini temsil eden 3-3 periyodik döneminde; SPI, aSPI değerleri arasındaki ilişki yine dikkat çekmektedir. 2013-2019 yılları arasında SDI indis değerlerinin büyüklüğünün arttığı dikkat çekmektedir. Bu dönemlerde kar yağışının fazla olduğu ve kar erimesine bağlı yüzey akış miktarının artması sonucu SDI şiddetlerinin büyümesi ve dolayısıyla nemliliğin arttığı düşünülebilir. 2006-2009 yılları arası kurak olayların ardışık olarak yaşandığı dönem olmuştur.

Temmuz-Ağustos-Eylül 3-4 periyodik döneminde 1985-2022 periyodunda kurak ve nemli dönemlerde SPI ve aSPI arasındaki doğrusal ilişki hemen göze çarpmaktadır. SDI yönteminin 2013-2022 yılları dışında, SPI ve aSPI yöntemlerine göre çok farklı bir dağılım sergilediği görülmektedir. Örneğin, 1985-1989 yılları arasında SPI ve aSPI değerleri incelendiğinde kuraklık söz konusu iken, bu dönemde SDI şiddetlerinin pozitif değerlerle temsil edilmesi hidrolojik kuraklığın söz konusu olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.1. Beyşehir-Mavi istasyonları 3 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri

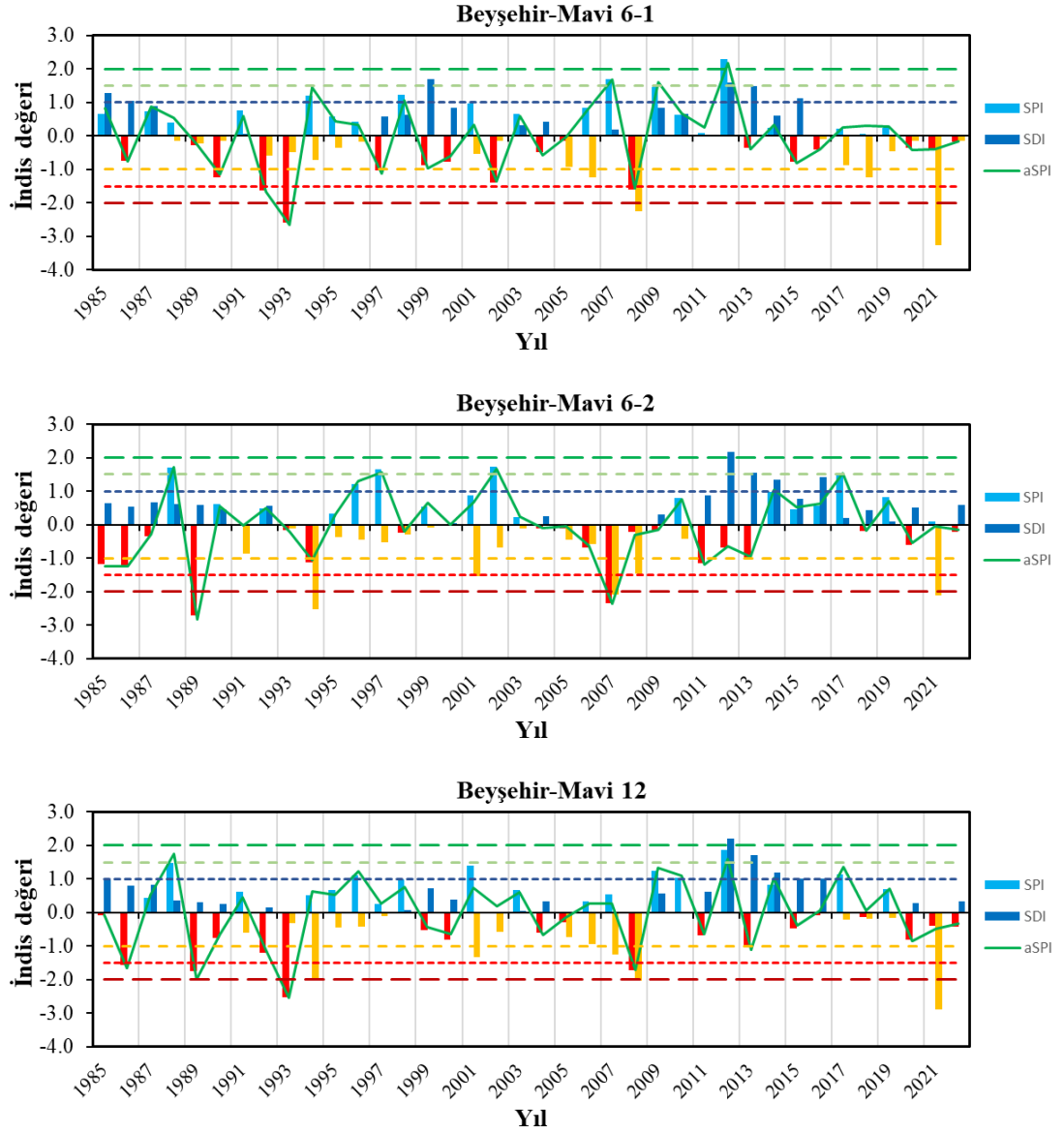
Şekil 4.2 incelendiğinde, Beyşehir ve Mavi gözlem istasyonlarında 6-1 dönemi (Ekim-Kasım-Aralık-Ocak-Şubat-Mart) kapsamında, tüm gözlem periyodunda (2013-2022) SPI ve aSPI arasındaki yüksek korelasyona karşı, SDI yöntemi diğer dönemlerde olduğu gibi farklı bir dağılıma sahiptir. Ekim-Mart periyodunda SDI yönteminin SPI ve aSPI ile uyumsuzluğu söz konusudur. Ancak, kuraklığın ve

nemliliğin büyük şiddetlerde ardışık olarak yaşandığı sırasıyla 1992-1994 ve 2009-2013 yıllarında yöntemler arasında korelasyonun arttığı da dikkat çekmiştir.

Nisan-Mayıs-Haziran-Temmuz-Ağustos-Eylül ait veriler incelendiğinde, 2005-2009 yılları arasında kuraklık koşullarının belirgin şekilde etkili olduğu görülmektedir. Buna karşılık, 2014-2020 arası süreçte nemli koşulların baskın olduğu anlaşılmaktadır. Bu dönemde hidrolojik kuraklığın yağış akış oluşumundaki süreçlere bağlı olarak, meteorolojik ve tarımsal kuraklıkla korelasyonu oldukça azdır. Zaman ölçeğinin büyümesiyle yağış akış gecikmesine bağlı olarak SDI yönteminin diğer yöntemlerle olan ilişkisinin azaldığı düşünülmektedir.

12 aylık zaman dilimini kapsayan analizlerde (Ekim-Eylül), tüm kuraklık indekslerinin değerlerinde nemli ve kurak dönemler arasında geçişlerin oldukça kısa aralıklarla gerçekleştiği dikkat çekmektedir. 2012-2017 yılları arasında bölge genelinde yağışlı koşullar hâkimken yöntemlerin bu periyodu nemli olarak sınıflandırdığı görülmektedir. Ancak, 2017 sonrası dönemde yağış ve akım miktarlarında azalma eğilimi söz konusu olmuştur. Üç yönteminde bu dönemde uyumlu dağılım gösterdiği söylenebilir.

Genel olarak 3(1-4) zaman ölçekleri değerlendirildiğinde, aSPI ve SPI indekslerinin aralarındaki yüksek korelasyon nedeniyle zamansal dağılımlarının benzer olduğu görülmektedir. Eş zamanlı yapılan bu çalışmada; SDI yönteminin SPI ve aSPI yöntemine göre kuraklık şiddetlerinin zamansal dağılımında daha büyük farklılıklar mevcuttur.



Şekil 4.2. Beyşehir-Mavi istasyonları 6 ve 12 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri

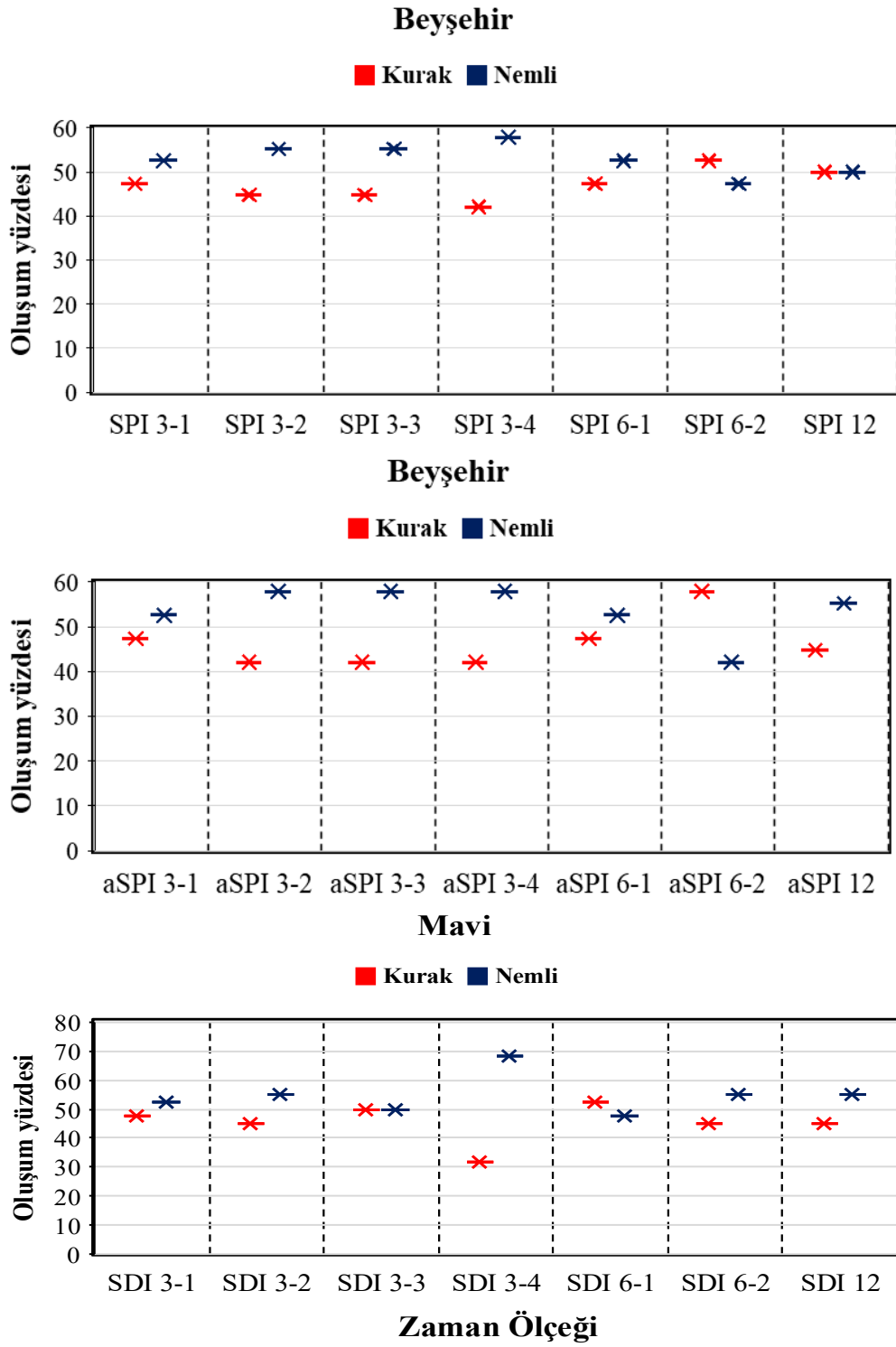
Şekil 4.3'te, Beyşehir istasyonunda SPI ve aSPI kuraklık indisleri ile Mavi istasyonunda SDI kuraklık indisine göre 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçekleri için kurak ve nemli durumların oluşma yüzdeleri görülmektedir. Beyşehir istasyonunda SPI yöntemi ile 3 aylık zaman ölçeğinde tüm dönemlerde kuraklık oluşum yüzdesi %50'den az olmuştur. 6 aylık zaman ölçeğinin birinci döneminde (Ekim-Haziran) kuraklık oluşum yüzdesi %47 iken 6 aylık zaman ölçeğinin ikinci döneminde ise %53 olmuştur. Buradan anlaşılabacağı üzere bitkilerin ekilme ve gelişim dönemini kapsayan aylarda kuraklık oluşumu nemli oluşumundan daha fazladır. 12 aylık zaman ölçeğinde de kuraklık oluşum oranı nemli oluşum oranıyla aynıdır.

Tarımsal kuraklık oluşumlarında incelendiğinde, tüm zaman ölçeklerini kapsayan periyotta sadece aSPI 6-2’de kuraklık oluşum oranı nemli oluşumundan daha büyüktür. Nisan-Eylül aylarını temsil eden bu dönemlerde kuraklığın artma sebebinin yağışların azalmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Hidrolojik kuraklıkta Mavi akım gözlem istasyonları serileri dikkate alındığında SDI 6-1’de kuraklık oluşumu %50’den büyük olmuştur. SDI (3-4)’de kurak ve nemli oluşum oranları arasındaki fark en büyüktür. Bu dönemde yağışların şiddetinin yüksek olduğu ve yağışların fazla gecikme yaşamadan yüzey akışa geçerek akım değerlerini artırdığı, dolayısıyla SDI indeksine bu durumun nemlilik olarak yansıdığı düşünülmektedir. Diğer zaman ölçeklerine bağlı periyodik dönemlerde ise kurak ve nemli oluşum oranlarının birbirine çok yakın olduğu bulunmuştur.

Nitekim, aSPI’de kurak ve nemli durumların oluşum oranları arasındaki fark, SPI ve SDI’ya göre daha fazladır. SPI ve aSPI yöntemleri arasındaki eş zaman ölçeklerindeki oluşum oranlarındaki mutlak farkın nedeninin, aSPI yönteminin yağışın toprakta kalan ve ürünlerin yetişmesine katkıda bulunan miktarı olarak ifade edilen etkili yağışı kullanmasından kaynaklandığı söylenebilir. SPI ve SDI yöntemleri arasındaki oluşum oranlarındaki farkın ise SDI yönteminde yağış-akışta meydana gelen gecikmeler nedeniyle akım değerlerindeki değişimlerden kaynaklandığı söylenebilir.

Şekil 4.4’te, SPI, aSPI ve SDI kuraklık indis değerlerinin eş zamanlı gözlemlerin yapıldığı 1985-2022 periyodunda kuraklık sınıflarının meydana gelme sayıları verilmiştir. Kurak ve nemli durumlarda tüm kuraklık türlerinde HK ve HY sınıf en fazla görülen kuraklar olmuştur. SPI’da 6-1 hariç diğer dönemlerde AY sınıf oluşmamıştır. Bunun yanında AK sınıf tüm zaman ölçeklerinde görülmüştür. 3 aylık zaman ölçeklerinde AK sınıfı en az 1 en çok 3 kez görülmüştür. 12 aylık zaman ölçeğinde ise bu kuraklık sınıfı 1 defa yaşanmıştır. SPI 3-3’te OK, SPI 6-2’de ise ŞK meydana gelmemiştir. HK, OK, ŞK ve AK sınıfları en fazla oluşum sayısına sırasıyla SPI 6-2 döneminde 14, SPI 3-2 döneminde 5, SPI 12 döneminde 3, SPI 3-1 döneminde ise 3 kez gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3. Kurak ve nemli durumların oluşum yüzdeleri

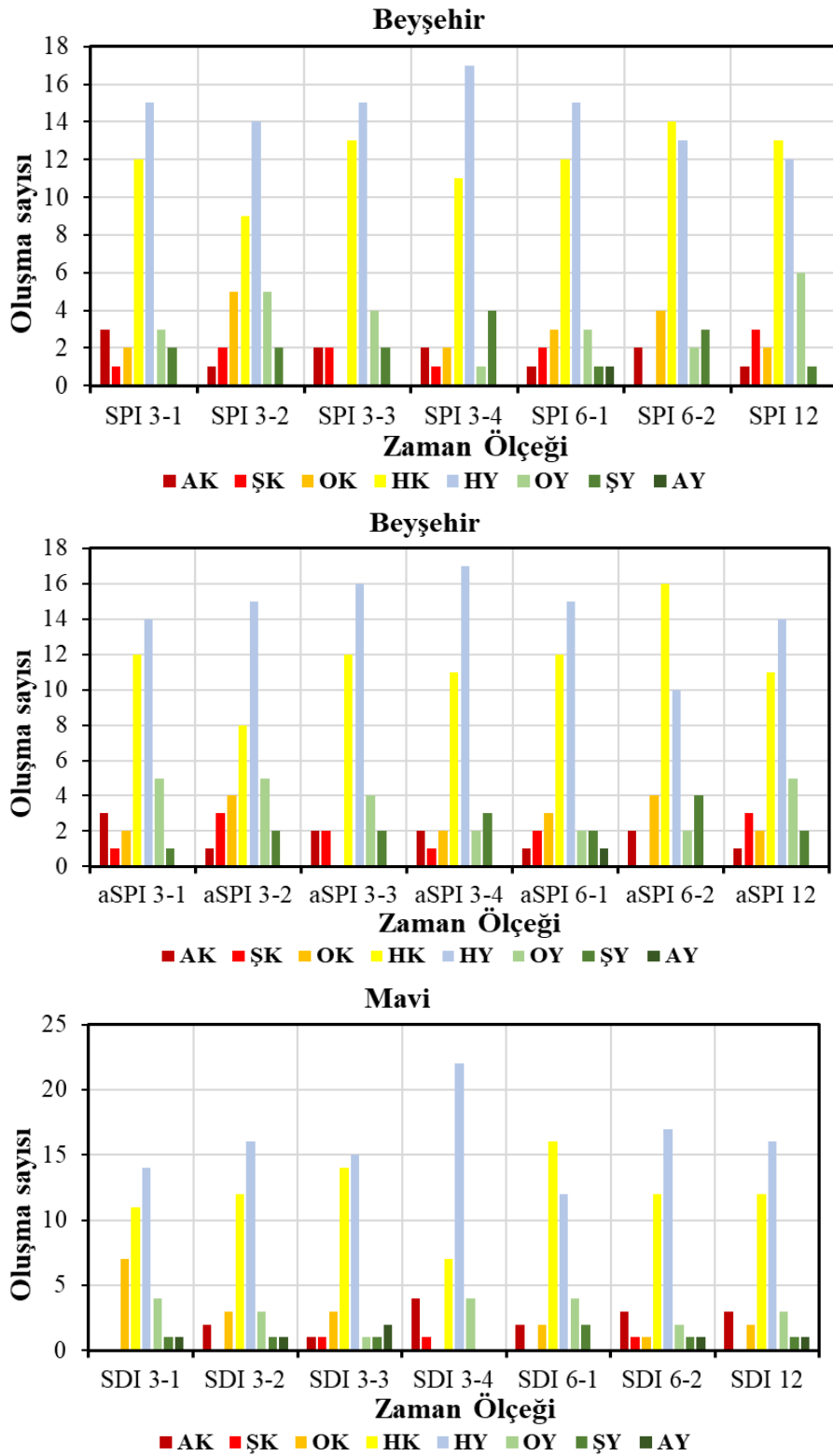
aSPI’de farklı kuraklık türlerinin oluşumları SPI ile oldukça benzerdir. aSPI’de, AY sınıfı sadece 6(1) döneminde yaşanmıştır. 3 aylık zaman ölçeklerinde 3-1, 3-2, 3-3 ve 3-4 dönemlerinde AK türlerinin oluşum sayısı sırasıyla 3, 1, 2 ve 2, 6-1 döneminde 1, 6-2 döneminde 2, 12 aylık dönemde ise 1 kez olmuştur. SDI indis değerlerine göre AK, ŞK ve OK, AY, ŞY, OY sınıflarının oluşma sayıları oldukça azdır. SDI 6-2 ve

SDI12 dönemi haricinde tüm dönemlerde HY iklim sınıfı en fazla görülen kuraklık türü olmuştur. 3-1 döneminde AK ve ŞK sınıfları oluşmamıştır.

SPI ve aSPI yöntemleri arasındaki kuraklık sınıflarının gözlem periyodu boyunca meydana gelme sayıları oldukça benzedir. Dolayısıyla aSPI yöntemi meteorolojik ve tarımsal kuraklık farklılığını yeterince ortaya koyamamaktadır. SDI yönteminden özellikle, ekstrem kuraklık oluşumları (AK, ŞK, AY, ŞY) SPI ve aSPI yöntemlerine göre daha az meydana gelmiştir. Bu durumun yağış akış ilişkisine bağlı akım değerlerindeki gecikmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yağış akış gecikmesinin ani bir şekilde gelişmediği düşünülmektedir.

Beyşehir istasyonunda SPI indis değerleri için Run Teorisi sonucunda elde edilen kuraklık süre, şiddet ve pik değerleri Çizelge 4.1.'de sunulmuştur. Çizelgede verilen değerlere göre, kuraklık süresi maksimum değeri SPI 3(1-4), aylık zaman ölçeğinde 4-6 yıl arasında, SPI 6-1,2 aylık zaman ölçeğinde 3-6 yıl arasında, SPI 12 aylık zaman ölçeğinde ise 3 yıl olarak elde edilmiştir. Gözlem süresi boyunca ardışık kurak dönemlerin ortalama süreleri dikkate alındığında 2.2 yıl ile SPI 3-2 döneminde, en küçük değeri ise 1.4 yıl SPI 6-1 döneminde yaşanmıştır. SPI 6 ve SPI 12 dönemleri dikkate alındığında SPI 6-2 dönemini dışında zaman ölçeğinin büyümesinin kuraklık süresinin azalmasına neden olduğu saptanmıştır.

Gözlem periyodunda ardışık olarak yaşanan kuraklıkların şiddeti, -7.24 ile SPI 3-2 döneminde en büyük değerine sahiptir. SPI 3-4, SPI 6-2 ve SPI 12 dönemlerinde kuraklık şiddeti 4'ten küçük elde edilmiştir. Ardışık kurak dönemlerin ortalama kuraklık şiddetleri diğer tüm zaman ölçeklerinde 1.14 ile 2.03 arasında değişmektedir. Süre ve şiddetin bir arada değerlendirildiğinde SPI 3-2 döneminin incelenen dönemler arasında en kritik dönem olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Farklı kuraklık türlerinde kuraklık sınıflarının oluşum sayıları

SPI değerlerinde pik değerlerin AK sınıfında olduğu görülmektedir. Sadece SPI 6-1 döneminde pozitif pik değer AY sınıfında oluşurken diğer dönemlerde ŞY sınıfında elde edilmiştir. En şiddetli kuraklık çoğunlukla 1990-2000 yılları arasında

yaşanmıştır. En şiddetli yağışlı indis değerleri ise çoğunlukla 2000 yılından sonra meydana gelmiştir. Bu sonuçlardan bu istasyonda son yıllarda bölgede yağışların şiddetinin arttığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.1. Beyşehir istasyonu meteorolojik kuraklık karakteristikleri

	SPI 3-1	SPI 3-2	SPI 3-3	SPI 3-4	SPI 6-1	SPI 6-2	SPI 12
	Süre						
Mak.	4	6	5	4	3	6	3
Ort.	1.8	2.2	1.8	1.7	1.4	2.1	1.5
	Şiddet						
Min.	-4.04	-7.24	-5.67	-3.59	-4.21	-3.67	-3.72
Ort.	-1.50	-2.03	-1.51	-1.47	-1.14	-1.46	-1.18
	Pik						
Min.	-2.29	-2.37	-2.57	-2.90	-2.59	-2.70	-2.52
Yıl	1999	1997	2007	1989	1993	1989	1993
Mak.	1.71	1.89	1.92	1.90	2.29	1.72	1.85
Yıl	2007	2012	1997	1996	2012	2002	2012

Beyşehir istasyonuna ait aSPI indeksine göre Run Teorisi kullanılarak elde edilen kuraklık süresi, şiddeti ve tepe (pik) değerleri Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Çizelgede yer alan verilere göre, en uzun kuraklık süresi aSPI 3 aylık zaman ölçeğinde 4 ila 6 yıl, 6 aylık zaman ölçeğinde 3 ila 6 yıl, 12 aylık zaman ölçeğinde ise maksimum 3 yıl olarak hesaplanmıştır. Ortalama kuraklık süresi, en yüksek değerine 2.1 yıl ile aSPI 3-2 ve aSPI 6-2 dönemlerinde ulaşmış; en düşük ortalama ise 1.4 yıl ile 6-1 döneminde kaydedilmiştir. Kuraklık şiddeti bakımından en yüksek değer -7.34 ile aSPI 3-2 döneminde gözlemlenmiştir. Buna karşılık, aSPI 3-4, aSPI 6-2 ve aSPI 12 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık şiddeti 4’ün altında kalmıştır. Ortalama kuraklık şiddeti, tüm zaman ölçekleri dikkate alındığında 1.16 ile 2.16 arasında değişmektedir. Süre ve şiddet bileşenleri birlikte değerlendirildiğinde, aSPI 3-2 döneminin analiz edilen tüm dönemler arasında en kritik kuraklık periyodu olduğu anlaşılmaktadır. SPI değerlerine ilişkin tepe noktaları (pik değerleri), çoğunlukla “Aşırı Kurak” (AK) sınıfında oluşmuştur. Yalnızca aSPI 6-1 döneminde pozitif yönlü pik değeri “Aşırı Yağışlı” (AY) sınıfında gerçekleşmiş, diğer dönemlerde ise “Şiddetli Yağışlı” (ŞY) sınıfında değerler hesaplanmıştır. Kuraklığın en yoğun yaşandığı yıllar ağırlıklı olarak 1989-2000 dönemine denk gelirken, en yüksek yağış değerlerinin ise 2000 yılı sonrası olduğu görülmektedir. Bu bulgular, son yıllarda bölgede yağış rejiminin artan bir eğilim gösterdiğine işaret etmektedir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 birlikte

değerlendirildiğinde SPI ile aSPI arasındaki yüksek korelasyona bağlı elde edilen bulgularında birbirine çok benzediği oldukça dikkat çekicidir.

Çizelge 4.2. Beyşehir istasyonu tarımsal kuraklık karakteristikleri

	aSPI 3-1	aSPI 3-2	aSPI 3-3	aSPI 3-4	aSPI 6-1	aSPI 6-2	aSPI 12
	Süre						
Mak.	4	6	4	4	3	6	3
Ort.	1.8	2.1	1.6	1.7	1.4	2.1	1.5
	Şiddet						
Min.	-4.13	-7.34	-5.70	-3.58	-4.32	-3.58	-3.66
Ort.	-1.48	-2.16	-1.64	-1.47	-1.16	-1.36	-1.29
	Pik						
Min.	-2.41	-2.46	-2.63	-2.95	-2.64	-2.82	-2.53
Yıl	1999	1997	2007	1989	1993	1989	1993
Mak.	1.64	1.65	1.95	1.87	2.18	1.71	1.75
Yıl	2007	2022	1988	1996	2012	1988	1988

Mavi istasyonunda SDI değerleri dikkate alınarak Run Teorisi kapsamında hesaplanan kuraklık süresi, şiddeti ve tepe (pik) değerleri Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Söz konusu çizelgeden elde edilen bulgulara göre, en uzun kuraklık süresi SDI 3 aylık zaman ölçeğinde 4 ila 5 yıl, 6 aylık zaman ölçeğinde 7 yıl ve 12 aylık zaman ölçeğinde 5 yıl olarak belirlenmiştir. Ortalama kuraklık süresi açısından en yüksek değer 2.8 yıl ile 6 aylık ölçekte kaydedilirken, en düşük ortalama süre 1.7 yıl ile SDI 3-3 döneminde hesaplanmıştır. Kuraklık şiddeti bakımından en yüksek değer, 6.21 ile 6-1 döneminde gözlemlenmiştir. Buna karşılık, 3-1 döneminde kuraklık şiddeti 4'ün altında kalmıştır. Tüm zaman ölçekleri dikkate alındığında, ortalama kuraklık şiddeti 1.14 ile 2.37 arasında değişkenlik göstermektedir. Süre ve şiddet bileşenleri birlikte değerlendirildiğinde, SDI 6-1 dönemi incelenen zaman dilimleri arasında en kritik kuraklık evresi olarak öne çıkmaktadır. SDI indeksine ait pik değerler incelendiğinde, 3-1 dönemi hariç tüm zaman aralıklarında bu değerlerin “Aşırı Kurak” (AK) sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Pozitif yönlü pik değerler ise yalnızca 3-4 ve 6-1 dönemleri hariç olmak üzere “Aşırı Yağışlı” (AY) sınıfında sınıflandırılmıştır. En yüksek yağışlı indeks değerleri genellikle 2012 yılı sonrasında meydana gelmiş; bu durum, istasyona ait veriler ışığında son yıllarda bölgedeki yağışların şiddetinde artış eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır.

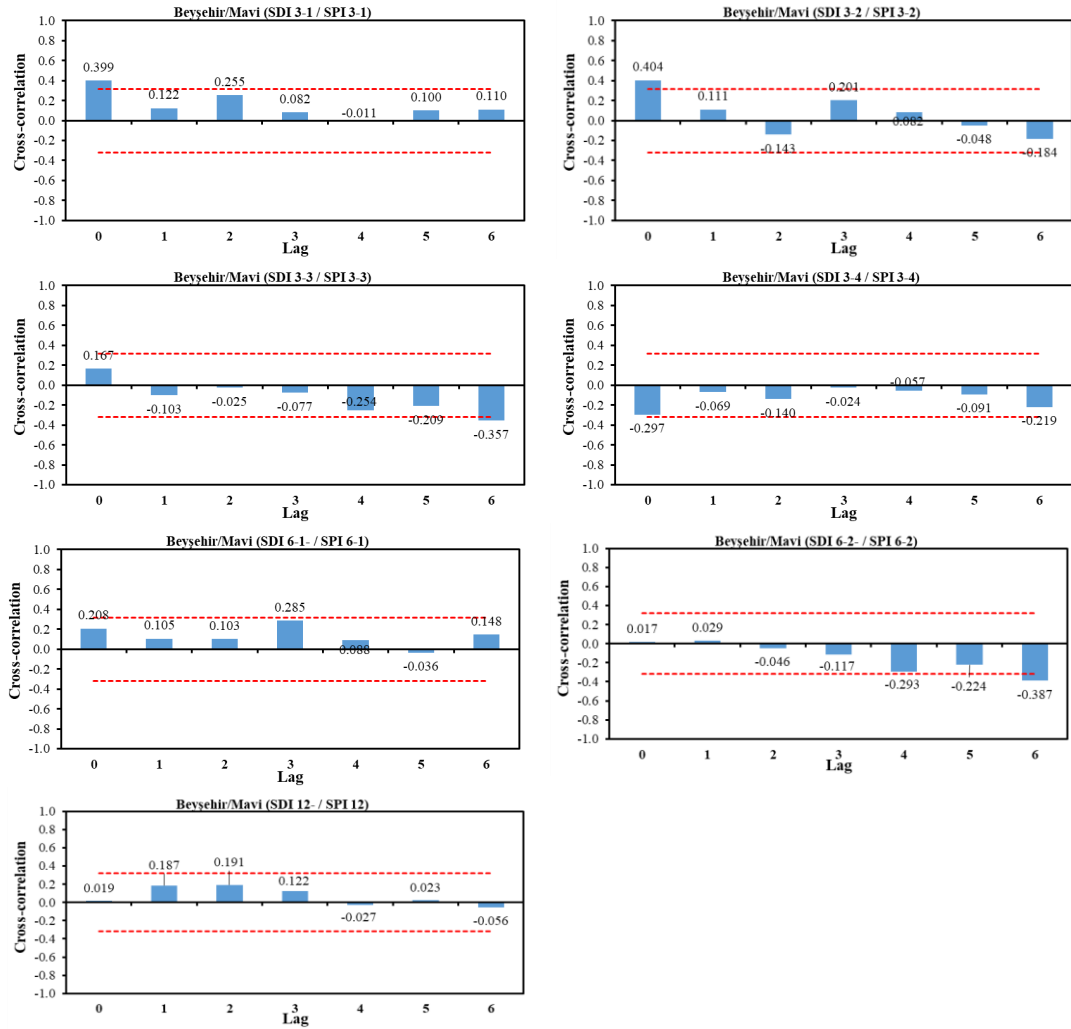
Çizelge 4.3. Mavi istasyonu hidrolojik kuraklık karakteristikleri

	SDI3-1	SDI3-2	SDI3-3	SDI3-4	SDI6-1	SDI6-2	SDI12
	Süre						
Mak.	4	5	4	4	7	7	5
Ort.	2.0	2.2	1.7	2.3	2.8	2.8	2.2
	Şiddet						
Min.	-2.98	-4.03	-4.37	-5.94	-6.21	-4.56	-4.95
Ort.	-1.14	-1.48	-1.18	-2.13	-1.83	-2.37	-1.76
	Pik						
Min.	-1.25	-3.42	-2.01	-2.90	-3.26	-2.51	-2.88
Yıl	1988- 2013- 2016-2017	2021	1994	2001	2021	1994	2021
Mak.	2.22	2.01	2.97	1.22	1.69	2.17	2.20
Yıl	1985	2013	2012	2020	1999	2012	2012

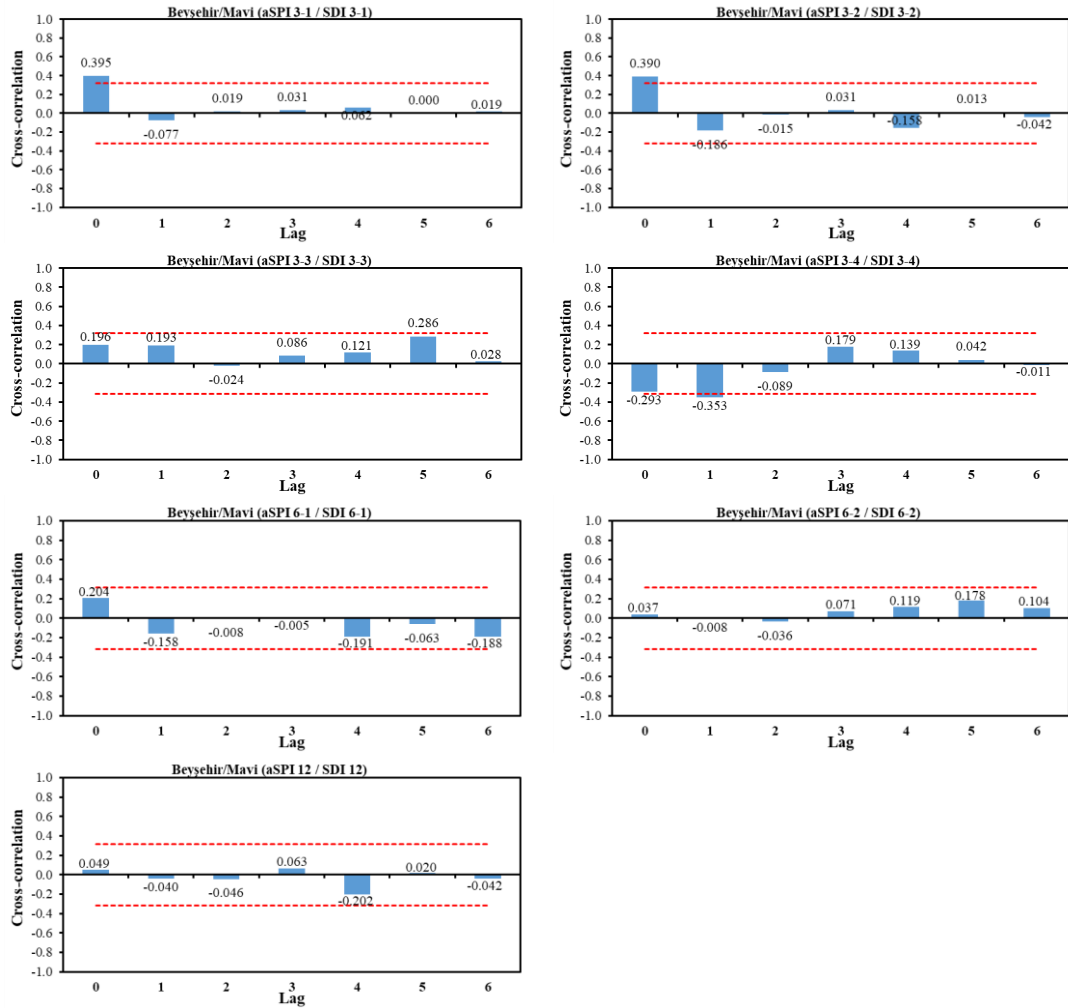
3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan SPI ve SDI kuraklık indis değerleri arasındaki Lag değerleri Şekil 4.5.'te verilmiştir. Kuraklık indis değerleri arasındaki ilişki %95 güven aralığında yani 0.05 anlamlılık düzeyinde incelenmiştir. SDI 3-1/SPI 3-1 serileri arasında sadece lag 0'da istatistiksel olarak en büyük korelasyon katsayısı ($r=0.399$) elde edilmiştir. SDI3-2)/SPI 3-2) döneminde benzer şekilde sadece lag 0'da en büyük $r=0.404$ 'tür. SDI3-3/SPI 3-3 döneminde lag 6'da $r=-0.357$ olarak hesap edilmiştir. SDI3-4/SPI 3-4 döneminde seriler arasında korelasyonun diğer dönemlere göre en küçük değerler ile temsil edilmiştir. Ayrıca tüm lag serileri arasında çapraz korelasyon değerleri negatiftir. 6-1 ve 12 aylık dönemlerde SDI ve SPI lag serileri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon belirlenmemiştir. SDI6-2/SPI 6-2 döneminde lag 6'da istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki belirlenmiş ve -0.387 değerine sahiptir. Çapraz korelasyon değerlerinin genel olarak değerlendirilmesinden SPI ve SDI arasındaki ilişki büyük zaman ölçeklerinde azalmaktadır.

Şekil 4.6'da 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan aSPI ve SDI kuraklık indeksleri arasındaki gecikme (lag) değerleri sunulmuştur. İki indeks arasındaki ilişkiler %95 güven düzeyinde, yani 0.05 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir. 3-1 döneminde yalnızca lag 0 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon elde edilmiş olup, bu korelasyon katsayısı 0.395 ile en yüksek değer olarak dikkat çekmektedir. 3-2 döneminde de benzer şekilde yalnızca lag 0 için anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. Bu iki dönemde, aSPI ile SDI arasındaki korelasyon pozitif yöndedir. 3-3 dönemine ait sonuçlar incelendiğinde, aSPI ve SDI arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağ tespit edilememiştir. 3-4 döneminde ise gecikmeli (lag 1) olarak anlamlı bir korelasyon gözlenmiş ve bu ilişkinin katsayısı -0.353 olarak

hesaplanmıştır; bu durum, SDI değerlerinin bir dönem sonra aSPI değerleriyle ters yönlü bir ilişki gösterebildiğini ortaya koymaktadır. 6-1, 6-2 ve 12 aylık periyotlar incelendiğinde, her üç zaman ölçeğinde de aSPI ile SDI arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon oluşmadığı belirlenmiştir. Genel anlamda çapraz korelasyon sonuçları, SDI ile aSPI arasındaki ilişkinin zaman ölçeği uzadıkça zayıfladığını göstermektedir. Bu bulgu, hidrolojik ve tarımsal kuraklık indekslerinin kısa vadede daha uyumlu davrandığını, ancak uzun dönemli analizlerde bu ilişkinin azaldığını ortaya koymaktadır.

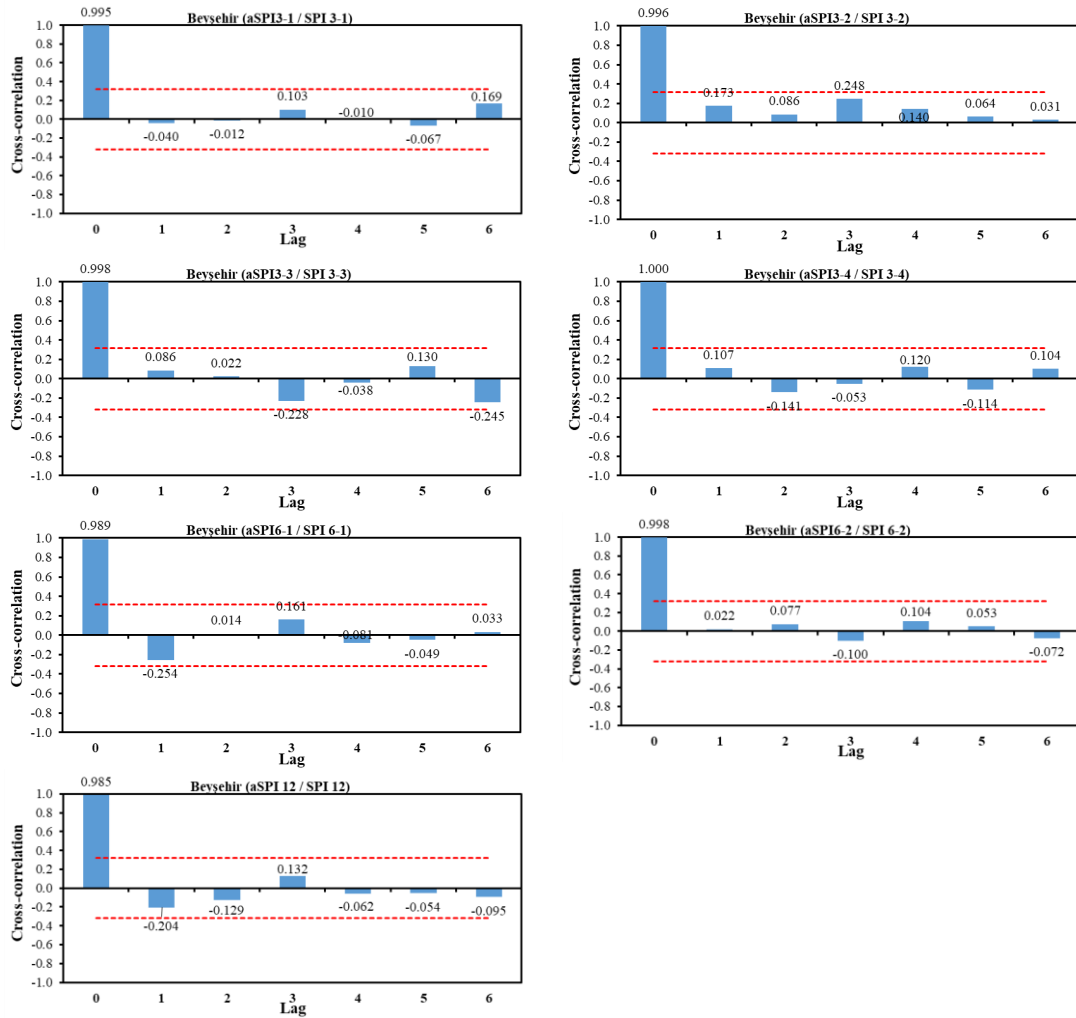


Şekil 4.5. SPI ve SDI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Mavi)



Şekil 4.6. aSPI ve SDI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Mavi)

3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan aSPI ve SPI kuraklık indis değerleri arasındaki Lag değerleri Şekil 4.7.'de verilmiştir. Kuraklık indis değerleri arasındaki ilişki %95 güven aralığında yani 0.05 anlamlılık düzeyinde incelenmiştir. 3-1 döneminde sadece lag 0'da istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmuş ve bu en büyük korelasyon değeridir (0.995). 3-2 döneminde benzer şekilde sadece lag 0'da istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. 3-1 ve 3-2 için aSPI ve SPI değerleri arasındaki korelasyon pozitifdir. 3-3 döneminde lag 0'da istatistiksel olarak anlamlı korelasyon vardır ve değeri 0.998 olarak hesap edilmiştir. 3-4 döneminde lag 0'da anlamlı en yüksek korelasyon değeri 1.00 olarak bulunmuştur. 6-1, 6-2 ve 12 aylık dönemlerde aSPI ve SPI arasında sadece lag 0'da istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon belirlenmiştir. Zamansal ölçekte yapılan değerlendirmelere göre, aSPI ile SPI kuraklık indisleri arasındaki korelasyon katsayıları tüm periyotlarda istikrarlı bir şekilde yüksek düzeyde olup, bu iki indeksin birbirini büyük ölçüde yansıttığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.7. aSPI ve SPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Mavi)

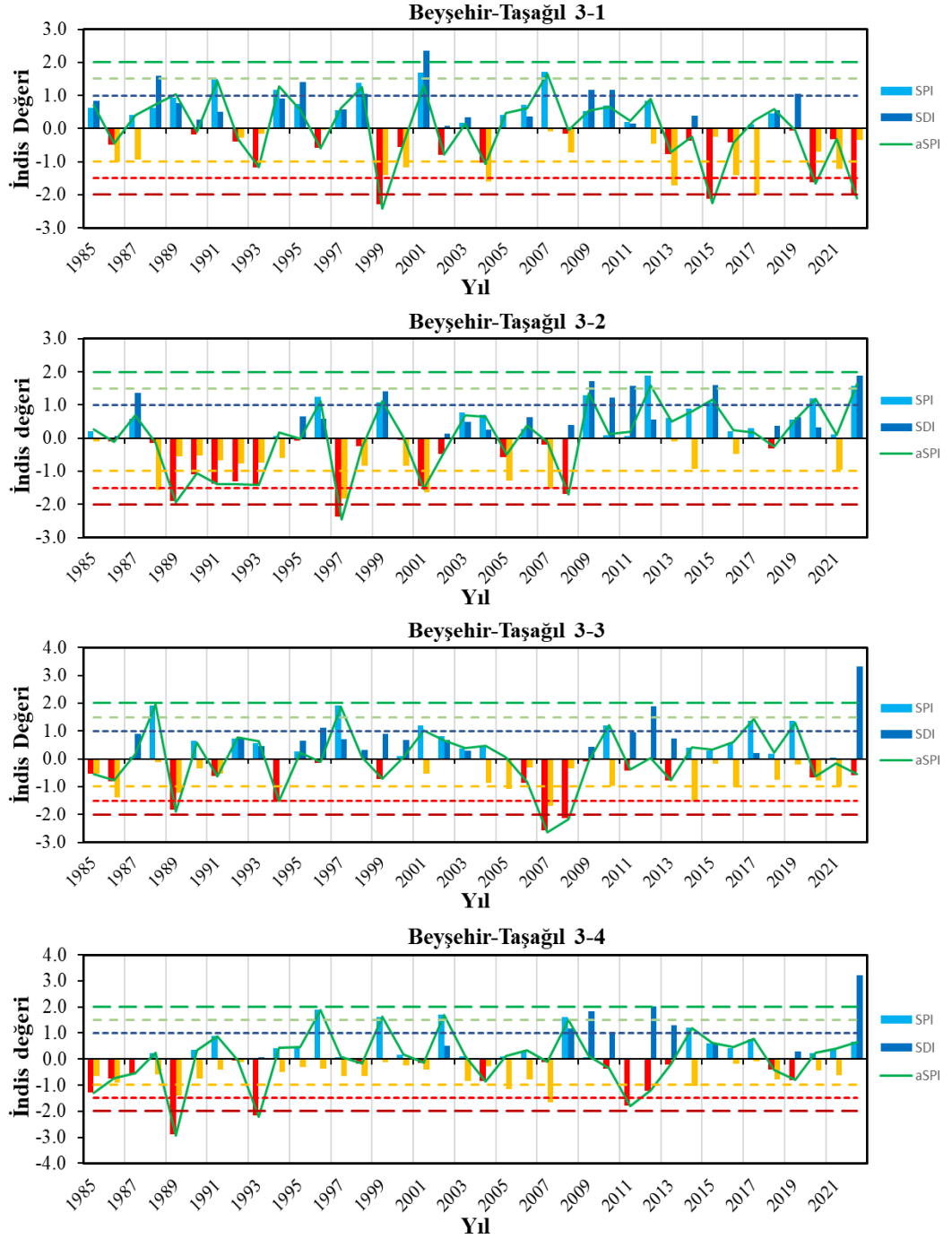
Beyşehir ve Taşağıl İstasyonlarının Kuraklıklarının Değerlendirilmesi

1985-2022 yılları arasındaki dönem için Beyşehir Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nda kaydedilen aylık yağış verilerinden yararlanılarak, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde periyodik olarak hesaplanan SPI ve aSPI indislerinin; aynı zaman aralığında Beyşehir alt havzasında yer alan Taşağıl Akım Gözlem İstasyonu'ndan elde edilen aylık akım verileriyle belirlenen SDI indislerinin zamansal değişimleri Şekil 4.8.'de sunulmuştur. Şekillerde, aSPI değerleri çizgi grafik şeklinde, SPI ve SDI değerleri ise çubuk grafik formatında gösterilmiştir. Buna ek olarak, farklı kuraklık derecelerine karşılık gelen eşik değerler grafiklerde çizgilerle ifade edilmiştir. Şekil 4.8. incelendiğinde, Beyşehir ve Taşağıl istasyonlarında 3-1 dönemi (Ekim-Kasım-Aralık) için 2012 yılından itibaren hem meteorolojik hem de hidrolojik kuraklık koşullarının belirgin şekilde yaşandığı gözlemlenmektedir. 2013-2022 yılları arasında

ise yalnızca 2018 ve 2019 yıllarında bölgenin nemli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. 2012 öncesinde ise kuraklık ve nemlilik koşulları kısa süreli geçişlerle birbirini takip etmiştir. Bununla birlikte, 1985-1999 arası dönemin genel olarak yağışlı geçtiği anlaşılmaktadır.

3-2 dönemi (Ocak-Şubat-Mart) özelinde, 1988 ile 1995 yılları arasında kuraklık etkisinin belirgin olduğu görülürken; 2009-2022 yılları arası ise çoğunlukla nemli karakterde geçmiştir. 3-3 dönemi (Nisan-Mayıs-Haziran) boyunca tüm kuraklık indislerinde kurak ve nemli evreler arasında geçişlerin oldukça kısa sürelerde gerçekleştiği dikkat çekmektedir. Özellikle 1995-2004 yılları arasının genel olarak nemli geçtiği söylenebilir. Son yıllarda ise SDI değerlerinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. 2004-2009 yılları arası 3-3 dönemi için sürekli kuraklık olaylarının yaşandığı bir periyot olmuştur ve bu süreçte bölgedeki yağış miktarlarında azalma gözlenmiştir.

3-4 döneminde (Ekim-Kasım-Aralık) 2013-2022 yılları arası genel olarak yağışlı geçmiştir. 1994-2003 yılları arasında SPI ve aSPI değerleri birbirleriyle uyumlu seyretmişken, hidrolojik kuraklık göstergesi olan SDI bu iki indekstin aksine kuraklık göstermiştir. Aynı dönemde SPI ve aSPI değerleri nemli sınıfta değerlendirilmiştir. 1996, 1999, 2002 ve 2008 yıllarında SPI değeri "şiddetli yağışlı" sınıfında yer almıştır. En şiddetli kuraklık, SPI ve aSPI endekslerine göre 1989 yılında, SDI endeksine göre ise 2007 yılında meydana gelmiştir. 3-4 dönemi, diğer üç aylık dönemlerle karşılaştırıldığında, hidrolojik kuraklık ile meteorolojik ve tarımsal kuraklık arasında en düşük uyumu gösteren dönem olarak öne çıkmaktadır. Tüm zaman ölçeklerinde aSPI ve SPI değerlerinin zamansal değişimleri karşılaştırıldığında, bu iki endeksin birbiriyle yüksek düzeyde örtüştüğü tespit edilmiştir.



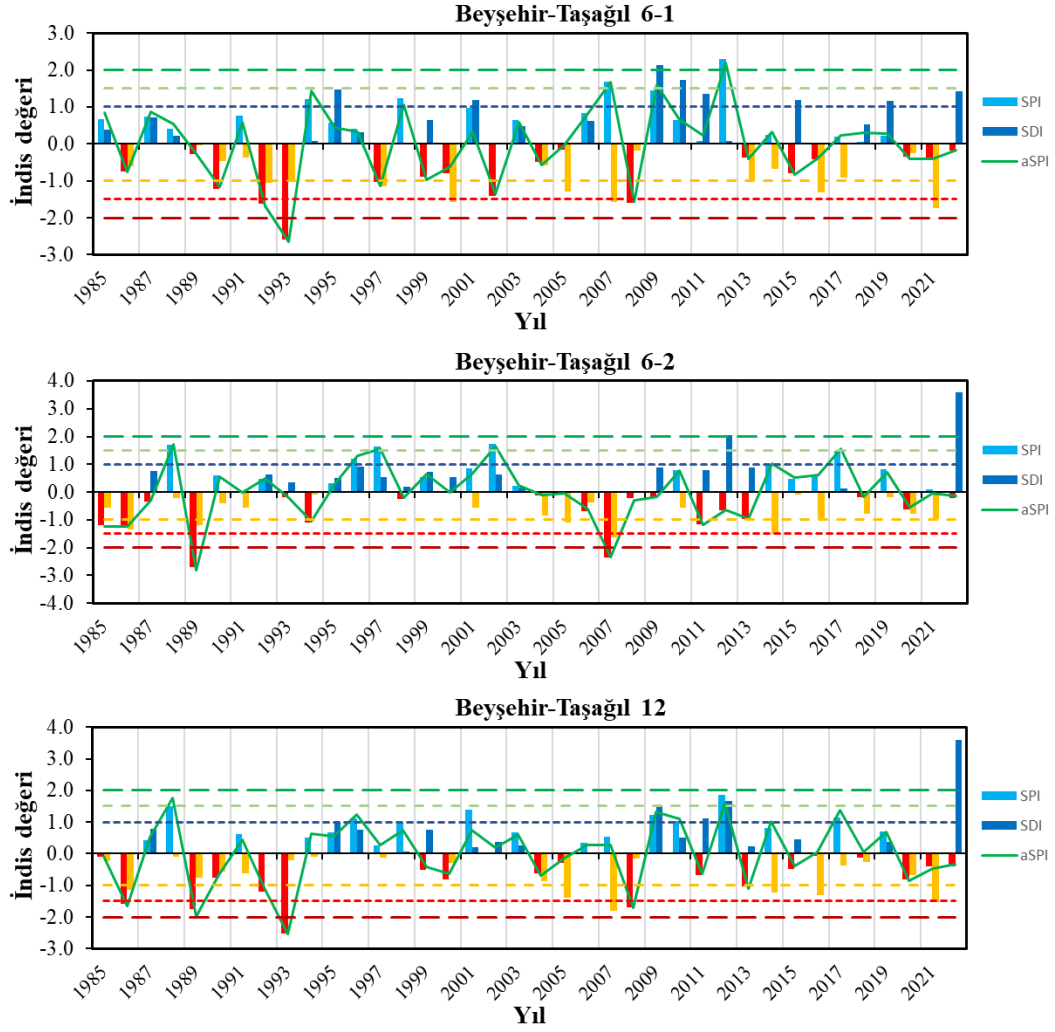
Şekil 4.8. Beyşehir-Taşagül istasyonları 3 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri

Şekil 4.9 incelendiğinde, Beyşehir meteoroloji istasyonu ile Taşagül akım gözlem istasyonuna ait 6-1 dönemi verileri (Ekim-Mart ayları arası), 1999–2007 yılları arasında kurak ve nemli dönemlerin kısa aralıklarla birbirini izlediğini göstermektedir. Bu durum, özellikle bu mevsimsel dönemde yüzeysel akışlara etki eden atmosferik ve yeraltı su kaynaklı girdilerin yüksek oranda değişkenlik gösterdiğine işaret etmektedir.

Öte yandan, 2009–2013 periyodu genel olarak yağışlı koşulların etkili olduğu bir dönem olarak öne çıkarken, istasyonda gözlemlenen SDI değerlerinin çoğunlukla pozitif seyretmesi, bölgedeki akarsu debilerinin mevsim normallerinin üzerinde gerçekleştiğini ve hidrolojik olarak nemli bir yapının hâkim olduğunu göstermektedir. Ancak 2016 yılı sonrası dönemde değerlerin negatif yönlü eğilim göstermesi, bu yıllarda akış rejiminde belirgin bir düşüş yaşandığını ve kuraklık baskısının artmakta olduğunu ortaya koymaktadır. 6-2 dönemine (Nisan-Eylül ayları) ait veriler incelendiğinde, 2003–2009 yılları arasında kuraklık etkisinin baskın olduğu ve debi düzeylerinin normalin altına indiğini göstermektedir. Buna karşılık 1995–2003 arası süreçte ise nemli koşulların ön planda olduğu görülmektedir.

Yıllık zaman diliminde (12 ay) yapılan analizler, tüm kuraklık göstergelerinde kurak ve nemli evreler arasında kısa süreli geçişlerin yaşandığını göstermektedir. Özellikle 1995–1999 ve 2009–2013 arası dönemlerde yağışlı bir iklim yapısı gözlemlenirken, 2018 sonrasında ise yağış miktarlarında düşüş eğilimi dikkat çekmektedir.

Genel olarak tüm zaman ölçekleri değerlendirildiğinde, aSPI ve SPI indekslerinin zamansal eğilimlerinin büyük ölçüde örtüştüğü ve sayıldığı sıraya göre tarımsal ve meteorolojik kuraklık göstergeleri arasında yüksek düzeyde bir uyum olduğu sonucuna varılmıştır. Taşğıl akım gözlem istasyonundaki SDI eğilimleri, özellikle son yıllarda akım miktarlarında azalma yönünde bir eğilimin baskın olduğunu göstermektedir. Bu durum, havzanın hidrolojik kuraklığa karşı giderek daha duyarlı hale geldiğini ve su yönetimi açısından daha dikkatli planlamalar yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.9. Beyşehir-Taşagöl istasyonları 6 ve 12 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri

Şekil 4.10.'da, Beyşehir Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nda hesaplanan SPI (Standardized Precipitation Index) ve aSPI (Agricultural Standardized Precipitation Index) ile Taşagöl Akım Gözlem İstasyonu'ndan elde edilen SDI (Streamflow Drought Index) değerlerine göre, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde kurak ve nemli durumların meydana gelme oranları yüzde cinsinden karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

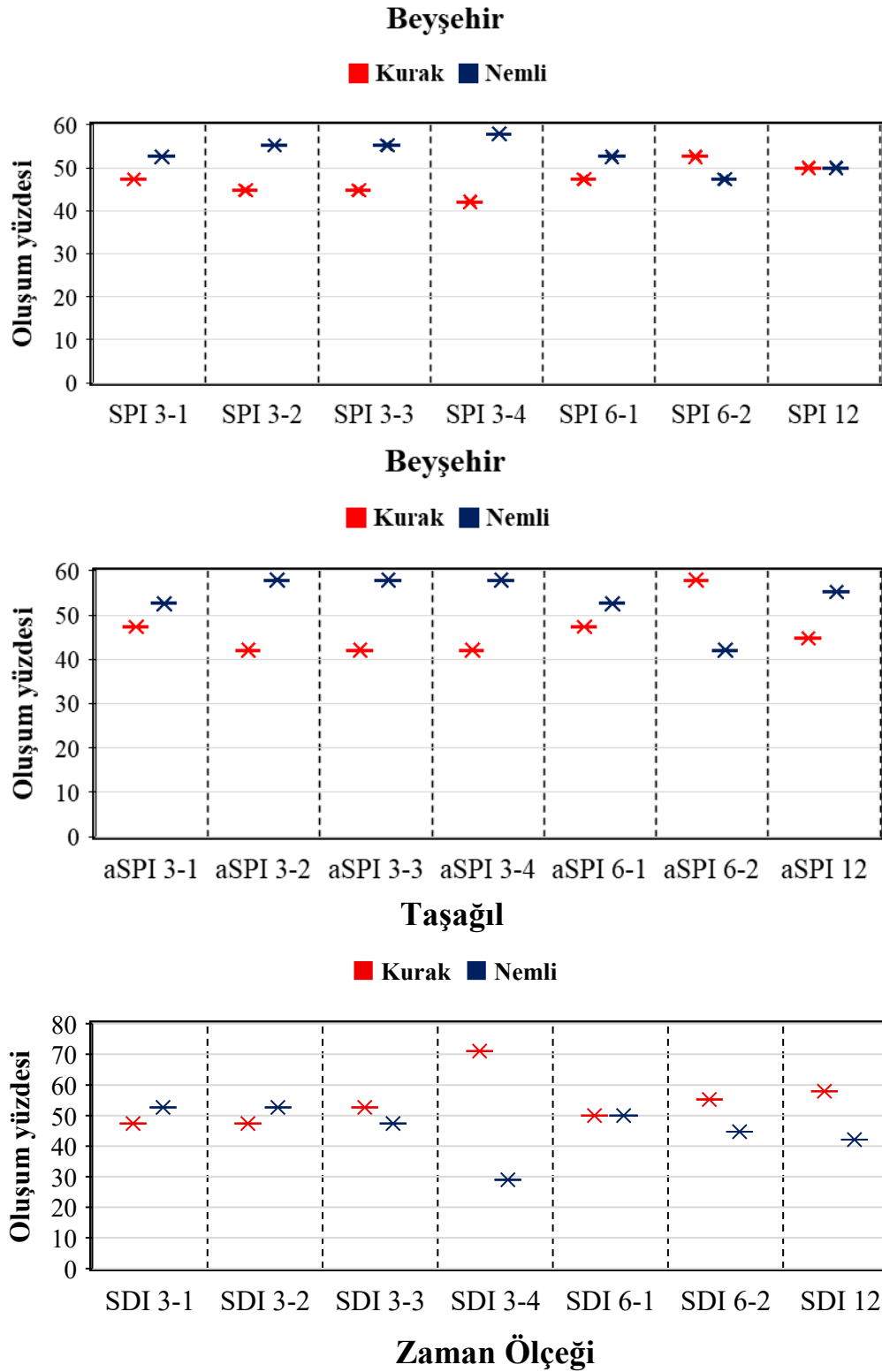
SPI 3 aylık zaman diliminde tüm gözlem periyotlarında kuraklık frekansı %50'nin altında kalmış; bu da kısa vadeli meteorolojik kuraklıkların düşük oranda gerçekleştiğini göstermektedir. 6 aylık zaman ölçeği özelinde, ilk dönem (6-1: Ekim-Haziran) için kuraklık oluşum yüzdesi %47 olarak hesaplanmışken, ikinci dönem (6-2) için bu oran %53'e yükselmiştir. Bu sonuç, özellikle bitkisel üretimin toprakta suya

en çok ihtiyaç duyduğu gelişim evrelerinde kurak koşulların nemli koşullardan daha baskın olduğunu ortaya koymaktadır.

12 aylık zaman ölçeği kapsamında, uzun süreli kuraklık ve nemlilik oluşum oranlarının birbirine eşit düzeyde gerçekleştiği belirlenmiştir. Tarımsal kuraklığın göstergesi olan aSPI'ye göre yalnızca 6-2 döneminde kuraklık frekansı, nemli dönem frekansını aşmıştır. Bu durum, aSPI indeksinin mevsimsel tarımsal su streslerini daha hassas biçimde yansıttığını göstermektedir.

Hidrolojik kuraklığı temsil eden SDI endeksine göre ise yalnızca 3-1 ve 3-2 dönemlerinde kuraklık oranı %50'nin altındadır. Buna karşın, 3-4 döneminde kuraklık ve nemlilik oluşum yüzdeleri arasındaki fark maksimum seviyeye ulaşmış ve bu durum söz konusu dönemde hidrolojik kuraklığın diğer göstergelerden daha şiddetli seyrettiğini ortaya koymuştur. SDI 3-4 dışındaki dönemlerde kurak ve nemli oluşum oranları birbirine oldukça yakın gerçekleşmiştir.

Genel değerlendirmede, aSPI ile elde edilen kuraklık ve nemlilik yüzdeleri arasındaki farkın; SPI ve SDI indekslerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bulgu, aSPI indeksinin özellikle tarımsal kuraklık analizlerinde daha ayrıntılı ve duyarlı sonuçlar verebildiğini göstermektedir.



Şekil 4.10. Kurak ve nemli durumların oluşum yüzdeleri

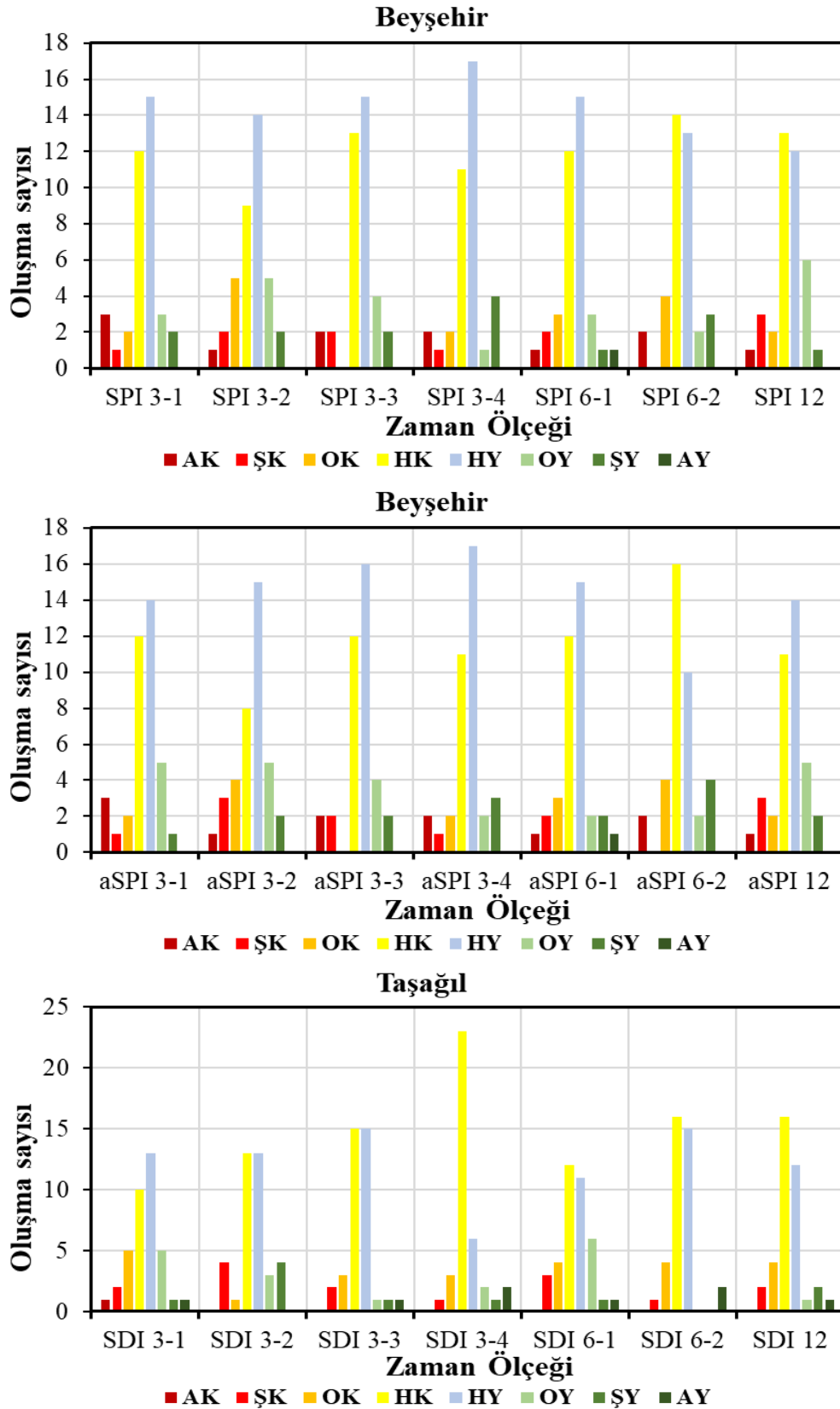
Şekil 4.11’de, SPI, aSPI ve SDI kuraklık indislerinin farklı kuraklık sınıflarına göre meydana gelme sıklıkları gösterilmiştir. Kuraklık ve nemlilik koşullarında, tüm kuraklık türleri açısından hafif kuraklık (HK) ve hafif yağışlı (HY) sınıfları en çok

rastlanan durumlar arasında yer almıştır. Bu durum, bölgede uç ekstrem koşullardan ziyade orta düzeyde kuraklık ve nemlilik koşullarının daha yaygın olduğunu göstermektedir. SPI endeksi açısından, 6-1 dönemi dışında aşırı yağışlı (AY) sınıfı gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte, aşırı kuraklık (AK) sınıfı tüm zaman ölçeklerinde ortaya çıkmıştır. 3 aylık zaman ölçeklerinde şiddetli kuraklık (ŞK) sınıfı en az 1, en fazla iki kez gözlemlenirken, 12 aylık zaman periyodunda bu sınıf 3 defa tespit edilmiştir. SPI 3-3 döneminde orta kuraklık (OK), SPI 6-2 döneminde ise ŞK sınıfı oluşmamıştır. Hafif yağışlı (HY), orta yağışlı (OY), şiddetli yağışlı (ŞY) ve aşırı yağışlı (AY) kategorilerinin en sık görüldüğü dönemler sırasıyla 3-4 (17 kez), 12 (6 kez), 3-4 (4 kez) ve 6-1 (1 kez) olarak belirlenmiştir.

aSPI verileri, kuraklık sınıfı oluşum frekansı bakımından SPI ile oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Bu benzerlik, aSPI'nin SPI'a dayalı olarak türetilen bir indeks olması nedeniyle beklenen bir durumdur ve her iki endeksin zamansal kuraklık karakteristiklerini benzer biçimde yansıttığını ortaya koymaktadır. aSPI'da da AY sınıfı yalnızca 6-1 döneminde gözlemlenmiştir. AK türünün 3 aylık zaman dilimlerinde (3-1, 3-2, 3-3 ve 3-4) sırasıyla 3, 1, 2 ve 2 kez oluştuğu; 6-1 döneminde 1, 6-2'de 2 ve 12 aylık periyotta ise 1 defa kaydedildiği görülmektedir.

SDI kuraklık indislerine göre ise AK, ŞK, OK, AY, ŞY ve OY sınıfları oldukça seyrek ortaya çıkmıştır. Bu durum SDI'nin akıma dayalı olması nedeniyle daha yavaş tepki vermesiyle açıklanabilir. 3-1 dönemi haricindeki tüm dönemlerde HY sınıfı en sık rastlanan kuraklık tipi olmuştur. 6-2 periyodunda ise OY ve ŞY kategorileri oluşmamıştır.

Bu bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, farklı kuraklık endekslerinin aynı dönemlerde benzer davranışlar sergilediği, ancak zaman ölçeği ve endeksin dayandığı verinin türüne göre farklılıkların da gözlemlendiği söylenebilir. Bu nedenle, kuraklık analizlerinde birden fazla endeksin birlikte kullanılması, olayların daha bütüncül bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır.



Şekil 4.11. Farklı kuraklık türlerinde kuraklık sınıflarının oluşum sayıları

Taşağöl Akım Gözlem İstasyonunda SDI (Akıma Dayalı Kuraklık İndeksi) kullanılarak, Run Teorisi çerçevesinde hesaplanan kuraklık süresi, şiddeti ve tepe (pik)

değerleri Çizelge 4.4’de sunulmaktadır. Elde edilen verilere göre, en uzun süren kuraklık 3 aylık zaman ölçeğinde 3 ila 8 yıl arasında değişmiş, 6 aylık zaman diliminde 5 yıl ve 12 aylık ölçekte ise 7 yıl ile kaydedilmiştir. Ortalama kuraklık süreleri açısından en uzun periyot, yaklaşık 3 yıl ile 3-4 döneminde yaşanmış; buna karşın en kısa ortalama süre 1.6 yıl ile 3-1 döneminde belirlenmiştir. Bu veriler, kısa zaman aralıklarında kuraklıkların daha sık fakat daha kısa süreli; uzun zaman ölçeklerinde ise daha seyrek fakat daha kalıcı olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Taşagıl istasyonu hidrolojik kuraklık karakteristikleri

	SDI 3-1	SDI 3-2	SDI 3-3	SDI 3-4	SDI 6-1	SDI 6-2	SDI 12
	Süre						
Mak.	3	7	5	8	5	5	7
Ort.	1.6	2.3	2.3	3	1.8	2.2	2.6
	Şiddet						
Min.	-3.66	-5.42	-4.28	-4.70	-2.90	-3.95	-4.23
Ort.	-1.29	-2.07	-1.74	-1.69	-1.25	-1.64	-1.63
	Pik						
Min.	-2.00	-1.84	-1.68	-1.67	-1.73	-1.64	-1.80
Yıl	2017	1997	2007	1989	2021	2007	2007
Mak.	2.35	1.89	3.32	3.20	2.14	3.58	3.60
Yıl	2001	2022	2022	2022	2009	2022	2022

Kuraklık şiddeti açısından en yüksek değer 5.42 ile 3-2 döneminde hesaplanmış, bu da söz konusu dönemde yaşanan kuraklığın etkilerinin oldukça yoğun olduğunu göstermektedir. Öte yandan, 3-1 ve 6 aylık dönemlerde kuraklık şiddetinin 4’ün altında kalması, bu süreçlerin daha hafif geçtiğine işaret etmektedir. Genel olarak ele alındığında, ortalama kuraklık şiddeti zaman ölçeklerine bağlı olarak 1.25 ile 2.07 arasında değişmiş, bu da kuraklığın etkisinin her dönemde aynı yoğunlukta yaşanmadığını ortaya koymaktadır.

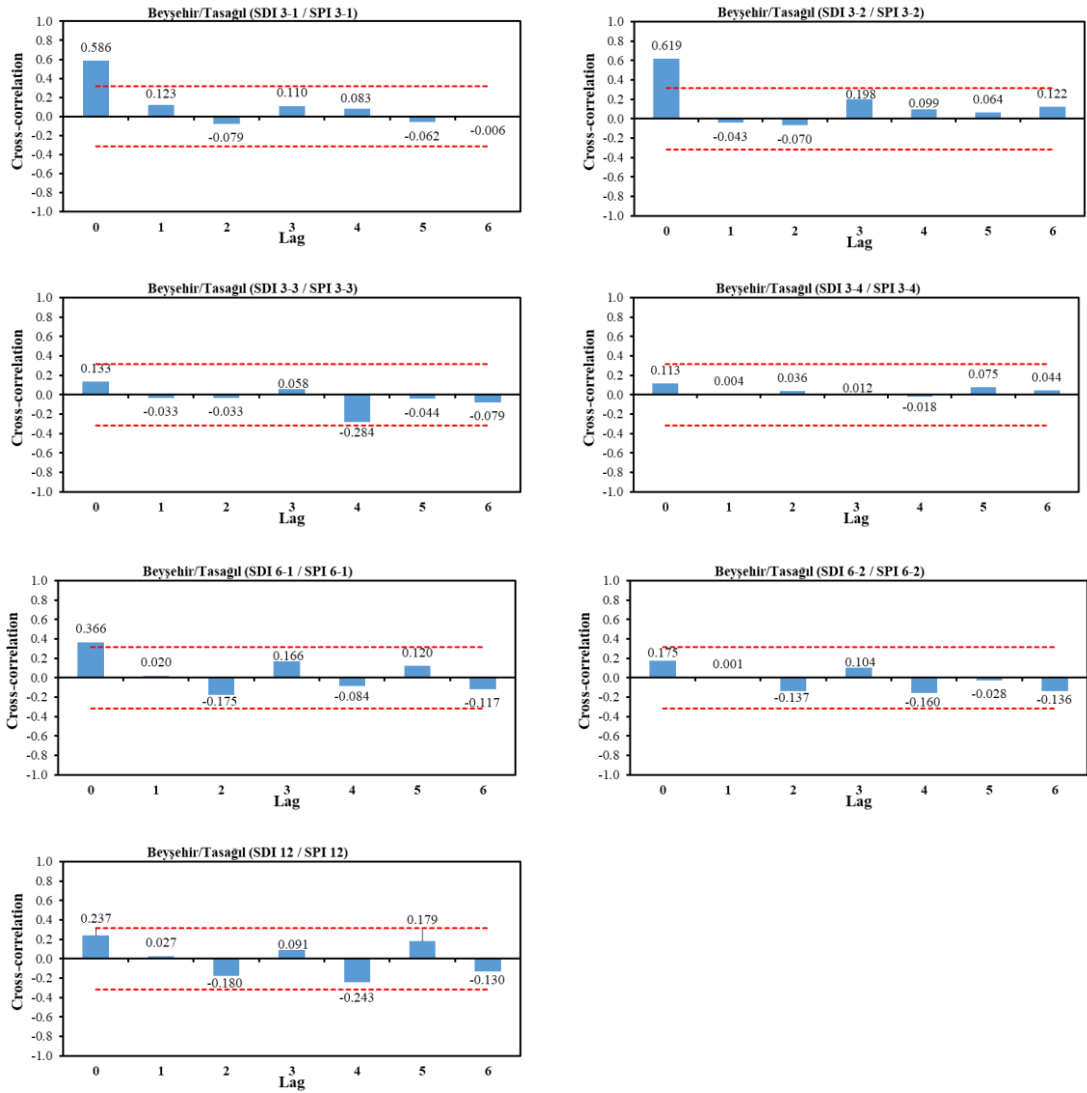
Kuraklık süresi ve şiddetinin birlikte değerlendirilmesi, özellikle 3-2 döneminin bölge açısından en baskın ve kritik kuraklık evresi olduğunu göstermektedir. Bu dönemdeki hem yüksek şiddet hem de sürenin uzunluğu, su kaynakları ve tarım sektörü üzerinde ciddi etkiler yaratmış olabileceğini düşündürmektedir.

SDI indeksine ait tepe değerler (pik) analiz edildiğinde, 3-1 dışındaki tüm dönemlerde bu değerlerin “Şiddetli Kuraklık (ŞK)” sınıfı içinde yer aldığı görülmektedir. Bu durum, SDI’nin zaman içinde şiddetli akım eksikliklerini yakalama

konusunda duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, pozitif yönlü pik değerlerin yalnızca 3-2 dönemi haricinde “Aşırı Yağışlı (AY)” sınıfına denk gelmesi, bölgede dönemsel olarak yoğun yağışların da yaşandığını göstermektedir. Özellikle 2022 yılına ait indeks değerlerinin yüksekliği, Taşagöl İstasyonu verilerine göre bu yıl içerisinde kayda değer bir yağış artışı olduğunu ve bölgedeki hidrolojik dengenin bu dönemde önemli ölçüde değişime uğradığını düşündürmektedir.

3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerine göre hesaplanan SPI ve SDI kuraklık indisleri arasındaki zaman gecikmeli (lag) korelasyon değerleri Şekil 4.12’de görselleştirilmiştir. Kuraklık indisleri arasındaki ilişkiler, %95 güven düzeyi temel alınarak ve 0.05 anlamlılık eşiği çerçevesinde incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, 3-1 döneminde yalnızca lag 0’da istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon saptanmış olup, bu değer 0.586 ile aynı zamanda en yüksek korelasyon katsayısı olarak öne çıkmaktadır. Benzer şekilde, 3-2 döneminde de sadece lag 0’da anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. Bu iki dönemde SPI ile SDI indeksleri arasındaki korelasyon genel olarak pozitif yönlüdür ve bu, kısa vadeli kuraklık göstergeleri arasında belirgin bir eş zamanlılık olduğunu göstermektedir. Ancak, 3-3 ve 3-4 dönemlerinde herhangi bir lag aralığında istatistiksel olarak anlamlı bir bağ bulunmamıştır. 6-1 döneminde yine yalnızca lag 0’da anlamlı bir korelasyon elde edilmiş ve bu değer 0.366 olarak hesaplanmıştır. Öte yandan, 6-2 dönemi ile 12 aylık zaman ölçeğinde yürütülen analizlerde, iki kuraklık göstergesi arasında anlamlı bir istatistiksel ilişki saptanamamıştır.

Genel olarak çapraz korelasyon sonuçları değerlendirildiğinde, SPI ile SDI arasındaki ilişkinin zaman ölçeği büyüdükçe zayıfladığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, özellikle uzun dönemli su rezervlerini yansıtan SDI ile meteorolojik kuraklık göstergesi olan SPI’nın daha kısa zaman dilimlerinde birbiriyle daha senkron çalıştığını; buna karşılık uzun vadeli dönemlerde bu senkronizasyonun azaldığını işaret etmektedir. Dolayısıyla, kuraklık analizlerinde zaman ölçeği seçiminin belirleyici olduğu ve farklı kuraklık tiplerinin bu ölçeğe göre değişen duyarlılıklar sergilediği sonucuna ulaşılabilir.



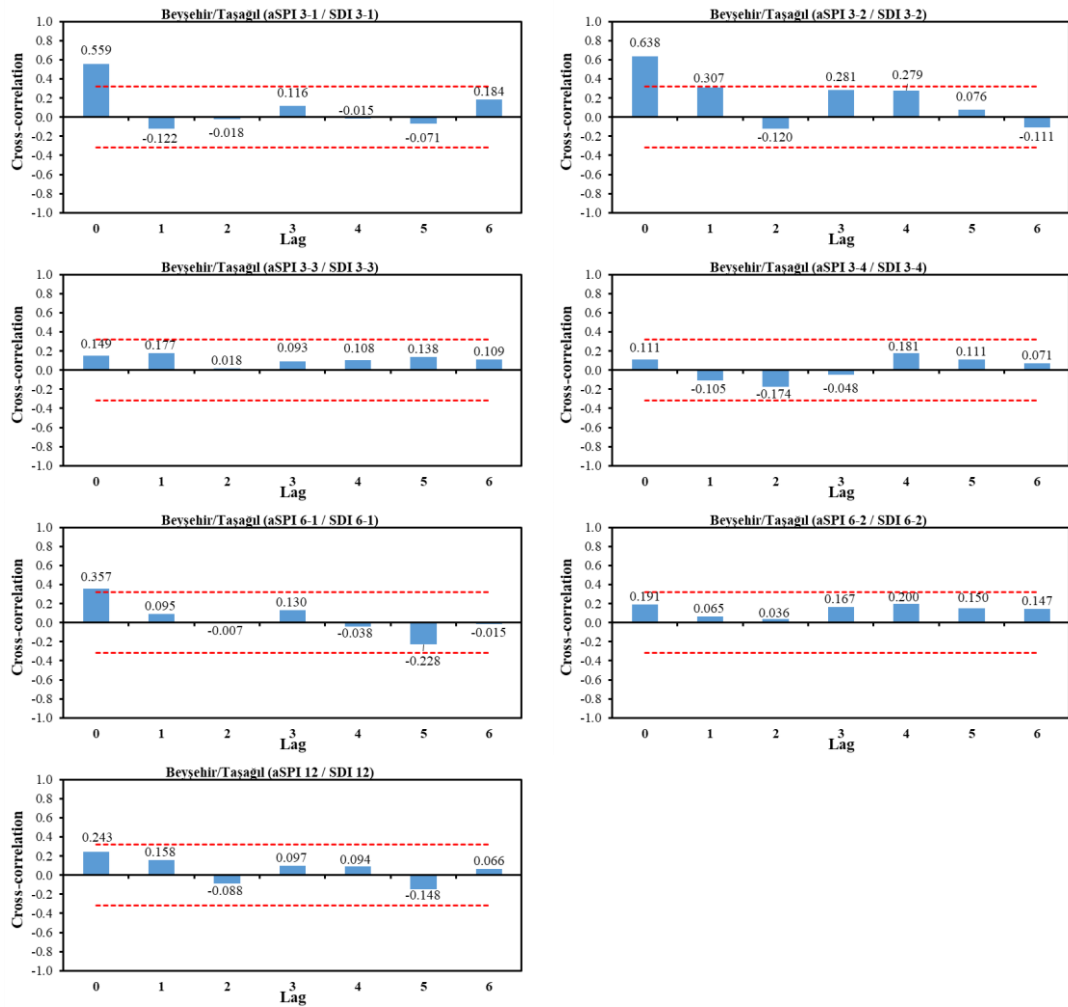
Şekil 4.12. SDI ve SPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Taşagöl)

Şekil 4.13'te, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan aSPI ile SDI arasındaki gecikmeli (lag) korelasyon değerleri sunulmuştur. Bu iki kuraklık göstergesi arasındaki ilişki, %95 güven düzeyinde ve 0.05 anlamlılık düzeyine göre istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Analiz bulgularına göre, 3-1 döneminde yalnızca lag 0 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmiş olup, bu değer 0.559 ile tüm dönemler arasında en yüksek korelasyon katsayısını temsil etmektedir. 3-2 döneminde de benzer şekilde sadece eş zamanlı (lag 0) bir korelasyon anlamlı bulunmuştur. Bu durum, kısa vadeli tarımsal ve hidrolojik kuraklık göstergelerinin senkronize değişim gösterdiğine işaret etmektedir.

Öte yandan, 3-3 ve 3-4 dönemlerine ait korelasyon analizlerinde, aSPI ve SDI arasında herhangi bir lag düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki

saptanamamıştır. 6-1 döneminde yine yalnızca lag 0 için anlamlı bir korelasyon belirlenmiş; buna karşın 6-2 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde iki indeks arasında istatistiksel anlamlılığa ulaşan bir bağ gözlemlenmemiştir.

Genel olarak çapraz korelasyon analizleri değerlendirildiğinde, aSPI ile SDI arasındaki ilişkinin zaman ölçeği büyüdükçe zayıfladığı görülmektedir. Bu bulgu, tarımsal kuraklık göstergeleri ile yüzeysel akımların kısa vadeli periyotlarda daha uyumlu hareket ettiğini, ancak uzun vadede bu paralelliğin azaldığını ortaya koymaktadır. Bunun temel nedeni, aSPI indeksinin atmosferik koşullara (yağış ve sıcaklık) daha duyarlı olması, SDI'nın ise yer üstü su akımlarındaki yığılmalı etkileri yansıtmasıdır. Dolayısıyla, kuraklık değerlendirmelerinde kullanılan indekslerin yanıt süreleri ve hidrometeorolojik süreçlere duyarlılıkları dikkate alınarak, zaman ölçeği seçimi titizlikle yapılmalıdır.



Şekil 4.13. SDI ve aSPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Taşagöl)

Beyşehir ve Aşağı Esence Kuraklıklarının Değerlendirilmesi

1985-2022 yılları arasında Beyşehir Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nda kaydedilen aylık yağış verileri kullanılarak 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde periyodik olarak hesaplanan SPI ve aSPI indekslerinin zamansal değişimleri, aynı yıllarda Aşağı Esence Akım Gözlem İstasyonu'ndan elde edilen aylık akım verilerine dayalı olarak hesaplanan SDI değerleriyle birlikte Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te sunulmuştur. Şekillerde aSPI değerleri çizgi grafik olarak, SDI ve SPI değerleri ise sütun grafik şeklinde gösterilmiş; ayrıca, farklı kuraklık sınıflarının sınırları çizgilerle işaretlenmiştir.

Şekil 4.14 incelendiğinde, Beyşehir ve Aşağı Esence istasyonlarına ait 3-1 dönemi (Ekim-Kasım-Aralık) için 2013 yılından itibaren meteorolojik ve hidrolojik kuraklık göstergelerinin birlikte düşüşe geçtiği dikkat çekmektedir. Bu durum, özellikle 2013-2022 yılları arasında kurak koşulların baskın olduğunu ve yalnızca 2018 yılında bölgedeki nemlilik seviyesinin belirgin şekilde arttığını ortaya koymaktadır. 2013 öncesinde ise kurak ve nemli dönemlerin kısa aralıklarla birbirini izlediği ve bu dalgalanmanın belirgin olduğu görülmektedir. Özellikle 1985-2013 dönemi genel olarak yağışlı geçmiştir.

3-2 dönemine (Ocak-Şubat-Mart) ait veriler, 1989-1995 yılları arasında belirgin bir kuraklık sürecinin yaşandığını göstermektedir. Buna karşın, 2012-2018 arası bu dönemde daha çok nemli koşulların hâkim olduğu bir zaman dilimidir. 3-3 döneminde (Nisan-Mayıs-Haziran), indeksler arasında hem kurak hem nemli koşulların zaman içinde birbirine geçiş yaptığı görülürken; 2005-2009 yılları arasında bu periyot için kuraklık olaylarının ardışık şekilde yaşandığı ve son yıllarda da yağış miktarının azaldığı dikkati çekmektedir.

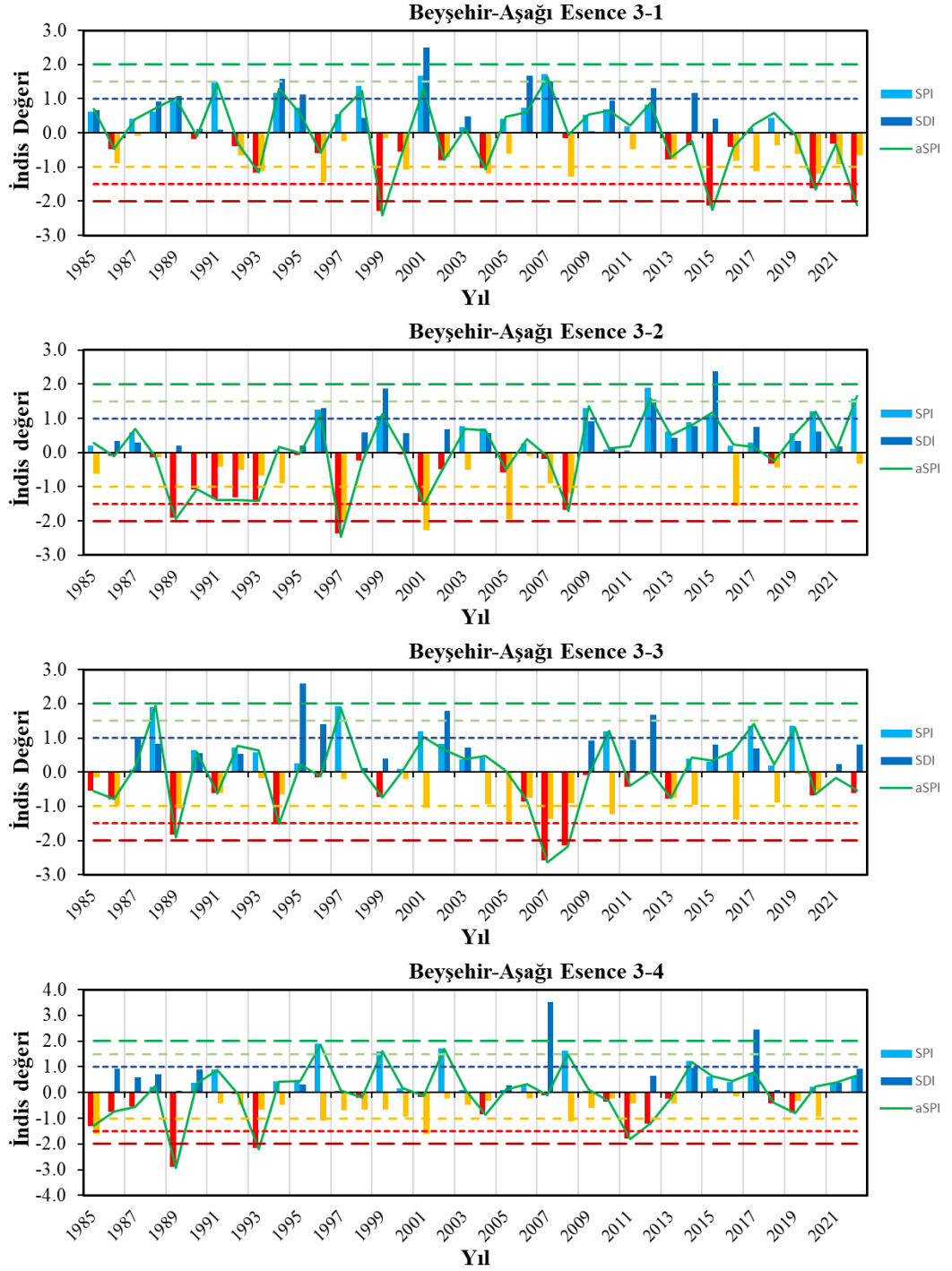
3-4 döneminde (Temmuz-Ağustos-Eylül), 2014-2018 yılları arası yağışlı geçmiştir. Ancak bu döneme ait 1985-1990 verilerinde SPI ve aSPI indekslerinin kuraklık yönünde benzer davranış gösterdiği, buna karşın SDI'nın nemli bir durumu yansıttığı görülmektedir. Bu farklılık, hidrolojik göstergelerin yüzeysel akıştaki gecikmeli tepkisinden kaynaklanabileceği gibi, yağışların toprak ve yeraltı suyu üzerindeki etkilerinin indekslere yansıma biçimlerinin farklılığından da ileri gelebilir.

Yıllık bazda değerlendirildiğinde; 1996, 1999, 2002 ve 2008 yıllarında SPI değerleri “şiddetli yağışlı” sınıfında yer almıştır. SPI ve aSPI’ye göre en belirgin kuraklık 1989 yılında yaşanmışken, SDI’ya göre bu durum 2001 yılında meydana gelmiştir. Bu durum, hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklığa göre daha geç tepki verdiğini bir kez daha göstermektedir. Özellikle 3-4 döneminde, meteorolojik/tarımsal ve hidrolojik kuraklık göstergeleri arasındaki korelasyonun diğer dönemlere kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Genel olarak tüm zaman ölçeklerinde SPI ve aSPI değerlerinin zaman içerisindeki değişimlerinin yüksek uyum gösterdiği ve benzer davranış sergilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgu, tarımsal kuraklığın meteorolojik koşullara doğrudan bağlı olduğunu, buna karşın hidrolojik yanıtların daha karmaşık ve gecikmeli bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

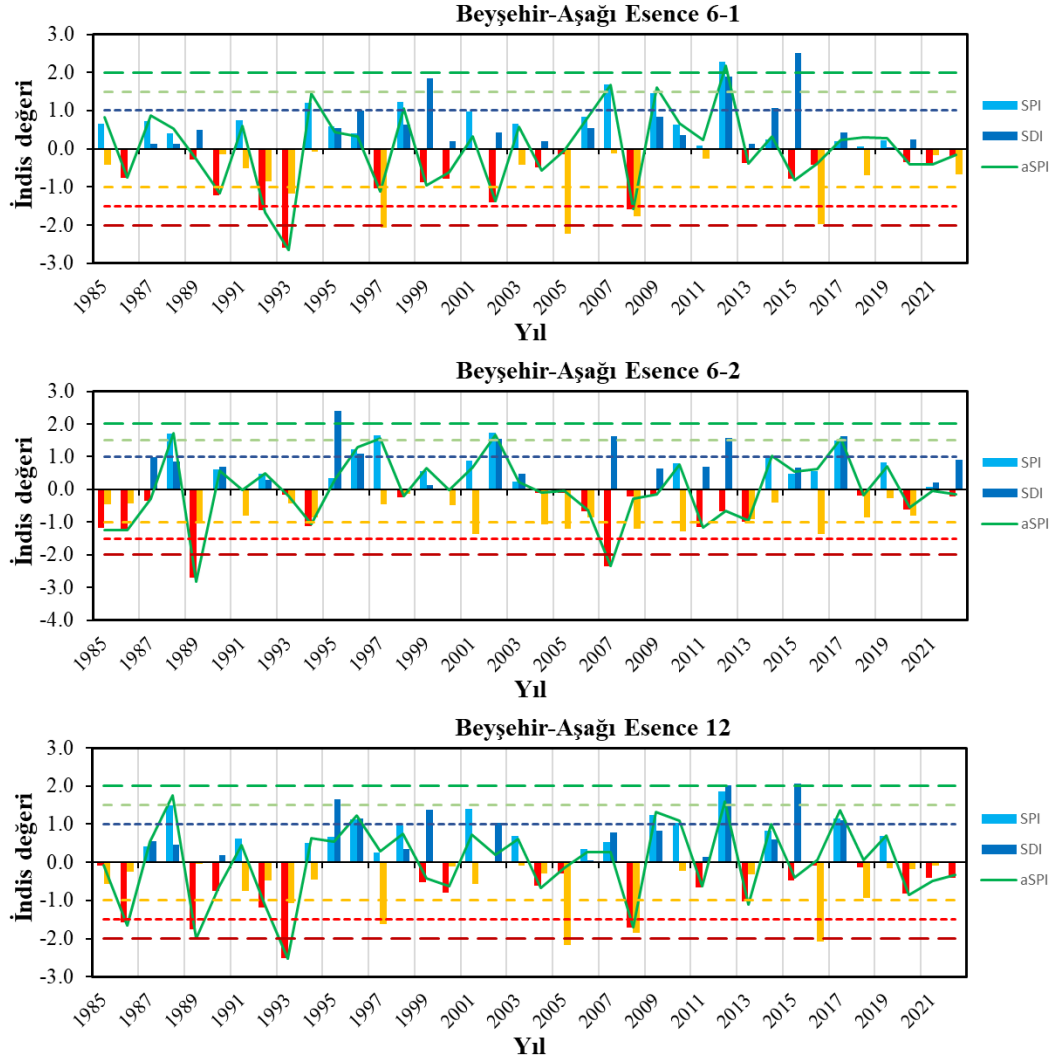
Şekil 4.15’in incelenmesi sonucunda, Beyşehir Meteoroloji ve Aşağı Esence Akım Gözlem İstasyonlarına ait 6-1 dönemine (Ekim-Mart) yönelik kuraklık indeksleri, 2000-2007 yılları arasında meteorolojik ve hidrolojik koşulların kısa süreli dalgalanmalar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu dönemde kurak ve nemli periyotların birbirini ardışık şekilde izlemesi, atmosferik parametrelerin belirgin ölçüde değişkenlik sergilediğini işaret etmektedir. Diğer yandan, 2009-2013 aralığı genellikle nemli koşulların baskın olduğu bir süreç olarak öne çıkarken, 2017 yılından itibaren kuraklığın etkisinin belirginleştiği gözlemlenmiştir.

6-2 dönemine (Nisan-Eylül) ait göstergeler değerlendirildiğinde ise, özellikle 2005-2007 yılları arasında hidro-meteorolojik kuraklık sinyallerinin daha yoğun olarak gözlemlendiği dikkat çekmektedir. Bu bulgu, ilkbahar ve yaz aylarını kapsayan bu dönemin su kaynakları üzerindeki baskısının arttığına işaret etmektedir. 12 aylık zaman ölçeği temelinde yapılan analizler, kurak ve nemli fazların sık aralıklarla birbirini takip ettiğini göstermekte; bu da bölgenin iklimsel istikrarsızlık sergileyen bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle 2019 sonrasında yağış miktarlarında gözlenen düşüş, bölgedeki su bütçesi açısından önemli bir uyarı niteliğindedir.



Şekil 4.14. Beyşehir-Aşağı Esence istasyonları 3 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri

Tüm zaman ölçekleri genelinde değerlendirildiğinde, aSPI ile SPI indekslerinin zamansal desenlerinin yüksek düzeyde örtüştüğü ve her iki meteorolojik-tarımsal kuraklık göstergesi arasında güçlü bir korelasyon bulunduğu saptanmıştır. Bu durum, tarımsal kuraklığın doğrudan atmosferik yağış paternleriyle ilişkili olduğunu ve aSPI indeksinin SPI'ye benzer güvenilirlikte çıktılar sunduğunu göstermektedir.



Şekil 4.15. Beyşehir-Aşağı Esence istasyonları 6 ve 12 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri

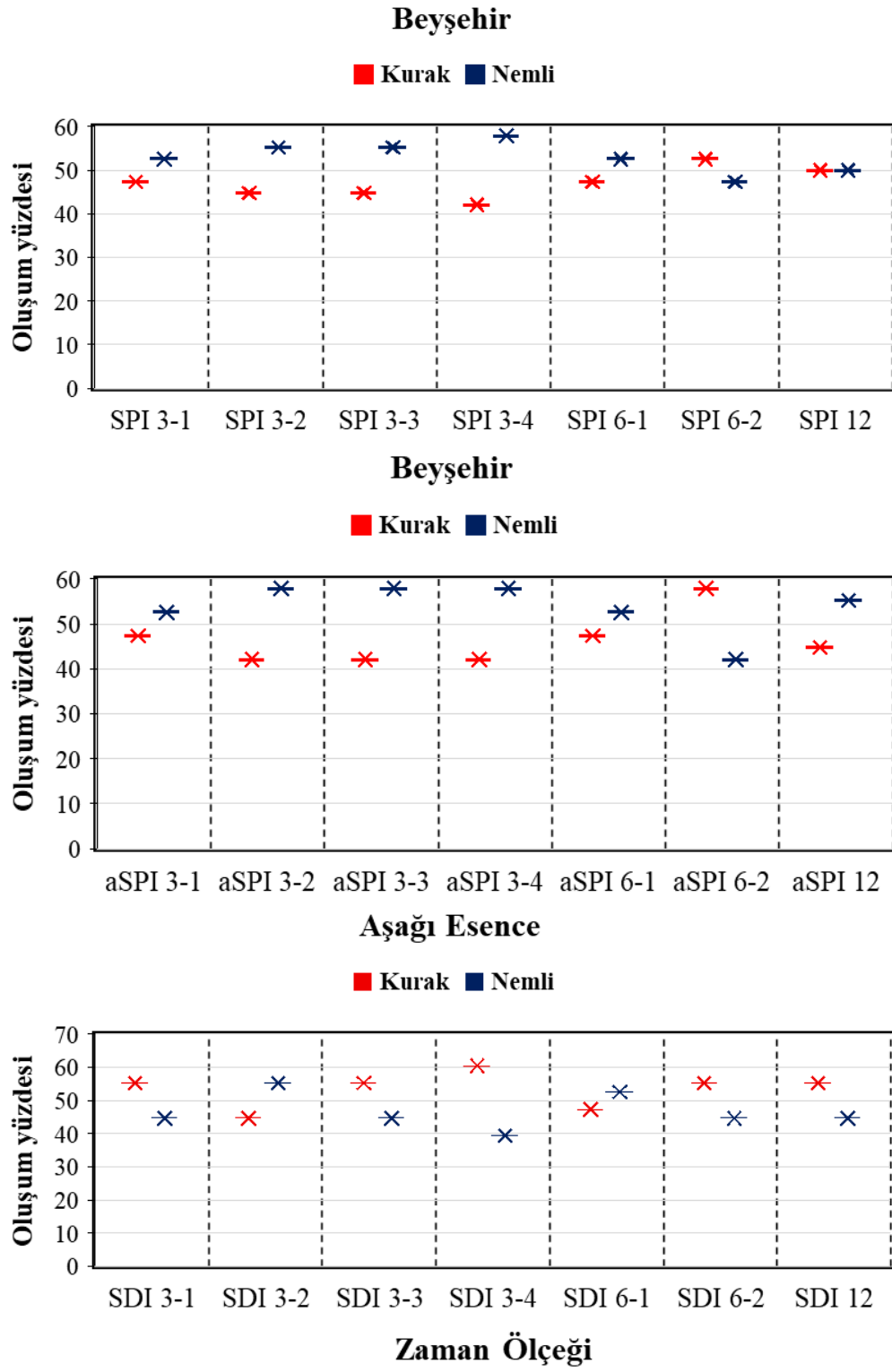
Şekil 4.16'da, Beyşehir Meteoroloji İstasyonu için hesaplanan SPI ve aSPI kuraklık indeksleri ile Aşağı Esence Akım Gözlem İstasyonu'nda elde edilen SDI değerleri esas alınarak, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde kurak ve nemli durumların gerçekleşme frekansları yüzdesel olarak gösterilmiştir.

SDI için değerlendirildiğinde, hidrolojik kuraklık oluşma olasılığı yalnızca 3-2 ve 6-1 dönemlerinde %50'nin altında kalmıştır. Bu durum, söz konusu dönemlerde akış rejiminin genellikle nemli koşullara daha eğilimli olduğunu göstermektedir. Özellikle 3-4 döneminde, SDI ile belirlenen kurak ve nemli oluşum oranları arasındaki farkın maksimum seviyeye ulaştığı dikkat çekmektedir. Bu bulgu, yaz sonu ve sonbahar başı aylarını kapsayan bu dönemde hidrolojik sistemin kurak koşullara karşı daha hassas olduğunu ortaya koymaktadır.

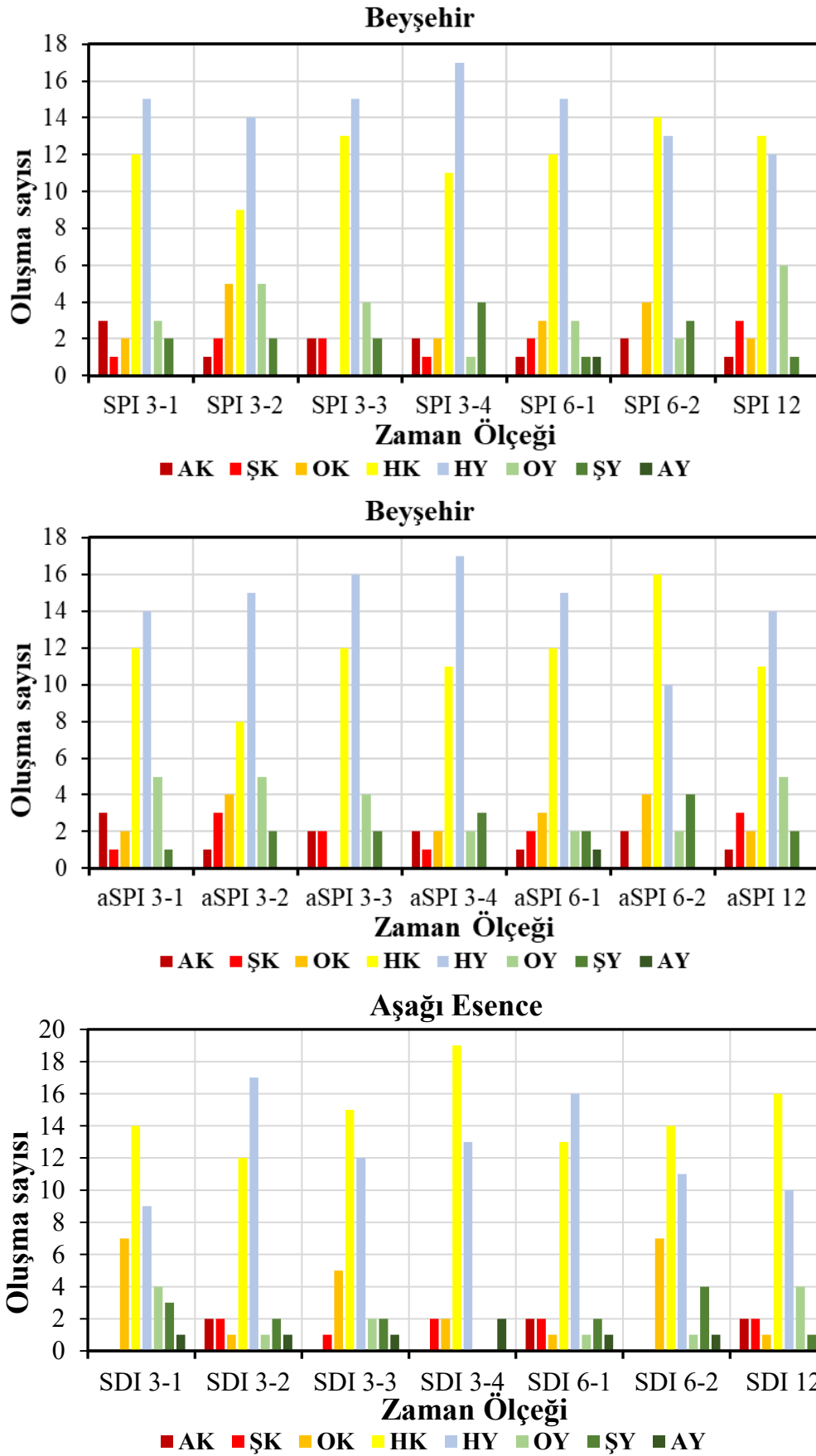
SDI bazında diğer dönemlerde kurak ve nemli durumların görülme oranları ise birbirine oldukça yakın gerçekleşmiş; bu da hidrolojik döngünün dönemsel belirsizlik içerdiğini ve SDI'nın eşit ağırlıklı iki uç durumu yansıttığını göstermektedir. Öte yandan, aSPI değerleri incelendiğinde, kurak ve nemli olayların yüzdesel dağılımları arasındaki farkın, SPI ve SDI'ya kıyasla daha belirgin olduğu görülmektedir. Bu durum, aSPI'nin mevsimsel tarımsal su talebine karşı duyarlılığını ve özellikle tarımsal faaliyetlerin etkin olduğu dönemlerde daha güçlü varyasyonlar yansıttığını göstermektedir. Bu farklar, meteorolojik ve tarımsal kuraklık indekslerinin su kaynakları üzerindeki etkileri farklı zaman ölçeklerinde farklı şekilde algıladığını ortaya koymaktadır.

Şekil 4.17'de, SPI, aSPI ve SDI kuraklık indekslerinin farklı kuraklık şiddeti sınıflarına göre gerçekleşme sayıları sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre, hem kurak hem de nemli koşullar altında, tüm indeks türlerinde Hafif Kurak (HK) ve Hafif Yağışlı (HY) sınıfları en sık gözlemlenen kategoriler olmuştur. Bu durum, çalışılan zaman diliminde ekstrem kuraklık ya da aşırı yağış koşullarından ziyade, daha ılımlı hidroklimatik koşulların baskın olduğunu göstermektedir.

Özellikle SDI indeksi açısından değerlendirildiğinde, Aşırı Kurak (AK), Şiddetli Kurak (ŞK), Aşırı Yağışlı (AY) ve Şiddetli Yağışlı (ŞY) sınıflarının oldukça düşük sıklıkta meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu, hidrolojik kuraklık koşullarının çoğunlukla uç değerlere ulaşmadan, daha orta seviyelerde seyrettiğine işaret etmektedir. Dönemsel bazda incelendiğinde, SDI 3-2 ve SDI 6-1 haricindeki tüm dönemlerde en fazla rastlanan kuraklık şiddeti sınıfı Hafif Kurak (HK) olmuştur. Bu iki dönem, akım koşullarının daha değişken veya nemli eğilim gösterdiği zaman dilimleri olabilir. Ayrıca, 3-1 ve 6-2 dönemlerinde ise Aşırı Kurak (AK) ve Şiddetli Kurak (ŞK) sınıflarına ait oluşumların hiç gözlemlenmediği görülmüştür. Bu durum, söz konusu zaman dilimlerinde yağış-akış ilişkilerinin daha stabil ve kuraklık şiddetinin uç değerlere ulaşmadığını göstermektedir.



Şekil 4.16. Kurak ve nemli durumların oluşum yüzdeleri



Şekil 4.17. Farklı kuraklık türlerinde kuraklık sınıflarının oluşum sayıları

Aşağı Esence akım gözlem istasyonunda, SDI kuraklık indeksi kullanılarak Run Teorisi ile elde edilen kuraklık süresi, şiddeti ve tepe (pik) değerlerine ilişkin bulgular Çizelge 4.5. incelendiğinde, özellikle 3 aylık zaman ölçeğinde kuraklık süresinin 5-9 yıl arasında değişen geniş bir aralıkta gerçekleştiği göze çarpmaktadır. Bu süre, 6 aylık zaman ölçeğinde 3-5 yıl, 12 aylık zaman ölçeğinde ise maksimum 4 yıl olarak kaydedilmiştir. Ortalama kuraklık süresi açısından en uzun değer 3-4 döneminde 3.1 yıl ile gözlenirken, en kısa süre 6-2 döneminde 1.5 yıl olarak hesaplanmıştır. Kuraklık şiddeti, 3-4 döneminde 6.73 değeriyle öne çıkmış ve analiz edilen tüm dönemler arasında en yüksek düzey olarak dikkat çekmiştir. Buna karşın, 6-1, 6-2 ve 12 aylık zaman dilimlerinde şiddet değerleri 4'ün altında kalmıştır. Ortalama şiddet değerlerinin ise zaman ölçeğine göre 1.07 ile 2.32 arasında değiştiği görülmüştür. Hem süre hem de şiddet verileri birlikte değerlendirildiğinde, 3-4 döneminin istasyonda izlenen en baskın ve yoğun kuraklık dönemi olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, pozitif yönlü pik değerlerinin genellikle aşırı yağışlı (AY) sınıflarda meydana gelmesi, yağış karakteristiklerinin dönemsel olarak büyük dalgalanmalar gösterdiğine işaret etmektedir. Özellikle 2001-2005 yılları arasında şiddetli kuraklık koşulları yaşanırken, 2007 yılı sonrasında daha yoğun yağış olaylarının görülmeye başlandığı anlaşılmaktadır. Bu durum, çalışma alanında iklim değişkenliğinin sadece kuraklıkla sınırlı kalmayıp, aşırı yağış olaylarını da içerecek şekilde giderek belirginleştiğini göstermektedir.

Çizelge 4.5. Aşağı Esence istasyonu hidrolojik kuraklık karakteristikleri

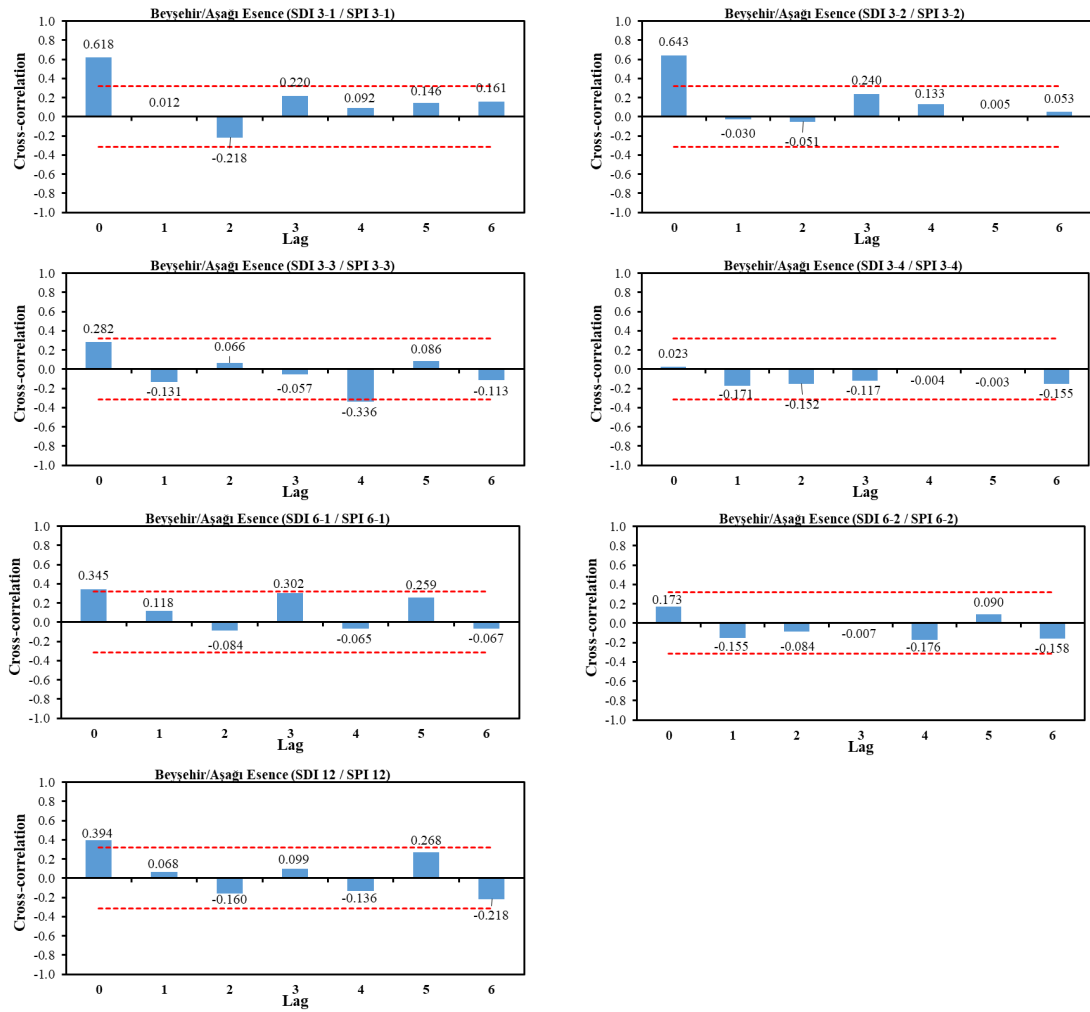
	SDI 3-1	SDI 3-2	SDI 3-3	SDI 3-4	SDI 6-1	SDI 6-2	SDI 12
	Süre						
Mak.	7	5	5	9	5	3	4
Ort.	2.2	1.9	1.8	3.1	1.7	1.5	1.8
	Şiddet						
Min.	-5.67	-4.12	-5.45	-6.73	-2.77	-3.13	-2.77
Ort.	-1.80	-1.45	-1.46	-2.32	-1.07	-1.18	-1.10
	Pik						
Min.	-1.43	-2.27	-1.50	-1.62	-2.22	-1.37	-2.17
Yıl	1996	2001	2005	2001	2005	2001	2005
Mak.	2.50	2.38	2.60	3.52	2.51	2.39	2.07
Yıl	2001	2015	1995	2007	2015	1995	2015

Şekil 4.18'de, SPI ve SDI kuraklık indisleri arasında 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçekleri dikkate alınarak hesaplanan gecikme (lag) değerlerine ait korelasyon bulguları sunulmaktadır. Analizler, %95 güven aralığına karşılık gelen 0.05 anlamlılık

düzeyinde gerçekleştirilmiştir. 3-1 dönemine ait verilere bakıldığında, yalnızca lag 0 için istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon belirlenmiş ve bu korelasyon değeri 0.618 ile tüm dönemler içerisinde en yüksek değeri yansıtmaktadır. 3-2 döneminde de benzer biçimde sadece lag 0'da anlamlılık sınırları içerisinde bir ilişki tespit edilmiştir. Bu iki dönemde SPI ve SDI indisleri arasındaki ilişki pozitif yönde seyretmiş, dolayısıyla meteorolojik ve hidrolojik kuraklık bileşenlerinin eş zamanlı hareket etme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık, 3-3 döneminde gecikme süresi lag 4 olan noktada anlamlı bir korelasyon hesaplanmış; ancak bu ilişki negatif yönlü olup korelasyon katsayısı -0.336 olarak bulunmuştur. Bu durum, bu dönemde meteorolojik kuraklığın hidrolojik etkilerinin birkaç ay gecikmeli ve ters yönlü olabileceğini düşündürmektedir. 3-4 dönemine ait verilerde ise hiçbir lag değerinde istatistiksel anlamlılığa ulaşan bir ilişki tespit edilememiştir. Özellikle lag 0 dışındaki tüm lag aralıklarında negatif korelasyon değerlerinin hâkim olması, meteorolojik ve hidrolojik kuraklık arasında belirgin bir uyumsuzluğa işaret etmektedir.

6-1 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde yapılan karşılaştırmalarda, sadece lag 0 noktasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyon değerleri saptanmıştır. Bu bulgu, bu zaman dilimlerinde yağışın doğrudan ve eş zamanlı olarak akış rejimi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Öte yandan, 6-2 döneminde SPI ve SDI indisleri arasında anlamlı bir ilişki oluşmamıştır. Bu durum, bu döneme ait hidrolojik ve meteorolojik süreçler arasında belirgin bir gecikme ya da yön farkı olduğunu düşündürülebilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bazı dönemlerde meteorolojik kuraklığın hidrolojik kuraklığa hemen yansıdığı görülürken, bazı dönemlerde bu yansımanın gecikmeli veya tutarsız gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu da bölgedeki hidro-meteorolojik süreçlerin hem mevsimsel hem de zamansal açıdan karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



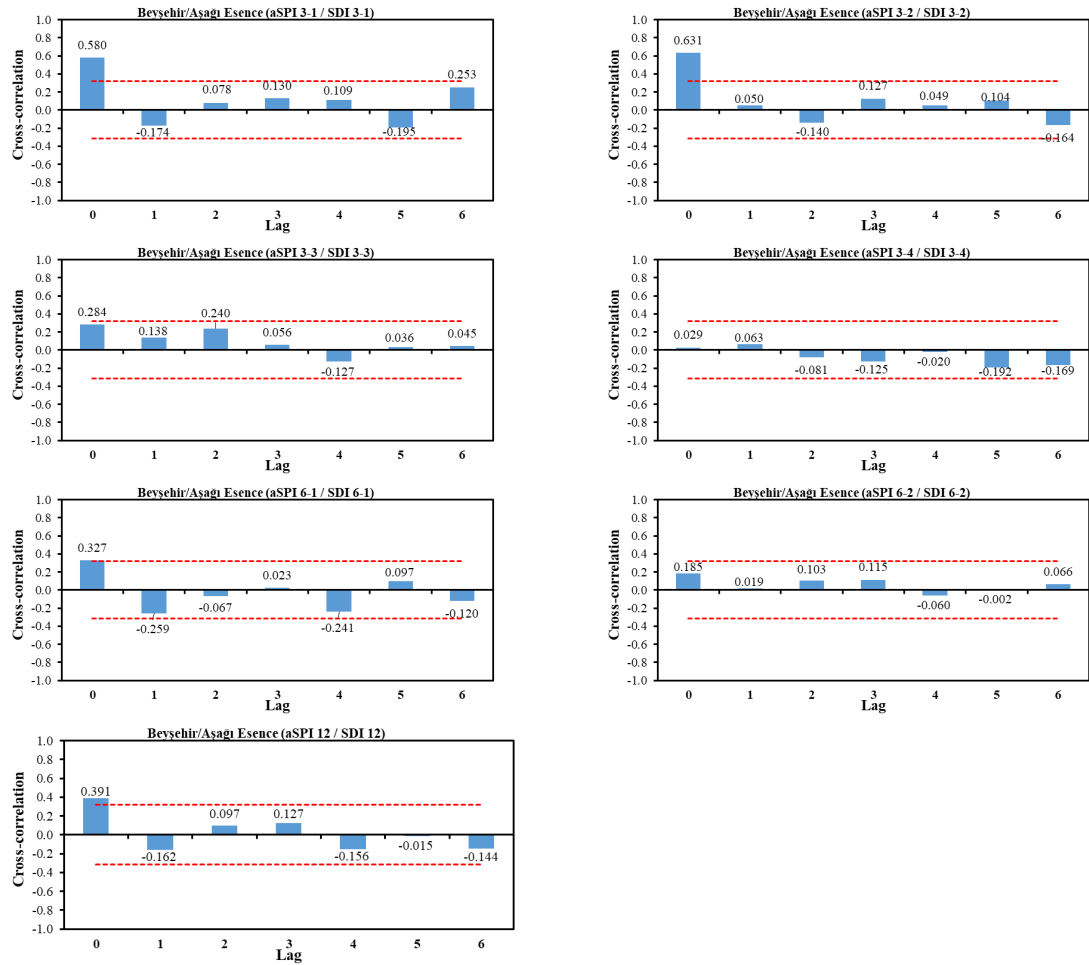
Şekil 4.18. SDI ve SPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Aşağı Esence)

Şekil 4.19’da, farklı zaman ölçekleri (3, 6 ve 12 ay) için hesaplanan aSPI ile SDI kuraklık indisleri arasındaki gecikmeli (lag) ilişkiler gösterilmektedir. İlgili korelasyon analizleri %95 güven düzeyine ($\alpha = 0.05$) göre değerlendirilmiş ve yalnızca anlamlı sonuçlara odaklanılmıştır. 3-1 döneminde, sadece lag 0 noktasında anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Bu döneme ait korelasyon katsayısı 0.580 olup, tüm zaman aralıkları içinde en güçlü bağı işaret etmektedir. 3-2 döneminde de benzer şekilde yalnızca lag 0’da pozitif ve anlamlı bir korelasyon belirlenmiş, bu da aSPI ile SDI indislerinin kısa vadede uyumlu hareket ettiğini göstermektedir. 3-3, 3-4 ve 6-2 dönemlerinde, incelenen hiçbir lag seviyesinde anlamlı bir korelasyon tespit edilememiştir. Bu durum, söz konusu dönemlerde meteorolojik süreçlerin hidrolojik sistem üzerindeki etkisinin ya zayıf kaldığını ya da zamanla dağılmış bir şekilde ortaya çıktığını düşündürmektedir. Bu dönemlerde negatif ve istatistiksel olarak anlamsız

korelasyonların görülmesi, kuraklık bileşenleri arasındaki etkileşimin düzensiz ve döneme bağlı olabileceğini ortaya koymaktadır.

6-1 döneminde ise lag 0 seviyesinde anlamlı ve pozitif yönlü bir ilişki elde edilmiştir ($r = 0.327$). Bu korelasyon, düşük olmasına rağmen iki indeksin bu zaman ölçeğinde kısa süreli senkron bir tepki verdiğine işaret etmektedir. 12 aylık zaman diliminde ise yine yalnızca lag 0 için istatistiksel olarak anlamlı bir bağ bulunmuş ve korelasyon katsayısı 0.391 olarak hesaplanmıştır. Bu da uzun vadeli değerlendirmelerde bile meteorolojik ve hidrolojik göstergeler arasında belirli bir örtüşme olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, özellikle lag 0'da ortaya çıkan anlamlı korelasyonlar, aSPI ve SDI indislerinin bazı dönemlerde eş zamanlı olarak benzer eğilimler gösterdiğini ortaya koymakla birlikte, bu ilişkinin süreklilik arz etmediği, dönemsel ve zamansal farklar içerdiği anlaşılmaktadır. Bu durum, bölgedeki kuraklık dinamiklerinin hem kısa hem de uzun vadeli süreçlerde karmaşık etkileşimler barındırdığını düşündürmektedir.



Şekil 4.19. SDI ve aSPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Beyşehir/Aşağı Esence)

4.1.2. Karaman alt havzası meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığın değerlendirilmesi

Karaman ve Seyit Hasan Kuraklıklarının Değerlendirilmesi

Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de, Karaman Meteoroloji Gözlem İstasyonu’nda 1985-2022 yılları arasında kaydedilen aylık yağış verilerinden elde edilen SPI ve aSPI kuraklık indislerinin; aynı dönem aralığında Seyit Hasan Akım Gözlem İstasyonu’ndan alınan aylık akım verileri kullanılarak hesaplanan SDI değerleriyle birlikte zamansal değişimleri sunulmaktadır. Grafiklerde aSPI değerleri çizgi grafik biçiminde gösterilirken, SPI ve SDI değerleri sütun grafikler olarak verilmiştir. Ayrıca, kuraklık şiddetinin sınıflandırıldığı sınır değerler grafiklerde eşik çizgilerle ifade edilmiştir.

3-1 dönemine (Ekim-Kasım-Aralık) ait zamansal dağılıma bakıldığında, 2002-2007 yılları arasında meteorolojik (SPI ve aSPI) ve hidrolojik (SDI) kuraklık göstergelerinin aynı anda düşük değerler sergilediği, bu nedenle çoklu kuraklık etkisinin belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde 1985-1992 periyodunda da genel olarak kuraklık şartlarının etkili olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşılık 2007-2011 yılları arasında çoğunlukla nemli koşulların hâkim olduğu, özellikle aSPI ve SPI değerlerindeki yükselişle teyit edilmektedir.

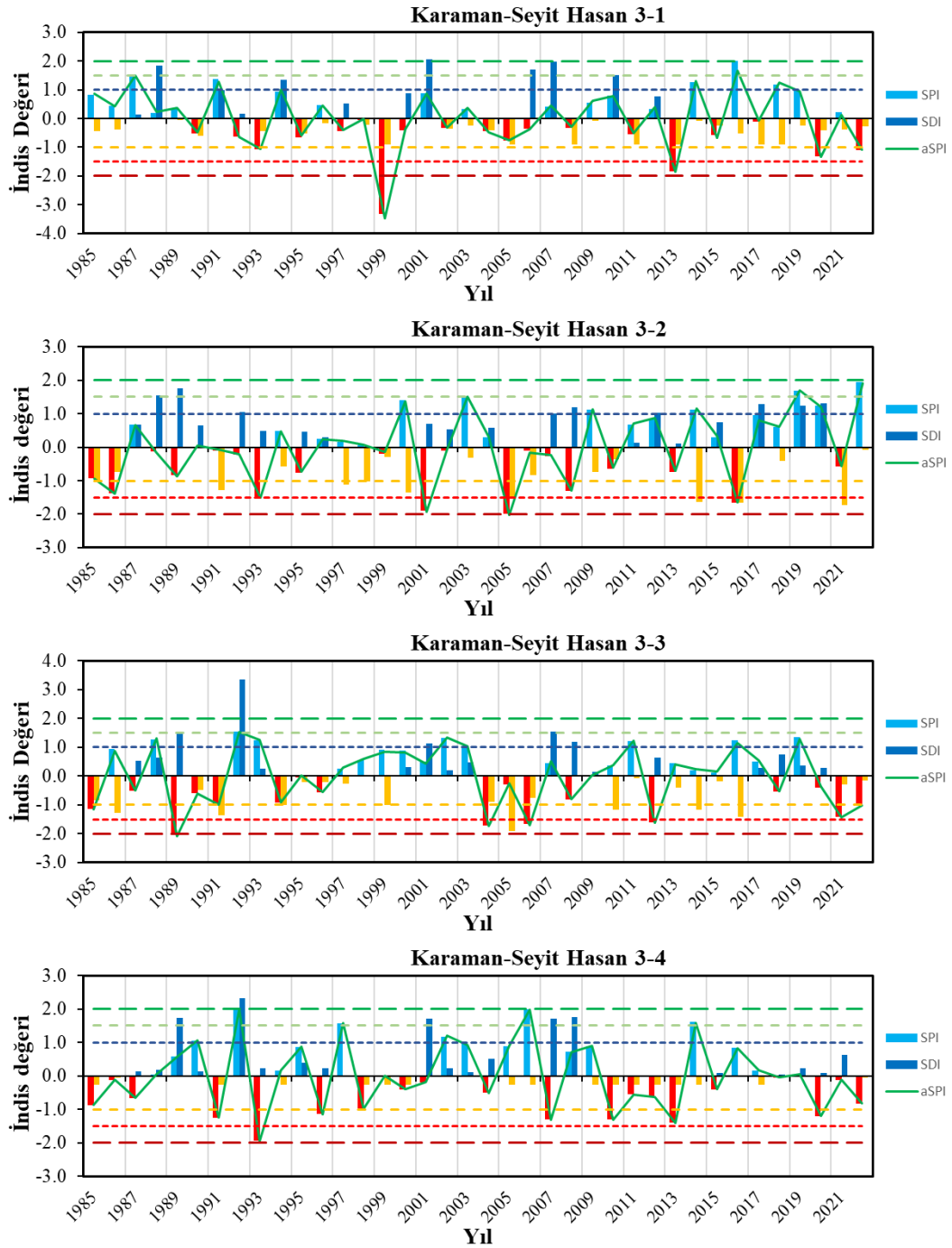
3-2 döneminde (Ocak-Şubat-Mart) ise 1997-2000 yılları arasında tüm kuraklık indislerinde düşüş gözlenmiş; bu dönem meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların örtüştüğü bir zaman aralığı olarak öne çıkmıştır. Ancak 2017 yılı sonrasında genellikle nemli koşulların hâkim olduğu ve SPI/aSPI değerlerinde pozitif yönlü eğilimlerin arttığı anlaşılmaktadır.

3-3 dönemi (Nisan-Mayıs-Haziran) ise kurak ve nemli dönemler arasında ani geçişlerin yaşandığı daha değişken bir dönem olarak dikkat çekmektedir. Özellikle 2004-2007 yılları arasında SDI değerlerinin düşük seviyelerde seyrettiği, bu sürecin sürekli hidrolojik kuraklık koşullarına işaret ettiği görülmektedir. Son yıllarda ise SDI değerlerinin yükselmesi, akımsal tepkinin zaman içinde arttığını ve hidrolojik geri kazanım sürecine girildiğini düşündürmektedir.

3-4 döneminde (Temmuz-Ağustos-Eylül) ise 2001-2007 arası genellikle yağışlı geçmiş, bunun tersine 2009-2014 döneminde kurak koşullar öne çıkmıştır. SPI ve aSPI değerlerinin çoğu yılda negatif olduğu bu dönem, özellikle 1993 yılında şiddetli kuraklık seviyesinin gözlenmesiyle dikkat çekmektedir. Aynı zamanda, 1992, 2006 ve 2014 yıllarında SPI değerleri şiddetli yağışlı sınıfta yer almış ve bu dönemlerde kısa süreli ama yoğun nemlenme olayları yaşanmıştır. Ancak 3-4 döneminde SDI ile SPI/aSPI değerleri arasındaki korelasyonun diğer dönemlere kıyasla daha zayıf olduğu belirlenmiş, bu durum mevsimsel hidrolojik tepkimenin meteorolojik göstergelerle tam örtüşmediğini ortaya koymuştur.

Tüm dönemler değerlendirildiğinde, özellikle SPI ile aSPI indislerinin zamansal davranışlarının büyük ölçüde benzerlik gösterdiği, bu iki meteorolojik indeksin birbirini destekleyici yapıda olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, aSPI indisinin geleneksel SPI'ya kıyasla daha duyarlı ve kararlı sonuçlar sunduğunu ortaya

koymakta, aynı zamanda meteorolojik kuraklığın tespitinde alternatif ve tamamlayıcı bir gösterge olabileceğini göstermektedir.

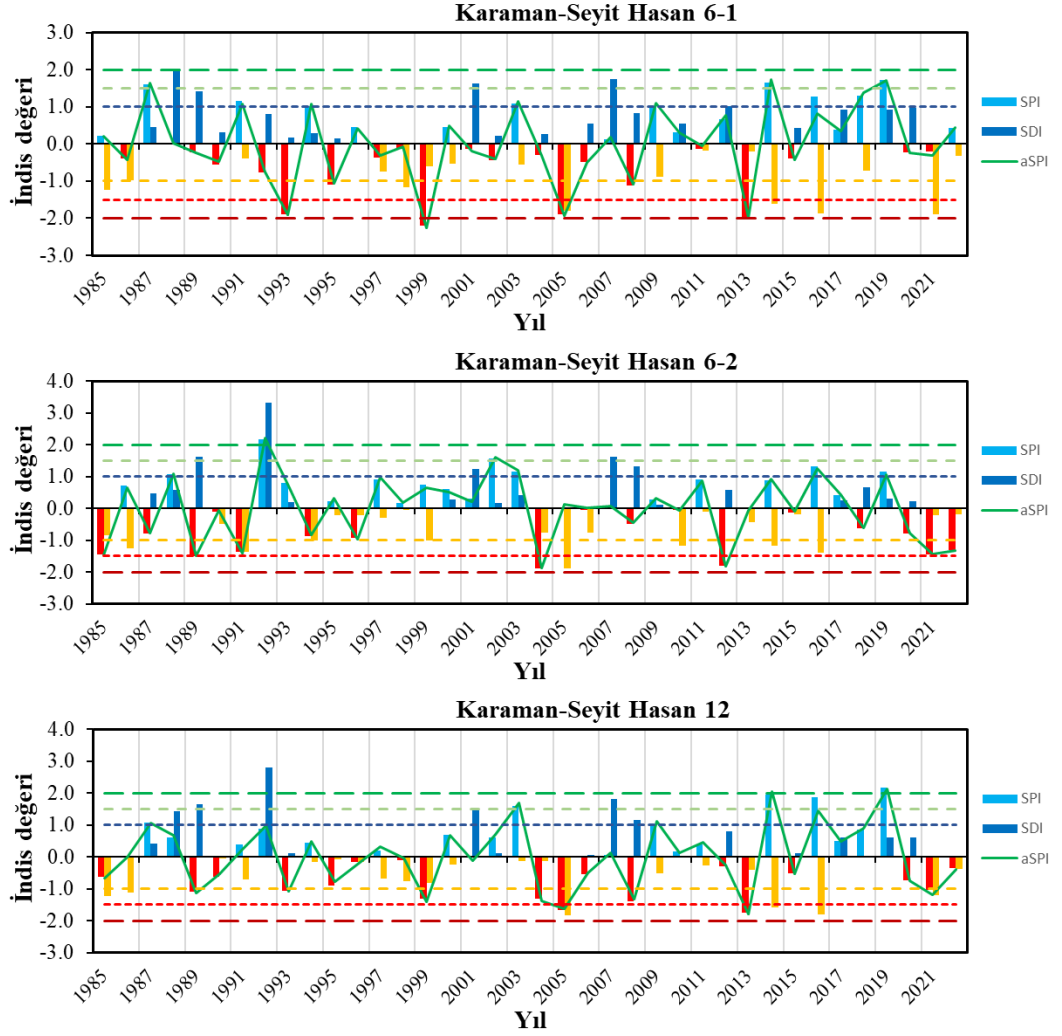


Şekil 4.20. Karaman-Seyit Hasan istasyonları 3 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri

Şekil 4.21. incelendiğinde, Karaman Meteoroloji Gözlem İstasyonu ile Seyit Hasan Akım Gözlem İstasyonu'na ait 6 aylık (6-1 ve 6-2) ile 12 aylık kuraklık dönemlerine ilişkin SPI, aSPI ve SDI indislerinin zamansal değişimleri analiz edilmiştir. 6-1 dönemi (Ekim–Mart) kapsamında, 1989-1997 yılları arasında kurak ve

nemli dönemlerin sık aralıklarla birbirini izlediği görülmektedir. Bu döngüsel değişim, atmosferik koşulların bu zaman aralığında oldukça dengesiz ve değişken seyrettiğini göstermektedir. Özellikle ani geçişlerin gözlemlenmesi, bölgenin bu dönemde meteorolojik ve hidrolojik sistemler açısından kararsız bir yapıya sahip olduğunu düşündürmektedir. Öte yandan, 2017-2020 periyodu ise tüm göstergelerde pozitif yönlü değerlere işaret etmekte olup, bu yıllarda bölge genelinde yağışlı ve nemli koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir. Bunun tersine, 1997-2000 dönemi ise tüm kuraklık göstergelerinde negatif değerlere ulaşılmasıyla belirgin bir kuraklık süreci olarak dikkat çekmektedir. 6-2 dönemi (Nisan–Eylül) için elde edilen bulgular, 2004-2007 yılları arasında kuraklık etkisinin bariz şekilde hissedildiğini ortaya koymaktadır. Bu süreçte özellikle SDI değerlerinin uzun süre düşük seyretmesi, hidrolojik kuraklığın sürekliliğini desteklemektedir. Buna karşılık, 2000-2003 arası dönemde ise pozitif yönlü SPI ve aSPI değerleriyle birlikte nemli koşulların baskın olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, kısa zaman dilimlerinde bile yağış rejiminin önemli değişiklikler gösterebildiğine işaret etmektedir. 12 aylık zaman ölçeğinde (Ekim–Eylül) yapılan değerlendirmelerde ise tüm kuraklık göstergeleri arasında kurak ve nemli dönemler arasında geçişlerin oldukça kısa aralıklarla gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum, uzun dönemli verilerin bile kuraklık ve yağış rejimi açısından istikrarsız eğilimler sergileyebileceğini göstermektedir. Özellikle 1995-2000 döneminde kurak koşulların hâkim olduğu, buna karşılık 2017-2020 arasında ise tüm göstergelerde nemli koşulların ön planda yer aldığı görülmektedir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında; SPI ve aSPI indislerinin zamansal eğilimlerinin büyük ölçüde benzerlik gösterdiği, dolayısıyla iki göstergenin meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde birbirini doğrulayan ve tamamlayan nitelikte olduğu anlaşılmaktadır. Bu uyum, aSPI göstergesinin klasik SPI'ya göre daha duyarlı olmasının yanında, zamansal değişimlere benzer tepkiler verdiğini de ortaya koymaktadır. Böylece her iki indeksin birlikte değerlendirilmesinin, kuraklık analizlerinde daha sağlam ve bütüncül sonuçlara ulaşılmasına katkı sağladığı söylenebilir.

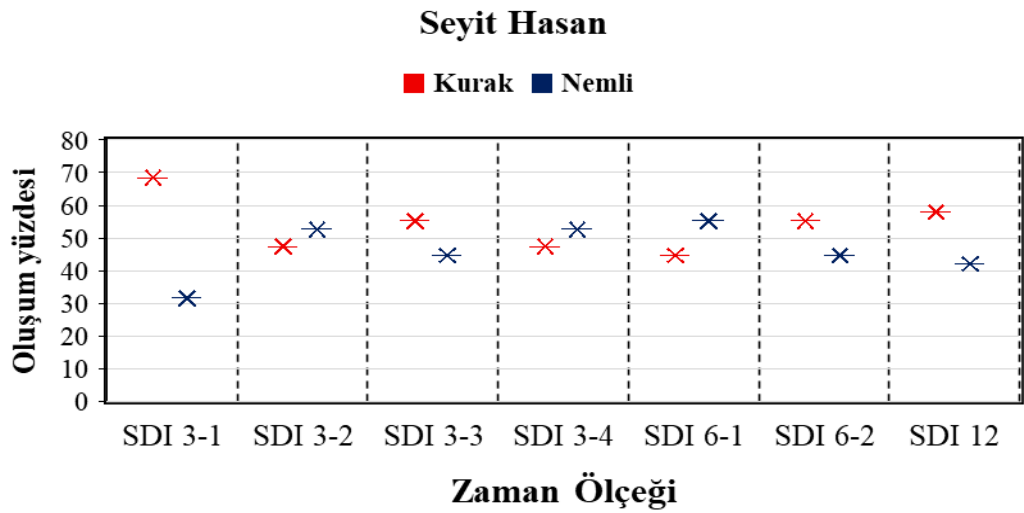
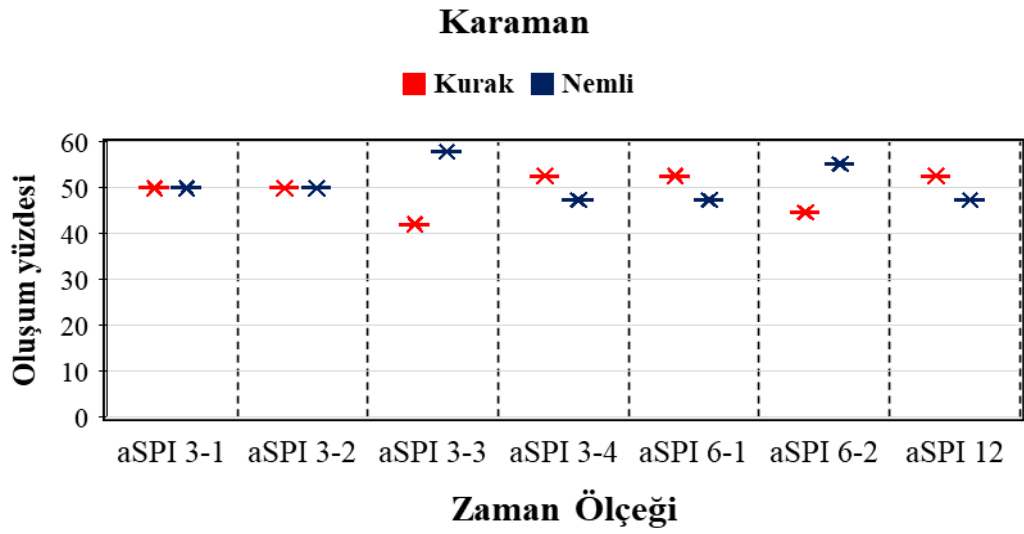
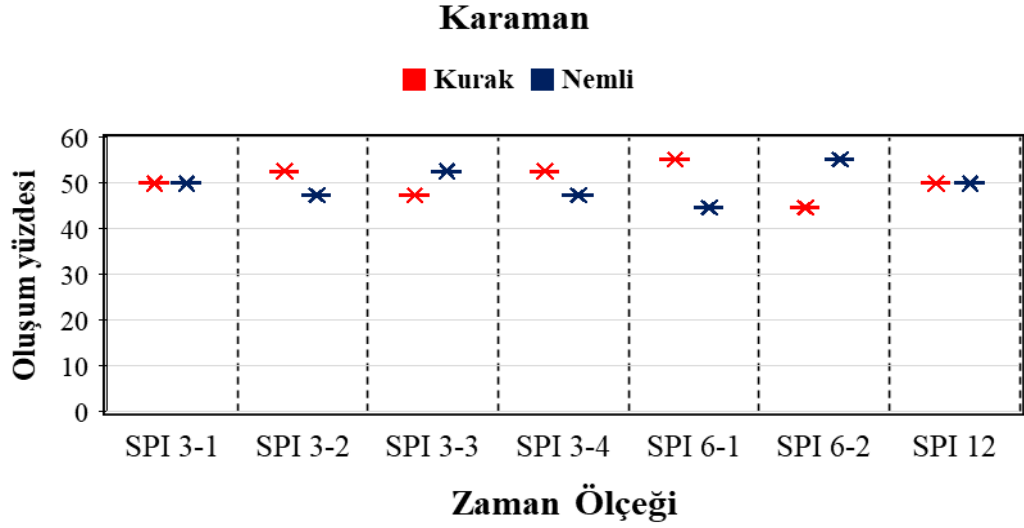


Şekil 4.21. Karaman-Seyit Hasan istasyonları 6 ve 12 aylık zaman ölçeği kuraklık indis değerleri

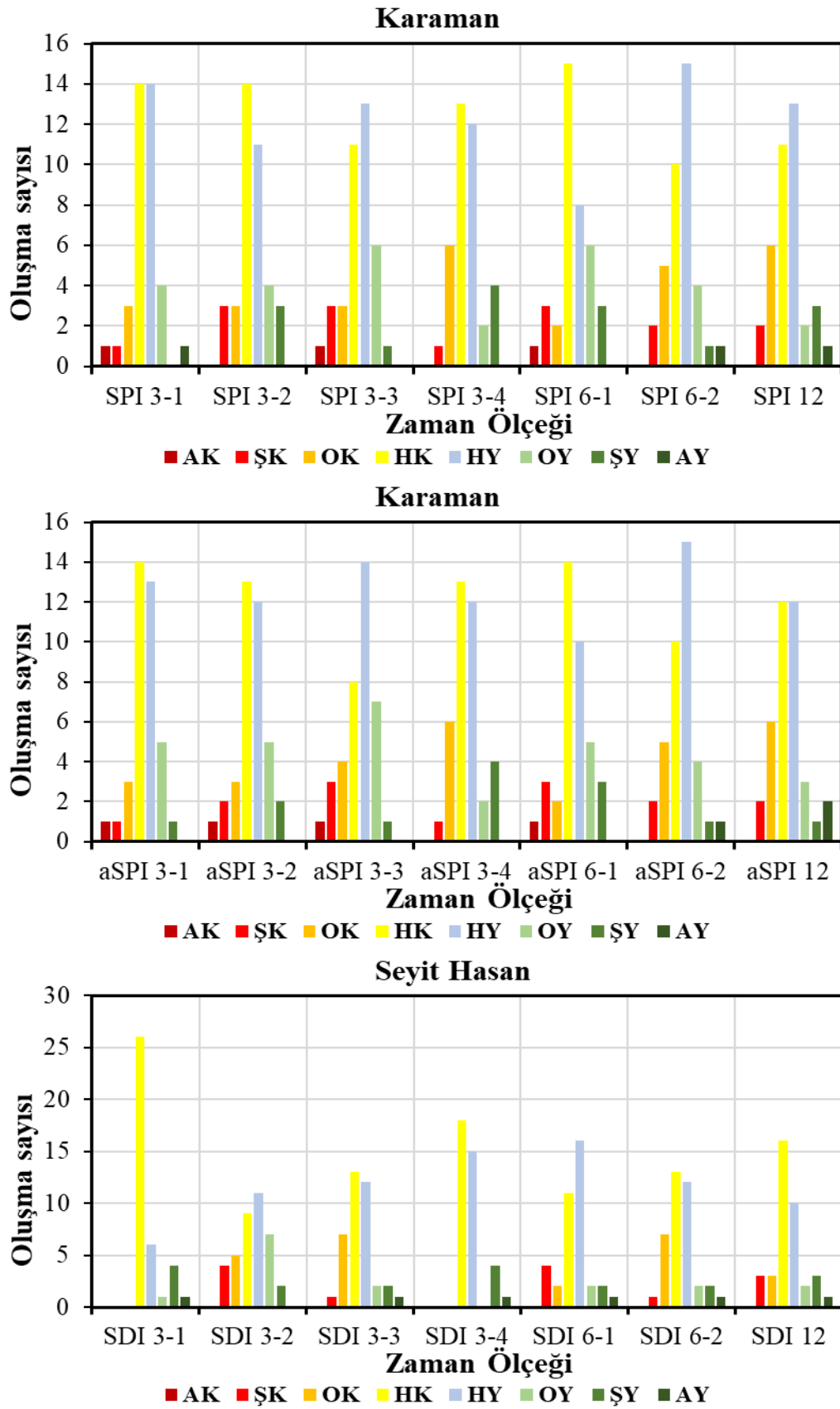
Şekil 4.22.'te Karaman istasyonunda SPI ve aSPI kuraklık indisleri ile Seyit Hasan istasyonunda SDI kuraklık indisine göre 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçekleri için kurak ve nemli durumların oluşma yüzdeleri görülmektedir. Karaman istasyonunda SPI yöntemi ile 3 aylık zaman ölçeğinde tüm dönemlerde kuraklık oluşum yüzdesi %50 civarında olmuştur. 6 aylık zaman ölçeğinin birinci döneminde (Ekim-Haziran) kuraklık oluşum yüzdesi %55 iken 6 aylık zaman ölçeğinin ikinci döneminde ise %45 olmuştur. Buradan anlaşılabacağı üzere bitkilerin ekilme ve gelişim dönemini kapsayan aylarda kuraklık oluşumu nemli oluşumundan daha fazladır. 12 aylık zaman ölçeğinde de kuraklık oluşum oranı nemli oluşum oranıyla aynıdır. Tarımsal kuraklıkta sadece aSPI 3-3 ve 6-2'de kuraklık oluşum oranı nemli oluşumundan daha küçüktür. Hidrolojik kuraklıkta sadece SDI 3-2, 3-4 ve 6-1'de kuraklık oluşumu %50'den küçük olmuştur. SDI 3-1'de kurak ve nemli oluşum oranları arasındaki fark en büyüktür.

Hidrolojik kuraklıkta 3-1 dönemi hariç diğer dönemlerde kurak ve nemli oluşum oranları birbirine yakındır. SDI’de kurak ve nemli durumların oluşum oranları arasındaki fark, aSPI ve SPI’ye göre daha fazladır.

Şekil 4.23.’te, SPI, aSPI ve SDI kuraklık indis değerlerinin farklı kuraklık sınıflarındaki oluşma sayıları verilmiştir. Kurak ve nemli durumlarda tüm kuraklık türlerinde HK ve HY sınıf en fazla görülen kuraklar olmuştur. 3 aylık zaman ölçeklerinde AK sınıfı en az hiç görülmezken, en çok 1 kez görülmüştür. 12 aylık zaman ölçeğinde ise bu kuraklık sınıfı hiç yaşanmamıştır. SPI 3-1’de ŞY, SPI 3-3’te AY, SPI 6-2’de ise AK meydana gelmemiştir. HK, OK ve AK sınıfları en fazla oluşum sayısına sırasıyla 6-1 döneminde 15, 3-4 ve 12 döneminde 6, 3-1 ve 3-3 ile 6-1 döneminde 1 defa olmuştur. aSPI’de farklı kuraklık türlerinin oluşumları SPI ile oldukça benzerdir. aSPI’de, AY sınıf sadece 6-2 ile 12 döneminde yaşanmıştır. 3 aylık zaman ölçeklerinde 3-1, 3-2, 3-3 ve 3-4 dönemlerinde AK türlerinin oluşum sayısı sırasıyla 1, 1, 1 ve 0, 6-1 döneminde 1, 6-2 döneminde 0, 12 aylık dönemde ise hiç oluşmamıştır. SDI indis değerlerine göre AK, ŞK ve OK, AY, ŞY, OY sınıfların oluşma sayıları oldukça azdır. SDI 3-2 ile 6-1 dönemi haricinde tüm dönemlerde HK dönem en fazla görülen kuraklık türü olmuştur. 3-1 ve 3-4 döneminde AK ve ŞK sınıfları oluşmamıştır.



Şekil 4.22. Kurak ve nemli durumların oluşum yüzdeleri



Şekil 4.23. Farklı kuraklık türlerinde kuraklık sınıflarının oluşum sayıları

Karaman istasyonunda SPI indis değerleri için Run Teorisi sonucunda elde edilen kuraklık süre, şiddet ve pik değerleri Çizelge 4.6.'da sunulmuştur. Çizelgede verilen değerlere göre, kuraklık süresi maksimum değeri 3 aylık zaman ölçeğinde 3-6 yıl arasında, 6 aylık zaman ölçeğinde 3 yıl arasında, 12 aylık zaman ölçeğinde ise 1.5 yıl olarak elde edilmiştir. Kuraklık ortalama süresi maksimum değeri 2.2 yıl ile 3-2 döneminde, en küçük değeri ise 1.4 yıl 6-2 döneminde yaşanmıştır. Kuraklık şiddeti 4.23 ile 3-1 döneminde en büyük değerine sahiptir. 3-1 hariç tüm dönemlerde kuraklık şiddeti 4'ten küçük elde edilmiştir. Kuraklık şiddeti ortalama değeri tüm zaman ölçeklerinde 0.93 ile 1.65 arasında değişmektedir. Süre ve şiddetin bir arada değerlendirildiğinde 3-1 döneminin incelenen dönemler arasında en kritik dönem olduğu belirlenmiştir. SPI değerlerinde pik değerlerin ŞK ile AK sınıfında olduğu görülmektedir. Pozitif pik değerler ŞY ile AY sınıfında hesap edilmiştir. En şiddetli kuraklık çoğunlukla 1999-2005 yılları arasında yaşanmıştır. En şiddetli yağışlı indis değerleri ise çoğunlukla 2016 yılından sonra meydana gelmiştir. Bu sonuçlardan bu istasyonda son yıllarda bölgede yağışların şiddetinin arttığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.6. Karaman istasyonu meteorolojik kuraklık karakteristikleri

	SPI 3-1	SPI 3-2	SPI 3-3	SPI 3-4	SPI 6-1	SPI 6-2	SPI 12
	Süre						
Mak.	5	6	3	4	3	3	3
Ort.	2.1	2.2	1.7	1.7	1.6	1.4	1.5
	Şiddet						
Min.	-4.23	-3.68	-3.68	-3.89	-2.68	-3.55	-3.55
Ort.	-1.15	-1.45	-1.65	-1.31	-0.93	-1.27	-1.30
	Pik						
Min.	-3.33	-1.99	-2.04	-1.94	-2.20	-1.87	-1.75
Yıl	1999	2005	1989	1993	1999	2004	2013
Mak.	2.01	1.94	1.55	2.00	1.72	2.18	2.16
Yıl	2016	2022	1992	1992	2019	1992	2019

Karaman istasyonuna ait aSPI indeksine göre Run Teorisi kullanılarak elde edilen kuraklık süresi, şiddeti ve tepe (pik) değerleri Çizelge 4.7.'de sunulmuştur. Çizelgede yer alan verilere göre, en uzun kuraklık süresi 3 aylık zaman ölçeğinde 3-5 yıl, 6 aylık zaman ölçeğinde 3 yıl, 12 aylık zaman ölçeğinde ise maksimum 3 yıl olarak hesaplanmıştır. Ortalama kuraklık süresi, en yüksek değerine 2.1 yıl ile 3-1 döneminde ulaşmış; en düşük ortalama ise 1.4 yıl ile 6-2 döneminde kaydedilmiştir. Kuraklık şiddeti bakımından en yüksek değer 4.28 ile 3-1 döneminde gözlemlenmiştir. Buna

karşılık, 3-1 zaman ölçeği haricinde diğer tüm serilerde kuraklık şiddeti 4'ün altında kalmıştır. Ortalama kuraklık şiddeti, tüm zaman ölçekleri dikkate alındığında 0.97 ile 1.68 arasında değişmektedir. Süre ve şiddet bileşenleri birlikte değerlendirildiğinde, 3-1 döneminin analiz edilen tüm dönemler arasında en kritik kuraklık periyodu olduğu anlaşılmaktadır. SPI değerlerine ilişkin tepe noktaları (pik values), 3-4, 6-2 ve 12 ölçekleri haricinde “Aşırı Kurak” (AK) sınıfında oluşmuştur. Yalnızca 6-2 ve 12 döneminde pozitif yönlü pik değeri “Aşırı Yağışlı” (AY) sınıfında gerçekleşmiş, diğer dönemlerde ise “Şiddetli Yağışlı” (ŞY) sınıfında değerler hesaplanmıştır. Kuraklığın en yoğun yaşandığı yıllar ağırlıklı olarak 1989-1999 dönemine denk gelirken, en yüksek yağış değerlerinin ise 2006 yılı sonrası olduğu görülmektedir. Bu bulgular, son yıllarda bölgede yağış rejiminin artan bir eğilim gösterdiğine işaret etmektedir.

Çizelge 4.7. Karaman istasyonu tarımsal kuraklık karakteristikleri

	aSPI 3-1	aSPI 3-2	aSPI 3-3	aSPI 3-4	aSPI 6-1	aSPI 6-2	aSPI 12
	Süre						
Mak.	5	4	3	4	3	3	3
Ort.	2.1	1.6	1.6	1.7	1.5	1.4	1.6
	Şiddet						
Min.	-4.28	-3.71	-3.70	-3.90	-2.72	-3.53	-3.49
Ort.	-1.15	-1.33	-1.68	-1.31	-0.97	-1.37	-1.28
	Pik						
Min.	-3.47	-2.03	-2.08	-1.94	-2.26	-1.87	-1.79
Yıl	1999	2005	1989	1993	1999	2004	2013
Mak.	1.67	1.91	1.54	1.99	1.73	2.21	2.12
Yıl	2016	2022	1992	2006	2014	1992	2019

Seyit Hasan istasyonunda SDI değerleri dikkate alınarak Run Teorisi kapsamında hesaplanan kuraklık süresi, şiddeti ve tepe (pik) değerleri Çizelge 4.8.’de sunulmuştur. Söz konusu çizelgeden elde edilen bulgulara göre, en uzun kuraklık süresi 3 aylık zaman ölçeğinde 4 ila 10 yıl, 6 aylık zaman ölçeğinde 4 ila 6 yıl ve 12 aylık zaman ölçeğinde 7 yıl olarak belirlenmiştir. Ortalama kuraklık süresi açısından en yüksek değer 3.2 yıl ile 3-1 ölçeğinde kaydedilirken, en düşük ortalama süre 1.5 yıl ile 6-1 döneminde hesaplanmıştır. Kuraklık şiddeti bakımından en yüksek değer, 4.88 ile 3-1 döneminde gözlemlenmiştir. Buna karşılık, 3-1 dönemi haricinde tüm dönemlerde kuraklık şiddeti 4'ün altında kalmıştır. Tüm zaman ölçekleri dikkate alındığında, ortalama kuraklık şiddeti 0.53 ile 1.55 arasında değişkenlik göstermektedir. Süre ve şiddet bileşenleri birlikte değerlendirildiğinde, 3-1 dönemi

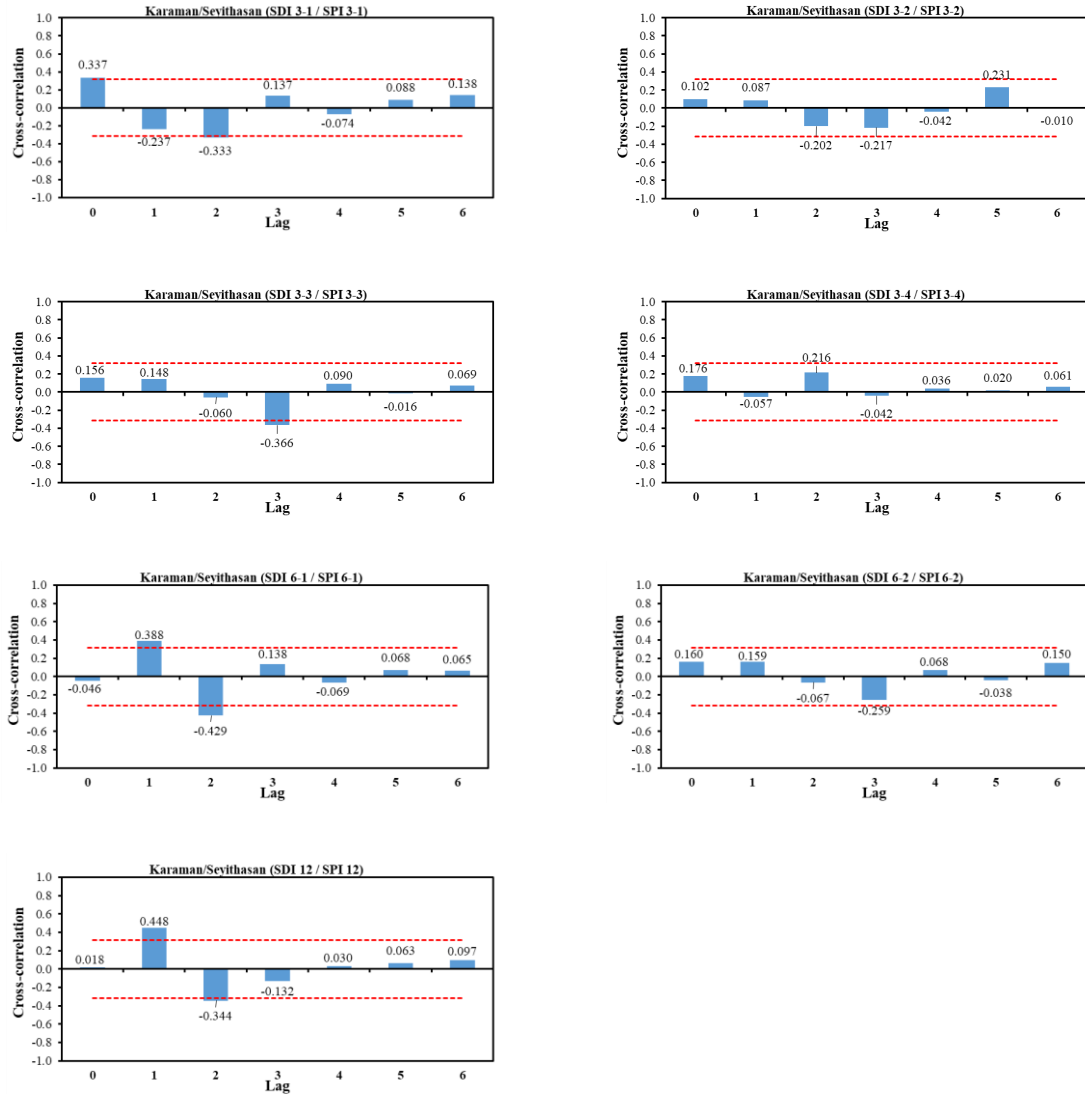
incelenen zaman dilimleri arasında en kritik kuraklık evresi olarak öne çıkmaktadır. SDI indeksine ait pik değerler incelendiğinde, pozitif yönlü pik değerler yalnızca 3-2 dönemi hariç olmak üzere “Aşırı Yağışlı” (AY) sınıfında sınıflandırılmıştır.

Çizelge 4.8. Seyit Hasan istasyonu hidrolojik kuraklık karakteristikleri

	3-1	3-2	3-3	3-4	6-1	6-2	12
	Süre						
Mak.	10	4	6	6	4	6	7
Ort.	3.2	1.6	2.3	2.2	1.5	2.3	2.3
	Şiddet						
Min.	-4.88	-3.78	-3.55	-1.60	-3.06	-3.39	-2.90
Ort.	-1.55	-1.52	-1.54	-0.53	-1.43	-1.53	-1.09
	Pik						
Min.	-0.90	-1.74	-1.90	-0.27	-1.89	-1.87	-1.82
Yıl	1999- 2005- 2008- 2011- 2013- 2017- 2018	2021	2005	1985- 1991- 1994- 1998- 1999- 2000- 2005- 2006- 2009- 2010- 2011- 2012- 2013- 2014- 2017	2021	2005	2005
Mak.	2.07	1.75	3.34	2.33	2.02	3.31	2.81
Yıl	2001	2015	1995	2007	2015	1995	2015

3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan SPI ve SDI kuraklık indis değerleri arasındaki Lag değerleri Şekil 4.24.'de verilmiştir. Kuraklık indis değerleri arasındaki ilişki %95 güven aralığında yani 0.05 anlamlılık düzeyinde incelenmiştir. 3-1 döneminde sadece lag 0 ve lag 2'de istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmuş ve en büyük korelasyon değeridir 0.337 olarak saptanmıştır. 3-2 döneminde herhangi lagda istatistiksel olarak anlamlı ilişki söz konusu değildir. 3-3 döneminde lag 3'de istatistiksel olarak anlamlı korelasyon vardır ve değeri -0.366 olarak hesap edilmiştir. 3-4 döneminde herhangi lagda istatistiksel olarak anlamlı ilişki söz konusu değildir. 6-1 ve 12 aylık dönemlerde SPI ve SDI arasında ortak olarak lag 1 ve lag 2'de

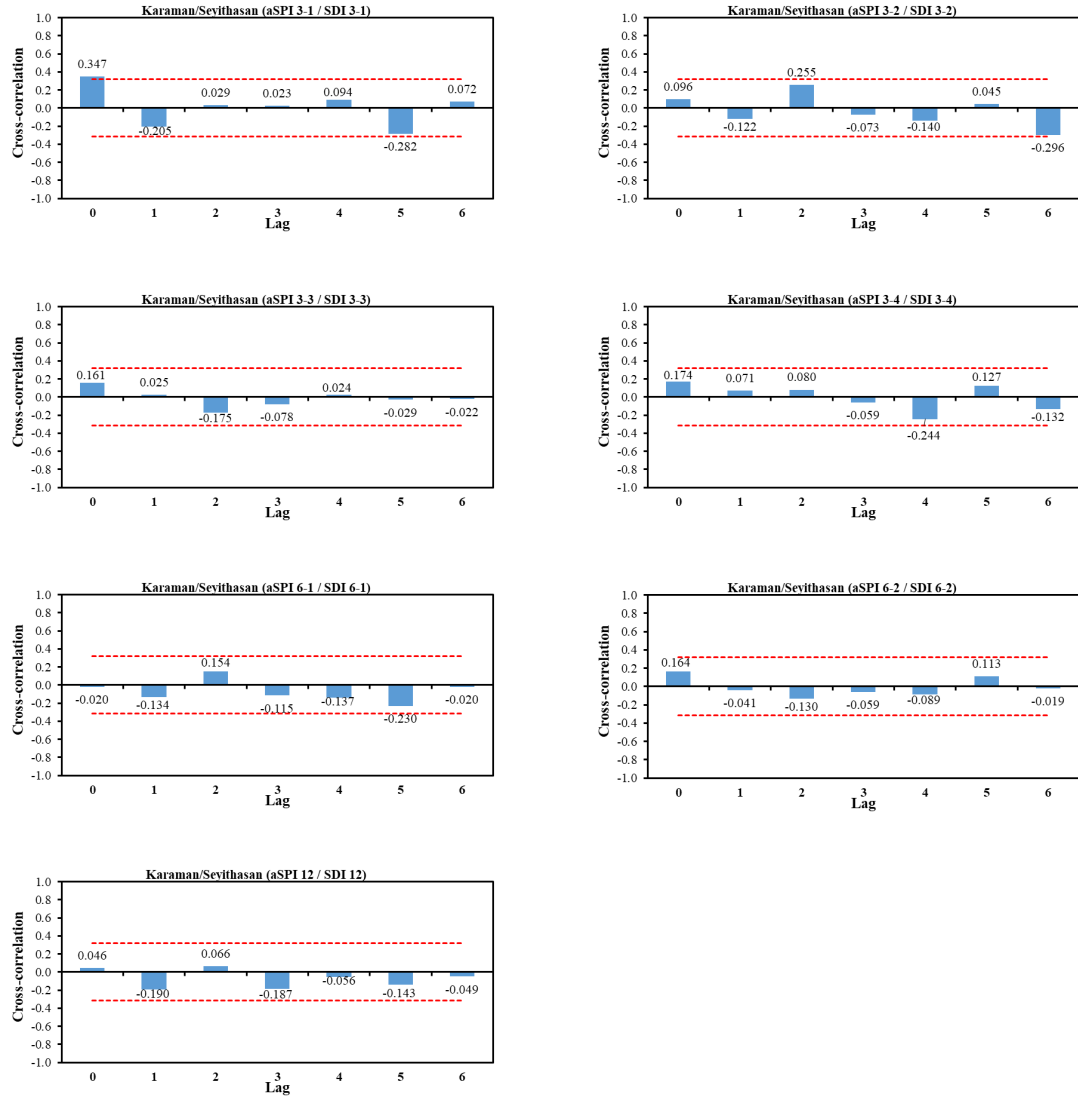
istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon belirlenmiştir. 6-2 döneminde herhangi lagda istatistiksel olarak anlamlı ilişki görülmemiştir.



Şekil 4.24. SDI ve SPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Karaman/Seyithasan)

Şekil 4.25.'de, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan aSPI ve SDI kuraklık indeksleri arasındaki gecikme (lag) değerleri sunulmuştur. İki indeks arasındaki ilişkiler %95 güven düzeyinde, yani 0.05 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir. 3-1 döneminde yalnızca lag 0 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon elde edilmiş olup, bu korelasyon katsayısı 0.347 ile en yüksek değer olarak dikkat çekmektedir. 3-2, 3-3, 3-4, 6-1, 6-2 ve 12 dönemlerine ait sonuçlar incelendiğinde, aSPI ve SDI arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağ tespit edilememiştir. Genel anlamda çapraz korelasyon sonuçları, SDI ile aSPI arasındaki ilişkinin zaman ölçeği uzadıkça zayıfladığını göstermektedir. Bu bulgu, hidrolojik ve

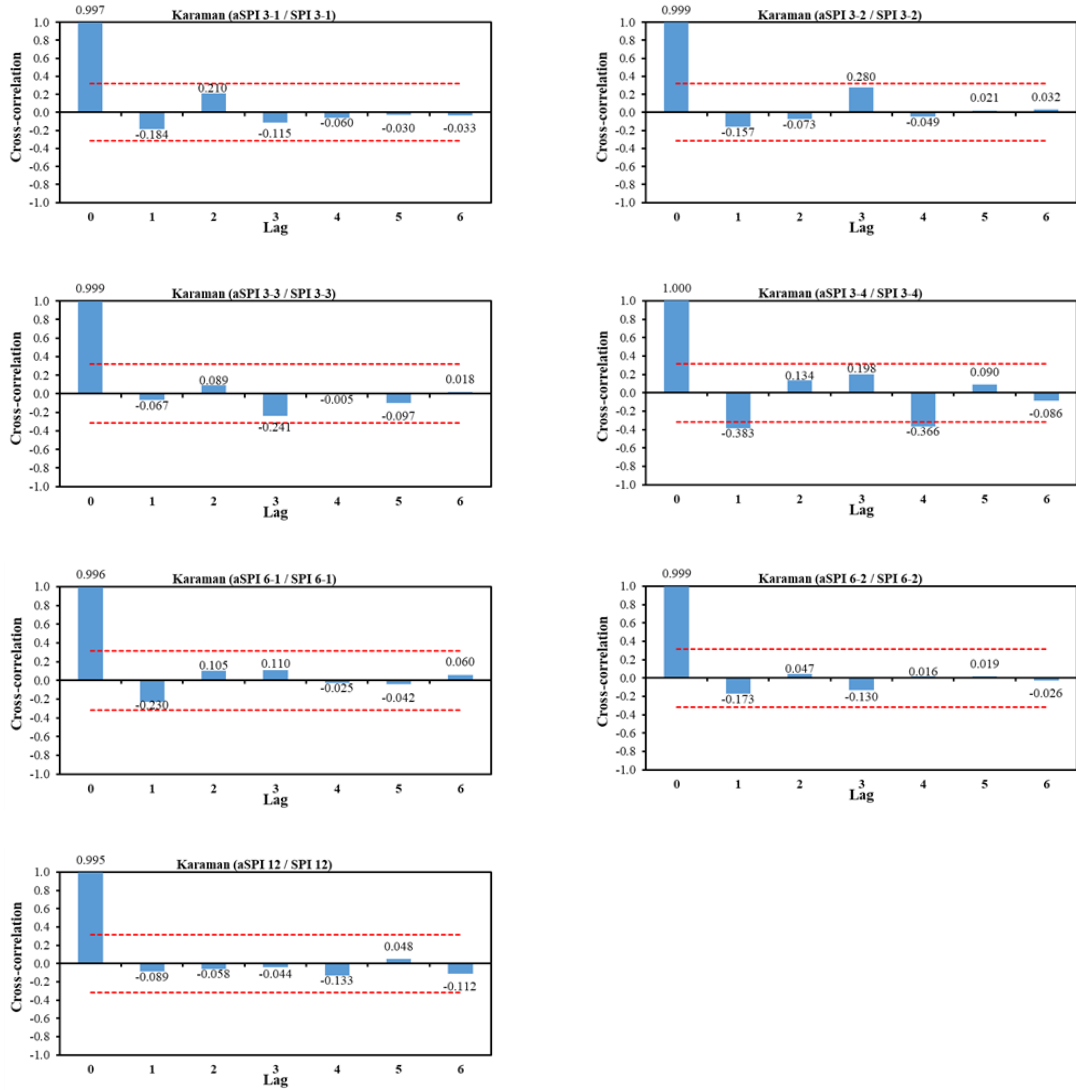
tarımsal kuraklık indekslerinin kısa vadede daha uyumlu davrandığını, ancak uzun dönemli analizlerde bu ilişkinin azaldığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.25. SDI ve aSPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Karaman/Seyithasan)

3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan aSPI ve SPI kuraklık indis değerleri arasındaki Lag değerleri Şekil 4.26.'da verilmiştir. Kuraklık indis değerleri arasındaki ilişki %95 güven aralığında yani 0.05 anlamlılık düzeyinde incelenmiştir. 3-1 döneminde sadece lag 0'da istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmuş ve bu en büyük korelasyon değeridir (0.997). 3-2 döneminde benzer şekilde sadece lag 0'da istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. 3-3 döneminde lag 0'da istatistiksel olarak anlamlı korelasyon vardır ve değeri 0.999 olarak hesap edilmiştir. 3-4 döneminde lag 0, lag 1 ve lag 4'de istatistiksel olarak anlamlı korelasyon bulunmuş ve en büyük korelasyon değeri lag 0'da 1.00 olarak belirlenmiştir. 6-1, 6-2 ve 12 aylık

dönemlerde aSPI ve SPI arasında sadece lag 0’da istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon belirlenmiştir. Zamansal ölçekte yapılan değerlendirmelere göre, aSPI ile SPI kuraklık indisleri arasındaki korelasyon katsayıları tüm periyotlarda istikrarlı bir şekilde yüksek düzeyde olup, bu iki indeksin birbirini büyük ölçüde yansıttığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.26. SPI ve aSPI arasındaki çapraz korelasyon değerleri (Karaman/Seyithasan)

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada Konya Kapalı Havzası'nda yürütülen meteorolojik kuraklık analizleri, farklı zaman ölçeklerinde hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ile desteklenmiş; ayrıca hidrolojik kuraklık (SDI) ve tarımsal kuraklık (aSPI) göstergeleriyle bütünleştirilmiştir. Uzun dönemli bu sinyaller, Türkeş ve arkadaşlarının (2009) Palmer Kuraklık İndisi kullanarak ulaştığı sonuçlarla örtüşmekte; özellikle 1970'li yıllar ve 2000 sonrası dönemde görülen şiddetli kuraklık evreleri iki çalışmada da belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Ancak mevcut araştırmanın özgünlüğü, SPI analizlerinin çoklu zaman ölçekleri üzerinden kuraklığın sürekliliğini ve zamansal belleğini daha ayrıntılı biçimde ortaya koymasındır.

Orhan ve Ekercin'in (2015) sıcaklık artışları ile toprak nemi azalmasını ilişkilendiren bulguları, bu çalışmanın sonuçlarıyla büyük ölçüde örtüşmektedir. Özellikle Konya, Ereğli ve Karaman çevresinde uzun süreli SPI değerlerinin tarımsal kuraklık koşullarına evrildiği görülmüştür. Ancak bu çalışmanın özgün katkısı, kuraklık olgularını yalnızca sıcaklık ve nem parametreleriyle sınırlamayıp, kuraklık şiddeti, pik değeri ve büyüklüğü gibi parametrelerle birlikte incelemesi ve bu sürecin hem ani (pik) hem de kalıcı (büyüklük) boyutlarını sayısallaştırmasıdır.

Yeraltı suyu kuraklığı açısından elde edilen bulgular, Arslan ve Göçmez (2007) ile Tapur ve Bozyiğit'in (2009) ortaya koyduğu yeraltı suyu azalışları ve obruk oluşumlarıyla paralellik göstermektedir. Literatürde bulunan diğer bir çalışmada, özellikle 2008 sonrası dönemde SGI verilerinde ciddi bir düşüş eğilimi tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise SPI–SDI–SGI göstergeleri birlikte değerlendirilmiş; böylece yeraltı suyu rezervlerindeki kayıpların yalnızca doğal iklimsel döngülerden değil, aynı zamanda yoğun antropojenik su çekiminden de kaynaklandığı nicel olarak desteklenmiştir. Bu yaklaşım, literatürde sıklıkla vurgulanan çok boyutlu kuraklık analizlerinin uygulanabilirliğini göstermektedir.

İstasyonlar arasındaki farklılıklar da dikkate değerdir. Kısa vadeli SPI değerlerinde Cihanbeyli, Beyşehir ve Ereğli öne çıkarken; uzun vadeli periyotlarda Konya, Kulu ve Karapınar istasyonlarında daha fazla kurak yıl kaydedilmiştir. Selçuk Üniversitesi (2020) çalışması, havzanın alt-bölgelere ayrılarak incelenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgular, söz konusu mekânsal çeşitlilik

yaklaşımıyla uyumludur; ancak özgün katkı, mekânsal farklılıkların yalnızca varlığının değil, aynı zamanda şiddet–pik–büyüklük parametreleri ve lag/korelasyon ilişkileri üzerinden ortaya konulmasıdır. Böylece kuraklık olaylarının mekânsal ve zamansal farklılıkları daha detaylı biçimde değerlendirilmiştir.

İnsan etkisi ise özellikle 2000 sonrası dönemde belirginleşmiştir. DSİ (2012) tarafından yürütölen kuyu envanteri çalışmalarında 93 bin kuyunun %70’inin ruhsatsız olduğu bildirilmiş, literatürde akım kuraklığının yağış trendleriyle açıklanamayacak ölçüde arttığı belirtilmiştir (Dergipark, 2021). Bu araştırmanın özgünlüğü, SPI ile yağış trendlerini ve SDI/SGI ile hidrolojik–yeraltı suyu sinyallerini korelasyon ve gecikme (lag) analizleriyle karşılaştırarak, antropojenik baskının doğal meteorolojik sinyallerden bağımsız bir şekilde kuraklığı şiddetlendirdiğini ortaya koymasídır.

Son olarak, çalışmanın bulguları Konya Kapalı Havzası’nda sürdürölebilir bir kuraklık yönetim planının zorunluluğunu göstermektedir. Çevre, şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın (2022) raporu ile IWRA’nın (2023) önerileri, havzada entegre yönetim planlarının gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulgular, söz konusu literatürü desteklemekte; ancak ayrıca üç farklı kuraklık türünün birlikte değerlendirilmesi ve korelasyon-lag analizleri ile yönetim planlarında dikkate alınması gereken mekânsal öncelikler ve zaman ölçekleri konusunda özgün bir bakış açısı sunmaktadır.

6. SONUÇLAR

6.1. Beyşehir Alt Havzası Meteorolojik, Hidrolojik ve Tarımsal Kuraklığın Değerlendirilmesi

6.1.1. Beyşehir-Mavi kuraklıklarının değerlendirilmesi

Eş zamanlı yapılan bu çalışmada; 3(1-4), 6-1 ve 6-2 zaman ölçeklerine bağlı periyodik olarak kuraklık şiddetleri değerlendirildiğinde; aSPI ve SPI indekslerinin aralarındaki yüksek korelasyon nedeniyle şiddetlerinin zamansal dağılımlarının benzer olduğu görülmektedir. SDI yönteminin ise SPI ve aSPI yöntemine göre kuraklık şiddetlerinin zamansal dağılımında büyük oranda farklılık içermektedir. Ancak, kuraklığın ve nemliliğin büyük şiddetlerde ardışık olarak yaşandığı dönemlerde yöntemlerin dağılımlarının örtüştüğü dikkat çekmiştir. Ardışık ve büyük şiddetlerde gerçekleşmeyen kurak dönemlerde SDI değerlerinin SPI ve aSPI ile korelasyonunun düşük olmasının nedeninin ise havza karakteristikleri vb. nedenlerden dolayı yüzeysel akış miktarlarındaki gecikmelerden kaynaklandığı söylenebilir.

SPI ve aSPI yöntemleri arasındaki kuraklık sınıflarının gözlem periyodu boyunca meydana gelme sayıları oldukça benzerdir. Dolayısıyla aSPI yöntemi meteorolojik ve tarımsal kuraklık farklılığını yeterince ortaya koyamamaktadır. SDI yönteminden özellikle, eksterm kuraklık oluşumları (AK, ŞK, AY, ŞY); SPI ve aSPI yöntemlerine göre daha az meydana gelmiştir. Bu durumun yağış akış ilişkisine bağlı akım değerlerindeki gecikmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yağış-akış gecikmesinin ani bir şekilde gelişmediği düşünülmektedir.

6.1.2. Beyşehir-Taşagül kuraklıklarının değerlendirilmesi

Tüm zaman ölçekleri değerlendirildiğinde, aSPI ve SPI indekslerinin zamansal eğilimlerinin büyük ölçüde örtüştüğü ve sayıldığı sıraya göre tarımsal ve meteorolojik kuraklık göstergeleri arasında yüksek düzeyde bir uyum olduğu sonucuna varılmıştır. SDI şiddetlerinin zamansal dağılımları gözlem periyodunda aSPI ve SPI ile zaman zaman uyumlu davranışlar sergilese de son on yılı kapsayan dönemde dağılımları arasındaki korelasyonun oldukça azaldığı belirlenmiştir. Taşagül akım gözlem istasyonundaki SDI şiddetleri, özellikle son 10 yılı kapsayacak şekilde akım miktarlarında azalma yönünde bir eğilimin söz konusu olduğunu göstermektedir. Bu

durum, havzanın hidrolojik kuraklığa karşı giderek daha duyarlı hale geldiğini ve su yönetimi açısından daha dikkatli planlamalar yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

aSPI verileri, kuraklık sınıfı oluşum frekansı bakımından SPI ile oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Bu benzerlik, aSPI'nin SPI'a dayalı olarak türetilen bir indeks olması nedeniyle beklenen bir durumdur. Her iki endeksin zamansal kuraklık karakteristiklerini benzer biçimde yansıttığını ortaya koymaktadır. Mavi akım istasyonunda olduğu gibi Taşağıl istasyonunda SDI kuraklık indislerinin ekstrem kuraklık ve nemlilik (AK, ŞK, AY, ŞY) oluşumlarının oldukça az tekrarlandığı saptanmıştır. Bu durumun mavi istasyonunda olduğu gibi yağış akış ilişkisine bağlı akım değerlerindeki gecikmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şiddetli yağışların ve şiddetli kuraklıkların SDI değerlerine doğrusal olarak yansımadağı görülmektedir. Havzanın karakteristikleri, jeolojisi, toprak özellikleri, bitki örtüsü vb. özelliklerine bağlı yüzey akış oluşumlarında meydana gelen gecikmelerin Taşağıl havzasında ani bir şekilde gelişmediğı düşünülmektedir.

6.1.3. Beyşehir-Aşağı Esence kuraklıklarının değerlendirilmesi

Beyşehir meteoroloji istasyonu, Mavi akım gözlem istasyonu ve Taşağıl akım gözlem istasyonlarından elde edilen bulgular Aşağı Esence istasyonundan elde edilen bulgular ile örtüşmüştür. Tüm zaman ölçekleri genelinde değerlendirildiğinde, aSPI ile SPI indekslerinin zamansal dağılımlarının yüksek düzeyde ilişkili olduğu saptanmıştır Meteorolojik ve tarımsal kuraklık göstergesi arasında güçlü bir korelasyon bulunduğu saptanmıştır. Kuraklığın ve nemliliğin büyük şiddetlerde ardışık olarak yaşandığı dönemlerde Mavi ve Taşağıl istasyonlarında olduğu gibi yöntemlerin dağılımlarının örtüştüğü dikkat çekmiştir. Az şiddette meydana gelen kuraklıklarda ise SDI yöntemi, aSPI ve SPI'ye göre farklı bir karakter izlemiştir. Ardışık ve büyük şiddetlerde gerçekleşmeyen kurak dönemlerde SDI değerlerinin SPI ve aSPI ile korelasyonunun düşük olmasının nedeninin diğer havzalarda olduğu gibi akış miktarlarındaki gecikmelerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kuraklık sınıfı oluşum yinelenmesine bakıldığında SPI ile aSPI oldukça birbirine benzerken yine SDI oluşumlarında farklılıklar belirlenmiştir. Taşağıl istasyonunda SDI kuraklık indislerinin ekstrem kuraklık ve nemlilik (AK, ŞK, AY,

ŞY) oluşumlarının diğer istasyonlarla benzer özellikte olduğu ve oldukça az tekrarlandığı saptanmıştır.

6.2. Run Analizi Sonuçları

6.2.1. Beyşehir meteoroloji istasyonuna ait run analizi sonuçları

Run analizi sonuçlarına göre SPI ve aSPI yöntemleriyle elde edilen bulgular hemen hemen aynıdır. En uzun süren ardışık kuraklık süresinin SPI ve aSPI yöntemlerinde sırasıyla 3-2 ve 6-2 dönemlerinde 6 yıl olduğu belirlenmiştir. Gözlem periyodunda ardışık olarak yaşanan kuraklıkların yığışimli kuraklık şiddeti -7.24 ile SPI 3-2 ve aSPI 3-2 döneminde en büyük değere sahiptir. En şiddetli nemli yıllar SPI 3-4 periyodunda -2.90 değeriyle 1989 yılında görülmüştür. aSPI yönteminde ise en şiddetli nemlilik oluşumunu SPI 3-4 periyodunda -2.95 değeriyle 1989 yılında gerçekleştiği belirlenmiştir. En şiddetli kuraklık oluşumu ise SPI ve aSPI yönteminde 6-1 döneminde, 2012 yılında sırasıyla 2.29 ve 2.18 değerlerinde kuraklık şiddetine maruz kalınmıştır. En şiddetli kurak dönemler 1990-2000 yılları arasında yaşanmıştır. En şiddetli yağışlı dönemler ise büyük oranda 2000 yılından sonra meydana gelmiştir. Bu sonuçlardan bu istasyonda son yıllarda ekstrem yağışlar dikkat çekmiştir.

6.2.2. Mavi akım gözlem istasyonuna ait run analizi sonuçları

En uzun süren ardışık kuraklık süresinin SDI 6(1-2) periyodunda ardışık 7 yıl olarak belirlenmiştir. Gözlem periyodunda ardışık olarak yaşanan kuraklıkların yığışimli kuraklık şiddeti SDI6-1 döneminde -6.21 değeriyle temsil edilmiştir. Üstelik, gözlem periyodunda 2021 yılında meydana gelen -3.2 şiddetinde hidrolojik kuraklık yine 6-1 periyodunda yaşanmıştır. En şiddetli nemlilik oluşumunu SPI 3-4 periyodunda 2.97 değeriyle 2012 yılında gerçekleştiği belirlenmiştir. Dolayısıyla ardışık süre ve yığışimli şiddet değerleri dikkate alındığında SDI6-1 döneminin hidrolojik kuraklığın Ekim-Mart döneminde şiddetli bir şekilde hissedilmiştir. SDI6-1 dönemi incelenen zaman dilimleri arasında en kritik kuraklık evresi olarak öne çıkmıştır. SDI indeksine ait pik değerler incelendiğinde, 3-1 dönemi hariç tüm zaman aralıklarında bu değerlerin “Aşırı Kurak” (AK) sınıfında oluştuğu tespit edilmiştir. Pozitif yönlü pik değerler ise yalnızca 3-4 ve 6-1 dönemleri hariç olmak üzere “Aşırı Yağışlı” (AY) sınıfında sınıflandırılmıştır. En yüksek yağışlı indeks değerleri

genellikle 2012 yılı sonrasında meydana gelmiş; bu durum son yıllarda ekstrem yağışların frekansını artırdığını göstermiştir.

6.2.3. Taşaklı akım gözlem istasyonuna ait run analizi sonuçları

Kuraklık süresi ve şiddetinin birlikte değerlendirilmesi, özellikle 3-2 döneminin bölge açısından en baskın ve kritik kuraklık evresi olduğunu göstermektedir. Bu dönemdeki hem yüksek şiddet hem de sürenin uzunluğu, su kaynakları ve tarım sektörü üzerinde ciddi etkiler yaratmış olabileceğini düşündürmektedir. SDI indeksine ait tepe değerler (pik) analiz edildiğinde, 3-1 dışındaki tüm dönemlerde bu değerlerin “Şiddetli Kuraklık (ŞK)” sınıfı içinde yer aldığı görülmektedir. Bu durum, SDI’nin zaman içinde şiddetli akım eksikliklerini yakalama konusunda duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, pozitif yönlü pik değerlerin yalnızca 3-2 dönemi haricinde “Aşırı Yağışlı (AY)” sınıfına denk gelmesi, bölgede dönemsel olarak yoğun yağışların da yaşandığını göstermektedir. Özellikle son 20 yıl dikkate alındığında, Ekstrem kuraklık ve nemliliğin frekansını artırdığı bölgedeki hidrolojik dengenin son yıllarda önemli ölçüde değişime uğradığı dikkat çekmiştir.

6.2.4. Aşaklı Esence akım gözlem istasyonuna ait run analizi sonuçları

Gözlem periyodundaki en uzun süren ardışık kuraklık süresi ve ardışık olarak yaşanan kuraklıkların yığılımlı kuraklık şiddeti SDI 3-4 periyodunda sırasıyla 9 ve -6.73 değerleriyle temsil edilmiştir, ardışık 9 yıl olarak belirlenmiştir. En şiddetli kuraklık oluşumu SDI 3-2 periyodunda 2001 yılında -2.27 şiddetinde gerçekleşmiştir. En şiddetli nemlilik oluşumunu ise SDI 3-3 periyodunda 2.60 değeriyle 1995 yılında meydana geldiği belirlenmiştir. Ardışık süre ve yığılımlı şiddet değerleri dikkate alındığında SDI 3-3 döneminin hidrolojik kuraklığın şiddetli bir şekilde hissedildiği periyot olmuştur. Öte yandan, pozitif yönlü pik değerlerinin genellikle aşırı yağışlı (AY) sınıflarda meydana gelmesi, yağış karakteristiklerinin dönemsel olarak büyük dalgalanmalar gösterdiğine işaret etmektedir. Özellikle 2001-2005 yılları arasında şiddetli kuraklık koşulları yaşanırken, 2007 yılı sonrasında daha yoğun yağış olaylarının görülmeye başlandığı anlaşılmaktadır. Bu durum, çalışma alanında iklim değişkenliğinin sadece kuraklıkla sınırlı kalmayıp, aşırı yağış olaylarını da içerecek şekilde giderek belirginleştiğini göstermektedir.

6.2.5 Karaman meteoroloji gözlem istasyonuna ait run analizi sonuçları

Run analizi sonuçlarına göre Karaman meteoroloji gözlem istasyonuna SPI ve aSPI yöntemleriyle elde edilen bulgular büyük oranda örtüşmektedir. Örneğin gözlem periyodunda ardışık kuraklık süresinin SPI ve aSPI yöntemlerinde sırasıyla 3-2 ve 6-2 dönemlerinde 6 yıl olduğu belirlenmiştir. Gözlem periyodunda ardışık olarak yaşanan yığılımlı kuraklık şiddetinin SPI 3-4 ve aSPI 3-4 döneminde sırasıyla -389 ve -3.90 değerleriyle temsil edilmiştir. Diğer karakteristikler incelendiğinde şiddetlerin birbirine çok yakın veya aynı değerlerle temsil edildiği saptanmıştır. En şiddetli yağışlı dönemler ise büyük oranda 2006 yılından sonra meydana gelmiştir. Son yıllarda ekstrem yağışların frekanslarının arttığı saptanmıştır.

6.2.6. Seyit Hasan akım gözlem istasyonuna ait run analizi sonuçları

En uzun kuraklık süresi ve şiddeti sırasıyla 10, -4.88 değeriyle SDI 3-1 döneminde gerçekleşmiştir. Süre ve şiddet bileşenleri birlikte değerlendirildiğinde, 3-1 dönemi incelenen zaman dilimleri arasında en kritik kuraklık periyot olarak öne çıkmaktadır. SDI indeksine ait pik değerler incelendiğinde, pozitif yönlü pik değerler yalnızca 3-2 dönemi hariç olmak üzere “Aşırı Yağışlı” (AY) sınıfında sınıflandırılmıştır. Seyit Hasan havzasında son 15 yıl içerisinde AY frekansını artırmıştır.

6.3. Çapraz Korelasyon Analizi Sonuçları

6.3.1. Beyşehir-Mavi istasyonlarına ait çapraz korelasyon analizi sonuçları

SDI 3-1/SPI 3-1 serileri arasında sadece lag 0’da istatistiksel olarak en büyük korelasyon katsayısı ($r = 0.399$) elde edilmiştir. SDI3-2)/SPI 3-2) döneminde benzer şekilde sadece lag 0’da en büyük $r = 0.404$ ’tür. SDI6-2/SPI 6-2 döneminde lag 6’da istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki belirlenmiş ve -0.387 değerine sahiptir. aSPI ve SDI kuraklık indeksleri arasındaki gecikme (lag) değerleri sunulmuştur. 3-1 döneminde yalnızca lag 0 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon elde edilmiş olup, bu korelasyon katsayısı 0.395 ile en yüksek değer olarak dikkat çekmektedir. 3-2 döneminde de benzer şekilde yalnızca lag 0 için anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. Genel anlamda çapraz korelasyon sonuçları, SDI ile aSPI arasındaki ilişkinin zaman ölçeği uzadıkça zayıfladığını göstermektedir. Bu bulgu, hidrolojik ve tarımsal kuraklık

indekslerinin kısa vadede daha uyumlu davrandığını, ancak uzun dönemli analizlerde bu ilişkinin azaldığını ortaya koymaktadır.

6.3.2. Beyşehir istasyonuna ait Çapraz Korelasyon Analizi Sonuçları

Zamansal ölçekte yapılan değerlendirmelere göre, aSPI ile SPI kuraklık indisleri arasındaki korelasyon katsayıları tüm periyotlarda lag 0’da istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmuş, bu iki indeksin birbirini büyük ölçüde yansıttığı sonucuna varılmıştır.

6.3.3. Beyşehir - Taşagül istasyonlarına ait çapraz korelasyon analizi sonuçları

SPI ile aSPI yöntemleriyle SDI yöntemi arasındaki ilişkinin zaman ölçeği büyüdükçe zayıfladığı görülmektedir. Özellikle uzun dönemli su rezervlerini yansıtan SDI ile meteorolojik ve tarımsal kuraklık göstergelerinin sırasıyla SPI ve aSPI2 ’nin daha kısa zaman dilimlerinde birbiriyle daha senkron çalıştığını; buna karşılık uzun vadeli dönemlerde bu senkronizasyonun azaldığını işaret etmektedir. Dolayısıyla, kuraklık değerlendirmelerinde kullanılan indekslerin yanıt süreleri ve hidrometeorolojik süreçlere duyarlılıkları dikkate alınarak, zaman ölçeği seçimi titizlikle yapılmalıdır.

6.3.4. Beyşehir-Aşağı Esence istasyonlarına ait çapraz korelasyon analizi sonuçları

Özellikle lag 0’da ortaya çıkan anlamlı korelasyonlar, SPI, aSPI ve SDI indislerinin bazı dönemlerde eş zamanlı olarak benzer eğilimler gösterdiğini ortaya koymakla birlikte, bu ilişkinin süreklilik arz etmediği, dönemsel ve zamansal farklar içerdiği anlaşılmaktadır. Bu durum, bölgedeki kuraklık dinamiklerinin hem kısa hem de uzun vadeli süreçlerde birçok değişkenin sürece dahil olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Yağış akış gecikmelerinin doğrusal olmaması da kuraklık tipleri arasındaki geçişlerin tam anlamıyla tanımlanamamasına etki etmektedir.

6.3.5. Karaman-Seyithasan istasyonlarına ait çapraz korelasyon analizi sonuçları

Zamansal ölçekte yapılan değerlendirmelere göre, aSPI ile SPI kuraklık indisleri arasındaki korelasyon katsayıları tüm periyotlarda istikrarlı bir şekilde yüksek düzeyde olup, bu iki indeksin birbirini büyük ölçüde yansıttığı sonucuna varılmıştır. aSPI ve SDI arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağ tespit edilememiştir. Genel anlamda

çapraz korelasyon sonuçları, SDI ile aSPI ve SPI arasındaki ilişkinin zaman ölçeği uzadıkça zayıfladığını göstermektedir. Bu bulgu, hidrolojik ve tarımsal kuraklık indekslerinin kısa vadede daha uyumlu davrandığını, ancak uzun dönemli analizlerde bu ilişkinin azaldığını ortaya koymaktadır.

6.4. Karaman Alt Havzası Meteorolojik, Hidrolojik ve Tarımsal Kuraklığın Değerlendirilmesi

6.4.1. Karaman-Seyithasan kuraklıklarının değerlendirilmesi

Mavi akım gözlem istasyonu, Taşagıl akım gözlem istasyonu, Aşağı Esence istasyonunda da olduğu gibi Seyit Hasan istasyonundan elde edilen bulgular birbirine çok benzemektedir. SPI ve aSPI indislerinin yüksek korelasyona sahip olduğu, SDI 'nin ise yağış akış gecikmesine bağlı olarak diğer iki yöntemle aralarında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür. Kuraklık oluşumları da diğer istasyonlardan elde edilen bulgularla aynı özelliklere sahiptir.

7. ÖNERİLER

- SPI ve aSPI yönteminin birbiriyle yüksek korelasyona sahip olması, meteorolojik kuraklıktan tarımsal kuraklığa geçişleri yeterince açıklayamamaktadır. Bu nedenle kuraklık geçişlerinin daha iyi tanımlanması adına SPI ile aSPI eş zamanlı kullanılmamalıdır.

- Meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa veya tarımsal kuraklığa geçişlerde havzanın yağış akış karakteri doğru bir şekilde belirlenmelidir.

- Kuraklığın uzun süreli izlenmesi, öngörü modelleri ile iklim değişikliği senaryolarının entegrasyonu sayesinde mümkün hale gelebilir.

- Erken uyarı sistemleri ile kuraklık takip mekanizmalarının kurulması, su kaynaklarının daha verimli yönetilmesini ve tarımsal sulama verimliliğini artırabilir.

- Yerel ölçekte veri toplanması, daha kapsamlı bir kuraklık izleme ağının kurulmasına olanak tanır ve böylece daha isabetli analizler yapılmasına imkân sağlar.

KAYNAKLAR

- Aktürk, G., Zeybekoğlu, U., ve Yıldız, O. (2022). "Assessment of meteorological drought analysis in the Kizilirmak River Basin, Turkey". *Arabian Journal of Geosciences*, 15(9): 850, DOI: 10.1007/s12517-022-10119-0
- Altın, T. B., Sarış, F., ve Altın, B. N. (2020). "Determination of drought intensity in Seyhan and Ceyhan River Basins, Turkey, by hydrological drought analysis". *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1): 95-107.
- Arslan, H., & Göçmez, G. (2007). "Tuz Gölü Havzası'nda yeraltı suyu seviyesinin değişimi". *Yerbilimleri Dergisi*, 28(2), 45-60.
- Arslan, O., Bilgil, A., ve Veske, O. (2016). "Standart yağış indisi yöntemi ile Kızılırmak Havzası'nın meteorolojik kuraklık analizi". *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2): 188-194.
- Çakmak, B., ve Gökalt, Z. (2013). "Kuraklık ve tarımsal su yönetimi". *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (4): 1-11.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). "Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planı Güncelleme Raporu". Ankara: ÇŞİDB Yayınları.
- Deger, İ. H., Yüce, M. İ., ve Eşit, M. (2023). "An investigation of hydrological drought characteristics in Kızılırmak Basin, Türkiye: Impacts and trends". *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1): 126-139.
- Doğan, S. (2013). "Konya Kapalı Havzası Kuraklık Karakterizasyonunun Zamansal-Konumsal Analizi (Doktora Tezi)". Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doğan, S., Berktaş, A., ve Singh, V. P. (2012). "Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey". *Journal of Hydrology*, 470: 255-268.
- International Water Resources Association (IWRA). (2023). "Kapsamlı bir kuraklık yönetim planı oluşturmak için temel araçlar: Konya Kapalı Havzası örnek olay incelemesi".
<https://www.iwra.org/proceedings/congress/resource/3027670.pdf>
- Kabay, T. (2019). "Tarımsal Kuraklık". *Academic Perspective Procedia*, 2(2):128-133.
- Kapluhan, E. (2013). "Türkiye'de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi". *Marmara Coğrafya Dergisi*, (27): 487-510.
- Kim, S. H., ve Chung, E. S. (2017). "Peak drought index analysis of cheongmicheon watershed using meteorological and hydrological drought index". *Journal of Korea Water Resources Association*, 50(1): 65-73.
- Kim, S. H., ve Chung, E. S. (2018). "Analysis of peak drought severity time and period using meteorological and hydrological drought indices". *Journal of Korea Water Resources Association*, 51(6): 471-479.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., ve Kleist, J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales". *In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Vol. 17, No. 22: 179-183.
- Musonda, B., Jing, Y., Iyakaremye, V., ve Ojara, M. (2020). "Analysis of long-term variations of drought characteristics using standardized precipitation index over Zambia". *Atmosphere*, 11(12), 1268, DOI: 10.3390/atmos11121268
- Ogunjo, S., Olusola, A., ve Durowoju, O. (2023). "Multidecadal trend analysis of hydrological drought along River Niger using the Streamflow Drought Index". *Singapore Journal of Tropical Geography*, 44(3): 479-498.

- Orhan, O. (2014). "Konya Kapalı Havzası'nda uzaktan algılama ve CBS teknolojileri ile iklim değişikliği ve kuraklık analizi (Yüksek Lisans Tezi)". Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Orhan, O., & Ekercin, S. (2015). "Use of satellite data in monitoring climate change impacts on drought in Konya Closed Basin, Turkey". *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(7), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4671-5>
- Özmen, F., ve Batan, M. (Baskıda). "Türkiye'de bulunan Batman ve Diyarbakır İllerinin çeşitli kuraklık indeksleriyle kuraklık analizlerinin yapılması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- Öztürk, D. S., Keskin, A. Ü., ve Zeybekoğlu, U. (2023). "Meteorological and Hydrological Drought Analysis of The Kızılırmak Basin". *Black Sea Journal of Agriculture*, 6(4): 427-438.
- Pamuk, G., Özgürel, M. ve Topçuoğlu, K. (2004). "Drought Analysis of Aegean Region by Standardized Precipitation Index (SPI)". *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41 (1): 99-106.
- Poyrazoğlu, M., ve Arıman, S. (2022). "Drought analysis of Kahramanmaraş province with standardized precipitation index method". *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*: 39-52.
- Sarış, F., ve Gedik, F. (2021). "Konya Kapalı Havzası'nda meteorolojik kuraklık analizi". *Coğrafya Dergisi*, (42): 295-308.
- Şarlak, N., Muratoğlu, A., ve Tığrek, Ş. (2024). "Devegeçidi Baraj Gölü meteorolojik-hidrolojik-tarımsal kuraklık analizi". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(1): 16-28.
- Şen, E. ve Başaran, N. (2007). Küresel Isınma Sürecinde Konya Ovasının Baz İklim Verilerinde Meydana Gelen Değişmeler ve Eğilimler, Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı, Konya, Türkiye, 2007.
- Tapur, T., & Bozyiğit, R. (2009). "Konya Ovası'nda yeraltı suyu değişimleri ve obruk oluşumları". *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22, 233–250.
- Tas, İ., ve Yıldırım, Y. E. (2021). "HadGEM2 Küresel İklim Modeli Tahminine Dayalı Konya Kapalı Havzası İçin Olası Tarımsal Kurak Dönemleri". *Toprak Su Dergisi*: 56-66.
- Topcu, E., ve Seckin, N. (2016). "Drought analysis of the Seyhan Basin by using standardized precipitation index SPI and L-moments". *Journal of Agricultural Sciences*, 22(2): 196-215.
- Topçu, E. (2022). "Appraisal of seasonal drought characteristics in Turkey during 1925–2016 with the standardized precipitation index and copula approach". *Natural Hazards*, 112(1): 697-723. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05201-x>,
- TUBITAK-MAM (2010). Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi, Konya Kapalı Havzası Nihai Raporu, ÇE.10.49 (Proje yöneticisi: Dr. Selma YILMAZ; Proje Kodu: 5098115), Kocaeli.
- Tunçok, İ. K., ve Bozkurt, O. Ç. (2015). "Bütüncül havza yönetimi: Konya kapalı havzası uygulaması". 4. *Su Yapıları Sempozyumu*: 479-488.
- Turgu, E., Eskioğlu, O., Öz, Ö., & Uğurlu, A. (2015). "Farklı zaman ölçeklerindeki standart yağış indekslerinin havza bazında değerlendirilmesi". *VII. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*.
- Türkeş, M., Koç, T., & Sarış, F. (2009). "Türkiye'de meteorolojik kuraklıkların Palmer İndisi ile analizi". *Coğrafya Dergisi*, 19, 1–16.

- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2022). Drought in numbers 2022: restoration for readiness and resilience. <https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-05/Drought%20in%20Numbers.pdf>
- Vazifehkhah, S., ve Kahya, E. (2019). “Hydrological and agricultural droughts assessment in a semi-arid basin: Inspecting the teleconnections of climate indices on a catchment scale”. *Agricultural Water Management*, 217: 413-425.
- Zeybekoglu, U., Alrayess, H., ve Keskin, A. U. (2018). “Meteorological drought analysis in Sinop, Turkey”. *In 13th International Congress on Advances in Civil Engineering*: 12-14.

T.C
YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
ULUSAL TEZ MERKEZİ

TEZ VERİ GİRİŞ FORMU

[Ljava.lang.String;@55f7fb56

Referans No	10754983
Yazar Adı / Soyadı	ABDULKADİR NİMETOĞLU
Orcid	0009-0006-6939-2446
T.C.Kimlik No	24338607496
Telefon	5422733786
E-Posta	abdulkadirnimetoglu@gmail.com
Tezin Dili	Türkçe
Tezin Özgün Adı	KONYA KAPALI HAVZASINDA METEOROLOJİK, TARIMSAL VE HİDROLOJİK KURAKLIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ: BEYŞEHİR VE KARAMAN ALT HAVZALARI ÖRNEĞİ
Tezin Tercümesi	EVALUATION OF METEOROLOGICAL, AGRICULTURAL AND HYDROLOGICAL DROUGHT IN THE KONYA CLOSED BASIN: THE EXAMPLE OF BEYŞEHİR AND KARAMAN SUB-BASINS
Konu	İnşaat Mühendisliği = Civil Engineering
Üniversite	Harran Üniversitesi
Enstitü / Hastane	Fen Bilimleri Enstitüsü
Ana Bilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Bilim Dalı	
Tez Türü	Yüksek Lisans
Yılı	2025
Sayfa	96
Tez Danışmanları	DOÇ. DR. OĞUZ ŞİMŞEK DR. ÖĞR. ÜYESİ ALİ DEMİR KESKİNER
Dizin Terimleri	Standart yağış indeksi=Standard precipitation index ; Akım kuraklık indeksi (AKİ) yöntemi=Stream drought index (AKI) method ; Çapraz korelasyon=Cross correlation
Önerilen Dizin Terimleri	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), Korelasyon Katsayısı, Konya Kapalı Havzası, Tarımsal Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (aSYİ), Akım Kuraklık İndeksi (AKİ)

23.09.2025

İmza:.....