T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

HAVZA ÖLÇEĞİNDE KURAKLIĞIN MEKANSAL VE ZAMANSAL BOYUTLARININ TARIMSAL VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: COĞRAFİ ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

DOKTORA TEZİ

FATMA YAMAN ÖZ

Tez Danışmanı
DOÇ. DR. EMRE ÖZELKAN

ÇANAKKALE–2025

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

HAVZA ÖLÇEĞİNDE KURAKLIĞIN MEKANSAL VE ZAMANSAL BOYUTLARININ TARIMSAL VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: COĞRAFİ ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

DOKTORA TEZİ

FATMA YAMAN ÖZ

Tez Danışmanı
DOÇ. DR. EMRE ÖZELKAN

ÇANAKKALE–2025

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Fatma YAMAN ÖZ tarafından Doç. Dr. Emre ÖZELKAN yönetiminde hazırlanan ve **30/01/2025** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Havza Ölçeğinde Kuraklığın Mekânsal ve Zamansal Boyutlarının Tarımsal Verimlilik Üzerindeki Etkileri: Coğrafi Analiz ve Değerlendirme**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Coğrafya Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Doç. Dr. Emre ÖZELKAN (Danışman)	……
Prof. Dr. Hasan TATLI	……
Prof. Dr. Kürşad DEMİREL	…….
Doç. Dr. E. Tuncay ÖZDEMİR	
Doç. Dr. Önder GÜRSOY	

Tez No :

Tez Savunma Tarihi : 30/01/2025

……

Doç. Dr. Melis ULU DOĞRU

Enstitü Müdürü

../../20..

ETİK BEYAN

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

Fatma YAMAN ÖZ

30/01/2025

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde beni yönlendiren ve çalışmam boyunca her zaman destek olan saygıdeğer danışmanım Sn. Doç. Dr. Emre ÖZELKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, değerli görüş ve katkılarıyla çalışmama yön veren tez komitesi üyelerim Sn. Prof. Dr. Hasan Tatlı ve Sn. Prof. Dr. Kürşad Demirel'e teşekkür ederim.

Doktora programına başladığım dönemde, danışmanım olan ancak ne yazık ki ağır bir hastalık nedeniyle kaybettiğimiz Prof. Dr. Telat Koç'u saygı ve minnetle anıyorum.

Bu çalışmada bana destek olan tüm kişi ve kurumlara içtenlikle teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca desteğini hiç esirgemeyen babam başta olmak üzere tüm aileme, her zorlukta yanımda olup yeniden çalışmam ve üretmem için bana güç verdikleri için minnettarım.

Ayrıca, öğrenci kayıt sürecini yürüten Sn. Gökhan ŞENGÖREN'e ve diğer fakülte çalışanlarına, süreç boyunca verdikleri destek ve hızlı çözümleri için teşekkürlerimi sunarım.

Doktora sürecimde yanımda olan ve çalışmamı destekleyen herkese gönülden teşekkür ederim.

Saygılarımla,

Fatma YAMAN ÖZ

Çanakkale, Ocak 2025

ÖZET

HAVZA ÖLÇEĞİNDE KURAKLIĞIN MEKANSAL VE ZAMANSAL BOYUTLARININ TARIMSAL VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: COĞRAFİ ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

Fatma YAMAN ÖZ
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Coğrafya Anabilim Dalı Doktora Tezi
Danışman: Doç. Dr. Emre ÖZELKAN
30/01/2025, 314

Bu çalışma, Türkiye'nin 24 hidrolojik havzası ve topografik koşullara göre belirlenen alt havzalarda, 1991-2022 döneminde meteorolojik kuraklık ile buğday üretiminde yaşanan tarımsal kuraklık arasındaki ilişkiyi analiz etmektedir. Araştırma, SPI, SPEI, RDI ve aSPI kuraklık indisleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve kuraklık ile verim arasındaki mekânsal ve zamansal değişim, iklim değişikliği ile coğrafi faktörlerin etkileri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Çalışmada, kuraklık indislerine göre aşırı kurak dönemler aylık ve yıllık bazda belirlenmiş, ardından meteorolojik kuraklıkların buğday verimi üzerindeki etkisi havza bazında incelenmiştir. Ayrıca, havzalardaki meteoroloji istasyonlarında en yüksek üretim değerine sahip ikinci tarımsal ürün belirlenmiş ve bu ürünün de meteorolojik kuraklık ile verim arasındaki ilişkisi araştırılmıştır. Son olarak, meteorolojik kuraklıkların tarımsal üretime etkisinin, coğrafi özellikler ve atmosferik koşulların değişimine bağlı olarak mekânsal ve zamansal düzeyde nasıl farklılaştığı ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, SPI, SPEI, RDI, Havza, Buğday

ABSTRACT

SPATIO-TEMPORAL EFFECTS OF DROUGHT ON AGRICULTURAL YIELDS AT BASIN SCALE: A GEOGRAPHIC ANALYSIS AND ASSESSMENT

Fatma YAMAN ÖZ
Çanakkale Onsekiz Mart University
School of Graduate Studies
Doctoral Dissertation in Geography
Advisor: Assoc. Prof. Dr. Emre ÖZELKAN
30/01/2025, 314

This study analyses the relationship between meteorological drought and agricultural drought in wheat production from 1991 to 2022 in 24 hydrological basins and sub-basins defined based on topographic conditions in Turkey. The research was carried out using SPI, SPEI, RDI and aSPI drought indices and the spatial and temporal variations between drought and yield was evaluated by considering the effects of climate change and geographical factors. In the study, extreme dry periods were determined on monthly and annual basis according to drought indices, and then the effect of meteorological droughts on wheat yield was analysed the basin level. In addition, the second most valuable agricultural product in terms of production within the meteorological stations of the basins was identified and its the relationship between meteorological drought and yield of this product was investigated. Finally, how the effect of meteorological droughts on agricultural production varies spatially and temporally depending on geographical characteristics and changes in atmospheric conditions was revealed.

Keywords: Drought, SPI, SPEI, RDI, Basin, Wheat

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JURİ ONAY SAYFASI i
ETİK BEYAN ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZET iv
ABSTRACT v
İÇİNDEKİLER vi
SİMGELER VE KISALTMALAR x
TABLOLAR DİZİNİ xi
ŞEKİLLER DİZİNİ xii

BİRİNCİ BÖLÜM
KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 1

İKİNCİ BÖLÜM
KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 8

2.1. Kavram ve Terimler 8
2.1.1.Kuraklık 8
2.1.2.Kuraklık Türleri 10
2.2. Havza Kavramı ve Özellikleri 15
2.3. Önceki Çalışmalar 17
2.3.1.Kuraklık ile İlgili Çalışmalar 17
2.3.2.Tarımsal Üretim ile İlgili Çalışmalar 21

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ÇALIŞMA SAHASININ COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ 24

3.1. Çalışma Sahasının Coğrafi Özellikleri 24
3.2. Çalışma Sahasının Jeolojik ve Jeomorfolojik Özellikleri 27
3.3. Çalışma Sahasının İklimsel Özellikleri 30

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ VE VERİ 39

4.1. Veri 39
4.1.1.Havzalarda Belirlenen İkinci Ürünlerin İklim İstekleri 41
4.2. Yöntem 73
4.2.1.Kuraklık Analizleri 73
Standart Yağış İndeksi (SPI) 73
Tarımsal Standart Yağış İndeksi (aSPI) 75
Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) 78
Keşif Kuraklık İndisi (RDI) 78
4.2.2.İklim Verilerinin Mekânsal Enterpolasyonu 80
4.3. Analiz 83
4.3.1.Pearson Korelasyon Analizi 83
4.3.2.Homojenlik Analizleri 84
Pettitt Testi 84

BEŞİNCİ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI 86

5.1. Havza Bazlı Kuraklık Değerlendirmeleri 86
5.1.1.Meriç-Ergene Havzası 86
5.1.2.Marmara Havzası 91
5.1.3.Susurluk Havzası 96
5.1.4.Kuzey Ege Havzası 100
5.1.5.Küçük Menderes Havzası 103
5.1.6.Gediz Havzası 107
5.1.7.Sakarya Havzası 111
5.1.8.Akarçay Havzası 115
5.1.9.Burdur-Göller Havzası 118
5.1.10.Büyük Menderes Havzası 121
5.1.11.Batı Akdeniz Havzası 125
5.1.12.Antalya Havzası 129

5.1.13.Doğu Akdeniz Havzası 132
5.1.14.Konya Havzası 136
5.1.15.Seyhan-Ceyhan Havzası 139
5.1.16.Asi Havzası 143
5.1.17.Kızılırmak Havzası 147
5.1.18.Batı Karadeniz Havzası 151
5.1.19.Yeşilırmak Havzası 154
5.1.20.Doğu Karadeniz Havzası 158
5.1.21.Fırat-Dicle Havzası 161
5.1.22.Çoruh Havzası 177
5.1.23.Aras Havzası 180
5.1.24.Van Gölü Havzası 183
5.2. Buğday Verim Değerlerinin Değerlendirilmesi 194
5.3. Havza Bazlı Meteorolojik Kuraklıkların Tarımsal Üretim ile İlişkisi 195

ALTINCI BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER 262

6.1. Havza Bazında Meteorolojik Kuraklıkların Değerlendirilmesi 262
6.2. Meteorolojik Kuraklıklar ve Buğday Verim İlişkisi 265
6.3. Meteorolojik Kuraklıklar ve İkinci Tarımsal Ürünlerin Verim İlişkisi 270
KAYNAKÇA 274
EKLER I
EK 1. Şeker pancarı üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. I
EK 2. Arpa üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. IV
EK 3. Mısır üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. VII
EK 4. Ayçiçeği üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. IX
EK 5. Pamuk üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. X
EK 6. Zeytin üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. XI
EK 7. Üzüm üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, XII

boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. .....

EK 8. Elma üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. XIV

EK 9. İncir üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. XV

EK 10. Kayısı üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. XVI

EK 11. Mandalina üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. XVII

EK 12. Portakal üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. XVIII

EK 13. Fındık üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. XIX

EK 14. Ceviz üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. XX

EK 15. Çay üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. XXI

EK 16. Çeltik üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir. XXII

ÖZGEÇMİŞ XIX

SİMGELER VE KISALTMALAR

SPI	Standardize Yağış İndeksi
SPEI	Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
RDI	Keşif Kuraklık İndisi
RDI_{st}	Standardize Keşif Kuraklık İndisi
aSPI	Tarımsal Standardize Yağış İndeksi
PET	Potansiyel Evapotranspirasyon
SHNT	Standart Normal Homojenlik Testi
P	Yağış
D	Yağış ve Potansiyel Evapotranspirasyon arası fark

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Çalışma alanındaki havzalar alan büyüklüklerine göre sıralanmış ve her havzanın iklim sınıfları gösterilmiştir.	27
Tablo 2	Çalışma alanındaki havzalarda en fazla üretimi yapılan ikinci ürünler gösterilmiştir.	40
Tablo 3	Kuraklık indisleri için belirlenen kuraklık sınıfları.	80
Tablo 4	Korelasyon ilişkisini değerlendirilmesi için kullanılan sınıf aralıkları	84
Tablo 5	Havzalardaki istasyonlarda en yüksek korelasyon değerine sahip olan, üretimi en yüksek ikinci tarımsal ürünlerin verimi üzerindeki meteorolojik kuraklık etkisini gösteren indisler, indis dönemleri, ayları ve ilgili ürünler belirtilmiştir.	197

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Farklı kuraklık türlerinin oluşum sürecindeki genel sıralaması gösterilmiştir.	10
Şekil 2	Çalışma alanındaki havzalar ve bu havzalarda kullanılmış olan istasyonların mekânsal dağılımı yükselti haritası üzerinde gösterilmiştir (Sarı renkli daireler meteoroloji istasyonlarını, kırmızı renkli çizgiler havza sınırlarını temsil etmektedir).	26
Şekil 3	1991-2022 ortalama toplam yağış değerlerinin çalışma alanındaki istasyonlara göre dağılışı gösterilmiştir.	33
Şekil 4	Çalışma alanında bulunan hidrolojik havzalar ve ortalama yağış değerlerine göre gruplandırılması.	34
Şekil 5	1991-2022 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değerlerinin çalışma alanındaki istasyonlara göre dağılışı gösterilmiştir.	35
Şekil 6	Çalışma alanında bulunan hidrolojik havzalar ve ortalama sıcaklık değerlerine göre gruplandırılması.	36
Şekil 7	1991-2022 yılları arası ortalama PET değerlerinin çalışma alanındaki istasyonlara göre dağılışı gösterilmiştir.	37
Şekil 8	Çalışma alanında bulunan hidrolojik havzalar ve ortalama PET değerlerine göre gruplandırılması.	38
Şekil 9	Çalışma alanındaki havzaların ortalama yağış, sıcaklık ve PET değerlerinin yıllara göre değişiminin gösterimi.	38
Şekil 10	Şeker pancarı tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	43
Şekil 11	Arpa tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	45
Şekil 12	Mısır tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	47
Şekil 13	Ayçiçeği tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	49
Şekil 14	Pamuk tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	52
Şekil 15	Zeytin tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim	54

	değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	
Şekil 16	Üzüm tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	56
Şekil 17	Elma tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	58
Şekil 18	İncir tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	60
Şekil 19	Kayısı tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	62
Şekil 20	Mandalina tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	64
Şekil 21	Portakal tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	66
Şekil 22	Fındık tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	68
Şekil 23	Ceviz tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	69
Şekil 24	Çay tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	71
Şekil 25	Çeltik tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.	73
Şekil 26	1 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Ocak-Nisan ayları).	186
Şekil 27	1 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Mayıs-Ağustos ayları).	187
Şekil 28	1 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Eylül-Aralık ayları).	187
Şekil 29	3 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Ocak-Nisan ayları).	188
Şekil 30	3 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Mayıs-	188

Ağustos ayları).

Şekil 31	3 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Eylül-Aralık ayları).	189
Şekil 32	6 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Ocak-Nisan ayları).	189
Şekil 33	6 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Mayıs-Ağustos ayları).	190
Şekil 34	6 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Eylül-Aralık ayları).	190
Şekil 35	9 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Ocak-Nisan ayları).	191
Şekil 36	9 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Mayıs-Ağustos ayları).	191
Şekil 37	9 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Eylül-Aralık ayları).	192
Şekil 38	12 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Ocak-Nisan ayları).	192
Şekil 39	12 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Mayıs-Ağustos ayları).	193
Şekil 40	12 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Eylül-Aralık ayları).	193
Şekil 41	Havzalara ait buğday verim değerleri ortalama ve standart sapma değerlerinin yıllara göre değişimi.	195
Şekil 42	Meteorolojik kuraklarının buğday verimindeki etkisini en iyi temsil eden aylar, kuraklık indisleri ve bu indislerin dönemlerinin havzalara göre değişimi gösterilmiştir.	196
Şekil 43	Meriç-Ergene Havzası‘nda en yüksek korelasyon değerinin	199

	belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Lüleburgaz İstasyonu Mayıs ayı; b: Ayçiçeği grafiği Kırklareli İstasyonu Haziran ayı).	
Şekil 44	Marmara Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Yalova İstasyonu Şubat ayı; b: Çeltik grafiği Balıkesir/Gönen İstasyonu Haziran ayı).	202
Şekil 45	Susurluk Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Bursa İstasyonu Aralık ayı; b: Arpa grafiği Dursunbey İstasyonu Ocak ayı).	204
Şekil 46	Kuzey Ege Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Bergama İstasyonu Aralık ayı; b: Zeytin grafiği Burhaniye İstasyonu Mayıs ayı).	206
Şekil 47	Küçük Menderes Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Kuşadası İstasyonu Mart ayı; b: Zeytin grafiği Ödemiş İstasyonu Ekim ayı).	208
Şekil 48	Gediz Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Salihli İstasyonu Kasım ayı; b: Üzüm grafiği Akhisar İstasyonu Haziran ayı).	210
Şekil 49	Sakarya Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Ankara Bölge İstasyonu Mayıs ayı; b: Şeker pancarı grafiği Kütahya İstasyonu Haziran ayı).	212
Şekil 50	Akarçay Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Bolvadin İstasyonu Şubat ayı; b: Şeker pancarı grafiği Akşehir İstasyonu Eylül ayı).	214
Şekil 51	Burdur-Göller Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Tefenni İstasyonu Mart ayı; b:Şeker pancarı grafiği Tefenni İstasyonu Haziran ayı).	215
Şekil 52	Büyük Menderes Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Güney İstasyonu Aralık ayı; b: İncir grafiği Aydın İstasyonu Mart ayı).	217
Şekil 53	Batı Akdeniz Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a:	219

	Buğday grafiği Finike İstasyonu Mayıs ayı; b: Mandalina grafiği Bodrum İstasyonu Haziran ayı).	
Şekil 54	Antalya Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Manavgat İstasyonu Kasım ayı; b: Elma grafiği Isparta İstasyonu Nisan ayı).	221
Şekil 55	Doğu Akdeniz Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Gazipaşa İstasyonu Ocak ayı; b:Arpa grafiği Hadim İstasyonu Aralık ayı).	223
Şekil 56	Konya Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Cihanbeyli İstasyonu Mart ayı; b: Şeker pancarı grafiği Aksaray İstasyonu Nisan ayı).	225
Şekil 57	Seyhan-Ceyhan Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Ulukışla İstasyonu Mayıs ayı; b:Mısır grafiği Yumurtalık İstasyonu Ekim ayı).	227
Şekil 58	Asi Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Göksun İstasyonu Nisan ayı; b: Şeker pancarı grafiği Göksun İstasyonu Nisan ayı).	229
Şekil 59	Kızılırmak Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Nevşehir İstasyonu Şubat ayı; b: Şeker pancarı grafiği Kastamonu İstasyonu Eylül ayı).	231
Şekil 60	Batı Akdeniz Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Akçakoca İstasyonu Mart ayı; b: Mısır grafiği Amasra İstasyonu Nisan ayı).	232
Şekil 61	Yeşilırmak Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Tokat İstasyonu Mayıs ayı; b: Şeker pancarı grafiği Merzifon İstasyonu Haziran ayı).	234
Şekil 62	Doğu Karadeniz Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Giresun İstasyonu Mayıs ayı; b: Mısır grafiği Ordu İstasyonu Nisan ayı).	236
Şekil 63	Yukarı Fırat Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Çemişgezek İstasyonu Kasım ayı; b: Kayısı	238

	grafiği Malatya İstasyonu Şubat ayı).	
Şekil 64	Orta Fırat Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Muş İstasyonu Şubat ayı; Şeker pancarı grafiği Malazgirt İstasyonu Mart ayı).	241
Şekil 65	Aşağı Fırat Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Birecik İstasyonu Mayıs ayı; Arpa grafiği Birecik İstasyonu Nisan ayı).	243
Şekil 66	Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Mardin İstasyonu Aralık ayı; Pamuk grafiği Batman İstasyonu Ağustos ayı).	245
Şekil 67	Zap-Şemdinli Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Başkale İstasyonu Şubat ayı; Ceviz grafiği Hakkari istasyonu Aralık ayı).	247
Şekil 68	Çoruh Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Tortum İstasyonu Aralık ayı; Arpa grafiği Tortum istasyonu Mayıs ayı).	249
Şekil 69	Aras Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Horasan İstasyonu Mart ayı; Üzüm grafiği Iğdır İstasyonu Ocak ayı).	251
Şekil 70	Van Gölü Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Ahlat istasyonu Nisan ayı; Şeker pancarı grafiği Ahlat istasyonu Eylül ayı).	252
Şekil 71	Buğday üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve buğday verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.	253
Şekil 72	Ayçiçeği üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve ayçiçeği verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.	254
Şekil 73	Arpa üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve arpa verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.	255

Şekil 74	Zeytin üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve zeytin verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.	256
Şekil 75	Üzüm üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve üzüm verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.	257
Şekil 76	Şeker pancarı üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve şeker pancarı verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.	258
Şekil 77	Elma üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve elma verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.	259
Şekil 78	Mısır üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve mısır verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.	260
Şekil 79	Pamuk üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve pamuk verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.	261

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

İklim, uzun bir süre belli bir yerde yaşanan ortalama hava şartları olarak tanımlanmaktadır (Demircan, vd., 2014). Ancak son yıllarda insan etkinliklerinden kaynaklanan sera gazı salınımlarındaki hızlı artış ile küresel yüzey sıcaklıkları artarak iklimi değişmektedir (Demir, vd., 2008). Değişen iklim ile birlikte atmosfer ve okyanus ısınması, küresel su döngüsündeki değişiklikler, kar ve buzdaki azalmalar, küresel ortalama deniz düzeyi yükselmesi, ekstrem hava olaylarında değişiklikler saptanmıştır (Türkeş, 2020c). İklim değişikliğine bağlı olarak küresel sıcaklıkların artması ekstrem hava olaylarının sıklığını ve şiddetini arttırmaktadır. Özellikle aşırı hava olaylarından sıcak hava dalgaları ve kuraklık gibi olayların yağış değişkenliği ile birlikte gelecekte daha fazla etkili olması beklenmektedir (Pan, vd., 2023). Bu tür olaylar, tarım, su kaynakları ve insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Meteorolojik kökenli ekstrem hava olaylarından biri olan kuraklık, belirli bir bölgede normalin altındaki yağış miktarına bağlı su kaynaklarının azalmasıdır (Türkeş, 2007a). Yağış yetersizliğiyle ortaya çıkan kuraklık dört aşamalı bir süreçten oluşmaktadır. (Mishra ve Singh, 2010). İlk aşmada, yağışların normal değerlerin altına düşmesi meteorolojik kuraklığı ifade etmektedir (Dai, vd., 2020). İkinci aşama ise yeterli su olmadığında meydana gelen tarımsal kuraklık olup, ürünlerin ihtiyaçlarını karşılayacak yeterli miktarda toprak neminin olmaması ve su kaynaklarındaki nem kaybı ile su kıtlığı sonrasında ortaya çıkar (Guo, vd., 2023). Üçüncü aşama, uzun süreli yağış eksikliğinin su kaynaklarında azalmaya neden olduğu hidrolojik kuraklıktır (Guo, vd., 2023). Son aşama olan sosyo-ekonomik kuraklık ise tarım, canlı organizmalar, su kaynakları ve su kaynaklarına bağlı sektörler üzerindeki etkinin yanı sıra ekonomik bir girdi olarak su talebinin karşılanamayarak yaşam kalitesi, sağlık, istihdam ve yaşanabilirlik açısından genel toplumsal refahı olumsuz etkilemesini kapsamaktadır (Mishra ve Singh, 2010; Rousta, vd., 2023). IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6), iklim değişikliğinin kuraklık olaylarının sıklığını ve şiddetini artıracağını belirtmektedir (IPCC, 2007A; IPCC, 2022B). Rapor, sıcaklık artışlarının kuraklık koşullarını daha da kötüleştireceğini ve bu durumun tarım, su kaynakları ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratacağını vurgulamaktadır (Pan, vd., 2023; IPCC, 2022B; Müller ve Bahn, 2022). Özellikle, sıcak hava dalgaları ve kuraklıkların birlikte görülmesi, "bileşik

kuraklık" olarak adlandırılan yeni bir kuraklık türünün ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu tür olaylar, tarımsal üretkenliği azaltmakta ve gıda güvenliğini tehdit etmektedir (Pan, 2023; Mukherjee ve Mishra, 2021).

Kuraklığın çeşitli alanlardaki önemli etkilerinin bulunması bu konudaki çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Sobral vd (2018) ait çalışmada farklı kuraklık indisleri ile Brezilya'daki çalışmada 1997-1998 dönemi kuraklık koşulları değerlendirilmiştir. Ayrıca bu dönemlerdeki yüksek sıcaklık ve PET değerlerinin kuraklık şiddetinde artışa neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Stahl vd. (2016) yaptıkları çalışmada Avrupa'da kuraklık olaylarının etkilerine yönelik bir rapor hazırlamışlardır. Sonuçlarda tarım ve kamuya ait su temininin 1970'lerden itibaren kuraklık olaylarından etkilendiği, kuraklığın etkisinin sektörler ve bölgelere göre değiştiği belirlenmiştir. Zhou vd. (2018) yaptığı çalışmada Güneybatı Çin'de 2001-2012 yılları arasındaki kuraklık koşullarının karasal ekosistemlerdeki değişikliği çalışılmıştır. Özellikle 2009-2010 kuraklık olaylarının bitki örtüsü yeşilliğinde maksimum düşüşlere neden olduğu belirlenmiştir. Slette vd (2019) tarafından yapılan çalışmada kuraklığın ekosistem üzerindeki etkilerine dikkat çekilmiştir. Ayrıca ekologlar için kuraklığın tanımları belirlenerek ekosistem için kuraklık eşiklerine dikkat çekilmiştir. Aynı zamanda gelecekte kuraklıkların daha sık ve aşırı olarak yaşanmasının kuraklığın ekosistemler üzerinde daha fazla etkili olacağına ulaşılmıştır. Cartwright vd (2020) tarafından yapılan çalışma ABD'de Rocky Dağları'nın subalpin ormanlık alanlarında arazi topografyasının, iklim ve toprak özelliklerinin kuraklığa karşı olan duyarlılığı arttırdığına ulaşılmıştır. Bunun yanında kuraklık duyarlılığının yüksek rakımlı yerler ve kuru iklimlerde daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Artan sıcaklıklar daha fazla buhar basıncı açığı ve buharlaşma talebini arttırarak evapotranspirasyonun artması ile toprak neminin azalmasına neden olur (Hao, vd., 2018). Bu durum, sıcaklığın evapotranspirasyonu değiştirerek yağış modellerini doğrudan etkilemesi ve bu yolla atmosferik su kaynaklarında meydana gelen değişikliklerin, meteorolojik kuraklık koşullarını şekillendirmesiyle sonuçlanmaktadır (Wei, vd., 2024). Toprak neminin azalması ya da sıcaklık ve yağış eksikliği baskısı sonucu ürün kalitesinde ve üretim potansiyelinde değişiklikler görülebilir (Aydın ve Sarptaş, 2018; Camoglu, vd., 2024). Bu durum meteorolojik kuraklıkların tarım sektörü üzerindeki etkilerini belirgin hale getirir. Tarım, kuraklıktan en fazla etkilenen sektörlerden biridir. Kuraklığın izlenmesini,

belirlenmesini, tahmin edilmesini ve ayrıntılı analizini içeren çalışmalar, tarım kaynaklarının doğru yönetimi için çok önemlidir. Küresel iklim değişikliği sebebiyle meydana gelecek tarımsal kuraklık riskleri, tahıl ürünleri ve diğer ürünlerin bu risklerden etkilenme durumu ve ayrıca değişen koşullara uyum değerlendirilmeleri geçmiş çalışmalarda incelenmiştir (Yu, vd., 2018; del Pozo, vd., 2019; Hellal, vd., 2019; Ko, vd., 2019; Ray, vd., 2019; Orimoloye, 2022). Bitkilerin büyümesi ve gelişimi için gerekli olan suyun azalması, ürün verimliliğini düşürmekte ve tarımsal üretimde kayıplara neden olmaktadır (Yaban ve Kabay, 2019; Yıldız, vd., 2020). Tarımsal üretim kayıpları, kırsal ekonomilerde istihdam kaybına ve gıda fiyatlarının artmasına neden olabilir (Niu, vd., 2019). Kuraklık, özellikle buğday gibi temel ürünler için tarımsal üretkenlik için giderek daha önemli bir tehdit olarak kabul edilmektedir. Kuraklığın ürün verimi üzerindeki etkileri çok yönlüdür ve tarımsal ürünün yalnızca miktarını değil kalitesini de etkiler. Örneğin hava sıcaklıklarındaki artış yetiştirilen ürünlerin olgunlaşma zamanının kısalması ya da çiçeklenme dönemindeki yüksek sıcaklıklar ile tane/tohum miktarında azalma gibi bitki gelişimine etkisi olacaktır (Moriondo, vd., 2011). Büyüme döngüsü boyunca yaşanan yüksek sıcaklıklar ve yağış yetersizliği ile su stresi artarak bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir (Iqbal, vd., 2009; Özelkan ve Kahraman, 2018c).

Dünyada ve ülkemizde meteorolojik kuraklık ile tarımsal kuraklığın zamansal-mekânsal değişimlerini belirlemek için kullanılan birçok kuraklık indisi önerilmektedir. Bu indislerden en yaygın kullanılanlar arasında Palmer Kuraklık Şiddet Endeksi (PDSI), Mahsul Nem Endeksi (CMI), Toprak Nem Eksikliği Endeksi (SMDI), Toprak Nemi Kuraklık Endeksi (SODI) ve Kuraklık Şiddeti Endeksi (DSI), Standardize Yağış İndeksi (SPI), Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI), Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI), Keşif Kuraklığı İndeksi (RDI) yer almaktadır (Zargar, vd., 2011; Zarei, vd., 2021; Ndayiragije ve Li, 2022; Hernández Vásquez, vd., 2022; Zhao, vd., 2022; Miro, vd., 2023). Tarımsal kuraklık ve tahıl veriminde yağış değerlerinin etkisine bağlı değişimleri inceleyen SPI kuraklık indisinin kullanıldığı çalışmalar yaygındır (Tigkas, vd., 2019b; Alkaraki ve Hazaymeh, 2023). Yapılan bazı çalışmalarda sadece yağış değerlerindeki değişimin tarımsal kuraklık ve verimdeki değişime olan etkisinin yanında sıcaklık, potansiyel evapotranspirasyon gibi diğer iklimsel parametrelerin de dahil edildiği SPEI gibi kuraklık indisleri kullanılır (Tigkas ve Tsakiris, 2015a; Matiu, vd., 2017; Peña-Gallardo, vd., 2019; Jabbi, vd., 2021; Yao, vd., 2022). Bunun yanında tarımsal kuraklık ve iklimsel parametrelere

bağlı tahıl verimindeki değişimler SPI, SPEI, RDI ve aSPI gibi farklı yapılardaki kuraklık indislerinin karşılaştırmalı analizi ile geçmiş çalışmalarda incelenmektedir (Zarei, vd., 2021; Mohammed ve Yimam, 2021; Omar, vd., 2022; Orimoloye, 2022; Tigkas, vd., 2022c).

Daryanto vd. (2017), tahıllar ve baklagiller de dahil olmak üzere çeşitli mahsuller üzerindeki kuraklık etkilerinin küresel bir sentezi, tüm mahsullerin etkilendiğini, ancak etki derecesinin mahsul türüne ve çevre koşullarına göre önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir) Matiu vd., (2017) yaptıkları çalışmada Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) indisinin kullanıldığı 1961-2014 yılları arasındaki yüksek sıcaklıklar ve kuraklığın buğday, soya fasulyesi ve mısırda verim değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Peña-Gallardo vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada İspanya'da kuraklığın buğday ve arpa üzerindeki etkisinin Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ve çeşitli kuraklık yöntemleri ile değerlendirmesinde yılın farklı dönemlerinde kuraklık şiddetine göre yüksek korelasyon ilişkisi ortaya koyulmuştur. Raza vd. (2019) ait farklı bir çalışmada özellikle iklime bağlı olarak yetiştirilen ve çalışmamızda konu olan buğday kuraklık stresinden tüm aşamalarında etkilenmektedir. Ancak en kritik aşamalar tane oluşum ve üreme aşamasındadır. Huang vd. (2020) yaptığı çalışmada Shaanxi ve Henan kentleri kışlık buğday ve kuraklığın etkileşimi incelenen çalışmada kışlık buğdayın özellikle tane doldurma aşamalarında su stresine daha hassas olduğu ve daha fazla suya ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Zarei vd. (2021), Keşif Kuraklık İndisi (RDI), Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) yöntemleri ile kışlık buğday verimi arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmada çeşitli iklim koşullarında yüksek korelasyon değerleri belirlenmiştir. Benito-Verdugo vd. (2023) tarafından Almanya ve İspanya'da toprak nemi ile tahıl verimi için yapılan çalışmada İspanya'da %30 oranında verim azalması ve Almanya'da pozitif tarımsal kuraklık eğilimleri ile tahıl ürünlerinde %5 verim düşüşleri tespit edilmiştir. Das vd. (2023) Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ve Standartlaştırılmış Toprak Nem İndeksi (SSI), büyük ölçekli iklimsel salınımlar ve bölgesel hidro-meteorolojik değişkenler dâhil edilerek yapılan çalışmada Hindistan'da tarımsal kuraklık eğiliminin arttığı belirlenmiştir. Chen vd. (2024), Çin'de 2001'den 2020'ye kadar olan süreçte hem sulanan hem de yağmurla beslenen tarım sistemlerinde tarımsal kuraklığın değerlendirilmesinde Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) 1,3, 6 ve 12 aylıklarda anlamlı korelasyon değerleri mevcuttur.

Akdeniz Havzası'nda bölgesel olarak değişkenlik gösteren yağış koşulları, kuraklıkların daha sık, yoğun ve uzun sürekli olarak yaşanmasına neden olmaktadır. Ayrıca gelecekte de artan sıcaklıklar ve kuraklıklara bağlı Akdeniz Havzası'nda doğal sistemler, ekonomik sektörler, insan sağlığı üzerindeki etkiler ile risklerin artması beklenmektedir (MedEC, 2020). Bu sebeple farklı iklim bölgelerinde yaşanan kuraklık dönemlerinin ve frekanslarının belirlenerek gelecekte bu bölgelerin özelliklerine göre tedbirler alınması zorunluluğu oluşmaktadır. Akdeniz havzası oluşturulan iklim modellerine göre 'iklim değişikliği sıcak noktası' olarak ifade edilmektedir (Lionella ve Scarascia, 2018; Lange, 2020). Akdeniz havzasının kurak ve yarı kurak iklim bölgesinde bulunması ve artan sıcaklıkların azalan yağışlar ile birleşmesi iklim değişikliğinin etkisinin artmasıyla kuraklıkların şiddetleneceği öngörülmektedir (Türkeş, 2020c; Erlat ve Güler, 2023c). Özellikle de Akdeniz havzasında 21. yüzyılın orta ve sonlarında yıllık hava sıcaklıklarındaki artışın küresel ortalamadan %25, yaz aylarında %40 daha fazla olması beklenir (Lionella ve Scarascia, 2018). Bu durum Türkiye'nin kuraklık olayları ve diğer olası küresel iklim değişikliği etkilerine karşı savunmasızlığının artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple artan hava sıcaklıkları ve azalan yağış değerleri su kaynakları, gıda güvenliği, enerji kaynakları, karasal ve denizel ekosistemler ile insan sağlığı güvenliği gibi faktörler üzerinde olumsuz durumlara sebep olabilecektir.

Türkiye'de kuraklık ve iklim değişikliğinin anlaşması üretim üzerinde sürdürülmekte olan çalışmalar, özellikle buğday, pamuk, arpa ve ayçiçeği gibi yoğun olarak üretilen ürünlerde kuraklık nedeniyle verim kayıplarının anlamlı düzeyde olup olmadığı ortaya çıkmaktadır (Tatar, 2016; Şorman, vd., 2018; Yılmaz, 2023). 2006-2016 yıllarını kapsayan ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Kuraklık İzleme Sistemi (KİS) sistemlerine dayalı bir araştırmada, il ve bitki vejetasyon dönemlerine göre yapılan analizler sonucunda Türkiye genelinde yağlık ayçiçeği başarında %20, pamuk veriminde ise %14 oranında azalma tespit edilmiştir (Gürkan, vd., 2017). Bununla birlikte, 1°C'lik sıcaklık artışının Türkiye'deki tarım programında %3 ila %9 oranında değişime uğramasına neden olabileceği belirlendi (Demirdöğen, 2020a). İklim değişikliğinin su kaynakları ve tarım sektörü üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği bir başka etkili, gelecekte yaşanması beklenen su sıkıntısının gıda güvenliği üzerinde olumsuz sonuçların doğuracağı öngörülmemiştir (Taşkın, vd., 2022). Ayrıca sıcak hava dalgalarının ve kuraklığın bitkisel üretimde ve anlaşma veriminde ciddi kayıplara neden olduğu ortaya konmuştur (Erlat, vd., 2021b; Yılmaz, 2023). Konya

Bölgesi'ne yönelik bir iklim değişikliğinin buğday ve yonca üretime etkileri incelenmiş; 2°C'lik bir sıcaklık artışının yonca, 4°C'lik bir artışın ise ürün üretim açısından önemli zorluklara yol açacağı belirtilmiştir (Akansu ve Kızıldeniz, 2024).

Birçok çalışmada kuraklığın oluşumu, şiddeti ve değişim eğilimleri değerlendirip kuraklık koşulları araştırılmıştır. Ancak literatürde, geniş bir coğrafyada yaşanan meteorolojik kuraklığın tarımsal verim üzerine etkisini havza bazında inceleyen çalışmaların sayısı ve içeriği halen istenilen seviyede değildir. Bu sebeple çalışmada, kuraklık ve stratejik-sosyoekonomik açıdan önemli bir ürün olan buğday verimi ilişkisi ve havzalara ait en fazla üretilen tarımsal ürünlerin zamansal-mekânsal analizini gerçekleştirmek amacıyla Türkiye 24 hidrolojik havzaya ayrılmıştır. 1991-2022 dönemini kapsayan çalışmada 219 meteoroloji istasyonunda elde edilen veriler ile SPI, SPEI, RDI ve aSPI kuraklık indisleri 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemlerde oluşturulmuştur. Kuraklık şiddetinin değişiminde yağış ve buharlaşmanın etkisinin önemli olması kuraklık çalışmalarında SPI, SPEI, RDI ve aSPI yöntemlerinin tercih edilmesine sebep olmuştur. Kuraklığın alansal dağılım haritaları CBS ortamında Türkiye için uygunluğu geçmiş çalışmalarda belirlenmiş Ordinary Kriging mekânsal enterpolasyon yöntemi ile oluşturulmuştur (Özelkan, vd., 2015a; Hadi ve Tombul, 2018; Öz, vd., 2024).

Bu değerlendirmelerin sonucunda çalışmamızda aşağıdaki sorulara cevaplar aranmaktadır:

1. Türkiye'nin farklı hidrolojik havzalarında meteorolojik kuraklık nasıl hangi kuraklık indisi tarafından en iyi temsil edilir?
2. Meteorolojik kuraklık ile buğday verimi arasındaki ilişki nedir ve bu ilişki havzalar arasında nasıl farklılık göstermektedir?
3. Her bir havzada meteorolojik kuraklığın buğday dışında en fazla üretime sahip ikinci bir ürün üzerindeki etkisi nedir?

Çalışmanın temel amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Türkiye'nin farklı hidrolojik havzalarında meteorolojik kuraklık durumlarının belirlenmesi ve bu durumların etkilerinin değerlendirilmesi,
2. Meteorolojik kuraklık ile buğday verimi arasındaki ilişkileri inceleyerek, kuraklık etkisinin havza bazlı değişiminin belirlenmesi,

3. Her havzada buğday dışında en fazla üretime sahip ikinci bir ürün üzerinde meteorolojik kuraklığın etkili olup olmadığı analiz edilerek, farklı tarım ürünlerine yönelik değişimler belirlenmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM
KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Kavram ve Terimler

2.1.1. Kuraklık

İklim, uzun bir süre belli bir yerde yaşanan ortalama hava şartları olarak tanımlanmaktadır (Demircan vd., 2014). Ancak son yıllarda insan etkinliklerinden kaynaklanan sera gazı salınımlarındaki hızlı artış ile küresel yüzey sıcaklıkları artarak iklim değişmektedir (Demir vd., 2008). Değişen iklim ile birlikte atmosfer ve okyanus ısınması, küresel su döngüsündeki değişiklikler, kar ve buzdaki azalmalar, küresel ortalama deniz düzeyi yükselmesi, ekstrem hava olaylarında değişiklikler saptanmıştır (Türkeş, 2020c). Ekstrem hava olayları ve görülme sıklıklarında her geçen yıl bir artış görülmektedir. Meteorolojik kökenli olaylar içerisinde küresel iklim değişiminin sebep olduğu en önemli olaylardan biri kuraklıktır.

Kuraklık, çevresel bir felaket olarak kabul edilmektedir. Kuraklığın tanımı başlı başına karmaşıktır. Çoğu araştırmacı tarafından yağış azlığı olarak kabul edilse de planlama ve yöntemi açısından objektif olarak nasıl tanımlanacağı zor bir konudur (Wilhite ve Glantz, 1985a). Ancak kuraklığın ifade edilmesinde *kuruluk* (İng. aridity) ve *kuraklık* (İng. drought) kavramları arasında farklılıklar da bulunmaktadır. Temel olarak kuruluk yeryüzünün herhangi bir yerinde hâkim olan fiziki coğrafya koşuları ve uzun süreli atmosfer dolaşımı düzeneklerinin oluşturduğu sürekli yağış ve nem açığı koşulları ya da klimatolojik kuraklık olarak tanımlanmaktadır (Türkeş, 2012b). Bu kurak koşullar yıl boyunca ya da yılın büyük bir bölümünde etkili olur ve bu alanlara kurak bölge (İng. arid) adı verilir (Türkeş, 2012b). Kuraklık ise genel olarak yeryüzündeki çeşitli sistemlerce kullanılan doğal su varlığının, belirli bir zaman süresince ve bölgesel ölçekte uzun süreli ortalamanın ya da normalin altında gerçekleşmesi sonucunda oluşan su açığıdır (Türkeş, 2007a).

Genel olarak normal veya tekrarlayan, bir veya birden çok mevsime yayılarak azalan yağışlar ve sıcaklıkların artması sonucu meydana gelen bir durumdur. Kuraklığın başlangıç ve bitiş dönemlerinin belirsiz olması, kümülatif olarak artması, aynı anda bir den fazla kaynakta etkili olması ve ekonomik boyutlarının yüksek olması kuraklığın diğer afetlere göre önemini arttıran bir durumdur (Kapluhan, 2023). Herhangi bir bölgede etkili olan

kuraklıkta; süre, büyüklük, şiddet, yoğunluk, etki alanı ve frekans gibi faktörler bulunmaktadır (Kömüşçü, 2001a).

Süre: Kuraklığın yaşandığı bölgeye bağlı olarak bir haftadan birkaç yıla kadar kuraklık zamanı değişebilir. Kuraklığın dinamik yapısı sebebiyle, çeşitli zaman ölçekleri dikkate alındığında bir bölge aynı anda hem kurak dönemler hem de yağışlı dönemler yaşayabilir (Zargar, vd., 2011).

Büyüklük: Bir kuraklık dönemi boyunca belirli bir eşiğin altında kalan birikmiş su açığını ifade etmektedir (Zargar, vd., 2011).

Şiddet: Kuraklık şiddetinde iki kullanım mevcuttur. Yağış açığının derecesi (büyüklüğü) veya yağış açıklığından kaynaklanan etkilerin derecesi olarak belirtilmektedir (Wilhite, 2000b).

Yoğunluk: Kuraklığın büyüklüğünün yaşandığı süreye oranı olarak tanımlanır (Zargar, vd., 2011).

Etki alanı: kuraklığın yaşandığı sırada kapladığı alandır ve bu alan birkaç su havzası veya bölgeyi etkileyebilir (Zargar, vd., 2011).

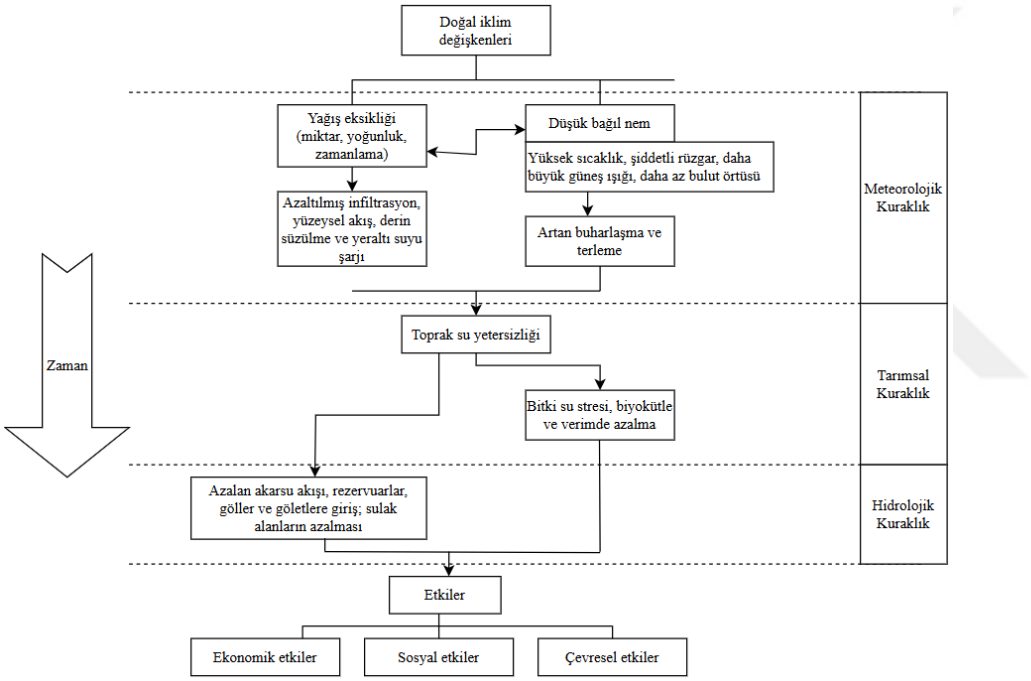
Frekans: Kuraklığın sıklığı veya kuraklığın tekrarlanma süresi olup, bir eşiğe ya da daha büyük bir şiddete sahip kuraklık olayları arasındaki ortalama süreyi ifade etmektedir (Zargar, vd., 2011).

Çeşitli iklim modellerinde, gelecekte daha sıcak iklim koşullarında artan buharlaşma ve terleme ile küresel ortalama yağış miktarı ve şiddetli yağışların sıklığında artış beklenmektedir. Ancak bazı alanlarda yağış artışı beklenirken bazı alanlarda ise yağışların azalması hatta yağış artışı olan alanlarda buharlaşma miktarının artması nedeniyle yüzeysel akış ve toprak neminde azalma öngörülmektedir. Bu durumların dışında bazı bölgelerde yağış rejimlerinde mevsimsel değişiklikle ve alansal kaymalar beklenmektedir. Kuraklık zaten tekrarlanan öngörülemeyen bir afet iken iklim değişikliği ile beraber kuraklık

olaylarının büyüklüğü ve sıklığı şiddetlenirken kurak ve yarı kurak alanlardaki ülkelerinde iklim değişikliği ev kuraklığa karşı duyarlılıklarını arttırmaktadır.

2.1.2. Kuraklık Türleri

Kuraklığın farklı çalışma alanlarına göre tanımları değişmektedir. Wilhite ve Glantz (1985a) tarafından yapılan çalışmada 150'den fazla tanım gözden geçirilmiş ve kuraklık tanımları dört tipte toplanmıştır. Bu kuraklık tanımları meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik kuraklıklar şeklindedir. Şekil 1'de kuraklık türlerinin oluşumunun genel sırası ve özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Farklı kuraklık türlerinin oluşum sürecindeki genel sıralaması
Kaynak: Zargar, vd., 2011

İklim değişikliği sonucu artan sıcaklık ve azalan yağışlarla evapotranspirasyon ve akarsu akışı gibi ek değişkenler de meydana gelen meteorolojik kuraklık, ikinci aşamada bitkinin ihtiyacını karşılayacak miktarda su bulunmaması olup nem kaybı ve su kaynaklarındaki kıtlık sonrasında meydana gelen tarımsal kuraklık ile devam etmektedir (Şekil 1). Üçüncü aşama olan uzun süre devam eden yağış eksikliği sonucu su kaynaklarındaki azalma hidrolojik kuraklıktır (Kapluhan, 2013; Partigöç ve Soğancı, 2019) (Şekil 1). Kuraklığın tarıma ve canlılara, diğer yandan su kaynaklarına ve kaynaklardan

faydalanacak endüstrilere etkisi, suyun ekonomik girdi olarak talep edildiği ölçüde temin edilememesi ile sosyoekonomik kuraklık oluşmaktadır (Mishra ve Singh, 2010) (Şekil 1). Kuraklık türlerinin ayrıntılı olarak tanımlaması aşağıdaki paragraflarda verilmektedir.

Meteorolojik Kuraklık: Belirli bir alanda belirli bir süre normalin altına düşen yağış miktarına ya da yağışsız geçen süreye bağlı olarak ifade edilmektedir (Wilhite, 1985a). Normal koşullardan sapmalar, normal yağışın bir yüzdesine göre yağış "fazlası" veya "açığı" olabilir. Beran ve Rodier (1985) tarafından pluviosity olarak adlandırılmıştır. Normal yağışın belirli bir dönem (ay, mevsim veya yıl) için ortalama yağış olduğu varsayılmaktadır (Hisdal, vd., 2000). Çünkü normal yağışın hesaplanması genellikle uzun vadeli değişimleri temsil edemeyecek kadar kısa bir süreye (örneğin otuz yıl) dayanmaktadır. Bir diğer eleştirilen durum ise, geniş bir alana yayılmış yerler arasındaki eksikliklerin göreceli şiddetinin yeterince tanımlanamamasıdır (Beran ve Rodier, 1985). Bunun nedeni, yağışın değişkenliğinin mekânsal olarak farklılık göstermesidir. Bu durum bölgesel olarak meydana gelir ve bölgesel klimatolojinin bilinmesi gereklidir.

Kuraklıkların açıklanmasında en yaygın olarak klimatolojik/meteorolojik ve hidrolojik ölçümler kullanılmaktadır. Herhangi bir meteorolojik kuraklık olayı bir anda sona ya da şiddetini arttırabilir. Kuraklık periyodu ve süresi, örneğin belirlenen eşik değerlerin altında olan günlerin ya da ayların sayısı olarak tanımlanmaktadır (Kapluhan, 2023). Normalin altındaki yağış değerleri akarsu akışlarının ve yeraltı su seviyesinin azalmasın, toprak nemliliğinin de düşmesine neden olmaktadır. Yağış miktarının azalması aynı zamanda artan sıcaklık ve azalan neme bağlı olarak zaten azalan suyun kaybedilmesi meteorolojik kuraklığın temelini oluşturmaktadır (Mishra, vd., 2010; Kapluhan, 2023).

Meteorolojik kuraklıklar yağış eksikliği olarak başlar ve burada yağış eksikliğinin miktarı ve süresi ile nem önemlidir. Meteorolojik kuraklıklar hidrolojik ve tarımsal kuraklıklardan önce meydana gelir (Li, 2024). Kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde yağış değişkenliğinin fazla olması bu alanlarda kuraklık olayları daha büyük ekolojik ve ekonomik kayıplara neden olur (Yetmen, 2013).

Tarımsal Kuraklık: Genellikle yüzey su kaynaklarının yanında toprak neminin azaldığı ve bunun sonucunda ürün veriminde kayıpların yaşandığı dönemi ifade etmektedir

(Mishra, vd., 2010). Toprak neminin azalması meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların yanında gerçek evapotranspirasyon ile potansiyel evapotranspirasyon arasındaki farkları etkileyen çeşitli faktörlere bağlıdır (Xianfeng, vd., 2016). Bitki su ihtiyacı, hâkim hava koşullarına, belirli bitkinin biyolojik özelliklerine ve büyüme aşamasına ve toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerine bağlıdır.

Tarımsal kuraklık meteorolojik kuraklıktan sonra hidrolojik kuraklıktan önce meydana gelir ve bitki kök bölgesi dikkate alınır. Yağış eksikliğinin etkilerinin artması, sıcaklıkların yükselmesi, bağıl nemin düşmesi ve kurutucu rüzgarların da etkili olması ile şiddeti katlanarak artar (Xianfeng, vd., 2016). Genellikle kuraklıktan ilk etkilenen sektör tarımdır. Eğer topraktaki nem kaynakları, özellikle nem eksikliği süresi, yüksek sıcaklıklar ve rüzgârlı koşullar etkiliyse hızlıca tükenir. Büyüme mevsimi boyunca Yağışın zamanında (yani kritik fenolojik aşamalarla çakıştığında) ve etkili olması (düşük yoğunluklu ve yüksek toprak sızma oranı) durumunda, kuraklık sırasında ürün veya yem verimleri normal ya da normalin üzerinde olabilir (Wilhite, 2000b).

Havadaki nem miktarı ve toprağın aldığı yağış azalsa da toprağın içindeki su miktarı hemen azalmaz. Bu duruma bağlı olarak tarımsal kuraklık genelde uzun süren meteorolojik kuraklıkların ardından meydana gelmektedir ve ürün ile verim miktarında azalmalara neden olmaktadır (Şimşek ve Çakmak, 2010a). Tarımsal kuraklık ile topraktaki nem oranının bitki gelişimi için uygun miktarın altına sürekli düşmesi bitkisel üretimi dolaylı olarak da hayvansal üretimi olumsuz etkilemektedir (Quiring ve Papakryiakou, 2003). Tarımsal kuraklık temel olarak bitkinin gelişimi için toprakta yeterli miktarda suyun bulanmamasıdır (Wilhite, 2000b).

Yağış rejiminin değişmesi, yağış miktarının azalarak zamansal ve alansal değişikliklerin olması aynı zamanda sıcaklık değerlerinin yükselmesi kuraklığın etkisi ile tarım ürünlerinin gelişiminde değişiklikler görülmektedir. Örneğin hava sıcaklıklarındaki artış yetiştirilen ürünlerin olgunlaşma zamanının kısalması ya da çiçeklenme dönemindeki yüksek sıcaklıklar ile tane/tohum miktarında azalma gibi bitki gelişimine etkisi olacaktır (Moriondo, vd., 2011). Büyüme döngüsü boyunca yaşanan yüksek sıcaklıklar ve yağış yetersizliği ile su stresi artarak bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir (Iqbal, vd., 2009). Bu değişikliklerle birlikte tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü alanlarda toprakta meydana

gelecek verimsizlik, bitkinin su ihtiyacını karşılayamaması, tarımsal üretimin azalması ve tarımsal alanların amaç dışı kullanılması gibi durumlar meydana gelecektir (Partigöç ve Soğancı, 2019).

Hidrolojik Kuraklık: Hidrolojik kuraklıklar, yağış eksikliklerinden ziyade yağış eksikliği dönemlerinin yüzey veya yeraltı su kaynağı (yani, akarsu akışı, rezervuar ve göl seviyeleri, yeraltı suyu) üzerindeki etkileriyle ilişkilidir (Dracup, vd., 1980). Hidrolojik kuraklıklar genellikle meteorolojik ve tarımsal kuraklıkların oluşumu ile aynı şekilde değildir veya gecikmelidir. Meteorolojik kuraklıklar yağış eksikliklerinden kaynaklanır; tarımsal kuraklıklar ise büyük ölçüde toprak nemi eksikliklerinin sonucudur. Yağış eksikliklerinin hidrolojik sistemin diğer bileşenlerinde (örneğin rezervuarlar, yeraltı suları) tespit edilmesinden önce daha fazla zaman geçmektedir. Ayrıca, hidrolojik depolama sistemlerindeki (örn. rezervuarlar, nehirler) su genellikle birden fazla ve birbiriyle rekabet eden amaçlar için (örn. enerji üretimi, taşkın kontrolü, sulama, rekreasyon) kullanılır ve bu da etkilerin sıralanmasını ve ölçülmesini daha da karmaşık hale getirir (Wilhite, 2000b).

Hidrolojik kuraklık uzun süren yağış azlığı, kaynak seviyeleri, yüzey akış ve toprak nemi gibi hidrolojik sitemlerdeki değişimlere neden olmaktadır. Nehirlerin akım ölçümleri, göl ve diğer su biriktirme yapılarının rezerv ölçümleri ile yeraltı su seviyesi ve rezerv ölçümleri, başlıca yüzey su kaynaklarının izlenebilir ölçümlerini oluşturur (Kapluhan, 2023). Ancak, yağış eksikliği ile akarsu ve rezervuarlardaki su eksikliği arasında zamana bağlı doğrudan bir ilişki bulunmasına rağmen, hidrolojik ölçümler kuraklığın ilk belirtilerini yansıtmaz. Meteorolojik kuraklık sona erdikten sonra bile, hidrolojik kuraklık etkisini uzun süre sürdürebilir. Bu durum, kuraklığın yaşandığı bölgenin fiziki coğrafya özellikleri (örneğin, topografya, iklim, vejetasyon, hidrografya ve hidroloji) ve toprak yapısına bağlı olarak değişen gecikme sürelerine bağlıdır (Kapluhan, 2023).

Sosyo-Ekonomik Kuraklık: Sosyoekonomik kuraklık, bazı ekonomik mal veya hizmetlerin arz ve talebini meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık unsurlarıyla ilişkilendirir. Çoğu durumda, artan nüfus ve/veya kişi başına tüketimin bir sonucu olarak bu mala olan talep artmaktadır. Bu nedenle kuraklık, hava koşullarına bağlı arz açığının bir sonucu olarak söz konusu mala olan talep arzı aştığında ortaya çıkan bir durum olarak tanımlanabilir. Bu kuraklık kavramı, kuraklık ve insan faaliyetleri arasında var olan güçlü

ortak yaşamı desteklemektedir. Dolayısıyla, kuraklığın görülme sıklığı, fiziksel olayın sıklığındaki bir değişiklik, toplumun su kıtlığına karşı savunmasızlığındaki bir değişiklik veya her ikisi nedeniyle artabilir (Wilhite, 2000b).

Sosyo-ekonomik kuraklık, kuraklığın tarım, canlı yaşamı ve su kaynakları üzerindeki etkilerinin, bu kaynaklardan yararlanan endüstrilere yansımasıyla ortaya çıkan bir durumdur. Su, ekonomik bir girdi olarak talep edildiğinde yeterli düzeyde sağlanamaması, sosyoekonomik kuraklığı tanımlar (Mishra ve Singh, 2010). Bu kuraklık, toplumun üretim ve tüketim faaliyetlerini doğrudan etkileyen su kıtlığı ile ilişkilidir. Sosyoekonomik kuraklık, meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklıklarla bağlantılı olmakla birlikte, bu kuraklık türlerinden farklı bir özellik taşır. Çünkü mekânsal ve zamansal değişkenlik göstererek ortaya çıkar. Su, gıda, balıkçılık ve hidroelektrik enerji gibi birçok ekonomik ürünün temini, iklim koşullarına bağlıdır. İklimin doğal dalgalanmaları nedeniyle bazı yıllarda su kaynakları yeterli olabilirken, sonraki yıllarda bu kaynaklar hem insan ihtiyaçlarını hem de çevresel gereksinimleri karşılamaktan uzak kalabilir. Sosyoekonomik kuraklık, yağışlardaki azalma sonucu gelişir ve üretimin talebi karşılayamadığı durumlarda belirgin hale gelir (Kadıoğlu, 2008).

Kuraklık İndisleri: Kuraklık karakterizasyonu için çeşitli yöntemler bulunmakla birlikte, en yaygın kullanılan yöntemlerden biri kuraklık indisleridir (Tsakiris, vd., 2007c). Kuraklık indisleri, kuraklık göstergelerinin tek bir sayısal değere dönüştürülmesiyle hesaplanır ve bu sayede ham verilere kıyasla daha anlaşılır ve kapsamlı bir analiz sunar. Bugüne kadar 150'den fazla kuraklık indisi geliştirilmiş olup (Niemeyer, 2008), son yıllarda yeni indis önerileri de literatüre kazandırılmıştır (Cai, vd., 2011; Karamouz, vd., 2009; Rhee, vd., 2010; Vasiliades, vd., 2011; Vicente-Serrano, vd., 2010).

Kuraklık indislerinin kullanımı şu amaçlara hizmet eder:

- Kuraklığın tespiti ve gerçek zamanlı izlenmesi (Niemeyer, 2008),
- Bir kuraklık döneminin başlangıç ve bitiş zamanlarının belirlenmesi (Tsakiris, vd., 2007c),
- Yöneticilerin kuraklık seviyelerini ilan etmesi ve müdahale önlemlerini başlatması,
- Kuraklık değerlendirmelerinin yapılması (Niemeyer, 2008),

- Belirli bir bölgedeki kuraklık durumunun temsil edilmesi (Tsakiris, vd., 2007c),
- Coğrafi ve zamansal ölçeklerde kuraklık etkilerinin niceliksel olarak değerlendirilmesi,
- Kuraklık koşullarının farklı kuruluşlar arasında daha etkili bir şekilde iletilmesinin sağlanması.

Dünyada ve ülkemizde kuraklığın zamansal-mekânsal değişimlerini belirlemek için kullanılan birçok kuraklık indisi önerilmektedir. Bu indislerden en yaygın kullanılanlar arasında Palmer Kuraklık Şiddet Endeksi (PDSI), Mahsul Nem Endeksi (CMI), Toprak Nem Eksikliği Endeksi (SMDI), Toprak Nemi Kuraklık Endeksi (SODI) ve Kuraklık Şiddeti Endeksi (DSI), Standardize Yağış İndeksi (SPI), Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI), Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI), Keşif Kuraklığı İndeksi (RDI) yer almaktadır (Zargar, vd., 2011; Zarei, vd., 2021; Ndayiragije ve Li, 2022; Hernández Vásquez, vd., 2022; Zhao, vd., 2022; Miro, vd., 2023).

2.2. Havza Kavramı ve Özellikleri

Havza, hidrolojik, ekolojik ve coğrafi süreçlerin bir arada incelendiği önemli bir kavramdır. Genellikle bir su toplama alanının ifade edildiği havzalar su döngüsünün temel bileşenlerinden olup, doğal ve beşerî faktörlerin etkisiyle farklı özellikler göstermektedir. Havzalar fiziksel yapılarına, hidrolojik dinamiklerine ve kullanım amaçlarına göre farklı şekillerden tanımlanabilmektedirler.

Havza (İng. Basin) kavramı, farklı disiplinler tarafından çeşitli bağlamlarda ele alınmakta olup, bu doğrultuda farklı tanımlamalar içermektedir. Genel olarak, bir akarsu drenaj sahasını çevreleyen dağlık alanlarla sınırlanmış çukur bölgeler olarak ifade edilmektedir (Grigg 1999; Cobourn, 1999; İzbırak, 1992; Uzun ve Garipağaoğlu, 2021).

Jeolojik havza kavramı, eski çukurluk alanlar üzerinde biriken genç tortul tabakaların uzandığı yapılar olarak tanımlanmaktadır (Yalçınlar, 1985; Hoşgören, 2011b). Bir diğer ifade ile havzayı çevreleyen yüksek alanlardan tabana doğru inildikçe formasyonların stratigrafik olarak eskiden yeniye doğru düzenli olarak sırlanma gösterdiği ve tektonik-

stratigrafik açıdan birbiriyle ilişkili jeolojik birimlerin oluşturduğu alanlardır (Garipağaoğlu, 2012a). Tektonik havzalar, genellikle çevresinde eski masifler ve diğer jeolojik olarak köklü birimler içeren arazilerle sınırlanmış yapılardır.

Jeomorfolojik havza kavramı ise, çevresine kıyasla daha düşük eğime sahip, düz veya düze yakın bir taban ile çevresini saran yüksek platolar ve dağlık alanlardan oluşan temel topografik birimler olarak tanımlanmaktadır (Brooks vd., 2003; Garipağaoğlu ve Uzun, 2019b).

Hidrografik havzalar, ana akarsu ve kollarının yağış ve kar sularını drene ettiği alan olarak tanımlanmaktadır (White, 1997). Yüksek kesimlerden gelen akış, yan kollarla birleşerek yüzeysel akışı sürdürmekte olup, akarsu havzaları su bölümü çizgisi ile diğer havzalardan ayrılmaktadır (Garipağaoğlu, 2012a).

Akarsu havzaları döküldükleri taban seviyesine göre farklı sınıflara ayrılmaktadır. Deniz veya okyanusa ulaşan havzalar dışa akışlı (eksoreik-açık havzalar), bir göle dökülen ya da yer altına sızan havzalar ise içe akışlı (anderoik-kapalı havzalar) olarak adlandırılmaktadır (Hoşgören, 2010a). Herhangi bir akış sistemine bağlı olmayan ve suyun belirgin bir şekilde birikmediği alanlar akıştan yoksun havzalar olarak ifade edilmektedir (Hoşgören, 2010a).

Türkiye'de topografik koşullara bağlı olarak 26 adet hidrolojik havza yer almaktadır. Bu havzalardan en büyük alana sahip havza Fırat-Dicle Havzası (220,000 km^2) iken en küçük alan sahip havza Burdur-Göller Havzası (6,764 km^2)'dır. Bu havzaların her birinde yıllık yağış miktarı ve su potansiyelleri birbirinden farklıdır. Aynı zamanda bu havzalarda yağış miktarının farklılaşmasının yanında yağışın yıl içerisinde oluştuğu dönemlerde birbirinden farklılık göstermektedir. Öncelikle havzalarda değişen yağış özellikleri ve diğer faktörlere bağlı her havzanın kendisine özgü bir ekosistemi bulunmaktadır. Bu nedenle de bir havzaya ait bulgular ve önlemler bir diğer havzaya aynen uygulanamamaktadır.

Gelecekte iklim değişikliğinin, su kaynakları üzerinde kısıtlayıcı bir etkiye sahip olacağı öngörülmektedir. Genel olarak, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri, havzaların bulunduğu bölgesel koşullara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu kapsamda,

yüzeysel su potansiyelinde azalma veya artış, yer altı akiferlerinin beslenme ve boşalım dinamiklerinde değişimler, ekstrem hidrolojik olayların (taşkınlar ve kuraklık) sıklığında, meydana gelme dönemlerinde ve büyüklüklerinde farklılaşmalar görülebilmektedir (Yazıcı vd., 2019). Ayrıca, değişen yağış rejimi, bitki örtüsü ve arazi kullanımlarındaki değişimlerin erozyon süreçlerini hızlandırabileceği, kar suları ile beslenen akarsuların akış rejimlerinde düzensizliklere yol açabileceği ve tarımsal su taleplerinin artmasına neden olabileceği öngörülmektedir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde hidrolojik belirsizlikler, yağış ve sıcaklıkta meydana gelen görece küçük değişikliklerin, yüzey akışı ve buharlaşma (ET) süreçlerinin hacmi ve zamanlaması üzerinde büyük etkilere yol açabilmesinden kaynaklanmaktadır (Yazıcı vd., 2019). Küresel ısınmanın etkileri, sulama sistemleri ve geniş anlamda toplum üzerinde önemli yeni belirsizlikler ve sorunlar yaratmakta, bu da havza ölçeğinde su yönetimini daha karmaşık hale getirmektedir.

Havza yönetimi ve planlaması, jeolojik, jeomorfolojik ve hidrografik sınırları net bir şekilde belirlenebilen alanlarda, su ve toprak kaynakları başta olmak üzere tüm doğal kaynakların etkin kullanımını ve korunmasını hedefleyen bir süreçtir (Garipağaoğlu ve Uzun, 2019b). Bu yaklaşım, beşerî faaliyetlerin havza içindeki kaynaklardan optimal şekilde yararlanmasını sağlamanın yanı sıra, ekosistemin bütününü göz önünde bulundurarak, çevresel dengeyi korumayı ve sürdürülebilirliği güvence altına almayı amaçlamaktadır. Havza yönetimi, aynı zamanda doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda, ekosistem hizmetlerinin uzun vadeli korunmasını sağlamaya yönelik bir planlama ve yönetim sistemi olarak tanımlanabilir. Özellikle kuraklık dönemlerinde, havza bazlı çalışmalar, su kaynaklarının etkin kullanımı ve tarımsal üretimde verimliliğin artırılması için gereklidir (Doğan ve Gürler, 2015; Uzun ve Garipağaoğlu, 2021). Havza yönetimi, tarımsal üretim süreçlerinin optimize edilmesine ve kuraklık gibi doğal afetlerin etkilerinin azaltılmasına yardımcı olur (Uzun ve Garipoğlu, 2021).

2.3. Önceki Çalışmalar

2.3.1. Kuraklık ile İlgili Çalışmalar

Tatlı ve Türkeş (2008b), Türkiye'de 96 meteoroloji istasyonunda 2006-2007 kuraklık olaylarının geniş ölçekli atmosferik değişkenler ile bağlantılarının lojistiktik regresyon ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarında 2006/2007 kuraklık sınıflarının tahmin

başarısı en yüksek Güneydoğu, Ege ve Akdeniz bölgelerinde, en düşük ise Karadeniz bölgesinde tespit edilmiştir.

Güner (2017), tarafından Ege Bölgesi'nde sekiz meteoroloji istasyonunda 1960-2013 yılları arasını kapsayan çalışma yağış ve kuraklığın trend analizinin belirlenmesine yöneliktir. Çalışmanın sonuçlarında aylık yağış eğiliminde Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında tüm bölgelerde azalan yağış değerleri belirlenmiştir. SPI kuraklık analizlerinde kısa zaman dilimindeki (3 ay) kuraklıkların daha sık ve kısa süreli olduğu süre arttıkça kuraklık süresinin de artmakta ancak sıklığının azalmakta olduğu belirlenmiştir.

Erlat, vd. (2021b), çalışmalarında Türkiye'de sıcak hava dalgasının iklimsel özelliklerinde sıcak hava dalgası sayısı, süresi, frekansı, büyüklüğü ve genliği gibi uzun vadeli eğilimler ve ani değişiklikler de dahil olmak üzere mekânsal-zamansal değişiklikler incelenmiştir. 1950'den bu yana sıcak hava dalgası özelliklerinin trend analizinde daha sık, uzun ve daha sıcak hava dalgalarının yaşandığı belirlenmiştir. Aynı zamanda coğrafi olarak Türkiye'nin sıcak hava dalgası özelliklerinde en büyük değişikliklerin 1990'ların ortasından sonra Karadeniz ve Akdeniz kıyılarında meydana geldiği belirlenmiştir.

Partal ve Yavuz (2020), Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz Bölgeleri'nde yaptıkları çalışmalarında elde edilen kuraklık indislerine trend analizi uygulamışlardır. 1960-2015 yılları arası trend analizlerinde yıllık toplam yağışlarda tüm istasyonlarda artan eğilim mevcuttur. Aylık yağışlarda ise Mart, Eylül ve Ekim aylarında artış eğilimleri belirlenerek, SPI indisinde nemlilik sınıflarında artış eğilimi belirlenmiştir.

Bayer ve Altın (2021), çalışmada Doğu Akdeniz Havzası'nda 1967-2017 yılları arasında SSI ve SPI indisleri ile meteorolojik kuraklık analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda meteorolojik kuraklıklara yanıt olarak hidrolojik kuraklıkların bir yıl sonra meydana geldiği ve 1990'ların ortalarından itibaren havzadaki tüm istasyonlarda daha belirgin olduğu belirlenmiştir. Özellikle SPI-12 değerlerine göre 2002-2003'ten 2008-2009'a kadar kesintisiz kurak dönem belirlenmiştir. Orta dereceli kuraklıkların 51 yıl boyunca havza genelinde yaygın olarak etkili olduğu çalışma sonuçlarındandır.

İrcan ve Duman (2021), tarafından yapılan çalışmada Şanlıurfa ilinin 1975-2019 yılları arasındaki kuraklık özelliği SYİ ile belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarında Şanlıurfa merkezi ile Siverek istasyonlarında kurak dönemlerin oranı nemli dönemlerin oranına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışma sonuçlarında Akçakale, Birecik ve Ceylanpınar istasyonlarında ise nemli dönemlerin oranının kurak dönemlerin oranına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Kömüşçü, vd. (2022b), Türkiye genelindeki 234 meteoroloji istasyonu 1980-2020 dönemini kapsayan aylık yağış değerleri ile yağış kümelerinin mekânsal-zamansal olarak değişkenliği araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarında 1980-2020 arası için beş yağış kümesi tespit edilmiştir. Aylık yağışlarda Ege ve Akdeniz bölgelerinde Arktik Salınım (AO) ile anlamlı korelasyona sahip iken, Kuzey Atlantik Salınımı Doğu ve Güneydoğu Anadolu istasyonları ile anlamlı korelasyonlara sahip olduğu belirlenmiştir.

Topçu (2022), Türkiye'nin güneyinde yer alan Doğu Akdeniz, Seyhan-Ceyhan ve Asi havzaları için 1999-2010 yılları arası meteorolojik kuraklıkları belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarında, çalışma alanının tamamında şiddetli kuraklığın hâkim olmadığı, sadece bazı istasyonlarda aşırı sulama talebi sebebiyle zaman zaman yerel aşırı kuraklıkların görüldüğü belirlenmiştir.

Aksu (2023), tarafından yapılan çalışmada Türkiye'deki hidrolojik havzalarda yağışın mevsimsel dağılışı incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarında yaz aylarında, Türkiye'nin Orta ve Güney kesimlerindeki tüm su havzalarında yağış sıkıntısı görülmektedir. Kuzeyden güneye doğru gidildikçe, havzaların mevsimsel yağış derinlikleri ve payları daha düzensiz ve değişken hale geldiği belirlenmiştir.

Erişmiş (2023), Meriç havzasında 1970-2020 yılları arasına ait 10 istasyonda yağış ve sıcaklık verileri ile SPEI kuraklık indisi uygulanmıştır. Çalışmada 1985-1995 döneminde havza genelinde yaygın kuraklık koşulları belirlenmiştir. En uzun kuraklık süresinin ise 2000-2010 yılları arasında Lüleburgaz istasyonunda yaşandığı tespit edilmiştir.

Erlat ve Güler (2023c), çalışmada Türkiye'de SPEI'ya göre 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde 1951-2022 döneminde kuraklıkların zamansal değişimi incelenmiştir. Çalışma

sonuçlarında Türkiye'de yaz ve sonbahar mevsimlerinde meteorolojik ve tarımsal kuraklıkların arttığı belirlenmiştir. Türkiye'de son 20 yılda oluşan kuraklıkların şiddetlenmesi ile kurak dönemlerin uzamasında sadece yağış değişkenliği ile ilişkili olmadığı aynı zamanda yükselen hava sıcaklıkları ve artan buharlaşma/terleme oranlarının da etkili olduğu belirlenmiştir.

Güler ve Erlat (2023), çalışmada 1950-2022 döneminde Türkiye'de ortalama hava sıcaklıklarında yıllık ve mevsimlik olarak gözlenen değişim ile eğilimler incelenmiştir. Çalışma sonuçlarında yıllık ortalama sıcaklıklarda en yüksek değerler 2010, 2018 ve 2020 yıllarında gözlenmiştir. Mevsimlik ortalama hava sıcaklıklarında en kuvvetli artış eğilimi ise yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde tespit edilmiştir.

Öney ve Anlı (2023), Türkiye'de Gediz havzasındaki beş alandan toplanan aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış miktarları kullanılarak Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ve L-moment teknikleri ile bölgesel kuraklık analizi yapılmıştır. 9 ve 12 aylık dönemlerin neredeyse tamamında su eksikliği yaşandığını, 3 aylık dönemin ise su fazlası olduğunu gösterdi. Su dengesi serisine en iyi uyumu sağlayan dağılımlar belirlendikten sonra elde edilen SPEI değerlerine göre tüm sahalarda normale yakın koşullar hâkim olurken, orta ve şiddetli kurak ve nemli koşullar bazen meydana gelmiş, aşırı nemli ve kurak koşullar ise nadiren görüldüğü belirlenmiştir.

Özçelik ve Akkuzu (2023), çalışmalarında Ege Bölgesi'ndeki 29 meteoroloji istasyonuna ait 1975-2014 yılları arası iklim parametrelerine SPEI kuraklık indisi uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarında Ege Bölgesi'nde şiddetli ve çok şiddetli kuraklıkların yaşandığı belirlenmiştir. Özellikle de 1989, 1993, 2007, 2008, 2011 ve 2012 yıllarında kuraklıkların etkili olduğu, 2007-2008 yıllarının çok şiddetli kuraklıkların etkili olduğu yıllar olarak belirlenmiştir. SPEI değerlerinin uzun zaman ölçeğinde kurak dönemlerin mekânsal olarak daha belirgin tespit edebilme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Öz, vd. (2024), çalışmada 1991-2022 yılları arası Türkiye'deki 2019 meteoroloji istasyonuna ait SPI, SPEI ve RDI indisleriyle karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Çalışma sonuçlarında Kuzey Atlantik Salınımının pozitif olduğu yıllarda artan kuraklık şiddeti belirlenmiştir. Üç indis türünde de genel olarak özellikle kış ve sonbahar aylarında artan

kuraklık şiddetinin yanında yaz aylarında geniş alanlarda kuraklık şiddetinin etkileri artmaktadır.

2.3.2. Tarımsal Üretim ile İlgili Çalışmalar

Çelik ve Karabulut (2017), çalışmada MODIS verileri ile 2000-2014 döneminde buğday bitkisinin kurak koşullara verdiği tepki SVI ile incelenmiştir. Çalışma sonuçlarında belli yıl ve aylarda vejetatif kuraklığın dikkat çekici olduğu görülmektedir. Aynı zamanda Kilis ilindeki çalışmada buğdayın gelişim dönemlerinde yağışın fazla olması bitkinin mayıs ayına kadar yeşil kalmasını sağladığı belirlenmiştir. Ancak kurak dönemlerde nisan ayında bitki sararmakta ve verimde düşüş tespit edilmiştir.

Gürkan, vd. (2017), 2006–2016 yılları arası dönemini kapsayan dönem için Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen Kuraklık İzleme Sistemi (KİS) il-bitki vejetasyon dönemi bazlı 9 aylık kuraklık analizleri, aylık maksimum sıcaklık ve aylık maksimum yağış meteorolojik parametreleri ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre değişen iklim koşullarının, Türkiye genelinde ayçiçeği (yağlık) veriminde %20, pamuk (kütlü) veriminde ise %14'e varan oranlardaki azalışlarda etkili olduğu belirlenmiştir.

Aydın ve Sarptaş (2018), Akdeniz ikliminin hâkim olduğu ülkemizde bitkilerin iklimsel uygunluk değerlendirilmesini yapmıştır. Çalışmada, mısır, dallı darı ve pamuk bitkilerinin yetiştirilmesine uygun olan alanların nispeten artsa bile günümüze göre önemli ölçüde değişmeyeceği; aspirin uygunluğunun alansal olarak önemli ölçüde genişleyeceği ve kanolaya yönelik uygun alanların yer değiştireceği tespit edilmiştir. Burada önemli ölçüde kaybeden hem alansal olarak değişikliğe ve daralmaya uğrayacak olan ülkemizin kayda değer tarım ürün bitkisi buğdaydır.

Döşer ve Avcı (2019), çalışmada iklim değişikliğinin Türkiye'deki şeker pancarı üretimi ve sanayisinde yaratacağı etkiler incelenmiştir. Çalışma sonuçlarında sıcaklıkların düşük olduğu alanlarda Doğu Anadolu Bölgesi alternatif üretim alanı olarak ön plana çıktığı belirlenmiştir. Artan sıcaklıklar ve iklim senaryolarına göre İç Anadolu Bölgesi'nin şeker pancarı tarımının olumsuz etkileneceği ön görülmüştür.

Dellal, vd., (2020d), çalışmada iklim değişikliği ile artan sıcaklıklar ve azalan yağışlar ile mevsimsel değişmelerin tarım üzerindeki etkisine odaklanılmıştır. Bu değişimlerin tarım ile ilgisi ve Türk tarımındaki etkisi, ekonomik etkiler, uluslararası anlaşmalar, Türkiye' de uyum ve mücadele konusunda yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

Demirdöğen, (2020a), çalışmada Türkiye'de sıcaklık artışının 1990'lardan sonra şiddetlendiğine ulaşılmıştır. Ayrıca derecelik sıcaklık artışı yaklaşık olarak %3 ile %9 arasında değişen bir düzeyde tarım alanlarını azaltmıştır. Çalışmanın bir diğer katkısı verim veya üretim yerine doğrudan tarım alanları üzerindeki etkiye odaklanmasıdır. Çünkü iklim değişikliği verimi etkilemekte ve sonuç olarak bu verim değişimi üreticilerin gelirlerine yansımaktadır. Dolayısıyla üretici ekim alanı kararları iklim değişikliğine bağlı olarak değişmektedir.

Kaya, (2021), çalışmada Türkiye'de Güneydoğu Anadolu'da 2017-2018 ve 2019-2020 döneminde kışlık buğday ve ilkbahar buğdayının yağış ile sıcaklık koşullarından etkilendiği dönemler belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarında kışlık buğday genotipinin iklim değişikliğine başarılı bir şekilde uyum sağlayamayacağı belirlenmiştir. Özellikle Mayıs ve Haziran aylarında meydana gelen sıcaklık stresinin buğdayda tane verimi ve bileşenlerinde kayıplara neden olduğu belirlenmiştir.

Zarei, vd. (2021), çalışmada SPEI'nın aşırı kurak, yarı kurak, Akdeniz ve nemli iklim koşullarında kuraklık değerlendirmesi için en uygun indisin mevcut olduğu görülmüştür. Kurak şiddetinde RDI, aşırı nemli bileşenler ise SPEI ve RDI birlikte etkili bir şekilde ortaya çıkar. Genel olarak, SPEI diğer indislere kıyasla daha üstün performans sergilemiştir.

İrdem, (2022), Türkiye'de buğday verimi, farklı bölgelerde sıcaklık ve yağış koşullarına bağlı olarak alansal ve zamansal değişiklikler göstermektedir. Yapılan analizler, Orta Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde ekim döneminde sıcaklık ile buğday verimi arasında pozitif bir ilişki olduğunu, ancak başaklanma döneminde bu ilişkinin negatife döndüğünü ortaya koymuştur. Marmara ve Ege bölgelerinde ise bu durumun tam tersi mevcuttur. Ayrıca, ekim dönemi yağışlarının Marmara ve Doğu Anadolu'da yıllık buğday verimini olumsuz etkilediği, diğer bölgelerde ise verimi artırdığı

belirlenmiştir. Başaklanma dönemi yağışları ise genel olarak buğday verimi üzerinde olumlu bir etki yapmaktadır.

Karatayev, vd. (2022), İklim değişikliği, kuraklık ve buğday referanslı bilgileri görüntülemek için coğrafi bilgi sistemi (CBS) uygulanmıştır. Araştırma, Kazakistan'daki yıllık ortalama yüzey sıcaklığının 70 yıllık (1950-2020) doğrusal oranlarının önemli ölçüde arttığını (on yılda ortalama 0,31 C), yağış eğilimlerinin belirgin olmadığını ve kuraklık eğilimlerinin dalgalandığını göstermiştir. Buğday verimi güçlü bir iç değişkenlik göstermektedir ve buğday verimi 1950-2020 dönemi boyunca 3 aylık Haziran ve Temmuz kuraklık endeksleri ile önemli ölçüde ilişkilidir. Sonuçlar, Kazakistan'daki buğday veriminin gelecekteki yağış azalmalarına ve kuraklık oluşumu ve yoğunluğundaki artışa karşı potansiyel duyarlılığının altını çizmektedir.

Gümüş, vd. (2023), çalışmada Ergene Havzası'nda 2001-2020 dönemindeki kuraklık olaylarını analiz etmek için CDI ve MODIS verileri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarında Ergene Havzası'nda yılda en az 1 ay boyunca kuraklık olaylarının yaşandığı, Mayıs ayı en yağışlı ay olurken, Eylül ayı en kurak ay olduğu belirlenmiştir. Kuraklığın şiddeti ve mekânsal kapsamı, söz konusu dönem boyunca artan bir eğilim göstermiş ve ardından düşüşe geçmiştir. CDI, 1 aylık standartlaştırılmış endekslerle 3 ve 6 aylık SPI-SPEI'dan daha güçlü korelasyonlar göstermiştir.

Yılmaz (2023), iklim değişikliğinin etkisi ile bitkisel üretim, hayvansal üretim, doğal kaynak, beşeri sermaye ve ekonominin olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Ekili ürünlerde, özellikle verim ve ürün kaybının yaşandığı görülmüştür. Mera alanlarında taze ot veriminde azalma ve mera alanlarının yok olması gibi durumların yaşandığı belirlenmiştir. Yem bitkilerine yönelik ekili ürünlerde ve mera alanlarında taze otlarda yaşanan kayıplar, yem fiyatlarında artışa ve yem tedarikinde ciddi sorunlara neden olmaktadır.

Demirdöğen, vd. (2024c), çalışmada iklim değişikliğinin buğday üretimi üzerindeki etkisinin zamansal ve coğrafi yönlerine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuçlarda 1,5 °C'lik bir sıcaklık artışının ardından buğday veriminde %9'luk önemli bir düşüş olduğunu göstermektedir. Mayıs ayındaki iklim değişikliklerinin buğday verimini orantısız bir şekilde nasıl etkilediğini vurgulayan 'Mayıs etkisi' dikkate değer bir bulgu olarak tespit edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ÇALIŞMA SAHASININ COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde sırasıyla çalışma alanının genel özellikleri, kullanılan meteorolojik veriler ve bu verilerin işlenmesi ile kuraklığın mekânsal ve zamansal değişiminde kullanılan yöntemler anlatılacaktır. Çalışmada 1991-2022 yılları arasına ait 219 istasyonun SPI, SPEI, RDI ve aSPI kuraklık indisleri 1, 3, 6, 9, 12 aylık dönemler şeklinde hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamalar dört aşamalı şekilde incelenmiştir:

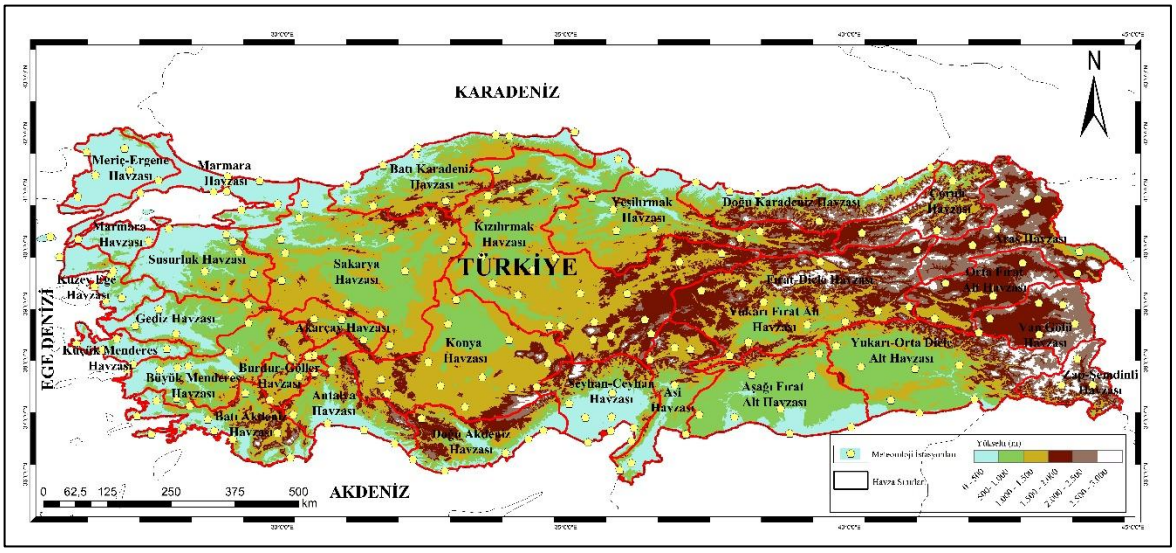
1. Kuraklık sınıflarına göre her yıla ait ortalama frekans değerleri oluşturularak hangi kuraklık sınıfının hangi yılda en fazla tekrar ettiği kuraklık indislerine göre karşılaştırılmıştır,
2. Tüm kuraklık indislerinde her ayın 1991-2022 yılları arasında en kurak ve nemli yılları ile çalışma alanında bu değerlerin görüldüğü bölümler belirlenmiştir,
3. Aylara göre her kuraklık yönteminde görülen en kurak yıllar belirlenerek bu yıllara ait mekânsal dağılış haritaları oluşturulmuştur,
4. Yapılan çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesi verilmiştir.

Bu kapsamda çalışma alanın genel özellikleri ile kullanılan veri ve yöntem aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

3.1. Çalışma Sahasının Coğrafi Özellikleri

Çalışma alanı 36°-42° Kuzey enlemleri ile 26°-45° Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 2). Ortalama yükselti değerleri 1132 m'dir. Büyük iklim tipleri içerisinde Akdeniz iklim bölgesinde yer almaktadır. Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olması, ortalama yükseltisinin batıdan doğuya doğru artması, topografik farklılıkların bulunması ve oluşan tüm coğrafi farklılıklar kısa mesafede iklim özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır (Şensoy vd., 2008). Türkiye, kuzeyde her mevsim yağışlı ve ılıman bir karakter gösteren Batı ve Orta Avrupa'nın batı rüzgârları etkisindeki iklimi ile Doğu Avrupa'nın sert karasal iklimi ve güneyde subtropikal yüksek basınç sisteminin belirlediği iklim koşulları arasında bir geçiş bölgesi niteliği taşımaktadır (Taşoğlu,vd., 2024). Thorntwaite iklim sınıflandırmasına göre, çalışma alanının iç, doğu ve güneydoğu kesimleri kurak iklim

özellikleri göstermektedir (Şekil 2) (Sensoy, vd., 2008). Nemli iklim bölgeleri ise kuzey, güneydoğu ve güneybatı bölgelerde yer almaktadır (Sensoy, vd., 2008). Türkiye'nin diğer bölgeleri ise genellikle yarı kurak ve yarı nemli iklim özellikleri ile tanımlanmaktadır (Şekil 2). Türkiye'nin bu yapısı iklim bölgeleri ve mikroklima alanlarına bağlı yağış ile sıcaklığın mekânsal zamansal değişimine neden olmaktadır. Mekânsal zamansal değişim aynı zamanda bölgesel olarak yağış düzensizliğine bağlı su sıkıntısı ve kuraklık etkisinin çalışma alanının farklı noktalarında farklı şiddetlerde yaşanmasına sebep olmaktadır. Suyun varlığı iklimin şekillenmesinde en önemli etkendir. Doğal sınırları içinde iklim, jeoloji, topoğrafya, toprak, fauna ve flora ile etkileşimi olan suyun ayrım çizgisinden denize aktığı noktaya, kapalı havzalarda ise suyun toplandığı alana havza denilmektedir (Kızıltoprak ve Ündücü, 2022). Havzalar çok büyük olması durumunda kendi içerisinde de iklimsel ve doğal olarak tarımsal üretim farklılıkları gösterir (Öztürk, vd., 2014). Bu sebeple çalışma alanında büyük su havzalarının yer şekillerine uygun alt havzalara ayrılarak 24 havza oluşturulmuştur (Şekil 2). Oluşturulan havzaların özelliklerine uygun olarak meteoroloji istasyonlarının iklim ve kuraklık özellikleri değerlendirilmiştir (Tablo 1). Türkiye geneli 1991-2020 yıllık ortalama alansal yağış miktarı 573,4 mm olup ortalama sıcaklık değeri ise 13,9°C'dir (MGM, 2022k). 2010-2021 yılları arasında ortalama sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu alanlar Marmara kıyılarından Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne kadar uzanmaktadır. Çalışma alanındaki iklimsel farklılıklar doğal bitki örtüsünde de kısa mesafede değişime sebep olarak orman, ağaççık veya çalı, ot gibi çeşitli formasyonları oluşturmaktadır (Avcı, 2005; Günal, 2013).



Şekil 2. Çalışma alanındaki havzalar ve bu havzalarda kullanılmış olan istasyonların mekânsal dağılımı yükselti haritası üzerinde gösterilmiştir (Sarı renkli daireler meteoroloji istasyonlarını, kırmızı renkli çizgiler havza sınırlarını temsil etmektedir).

Tablo 1

Çalışma alanındaki havzalar alan büyüklüklerine göre sıralanmış ve her havzanın iklim sınıfları gösterilmiştir.

HAVZA NO	HAVZA ADI	ALAN	İKLİM ÖZELLİKLERİ
1	Fırat-Dicle Havzası	220,000 km²	Yarı Kurak (D)
2	Kızılırmak Havzası	78,180 km²	Orta Derecede Nemli (C1)
3	Sakarya Havzası	58,160 km²	Orta Derecede Nemli (C1)
4	Konya Kapalı Havzası	53,850 km²	Kurak (E),
5	Seyhan-Ceyhan Havzası	42,153 km²	Yarı Nemli-Yarı Kurak
6	Yeşilırmak Havzası	36,100 km²	Nemli (B2)
7	Batı Karadeniz Havzası	29,598 km²	Nemli-Yarı Nemli
8	Aras Havzası	27,548 km²	Orta Derecede Nemli (C1)
9	Büyük Menderes Havzası	24,927 km²	Orta Derecede Nemli (C1)
10	Marmara Havzası	24,100 km²	Nemli (C2)
11	Doğu Karadeniz Havzası	24,077 km²	Çok Nemli (A)
12	Susurluk Havzası	22,399 km²	Nemli (C2)
13	Batı Akdeniz Havzası	20,953 km²	Orta Derecede Nemli (C1)
14	Antalya Havzası	20,703 km²	Nemli (B1)
15	Çoruh Havzası	19,872 km²	Nemli (B2)
16	Van Gölü Havzası	19,405 km²	Kurak (E)
17	Gediz Havzası	17,000 km²	Orta Derecede Nemli (C1)
18	Doğu Akdeniz Havzası	15,074 km²	Orta Derecede Nemli (C1)
19	Meriç-Ergene Havzası	14,560 km²	Nemli (C2)
20	Kuzey Ege Havzası	10,003 km²	Orta Derecede Nemli (C1)
21	Küçük Menderes Havzası	10,000 km²	Orta Derecede Nemli (C1)
22	Asi Havzası	7,700 km²	Orta Derecede Nemli (C1)
23	Akarçay Havzası	7,605 km²	Yarı Kurak (D)
24	Burdur Havzası	6,764 km²	Yarı Kurak (D)

3.2. Çalışma Sahasının Jeolojik ve Jeomorfolojik Özellikleri

Alpin sıradağlar kuşağı içerisinde yer alan Türkiye, bu kuşağın genel özelliklerini barındırmakla birlikte, kendine özgü birçok jeolojik yapıyı da içermektedir. Kuzeyde Avrasya, güneyde ise Arabistan ve Afrika levhaları arasında konumlanan Türkiye, bu eski levhaların sürekli hareketleri ile Tetis denizi ve zaman zaman okyanus olarak adlandırılan bu yapının jeotektonik evrimi doğrultusunda şekillenmiştir (Ketin, 2007). Arabistan levhasının kuzeye doğru hareketi ve Anadolu levhasının batıya doğru ilerlemesi, dört farklı tektonik bölgenin oluşmasına neden olmuştur. (Şengör, 1980). Bunlar;

1. Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi
2. Kuzey Anadolu Bölgesi
3. Orta Anadolu Bölgesi
4. Batı Anadolu Bölgesi

Kretase döneminin sonlarındaki büyük değişimlerin ardından, Anadolu'nun dört ana tektonik kuşağı olan Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Güneydoğu Anadolu, temel özellikleriyle ön plandadırlar. Neotetis, bu dönemde ortaya çıkan dağ sıraları arasındaki oluk ve havzaları doldurarak farklı bir yapıya bürünmüştür (Sönmez ve Dölek, 2016). Tersiyer dönemi, Anadolu'nun dağlık iskeletinin daha önceki dönemlerde şekillendiği bir süreç olarak öne çıkar. Bu dönemde, özellikle Pontid ve Anatolid kuşaklarında, gelecekte ovalara dönüşecek olan havzaların ilk biçimleri ortaya çıkmıştır (Sönmez ve Dölek, 2016).

Türkiye'de en eski arazileri oluşturan metamorfik masifler Prekambriyen dönemden (Paleozoik öncesi) Tersiyer başlarına kadar çeşitli seviyelerde metamorfizmaya uğramış alanlar bulunmaktadır (Sönmez ve Dölek, 2016). Bu alanlar, batıdan doğuya doğru sıralandığında Istıranca, Kazdağ, Uludağ, Menderes, Sultandağ, Anamur, Ilgaz, Tokat, Akdağmadeni, Kırşehir, Niğde, Akdağ, Malatya ve Bitlis masifleri olarak karşımıza çıkar. Bu masiflerin büyük bir kısmı, Paleozoik döneme ait metamorfik kayaçlardan oluşmaktadır (Sönmez ve Dölek, 2016). Arazilerin bir bakıma temelini oluşturan bu masiflerde metamorfizmaya uğramış gnays, şist, milonit, kuvasit ve mermer gibi kayçlar bulunmaktadır (Erinç, 2000b). Bu masiflerin yüzeyleri ise Tersiyer ve özellikle Neojen depoları ve Alp Orojenezi esnasında meydana gelen volkanik olaylar sonucunda da volkanik kayaçlarla örtülmüştür (Atalay, 1987b).

Türkiye'nin hemen her bölgesinde Mesozoyik döneme ait oluşumlara rastlanmakla birlikte, özellikle Anadolu'nun iki önemli sıradağ kuşağı olan Kuzey Anadolu Dağları (Pontidler) ve Toros Dağları (Toridler), büyük ölçüde Mesozoyik dönemine ait oluşumlarla şekillenmiştir. Kuzey Anadolu Dağları'nın büyük bir kısmı Kretase dönemine ait olduğundan, bu sıradağlar jeologlar arasında "Kretase Dağları" olarak da adlandırılmaktadır (Ketin, 2007). Mesozoyik döneminin sonlarında gerçekleşen orojenik hareketler, yükselmelere yol açarak denizlerin bu dağlık kütlelerin kenarlarına doğru çekilmesine neden olmuştur. Bu süreç sonucunda, Tersiyer dönemde (III. zaman), jeosenklinal alanlar daralmış ve dağ kuşaklarının kenarlarında oluklar şeklinde yer almıştır (Atalay, 1987b). Bu gelişmeler, Orta Anadolu'da sığ deniz ve kara ortamlarının oluşmasına, Anadolu'nun çeşitli tektonik havzalarında ise göl ortamı koşullarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Aynı zamanda bu dönemde linyit yatakları, bor mineralleri, Orta Anadolu'da jips ve tuz yatakları,

Trakya ile Adana havzalarında petrol doğalgaz birimleri Tersiyer sedimanları içinde yer almaktadır (Ketin, 2007).

Türkiye'nin yer şekillerinin oluşumunda en belirgin rolü epirojenik hareketler oynamıştır. Bu hareketler, günümüzdeki depresyonların ve yüksek dağların oluşumunda etkili olmuş, Alpin kökenli kıvrımlı yapıları kesen veya onlara paralel uzanan birçok fay hattının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Düşey hareketlerin etkili olduğu bu süreç, Neotektonik dönemde Türkiye'nin kıyılarını şekillendiren hareketleri de içermektedir (Erinç, 1973a). Bu dönemde, Türkiye'nin doğusunda kıvrımlar, bindirme, açılma çatlakları, sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı faylar gelişirken (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986b), batı kesiminde ise horst-graben tipi kırıklı yapılar ve düşey atımlı faylar meydana gelmiştir.

Neotektonik dönemin başlangıcı, Türkiye'de Orta Miyosen'de okyanus tabanının kapanmasıyla ve Doğu Anadolu'da Arabistan, Avrasya ve Anadolu kıtalarının çarpışmasıyla (Şaroğlu ve Güner, 1981a) olmuştur. Bu çarpışma sırasında, Doğu Anadolu'daki kıta kabuğu önemli ölçüde kalınlaşmış, ancak sıkışma devam ettikçe bu kalınlaşma zorlaşmış ve Anadolu levhası batıya doğru kayma eğilimine girmiştir (Atalay, 1987b). Bu süreç sonucunda, Anadolu'nun kuzeyinde Doğu-Batı doğrultulu sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve güneyinde kuzeydoğusuna doğru sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fayı (DAF) boyunca Anadolu levhası batıya doğru hareket etmeye başlamıştır.

Neotektonik dönemde Türkiye'de epirojenik hareketlerle birlikte geniş alanlarda büyük bloklar halinde alçalma olayları görülmüştür. Özellikle kıyı bölgelerinde ve dağlar arasındaki sübsidans havzalarında çökmeler meydana gelirken, orojenik kuşaklar etrafındaki geniş alanlarda ise yükselmeler yaşanmıştır. Örneğin, Çukurova deltasında biriken malzemenin fazla olmasından dolayı torbalaşma (çökme-alçalma) olayı gerçekleşirken (Atalay, 1986a), Toroslar'da aşınma nedeniyle bir yükselme (kubbeleşme) olayı oluşmuştur. Benzer bir durum Ergene Havzası'nda da görülmektedir.

Kuaterner dönemi, üçüncü çağın ılıman ve değişken olmayan iklimlerinden oldukça farklıdır. Bu dönemde sıcak ve soğuk iklim dönemleri kısa aralıklarla birbirini takip etmiştir. Bu kısa süreli iklim değişiklikleri, kara, deniz ve okyanuslardaki su seviyelerini etkilemiş, kıyı çizgilerini kontrol ederek fiziksel ayrışma ve biriktirme süreçlerini şekillendirmiştir.

Kuaterner'de denizel ve akarsu taraçaları, buzul ve karstik aşındırma ile biriktirme şekilleri, denizaltı kanyonları ve vadiler, kıyı ovaları ve şekilleri, farklı akarsu ağları ve aşınım yüzeyleri gibi pek çok morfolojik yapı oluşmuştur (Ardos, 1996).

Kuaterner dönemindeki iklim değişiklikleri, Türkiye'nin topoğrafyasının şekillenmesinde, bitki örtüsünün yayılmasında, toprak oluşumlarında ve insanların yaşam biçimleri ile yerleşim alanlarında önemli ve derin değişikliklere yol açmıştır. Yükseltisi 2000 metreye kadar olan kıyı dağları, son buzul dönemi olan Würm sırasında buzlarla kaplanmıştır. Deniz seviyesi, günümüzden ortalama 125 metre daha düşük seviyelerdeydi ve bu derinlikteki kıta sahanlıkları kara haline gelmiştir. Soğuk iklim koşulları nedeniyle buharlaşma oranı azalmış, bu da göllerin su seviyelerinin yükselmesine neden olmuştur. Özellikle Konya-Ereğli havzası gibi bazı kapalı havzalar göllerle dolmuştur.

Buzul dönemi boyunca egemen olan soğuk ve kurak iklim koşulları, Anadolu'nun iç bölgelerinde çöl benzeri bozkırların yayılmasına yol açmış, ormanlar ise deniz kıyılarına çekilmiştir. Soğuk iklim bitkileri, Anadolu'nun iç kesimlerine kadar yer yer yayılma göstermiştir. Holosen döneminin başlangıcında ise artan sıcaklık ve yağışlar, orman alanlarının genişlemesine sebep olmuş ve İç Anadolu, bozkır ve ağaçlı bozkırlarla kaplanmıştır.

3.3. Çalışma Sahasının İklimsel Özellikleri

Türkiye matematiksel konumu itibari ile bulunduğu Akdeniz Havzası'nın büyük iklim tipi Akdeniz iklimi içerisinde yer almaktadır. Türkiye'nin iklimi temel olarak orta enlemler ile sub-tropikal/tropikal basınç ve rüzgâr sistemleri (sirkülasyon modelleri) arasında kıştan yaza kesin bir mevsimsel değişimden kaynaklanmaktadır (Kömüşçü, vd. 2022b). Kışın kutupsal hava kütleleri (cP) ve yazın tropikal (denizel) hava kütleleri (mP), Türkiye'nin yıllık yağışını ve bu yağışın mevsimsel olarak mekânsal ve zamansal dağılımını etkileyen iki ana hava kütlesidir (Sarış vd., 2010). Kışın ve bahar aylarında batıdan doğuya doğru ilerleyen gezici alçak basınç, doğudan ve güneydoğudan kuru, serin-soğuk, karasal (cT) hava kütlelerini çeker. Alçak basınç merkezi Türkiye'ye yaklaştıkça nemli yağışlı hava kütlesi (mT) lodos rüzgarları esmeye başlar. Alçak basınca ait soğuk cephe yağışların başlaması ile kesilir. Soğuk cephe gerisinde soğuk nemli karakterli (mP) kışın kar yağışına

neden olan yazın ise sağanak yağışları oluşturan karayel fırtınası başlar (Erol, 2011). Karayel fırtınası genellikle daha az hızda esen, kar yağışlı karasal soğuk (cP) hava kütlelerinin oluşturduğu kış poyrazı rüzgarları meydana gelir. Güneydoğudan esen serin kuru rüzgarlar ile başlayan süre. Güney-güneybatılı ılık ve yağışlı lodos rüzgarları ile devam ederek daha sonrasında kuzeybatı-kuzey yönlü serin-soğuk kar yağışlı karayele döner (Erol, 2011). Kuzeydoğudan esen kuru soğuk poyraz ile sona erer. Atlantik Okyanusu'ndan kaynaklanan ve Güney Avrupa'ya doğru hareket eden deniz kutupsal (mP) hava kütleleri, kış ve erken ilkbahar aylarında ülkenin batı ve güney kesimlerine önemli ölçüde yağış getirir (Tatlı vd., 2004a).

Yazın ise Anadolu Orta Avrupa'daki yüksek basınç kuvvetlendiğinde kuzeydoğu yönlü serin kuru (cP) yaz poyrazı, Basra Alçak Basıncı kuvvetlendiğinde güneydoğu yönlü sıcak kuru (cT) Samyeli etkisinde kalır. İlkbahar mevsiminde boğazlar, Ege veya Doğu Akdeniz'de bir Akdeniz depresyonu oluştuğunda kuzeydoğudan esen yaz poyrazı güçlenir. Bu rüzgar kuzeyden nemli ve serin hava kütlelerini çekerek kırkikindi yağışlarının oluşmasına neden olur.

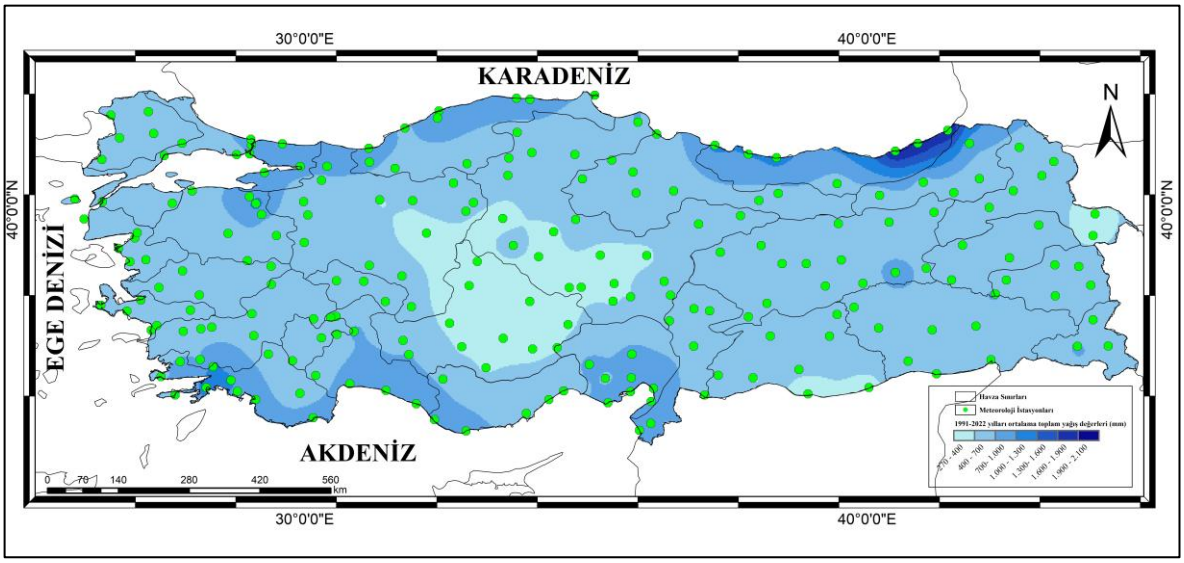
Azor yüksek basıncı yaz aylarında daha etkili olurken, Sibirya antisiklonu kış aylarında daha baskın hale gelir. Her iki basınç sistemi de etkin oldukları dönemlerde ülke üzerinde genellikle normalin altında yağışlara neden olmaktadır. Asya yaz musonunun sirkülasyona dayalı etkisi, kuzeyli rüzgarların hakimiyetiyle Türkiye'de çok kuru koşullara neden olmaktadır (Kömüşçü, vd. 2022b).

Topografik koşullar, atmosferik şartlarla birlikte kurak alanların belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Türkiye'yi kuzey ve güneyden çevreleyen dağ sıraları, yağış miktarı açısından ülkeyi iki farklı bölgeye ayırır. Türkiye'nin yıllık ortalama yağış dağılımına bakıldığında, en fazla yağış alan bölgelerin kıyı kuşağı olduğu görülmektedir. Buna karşın, iç bölgelerde yağış miktarı belirgin şekilde azalır (Kapluhan, 2023).

Türkiye'yi çevreleyen ılık denizler, buharlaşma yoluyla yağış koşullarını etkileyen önemli bir faktördür. Nemli hava kütleleri kıyı bölgelerine ulaştığında, Kuzey Anadolu Dağları ve Toroslar gibi dağların dış yamaçlarında yükselerek kıyı kuşağına ve bu dağlara bol miktarda yağış bırakır (Kapluhan, 2023). Ancak, iç bölgelere ulaşan hava kütleleri,

taşıdıkları nemin büyük bir kısmını kıyılarda bıraktıkları ve dağları aştıktan sonra adyabatik ısınma nedeniyle nem oranlarının azaldığı için daha kuru hale gelir. Bu durum, iç bölgelerdeki yağış miktarının kıyı bölgelerine kıyasla düşük olmasına neden olur (Türkeş, 2012b). Ayrıca, iç bölgelerde kış aylarında yüksek basınç koşullarının hâkim olması ve yaz aylarında sıcaklıkların artmasıyla yoğuşmanın zorlaşması, yağışların bu alanlarda daha az etkili olmasına katkı sağlar.

Çalışma alnında 1991-2022 yılları arası Türkiye ortalama toplam yağış değeri 600,5 mm'dir. Genel olarak yağış dağılımına baktığımızda çalışma alnının kuzeydoğusunda en yüksek yağış değerleri görülmektedir (Şekil 3). Kuzeydoğudaki Doğu Karadeniz Havzası'nda en yüksek yağış değerlerinin görüldüğü Rize (2207,3 mm), Hopa (2180,3 mm) ve Rize/Pazar (20248 mm) istasyonlardır. Aynı zamanda çalışma alanının kuzey kesimlerindeki Batı Karadeniz ve Sakarya havzaları kıyı kesimlerinde yüksek yağış değerleri belirgindir. Yüksek ortalama yağış diğerleri aynı şekilde güney kesimde Batı Akdeniz, Antalya, Doğu Akdeniz, Seyhan-Ceyhan ve Asi havzalarının kıyı kesimlerindedir (Şekil 3). Özellikle kuzey ve güney kesimlerde görülen yüksek yağış değerleri dağların uzanış doğrultusuna bağlı olarak denizden gelen nemli hava kütlelerinin yağışı kıyı kesimlere bırakırken iç kesimlere sıcak ve kuru şekilde etkili olmasına bağlıdır. En düşük yağış değerleri çalışma alanının orta kesiminde bulunan Konya Havzası, Sakarya Havzası'nın doğusu ve Kızılırmak Havzası'nın batı kesimlerindedir. En düşük yağış değerleri Ereğli (313,5 mm), Çumra (314,9 mm) istasyonlarında Konya Havzası'nın güney kesiminde Toros dağlarının gerisinde bulunmaktadırlar. Bu alanın kuzey ve güney kesimdeki dağlık alanların etkisi ile karasallığın artması yağış değerlerinin de düşük olması kuraklık riskinin artmasına neden olmaktadır (Şekil 3). En düşük yağış değerlerinin görüldüğü bir diğer alan çalışma alanının doğusundaki Aras Havzası'nın güneydoğusundadır (Şekil 3). Aras Havzası'nda en düşük yağış değeri Iğdır (248,5 mm) ve Doğubeyazıt (326,0 mm) istasyonlarına aittir (Şekil 3) Çalışma alanının güneydoğusunda ise Aşağı Alt Fırat Havzası'nda Akçakale (276,6 mm) ve Ceylanpınar (284,6 mm) en düşük ortalama yağış değerleri görülmektedir (Şekil 3).



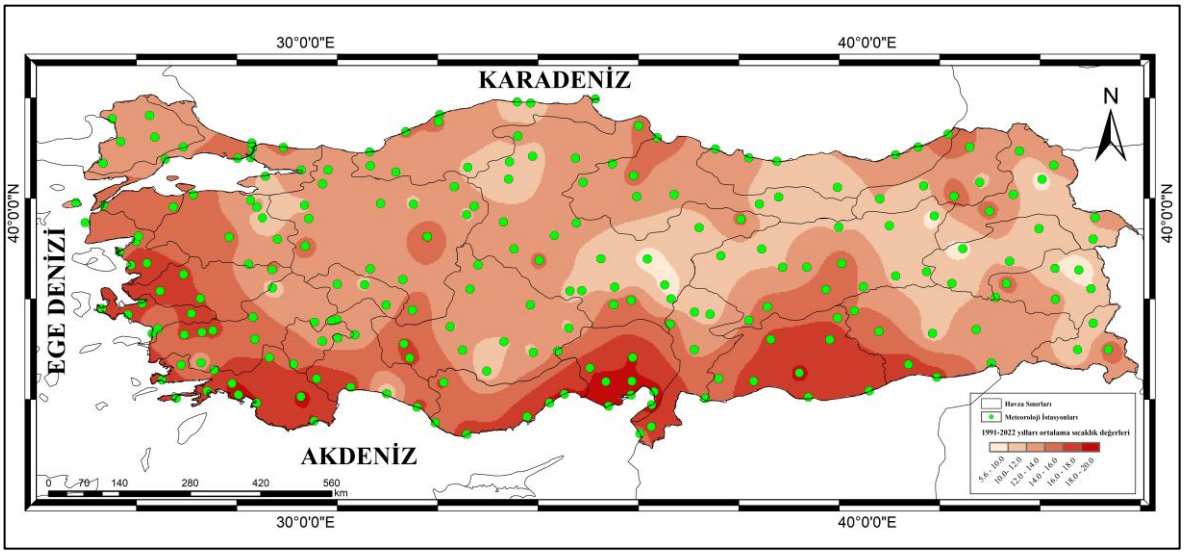
Şekil 3. 1991-2022 ortalama toplam yağış değerlerinin çalışma alanındaki istasyonlara göre dağılışı gösterilmiştir.

Çalışma alanında bulunan 24 hidrolojik havza ve alt havzalara ait 1991-2022 yıllık ortalama toplam yağış miktarı 607,9 mm'dir. Yıllara göre tüm havzaların ortalama yağış değerlerinde en düşük yağış 2008 yılında 473,5 mm iken en yüksek ortalama yağış 780,3 mm 2009 yılına aittir (Şekil 9). 2008 yılında görülen düşük yağış değerleri 2007 yılında yaşanan sıcak hava dalgasının etkisiyle görülen şiddetli kurak dönemi işaret etmektedir (Demirtaş, 2017a) (Şekil 9). 2007 Haziran ayında Akdeniz'in güneydoğusundan Türkiye'nin batısına taşınan sıcak ve kuru Kuzey Afrika etkisi rekor sıcaklıkların yaşanarak 2008 yılında da şiddetlenen kuraklık etkisine neden olmuştur (Demirtaş, 2018b; Taşkın, vd., 2022). Havzaların ortalamasından en düşük yıllık ortalama toplam yağış değeri Konya Havzası'na ait olup 385,7 mm'dir En yüksek yıllık ortalama toplam yağış değeri ise Doğu Karadeniz Havzası'nda 1481,7 mm'dir. Şekil 4'te tüm havzaların yıllık ortalama yağış değerleri ile ortalamaya yakın, ortalamanın üzerinde ve ortalamanın altında yağış değerlerine sahip havzalar gösterilmiştir. 24 havzaya ait ortalamanın altında kalan havzalar Akarçay, Aras, Burdur-Göller Yöresi, Çoruh, Dicle, Fırat, Gediz, Kızılırmak, Konya, Sakarya, Yeşilırmak ve Van Gölü havzalarıdır (Şekil 4). Bu havzalar genellikle karasal iklim özelliklerinin hâkim olduğu yarı kurak bölgelerdir. Yağış bırakan nemli hava kütleri, topografik etkenlerin (dağların yönü ve doğrultusu) engellenmesi ile bu havzaların içerisine büyük oranda giriş yapamamaktadır.



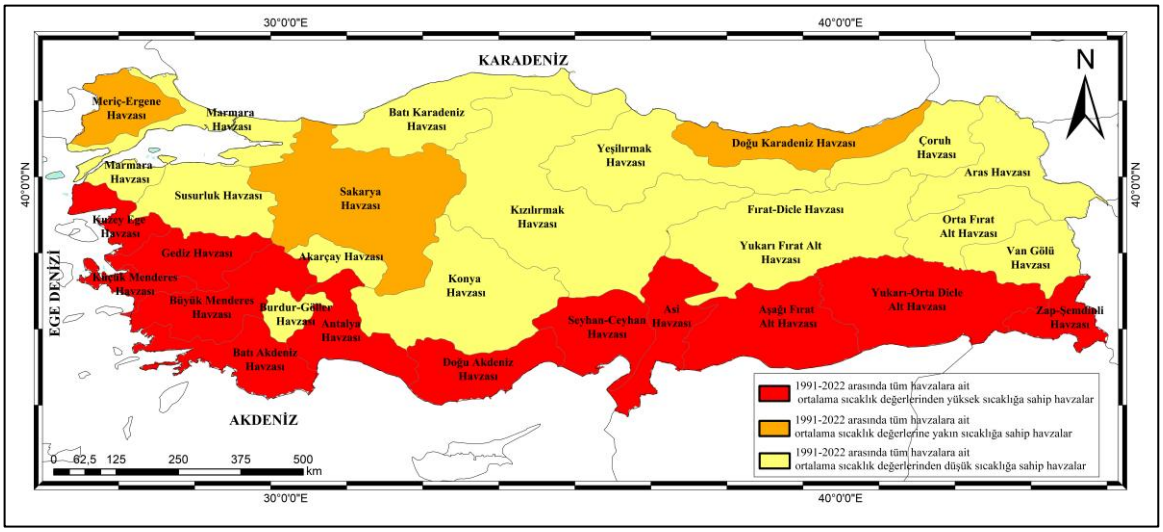
Şekil 4.Çalışma alanında bulunan hidrolojik havzalar ve ortalama yağış değerlerine göre gruplandırılması.

Çalışma alnında 1991-2022 yılları arası Türkiye ortalama sıcaklık değeri 13,8 °C'dir. Türkiye'de sıcaklık dağılışı Ege kıyıları, Akdeniz kıyıları ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yüksektir (Şekil 5). Ege kıyı kesiminde genellikle Kuzey Ege Havzası'ndan Batı Akdeniz Havzası'nın doğusuna ve Doğu Akdeniz Havzası'nda Asi Havzası'nın doğusunda ortalama sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6). Aynı şekilde çalışma alanının güneydoğusundaki Aşağı Fırat Alt Havzası'nda da yüksek sıcaklık değerlerine sahip istasyonlar bulunmaktadır (Şekil 6). Çalışma alanında en yüksek ortalama sıcaklık değerleri Aşağı Fırat Alt Havzası'nda Gaziantep (21,0 °C) ve Cizre (20,0 °C) istasyonlarındadır. En düşük sıcaklıklar ise çalışma alanın doğu kesiminde dikkat çekmektedir (Şekil 5). Aras Havzası'nda Ardahan (3,9 °C) ve Sarıkamış (4,2 °C) istasyonlarında en düşük sıcaklık değerleri belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. 1991-2022 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değerlerinin çalışma alanındaki istasyonlara göre dağılışı gösterilmiştir.

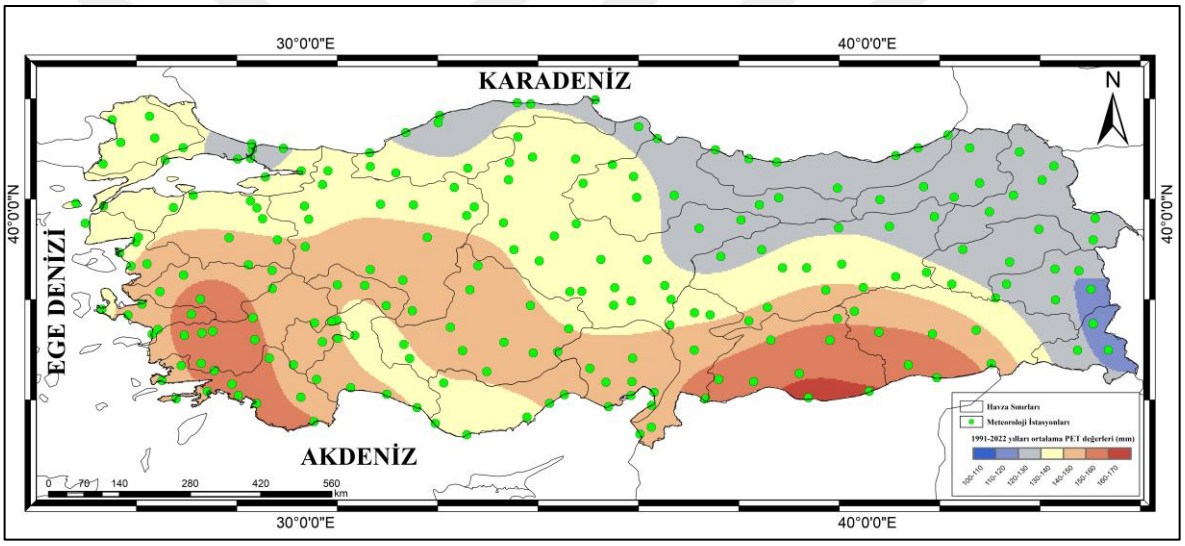
Şekil 6'da tüm havzalara ait ortalama sıcaklık değerlerinin dağılımı haritalandırılmıştır. 24 havza ortalama sıcaklık değerinin üzerindeki havzalar Ege Bölgesi'nden, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne doğru uzanmaktadır (Şekil 5). Sıcaklık değerleri açısından bakıldığında 1991-2022 yılları arası tüm havzaların yıllık ortalama sıcaklık değeri 14,1°C'dir. Aras havzası 8,7°C ile ortalamanın altında iken ortalamadan yüksek sıcaklık 18,5°C ile Batı Akdeniz Havzasına aittir. Yıllara göre tüm havzalar ortalamasında en düşük yıllık ortalama sıcaklık 1992 yılında 12,5°C, en yüksek ortalama sıcaklık ise 2010 yılında 15,5°C'dir (Şekil 9). 1992 yılında görülen düşük sıcaklık değerleri 1991 yılında 20. yüzyılın en şiddetli volkanik püskürmesi olan Pinatuba volkanının püskürmesi sebebiyledir (Güler ve Erlat, 2023). Aynı zamanda 2010 yılında görülen yüksek sıcaklık Türkiye genelinde yaşanan sıcak hava dalgası ile uyumludur (Erlat, vd., 2021b) (Şekil 9). Özellikle deniz suyu sıcaklıklarının ve toprak neminin bulunmaması yeryüzündeki yüksek basınç koşullarının devam etmesi sıcak hava dalgalarının görülmesinde temel etkenler olarak görülmektedir (Demirtaş, 2017a).



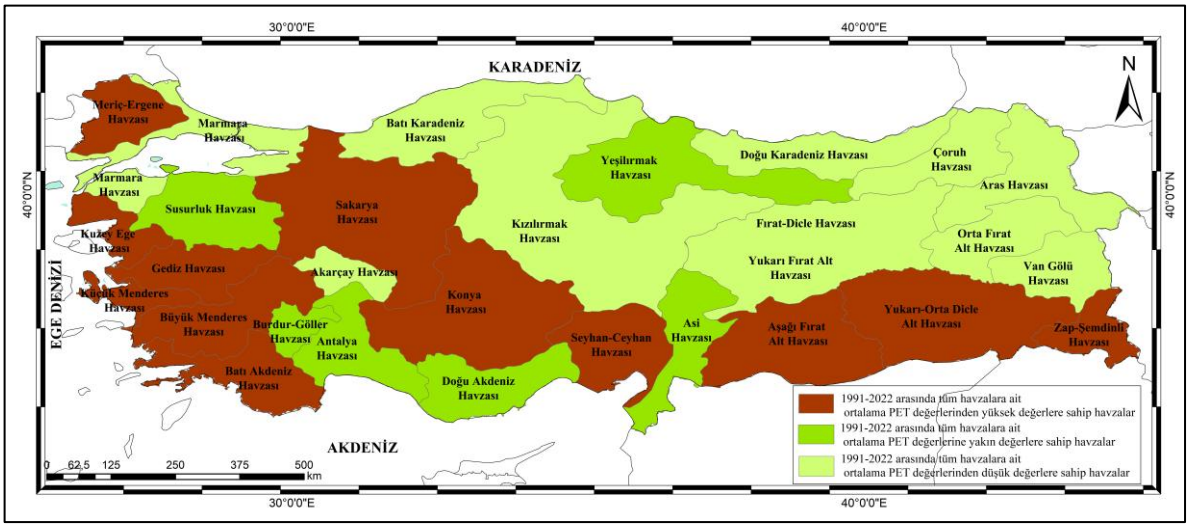
Şekil 6.Çalışma alanında bulunan hidrolojik havzalar ve ortalama sıcaklık değerlerine göre gruplandırılması.

Artan sıcaklıklar ile birlikte bitkilerde oluşan yüksek buharlaşma ve terleme oranları kuraklık stresinin bitki üzerindeki etkisini arttırmaktadır (Seleiman, vd., 2021). Özellikle de yıl içerisinde ya da yıllar arasında meydana gelen yağış değişkenliği artan sıcaklık ve buharlaşma ile hem bitkiler için su yönetiminde hem de çoğu durumda kuraklık stresinin meydana gelmesinde temel faktörlerdir (Seleiman, vd., 2021). Bu sebeple istasyonlara göre 1991-2022 yılları arasına ait yıllık ortalama toplam PET değerleri ve tüm havza ortalamalarına göre havzalara ait ortalama PET değerleri hesaplanmıştır. Türkiye'deki ortalama PET değeri 1991-2022 yılları arasında 137, 4 mm'dir En yüksek ortalama PET değeri Ceylanpınar (173,4 mm), Karapınar (171,8 mm) istasyonlarındadır (Şekil 7). Bu istasyonlar karasal iklim özelliklerinin hâkim olduğu ve yüksek sıcaklıklara sahip olmalarına bağlı en yüksek ortalama PET değerleri mevcuttur (Şekil 7). Çalışma alanında ortalama sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu istasyonların bulunduğu havzalar ile paralel olarak PET değerleri de yüksektir (Şekil 7). Gediz Havzası'ndan Antalya Havzası'na ve Aşağı Fırat Alt Havzası'nda yüksek PET değerleri görülmektedir (Şekil 8). En düşük ortalama PET değerleri ise çalışma alanın kuzeydoğu kıyı kesimi ve doğusunda görülmektedir (Şekil 7). Özellikle kuzeydoğudaki Doğu Karadeniz Havzası'nda ortalama PET değerlerinin düşük olması yüksek nemlilik ve düşük güneşlenme süresine bağlı azalan buharlaşma miktarı ile ilişkilidir. Doğu kesimde azalan PET değerleri ise yükseltiye bağlı olarak azalan sıcaklıklar ile ilişkilendirilebilir. En düşük ortalama PET değerleri Sarıkamış (99,9 mm) ve Ardahan (103, 6 mm) istasyonlarındadır (Şekil 7).

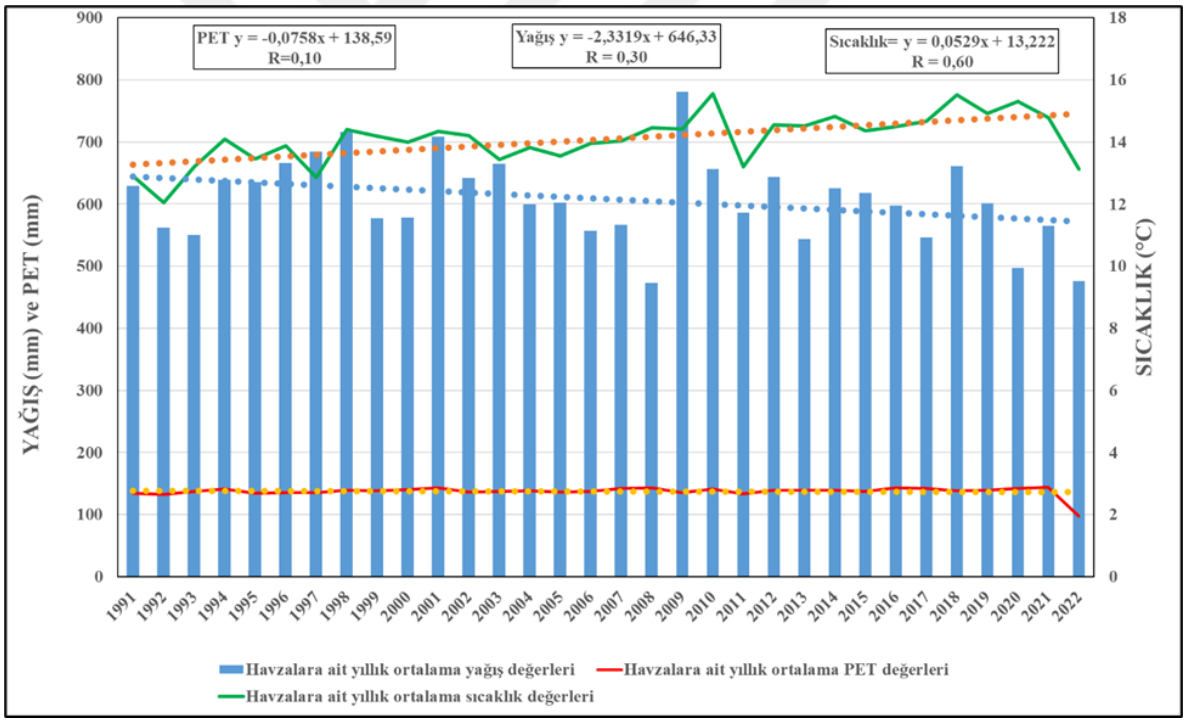
1991-2022 yılları arasın tüm havzaların ortalama PET değeri 137,33 mm'dir. En yüksek ortalama PET 2008 yılında 143,0 mm iken en düşük ortalama PET 2022 yılında 97,6 mm'dir (Şekil 9). 2007 Haziran ayında itibaren etkisi artan rekor sıcaklıkların 2008 yılında da şiddetlenen kuraklık ve artan PET değerleri dikkat çekmektedir (Demirtaş, 2018b; Taşkın, vd., 2022). En düşük ortalama PET değeri Doğu Karadeniz Havzası'nda 119,08 mm, ortalamadan yüksek PET değeri ise Büyük Menderes Havzası'nda 152,86 mm'dir. Çalışma alanındaki PET değerlerine göre oluşturulan Şekil 6'da tüm havzalara ait ortalama PET değerleri üzerindeki havzalar sıcaklığın yüksek olduğu havzalar ile benzerlik göstermektedir. Ancak ortalama PET değerlerinin üzerindeki havzaların ortalama sıcaklık değerlerinden farklı olarak Konya, Ergene ve Sakarya havzalarında yüksektir (Şekil 8).



Şekil 7. 1991-2022 yılları arası ortalama PET değerlerinin çalışma alanındaki istasyonlara göre dağılışı gösterilmiştir.



Şekil 8. Çalışma alanında bulunan hidrolojik havzalar ve ortalama PET değerlerine göre gruplandırılması.



Şekil 9. Çalışma alanındaki havzaların ortalama yağış, sıcaklık ve PET değerlerinin yıllara göre değişiminin gösterimi,

Kaynak: MGM, 2023 verilerinden yararlanılmıştır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ VE VERİ

Bu bölümde, kuraklık indislerinin hesaplanmasında kullanılan iklimsel veriler detaylandırılmıştır. Takip eden alt başlıklarda, meteorolojik kuraklıklar ile tarımsal verim arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik olarak seçilen tarımsal ürünlerin iklim gereksinimleri, büyüme dönemleri ve yıllara göre üretim verim değerleri incelenmiştir. Bunu takiben, çalışmada kullanılan kuraklık indislerinin teorik temelleri, özellikleri ve hesaplama yöntemleri açıklanmıştır. Devan eden bölümde, verilerin mekânsal ve zamansal dağılımının belirlenmesinde kullanılan mekânsal enterpolasyon yöntemleri ele alınmıştır. Son olarak, elde edilen verilerin analizinde kullanılan yöntemler ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

4.1. Veri

Bu çalışmada, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait, Türkiye genelinde konumlanan 219 meteoroloji gözlem istasyonuna (Şekil 1) ait 1991-2022 yılları arasındaki iklimsel veriler ile yıllık tarımsal üretim değerleri kullanılmıştır. Kuraklık indislerinin hesaplanmasında, aylık toplam yağış verileri ile aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verileri temel girdi olarak değerlendirilmiş. Bu veriler SPI, SPEI, RDI ve aSPI kuraklık indislerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Meteorolojik kuraklıkların tarımsal verimliliğe etkisini değerlendirmek amacıyla, her havzada yer alan meteoroloji istasyonlarına ait buğday verim değerleri incelenmiş ve bunun yanı sıra, havzalarda en fazla üretimi yapılan ikinci karakteristik tarımsal ürünler belirlenmiştir. İkinci ürünün seçimi, havzaların ekolojik ve tarımsal özelliklerine uygunlukları ile bölgesel üretim dinamiklerini yansıtmaları açısından önem arz etmektedir. Bu doğrultuda, her havzada en yüksek üretim değerine sahip ikinci tarımsal ürün belirlenmiş olup, ilgili veriler Tablo 2'de sunulmuştur.

Buğday ve ikinci tarımsal ürüne ait verim değerleri, Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) temin edilmiş, eksik veriler ise TÜİK'in çevrimiçi sisteminden tamamlanmıştır

(TÜİK, 2023). Çalışmada, iklimsel veriler ile tarımsal verim değerleri için 1991-2022 yılları arasındaki gözlem süresi esas alınmıştır. Bu dönemin seçilmesinin temel nedeni, belirlenen süre içinde tüm meteoroloji istasyonları için eksiksiz veri setlerinin bulunmasıdır.

Tablo 2

Çalışma alanındaki havzalarda en fazla üretimi yapılan ikinci ürünler gösterilmiştir.

HAVZALAR	**ÇALIŞMADA KULLANILAN İKİNCİ ÜRÜNLER**
Meriç-Ergene Havzası	Arpa, Ayçiçeği
Marmara Havzası	Arpa, Ayçiçeği, Zeytin, Üzüm, Çeltik Arpa
Susurluk Havzası	Arpa
Kuzey Ege Havzası	Zeytin
Küçük Menderes Havzası	Zeytin
Gediz Havzası	Üzüm
Sakarya Havzası	Arpa, Şeker pancarı
Akarçay Havzası	Şeker pancarı
Burdur-Göller Havzası	Şeker Pancarı
Büyük Menderes Havzası	Arpa, Şeker pancarı, Mısır, İncir
Batı Akdeniz Havzası	Arpa, Şeker pancarı, Portakal, Zeytin, Mandalina
Antalya Havzası	Arpa, Şeker pancarı, Portakal, Elma
Doğu Akdeniz Havzası	Arpa, Üzüm, Portakal
Konya Havzası	Arpa, Şeker pancarı
Seyhan-Ceyhan Havzası	Şeker pancarı, Mısır, Üzüm, Portakal
Asi Havzası	Şeker pancarı, Portakal
Kızılırmak Havzası	Şeker pancarı, Mısır, Üzüm, Arpa
Batı Karadeniz Havzası	Mısır, Elma, Arpa
Yeşilırmak Havzası	Şeker pancarı, Elma
Doğu Karadeniz Havzası	Mısır, Arpa, Çay, Fındık
Dicle Havzası	Arpa, Pamuk, Üzüm, Ceviz
Fırat Havzası	Arpa, Şeker pancarı, Kayısı
Çoruh Havzası	Arpa, Elma
Aras Havzası	Arpa, Şeker pancarı, Üzüm
Van Gölü Havzası	Arpa, Şeker pancarı

4.1.1. Havzalarda Belirlenen İkinci Ürünlerin İklim İstekleri

Şeker pancarı: Şeker pancarı, tarımsal üretimde stratejik bir öneme sahip olup, gıda, sanayi ve enerji sektörlerine ham madde sağlayan önemli bir bitkidir. Şeker, temel besin kaynaklarından biri olup, şeker pancarı ve şeker kamışından elde edilmektedir. Şeker pancarı üretimi, ithalatı azaltarak ülke ekonomilerine katkı sağlamakta, yerel üreticilerin gelir seviyesini artırarak kırsal kalkınmayı desteklemektedir. Ayrıca, şeker pancarı tarımı, toprak yapısını iyileştiren ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden bir üretim modeli sunmaktadır. Dolayısıyla, şeker pancarı tarımının önemi yalnızca ekonomik getirileriyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda sosyal ve çevresel faydalarıyla da ön plana çıkmaktadır.

Şeker pancarı, ılıman iklim kuşağında yetişen, iki yıllık ve uzun gün bitkisi olup, birinci yıl vejetatif organlarını geliştirerek maksimum şeker seviyesine ulaşmakta, ikinci yıl ise generatif organlarının gelişimini tamamlayarak çimlenme sürecini gerçekleştirmektedir. Çimlenme için minimum 4-5 °C sıcaklık gerekmektedir (Yücel, 2023). Bunun yanı sıra, yıllık en az 500-600 mm yağış alan bölgelerde rahatlıkla yetiştirilebilmektedir. Türkiye'de şeker pancarı yetişme süresi 150-170 gün arasında değişmekte olup, iklim koşullarının yanı sıra toprak bakımı, sulama, gübreleme, çapalama ve seyreltme gibi beşerî faktörler de verim üzerinde etkili olmaktadır (Döşer ve Avcı, 2019). Şeker pancarı tarımı, toprak verimliliğini korumak ve sürdürülebilir tarımsal üretimi desteklemek amacıyla münavebeli tarım sisteminde uygulanmaktadır (Yılmaz, vd., 2023). Münavebeli tarım, belirli bir düzen içerisinde bitkilerin birbirini takip edecek şekilde ekilmesini ifade etmekte olup, ekim nöbeti veya rotasyon olarak da adlandırılmaktadır (Büyüktavşan ve Naneli, 2020). Bu yöntem, toprak kalitesini artırmak, hastalık ve zararlı organizmaların yayılımını azaltmak açısından büyük önem taşımaktadır (Büyüktavşan ve Naneli, 2020). Şeker pancarı tarım süreci üç temel gelişim evresinden oluşmaktadır (Avcı, 1996). Birinci evre, ekim aşamasını içermekte olup, Şubat ayı başından Mart ayı sonuna kadar devam etmektedir. Bu dönemde çimlenmenin gerçekleşebilmesi için hava sıcaklığının ortalama 7-8 °C'nin altına düşmemesi, toprak sıcaklığının ise 2-3 °C arasında olması gerekmektedir (Döşer ve Avcı, 2019). İkinci evre olan büyüme ve gelişme dönemi, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarını kapsamakta olup, bu süreçte bitkinin su ihtiyacı en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Su ile birlikte bitkinin gelişimi hızlanmakta ve şeker oranı artmaktadır (Çimenderoğlu, 2020). Sulamanın yaygın

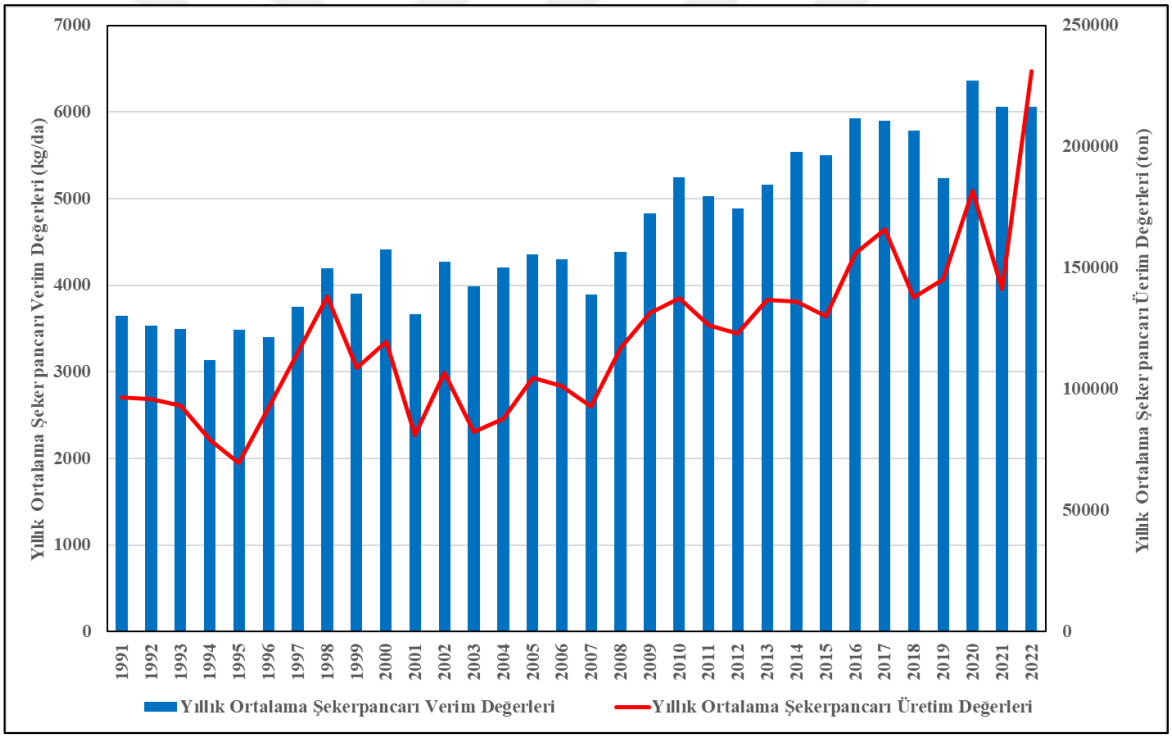
olduğu bölgelerde uygun sıcaklık ve yeterli sulama faaliyetleri şeker pancarı verimini artıran önemli faktörlerdir.

Hasat dönemini içeren üçüncü evre, Eylül-Kasım aylarını kapsamaktadır. Bu dönemde yağış miktarının diğer evrelere kıyasla daha düşük olması, gece-gündüz sıcaklık farklarının belirginleşmesi ve gündüz sıcaklıklarının ılık seyretmesi gerekmektedir (Avcı, 1996; Çimenderoğlu, 2020). Aşırı yağış, yumrudaki şeker oranının düşmesine, bitki yapraklarının kırılmasına ve kök çürümesine neden olabilmektedir (Demirdöğen, 2022b). Bununla birlikte, uygun olmayan yetişme koşulları, örneğin sıcak ve geç ilkbahar, su temininin sınırlı olduğu kurak bir yaz, aşırı sıcaklık artışı, erken ve yağışlı bir sonbahar veya bu koşulların birleşimi, pancarın kalite ve verimini olumsuz yönde etkilemektedir (Avcı, 1996). Gelişim sürecinin kısa sürmesi veya uygun iklim koşullarının sağlanamaması ise pancarın kök verimini düşürmekte ve üretim miktarını azaltmaktadır.

Türkiye'de şeker pancarı, 10 ila 1900 m arasındaki yükselti kademelerinde yetiştirilmekte olup, 1500 m'nin üzerindeki rakımlarda sıcaklık, yağış ve arazi koşullarına bağlı olarak ekim alanları sınırlanmakta ve buna bağlı olarak verim düşüşü mevcuttur (Çimenderoğlu, 2020). Doğu Karadeniz kıyı kesiminde yüksek yağış miktarları, Güneydoğu Anadolu, Ege ve Akdeniz kıyı kesimlerinde ise yaz sıcaklıklarının yüksek olması, şeker pancarı üretimini kısıtlayan temel iklimsel faktörlerdir. Bununla birlikte, sulama faaliyetlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte Ereğli Ovası, Konya Ovası, İç Batı Anadolu, Sivas yöresi, Erzurum, Erzincan, Ağrı ve Kars gibi bölgelerde şeker pancarı tarımı yapılabilmektedir (Avcı, 1996). Türkiye'de şeker pancarının yetişme süreci, coğrafi konuma bağlı olarak farklılık göstermekte olup, kuzeyden güneye ve doğudan batıya doğru gidildikçe ekim süreci daha erken başlamaktadır. Bu nedenle, Sivas'tan sonraki yetiştirme alanlarında ekim zamanı daha geç gerçekleşmekte ve hasat süreci daha erken tamamlanmaktadır (Kadıoğlu, vd., 2024). Hasat sürecinin tam olarak tamamlanamaması ise bitkinin gelişim döngüsünü olumsuz etkileyerek verim düşüşüne neden olmaktadır.

Bu çalışmada, havzalara göre farklılaşan şeker pancarı üretim miktarları analiz edilerek en yüksek üretimin gerçekleştiği istasyonlar belirlenmiştir. Söz konusu istasyonlar ve ait oldukları havzalar Ek Tablo 1'de detaylandırılmıştır. Belirlenen istasyonlara ait 1991-2022 yılları arasındaki şeker pancarı üretim miktarı ve verim değerlerinin yıllık ortalamaları

hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, 1991-2022 yılları arasında incelenen havzalardaki tüm istasyonların ortalama üretim değeri 120,096 ton olarak hesaplanmıştır. En düşük üretim değeri 6,441 ton ile Bozüyük istasyonuna ait iken, en yüksek üretim 813,983 ton ile Çumra üretim alanında gerçekleşmiştir. Yıllık bazda değerlendirildiğinde, en düşük üretim miktarı 1995 yılında 69,506 ton, en yüksek üretim miktarı ise 2022 yılında 233,341 ton olarak tespit edilmiştir (Şekil 10). Verim açısından değerlendirildiğinde, 1991-2022 yılları arasındaki ortalama verim değeri 4,600 kg/da olarak belirlenmiştir. En düşük verim değeri 2,995 kg/da ile Horasan üretim alanında, en yüksek verim ise 6,280 kg/da ile Cihanbeyli üretim alanında belirlenmiştir. Yıllık değişimler incelendiğinde, en düşük verim 1991 yılında 3,110 kg/da, en yüksek verim ise 2020 yılında 6,344 kg/da olarak belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Şeker pancarı tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

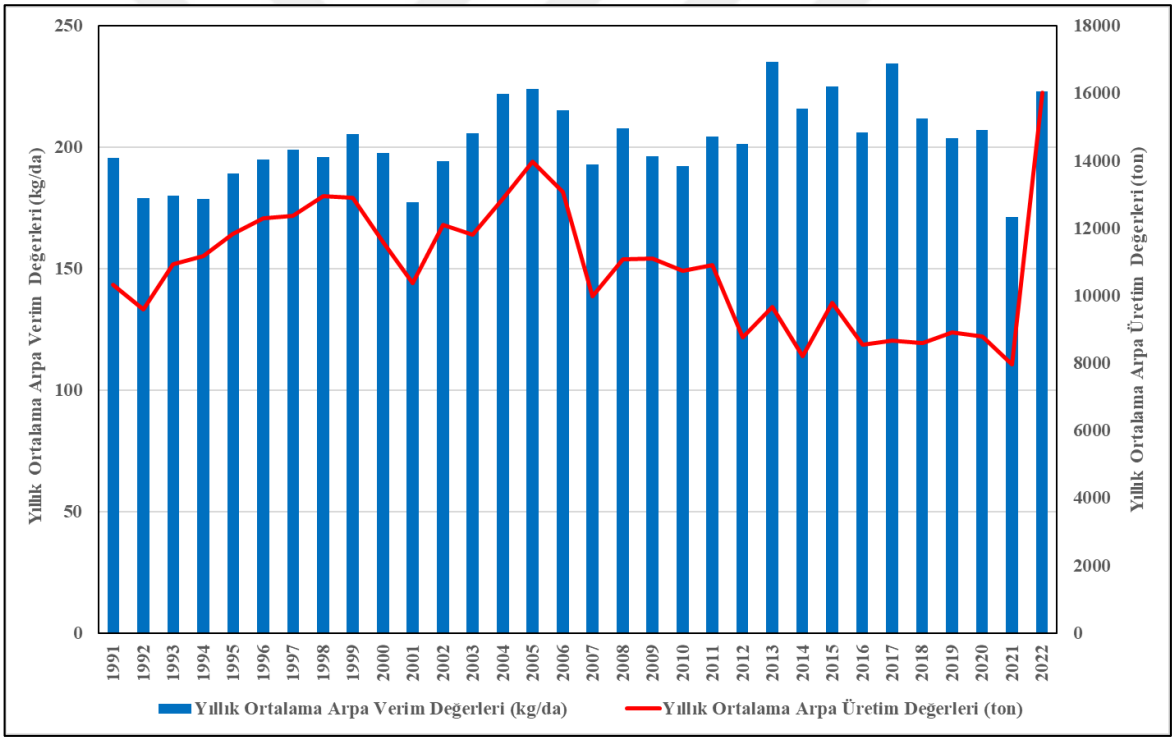
Arpa: Arpa, Akdeniz havzasında yetiştirilen ve serin iklim tahılları arasında iklim gereksinimi en yüksek olan ürünlerden biridir. Türkiye'de ise buğdaydan sonra en fazla üretilen tahıl ürünü konumundadır. Arpa, optimum büyüme koşullarını aşırı sıcak ve soğuk

olmayan, nem oranı yüksek bölgelerde sağlamaktadır (Kırtok, 1997). Arpanın yetişmesi için en uygun sıcaklık aralığı, 0°C'nin altına düşmeyen ve 18–20°C'nin üzerine çıkmayan bölgeler olup, nispi nem oranının %70–80 seviyelerinde olması idealdir (Kaya, 2009). Arpanın gelişim süreci üç temel aşamaya ayrılmaktadır: çimlenme, vejetatif gelişim ve generatif gelişim dönemleri (Aslan, vd., 2022). Kışlık arpa, ekim ayının ortalarından itibaren ekilmekte olup, kasım ve aralık aylarında çimlenme ve erken gelişim evresine girmektedir. Bu dönemde tohumlar çimlenerek kök ve yaprak gelişimini sürdürmekte, ancak düşük sıcaklıklar bitkinin büyüme hızını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Kaya ve Akçura, 2022c). Ocak-Şubat ayları ise bitkinin dinlenme dönemine karşılık gelmekte olup, bu süreçte arpa soğuk hava koşullarına karşı dayanıklılığını koruyarak büyüme hızını yavaşlatmaktadır (Cammarano, vd., 2021). Mart ayının ortalarından itibaren başlayan vejetatif gelişim döneminde, bitkinin gövde ve yaprak gelişimi hızlanmaktadır. Nisan ayında büyüme hızı artmakta olup, bu dönem su ve besin maddelerinin alımı açısından kritik bir aşamadır (Kaya ve Akçura, 2022c). Generatif gelişim dönemi ise Mayıs-Haziran ayları arasında gerçekleşmekte olup, bu süreçte bitki çiçeklenerek tohum oluşturmaktadır. Genel olarak, Temmuz ayı arpanın olgunlaşarak hasat edildiği döneme karşılık gelmektedir. Sonuç olarak, arpanın gelişim süreci ekim ayından başlayarak temmuz ayına kadar devam eden bir döngüyü kapsamaktadır.

Meteorolojik kuraklıkların tarımsal verim üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla çeşitli havzalarda en yüksek üretimin gerçekleştirildiği buğday dışındaki alternatif ürün olarak arpa incelenmiştir. Arpa üretimi, genellikle havzaların yüksek kesimlerinde ve tarımsal ürün çeşitliliğine elverişli olmayan alanlarda yoğunlaşmaktadır. En yüksek arpa üretimine sahip istasyonlar ve bu istasyonların bulunduğu havzalar Ek Tablo 2'de sunulmuştur.

Arpa üretim ve verim değerleri yıllara göre değişiklik göstermektedir. 1991-2022 yılları arasındaki ortalama üretim değeri 10.690 ton olarak hesaplanmıştır. En yüksek ortalama üretim değeri 74,797 ton ile Uşak'ta, en düşük ortalama üretim ise 265 ton ile Hadim'de mevcuttur. Yıllık değişimler incelendiğinde, en yüksek ortalama üretim değeri 2022 yılında 16,033 ton, en düşük ortalama üretim değeri ise 2021 yılında 7,980 ton olarak belirlenmiştir (Şekil 11). 2022 yılına ait yüksek üretim değeri, 2021 yılında dünya genelinde arpa fiyatlarının yükselmesi sonucu iç piyasada oluşan fiyat artışlarıyla ilişkilendirilmiştir

(Kıymaz, 2023b). 2019-2020 yıllarında ekim alanlarında artış olmasına rağmen, COVID-19 pandemisine bağlı olarak gıda tedarik zincirinde yaşanan aksaklıklar nedeniyle 2021 yılında üretimde düşüş meydana gelmiştir (Küçükefe ve Akkurt, 2022). 1991-2022 yılları arasında incelenen tüm istasyonlara ait ortalama verim değeri 203 kg/da olarak hesaplanmıştır. En yüksek ortalama verim değeri 368 kg/da ile Bandırma'da, en düşük ortalama verim değeri ise 117 kg/da ile Başkale'dedir. En yüksek ortalama üretime sahip Uşak'ta verim değeri 265 kg/da iken, en düşük üretime sahip Hadim'de ortalama verim 164 kg/da olarak belirlenmiştir. Şekil 11'de sunulan yıllara göre ortalama verim değerleri incelendiğinde, en yüksek verim 2017 yılında 235 kg/da, en düşük verim ise 2021 yılında 171 kg/da olarak hesaplanmıştır (Şekil 11). 2021 yılında yaşanan kuraklık ve pandemi kaynaklı üretim düşüşü, verim değerlerinde de azalmaya neden olmuştur (Şekil 11).



Şekil 11. Arpa tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Mısır: Mısır, sıcak iklim tahılları arasında yer alan ve ılıman ile subtropikal bölgelerde yaygın olarak yetiştirilen bir tarım ürünüdür. Çeşitli iklim koşullarına adapte olabilen türleri bulunmakla birlikte, genellikle deniz seviyesinden 4000 metre yüksekliğe

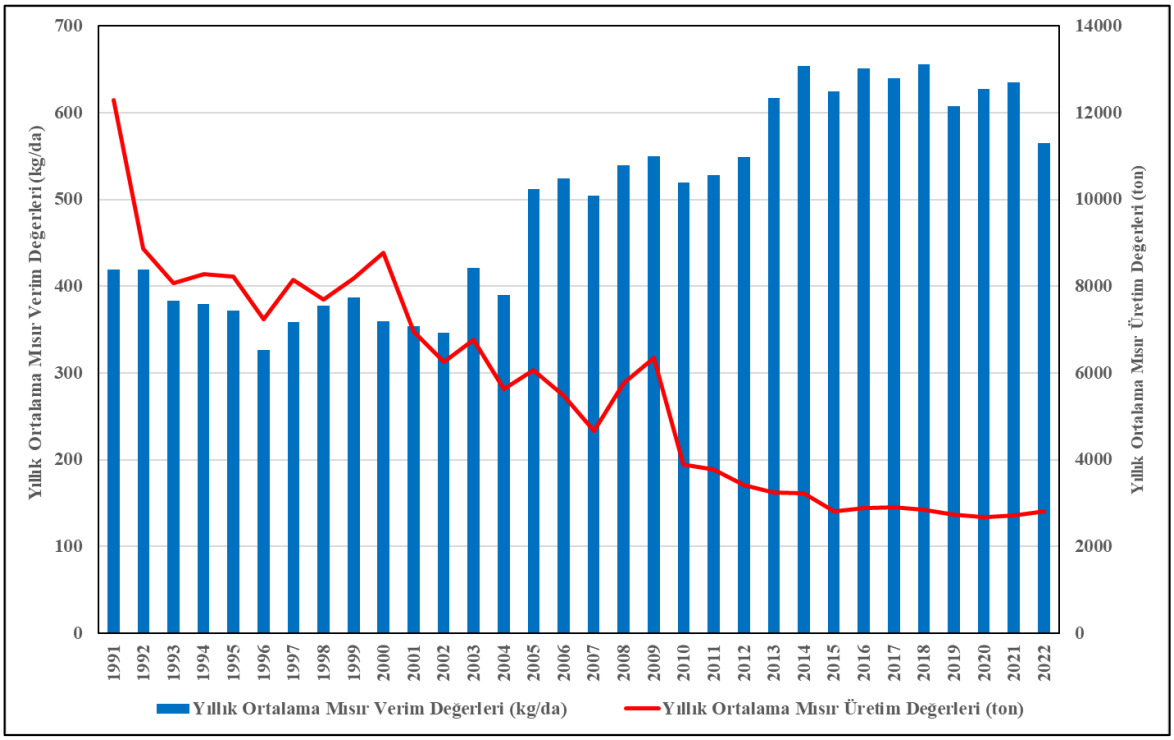
kadar tarımı gerçekleştirilebilmektedir. Mısır, sıcak iklim bitkisi olması nedeniyle büyüme sürecinde belirli sıcaklık, nem ve ışık koşullarına ihtiyaç duymaktadır. Optimum gelişme için 20-30 °C sıcaklık aralığına ve 500-800 mm yıllık yağış miktarına gereksinim duymaktadır (Bütüner, vd., 2023).

Mısırın gelişim süreci belirli dönemlere ayrılmaktadır. Ekim dönemi Nisan-Mayıs aylarında gerçekleşirken, çimlenme ve fide gelişimi Mayıs-Haziran aylarına karşılık gelmektedir (Yakupoğlu, vd., 2019). Bu süreçte kök ve yaprak gelişimi hızlanmakta ve bitkinin su ile besin maddelerine duyduğu ihtiyaç artmaktadır (Çardak ve Örücü, 2022). Vejetatif gelişim dönemi Haziran-Temmuz aylarında devam etmekte olup, bu süreçte yeterli su ve besin alımı, bitkinin sağlıklı büyümesi açısından kritik bir rol oynamaktadır (Çardak ve Örücü, 2022). Generatif gelişim dönemi ise Eylül-Ekim aylarında gerçekleşmekte, bu dönemde çiçeklenme ve döllenme süreci tamamlanarak tohumların olgunlaşması sağlanmaktadır (Kaya, 2009). Olgunlaşan tohumlarla birlikte Eylül ayının sonu ile Ekim ayının başında hasat dönemi başlamaktadır.

Türkiye'de mısır üretimi ağırlıklı olarak Akdeniz, Karadeniz, Marmara ve Ege bölgelerinin kıyı kesimlerinde yoğunlaşmaktadır. Son yıllarda ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında sulama olanaklarının genişlemesi sayesinde mısır ekim alanları ile üretim miktarında kayda değer bir artış mevcuttur. Türkiye'de mısır tarımı denildiğinde akla ilk gelen bölge Karadeniz Bölgesi olsa da bu bölge uzun yıllar boyunca ekim alanı bakımından ülke genelinde lider konumda olmasına rağmen, üretim miktarı açısından diğer bölgelerin gerisinde kalmaktadır. Bu durumun temel nedeni, Karadeniz Bölgesi'nde mısır tarımının büyük ölçüde geleneksel yöntemlerle sürdürülmesi ve modern tarım tekniklerinin sınırlı uygulanmasıdır.

1991-2022 yılları arasındaki ortalama üretim değeri 5,616 ton olarak belirlenmiştir. En yüksek üretim değeri 35,135 ton ile Düzce'de, en düşük üretim değeri ise 546 ton ile İskenderun'dadır (Ek Tablo 3). Üretim değerlerinin yıllara göre değişiminde, en yüksek üretim değeri 1991 yılında 12,301 ton olarak tespit edilirken, en düşük üretim değeri 2020 yılında 2,681 ton olmuştur (Şekil 12). Aynı dönemde, 1991-2022 yılları arasında ortalama mısır verim değeri 494 kg/da olarak hesaplanmıştır. En yüksek verim, 900 kg/da ile Karataş'ta, en düşük verim ise 149 kg/da ile Zonguldak'ta belirlenmiştir. Yıllara göre verim

değişiminde, en yüksek verim değeri 2018 yılında 656 kg/da olarak belirlenirken, en düşük verim değeri 1996 yılında 326 kg/da olmuştur (Şekil 12). 1996 yılı, Türkiye'de en şiddetli kuraklığın yaşandığı yıl olup, aynı zamanda mısırda düşük verimin görüldüğü yıl olarak kaydedilmiştir (Türkeş ve Tatlı, 2009e; Erlat ve Güler, 2023c).



Şekil 12. Mısır tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ayçiçeği: Ayçiçeği, sıcak ve güneşli iklim koşullarında, yeterli yağış ve uygun toprak özelliklerinde en iyi gelişim ortamına sahip olan bir bitkidir. Sıcak iklim bitkisi olan ayçiçeği, büyüme için ortalama 20-30 °C arasında bir sıcaklık aralığına ihtiyaç duyar. Bitki, genellikle 10 °C'nin altındaki sıcaklıklarda büyüme göstermez ve 35 °C üzerindeki sıcaklıklar bitki gelişimini olumsuz etkileyebilir (Öztürk, vd., 2017). Ayçiçeği için optimum büyüme ve yüksek verim elde edebilmek adına gerekli yağış miktarı 400 ile 600 mm arasında değişmektedir (Darbani, vd., 2020). Kuraklığa ve düşük sıcaklıklara dayanıklı olması, çeşitli toprak tiplerinde ve farklı çevresel koşullarda başarılı bir şekilde yetişebilmesi, ayçiçeğini ülkemizde yetiştirilen yağlı tohumlu bitkiler arasında ön sıralara yerleştirmektedir (Arıoğlu, vd., 2010). Üretim alanları açısından, ayçiçeği en fazla Trakya-Marmara Bölgesi'nde

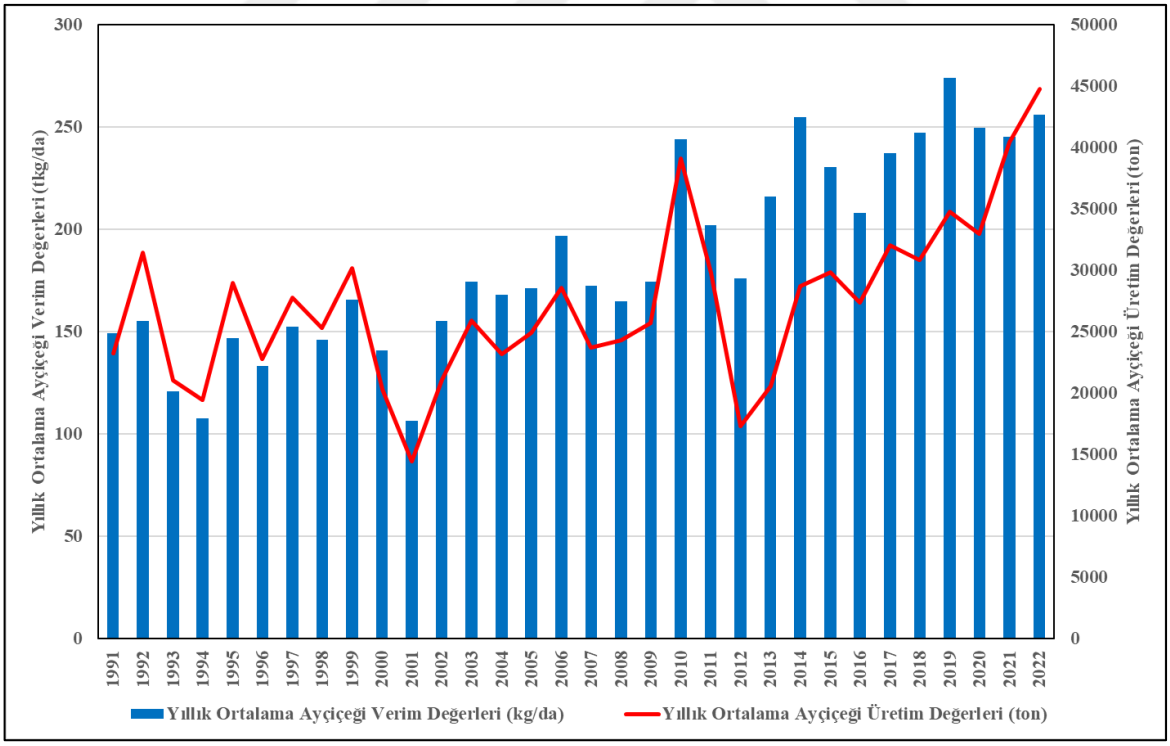
yetiştirilmektedir. Diğer bölgeler ise sırasıyla %29,2 Orta Anadolu, %12 Karadeniz, %8,7 Akdeniz ve %2,8 Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir (Kaya ve Day, 2008; Gül, vd., 2017).

Ayçiçeği gelişim dönemleri, Mart ayında ekildiğinde çimlenme dönemiyle başlar ve toprakta yeterli nem bulunduğunda çimlenme ile kök gelişimi başlar. Bu dönemde 30-50 mm arasında yağış gereklidir (Yılmaz ve Erdem, 2021). Çimlenme döneminde meydana gelen kuraklık, çimlenme oranlarını azaltarak gelecekteki büyümede zayıf fide oluşumuna yol açabilir (Shi, vd., 2023). Nisan ayında bitki, yaprak ve kök gelişimini sürdürerek temel yapısını oluşturur. Bu dönemdeki kuraklıklar, kök ve sürgün büyümesini sınırlayarak bitkinin bodur gelişmesine neden olabilir (Ocvirk, vd., 2020; Shi, 2024). Mayıs ayında, ayçiçekleri fotosentez için önemli olan yaprak ve gövde gelişimini hızlandırır. Bu dönemde artan kuraklık stresi, yaprak alanını ve genel biyokütleyi azaltabilir. Yapılan çalışmalar, iyi sulanan ayçiçeklerinin kuraklık koşullarındaki bitkilere göre daha fazla yaprak geliştirdiğini ve daha iyi büyüdüğünü göstermektedir (Ma, vd., 2016; Paul, vd., 2021). Haziran ayında, ayçiçeklerinin çiçeklenme aşamasına geçmesiyle tozlaşma gerçekleşir. Bu dönem, verim potansiyeli için kritik bir aşamadır. Kuraklık stresi, çiçek oluşumunu azaltabilir ve tozlaşma başarısını olumsuz etkileyebilir. Araştırmalar, bu aşamadaki su stresinin tohum tutumu ve verim potansiyelini önemli ölçüde düşürebileceğini ortaya koymaktadır (Kaya, vd., 2016a; Wasaya, 2024). Temmuz ayında, tohum dolum aşamasına geçilir ve ayçiçeği tohumlarını doldurmaya başlar. Bu aşamadaki kuraklık hem verimi hem de kaliteyi ciddi şekilde etkileyebilir. Yetersiz nem, bitkinin besin maddelerini etkin bir şekilde hareket ettirmekte zorlanmasına yol açarak daha küçük tohumlar ve düşük yağ içeriği ile sonuçlanabilir (Ma, vd., 2016; Paul, vd., 2021). Ağustos ayında, ayçiçeği olgunlaşarak hasat için hazırlanır. Bu aşamada kuraklık stresi, önceki aşamalara kıyasla daha az etkili olsa da bitkinin genel sağlığını ve hasat edilen tohumların kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Düzensiz olgunluk ve düşük yağ içeriği gibi sorunlar, kuraklık koşullarının etkisiyle meydana gelebilir (Shi, 2024).

Ayçiçeği, meteorolojik kuraklıkların verim üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla en fazla üretimi yapılan tarım ürünlerinden biridir. Ayçiçeği üretimi, genellikle Meriç-Ergene ve Marmara havzalarında yüksek üretim değerlerine ulaşmaktadır (Ek Tablo 4). Bu havzalarda yer alan istasyonlarda, ayçiçeği üretimi ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi, üretim miktarındaki artışla paralel olarak yükselen verim değerlerini

göstermektedir (Şekil 13). Bu durum, yıllık bazda ani değişimlerin yaşandığını ortaya koymaktadır. 1991-2022 yılları arasındaki ortalama üretim değeri 28,502 ton olarak belirlenmiştir. En düşük üretim 2,995 ton ile Çanakkale'ye aitken, en yüksek üretim 49,522 ton ile Milas'tadır. Yıllık bazda değişimde, en yüksek üretim değeri 44,782 ton ile 2022 yılına, en düşük üretim değeri ise 14,460 ton ile 2001 yılına aittir (Şekil 13).

Ayrıca, 1991-2022 yılları arasında ortalama ayçiçeği verim değeri 185,6 kg/da olarak hesaplanmıştır. En yüksek ortalama verim değeri 197,9 kg/da ile Lüleburgaz'a aitken, en düşük verim 169,0 kg/da ile Kırklareli'ne aittir. Yıllara göre verim değerlerinde görülen değişim, 2019 yılında 274,0 kg/da ile en yüksek verim değerine ulaşırken, en düşük verim değeri ise 2001 yılında 106,4 kg/da olarak gerçekleşmiştir (Şekil 12). Bu veriler, üretim ve verim değerlerinde belirgin değişimlerin yaşandığını, özellikle meteorolojik faktörlerin ve çevresel koşulların etkisiyle verim artışlarının zaman zaman meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 13. Ayçiçeği tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

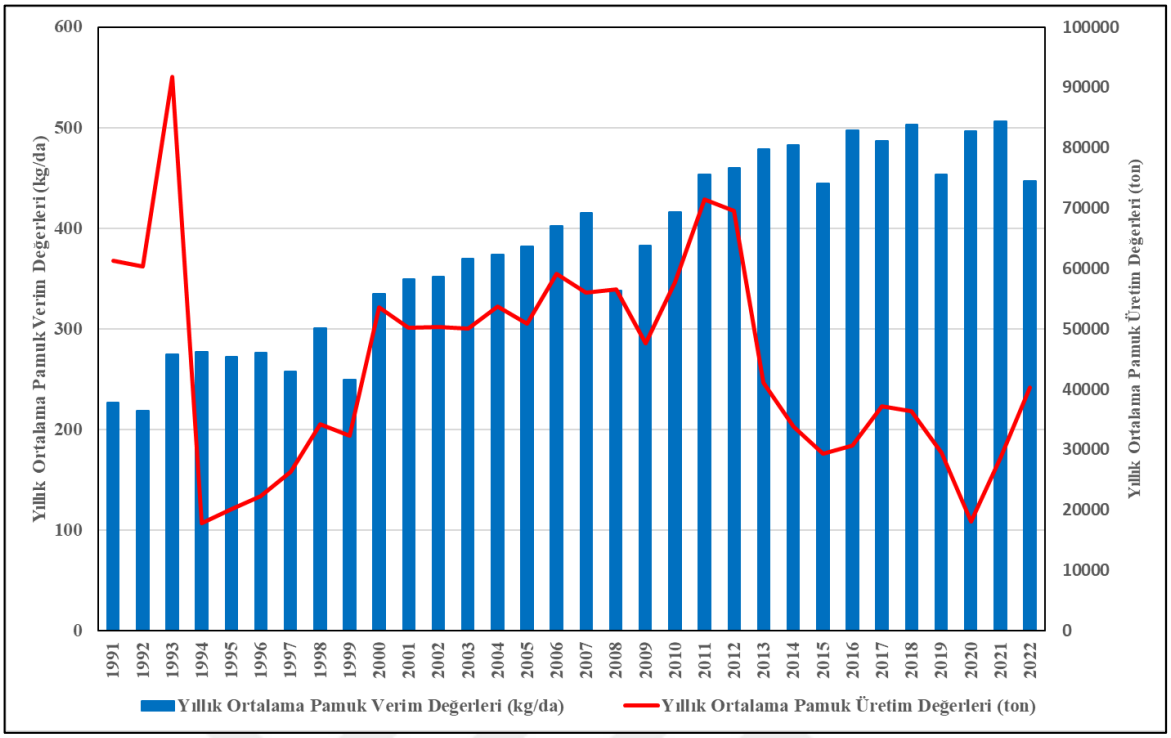
Pamuk: Pamuk, sıcak iklim bitkisi olup, optimal büyüme sıcaklıkları 20-30 °C arasında değişmektedir. 10 °C'nin altındaki sıcaklıklarda büyüme gösteremeyen pamuk, 35 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise gelişiminde olumsuz etkilerle karşılaşabilir (Deveci, 2024). Büyüme dönemi boyunca pamuk bitkisi, toplamda 600-800 mm yağışa ihtiyaç duyar. Özellikle çiçeklenme ve tane dolum dönemlerinde su ihtiyacı belirgin şekilde artmaktadır. Kuraklık koşulları, pamuk verimini önemli ölçüde olumsuz etkileyebilir; bu nedenle sulama uygulamaları bu süreçte büyük bir önem taşımaktadır (Cevheri vd., 2021).

Pamuk tohumları genellikle Mart sonu ile Nisan başında ekilir. Çimlenme, toprak sıcaklığı ve nemine bağlı olarak 5 ila 10 gün içinde gerçekleşir. Bu aşamada, yetersiz nem oranları zayıf fide oluşumuna yol açabilir. Toprak aşırı kuru olduğunda tohumlar çimlenmeyebilir veya zayıf fideler gelişebilir, bu da genel verim potansiyelini olumsuz yönde etkileyebilir (Lin, vd., 2020). Çimlenmeden sonraki Nisan-Mayıs döneminde, fideler kök ve yaprak gelişimini sürdürür. Bu aşama, güçlü bir bitki yapısının oluşabilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Fide aşamasındaki su stresi, büyümeyi engelleyebilir ve kök gelişimini olumsuz etkileyebilir. Pamuk fideleri, kuraklığa karşı savunmasızdır ve yetersiz su, ölüm oranlarının artmasına neden olabilir (Liu, 2024). Çimlenmeden sonraki Nisan-Mayıs döneminde, fideler kök ve yaprak gelişimini sürdürür. Bu aşama, güçlü bir bitki yapısının oluşabilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Fide aşamasındaki su stresi, büyümeyi engelleyebilir ve kök gelişimini olumsuz etkileyebilir. Pamuk fideleri, kuraklığa karşı savunmasızdır ve yetersiz su, ölüm oranlarının artmasına neden olabilir (Zhu, vd., 2018). Pamuk bitkilerinin çiçeklenmeye başladığı ve tohum üretiminin kritik olduğu dönem, Haziran ve Temmuz aylarına denk gelir. Bu dönemdeki kuraklık stresi, tozlaşmayı ve tohum tutumunu ciddi şekilde etkileyebilir. Çalışmalar, bu aşamadaki su stresinin çiçek oluşumunu azaltabileceğini ve dolayısıyla tohum verimini düşürebileceğini göstermektedir (Burke ve Sanchez, 2018). Temmuz ve Ağustos aylarında ise tane dolum aşaması yaşanır. Bu dönemde, pamuk kozaları gelişir ve tohumlarla dolar. Bu aşama, verim birikimi açısından büyük bir öneme sahiptir. Tohum dolumu sırasında yaşanan kuraklık, tohum ağırlığını ve yağ içeriğini önemli ölçüde azaltabilir. Yetersiz nem, daha küçük tohumların oluşmasına ve dolayısıyla daha düşük toplam verime yol açabilir (Zhu, vd., 2018). Pamuk bitkisi, olgunluk aşamasına Ağustos ve Eylül aylarında ulaşır. Bu aşamada kuraklık stresi, daha önceki aşamalara kıyasla daha az etkili olsa da, bitkinin genel sağlığını ve hasat edilen pamuğun kalitesini

etkileyebilir. Kuraklık koşulları, düzensiz olgunluğa ve düşük lif kalitesine yol açabilir (Liu, 2024).

Meteorolojik kuraklıkların tarımsal verim üzerindeki etkisinin belirlenmesinde, bazı havzalarda yüksek üretim değerlerine sahip olan pamuk, önemli bir ürün olarak öne çıkmaktadır. Yüksek üretim değerlerinin tespit edildiği havza ve istasyonlar Ek 5'te sunulmaktadır. 1991-2022 yılları arasında Türkiye genelindeki ortalama pamuk üretim değeri 45,702 ton olarak belirlenmiştir. En yüksek üretim değeri, 158,261 ton ile Şanlıurfa iline aitken, en düşük üretim değeri 2,779 ton ile Cizre iline aittir. Üretim değerlerinin yıllara göre değişiminde, 2011 yılı 71,472 ton ile en yüksek üretim iken, 1994 yılı 17,772 ton ve 2020 yılı 18,112 ton ile en düşük üretim değerleri görülmüştür (Şekil 14). 1993 yılındaki yüksek üretim değeri, yalnızca Şanlıurfa ve Batman istasyonlarına ait üretim değerlerinin bulunduğu bir durumu yansıtmaktadır (Şekil 14).

1991-2022 yılları arasında ortalama pamuk verim değeri 386 kg/da olarak belirlenmiştir. En yüksek verim değeri 412 kg/da ile Ceylanpınar istasyonunda ölçülürken, en düşük verim değeri 341 kg/da ile Çermik istasyonuna aittir. Yıllara göre verim değişiminde, 2021 yılı 506 kg/da ile en yüksek verim değerini gösterirken, 1999 yılı 249 kg/da ile en düşük verim değerini kaydetmiştir (Şekil 13). Verim değerlerinde, özellikle Şanlıurfa ve Batman istasyonları dışında, verim verilerinin eksik olması nedeniyle düşük verim değerleri belirlenmiştir. Son yıllarda, üretim değerlerinde düşüş yaşanmasına rağmen, yüksek verim değerleri mevcuttur.

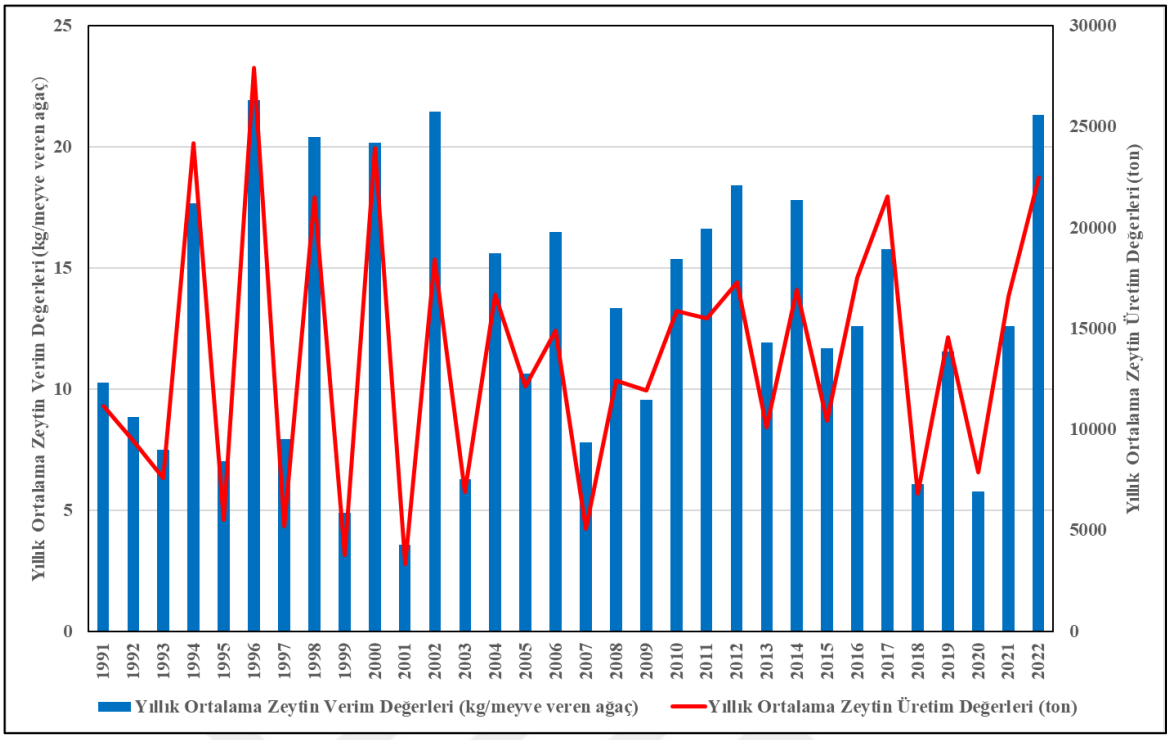


Şekil 14. Pamuk tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Zeytin: Akdeniz ikliminin karakteristik ürünü olan zeytinin iklimsel ihtiyaçları, sıcaklık, yağış, toprak ve ışık koşullarına bağlı olarak şekillenir. Zeytin, kuraklığa dayanıklı bir bitki olmasına rağmen, büyüme dönemlerinde yeterli su alımının sağlanması, bitkinin verim ve kalite açısından önemli bir rol oynamaktadır. Zeytin ağaçları, yıllık ortalama 15-30 °C sıcaklık aralığında ve yıllık 400-600 mm yağış alan bölgelerde yetişmektedir (Ayaz ve Varol, 2015). Zeytinin çiçeklenme dönemi Nisan ve Mayıs aylarına denk gelir ve bu dönem, zeytin verimi açısından kritik bir aşamadır; yeterli sıcaklık ve nem koşulları bu dönemde bitkinin sağlıklı gelişimi için gereklidir (Mete ve Çetin, 2017). Meyve tutma dönemi ise Mayıs-Haziran aylarında gerçekleşir ve bu aşamada meyve oluşumu başlar, bitkinin su ihtiyacı da artar (Ayaz ve Varol, 2015). Meyve gelişim dönemi Temmuz ve Eylül ayları arasında devam eder; bu süreçte meyvelerin büyümesi ve besin maddelerini alması için yeterli su ve besin desteği sağlanmalıdır. Son olarak, hasat dönemi Ekim-Kasım aylarında meydana gelir; bu dönemde meyveler olgunlaşarak hasat için uygun hale gelir.

Zeytin, meteorolojik kuraklıkların verim üzerindeki etkisinin belirlenmesinde en fazla üretimi yapılan tarımsal ürünlerden biridir. Zeytin üretimi, genellikle Akdeniz ikliminin hâkim olduğu kıyı bölgelerinde yüksek değerlere ulaşmaktadır. Zeytin üretiminin en fazla olduğu istasyonlar ve bu istasyonların bağlı olduğu havzalar Ek 6'da gösterilmiştir. Bu istasyonlarda, zeytin üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişiminde, üretim miktarındaki artış ile birlikte verim değerlerinde de artış belirlenmiştir. Ancak yıllık bazda ani değişimler de yaşanmaktadır. 1991-2022 yılları arasında ortalama zeytin üretim değeri 13,484 tondur. En düşük üretim değeri 1,081 ton ile Marmaris'e, en yüksek üretim değeri ise 50,179 ton ile Milas'a aittir. Yıllara göre üretimdeki değişim dikkate alındığında, en yüksek üretim değeri 1996 yılında 27,938 ton, en düşük üretim değeri ise 2001 yılında 3,329 tondur(Şekil 15). 1991-2022 yılları arasında ortalama zeytin verim değeri 13 kg/meyve veren ağaç olarak belirlenmiştir. En yüksek ortalama verim değeri 19 kg ile Ayvalık'ta, en düşük verim ise 7 kg ile Milas'ta gerçekleşmiştir. Yıllık verim değişimlerinde en yüksek verim değeri 1996 yılında 22 kg, en düşük verim değeri ise 2001 yılında 4 kg olarak tespit edilmiştir (Şekil 15). 2001 yılı, özellikle Şubat ayında başlayan ve Temmuz ayında şiddetlenen meteorolojik kuraklık nedeniyle zeytin veriminde önemli bir düşüş yaşanmıştır (Akbaş, 2014).



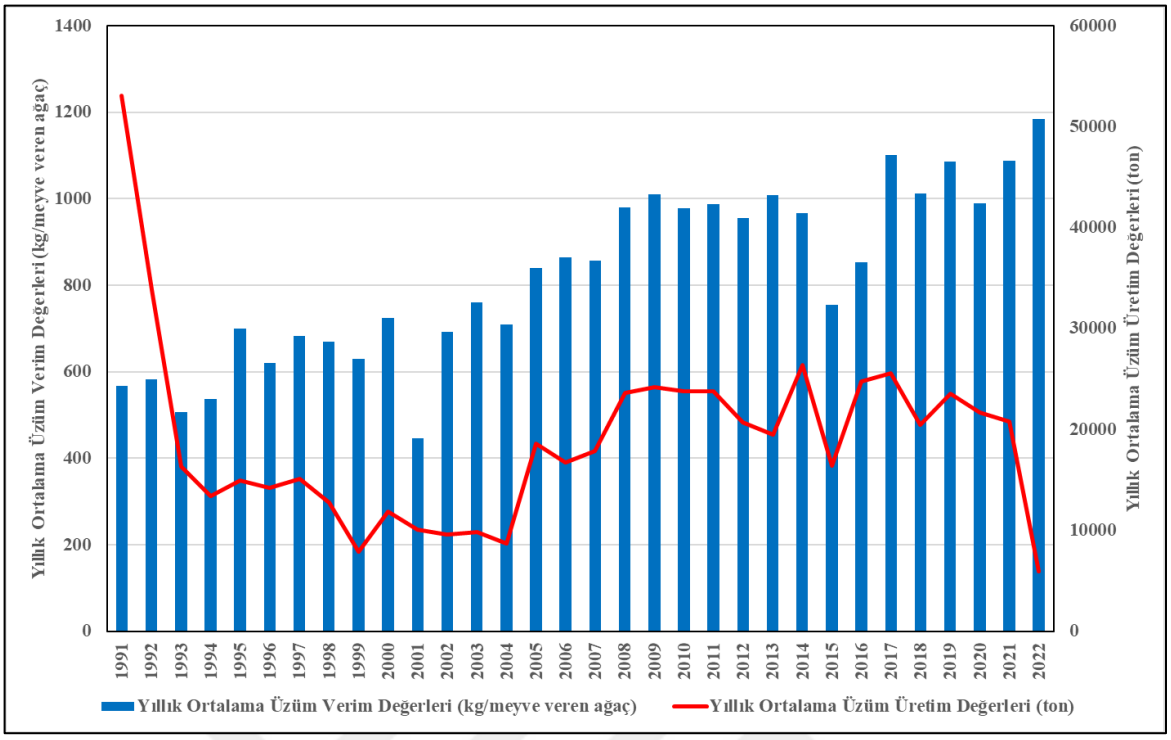
Şekil 15. Zeytin tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Üzüm: Üzüm, büyüme mevsimi boyunca 20 ile 30 °C arasında değişen optimum sıcaklık koşullarında gelişen bir bitkidir. Yıllık ortalama yağış değerleri ise 500-800 mm arasında değişen yağış miktarlarına ihtiyaç duyar. Üzümün gelişim dönemlerinde, Mart-Nisan aylarında tomurcuk molası gerçekleşir. Bu dönemde uykudaki tomurcuklar şişmeye başlar ve sonunda kırılarak yeni sürgünlerin gelişmesiyle ilk büyüme aşaması başlar (Schleip, vd., 2008). Mayıs ayında tozlanma ile başlayan çiçeklenme dönemi, meyve tutumu için kritik bir aşamadır. Bu dönemde sıcaklık ve nem gibi hava koşulları, tozlaşma başarısını ve dolayısıyla meyve gelişimini doğrudan etkiler (Klua ve Boss, 2010). Çiçeklenmeden sonraki meyve tutum dönemi ise Haziran ayında gerçekleşir; bu dönemde üzüm taneleri küçük ve gelişimsel olarak büyümeye başlar, bu süreçte su ve besin maddelerine olan ihtiyaç artar (Schleip, vd., 2008). Temmuz sonu ve Ağustos başı arasındaki vejetatif dönem, üzümlerin renk değiştirmeye ve yumuşamaya başladığı kritik bir aşamadır. Şeker birikimi ve lezzet gelişimi açısından bu dönem oldukça önemlidir; yüksek sıcaklıklar, şeker seviyelerini artırarak üzümün kalitesini etkileyebilirken, asitlik üzerinde de potansiyel

değişimlere yol açabilir (Schumacher, vd., 2024). Hasat dönemi, üzüm türüne bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, genellikle Eylül sonu ile Ekim ayı arasında gerçekleşir.

Meteorolojik kuraklıkların tarımsal verim üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde, bazı havzalarda üzüm, yüksek üretim değerlerine sahip bir ürün olarak öne çıkmaktadır. Yüksek üretim değerlerinin tespit edildiği havza ve istasyonlar Ek 7'de sunulmuştur. 1991-2022 yılları arasında üzüm üretim miktarı 18,393 ton olarak belirlenmiştir. En yüksek üretim değeri, 93,773 ton ile Salihli'de, en düşük üretim değeri ise 110 ton ile Iğdır'da gerçekleşmiştir. Üretim değerlerinin yıllara göre değişiminde, en yüksek üretim değeri 1991 yılında 53,056 ton olarak belirlenmiş, en düşük üretim değeri ise 2022 yılında 5,909 ton olarak kaydedilmiştir (Şekil 16). Aynı dönemde, 1991-2022 yılları arasındaki ortalama verim değeri 816 kg/meyve veren ağaç olarak hesaplanmıştır. En yüksek verim değeri, 1,389 kg/meyve veren ağaç ile Erdemli istasyonuna aitken, en düşük verim değeri ise 504 kg/meyve veren ağaç ile Adıyaman istasyonuna aittir. Yıllara göre verim değişiminde, 2022 yılı yüksek verim değerleri ile dikkat çekerken, 2001 yılı şiddetli kuraklık etkisinin belirgin olduğu ve düşük verim değerleri ile karakterize edilen bir dönem olarak öne çıkmaktadır (Şekil 16). Bu bulgular, meteorolojik kuraklıkların üretim ve verim üzerinde önemli etkiler yaratabileceğini, ancak verim oranlarının bazı yıllarda yüksek üretimle birlikte artış gösterdiğini ortaya koymaktadır.



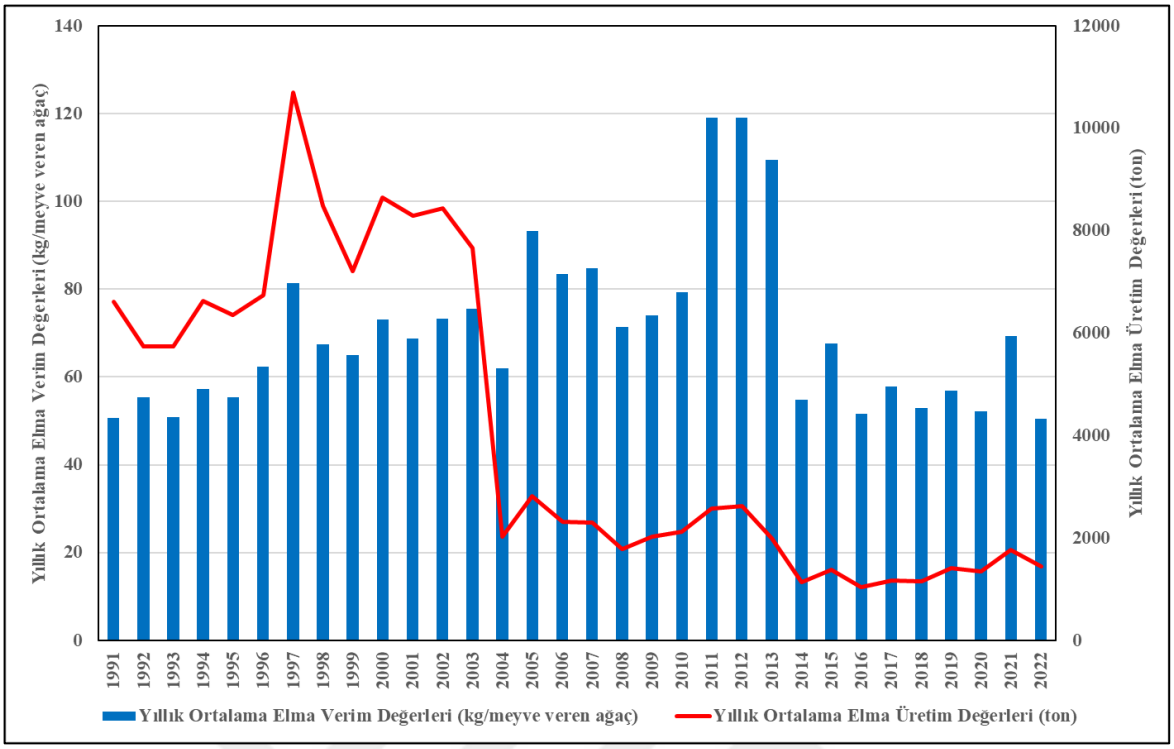
Şekil 16. Üzüm tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Elma: Meteorolojik kuraklıkların tarımsal verim üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde, Antalya Havzası'nda en yüksek ilişki elma üretimi ile belirlenmiştir. Elma, iklim istekleri açısından ılıman iklim koşullarını tercih eder ve genellikle 15-25 °C arasındaki sıcaklık değerlerinde yetişir. Yıllık ortalama yağış miktarlarının 600-1200 mm arasında değiştiği bölgeler, elma için en uygun yetişme alanlarını oluşturmaktadır (Boyacı, 2019) Elmanın gelişim dönemlerinden çiçeklenme dönemi, Mart ve Nisan aylarında gerçekleşir ve bu dönemde bitki enerji ve besin maddelerini depolar (Datt, 2024). Elma çiçekleri Nisan ayının sonlarına doğru açar; çiçeklerin döllenmesi için yeterli sıcaklık ve nem koşulları gerekmektedir. Mayıs ve Haziran aylarında meyve oluşumu tamamlanır. Temmuz-Eylül ayları, meyvelerin büyümesi ve besin maddelerini alması için kritik bir dönemi temsil eder. Son olarak, Ekim ayı sonu ile Kasım ayı başında meyveler olgunlaşarak hasat için uygun hale gelir (Datt, 2024). Bu gelişim süreçlerinde, meteorolojik kuraklıkların etkisi, özellikle su ve besin desteğinin yetersiz olması durumunda, elma verimini ve kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir.

Yüksek üretim değerlerinin belirlendiği elma üretimi, çeşitli havzalarda yapılan ölçümlerle değerlendirildiğinde, üretim potansiyelinin yıllara göre önemli değişimler gösterdiği görülmektedir (Şekil 17). 1991-2022 yılları arasındaki ortalama üretim değeri 4,113 ton olarak belirlenmiştir. Bu dönemdeki en yüksek üretim değeri 11,123 ton ile Isparta'ya aitken, en düşük üretim değeri ise 489 ton ile Bayburt'a aittir. Yıllara göre üretim değerlerinin değişiminde, en yüksek üretim 10,696 ton ile 1997 yılında gerçekleşirken, en düşük üretim 1,047 ton ile 2016 yılında belirlenmiştir (Şekil 17). Elma üretimi, özellikle 2004 yılından itibaren belirgin bir düşüş trendi göstermektedir (Şekil 17).

1991-2022 yılları arasında ortalama verim değeri ise 70 kg/meyve veren ağaç olarak kaydedilmiştir. En yüksek verim, Isparta'da 121 kg/meyve veren ağaç ile tespit edilirken, en düşük verim değeri ise 30 kg/meyve veren ağaç ile Kastamonu/Bozkurt'ta görülmüştür. Yıllara göre verim değişiminde, 2012 yılında 119 kg/meyve veren ağaç ile en yüksek verim değerine ulaşılmıştır (Şekil 17). Ancak, 2022 yılında verim 50 kg/meyve veren ağaç ile en düşük seviyeye gerilemiştir (Şekil 17). Özellikle 2013 yılından itibaren verim değerlerinde belirgin bir azalma eğilimi dikkat çekmektedir. Bu veriler, elma üretimindeki dalgalanmanın, meteorolojik faktörler ve tarımsal koşullara bağlı olarak farklı yıllarda önemli değişiklikler gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 17. Elma tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

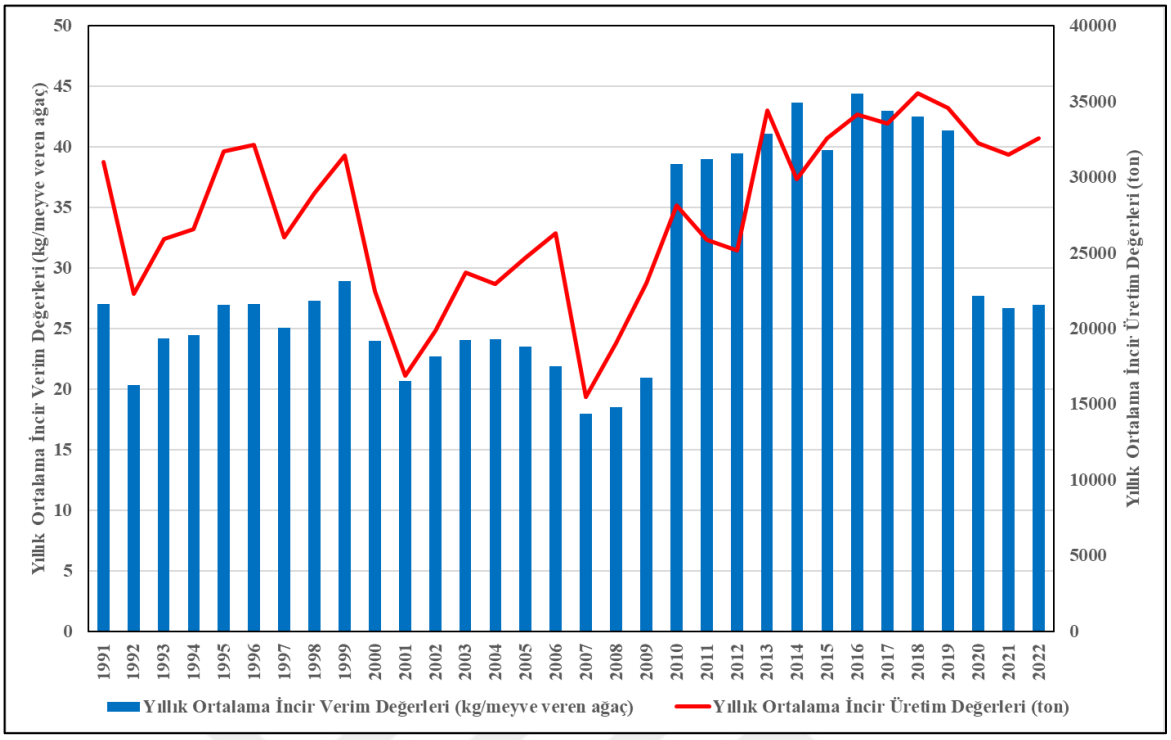
Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

İncir: İncir, dünya çapında yetiştirilen en eski meyve türlerinden biri olup, Orta Doğu'ya özgü olmasına rağmen Akdeniz bölgesinde evcilleştirilmiş ve zeytin ile üzümle birlikte yaygın olarak yetiştirilmektedir (Mellal, vd., 2023). Dünya incir üretiminin %70'ten fazlası Akdeniz bölgesinde gerçekleştirilmektedir (Mellal, vd., 2023). İncir, sıcak ve ılıman iklim koşullarını tercih etmekte olup, optimum yetişme sıcaklıkları 20-30 °C arasında değişmektedir. Soğuk havalardan olumsuz etkilenen bu bitki, -5 °C'nin altındaki sıcaklıklarda zarar görebilir (Cavalcante, vd. 2019). İncir, büyüme döneminde toplamda 400-600 mm yağışa ihtiyaç duyar; özellikle çiçeklenme ve meyve dolum dönemlerinde su ihtiyacı artar. Bu nedenle, kuraklık koşulları incir verimini olumsuz yönde etkileyebilir ve sulama uygulamaları bu süreçte önemli bir rol oynamaktadır (Mellal, vd., 2023). İncir ağaçları, Nisan ve Mayıs aylarında yaprak ve sap çıkararak büyüme aşamasına başlar. Bu dönem, fotosentez ve genel bitki sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Ancak, vejetatif dönemdeki su stresi, yaprak alanını ve biyokütleyi azaltarak, bitkinin sonraki dönemlerde meyve üretme kapasitesini olumsuz etkileyebilir (Pothasin, vd., 2016). Haziran ayında çiçeklenmeye başlayan incir ağaçları, meyve gelişimi için önemli bir döneme girer. Bu

dönemde yaşanan kuraklık stresi, tozlaşmayı ve meyve tutumunu olumsuz etkileyebilir. Yetersiz nem, çiçek oluşumunu engelleyerek verimi düşürebilir, çünkü bitki stres altında çiçekleri iptal edebilir (Mellal, vd., 2023). Temmuz ve Ağustos aylarında incirler büyüyüp olgunlaşır, bu süreç meyvede şeker ve besin maddelerinin birikmesiyle gerçekleşir. Bu aşamada yaşanan kuraklık, incirlerin boyutunu ve kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir. Su stresi, daha küçük meyvelerin ve düşük şeker içeriğinin oluşmasına yol açarak, hem verimi hem de pazarlanabilirliği olumsuz yönde etkileyebilir (Pothasin, vd., 2016). Eylül ayına kadar olgunlaşan incirler hasat için uygun hale gelir. Bu aşamada, kuraklık stresi daha önceki dönemlere kıyasla daha az etkili olsa da bitkinin genel sağlığı ve hasat edilen incirlerin kalitesi üzerinde etkili olabilir. Kuraklık koşulları, düzensiz olgunlaşmaya ve düşük meyve kalitesine neden olabilir (Pothasin, vd., 2016).

İncir üretimi, meteorolojik kuraklıkların tarımsal verim üzerindeki etkisinin değerlendirildiği çalışmalarda yüksek üretim değerlerine sahip ürünler arasında yer almaktadır. Yüksek üretim değerlerinin belirlendiği incirle ilgili çeşitli havzalardaki istasyonlar Ek 9'da sunulmuştur. 1991-2022 yılları arasında, ortalama incir üretim değeri 27,534 ton olarak belirlenmiştir. En yüksek üretim değeri 41,636 ton ile Nazilli'ye, en düşük üretim ise 13,432 ton ile Sultanhisar'a aittir. Yıllara göre üretim değerlerinde 1997 yılında 10,696 ton ile en yüksek değer görülürken, 2018 yılında 35,544 ton ile en düşük üretim değeri kaydedilmiştir. İncir üretiminde özellikle 2009 ve 2020 yıllarında belirgin bir artış yaşandığı görülmektedir.

1991-2022 yılları arasındaki ortalama verim değeri ise 30 kg/meyve veren ağaç olarak tespit edilmiştir. En yüksek verim değeri, üretimin düşük olmasına rağmen Sultanhisar'da 34 kg/meyve veren ağaç ile elde edilirken, en düşük ortalama verim değeri 25 kg/meyve veren ağaç ile Nazilli'de mevcuttur. Yıllara göre verim değişiminde en yüksek verim değeri 44 kg/meyve veren ağaç ile 2014 yılında, en düşük verim değeri ise 18 kg/meyve veren ağaç ile 2007 yılında kaydedilmiştir (Şekil 18). Bu veriler, incir üretimindeki yıllık dalgalanmaların ve kuraklık koşullarının etkilerini ortaya koymaktadır.



Şekil 18. İncir tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

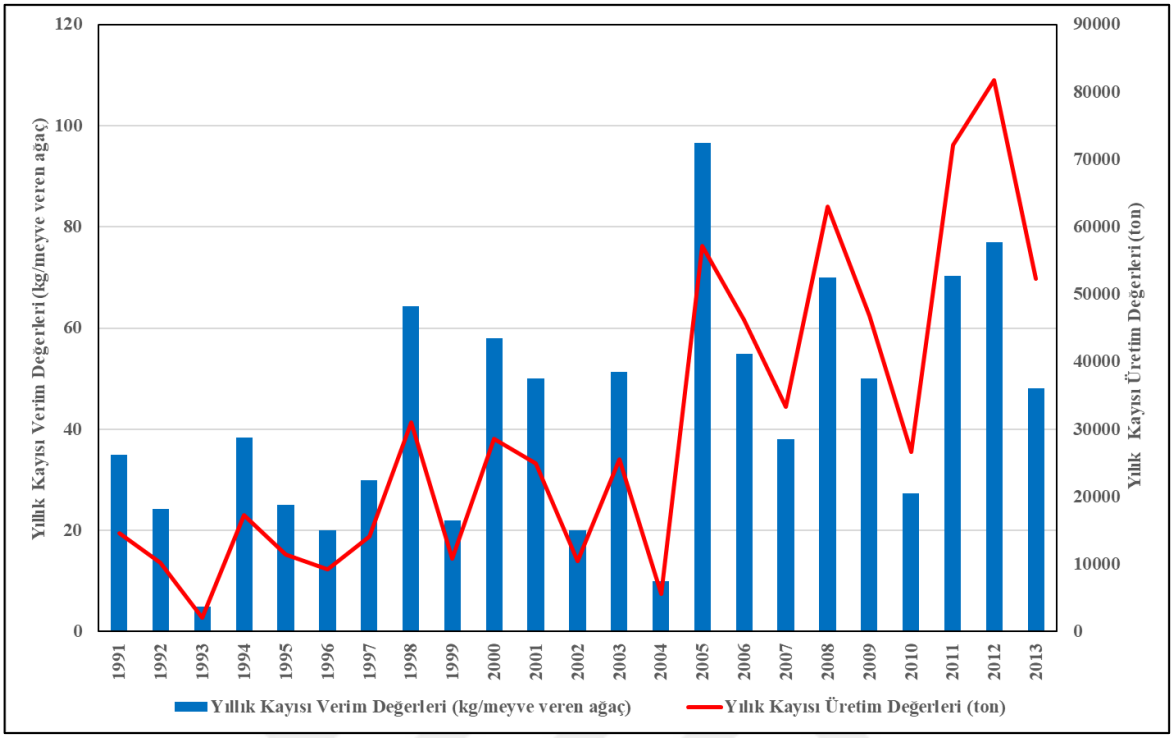
Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Kayısı: Kayısı, iklim koşullarına bağlı olarak belirli yetişme isteklerine sahip bir meyve türüdür. Sıcak ve kuru iklimleri tercih eden kayısı ağaçları, soğuk ve nemli koşullara karşı hassastır (Karataş ve Şengül, 2020). Kayısı ağaçlarının sağlıklı bir şekilde gelişebilmesi için sıcaklık değeri 15-30 °C arasında olmalıdır. Özellikle çiçeklenme dönemi sırasında sıcaklıkların 15 °C'nin üzerinde olması, polinasyon ve meyve tutumu için kritik öneme sahiptir (Polat ve Çalışkan, 2013). Kayısı ağaçları ayrıca yeterli güneş ışığına ihtiyaç duyar; bu nedenle, doğrudan güneş ışığı alabilen alanlarda yetiştirilmesi tavsiye edilmektedir (Yılmaz, vd., 2021). Kayısı ağaçlarının hastalıklara karşı direnci de iklim koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sıcak ve kuru iklimler, bazı hastalıkların yayılmasını sınırlarken, nemli koşullar hastalıkların yayılmasını teşvik edebilir (Karataş ve Şengül, 2020).

Kayısı ağaçlarının gelişim döneminde, Ocak-Şubat ayları arasındaki kış dönemi ağaçların dinlenme evresine girmesini sağlar. Bu dönemde soğuk hava koşulları, ağaçların dormans (uyku) dönemini sürdürmelerine yardımcı olur ve çiçek tomurcuklarının gelişimi

için gereklidir (Bilgin ve Misirli, 2016). Mart ayında başlayan çiçeklenme dönemi ile sıcaklıkların artmasıyla çiçek tomurcukları açılmaya başlar. Ancak, bu dönemdeki don olayları kayısı verimini olumsuz etkileyebilir (Balcıoğlu vd., 2022). Nisan ayında çiçeklenme devam eder ve polinasyon gerçekleşir. Bu aşamada, yeterli sıcaklık ve nem koşulları meyve tutumu için kritik bir rol oynar; düşük sıcaklıklar çiçeklerin dökülmesine yol açabilir. Mayıs ayında meyve gelişimi başlar ve çiçeklerin döllenmesiyle birlikte meyve tutumu gerçekleşir. Bu dönemde, su ihtiyacı artar; kuraklık, meyve gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir (Balcıoğlu, vd., 2022). Haziran-Ağustos ayları arasındaki meyve olgunlaşma süreci, sıcak hava koşullarının meyve kalitesini artırabileceği bir dönemdir. Ancak, aşırı sıcaklıklar ve kuraklık meyve büyümesini olumsuz etkileyebilir (Balcıoğlu, vd., 2022). Eylül ayında başlayan hasat dönemi, yeterli su ve besin maddelerinin temin edilmesiyle meyve kalitesinin artırılmasını sağlar (Bilgin ve Mısırlı, 2016). Kuraklık, kayısı ağaçlarının gelişim süreçlerini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Özellikle meyve gelişimi ve olgunlaşma dönemlerinde su eksikliği, meyve kalitesini düşürerek verimi azaltabilir (Kartal ve Emiroğlu, 2024b). Kuraklık koşullarında kayısı ağaçları su stresine girer ve bu durum, meyve dökümüne ve düşük verime yol açabilir (Kartal, 2024a). Ayrıca, kuraklık, ağaçların hastalıklara karşı dirençlerini de azaltabilir; bu nedenle sulama ve su yönetimi stratejileri, kayısı yetiştiriciliğinde kritik bir rol oynamaktadır (Balcıoğlu, vd., 2022).

Çalışmamızda kayısı üretimi, Yukarı Fırat Havzası'nda yer alan Malatya istasyonunda incelenmiştir (Ek Tablo 10). Ancak, üretim ve verim değerlerine ilişkin veriler yalnızca 2013 yılına kadar mevcut olup, sonraki yıllara ait verilere ulaşılamamıştır. 1991-2013 yılları arasında, Malatya istasyonunda kayısı üretim değeri ortalama 30,237 ton olarak belirlenmişken, ortalama verim değeri ise 43 kg/meyve veren ağaç olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde en düşük üretim değeri 1993 yılında 2,090 ton olarak kaydedilirken, en yüksek üretim değeri 2012 yılında 81,774 ton olmuştur (Şekil 19). Verim değerleri açısından ise, 1993 yılında üretimle paralel olarak en düşük verim değeri 5 kg/meyve veren ağaç olarak belirlenirken, 2005 yılında en yüksek verim değeri 97 kg/meyve veren ağaç seviyesine ulaşmıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Kayısı tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

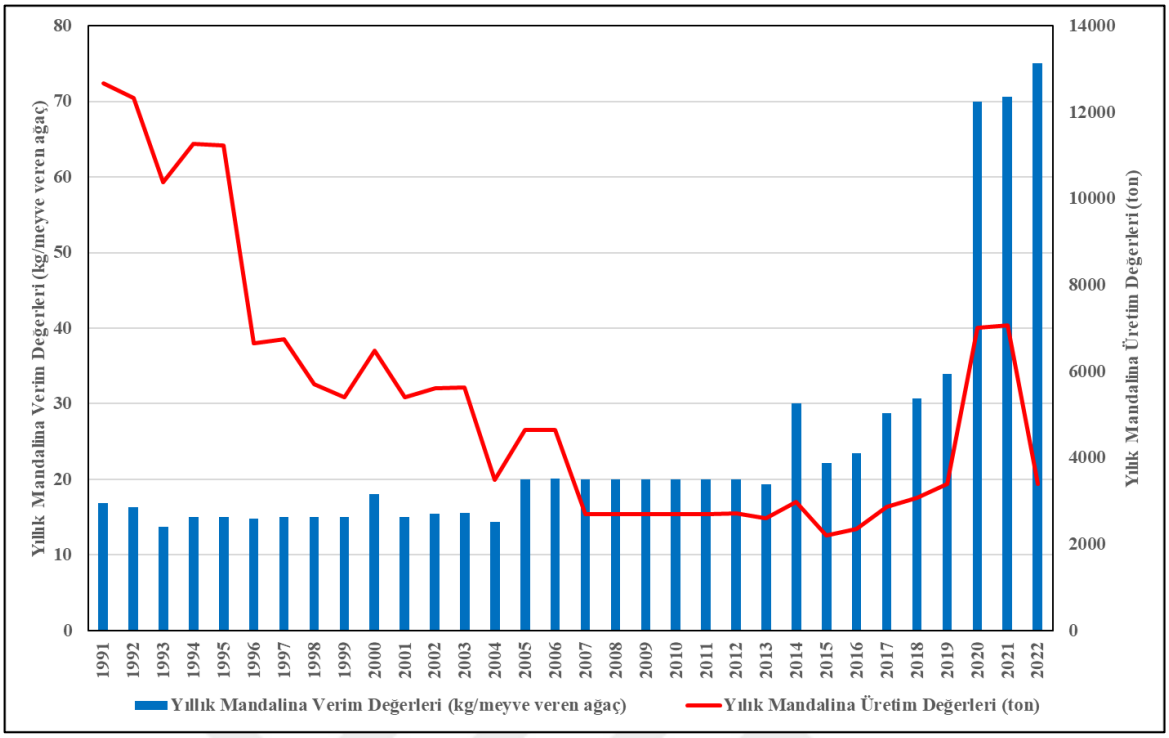
Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Mandalina: Mandalina ağaçları, genellikle sıcak ve ılıman iklim koşullarında yetişmekte olup, iklim faktörleri meyve kalitesi ve verimi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu ağaçların optimum gelişimi için sıcaklık değerlerinin 10-30 °C aralığında olması gerekmektedir. Özellikle çiçeklenme döneminde sıcaklıkların 15 °C'nin üzerinde olması, başarılı bir polinasyon ve meyve tutumu için kritik bir öneme sahiptir (Aparecido, 2023). Ancak, kış aylarında sıcaklıkların 0 °C'nin altına düşmesi, mandalina ağaçlarında don hasarına yol açarak meyve verimini olumsuz etkileyebilmektedir (Roongruangsri, vd., 2013). Bunun yanı sıra, mandalina ağaçlarının sağlıklı büyümesi için yeterli miktarda güneş ışığına ihtiyaç duyduğu, bu nedenle doğrudan güneş ışığı alabileceği alanlarda yetiştirilmesinin önerildiği belirtilmektedir (Crespo, 2024).

Kış aylarında mandalina ağaçları dinlenme evresine girer ve bu süreç çiçek tomurcuklarının gelişimi için önemli bir aşamadır (Micheloud, vd., 2018). Çiçeklenme dönemi genellikle mart ayında başlamakta olup, bu süreçte meydana gelebilecek don olayları

meyve verimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Roongruangsri, vd., 2013). Nisan ayında çiçeklenme devam ederken, polinasyon süreci gerçekleşmektedir. Bu aşamada, yeterli sıcaklık ve nem koşulları meyve tutumu açısından büyük önem taşımakta olup, düşük sıcaklık değerleri çiçek dökülmelerine neden olabilmektedir (Micheloud, vd., 2018 Mayıs ayı itibarıyla çiçeklerin döllenmesiyle birlikte meyve tutumu gerçekleşmekte ve meyveler büyümeye başlamaktadır. Bu dönemde su ihtiyacı artmakta olup, kuraklık koşulları meyve gelişimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Roongruangsri, vd., 2013). Haziran ve ağustos ayları arasında meyve olgunlaşma süreci devam etmekte ve bu süreçte sıcak hava koşulları meyve kalitesini artırabilmektedir. Ancak, aşırı sıcaklıklar ve kuraklık, meyve büyümesini sınırlandırarak kaliteyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Roongruangsri, vd., 2013). Eylül ayında ise hasat dönemi başlamaktadır. Bu süreçte yeterli su ve besin maddelerinin sağlanması, meyve kalitesini artırmak açısından büyük önem taşımaktadır (Roongruangsri, vd., 2013). Kuraklık, mandalina ağaçlarının büyüme ve gelişim süreçlerini doğrudan etkileyen temel çevresel faktörlerden biridir. Özellikle meyve gelişimi ve olgunlaşma dönemlerinde su eksikliği, meyve kalitesinin düşmesine ve verim kaybına yol açabilmektedir (Velitchkova, 2023). Kuraklık koşulları altında mandalina ağaçları su stresine maruz kalarak meyve dökümünü artırabilir (Velitchkova, 2023). Ayrıca, uzun süreli kuraklık dönemleri, ağaçların hastalıklara karşı dirençlerini azaltarak genel bitki sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, etkili sulama ve su yönetimi stratejilerinin uygulanması, mandalina yetiştiriciliğinde kritik bir rol oynamaktadır.

Çalışmamızda mandalina üretimi, Batı Akdeniz Havzası'nda yer alan Bodrum istasyonunda incelenmiştir (Ek Tablo 11). 1991-2022 yılları arasında kaydedilen toplam üretim değeri 5,356 ton olup, ortalama verim değeri 24 kg/meyve veren ağaç olarak belirlenmiştir. Yıllara göre değerlendirildiğinde, en düşük üretim değeri 2015 yılında 2,209 ton iken, en yüksek üretim değeri 1991 yılında 12,667 ton olarak tespit edilmiştir (Şekil 20). Benzer şekilde, verim değerleri açısından en düşük seviye 1993 yılında 14 kg/meyve veren ağaç iken, en yüksek verim 2022 yılında 75 kg/meyve veren ağaç seviyesinde kaydedilmiştir (Şekil 20).



Şekil 20. Mandalina tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

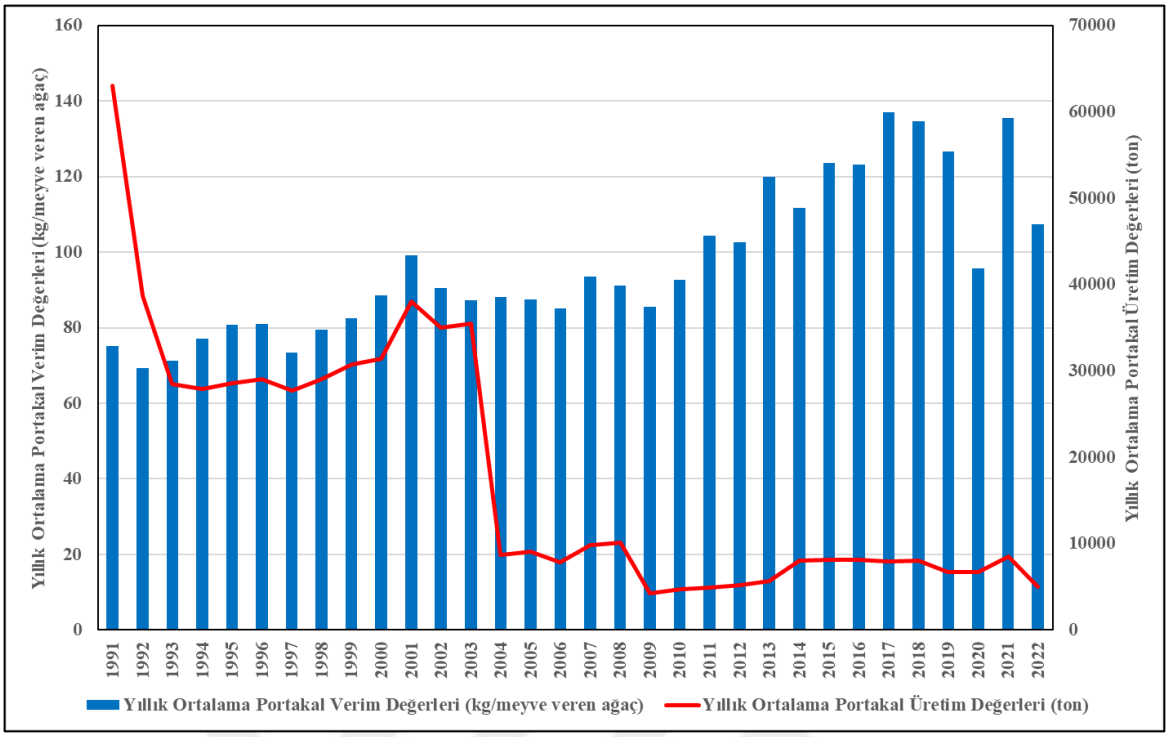
Portakal: Portakal ağaçları, Ocak ve Şubat aylarında dinlenme (uyku) dönemine girerek enerji tasarrufu yapmakta ve bir sonraki büyüme sezonuna hazırlanmaktadır. Bu süreç, çiçeklenme için gerekli olan dormansi kırılmasını sağladığından büyük önem taşımaktadır. Soğuk sıcaklıklar, dormansi sürecinin tamamlanmasına yardımcı olarak çiçeklenmenin düzenli bir şekilde gerçekleşmesini desteklemektedir (Gonçalves, vd., 2019). Mart ayı, çiçeklenme döneminin başlangıcını işaret eder ve sıcaklıkların artmasıyla birlikte portakal ağaçları çiçek üretmeye başlar. Çiçeklenme süreci, meyve tutumunu ve dolayısıyla verimi doğrudan etkilediğinden kritik bir aşamadır. Bu dönemde, başarılı bir tozlaşmanın gerçekleşmesi için yeterli nem ve ılıman sıcaklık koşulları gereklidir (França, vd., 2016). Nisan ve Mayıs aylarında çiçeklenme tamamlanarak meyve tutumu gerçekleşir. Bu aşamada, ilk meyve gelişimi başlar ve ağaçların büyüyen meyveleri destekleyebilmesi için yeterli su ve besin maddelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Su stresi, bu dönemde meyve gelişimini olumsuz etkileyerek düşük verim ve zayıf meyve kalitesine yol açabilir (Quaggio, vd., 2004). Yaz ayları, portakal meyvelerinin hızlı büyüme ve olgunlaşma sürecinin yaşandığı kritik bir evredir. Meyveler bu dönemde önemli ölçüde genişler ve optimum gelişim için sürekli neme

ihtiyaç duyar. Yaz aylarında yaşanan kuraklık, meyve boyutu ve kalitesinde önemli düşüşlere neden olabilmektedir (Costa, vd., 2020). Eylül ve Ekim ayları ise meyvelerin olgunlaşma sürecine girdiği dönemdir. Bu süreçte, meyvelerin optimum tatlılık ve büyüklüğe ulaşması için yeterli su temini büyük önem taşımaktadır. Hasat zamanı, yetiştirilen çeşide ve yerel iklim koşullarına bağlı olarak genellikle Eylül ayının sonlarından itibaren başlamaktadır (Costa, vd., 2020). Kuraklık stresi, portakal meyvelerinin küçülmesine ve meyve suyu içeriğinin azalmasına yol açarak genel meyve kalitesini olumsuz etkilemektedir. Araştırmalar, şiddetli kuraklığın meyve dökülme oranını artırabileceğini ve meyve çatlaması insidansını yükseltebileceğini göstermektedir (Costa, vd., 2020) Uzun süreli kuraklık koşulları, ağaç sağlığında gerilemeye, canlılığın azalmasına ve zararlılar ile hastalıklara karşı duyarlılığın artmasına neden olarak portakal bahçelerinin sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Costa, vd., 2020).

Bu çalışmada, portakal üretimi Batı Akdeniz Bölgesi'nde Finike; Antalya Havzası'nda Antalya, Alanya ve Manavgat; Doğu Akdeniz Bölgesi'nde Gazipaşa ve Anamur ile Seyhan-Ceyhan Havzası'nda Dörtyol ve Samandağ istasyonlarında incelenmiştir (Ek Tablo 12). 1991-2022 yılları arasında ortalama üretim değeri 19.962 ton, ortalama verim değeri ise 97 kg/meyve veren ağaç olarak belirlenmiştir (Şekil 21).

İstasyon bazında en yüksek üretim değeri 39,886 ton ile Antalya'da, en düşük üretim değeri ise 3,978 ton ile Gazipaşa istasyonunda tespit edilmiştir. Verim açısından değerlendirildiğinde, en yüksek değer 145 kg/meyve veren ağaç ile Finike istasyonunda, en düşük verim ise 55 kg/meyve veren ağaç ile Gazipaşa istasyonunda kaydedilmiştir.

Yıllık değişimler incelendiğinde, en düşük üretim değeri 2009 yılında 4,275 ton olarak gerçekleşirken, en yüksek üretim değeri 1991 yılında 63,012 ton olarak ölçülmüştür (Şekil 21). Verim açısından ise en düşük değer 1992 yılında 69 kg/meyve veren ağaç olarak belirlenirken, en yüksek verim değeri 2017 yılında 137 kg/meyve veren ağaç olarak kaydedilmiştir (Şekil 21).



Şekil 21. Portakal tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

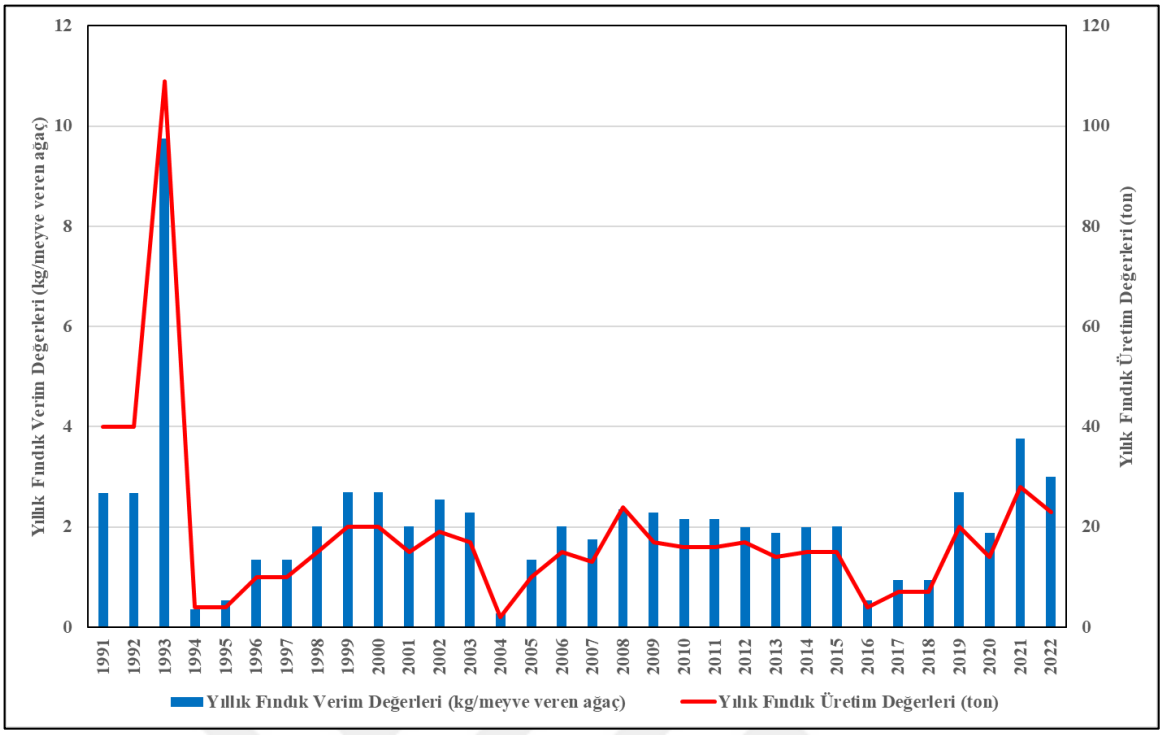
Fındık: Fındık ağaçlarının optimum gelişimi için 10-25 °C arasındaki sıcaklıklar en uygun koşulları sağlamaktadır. Özellikle çiçeklenme döneminde sıcaklıkların 15 °C'nin üzerinde olması, başarılı polinasyon ve meyve tutumu açısından kritik bir faktördür. Bununla birlikte, fındık ağaçları kış aylarında -15 °C'ye kadar düşük sıcaklıklara dayanıklılık gösterebilir; dolayısıyla soğuk kış koşulları, fındık ağaçlarının uyku (dormansi) sürecinin düzenlenmesi açısından faydalı olmaktadır (Lena, vd., 2022). Fındık yetiştiriciliğinde yüksek nem ve düzenli yağışlar, sağlıklı büyüme ve gelişim için önemli unsurlar olup, yaz aylarında meydana gelen kuraklık, verim kaybına yol açarak üretimi olumsuz etkileyebilmektedir (Lena, vd., 2022).

Fındık ağaçlarında çiçeklenme, kış dönemindeki dinlenme sürecinin ardından gerçekleşirken, yapraklanma genellikle Mart-Nisan aylarında başlamaktadır. Meyve gelişimi Mayıs-Haziran aylarında gözlemlenirken, meyve döllenmesi Haziran sonu ile Temmuz başında gerçekleşmektedir. Fındık meyvesinin olgunlaşma süreci Temmuz ve Ağustos aylarında devam etmekte olup, bu süreçte kabuk sertleşerek olgunlaşma

tamamlanmaktadır (Baldwin, 2015). Yaz aylarında görülen dane doldurma dönemi, yüksek sıcaklıklar, düzensiz ve yetersiz yağış gibi çevresel faktörlere bağlı olarak su stresine neden olabilir (An, vd., 2020). Bu durum, fındık ağaçlarının su dengesinin bozulmasına, salkımların yanmasına ve meyve dökülmesine yol açarak verim kaybına sebebiyet verebilir. Tarımsal kuraklık olarak tanımlanan bu olgu, özellikle meyve gelişim sürecinde belirgin hale gelmektedir. Ayrıca, çiçeklenme döneminde yetersiz sıcaklık koşulları, fındık ağaçlarında çiçeklenme problemlerine neden olabilmektedir (An, vd., 2020). Fındık ağaçlarının daha fazla güneş ışığına maruz kalması, stomal yoğunluğun ve klorofil içeriğinin artmasına ek olarak palisade dokusunda kalınlaşmaya neden olmaktadır. Bu durum, fotosentezi artırarak bitkinin gelişimi üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. Ancak, yeterli sıcaklık ve güneş ışığının eksikliği, fotosentez kapasitesinin azalmasına ve dolayısıyla meyve büyümesinin kısıtlanmasına neden olmaktadır.

Çalışmamız kapsamında fındık üretimi, Doğu Karadeniz Havzası'nda yer alan Rize/Pazar istasyonunda belirlenmiştir (Ek Tablo 13). 1991-2022 yılları arasındaki verilere göre, toplam üretim miktarı 18,8 ton, ortalama verim ise meyve veren ağaç başına 2,2 kg olarak hesaplanmıştır. En düşük üretim değeri 2004 yılında 2 ton olarak kaydedilirken, en yüksek üretim değeri 1993 yılında 109 ton olarak tespit edilmiştir (Şekil 21).

Verim açısından değerlendirildiğinde, en düşük değer 2004 yılında meyve veren ağaç başına 0,27 kg, en yüksek verim ise 1993 yılında 9 kg olarak belirlenmiştir (Şekil 22). Veriler incelendiğinde, üretimin arttığı yıllarda verimde de artış mevcut iken, üretimin azaldığı yıllarda verimin de düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum, üretim ve verim arasındaki doğrudan ilişkiyi ortaya koymaktadır.

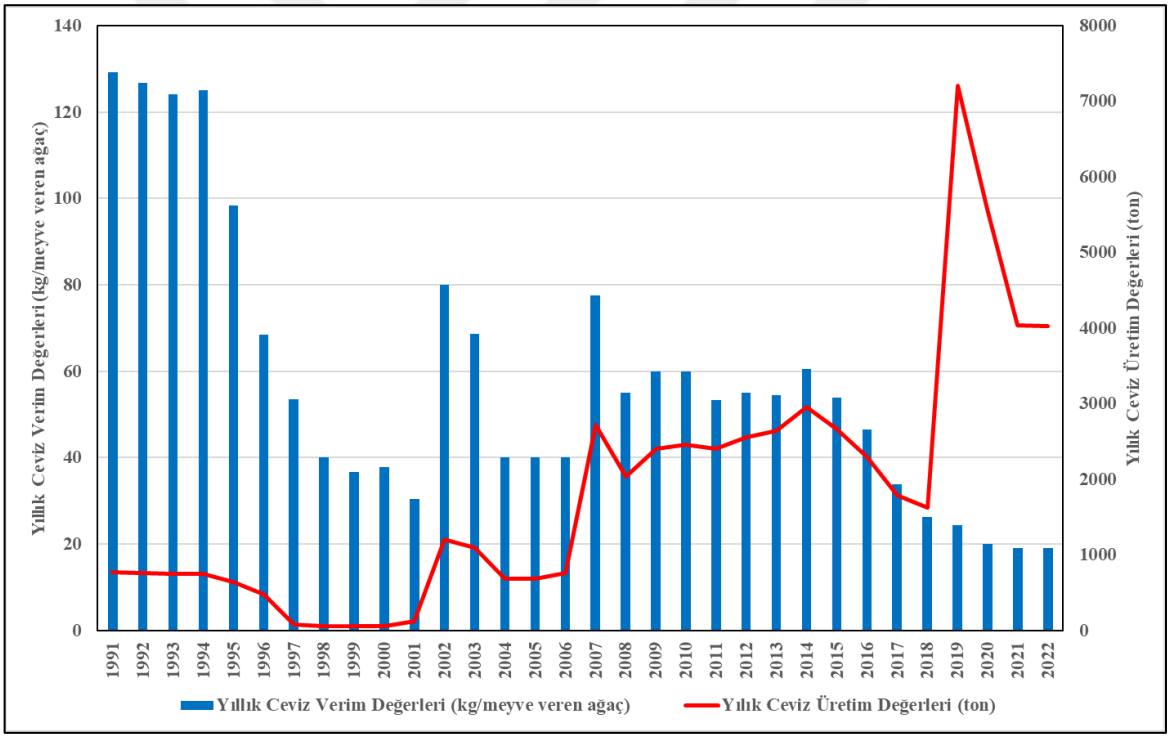


Şekil 22. Fındık tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ceviz: Ceviz ağaçları, minimum sıcaklığın -45 ile 4 °C arasında olduğu bölgelerde yetişme yeteneğine sahiptir. Sıcaklık ve yağış koşulları, ceviz ağaçlarının gelişimi ve üretim potansiyeli üzerinde doğrudan etkilidir. Yıllık 500-1000 mm arasında değişen yağış miktarı, ceviz ağaçlarının taban alanını artırırken, 1000 mm'nin üzerindeki yağış miktarları taban alanında azalmaya neden olabilmektedir. Ceviz meyvesinin gelişimi özellikle yaz aylarında başlamaktadır. Çiçeklerin döllenmesiyle birlikte meyve tutumu gerçekleşmekte, bu süreçte su ihtiyacı artmakta ve kuraklık koşulları meyve gelişimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Browne, vd., 2011). Temmuz ve Ağustos aylarında meyve olgunlaşma süreci devam etmekte olup, bu dönemde sıcak hava koşulları meyve kalitesini artırıcı bir etkiye sahip olabilir. Ancak, aşırı sıcaklık ve kuraklık, meyve büyümesini sınırlayarak verim kaybına yol açabilmektedir (Manthos, 2023). Ceviz ağaçlarının sağlıklı gelişimi için yüksek nem ve düzenli yağış gereklidir. Özellikle yaz aylarında meydana gelen kuraklık, ceviz üretimini olumsuz etkileyerek verim düşüşüne neden olabilmektedir (Ebrahimi, vd., 2022). Bu nedenle, ceviz yetiştiriciliğinde su yönetimi ve iklim koşullarına uygun tarımsal uygulamalar büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, ceviz üretimi Zap-Şemdinli Havzası'nda yer alan Hakkâri istasyonunda incelenmiştir (Ek Tablo 14). 1991-2022 yılları arasındaki verilere göre toplam üretim miktarı 1,822 ton, ortalama verim ise ağaç başına 58 kg olarak belirlenmiştir. İncelenen dönemde en düşük üretim miktarı 1998 yılında 52 ton olarak kaydedilirken, en yüksek üretim değeri 2019 yılında 7,205 ton olarak tespit edilmiştir (Şekil 23). Verim açısından değerlendirildiğinde, en düşük değer 2021 ve 2022 yıllarında 19 kg/meyve veren ağaç olarak belirlenirken, en yüksek verim değeri 1991 yılında 129 kg/meyve veren ağaç şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 23). Elde edilen veriler, üretim miktarının yıllara bağlı olarak önemli dalgalanmalar gösterdiğini ortaya koymakta olup, iklimsel ve çevresel faktörlerin ceviz yetiştiriciliği üzerindeki etkisini vurgulamaktadır.



Şekil 23. Ceviz tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

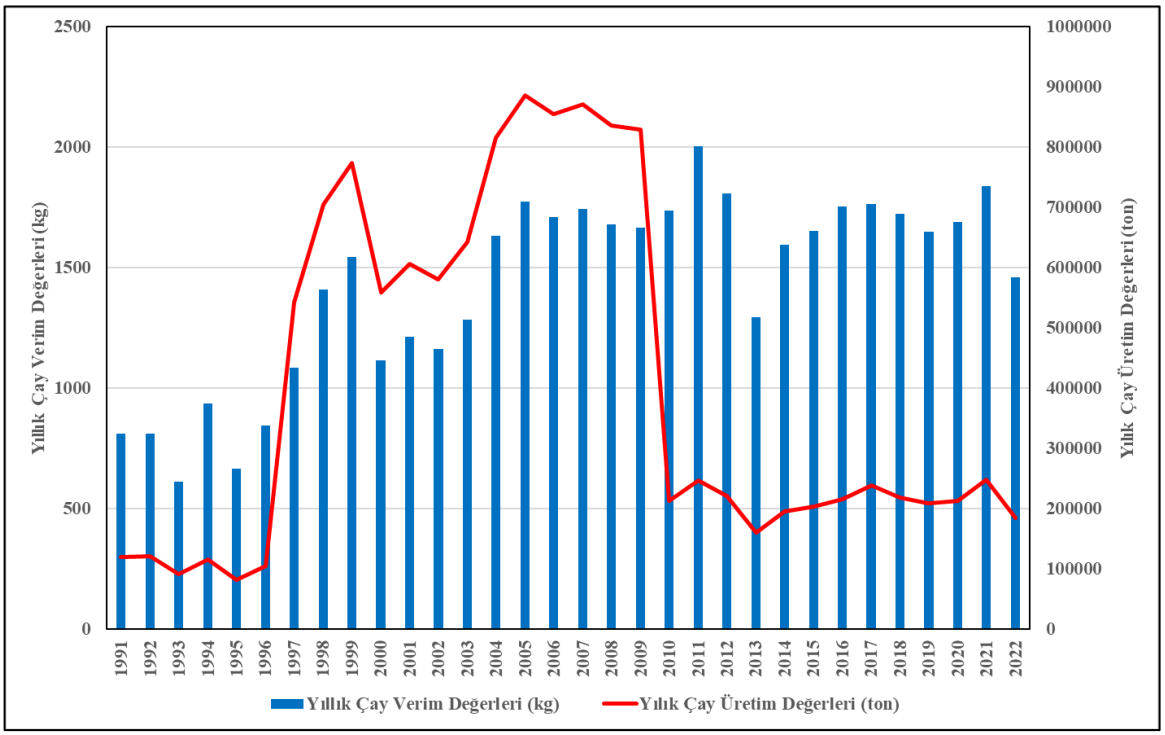
Çay: Çay bitkisi, optimal büyümesini 10-30 °C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirmekte olup, özellikle büyüme döneminde 20-25 °C arasındaki sıcaklık değerleri ideal kabul edilmektedir (Demir ve Bostan, 2021). Ancak, çay bitkisi soğuk hava koşullarına

karşı hassas olup, -5 °C'nin altındaki sıcaklıklar bitkiye zarar verebilmektedir. Bununla birlikte, çay tarımı için yıllık yağış miktarının 1,200-2,500 mm arasında olması gerekmektedir. Yaz aylarında meydana gelen kuraklık, bitkinin su stresine maruz kalmasına yol açarak üretimi olumsuz yönde etkilemekte ve verim kaybına neden olabilmektedir (Demir ve Bostan, 2021). Ilıman iklim bölgelerinde çay bitkisi, genellikle erken ilkbahar aylarında (Mart-Mayıs) yeni sürgünlerin ve yaprakların ortaya çıkmasıyla aktif büyüme dönemine girmektedir. Bu süreçte, genç yaprakların sağlıklı bir şekilde gelişimi için yeterli nem seviyesi kritik önem taşımaktadır. Kuraklık koşulları, bitkinin hayatta kalma mekanizmalarını önceliklendirmesine neden olarak yaprak genişlemesini azaltmakta ve verimde düşüşlere yol açmaktadır. Bunun sonucunda, yaprak solgunluğu ve yaprak dökülmesi gibi olumsuz etkiler meydana gelebilmektedir (Ahmed, vd., 2014a).

Haziran-Ağustos ayları arasında çay bitkisi en yüksek büyüme dönemine ulaşmaktadır. Bu süreçte, bitkinin metabolit birikimi hem fizyolojik sağlığı hem de üretilen çayın kalite özellikleri açısından kritik bir rol oynamaktadır. Kuraklık stresi, çayın aroma ve sağlık yararları açısından önemli olan toplam fenolik bileşenlerin ve kateşin seviyelerinin azalmasına neden olabilmektedir. Araştırmalar, kuraklığın çay yapraklarının miktarı ve kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yarattığını ortaya koymaktadır (Ahmed, vd., 2014a). Ayrıca, yüksek sıcaklık ve azalan toprak nemi, bitkide fizyolojik değişimlere neden olarak stres seviyesini artırmakta ve genel bitki sağlığını olumsuz etkilemektedir (Zhou, vd., 2014). Sonbahar aylarında (Eylül-Kasım) çay bitkisi yaprak olgunlaşma sürecine girmektedir. Bu dönemde bitkinin su stresine verdiği yanıt, ikincil metabolitlerin birikimini etkileyerek hem bitkinin savunma mekanizmalarını hem de üretilen çayın kalitesini belirleyici bir faktör haline gelmektedir. Kuraklık koşulları bazı koruyucu bileşiklerin artışına neden olsa da, aşırı su stresi yaprak kalitesinde düşüşe ve bitkinin zararlılara ile hastalıklara karşı daha duyarlı hale gelmesine yol açabilmektedir (Zhou, vd., 2014). Bu bağlamda, çay bitkisinin optimal büyümesi ve yüksek kaliteye sahip yaprak üretimi için uygun sıcaklık ve nem koşullarının sağlanması büyük önem taşımakta olup, özellikle kuraklık stresini minimize eden su yönetimi stratejilerinin uygulanması gerekliliği vurgulanmaktadır.

Çalışmamızda, çay üretimi Doğu Karadeniz Havzası'nda yer alan Rize istasyonunda belirlenmiştir (Ek Tablo 15). 1991-2022 yılları arasında toplam üretim değeri 403,337 ton olarak hesaplanmış, ortalama verim değeri ise 1,427 kg olarak belirlenmiştir. En düşük

üretim değeri 1995 yılında 82,241 ton iken, en yüksek üretim değeri ise 2005 yılında 886,456 ton olarak kaydedilmiştir (Şekil 24). Verim açısından, en düşük değer 1993 yılında 613 kg olarak ölçülürken, en yüksek verim 2011 yılında 2,004 kg olarak gerçekleşmiştir (Şekil 24).



Şekil 24. Çay tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

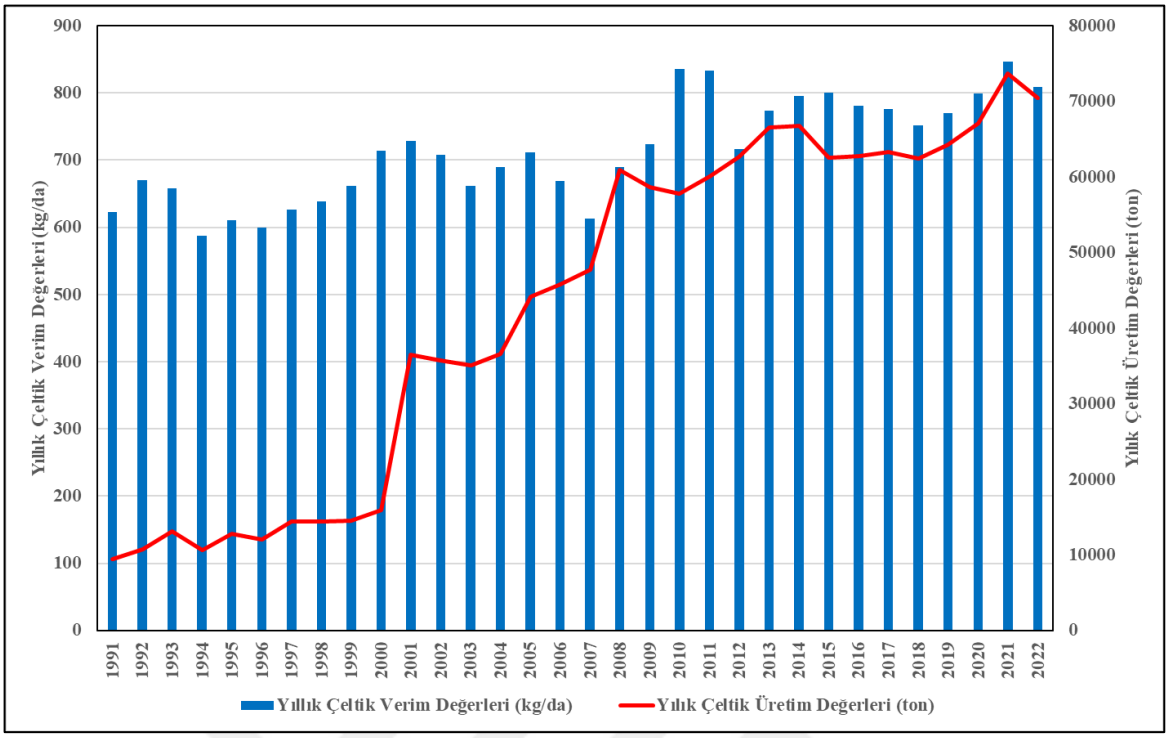
Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Çeltik: Dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen bir bitki olup, tipik olarak muson ikliminde gelişir. Özellikle Asya'nın güneydoğusunda, çeltik üretimi büyük ölçüde muson yağmurlarına bağlıdır (Singh, vd., 2017). Türkiye'de ise çeltik, sulamanın yaygın olduğu alanlarda devlet kontrolünde yetiştirilmektedir. Çeltik bitkisi, büyüme dönemlerinde 25-35 °C arasında sıcaklıklara ihtiyaç duyar (Rahman, vd., 2022). Düşük sıcaklıklar, çeltik bitkisinin büyümesini yavaşlatabilir ve verim kaybına yol açabilir. Bunun yanı sıra, çeltik bitkisi yüksek nem oranlarına da ihtiyaç duyar, bu nedenle sulama sistemlerinin kullanımı genellikle gereklidir (Shahid, 2010). Özellikle büyüme döneminde bitkinin su ihtiyacı arttığından, kuraklık koşulları çeltik bitkisi üzerinde ciddi olumsuz etkilere yol açabilir. Kuraklık, bitkinin su alımını kısıtlayarak büyüme ve gelişim süreçlerini olumsuz etkiler, bu

da özellikle sulama yapılmayan alanlarda çeltik veriminde önemli düşüşlere neden olabilir (Rahman, vd., 2022).

Çeltik, genellikle Mart sonu veya Nisan başında ekilmektedir. Bu dönemde toprak sıcaklıklarının 15 °C'nin üzerine çıkması, çimlenme için ideal koşulları oluşturur. Yeterli su temini, tohumların çimlenmesi ve genç bitkilerin sağlıklı bir şekilde gelişmesi için kritik öneme sahiptir (Taşlıgil ve Şahin, 2011). Haziran ve Temmuz aylarında çeltik bitkisi hızla büyür ve yaprak sayısı artar. Bu dönemde bitkinin su ihtiyacı daha da artar; bu nedenle sulama uygulamaları önem kazanır. Temmuz ve Ağustos aylarında ise çiçeklenme süreci başlar ve bu dönemdeki su stresi, polen dökülmesine neden olabilir, bu da verim kaybına yol açar. Bu aşamada sulama ve su yönetimi kritik bir rol oynamaktadır (Taşlıgil ve Şahin, 2011). Eylül ve Ekim aylarında çeltik bitkisi olgunlaşır ve hasat edilir. Yeterli su temini, dane dolumunu etkileyerek hasat kalitesini artırırken, kuraklık dane dolumunu olumsuz etkileyerek verim kaybına neden olabilir.

Çalışmamızda, çeltik üretimi Marmara Havzası'nda yer alan Balıkesir/Gönen istasyonunda incelenmiştir (Ek Tablo 16). 1991-2022 yılları arasında toplam üretim değeri 42,790 ton olarak belirlenmiş olup, ortalama verim değeri ise 715 kg olarak hesaplanmıştır. İlgili dönemdeki en düşük üretim değeri 1991 yılında 9,392 ton, en yüksek üretim değeri ise 2021 yılında 73,673 ton olarak kaydedilmiştir (Şekil 25). Verim açısından en düşük değer 1994 yılında 588 kg, en yüksek verim ise 2021 yılında 847 kg olarak belirlenmiştir (Şekil 25).



Şekil 25. Çeltik tarımı yapılan istasyonlara ait ortalama üretim ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

4.2. Yöntem

4.2.1. Kuraklık Analizleri

Standart Yağış İndisi (SPI)

SPI, belirli bir zaman periyodundaki yağış olasılığına bağlı olarak hesaplanan ve istatistiksel olarak ilişkilendirilen bir indis olarak kabul edilir (Mlenga, vd., 2019) (4.1). İndeksin sıfırın altına düştüğü ilk dönem kuraklığın başlangıcı olarak kabul edilip, indisin pozitif değere yükseldiği ay kuraklığın bitişi olarak kabul edilmektedir (McKee, vd., 1993). SPI'nın klasik yaklaşımında yağış toplamlarının kümülatif dağılım fonksiyonu uygun frekans dağılımına uydurulur (McKee, vd., 1993). SPI'da yağış sayısal ölçümlere dayalı olarak normalleştirilmiş ortak birimlere dönüştürülmektedir (Türkeş ve Tatlı, 2009e; Badji, vd., 2023). Standart sapma sayısı, uzun vadeli ortalamaya ait standart ölçümlerin saptığı yeri ifade eder (Mlenga, vd., 2019). Sonuç olarak SPI yağışın normal, log-normal ve gamma dağılımlarına uygun olarak kullanılabilir (Zeybekoglu, vd., 2023). Bu çalışmada kuraklık

analizleri R-Studio paket programı ile hesaplanmıştır ve yağışın belirli bir periyotta, yoğunluk fonksiyonunun aşağıdaki gamma dağılımına uyduğu varsayılır (4.1):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{a-1} e^{-x/\beta} x > 0 \quad (4.1)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1}\, e^{-x} dx \quad (4.2)$$

Denklemdeki α, β şekil ve ölçek parametreleri maksimum komşuluk yöntemi ile tahmin edilir. Bir yıldaki yağış miktarı x_0 ise rastgele x değişkeninin x_0'dan küçük olma olasılığı (4.2) (4.3):

$$P(x < x_0) = \int_0^{\alpha} f(x) dx \quad (4.3)$$

Yağış 0 olduğunda (4):

$$P(x = 0) = m/n \quad (4.4)$$

Denklemde m yağışsız örnek sayısı iken n toplam örnek sayısını ifade etmektedir. Normal dağılım (4.5):

$$P(x < x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\alpha} e^{-z2/2} dx \quad (4.5)$$

Kümülatif olasılık $P(x) \leq 0.5$ olduğunda (4.6) (4.7):

$$t = \sqrt{\ln[P(x)^2]^{-1}} \quad (4.6)$$

$$SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad (4.7)$$

Kümülatif olasılık $P(x)$ >0.5 olduğunda (4.8):

$$t = \sqrt{ln[1 - P(x)^2]^{-1}} \quad (4.8)$$

$$SPI = t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \quad (4.9)$$

Burada denklemdeki c_0 = 2,515517, c_1 = 0,802853, c_2 = 0,010328, d_1 = 1,432788, d_2 = 0,189269 ve d_3= 0,001308 denklem boyunca sabittir (4.9) (Lim Kam Sian, vd., 2023).

SPI çalışılan bir zaman dilimi için yağış toplamının o zaman diliminin uzun yıllar ortalamasından farkının yine o zaman diliminin uzun yıllar verisinden elde edilmiş olan ortalamasıdır.

$$SPI = \frac{(X_i - X_{ort})}{\sigma} \quad (4.10)$$

Burada X_i zaman dilimi içerisindeki yağış toplamını, $\bar{X}$çalışılan zaman dilimi içerisindeki yağış toplamlarının uzun yıllar ortalamasını ve σ ilgili zaman diliminin uzun yıllar standart sapmasını temsil eder (4.10) (Tatlı, vd., 2004a; Tatlı ve Türkeş, 2008b; Özelkan ve Karaman, 2018c). Elde edilen SPI değerleri, farklı periyotlar için (1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 ay gibi) hesaplanabilir ve bu değerler Tablo 2'de verilen sınıflandırmaya tabi tutulabilir.

Tarımsal Standart Yağış İndisi (aSPI)

Tarımsal kuraklığın özellikleri, incelenen alandaki bitki örtüsünün gelişimini etkileyen çevresel koşullara odaklanmaktadır (Tigkas, vd., 2022c). Kuraklığın etkileri incelenen bitki türleri, suya duyarlı büyüme evreleri ve suyun mevcudiyeti gibi faktörlere bağlı değişkenlik gösterebilir (Amongnehegn, vd., 2023). Bu nedenle, tarımsal kuraklığın analizi, incelenen sistemin özelliklerine uygun şekilde uyarlanabilen yöntem ve araçlara dayanmalıdır. Tarımsal kuraklık indisleri alanındaki gelişmelere rağmen, toprak nemi ve evapotranspirasyon gibi bitki gelişimini doğrudan etkileyen önemli unsurların çoğu zaman göz ardı edilmesine karşın, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) (McKee, vd., 1993), tarımsal kuraklığın belirlenmesinde yaygın şekilde kullanılan temel bir yöntem olmaya

devam etmektedir. Bunun başlıca sebebi, operasyonel uygulamalar açısından gerekli uzun vadeli zaman serilerine veya zamanında sağlanan verilere erişimin sınırlı olduğu pek çok bölge için pratik bir çözüm sunmasıdır. SPI, yalnızca yağış verilerine dayanması, basit hesaplama yapısı ve minimal veri gereksinimi sayesinde geniş ölçekte uygulanabilirliğe sahiptir. Bununla birlikte, Tarımsal Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (aSPI) (Tigkas, vd., 2019b), etkili yağışın tahmini için en uygun yöntemi sunan, geliştirilmiş bir indis olarak önerilmektedir.

aSPI, etkili yağış zaman serisinin uygun bir istatistiksel dağılıma uyarlanması ve ardından normal dağılıma dönüştürülmesi yoluyla, SPI ile benzer bir standardizasyon yaklaşımını benimsemektedir (Tigkas, vd., 2022c). Son yıllarda, kuraklığın karakterizasyonu ve analizi amacıyla çeşitli kuraklık indisleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, bitkiler tarafından etkin şekilde kullanılabilecek su miktarını daha doğru bir şekilde temsil etmek amacıyla, toplam yağışın etkili yağış ile değiştirilmesine dayanan ve SPI'nın geliştirilmiş bir versiyonu olan aSPI önerilmektedir. Söz konusu indis, tarımsal kuraklığın daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamakta olup, özellikle yağmurla beslenen tarımsal sistemlerde kuraklığın şiddetini bitki örtüsü üzerindeki etkileriyle başarılı bir şekilde ilişkilendirmektedir (Amongnehegn, vd., 2023). aSPI indisinin, bitkilerin fenolojik dönemlerindeki kritik su ihtiyacı dönemlerine göre hesaplanması, tarımsal kuraklığın bitkisel verim üzerindeki etkisini daha doğru ve belirgin şekilde yansıtmasını sağlamaktadır (Amongnehegn, vd., 2023). Bu çalışmada kuraklık analizleri DrinC yazılımı ile hesaplanmıştır. DrinC çevrimiçi olarak ücretsiz kullanılabilen bağımsız bir yazılımdır. Gamma dağılımı kullanılırsa, olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır (4.11):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha} T(\alpha)} X^{\alpha - le^{-x/\beta}} \tag{4.11}$$

Formüldeki α biçim parametresi ($\alpha > 0$), β ise bir ölçek parametresini ifade etmektedir ($\beta > 0$). x, etkili yağış değerini ifade eder ($x > 0$) ve $I(\alpha)$ gamma fonksiyonu olup aşağıdaki gibidir (4.12):

$$\int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \tag{4.12}$$

Parametreler α ve β, aşağıdaki formülasyon ile tahmin edilmektedir (4.13):

$$\alpha = 1 + \sqrt{1 + \frac{\frac{4A}{3}}{4A}}\beta = \frac{X^-}{\alpha} \tag{4.13}$$

Burada $A = Ln(x^- - \sum \frac{\ln(x)}{n}$ şeklinde tanımlanmaktadır. N gözlem sayısını ifade etmektedir. Bir yağış olayının kümülatif olasılığı $G(x)$ şeklinde tanımlanmaktadır (4.14):

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{\int_0^x x^{a-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx}{\beta^{\alpha} T(\alpha)} \tag{4.14}$$

$t = x/\beta$ olarak tanımlandığında, denklem (4.15) eksik gamma fonksiyonuna dönüşmektedir:

$$G(x) = \int_0^x \frac{t^{\alpha-1} e^{-t} dt}{T(\alpha)} \tag{4.15}$$

Gamma dağılımının $x = 0$ için tanımlanmadığı göz önüne alındığında, sıfır etkili yağışın (q) kümülatif olasılığını hesaba katmak için aşağıdaki formülasyon kullanılmaktadır (4.16):

$$H(x) = q + 1(1 - q)G(x) \tag{4.16}$$

aSPI'nın hesaplanması için, kümülatif olasılık dağılımı aşağıdaki yaklaşım kullanılarak normal dağılıma dönüştürülür (4.17a):

$$aSPI = -\left(t - \frac{c + c1t + c2t^2}{1 + d1t + d2t^2 + d3t^3}\right), 0 < H(x) < 0{,}5 \quad için\ t = \sqrt{In(1/H(x)^2}$$

(4.17a)

$$SPI = -\left(t - \frac{c+c1t+c2t^2}{1+d1t+d2t^2+d3t^3}\right), 0{,}5 < H(x) < 1{,}0 \quad için\ t = \sqrt{In(1/(1-H(x)^2}$$

(4.17b)

Burada denklemdeki $C0$ = 2,515517, $C1$ = 0,802853, c_2 = 0,010328, $d1$ = 1,432788, $d2$ = 0,189269 ve $d3$= 0,001308 denklem boyunca sabittir (4.17b) (Lim Kam Sian, vd., 2023). Yapılan analizlerin değerlendirilmesi için kullanılan değer aralıklarının sınıflandırılması Tablo 3 'teki gibidir.

Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)

SPEI bitki evapotranspirasyonu ve meteorolojik kuraklığı dikkate alarak tarımsal kuraklık şiddetinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. SPI hesaplama temeline dayanmakta olup potansiyel evapotranspirasyon (PET) ile yağış (P) arasındaki fark (D) olarak ifade edilmektedir (4.18). Bu fark (D) analiz edilmiş olan ay (i) için su fazlası veya eksikliğini oluşturmaktadır (Bakanoğulları, 2020; Badji, vd., 2023).

$$\mathrm{D}_i = P_i - PET_i \tag{4.18}$$

SPEI hesaplamasında SPI analizinden farklı olarak yağış ve PET arasındaki (D) fark su açığı olarak hesaplanmaktadır. Biriken yağış olasılıklara dönüştürüldükten sonra bu olasılıklar kuraklık indis değerlerini oluşturup standart dağılıma dönüştürülmektedir. Bu şekilde SPEI değerleri belirli bir yer ve yıl için toplam yağıştan veya iklimsel su açığından standart sapmaların sayısını temsil etmektedir (Stagge, vd., 2015). Yapılan analizlerin değerlendirilmesi için kullanılan değer aralıklarının sınıflandırılması Tablo 2 'deki gibidir.

Keşif Kuraklık İndisi (RDI)

Kuraklık analizlerinde son dönemde yaygın olarak kullanılan indislerden biri olan RDI (Keşif Kuraklık İndisi), SPEI gibi PET 'in hesaplanması için avantajlıdır. SPI, SPEI gibi indisler yağış ve sıcaklık unsurlarına bağlı olarak hesaplanır ve PET değerleri ile tarımsal verimliliğin değerlendirilmesinde önemlidir (Tsakiris, vd., 2007c). RDI, yeni bir

kuraklık analizi yöntemi olarak MEDROPLAN koordinasyon toplantısında sunulmuş ve diğer yayınlarda daha detaylı bir şekilde açıklanmıştır (Tsakiris, 2004a; Tsakiris ve Vangelis, 2005b).

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}, = 1\ (1)\ \text{N ve} j = 1(1)12 \tag{4.19}$$

Formüldeki P_{ij} ve PET_{ij}, genellikle yağışın başladığı aydan i. yılın j. ayına kadar olan yağış ve potansiyel buharlaşmayı temsil eder, N ise mevcut verilerin toplam yıl sayısını gösterir (4.19) (Tsakiris, vd., 2007c; Zarei, vd, 2021).

Normalleştirilmiş RDI $(RDI)_n$ ise her yıl için aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır; burada $a_0$parametresi, N yıllık veri için hesaplanan $\bar{a}_o$değerlerinin aritmetik ortalamasını ifade eder (4.20) (Tsakiris ve Vangelis, 2005b; Tsakiris, vd., 2007c).

$$RDI\ {}_n^{(i)} = \frac{a_o^{(i)}}{\bar{a}_o} - 1 \tag{4.20}$$

Üçüncü ifade olan Standartlaştırılmış RDI (RDI_{st}), SPI'nin hesaplanmasında kullanılan bir formülle benzer bir şekilde hesaplanır. Standartlaştırılmış RDI için ifade aşağıdaki gibidir:

$$RDI_{st} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (a_0^{(i)} - \overline{a_0})}{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (a_0^{(i)} - \overline{a_0})^2}} \tag{4.21}$$

Bu formülde RDI_{st}, standartlaştırılmış RDI'yi; N, toplam yıl sayısını; $a_0^{(i)} i$. yılın a_0 parametresini; $\overline{a_0}$, N yıllık veri için hesaplanan $a_0$parametresinin aritmetik ortalamasını temsil etmektedir (4.21) (Tsakiris, vd., 2007c). Standartlaştırılmış RDI, her bir yılın a_0 parametresinin ortalama değerlere göre standart sapmalarını içerir ve bu sayede kuraklık analizinde standartlaştırılmış bir ölçüm sağlar. Bu indis, meteorolojik kuraklık durumlarını

karşılaştırmak ve yorumlamak için kullanılır (Zarei, vd., 2021). Yapılan analizlerin değerlendirilmesi için kullanılan değer aralıklarının sınıflandırılması Tablo 3 'teki gibidir.

Tablo 3
Kuraklık indisleri için belirlenen kuraklık sınıfları.

SPI, SPEI, RDI ve aSPI	Kuraklık Sınıfları
≥2,0	Aşırı Nemli
1,50 ile 1,99	Şiddetli Nemli
1,00 ile 1,49	Orta Derece Nemli
0,99 ile -0,99	Normal
-1,00 ile -1,49	Orta Derece Kurak
-1,50 ile -1,99	Şiddetli Kurak
≤-2,00	Aşırı Kurak

4.2.2. İklim Verilerinin Mekânsal Enterpolasyonu

Mekânsal enterpolasyon yöntemleri, ölçülen değerlerin mevcut olmadığı yerlerdeki değerlerin tahmin edilmesinde kullanılan matematiksel tekniklerdir (Lanza, vd., 2001; Tveito, vd., 2008; Di Piazza, vd., 2011; Borges, vd., 2016). Bu yöntemler, deterministik ve jeoistatistiksel olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Deterministik yöntemler (örneğin IDW, En Yakın Komşu, Doğrusal Regresyon vb.), örneklenmemiş noktaların değerlerini hesaplamak için ölçülen noktalardan yüzeyler oluşturur ve bu yüzeylerin benzerlik derecesine dayanır (Matthews, 2002). Bu yöntemler, olasılık teorisini kullanmaz. Jeoistatistiksel enterpolasyon teknikleri (örneğin Ordinary Kriging, Simple Kriging, Universal Kriging vb.) ise ölçülen noktaların istatistiksel özelliklerini kullanarak, bu noktalar arasındaki mekânsal otokorelasyonu nicelendirir ve tahmin yapılacak noktanın çevresindeki örnek noktaların mekânsal düzenini dikkate alır (Matthews, 2002; Borges, vd., 2016). Klimatolojik verilerin enterpolasyonu için mekânsal enterpolasyon yöntemlerinin seçimi, mekânsal desenin oluşturulmasında dikkate alınması gereken çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler arasında çalışmanın amacı, belirlenen zaman ölçeği, mekânsal çözünürlük, istasyon ağının yoğunluğu ve topografik karmaşıklık yer almaktadır (Hofstra, vd., 2008; Frazier, vd., 2016; Borges, vd., 2016). Zamansal ölçek, özellikle yıllık ortalamalarda önemli değişkenlikler gösterebildiğinden, mekânsal değişim özellikle yağış için değişkenlik gösterir

(Frazier, vd., 2016). Ayrıca, tahminlerdeki belirsizlik, zamansal entegrasyon ve istasyon sayısının azalmasıyla belirgin bir şekilde artmaktadır (Frazier, vd., 2016).

Kriging yöntemleri arasında en yaygın kullanılan yöntem, Ordinary Kriging'dir (Wang, vd., 2014). Bu yöntemde, ortalamanın sabit olduğu ancak bilinmediği varsayımıyla mekânsal bileşenlere odaklanılır ve tahmin edilen değerlerin hesaplanmasında yalnızca yerel komşuluk içindeki örnekleme noktaları kullanılır (Wang, vd., 2014; Hadi ve Tombul, 2018). Ordinary Kriging yönteminde, ağırlık değerinin belirlenmesi için kullanılan denklem, IDW (Inverse Distance Weighting) denklemiyle aynıdır (Hadi ve Tombul, 2018). Ancak, IDW yönteminden farklı olarak, variogram modeline dayalı ağırlık hesaplamaları arasında farklar bulunmaktadır (Borges, vd., 2016; Hadi ve Tombul, 2018). Aşağıdaki denklemde hesaplanan ağırlık değeri, tüm Kriging yöntemlerinde toplamda 1'e eşit olacak şekilde normalize edilir. Ağırlıklar, $\lambda_i : i$=1,…,N gibi tek tip tarafsız koşullar altında şu şekilde hesaplanır (4.22) (Borges, vd., Hadi ve Tombul, 2018).

$$E\left(\hat{Z}(s_0)\right) = E\left(Z(s_0)\right) \qquad \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1 \tag{4.22}$$

$\sigma(s_0)$ tahmin hatası varyansının minimizasyonu kısıtlaması altında,$\sigma(s_0) = E(Z((s_0) - \widehat{Z}(s_0))^2$ şeklindedir (Li ve Heap, 2008; Hadi ve Tombul, 2018).

İklimsel verilerin mekânsal enterpolasyonunda kullanılan bir diğer enterpolasyon yöntemi olarak Tension Spline yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem interpolasyon eğrisinin şekli ve davranışı üzerinde daha fazla kontrol imkânı sağlayan bir gerilim parametresi ekleyerek geleneksel spline interpolasyonundan geliştirilen sofistike bir yöntemdir. Bu teknik, kübik spline enterpolasyonunda yaygın olarak karşılaşılan istenmeyen bükülme noktalarını gidermek amacıyla ilk olarak Schweikert (1966) tarafından geliştirilmiştir. Kullanıcılar, gerilim parametresini ayarlayarak enterpolasyon eğrisinin uzunluğunu kontrol edebilir ve böylece elde edilen fonksiyonda oluşabilecek istenmeyen salınım ve tümsekleri en aza indirebilirler (Bouhamidi, 2007). Gerilim spline'ları, dağınık veri noktalarının etkili bir şekilde yaklaştırılmasına ve enterpolasyonuna olanak tanıyan radyal tabanlı fonksiyonlar sınıfına aittir (Benbourhim ve Bouhamidi, 2008). Gerilim parametrelerinin eklenmesi, enterpolasyon sırasında oluşabilecek salınımları ve eğrinin sapma ile kıvrılma miktarını

kontrol etmeye imkân tanıyarak bu yöntemi çeşitli bilimsel ve mühendislik uygulamaları için uygun hale getirir (Benbourhim ve Bouhamidi, 2008). Ayrıca, gerilim spline'ları şekil koruma özelliklerine sahiptir, bu da orijinal veri yapısının bozulmamasını gerektiren uygulamalar açısından büyük önem taşımaktadır (Farouki, vd., 2014). İnterpolasyon yöntemindeki hesaplamalarda en önemli koşul fonksiyonun tamamı boyunca $f^4 - \tau^2 f^{"} = 0$ olduğu gerilim koşuldur (Boulila, vd., 2021). Çünkü $\tau = 0$ olduğunda bu koşul tüm kübik fonksiyonların sağlayacağı $f^4 = 0$'dır. $f^{"}(x_i) = z_1$ olarak ayarlanır ve $[t_i, t_{i+1}]$ aralığı için formülü elde etmek üzere gerilim koşulunun uygulamasını sağlar (4.23):

$$f(x) = \{z_i \sinh(\tau(t_{i+1} - x)) + z_{i+1}\sinh(\tau(x - t_{i)})\}/(\tau^2 \sinh(\tau h_i)) + (y_i - z_i/\tau^2)(t_{i+1} - x)/h_i + (y_{i+1} - z_{i+1}/\tau^2)(x - t_i)/h_i \quad (4.23)$$

Bu formülü enterpolasyon aralığımızın tamamız için uyguladığımızda tension spline'ı elde ederiz. Ancak öncelikle $z_0, z_1, \ldots\ldots, z_n$ değerlerinin çözülmesi gereklidir (Boulila, vd., 2021). n+1 bilinmeyene karşılık n-1 koşul olması gerekir. Kübik spline'larda kullanılan türev koşulu kullanılır (4.24):

$$f_i'(x_{i+1}) = f_{i+1}'(x_{i+1}) \quad (4.24)$$

Burada n-1 koşulu bulunur. Son iki koşulu doğal kübik spline ile aynı biçimde $S_0'' = S_n'' = 0$ olarak ayarlanarak elde edilir (Boulila, vd., 2021). Bu durum denklemin çözülmesini sağlayan toplam n+1 koşulu için iki koşulu sağlamaktadır.

Çalışmamızda, iklimsel verilerin ve kuraklık indislerinin haritalanmasında Ordinary Kriging yöntemi, meteorolojik kuraklıklar ile verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin haritalanmasında ise Tension Spline enterpolasyon yöntemi tercih edilmiştir.

4.3. Analiz

4.3.1. Pearson Korelasyon Analizi

Pearson korelasyonu, resmi olarak Pearson'ın momentler çarpımı korelasyon katsayısı (PCC) olarak bilinir ve iki sürekli değişken arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü ölçen istatistiksel bir göstergedir (Liu, 2019b; Adler ve Parmryd, 2010). Pearson korelasyon katsayısı (r)ile gösterilir ve -1 ile +1 arasında bir değere sahiptir (Liu, vd., 2018a). Burada +1 mükemmel pozitif doğrusal ilişkiyi, -1 mükemmel negatif doğrusal ilişkiyi ve 0 ise değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin bulunmadığını ifade eder (Adler ve Parmryd, 2010).

Pearson korelasyon katsayısının hesaplanması, iki değişkenin kovaryansının hesaplanması ve bu değerin, her iki değişkenin standart sapmalarının çarpımıyla normalize edilmesini içerir. Bu normalizasyon işlemi, katsayının boyutsuz olmasını sağlayarak, farklı veri kümeleri arasında karşılaştırılmasını ve yorumlanmasını kolaylaştırır (Shaharudin, vd., 2013). Pearson korelasyonu için formül şu şekilde verilir (4.25):

$$r_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x_\iota})(x_j-\overline{x_j})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x_\iota})^2 \sum_{j=1}^{n}(x_j-\overline{x_j})^2}} \quad (4.25)$$

Burada x_i ve x_j n gözlemli x matris verisindeki gözlem vektörlerini, $\overline{x_\iota}$ ve $\overline{x_j}$ ise vektörlerin ortalamasını ifade eder. Pearson korelasyon değerlerinin sınıflandırma aralıkları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4

Korelasyon ilişkisini değerlendirilmesi için kullanılan sınıf aralıkları.

Korelasyon Aralığı	İlişki Düzeyi
[(-0,25)-0,00 ve 0,00-0,25]	Çok Zayıf
[(-0,49) -(-0,26) ve 0,26-0,49]	Zayıf
[(-0,69) -(-0,50) ve 0,50-0,69]	Orta
[(-0,89) -(-0,70) ve 0,70-0,89]	Yüksek
[(-1,00) -(-0,90) ve 0,90-1,00]	Çok Yüksek

Kaynak: Ersöz ve Ersöz, 2022

4.3.2. Homojenlik Analizleri

Uzun süreli iklimsel verilerin çoğu bu verilerin zaman içerisinde meydana gelen iklimsel değişimini ifade etmeyen bir dizi faktörlerden etkilenmektedir (Karabörk, vd., 2007). Bu sebeple uzun süreli iklimsel verilerin homojenliği test edilmektedir. Bir serinin homojenliği, gösterge etrafındaki yerel ortamın zaman içerisinde değişmeden kalmasını gerektirir (Ahmed, vd., 2018b). İstatistiksel analizler bu sebeple sistematik değişiklikler veya homojen olmayan davranışları ortaya çıkarabilir. Birçok homojenlik testi olduğu gibi iklimsel çalışmalarda en fazla tercih edilen yöntemler Pettitt ve Standart normal homojenlik (SHNT) testleridir. Diğer testlere göre bu testler veri serilerinin ortalamasında bir değişikliği varsayarak kırılma yıllarını göstermektedir (Agha, vd., 2017). Nu testlerden çalışmada kullanılan homojenlik testi Pettitt testi olmuştur.

Pettitt Testi

Bu test, sürekli verilerde kırılma noktasını (ay veya yıl) ortaya koyabilen parametrik olmayan sıralama testidir (Pettitt, 1979). Bu testin sıfır hipotezi, verilerin bağımsız olduğunu ve rastgele dağılarak verilerin aynı dağılımı takip ettiği ifade eder (Ahmed, vd., 2018b). Test sonucunda bulunan Pettitt değeri α'dan küçük olduğunda sıfır hipotezi reddedilir; burada α, testin istatistiksel anlamlılık düzeyidir (Agha, vd., 2017). Test istatistiği aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır (4.26):

$$X_k = 2\sum_{i=1}^{k} r_i - k(n+1) \qquad k=1,\ldots\ldots,n \tag{4.26}$$

$r_1,\ldots,r_n$ ile $y_{1,\ldots,}y_n$ birlikte gruplanarak sıralanan serilerdir. X_k 'nın mutlak maksimum değeri değişim noktasını belirler. E yılında bir kırılma varsa eğer istatistiksel olarak maksimum ya da minimum k=E yılıdır (4.27) (Al-Lami, vd., 2014; Köyceğiz ve Büyükyıldız, 2018).

$$X_E = \max |X_k| \qquad 1 \leq k \leq n \tag{4.27}$$

Pettitt testi için kritik değerler belirlenir, X_E değeri belirlenen tablodaki kritik değeri aşmazsa H_0 hipotezi kabul edilir (Wijngaard, vd., 2003). Veri homojen olarak kabul edilir (Köyceğiz ve Büyükyıldız, 2018).

Bu çalışmada incelenen 24 hidrolojik havzaya ait tüm haritalar Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında oluşturulmuştur. İklimsel verilerin ve kuraklık indislerinin haritalanmasında Ordinary Kriging yöntemi, meteorolojik kuraklıklar ile verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin haritalanmasında ise Tension Spline enterpolasyon yöntemi tercih edilmiştir. Havzalarda kuraklık ve verim değerleri arasındaki ilişki, korelasyon ve regresyon analizi ile incelenmiş olup, korelasyon düzeyleri Tablo 3'te verilen değerlere göre belirlenmiştir. Kuraklık değerleri ile verim değerleri arasındaki korelasyonun istatistiksel anlamlılığı, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu test, gruplar arasındaki ortalama farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla uygulanmıştır (Judd, vd., 2012). Analiz sonuçlarına göre, kuraklık değerleri ile verim değerleri arasındaki korelasyonun istatistiksel anlamlılık düzeyi α <0,05 ve F (SF) = 0,00 olarak hesaplanmış olup, elde edilen ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Homojenlik testleri, α = 0,05 anlamlılık seviyesi ve %99 güven düzeyi esas alınarak uygulanmıştır. Bunun yanı sıra, yıllık ve aylık ortalama toplam yağış, ortalama maksimum, minimum ve ortalama hava sıcaklığı değerlerine Pettitt testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, tüm istasyonların yıllık ortalama yağış ve hava sıcaklığı değerleri açısından homojen olduğu belirlenmiştir.

BEŞİNCİ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, çalışmada incelenen 24 hidrolojik havzadaki kuraklık şiddetinin mekânsal ve zamansal değişimleri ile tarımsal üretim değerleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. İlk olarak havzalarda kuraklık şiddetinin mekânsal ve zamansal dağılışı ifade edilerek her indis türüne göre kuraklık şiddeti aralıkları belirtilmiştir. Daha sonra her indis türüne göre aşırı kurak değerlerin mevcut olduğu istasyon, ay ve yılların anlatımı yapılmıştır. İkinci kısımda ise havzalardaki buğday verim değerlerinin ve havzalarda en fazla üretimi yapılan tarım ürünlerinin kuraklık şiddeti ile verim ilişkisi değerlendirilmiştir. Hem buğday verimi hem de belirlenen ikinci bir tarımsal ürün için en yüksek ilişkiye sahip indis türü, kuraklık şiddetinin verimi etkilediği ay ve hangi istasyonda etkili olduğu anlatılmıştır.

5.1. Havza Bazlı Kuraklık Değerlendirmeleri

5.1.1. Meriç-Ergene Havzası

Meriç-Ergene Havzası, çalışma alanının kuzeybatısında yer almakta olup Marmara Havzası ile kesişmektedir. Jeomorfolojik açıdan, havzanın kuzeydoğusunda Yıldız Dağları, güneyinde ise Ganoslar ve Koru Dağları yer almaktadır (Tüzün, 2010). İklim özellikleri bakımından, bölge Karadeniz iklimi ile güneydeki Marmara geçiş iklimi arasında yer almakta olup karasal iklimin etkileri belirgin şekilde hissedilmektedir (Şensoy vd., 2008). Genel olarak, havza üzerinde Karadeniz'den gelen serin ve nemli hava kütleleri ile Ege Denizi üzerinden gelen ılık ve nemli rüzgarlar etkili olmaktadır. Bu rüzgarların taşıdığı nemli hava kütleleri, kuzeyde ve güneyde bulunan dağlık kütlelerin denize bakan yamaçlarında yoğun yağış bırakırken, iç kesimlerde kuru ve sıcak rüzgarların etkisiyle kuraklık şiddetlenmektedir (Tüzün, 2010). Dağlık kütlelerin havzaya bakan yamaçlarında kurak iklim koşulları daha belirgin hale gelmektedir.

Havzanın kuzey kesiminde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve sert geçerken, güney kesiminde Akdeniz ikliminin etkisiyle yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Çalışmaya dahil edilen meteoroloji istasyonları Edirne, Kırklareli, Uzunköprü, Lüleburgaz ve İpsala'da yer almaktadır. Havzada bulunan tüm istasyonlar, yarı kurak ve az nemli iklim özelliklerine sahiptir. 1991-2022 yılları arasındaki yağış verileri incelendiğinde, en yüksek

ortalama yıllık yağış miktarı 651 mm ile Uzunköprü istasyonunda, en düşük ortalama yıllık yağış miktarı ise 573 mm ile İpsala İstasyonundadır. Bu istasyonlara ait yağış ve sıcaklık verileri doğrultusunda SPI, SPEI, RDI ve aSPI kuraklık indisleri 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar halinde değerlendirilmiş olup, bu analizler sonucunda en yüksek kuraklık değerine sahip dönemler belirlenmiştir.

Çalışma alanında 1 aylık kuraklık indisleri incelendiğinde, SPI-1 değerlerinin -3,91 ile 3,77 arasında, SPEI-1 değerlerinin -3,41 ile 2,70 arasında, RDI-1 değerlerinin -3,56 ile 5,42 arasında ve aSPI-1 değerlerinin -3,66 ile 5,55 arasında değiştiği belirlenmiştir. Aşırı kurak dönemlerin mekânsal dağılımını gösteren haritalar doğrultusunda, SPI-1 değerlerine göre Ocak-Nisan ayları arasında havzada genel olarak normal kurak koşulların hâkim olduğu tespit edilmiştir (Şekil 26). Mayıs-Ağustos ayları arasındaki aşırı kurak dönemlerin belirlendiği yıllarda, çalışma alanı genelinde olduğu gibi havzada da normal kurak dönemlerin yaşandığı saptanmıştır (Şekil 27). Eylül-Aralık ayları arasında belirlenen kurak dönemlerde ise özellikle Eylül 1994 ve Aralık 2015'te aşırı kurak koşulların öne çıktığı görülmüştür (Şekil 28). Havzada SPI-1 aylık indislerinde tespit edilen en aşırı kurak değer -3,91 olup, bu değer 2020 yılının Kasım ayında havzanın güneyinde yer alan İpsala istasyonunda mevcuttur. 2020 yılında yağış miktarının uzun yıllar ortalamasına göre %23,6 oranında azalması ve yıllık ortalama sıcaklıkların en yüksek seviyeye ulaşması, ekstrem kurak koşulların oluşmasında etkili olmuştur (Taşkın, 2022; Erlat ve Güler, 2023c; Güler ve Erlat, 2023). SPEI-1 indisleri açısından genel kuraklık değerlendirmesi yapıldığında, Şubat 2008'de havzada aşırı kurak koşulların belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 27). Mayıs-Ağustos ayları arasında ise Haziran 2007 ve Temmuz 2012'de kuraklık şiddetinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 27). Bununla birlikte, Ekim 2001 yılı haricindeki dönemlerde çalışma alanı genelinde normal kurak dönemler yaşanırken, Ekim 2001'de kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 27). SPEI-1 aylık indislerine göre 2007 yılının Temmuz ayında en aşırı kurak değer -3,41 olup, bu değer havzanın batısında ve iç kesiminde yer alan Uzunköprü istasyonundadır (Şekil 27). Uzunköprü istasyonunun iç kesimlerdeki karasal iklim özelliklerine sahip olması, artan buharlaşma ve yüksek yaz sıcaklıkları ile birlikte kuraklık şiddetinin daha da artmasına neden olmuştur. 2007 yılı kurak koşulları, özellikle yaz aylarında yağış miktarındaki azalmaya bağlı olarak Marmara Bölgesi'nde, özellikle Trakya'dan Biga Yarımadası'na doğru yoğunlaşmıştır (Türkeş ve Tatlı, 2009e; Akbaş, 2014). 2007-2008 yıllarında yaşanan aşırı sıcak ve kurak hava koşulları, Türkiye'de doğal

olarak var olan yangın riskinin daha da artmasına yol açmıştır (Türkeş, 2012b). Ocak-Nisan ayları arasında çalışma alanının genelinde normal kurak koşullar hâkimken, Mart 2012'de havzada kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 27). Havza genelindeki kuraklık eğilimi ile uyumlu olarak, Temmuz 2015'te kuraklık şiddetinin belirgin bir artış gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 27). Ayrıca, Eylül-Aralık ayları arasındaki genel kuraklık durumu ile tutarlı olarak, Eylül 1994 ve Aralık 2015'te şiddetli kuraklık koşulları dikkat çekmektedir (Şekil 28). RDI-1 ve aSPI-1 indislerinde tespit edilen aşırı kuraklık değerleri sırasıyla -3,56 ve -3,66 olup, bu değerler 2011 yılı Kasım ayında havzanın kuzey ve batı kesiminde bulunan Edirne İstasyonunda belirlenmiştir. Çalışma alanının batı kesiminde, 1 aylık indislerde kuraklık şiddetinde belirgin bir artış mevcuttur.

Türkiye geneli kurak koşulların hâkim olduğu yıllarda havzada da normal kurak koşullar Ocak-Nisan ayları arasında 3 aylık SPI değerlendirmelerde görülür (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasında farklı dönemlerde Meriç-Ergene Havzası'nın da yer aldığı çalışma alanının batı kesiminde kuraklık şiddeti artış göstermektedir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları SPI-1 aylıklarda çalışma alanının tamamında kurak koşulların hakim olduğu yıllarda havzada da normal kurak koşullar ön plandadır (Şekil 31). Mevsimsel kuraklıkları gösteren 3 aylık indislerde havzada kurak koşullar SPI-3 aylık değerler -4,40 ile 5,17 arasında, SPEI-3 aylıklarda -2,70 ile 2,60 arasında, RDI-3 değerleri -4,10 ile 6,06 arasında aSPI-3 aylıklarda -4,23 ile 6,21 arasında değişmektedir. SPI-3 aylık değerlerde aşırı kuraklık -4,40 2005 yılı Nisan ayı İpsala İstasyonundadır. SPEI-3 aylık indislerde Ocak ve Nisan ayları arasında çalışma alnında kuraklık şiddetinin arttığı yıllarda Meriç-Ergene havzasında normal kurak dönem görülmektedir (Şekil 29). Mayıs-Haziran ayları arasında havzada Ağustos ayında 2007 yılında havzanın tamamında şiddetli kurak koşullar görülmektedir (Şekil 30). Çalışma alnında Eylül 2007 yılı ve Aralık 2020 yıllarında da çalışma alnının geneli ile uyumlu şiddetli kuraklıklar ön plandadır (Şekil 31). SPEI-3 aylıklarda aşırı kurak değer -2,70 2005 yılı Nisan ayı İpsala İstasyonunda belirlenmiştir. RDI ve aSPI 3 aylık indisleri çalışma alanın genelindeki kurak dönemlerin belirlendiği yıllarda havzada RDI indisinde 2013 yılı Şubat ayında aSPI indisinde ise Ocak ve Mart ayları arasında 2013 yıllarında nemli koşullar dikkat çekmektedir (Şekil 29). RDI indisi aşırı kurak koşulların belirlendiği yıllarda normal kurak koşullar hakimken, aSPI-3 aylıklardan Temmuz ayında 2022 yılında çalışma alnının tamamında kuraklık şiddeti artmıştır (Şekil 30). RDI-3 aylıklarda belirlenen -4,10 kuraklık değeri de İpsala İstasyonuna ait olup 2011 yılı Temmuz

ayındadır. aSPI-3 aylıklarda da diğer indisler ile benzer şekilde İpsala İstasyonunda 2005 yılı Nisan ayı aşırı kurak değeri -4,23 olarak belirlenmiştir. 2005 yılı Nisan ayı tüm indislerde artan kuraklık şiddeti temsil etmektedir. 2003 yılında yaşan kurak dönemden sonra her ne kadar kuraklık şiddeti 2006 yılına kadar azalmış olsa da bahar döneminde azalan yağışlar ve artan sıcaklık koşulları ile kuraklık etkisi hissedilebilmektedir (Gümüş, vd., 2023). Eylül ve Aralık ayları arasında da çalışma alanının tamamında belirlenen kurak havzada da normal kurak koşullar etkilidir (Şekil 31).

Çalışma alanının genelinde aşırı kurak yılların belirlendiği dönemlerde, SPI-6 aylıklarda havzada normal kurak koşullar Ocak Mart aylarında 2011 ve 2012 yıllarında etkili olmuştur (Şekil32). 2013 yılında ise havzada nemli dönemin hakim olduğu görülmektedir (Şekil 32). Çalışma alanının genelinden farklı olarak havzada 2014 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında nemli koşullar dikkat çekmektedir (Şekil 33). Eylül ve Aralık aylarında çalışma alanında görülen normal kurak koşullarda havzada SPI-6 2012 yılı Kasım ayında kuraklık şiddeti artmaktadır (Şekil 34). SPI-6 aylık değerler -3,83 ile 5,54, SPEI-6 aylıklar -3,26 ile 2,58, RDI-6 aylıklar -3,84 ile 6,01, aSPI-6 aylıklar ise -3,92 ile 6,14 arasında değişmektedir. 6 aylık kuraklıklarda indislerin tümünde havzanın kuzeyinde ve dağlık alanların gerisindeki kurak alanda yer alan Lüleburgaz İstasyonunda kuraklık şiddeti tüm indislerde yüksektir. SPI-6 aylıklarda aşırı kurak değer -3,83 2019 yılı Kasım ayında, SPEI-6 aylıklarda ise -3,26 2003 yılı Temmuz ayında belirlenmiştir. SPEI-6 aylıklarda görülen şiddetli kuraklık 2002 yılında 2001 yılından sonra daha nemli geçen bir dönemin ardından tekrar yaşanan 2003 yılındaki kurak dönemi göstermektedir (Gümüş, vd., 2023). Özellikle de yaz aylarında iklim özelliklerinin de etkisi ile artan sıcaklık ve buharlaşma kuraklık şiddetini arttırmıştır. Yapılan farklı çalışmalarda özellikle 2003 yılında Avrupa'da etkili olan sıcak hava dalgası tahıl ürünlerinde verim kayıplarına neden olmuştur (Parker, vd., 2020). Avrupa'da etkili olan sıcak hava dalgasının etkisi Meriç-Ergene Havzası'nda da etkisini göstermiştir. SPI ve diğer indislerde ise 2019 yılındaki yüksek kuraklık şiddeti SPI/RDI ve aSPI indislerinde Kasım ayında görülen aşırı kurak değerleri 2019 yılında yaz ve sonbahar ortalamanın altında görülen yağış değerleri özellikle düşük yağış değerlerine hassas olan bu indislerde artış görülmektedir. Çalışma alanındaki genel kurak koşulların hâkim olduğu yıllarda, Ocak-Nisan ayları arasında SPEI indisinin tüm aylarda normal değerde kuraklık şiddeti gösterdiği belirlenmiştir. Buna karşın, RDI ve aSPI indislerinde özellikle Mart 2007'de kuraklık şiddetinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 32).

Mayıs-Ağustos ayları arasında ise havzanın genelinde, çalışma alanının genel eğilimi ile uyumlu olarak normal kuraklık koşulları etkilidir (Şekil 33). Eylül-Aralık ayları incelendiğinde, Kasım 1993'te SPEI-6 indisinde kuraklık şiddetinin arttığı, 2020 yılı Aralık ayında ise RDI ve aSPI-6 indislerinde çalışma alanının genel eğilimiyle uyumlu şekilde kuraklık şiddetinin yükseldiği belirlenmiştir (Şekil 34).

Çalışma alanının tamamında aşırı kurak dönemlerin yaşandığı yıllarda, 2013 yılı Ocak ayında SPI indisinde nemli koşullar öne çıkarken, diğer indislerde Ocak-Nisan ayları arasında çalışma alanının genel eğilimiyle uyumlu olarak kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 35). 2007 yılı, çalışma alanının tamamında olduğu gibi havza genelinde de SPI-9 indisinde şiddetli kurak bir dönemi işaret etmektedir (Şekil 36). Diğer indislerde ise Haziran-Ağustos ayları arasında belirgin bir yaz kuraklığı etkilidir (Şekil 36). Eylül-Aralık ayları arasındaki genel değerlendirmeler incelendiğinde, SPI-9 indisinde 2014 yılı Eylül ve Ekim aylarının nemli dönemleri temsil ettiği, SPEI-9 indisinde ise 2021 yılı Aralık ayının nemli koşulları gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 37). Bununla birlikte, diğer indislerde de çalışma alanının genel eğilimine paralel olarak kuraklık şiddetinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 37). 9 aylık uzun dönemli indislerde SPI-9 -3,35 ile 5,05, SPEI-9 -3,75 ile 2,70, RDI-9 -3,77 ile 5,72 ve aSPI-9 aylıklarda -3,90 ile 5,92 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-9 aylıklarda aşırı kurak değer -3,35 İpsala İstasyonunda 2011 yılı Ağustos ayına aittir. Aynı zamanda 2007 yılının Mayıs-Haziran aylarında havzanın tamamında ve Ağustos ayında havzanın doğu kesiminde SPI-9 indisinde artan kuraklık şiddeti belirgindir (Şekil 36). SPEI-9 aylıklardaki aşırı kurak değer -3,75 Lüleburgaz istasyonunda 1994 yılı Haziran ayındadır (Şekil 36). SPEI-9 aylıklarda görülen bu şiddetli kuraklık Türkiye'de diğer havzalarda da etkili olan şiddetli kurak dönem ile uyumludur. RDI-9 ve aSPI-9 aylıklarda ise SPI ile benzer şekilde İpsala istasyonunda 2011 yılı Ağustos ayı yaz kuraklıkları şiddetini arttırmıştır. 1994 yılından itibaren Türkiye'de hava sıcaklıklarında görülen belirgin artış karasal iklim Akdeniz iklim özelliklerine bağlı yaz döneminde yaşanan sıcaklıkların etkisinin SPEI-9 aylıklarda etkili olduğunu göstermektedir. 2011 yılı ise 2010 yılından sonra havzada azalan yağışlar ile artan kuraklık şiddetinin etkisinin SPI ve diğer indislerde yüksek kuraklığa işaret etmesine neden olmuştur (Akbaş, 2014; Gümüş, vd., 2023).

Çalışma alanının tamamında aşırı kurak dönemlerin belirlendiği yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında SPI-12 aylıklarda Şubat 2013, RDI ve aSPI 12 aylıklarda 2013 yılı Mart aylarında havzada nemlilik koşulları artmıştır (Şekil 38). Diğer dönemlerde çalışma alanının genelinde ise tüm indislerde artan kuraklıklar ön plandadır. Mayıs ile Ağustos ayları arasında özellikle havzada 2007 yılında yaz kuraklıkları şiddetlenirken diğer indislerde de kuraklık şiddetindeki artış etkilidir (Şekil 39). Eylül ile Aralık ayları arasında havzada SPI-12 aylıklarda 2013 yılı Eylül ve Ekim aylarında nemlilik ön planda iken SPEI indisinde özellikle havzanın kuzeyinde 1994 yılı Eylül ayında kuraklık şiddetlenmiştir (Şekil 40). Diğer aylarda ve indislerde çalışma alnının geneliyle uyumlu olarak şiddetli kuraklıklar havzada da etkili olmuştur (Şekil 40). 12 aylık değerlendirmelerde aşırı kuraklık değerleri SPI-12 için -2,70 ile 4,66, SPEI-12 -3,24 ile 2,70, RDI-12 -2,96 ile 5,38, aSPI-12 ise -3,10 ile 5,57 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-12 aylıklarda aşırı kurak değer 2001 yılı Ekim ayı Kırklareli istasyonuna aittir. SPEI-12 aylıklarda -3,24 1994 yılı Ağustos ayı Lüleburgaz İstasyonunda aşırı kurak değer ön plandadır. RDI-12 aylıklarda 1994 Eylül ayında, aSPI-12 aylıklarda 2001 yılı Ekim ayında Kırklareli istasyonunda aşırı kurak değer öne çıkmaktadır. 2001 yılında havza, 20 yıllık dönem boyunca alanın %65'ini etkileyen en yaygın ve yoğun kuraklığı yaşamıştır (Gümüş, vd., 2023). Uzun dönemli kuraklık indislerinde havzada şiddetli kuraklıkların etkili olduğu 1994 yılı ve 2001 yıllının etkileri yaz ve sonbahar aylarında azalan yağışların sonucuyla artan kuraklık şiddeti sonucu dikkat çekmektedir. Bu dönemler Türkiye'de şiddetli kuraklıkların etkili olduğu yıllar ile uyumludur (Akbaş, 2014).

5.1.2. Marmara Havzası

Marmara Havzası, Türkiye'nin en yüksek nüfus yoğunluğuna sahip ve sanayileşmenin en yoğun olduğu bölgelerden biridir. Bu nedenle, havzanın iklim değişikliğinden en fazla etkilenmesi beklenmektedir. Çalışma alanı, Marmara Havzası'nın kuzeybatısında yer almakta olup kuzeybatısında Meriç-Ergene Havzası, güneybatısında Kuzey Ege Havzası ve doğusunda Susurluk ile Sakarya havzaları ile kesişmektedir. Marmara Havzası'nda yükselti güney ve güneydoğu kesimlerinde daha fazladır. Güneyde yükselti 100 metrenin üzerine çıkarken, kuzey kesimde Ganos Dağı dışında ortalama yükselti 122 metre olarak belirlenmiştir (Elbaşı ve Özdemir, 2018). İklim özellikleri açısından, havza yazları kurak Akdeniz iklimi ile yıl boyunca yağış alan okyanusal Karadeniz iklimi arasında bir

geçiş özelliği göstermektedir (Baltacı vd., 2014). Havzanın güneybatısından kuzeydoğusuna doğru ilerledikçe yağış miktarlarında artış mevcuttur (Baltacı vd., 2014). Ancak, havzanın karmaşık topoğrafyası ve kıyı şeridi nedeniyle yağışlar mekânsal olarak homojen bir dağılım göstermemektedir. Güney ve batı kesimlerde yağış miktarları düşük olurken, kuzeydoğuda Karadeniz'e yakın bölgelerde yağış değerleri artış göstermektedir (Ünal vd., 2003). Özellikle havzanın güneydoğusunda yer alan Bilecik çevresi, yağış gölgesi etkisi nedeniyle düşük yağış miktarlarına sahiptir. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları; Çanakkale, Gökçeada, Bozcaada, Tekirdağ, Şile, Sarıyer, Sarıyer-Kumköy/Kilyos, Kadıköy Göztepe Rıhtım, Florya, Kocaeli ve Yalova'dır. Bu istasyonlara ait sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak SPI, SPEI, RDI ve aSPI indislerine dayalı olarak 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için kuraklık analizleri gerçekleştirilmiştir. Her dönem için, her indis türüne göre aşırı kurak ay, istasyon ve yıl belirlenmiştir.

Kısa süreli kuraklıkların belirlendiği 1 aylık indislerde SPI-1 aylıklar -5,56 ile 3,04, SPEI-1 aylıklar -3,59 ile 2,69, RDI-1 aylıklar -4,05 ile 3,57, aSPI-1 aylıklarda ise -3,99 ile 3,39 arasında değişmektedir. 1 aylık indisler kapsamında yapılan genel değerlendirmelere göre, RDI ve aSPI indislerinde özellikle Nisan 2018'de çalışma alanının tamamında olduğu gibi havza genelinde de kuraklık şiddetinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 27). Diğer indislerde ise Ocak-Nisan ayları arasında normal kurak koşulların çalışma alanının geneliyle uyumlu olarak havzada da etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 27). Mayıs-Ağustos döneminde tüm indislerde normal kuraklık koşulları etkiliyken olup, özellikle RDI ve aSPI indislerinde Temmuz 2015'te havzada kuraklık şiddetinde belirgin bir artış yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 27). Eylül-Aralık ayları incelendiğinde, SPEI indisinde Eylül 2017'de kuraklık şiddetinde bir artış mevcuttur, Aralık 2015''te SPEI haricindeki tüm indislerde kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 27). SPI-1 aylıklarda aşırı kurak değer 2007 yılı Mart ayında havzanın kuzey kesimindeki Florya İstasyonunda belirlenmiştir. SPEI-1 aylıklarda aşırı kurak değer 2000 yılı Eylül ayında havzanın batı kesiminde bulunan Gökçeada İstasyonuna aittir. RDI-1 ve aSPI-1aylıklarda havzanın kuzeyindeki Florya İstasyonunda 2007 yılı Mart ayında -4,05 aşırı kurak değeri SPI-1 aylık ile uyumludur. 2007 yılı havzada ve tüm Türkiye'de 2000 ve 2007 yılları şiddetli sıcak hava dalgalarının yaşandığı dönemlere karşılık gelmektedir (Erlat, vd., 2021b). 2000 yılı ve 2007 yılları Akdeniz Havzası üzerinde en büyük sıcak hava dalgalarının yaşandığı yıllara karşılık gelmektedir (Demirtaş, 2017a). Yükselen sıcaklık anomalileri ve toprak nemi açıkları 2007 kışında yağış değerlerindeki

negatif anomaliler ile ilişkilidir. Eylül 2006'dan başlayıp Şubat 2007 yılına kadar devam eden yaz kuraklıkları ile birleşen bu dönem Doğu Akdeniz ve Ege Denizi üzerindeki yüksek deniz suyu sıcaklıklarına bağlı sıcak hava dalgasının artmasına katkıda bulunmuştur (Ünal, vd., 2013; Demirtaş, 2017a; Erlat, vd., 2021b).

Mevsimsel kuraklıkların temsil eden 3 aylıklarda SPI-3 -5,56 ile 3,12, SPEI-3 -3,37 ile 2,52, RDI-3 aylıklar -5,22 ile 3,60 ve aSPI-3 aylıklarda -5,19 ile 3,04 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. Üç aylık periyotlar dikkate alındığında, çalışma alanının tamamında belirlenen kurak yıllar içerisinde, SPEI-3 indisinde Mart 2001'de havzanın doğu kesiminde kuraklık şiddetinde artış görülmektedir (Şekil 29). Buna karşılık, RDI ve aSPI indislerinde 2013 yılı Şubat ayında ve Ocak-Mart döneminde nemli koşulların baskın olduğu belirlenmiştir (Şekil 29). Mayıs-Ağustos döneminde, SPI-3 indisinde Mayıs 2007'de ve aSPI-3 indisinde Temmuz 2022'de havza genelinde şiddetli kuraklık koşulları tespit edilmiştir (Şekil 30). Eylül-Aralık döneminde, kuraklık şiddeti Eylül 2007''de SPEI-3 indisinde ve Kasım 2020'de RDI-3 indisinde artış göstermiştir (Şekil 31). Diğer dönemlerde ise havza genelinde normal kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 31). SPI-3 aylıklarda Florya İstasyonunda havzanın kuzeyinde 2006 yılı Kasım ayında -5,56 aşırı kurak değer belirgindir. SPEI-3 aylıklarda havzanın kuzeybatısındaki Tekirdağ İstasyonunda 2007 yılı Ağustos ayı yaz kuraklığı ile -3,37 aşırı kurak değer belirlenmiştir. RDI-3 ve aSPI-3 aylıklarda benzer şekilde havzanın kuzeyindeki Florya İstasyonunda 2006 yılı Haziran ayı aşırı kurak değerler görülür. 3 aylık indislerde de 2006 yılı Eylül ayından 2007 yılı Şubat ayına kadar kuraklıkların etkisi görülmektedir. Yaz aylarında yükselen sıcaklıklar ve sıcak hava dalgası etkisi artan kuraklık şiddetlerini göstermektedir.

6 aylık değerlendirmeler kapsamında, Ocak-Nisan ayları arasında Türkiye genelinde yaşanan en şiddetli kurak yıllarda, özellikle RDI ve aSPI indislerinde Mart 2007'de havzanın tamamında şiddetli kuraklık koşulları etkili olmuştur. Diğer indislerde ve aylarda ise normal kurak koşullar hâkim olmakla birlikte, genel olarak havzada kuraklık şiddetinde bir artış etkili olmuştur (Şekil 32). Mayıs-Ağustos aylarında, çalışma alanının tamamında ve havza genelinde tüm indislerde normal kurak koşullar belirlenmiş olup, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde özellikle Ağustos 2006 ve Ağustos 2008'de kuraklık şiddetinde artış yaşanmıştır (Şekil 33). Eylül-Aralık döneminde, 2020 yılı SPEI, RDI ve aSPI indislerinde hem havza genelinde hem de çalışma alanının tamamında şiddetli kuraklık koşulları tespit edilmiştir.

Diğer indislerde ve aylarda ise normal kuraklık koşullarının etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 34). SPI-6 aylıklarda -4,53 ile 3,10, SPEI-6 aylıklarda -3,28 ile 3,23, RDI-6 aylıklarda -5,65 ile 3,65, aSPI-6 aylıklarda -5,67 ile 3,65 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-6 aylıklarda havzanın batısındaki Bozcaada İstasyonunda -4,53 2020 Haziran ayında aşırı kurak değer mevcuttur. SPEI-6 aylıklarda havzanın batı kesiminde kalan Çanakkale İstasyonunda -3,28 2017 Ağustos ayındadır. RDI-6 aylıklarda havzanın kuzeyindeki Florya İstasyonunda 2006 yılı Haziran ayında -5,65 aşırı kurak değer mevcuttur. aSPI-6 aylıklarda da Florya İstasyonunda etkili olan aşırı kuraklık 2006 yılı Mayıs ayındadır. En yüksek kuraklık değerlerinin belirlendiği 2010 yılından sonra sıcaklıklardaki belirgin artış 2017 ve 2020 yıllarında meydana gelmiştir (Güler ve Erlat, 2023). 2017 yılı sonbahar mevsimi sıcaklıkları 15,7 °C ile normallerinin (14,7°C) 1.0°C üzerinde gerçekleşmiştir (MGM, 2018h). 2020 yılı yaz mevsimi ortalama sıcaklıkları ise 24,3°C ile normallerinin (23,4°C) 0,9°C üzerinde gerçekleşmiştir (MGM, 2021j). Uzun dönemli kuraklıklarda SPI-9 aylıklar -5,97 ile 3,18, SPEI-9 aylıklar -3,34 ile 3,30, RDI-9 aylıklar -5,87 ile 3,51 ve aSPI-9 aylıklar -5,86 ile 3,59 arasında değişmektedir. Çalışma alanındaki havzalarda aşırı kurak yılların belirlendiği aylarda, Ocak-Nisan döneminde özellikle Mart 2007'de RDI ve aSPI indislerinde aşırı kuraklık koşulları hakimdir (Şekil 35). Buna karşılık, Ocak ve Şubat aylarında 2013 yılı SPI-9 indisinde nemli koşullar etkilidir (Şekil 35). Mayıs-Ağustos döneminde, SPI indisinde Temmuz 2013'te havza genelinde nemli koşullar etkili olurken, diğer aylarda ve indislerde şiddetli kuraklıklar belirlenmiştir (Şekil 36). Özellikle 2007 yılı Temmuz ayında SPEI indisinde ve Ağustos ayında SPI indisinde, çalışma alanı geneli ve havza özelinde kuraklık şiddetinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 36). Eylül-Aralık döneminde, SPEI indisinde Ekim 2007'de ve aSPI indisinde Aralık 2006'da şiddetli kuraklık koşulları etkili olmuştur (Şekil 37). Bununla birlikte, SPI indisinde Aralık 2012'de ve SPEI indisinde Aralık 2021'de havzada nemli koşulların öne çıktığı belirlenmiştir (Şekil 37). SPI-9 aylıklarda -5,97 aşırı kurak değer Florya İstasyonunda 2007 yılı Mayıs ayındadır. SPEI-9 aylıklarda Kadıköy istasyonunda 2007 yılı Ekim ayında belirlenmiştir. RDI-9 aylıklarda 2007 yılı Şubat ayı, aSPI-9 aylıklarda 2007 yılı Ocak ayı Florya İstasyonunda aşırı kurak değerler görülür. Marmara Havzası ve Türkiye'nin çoğu alanında azalan yağış değerleri ve yüksek deniz suyu sıcaklıkları ile kuraklık şiddeti 2006-2007 yıllarının etkisi 9 aylık indislerde de dikkat çekmektedir.

Ocak-Nisan döneminde, özellikle 2014 yılında çalışma alanının genelinde ve havzada şiddetli kuraklık koşulları ön plandadır (Şekil 38). Bunun yanı sıra, 2013 yılı SPI ve aSPI indislerinde Şubat ayında, RDI ve aSPI indislerinde ise Mart ayında havza genelinde ve çalışma alanının batı kesiminde nemli dönemler dikkat çekmektedir (Şekil 38). Yaz mevsimi boyunca, kuraklıkların etkisi çalışma alanının tamamında ve havzada özellikle 2006, 2007 ve 2014 yıllarında belirgin olmuştur (Şekil 39). Eylül-Aralık ayları arasında, çalışma alanının genelinde kuraklık şiddeti tüm indislerde artış göstermiştir. Ancak, 2013 yılı Eylül ve Ekim aylarında SPI indisinde nemli dönemin etkisi belirgindir (Şekil 40). 12 aylık indislerde SPI-12 -5,99 ile 3,44, SPEI-12 -2,81 ile 3,00, RDI-12 -6,29 ile 3,49 ve aSPI-12 aylıklar -6,31 ile 3,69 arsında değişmektedir. SPI-12 aylıklarda Florya İstasyonunda -5,99 aşırı kurak değeri 2007 yılı Mayıs ayındadır. SPEI-12 aylıklarda -2,81 aşırı kurak değer Florya İstasyonunda 2006 yılı Kasım ayında etkili olmuştur. RDI-12 ve aSPI-12 aylıklarda da Florya İstasyonunda 2006 yılı Kasım ayında aşırı kurak değerler belirgindir. 2006 Eylül ayından itibaren yüksek deniz suyu sıcaklıklarının etkisi ile oluşan ve 2007 Şubat ayından yaz dönemlerinde de etkili olan kuraklıklar uzun dönemli indislerde yüksek kuraklık şiddetine sahiptir.

Havzada 1 aylık kuraklık değerlendirmelerinde 2000 ve 2007 yıllarında Mart ve Eylül aylarında Florya İstasyonu ile Gökçeada İstasyonlarına aittir. Mevsimlik 3 aylık kuraklıklarda Tekirdağ ve Florya İstasyonlarında Haziran, Ağustos, Kasım aylarında 2006, 2007 yıllarında kuraklıklar şiddetlidir. 6 aylık analizlerde 2006, 2017, 2020, 2017, yıllarında Mayıs, Haziran ve Ağustos aylarında yağış meydana gelmemiş ve buharlaşmanın artması ile yüksek kuraklıklar Çanakkale, Bozcaada ile Florya İstasyonlarına aittir. 9 aylıklarda Ocak, Şubat, Mayıs ve Ekim aylarında Florya ile Kadıköy İstasyonlarında 2007 yılın ait yüksek kuraklıklar mevcuttur. 12 aylık indislerde ise 2007 yılında görülen düşük yağış değerleri ve artan sıcaklık etkisi ile Florya İstasyonunda Mayıs ve Kasım aylarında yüksek kuraklık değerleri belirgindir. Yapılan farklı bir çalışmada 1950-2015 yılları arasında Florya İstasyonunda PE değerlerinde artış eğiliminin yüksek olduğu belirlenmiştir (Turoğlu, 2019). Bu sebeple en yüksek kuraklık değeri buharlaşma ve yağış arasındaki fark ile ilişkili aSPI-12 aylık indislerde belirgindir.

5.1.3. Susurluk Havzası

Susurluk Havzası, kuzeyde Marmara Denizi, batıda Marmara Havzası, güneyde Kuzey Ege ve Gediz Havzaları, doğuda ise Sakarya Havzası ile kesişen bir alanda yer almaktadır. Havzanın kuzeydoğu, doğu, güneydoğu ve güney kesimlerinde yükselti daha fazlayken, batı ve kuzey kesimlerinde yüksek alanlar azalmaktadır (Yarar, 2010). İklim özellikleri açısından, Marmara Denizi'nden güneye doğru esen nemli hava kütleleri, kıyıdaki ovalık alanlardan havzanın iç kesimlerine doğru ilerlerken, dağlık alanlarda yoğun yağış bırakmaktadır (Yarar, 2010). Yaz aylarında yüksek sıcaklıklar ve azalan yağışlar, bahar ve kış aylarında ise artan yağış değerleri, havzanın Akdeniz iklimine benzer özellikler göstermesine neden olmaktadır. Çalışmaya dahil edilen istasyonlar arasında Bandırma, Dursunbey, Uludağ, Bursa, Keleş, Tavşanlı ve Simav yer almaktadır. Bu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak, havzada kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi analiz edilmiştir. Kuraklık şiddeti ve yaşandığı aylar, indisler ve dönemlerine göre farklılık göstermektedir.

Çalışma alanı genelinde aşırı kuraklıkların etkili olduğu yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında özellikle Şubat ayında, 2017 yılına ait verilerde havzanın doğusunda kuraklık şiddetinde artış yaşanmıştır (Şekil 26). Nisan ayında, SPEI indisi 2008 yılında, RDI ve aSPI indislerinde ise 2018 yılında şiddetli kuraklıklar etkilidir ve bu durum çalışma alanının genelindeki koşullarla uyumlu olarak belirgin hale gelmiştir (Şekil 26). Haziran ve Ağustos ayları arasında, aşırı kuraklığın belirlendiği yıllarda SPI indisinde 2003 yılında, RDI indisinde ise 2015 yılında havzada nemli koşullar dikkat çekmiştir (Şekil 27). Diğer aylarda ve indislerde ise, çalışma alanının tamamında ve havzada kurak koşullar ön planda olmuştur (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki genel kuraklık değerlendirmesinde, havzada özellikle Eylül ayında 1994 ve 2017 yıllarında, Aralık ayında ise 2015 yılında kuraklık şiddetinde artış mevcuttur (Şekil 28). Kısa süreli meteorolojik kuraklıklarda SPI-1 aylıklarda -4,71 ile 3,42, SPEI-1 aylıklarda -3,58 ile 2,57, RDI-1 aylıklarda -3,85 ile 4,37 ve aSPI-1 aylıklarda -3,99 ile 4,30 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-1 indisinde, kuraklık değerleri -4,71 ile 3,42 arasında değişmekte olup, aşırı kuraklık değeri 2018 yılı Mart ayında -4,71 olarak, havzanın güneydoğusunda yer alan Dursunbey İstasyonunda mevcuttur. SPEI-1 indisinde, aşırı kuraklık değeri -3,58, 2007 yılı Haziran ayında, havzanın kuzeybatı kesiminde yer alan Bandırma İstasyonunda belirlenmiştir (Şekil 27). RDI-1

indisinde, aşırı kuraklık değeri -3,85, 2018 yılı Mart ayında, yine Dursunbey İstasyonunda tespit edilmiştir. aSPI-1 indisinde ise en düşük aşırı kuraklık değeri olan -3,99, 2011 yılı Kasım ayında, havzanın kuzey kesiminde yer alan Uludağ İstasyonunda mevcuttur. Bu veriler, Susurluk Havzası'nda kısa süreli meteorolojik kuraklıkların mekânsal dağılımını ve şiddetini ortaya koyarak, farklı dönemlerde kuraklık etkisinin bölgesel farklılıkların olduğu görülmektedir. SPEI-1 aylıklarda Türkiye'de etkili olan 2007 kuraklığı Haziran ayında havzada etkili olmuştur. 2018 yılı ise İran'ın batısı, Türkiye'nin batı kesimi ve iç kesimleri, Irak ve Suriye'nin kuzeyi gibi çeşitli alanlarda yağıştaki azalma, potansiyel buharlaşma ve terlemedeki artış kuraklık şiddetinin artmasına neden olmuştur (Sahour vd., 2020).

Ocak ve Nisan ayları arasında çalışma alanının tamamında aşırı kurak dönemlerin belirlendiği yıllarda RDI ve aSPI indislerinde 2012 ve 2013 yıllarında havda nemli dönemler etkili iken çalışma alanının genelinde kurak koşullar belirgindir (Şekil 29). Aynı zamanda havzada 2014 yılında Mart ayında SPI indisinde ve SPEI indisinde 2001 yılında kuraklık etkisi artmıştır (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos aylarında çalışma alanının genelindeki kurak dönemlerde özellikle 2007-2008 yılı yaz kuraklıkları ön plana çıkarken Temmuz ayında aSPI indisinde 2022 yılının Temmuz ayında çalışma alanının tamamı ve havzada aşırı kurak koşullar hakimdir (Şekil 30). 3 aylık değerlendirmelerde SPI-3 aylıklarda -5,10 ile 3,58, SPEI-1 aylıklarda -3,19 ile 2,79, RDI-3 aylıklar -4,26 ile 4,20, aSPI-1 aylıklarda -4,34 ile 4,15 arsında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 aylıklarda aşırı kurak değer -5,10 2018 yılı Nisan ayı Dursunbey İstasyonundadır. SPEI-3 aylıklarda 2020 yılı Aralık ayı Bursa İstasyonunda -3,19 aşırı kurak koşullar hakimdir (Şekil 31). RDI-3 aylıklarda ise 2018 yılı Nisan ayı -4,26 Dursunbey İstasyonu ve aSPI-3 aylıklarda -4,34 2018 yılı Nisan ayı Dursunbey İstasyonunda aşırı kurak değerler belirlenmiştir. 1 aylıklarda etkili olan 2018 yılı kuraklık şiddeti Nisan ayında da SPI/RDI ve aSPI indislerinde özellikle azalan yağış değerlerine bağlı yüksek kuraklık şiddetine neden olmaktadır. 2020 yılında ise 2010 yılından sonra özellikle sonbaharda artan kuraklık şiddeti Bursa İstasyonunda Aralık ayında etkili olmuştur. Bu durum özellikle 2000 yılında Türkiye'de kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1,652 $m^{3,}$ 2009 yılında 1,544 ve 2020 yılında ise 1,346 m^3 olarak gerilemesine neden olmuştur (DSİ, 2022).

Kurak dönemlerin belirlendiği yıllarda, Ocak-Nisan ayları arasında çalışma alanının genelinde kurak koşullar hâkimken, havzada SPI indisi ile 2011 yılı Ocak ayında ve 2013

yılı Nisan ayında nemli koşullar etkilidir (Şekil 32). Aşırı kurak dönem ise RDI ve aSPI indislerinde 2007 yılı Mart ayında meydana gelmiştir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasında belirlenen kurak yıllarda, çalışma alanının genelinden farklı olarak havzanın güney kesiminde SPI ve SPEI indislerinde 2012 yılı Mayıs ayında nemli dönem tespit edilmiştir (Şekil 33). 2014 yılı Ağustos ayında SPI indisi, havzanın batısında çalışma alanının genelinden farklı olarak nemli koşullarla öne çıkarken, 2006 yılı Ağustos ayında diğer tüm indislerde aşırı kurak koşullar görünür hale gelmiştir (Şekil 33). 6 aylık kuraklıklarda SPI-6 aylık değerler -4,38 ile 3,48, SPEI-6 -3,23 ile 3,18, RDI-6 aylıklar -4,31 ile 4,29, aSPI-6 aylıklar ise -4,34 ile 4,21 arsında değişmektedir. SPI-6 indisinde kuraklık değerleri -4,38 ile 3,48 arasında değişmekte olup, en düşük değer olan -4,38, 2006 yılı Ağustos ayında, havzanın kuzeybatısında yer alan Bandırma İstasyonunda etkilidir. SPEI-6 indisinde ise en düşük değer -3,23, 2007 yılı Ekim ayında, havzanın doğusunda yer alan Bursa İstasyonunda belirlenmiştir. RDI-6 indisinde, yaz kuraklığının şiddetinin arttığı 2006 yılı Ağustos ayında, Bandırma İstasyonunda kuraklık şiddeti yüksek düzeylere ulaşmıştır (Şekil 33). Benzer şekilde, aSPI-6 indisinde de 2006 yılı Ağustos ayında, havzanın kuzeybatı kesimindeki Bandırma İstasyonunda, artan kuraklık şiddeti etkili olmuştur (Şekil 33). Azalan yağışlar ve yüksek sıcaklık-buharlaşma ilişkisinin yaz aylarında şiddetlendiği 2006-2007 yılları kuraklıkları 6 aylık indislerin tümünde öne çıkmaktadır. Eylül ve Aralık aylarındaki kurak dönemlerde, çalışma alanının genelinden farklı olarak, havzada şiddetli kuraklıklar özellikle 2020 yılı Aralık ayında SPEI, RDI ve aSPI indislerinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 34). 2020 yılında Aralık ayında normallerinin altındaki yağış değerleri etkili olmuştur (MGM, 2021j). Aynı zamanda 2020 yılının küresel kara ve okyanus yüzey sıcaklıkları bakımından en yüksek ikinci yıl olmuştur. 2020 yılı Eylül ayında en fazla sıcaklık anomalisi 3,4 °C olarak gerçekleşmiştir (MGM, 2021j). Bu durum Susurluk Havzası'nda özellikle Eylül ve Aralık aylarında yaşanan şiddetli kuraklıkları açıklamaktadır.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında havzada RDI ve aSPI indislerinde, özellikle 2007 yılı Şubat ayında aşırı kurak koşullar ön planda iken, diğer aylarda normal kurak koşullar hâkimdir (Şekil 35). Mayıs ve Haziran ayları arasındaki kurak dönemlerde, havzada aşırı kuraklıklar 2007 yılında SPEI indisinde Temmuz, SPI indisinde ise Haziran ve Ağustos aylarında ön plana çıkmaktadır (Şekil 36). Eylül ve Aralık aylarındaki kurak yıllarda, SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayında, RDI ve aSPI indislerinde ise 2006 yılı Aralık ayında aşırı kuraklıklar meydana gelmiştir (Şekil 37).

Ayrıca, SPEI indisinde 2021 yılı Aralık ayında havzada nemli koşullar dikkat çekmektedir (Şekil 37). 9 aylıklarda SPI-9 -4,04 ile 3,98, SPEI-9 aylıklarda -2,92 ile 3,56, RDI-9 aylıklarda -3,72 ile 4,48 ve aSPI-9 aylıklarda -3,81 ile 4,44 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-9 indisinde, kuraklık şiddeti en yüksek değerine 2007 yılı Temmuz ayında, havzanın kuzeybatı kesiminde yer alan Bandırma İstasyonunda ulaşmıştır. SPEI-9 indisinde ise kuraklık şiddeti en yüksek değeri, 2007 yılı Eylül ayında, aynı istasyondadır. Benzer şekilde, RDI-9 ve aSPI-9 indislerinde de 2007 yılı Temmuz ayında, Bandırma İstasyonunda kuraklık şiddeti belirgin bir şekilde artmıştır. Bu sonuçlar, Susurluk Havzası'nda 9 aylık uzun süreli kuraklıkların, özellikle kuzeybatı kesimlerinde etkili olduğunu ve 2007 yılının yaz ve sonbahar dönemlerinde şiddetini artırdığını ortaya koymaktadır.

Uzun dönemli çalışma alanında kuraklıkların belirlendiği yıllarda, havzada Ocak ile Nisan ayları arasında SPEI indisinde 2008 yılı Şubat ayında, RDI indisinde ise 2007 yılı Şubat ayında şiddetli kuraklıklar belirgin hale gelmektedir (Şekil 38). Ayrıca, havzada 2014 yılına ait indislerde özellikle Mart ve Nisan aylarında şiddetli kuraklıklar etkilidir (Şekil 38). Çalışma alanının genelinden farklı olarak, havzada aSPI indisinde 2007 yılı Şubat ayında nemli koşullar etkili olmuştur (Şekil 38). Mayıs ile Ağustos ayları arasındaki kurak dönemlerde, SPI indisinde 2007 yılı Mayıs ayında ve özellikle 2014 yılında tüm indislerde ve aylarda, hem havzada hem de çalışma alanının genelinde kuraklık şiddetinde artış yaşanmıştır (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki SPI indisinde, Eylül ve Ekim aylarında 2013 yılında çalışma alanının genelinden farklı olarak nemli koşullar hakimdir (Şekil 40). Havzadaki aşırı kurak dönemler, çalışma alanının genelinden farklı olarak Aralık ayında, SPEI indisinde 2008 yılı ve RDI ile aSPI indislerinde 2006 yılı ile aşırı kurak koşullar belirgin hale gelmiştir (Şekil 40). 12 aylık indis değerlerinde SPI-12 -3,95 ile 3,91, SPEI-12 -2,59 ile 2,53, RDI-12 -3,84 ile 4,51, aSPI-12 -3,90 ile 4,45 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 indisinde en düşük değer olan -3,95, 2007 yılı Eylül ayında, havzanın kuzeybatısında yer alan Bandırma İstasyonunda tespit edilmiştir. SPEI-12 indisinde ise en yüksek kuraklık değeri -2,59, 2007 yılı Ekim ayında, havzanın güneydoğusunda bulunan Dursunbey İstasyonundadır. Ayrıca, RDI-12 ve aSPI-12 indislerinde de 2007 yılı Eylül ayında, Bandırma İstasyonunda kuraklık şiddetinde belirgin bir artış ortaya çıkmıştır. Bu bulgular, Susurluk Havzası'nda 12 aylık uzun süreli

kuraklıkların kuzeybatı ve güneydoğu kesimlerinde farklı dönemlerde etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

5.1.4. Kuzey Ege Havzası

Kuzey Ege Havzası, çalışma alanının batı kesiminde yer almakta olup, batıda Ege Denizi, doğuda Susurluk Havzası, kuzeyde Marmara Havzası ve güneyde Gediz Havzası ile sınırlandırılmaktadır. Havzanın jeomorfolojisi, kuzeyde Çanakkale Boğazı'ndan başlayarak Kayalıdağ (879 m), Kazdağı (1,766 m) ve Kocakatran Dağları boyunca devam etmektedir. Havzanın doğu sınırını, Havran, Bergama, Soma ve Kırkağaç ilçeleri oluştururken, güney sınırı Kılıçdağ ve Dumanlıdağ'ın su bölümü hattından (1,098 m) geçerek Foça ilçesi yakınlarında Ege Denizi'ne ulaşmaktadır. Bu sınırlar, havzanın hidrolojik ve coğrafi özelliklerini belirleyen önemli doğal bariyerler teşkil etmektedir. Havzada yapılan çalışmada yer alan istasyonlar, Edremit, Ayvalık, Burhaniye, Bergama ve Dikili istasyonlarıdır. Bu istasyonlardan elde edilen SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak, havzadaki kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi incelenmiştir. Havzada, indisler ve dönemlerine bağlı olarak, kuraklık şiddeti ve kurak dönemlerin yaşandığı aylar farklılık göstermektedir.

Çalışma alanında aşırı kurak dönemlerin belirlendiği yıllarda, Ocak-Nisan ayları arasında havzada tüm indislerde aşırı kurak koşullar belirgin bir şekilde görülmektedir (Şekil 26). Mayıs ile Ağustos ayları arasındaki kurak koşullarda, özellikle 2007 yılı Haziran ayında, SPEI indisi ile belirlenen aşırı kurak değerler dikkat çekmektedir (Şekil 27). Eylül ile Aralık ayları arasındaki kurak koşullarda ise 2015 yılı Aralık ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde aşırı kuraklıklar havzada öne çıkmaktadır (Şekil 28). SPI-1 aylıklarda kuraklık değerleri -4,58 ile 3,81, SPEI-1 -4,60 ile 2,60, RDI-1 -3,60 ile 4,25, aSPI-1 ise -3,48 ile 4,52 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-1 aylıklarda aşırı kurak değer -4,58 2020 yılı Kasım ayında havzanın 2020 yılı Kasım ayında, havzanın batı ve orta kesiminde yer alan Edremit İstasyonunda tespit edilmiştir. SPEI-1 indisinde, en düşük değer olan -4,60, 2018 yılı Nisan ayında, havzanın güney kesiminde bulunan Bergama İstasyonunda mevcuttur. RDI-1 indisinde, aşırı kuraklık değeri -3,60, 1992 yılı Ocak ayında, havzanın batı kıyısındaki Burhaniye İstasyonunda belirlenmiştir. aSPI-1 indisinde ise aşırı kuraklık değeri -3,48, 2020 yılı Kasım ayında, yine havzanın güney kesiminde yer alan Bergama İstasyonunda hesaplanmıştır.

Kurak dönemlerin çalışma alanının genelinde belirlendiği yıllarda, Ocak-Nisan ayları arasında havzada normal kurak koşullar etkiliyken, özellikle RDI ve aSPI indislerinde 2013 yılı Ocak, Şubat ve Mart aylarında nemli koşullar öne çıkmaktadır (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasında belirlenen kurak dönemlerde, çalışma alanı ile benzer şekilde havzada da normal kurak koşullar belirlenmiştir (Şekil 30). Ancak, 2007 yılında öne çıkan kurak koşullarda, havzada SPI indisi ile Mayıs ve SPEI indisi ile Ağustos aylarında belirgin kuraklık koşulları etkilidir (Şekil 30). Temmuz ayındaki kurak koşullarda, havzada çalışma alanı ile benzer şekilde aSPI indisi ile 2022 yılında aşırı kurak koşullar hakimdir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasında, çalışma alanının genelinde görülen normal kurak koşullar, havzada da ön plandadır (Şekil 31). Kuzey Ege Havzası'nda 3 aylık kuraklık indisleri SPI-3 aylıklara -3,73 ile 4,48, SPEI-3 aylıklar -2,52 ile 2,74, RDI-3 aylıklar -3,50 ile 5,34 ve aSPI-3 aylıklar -3,54 ile 5,39 arasında değişmektedir. SPI-3 indisinde, aşırı kuraklık değeri -3,73, 2003 yılı Ağustos ayında, havzanın güneydoğusunda yer alan Bergama İstasyonundadır. SPEI-3 indisinde, en düşük aşırı kuraklık değeri olan -2,52, 2007 yılı Ağustos ayında, havzanın kuzeybatı kıyısında bulunan Ayvalık istasyonunda belirlenmiştir (Şekil 31). RDI-3 ve aSPI-3 indislerinde, aşırı kuraklık değerleri 2007 yılı Ocak ayında, yine Ayvalık İstasyonunda tespit edilmiştir.

Ocak ile Nisan ayları arasında belirlenen kurak yıllarda, havza genelinde ve çalışma alanında normal kurak koşullar belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır (Şekil 32). RDI ve aSPI indislerinde, 2007 yılı Mart ayında şiddetlenen kurak koşullar görülürken, SPI indisi ile 2013 yılı Nisan ayında nemli koşullar dikkat çekmektedir (Şekil 32). Mayıs ile Ağustos ayları arasındaki yaz kuraklıkları, havzada ve çalışma alanının genelinde özellikle SPEI indisi ile 2008 yılı Haziran ayında artış göstermiştir (Şekil 33). Ayrıca, 2014 yılı Ağustos ayında SPI indisi ile havzada, çalışma alanının genelinden farklı olarak nemli koşullar etkili olmuştur (Şekil 33). Eylül ile Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada SPI indisi ile 2022 yılı Ekim ayında görülen şiddetli kuraklıklar, aynı zamanda SPEI, RDI ve aSPI indislerinde 2020 yılı Aralık ayında ön plandadır (Şekil 34). 6 aylık kuraklıklarda SPI-6 -3,74 ile 4,30, SPEI-6 -2,78 ile 2,53, RDI-6 -3,82 ile 4,97 ve aSPI-6 -3,87 ile 5,05 arsında değişen değerler mevcuttur. SPI-6 indisinde en düşük değer olan -3,74, 2008 yılı Şubat ayında, havzanın güneydoğu kesiminde yer alan Bergama İstasyonunda tespit edilmiştir. SPEI-6 indisinde ise aşırı kuraklık değeri -2,78, 2007 yılı Temmuz ayında, yine Bergama İstasyonunda etkili olmuştur. RDI-6 indisinde, en düşük aşırı kuraklık değeri -3,82, 2008 yılı Şubat ayında,

Bergama İstasyonunda belirlenmiştir. Benzer şekilde, aSPI-6 indisinde de 2008 yılı Şubat ayında, Bergama İstasyonu, aşırı kuraklık değerinin mevcut olduğu istasyon olarak öne çıkmaktadır. Bu veriler, Kuzey Ege Havzası'nın güneydoğu kesiminde uzun süreli kuraklıkların şiddetli bir şekilde hissedildiğini göstermektedir.

Çalışma alanının genelinde belirlenen aşırı kurak koşulların görüldüğü yıllarda, Ocak ile Nisan ayları arasında normal kurak koşullar hakimdir (Şekil 35). Ancak, 2013 yılı Ocak ve Şubat aylarında havzada nemli koşullar ön planda iken, 2007 yılı kuraklıkları RDI ve aSPI indislerinde Ocak, Şubat ve Mart aylarında etkili olmuştur (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada SPI indisinde Temmuz ayı dışında 2007 yılı yaz kuraklıkları belirgindir (Şekil 36). SPEI indisinde 2007 yılı Temmuz ayı kuraklıkları dikkat çekerken, SPI indisinde havzada 2013 yılında nemli koşullar tespit edilmiştir (Şekil 36). Eylül ve Aralık aylarında kuraklık koşullarının belirlendiği yıllarda, havzada çalışma alanının genelinden farklı olarak RDI ve aSPI indislerinde 2006 yılı Aralık ayında aşırı kuraklıklar etkilidir (Şekil 37). 9 aylık değerlendirmelerde SPI-9 -3,53 ile 3,41, SPEI-9 -2,95 ile 2,50, RDI-9 -3,75 ile 3,82, aSPI-9 ise -3,72 ile 3,92 arasında değişmektedir. SPI-9 indisinde, aşırı kuraklık değeri 2008 yılı Şubat ayında, havzanın güneydoğusunda yer alan Bergama İstasyonunda tespit edilmiştir. SPEI-9 indisinde ise en yüksek kuraklık değeri 2017 yılı Ekim ayında, havzanın batısında bulunan Edremit İstasyonunda mevcuttur. RDI-9 indisinde, SPI-9 ile benzer şekilde, 2008 yılı Şubat ayında, Bergama İstasyonunda hakim kuraklık koşulları belirlenmiştir. aSPI-9 indisinde ise en düşük aşırı kuraklık değeri -3,72, yine 2008 yılı Şubat ayında, Bergama İstasyonundadır. Bu sonuçlar, Kuzey Ege Havzası'nda uzun süreli kuraklıkların güneydoğu kesiminde yoğunlaştığını ve Edremit gibi batıdaki istasyonlarda da belirgin etkileri ön plandadır.

Uzun dönemli kuraklık indisleri incelendiğinde, aşırı kurak koşulların belirlendiği yıllarda, Ocak ile Nisan ayları arasında havzada 2007 yılı Şubat ayı, RDI indisinde aşırı kurak koşullara sahiptir (Şekil 38). 2013 yılında, SPI indisinde Şubat ayında, aSPI indisinde ise Mart ayında nemli koşulların hakim olduğu görülmektedir (Şekil 38). Yaz kuraklığı, çalışma alanının tamamında etkili olurken, havzada özellikle 2007 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında SPI indisinde kuraklık etkisinin daha belirgin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 39). Eylül ile Aralık ayları arasındaki kuraklık koşulları değerlendirildiğinde, SPI indisinde çalışma alanının genelinden farklı olarak, havzada 2013 yılı Eylül ve Ekim aylarında nemli

koşullar ön plandadır (Şekil 40). SPEI indisinde ise 2008 yılı Aralık ayında, havzanın çalışma alanının geri kalanından farklı olarak aşırı kurak koşullara sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 40). 12 aylıklarda ise SPI-12 -3,34 ile 3,27, SPEI-12 -3,35 ile 2,68, RDI-12 -3,77 ile 3,54, aSPI-12 -3,77 ile 3,68 arasında kuraklık değerleri değişmektedir. SPI-12 indisinde, aşırı kuraklık değeri 2007 yılı Şubat ayında, havzanın güneydoğusunda yer alan Bergama İstasyonunda tespit edilmiştir. SPEI-12 indisinde ise aşırı kuraklık değeri -3,35, 2008 yılı Şubat ayında, yine Bergama İstasyonuna aittir (Şekil 38). RDI-12 ve aSPI-12 indislerinde de 2008 yılı Şubat ayında, Bergama İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları belirlenmiştir. Bu bulgular, Kuzey Ege Havzası'nın güneydoğu kesiminde uzun süreli kuraklıkların şiddetinin yoğunlaştığını ve özellikle 2007-2008 döneminde etkili olduğunu göstermektedir.

5.1.5. Küçük Menderes Havzası

Küçük Menderes Havzası, çalışma alanının batısında yer almakta olup, batıda Ege Denizi, güneyde Büyük Menderes Havzası, kuzeyde ve doğuda ise Gediz Havzası ile sınırlandırılmaktadır. Havzanın kuzeyinde Bozdağlar, güneyinde Aydın Dağları ve Batı Menteşe Dağları, önemli dağlık kütleler olarak havzanın sınırlarını belirlemektedir. Havza genelinde dağlık alanlar denize dik bir doğrultuda uzanırken, bu alanlar arasında yer alan graben ovaları önemli düzlükleri oluşturmaktadır. Jeomorfolojik özellikler, havzada yağışın kıyı bölgelerden iç kesimlere taşınmasını kolaylaştırırken, denizden esen rüzgârların iç kesimlere doğru hız kazanmasına da olanak tanımaktadır. Denizden gelen ve hız kazanan rüzgarlar iç kesimlerde evapotranspirasyonu arttırarak su kaybını yükseltir. Aynı zamanda toprak ve bitkilerden daha çok su buharlaşmasına neden olur. Rüzgâr etkisi, SPEI ve RDI indislerinde, en önemli girdilerinden biri olan evapotranspirasyonu doğrudan artırdığı için kuraklık şiddetini doğrudan yükseltir. Havza, yarı kurak Akdeniz iklimi özelliklerine sahip olup, kış aylarında ılık, yaz aylarında ise oldukça sıcak bir iklim karakterine sahiptir (Güney, 2024). Yaz kuraklığının belirgin olduğu havzada; yağışlar ağırlıklı olarak Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında yoğunlaşmaktadır. Akdeniz ikliminin etkisiyle yağış rejiminde mevsimsel değişkenlik yüksek olup, bu durum havzanın kuraklığa karşı hassasiyetini artırmaktadır (Güney, 2024). Çalışma kapsamında değerlendirilen meteoroloji istasyonları Seferihisar, İzmir, Kuşadası, Selçuk ve Ödemiş İstasyonlarıdır. Karasal iklim özelliklerinin daha baskın olduğu istasyon ise Ödemiş'tir. Bu nedenle, havzanın doğusuna doğru

ilerledikçe, Ödemiş İstasyonunda azalan yağış miktarları, kış aylarında en düşük sıcaklık değerleri ve yaz aylarında artan buharlaşma şiddeti dikkat çekmektedir. Havzada, SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi incelenmiş olup, indislere ve dönemlerine bağlı olarak kuraklık şiddeti ile kuraklık yaşanan aylar farklılık göstermektedir.

Çalışma alanında aşırı kuraklıkların belirlendiği yıllarda Ocak ile Nisan ayları arasında havzada özellikle SPI indisinde 2015 yılı Nisan ayı ve RDI ile aSPI indislerinde 2018 yılında aşırı kurak koşullar belirlenmiştir (Şekil 26). Mayıs ile Haziran ayları arasındaki kurak yıllarda çalışma alanının genelinde ve havzanın tamamında normal kurak koşullar mevcuttur (Şekil 27). SPI-1 aylıklar -5,33 ile 2,79, SPEI-1 -3,10 ile 3,41, RDI-1 -3,85 ile 3,21, aSPI-1 -3,85 ile 3,23 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-1 indisinde, aşırı kuraklık değeri -5,33, 2015 yılı Aralık ayında, havzanın batısında yer alan İzmir İstasyonunda tespit edilmiştir (Şekil 28). SPEI-1 indisinde ise aşırı kuraklık değeri -3,10, 2007 yılı Eylül ayında, havzanın doğusunda bulunan Ödemiş İstasyonunda mevcuttur. RDI-1 ve aSPI-1 indislerinde, aşırı kuraklık değerleri -3,85 ile 2015 yılı Aralık ayında, yine İzmir İstasyonunda belirlenmiştir (Şekil 28). Bu bulgular, Küçük Menderes Havzası'nda kısa süreli meteorolojik kuraklıkların özellikle batı ve doğu kesimlerinde farklı dönemlerde yoğunlaştığını ve 2015 yılı Aralık ayının, kuraklık şiddetinin en belirgin olduğu dönemlerden biri olduğunu göstermektedir. 2013-2014 su yılında yağışların uzun yıl ortalamalarına göre %6 oranında azalması Kasım, Aralık, Ocak, Şubat aylarında azalan yağışlar ve 2015 yılının sonbahar aylarındaki ısınma eğilimi kuraklık şiddetinin artmasına neden olmuştur (Şimşek, vd., 2015d; Güler ve Erlat, 2023).

Ocak ile Nisan ayları arasında çalışma alanının tamamında belirlenen kuraklığın etkili olduğu yıllarda, havzada da çalışma alanının geneli ile benzer şekilde normal kurak koşullar hakimdir (Şekil 29). Ancak, 2013 yılında RDI indisinde Şubat ayında ve aSPI indisinde Şubat ile Mart aylarında havzada nemli koşullar ön plana çıkmaktadır (Şekil 29). Mayıs ve Temmuz ayları arasındaki dönemde, havzadaki yaz kuraklığı özellikle 2008 yılı Temmuz ayında SPI ve RDI indislerinde, 2007 yılı Ağustos ayında ise SPEI indisinde etkili olmuştur (Şekil 30). Ayrıca, 2022 yılında çalışma alanının tamamında etkili olan aşırı kuraklıklar, aSPI indisinde Temmuz ayına ait olarak belirlenmiştir (Şekil 30). SPI-3 aylıklarda -5,20 ile 4,00, SPEI-3 aylıklarda -2,58 ile 2,66, RDI-3 -4,69 ile 3,44 ve aSPI-3

aylık değerler -4,67 ile 3,45 arasında değişmektedir. SPI-3 indisinde, en yüksek kuraklık değeri 2006 yılı Aralık ayında, havzanın batısında yer alan Selçuk İstasyonunda tespit edilmiştir. SPEI-3 indisinde ise aşırı kuraklık değeri -3,10, 2007 yılı Eylül ayında, havzanın doğusunda bulunan Ödemiş İstasyonunda mevcuttur (Şekil 31). RDI-3 indisinde, 2006 yılı Aralık ayında, yine Selçuk İstasyonunda şiddetli kuraklık değerleri belirlenmiştir. Benzer şekilde, aSPI-3 indisinde de en düşük kuraklık değeri 2006 yılı Aralık ayında, Selçuk istasyonunda hesaplanmıştır. Bu bulgular, Küçük Menderes Havzası'nda mevsimsel kuraklıkların batı kesiminde, özellikle Selçuk istasyonunda, yoğun bir şekilde hissedildiğini ve doğu kesimde, Ödemiş İstasyonunda farklı bir dönemde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Havzada yağışlı dönemin yüksek olması gereken Aralık ayı 2006-2007 yılında tüm Türkiye'de etkili olan kuraklık şiddetinin özellikle karasal iklimin baskın olduğu Ödemiş İstasyonunda kuraklık şiddetinin artmasına sebep olmuştur.

Çalışma alanının tamamında kuraklık şiddetinin arttığı yıllarda, havzada Mart ayında RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak koşullar görülmektedir (Şekil 32). Ayrıca, 2013 yılı Nisan ayında SPI indisinde havzada nemli koşullar tespit edilmiştir (Şekil 32). Mayıs ile Ağustos ayları arasındaki dönemde, çalışma alanının geneliyle benzer şekilde havzada da aşırı kurak koşullar hakimdir (Şekil 33). Özellikle 2008 yılı Haziran ve Ağustos aylarında SPEI indisinde havzada kuraklığın etkisi artmıştır (Şekil 33). Eylül ile Aralık ayları arasındaki dönemde, belirlenen kurak yıllarda havzada özellikle SPI indisi dışındaki indislerde 2020 yılı Aralık ayına ait kuraklık koşulları öne çıkmaktadır (Şekil 34). SPI-6 aylık değerler -4,95 ile 4,00, SPEI-6 -2,60 ile 2,85, RDI-6 aylık değerler -4,62 ile 2,49, aSPI-6 aylık değerlerde ise -4,58 ile 2,59 arasında değişen kuraklık şiddeti mevcuttur. SPI-6 indisinde, en düşük kuraklık değeri 2006 yılı Aralık ayında, havzanın batısında yer alan Selçuk İstasyonundadır. SPEI-6 indisinde ise aşırı kuraklık değeri 2007 yılı Ağustos ayında, havzanın doğusunda bulunan Ödemiş İstasyonunda tespit edilmiştir. RDI-6 ve aSPI-6 indislerinde, en yüksek kuraklık şiddeti yine 2006 yılı Aralık ayında, Selçuk İstasyonunda belirlenmiştir. Küçük Menderes Havzası'nda uzun süreli kuraklıklar, özellikle batı kesimde yer alan Selçuk İstasyonunda etkili olmaktayken, doğu kesimdeki Ödemiş İstasyonunda da farklı bir dönemde kuraklık şiddetinin artış gösterdiği görülmektedir.

Ocak ile Nisan ayları arasında kurak koşulların etkili olduğu yıllarda, havzada çalışma alanının geneliyle uyumlu şekilde normal kurak koşullar hakimdir (Şekil 35).

Özellikle aSPI indisinde, 2007 yılı Ocak ve Şubat aylarında aşırı kurak koşullar belirlenmiştir (Şekil 35). Yaz kuraklığına karşılık gelen Mayıs ile Ağustos ayları arasındaki dönemde, SPI indisinde Temmuz ayı dışında 2007 yılında aşırı kurak koşullar öne çıkmaktadır (Şekil 36). Havzada, çalışma alanından farklı olarak, SPI indisinde 2013 yılı Temmuz ayında nemli koşullar etkiliyken, SPEI indisinde 2007 yılı Temmuz ayında aşırı kurak koşullar belirgin hale gelmiştir (Şekil 36). Eylül ile Aralık ayları arasındaki kurak dönemde, çalışma alanının geneliyle farklılık gösteren havzada, SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayında, RDI ve aSPI indislerinde ise 2006 yılı Aralık ayında aşırı kurak koşullar öne çıkmaktadır (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 -4,43 ile 4,00, SPEI-9 -2,47 ile 2,80, RDI-9 -4,06 ve 2,55, aSPI-9 ise -4,13 ile 2,63 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-9 indisinde, 2007 yılı Nisan ayında, havzanın batısında yer alan Selçuk İstasyonunda şiddetli kuraklık değerleri tespit edilmiştir. SPEI-9 indisinde ise en yüksek kuraklık şiddeti 2007 yılı Ocak ayında, yine Selçuk İstasyonunda belirlenmiştir. RDI-9 ve aSPI-9 indislerinde de 2007 yılı Nisan ayında, Selçuk İstasyonu aşırı kuraklık değerlerine sahiptir. Bu durum Küçük Menderes Havzası'nın batı kesiminde uzun süreli kuraklıkların etkisinin 2007 yılı boyunca devam ettiğini ve özellikle Selçuk İstasyonunda belirgin bir şekilde hissedildiğini göstermektedir.

Çalışma alanında kuraklıkların tespit edildiği yıllarda, Ocak-Nisan ayları arasında havzada genel olarak normal kurak koşullar etkili olmuştur. Ancak, 2013 yılı Şubat ayında SPI indisine göre, Mart ayında ise aSPI indisine göre nemli koşullar hâkim olmuştur (Şekil 38). SPEI indisine göre ise 2008 yılı Şubat ayında, çalışma alanında şiddetli kuraklıkların etkisi görülmektedir (Şekil 38). Mayıs ve Haziran ayları arasında uzun dönemli yaz kuraklıkları incelendiğinde, SPI indisine göre 2007 yılı Mayıs, Temmuz ve Ağustos aylarında havzada kuraklık etkili olmuştur (Şekil 39). Eylül-Aralık ayları arasında belirlenen kurak yıllarda, genel olarak havzada kurak koşullar normal kurak koşullar belirlenmiştir. Bununla birlikte, 2013 yılı Eylül ve Ekim aylarında nemli koşullar görülürken, SPEI indisine göre 2008 yılı Aralık ayında havzada kuraklık şiddeti artmıştır (Şekil 40). Uzun dönemli kuraklıkları ifade eden 12 aylıklarda SPI-12 aylık değerler -4,60 ile 4,00, SPEI-12 aylıklar -2,37 ile 2,43, RDI-12 aylıklar -4,21 ile 2,52, aSPI-12 aylıklar ise -4,27 ile 2,54 arasında değişmektedir. Tüm indislerde, en düşük aşırı kuraklık değerleri 2007 yılı Nisan ayında, havzanın batısında yer alan Selçuk İstasyonundadır. Küçük Menderes Havzası'nda uzun dönemli kuraklıkların şiddeti özellikle Selçuk İstasyonunda yoğunlaşmış ve 2007 yılı

boyunca etkili olmuştur. Havzada genel olarak şiddetli kuraklığın görüldüğü 2006-2007 yılları havzanın iç kesimlerine doğru artan karasallık ile kuraklık şiddeti artmıştır. Genel olarak havzada uzun vadede kuraklığın etkisi daha yoğun hissedilmekte ve gelecek dönemlerde kuraklıklarda artış beklenmektedir (Eriş vd., 2020). Bu durum havzada tarım sektöründe çalışanlar için problemlerin oluşmasına neden olur (Eriş vd., 2020; Güney, 2024).

5.1.6. Gediz Havzası

Gediz Havzası, çalışma alanının batı kesiminde yer almakta olup, batıda Ege Denizi, kuzeyde Susurluk Havzası, güneyde Küçük Menderes ve Büyük Menderes havzaları, doğuda ise Sakarya Havzası ile sınırlandırılmıştır. Havza içerisinde, kuzeyden güneye doğru uzanan dağlık kütleler arasında yer alan graben ovaları bulunmaktadır (Çelik, 2010). Kuzeyde Yunt Dağları (1074 m), güneyde Bozdağlar (2150 m), doğuda İç Anadolu platoları ve batıda Ege Denizi havzayı çevreleyen temel coğrafi unsurlar arasındadır (Çelik, 2010). Havza, yarı kurak iklim özelliklerine sahip olup, Akdeniz iklimi ile İç Anadolu ‘nun karasal iklimi arasında bir geçiş niteliğindedir (Yıldırım vd., 2019). Ovalar ve vadilerde karasal özelliklere sahip Akdeniz iklimi görülürken, yüksek rakımlı dağlık alanlar ve platoların hâkim olduğu doğu kesimlerde İç Anadolu ‘nun karasal iklim özellikleri baskındır (Çelik, 2010). Dağların kıyıya dik uzanması, deniz etkisinin batıdan doğuya doğru giderek azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, ovalık alanlarda daha ılıman iklim koşullarının hâkim olmasını sağlarken, doğu kesimlerde karasal iklim özelliklerinin baskın olmasına yol açmaktadır (Yıldırım vd., 2019). Havza, Akdeniz yağış rejiminin etkisi altındadır. Yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ise bol yağışlı ve ılıman geçmektedir. Dağların denize dik uzanması, deniz etkisinin iç kesimlerde de hissedilmesini sağlamaktadır. Yağış miktarının en yüksek olduğu aylar genellikle Aralık, Ocak ve Şubat iken, en düşük yağış miktarı Temmuz ve Ağustos aylarında görülmektedir (Kıymaz, 2015). Çalışmada, Gediz Havzası‘nda kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimini belirlemek amacıyla Salihli, Akhisar ve Gediz meteoroloji istasyonlarından elde edilen SPI, SPEI, RDI ve aSPI kuraklık indisleri kullanılmıştır. Kuraklık şiddeti ve yaşandığı dönemler, kullanılan indisler ve analiz edilen zaman aralıklarına bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Çalışma alanında kurak dönemlerin tespit edildiği yıllarda, Ocak-Nisan ayları arasında SPI ve aSPI indislerine göre 2017 yılı Şubat ayında aşırı kurak koşullar belirgindir (Şekil 26). RDI ve aSPI indislerine göre ise 2018 yılı Nisan ayında aşırı kurak koşullar havza genelinde etkili olmuştur (Şekil 26). Mayıs-Haziran aylarında belirlenen kurak yıllarda, havzada genel olarak normal kurak koşullar hâkim olmakla birlikte, RDI indisine göre 2015 yılı Haziran ayında nemli koşullar tespit edilmiştir (Şekil 27). Eylül-Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, aşırı kurak koşullar SPEI indisine göre 2001 yılı Ekim ayında belirgin hale gelirken, 2015 yılı Aralık ayında SPEI dışındaki tüm indislerde aşırı kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 28). 1 aylık kısa süreli kuraklık değerlerinde SPI-1 -4,58 ile 2,89, SPEI-1 -2,57 ile 2,75, RDI-1 -3,68 ile 3,50, aSPI-1 -3,72 ile 3,36 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-1 indisinde en aşırı kuraklık değeri 1992 yılı Ocak ayında -4,58 ile havzanın kuzeydoğusunda yer alan Gediz İstasyonunda mevcuttur. SPEI-1 analizinde ise 2021 yılı Ağustos ayında -2,57 değeri ile güneybatıda bulunan Akhisar İstasyonu aşırı kurak bir dönem yaşamıştır. RDI-1 sonuçlarına göre, havzanın doğusunda yer alan Salihli İstasyonu 2008 yılı Şubat ayında -3,68 değeri ile şiddetli kuraklık koşulları altında kalmıştır. Ayrıca, aSPI-1 indisinde de 2008 yılı Şubat ayında Gediz İstasyonunda aşırı kuraklık değeri hesaplanmıştır. 1991 yılında meydana gelen Pinatubo volkanik patlaması Türkiye'de sıcak hava dalgalarının etkisinin kısa süreli olsa da kesintiye uğramasına neden olsa da azalan yağış değerleri ile birlikte Ocak ayında SPI indisinde aşırı kuraklık değerlerini temsil etmektedir. Ayrıca 2008 yılında yağış değerlerindeki ciddi azalma Şubat ayında yağışlı dönemde artan kuraklık şiddetini oluşturmaktadır. 1 Ekim 2020-30 Nisan 2021 dönemleri arasında normale göre %23,6 oranında azalan yağış değerleri ve yaz döneminde havzada artan sıcaklık-buharlaşma şiddetine bağlı SPEI indisinde yüksek kuraklık değerlerine sahiptir.

Ocak-Nisan ayları arasında, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda havzada normal kurak koşullar ön plana çıkmaktadır (Şekil 29). Bu dönemde, havzada etkili olan aşırı kurak koşullar, SPEI indisine göre 2001 yılı Mart ayında, RDI indisine göre 2013 yılı Şubat ayında ve aSPI indisine göre ise 2013 yılı Ocak ve Mart ayları arasında nemli koşullar olarak dikkat çekmektedir (Şekil 30). Mayıs-Ağustos ayları arasında kuraklık görülen yıllarda, havzada aşırı kurak koşullar SPI ve RDI indislerinde 2008 yılı Temmuz ayında, SPEI indisine göre ise 2007 yılı Ağustos ayında hâkimdir (Şekil 30). Ayrıca, aSPI indisine göre 2022 yılında çalışma alanının tamamında artan kuraklık şiddeti mevcuttur

(Şekil 30). Eylül-Aralık ayları arasındaki kurak dönemde ise, aşırı kurak koşullar 2007 yılı Eylül ayında SPEI indisine göre ön planda görülmektedir (Şekil 31). Mevsimsel kuraklıkları ifade eden 3 aylık indislerde SPI-3 aylıklar -5,72 ile 2,75, SPEI-3 aylıklar -4,39 ile 2,57, RDI-3 aylıklar -4,70 ile 3,19, aSPI-3 aylıklar ise -4,77 ile 3,13 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-3 analizine göre, 2015 yılı Ocak ayında havzanın kuzeydoğusunda yer alan Gediz İstasyonunda -5,72 değeri ile aşırı kuraklık etkilidir (Şekil 29). SPEI-3 sonuçlarında, 2020 yılı Aralık ayında havzanın güneybatısında bulunan Akhisar İstasyonunda -4,39 değeri ile şiddetli kuraklık koşulları yaşanmıştır (Şekil 31). RDI-3 analizinde ise 2015 yılı Ocak ayında Gediz İstasyonunda aşırı kurak değer mevcuttur ve aynı dönemde aSPI-3 analizleri de Gediz İstasyonunda kuraklık şiddetinin yüksek olduğunu göstermiştir (Şekil 29). Yüksek kuraklık değerlerinin belirlendiği 2015 yılı sonbahar döneminden itibaren sıcaklıklardaki şiddetli artış kuraklık şiddetini etkilemiştir. Aynı zamanda 1 aylık değerlendirmelerde 2020 yılında azalan yağışların etkisi ve sonbahar aylarından itibaren yüksek sıcaklıklar SPEI artan buharlaşma ile şiddetli kuraklığı tetiklemiştir (Taşkın vd., 2022). Özellikle havzada dağların kıyı çizgisine dik uzanması deniz üzerinden gelen rüzgarların hızının yüksek olmasına ve artan rüzgar hızının buharlaşma şiddetini arttırarak SPEI indisinde şiddetli kuraklıkların etkisinin artmasına neden olmaktadır.

Çalışma alanında kurak dönemlerin tespit edildiği yıllarda, Ocak-Nisan ayları arasında genel olarak normal kurak koşullar hâkimdir (Şekil 32). RDI ve aSPI indislerine göre, 2007 yılı Mart ayında havza genelinde kurak koşullar etkili olurken, SPI indisine göre 2013 yılı Nisan ayında nemli koşulların baskın olması, çalışma alanının genel kurak özelliklerinden farklılaşmasına neden olmaktadır (Şekil 32). Mayıs-Ağustos ayları arasındaki kurak dönemlerde, SPEI indisine göre 2008 yılı Haziran ve Ağustos aylarında şiddetli kuraklık koşulları belirgindir (Şekil 33). Diğer aylarda ise hem çalışma alanının genelinde hem de havza ölçeğinde normal kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 33). Eylül-Aralık ayları arasındaki dönemde, 2007 yılı kuraklıkları SPEI indisine göre Ekim ayında ön planda iken, 2020 yılı Aralık ayı kuraklıkları RDI ve aSPI indislerine göre havza genelinde etkili olmuştur (Şekil 34). 6 aylık değerlerde SPI-6 -3,67 ile 2,80, SPEI-6 aylıklarda -2,74 ile 2,61, RDI-6 aylıklarda -3,40 ile 3,03 ile aSPI-6 aylık değerler ise -3,67 ile 3,08 arasında değişmektedir. SPI-6 sonuçlarına göre, 2007 yılı Nisan ayında havzanın güneybatısında bulunan Akhisar İstasyonunda aşırı kurak koşullar hâkim olmuştur. SPEI-6 analizinde, 2000

yılı Kasım ayında havzanın doğusunda yer alan Salihli İstasyonunda -2,74 değeri ile aşırı kuraklık değeri hesaplanmıştır. RDI-6 sonuçlarına göre, 2007 yılı Nisan ayında Salihli İstasyonunda kuraklık şiddeti artmış, aynı dönemde aSPI-6 analizlerinde de Salihli İstasyonu en yüksek kuraklık değerine sahip olmuştur. Yüksek kuraklık değerlerinin görüldüğü 2000 ve 2007 yılları artan deniz suyu sıcaklıkları ve buna bağlı etkili olan antisiklon alanları ile kuraklık şiddetinde artış mevcuttur (Demirtaş, 2017a).

Ocak-Nisan ayları arasında, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak dönemlerde, RDI ve aSPI indislerine göre 2007 yılı kuraklıkları özellikle Ocak, Şubat ve Mart aylarında havza genelinde etkili olmuştur (Şekil 35). Mayıs-Ağustos aylarını kapsayan dönemde, SPI indisine göre 2007 yılı kuraklıklarının Haziran ve Ağustos aylarında etkiliyken, SPEI indisine göre bu etkinin Temmuz ayında belirgin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 36). Eylül-Aralık aylarını içeren kurak dönemlerde, aşırı kurak koşulların 2007 yılında havzada etkisini en belirgin şekilde SPEI indisine göre Ekim ayında gösterdiği görülmektedir (Şekil 37). Aynı dönemde, SPEI indisine göre 2021 yılı Aralık ayında havzada nemli koşullar etkili olurken, RDI ve aSPI indislerine göre 2006 yılı Aralık ayında kuraklık şiddetinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 aylıklarda -3,82 ile 2,56, SPEI-9 aylıklarda -2,67 ile 2,89, RDI-9 aylıklarda -3,76 ile 2,44, aSPI-9 aylıklarda ise -3,83 ile 2,69 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-9 aylıklara göre, 2007 yılı Temmuz ayında Salihli İstasyonunda -3,82 değeri ile aşırı kurak koşullar etkilidir. SPEI-9 sonuçlarında, 2001 yılı Mart ayında aynı istasyonda -2,67 değeri ile en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. RDI-9 ve aSPI-9 analizleri de 2007 yılı Temmuz ayında Salihli İstasyonunda kuraklık şiddetinin yüksek olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, Gediz Havzası'nın doğusundaki kuraklık olaylarının şiddetini vurgulamaktadır.

Uzun dönemli kurak koşulların tespit edildiği yıllarda, Ocak-Nisan ayları arasında havza genelinde şiddetli kuraklık koşulları baskın durumdadır (Şekil 38). aSPI indisine göre, 2007 yılı Şubat ayında ve 2013 yılı Mart ayında havzada nemli koşulların etkili olduğu görülmektedir (Şekil 38). Şubat ayı SPEI indisine göre 2008 yılında, RDI indisine göre ise 2007 yılında aşırı kuraklık koşulları belirgindir (Şekil 38). Havzada Mayıs-Ağustos ayları arasında aşırı kurak koşullar, özellikle SPI indisine göre 2007 yılı Mayıs, Temmuz ve Ağustos aylarında etkili olmuştur (Şekil 39). Eylül-Aralık aylarını kapsayan kurak dönemlerde ise, SPEI indisine göre 2008 yılı Aralık ayında aşırı kurak koşullar dikkat

çekmektedir (Şekil 40). 12 aylık indislerde SPI-12 aylıklar -3,65 ile 2,49, SPEI-12 aylıklar -2,42 ile 2,49, RDI-12 aylıklar -3,32 ile 2,75, aSPI-12 aylıklarda ise -3,64 ile 2,71 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 sonuçlarına göre, 2007 yılı Eylül ayında havzanın doğusunda yer alan Salihli İstasyonunda -3,65 değeri ile aşırı kuraklık etkilidir. SPEI-12 analizlerinde, 2001 yılı Mart ayında yine Salihli İstasyonunda kuraklık şiddetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. RDI-12 sonuçlarında ise 2007 yılı Eylül ayında havzanın güneybatısında bulunan Akhisar İstasyonunda kuraklık şiddetinin arttığı görülmektedir. Aynı dönemde aSPI-12 analizleri de Salihli İstasyonunda kuraklık şiddetinin yüksek olduğunu göstermiştir. 2000 yılı ve 2007 yıllarındaki yüksek deniz suyu sıcaklıkları ve normalin altında meydana gelen yağış değerleri uzun süreli kuraklık şiddetinin (9 ve 12 aylık) etkisinin artmasına sebep olmuştur.

5.1.7. Sakarya Havzası

Sakarya Havzası; kuzeyde Karadeniz'e açılmakta olup, batıda Marmara, Susurluk ve Gediz havzaları; doğuda Batı Karadeniz ve Kızılırmak havzaları, güneyde ise Akarçay ve Konya havzaları ile kesişmektedir. Havzanın kuzey kesiminde Bolu Dağları (2.499 m), doğusunda İdris Dağı (1,992 m), Elmadağ (1,761 m) ve Haymana Platosu; güney kesiminde Emir Dağı (2,307 m), Murat Dağı (2,309 m), Bayat ve Cihanbeyli platoları; batısında ise Domaniç Dağı (1,845 m) ve Uludağ (2,543 m) yer almaktadır. Havza, toplam 20,715 km²'lik bir alanı kapsamakta olup sulamanın yaygın olduğu geniş bir ovaya sahiptir (Yaykıran, 2016). Havzanın iklim özellikleri kuzeyde Karadeniz iklimi ile şekillenirken, Marmara Havzası'na kadar olan kesimde Akdeniz ikliminin etkileri görülmektedir. Havzanın güneyine doğru ilerledikçe karasal iklim koşulları baskın hale gelmektedir. Bu bölgelerde yaz ayları sıcak, kış ayları ise soğuk geçmekte olup yaz döneminde yağış miktarlarında azalma görülmektedir (Yaykıran, 2016). Havzada çalışmaya dâhil edilen meteoroloji istasyonları Geyve, Sakarya, Ankara, Ankara Esenboğa Havalimanı, Beypazarı, Kızılcahamam, Nallıhan, Polatlı, Bilecik, Bozüyük, Ilgın, Yunak ve Kütahya'dır. Bu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak havzadaki kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi analiz edilmiştir. Havzada kullanılan indisler ve analiz edilen dönemlere bağlı olarak, kuraklığın şiddeti ve meydana geldiği aylar farklılık göstermektedir.

Çalışma alanında belirlenen kuraklık yıllarında, Ocak-Nisan ayları arasında havza genelinde aşırı kurak koşulların etkili olduğu görülmektedir. Özellikle 2017 yılında, SPEI indisi dışındaki tüm indislerde şiddetli kuraklık koşulları dikkat çekmektedir (Şekil 26). Ayrıca, 2018 yılı Nisan ayında RDI ve aSPI indislerinde kuraklık şiddetinin arttığı görülmektedir (Şekil 26). Mayıs-Ağustos ayları arasında, havzada aşırı kurak koşullar belirgindir. Özellikle 2012 yılında, SPEI indisine göre Temmuz ayında şiddetli kuraklık koşulları ön planda yer alırken, 2006 yılı kurak dönemi RDI ve aSPI indislerine göre Ağustos ayında artış göstermektedir (Şekil 27). Eylül-Aralık aylarını kapsayan dönemde ise, 2015 yılında havza genelinde aşırı kurak koşullar etkili olmuş ve bu durum SPEI indisi dışındaki tüm indislerde belirgin şekilde tespit edilmiştir (Şekil 28). 1 aylık indis değerleri SPI-1 aylıklarda -4,99 ile 3,02, SPEI-1 aylıklarda -3,37 ile 2,77, RDI-1 aylıklarda -3,47 ile 3,88 ve aSPI-1 aylıklarda -3,58 ve 3,53 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-1 sonuçlarına göre, 2003 yılı Haziran ayında havzanın kuzeydoğusunda yer alan Sakarya İstasyonunda -4,99 değeri ile aşırı kuraklık mevcuttur (Şekil 27). SPEI-1 analizlerinde 2010 yılı Ağustos ayında havzanın güneybatısında bulunan Yunak İstasyonunda -3,37 değeri ile kuraklık şiddetinde artış görülmüştür. RDI-1 sonuçlarında, 2021 yılı Mayıs ayında havzanın kuzeydoğusunda yer alan Kızılcahamam İstasyonunda -3,47 değeri ile kuraklık tespit edilmiştir. Aynı şekilde, aSPI-1 analizleri de 2021 yılı Haziran ayında Kızılcahamam İstasyonunda -3,58 değeri ile aşırı kuraklık koşullarını göstermiştir.1 aylık indislerde 2003, 2010 ve 2021 yıllarında yaz aylarına dek kuraklık şiddetinde artış görülmektedir. Bu durum 2003, 2010 ve 2021 yıllarında meydana gelen Türkiye üzerinde etkili sıcak hava dalgaları ile ilişkilidir (Demirtaş ,2017a).

Çalışma alanında aşırı kurak dönemlerin tespit edildiği yıllarda, Ocak-Nisan ayları arasında havza genelinde kurak koşullar ön plandadır. Özellikle 2001 yılı Mart ayında SPEI indisine göre aşırı kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 29). SPI indisine göre ise, 2014 yılı Mart ayında havzanın kuzey kesiminde kuraklık şiddetinde artış mevcuttur, diğer aylarda normal kurak koşullar hâkimdir (Şekil 29). Mayıs-Ağustos ayları arasında, havzada kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir. Özellikle aSPI indisine göre, 2022 yılı Temmuz ayında kuraklık şiddetinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 30). Eylül-Aralık aylarını kapsayan kurak yıllarda ise, SPEI indisine göre 2007 yılı Eylül ayında, 2020 yılı Ekim ve Aralık aylarında aşırı kurak koşullar etkili olmuştur. Diğer dönemlerde ise, havza genelinde normal kurak koşullar görülmektedir (Şekil 31). 3 aylık kuraklıklarda SPI-3 aylıklar -5,96 ile 3,84, SPEI-

3 aylıklarda -2,76 ile 2,94, RDI-3 aylıklarda -5,09 ile 4,16, aSPI-3 aylıklarda ise -5,21 ile 3,81 arasında değişen değerler bulunmaktadır. SPI-3 sonuçlarına göre, 2022 yılı Haziran ayında havzanın doğusunda yer alan Ankara İstasyonunda -5,96 ile en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-3 analizlerinde, 2014 yılı Ocak ayında havzanın batısında bulunan Kütahya İstasyonunda -2,76 değeri ile artan kuraklık şiddeti görülmektedir. RDI-3 ve aSPI-3 analizlerinde de 2022 yılı Haziran ayında Ankara İstasyonunda en yüksek kuraklık değerleri belirlenmiştir. 2014 yılında yağışların uzun yıl ortalamalarına göre azaldığı kış ayları ve artan sıcaklıklar Ocak ayında SPEI indisinde havzanın batısında aşırı kuraklıklara sebep olmuştur. 2022 yılı Haziran ayı ise yaz sıcaklıklarının artışı azalan yağışlar ile yüksek kuraklıklar havzanın doğusunda belirlenmiştir.

Ocak-Nisan aylarını kapsayan kurak yılların incelendiği dönemde, özellikle SPEI indisine göre 2021 yılı Ocak ayında ve 2014 yılı Şubat, Mart ve Nisan aylarında havza genelinde aşırı kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 32). Diğer aylarda ise havzada normal kurak koşullar etkilidir (Şekil 32). Mayıs-Ağustos ayları arasındaki dönemde, SPEI indisine göre özellikle havzanın güney kesiminde 2008 yılı Haziran ve Ağustos aylarında kuraklık şiddetinde artış mevcuttur (Şekil 33). Buna ek olarak, RDI ve aSPI indislerine göre 2006 yılı yaz kuraklıklarının havzanın kuzey kesiminde etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 33). Eylül-Aralık aylarını kapsayan kurak dönemde ise, en şiddetli kuraklıkların Aralık 2020'de yaşandığı belirlenmiştir. Bu dönemde, SPEI, RDI ve aSPI indisleri havza genelinde aşırı kurak koşulların etkili olduğunu göstermektedir (Şekil 34). 6 aylıklarda SPI-6 -5,68 ile 3,57, SPEI-6 -4,12 ile 2,77, RDI-6 -4,80 ile 3,44, aSPI-6 aylıklarda ise -5,07 ile 3,73 arasında değişen kuraklık değerleri görülmektedir. SPI-6 sonuçlarına göre, 2022 yılı Aralık ayında havzanın doğusunda yer alan Ankara İstasyonunda en yüksek kuraklık değeri hesaplanmıştır. SPEI-6 analizlerinde, 2007 yılı Ekim ayında havzanın güneybatısında bulunan Ilgın İstasyonunda -4,12 değeri ile aşırı kuraklık tespit edilmiştir. RDI-6 analizlerinde, 2021 yılı Ekim ayında havzanın kuzeydoğusunda yer alan Kızılcahamam İstasyonunda -4,80 değeri ile aşırı kurak koşullar hâkim olmuştur. Aynı şekilde, aSPI-6 analizlerinde de 2022 yılı Aralık ayında Ankara İstasyonunda aşırı kurak koşullar belirlenmiştir.

Ocak-Nisan aylarını kapsayan kurak dönemde, havzada SPEI indisine göre 2014 yılı Ocak ayında, aSPI indisine göre ise Nisan ayında kuraklık şiddetinde artış görülmektedir

(Şekil 35). Mayıs-Ağustos ayları arasındaki genel kurak koşullarda, özellikle SPI indisine göre 2007 yılı Haziran ve Ağustos aylarında kuraklık şiddetinde artış meydana gelmiştir (Şekil 36). Eylül-Aralık aylarını kapsayan kurak dönemde ise, SPEI indisine göre 2007 yılı Ekim ayı kuraklıkları havzanın genelinde etkili olmuştur (Şekil 37). Ayrıca, 2006 yılındaki kurak koşullar havzanın kuzey kesiminde RDI ve aSPI indislerinde daha belirgin hale gelmiştir (Şekil 37). 9 aylık kuraklıklarda SPI-9 aylıklar -4,51 ile 3,05, SPEI-9 aylıklarda -2,80 ile 3,20, RDI-9 aylıklarda -4,31 ile 3,16 ve aSPI-9 aylıklarda ise -5,79 ile 3,22 arasında değişen kuraklık değerleri hakimdir. SPI-9 analizine göre, 2022 yılı Ocak ayında havzanın kuzeydoğusunda yer alan Kızılcahamam İstasyonunda -4,51 değeri ile aşırı kuraklık etkilidir. SPEI-9 analizlerinde, 2016 yılı Aralık ayında havzanın batısında bulunan Bilecik istasyonunda -2,80 değeri ile aşırı kuraklık etkilidir. RDI-9 sonuçlarına göre, 2022 yılı Ocak ayında yine Kızılcahamam istasyonunda -4,31 değeri ile kuraklık şiddeti belirgin hale gelmiştir. aSPI-9 analizlerinde ise 2022 yılı Aralık ayında havzanın doğusunda yer alan Ankara İstasyonunda -5,79 değeri ile en yüksek kuraklık şiddeti belirlenmiştir.

Çalışma alanında belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak-Nisan ayları arasında havzadaki kurak koşullar özellikle SPI indisine göre 2014 yılında belirgin şekilde etkili olmuştur (Şekil 38). RDI indisine göre, 2007 yılı Şubat ayında havzanın kuzey kesiminde yüksek kuraklık şiddeti etkiliyken, 2014 yılı Nisan ayında hem RDI hem de aSPI indislerine göre kuraklık havzanın tamamında etkili olmuştur (Şekil 38). Mayıs-Ağustos ayları arasında ise havzanın genelinde normal kurak koşulların baskın olduğu görülmektedir (Şekil 39). Eylül-Aralık ayları arasındaki dönemde, özellikle RDI ve aSPI indislerine göre, havzanın kuzey kesiminde etkili olan kuraklık şiddetinin 2006 yılına ait olduğu belirlenmiştir (Şekil 40). Uzun dönemli kuraklıklarda SPI-12 -3,82 ile 3,09, SPEI-12 aylıklarda -3,02 ile 2,80, RDI-12 aylıklarda -3,99 ile 3,27, aSPI-12 aylık değerler ise -4,15 ile 3,44 arasında değişmektedir. SPI-12 analizine göre, 2017 yılı Mart ayında havzanın batısında yer alan Bilecik İstasyonunda en yüksek kuraklık değeri hesaplanmıştır. SPEI-12 analizlerinde, 2008 yılı Aralık ayında havzanın batısında bulunan Kütahya istasyonunda -3,02 değeri ile aşırı kuraklık tespit edilmiştir. RDI-12 sonuçlarında, 2017 yılı Şubat ayında yine Bilecik İstasyonunda şiddetli kuraklık etkili olmuştur. aSPI-12 analizlerinde ise 2022 yılı Aralık ayında havzanın doğusunda yer alan Ankara istasyonunda kuraklık şiddetinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

5.1.8. Akarçay Havzası

Akarçay Havzası, kuzeyde Sakarya, güneyde Antalya, batıda Büyük Menderes ve doğuda Konya havzaları ile sınırlandırılmış olup, kuzeydoğuda Emir ve Türkmen Dağları, kuzeybatıda İlbudak Dağı, güneydoğuda Sultan Dağı ve güneybatıda Ahır ile Kumalar Dağları ile çevrelenmektedir (Coşkun, 2020). Havzanın güneyinde doğu-batı doğrultusunda uzanan sıradağlar, bölgenin kapalı havza niteliği kazanmasına katkı sağlamış, bu durum karasal iklim koşullarının baskın hale gelmesine neden olmuştur. Buna bağlı olarak yaz ayları sıcak, kış ayları ise soğuk ve kar yağışlı geçmektedir (Bahadır, 2012a). Havzanın batı kesimi, dağların uzanış yönü nedeniyle Ege'den gelen nemli hava kütlelerinin etkisi altında kalarak daha nemli bir yapıya sahipken, iç ve doğu kesimlere doğru ilerledikçe nem oranı azalmaktadır (Bahadır, 2013b). Havza tabanı ile yüksek dağlık alanlar arasındaki yaklaşık 1000 metreyi bulan yükselti farkı, iklimde yerel farklılıklara neden olmaktadır (Kale, 2021). Bu faktörler, havzanın kapalı havza niteliği ile birleşerek bölgenin kuraklık koşullarına karşı hassasiyetini artırmaktadır. Bu çalışma kapsamında, havzadaki kuraklık koşullarının mekânsal ve zamansal değişimini belirlemek amacıyla üç meteoroloji istasyonu kullanılmıştır. Söz konusu istasyonlar, havzanın batısında yer alan Afyon, kuzeyinde bulunan Bolvadin ve güneydoğusundaki Akşehir istasyonlarıdır. Bu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak kuraklığın şiddeti ve gerçekleştiği dönemler belirlenmiş olup, farklı indisler ve analiz edilen periyotlara bağlı olarak kuraklığın şiddeti ve etkili olduğu aylar değişkenlik göstermektedir.

Çalışma alanında kurak dönemlerin belirlendiği yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında havzada SPEI indisinde 2008 yılında şiddetli kuraklıklar görülürken aynı zamanda 2017 yılında da diğer indislerde de şiddetli kuraklıklar dikkat çekmektedir (Şekil 26). Aynı zamanda RDI ve aSPI indislerinde 2018 yılı Nisan ayında da aşırı kurak koşullar hakimdir (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemlerde genel olarak havzanın tamamı ile benzer şekilde normal kurak koşullar ön plandadır (Şekil 27). RDI ve aSPI indislerinde Haziran ayında havzada 2015 yılı nemli koşullar ile temsil edilmektedir (Şekil 28). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönemde ise havzada 2001 yılı Ekim ayı SPEI indisinde görülen aşırı kurak koşullar aynı zamanda Aralık ayı 2018 yılında SPI, RDI ve aSPI indislerinde görülmektedir (Şekil 28). Akarçay Havzası'nda aşırı kurak değerlerin değişimi indislere göre farklılaşmaktadır. SPI-1 aylıklarda -3,53 ile 2,86 arasında, SPEI-1

aylıklarda -2,92 ile 2,38, RDI-1 aylıklarda -3,32 ile 3,21 ve aSPI-1 aylıklarda -3,44 ile 3,34 arasındadır. Havzada ayı aşırı kuraklık değerinin SPI-1 aylık indislerine ait olduğu belirlenirken -3,53 değeri havzanın kuzey kesimindeki Bolvadin İstasyonunda 1992 yılının Ocak ayında belirlenmiştir. SPEI-1 aylıklarda aşırı kurak değer ise -2,92 havzanın doğunda bulunan Akşehir İstasyonunda 2010 yılının Ağustos ayındadır. Havzada RDI-1 aylıklarda aşırı kuraklık değer -3,32 2006 yılının Nisan ayında havzanın batısındaki Afyon İstasyonundadır. RDI-1 aylıklar ile benzer şekilde aSPI-1 aylıklarda da Afyon İstasyonunda ise 2006 yılı Nisan ayında aşırı kuraklık değeri mevcuttur. Havzanın karasal iklim özelliklerine sahip olması ve özellikle en yüksek yağış değerlerinin bahar aylarında etkili olması Nisan ayında azalan yağışların şiddetli kuraklık ile temsil edilmesine neden olmaktadır. SPEI indisinde ise Ağustos ayında görülen aşırı kurak değer SPEI indisinde buharlaşma şiddeti ile artan kuraklığın etkisini temsil etmektedir. SPEI'nın temel olarak su açığı ile hesaplanıyor olması havzada sıcaklıkların arttığı ve yağışın azaldığı yaz aylarında en yüksek kuraklık değerini göstermektedir. 1992 yılında kaydedilen düşük sıcaklık değerleri, 1991 yılında gerçekleşen ve 20. yüzyılın en şiddetli volkanik patlamalarından biri olan Pinatubo Yanardağının püskürmesiyle ilişkilidir (Güler ve Erlat, 2023). SPI-1 aylıklarda 1992 yılında etkili olan şiddetli kuraklık değerleri 1991 yılındaki patlamaya bağlı oluşan düşük sıcaklıklar ile uyumludur. Özellikle 2006 yılında başlayan ve Aralık 2008'e kadar süren sonbahar ve kış yağışlarının normalin altında kalması, kuraklık şiddetinin artmasına neden olmuştur (Türkeş, 2012b). 2006 yılından itibaren azalan yağış değerleri ile SPEI-1 aylık indisinde 2010 yılında en yüksek kuraklık değerinin belirlenmesinde, aynı yıl yaşanan en sıcak kış mevsimi ve yaz sıcaklıklarındaki pozitif anomali değerleri ile açıklanmaktadır. Bu sıcaklık anomalileri, merkezi Rusya olmak üzere Türkiye'yi de etkisi altına alan aşırı sıcak hava dalgaları ile ilişkilendirilmektedir (Erlat, vd., 2021b).

SPI-3 aylık indislerde kuraklık değerleri -2,84 ile 3,29 arasında değişirken, SPEI-3 için kuraklık değerleri -2,74 ile 2,59 arasındadır. RDI-3 aylıklarda -2,82 ve 3,50, aSPI-3 aylıklarda -2,79 ile 3,44 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. Türkiye'de en yüksek kuraklıkların belirlendiği yıllara baktığımızda SPEI-3 Mart ayında havzada artan kuraklık değerleri dikkat çekmektedir. Havzada SPI-3 2007 yılı Mayıs ve SPI-3 2008 yılı Temmuz ayında kuraklık şiddetinin arttığı görülür (Şekil 30). 2022 yılında aSPI-3 indisinde Türkiye genelindeki şiddetli kuraklık havzada da belirgindir (Şekil 31). SPEI-3 aylık 2007 Eylül ayında da artan kuraklık şiddeti dışındaki dönemlerde normal kuraklıklar mevcuttur (Şekil

31). SPI-3 aylıklarda aşırı kurak değerler 2007 yılı Mayıs ayında havzanın kuzey kesimindeki Bolvadin İstasyonundadır (Şekil 30). SPEI-3 aylıklarda aşırı kuraklık 2008 yılı Haziran ayı havzanın batı kesimindeki Afyon İstasyonundadır. RDI-3 (-2,82) ve aSPI-3 (-2,79) aylıklarda aşırı kurak değer 2019 yılı Kasım ayı havzanın doğusundaki Afyon İstasyonuna aittir.

SPI-6 aylık kuraklık değerleri -3,58 ile 3,32, SPEI-6 aylıklar -2,99 ile 2,62 arasındadır. RDI-6 aylıklar -3,16 ve 3,35, aSPI-6 aylıklarda -3,16 ile -1,74 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. Ocak-Nisan ayları arasında SPEI-6 aylıklılar dışında havzada normal kurak koşullar görülmektedir (Şekil 32). SPEI-6 aylık Ocak ayı 2021 yılında ve 2014 yılında Mart ile Nisan aylarında havzanın doğusunda artan kuraklık şiddeti havzanın tamamında etkili olmuştur (Şekil 32). SPEI-6 aylıklarda 2008 yılında Haziran ve Ağustos aylarında kuraklık şiddeti çalışma alanının tamamı ile uyumlu şekilde artmıştır (Şekil 33). SPEI- Ekim ve SPEI, RDI ve aSPI indislerinde 2020 yılında Aralık ayında havzanın tamamında şiddetli kuraklıklar etkili olmuştur (Şekil 34). Havza içerisinde SPI-6 aylıklarda aşırı kuraklık 2007 yılının Eylül ayında havzanın kuzeyindeki Bolvadin İstasyonunda yaşanmıştır. SPEI-6 aylıklarda aşırı kurak değer 2008 yılı Ağustos ayında -2,99 havzanın batısındaki Afyon'dadır (Şekil 33). RDI-6 ve aSPI-6 aylıklardaki aşırı kurak değer 2007 Eylül ayı -3,16 havzanın kuzeyindeki Bolvadin İstasyonunda belirlenmiştir.

Çalışma alanı genelinde tespit edilen kurak yıllar içerisinde, 2014 yılında Ocak-Nisan ayları arasındaki dönemde artan kuraklık şiddeti özellikle dikkat çekmektedir (Şekil 35). Bu kapsamda, SPI indisinde Mart ayı, aSPI indisinde ise Nisan ayı, 2014 yılı kuraklıklarının havza genelinde en fazla etkili olduğu dönemler olarak belirlenmiştir (Şekil 35). Mayıs ve Haziran ayları arasında, aşırı kuraklıkların özellikle 2007 ve 2021 yıllarında şiddetlendiği görülmektedir (Şekil 36). SPI indisinde, 2007 yılı kuraklıklarının Mayıs, Haziran ve Ağustos aylarında havza üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 36). SPEI indisinde ise 2021 yılı Mayıs ayında havzadaki kuraklık şiddetinin belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kuraklık analizlerine bakıldığında, çalışma alanı genelinde normal kurak koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 37). Bununla birlikte, aşırı kurak koşulların, SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayında etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 37). 9 aylık kuraklık değerlendirmelerinde SPI-9 aylıklarda -3,37 ile 3,75, SPEI-9 -2,26 ile 2,64, RDI-9 -3,10 ile 3,77, aSPI-9 -3,18 ile 387 arasında değişen kuraklık değerleri

belirlenmiştir. SPI-9 aylıklardaki aşırı kurak değer -3,37 2007 yılı Ağustos ayında havzanın kuzey kesimindeki Bolvadin İstasyonundadır. SPEI- 9 aylıklardaki aşırı kurak değer ise -2,26 2007 yılının Eylül ayında yine havzanın kuzey kesiminde bulunan Bolvadin İstasyonunda belirlenmiştir. RDI-9 aylık indislerde -3,10 aşırı kuraklık değeri diğer indisler ile uyumlu olarak Bolvadin İstasyonunda 2007 yılı Ekim ayındadır. aSPI-9 indisi RDI ile uyumlu 2007 yılı Ekim ayında -3,18 Bolvadin İstasyonuna aittir.

Çalışma alanında tespit edilen kurak yıllar içerisinde, Ocak ile Nisan ayları arasındaki dönemde 2014 yılı kuraklıklarının havza genelinde belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 38). SPI indisinde Ocak, Mart ve Nisan aylarında kuraklık şiddetinde artış görülmektedir, RDI ve aSPI indislerinde bu artışın özellikle Nisan ayında etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 38). Mayıs ile Ağustos ayları arasındaki süreçte, havza genelinde normal ve şiddetli kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 39). Eylül ile Aralık ayları arasındaki dönemde ise aşırı kuraklık koşullarının özellikle 2008 yılı Aralık ayında havza üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 40). Havzadaki 12 aylık kuraklık değerleri SPI-12 için -3,46 ile 3,52, SPEI-12 -2,38 ile 2,54, RDI-12 -3,06 ile 3,86 ve aSPI-12 -3,15 ile 4,02 arasında değişmektedir. SPI-12 aylıklarda aşırı kurak değer -3,46 2007 yılı Kasım ayı Bolvadin İstasyonundadır. SPEI-12 aylıklardaki aşırı kurak değer -2,38 2007 yılı Kasım ayı Bolvadin İstasyonu olarak belirlenmiştir. RDI-12 aylıklarda da benzer olarak -3,06 aşırı kurak değeri 2007 yılı Ekim ayında Bolvadin İstasyonundadır. aSPI-12 aylıklarda belirlenen aşırı kurak değer -3,15 yine Bolvadin İstasyonunda 2007 yılı Ekim ayına aittir. 6, 9 ve 12 aylık uzun dönemli kuraklık analizlerinde, Türkiye genelinde şiddetli kuraklıkların yaşandığı 2007 ve 2008 yılları dikkate değer bulunmuştur. Havza genelinde uzun süreli kuraklık etkileri, özellikle Bolvadin İstasyonunda Ekim ve Kasım aylarında belirgin hale gelmiştir. İlkbahar, sonbahar ve kış aylarında mevcut olan sıcaklık artışları, uzun dönemli kuraklık indislerinde Türkiye genelinde etkili olan 2007-2008 kuraklıkları ile doğrudan ilişkilendirilmiştir (Coşkun, 2020).

5.1.9. Burdur-Göller Havzası

Burdur-Göller Havzası, çalışma alanının güney kesiminde yer almakta olup, Akarçay, Büyük Menderes, Batı Akdeniz, Antalya, Konya ve Sakarya havzaları arasında konumlanmaktadır. Toros Dağları'nın kuzey kesiminde yer alan havza, çevresi dağlık

alanlarla çevrili tektonik bir yapıya sahiptir. İklim özellikleri bakımından Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasında bir geçiş bölgesi niteliği taşımaktadır (Dursun ve Babalık, 2021). Havzada yer alan Burdur ve Tefenni meteoroloji istasyonlarına ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak, kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi analiz edilmiştir. Havzada kullanılan indisler ve analiz edilen dönemlere bağlı olarak, kuraklığın şiddeti ve etkili olduğu ayların farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Çalışma alanının tamamında belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında, SPEI indisi dışındaki tüm indislerde 2017 yılı Şubat ayında kuraklık şiddetinde artış görülmektedir (Şekil 26). Bununla birlikte, RDI ve aSPI indisleri incelendiğinde, 2018 yılı Nisan ayında havzada aşırı kuraklık koşullarının etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemlerde, genel olarak havzada normal kurak koşullar hâkimken, SPEI indisinde 2012 yılı Temmuz ayında kuraklık şiddeti artmıştır (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönemlerde ise, özellikle 2015 yılı Aralık ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak koşulların belirgin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 28). SPI-1 aylık değerler -4,56 ile 2,98, SPEI-1 aylıklar -2,38 ile 2,41, RDI-1 aylıklar -3,19 ile 2,93, aSPI-1 aylıklar ise -3,39 ile 2,73 arasında değişmektedir. Burdur Havzası'nda SPI-1, SPEI-1, RDI-1 ve aSPI-1 analizleri, havzanın farklı bölgelerinde aşırı kuraklık dönemlerini ortaya koymuştur. SPI-1 sonuçlarına göre, 1992 yılı Ocak ayında havzanın güneybatısında yer alan Tefenni İstasyonunda -4,56 ile en yüksek kuraklık değeri hesaplanmıştır. SPEI-1 analizlerinde, 2021 yılı Ağustos ayında havzanın merkezinde bulunan Burdur İstasyonunda -2,38 değeri ile kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir. RDI-1 sonuçlarına göre, 1992 yılı Ocak ayında Tefenni İstasyonunda -3,19 değeri ile aşırı kuraklık etkilidir. Aynı şekilde, aSPI-1 analizlerinde de 1992 yılı Ocak ayında Tefenni İstasyonunda kuraklık şiddetinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ocak ve Nisan ayları arasında, çalışma alanının genelinde kuraklık şiddetinin arttığı yıllar incelendiğinde, havzada SPEI indisinde 2001 yılı Mart ayında kuraklık şiddetinde belirgin bir artış görülmektedir (Şekil 29). Diğer aylarda ise havzada, çalışma alanının genel eğilimiyle uyumlu olarak, normal kurak koşullar hâkimdir (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos aylarını kapsayan kurak dönem incelendiğinde, SPI indisinde 2007 yılı Mayıs ve 2008 yılı Temmuz aylarında aşırı kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 30). RDI indisinde 2008 yılı Haziran ayında, SPEI indisinde ise 2007 yılı Ağustos ayında havzada

aşırı kurak koşulların ön plana çıktığı tespit edilmiştir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki aşırı kurak koşullar açısından değerlendirildiğinde, SPEI indisinde 2007 yılı Eylül ayında kuraklık şiddetinin arttığı görülmektedir (Şekil 31). SPI-3 aylık değerlerde -4,97 ile 2,82, SPEI-3 aylıklarda -2,76 ile 2,42, RDI-3 aylıklarda -3,92 ile 2,92 ve aSPI-1 aylık değerlerde -4,00 ile 2,98 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 sonuçlarına göre, 2022 yılı Eylül ayında havzanın güneybatısında yer alan Tefenni İstasyonunda -4,97 ile şiddetli kuraklık etkilidir. SPEI-3 analizlerinde, 2016 yılı Ocak ayında havzanın merkezinde bulunan Burdur İstasyonunda -2,76 değeri ile aşırı kuraklık tespit edilmiştir. RDI-3 ve aSPI-3 analizlerinde de 2022 yılı Eylül ayında Tefenni İstasyonunda kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 30).

Çalışma alanının genelinde aşırı kurak yılların tespit edildiği dönemlerde, Ocak ve Nisan ayları arasında havzada genel olarak normal kurak koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 32). Mayıs ve Haziran aylarını kapsayan dönemde ise, SPEI indisinde 2008 yılı Haziran ve Ağustos aylarında aşırı kurak koşulların etkili olduğu görülmüştür (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönemlerde ise, SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayında kuraklık şiddetinde artış görülmekte olup, 2020 yılı Aralık ayında SPEI, RDI ve aSPI indislerinde de belirgin kuraklık koşulları tespit edilmiştir (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 -2,65 ile 2,52, SPEI-6 aylıklarda -2,37 ile 2,39, RDI-6 aylıklarda -2,52 ile 2,98 ve aSPI-6 aylık değerlerde ise -2,55 ile 2,97 arasında kuraklık değerleri değişmektedir. SPI-6 sonuçlarına göre, havzanın merkezinde yer alan Burdur İstasyonunda -2,65 değeri ile aşırı kuraklık belirgin hale gelmiştir. SPEI-6 analizlerinde, aynı dönemde havzanın güneybatısında bulunan Tefenni İstasyonunda kuraklık şiddetinin yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 33). RDI-6 ve aSPI-6 analizlerinde de 2008 yılı Haziran ayında Burdur İstasyonunda kuraklık şiddetinin arttığı görülmektedir (Şekil 33). Havzada 6 aylık analizlerde 2008 yılı yaz kuraklıklarının etkisi yüksektir.

Ocak ve Nisan ayları arasında çalışma alanının tamamında belirlenen kurak yıllar içerisinde havzada normal kurak dönemler görülmektedir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos aylarını kapsayan dönemde ise, havzada aşırı kurak koşulların 2007 yılında şiddetlendiği belirlenmiştir. Bu durum, SPI indisinde Haziran ve Ağustos aylarında, SPEI indisinde ise Temmuz ayında daha belirgin hale gelmiştir (Şekil 36). Ayrıca, 2007 yılı kuraklıklarının etkisi, havzada Eylül ve Aralık aylarını kapsayan kurak dönemde de devam etmiş ve SPEI

indisinde de kurak dönemin etkileri ön plandadır (Şekil 37). SPI-9 aylık değerler -2,69 ile 2,38, SPEI-9 aylıklarda -2,48 ile 2,71, RDI-9 aylıklarda -2,44 ile 2,58 ve aSPI-9 aylık değerlerde ise -2,39 ile 2,63 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. Havzanın güneybatısında yer alan Tefenni İstasyonunda kuraklık dönemler ortaya koyulmuştur. SPI-9 sonuçlarına göre, 2021 yılı Kasım ayında Tefenni İstasyonunda -2,69 ile en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-9 analizlerinde, 2008 yılı Eylül ayında aynı İstasyonda -2,48 değeri ile aşırı kuraklık tespit edilmiştir. RDI-9 ve aSPI-9 analizlerinde de 2021 yılı Kasım ayında Tefenni İstasyonunda kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir.

Çalışma alanında uzun dönemli kurak koşulların belirlendiği yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında havzada aşırı kurak koşullar özellikle 2014 yılında etkili olmuştur (Şekil 38). Özellikle SPI indisinde Ocak ayında artan kuraklık şiddeti, Nisan ayında tüm indislerde belirgin hale gelmiştir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos aylarını kapsayan dönemde, yaz kuraklıklarının havzada özellikle SPI indisinde 2006 ve 2007 yıllarında etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak koşullarda ise, aşırı kuraklık özellikle 2008 yılı Aralık ayında SPEI indisinde belirgindir (Şekil 40). Uzun dönemli kuraklık şiddetinin belirlendiği 12 aylık indislerde SPI-12 aylıklar -2,69 ile 2,77, SPEI-12 aylıklar ise -2,30 ile 2,40, RDI-12 aylıklar -2,44 ile 3,09 ve aSPI-12 aylıklar -2,39 ile 3,21 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-12 sonuçlarına göre, 2021 yılı Kasım ayında Tefenni istasyonunda en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. SPEI-12 analizlerinde, 2008 yılı Kasım ayında Tefenni İstasyonunda -2,30 ile kuraklık şiddetinin en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. RDI-12 ve aSPI-12 analizlerinde de 2021 yılı Kasım ayında Tefenni İstasyonunda yüksek kuraklık değerleri mevcuttur. Uzun dönemli kuraklık indisleri 9 ve 12 aylıklarda Tefenni İstasyonunun Toros Dağları'nın gerisinde kalmasına bağlı şiddetli kuraklıklar 2021 ile 2008 yıllarındaki azalan yağışların etkisi ile artmıştır.

5.1.10. Büyük Menderes Havzası

Büyük Menderes Havzası, çalışma alanının batı kesiminde yer almakta olup batıda Ege Denizi, kuzeyde Küçük Menderes ve Gediz Havzası, güneyde Batı Akdeniz ve Burdur-Göller Havzaları, doğuda ise Akarçay Havzası ile sınırlarını paylaşmaktadır. Havzanın jeomorfolojik yapısı, kuzeydeki diğer havzalarda olduğu gibi kıyıya dik uzanan dağlık

alanlar arasında yer alan graben ovalarından oluşmaktadır. Bu jeomorfolojik özellikler, bölgedeki iklim koşullarını doğrudan etkilemektedir. Denizden gelen nemli hava kütleleri havzanın iç kesimlerine doğru ilerleyerek güney ve batı kesimlerinde Akdeniz ikliminin, kuzey kesimlerinde ise karasal iklimin hakim olmasına neden olmaktadır (Öztürk ve Cebeci, 2021). Karasal iklimin etkili olduğu kuzey kesimde kış ayları soğuk ve yağışlı geçmektedir (Öztürk ve Cebeci, 2021). Havzadaki en yüksek yağış miktarı güneydoğu kesimde bulunan Yatağan İstasyonunda, en düşük yağış miktarı ise doğu kesimde yer alan Dinar İstasyonunda kaydedilmiştir. Çalışmada havzaya ait toplam sekiz meteoroloji istasyonu kullanılmış olup bu istasyonlar; kuzeyde Aydın, Sultanhisar ve Nazilli; doğuda Uşak, Güney ve Dinar; güneyde ise Yatağan ve Denizli'de konumlanmaktadır. Bu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak havzadaki kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi analiz edilmiştir. İncelenen indisler ve dönemlere bağlı olarak, havzada kuraklığın şiddeti ve etkili olduğu ayların farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Çalışma alanının genelinde kurak yılların yaşandığı dönemlerde, Ocak ve Nisan ayları arasında SPI ve RDI indisleri doğrultusunda 2017 yılı Şubat ayında havzada aşırı kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 26). Benzer şekilde, aşırı kurak koşulların tespit edildiği bir diğer dönem Nisan ayı olup, özellikle SPI indisinde 2015 yılı, RDI ve aSPI indislerinde ise 2018 yılı, havza genelinde belirgin bir şekilde öne çıkmaktadır (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki süreçte, hem havzada hem de çalışma alanının tamamında genel olarak normal kurak koşulların hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönemlerde ise, 2015 yılı Aralık ayında RDI ve aSPI indisleri doğrultusunda havzada aşırı kurak koşulların meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 28). Kısa süreli kuraklıkların belirlendiği 1 aylık indislerde SPI-1 -5,07 ile 2,90, SPEI-1 aylıklar -3,54 ile 2,70, RDI-1 aylıklarda -3,98 ile 3,64, aSPI-1 aylıklar ise -4,11 ile 3,48 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-1 sonuçlarına göre, 1992 yılı Ocak ayında havzanın güneyinde yer alan Yatağan İstasyonunda -5,07 ile aşırı kurak koşullar etkilidir. SPEI-1 analizlerinde, 2007 yılı Eylül ayında havzanın kuzeyinde bulunan Aydın İstasyonunda -3,54 değeri ile aşırı kuraklık tespit edilmiştir. RDI-1 sonuçlarına göre, 2015 yılı Aralık ayında Yatağan İstasyonunda -3,98 değeri ile kuraklık şiddeti artmıştır. Aynı şekilde, aSPI-1 analizlerinde de 1992 yılı Ocak ayında Yatağan İstasyonunda -4,11 değeri ile aşırı kurak koşullar belirlenmiştir. 2007 yılında deniz suyu sıcaklıklarındaki yüksek etki

bu dönemde ortalama sıcaklıkların yüksek değerlerde olması Eylül ayında artan buharlaşma ile kuraklık şiddetinin yüksek olmasına neden olmuştur (Şimşek, ve Çakmak, 2010a).

Ocak ve Nisan ayları arasında çalışma alanının tamamında belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, havzada SPEI indisinde 2001 yılı Mart ayında kuraklık şiddeti bir artmıştır (Şekil 29). Mayıs ve Eylül ayları arasındaki kurak yıllarda ise SPI indisinde 2007 yılı Mayıs ve 2008 yılı Ağustos aylarında kuraklık şiddetinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 30). Ayrıca, 2007 yılı Ağustos ayındaki kuraklık SPEI indisinde de şiddetini artırarak dikkat çekmektedir (Şekil 30). Eylül ile Kasım ayları arasındaki kurak dönemde, 2007 yılı kuraklıklarının Eylül ayında havza genelinde etkisini artırdığı, bununla birlikte 2020 yılı Aralık ayındaki kuraklıkların da havzada etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 31). Mevsimsel kuraklıkların ifade edildiği 3 aylıklarda SPI-3 -5,33 ile 3,09, SPEI-3 -3,19 ile 2,70, RDI-3 -4,86 ile 3,34 ve aSPI-3 -4,91 ile 3,33 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 sonuçlarına göre, 2006 yılı Kasım ayında havzanın kuzeyinde merkezine yakın bir konumda yer alan Sultanhisar İstasyonunda -5,33 ile en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-3 analizlerinde, 2007 yılı Eylül ayında havzanın batısında bulunan Aydın İstasyonunda -3,19 değeri ile aşırı kuraklık tespit edilmiştir (Şekil 31). RDI-3 ve aSPI-3 analizlerinde ise 2006 yılı Kasım ayında Sultanhisar İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları etkilidir (Şekil 31). Mevsimsel kuraklık değerlendirmelerinde de özellikle Ekim 2006 ile Ağustos 2007 yılları arasında yağışların mevsim normalleri altında seyretmesi kış yağışlarındaki ciddi azalma şiddetli kuraklıklara neden olmuştur (Şimşek ve Çakmak, 2010a).

Çalışma alanının tamamı için belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 yılı kuraklıklarının etkisi özellikle SPEI indisinde dikkat çekmektedir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise 2008 yılı kuraklıkları, özellikle Haziran ve Ağustos aylarında SPEI indisinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönem boyunca, SPI ve SPEI indislerinde Eylül ayı ile 2007 yılı Ekim ayında SPEI indisinde kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 34). Ayrıca, bu dönemde 2020 yılı Aralık ayında, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde artan kuraklık şiddeti de tespit edilmiştir (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 -4,50 ile 2,71, SPEI-6 -2,64 ile 2,72, RDI-6 -4,39 ile 3,01 ile aSPI-6 aylıklarda -4,38 ile 3,02 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-6 sonuçlarına göre, 2006 yılı Aralık ayında havzanın kuzeyinde merkezine yakın bir konumda yer alan Sultanhisar İstasyonunda -4,50 ile aşırı kuraklık tespit edilmiştir. SPEI-6

analizlerinde, 2021 yılı Eylül ayında havzanın kuzeyinde bulunan Aydın İstasyonunda -2,64 değeri ile kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 34). RDI-6 ve aSPI-6 analizlerinde ise 2006 yılı Aralık ayında Sultanhisar İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları etkilidir. 6 aylık indislerde mevsim normalleri altındaki kış yağışlarının etkisi 2006 yılındaki kuraklık şiddetinin artmasına neden olurken, 2021 yılı sonbahar mevsiminde artan sıcaklıklar ve buharlaşma ile kuraklık etkisi güçlenmiştir (MGM, 2022k).

Ocak ve Nisan ayları arasındaki dönemde, belirlenen kurak yıllarda havzada genel olarak normal kurak koşullar hâkimdir. Özellikle RDI ve aSPI indislerinde 2007 yılı kuraklıklarının etkisi ön plandadır (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasında ise 2007 yılı kuraklıklarının etkisi, özellikle SPI ve SPEI indislerinde görülmektedir (Şekil 36). Eylül ve Aralık aylarına karşılık gelen kurak yıllarda ise, SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayında, RDI ve aSPI indislerinde ise 2006 yılına ait aşırı kurak koşullar havzada belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır (Şekil 37). 9 aylıklarda kuraklık değerleri SPI-9 -4,35 ile 2,73, SPEI-9 -2,36 ile 2,90, RDI-9 -4,15 ile 2,76, aSPI-9 aylıklar ise -4,21 ile 2,83 arasında değişmektedir. SPI-9 sonuçlarına göre, 2007 yılı Nisan ayında Sultanhisar İstasyonunda -4,35 ile en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-9 analizlerinde, 2021 yılı Mayıs ayında havzanın doğusunda yer alan Dinar İstasyonunda -2,36 ile aşırı kurak koşullar belirlenmiştir. RDI-9 ve aSPI-9 analizlerinde de 2007 yılı Nisan ayında Sultanhisar İstasyonunda sırasıyla -4,15 değerleriyle aşırı kuraklık koşulları tespit edilmiştir.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında normal kurak koşullar hâkim olmaktadır (Şekil 38). Mayıs ve Haziran ayları arasındaki dönemde ise, özellikle SPI indisinde, Temmuz ayı dışında 2006 ve 2007 yılı kuraklıkları havzada etkili olmuştur (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde de genel olarak normal kurak koşullar etkiliyken, 2008 yılı Aralık ayında SPEI indisinde artan kuraklık şiddeti dikkat çekmektedir (Şekil 40). SPI-12 aylıklar -4,54 ile 2,72, SPEI-12 aylıklar -2,85 ile 2,80, RDI-12 aylıklar -4,28 ile 3,03 ve aSPI-12 aylıklarda ise -4,31 ile 3,14 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 sonuçlarına göre, 2007 yılı Nisan ayında Sultanhisar İstasyonunda -4,54 ile en yüksek kuraklık değeri hesaplanmıştır. SPEI-12 analizlerinde, 2021 yılı Şubat ayında havzanın güneydoğusunda yer alan Yatağan İstasyonunda -2,85 ile aşırı kurak koşullar belirlenmiştir. RDI-12 ve aSPI-12 analizlerinde de 2007 yılı Nisan ayında Sultanhisar İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları etkilidir. 9 ve 12

aylık SPEI indislerinde şiddetli kuraklıklar görülmektedir. 2021 yılı kış mevsiminde 2,6 °C ve ilkbaharda 1,2°C mevsim normallerinde artan sıcaklık değerleri ile buharlaşma şiddetinin artması ile temsil edilmektedir (MGM, 2022k).

5.1.11. Batı Akdeniz Havzası

Batı Akdeniz Havzası, güneybatıda Ege Denizi, güneyde Akdeniz, kuzeyde Büyük Menderes ve Burdur-Göller Havzaları, doğuda ise Antalya Havzası ile sınırlanmakta olup, bölgesel jeomorfolojik özellikleri dikkate alındığında, kuzeydoğu kesiminde yükselti değerlerinin azaldığı, güney kesime doğru ise belirgin bir artış görülmektedir. Havza, Batı Anadolu kıvrım sistemi içerisinde yer almakta olup, Toros sistemiyle iç içe geçmiş arızalı bir topografya olan Menteşe Yöresi olarak tanımlanabilir. Bu alanda, kuzeyde Batı Menteşe Dağları, doğuda ise Doğu Menteşe Dağları kıyıya paralel bir uzanışa sahiptir (Can, 2010). Ayrıca, Batı Akdeniz Havzası'nın doğusunda Gölgeli Dağ, güneyde ise Akdağ ve Babadağ sıraları, havzanın sınırlarını oluşturan dağlık alanları temsil etmektedir. Menteşe Yöresi, genel olarak plato görünümünde olup, faylarla parçalanmış ve derin vadilere sahip bir yapıya sahiptir (Çakar vd., 2011). Havzanın batı kısmında Bafa Gölü-Milas çukurluğu, İlbir Dağı, Yatağan depresyonu ve Muğla çevresindeki karstik depresyonlar, doğuda ise Akçay depresyonu yer almaktadır. Bu alan, kalkerli araziler, dar ve derin vadiler ile sınırlı tarım alanlarına sahip dağlık bir bölge olarak öne çıkmaktadır (Çakar vd., 2011).

Havza, Akdeniz makro iklim bölgesinde yer almakla birlikte, kıyı kesiminde bulunan 1000 m'ye yaklaşan yüksek alanlar, Akdeniz ikliminin kıyı kesimde etkili olmasına neden olmuş; bu durum, yazların sıcak ve kurak, kışların ise ılık ve yağışlı geçmesini sağlamıştır (Durmuş ve Bulut, 2023). Yüksek kesimlerde ise, yaz aylarında daha serin ve yağışlı, kış aylarında ise soğuk ve kar yağışlı Akdeniz dağ iklimi ve iç kesimlere doğru İç Anadolu'nun karasal iklimine geçiş özellikleri görülmektedir (Durmuş ve Bulut, 2023). Kıyı kesime yakın dağlık alanlar, kısa mesafede sıcaklık ve yağış koşullarında değişikliklere neden olarak, bu bölgedeki iklimsel farklılıkları etkileyen önemli faktörlerden biridir. Çalışmada, havzaya ait 11 meteoroloji istasyonu kullanılmıştır. Bu istasyonlar, kuzeyden güneye doğru kıyı kesiminde Milas, Bodrum, Datça, Marmaris, Köyceğiz, Dalaman, Fethiye ve Finike yer almakta; iç kesimde ise Muğla, Acıpayam ve Elmalı istasyonları yer almaktadır. Havzanın doğusunda yer alan Elmalı istasyonunda 466,0 mm ile en düşük yağış değeri kaydedilirken,

kıyı kesimindeki Marmaris İstasyonunda ise 1219,3 mm ile en yüksek yağış değeri ölçülmüştür. Bu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak, havzada kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi analiz edilmiştir. Havzadaki kuraklık şiddeti, indislere ve dönemlerine göre farklılık göstererek, belirli aylarda farklı kuraklık koşullarının etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma alanı genelinde kuraklığın belirlendiği yıllarda Batı Akdeniz Havzası'nda Ocak ve Nisan ayları arasında 2017 yılı Şubat ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde kurak koşullar ön plandadır (Şekil 26). Ayrıca, 2018 yılı Nisan ayında, havzanın RDI ve aSPI indislerinde kuraklıklar etkili olmuştur (Şekil 26). Mayıs ile Ağustos ayları arasındaki kurak dönemde ise, havza genelinde, çalışma alanının tamamında olduğu gibi, normal kurak koşulların hâkim olduğu tespit edilmiştir (Şekil 27). 1 aylık indis değerlerinde kuraklıklar SPI-1 -5,56 ile 3,33, SPEI-1 aylıklarda -2,59 ile 3,13, RDI-1 aylıklarda -4,61 ile 3,16 ve aSPI-1 aylıklar -4,62 ile 3,34 arasında değişmektedir. SPI-1 sonuçlarına göre, 2015 yılı Aralık ayında havzanın güneybatısında, kıyı bölgesinde yer alan Marmaris İstasyonunda -5,56 ile en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir (Şekil 28). SPEI-1 analizlerinde ise 2020 yılı Mayıs ayında aynı istasyonda -2,59 ile aşırı kurak koşullar tespit edilmiştir. RDI-1 ve aSPI-1 analizlerinde de 2015 yılı Aralık ayında Marmaris İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları etkilidir (Şekil 28). 2015 yılında havzanın kıyı kesiminde yüksek yağış değerlerine sahip olmasına rağmen Marmaris İstasyonundaki yüksek kuraklık şiddeti Aralık ayında mevsim normallerinin altında gerçekleşmiştir. Aynı zamanda kış mevsimi sıcaklıklarının 5,4°C ile normallerinin (3,7°C) 1,7°C üzerinde gerçekleşmesi diğer indislerde de azalan yağışlar ile kuraklık şiddetinde artışa neden olmuştur (MGM, 2016f). Özellikle havzanın kıyı kesiminde kışların yağışlı geçtiği döneme denk gelen Aralık ayında azalan yağışlar kuraklıklarda etkisini göstermiştir. 2020 yılında ilkbahar mevsimi ortalama sıcaklığı 13,1°C ile normallerinin (12,0°C) 1,1°C üzerinde gerçekleşmiştir (MGM, 2021j). Bu koşullar SPEI indisinde artan buharlaşmanın etkisi ile kuraklık şiddetinin havzanın kıyı kesimindeki Marmaris İstasyonunda artmasına neden olmuştur.

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında havzada normal kurak koşullar belirlenmiştir (Şekil 29). Mayıs ile Ağustos ayları arasındaki dönemde ise, özellikle 2007 yılına ait kuraklıkların etkisi görülmektedir. Bu dönemde, SPI indisi Mayıs ayında ve SPEI indisi ise Ağustos ayında şiddetli kuraklık koşullarını

yansıtmaktadır (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönem ise, havzada yine normal kurak koşulların hâkim olduğu bir dönem olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 31). 3 aylık indislerde SPI-3 aylıklar -4,32 ile 3,18, SPEI-3 aylıklar -3,21 ile 3,04, RDI-3 aylıklar -5,47 ile 3,18, aSPI-3 aylıklar -5,50 ile 3,30 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 sonuçlarına göre, 2010 yılı Mayıs ayında havzanın güneydoğusunda yer alan Finike İstasyonunda -4,32 ile en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-3 analizlerinde, 2020 yılı Ekim ayında havzanın kuzeybatısında bulunan Elmalı İstasyonunda -3,21 aşırı kurak değer tespit edilmiştir. RDI-3 ve aSPI-3 analizlerinde ise 2013 yılı Ocak ayında havzanın batısında, kıyıya yakın bir konumda yer alan Bodrum İstasyonunda -5,47 ile aşırı kuraklık koşulları etkilidir. 2010 yılında yaz mevsiminde şiddeti daha da artan sıcak hava dalgasının etkisi ve kış mevsiminde azalan yağış değerleri Mayıs ayında kuraklık şiddetinin artmasına neden olmuştur (MGM, 2011a) 2010 yılı yağış değerlerinde 2009 yılına göre yağış değerlerinde %0,9'luk azalma mevcuttur (MGM, 2011a). Havzada 2010 yılında azalan yağış değerlerinin etkisi kuraklık şiddetini arttırmıştır. SPEI indisinde ise 2020 yılında sonbahar mevsiminde en yüksek sıcaklıkların yaşanması iklim değişikliğinde kritik noktada olan Akdeniz kıyısındaki Finike İstasyonunda kuraklık şiddetini arttırmıştır. 2013 yılı Ocak ayında kış yağışlarında%42 oranında azalma ve sıcaklıkların mevsim normalleri üzerinde seyrettiği belirlenmiştir (MGM, 2014d). Bu durum Bodrum kıyılarındaki yüksek kuraklık şiddetinin etkili olmasına neden olmuştur.

Ocak ve Nisan ayları arasında, çalışma alanında belirlenen kurak yıllarda havzada genel olarak normal kurak koşullar etkiliyken, 2014 yılına ait şiddetli kuraklıklar özellikle SPEI indisinde Şubat ve Nisan aylarında ön plandadır (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda da, SPEI indisinde özellikle 2008 yılı Haziran ve Ağustos aylarında kuraklık şiddetinde artış görülmektedir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise, SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayında şiddetli kuraklık koşulları ön plana çıkmaktadır (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 aylıklar -4,23 ile 3,20, SPEI-6 aylıklar -3,34 ile 2,73, RDI-6 aylıklar -5,70 ile 3,09, aSPI-6 aylıklarda ise -5,73 ile 3,29 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-6 sonuçlarına göre, 2021 yılı Eylül ayında havzanın güneybatısında, yarımada üzerinde yer alan Datça İstasyonunda -4,23 ile en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. SPEI-6 analizlerinde aynı dönemde, havzanın batısında, kıyıya yakın bir konumda bulunan Fethiye İstasyonunda -3,34 aşırı kurak değer tespit edilmiştir (Şekil 32). RDI-6 ve aSPI-6 analizlerinde ise 2013 yılı Ocak ayında havzanın batısında, kıyı

bölgesindeki Bodrum İstasyonunda en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir (Şekil 32). 2013 yılı Ocak ayında düşük yağış miktarı ve mevsim normallerinin üzerindeki sıcaklık etkisi 6 aylık değerlendirmelerde de artan kuraklık şiddetini göstermektedir. 2021 Eylül ayı hem ısınma eğiliminin en yüksek olduğu sonbahar mevsimi olması hem de yağışların normale göre %-23,6 oranında azalması artan kuraklık şiddetini göstermektedir (Taşkın vd. 2022; Güler ve Erlat, 2023). Bu durum SPI-SPEI indislerinde artan kuraklık şiddetini desteklemektedir.

Çalışma alanının genelinde, kurak yılların belirlendiği dönemlerde Ocak ve Nisan ayları arasında Batı Akdeniz Havzası'nda normal kurak koşullar hâkim olmuştur (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde, SPI indisinde 2007 yılı Haziran ve Ağustos aylarında aşırı kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 36). SPEI indisinde ise 2021 yılı Mayıs ve 2007 yılı Temmuz aylarında kuraklık şiddetinde artış mevcuttur (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise, havzada SPEI indisinde özellikle 2007 yılı Ekim ayında kuraklık şiddetinin etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 aylıklar -3,95 ile 3,13, SPEI-9 aylıklar -3,07 ile 2,81, RDI-9 aylıklar -4,95 ile 3,00, aSPI-9 aylıklarda -4,98 ile 3,26 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-9 sonuçlarına göre, 2013 yılı Mart ayında havzanın batısında, kıyıya yakın bir konumda yer alan Bodrum İstasyonunda en yüksek kuraklık değerleri tespit edilmiştir. SPEI-9 analizlerinde ise 2008 yılı Eylül ayında havzanın kuzeydoğusunda, daha iç kesimlerde bulunan Acıpayam İstasyonunda aşırı kurak koşullar etkilidir. RDI-9 ve aSPI-9 analizlerinde ise 2013 yılı Ocak ayında Bodrum İstasyonunda -4,95 ile aşırı kuraklık değerleri belirlenmiştir.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, havzada uzun dönemli indislerde normal kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde de genel olarak kurak koşullar hâkimken, 2007 yılında havzanın batısında, özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, özellikle SPEI indisinde, 2008 yılı Aralık ayında kuraklık şiddetinin belirgin şekilde arttığı tespit edilmiştir (Şekil 40). 12 aylık indislerdeki kurak koşullar SPI-12 aylıklarda -3,51 ile 2,57, SPEI-12 aylıklarda -2,68 ile 2,89, RDI-12 aylıklarda -3,73 ile 2,70 ve aSPI-12 aylıklarda ise -3,72 ile 2,70 arasında değişmektedir. SPI-12 sonuçlarına göre, 2013 yılı Şubat ayında havzanın batısında, kıyıya yakın bir konumda bulunan Bodrum İstasyonunda -3,51 ile en yüksek kuraklık değeri

mevcuttur. SPEI-12 analizlerinde ise 2007 yılı Aralık ayında havzanın kuzeydoğusunda, iç kesimlerde yer alan Acıpayam İstasyonunda aşırı kurak koşullar tespit edilmiştir. RDI-12 ve aSPI-12 analizlerinde de 2013 yılı Şubat ayında Bodrum İstasyonunda aşırı kurak değerler belirlenmiştir.

5.1.12. Antalya Havzası

Antalya Havzası, çalışma alanının güney kesiminde yer almakta olup, batıda Batı Akdeniz Havzası, kuzeyde Burdur-Göller ve Akarçay havzaları, doğuda Konya ve Doğu Akdeniz havzaları ve güneyde Akdeniz ile sınırlanmaktadır. Jeomorfolojik olarak, havza, Toros kıvrımlı dağ sistemi içinde yer alır ve engebeli bir yapıya sahiptir. Batıda Bey Dağları ve Aladağlar, kuzeyde Katrancı ve Kuyucak Dağları, doğuda ise Geyikli Dağları bulunur. Batı kesimde Teke Platosu, doğu kesimde ise Taşeli Platosu yer alır. Bu dağlar arasında, çoğu erime ile oluşmuş küçük ovalar ve derin vadiler yer alır (Sarı, 2009).

Antalya Havzası, Akdeniz Bölgesi'nde yer alması nedeniyle tipik Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlıdır. Kasım ayından itibaren Orta Akdeniz üzerinden gelen ılık ve nemli hava kütlesi havza üzerinde etkili olmaya başlar (Koçman, 1993). Akdeniz Bölgesi'nde yağışlar, genellikle Orta Akdeniz üzerinden gelen cepheler nedeniyle oluşur ve bu cepheler güneybatıdan kuzeydoğuya doğru hareket eder (Koçman, 1993). Toros Dağları, bu cephelerin ilerlemesini engellediğinden, cephelerin birbirleriyle karşılaşmasına yol açar ve bu nedenle Toros Dağları'nın güneybatıya bakan yamaçları daha fazla yağış alır (Çelik, 2019). Ancak cephelerin sıklığı aylara göre değişkenlik gösterdiği için, özellikle kış aylarında beklenen en yüksek yağış miktarlarında sapmalar gözlemlenebilir, bu da yağış değişkenliğini artırır. Yağış değişkenliğinin yaklaşık %25 olduğu bu havzada, kuraklık oluşum sıklığı artmaktadır (Çelik, 2019).

Çalışmaya dâhil edilen 8 meteoroloji istasyonu, havzanın farklı bölgelerini temsil etmektedir. Yüksek kesimlerdeki istasyonlar batıdan doğuya doğru sırasıyla Korkuteli, Isparta, Eğirdir, Uluborlu ve Senirkent; kıyı kesimindeki istasyonlar ise Antalya Havalimanı, Manavgat ve Alanya'dır. Bu istasyonlara ait ortalama yağış değerleri incelendiğinde, en düşük ortalama yağış değeri Isparta İstasyonunda 514,0 mm, en yüksek ortalama yağış değeri ise Antalya Havalimanı İstasyonunda 983,0 mm olarak belirlenmiştir. Bu istasyonlara

ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak havzada kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi analiz edilmiştir. Kuraklık şiddeti ve kuraklık koşullarının görüldüğü aylar, indisler ve dönemlerine göre farklılıklar göstermektedir.

Çalışma alanında belirlenen kurak yıllarda, Antalya Havzası'nda Ocak ve Nisan ayları arasında 2017 yılına ait kuraklıklar, Şubat ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde ön plandadır (Şekil 26). Ayrıca, 2008 yılı Nisan ayında SPEI indisi ile 2018 yılı Nisan ayında ise RDI ve aSPI indislerinde kuraklığın etkisi havzada görülmektedir (Şekil 26). Mayıs ve Haziran ayları arasındaki dönemde genel olarak normal kurak koşullar hâkim olmakla birlikte, RDI ve aSPI indislerinde 2015 yılı Haziran ayında nemli etkilidir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise, aşırı kurak koşullar Aralık ayında 2015 yılına ait SPI, RDI ve aSPI indislerinde ön plandadır (Şekil 28). 1 aylık indislerde SPI-1 aylıklar -5,32 ile 2,93, SPEI-1 aylıklar -3,83 ile 2,73, RDI-1 aylıklar -3,59 ile 3,22, aSPI-1 aylıklar ise -3,59 ile 3,22 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-1 ve RDI-1 ile aSPI-1 analizlerinde, havzanın kuzeybatısında yer alan Uluborlu İstasyonunda 2008 yılı Ocak ayında sırasıyla -3,59 ile aşırı kuraklık koşulları tespit edilmiştir. SPEI-1 analizlerinde ise havzanın güneydoğusunda, Akdeniz kıyısına yakın bir konumda bulunan Alanya İstasyonunda 2019 yılı Ağustos ayında -3,83 aşırı kuraklık değeri belirlenmiştir. 2008 yılında bir önceki yıla göre yağış değerleri %11,6 oranında azalmıştır (MGM, 2009). Bu azalma özellikle havzanın en yüksek yağış alacağı aylara denk gelmesi kuraklık şiddetinin artmasına neden olmuştur. Özellikle havzanın yüksek kesiminde karasal iklim koşullarına sahip Uluborlu İstasyonunda azalan yağışlar kuraklık şiddetinde etkilidir. 2019 yılı ise havzada yaza mevsiminde artan sıcaklıklara 2015 yılından sonra en sıcak yıl olması artan sıcaklık ve buharlaşma şiddeti özellikle yaz kuraklıklarını etkilemiştir.

Çalışma alanının genelinde, Ocak ve Nisan ayları arasında belirlenen kurak yıllarda, havzada normal kurak koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasında ise, özellikle 2007 yılı Ağustos ayında, havzada SPEI indisinde aşırı kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise, genel olarak normal kurak koşullar hâkim olmakla birlikte, RDI ve aSPI indislerinde 2006 yılı Kasım ayında nemli koşulların etkisi görülmektedir (Şekil 31). Mevsimsel kuraklıkların ifade edildiği 3 aylık indislerde SPI-3 -4,22 ile 3,17, SPEI-3 -3,28 ile 2,60, RDI-3 aylıklar -3,92 ile 3,46, aSPI-3 aylıklar ise -3,94 ile 3,43 arasında

değişmektedir. SPI-3 analizlerinde, havzanın kuzey kesiminde yer alan Isparta İstasyonunda 1993 yılı Ağustos ayında en yüksek kuraklık değeri tespit edilmiştir. SPEI-3 analizlerinde, havzanın merkezinde ve kıyıya yakın bir konumda bulunan Antalya İstasyonunda 2007 yılı Ağustos ayında -3,28 aşırı kuraklık değeri belirlenmiştir. RDI-3 ve aSPI-3 analizlerinde ise yine Antalya İstasyonunda 2010 yılı Mayıs ayında -3,92 aşırı kurak değer belirlenmiştir. 3 aylık kuraklık indislerinde ilkbahar ve yaza kuraklıklarında artış mevcuttur. 1993 yılı 1992 yılında meydana gelen volkan patlamasından sonra sıcaklıklardaki artışların ve yağış düşüşlerinin görüldüğü ilk yıldır. 2007 ve 2010 yılları Türkiye'de etkili olmuş şiddetli sıcak hava dalgasının etkisi Antalya Havalimanı İstasyonunda açık bir şekilde görülmektedir.

Antalya Havzası'nda, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında normal kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise, 2008 yılına ait kuraklıklar, özellikle SPEI indisinde Haziran ve Ağustos aylarında ortaya çıkmaktadır (Şekil 33). Eylül ile Aralık ayları arasındaki dönemde ise, havzada SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayında artan kuraklık şiddetinin yanı sıra, 2020 yılı Aralık ayında da benzer bir kuraklık artışı tespit edilmiştir (Şekil 34). 6 aylık değerlendirmelerde SPI-6 aylıklarda -3,73 ile 3,19, SPEI-6 aylıklar -3,27 ile 2,52, RDI-6 aylıklar -3,07 ile 3,29, aSPI-6 aylık değerler ise -2,93 ile 3,34 arasında değişmektedir. SPI-6 analizlerinde, havzanın kuzeybatısında yer alan Uluborlu İstasyonunda 2008'in Haziran'ında -3,73 ile aşırı kuraklık değeri tespit edilmiştir. SPEI-6 ve aSPI-6 analizlerinde ise havzanın kuzey kesiminde bulunan Isparta İstasyonunda 2008 yılı Haziran ayında sırasıyla -3,27 ve -2,93 aşırı kurak değerler hesaplanmıştır (Şekil 33). RDI-6 analizlerinde ise 2010 yılı Haziran ayında havzanın farklı bölgelerinde en yüksek kuraklık değerleri belirlenmiştir. 6 aylık değerlendirmelerin tümünde yaz kuraklıklarında meydana gelen şiddetli kurak yıllar havzanın kuzey kesimindeki karasal iklimin baskın olduğu istasyonlarda dikkat çekmektedir. 2008 ve 2010 yıllarında artan sıcak hava dalgası yaz kuraklıklarının özellikle yağış eksiği olan istasyonlarda artışına neden olmuştur.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında havzada normal kurak koşulların etkili olduğu görülmektedir (Şekil 35). Mayıs ve Temmuz ayları arasında, SPEI indisinde 2014 yılı Mayıs ayı ve 2007 yılı Temmuz ayında aşırı kurak koşullar hakimdir (Şekil 36). Ayrıca, SPI indisinde 2007 yılı Ağustos ayında aşırı kurak koşullar havzada etkili olmuştur (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise,

2007 yılı Ekim ayında SPEI indisinde kuraklıklar ön plana çıkmaktadır (Şekil 37). 9 aylık indis değerlendirmelerinde SPI-9 aylıklar -3,35 ile 2,81, SPEI-9 aylıklar -2,46 ile 2,67, RDI-9 aylıklar -3,09 ile 2,93, aSPI-9 aylıklar ise -3,08 ile 3,14 arasında değişmektedir. Havzanın kuzeybatısında yer alan Isparta İstasyonunda, 2014 yılı Haziran ayında SPI-9 analizine göre -3,35 aşırı kurak değer tespit edilmiştir. SPEI-9 analizlerinde, havzanın kuzeydoğusunda bulunan Eğirdir İstasyonunda 2000 yılı Ocak ayında -2,46 ile en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. RDI-9 ve aSPI-9 analizlerinde ise havzanın güneydoğusunda yer alan Alanya İstasyonunda, 2007 yılı Ağustos ayında aşırı kuraklık koşullarının hakim olduğu görülmüştür. SPEI kuraklık indisi dışındaki indislerde yaz aylarında azalan yağış etkisine bağlı yüksek kuraklık şiddeti 2007 ve 2014 yıllarındaki sıcak hava dalgalarının etkili olduğu dönemlerdedir. Yaz kuraklıklarının baskın olduğu Isparta ve Alanya İstasyonları farklı çalışmalarda da şiddetli kuraklığın görüldüğü alanlar olarak belirlenmiştir (Durmuş ve Bulut, 2023).

Antalya Havzası'nda çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında normal kurak koşullar belirgin şekilde etkili olmuştur (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasında da havzada normal kurak koşulların hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönemlerde ise, özellikle 2008 yılı Aralık ayında SPEI indisinde aşırı kuraklık koşulları etkili olmuştur (Şekil 40). 12 aylık uzun dönemli indislerde SPI-12 aylıklar -2,88 ile 2,84, SPEI-12 aylıklar -2,20 ile 2,68, RDI-12 aylıklar -2,90 ile 3,09, aSPI-12 aylıklarda ise -2,91 ile 3,28 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Eğirdir İstasyonunda, 2007 yılı Ekim ayında hem SPI-12 hem de SPEI-12 analizlerinde -2,88 ile aşırı kuraklık değeri belirlenmiştir. Bu dönemde Eğirdir İstasyonunda kuraklık şiddeti yüksek olmuştur. Diğer yandan, Alanya İstasyonunda 2011 yılı Aralık ayında, hem RDI-12 hem de aSPI-12 analizlerinde aşırı kurak koşulların hakim olduğu görülmektedir. 2007 yılında etkili olan sıcak hava dalgası hem azalan yağışların etkisi ile SPI indisinde hem de yüksek sıcaklıklara bağlı artan buharlaşma ile havzanın kuzey kesiminde artan kuraklıkları temsil etmektedir (Durmuş ve Bulut, 2023).

5.1.13. Doğu Akdeniz Havzası

Doğu Akdeniz Havzası; Antalya Havzası ile benzer iklimsel ve jeomorfolojik özelliklere sahip olup, Akdeniz Bölgesi 'nde yer almaktadır. Batıda Antalya Havzası,

kuzeyde Konya Havzası ve doğuda Seyhan-Ceyhan Havzası ile sınır oluşturan bu havza, Toros Dağları'nın kıyıya paralel uzanması nedeniyle özellikle kış aylarında orta enlem depresyonlarının yağış bırakmasında önemli bir rol oynamaktadır. Akdeniz makro iklim bölgesinde yer alan Doğu Akdeniz Havzası, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı bir iklim tipine sahiptir. Bu özellikler, havzanın yüksek yağış değişkenliğine sahip olmasına da neden olmaktadır. Havza genelinde kuraklık analizlerinde kullanılan 6 meteoroloji istasyonu yer almaktadır. Kıyı kesiminde yer alan Gazipaşa, Anamur, Silifke, Erdemli ve Mersin İstasyonları ile iç kesimde yer alan Hadim İstasyonu, havzanın farklı iklim özelliklerini yansıtan veriler sunmaktadır. İstasyonlar arasında en düşük ortalama yağış değeri 540,8 mm ile Silifke İstasyonuna, en yüksek ortalama yağış değeri ise 864,3 mm ile Anamur İstasyonuna aittir. Bu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri ile havzadaki kuraklık koşullarının mekânsal ve zamansal değişimleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Havzada, indisler ve zaman dilimlerine göre kuraklığın şiddeti ile yaşandığı aylar arasında farklılıklar görülmektedir.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda havzada Ocak ve Nisan ayları arasında aşırı kurak koşullar SPI, RDI ve aSPI indislerinde Şubat ayı 2017 yılındadır (Şekil 26). Ayrıca SPEI indisinde 2008 yılı Nisan ayı kuraklıkları havzada etkili olmuştur (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemde havzada normal kurak koşullar belirlenmiştir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde RDI ve aSPI indislerinde 2010 yılı kuraklıkları Kasım ayında havzada etkilidir (Şekil 28). SPI, RDI ve aSPI indislerinde de 2015 yılı Aralık ayı kuraklıkları etkilidir (Şekil 28). 1 aylık indislerde SPI-1 aylıklar -5,20 ile 2,52, SPEI-1 aylıklar -3,40 ile 3,00, RDI-1 aylıklar -3,60 ile 3,07, aSPI-1 aylıklarda ise -3,68 ile 3,00 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. Doğu Akdeniz Havzası'nda, SPI-1 aylık analizlere göre 2012 yılı Ocak ayında -5,20 ile en yüksek kuraklık değeri Gazipaşa İstasyonunda tespit edilmiştir. SPEI-1 aylık analizlerde ise 2020 yılı Mayıs ayında Anamur İstasyonunda -3,40 aşırı kurak değer belirlenmiştir. Havzanın batısında yer alan bu iki istasyonun yanı sıra, doğuda yer alan Mersin İstasyonunda, 2017 yılı Şubat ayında RDI-1 ve aSPI-1 aylık analizlerde sırasıyla -3,60 ve -3,68 aşırı kuraklık değerleri hesaplanmıştır. 2020 yılında Nisan ayı dışında mevsim normalleri üzerindeki sıcaklık değerleri yaşanmıştır (MGM,2021). Mevsim normalleri üzerindeki sıcaklıkların etkisi havzanın batısında artan buharlaşma ile yüksek kuraklık şiddetine sebep olmuştur.

Doğu Akdeniz Havzası‘nda, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllar arasında Ocak ve Nisan ayları arasında normal kurak koşullar hâkim olmuştur (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasında, havzada aSPI indisinde 2022 yılı Temmuz ayında belirgin kuraklık koşulları etkiliyken, SPEI indisinde 2007 yılı Ağustos ayındaki kuraklık etkileri daha belirgindir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise, özellikle 2020 yılı Ekim ayında meydana gelen kuraklıklar, SPEI indisinde öne çıkmaktadır (Şekil 31). Ayrıca, RDI ve aSPI indislerinde 2006 yılı Kasım ayında nemli koşullar ortaya çıkmaktadır (Şekil 31). 3 aylık değerlerde SPI-3 aylıklar -4,23 ile 3,03, SPEI-3 aylıklar -3,01 ile 2,95, RDI-3 aylıklar -3,33 ile 3,18, aSPI-3 aylıklar ise -3,34 ile 3,20 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-3 aylık analizlere göre 2012 yılı Mart ayında en yüksek kuraklık değeri Gazipaşa İstasyonunda tespit edilmiştir. Havzanın batısında yer alan Gazipaşa’nın yanı sıra, SPEI-3 aylık analizlerde 2017 yılı Temmuz ayında Erdemli İstasyonunda aşırı kuraklık değerleri görülmüştür. Havzanın kuzeydoğusunda bulunan Hadim İstasyonunda ise, RDI-3 ve aSPI-3 aylık analizlere göre 1999 yılı Kasım ayında en yüksek kuraklık değerleri belirlenmiştir.

Çalışma alanında belirlenen kurak yıllar sırasında, havzada Ocak ve Nisan ayları arasında aşırı kurak koşullar, özellikle 2014 ve 2021 yıllarında, SPEI indisinde belirgin bir şekilde etkili olmuştur (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasında ise, 2008 yılı Haziran ve Ağustos aylarında kuraklık şiddetinin arttığı görülmektedir (Şekil 33). Ayrıca, 2003 yılı Temmuz ayında havzada, SPEI indisinde nemli koşullar etkilidir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasında ise, 2020 yılı kuraklıkları, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde ön plandadır (Şekil 34). 6 aylık değerlendirmelerde SPI-6 -5,61 ile 2,70, SPEI-6 aylıklarda -2,99 ile 2,90, RDI-6 aylıklarda -5,17 ile 3,31, aSPI-6 aylık değerlerde -5,25 ile 3,16 arasında değişen kuraklık koşulları hakimdir. SPI-6 aylık analizlere göre, 2012 yılı Mayıs ayında en yüksek kuraklık değeri havzanın batısında yer alan Gazipaşa İstasyonundadır. SPEI-6 aylık indislerde ise, havzanın kıyı kesiminde bulunan Silifke İstasyonunda 2007 yılı Eylül ayında şiddetli kuraklıklar etkili olmuştur. RDI-6 aylık analizlerde, havzanın batı kıyısında yer alan Anamur İstasyonunda 2014 yılı Haziran ayında en yüksek kuraklık değerleri belirlenmiştir.

Doğu Akdeniz Havzası‘nda, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında, 2014 yılında kuraklıkların şiddetlendiği görülmektedir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise, özellikle RDI indisinde etkisi belirgin olan 2014 yılı kuraklıkları, aSPI indisinde de etkisi görülmektedir (Şekil 36). Ayrıca, 2021

yılı Mayıs ayında, SPEI indisinde havzada kuraklık şiddetinde bir artış yaşandığı görülmektedir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasında ise, havzada normal kurak koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 37). 9 aylık değerlendirmelerde SPI-9 -5,84 ile 2,80, SPEI-9 -3,15 ile 2,61, RDI-9 -6,09 ile 3,20, aSPI-9 -6,16 ile 3,16 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-9 aylıklarda Doğu Akdeniz Havzası'nda SPI-9 aylık analizlere göre, 2012 yılı Temmuz ayında havzanın batısında yer alan Gazipaşa İstasyonu en yüksek kuraklık değerine sahiptir. SPEI-9 aylık indislerde, 2014 yılı Ocak ayında havzanın kıyı kesimindeki Anamur İstasyonunda -3,15 ile aşırı kurak koşullar etkili olmuştur. RDI-9 ve aSPI-9 aylık analizlerde ise, 2014 yılı Haziran ayında artan kuraklık değerleri belirlenmiştir (Şekil 36). SPI/RDI/aSPI kuraklık indisinde 2012 yılında etkili olan yaz kuraklığının etkisi mevcut iken SPEI indisinde 2013 yılında başlayan yaz kuraklığının 2014 yılındaki etkisi görülmektedir (Türkeş, 2020d).

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında, tüm indislerde 2014 yılı Nisan ayında aşırı kurak koşulların etkili olduğu görülmektedir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise, özellikle SPEI indisinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi belirlenmiştir (Şekil 39). Eylül ve Aralık aylarına denk gelen dönemde ise, havzada normal kurak koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 40). 12 aylık indis değerlendirmelerinde ise SPI-12 -5,76 ile 2,79, SPEI-12 -3,21 ile 3,41, RDI-12 -6,40 ile 2,92, aSPI-12 aylıklar ise -6,39 ile 2,96 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 aylık analizlere göre, 2013 yılı Eylül ayında havzanın batısında yer alan Gazipaşa İstasyonu en yüksek kuraklık değerine sahiptir. SPEI-12 aylık indislerde, 2014 yılı Ocak ayında havzanın kuzeydoğusundaki Hadim İstasyonunda -3,21 ile aşırı kurak koşullar etkilidir (Şekil 38). RDI-12 ve aSPI-12 aylık analizlerde ise, 2013 yılı Mart ayında Gazipaşa İstasyonunda şiddetli kuraklık etkili olmuş ve bu durum havzanın kıyı kesimlerinde kuraklık şiddetinin belirgin olduğunu ortaya koymuştur. 12 aylık indislerde de İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinin bazı bölümlerinde başlayan 2012 yılı kuraklığının 2013 yılında genişleyerek yaz kuraklıklarının 2014 yılının ilk yarısında etkili olduğu şiddetli kuraklıklar dikkat çekmektedir (Türkeş, 2020d).

5.1.14. Konya Havzası

Konya Havzası; çalışma alanının merkezi kesiminde yer almakta olup, Sakarya ve Kızılırmak Havzalarıyla sınırlandırılmıştır. Batıda Antalya Havzası, güneyde Doğu Akdeniz, doğuda ise Seyhan-Ceyhan Havzası ile kesişmektedir. Havza, güneyde Toros Dağları'na ait Bolkar, Geyik ve Dedegöl Dağları, doğuda Hasan ve Melendiz Dağları, batıda ise Cihanbeyli Platosu ile çevrili kapalı bir havza özelliğine sahiptir. Havzanın merkezini oluşturan Aksaray Ovası, Obruk Platosu ve Konya Ovası, etrafındaki dağlık alanlarla çevrilidir ve bu coğrafi yapı, havzada karasal iklimin hâkim olmasına yol açmaktadır. Yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ise soğuk ve düşük yağışlı geçmektedir (Taş ve Yıldırım, 2020). Havzanın doğusunda ortalama yağış miktarı 360 mm civarında iken, orta kesimlerde, özellikle Karapınar çevresinde bu değer 300 mm'nin altına, 284 mm'ye kadar düşmektedir (Şekil 2). Güney kesimde ise, Seydişehir ve Beyşehir çevresinde yağış miktarı 766 mm'ye kadar yükselmektedir (Taş ve Yıldırım, 2020). Güney kesimdeki istasyonların yüksek kesimlerde yer alması, bu bölgedeki kışların nispeten soğuk ve yağışlı, yazların ise sıcak ve kurak geçmesine neden olmaktadır (Sarış ve Gedik, 2021). Havza içinde, kuraklık analizlerinde kullanılan 11 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlar, kuzeyde Cihanbeyli ve Kulu, merkezde Konya Havalimanı, Çumra, Karapınar, güneyde Beyşehir, Seydişehir, Karaman, Ereğli ve doğuda Niğde illerine yayılmaktadır. Bu istasyonlardan elde edilen SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak, havzadaki kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi belirlenmiştir. Havzada, indisler ve dönemlerine göre kuraklık şiddetinin yaşandığı aylar farklılık göstermektedir.

Konya Havzası 'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında SPI, RDI ve aSPI indislerinde 2017 yılı Şubat ayında kuraklık şiddetinin arttığı görülmektedir (Şekil 26). Bu dönemde, SPEI indisinde ise 2008 yılı Nisan ayında etkili olan kurak koşullar ön plandadır (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak koşullarda, havzada aşırı kuraklık değerleri özellikle SPEI indisinde 2012 yılı Temmuz ayında görülmektedir (Şekil 27). RDI ve aSPI indislerinde ise, özellikle havzanın batı kesiminde Haziran ayında nemli koşulların hakim olduğu belirlenmiştir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönemde ise, havzada SPI, RDI ve aSPI indislerinde 2015 yılı Aralık ayında kuraklıklar etkisini göstermektedir (Şekil 28). Ayrıca, 2010 yılına ait kuraklıklar da havzada Kasım ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde belirgindir (Şekil 28). 1

aylık indislerde SPI-1 -5,05 ile 2,80, SPEI-1 -3,12 ile 2,64, RDI-1 -4,27 ile 4,42, aSPI-1 -4,28 ile 3,14 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Konya Havzası'nda SPI-1 aylık analizlere göre, 2001 yılı Ocak ayında havzanın güneydoğusunda yer alan Karaman İstasyonu en yüksek kuraklık değerine sahiptir. SPEI-1 aylık indislerde, 2010 yılı Ağustos ayında havzanın orta kesimindeki Karapınar İstasyonunda -3,12 ile aşırı kuraklık koşulları etkili olmuştur. RDI-1 ve aSPI-1 aylık analizlere göre ise, 2006 yılı Aralık ayında havzanın kuzeybatısında bulunan Cihanbeyli İstasyonunda kuraklık şiddeti oldukça yüksek olarak belirlenmiştir. Kış mevsiminde en şiddetli kuraklıkların yaşandığı 2001 yılı SPI indisinde özellikle havzada en düşük yağış değerine sahip Karaman İstasyonunda etkili olmuştur. 2010 yılı sıcak hava dalgasının etkisi yaz kuraklıkları ile birleşerek artan buharlaşma şiddeti SPEI indisinde şiddetli kuraklığın havzanın güneyinde etkisini arttırmasına neden olmuştur. 2006 yılı ilkbahar ve kış aylarında yağışın %50'lik düşüş yaşanmıştır (Şimşek ve Çakmak, 2010). Yağış değerlerindeki düşüş havzanın kuzeyinde şiddetli kuraklığa neden olmuştur.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında SPEI indisinde 2001 yılı Mart ayında aşırı kurak koşullar etkilidir (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde, havzada özellikle RDI indisinde 2008 yılı Haziran ayında kuraklık şiddetinin arttığı, aynı zamanda aSPI indisinde ise 2022 yılı Temmuz ayında kuraklıkların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise, SPEI indisinde 2020 yılı Ekim ayında aşırı kurak koşulların belirginleştiği görülmektedir (Şekil 31). Bunun yanı sıra, 2006 yılı Kasım ayında RDI ve aSPI indislerinde nemli koşulların ön planda olduğu belirlenmiştir (Şekil 30). 3 aylık değerlendirmelerde SPI-3 aylıklar -4,62 ile 2,99, SPEI-3 aylıklar -3,67 ile 2,75, RDI-3 aylıklar -4,20 ile 5,04, aSPI-3 aylıklarda ise -4,15 ile 2,93 arasında kuraklık değerleri değişmektedir. SPI-3 aylık analizlere göre, 2011 yılı Aralık ayında havzanın kuzeydoğusunda yer alan Aksaray İstasyonunda en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. SPEI-3 aylık indislerde, 2001 yılı Mart ayında havzanın merkezindeki Konya Havalimanı (Selçuklu) İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları etkilidir (Şekil 29). RDI-3 aylık analizlerde ise yine 2011 yılı Aralık ayında Aksaray İstasyonunda en yüksek kuraklık değerleri tespit edilmiştir. 2001 yılı Mart ayında etkili olan yüksek sıcaklıklar kuraklık şiddetinin artmasına neden olmuştur (Güler ve Erlat, 2023). 2011 yılı kış aylarına denk gelen özellikle normalle göre %3,5 oranında yağış değerleri azalmaktadır (MGM, 2012b). Bu sebeple azalan yağış değerleri sebebiyle Konya Havzası'nda kuraklık şiddeti artmıştır.

Konya Havzası‘nda, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında SPEI indisinde 2014 yılı kuraklıklarının etkili olduğu görülmektedir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise havzada aşırı kurak koşullar, özellikle SPEI indisinde Haziran ile Ağustos ayları arasında etkilidir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise, SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayında kuraklıkların etkili olduğu, ayrıca 2020 yılı kuraklıklarının Aralık ayında SPEI, RDI ve aSPI indislerinde belirginleştiği tespit edilmiştir (Şekil 34). 6 aylık değerlerde SPI-6 -4,54 ile 2,65, SPEI-6 -3,94 ile 2,76, RDI-6 -4,13 ile 3,82, aSPI-6 -4,14 ile 2,68 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-6 aylık analizlere göre, 2011 yılı Aralık ayında havzanın kuzeydoğusunda yer alan Aksaray İstasyonunda -4,54 ile aşırı kuraklık koşulları belirlenmiştir. SPEI-6 aylık değerlendirmelerde, havzanın güneydoğusunda bulunan Karapınar İstasyonunda 2008 yılı Ağustos ayında kuraklık şiddetinde artış mevcuttur (Şekil 33). RDI-6 ve aSPI-6 aylık analizlerde de 2011 yılı Aralık ayında Aksaray İstasyonunda aşırı kuraklık değerleri tespit edilmiştir. 2008 yılında yaz kuraklığının havzanın güneyinde etkili olduğu görülürken kış yağışlarındaki azalmanın etkisi 6 aylık değerlendirmelerde de yüksek kuraklık şiddetine neden olmuştur.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Konya Havzası‘nda Ocak ve Nisan ayları arasında, SPEI indisine göre 2014 yılı Ocak ayında kuraklıkların etkisi görülmektedir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasında, 2007 yılı Ağustos ayında aşırı kurak koşullar etkiliyken, diğer aylarda ise havzada normal kurak koşulların hâkim olduğu tespit edilmiştir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasında ise, havzada genel olarak normal kurak koşullar ön planda olmuştur (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 -3,10 ile 2,47, SPEI-9 -3,13 ile 2,64, RDI-9 -3,15 ile 3,52, aSPI-9 aylıklarda ise -3,32 ile 2,78 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-9 aylık analizlere göre, 2012 yılı Nisan ayında havzanın kuzeydoğusunda yer alan Aksaray İstasyonunda en yüksek kuraklık değeri tespit edilmiştir. SPEI-9 aylık değerlendirmelerde, havzanın güneyinde bulunan Karaman İstasyonunda 2010 yılı Eylül ayında aşırı kuraklık değerleri hesaplanmıştır. RDI-9 aylık analizlerde ise havzanın doğusunda yer alan Çumra İstasyonunda 1999 yılı Eylül ayında aşırı kurak koşullar etkili olmuştur. aSPI-9 aylık değerlendirmelerde de 2012 yılı Nisan ayında Aksaray İstasyonunda aşırı kuraklık belirlenmiştir.

Konya Havzası‘nda, çalışma alanının tamamında belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 yılı kuraklıklarının etkisi görülmektedir (Şekil 38). 2014 yılı kuraklıklarının etkisi, özellikle Ocak ayında SPI indisi ile, Nisan ayında ise tüm indislerde belirgin bir şekilde ön plana çıkmaktadır (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki uzun dönemli kurak koşullarda, özellikle RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılına ait kuraklık şiddetinde artış etkilidir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasında ise havzada normal kurak koşullar hâkim olmuştur (Şekil 40). Uzun süreli kuraklıkların ifade edildiği 12 aylıklarda SPI-12 -2,74 ile 2,53, SPEI-12 -2,55 ile 2,91, RDI-12 -3,63 ile 3,09, aSPI-12 değerleri ise -3,15 ile 2,50 arasında değişen kurak koşullar hakimdir. SPI-12 aylık değerlerine göre, 2012 yılı Mayıs ayında Aksaray İstasyonunda aşırı kuraklık tespit edilmiştir. SPEI-12 aylık değerlendirmelerde, havzanın güneydoğusunda yer alan Cihanbeyli İstasyonunda 2016 yılı Kasım ayında kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir. RDI-12 aylık değerlerde ise havzanın merkezine yakın Konya Havalimanı (Selçuklu) İstasyonunda 2001 yılı Temmuz ayında aşırı kurak koşullar hakimdir. aSPI-12 aylık değerlerde de 2012 yılı Mayıs ayında Aksaray İstasyonunda aşırı kuraklık belirlenmiştir. 2001 yılı yaz kuraklığının yanında 2012 yılında İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesi’nden başlayarak 2014 yılına kadar etkili olan kuraklık şiddeti 9-12 aylık indislerde yüksek kuraklık değerlerini göstermektedir.

5.1. 15. Seyhan-Ceyhan Havzası

Çalışma alanının güney kesiminde yer alan Seyhan ve Ceyhan havzaları birlikte ele alınmıştır. Bu havza; batıda Doğu Akdeniz Havzası, kuzeyde Kızılırmak ve Yukarı Fırat Alt Havzası, doğuda ise Asi Havzası ile sınırlandırılmaktadır. Jeomorfolojik olarak dağlık bir yapıya sahip olan havzanın özellikle orta ve yukarı kesimleri, batı bölümde yer alan yüksek dağlık alanlarla karakterizedir. Havzanın en düşük yükseltiye sahip bölgesi ise güneyde, Seyhan ve Ceyhan nehirlerinin oluşturduğu Çukurova Deltası’dır. Batıda, kıvrımlı dağ kütlesi şeklinde uzanan Toros Dağları’nın bir devamı olan Medetsiz, Tepe, Pozantı ve Aladağ dağları, kuzeydoğuya doğru eğimli yamaçlarla ilerleyerek doğuda Amanos Dağları ile birleşerek havzanın doğal sınırlarını oluşturmaktadır (Uzunkol, 2017). Ayrıca batıdan doğuya doğru sırasıyla Bolkar Dağları, Aladağlar, Tahtalı Dağları ve Orta Toroslar’’ın kuzeydoğu uzantısını oluşturan Binboğa Dağları yer almaktadır (Uzunkol, 2017).

Havzanın iklim özellikleri büyük ölçüde bu dağlık kütleler tarafından şekillenmektedir. Yüksek dağlık alanlar, kıyıdan gelen nemli hava kütlelerinin İç Anadolu Bölgesi'ne ve doğuda Amanos Dağları üzerinden Asi Havzası'na ilerlemesini engellemektedir. Genel olarak Akdeniz iklim özelliklerinin hâkim olduğu havzanın batı ve kuzey kesimlerindeki yüksek dağlık alanlarında ise karasal iklim etkileri belirgindir. Bu bölgelerde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçmektedir (Kuzucu, 2016). Havza tabanını oluşturan Çukurova'da ise tipik Akdeniz iklimi görülmekte olup en fazla yağış kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat), en az yağış ise yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) gerçekleşmektedir (Uzunkol ve Kızılelma, 2016). Havzada, karasal iklimin etkili olduğu Ulukışla İstasyonunda en düşük yıllık yağış miktarı 348,9 mm olarak ölçülürken, en yüksek yağış değeri 867,3 mm ile Karaisalı İstasyonundadır. Kuraklık analizleri kapsamında, havza içerisinde toplam 9 meteoroloji istasyonu kullanılmıştır. Bu istasyonlar; kuzeyde Kozan, merkezde Adana Bölge ve Ceyhan, güneyde kıyı kesiminde Karataş ve Yumurtalık, batıda Ulukışla ve Karaisalı, doğuda ise Dörtyol ve İskenderun'dur. Söz konusu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak, havzada kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi incelenmiştir. Havzada kullanılan indisler ve analiz edilen dönemlere bağlı olarak, kuraklığın şiddeti ve gerçekleştiği aylar farklılık göstermektedir.

Seyhan-Ceyhan Havzası'nda belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında 2017 yılı Şubat ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak koşulların etkili olduğu görülmektedir (Şekil 26). Aynı dönemde, SPEI indisinde ise 2008 yılı Nisan ayında aşırı kuraklık koşullarının hâkim olduğu tespit edilmiştir (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos aylarını kapsayan kurak dönemde, havzada genel olarak normal kurak koşullar belirlenmiştir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise 2010 yılı Kasım ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde kuraklık şiddetinde artış görülmektedir (Şekil 28). Ayrıca, 2015 yılı Aralık ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 28). 1 aylık indislerde SPI-1 aylıklar -6,05 ile 2,54, SPEI-1 -2,84 ile 2,67, RDI-1 -4,04 ile 3,08, aSPI-1 -4,07 ile 2,89 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Seyhan-Ceyhan Havzası'nda, merkezde yer alan Adana İstasyonunda SPI-1 aylık kuraklık indisine göre en yüksek kuraklık değeri 2017 yılı Şubat ayında hesaplanmıştır (Şekil 26). Havzanın güneydoğusunda bulunan Yumurtalık İstasyonunda, SPEI-1 aylık değerleri 2020 yılı Eylül ayında aşırı kurak koşulların etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yine Yumurtalık İstasyonunda, RDI-1 ve aSPI-1 aylıklarda 2017 yılı Şubat ayında kuraklık

şiddetinin arttığı görülmektedir (Şekil 26). 2017 yılı yağış değerleri Şubat ayında mevsim normallerinin altında seyretmiştir (MGM, 2018h). Bu durum meydana gelen yağış düşüşünün havzada 1 aylık değerlendirmelerde havzanın orta kesiminde ve güney kesiminde yüksek kuraklık değerlerine sebep olmuştur. 2020 yılında ise özellikle Eylül ayında en yüksek sıcaklık anomalisi belirlenmiştir (MGM, 2021j). Eylül ayındaki yüksek sıcaklık artan buharlaşma ile havzanın güney kesimindeki Yumurtalık İstasyonunda şiddetli kuraklığın SPEI indisinde öne çıkmasına sebep olmuştur. Yumurtalık İstasyonun yer aldığı bölgenin sulak alanlar bakımından zengin olması artan buharlaşma şiddeti ile su rezervlerinin hızla tükenmesine neden olabilir. Ayrıca buharlaşma miktarının artması toprak nemi azalıp su yüzeyi küçülerek kuraklık etkisinin artmasına sebep olur.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda havzada Ocak ve Nisan ayları arasında genel olarak normal kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos aylarını kapsayan dönemde ise özellikle 2022 yılı Temmuz ayında, çalışma alanının geneli ile uyumlu şekilde aşırı kurak koşulların hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde, SPEI indisinde 2020 yılı Ekim ve Aralık aylarında kurak koşullar etkilidir (Şekil 31). Öte yandan, kurak dönemlerin aksine, 2006 yılı Ekim ayında SPI indisinde, Kasım ayında ise RDI ve aSPI indislerinde nemli koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 31). SPI-3 aylıklar -4,07 ile 2,44, SPEI-3 aylıklar -2,81 ile 2,53, RDI-3 aylıklar -4,01 ile 4,06, aSPI-3 aylıklar ise -3,94 ile 2,72 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. Havzanın kuzeydoğusunda yer alan Kozan İstasyonunda, SPI-3 aylık kuraklık indisine göre en yüksek kuraklık değeri 2022 yılı Ağustos ayında hesaplanmıştır. Havzanın güneybatısında, kıyı bölgesinde bulunan İskenderun İstasyonunda, SPEI-3 aylık değerleri 2020 yılı Ekim ayında aşırı kurak koşulları göstermektedir (Şekil 31). Ayrıca, güneydoğuda bulunan Yumurtalık İstasyonunda, RDI-3 ve aSPI-3 aylık kuraklık indislerine göre 2010 yılı Kasım ayı, en yüksek kuraklık şiddetinin yaşandığı dönem olarak belirlenmiştir. 3 aylık indislerde sıcaklık anomalisinin belirlendiği Ekim ayında artan buharlaşma ile yüksek kuraklık şiddeti belirgin iken 2022 yılı yaz kuraklığının etkisi havzanın iç kesimindeki Kozan İstasyonunda etkili olmuştur. 2010 yılındaki Rusya üzerinden gelerek ülkemize yaz aylarında ülkemizde etkili olan sıcak dalgasının etkisi kış mevsiminin sıcak geçmesinde etkili olmuştur (MGM, 2011a; Güler ve Erlat, 2023). Aynı zamanda 2010 yılı yaz mevsimindeki sıcak hava dalgasının etkisi ile artan deniz suyu sıcaklıkları daha sıcak ve kurak bir kış mevsimine neden olmuştur (Demirtaş,

2017a). 2010 yılındaki sıcak hava dalgasının etkisi havzanın güneydoğusundaki kıyı kesimde şiddetli kuraklıklara neden olmuştur.

Seyhan-Ceyhan Havzası'nda çalışma alanının genelindeki kurak yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında SPEI indisinde 2014 ve 2021 yıllarında aşırı kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos aylarını kapsayan dönemde, 2008 yılında SPEI indisinde Haziran ve Ağustos aylarında aşırı kurak koşullar etkiliyken, 2003 yılı Temmuz ayında ise nemli koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise özellikle 2020 yılı Aralık ayında SPEI, RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 aylıklar -3,60 ile 2,89, SPEI-6 aylıklar -2,70 ile 2,74, RDI-6 aylıklar -3,25 ile 3,41, aSPI-6 aylıklar -3,53 ile 3,05 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. Havzanın doğusunda yer alan Ceyhan İstasyonunda, SPI-6 aylık kuraklık indisine göre 2014 yılı Nisan ayında aşırı kurak değerler mevcuttur. Havzanın güneybatısında, kıyı bölgesinde bulunan İskenderun İstasyonunda, SPEI-6 aylık değerlendirmelere göre 2014 yılı Haziran ayında kuraklık şiddeti yüksek olarak tespit edilmiştir. Güneydoğuda yer alan Yumurtalık İstasyonunda, RDI-6 indisine göre 2016 yılı Ocak ayında kuraklık şiddeti belirgin bir artış göstermiştir. Ayrıca, merkezde bulunan Adana İstasyonunda, aSPI-6 aylık değerlerine göre 2022 yılı Eylül ayında en yüksek kuraklık seviyesi belirlenmiştir.

Çalışma alanında belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 yılı kuraklıklarının havzada da tüm indislerde etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos aylarını kapsayan dönemde, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi görülürken, SPEI indisinde ise 2021 yılı Mayıs ayında aşırı kurak koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde, havzada SPEI indisinde 2021 yılı Kasım ayında kuraklık şiddetinin yüksek olduğu görülürken diğer dönemlerde ise normal kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 37). 9 aylıklarda SPI-9 -3,76 ile 2,74, SPEI-9 -2,76 ile 2,64, RDI-9 -3,95 ile 3,34, aSPI-9 -3,97 ile 2,73 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Seyhan-Ceyhan Havzası'nda, doğuda yer alan Ceyhan İstasyonunda, SPI-9 aylık kuraklık indisine göre 2010 yılı Kasım ayında -3,76 ile aşırı kurak değer mevcuttur. Havzanın kuzeybatısında, İç Anadolu sınırında bulunan Ulukışla İstasyonunda, SPEI-9 aylık değerlendirmelere göre 2021 yılı Ekim ayında kuraklık şiddeti yüksek olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, RDI-9

indisine göre 2010 yılı Kasım ayında yine Ceyhan İstasyonunda kurak koşullar etkilidir. Bununla birlikte, aSPI-9 aylık değerlerinde de aynı dönem için Ceyhan İstasyonunda yüksek kuraklık şiddeti etkilidir. 2010 yılında etkili olan mevsim normalleri üzerindeki sıcaklıklar uzun dönemli indislerde de şiddetli kuraklıklara neden olmuştur. 2021 yılında bölgede mevsim normalleri üzerindeki sıcaklık değerleri artan buharlaşmaya ve azalan yağış değerleri sebebiyle karasallık şiddetinin yüksek olduğu Ulukışla İstasyonunda etkili olmuştur.

Ocak ve Nisan ayları arasındaki kurak yıllar incelendiğinde, havzada 2014 yılı kuraklıklarının etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos aylarını kapsayan kurak dönemde, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılına ait kuraklık şiddetindeki artış dikkat çekmektedir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönemde ise havzada, çalışma alanının geneli ile uyumlu olarak, normal kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 40). 12 aylık uzun dönemli kuraklık indislerinde SPI-12 -3,45 ile 2,48, SPEI-12 -2,61 ile 2,66, RDI-12 -3,43 ile 3,24, aSPI-12 -3,34 ile 2,42 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. Seyhan-Ceyhan havzasında, güneydoğuda yer alan Yumurtalık istasyonunda, SPI-12 aylık kuraklık indisine göre en yüksek kuraklık değeri 2014 yılı Mayıs ayındadır (Şekil 39). Aynı istasyonda, SPEI-12 aylık değerler 2016 yılı Ocak ayında artan kuraklık şiddetini göstermektedir. Ayrıca, RDI-12 indisine göre 2014 yılı Mayıs ayında ve aSPI-12 aylık değerlere göre aşırı kuraklık, yine Yumurtalık İstasyonunda tespit edilmiştir (Şekil 39). Bulgular bölgede uzun dönemli kuraklıkların ilkbahar ve yaz mevsimlerinde daha etkili olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

5.1.16. Asi Havzası

Asi Havzası, çalışma alanının güney kesiminde, Seyhan-Ceyhan Havzası'nın doğusunda yer almaktadır. Batıda Seyhan-Ceyhan Havzası, kuzeyde Kızılırmak ve Yukarı Fırat Alt Havzası, doğuda ise Aşağı Fırat Alt Havzası ile sınır komşusudur. Havzanın batısında Amanos Dağları, kuzeyinde ise yüksek engebeli alanlarıyla Orta Toroslar bulunmaktadır. Özellikle kuzeye doğru arazi engebesi artış göstermektedir. Havzanın doğu kesiminde ise Şanlıurfa-Gaziantep Platosu yer almaktadır.

İklim özellikleri açısından, Amanos Dağları Akdeniz'den gelen nemli hava kütlelerinin doğuya geçişini sınırlandırırken, Göksun Oluğu ve Ceyhan Boğazı gibi önemli geçitlerin varlığı, özellikle kış aylarında ılık ve nemli hava kütlelerinin kuzeydoğu yönünde ilerlemesine katkı sağlamaktadır (Uzunkol, 2017). Havzanın en düşük yıllık yağış miktarı kuzeydoğudaki Elbistan İstasyonunda 380,9 mm olarak ölçülürken, en yüksek yağış miktarı 1069,8 mm ile güneydeki Antakya İstasyonundadır. Havza genelinde kuraklık analizleri için toplam 7 meteoroloji istasyonu kullanılmıştır. Bu istasyonlar kuzeyde Göksun, Afşin, Elbistan ve Kahramanmaraş; güneyde, kıyı kesiminde Samandağ ve Antakya; doğuda ise Kilis'te yer almaktadır. SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda, havzada kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi belirlenmiş olup, kuraklığın şiddeti ve etkili olduğu dönemler indislere ve zaman aralıklarına göre farklılık göstermektedir.

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında SPI, RDI ve aSPI indislerine göre 2017 yılı Şubat ayında havzada kuraklık etkisinin belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise çalışma alanının geneli ile uyumlu olarak normal kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, özellikle havzanın kuzey kesiminde SPEI indisinde 2017 yılı kuraklıklarının belirgin olduğu saptanmıştır (Şekil 28). Bununla birlikte, RDI ve aSPI indislerine göre 2010 yılı Kasım ayında kuraklık koşullarının etkili olduğu, 2015 yılı Aralık ayında ise SPI, RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 28). 1 aylık indislerde SPI-1 aylıklar -5,78 ile 2,86, SPEI-1 -2,67 ile 2,79, RDI-1 -4,83 ile 4,04, aSPI-1 -4,96 ile 4,52 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Asi Havzası'nda, güneyde yer alan Antakya İstasyonunda, SPI-1 aylık kuraklık indisine göre en yüksek kuraklık değeri 2017 yılı Şubat ayında belirlenmiştir (Şekil 26). Havzanın kuzeyinde bulunan Afşin İstasyonunda, SPEI-1 aylık değerlere göre 2019 yılı Mayıs ayında aşırı kurak koşullar hakim olmuştur. Ayrıca, RDI-1 indisine göre 2017 yılı Şubat ayında Antakya İstasyonunda kuraklık şiddeti artış göstermiştir (Şekil 26). Aynı şekilde, aSPI-1 aylık değerler de 2017 yılı Şubat ayında Antakya İstasyonunda artan kuraklık şiddetini göstermektedir (Şekil 26). Kısa dönemli indislerde 2019 yılının en sıcak yıllardan biri olduğu tespit edilmiştir (Güler ve Erlat, 2023). Bu durum SPEI indisinde havzanın kuzeyinde artan kuraklık şiddetine neden olmuştur. 2017 kış mevsiminde normalin altındaki yağış değerleri belirlenmiştir (MGM, 2018h). Bu durum

özellikle Asi Havzası'nın güneyinde şiddetli kuraklıklara etki etmiştir. Havzanın güneyinde etkili olan kuraklıklar çöl etkisi ile birlikte 2017 yılında yaşanan sıcak havza dalgası ile ilişkili olabilmektedir. Ayrıca Amanos Dağları'nın aksine daha alçak olan batı ve güneydeki dağlar üzerinden bölgeye sıcak hava dalgaları kolayca ulaşabilmektedir.

Asi Havzası'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, SPI indisinde 2014 yılı Mart ayında ve SPEI indisinde 2018 yılı Nisan ayında şiddetli kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise SPEI indisinde, özellikle havzanın kuzey kesiminde, 2021 yılı Haziran ve Temmuz aylarında aşırı kurak koşulların belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 30). Ayrıca, havza genelinde çalışma alanının tamamı ile uyumlu olarak 2022 yılı Temmuz ayında kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 30). 3 aylık değerlendirmelerde SPI-3 aylıklar -5,07 ile 2,89, SPEI-3 aylıklar -3,14 ile 2,57, RDI-3 aylıklar -5,01 ile 5,54, aSPI-3 aylıklar ise -5,09 ile 2,92 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. Kuzeydoğuda yer alan Afşin İstasyonunda, SPI-3 aylık kuraklık indisine göre en yüksek kuraklık değeri 2013 yılı Ocak ayındadır. Havzanın doğusunda bulunan Kahramanmaraş İstasyonunda, SPEI-3 aylık değerlendirmelere göre 2020 yılı Ekim ayında aşırı kuraklık koşulları belirlenmiştir (Şekil 31). Ayrıca, RDI-3 indisine göre 2012 yılı Aralık ayında Afşin İstasyonunda kuraklık şiddeti artış göstermiştir. Benzer şekilde, aSPI-3 aylık değerler de 2012 yılı Aralık ayında Afşin İstasyonunda en yüksek kuraklık şiddetini göstermektedir (Şekil 31). Ayrıca havzada RDI ve aSPI indislerinde 2006 yılı Kasım ayında nemli koşullar etkilidir (Şekil 31).

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında özellikle SPEI indisinde Asi Havzası'nda da 2014 yılı kuraklıklarının etkili olduğu görülmektedir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemde ise SPI indisinde 2014 yılı kuraklıklarının Haziran ve Temmuz aylarında etkili olduğu, SPEI indisinde ise 2008 yılı kuraklıklarının Haziran ve Ağustos ayları arasında belirgin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 33). Ayrıca, 2003 yılı Temmuz ayında havzada SPEI indisinde nemli dönem koşullarının etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise SPI ve SPEI indislerinde 2021 yılı Eylül ayında aşırı kurak koşulların hâkim olduğu, 2020 yılı Aralık ayında ise SPEI, RDI ve aSPI indislerinde kuraklığın belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 aylıklar -5,50 ile 2,63, SPEI-6 aylıklar -2,57 ile 2,72, RDI-6 aylıklar -5,25 ile 4,69, aSPI-6 aylıklar -5,26 ile 2,54 arasında

kuraklık değerleri mevcuttur. Asi Havzası'nda, kuzeydoğuda yer alan Afşin İstasyonunda, SPI-6 aylık kuraklık indisine göre 2012 yılı Aralık ayında aşırı kurak değerler hesaplanmıştır. Havzanın doğusunda bulunan Kahramanmaraş İstasyonunda, SPEI-6 aylık değerlendirmelere göre 2014 yılı Haziran ayında kuraklık şiddeti yüksek olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, RDI-6 indisine göre 2013 yılı Ocak ayında Afşin İstasyonunda kuraklık şiddeti belirgin bir artış göstermiştir. Benzer şekilde, aSPI-6 aylık değerler de en yüksek kuraklık şiddetinin 2013 yılı Ocak ayında Afşin İstasyonunda yaşandığını ortaya koymaktadır. Yaz kuraklığı ile artan buharlaşma etkisi şiddetli kuraklığın hâkim olduğu 2014 yılında karasal iklim bölgesi havzanın kuzeyinde etkilidir.

Asi Havzası 'nda, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 yılı kuraklıklarının etkisi öne çıkmaktadır (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemlerde ise SPEI indisinde 2021 yılı Mayıs ayında kuraklık etkisi belirginken, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi dikkat çekmektedir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise SPI indisinde 2014 yılı Eylül ayı, SPEI indisinde ise 2021 yılı Kasım ve Aralık aylarında kuraklık koşulları etkili olmuştur (Şekil 37). 9 aylıklarda SPI-9 -3,97 ile 2,59, SPEI-9 -2,60 ile 2,82, RDI-9 -4,02 ile 4,39, aSPI-9 -4,07 ile 2,55 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Kuzeydoğuda yer alan Afşin İstasyonunda, SPI-9 aylık kuraklık indisine göre 2013 yılı Ocak ayında -3,97 ile aşırı kurak değer hesaplanmıştır (Şekil 35). Havzanın güneyinde, kıyı bölgesinde bulunan Samandağ İstasyonunda, SPEI-9 aylık değerlendirmelere göre 2014 yılı Haziran ayında kuraklık şiddeti yüksek olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, RDI-9 indisine göre 2013 yılı Şubat ayında Afşin İstasyonunda kuraklık şiddetinde belirgin bir artış ön plandadır. Benzer şekilde, aSPI-9 aylık değerlere göre de en yüksek kuraklık şiddeti Afşin İstasyonunda belirlenmiştir.

Asi Havzası'nda, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 yılına ait aşırı kurak koşulların etkisi baskın olarak görülmektedir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemlerde ise 2014 yılı kuraklıklarının etkisi devam etmektedir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise havza genelinde ve çalışma alanının tamamında normal kurak koşulların etkisi belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır (Şekil 40). 12 aylık uzun dönemli kuraklık indislerinde SPI-12 -4,09 ile 2,77, SPEI-12 -2,87 ile 2,74, RDI-12 -3,40 ile 4,52, aSPI-12 -3,99 ile 2,86 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. Asi Havzası'nda, güneyde yer alan Samandağ İstasyonunda, SPI-12

aylık kuraklık indisine göre en yüksek değer 2022 yılı Aralık ayındadır. Aynı İstasyonda, SPEI-12 aylık değerlere göre 2021 yılı Ağustos ayında artan kuraklık şiddeti tespit edilmiştir. Havzanın kuzeybatısında bulunan Göksun İstasyonunda ise, RDI-12 indisine göre 2013 yılı Aralık ayında kuraklık şiddeti belirgin bir artış mevcuttur. Ayrıca, aSPI-12 aylık değerlerine göre aşırı kuraklık, 2022 yılı Aralık ayında Samandağ İstasyonundadır. 2022 yılında kış mevsim sıcaklıkları 0,6 °C mevsim normalleri üzerindedir ve aynı zamanda yağışlarda %40 oranındaki azalma belirlenmiştir (MGM, 2023l). Bu durum havzanın güney kesiminde artan kuraklıklara neden olmuştur. Uzun dönemli kuraklıklarda havzanın güneyindeki Samandağ İstasyonunda yaz kuraklık şiddeti yüksektir.

Havzada karasal iklimin hâkim olduğu havzanın kuzeyindeki Göksun, Afşin ve Kahramanmaraş İstasyonlarında 3 aylık indislerden 12 aylık indislere kadar İç Anadolu'dan başlayıp Doğu Anadolu'ya yayılan ve 2013 yılından 2014 yılına kadar etkili olan şiddetli kuraklıkların etkisi kış mevsiminde etkili olmuştur.

5.1.17. Kızılırmak Havzası

Kızılırmak Havzası, çalışma alanının kuzeyinden güneyine ve doğusuna doğru genişleyen bir havza olup, Karadeniz'e dökülen Kızılırmak akarsuyu ile açık havza özelliği taşımaktadır. Batıda Batı Karadeniz ve Sakarya Havzaları, güneyde Konya ve Seyhan-Ceyhan Havzaları, doğuda ise Yeşilırmak ve Yukarı Fırat havzaları ile kesişmektedir. Havzanın iç bölgeleri Aşağı Kızılırmak, Orta Kızılırmak, Yukarı Kızılırmak, Delice, Seyfe, Tuzla ve Develi Havzalarından oluşmaktadır. Topografik özellikler ve buna bağlı olarak iklimsel farklılıklar, havzanın çeşitli kesimlerinde belirgin şekilde çeşitlenmektedir (T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023). Havzanın en engebeli bölgesi olan Yukarı Kızılırmak, kuzey ve güneydeki dağlık alanlarla sınırlıdır (Sağdıç ve Koç, 2012). Orta Kızılırmak ise çayır ve platolar ile volkanik kökenli dağlar ve geniş ova tepeleri arasında farklılık gösterir. Aşağı Kızılırmak Bölgesi ise batısında Kuzey Anadolu ve Küre Dağları ile Batı Karadeniz Havzası ile sınır oluşturmaktadır (Aktürk vd., 2024b). Karadeniz'den gelen nemli hava kütlelerinin etkisini engelleyen bu dağlık alanlar, bölgedeki iklimi şekillendirir. Aşağı Kızılırmak dışında kalan bölgelerde ise karasal iklim özellikleri hâkimdir (Can ve Yılmaz, 2023). Karadeniz iklimi, ılık kışlar, serin yazlar ve yıl boyu devam eden yağışlı bir hava durumu sergilerken, günlük ve yıllık sıcaklık farkları nemin yüksekliği

nedeniyle oldukça düşüktür. Karasal iklimde ise kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuru geçmektedir (Aktürk, vd., 2022a). Kızılırmak Havzası'nda yapılan çalışmada 23 meteoroloji istasyonu kullanılmıştır. Bu istasyonlar kuzeyde Bafra, Samsun, Kastamonu, Osmancık, Ilgaz, Tosya; orta kesimde Kırıkkale, Yozgat, Kaman, Çiçekdağı, Kırşehir, Boğazlıyan; güneyde Nevşehir, Ürgüp, Kayseri, Kayseri/Pınarbaşı, Develi, Tomarza, Sarız; doğuda ise Sivas ve Zara bölgelerinde yer almaktadır. Bu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleriyle havzadaki kuraklık mekânsal ve zamansal açıdan incelenmiş olup, kuraklık şiddeti ve yaşanan kuraklık dönemleri farklı indisler ve dönemlere bağlı olarak değişim göstermektedir.

Kızılırmak Havzası 'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında aşırı kurak koşullar, 2017 ve 2008 yıllarında Şubat ayında etkili olmuştur. Ayrıca, 2018 yılı Nisan ayında RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak koşullar etkilidir (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde, özellikle havzanın güneybatısında 2012 yılı Temmuz ayında SPEI indisiyle aşırı kurak koşulların etkisi görülmektedir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise SPI indisinde, 2020 yılı Ekim ayında, 2010 yılı Kasım ayında ve 2015 yılı Aralık ayında aşırı kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 28). Bunun yanı sıra, RDI ve aSPI indislerinde de 2010 ve 2015 yıllarında Kasım ile Aralık ayları arasındaki dönemde kuraklık etkileri belirgindir(Şekil 28). 1 aylık indislerde SPI-1 aylıklar -4,93 ile 3,91, SPEI-1 -4,54 ile 2,94, RDI-1 -4,11 ile 4,37, aSPI-1 -4,14 ile 4,89 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Havzanın güneyinde yer alan Nevşehir İstasyonu, 2001 yılı Ocak ayında SPI-1 aylık değerlerde en yüksek kuraklık değerine sahiptir. Havzanın kuzeyinde, Karadeniz kıyısına yakın bir konumda bulunan Bafra İstasyonu, 2014 yılı Ocak ayında SPEI-1 aylık değerlerde aşırı kurak koşullar yaşamıştır (Şekil 26). Tosya İstasyonu, havzanın kuzeyinde olup, 2018 yılı Nisan ayında RDI-1 değerlerinde kuraklık şiddeti artmıştır (Şekil 26). Aynı dönemde, havzanın kuzeyinde bulunan Kastamonu İstasyonu, aSPI-1 aylık değerlerde kuraklık şiddetinin yükseldiği bir diğer nokta olmuştur. SPI-1 aylık indislerde kış mevsimi kuraklıklarının etkisi 2001 yılında havzanın güneyinde etkili olmuştur. SPEI-1 aylık indislerde ise 2014 yılı kış mevsiminde artan sıcaklıkların etkisi havzanın kuzeyinde kıyı kesimde şiddetli kuraklığa neden olmuştur.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında aşırı kurak koşullar özellikle SPEI indisi ile 2001 yılı Mart ayında ve 2018 yılı Nisan ayında ön plana çıkmaktadır (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemde, 2021

yılı Haziran ve Temmuz aylarında SPEI indisiyle kuraklık koşulları etkili olurken, Ağustos ayında ise 2021 yılına ait kuraklıkların etkisi görülmektedir (Şekil 30). Ayrıca, havzanın batısında 2008 yılında Haziran ve Temmuz aylarında, özellikle RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak koşullar etkilidir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, özellikle SPEI indisiyle 2007 yılı Eylül ayında ve 2020 yılı Ekim ve Aralık aylarında aşırı kurak koşulların etkisi belirgin bir şekilde izlenmiştir (Şekil 31). 3 aylık değerlendirmelerde SPI-3 aylıklar -5,62 ile 3,95, SPEI-3 aylıklar -3,02 ile 3,33, RDI-3 aylıklar -5,24 ile 4,88, aSPI-3 aylıklar ise -5,32 ile 4,56 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. Havzanın güneyindeki Develi İstasyonu, 2014 yılı Mart ayında SPI-3 aylık değerlerde en yüksek kuraklık değerine sahiptir (Şekil 29). Nevşehir İstasyonu, havzanın orta kesiminde olup, 2008 yılı Mayıs ayında SPEI-3 aylık değerlerde aşırı kuraklık koşulları sergilemiştir. Havzanın orta kesimindeki Kaman İstasyonunda 2008 yılı Haziran ayında RDI-3 değerlerinde kuraklık şiddeti artmıştır. Havzanın doğusundaki Zara İstasyonu ise 2012 yılı Nisan ayında aSPI-3 aylık değerlerde en yüksek kuraklık değerine sahip olmuştur (Şekil 29). 3 aylık değerlendirmelerde havzada karasallık şiddetinin fazla olduğu istasyonlarda şiddetli kuraklıkların görüldüğü 2008 ve 2014 yıllarında ilkbahar ve yaz kuraklıkları ön plandadır. 2008 yılında artan sıcaklık ve buharlaşma etkisi kuraklık şiddetini arttırırken, 2012 yılından başlayıp etkisi 2014 yılına kadar devam eden şiddetli kurak dönemin etkileri görülmektedir.

Çalışma alanının genelindeki kurak yıllarda Kızılırmak Havzası'nda Ocak ve Nisan ayları arasında özellikle SPEI indisi ile 2014 yılına ait kuraklıklar etkili olmuştur. Ayrıca, RDI indisi ile 2007 yılı Şubat ve Mart aylarında aşırı kurak koşullar belirgindir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemde ise, özellikle 2008 yılı Haziran ve Ağustos aylarında SPEI indisiyle artan kuraklık etkisi dikkat çekmektedir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasında, 2021 yılı Eylül ayında SPI ve SPEI indislerinde şiddetli kuraklık koşulları etkili olmuştur (Şekil 34). Ayrıca, SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayı ve 2020 yılı Aralık ayında SPEI, RDI ve aSPI indislerinde kuraklıkların etkisi görülmektedir (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 aylıklar -5,29 ile 3,65, SPEI-6 aylıklar -3,32 ile 2,83, RDI-6 aylıklar -5,40 ile 5,13, aSPI-6 aylıklar -5,71 ile 4,21 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. Havzanın güneyinde yer alan Kayseri/Pınarbaşı İstasyonu, 2010 yılı Kasım ayında SPI-6 aylık değerlerde aşırı kuraklık göstermiştir. Samsun İstasyonu, havzanın kuzeyinde, Karadeniz kıyısında konumlanmakta olup, 1994 yılı Eylül ayında SPEI-6 aylık değerlendirmelerde kuraklık şiddetinin yüksek olduğu bir dönem yaşamıştır. Havzanın doğusundaki Zara

İstasyonu ise 2012 yılı Nisan ayında RDI-6 ve aSPI-6 aylık indislerde en yüksek kuraklık değerine ulaşmıştır (Şekil 32). 2010 yılı yaz döneminde şiddetli sıcaklıkların yaşandığı kurak dönem iken 1994 yılı Türkiye'de hava sıcaklıklarında belirgin artışın görüldüğü yıldır (Güler ve Erlat, 2023). 2012 yılı ise özellikle Kızılırmak Havzası'nın da içerisinde yer aldığı karasal İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinin bazı bölümlerinde etkili olan meteorolojik kuraklıklar yaz kuraklığı ile birleşerek 2013 yılında tüm Türkiye'de etkili olmuştur (Selçuk, vd., 2024; Türkes, 2020).

Kızılırmak Havzası'nda, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, özellikle Ocak ve Nisan ayları arasında, SPEI indisi ile 2014 yılına ait şiddetli kuraklık koşulları öne çıkmaktadır (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde, 2021 yılı Mayıs ayında etkili olan kuraklıklar, SPEI indeksinde etkisini gösterirken, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi belirgin şekilde hissedilmektedir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise, SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayında kuraklık şiddeti görülürken, RDI ve aSPI indislerinde 2006 yılı kuraklıkları Kasım ve Aralık aylarında etkili olmuştur (Şekil 37). 9 aylıklarda SPI-9 -4,96 ile 3,51, SPEI-9 -3,82 ile 2,86, RDI-9 -4,63 ile 5,08, aSPI-9 -4,82 ile 3,87 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Havzanın doğusundaki Zara İstasyonu, 2012 yılı Nisan ayında SPI-9 aylık değerlerde -4,96 aşırı kuraklık değeriyle dikkat çekmiştir (Şekil 35). Aynı istasyonda, 2012 yılı Temmuz ayında RDI-9 ve aSPI-9 aylık değerlerde de en yüksek kuraklık değerleri hesaplanmıştır. Havzanın kuzeyinde, Karadeniz kıyısında bulunan Samsun İstasyonu ise 1994 yılı Eylül ayında SPEI-9 aylık değerlendirmelerde kuraklık şiddetinin yüksek olduğu bir dönem geçirmiştir (Şekil 37). 2012 yılındaki yaz kuraklıkları havzanın karasallık şiddetinin arttığı doğu kesimde önemli bir etki alanına sahiptir. 1994 yılındaki ısınma eğilimi ise özellikle kıyı kesimde 1994 yılında sonbahar mevsiminde şiddetli kuraklığa neden olmuştur.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında, özellikle Ocak, Mart ve Nisan aylarında 2014 yılı kuraklıklarının etkisi havzada görülmektedir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılına ait kuraklıkların etkisi devam etmektedir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise, çalışma alanının tamamında olduğu gibi, havzada da normal kurak koşulların hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 40). 12 aylık uzun dönemli kuraklık indislerinde SPI-12 -4,40 ile 3,49, SPEI-12 -2,84 ile 2,85, RDI-12 -4,61 ile 5,13,

aSPI-12 -4,70 ile 3,64 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. Havzanın doğusundaki Zara İstasyonu, SPI-12 aylık indislerde 2012 yılı Temmuz ayında en yüksek kuraklık değerine sahiptir. Orta bölgede, bulunan Nevşehir İstasyonu, 2016 yılı Kasım ayında SPEI-12 aylık değerlere göre artan kuraklık şiddetiyle öne çıkmıştır. Havzanın orta kesiminde yer alan Gemerek İstasyonu, 2014 yılı Şubat ayında RDI-12 ve aSPI-12 aylık değerlere göre aşırı kuraklık koşulları yaşamıştır.2012 yaz kuraklığının etkisi uzun dönemli kuraklıklarda ön plana çıkarken 2014 yılındaki şiddetli kuraklık karasal iklim bölgesinde kış mevsiminde etkisini arttırmıştır.

5.1.18. Batı Karadeniz Havzası

Batı Karadeniz Havzası, çalışma alanının kuzey kesiminde yer alan Karadeniz kıyısında konumlanmaktadır. Havza, batıda Sakarya Havzası, güneyde ise Kızılırmak Havzası ile sınırdaş olup, jeomorfolojik açıdan kuzeyde kıyı kesimindeki ovalar, güneyde ise platolarla çevrili yüksek dağlık alanlardan oluşmaktadır. Bu dağlık alanlar, Alp-Himalaya kıvrım kuşağının etkisiyle oluşan Kuzey Anadolu Dağları'na ait olup, Batı Karadeniz Bölgesi'nde üç dağ sırasına bölünmüştür. İlk dağ sırası, Küre Dağları'nın kıyıya paralel uzanış gösterdiği alanı kapsar. İkinci dağ sırasını oluşturan Ilgaz Dağları, daha iç kesimlerde yer almakta olup, üçüncü dağ sırası ise Köroğlu Dağları olarak şekillenmiştir (Yılmaz, 2018). Bu dağ sıralarındaki Köroğlu ve Ilgaz Dağları, ilk sıraya paralel bir uzanım sergiler (Yılmaz, 2018). Havzanın kıyı kesiminde Karadeniz iklimi, iç kesimlerde ise karasal iklim hâkimdir. Kıyı kesimlerinde kış mevsimi ılık, iç kesimlerde ise soğuk ve kar yağışlıdır; yaz aylarında ise kıyıda ılık ve yağışlı, iç kesimlerde ise daha az yağışlı iklim koşulları etkilidir (Partal ve Yavuz, 2020). Havzanın güneyindeki dağlık kütleler, iklimin şekillenmesinde belirleyici bir faktör olup, Karadeniz Bölgesi'nde dağların kıyıya paralel uzanışı, nemli havanın iç kesimlere geçişini engellemektedir. Bu durum, kıyı kesimi ile iç kesim arasında önemli iklim farklarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Havza içinde kuraklık analizlerinde kullanılan 10 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlar, kuzeyde kıyı kesiminde Düzce, Akçakoca, Zonguldak, Bartın, Amasra, İnebolu ve Kastamonu/Bozkurt; güneyde ise Çerkeş ve Bolu İstasyonları olarak sıralanabilir. Bu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak havzada kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi incelenmiştir. Havza içerisinde kuraklığın şiddeti ve yaşandığı aylar, indisler ve dönemlerine göre farklılık göstermektedir.

Batı Karadeniz Havzası ‘nda, çalışma alanının genelindeki kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında, özellikle SPEI indisi açısından 2014 yılı Ocak ayı ve 2008 yılı Şubat ile Nisan ayları arasında belirgin kuraklık koşulları belirgindir (Şekil 26). 2017 yılına ait kuraklıklar, havzanın genelinde, özellikle Şubat ayında, tüm indislerde ön plana çıkmıştır (Şekil 26). Ayrıca, RDI ve aSPI indislerinde 2018 yılı Nisan ayında aşırı kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde, havzada 2006 yılı Ağustos ayında şiddetli kuraklıklar mevcuttur (Şekil 27). Kurak yılların aksine, SPI indisine göre 2003 ve 2014 yıllarında nemli koşullar belirgin bir şekilde ortaya çıkarken, RDI ve aSPI indislerinde Mayıs ve Haziran aylarında 2015 ve 2016 yıllarına ait nemli koşullar dikkat çekmektedir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, özellikle 2010 ve 2015 yıllarında Kasım ve Aralık aylarında kuraklık etkisi yoğun bir şekilde hissedilmiştir (Şekil 28). 1 aylık indis değerlendirmelerinde SPI-1 aylıklar -4,46 ile 2,89, SPEI-1 aylıklarda -3,92 ile 2,72, RDI-1 aylıklarda -4,21 ile 4,23, aSPI-1 aylıklarda -4,16 ile 3,57 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. Akçakoca İstasyonunda 1994 yılı Eylül ayında SPI-1 aylık değerlerinde en yüksek kuraklık değeri mevcutken, Sinop İstasyonunda 2007 yılı Haziran ayında SPEI-1 aylık değerlerinde en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir (Şekil 28). Ayrıca, Düzce İstasyonunda 2013 yılı Mayıs ayında hem RDI-1 hem de aSPI-1 aylık değerlerinde aşırı kurak koşullar hakim olmuştur. 2007 yılı ve aynı zamanda 2013 yılları Türkiye’de şiddetli kuraklıkların yaz kuraklığı ile birleştiği yıllardır. Bu durum Batı Karadeniz Havzası’nda kıyı kesimdeki istasyonlarda şiddetli kuraklığa neden olmuştur.

Çalışma alanının genelindeki kurak yıllarda, havzada Ocak ve Nisan ayları arasında, SPI indisine göre 2014 yılı Mart ayında ve SPEI indisine göre 2001 yılı Mart ayında şiddetli kuraklık koşulları etkili olmuştur (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemde ise, SPI indisinde 2007 yılı Mayıs ayında ve SPEI indisinde 2007 yılı Ağustos ayında kurak koşullar ortaya çıkmıştır (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise, özellikle SPEI indisinde, 2007 ve 2020 yıllarında aşırı kuraklık koşulları etkili olmuştur (Şekil 31). 3 aylık indislerde SPI-3 -4,04 ile 3,29, SPEI-3 aylıklarda -3,01 ile 2,87, RDI-3 aylıklar -3,66 ile 5,33 ve aSPI-3 aylık değerlerde ise -3,62 ile 3,45 arasında değişmektedir. Sinop İstasyonunda 2006 yılı Kasım ayında SPI-3 aylık ve RDI-3 ile aSPI-3 aylık değerlerinde aşırı kuraklık belirlenirken, Düzce İstasyonunda 2020 yılı Aralık ayında SPEI-3 aylık değerlerinde aşırı kurak koşullar etkili olmuştur. Bu istasyonlar, havzanın kuzey

kısmında yer alarak bölgedeki kuraklık dinamiklerini yansıtmaktadır. Türkiye'de şiddetli kuraklıkların yaşandığı dönemler olan 2006 ve 2020 yılları Batı Karadeniz'de de azalan yağış değerleri ile yüksek kuraklık etkisi dikkat çekmektedir (Öztürk ve Ünlü, 2024).

Batı Karadeniz Havzası'nda, çalışma alanının genelinde belirlenen Ocak ve Nisan ayları arasında kurak yıllar belirlenmiştir. Ocak ve Nisan ayları arasında özellikle SPEI indisinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi belirlenmiştir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemde ise, havzada şiddetli kuraklıklar özellikle 2008 yılında SPEI indisinde etkili olurken, RDI ve aSPI indislerinde 2006 yılı kuraklıkları ön plana çıkmıştır (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, SPEI indisinde 2007 yılı Ekim ayında meydana gelen kuraklıklar, RDI, SPEI ve aSPI indislerinde ise 2020 yılı Aralık ayında etkili olmuştur (Şekil 34). 6 aylık değerlerde SPI-6 -4,29 ile 3,10, SPEI-6 -3,14 ile 2,93, RDI-6 -4,23 ile 5,59 ve aSPI-6 -4,24 ile 4,01 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Kıyı kesimde bulunan İnebolu İstasyonunda 2020 yılı Aralık ayında SPI-6 aylık değerlerinde en yüksek kuraklık değeri belirlenirken, Sinop İstasyonunda 2007 yılı Temmuz ayında SPEI-6 aylık değerlerinde aşırı kurak koşullar yaşanmıştır. Ayrıca, Bolu İstasyonunda 2020 yılı Aralık ayında RDI-6 ve aSPI-6 aylık değerlerinde aşırı kuraklık etkisi görülür. 2007 yaz kuraklığı artan sıcaklıklar ile kuraklık şiddetinin artmasına neden olurken 2020 yılında normalden düşük yağış değerleri şiddetli kurak koşullara sebep olmuştur (Öztürk ve Ünlü, 2024).

Batı Karadeniz Havzası'nda, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında RDI ve aSPI indislerinde 2007 ve 2014 yıllarındaki şiddetli kuraklıkların etkisi görülmektedir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasında ise havzada 2007 yılına ait şiddetli kuraklıklar, SPI ve SPEI indislerinde etkili olmuştur (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasında, SPEI indisinde 1994 yılı Eylül ayı ile 2007 yılı Ekim ayında şiddetli kuraklıklar etkili olurken (Şekil 37), RDI ve aSPI indislerinde ise 2006 yılı kuraklıkları havzada etkili olmuştur (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 -4,10 ile 3,31, SPEI-9 -2,70 ile 2,95, RDI-9 -3,71 ile 5,46 aSPI-9 -3,64 ile 4,03 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. Sinop İstasyonu, havzanın kıyı kesiminde yer alırken, 2007 yılı Şubat ayında SPI-9 aylık değerlerinde aşırı kuraklık gösteren değerler mevcuttur. Akçakoca İstasyonu, Karadeniz'e yakın bir konumda olup, 1993 yılı Ekim ayında SPEI-9 aylık değerlerinde aşırı kurak koşullar yaşanmıştır. Bartın İstasyonu ise Batı Karadeniz'in güneydoğusunda yer

almakta olup, 1994 yılı Mayıs ayında RDI-9 aylık değerlerinde en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. Bolu İstasyonu ise İç Anadolu'nun kuzeybatısında yer almakta olup, 2021 yılı Şubat ayında aSPI-9 aylık değerlerinde aşırı kuraklık yaşanmıştır.

Çalışma alanı genelindeki kurak yıllarda, havzada Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 ve 2007 yıllarına ait şiddetli kuraklıklar ön plana çıkmaktadır (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise SPI indisine göre 2007 yılı kuraklıklarının etkisi görülmektedir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde, SPEI indisinde 1994 yılı Eylül ayı ve 2008 yılı Aralık ayında şiddetli kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 40). Ayrıca, RDI ve aSPI indislerinde 2006 yılı kuraklıklarının etkisi önemli ölçüde yüksek bulunmaktadır (Şekil 40). 12 aylık uzun süreli kuralıklarda SPI-12 -4,12 ile 3,68, SPEI-12 -2,91 ile 2,86, RDI-12 -3,43 ile 5,89, aSPI-12 ise -3,61 ile 4,38 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. Sinop İstasyonu, 2007 yılı Mart ayında SPI-12 aylık değerlerinde aşırı kuraklık yaşanırken, aynı dönemde RDI-12 ve aSPI-12 aylık değerlerinde de benzer kuraklık koşulları görülmektedir. Zonguldak İstasyonu ise 1994 yılı Haziran ayında SPEI-12 aylık değerlerinde şiddetli kuraklıklar yaşamıştır.

5.1.19. Yeşilırmak Havzası

Yeşilırmak Havzası, Karadeniz kıyı kesimine uzanan açık bir havza olarak karakterize edilmektedir. Batıda Kızılırmak Havzası, güneyde ise Dicle-Fırat havzalarıyla sınır oluşturan bu havza, kuzeyde Doğu Karadeniz ve doğuda Çoruh Havzası ile kesişmektedir. Topografik olarak, Yeşilırmak Nehri doğudaki Köse Dağları'ndan doğarak batıya doğru akar ve Tokat ile Turhal ovalarından geçtikten sonra Amasya ovasında kuzeye yönelir. Nehir, Canik Dağları'nı aşarak Topuzlu ve Eğrikiraz Dağları arasından Çarşamba Ovası'na ulaşır. Havzanın topografik özellikleri, bölgedeki iklim üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kıyı kesimlerinde Karadeniz iklimi hâkimken, yazlar sıcak, kışlar ise ılıman ve yağışlıdır. Ancak iç kesimlere doğru gidildikçe, yüksek dağların etkisiyle kışlar daha soğuk ve yağışlı, yazlar ise serin geçmektedir (Hezarani, 2018). Dağların kıyıya paralel uzanması, nemli hava kütlelerinin iç kesimlere girmesini engelleyerek kıyı ile iç kesimler arasındaki iklimsel farklılıkları artırmaktadır. Havzanın doğusunda yer alan Suşehri İstasyonunda en düşük yağış değeri 412 mm, kuzeydoğusunda bulunan Şebinkarahisar İstasyonunda ise en yüksek yağış değeri 555 mm olarak ölçülmüştür. Havzada toplamda 7 meteoroloji istasyonu

bulunmaktadır. Bu istasyonlar, doğuda Şebinkarahisar ve Suşehri, batıda Merzifon ve Çorum, güneyde ise Amasya, Zile ve Tokat'ta yer almaktadır. Bu istasyonlardan elde edilen SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri aracılığıyla havzadaki kuraklıkların mekânsal ve zamansal değişimi belirlenmiştir. İndis türlerine ve dönemlerine göre kuraklığın şiddeti ile yaşandığı aylar farklılık göstermektedir.

Yeşilırmak Havzası'nda, çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında özellikle 2017 yılı Şubat ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde kurak koşullar etkiliyken, SPEI indisinde 2008 yılına ait aşırı kurak koşullar öne çıkmaktadır (Şekil 26). Ayrıca, SPEI indisinde Mart ve Nisan aylarında 2008 yılına ait kuraklıklar, RDI ve aSPI indislerinde ise 2018 yılı Nisan ayında belirgin kuraklık koşulları tespit edilmiştir (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemde ise genel olarak normal kurak koşullar hâkim olurken, 2016 yılı Mayıs ayında RDI ve aSPI indislerinde nemli koşullar ön plandadır (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasında ise havzada, özellikle SPI, RDI ve aSPI indislerinde 1994 yılı Eylül ayında şiddetli kuraklıklar etkili olmuştur (Şekil 28). Ayrıca, SPI ve RDI indislerinde 2020 yılına ait kuraklıklar Ekim ayında, 2010 yılı kuraklıkları ise SPI, RDI ve aSPI indislerinde Kasım ayında belirlenmiştir (Şekil 28). 1 aylık indis değerlendirmelerde SPI-1 aylıklar -4,10 ile 2,72, SPEI-1 aylıklarda -3,10 ile 2,50, RDI-1 aylıklarda -4,03 ile 2,83, aSPI-1 aylıklarda -4,04 ile 2,71 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-1 aylık verilere göre en yüksek kuraklık değerleri 2020 yılı Ekim ayında havzanın iç kesiminde güneyde yer alan Tokat İstasyonundadır. SPEI-1 aylık verilere göre, en yüksek kuraklık değeri havzanın doğusunda Suşehri İstasyonunda 2010 yılı Aralık ayında etkili olmuştur. RDI-1 aylık verilere göre ise aşırı kurak değer havzanın batısında bulunan Merzifon İstasyonunda 2018 yılı Nisan ayında belirlenmiştir. 2010 yılı kış mevsimi sıcaklıkları mevsim normalleri üzerinde seyretmiştir (MGM, 2011a). Bu durum havzanın doğusunda kuraklık şiddetini etkilemiştir. 2018 yılı Nisan ayı ise Karadeniz ve İç Anadolu Bölgelerinde en düşük yağışın kaydedildiği yıl olmuştur (MGM, 2019ı). Nisan ayındaki düşük yağış havzanın batısında şiddetli kuraklıklar mevcuttur. 2010 yılında kış mevsimi sıcaklıklarının mevsim normalleri üzerindeki etkisi SPEI indisi ile birlikte havzanın özellikle doğusunda tespit edilmiştir.

Yeşilırmak Havzası'nda, çalışma alanının genelinde belirlenen aşırı kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında özellikle SPEI indisinde 2011 yılı Ocak ayı ve 2001 yılı Mart ayında şiddetli kuraklıklar belirlenmiştir (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasında ise,

özellikle SPEI indisinde 2021 yılı Haziran ve Temmuz aylarında aşırı kurak koşullar havzada etkili olmuştur (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasında da aşırı kurak koşullar, özellikle SPEI indisinde 2020 yılı Ekim ve Aralık aylarında görülmüştür (Şekil 31). 3 aylık indislerde SPI-3 -4,31 ile 2,60, SPEI-3 aylıklarda -3,52 ile 2,90, RDI-3 aylıklar -3,83 ile 3,79 ve aSPI-3 aylık değerlerde ise -3,91 ile 2,77 arasında değişmektedir. SPI-3 aylık verilere göre havzanın iç kesiminde güneyde yer alan Tokat İstasyonunda 2020 yılı Ekim ayında aşırı kurak değer hesaplanmıştır. SPEI-3 aylık verilere göre de aşırı kurak koşullar havzanın iç kesiminde güneyde yer alan Tokat istasyonunda 2020 yılı Ekim ayına aittir. RDI-3 ve aSPI-3 aylık verilere göre ise 2011 yılı Ocak ayında havzanın doğusundaki Şebinkarahisar İstasyonunda aşırı kurak koşullar mevcuttur. 2020 yılı Ekim ayında yaşanan en fazla sıcaklık anomalisinin etkisi ve normalin atındaki yağış değerleri havzanın güney kesiminde kuraklık şiddetinde artışa neden olmuştur. 2011 yılında da normallerinin üzerindeki sıcaklıklar ve normallerinin altındaki yağış değerleri etkili olmuştur (MGM, 2012b). Bu durum havzanın doğusunda şiddetli kuraklığı tetiklemiştir.

Yeşilırmak Havzası'nda, çalışma alanının genelinde Ocak ve Nisan ayları arasında kurak yıllar belirlenmiştir. Bu yıllardan Ocak ve Nisan ayları arasında özellikle SPEI indisinde 2021 ve 2014 yıllarına ait aşırı kurak koşullar ön plana çıkmaktadır (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasında ise, havzada SPI indisine göre 2014 yılı Haziran ve Temmuz aylarında kuraklık şiddetinde artış görülmektedir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, 2020 yılı Aralık ayında havzada aşırı kurak koşullar, özellikle SPEI, RDI ve aSPI indislerinde etkili olmuştur (Şekil 34). 6 aylık değerlerde SPI-6 -4,36 ile 2,52, SPEI-6 -2,88 ile 2,73, RDI-6 -4,04 ile 3,83 ve aSPI-6 -3,98 ile 2,84 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-6 aylık verilere göre en yüksek kuraklık değeri 2014 yılı Nisan ayında havzanın doğusundaki Suşehri İstasyonundadır. SPEI-6 aylık verilere göre, aşırı kurak değerler 1994 yılı Eylül ayında havzanın iç kesiminde güneyde yer alan Tokat İstasyonunda etkilidir. RDI-6 ve aSPI-6 aylık verilere göre ise havzanın doğusundaki Suşehri İstasyonunda 2014 yılı Nisan ayında kuraklık şiddeti belirlenmiştir.

Çalışma alanı genelindeki kurak yıllarda, Yeşilırmak Havzası'nda Ocak ve Nisan ayları arasında aşırı kurak koşullar, SPI ve SPEI indislerinde 2014 yılına belirlenmiştir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasında ise, özellikle SPEI indisinde 2021 yılı Mayıs ayında aşırı kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 36). RDI ve aSPI indislerinde ise 2014 yılı

kuraklıklarının etkisi devam etmektedir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde, SPI indisinde 2014 yılı, SPEI indisinde ise 1994 yılına ait kuraklıklar Eylül ayında ön planda olmuştur (Şekil 37). Kurak dönemlerin aksine, SPEI indisinde 2021 yılı Kasım ve Aralık aylarında havzada nemli koşullar belirgindir (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 -3,81 ile 2,74, SPEI-9 -3,03 ile 2,82, RDI-9 -3,58 ile 3,24, aSPI-9 -3,60 ile 3,10 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-9 aylık verilere göre aşırı kurak değer 2014 yılı Ocak ayında havzanın batısındaki Çorum İstasyonuna aittir. SPEI-9 aylık verilere göre ise havzanın batısında bulunan Merzifon İstasyonunda 2021 yılı Mayıs ayında aşırı kurak değerler mevcuttur. RDI-9 ve aSPI-9 aylık verilere göre, en yüksek kuraklık değeri 2013 yılı Aralık ayında havzanın batısındaki Çorum İstasyonundadır.

Yeşilırmak Havzası'nda, Ocak ve Nisan ayları arasındaki dönemde, çalışma alanı ile paralel olarak 2014 yılı kuraklıklarının etkisi görülmektedir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemlerde ise 2014 yılı kuraklıklarının etkisi, havzada özellikle SPEI, RDI ve aSPI indislerinde ön planda olmuştur (Şekil 39). Ocak ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise genel olarak normal kurak koşullar hâkimken, 1994 yılı Eylül ayında SPEI indisinde aşırı kurak koşullar belirlenmiştir (Şekil 40). 12 aylık uzun süreli kuralıklarda SPI-12 -3,89 ile 2,63, SPEI-12 -2,66 ile 2,78, RDI-12 -3,76 ile 3,33, aSPI-12 ise -3,76 ile 2,88 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 aylık verilere göre havzanın doğusunda Suşehri İstasyonunda 2014 yılı Nisan ayında aşırı kurak değerler mevcuttur (Şekil 38). SPEI-12 aylık verilere göre, 2020 yılı Aralık ayında havzanın batısındaki Merzifon İstasyonunda şiddetli kuraklıklar belirlenmiştir. RDI-12 aylık verilere göre ise havzanın batısında bulunan Merzifon İstasyonunda 2021 yılı Şubat ayında aşırı kurak koşullar hakimdir. aSPI-12 aylık verilere göre, havzanın batısında Çorum İstasyonunda 2014 yılı Nisan ayında artan kuraklık şiddeti belirgindir (Şekil 38).

2012 yılında özellikle Kızılırmak Havzası'nın da içerisinde yer aldığı karasal İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinin bazı bölümlerinde etkili olan meteorolojik kuraklıklar yaz kuraklığı ile birleşerek 2013 yılında tüm Türkiye'de etkili olmuştur (Selçuk, vd., 2024; Türkes, 2020). 2013 yılında tüm Türkiye genelinde etkili olan şiddetli kuraklık, 2014 yılında etkisini artırmıştır. 2014 yılındaki şiddetli kuraklık Türkiye üzerinde etkili olan atmosferik koşullardan Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ve Akdeniz hava modellerinin değişimi ile ilişkilidir (Soylu Pekpostalci, vd., 2023). Batı Avrupa üzerinde etkili olan Azor

Yüksek Basıncı'nın Türkiye'ye doğru genişlemesi, yağışlı hava kütlelerinin geçişini engellemiştir (Türkes, 2020; Soylu Pekpostalci, vd., 2023). Aynı zamanda 2014 yılında Sibirya Yüksek Basıncı Türkiye'nin doğusuna kadar etkili olarak soğuk ve kuru havanın geniş alanlara hâkim olmasına neden olmuştur (Türkes, 2020; Soylu Pekpostalci, vd., 2023). Bu dönemde özellikle kış yağışlarının azalması ve kar yağışlarının yetersizliği, Doğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgelerinde 2012 yılında başlayan kuraklığın etkisinin 2014 yılında daha da şiddetlenmesine sebep olmuştur. Bu değişim havzada uzun dönemli indislerde şiddetli kuraklıklar etkili olmuştur.

5.1.20. Doğu Karadeniz Havzası

Doğu Karadeniz Havzası, çalışma alanının kuzey kesiminde Karadeniz kıyısında yer almaktadır. Havza, batıdan ve güneyden Yeşilırmak Havzası ile Çoruh Havzası ile kesişmektedir. Jeomorfolojik açıdan, dağlar kıyı çizgisine paralel olarak uzanmakta olup, bu uzanış doğrultusu kıyı kesimindeki nemli havanın iç kesimlere geçişini engellemektedir. Bu durum, kıyı ve iç kesimler arasında önemli iklimsel farklılıkların oluşmasına neden olmaktadır (Partal ve Yavuz, 2020). İç kesimlerde karasal iklimin etkisiyle yazlar sıcak, kışlar ise soğuk ve kar yağışlıdır. Yağış rejimi, düzenli olup, Karadeniz üzerinden gelen nemli hava kütlelerinin dağlara çarparak yükselmesiyle orografik yağışlar oluşmaktadır. Bu sebeple, yaz aylarında serin, kış aylarında ise kıyı kesiminde ılık, yüksek kesimlerde ise karlı ve soğuk bir iklim hakimdir (Şensoy, 2008). Havza genelinde 7 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Kıyı kesimindeki istasyonlar, batıdan doğuya doğru sırasıyla Ünye, Ordu, Giresun, Rize, Rize/Pazar ve Hopa İstasyonları ile güneyde iç kesimde yer alan Gümüşhane İstasyonundan oluşmaktadır. Bu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak havzadaki kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi belirlenmiştir. Havza içinde, kuraklık şiddeti ve yaşandığı aylar, kullanılan indisler ve dönemlere göre farklılık göstermektedir.

Doğu Karadeniz Havzası'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında 2017 yılı Şubat ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak koşullar etkilidir (Şekil 26). SPEI indisinde ise 2008 yılına ait kuraklıklar, Şubat, Mart ve Nisan aylarında havzaya etkisini göstermiştir. Ayrıca, RDI ve aSPI indislerinde 2018 yılı Nisan ayındaki kuraklıklar belirgindir (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasında genel

olarak normal kurak koşullar hakimken, RDI ve aSPI indislerinde 2016 yılı Mayıs ayında nemli koşullar ön plana çıkmaktadır (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise SPI, RDI ve aSPI indislerinde 1994 yılı Eylül ayında aşırı kurak koşullar belirgindir (Şekil 28). 2020 yılına ait kuraklıklar, Ekim ayında SPI ve RDI indislerinde etkili olmuştur (Şekil 28). Ayrıca, 2010 yılı Kasım ayındaki kuraklıklar da SPI, RDI ve aSPI indislerinde kendini göstermektedir (Şekil 28). 1 aylık indislerde SPI-1 aylık değerler -6,10 ile 3,56, SPEI-1 aylıklar -2,85 ile 2,62, RDI-1 aylıklar -4,62 ile 5,55, aSPI-1 aylıklar -4,70 ile 3,92 arasında değişmektedir. SPI-1 aylık verilere göre en yüksek kuraklık değeri -6,10, 2013 yılı Ekim ayında kıyı kesimdeki Rize/Pazar İstasyonundadır. SPEI-1 aylık indislerde ise 2000 yılı Temmuz ayında havzanın kıyı kesiminde bulunan Giresun İstasyonunda yüksek kuraklık değeri ön plandadır. RDI-1 ve aSPI-1 aylık verilere göre, 2013 yılı Ekim ayında Rize/Pazar İstasyonunda en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. 2013 yılı sonbahar mevsiminde yağış değerlerinde normale göre %10 oranında azalma mevcuttur (MGM, 2014d). Bu havzanın kıyı kesiminde şiddetli kuraklıklara neden olmuştur. 2000 yılında yaz mevsiminde etkili olan sıcak hava dalgası ve artan deniz suyu sıcaklıkları buharlaşma şiddeti artmıştır (Demirtaş, 2017a). SPEI-1 aylıklarda bu durum 2000 yılında artan kuraklık şiddetinde etkili olmuştur.

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, Doğu Karadeniz Havzası'nda Ocak ve Nisan ayları arasında aşırı kurak koşullar, özellikle 2011 yılı Ocak ayında SPEI indisindedir (Şekil 29). SPI indisinde ise 2014 yılı Mart ayında havzada aşırı kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasında 2021 yılına ait kuraklıklar, SPEI indisinde Haziran ve Temmuz aylarında belirlenmiştir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, özellikle SPEI indisinde 2020 yılı kuraklıkları Ekim ve Aralık aylarında belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır (Şekil 31). 3 aylık mevsimsel değerlendirmelerde SPI-3 -4,73 ile 3,40, SPEI-3 -2,86 ile 2,72, RDI-3 -3,96 ile 3,83, aSPI-3 -3,94 ile 3,70 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 aylık verilere göre havzanın doğusundaki Hopa İstasyonunda 2014 yılı Mart ayında en yüksek kuraklık değeri hesaplanmıştır. SPEI-3 aylık indislerde ise 2005 yılı Ağustos ayında havzanın batı kesiminde kıyıdaki Ünye istasyonunda aşırı kurak değerler mevcuttur. RDI-3 ve aSPI-3 aylık verilere göre, en yüksek kuraklık değeri Rize/Pazar İstasyonunda 2011 yılı Mart ayında belirlenmiştir. 2011 yılı Mart ayında yağışlardaki %8,1 oranındaki azalama belirlenmiştir (MGM, 2012b). Bu durum havzada kuraklık şiddetini arttırırken, 2005 yılı yazında olduğu gibi, havzanın batısında etkili kuraklıkların yaşanabildiği tespit edilmiştir.

Doğu Karadeniz Havzası'nda, çalışma alanındaki kurak yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında SPI indisinde 2021 yılı ve 2014 yılı kuraklıkları etkili olmuştur (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise havzada SPI indisinde 2014 yılı kuraklıkları özellikle Haziran ve Temmuz aylarında belirgindir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, SPEI indisinde 2021 yılı Eylül ayı kuraklıklarının etkisi görülürken, 2020 yılı kuraklıkları Aralık ayında SPEI, RDI ve aSPI indislerinde ön planda olmuştur (Şekil 34). 6 aylık kuraklık değerlerinde SPI-6 -5,99 ile 3,14, SPEI-6 -2,59 ile 2,78, RDI-6 -3,71 ile 4,27, aSPI-6 aylıklar -3,76 ile 3,31 arasında değişen kuraklık değerlerine sahiptirler. SPI-6 aylık verilere göre en yüksek kuraklık değeri 2008 yılı Aralık ayında Hopa İstasyonundadır. SPEI-6 aylık indislerde ise aşırı kurak değer 2013 yılı Temmuz ayında Giresun İstasyonunda belirlenmiştir. RDI-6 aylık verilere göre, Rize İstasyonunda 2022 yılı Mart ayında kuraklık değeri belirlenmiştir. Ayrıca, aSPI-6 aylık verilere göre, 2013 yılı Ekim ayında Gümüşhane İstasyonunda aşırı kurak değer görülmektedir.

Doğu Karadeniz Havzası'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında SPI ve SPEI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi belirgindir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise SPEI indisinde 2021 yılı Mayıs ayında aşırı kurak koşullar ön plana çıkarken, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıkları havzada etkili olmuştur (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, SPEI indisinde 1994 yılı Eylül ayında aşırı kurak koşullar, SPI indisinde ise 2014 yılı kuraklıkları etkili olmuştur (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 -4,98 ile 2,78, SPEI-9 -2,41 ile 2,78, RDI-9 -3,53 ile 3,84, aSPI-9 -3,73 ile 3,11 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-9 aylık verilere göre 2012 yılı Aralık ayında Hopa İstasyonunda en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-9 aylık indislerde ise 2014 yılı Mayıs ayında Hopa İstasyonunda yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. RDI-9 aylık verilere göre, en yüksek kuraklık değeri Gümüşhane İstasyonunda 2014 yılı Mayıs ayındadır. Ayrıca, aSPI-9 aylık verilere göre, 2013 yılı Aralık ayında Gümüşhane İstasyonunda yüksek kuraklık değerleri tespit edilmiştir. 2012 yılından itibaren etkili olmaya başlayan kuraklıklar uzun dönemli indislerde SPEI indisinde Mayıs ayında artan buharlaşma ile etkisini göstermiştir.

Çalışma alanının genelinde, Ocak ve Nisan ayları arasında belirlenen kurak yıllar, 2014 yılında havzada da etkili olmuştur (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki aşırı

kurak koşullar, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisini belirgin bir şekilde göstermektedir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasında ise, SPI indisinde 2012 ve 2013 yıllarında, havzanın doğusunda kuraklık şiddetinde belirgin bir artış görülmektedir (Şekil 40). 12 aylık indisler SPI-12 -5,40 ile 3,10, SPEI-12 -2,50 ile 2,94, RDI-12 -3,86 ile 4,34 ve aSPI-12 -4,11 ile 3,48 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 aylık verilere göre en yüksek kuraklık değeri 2013 yılı Şubat ayında Hopa istasyonundadır. SPEI-12 aylık indislerde ise Hopa İstasyonunda 2014 yılı Temmuz ayında artan kuraklık şiddeti belirlenmiştir. RDI-12 ve aSPI-12 aylık verilere göre, 2014 yılı Mayıs ayında Gümüşhane İstasyonunda şiddetli kuraklık koşulları etkilidir. 2013 yılı sıcaklıkları Türkiye'de geniş alanlarda mevsim normallerinin üzerinde iken aynı zamanda yağışlardaki %13 oranında azalma belirlenmiştir (MGM, 2014d). Genel olarak 2013 yılı sıcaklıklarının yüksek olması ve özellikle havzanın doğusundaki yağışlarda görülen azalma uzun dönemli kuraklık şiddetini arttırmıştır. Havzanın doğusunda aynı zamanda yaz kuraklıklarının 2014 yılında etkinliğini de arttırdığı görülmektedir. 2014 yılı %6 oranında azalan yağış değerlerine bağlı şiddetli kuraklıklar etkili olmuştur (Erlat ve Güler, 2023c). Bu durum havzada karasal iklim özelliklerinin etkisi ile havzanın güneyinde 2014 yılında şiddetli kuraklığa neden olmuştur.

5.1.21. Fırat-Dicle Havzası

Çalışma alanı, doğu ve güneydoğu kesimlerini kapsayan geniş bir havza olarak yapılandırılmıştır. Bu nedenle, havza alt havzalara ayrılmıştır. Bu alt havzalar, kuzeyde Yukarı Fırat Alt Havzası, doğuda Orta Fırat Alt Havzası, güneyde ise Aşağı Fırat Alt Havzası, Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası ve Zap-Şemdinli havzaları şeklinde değerlendirilmiştir. Her bir havzanın meteorolojik istasyonlarına ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak, bu havzalardaki kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi belirlenmiştir. İndis türleri ve dönemlerine göre kuraklık şiddeti ve yaşandığı aylar, her bir alt havzada farklılık göstermektedir. Yukarı Fırat Alt Havzası, Orta Fırat Alt Havzası ve Zap-Şemdinli havzaları, bölgedeki engebeli alanların en yoğun olduğu yerlerdir. Bu havzalarda, doğu-batı doğrultusunda uzanan dağlık alanlar arasında yer alan ovalarda yerleşim yerleri bulunmaktadır. Bölgenin kısa mesafelerde değişen topografik koşulları, iklim özelliklerini de önemli ölçüde etkilemektedir. Bu alanda etkili olan karasal iklim ve engebeli topografya, kış mevsiminde yoğun kar yağışları ve kısa süreli yazlarla karakterizedir (Alivi vd., 2021). Havzanın güney kesiminde, özellikle Aşağı Fırat Alt

Havzası ve Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası'nda topoğrafya hızla değişmekte, 300 m seviyelerine kadar inen yüksekliklerde düz ve ovalık alanlar hâkim olmaktadır. Bu bölgenin güney kısmında, yarı kurak iklim koşulları belirgindir; yağışlar nispeten düşük, hava sıcaklığı ise yüksek olup, buna bağlı olarak buharlaşma da yüksektir (Alivi vd., 2021).

Yukarı Fırat Alt Havzası: Çalışma alanı, doğu kesiminde yer almakta olup, kuzeyde Yeşilırmak ve Çoruh havzaları, batıda Kızılırmak Havzası, doğuda ise Aras ve Orta Fırat havzaları ile sınırlandırılmaktadır. Havzanın genelinde, toplamda 14 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlar, kuzeyde Kangal, Divriği ve Erzincan; güneyde Doğanşehir, Malatya, Elazığ ve Palu; havzanın orta kesiminde Arapgir, Çemişgezek ve Tunceli; doğuda ise Tercan, Erzurum ve Solhan bölgelerinde yer almaktadır. Bu istasyonlar, havzadaki iklimsel değişimlerin izlenmesine ve kuraklık ile diğer iklimsel parametrelerin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Çalışma alanında belirlenen kurak yıllarda, Yukarı Fırat Alt Havzası'nda Ocak ve Nisan ayları arasında 2017 yılı Şubat ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde kuraklıkların etkisi görülmektedir (Şekil 26). SPEI indisinde ise 2008 yılına ait kuraklıklar, Şubat, Mart ve Nisan aylarında havzada etkili olmuştur (Şekil 26). RDI ve aSPI indislerinde, 2018 yılı Nisan ayında ise kuraklık koşulları belirgin bir şekilde hissedilmiştir (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasında, havzada genel olarak normal kurak koşulların hâkim olduğu tespit edilmiştir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasında ise SPEI indisinde 2017 yılı Eylül ayında kuraklık etkisi belirgindir (Şekil 28). 2020 yılına ait kuraklıklar, özellikle SPI ve RDI indislerinde ön plana çıkarken, 2010 yılı kuraklıkları ise RDI ve aSPI indislerinde belirlenmiştir (Şekil 28). 1 aylıklarda SPI-1 -4,98 ile 3,68, SPEI-1 -3,52 ile 2,70, RDI-1 -4,05 ile 5,33, aSPI-1 -4,15 ile 4,54 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. Havzanın doğusunda bulunan SPI-1 aylıklarda Solhan İstasyonunda 2013 yılı Ocak ayında en yüksek kuraklık değeri tespit edilmiştir. Havzanın güneyindeki Doğanşehir İstasyonunda SPE-1 aylık indislerde 1991 yılı Haziran ayında kuraklık şiddetinin en yüksek seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Havzanın kuzeyindeki Kangal İstasyonunda ise RDI-1 ve aSPI-1 indislerinde 2018 yılı Nisan ayında aşırı kuraklık etkisi görülmektedir. Şiddetli kuraklıkların belirlendiği istasyonlar genel olarak havzada engebeli alanlarda yer almaktadırlar. 2013 yılı kış mevsimindeki şiddetli kuraklık 2012 yılında etkili olmaya başlayan şiddetli kuraklık ile

ilişkilidir. 2018 yılı özellikle ilkbahar mevsiminde en yüksek sıcaklıkların görüldüğü yıl olup Yukarı Fırat Alt Havzası'nda da ilkbahar mevsiminde etkisi belirgindir.

Ocak ve Nisan ayları arasında, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda SPI ve SPEI indislerinde havzada kuraklık şiddetinde artış mevcuttur (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda ise, özellikle SPEI indisinde 2021 yılına ait kuraklıklar Haziran ve Temmuz aylarında havzada etkili olmuştur (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, SPEI indisinde 2020 yılına ait kuraklıklar Ekim ve Aralık aylarında aşırı kurak koşullar olarak belirlenmiştir (Şekil 31). 3 aylık mevsimsel kuraklık değerlendirmelerinde SPI-3 -4,92 ile 4,06, SPEI-3 -3,05 ile 2,66, RDI-3 -5,06 ile 6,03, aSPI-3 -5,36 ile 5,06 arsında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 aylık verilerde havzanın güneyindeki Bingöl İstasyonunda 2014 yılı Mart ayında en yüksek kuraklık değeri tespit edilmiştir. SPEI-3 aylık analizlerde havzanın orta kesimindeki Arapgir İstasyonunda 2021 yılı Haziran ayında aşırı kurak koşulların hakim olduğu belirlenmiştir (Şekil 30). RDI-3 aylıklara göre, havzanın kuzeyinde Kangal İstasyonunda 2013 yılı Şubat ayında aşırı kuraklık değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, aSPI-3 aylık verilere göre 2013 yılı Şubat ayında havzanın orta kesiminde Arapgir İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları etkilidir (Şekil 29). 2013 ile 2014 yılı havzada Türkiye genelinde görülen şiddetli kuraklıkların etkili olduğu görülmektedir. 2021 yılı yaz kuraklığı SPEI indisinde yağışların normalin altında ve Mayıs ayından itibaren yükselen sıcaklıkların etkisi ile kuraklık şiddetinde artış belirgindir (Taşkın vd., 2022; Güler ve Erlat, 2023).

Yukarı Fırat Alt Havzası'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında SPEI indisinde 2014 yılına ait aşırı kurak koşullar belirlenmiştir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda ise, havzada SPI indisinde 2014 yılına ait kuraklıklar Haziran ve Temmuz aylarında da etkili olmuştur (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasında ise, havzadaki aşırı kurak koşullar 2021 yılı Eylül ayında SPI ve SPEI indislerinde belirgindir (Şekil 34). 2020 yılı kuraklıkları ise, Aralık ayında SPEI, RDI ve aSPI indislerinde etkili olmuştur (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 -5,39 ile 4,36, SPEI-6 -2,67 ile 2,70, RDI-6 -4,22 ile 6,23, aSPI-6 -4,28 ile 4,66 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-6 aylık verilere göre havzanın güneyindeki Bingöl İstasyonunda 2014 yılı Haziran ayında şiddetli kuraklık koşulları etkilidir. SPEI-6 aylık indislerde, havzanın orta kesiminde Arapgir İstasyonunda 2021 yılı Eylül ayında en yüksek kuraklık değeri

belirlenmiştir (Şekil 34). RDI-6 ve aSPI-6 aylık verilere göre ise havzanın güneyinde Bingöl İstasyonunda 2014 yılı Şubat ayında şiddetli kuraklık koşulları tespit edilmiştir. Havzada 6 aylık analizlerde yaz ve kış kuraklıklarının etkili olduğu görülmektedir. Kış ve yaz mevsimindeki kuraklıklarda 2014 yılındaki şiddetli kuraklıkların etkisi görülürken, 2021 yılında yazın etkili olan yüksek sıcaklıklar sonbahar kuraklığını etkilemiştir.

Çalışma alanı genelindeki Ocak ve Nisan ayları arasında belirlenen kurak yıllarda, havzada 2014 yılına ait kuraklıkların etkisi görülmektedir (Şekil 35). Mayıs ve Haziran ayları arasındaki kurak dönemde ise, SPEI indisinde 2021 yılı Mayıs ayında etkili olan aşırı kurak koşullar etkiliyken, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılına ait kuraklıklar etkili olmuştur (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, SPEI indisinde 2021 yılına ait Kasım ve Aralık aylarında aşırı kurak koşullar ön plandadır (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 -5,43 ile 4,01, SPEI-9 -2,55 ile 3,19, RDI-9 -4,27 ile 4,06, aSPI-9 -4,44 ile 4,48 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-9 aylık verilerde havzanın güneyinde Bingöl İstasyonunda 2014 yılı Ağustos ayında aşırı kurak koşulların hakim olduğu tespit edilmiştir. SPEI-9 aylık analizlerde havzanın güneyinde bulunan Malatya İstasyonunda 2021 yılı Aralık ayında yüksek kuraklık değerleri belirlenmiştir. RDI-9 aylık verilere göre 2014 yılı Şubat ayında Bingöl İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları etkilidir. Ayrıca, aSPI-9 aylık verilere göre de Bingöl İstasyonunda 2014 yılı Ağustos ayında aşırı kuraklık koşulları ön plandadır.

Yukarı Fırat Alt Havzası'nda, çalışma alanı genelindeki kurak yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 yılına ait kuraklıkların etkisi görülmektedir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde de 2014 yılı kuraklıklarının etkisi devam etmektedir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, havzada normal kurak koşulların hakim olduğu tespit edilmiştir (Şekil 40). 12 aylıklarda SPI-12 -4,79 ile 3,83, SPEI-12 -2,31 ile 2,66, RDI-12 -4,20 ile 3,70, aSPI-12 -4,34 ile 4,13 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 aylık verilere göre güney kesimdeki Bingöl İstasyonunda 2014 yılı Haziran ayında en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-12 aylık indislerde, 2021 yılı Aralık ayında havzanın güneyinde bulunan Malatya İstasyonunda aşırı kurak koşullar belirgindir. RDI-12 aylık verilere göre, 2014 yılı Haziran ayında Bingöl İstasyonunda şiddetli kuraklık koşulları tespit edilmiştir. Ayrıca, aSPI-12 aylık verilere göre, 2014 yılı Ağustos ayında Bingöl İstasyonunda şiddetli kuraklık koşulları mevcuttur (Şekil 39). 2014 yılı yaz kuraklıkları havzada uzun dönemli şiddetli kuraklıkların etkili olmasına

neden olurken, 2021 yılında normalin altındaki yağış değerleri ve kış mevsimindeki şiddetli don olayları kuraklık şiddetini arttırmıştır (Taşkın, 2022). Kış mevsimindeki don olayları toprak nem dengesinin bozulmasına neden olarak yer altı ve yüzey sularını besleyen kar örtüsünü azaltır. Bu durum da bahar ve yaz aylarında kuraklığın etkisini arttırmaktadır.

Orta Fırat Alt Havzası: Çalışma alanının doğu kesiminde yer almaktadır. Kuzeyden ve doğudan Aras Havzası; batıda Yukarı Fırat Alt Havzası; güneyden ise Van Gölü Havzası ile kesişmektedir. Havzada 3 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Kuzeyde Hınıs, güneyde Muş ve Malazgirt İstasyonları yer almaktadır.

Orta Fırat Alt Havzası'nda, çalışma alanı genelindeki kurak yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında SPI, RDI ve aSPI indislerinde 2017 yılı Şubat ayına ait kuraklık koşulları havzada etkili olmuştur (Şekil 26). SPEI indisinde ise 2008 yılına ait kuraklıklar belirginken, RDI indisinde 2012 yılı kuraklıkları daha ön plana çıkmaktadır (Şekil 2). 2018 yılı kuraklıklarının etkisi ise havzada RDI ve aSPI indislerinde Nisan ayında tespit edilmiştir (Şekil 26). Mayıs ve Haziran ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada genel olarak normal kurak koşulların hakim olduğu belirlenmiştir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, SPEI indisinde 2017 yılı Eylül ayında aşırı kurak koşullar etkili olurken, RDI ve aSPI indislerinde 2010 yılı Kasım ayı kuraklıkları ön plana çıkmaktadır (Şekil 28). 1 aylıklarda SPI-1 -3,87 ile 2,60, SPEI-1 -2,62 ile 2,42, RDI-1 -2,89 ile 3,49, aSPI-1 -2,94 ile 2,59 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-1 aylık verilere göre havzanın güneyindeki Muş İstasyonunda 2015 yılı Haziran ayında en yüksek kuraklık değeri hesaplanmıştır. SPEI-1 aylık indislerde ise Muş İstasyonunda 2000 yılı Temmuz ayında kuraklık şiddetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. RDI-1 aylık verilere göre, 2020 yılı Ekim ayında havzanın güneyinde bulunan Malazgirt İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları görülmektedir. Ayrıca, aSPI-1 aylık verilere göre, 2014 yılı Ocak ayında Muş İstasyonunda aşırı kuraklık değerleri tespit edilmiştir. Havzada 2015 ve 2000 yıllarında yaz mevsiminde etkili olan kuraklıklar ön plandadır. 2015 yılından itibaren meydana gelen ısınma eğilimi ve 2000 yılında yaşanan sıcak hava dalgasının etkisi yaz mevsiminde havzanın güneyinde kuraklık şiddetini arttırmıştır (Demirtaş, 2017a; Güler ve Erlat, 2023). 2014 yılının kış mevsiminde görülen düşük yağış miktarları karasal iklimin etkisine bağlı havzanın güneyinde şiddetli kuraklığa neden olmuştur.

Ocak ve Nisan ayları arasında, çalışma alanı genelindeki kurak yıllarda, havzada SPEI indisinde 2011 yılı Ocak ayında aşırı kurak koşullar tespit edilmiştir (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemlerde ise özellikle SPEI indisinde, 2021 yılı Haziran ve Temmuz aylarında aşırı kurak koşulların havzada etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 30). Benzer şekilde, aSPI indisinde de 2022 yılı Temmuz ayında aşırı kurak koşulların etkisi belirgindir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasında ise havzada genel olarak normal kurak koşulların hâkim olduğu tespit edilmiştir (Şekil 31). 3 aylık mevsimsel kuraklık değerlendirmelerinde SPI-3 -5,55 ile 2,15, SPEI-3 -2,54 ile 2,41, RDI-3 -4,65 ile 3,01, aSPI-3 -5,12 ile 2,16 arsında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 aylık verilere göre havzanın güneyindeki Muş İstasyonunda 2014 yılı Ocak ayında en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-3 aylık indislerde, 2000 yılı Eylül ayında güney kesimdeki Malazgirt istasyonunda aşırı kurak koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir. RDI-3 ve aSPI-3 aylık verilere göre ise 2014 yılı Ocak ayında Muş İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları tespit edilmiştir. 3 aylık indislerde de 2000 yılı sıcak hava dalgasının etkisi ve şiddetli su açığı havzanın güneyinde sonbahar mevsiminde etkili olmuştur (Ceylan vd., 2009).

Orta Fırat Alt Havzası'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında RDI ve aSPI indislerinde 2012 yılına ait kurak koşulların belirgin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasında ise 2014 yılı kuraklıkları SPI indisinde öne çıkarken, SPEI indisinde 2008 yılı Ağustos ayında şiddetli kurak koşulların etkili olduğu görülmüştür (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, SPEI indisinde 2021 yılı Eylül ayında aşırı kurak koşullar tespit edilirken, RDI ve aSPI indislerinde 2020 yılı Aralık ayında kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 -5,99 ile 2,14, SPEI-6 -2,36 ile 2,30, RDI-6 -5,10 ile 2,34, aSPI-6 -5,13 ile 2,19 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-6 aylık verilere göre havzanın kuzeyindeki Hınıs İstasyonunda 2012 yılı Aralık ayında en yüksek kuraklık değeri hesaplanmıştır. SPEI-6 aylık indislerde ise Muş istasyonunda 2008 yılı Ağustos ayında en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. RDI-6 aylık verilere göre, kuzey kesimdeki Hınıs İstasyonunda 2012 yılı Aralık ayında şiddetli kuraklık koşulları tespit edilmiştir. Ayrıca, aSPI-6 aylık verilere göre, Hınıs İstasyonunda 2013 yılı Ocak ayında artan kuraklık şiddeti belirgindir. 2012 Aralık ayında yağış değerlerinde normallerine göre %71,4 oranında artış görülmektedir (MGM, 2013c). Ancak havzanın kuzeyinde yağış değerlerinde topografik koşulların etkisi ile kuraklık şiddeti yüksektir. 2008 yılındaki

kuraklık şiddeti yaz mevsiminde azalan yağışlar ve yüksek buharlaşma şiddetinin etkisi ile havzanın güney kesiminde kuraklık şiddeti yüksektir.

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 yılına ait kuraklık etkisinin SPI indisinde Mart ayında, RDI ve aSPI indislerinde ise Nisan ayında belirgin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi görülürken, SPEI indisinde 2021 yılı Mayıs ayındaki kurak koşulların havzada etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kuraklık analizine göre, SPI indisinde 2012 yılı Kasım ayında, SPEI indisinde ise 2021 yılı Kasım ve Aralık aylarında aşırı kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 -4,98 ile 2,05, SPEI-9 -2,19 ile 2,10, RDI-9 -5,45 ile 2,27, aSPI-9 -5,51 ile 2,19 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-9 aylık verilere göre Hınıs İstasyonunda 2012 yılı Aralık ayında aşırı kurak koşullar hakimdir. SPEI-9 aylık indislerde ise Malazgirt İstasyonunda 2008 yılı Ağustos ayında yüksek kuraklık değerleri belirlenmiştir. RDI-9 ve aSPI-9 aylık verilere göre, 2013 yılı Mart ayında Hınıs İstasyonunda aşırı kurak koşullar mevcuttur. 2013 yılında artan kuraklık şiddeti havzanın kuzeyinde etkili olmuştur. Mart ayında yağışların normale göre %11 oranında azalması kuraklık şiddetini arttırmıştır. 2008 yılı yaz mevsiminde mevsim normalleri üzerindeki sıcaklıklar ve yağışlardaki azalma etkili olmuştur (MGM, 2009). 2008 yılında mevsim normalleri üzerindeki sıcaklıklar ve azalan yağışların etkisi ile yaz kuraklığına bağlı kuraklık şiddetinde artış görülür. 2013 yılı Mart ayında yağış değerlerinde normallere göre %11 oranındaki azalma mevcuttur (MGM, 2014d). Bu durum havzanın kuzeyinde şiddetli kuraklığı tetiklemiştir.

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 yılına ait kuraklık koşulları havzada etkili olmuştur (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki aşırı kurak dönemde, SPEI, RDI ve aSPI indisleri incelendiğinde 2014 yılı kuraklıklarının etkili olduğu görülmektedir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönemde ise havzada genel olarak normal kurak koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 40). 12 aylıklarda SPI-12 -5,40 ile 2,12, SPEI-12 -2,10 ile 2,18, RDI-12 -5,01 ile 2,45, aSPI-12 -5,20 ile 2,36 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 aylık verilere göre Hınıs İstasyonunda 2013 yılı Şubat ayında en yüksek kuraklık değeri hesaplanmıştır. SPEI-12 aylık indislerde, 2014 yılı Mayıs ayında Muş İstasyonunda

aşırı kurak koşullar belirgindir (Şekil 39). RDI-12 aylık verilere göre, 2013 yılı Mart ayında Hınıs İstasyonunda aşırı kurak koşullar tespit edilmiştir. Ayrıca, aSPI-12 aylık verilere göre, 2013 yılı Mart ayında Hınıs İstasyonunda şiddetli kuraklık koşulları mevcut olmuştur. Uzun dönemli kuraklıklarda da Mart ayında azalan yağışların etkisi ile havzanın kuzeyinde etkili olan kuraklıklar mevcuttur.

Aşağı Fırat Alt Havzası: Çalışma alanının güneydoğu kesiminde yer almaktadır. Kuzeyden Yukarı Fırat Alt Havzası, ve batıdan Asi Havzası; doğuda Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası ile kesişmektedir. Havzada 8 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Kuzeyde Adıyaman, Çermik Siverek, güneyde Gaziantep, Birecik, Şanlıurfa, Akçakale ve Ceylanpınar İstasyonları yer almaktadır.

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar kapsamında, Aşağı Fırat Alt Havzası'nda Ocak ve Nisan ayları arasında SPI, RDI ve aSPI indislerine göre 2017 yılı Şubat ayı kuraklıklarının etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 26). 2008 yılı kuraklıklarının ise havzada SPEI indisinde Mart ve Nisan aylarında etkili olduğu, RDI ve aSPI indislerinde ise aşırı kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasında belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, 2019 yılı SPEI indisinde artan kuraklık şiddeti dışında, diğer dönemlerde havzada genel olarak normal kurak koşulların hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kuraklık koşulları değerlendirildiğinde ise 2010 yılı kuraklıklarının RDI ve aSPI indislerinde havzada belirgin şekilde etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 28). 1 aylıklarda SPI-1 -4,27 ile 2,75, SPEI-1 -2,99 ile 2,74, RDI-1 -3,76 ile 3,76, aSPI-1 -3,91 ile 3,34 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. 2017 yılı Şubat ayında, havzanın batısında bulunan Gaziantep İstasyonunda SPI-1 aylık analizine göre en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-1 aylık analiz sonuçlarına göre ise 2021 yılı Mayıs ayında havzanın güneyindeki Ceylanpınar İstasyonunda kuraklık şiddetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, RDI-1 ve aSPI-1 aylık değerleri incelendiğinde, 2017 yılı Şubat ayında Gaziantep İstasyonunda aşırı kuraklık koşullarının mevcut olduğu tespit edilmiştir. 2017 yılı Şubat ayında havzanın yer aldığı bölgede sıcaklık değerleri normallerinin altında iken yağış değerleri de normal değerlerin altına düşmüştür (MGM, 2017g). 2017 yılında özellikle Şubat yağışlarının normallerinin çok altında seyretmesi 1 aylık indislerde havzanın batı kesiminde SPI, RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak değerlere neden olmuştur. 2021 yılı Mayıs ayında ise sıcaklıklar yapılan çalışmalara

göre 3,05 °C pozitif anomali ile 73 yılın en sıcak ayı olduğunu göstermiştir (Güler ve Erlat, 2023). Bu duruma bağlı olarak havzanın güney kesiminde Suriye sınırında bulunan Ceylanpınar İstasyonunda artan sıcaklık-buharlaşma ilişkisine bağlı aşırı kurak koşullar etkili olmuştur.

Ocak ve Nisan ayları arasındaki kurak yıllar incelendiğinde, havzada SPEI indisinde 2018 yılı Nisan ayında kuraklık şiddetinin etkisi artmıştır (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemde, aşırı kurak koşullar SPEI indisinde 2021 yılı Haziran ve Temmuz aylarında etkili olurken, aSPI indisinde ise Temmuz 2022'de bu koşullar belirgin hale gelmiştir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllar değerlendirildiğinde, 2020 yılı Ekim ayında SPEI indisinde kurak koşulların etkili olduğu, buna karşın 2006 yılı Kasım ayında RDI ve aSPI indislerinde nemli koşulların baskın olduğu belirlenmiştir (Şekil 31). 3 aylık mevsimsel kuraklık değerlendirmelerinde SPI-3 -3,92 ile 3,10, SPEI-3 -3,81 ile 2,61, RDI-3 -3,78 ile 3,25, aSPI-3 -3,76 ile 3,40 arsında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 aylık analizine göre, en yüksek kuraklık değeri 2021 yılı Haziran ayında havzanın güney kesimindeki Şanlıurfa İstasyonundadır. SPEI-3 aylık değerlendirmeler, 2021 yılı Temmuz ayında havzanın güneyindeki Birecik İstasyonunda aşırı kuraklık koşullarının mevcut olduğunu göstermektedir. Ayrıca, RDI-3 ve aSPI-3 aylık analiz sonuçlarına göre, 2020 yılı Ekim ayında havzanın batısında bulunan Gaziantep İstasyonunda aşırı kuraklık koşullarının hâkim olduğu tespit edilmiştir. Havzanın yarı kurak bir iklime sahip olması ve çöl etkisine açık bir alanda yer alması SPI indisinde Haziran azalan yağışların, SPEI indisinde ise artan sıcaklıklar sebebiyle buharlaşmanın etkisindeki şiddetli yaz kuraklıklarını ön plana çıkarmaktadır. 2021 yılı yaz aylarında ekstrem sıcaklık rekorları belirlenmiştir (MGM, 2022k). Bu rekor sıcaklıklar özellikle havzanın güneyindeki 2021 yılındaki aşırı kurak değerleri desteklemektedir. 2020 yılı Eylül ve Ekim ayları ise 1971 yılından sonra en yüksek sıcaklıkların yaşandığı aylardır (MGM, 2021j). En yüksek sıcaklıklara ve bu yılda normallerin %13 altında oluşan yağışların etkisi havzanın batısında aşırı kuraklığa neden olmuştur.

Aşağı Fırat Alt Havzası'nda, çalışma alanı genelinde etkili olan kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında SPEI indisinde 2014 yılı kuraklıklarının Mart ayından Nisan ayına kadar etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde, SPI indisinde 2014 yılı kuraklıklarının Haziran ve Temmuz aylarında

etkisini sürdürdüğü, SPEI indisinde ise 2008 yılı kuraklıklarının Haziran ve Ağustos aylarında belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 33). Ayrıca, SPEI indisinde 2003 yılı, havzada nemli bir dönemi işaret etmektedir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllar değerlendirildiğinde, 2021 yılı kuraklıklarının SPI ve SPEI indislerinde Eylül ayında etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 34). Bunun yanı sıra, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde 2020 yılı Aralık ayı kuraklıklarının havzada belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 -5,07 ile 3,71, SPEI-6 -4,47 ile 2,65, RDI-6 -3,71 ile 3,81, aSPI-6 -3,71 ile 3,73 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-6 aylık analizine göre, en yüksek kuraklık değeri 2021 yılı Eylül ayında havzanın güneyindeki Birecik İstasyonundadır. SPEI-6 aylık indis sonuçları ise 2021 yılı Eylül ayında havzanın güney kesiminde Akçakale İstasyonunda en yüksek kuraklık değerinin tespit edildiğini göstermektedir. Ayrıca, RDI-6 ve aSPI-6 aylık değerlendirmelerine göre, 2021 yılı Ocak ayında Ceylanpınar İstasyonunda şiddetli kuraklık koşulları belirlenmiştir. Havzanın bulunduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde tüm aylarda sıcaklıklar normallerinin üzerindedir (MGM, 2022k). Özellikle 51 yılın en sıcak 10. sonbahar mevsiminin yaşandığı 2021 yılı kuraklıkları havzanın güneyinde SPI ve SPEI indislerinde ön plandadır. 2021 Ocak ayı ise havzanın güneyinde yüksek sıcaklıklara bağlı şiddetli kuraklıkları işaret etmektedir.

Aşağı Fırat Alt Havzası'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında özellikle RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde, SPEI indisinde 2021 yılı Mayıs ayında kurak koşulların etkili olduğu görülmektedir (Şekil 35). Bununla birlikte, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının havzada önemli ölçüde etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 35). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllar değerlendirildiğinde, SPEI indisinde 2021 yılı Kasım ve Aralık aylarında kurak koşulların hakim olduğu tespit edilmiştir (Şekil 36). 9 aylık indislerde SPI-9 -3,57 ile 2,96, SPEI-9 -3,82 ile 2,93, RDI-9 -3,57 ile 3,74, aSPI-9 -3,48 ile 3,65 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-9 aylık analiz sonuçlarına göre, 2010 yılı Eylül ayında Çermik İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları hakimdir. SPEI-9 aylık değerlendirmelerinde, 2021 yılı Aralık ayında Akçakale İstasyonunda yüksek kuraklık değerleri tespit edilmiştir (Şekil 36). RDI-9 analizine göre, 2021 yılı Aralık ayında Siverek İstasyonunda kuraklık koşulları etkili olurken, aSPI-9 aylıklarda 2021 yılı Şubat ayında Akçakale İstasyonunda aşırı kurak koşullar belirlenmiştir (Şekil 36). 2020 yılında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin

normalden %40-80 daha az yağış alması havzanın güney kesiminde RDI ile aSPI indislerinde aşırı kuraklığa neden olmuştur (MGM, 2022k). 2010 yılında merkezi Rusya olmak üzere Türkiye'yi de içine alan sıcak havza dalgası yaza aylarında etkili olurken havzada yüksek sıcaklıkların etkisi Eylül ayında normallerinin altındaki yağışlar ile SPI indisinde havzanın kuzeydoğusunda şiddetli kuraklığa neden olmuştur (MGM, 2012b; Güler ve Erlat, 2023).

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında özellikle 2014 yılı kuraklıklarının, özellikle de Nisan ayında havza genelinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasında ise SPEI, RDI ve aSPI indislerinde aşırı kurak koşulların hakim olduğu belirlenmiştir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde, havzada SPEI indisinde 2008 yılı Aralık ayı kuraklıklarının etkili olduğu görülürken, diğer dönemlerde normal kurak koşulların hakim olduğu saptanmıştır (Şekil 40). 12 aylıklarda SPI-12 -3,26 ile 3,61, SPEI-12 -2,84 ile 2,90, RDI-12 -3,45 ile 4,11, aSPI-12 -3,45 ile 4,05 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 aylık analiz sonuçlarına göre, 2022 yılı Şubat ayında Siverek İstasyonunda en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. SPEI-12 aylık değerlendirmelerinde, 2021 yılı Aralık ayında Akçakale İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları belirgin şekilde tespit edilmiştir. Ayrıca, RDI-12 ve aSPI-12 aylık analizleri, 2022 yılı Şubat ayında Akçakale İstasyonunda şiddetli kuraklık koşullarının mevcut olduğunu göstermektedir. 2021 azalan yağışların ve mevsim normalleri üzerindeki sıcaklıkların etkisi havzanın güney kesiminde SPEI indisinde aşırı kuraklığı göstermektedir. 2022 yılında diğer indislerde de görüldüğü gibi havzanın doğu kesiminde şiddetli kuraklıklar etkili olmuştur. Bu durum 2022 yılı Şubat ayında görülen aşırı kuraklıkların normallerin üzerinde sıcaklıklar ve bu yılda yağışlardaki %40'tan fazla ile ilişkilidir (MGM, 2023l).

Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası: Çalışma alanının güneydoğu kesiminde yer almaktadır. Kuzeyden Yukarı Fırat Alt Havzası ve Orta Fırat Alt Havzası; batıdan Aşağı Fırat Alt Havzası; doğuda Zap-Şemdinli Alt Havzası ile kesişmektedir. Havzada 7 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Kuzeyde Ergani; orta kesimde Diyarbakır, Batman, Siirt; güneyde Mardin, Nusaybin ve Cizre İstasyonları yer almaktadır.

Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında SPI, RDI ve aSPI indislerinde 2017 yılı Şubat ayında aşırı kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 26). SPEI indisinde ise 2008 yılı kuraklıklarının havzada Şubat, Mart ve Nisan aylarında belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 26). Mayıs ve Haziran ayları arasındaki dönemde, genel olarak normal kurak koşullar hâkimken, SPEI indisinde 2019 yılı Ağustos ayında etkili olan kurak koşullar tespit edilmiştir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasında ise havzada RDI ve aSPI indislerinde 2010 yılı Kasım ayında aşırı kurak koşulların etkisi görülmektedir (Şekil 28). 1 aylıklarda SPI-1 -6,08 ile 2,77, SPEI-1 -2,90 ile 2,70, RDI-1 -4,72 ile 3,82, aSPI-1 -4,82 ile 3,81 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-1 aylık verilere göre Siirt İstasyonunda 2010 yılı Ocak ayında en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-1 aylık indislerde ise Mardin İstasyonunda 2019 yılı Ağustos ayında kuraklık şiddetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. RDI-1 ve aSPI-1 aylık verilere göre, 2010 yılı Ocak ayında Siirt İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları etkilidir. 2010 yılı Ocak ayında 2,7 °C mevsim normalleri üzerindeki sıcaklık değerleri ve yağışlardaki %15,5 oranındaki azalma mevcuttur (MGM, 2011a). 2010 yılı Ocak ayında meydana gelen yağış ve sıcaklıklardaki değişim havzanın orta kesiminde şiddetli kuraklıklara neden olmuştur. 2019 yılı Türkiye genelinde en sıcak yıl olarak belirlenmiştir (Güler ve Erlat, 2023). Havzanın güneyinde ise en sıcak yıl olan 2019 yılının etkisi ile yaz kuraklığı ve şiddetli buharlaşma etkili olmuştur

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar incelendiğinde, Ocak ve Nisan ayları arasında havzada aşırı kurak koşulların SPEI indisinde 2011 yılı Ocak ayında etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemlerde ise SPEI indisinde 2021 yılı kuraklıklarının Haziran ve Temmuz aylarında şiddetini artırdığı görülmektedir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde, genel olarak normal kurak koşullar hâkimken, 2006 yılı nemli bir döneme karşılık gelmektedir (Şekil 31). Ayrıca, SPI indisinde Ekim ayında, RDI ve aSPI indislerinde ise Kasım ayında 2006 yılına ait nemli koşullar belirlenmiştir (Şekil 31). 3 aylık mevsimsel kuraklık değerlendirmelerinde SPI-3 -5,38 ile 2,67, SPEI-3 -3,22 ile 2,60, RDI-3 -4,82 ile 3,88, aSPI-3 -4,34 ile 2,78 arsında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 aylık verilere göre Cizre İstasyonunda 2014 yılı Nisan ayında en yüksek kurak koşullar etkili olmuştur. SPEI-3 aylık indislerde ise güney kesimdeki Nusaybin İstasyonunda 2017 yılı Ağustos ayında aşırı kurak koşullar belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. RDI-3 ve aSPI-3 aylık verilere göre, 2014 yılı Nisan ayında

havzanın güneyindeki Cizre İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları hakimdir. 2017 yılının yaz mevsiminde en yüksek sıcaklıkların yaşandığı yıl olmuştur (Erlat, vd., 2021b). 2017 yılındaki yüksek sıcaklıklar havzanın güney kesiminde şiddetli kuraklığı tetiklemiştir. 2014 yılında yağışlar mevsim normallerinin altında gerçekleşmiştir (MGM, 2015e). Bu duruma bağlı havzanın güney kesiminde yağışlar azalmış ve şiddetli kuraklık etkili olmuştur.

Ocak ve Nisan ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada SPEI indisinde 2014 yılı aşırı kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasında, SPI indisinde 2014 yılı kuraklıklarının Haziran ve Temmuz aylarında şiddetinin arttığı görülmektedir (Şekil 33). SPEI indisinde ise 2008 yılı kuraklıklarının Haziran ve Ağustos aylarında etkili olduğu, buna karşın 2003 yılı Temmuz ayının nemli bir döneme karşılık geldiği belirlenmiştir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, 2021 yılı kuraklıklarının SPI ve SPEI indislerinde Eylül ayında etkili olduğu görülmektedir (Şekil 34). Ayrıca, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde 2020 yılı Aralık ayı kuraklıklarının havza genelinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 -5,92 ile 2,82, SPEI-6 -2,63 ile 2,35, RDI-6 -5,39 ile 2,79, aSPI-6 -5,60 ile 2,80 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-6 aylık verilere göre havzanın güneyindeki Cizre İstasyonunda 2014 yılı Temmuz ayında en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-6 aylık indislerde ise havzanın ortasında bulunan Diyarbakır İstasyonunda 2021 yılı Eylül ayında en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. RDI-6 ve aSPI-6 aylık verilere göre, Cizre İstasyonunda 2014 yılı Nisan ayında şiddetli kuraklık koşulları tespit edilmiştir. 2014 yılı bahar ve yaz kuraklıkları havzanın güneyinde 6 aylık indislerde de artan kuraklık şiddetine enden olmuştur. 2021 yılında mevsim normalleri üzerindeki sonbahar sıcaklıkları yaşanmıştır (MGM, 2022k). 2021 yılı sonbahar mevsiminde mevsim normalleri üzerindeki sıcaklıklar artan buharlaşma şiddeti ile havzanın orta kesiminde şiddetli kuraklığa neden olmuştur.

Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 yılı kuraklıklarının etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 35). Mayıs ve Temmuz ayları arasında ise RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının havzada etkili olduğu görülmektedir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, SPEI indisinde 2021 yılı kuraklıklarının Kasım ve Aralık aylarında etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 -6,00 ile 2,96, SPEI-9 -2,43 ile 2,95, RDI-9 -5,66 ile 2,78, aSPI-9 -5,74 ile 2,79 arasında kuraklık değerleri mevcuttur.

SPI-9 aylık verilere göre havzanın güneyindeki Cizre İstasyonunda 2014 yılı Ekim ayında aşırı kurak koşullar hakimdir. SPEI-9 aylık indislerde ise havzanın orta kesimindeki Diyarbakır İstasyonunda 2021 yılı Aralık ayında yüksek kuraklık değerleri belirlenmiştir. RDI-9 ve aSPI-9 aylık verilere göre, 2022 yılı Aralık ayında Diyarbakır İstasyonunda aşırı kurak koşullar etkilidir.

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında 2014 yılı kuraklıklarının havzada etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasında ise RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi görülmektedir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, SPEI indisinde 2008 yılı Aralık ayında kuraklık koşullarının etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 40). 12 aylıklarda SPI-12 -5,20 ile 2,69, SPEI-12 -2,21 ile 3,15, RDI-12 -5,60 ile 2,83, aSPI-12 -5,67 ile 2,89 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 aylık verilere göre havzanın güneyinde bulunan Cizre İstasyonunda 2014 yılı Nisan ayında en yüksek kuraklık değeri hesaplanmıştır. SPEI-12 aylık indislerde ise 2021 yılı Kasım ayında Diyarbakır İstasyonunda aşırı kurak koşullar belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. RDI-12 ve aSPI-12 aylık verilere göre, 2014 yılı Eylül ayında Cizre İstasyonunda şiddetli kuraklık koşulları tespit edilmiştir. 2021 yılında mevsim normalleri altında yağış değerlerinin etkisi ve kış mevsiminde bile etkili olan mevsim normalleri üzerindeki sıcaklıklar kuraklıkların etkisini arttırmıştır (MGM,2022). Bu durum özellikle havzanın orta kesiminde şiddetli kuraklıklara neden olmuştur.

Zap-Şemdinli Havzası: Çalışma alanının güneydoğu kesiminde yer almaktadır. Kuzeyden Van Gölü Havzası; batıdan Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası ile kesişmektedir. Havzada 3 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Kuzeyde Başkale, güneyde Hakkâri ve Yüksekova İstasyonları yer almaktadır.

Zap ve Şemdinli Havzası'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, SPEI indisinde 2008 yılı Şubat, Mart ve Nisan aylarında kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemlerde ise havzada genel olarak normal kurak koşulların hakim olduğu görülmektedir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise RDI ve aSPI indislerinde 2010 yılı kuraklıklarının etkisi belirlenmiştir (Şekil 28). 1 aylıklarda SPI-1 -4,72 ile 3,63, SPEI-1 -2,97 ile 2,62, RDI-1 -

2,62 ile 4,62, aSPI-1 -3,13 ile 4,72 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-1 aylık verilere göre havzanın güneyindeki Hakkari İstasyonunda 2015 yılı Nisan ayında en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-1 aylık indislerde ise Hakkari İstasyonunda 2017 yılı Haziran ayında kuraklık şiddetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. RDI-1 aylık verilere göre, 1992 yılı Ekim ayında Başkale İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları etkilidir. Ayrıca, aSPI-1 aylık verilere göre, 1992 yılı Mart ayında Yüksekova İstasyonunda aşırı kuraklık değerleri tespit edilmiştir. Havzanın güneyinde yaşanan kuraklıklar ilkbahar mevsiminde mevsim normallerinin üzerinde yaşanan sıcaklıklar ve mevsim normalleri altında yağış değerleri kuraklık şiddetinin artmasına neden olmuştur (MGM, 2016f). 2017 yılının en yüksek sıcaklıkların görüldüğü yıl olması SPEI indisinde artan buharlaşma ile yüksek kuraklık şiddetine neden olmuştur.

Ocak ve Nisan ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada SPEI indisinde 2011 yılı kuraklıklarının etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 29). SPI indisinde ise 2012 yılı kurak koşulları Şubat ve Nisan ayları arasında etkisini gösterirken, aSPI indisinde Nisan ayında aşırı kurak koşulların etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda, aşırı kurak koşullar havzada SPEI indisinde 2021 yılı Haziran ve Temmuz aylarında etkisini sürdürmüştür (Şekil 30). Ayrıca, RDI ve aSPI indislerinde de Haziran ve Temmuz aylarında aşırı kuraklık koşulları belirgindir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise SPI indisinde 2022 yılı aşırı kurak koşullarının etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 31). 3 aylık mevsimsel kuraklık değerlendirmelerinde SPI-3 -4,53 ile 4,03, SPEI-3 -2,62 ile 2,62, RDI-3 -4,37 ile 5,15, aSPI-3 -4,50 ile 5,21 arsında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 aylık verilere göre Hakkâri İstasyonunda 2013 yılı Mayıs ayında en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. SPEI-3 aylık indislerde, Hakkâri istasyonu 2021 yılı Haziran ayında aşırı kurak koşullar belirgindir. RDI-3 ve aSPI-3 aylık verilere göre ise Hakkâri İstasyonunda 2012 yılı Mayıs ayında aşırı kuraklık koşulları hakimdir.

Ocak ve Nisan ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada SPI indisinde 2011 yılı kuraklığı Ocak ayında etkili olurken, 2012 yılı kuraklıklarının Şubat ve Mart aylarında belirgin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 32). Aynı dönemde, aSPI indisinde 2012 yılı Nisan ayında kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda ise havzada SPI indisinde 2012 yılı kuraklıklarının etkisi Mayıs ayında belirlenmiştir

(Şekil 33). SPEI indisinde ise 2008 yılı kuraklıklarının Ağustos ayında etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise 2021 yılı kuraklıklarının SPI ve SPEI indislerinde Eylül ayında etkisini gösterdiği saptanmıştır (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 -4,01 ile 4,32, SPEI-6 -2,61 ile 2,52, RDI-6 -3,86 ile 5,09, aSPI-6 -4,08 ile 5,19 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-6 aylık verilere göre Hakkâri İstasyonunda 2012 yılı Mayıs ayında en yüksek kuraklık değeri mevcuttur. SPEI-6 aylık indislerde ise Hakkâri İstasyonunda 2021 yılı Eylül ayında en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir. RDI-6 ve aSPI-6 aylık verilere göre, Hakkâri İstasyonunda 2012 yılı Mayıs ayında şiddetli kuraklık koşulları etkili olmuştur.

Zap-Şemdinli Havzası'nda, Ocak ve Nisan ayları arasındaki kurak yıllarda, 2012 yılı kuraklıklarının etkisi SPI indisinde özellikle Nisan ayında belirlenmiştir (Şekil 35). Aynı dönemde, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde ise 2014 yılı kuraklıklarının Nisan ayında havzada baskın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda, SPEI indisinde 2021 yılı Mayıs ayında aşırı kurak koşulların etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 36). Bununla birlikte, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının havzada etkili olduğu görülmektedir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, SPEI indisinde 2021 yılı kuraklıklarının Kasım ve Aralık aylarında havzada etkili olmuştur (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 -3,65 ile 3,25, SPEI-9 -2,25 ile 2,55, RDI-9 -3,63 ile 3,86, aSPI-9 -3,74 ile 4,04 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-9 aylık verilere göre Hakkâri İstasyonunda 2012 yılı Eylül ayında aşırı kurak koşullar hakimdir. SPEI-9 aylık indislerde ise Yüksekova İstasyonunda 2021 yılı Kasım ayında yüksek kuraklık değerleri belirlenmiştir. RDI-9 ve aSPI-9 aylık verilere göre, 2012 yılı Eylül ayında Hakkâri İstasyonunda aşırı kurak koşullar etkilidir.

Çalışma alanında, Ocak ve Nisan ayları arasındaki kurak yıllarda, 2014 yılı kuraklıklarının havza üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde ise, özellikle RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi belirgindir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasında ise, havzada genel olarak normal kurak koşulların hakim olduğu belirlenmiştir (Şekil 40). 12 aylıklarda SPI-12 -2,79 ile 3,15, SPEI-12 -2,21 ile 2,27, RDI-12 -3,13 ile 3,40, aSPI-12 -3,26 ile 3,70 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-12 aylık verilere göre Hakkâri İstasyonunda 2012 yılı Eylül ayında en yüksek kuraklık değeri bulunmuştur. SPEI-12 aylık

indislerde ise 2012 yılı Nisan ayında Hakkâri İstasyonunda aşırı kurak koşullar ön plandadır. RDI-12 aylık verilere göre, 2012 yılı Mayıs ayında Hakkari İstasyonunda aşırı kuraklık koşulları tespit edilmiştir. Ayrıca, aSPI-12 aylık verilere göre, 2012 yılı Eylül ayında Hakkâri İstasyonunda şiddetli kuraklık koşulları mevcut olmuştur.

Havzanın güney kesiminde 3, 6, 9 ve 12 aylık indislerde ilkbahar ve sonbahar mevsiminde 2012 yılında özellikle karasal İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin bazı bölümlerinde etkili olan meteorolojik kuraklıklar yaz kuraklığı ile birleşerek 2013 yılında tüm Türkiye'de etkili olmuştur (Türkes, 2020; Selçuk, vd., 2024). 2013 yılında tüm Türkiye genelinde etkili olan şiddetli kuraklık, 2014 yılında etkisini artırmıştır. 2014 yılındaki şiddetli kuraklık Türkiye üzerinde etkili olan atmosferik koşullardan Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ve Akdeniz hava modellerinin değişimi ile ilişkilidir (Soylu Pekpostalci, vd., 2023).

5.1.22. Çoruh Havzası

Çoruh Havzası, çalışma alanının kuzeydoğusunda yer almakta olup, kuzeyde Doğu Karadeniz, batıda Yeşilırmak Havzası, güneyde ise Yukarı-Orta Fırat ve Orta Fırat Alt havzaları ile sınırlıdır. Karadeniz Bölgesi'nde yer alan bu havza, kıyı kuşağının gerisinde bulunması nedeniyle denizel etkilerden uzak, iklimsel olarak farklı özellikler göstermektedir. Bu durum, Kuzey Anadolu Dağları ile Doğu Anadolu'nun kıvrımlı dağları arasında yer almasına bağlı olarak, nemli hava kütlelerinin Karadeniz kıyı kuşağından iç bölgelere ilerlerken daha kuru hale gelmesine yol açmaktadır. Dolayısıyla, Karadeniz kıyısının kuzey yamacını geçtikten sonra yıllık yağış miktarlarında önemli bir azalma görülmektedir (Koday ve Erhan, 2010). Çoruh ve Yukarı Kelkit bölgelerinde, yılın en yağışlı dönemi ilkbahar olup, kış mevsimi de etkisi mevcuttur (Koday ve Erhan, 2010). Havzadaki en düşük yıllık yağış değeri 359,4 mm ile Oltu İstasyonunda ölçülürken, en yüksek değer 697,4 mm ile Artvin istasyonunda belirlenmiştir. Çalışmada, Çoruh Havzası'nda yer alan beş meteoroloji istasyonu kullanılmıştır. Bu istasyonlar, havzanın batısında Bayburt ve İspir, doğusunda Artvin, güneyinde ise Tortum ve Oltu İstasyonları olarak belirlenmiştir. Bu istasyonlardan elde edilen SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri aracılığıyla havzada kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi incelenmiştir. Kuraklık şiddeti ve meydana geldiği aylar, kullanılan indisler ve bu indislerin dönemlerine göre farklılık göstermektedir.

Çoruh Havzası'nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda Ocak ve Nisan ayları arasında, 2017 yılına ait kuraklık koşulları özellikle Şubat ayında SPI, RDI ve aSPI indislerinde etkili olmuştur (Şekil 26). Ayrıca, 2008 yılı kuraklıkları, Şubat, Mart ve Nisan ayları arasında aşırı kurak koşullar olarak tespit edilmiştir (Şekil 26). RDI ve aSPI indislerinde, 2018 yılına ait kuraklıklar Nisan ayında etkili olmuştur (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda ise havzada genel olarak normal kurak koşullar hakim olmuştur (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, 2017 yılına ait kuraklık koşulları Eylül ayında özellikle SPEI indisinde belirgin bir şekilde izlenmiştir (Şekil 28). 2020 yılı kuraklıkları ise SPI ve RDI indislerinde Ekim ayında etkili olurken, 2010 yılına ait kuraklıklar Kasım ayında RDI ve aSPI indislerinde belirgin hale gelmiştir (Şekil 28). 1 aylıklarda SPI-1 -4,53 ile 2,85, SPEI-1 -2,99 ile 2,70, RDI-1 -3,90 ile 3,32, aSPI-1 -4,01 ile 2,77 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. Havzanın güneyindeki Oltu İstasyonu, 2015 yılı Haziran ayında SPI-1 aylık değerlerinde en yüksek kuraklık değeri ile dikkat çekmiştir. Havzanın güneyindeki Tortum İstasyonunda 2021 yılı Mayıs ayında SPEI-1 aylık değerlerinde kuraklık şiddetinin arttığı bir dönem yaşamıştır. Oltu İstasyonunda, 2015 yılı Haziran ayında RDI-1 ve aSPI-1 aylık değerlerinde de aşırı kurak koşullar etkilidir. 2015 ve 2021 yılları sıcaklıkların arttığı yıllara karşılık gelmekte olup havzada ilkbahar ve yaz kuraklık şiddetlerinin artmasına neden olmuşlardır.

Çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında havzada SPEI indisi 2011 yılı Ocak ayında aşırı kurak koşulların etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, aSPI indisi üzerinde 2012 yılı kuraklıkları Nisan ayında etkili olmuştur (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda ise havzada, SPEI indisine göre 2021 yılı kuraklıkları Haziran ve Temmuz aylarında etkili olmuştur (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki dönemde ise havzada normal kurak koşulların hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 31). 3 aylık mevsimsel kuraklık değerlendirmelerinde SPI-3 -4,61 ile 2,96, SPEI-3 -2,68 ile 2,72, RDI-3 -4,24 ile 2,86, aSPI-3 -4,34 ile 2,78 arsında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. Havzanın batısındaki İspir İstasyonu, 2013 yılı Aralık ayında SPI-3 aylık değerlerinde en yüksek kuraklık değerine ulaşmıştır. Aynı istasyon, 2021 yılının Şubat ayında SPEI-3 aylık değerlerinde aşırı kurak koşullar göstermektedir. Tortum İstasyonunda havzanın güneyinde ise 2021 yılı Haziran ayında RDI-3 ve aSPI-3 aylık değerlerinde aşırı kurak koşulların hakim olduğu bir dönem yaşanmıştır.

Çoruh Havzası'nda, çalışma alanında belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında SPI indisine göre 2012 yılı kuraklıkları Şubat ve Mart aylarında etkili olmuştur. RDI ve aSPI indislerinde ise 2012 yılı kuraklıkları Şubat ve Nisan aylarında görülmektedir (Şekil 32). SPEI indisi, havzada 2014 yılı kuraklıklarının etkisini göstermektedir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda, SPI indisine göre 2012 yılı kuraklıkları Mayıs ayında etkili olurken, diğer aylarda 2014 yılı kuraklıklarının etkisi belirlenmiştir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasında ise, havzada 2021 yılı kuraklıkları SPI ve SPEI indislerinde Eylül ayında etkili olmuştur (Şekil 34). Ayrıca, 2020 yılı kuraklıkları, havzada SPEI, RDI ve aSPI indislerinde Aralık ayında belirgin bir şekilde görülmüştür (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 -5,32 ile 2,64, SPEI-6 -2,39 ile 2,88, RDI-6 -4,51 ile 3,18, aSPI-6 -4,69 ile 3,02 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Havzanın batısındaki İspir İstasyonu 2013 yılı Nisan ayında SPI-6 aylık değerlerinde en yüksek kuraklık değeri burada belirlenmiştir. Ayrıca, aynı istasyon 2013 yılı Haziran ayında SPEI-6 aylık değerlerinde de en yüksek kuraklık seviyesine ulaşmıştır. İspir İstasyonu, 2013 yılı Nisan ayında RDI-6 aylık değerlerinde şiddetli kuraklık gösterirken, aynı yıl Mayıs ayında aSPI-6 aylık değerlerinde artan kuraklık şiddeti ön plandadır. 2012 yılında etkili olmaya başlayan kuraklıklar havzada 2013 yılında ilkbahar ve yaz kuraklıklarının şiddetlenmesine neden olmuştur.

Çalışma alanında kurak yılların belirlendiği Ocak ve Nisan ayları arasında, havzada özellikle 2012 ve 2014 yılı kuraklıklarının etkisi belirlenmiştir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasında, SPEI indisinde 2021 yılı kuraklıkları Mayıs ayında etkili olmuştur (Şekil 36). RDI ve aSPI indislerinde ise 2014 yılı kuraklıkları havzada şiddetli bir şekilde etkili olmuştur (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, SPI indisinde 2012 yılı kuraklıkları Kasım ayında görülmektedir (Şekil 37). 9 aylık indislerde SPI-9 -4,94 ile 3,02, SPEI-9 -2,46 ile 2,86, RDI-9 -4,59 ile 2,93, aSPI-9 -4,86 ile 3,24 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. Çoruh Havzası'ndaki İspir İstasyonunda 2012 yılı Temmuz ayında SPI-9 aylık değerlerinde aşırı kurak koşullar burada hakim olmuştur. Ayrıca, 2013 yılı Ağustos ayında RDI-9 ve aSPI-9 aylık değerlerinde de aşırı kuraklık koşulları İspir İstasyonunda belirlenmiştir. Oltu İstasyonunda ise 2021 yılı Mayıs ayında SPEI-9 aylık değerlerinde yüksek kuraklık seviyeleri mevcuttur.

Ocak ve Nisan ayları arasında belirlenen kurak yıllarda, havzada 2014 yılı kuraklıklarının etkisi görülmektedir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak dönemlerde ise, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi belirlenmiştir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kuraklık dönemlerinde ise, havzada SPI indisine göre 2012 yılı kuraklık koşulları daha belirgindir (Şekil 40). 12 aylıklarda SPI-12 -4,81 ile 2,67, SPEI-12 -2,42 ile 2,81, RDI-12 -4,89 ile 2,66, aSPI-12 -5,11 ile 2,92 arasında değişen kuraklık değerleri belirlenmiştir. İspir İstasyonunda havzanın batısında 2013 yılı Eylül ayında SPI-12 aylık değerlerinde en yüksek kuraklık değeri bu istasyondadır. Ayrıca, 2013 yılı Aralık ayında SPEI-12 aylık değerlerinde aşırı kurak koşullar İspir İstasyonunda belirgin hale gelmiştir. 2013 yılı Ekim ayında ise RDI-12 ve aSPI-12 aylık değerlerinde şiddetli kuraklık koşulları İspir İstasyonunda tespit edilmiştir.

5.1.23. Aras Havzası

Türkiye ‘nin kuzeydoğusunda yer alan Aras Havzası, kuzeyde Çoruh Havzası, batıda Yukarı Fırat Alt Havzası ve güneyde Orta Fırat Alt Havzaları ile sınırdaş olup, aynı zamanda Ermenistan ile de sınır oluşturmaktadır. Aras Nehri‘nin oluşturduğu bu havza, çevresindeki dağlık alanlarla sınırlı olmasından dolayı kapalı havza özelliği taşımaktadır. Genel olarak havzada yaz mevsiminde sıcak ve kurak koşullar hâkimken, ilkbahar mevsimi yağışlı geçmekte, kış mevsimi ise uzun ve kar yağışlı olmaktadır. Öte yandan, Iğdır ilinin yüksek dağlarla çevrili olması, burada mikro iklim koşullarının oluşmasına yol açmış ve bunun sonucunda sıcaklıkların yüksek, yağış miktarlarının ise düşük olduğu yarı kurak bir iklim ortaya çıkmıştır (Öz ve Özelken, 2023). Havzadaki en düşük ortalama yağış değeri 247,2 mm ile Iğdır İstasyonunda iken, en yüksek yağış değeri ise 569,3 mm ile havzanın kuzey kesimindeki Ardahan İstasyonunda ölçülmüştür. Aras Havzası‘ndaki 7 meteoroloji istasyonu bu çalışmada kullanılmıştır. Bu istasyonlar, kuzeyde Ardahan, Arpaçay ve Kars; güneyde Doğubeyazıt ve Iğdır ile batıda Horasan ve Sarıkamış’tan oluşmaktadır. Bu istasyonlara ait SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak, havzadaki kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi incelenmiştir. Havzada kuraklık şiddeti ve bu şiddetin görüldüğü aylar, kullanılan indisler ve döneme bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Aras Havzası’nda, çalışma alanı genelinde belirlenen kurak yıllar kapsamında Ocak ve Nisan ayları arasında 2017 yılına ait kuraklık koşulları, özellikle Şubat ayında SPI, RDI

ve aSPI indislerinde belirgindir (Şekil 26). Ayrıca, 2008 yılına ait kuraklıklar, Şubat, Mart ve Nisan ayları arasında aşırı kurak koşullar olarak tespit edilmiştir (Şekil 26). RDI ve aSPI indislerinde, 2018 yılı kuraklıkları ise Nisan ayında etkili olmuştur (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada 2016 yılı kuraklıkları, özellikle Mayıs ayında RDI ve aSPI indislerinde görülürken, Temmuz ayında 2015 yılına ait aşırı kurak koşullar tespit edilmiştir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasında ise havzada SPEI indisi ile 2017 yılı kuraklıkları Eylül ayında etkili olmuştur (Şekil 28). SPI ve RDI indislerinde, 2020 yılı kuraklıkları Ekim ayında, RDI ve aSPI indislerinde ise 2010 yılı kuraklıkları Kasım ayında etkili olmuştur (Şekil 28). 1 aylık indislerde SPI-1 aylıklar -4,13 ile 3,11, SPEI-1 -2,66 ile 2,51, RDI-1 -5,44 ile 4,51, aSPI-1 -5,87 ile 3,63 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Havzanın güneyinde yer alan Iğdır İstasyonu, SPI-1 aylık değerlere göre 2021 yılı Haziran ayında en yüksek kuraklık değerine sahiptir. Ardahan İstasyonu, kuzeyde yer almakta olup 2010 yılı Şubat ayında SPEI-1 aylık değerlere göre aşırı kurak koşullarla öne çıkmıştır. Havzanın kuzeyinde, Kars İstasyonu ise 2016 yılı Mayıs ayında RDI-1 ve aSPI-1 aylık değerlere göre artan kuraklık şiddetiyle dikkat çekmiştir. Havzada 1 aylık indislerde ilkbahar ve yaz kuraklıkları dikkat çekerken, sıcak hava dalgasının etkili olduğu 2010 yılında kış mevsiminde kuraklık şiddeti artmıştır.

Ocak ve Nisan ayları arasında belirlenen kurak yıllarda, havzada SPEI indisine göre 2011 yılı Ocak ayında kuraklık koşulları etkili olmuştur (Şekil 29). SPI ve aSPI indislerinde ise 2012 yılına ait aşırı kurak koşulların havzayı etkilediği tespit edilmiştir (Şekil 29). Mayıs ve Haziran ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada 2021 yılı kuraklıklarının Haziran ve Temmuz aylarında şiddetlendiği görülmektedir (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise havzada normal kurak koşulların hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 31). 3 aylık değerlendirmelerde SPI-3 aylıklar -4,97 ile 3,29, SPEI-3 aylıklar -3,50 ile 2,73, RDI-3 aylıklar -6,06 ile 3,92, aSPI-3 aylıklar ise -6,38 ile 3,65 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. Havzanın kuzeyindeki Arpaçay İstasyonu, SPI-3 aylık değerlere göre 2015 yılı Mart ayında en yüksek kuraklık değerine sahiptir. Iğdır İstasyonu ise SPEI-3 aylık değerlere göre 1998 yılı Ekim ayında aşırı kurak koşullarla öne çıkmıştır. Ayrıca, bölgenin kuzeyinde yer alan Kars İstasyonu, RDI-3 ve aSPI-3 aylık değerlere göre 2016 yılı Mayıs ayında en yüksek kuraklık şiddetini yaşamıştır. Mevsimlik kuraklıklarda en düşük yağışa sahip havzanın doğusunda sonbahar mevsiminde aşırı kurak koşullar hakimdir. Havzanın kuzeyinde ise ilkbahar mevsiminde kuraklıklar etkili olmuştur.

Ocak ve Nisan ayları arasında belirlenen kurak yıllarda, havzada SPI indisine göre Şubat ve Mart aylarında 2012 yılına ait aşırı kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 32). aSPI indisinde ise 2012 yılı aşırı kurak koşullarının Nisan ayında havzada belirgindir (Şekil 32). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki dönemde, 2012 yılı aşırı kuraklıkları SPI indisine göre Mayıs ayında havzayı etkilemiştir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda ise, havzada 2021 yılına ait kuraklıklar Eylül ayında SPI ve SPEI indislerinde etkili olmuştur (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 aylıklar -4,45 ile 3,08, SPEI-6 aylıklar -2,71 ile 2,80, RDI-6 aylıklar -4,26 ile 3,39, aSPI-6 aylıklar -4,49 ile 3,27 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. Havzanın kuzeyinde yer alan Kars İstasyonu, SPI-6 ve aSPI-6 aylık değerlere göre 2016 yılı Mayıs ayında aşırı kurak değerlerle dikkat çekmektedir. Havzanın güneyindeki mikroklima özellikleri gösteren Iğdır İstasyonu ise SPEI-6 aylık değerlere göre 1999 yılı Ocak ayında yüksek kuraklık şiddeti yaşamıştır. Ayrıca, kuzeyde bulunan Arpaçay İstasyonu, RDI-6 aylık değerlere göre 2019 yılı Mayıs ayında en yüksek kuraklık değerlerini belirlenmiştir.

Aras Havzası'nda, Ocak ve Nisan ayları arasındaki kurak yıllarda SPI indisinde, 2014 yılına ait kuraklıklar Mart ayında, 2012 yılı kuraklıkları ise Şubat ayında etkili olmuştur (Şekil 35). Havzada belirlenen aşırı kurak koşullar, özellikle 2014 yılına ait Nisan ayında, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde tespit edilmiştir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda ise, havzada RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi belirgin hale gelmiştir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada SPI indisinde 2012 yılı kuraklıkları Kasım ayında etkili olurken, SPEI indisinde ise 2021 yılı kuraklıkları Kasım ve Aralık aylarında belirlenmiştir (Şekil 37). 9 aylıklarda SPI-9 -4,47 ile 2,80, SPEI-9 -2,49 ile 2,50, RDI-9 -4,58 ile 3,14, aSPI-9 -4,40 ile 3,13 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. Arpaçay İstasyonu, SPI-9 ve aSPI-9 aylık değerlere göre 2019 yılı Mayıs ayında -4,47 ile aşırı kurak değerler belirgindir. Havzanın batısındaki Horasan İstasyonu ise SPEI-9 aylık değerlere göre 2021 yılı Ekim ayında yüksek kuraklık değerleriyle dikkat çekmektedir. Ayrıca, RDI-9 aylık değerlere göre de Arpaçay İstasyonu 2019 yılı Mayıs ayında en yüksek kuraklık değerlerini göstermiştir.

Çalışma alanının genelinde belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında havzada 2014 yılına ait kuraklıkların etkisi görülmektedir (Şekil 38). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda ise, 2014 yılı kuraklıklarının etkisi özellikle RDI ve aSPI

indislerinde tespit edilmiştir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasında ise, havzada normal kurak koşullarının hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 40). 12 aylık uzun dönemli kuraklık indislerinde SPI-12 -3,13 ile 2,75, SPEI-12 -2,54 ile 2,43, RDI-12 -3,38 ile 3,03, aSPI-12 -3,47 ile 3,37 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. Arpaçay istasyonu, SPI-12 aylık değerlerde 2019 yılı Ağustos ayında en yüksek kuraklık değerine ulaşmıştır. Batıdaki Horasan İstasyonu ise 2021 yılı Ekim ayında SPEI-12 aylık değerlerinde artan kuraklık şiddetiyle dikkat çekmektedir. Ayrıca, RDI-12 aylık değerlerde 2021 yılı Temmuz ayında Horasan İstasyonunda aşırı kuraklık etkili olmuş, aSPI-12 aylık değerlere göre ise 2018 yılı Ocak ayında Horasan İstasyonunda aşırı kurak değer belirlenmiştir. Havzanın kuzeyinde etkili olan uzun dönemli kuraklıklar yaz aylarında şiddetlenmektedir.

5.1.24. Van Gölü Havzası

Van Gölü Havzası, çalışma alanının en doğusunda yer alıp kapalı havza özelliği taşımaktadır. Kuzeyde Orta Fırat Alt Havzası, güneyde ise Yukarı-Orta Fırat Alt Havzası ve Zap-Şemdinli Havzası ile kesişen bu havza, yüksek dağlık alanlar ve platolarla çevrilidir. Havza genelinde karasal iklimin etkisi görülmekle birlikte, Van Gölü'nün nemlendirici etkisi nedeniyle göl kıyılarında karasal iklimin etkisi azalır (Kuzey ve Tombul, 2020). Yağışlar her mevsimde görülse de Temmuz ve Ağustos aylarında belirgin şekilde azalmakta, havza genelinde yağışın en çok ilkbaharda, en az ise yazın gerçekleştiği görülmektedir. Havzanın doğusunda sonbahar, batısında ise kış mevsimi, ilkbahardan sonra en fazla yağış alınan dönemlerdir (Yetmen, 2013). Van Gölü Havzası'nda yer alan 6 meteoroloji istasyonu bu çalışmada kullanılmıştır. Bu istasyonlar, kuzeyde Erciş ve Muradiye; güneyde Van Bölge; batıda Ahlat ve Tatvan; doğuda ise Özalp ve Muradiye İstasyonlarından oluşmaktadır. Bu istasyonlardan elde edilen SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri ile havzadaki kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi belirlenmiştir. Havzada, farklı indislere ve bunların dönemlerine bağlı olarak kuraklığın şiddeti ve etkili olduğu aylar farklılık göstermektedir.

Van Gölü Havzası'nda, çalışma alanında belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında 2010 yılına ait kuraklıklar Ocak ayında RDI indisinde belirginken, 2012 yılı kuraklıkları ise Mart ayında etkili olmuştur (Şekil 26). SPEI indisinde ise Mart ve Nisan aylarında 2008 yılına ait kurak koşulların etkisi ön plandadır (Şekil 26). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada genel olarak normal kurak koşulların hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 27). Eylül ve Aralık ayları arasında ise, SPEI indisinde 2017 yılı

kuraklıkları Eylül ayında etkili olurken, 2010 yılına ait kuraklıklar ise RDI ve aSPI indislerinde Kasım ayında etkisini göstermiştir (Şekil 28). 1 aylık indislerde SPI-1 aylıklar -5,64 ile 3,03, SPEI-1 -3,70 ile 2,72, RDI-1 -4,37 ile 3,95, aSPI-1 -4,47 ile 3,35 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. 2012 yılı Mart ayında havzanın batısındaki Tatvan İstasyonunda SPI-1 aylık değerlerinde en yüksek kuraklık değeri görülürken, 2008 yılı Nisan ayında havzanın doğusunda bulunan Özalp İstasyonunda SPEI-1 aylık değerlerinde aşırı kurak koşullar hakim olmuştur. Aynı şekilde, RDI-1 ve aSPI-1 aylık değerlerinde de Tatvan İstasyonunda 2012 yılı Mart ayında kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 26). 2012 yılında yaz kuraklıkları ile birleşen şiddetli kuraklığın etkisi havzanın batı kesiminde etkili olmuştur. Türkiye'de şiddetli kuraklıkların yaşandığı bir diğer yıl olan 2008 yılındaki düşük yağış ve artan sıcaklık etkisi havzanın doğusunda artan buharlaşma ile kuraklığın etkisini arttırmıştır (Yetmen, 2013).

Ocak ve Nisan ayları arasında belirlenen kurak yıllarda, havzada SPEI indisinde Ocak ayında 2011 yılına ait kuraklıklar etkili olurken, Şubat ayında ise 2012 yılı kuraklıklarının etkisi görülmektedir (Şekil 29). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda, SPEI indisinde Haziran ve Temmuz aylarında 2021 yılına ait kurak koşullar etkili olmuştur (Şekil 30). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönemde ise, SPEI indisinde 2012 yılı Kasım ayında kuraklık koşulları belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır (Şekil 31). 3 aylık değerlendirmelerde SPI-3 aylıklar -5,98 ile 3,16, SPEI-3 aylıklar -3,55 ile 2,62, RDI-3 aylıklar -4,80 ile 3,58, aSPI-3 aylıklar ise -4,94 ile 3,06 arasında kuraklık değerleri belirlenmiştir. SPI-3 aylıklarda en yüksek kuraklık değeri 2011 yılı Aralık ayında havzanın kuzeyindeki Erciş İstasyonundadır. SPEI-3 aylıklarda 2011 yılı Ocak ayında havzanın doğusunda Özalp İstasyonunda aşırı kurak değer belirlenmiştir (Şekil 29). RDI-3 ve aSPI-3 aylık değerlerde en yüksek kuraklık Erciş İstasyonunda 2011 yılında Aralık ayındadır.

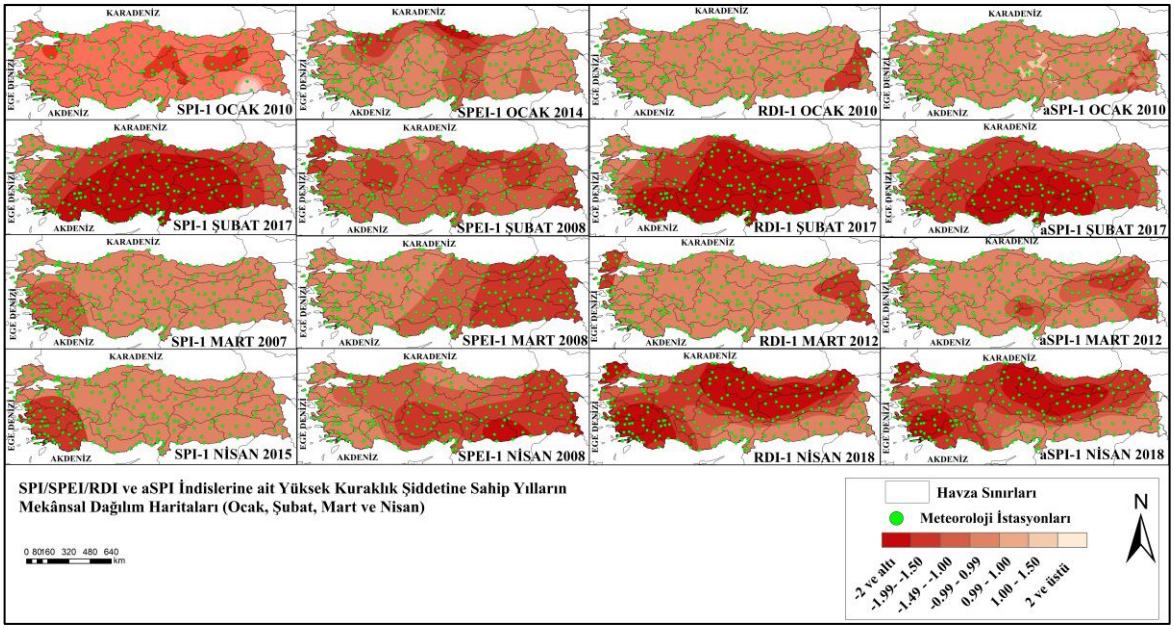
Ocak ve Nisan ayları arasında, çalışma alanında belirlenen kurak yıllarda havzada SPI, RDI ve aSPI indislerinde 2012 yılı kuraklıklarının etkisi görülmektedir (Şekil 32). Mayıs ve Haziran ayları arasındaki kurak dönemde, SPI indisinde 2012 yılı kuraklıkları Mayıs ayında etkili olurken, SPEI indisinde 2008 yılı kuraklıklarının etkisi ise Ağustos ayında etkilidir (Şekil 33). Eylül ve Aralık ayları arasındaki kurak dönemde ise SPI ve SPEI indislerinde 2021 yılı kuraklıkları Eylül ayında belirlenmiştir (Şekil 34). Ayrıca, SPEI, RDI ve aSPI indislerinde 2020 yılı kuraklıklarının etkisi havzada Aralık ayında etkisi

görülmektedir (Şekil 34). 6 aylık indislerde SPI-6 aylıklar -5,94 ile 2,97, SPEI-6 aylıklar -3,44 ile 2,68, RDI-6 aylıklar -4,74 ile 3,13, aSPI-6 aylıklar -4,96 ile 3,07 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-6 aylık değerlerde 2012 yılı Şubat ayında havzanın kuzeyinde Erciş İstasyonunda aşırı kurak değerler mevcuttur (Şekil 32). SPEI-6 aylık değerlendirmelerde 2012 yılı Mayıs ayında doğu kesimdeki Özalp İstasyonunda kuraklık şiddeti yüksektir (Şekil 33). RDI-6 ve aSPI-6 aylık indislerde 2012 yılı Şubat ayında Erciş İstasyonunda en yüksek kuraklık değeri belirlenmiştir (Şekil 32). Şiddetli kuraklıkların başlangıcı 2012 yılında, kış ve ilkbahar aylarında havzanın kuzey ve doğu kesiminde şiddetli kuraklık dikkat çekmektedir (Kuzey ve Tombul, 2020).

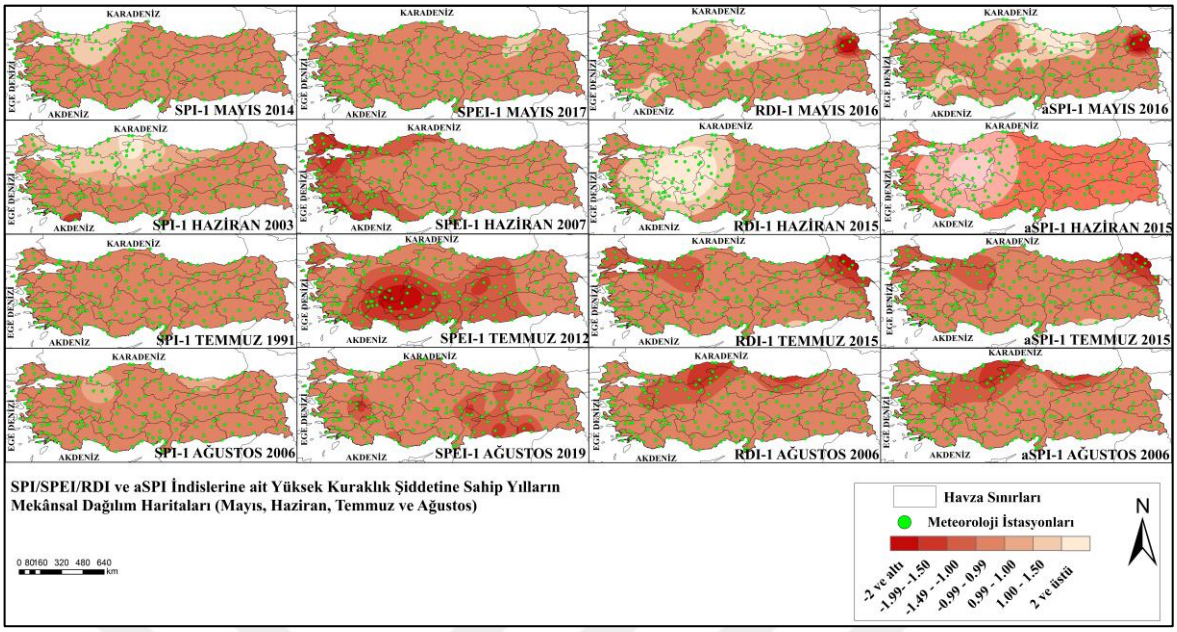
Çalışma alanının tamamında belirlenen kurak yıllarda, Ocak ve Nisan ayları arasında havzada SPI indisi, Nisan ayında 2012 yılı kuraklıklarını etkisini göstermektedir (Şekil 35). Nisan ayındaki kuraklıklar, 2014 yılına ait aşırı kurak koşullarla SEPI, RDI ve aSPI indislerinde belirgin bir şekilde temsil edilmiştir (Şekil 35). Mayıs ve Ağustos ayları arasındaki kurak yıllarda, havzada SPEI indisi, 2021 yılına ait Mayıs ayı kuraklıklarını etkili kılarken, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi belirgin hale gelmiştir (Şekil 36). Eylül ve Aralık ayları arasında ise havzada SPEI indisi, Kasım ve Aralık aylarında 2021 yılı kuraklıklarını etkili bir şekilde göstermiştir (Şekil 37). 9 aylıklarda SPI-9 -4,37 ile 2,88, SPEI-9 -2,54 ile 2,49, RDI-9 -4,58 ile 3,14, aSPI-9 -4,44 ile 3,04 arasında değişen kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-9 aylıklarda aşırı kurak değer -4,37 2012 yılı Mart ayında havzanın kuzeyinde Erciş İstasyonuna aittir. SPEI-9 aylıklarda ise havzanın batısındaki Tatvan İstasyonunda 2021 yılı Mayıs ayında kuraklık değerli yüksektir. RDI-9 ve aSPI-9 aylık değerlerde 2021 yılı Mayıs ayı Tatvan İstasyonunda en yüksek kuraklık değerleri belirlenmiştir. 2015 yılından sonra en yüksek sıcaklıkların belirlendiği yıllardan 2021 yılı ilkbahar aylarında kuraklık şiddetinin artmasına neden olmuştur (Güler ve Erlat, 2023).

Ocak ve Nisan ayları arasında çalışma alanında belirlenen kurak yıllarda, havzada 2014 yılına ait kuraklıkları etkili olmuştur (Şekil 38). Özellikle, RDI ve aSPI indislerinde 2014 yılı kuraklıklarının etkisi görülmektedir (Şekil 39). Eylül ve Aralık ayları arasında ise havzada, normal kurak koşullarının hâkim olduğu belirlenmiştir (Şekil 40). 12 aylık uzun dönemli kuraklık indislerinde SPI-12 -4,48 ile 2,70, SPEI-12 -3,07 ile 2,35, RDI-12 -4,66 ile 3,09, aSPI-12 -4,52 ile 3,04 arasında kuraklık değerleri mevcuttur. SPI-12 aylık indislerde en yüksek değer Tatvan İstasyonunda 2021 yılı Ağustos ayındadır. SPEI-12 aylık değerlerde

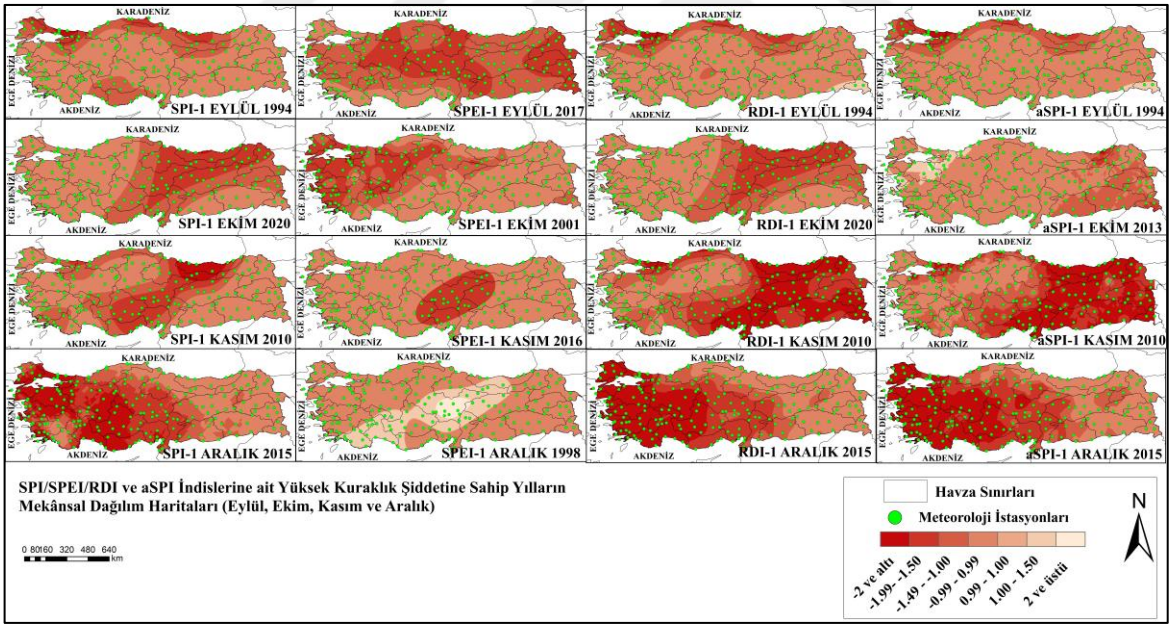
ise 2012 yılı Kasım ayında Özalp İstasyonunda artan kuraklık şiddeti belirlenmiştir. RDI-12 aylık değerlerde aşırı kurak değer 2021 yılı Eylül ayında Tatvan İstasyonundadır. aSPI-12 aylıklarda ise en yüksek kuraklık değeri 2021 yılı Ağustos ayında belirlenen aşırı kurak değer Tatvan İstasyonuna aittir. Havza, 2012 ve 2021 yıllarının yaz ve sonbahar dönemlerinde, şiddetli kuraklık koşulları ve aşırı sıcaklıkların etkisi altında kalmıştır.



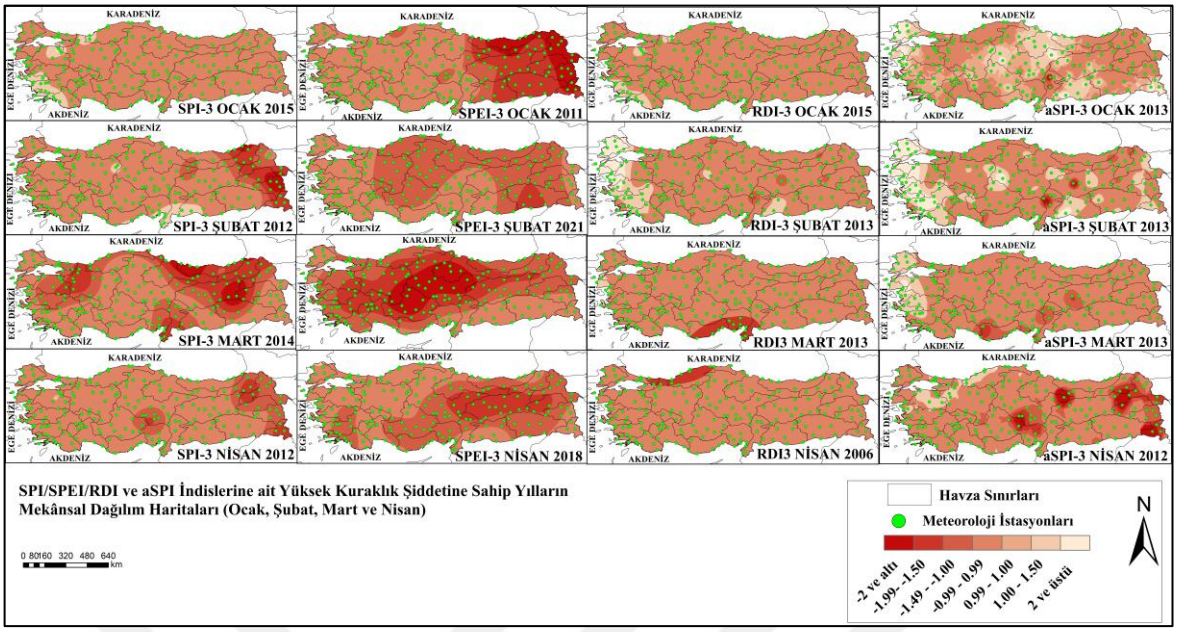
Şekil 26. 1 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Ocak-Nisan ayları).



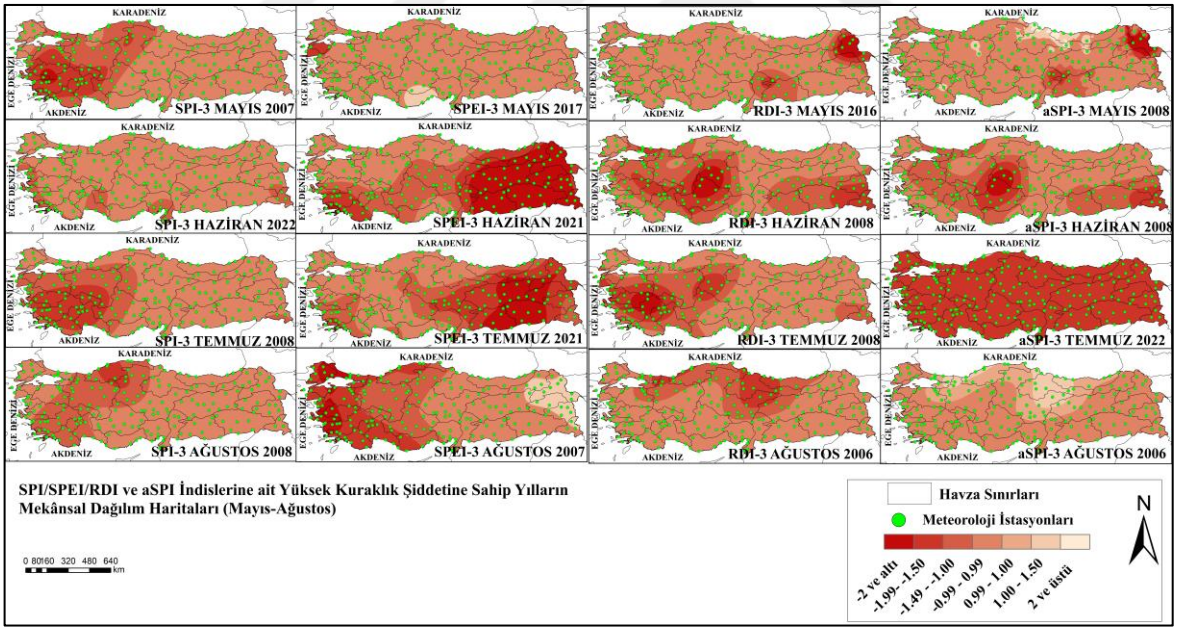
Şekil 27. 1 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Mayıs-Ağustos ayları).



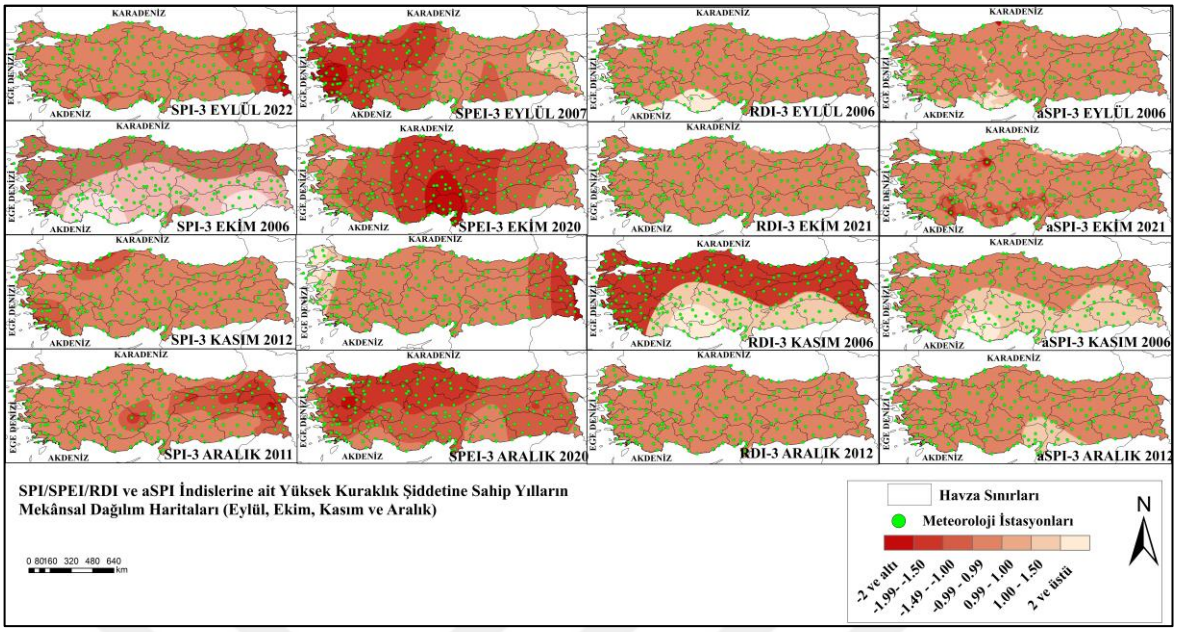
Şekil 28. 1 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Eylül-Aralık ayları).



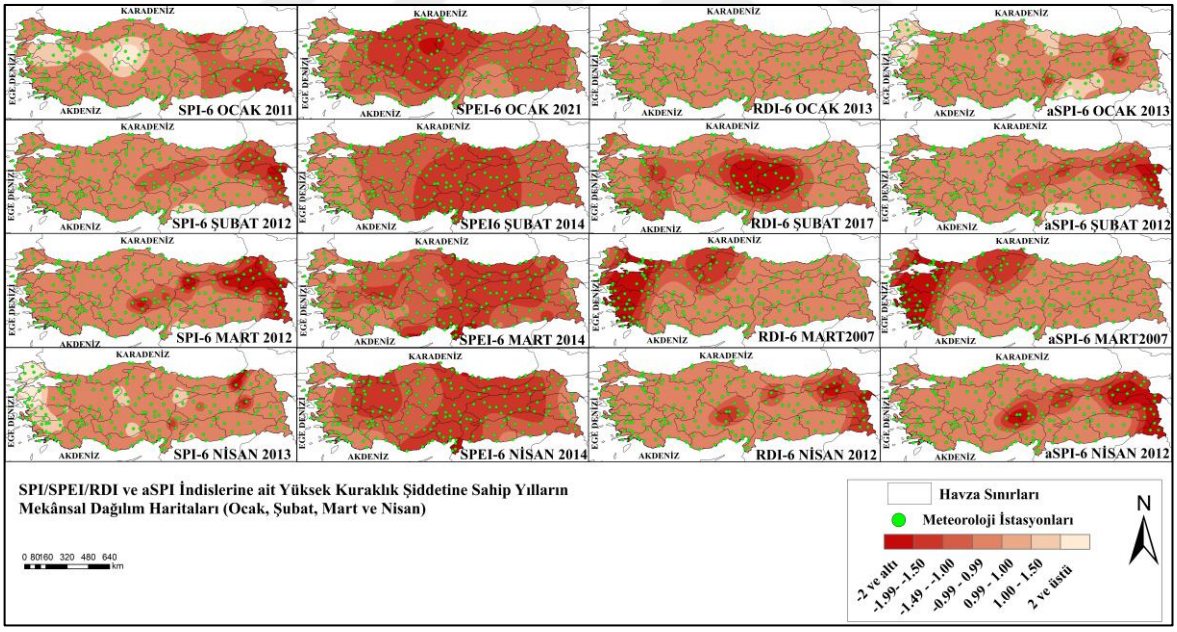
Şekil 29. 3 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Ocak-Nisan ayları).



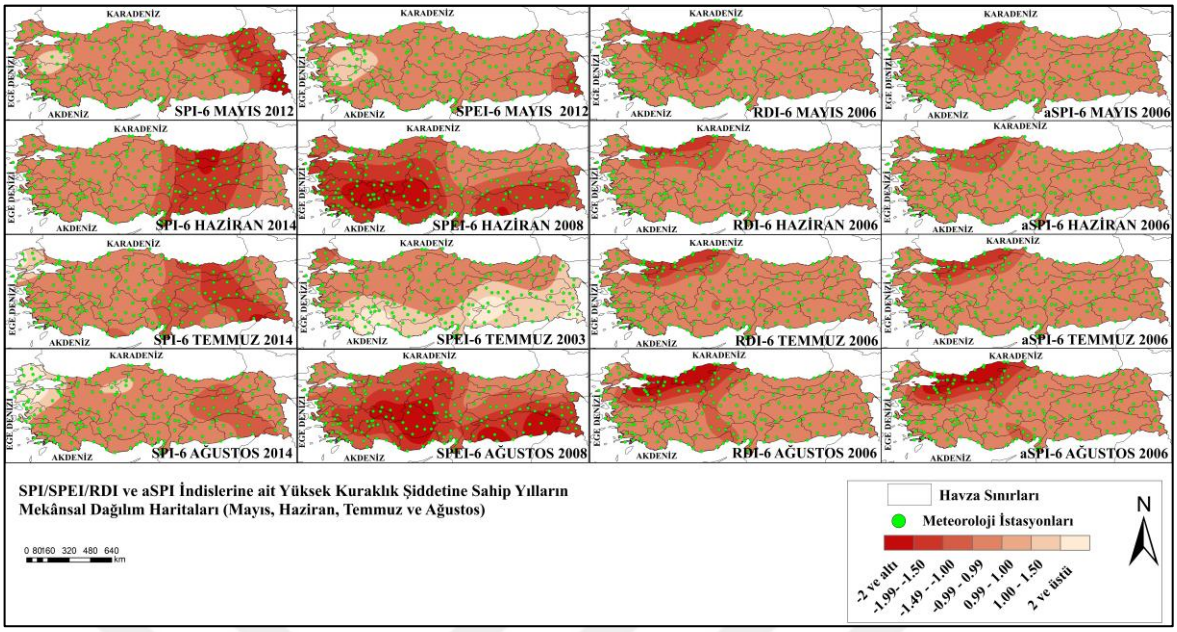
Şekil 30. 3 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Mayıs-Ağustos ayları).



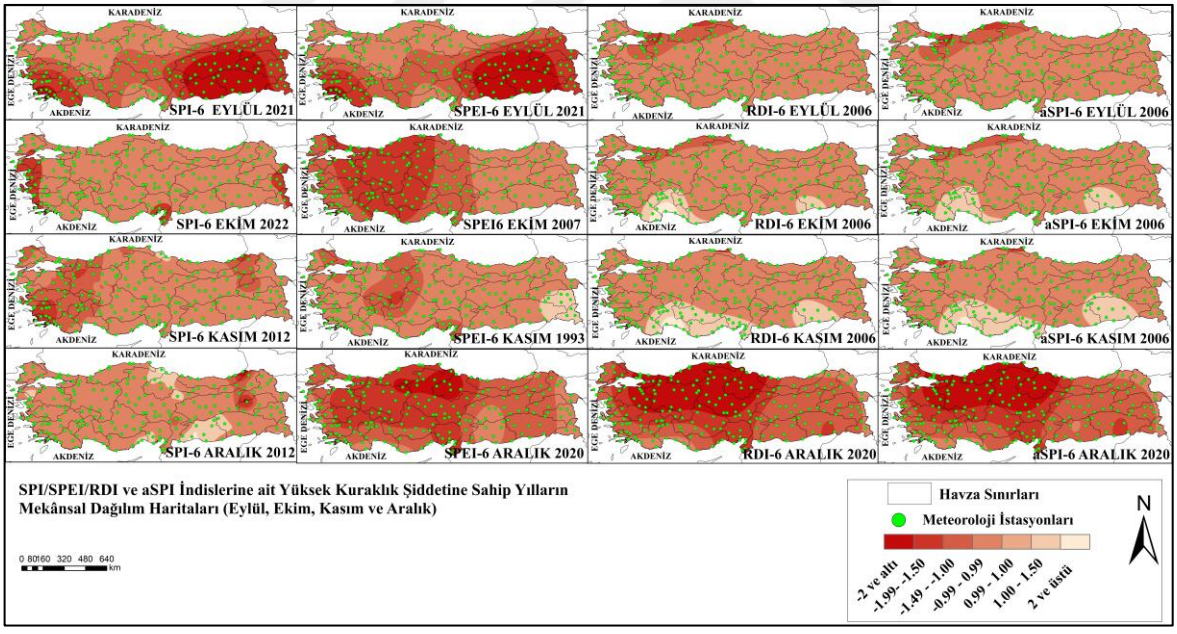
Şekil 31. 3 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Eylül-Aralık ayları).



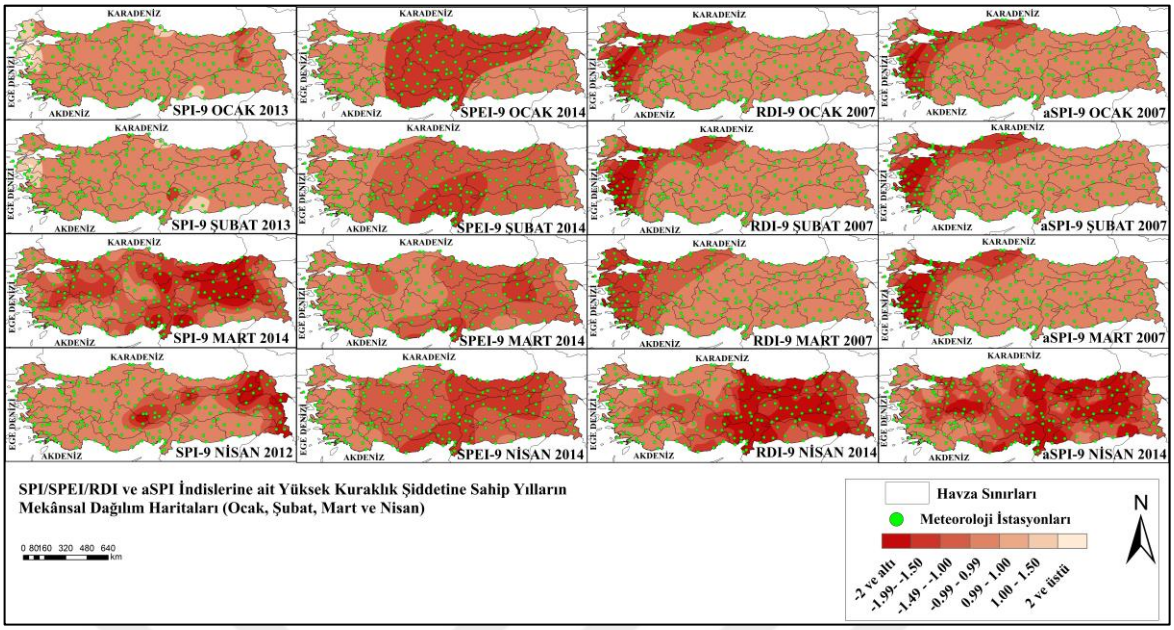
Şekil 32. 6 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Ocak-Nisan ayları).



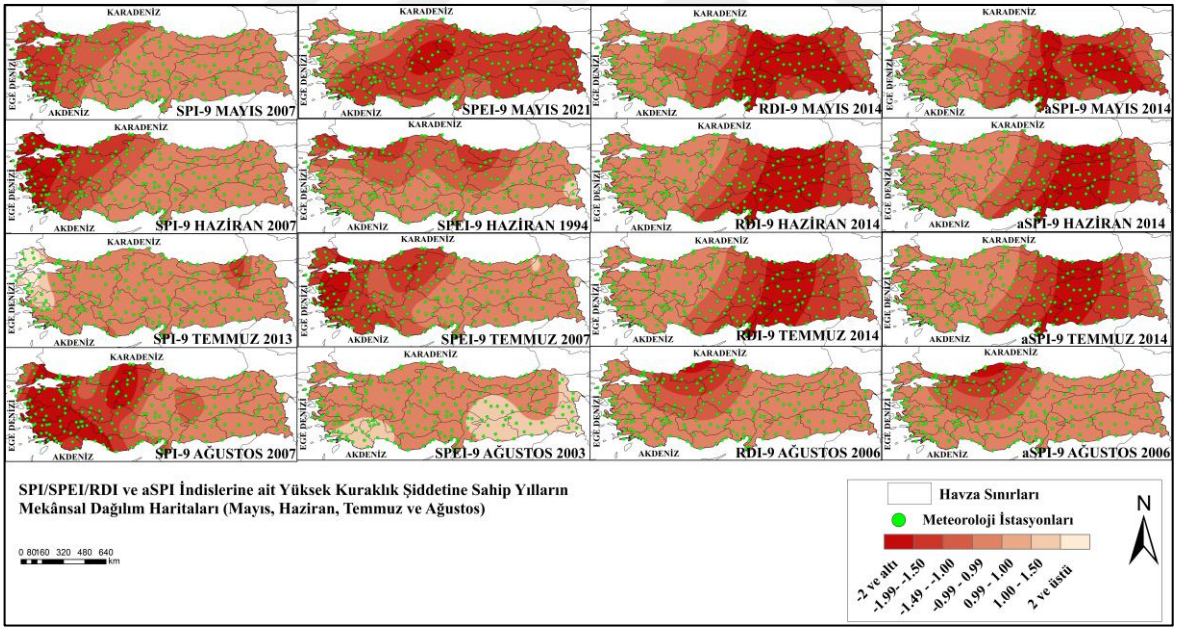
Şekil 33. 6 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Mayıs-Ağustos ayları).



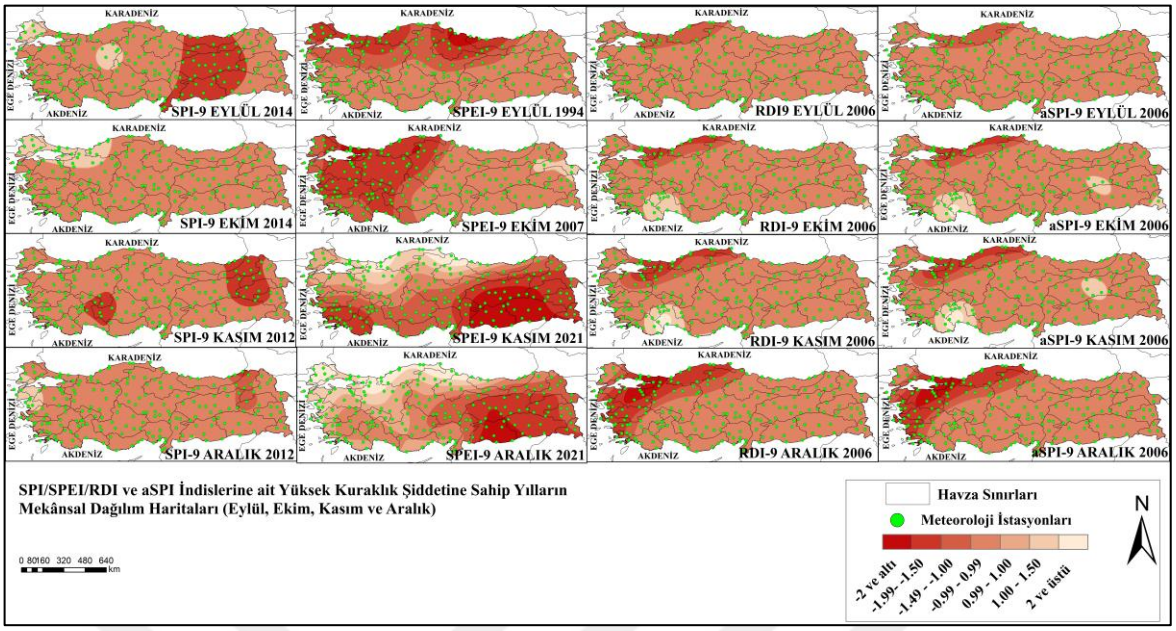
Şekil 34. 6 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Eylül-Aralık ayları).



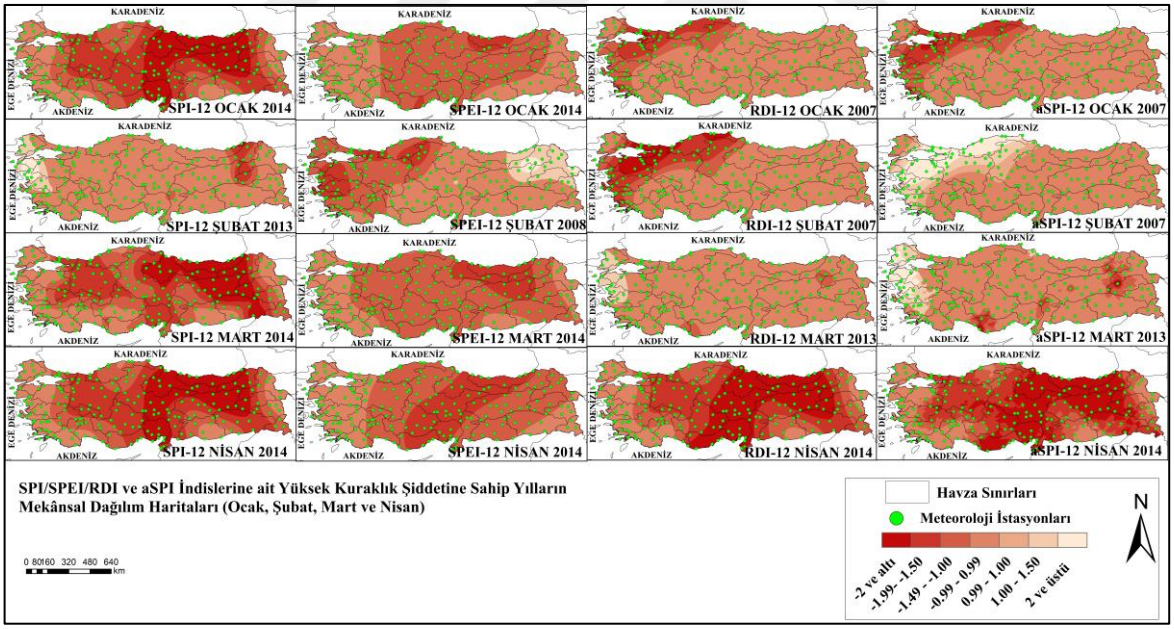
Şekil 35. 9 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Ocak-Nisan ayları).



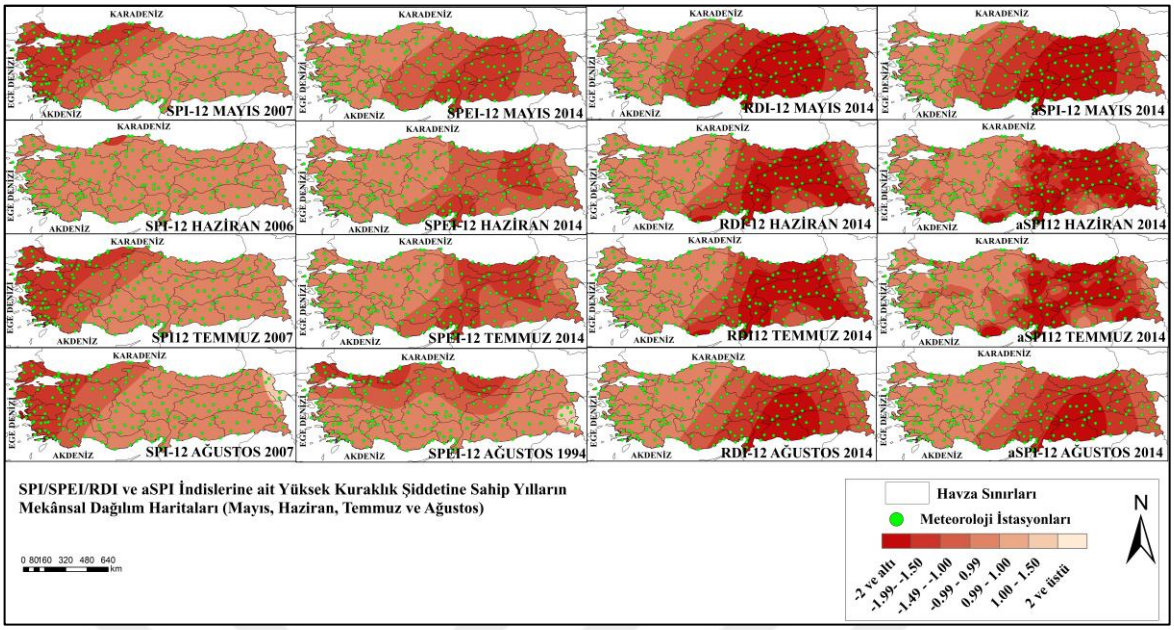
Şekil 36. 9 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Mayıs-Ağustos ayları).



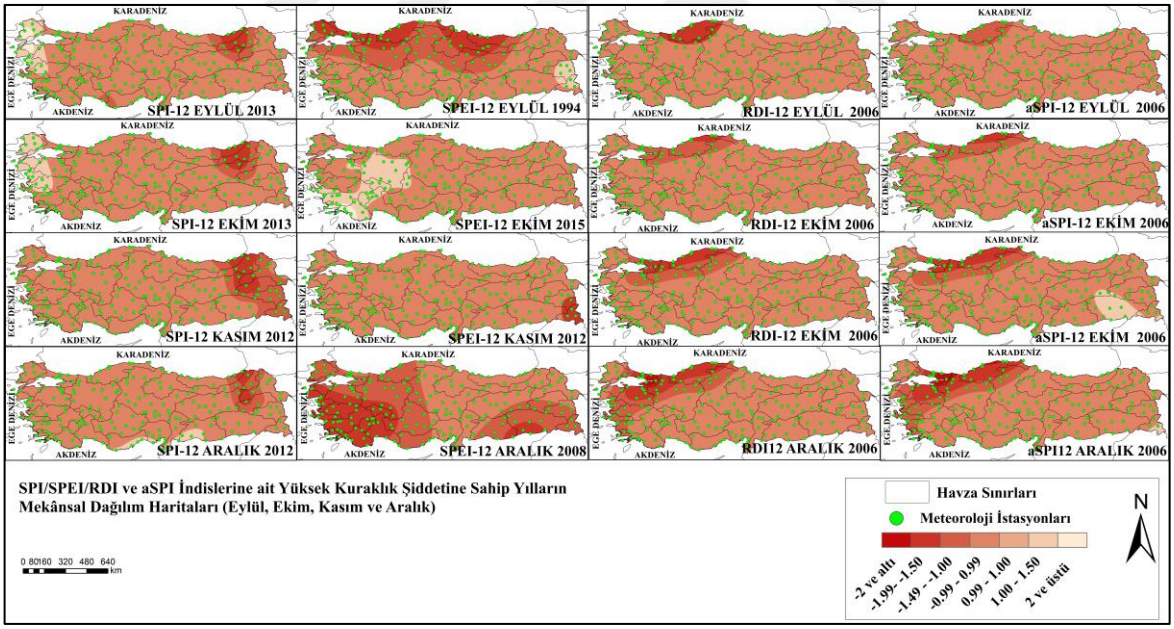
Şekil 37. 9 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Eylül-Aralık ayları).



Şekil 38. 12 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Ocak-Nisan ayları).



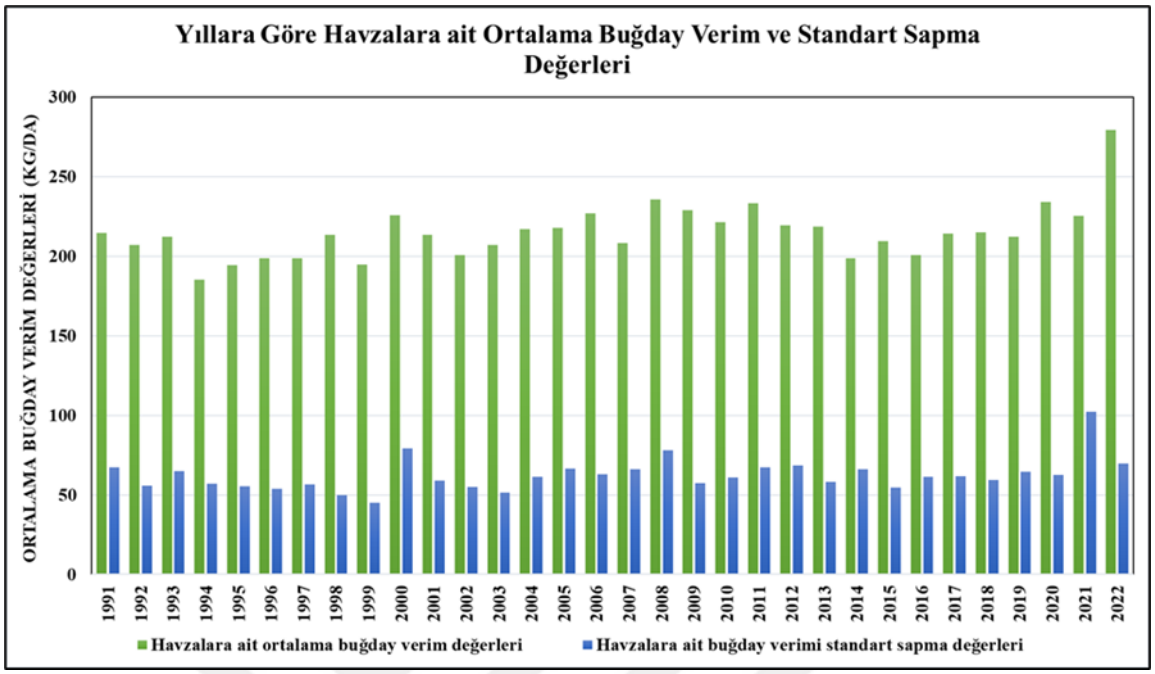
Şekil 39. 12 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Mayıs-Ağustos ayları).



Şekil 40. 12 aylık aşırı kurak değerlerin aylara göre mekânsal değişimi meteorolojik kuraklık indisleri ile gösterilmiştir (Eylül-Aralık ayları).

5.2. Buğday Verim Değerlerinin Değerlendirilmesi

1991-2022 yılları arasında Türkiye genelindeki havzalarda elde edilen ortalama buğday verimi 215,2 kg/da olup, bu değerin standart sapması 62,5 kg/da olarak hesaplanmıştır. Yıllar itibarıyla ortalama verim değerleri ile standart sapma arasındaki değişim genel olarak paralellik göstermektedir (Şekil 41). Bununla birlikte, 2021 yılında ortalama verim değerinde düşüş görülürken, standart sapma değeri yüksek çıkmıştır. Söz konusu yılda havza ortalaması 225,5 kg/da olarak belirlenmiş olup, özellikle Burdur-Göller, Büyük Menderes, Kuzey Ege, Küçük Menderes, Marmara, Meriç-Ergene, Seyhan-Ceyhan ve Susurluk havzalarında verim değerleri yüksek seyretmiştir. Tüm havzalarda yıllara göre ortalama buğday verim değerleri incelendiğinde, en düşük verim 1994 yılında 185,1 kg/da iken, en yüksek verim 2022 yılında 279,5 kg/da olarak gerçekleşmiştir (Şekil 41). 1994 yılında Akarçay, Aras, Batı Karadeniz, Burdur-Göller, Çoruh, Dicle-Fırat, Doğu Akdeniz, Doğu Karadeniz, Kızılırmak, Konya, Van Gölü ve Yeşilırmak havzalarında düşük verim değerleri belirlenmiş ve bu durum standart sapma değerlerinin de düşük olmasına neden olmuştur (Şekil 41). 1991-2022 yılları arasındaki dönemde tüm havzaların ortalama buğday verim değerleri incelendiğinde, en düşük ortalama verim 129,8 kg/da ile Aras Havzası'na, en yüksek ortalama verim ise 340,6 kg/da ile Meriç-Ergene Havzası'na aittir. Buğday verim değerleri yalnızca iklim koşullarından değil, aynı zamanda ekonomik politikalardan da etkilenmektedir. Örneğin, 1994 yılında Türkiye'de yaşanan ekonomik kriz, verim değerlerindeki düşüşü açıklayan faktörlerden biri olarak değerlendirilebilir. Bunun yanı sıra, 1990 yılında gerçekleşen Körfez Savaşı, Irak'a uygulanan ambargo, Kuzey Irak'taki siyasal otorite boşluğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde artan terör olayları, yalnızca sosyal ve siyasal dengeleri değil, aynı zamanda ekonomik dengeleri de olumsuz etkilemiştir (Gaytancıoğlu, 2010). 2004-2022 yılları arasında genel olarak verim artışı görülse de 2006-2007 döneminde %10 ve 2020-2021 yılları arasında %12 oranında bir azalma meydana gelmiştir (Gökmen, 2023) (Şekil 41). 2019 yılında başlayan Covid-19 pandemisi ile gıda krizleri küresel ölçekte etkisini gösterirken, 2022 yılında başlayan Rusya-Ukrayna savaşı bu süreci daha da derinleştirmiştir (Beyazıt ve Gürbüzer, 2023). Rusya-Ukrayna savaşının yarattığı ekonomik ve ticari belirsizlikler nedeniyle Türkiye'de buğday ihracatı durdurulmuş ve bu durum buğday fiyatlarının artmasına yol açmıştır (Özocaklı, 2022; Kahraman ve Akova, 2024). Küresel iklim değişikliği, salgın hastalıklar ve savaş gibi unsurlar, buğday üretim miktarlarını ve fiyatlarını önemli ölçüde etkilemiştir.



Şekil 41. Havzalara ait buğday verim değerleri ortalama ve standart sapma değerlerinin yıllara göre değişimi.

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

5.3. Havza Bazlı Meteorolojik Kuraklıkların Tarımsal Üretim ile İlişkisi

Çalışma alanındaki havzalarda meteorolojik kuraklıkların verim üzerindeki etkisi, havzaların iklimsel ve topografik özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu havzaların özellikleri ve dönemsel olarak etkili olan sıcak hava dalgaları, yağış değişkenliğiyle birleştiğinde verim üzerindeki etkileri daha da artmaktadır. Şekil 42'de de görüldüğü gibi, meteorolojik kuraklıkların buğday verimi üzerindeki etkisi; kullanılan kuraklık indis türüne, indisin uygulandığı döneme ve aylara göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca, havzalardaki diğer yüksek üretime sahip ikinci ürünler üzerinde de meteorolojik kuraklığın etkisi belirlenmiş olup, bu etki indisler, dönemleri ve aylarına göre farklılık gösterdiği Tablo 5'te görülmektedir. Meteorolojik kuraklığın buğday verimi üzerindeki etkisini en iyi yansıtan indis türü SPEI olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, aSPI indisinin meteorolojik kuraklığın verim üzerindeki etkisini belirgin şekilde ortaya koymadığı görülmüştür. Bunun nedeni, aSPI indisinin tarımsal ürünlerin gelişim sürecindeki kritik su ihtiyacı dönemlerine göre hesaplanmasıyla ilgilidir (Amongnehegn, vd., 2023). Bitkilerin

kritik büyüme evrelerine göre aSPI indisinin hesaplanması, tarımsal kuraklığın verime etkisinin daha doğru ve detaylı bir şekilde değerlendirilmesini sağlayacaktır.



Şekil 42. Meteorolojik kuraklarının buğday verimindeki etkisini en iyi temsil eden aylar, kuraklık indisleri ve bu indislerin dönemlerinin havzalara göre değişimi gösterilmiştir.

Tablo 5

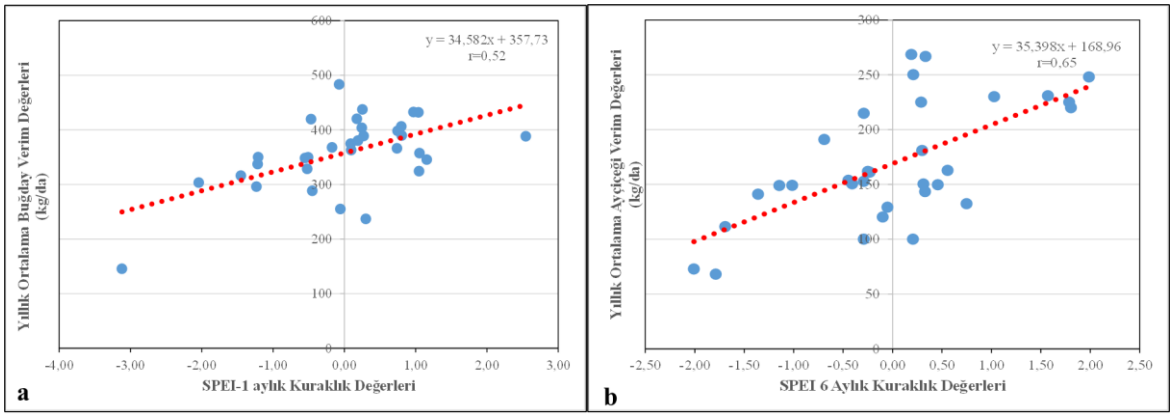
Havzalardaki istasyonlarda en yüksek korelasyon değerine sahip olan, üretimi en yüksek ikinci tarımsal ürünlerin verimi üzerindeki meteorolojik kuraklık etkisini gösteren indisler, indis dönemleri, ayları ve ilgili ürünler belirtilmiştir.

Korelasyon Aralıkları	Havza Korelasyon Değerleri	Havza Adı	İndis Türü	Yüksek Korelasyon Belirlenen Aylar	Yüksek Korelasyona Sahip Tarımsal Ürün
Yüksek Korelasyon [(-0,89)-(-0,70) ve 0,70-0,89]	0,76	Büyük Menderes Havzsı	RDI-3	Mart	Üzüm
	-0,71	Yukarı Fırat Alt Havzası	SPI-12	Şubat	Kayısı
	-0,70	Orta Fırat Alt Havzası	RDI-12	Mart	Şeker pancarı
Orta Korelasyon [(-0,69)-(-0,50) ve 0,50-0,69]	-0,69	Konya Havzası	SPI-1	Nisan	Şeker pancarı
	-0,69	Van Gölü Havzası	aSPI-9	Eylül	Şeker pancarı
	0,68	Küçük Menderes Havzası	SPEI-6	Ekim	Zeytin
	0,66	Kızılırmak Havzası	RDI-9	Eylül	Şeker pancarı
	0,66	Akarçay Havzası	RDI-9	Eylül	Şeker pancarı
	-0,66	Asi Havzası	SPEI-12	Nisan	Şeker pancarı
	0,65	Meriç-Ergene Havzası	SPEI-6	Haziran	Ayçiçeği
	-0,64	Batı Akdeniz Havzası	RDI-3	Haziran	Mandalina
	0,63	Antalya Havzası	SPEI-1	Nisan	Elma
	0,62	Yeşilırmak Havzası	SPEI-3	Nisan	Mısır
	0,62	Doğu Karadeniz	SPEI-3	Nisan	Mısır
	0,61	Aşağı Fırat Alt Havzası	SPEI-12	Nisan	Arpa
	-0,60	Batı Karadeniz Havzası	SPEI-1	Nisan	Mısır
	-0,59	Doğu Akdeniz Havzası	RDI-3	Aralık	Arpa
	-0,59	Seyhan-Ceyhan Havzası	SPI-12	Ekim	Mısır
	0,57	Sakarya Havzası	RDI-1	Haziran	Şeker pancarı
	-0,57	Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası	SPEI-3	Ağustos	Pamuk
	-0,56	Çoruh Havzası	aSPI-12	Mayıs	Arpa
	0,55	Zap-Şemdinli Havzası	SPEI-3	Aralık	Ceviz
	-0,55	Susurluk Havzası	SPEI-9	Ocak	Arpa
	0,54	Marmara Havzası	SPEI-1	Haziran	Çeltik
	0,54	Kuzey Ege Havzası	SPEI-1	Mayıs	Zeytin
	0,53	Aras Havzası	SPI-3	Ocak	Üzüm
Zayıf Korelasyon [(-0,49)-(-0,26) ve 0,26-0,49]	0,49	Gediz Havzası	SPI-1	Haziran	Üzüm
	0,46	Burdur-Göller Havzası	aSPI-1	Haziran	Şeker pancarı

Meriç Ergene Havzası: Meriç Ergene Havzası'nda bulunan 5 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler sırasıyla arpa ve ayçiçeğidir. Edirne, Kırklareli, Lüleburgaz ve İpsala istasyonlarında ayçiçeği, Uzunköprü istasyonunda ise arpa ile kuraklık şiddetleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Buğday verim değerleri ve meteorolojik kuraklıklar arasındaki ilişkide havza genelinde kuraklıkların verim üzerindeki etkisini SPEI-12 indisinin Aralık ayında en iyi temsil ettiği belirlenmiştir (Şekil 42). Havza genelinde buğday verim değerlerindeki değişiminin havzanın kuzey kesiminde yüksek ortalama korelasyon değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 71). Meteorolojik kuraklıkların buğday verimi üzerindeki etkisi İstasyonlara göre 0,57 ile -0,36 arasında değişmektedir. En yüksek korelasyon değeri RDI-6 aylıklarda 0,57 Haziran ayında Kırklareli İstasyonuna aittir. Ancak Haziran ayı genel itibari ile buğdayın olgunlaşıp hasat edildiği aya denk gelmesi sebebiyle diğer yüksek korelasyon değeri kullanılmıştır. Lüleburgaz İstasyonu meteorolojik kuraklıklar ve buğday verim ilişki r=0,56 SPEI-1 aylık indislerde Mayıs ayında yüksektir. Orta düzey ilişkinin mevcut olduğu Lüleburgaz İstasyonu havzanın batı kesiminde karasal iklimin baskın olduğu alanda yer almaktadır. Dağılım grafiğinde ne düşük verim değeri 1994 yılında 145 kg/da aşırı kurak (-2,65) koşullardadır (Şekil 43). En Yüksek verim değeri buğdayda normal kurak koşullarda (-0,24) 2021 yılında 460 kg/da'dır (Şekil 43). Havzada en fazla yetiştirilen ürünler arasında bulunan buğday Ekim ayından Haziran ayına kadar büyüme dönemine sahiptir (Gümüş, vd., 2023). Buğday gelişim dönemlerinin tüm sürecinde kuraklık stersine karşı hassas bir özelliğe sahiptir. Ancak tane oluşum ve üreme dönemlerinde kuraklık stresine karşı daha hassas olsa da çiçeklenme sonrası hafif kuraklık stresi buğday veriminde %1 ile %30 arasında azalmaya neden olur (Yılmaz, 2023). Aynı zamanda çiçeklenme ve tane oluşum sürecindeki düşüş %92'lere kadar verimde azalmaya neden olur (Yılmaz, 2023). Buğdayın Mayıs ayına denk gelen dönemi başaklanma ve tane dolumu ifade etmektedir. Bu dönemde yaşanan su eksikliği düşük tane ağırlığına bağlı toplam verimin azalmasına yol açabilmektedir (Xu, 2023). Bitkinin besin maddelerini gövdeden tanelere doğru harekete geçirme yeteneği kuraklık stresi altında tehlikeye girerek verimde azalmayı etkilemektedir (Xu, 2023; Ma, vd., 2017). Bitkilerin tane dolum sürecinde ve sapa kalkma dönemlerinde %70 oranında suya ihtiyaç duymaları bu dönemdeki kuraklık stresinin de verimde etkili olduğunu gösterir (Süzer, 2004). Kuraklık stresi ve verim düşüşü arasındaki korelasyon, bitkinin su eksikliklerine karşı en hassas olduğu birleşme ve olgunluk aşamalarında özellikle güçlüdür (Hamal, vd., 2020; Yu, vd., 2018). Bu çalışmaların sonuçları ile uyumlu olarak buğday veriminde Mayıs ayında yaşanan kuraklıklar çalışmamızda verimde düşüşü göstermektedir. Havzada özellikle Haziran ayından önce kurak geçen Mayıs ayında sulama yapılması gerektiği ve bu dönemlerde yapılan sulamanın verimde %100 artışı sağladığı belirtilmiştir (Süzer, 2004).

Havzada buğdaydan sonra en fazla yetiştirilen ürünler olarak ayçiçeği ve arpa belirlenmiştir. Uzunköprü İstasyonunda arpa, Edirne, Kırklareli, Lüleburgaz ve İpsala İstasyonlarında ise ayçiçeği üretimi yüksektir. Arpa ve ayçiçeği arasında kuraklık indisleri ve verim ilişkisinde korelasyon değerleri -0,41 ile 0,65 arasında değişmektedir. En yüksek korelasyon değeri 0,65 SPEI-6 aylık indislerde Haziran ayında Kırklareli İstasyonunda ayçiçeğine aittir. Havza genelinde ortalama korelasyonlarda en yüksek değerler SPEI indisinde belirgindir (Şekil 72). Ayçiçeğinde artan sıcaklık ve buharlaşmaya bağlı verim düşüşü uzun dönemli kurak koşullarda dikkat çekmektedir (Şekil 72). Verimdeki en düşük değerler aşırı kurak koşulların görüldüğü (-2,01) 73 kg/da 1994 yılında belirlenmiştir (Şekil 43). Bir diğer düşük verim değeri ise 68 kg/da yine Kırklareli İstasyonunda 2001 yılındaki şiddetli kurak (-1,79) dönemde belirlenmiştir. Ayçiçeği havzada ekilebilir arazilerin özellikle %40-45'lik kesimini kapsamaktadır (Gümüş, vd., 2023). Nisan ayından ekim ayına kadar yağmurla beslenen koşullarda yetiştirilmektedir. Bu sebeple özellikle ayçiçeğinin kuraklığa eğilimli aylarda yetiştirilmesi sıcaklığa bağlı buharlaşma şiddetinin arttığı Haziran ayında toprak neminin azalması kuraklık stresinde artış ile verimde düşüşe sebep olmaktadır. Özellikle Kırklareli İstasyonunun yarı kurak alanda bulunması artan kuraklık şiddetine neden olmaktadır. Haziran ayı ayçiçeği için büyüme aşması olup bu dönemdeki kuraklık stresi bitkinin yaprak alanının ve genel biyokütlesinin azalmasına etki etmektedir (Silva, vd.,2022). Yetersiz su miktarı daha küçük tohumlar ile daha düşük yağ içeriğine neden olup verim ve kaliteyi azaltmaktadır (Matiu, vd., 2017). Havzada en yüksek verim değerinin normal kurak koşullar (0,19) 268 kg/da 2017 yılındadır (Şekil 43).



Şekil 43. Meriç-Ergene Havzası 'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Lüleburgaz İstasyonu Mayıs ayı; b: Ayçiçeği grafiği Kırklareli İstasyonu Haziran ayı).

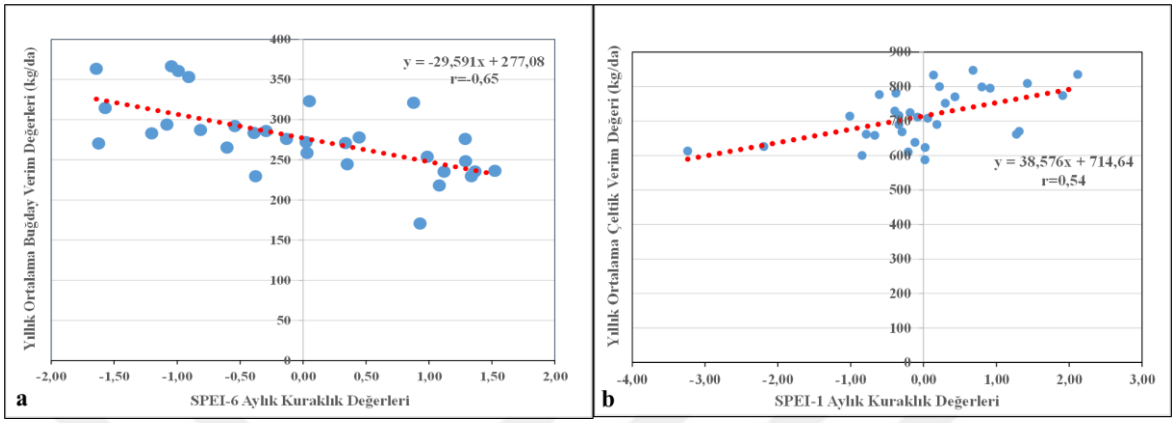
Marmara Havzası: Marmara Havzası'nda bulunan 12 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler sırasıyla arpa, ayçiçeği, zeytin, üzüm ve çeltiktir. Havza aynı zamanda sanayiye bağlı ekonomik faaliyetlerin yoğunlaştığı bir alanı kapsamaktadır. Bu sebeple çalışma alanında bulunan bazı istasyonlarda verim değerleri mevcut değildir. Bu istasyonlar Tekirdağ, Kocaeli, Şile, Sarıyer, Sarıyer/Kumköy-Kilyos, Kadıköy ve Florya İstasyonlarıdır. Bu istasyonlar dışında Yalova, Balıkesir/Gönen, Gökçeada, Bozcaada ve Çanakkale İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır. Yalova istasyonunda arpa, Çanakkale İstasyonunda ayçiçeği, Balıkesir/Gönen İstasyonunda çeltik, Bozcaada ve Gökçeada İstasyonlarında zeytin verim ve kuraklık ilişkisinde ele alınmıştır.

Marmara Havzası çalışma alanının kuzeybatı kesiminde olup hem topografik olarak engebeli alanların yer aldığı hem de sanayi, ticaret şehirleşme gibi beşerî faaliyetlerin yoğun olduğu bir alandır. Bu sebeple havzada tarımsal üretim yoğunluğu fazla değildir. Marmara Havzası'nda meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisi havza genelinde en iyi SPI-9 aylık indis ile Mayıs ayında temsil edilmektedir (Şekil 42). Bu indis türünde havzanın tamamında ortalama korelasyon değerleri yüksek sonuçlara sahiptir (Şekil 71). İstasyonlara göre havzadaki korelasyon değerleri -0,65 ile 0,54 arasında değişmektedir. En yüksek korelasyon değeri olan -0,65 Yalova İstasyonu Şubat ayı SPEI-6 ve Mart ayı SPEI-9 analizlerine aittir. Yalova İstasyonu kuraklık ve buğday verim değerleri arasında negatif ilişki bulunmaktadır. Şubat ayı SPEI-6 dağılım grafiğine baktığımızda kuraklık değerlerinin yüksek olduğu dönemde artan verim değerleri görülürken artan nemlilik ile azalan verim değerleri mevcuttur. En düşük verim değeri normal kuraklığın görüldüğü (0,93) için 1998 yılında 170,58 kg/da'dır (Şekil 44). Şiddetli kuraklık (-1,64) değerinde verim 363,29 kg/da 1994 yılına aittir. SPEI-9 aylıklarda da negatif korelasyon ilişkisi görülmekte olup (-1,98) şiddetli kurak koşullarda 363,29 kg/da verim değeri görülürken en düşük verim (1,75) şiddetli nemli dönemde mevcuttur (Şekil 44). 1994 yılında artan kuraklıklar verimde artışa neden olmuştur. Bu durum farklı bir çalışmada artan buharlaşmanın toprakta nem seviyesinde azalmaya neden olsa da bitkilerin derin kök sisteminin gelişmesini sağlar (Xu., 2023). Bu durum bitkinin daha sonraki büyüme aşamalarında özellikle çiçeklenme ve tane dolumu gibi kritik dönemlerde suya erişimini kolaylaştırır (Xu., 2023). Şubat ayında aşırı nem, külleme ve nemli koşullarda gelişen diğer patojenler gibi mantar hastalıklarının

gelişmesi için elverişli bir ortam yaratabilir. Bu hastalıklar bitki sağlığını ciddi şekilde etkileyerek fotosentetik verimliliğin azalmasına ve nihayetinde verimin düşmesine neden olabilir (Vannoppen, vd., 2020a). Aynı zamanda kurak koşullarda yaprak pası ve mantar gibi hastalıkların yayılımı da azalarak bitkinin daha sağlıklı ve dinç kalmasını sağlayabilmektedir (Gawęda ve Haliniarz, 2021). İkinci olarak, yüksek nem bitkinin terleme sürecine müdahale edebilir. Terleme, besin alımı ve bitki turgor basıncının korunması için çok önemlidir. Nem seviyeleri yükseldiğinde, terleme oranı azalır ve bu da buğday bitkileri için besin eksikliklerine ve zayıf büyüme koşullarına yol açabilir (Negi, 2023). Şubat ayındaki yüksek yağış ve nemin, hastalık baskısı ve bozulmuş fizyolojik işlevlerin birleşik etkileri nedeniyle kışlık buğday veriminde düşüşe yol açabileceği belirlenmiştir (Hlisnikovský, 2024). Nemin olumsuz etkileri, sıcaklık dalgalanmaları gibi diğer stres faktörleriyle birleştiğinde özellikle belirgindir ve bu da verim kayıplarını daha da şiddetlendirebilir.

Havzada buğdaydan sonra en fazla yetiştirilen ürünler olarak arpa, ayçiçeği, zeytin, üzüm ve çeltik olarak belirlenmiştir. Yalova İstasyonunda arpa, Çanakkale İstasyonunda ayçiçeği, Bozcaada İstasyonunda üzüm ve Balıkesir/Gönen İstasyonunda çeltik en yüksek üretim değerlerine sahip tarımsal ürünlerdir. Marmara Havzası meteorolojik kuraklık indisleri ve ikinci tarımsal ürüne ait ilişki değerleri 0,54 ile -0,49 arasında değişmektedir. En yüksek korelasyon değeri Balıkesir/Gönen İstasyonunda çeltik verimi ile SPEI-1 aylık kuraklık değerleri arasındadır. Çeltik veriminde 1 aylık indislerde en fazla etki Haziran ayında yaşanan kuraklık ile ilişkilidir. Çeltik, suya bağımlı bir tarım ürünü olduğu için, toprak nemi ve su kaynakları, bitkinin büyüme aşamalarında kritik bir rol oynamaktadır. Bu sebeple ülkemizde çeltik üretimi genellikle sulama ile yapılmaktadır. Haziran ayı çeltik için başlıca büyüme aşamalarından biri olan çiçeklenme dönemine denk gelir. Çiçeklenme, bitkinin verim potansiyelini belirleyen en önemli aşamalardan biridir ve bu dönemde su ihtiyacı artar (Sürek vd., 2016). Kuraklık, bu dönemde yaşanan su eksikliği, çeltik bitkisinin çiçeklenme sürecini olumsuz etkileyerek, tane veriminde önemli kayıplara neden olabilir (Sürek vd., 2016). Dağılım grafiği 26'da da görüldüğü gibi (-3,23) aşırı kurak koşulların görüldüğü dönemde verim 613 kg/da 'a karşılık gelmektedir. Genellikle normal kurak koşullarda ve artan nemlilikte verim değerleri artmaktadır. Aşırı nemli koşullarda (2,12) olup bu dönemde verim 835 kg/da'dır (Şekil 44). Özellikle Haziran ayı çiçeklenme dönemindeki su stresi bitkinin artan buharlaşma, toprak neminin hızla azalmasına neden olarak, bitkinin

su alımını kısıtlar ve bu durum, fotosentez ve besin maddelerinin taşınması gibi temel süreçleri olumsuz etkiler (Zhang, vd., 2018).



Şekil 44. Marmara Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Yalova İstasyonu Şubat ayı; b: Çeltik grafiği Balıkesir/Gönen İstasyonu Haziran ayı).

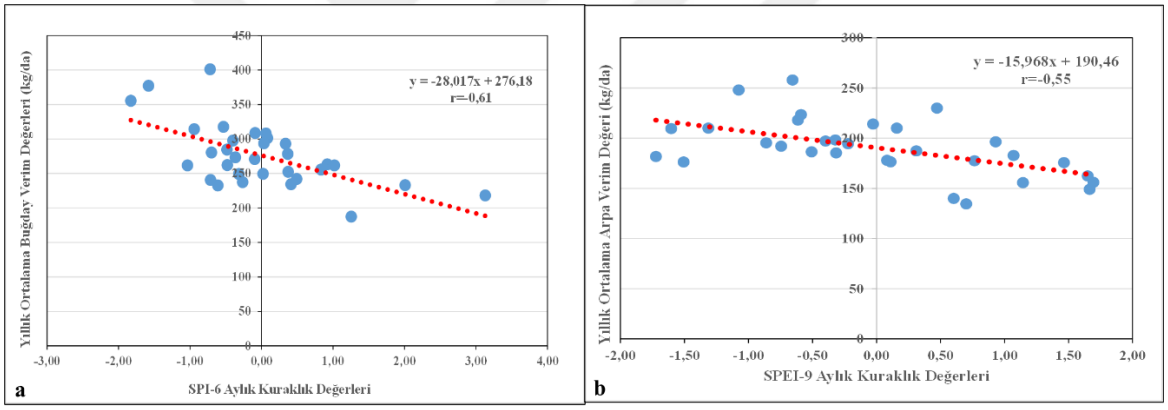
Susurluk Havzası: Susurluk Havzası'nda bulunan 7 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürün arpa olarak belirlenmiştir. Havza Marmara Havzası ile benzer şekilde sanayiye bağlı ekonomik faaliyetlerin yoğunlaştığı bir alanı kapsamaktadır. Bu sebeple çalışma alanında bulunan bazı istasyonlarda verim değerleri mevcut değildir. Bu istasyonlar Uludağ İstasyonunda hem buğday hem de ikinci ürüne ait bir veri bulunmazken, Bursa İstasyonunda buğday veri mevcut ancak ikinci ürüne ait veri bulunmamaktadır. Bu istasyonlar dışında Dursunbey, Keleş, Simav, Tavşanlı ve Bandırma İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Susurluk Havzası çalışma alanının kuzey kesiminden güneye doğru genişleyerek karasal iklim özellikleri iç kesimlerde görülür. Havzada bulunan istasyonlarda Bandırma İstasyonu dışındakiler iç kesimlerde karasal özelliklere sahip istasyonlardır. Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisini en iyi temsil eden indis türü olarak RDI-12 aylıklar ve Ocak ayı olarak tespit edilmiştir (Şekil 42). Havzanın tamamındaki istasyonlarda kuraklıkların etkili olduğu görülmektedir (Şekil 71). Kuraklık ve buğday verim değerleri korelasyon katsayıları istasyonlara göre 0,38 ile -0,61 arasında değişmektedir. En

yüksek korelasyon değerleri -0,61 Aralık ayı Bursa İstasyonunda SPI-6 ve aSPI-6 indislerinde yüksektir. SPI-6 Aralık ayı dağılım grafiğinde en düşük verim değeri 187,30 kg/da 1997 yılına ait 1,25 orta derece nemlilik değerinde görülmektedir (Şekil 45). 2021 yılına ait 401,00 en yüksek verim değeri normal kuraklık -0,72 koşullarındadır. Aralık ayı aSPI 6 analizinde SPI ile benzer şekilde en yüksek verim değeri -0,95 iken en düşük verim değeri 1,41 kuraklık koşullarında görülür (Şekil 45). Aralık ayında yaşanan kuraklık, bitkilerin kök sisteminin derinleşmesine ve su kaynaklarını daha verimli kullanmasına olanak tanıyabilir. Bu, bitkinin suya erişimini artırarak, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde verim artışına yol açabilir (Gülser ve Kızılkaya, 2020). Ancak Aralık ayında yaşanan nemli koşullar bitkinin fungal hastalıkların yayılmasını arttırabilir ya da kök çürüklüğü gibi hastalıklara zemin hazırlayarak verim kaybına neden olabilir (Gültekin, vd.2017; İrdem, 2022). Aynı zamanda bu dönemdeki yüksek nemlilik, buğdayın olgunlaşma sürecini geciktirerek, hasat zamanını uzatabilir ve bu da verim kaybına neden olabilir (İrdem, 2022). Aşırı nem, kök solunumu için kritik öneme sahip olan toprak havalanmasının zayıflamasına yol açabilir. Kökler oksijenden mahrum kaldığında, bodur büyüme ve verim oluşumu için gerekli olan kardeşlenmenin azalmasıyla sonuçlanabilir (Grant, vd., 2011). Ayrıca, yüksek nem su alımı ve terleme dengesini bozarak büyüme ve gelişmeyi engelleyebilecek fizyolojik strese yol açabilir (Farooq, vd., 2015).

Havzada buğdaydan sonra en fazla yetiştirilen ürün olarak arpa belirlenmiştir. Susurluk Havzası'nda en fazla üretimi belirlenen diğer tarımsal ürünlerde arpa ve meteorolojik kuraklık korelasyon ilişkisi 0,39 ile -0,55 arasındadır. Meteorolojik kuraklıklar ve arpa verimi arasındaki negatif orta ilişkinin r=-0,55 olarak belirlendiği Dursunbey İstasyonunda Ocak ayında SPEI-9 aylıklardadır. Arpa üretiminin yapıldığı alanlarda özellikle SPEI 9 ve 12 aylıklarda istasyonların tamamında ortalama yüksek korelasyon değerleri mevcuttur (Şekil 73). Verim değerleri birbirine yakın bir dağılışa sahip olsa da en yüksek verim değerleri normal ve orta nemli koşullardadır (Şekil 45). En yüksek verim değeri 2022 yılında 258 kg/da normal koşullardadır (Şekil 45). En düşük verim değerinin yine normla koşullarda 2010 yılında 134 kg/da olduğu belirlenmiştir (Şekil 45). Arpada çiçeklenme ayları Ocak-Şubat ayları ile vejetatif dönem olan Nisan-Mayıs aylarında yaşanan nemlilik verimde düşüşe neden olmaktadır. Bu dönemde farklı çalışmalarda olduğu gibi yüksek sıcaklıklar ile mantar türü hastalıklarda yayılma oranları azalarak verimde artış görülmektedir (Marik, vd., 2011; Aslan vd., 2022; Bello ve Walker, 2017). Aynı zamanda

Ocak-Şubat dönemi bitkinin dinlenme dönemine karşılık gelmekte, bitki bu dönemde soğuk hava koşullarına karşı dayanıklılığını koruyarak büyüme hızını azaltmaktadır (Cammarano, vd., 2021). Arpanın gelişim dönemleri içerisinde dinlenme dönemine karşılık gelen Ocak-Şubat ayında nemliliğin yüksek olması bitkide mantar hastalıklarının yayılarak verimde azalmaya sebep olmaktadır. Özellikle Ramularia collo-cygni gibi patojenler, yüksek nem koşullarında daha aktif hale gelir ve bu da yaprak lekelerine ve erken yaşlanmaya yol açar (Bello ve Walker, 2017). Bu tür hastalıklar, bitkinin fotosentez kapasitesini azaltarak verim kaybına neden olabilir (Aslan, vd., 2022). Bu sebeple çeşitli karasal iklime bağlı yarı kurak bölgelere denk gelen istasyonlarda negatif ilişki arpanın çiçeklenme döneminde düşük nemlilik ve yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyduğunu işaret etmektedir. Susurluk Havzası'nda 2022 yılında artan fiyatların etkisi ile yüksek üretim yüksek verim değerlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 45. Susurluk Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Bursa İstasyonu Aralık ayı; b: Arpa grafiği Dursunbey İstasyonu Ocak ayı).

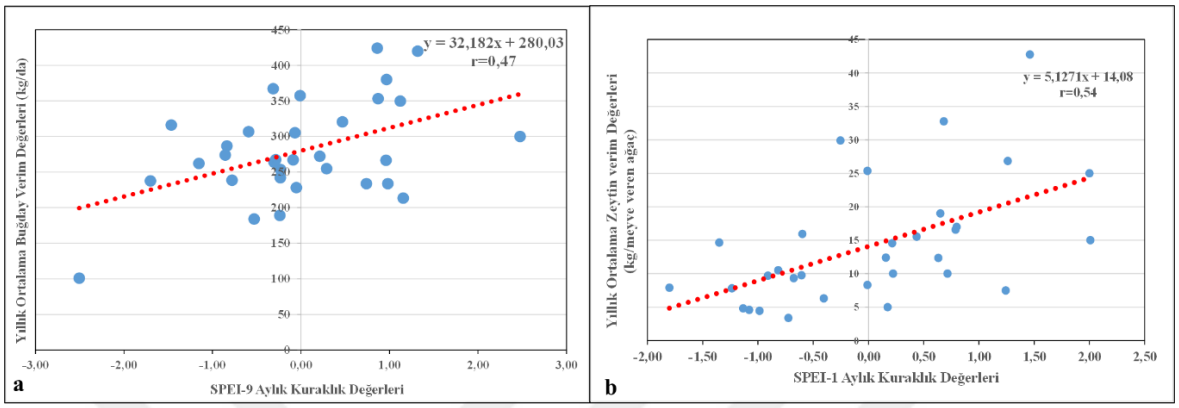
Kuzey Ege Havzası: Havzada yer alan bulunan 5 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürün zeytin olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Edremit, Ayvalık, Burhaniye, Bergama ve Dikili İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisi SPEI-9 aylıklarda temsil edilip en büyük etki Aralık ayına ait olarak belirlenmiştir (Şekil 42).

Ortalama korelasyon değerlerinin havzanın tamamındaki istasyonlarda yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 71). Havzadaki istasyonlara göre meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi korelasyon değerleri 0,47 ile -0,47 arasında değişmektedir. Kuzey Ege Havzası'nda özellikle en yüksek korelasyon değeri r=0,47 SPEI-9 aylıklarda Aralık ayında Bergama İstasyonunda görülmektedir (Şekil 46). Yüksek korelasyonun belirlendiği Kuşadası İstasyonunda en yüksek verim değeri 389 kg/da normal kurak koşullarda (0,69) belirlenmiştir (Şekil 46). Kuraklığın en yüksek olduğu -2,50 değerinde verim 100 kg/da'dır. Aynı zamanda en düşük verim değerinin belirlendiği 2007 yılı Türkiye ve genelinde şiddetli kuraklıkların yaşandığı yıldır. Aynı zamanda bu yılda kış yağışlarındaki %43 oranındaki azalma verimi etkilemiştir (Şimşek, ve Çakmak, 2010). Bergama İstasyonu karasal iklim bölgesinde yer alması sebebiyle kuraklık şiddetinin arttığı dönemlerde azalan verim değerleri nemli dönemlerde artış göstermektedir (Şekil 47). En yüksek verim değeri 424 kg/da normal koşullarda belirlenmiştir. Buğday bitkisinin büyüme ve gelişim döneminin kritik bir aşamasında buharlaşmanın artması, bitkinin su ihtiyacını artırarak çeşitli olumsuz sonuçlara yol açabilir (Yorulmaz, vd., 2023). Kuraklık, toprak neminin azalmasına ve dolayısıyla bitkinin su alımını kısıtlamasına neden olur. Bu durum, özellikle kış aylarında, buğdayın kök gelişimini ve genel sağlığını tehdit eder (Daryanto, vd., 2016; Semenov, 2008). Kış aylarında yaşanan kuraklık koşullarının, buğday veriminde %20'ye kadar kayıplara neden olabileceğini göstermektedir (Biswas ve Jiang, 2011).

Havzada buğdaydan sonra en fazla yetiştirilen ürün olarak zeytin belirlenmiştir. Havzada tüm istasyonlardaki ortalama korelasyon değerlerinin dağılışında yüksek değerler SPEI indislerinin 3 ve 6 aylıklarında ön plandadır (Şekil 74). Meteorolojik kuraklıklar ve Kuzey Ege Havzası'nda istasyonlara göre ikinci tarımsal ürün zeytin verimi korelasyon değerleri 0,54 ile -0,40 arasında değişmektedir. Meteorolojik kuraklıkların zeytin verimindeki etkisi Kuzey Ege Havzası'nda Burhaniye İstasyonunda SPEI-1 aylıklarda Mayıs ayı için ilişki değeri r=0,54'tür. Mayıs ayı zeytinin gelişim dönemleri içerisinde çiçeklenme ve meyve oluşum dönemine karşılık gelmektedir (Mete ve Çetin, 2011). Bu dönemde meyvenin su ihtiyacı artmaktadır. Dağılım grafiği 46'da görüldüğü gibi düşük verim değerleri aşırı kurak ile normal kurak koşullar arasında belirlenmiştir. Verimde düşüşlerin görüldüğü bu dönemler 2007-2009 arasında yaşan kurak dönemlere karşılık gelmektedir. Nemlilik değerlerinin artması verim değerlerinde de artışa sebep olurken normal nemli koşullarda şiddetli nemlilik koşullarına doğru 43 kg/meyve veren ağaç

değerlerinde verim belirlenmiştir (Şekil 46). Yaşanan kuraklıklar meyvede stomaların kapanmasına neden olarak, fotosentez oranını düşürür. Bu durum, bitkinin enerji üretimini azaltır ve dolayısıyla meyve veriminde kayıplara neden olur (Parri, 2023).



Şekil 46. Kuzey Ege Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Bergama İstasyonu Aralık ayı; b: Zeytin grafiği Burhaniye İstasyonu Mayıs ayı).

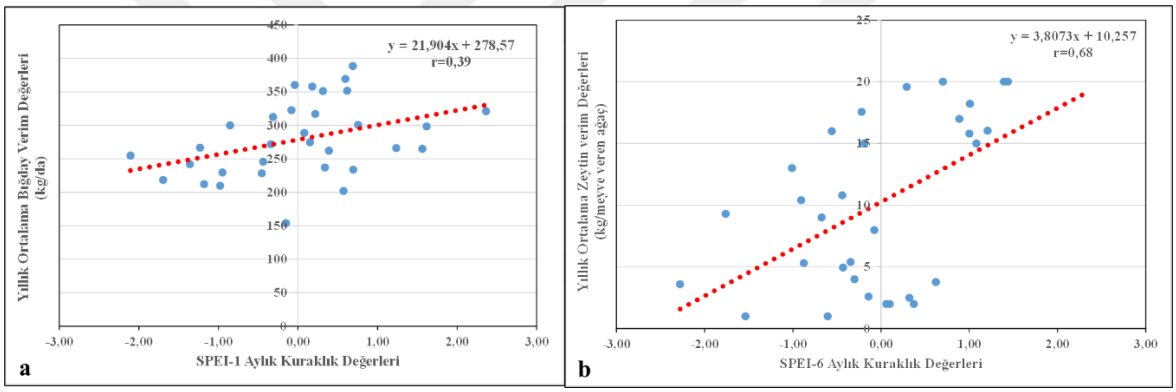
Küçük Menderes Havzası: Havzada yer alan bulunan 5 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürün zeytin olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan büyük şehir ve ekonomik faaliyetlerin tarım dışında çeşitlendiği İzmir'de buğday verim değerleri mevcut iken ikinci tarımsal ürüne ait veri belirlenememiştir. Bu sebeple İzmir İstasyonunda sadece buğday verim ilişkisi incelenmiştir. İzmir İstasyonu dışında Seferihisar, Kuşadası, Selçuk ve Ödemiş İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların verimdeki etkisinin en iyi temsil edildiği kuraklık indisi RDI-1 aylık indis olup Mart ayındaki etki ön plandadır (Şekil 42). Havzadaki ortalama korelasyon değerlerinde istasyonların tamamında yüksek etki ön plandadır (Şekil 71). İstasyonlara göre meteorolojik kuraklık ve buğday verimi korelasyon değerleri 0,39 ile -0,48 arasında değişmektedir. Küçük Menderes Havzası'nda özellikle Haziran ayından itibaren negatif korelasyonlar görülmektedir. Negatif korelasyonların sebebi Haziran ayından itibaren buğdayın hasat edilmesidir. Bu sebeple yaz ayları negatif korelasyonlarını çıkardığımızda en yüksek korelasyon değeri r=0,39 SPEI-1 aylıklarda Mart ayında havzanın

kıyı kesimindeki Kuşadası İstasyonunda görülmektedir. Havzalarda buğday tarımı genellikle kuru tarım olarak sürdürülürken yağışların çoğunluğu Kasım-Nisan aylarındadır (Yavaş , 2010). Bu sebeple yağışın yetersiz ve düzensiz olarak düştüğü sıcaklık ile buharlaşmanın arttığı dönemlerde buğday verimi azalmaktadır (Yavaş , 2010). Yüksek korelasyonun belirlendiği Kuşadası İstasyonunda en yüksek verim değeri 389 kg/da normal kurak koşullarda (0,69) belirlenmiştir (Şekil 47). Kuraklığın en yüksek olduğu (-2,11) değerinde verim 255 kg/da'dır (Şekil 47). Mart ayı buğday veriminde buğday bitkisinin büyüme ve gelişim döneminin kritik bir aşamasıdır; bu nedenle, buharlaşmanın artması, bitkinin su ihtiyacını artırarak verim kaybına neden olabilir (Yorulmaz, vd., 2023). Mart ayındaki kuraklık koşulları, buğday bitkisinin su alımını kısıtlayarak, fotosentez ve besin maddelerinin taşınmasını olumsuz etkiler. Araştırmalar, buğday bitkisinin su stresine maruz kalmasının, verim kaybını %20'den %50'ye kadar çıkarabileceğini göstermektedir (Wang, 2024). Özellikle çiçeklenme ve tane dolum aşamalarında yaşanan kuraklık, tane sayısını ve dolayısıyla verimi önemli ölçüde azaltabilir (Yao, 2024).

Havzada buğdaydan sonra en fazla yetiştirilen ürün olarak zeytin belirlenmiştir. Havza genelindeki istasyonlarda meteorolojik kuraklığın buğday verimindeki etkisi özellikle havzanın doğusunda SPEI indisinde uzun dönemli kuraklıklarda yüksek ortalama korelasyon değerleri görülmektedir (Şekil 74). Meteorolojik kuraklıklar ve Küçük Menderes Havzası'nda ikinci tarımsal ürün olarak belirlenen zeytin veriminin istasyonlara göre korelasyon değerleri 0,63 ile -0,49 arasında değişmektedir. Meteorolojik kuraklıkların zeytin verimindeki etkisi Küçük Menderes Havzası'nda Ödemiş İstasyonunda SPEI-6 aylıklarda Ekim ayı için ilişki değeri r=0,68'dir. Zeytinin gelişim dönemlerinde aşırı sıcaklıklar ve kurutucu rüzgârlar, dişicik tepelerinin kurumasına neden olarak tozlanma sürecini ve meyve oluşumunu olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanı sıra, düşük yağış miktarlarının sebep olduğu kuraklık koşulları, meyve tutumu, olgunlaşma süreci ve meyvenin yağ içeriğinde önemli kayıplara yol açmaktadır. Çiçeklenme döneminde meydana gelen yoğun yağış ve yüksek nem oranı, döllenmeyi engelleyerek dane tutumunda azalmaya neden olmaktadır. Yoğun kar yağışı, mahsul taşıyan dalların kırılmasına zemin hazırlarken, fırtına ve dolu gibi olumsuz hava olayları çiçek ve meyve dökümüne, yapraklarda yaralanmalara ve dalların zarar görmesine neden olmaktadır. Normal kurak koşullar da verim değeri 10 ile 11 kg/meyve veren ağaç 2000 ve 2016 yıllarında düşük verim değerleri görülmüştür (Şekil 47). Nemlilik değerlerinin artması verim değerlerinde de artışa sebep olurken normal nemli

koşullarda şiddetli nemlilik koşullarına doğru 20 kg/meyve veren ağaç değerlerinde verim belirlenmiştir (Şekil 47). 1996, 2002, 2011 ve 2012 yılları yüksek verim değerlerinin belirlendiği yıllardır. Ekim ayı zeytin için hasat dönemine karşılık gelen süreci oluştursa da bu dönemde artan buharlaşma etkisi ile topraktaki su miktarı azalmaktadır. Yüksek buharlaşma ve su kaybı meyvelerin su içeriğini azaltarak yağ oranını düşürerek Ekim ayında zeytinin kalite ve verimini azaltmaktadır (Ayaz ve Varol, 2015). En yüksek verim 2022 yılında 37 kg/meyve veren ağaç iken 2017 yılından itibaren düşük verim değerleri mevcuttur. 2017 yılı sıcak hava dalgasının etkisinin en fazla görüldüğü ve ortalama yaz sıcaklıklarının en fazla olduğu yıldır (Güler ve Erlat, 2023). Bu durum havzadaki zeytin veriminde sıcak havza dalgasının etkisine bağlı 2017 yılındaki düşük verim değerini açıklanmaktadır.



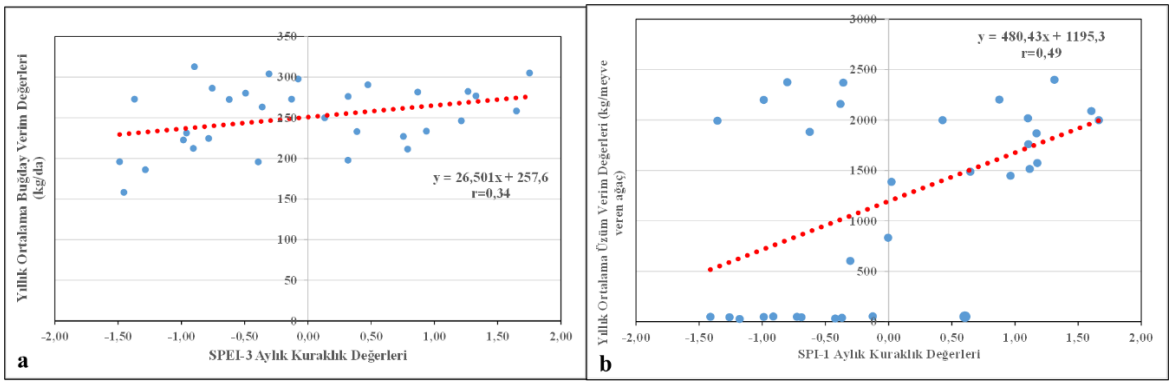
Şekil 47. Küçük Menderes Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Kuşadası İstasyonu Mart ayı; b: Zeytin grafiği Ödemiş İstasyonu Ekim ayı).

Gediz Havzası: Havzada yer alan bulunan 3 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürün üzüm olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Gediz, Salihli ve Akhisar İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisi havza genelinde SPEI-3 aylık indislerle temsil edilmektedir (Şekil 42). Buğday verimine olan etki Kasım ayında meydana gelen su açığı ile havzada belirgindir. Özellikle havzanın orta kesimindeki istasyonlarda meteorolojik kuraklıkların verime en fazla etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 71). Havzadaki

istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi korelasyon değerleri 0,49 ile -0,39 arasında değişmektedir. Gediz Havzası'nda istasyonlara göre en yüksek korelasyon değeri r=0,49 SPEI-9 aylıklarda Eylül ayında Salihli İstasyonunda görülmektedir. Ancak Eylül ayında buğday bitkisinin ekim dönemlerine karşılık gelmesi ile bir diğer en yüksek korelasyon değeri r=0,45 SPEI-3 aylık indisler değerlendirilirmiştir. SPEI-3 aylıklarda en yüksek korelasyon değeri Kasım ayı Salihli İstasyonunda belirlenmiştir. Yüksek korelasyonun belirlendiği Salihli İstasyonunda en yüksek verim değeri 498 kg/da aşırı nemli koşullarda (2,89) belirlenmiştir (Şekil 48). Kuraklığın en yüksek olduğu (-1,46) değerinde verim en düşük miktarında 158 kg/da'dır (Şekil 48). Kuzey Ege Havzası ile benzer şekilde en düşük verim değeri 2007 yılındadır. Türkiye bu yılda ortalamalarının altında yağış almış ve sıcaklıklar ortalama 1,5°C üzerindedir (Yılmaz, 2023). Bu durum Türkiye'de tarımsal üretimde verim kayıplarına neden olmuştur (Yılmaz, 2023). Havzada Kasım ayının genel olarak buğday ekim dönemine karşılık gelmesi bu dönemde toprakta yeteri kadar nem bulunmaması buğdayın çimlenme ve kök gelişimi aşamalarında su alımını kısıtlar. Bu durum, bitkinin sağlıklı bir şekilde büyümesini engelleyerek, verim kaybına yol açabilir (Ding, vd., 2016).

Havzada en fazla üretime sahip bir diğer tarımsal ürün üzümdür. Meteorolojik kuraklık ve Gediz Havzası'nda ikinci tarımsal ürünlerde istasyonlara göre korelasyon değerleri 0,49 ile -0,48 arasında değişmektedir. Havzadaki üzüm veriminde istasyonlara göre en fazla etki havzanın doğusunda SPI-9 ve 12 aylık indislere aittir (Şekil 75). Gediz İstasyonunda SPI/RDI ve aSPI-1 aylıklarda Haziran ayındaki kuraklıkların r=0,49 değerinde Akhisar İstasyonunda üzüm verimini etkilediği görülmektedir. Haziran ayı üzüm için çiçeklenmeden sonraki meyve tutma aşamasına karşılık gelir ve bu dönemde su ile besin ihtiyacı yüksek aşamadır (Schleip, vd., 2008). Üzüm kış aylarında azalan yağışlar ile toprak neminin azalması bitkilerin kök sisteminin zayıflaması ve yaz aylarında su alımının kısıtlanmasına etki etmektedir (González-Fernández, vd., 2020). Dağılım grafiğinde en düşük verim değeri aşırı kurak dönemde 276 kg/meyve veren ağaç olarak 1992 yılına aittir (Şekil 48). 1992 yılı Pinatubo volkanik patlamasına bağlı kış sıcaklıklarında azalma ve yağışta azalmaya sebep olmuştur (Güler ve Erlat, 2023). Özellikle de Küçük Menderes Havzası'nda artan kuraklık şiddetinin artarken sıklığının azaldığı farklı çalışmalarda da ifade edilmiştir (Eriş, vd., 2020). 2017 ve 2018 yıllarında normal nemlilik koşullarınsa en yüksek verim değerleri belirlenmiştir (Şekil 48).



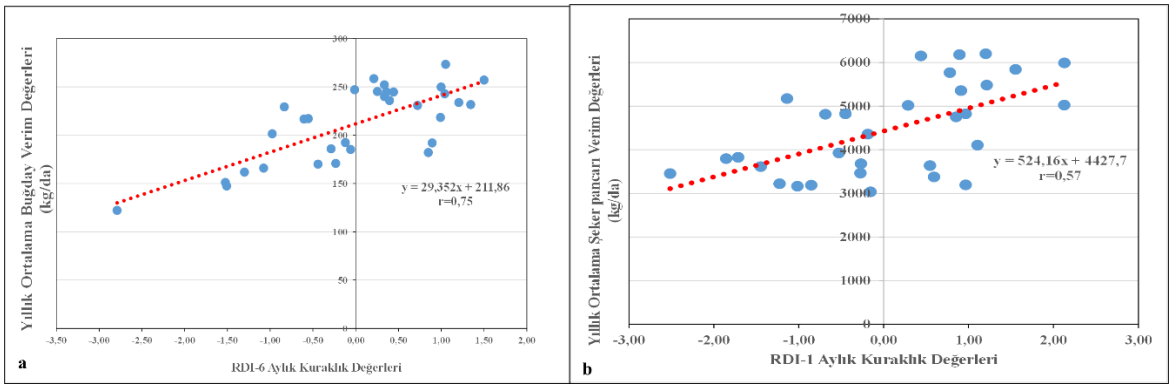
Şekil 48. Gediz Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Salihli İstasyonu Kasım ayı; b: Üzüm grafiği Akhisar İstasyonu Haziran ayı).

Sakarya Havzası: Havzada yer alan bulunan 14 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürün arpa ve şekerpancarı olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Ankara Bölge ve Ankara Esenboğa Havalimanı istasyonları dışında kalan Geyve, Sakarya, Beypazarı, Kızılcahamam, Nallıhan, Polatlı, Bilecik, Bozüyük, Ilgın, Yunak, Kütahya ve Emirdağ istasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelindeki meteorolojik kuraklıkların verimdeki etkisinin en iyi yansıtan kuraklık indisi SPI-12 aylıklardır (Şekil 42). İstasyonlardaki ortalama korelasyon değerlerinde havzada özellikle iç kesimlere doğru artış göstermektedir (Şekil 71). Havzaya ait istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi korelasyon değerleri -0,59 ile 0,75 arasındadır. Havza içerisindeki en yüksek korelasyon değeri Mayıs RDI-6 aylıkta Ankara Bölge İstasyonuna aittir. Mayıs ayında istasyona ait dağılım grafiğinde kuraklık şiddetinin artması ile verim değerlerinde azalma mevcuttur (Şekil 49). En yüksek kuraklık değerinin görüldüğü aşırı kurak (-2,79) en düşük verim 122,15 kg/da olarak görülmektedir. Aşırı kurak dönemdeki düşük verim değeri 2007 yılında görülür. Orta derece nemli dönemde (1,05) 273,34 kg/da olan en yüksek verim değerine ulaşılmıştır (Şekil 49). Genel olarak dağılım grafiğinde orta derece kurak ve orta derece nemli dönemlerde verim değerleri aşırı kurak dönemlere göre yüksektir (Şekil 49). Ayrıca havzanın kuraklık buğday veriminde en yüksek korelasyon katsayısına sahip Mayıs ayında aşırı kurak değerler Kızılcahamam İstasyonunda -3,34 ile 2007 yılında belirlenmiştir (Şekil 49). 2007 yılında verim değeri ise

Kızılcahamam İstasyonunda 129,12 kg/da olup en yüksek korelasyona sahip Ankara Bölge İstasyonu ile benzer şekildedir. Kuraklık şiddetinin arttığı 2007 yılı ilkbahar mevsiminde Mayıs ayında şiddetli ısınmanın olduğu döneme karşılık gelmektedir (Güler ve Erlat, 2023). Bu dönemdeki şiddetli ısınma aynı zamanda en düşük verim değerini göstermektedir. Mayıs ayındaki kuraklıklar bitkinin tane dolum dönemine karşılık gelir ve bu dönemdeki kuraklık stresi yaprak yaşlanmasını hızlandırarak fotosentezi ve kuru madde birikimi için depo kapasitesini azaltır (Aydın ve Öztürk, 2016). Özellikle Mayıs ayında aylık ortalama hava sıcaklıklarının 16°C'nin üzerine çıkması kuraklık şiddetinin artmasına neden olmuştur. Artan sıcaklıkların yanında 2007 yılı döneminde uzun süre normal sınır ve sınırın altında kalan yağışlar Sakarya havzası iç kesimleri ile ülkenin büyük bölümünde ciddi kurak döneme neden olmuştur (Türkeş, 2007a). Bu sebeple bu dönemdeki verimde düşüş kuraklığın başak oluşumu ve çiçeklenme sonrası yaprak alanı üzerindeki olumsuz etkisi ile ilişkilidir.

Havzada buğdaydan sonra en fazla yetiştirilen ürün olarak arpa ve şekerpancarı belirlenmiştir. Arpa Geyve, Beypazarı, Nallıhan, Kızılcahamam ve Bilecik İstasyonlarında en fazla üretim miktarına sahiptir. Şeker pancarı ise Sakarya, Beypazarı, Polatlı, Bozüyük, Ilgın, Yunak, Kütahya ve Emirdağ'da en yüksek üretim miktarına sahiptir. Havza genelinde tüm istasyonlarda meteorolojik kuraklıkların şeker pancarı veriminde etkisi yüksektir (Şekil 76). Havzaya ait istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim korelasyon değerleri -0,53 ile 0,57 arasındadır. En yüksek korelasyon değeri Sakarya Havzası'nda şeker pancarına aittir. Havzanın batı kesimindeki Kütahya İstasyonunda RDI-1 aylıklarda Haziran ayında r=0,57 yüksek korelasyon mevcuttur (Şekil 49). Haziran ayı şeker pancarı için büyüme ve yetişme evresi olan ikinci devreye karşılık gelmektedir. Bu dönemde bitkinin su ihtiyacı artmakta ve yeterli sulandığında yumrudaki şeker birikimi artış göstermektedir. Ancak Haziran ayında yüksek buharlaşma ve azalan yağış miktarı verim değerlerinde düşüşü gösterir. Dağılım grafiğinde kuraklığın arttığı dönemde azalan verim değerleri nemliliğin arttığı dönemde artış gösterir (Şekil 49). Aşırı kurak (-2,51) değerde 3,453 kg/da olan verim değeri 2001 yılına aittir. 2001 yılı Türkiye'de yaz mevsiminde en yüksek sıcaklıkların yaşandığı şiddetli sıcak hava dalgasının etkili olduğu dönemdir (Demirtaş, 2017a; Erlat, vd., 2021). Bu duruma bağlı olarak karasallık şiddetinin arttığı havzada artan kuraklık şiddeti verimde düşüşe neden olmuştur.



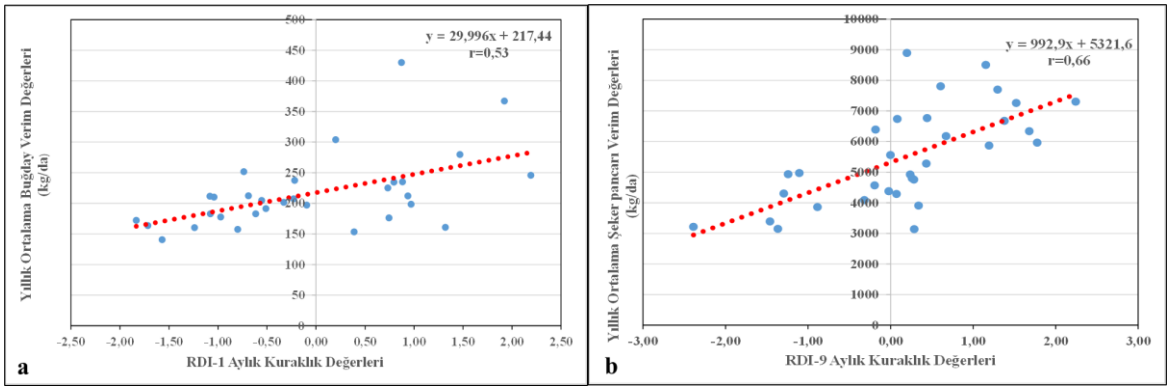
Şekil 49. Sakarya Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Ankara Bölge İstasyonu Mayıs ayı; b: Şeker pancarı grafiği Kütahya İstasyonu Haziran ayı).

Akarçay Havzası: Havzada yer alan bulunan 3 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürün şekerpancarı olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Afyon, Bolvadin ve Akşehir istasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havzada meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisi SPEI-1 aylık indislerde en iyi temsil edilip aynı zamanda Mayıs ayındaki kuraklıklar en önemli etkiye sahiptir (Şekil 42). İstasyonlara göre ortalama korelasyon değerlerinde uzun dönemli kuraklıkların verimdeki etkisi görülmektedir (Şekil 71). Havzadaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,50 ile 0,57 arasındadır. Akarçay Havzası'nda en yüksek korelasyon değeri SPEI-6 aylıklarda r=0,57 Haziran ayında Bolvadin İstasyonunda belirlenmiştir. Haziran ayının buğday gelişim döneminde son aşama olmasına bağlı olarak en yüksek korelasyon değerinin görüldüğü bir diğer değer incelenmiştir. Havzada en yüksek ikinci korelasyon değeri r=0,53 RDI-1 aylık değerlerde Şubat ayında artan kuraklığın azalan verimi etkilediği havzanın kuzeyindeki Bolvadin İstasyonundadır. Havzada aşırı kurak değerlerde (-1,30) verim değeri 172,0 kg/da olup 2021 yılına aittir (Şekil 50). 2021 yılı Şubat ayı yağışları normal değerlerinin altında kalmıştır (MGM, 2022k). Sıcaklıklarında aynı zamanda kış mevsiminde mevsim normallerinin 2,6 °C olması artan kuraklık ve verim kaybına neden olmaktadır (MGM, 2022k). Özellikle Şubat ayındaki nem eksikliği başak başına çekirdek gelişimini engelleyebilir ve tahıl veriminin hayati bileşenleri olan çekirdek ağırlığını azaltabilir

(Guttieri, vd., 2001). Dahası, kuraklık koşulları diğer çevresel streslerin etkilerini daha da kötüleştirebilir. Örneğin, genellikle kuru koşullara eşlik eden yüksek sıcaklıklar, bitkileri daha fazla strese sokarak fotosentetik oranların düşmesine ve tane dolum sürelerinin kısalmasına neden olabilir (Holman, 2024). Kuraklık ve sıcaklık stresinin bu kombinasyonu, buğday mahsullerinin genel verim potansiyelini önemli ölçüde azaltabilir, çünkü her iki faktör de tahıl gelişimi için gerekli fizyolojik süreçlere zarar verir (Djanaguiraman, vd., 2020). Aynı zamanda en yüksek verim değeri normal kurak koşullarda (0,80) 430 kg/da 2010 yılında elde edilmiştir (Şekil 50).

Şeker pancarı veriminde meteorolojik kuraklıklar ile olan ortalama korelasyon sonuçlarında tüm istasyonlara göre değişimde havzada RDI-1 aylık indislerde yüksek değerler dikkat çekmektedir (Şekil 76). Havzada bulunan istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürün şeker pancarına ait verim korelasyon değerleri -0,56 ile 0,66 arasındadır. Akarçay Havzası'nda RDI-9 aylıklarda en yüksek korelasyon değeri Akşehir İstasyonunda Eylül ayında öne çıkmaktadır. Havzada yüksek sıcaklık ve artan buharlaşmaya bağlı r=0,66 orta korelasyon değeri mevcuttur (Şekil 50). Bu dönemde yüksek buharlaşma ve azalan yağış miktarı verim değerlerinde düşüşü gösterir (Şekil 50). Eylül ayı ise şeker pancarının gelişimindeki şeker biriktirme aşaması olan son dönemi ifade etmektedir. Her ne kadar bu dönemde bitkinin su ihtiyacı azalmış olsa da bu dönemde artan sıcaklıklar bitkiyi olumsuz etekleyebilmektedir. Eylül ayında sıcaklıkların artması ile şeker pancarındaki gelişme durarak bitki yumruda depoladığı şekeri harcar (Özçağlar, 1992). Bu durum yumrunun irileşmesini engelleyerek verim düşüşüne neden olmaktadır (Kadıoğlu, 2009). Eylül ayında artan sıcaklık ve buharlaşmanın verime olan etkisi aşırı kurak değerde (-2,38) 3,215 kg/da 2001 yılına aittir (Şekil 50). 2001 yılı Türkiye'de Sakarya Havzası ile benzer şekilde en yüksek yaz sıcaklıklarının yaşandığı yıldır. Yaz kuraklıklarının sonbahar mevsimine olan etkisi ile Akşehir İstasyonunda en düşük verim değeri belirlenmiştir.



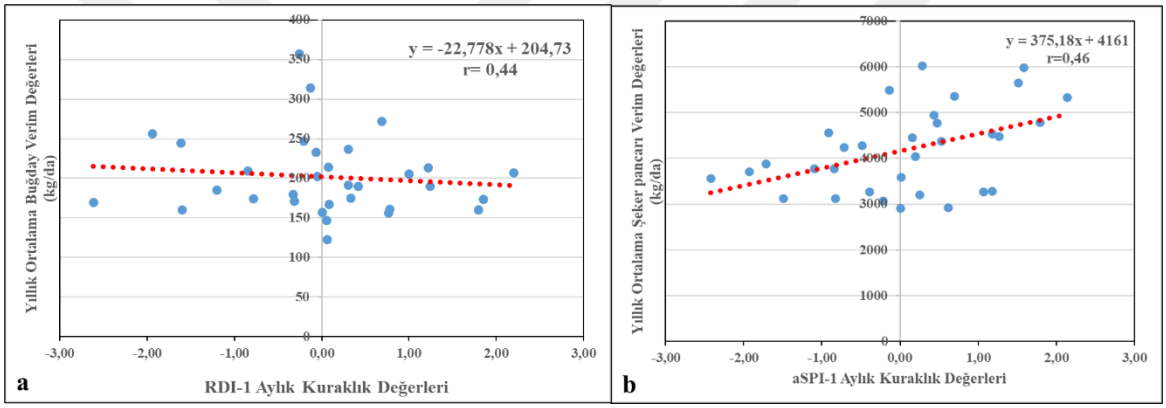
Şekil 50. Akarçay Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Bolvadin İstasyonu Şubat ayı; b: Şeker pancarı grafiği Akşehir İstasyonu Eylül ayı).

Burdur-Göller Havzası: Havzada yer alan bulunan 2 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürün şekerpancarı olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Burdur ve Tefenni İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde buğday verimindeki meteorolojik kuraklıkların verime etkisini yansıtan kuraklık indisi SPI-6 aylıklar olup en fazla etki Şubat ayındaki kuraklıklar ile ilişkilidir (Şekil 42). Havzaya ait meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,46 ile 0,44 arasındadır. En yüksek korelasyon değeri havzada RDI-1 aylıklarda r=0,44 Mart ayında Tefenni İstasyonundadır. Dağılım grafiğine baktığımızda havzada aşırı kurak değerlerde (-2,62) 169 kg/da verim değeri 2001 yılındadır (Şekil 51). En yüksek ve en düşük verim değerlerinin normal kurak koşullarda görüldüğü dikkat çekmektedir (Şekil 51). Nemlilik arttıkça verimde artış mevcut olsa da genel olarak çok yüksek artışlar mevcut değildir. 2001 yılı Türkiye'de şiddetli kuraklıkların uzun süreli olarak etkili olduğu bir yıldır. Bu sebeple buğday gelişiminde önemli bir ay olan Mart ayında azalan yağış ve artan sıcaklıklar buğday verimini ciddi oranda etkiler. Özellikle bu ay bitkinin büyüme dönemi olup çiçeklenme ve tane dolumuna hazırlık yaparken en çok besin ve suya ihtiyaç duyduğu dönemdir (Çetin vd., 2014).

Havzada bulunan istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve en fazla üretimi yapılan şeker pancarına ait verim korelasyon değerleri -0,42 ile 0,46 arasındadır. Burdur-Göller

Havzası'nda, aSPI-1 aylıklarda Tefenni İstasyonunda Haziran ayında ait yüksek korelasyon mevcuttur. Haziran ayı şeker pancarı için büyüme ve yetişme evresi olan ikinci devreye karşılık gelmektedir. Bu dönemde bitkinin su ihtiyacı artmakta ve yeterli sulandığında yumrudaki şeker birikimi artış göstermektedir. Burdur-Göller havzası r=0,46 Haziran ayında aSPI-1aylıklarda görülen yüksek korelasyon artan sıcaklık ve buharlaşma şiddetinin verimi etkilediğini ifade etmektedir. Bu dönemde yüksek buharlaşma ve azalan yağış miktarı verim değerlerinde düşüşü gösterir (Şekil 51). Aşırı kurak değerde (-2,42) belirlenen 1991 yılında 3571 kg/da verim değeridir. Yüksek nemlilik koşullarında artan verim değerleri belirgindir. En yüksek verim değeri normal kurak koşullarda (0,28) 2020 yılında 6,023 kg/da'dır (Şekil 51).



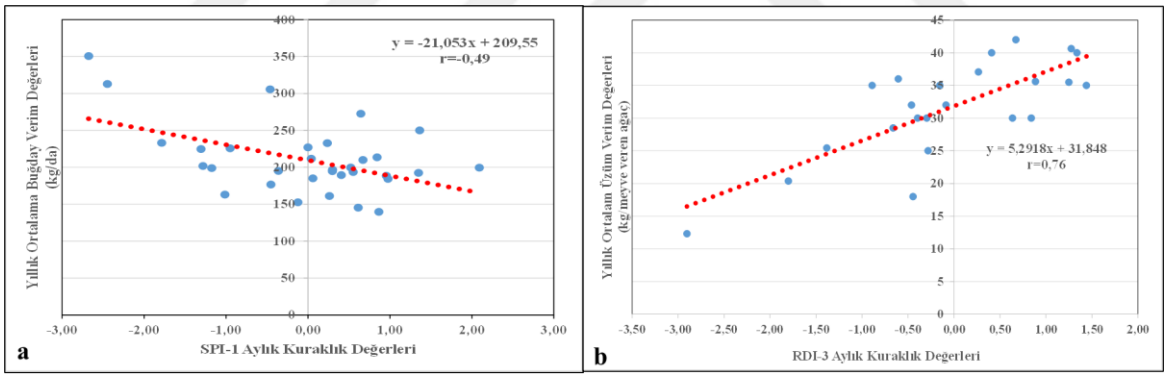
Şekil 51. Burdur-Göller Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Tefenni İstasyonu Mart ayı; b:Şeker pancarı grafiği Tefenni İstasyonu Haziran ayı).

Büyük Menderes Havzası: Havzada yer alan bulunan 8 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler şekerpancarı, incir, mısır ve arpa olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Aydın, Sultanhisar ve Nazilli istasyonlarında incir, Yatağan İstasyonunda mısır, Güney ve Uşak İstasyonlarında arpa, Dinar İstasyonunda ise şekerpancarı ikinci ürün olarak değerlendirilmiştir. Havzada bulunan istasyonların buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde kuraklıkların verime olan etkisi SPI-3 aylık indislerde en iyi şekilde temsil edilmektedir ve Aralık ayındaki kuraklıklar havza genelinde verimde etkili olmaktadır (Şekil 42). Havzadaki istasyonlarda ortalama kuraklık değerlerinin değişimi tüm istasyonlarda yüksek değerlere sahiptir (Şekil 71). Havzadaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,51 ile 0,43 arasındadır. En yüksek korelasyon olan -0,51 ve -0,53 arası değerler genellikle buğday gelişim dönemlerinin dışında kalması sebebiyle değerlendirilmemiştir. Bu neden ile en yüksek korelasyon değeri r=-0,49 SPI-1 aylıklarda Aralık ayında Güney İstasyonunda belirlenmiştir. Susurluk Havzası ile benzer şekilde Aralık ayında görülen negatif korelasyon değerleri yaşanan nemli koşullar bitkinin fungal hastalıkların yayılmasını arttırabilir ya da kök çürüklüğü gibi hastalıklara zemin hazırlayarak verim kaybına neden olabilir (Gültekin, vd.2017; İrdem, 2022). Aynı zamanda bu dönemdeki yüksek nemlilik, buğdayın olgunlaşma sürecini geciktirerek, hasat zamanını uzatabilir ve bu da verim kaybına neden olabilir (İrdem, 2022). Aşırı nem, kök solunumu için kritik öneme sahip olan toprak havalanmasının zayıflamasına yol açabilir. Kökler oksijenden mahrum kaldığında, bodur büyüme ve verim oluşumu için gerekli olan kardeşlenmenin azalmasıyla sonuçlanabilir (Grant, vd., 2011). Ayrıca, yüksek nem su alımı ve terleme dengesini bozarak büyüme ve gelişmeyi engelleyebilecek fizyolojik strese yol açabilir (Farooq, vd., 2015). Aralık ayında yaşanan kuraklık, bitkilerin kök sisteminin derinleşmesine ve su kaynaklarını daha verimli kullanmasına olanak tanıyabilir. Bu, bitkinin suya erişimini artırarak, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde verim artışına yol açabilir (Gülser ve Kızılkaya, 2020). Aşırı kurak değerlerde (-2,68) 350 kg/da buğday verimi 2006 yılına aittir (Şekil 52). En düşük verim değeri ise 139 kg/da normal kurak koşullarda (0,89) elde edilen verim değeri mevcuttur (Şekil 52). Aralık ayı buğday gelişim döneminde kışlama dinlenme dönemini ifade etmektedir. Bu dönemde artan sıcaklık değerleri bitki gelişimini hızlandırdığı gibi yüksek nem miktarı hastalıklar ile verimde düşeşe neden olabilmektedir. En şiddetli kuraklığın yaşandığı yılda görülen yüksek verim bölgedeki su kaynaklarının tarımsal sulamada kullanılmasına bağlı negatif korelasyon değerleri ile de ilişkilendirilebilir (Duygu, 2015).

Havzadaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim arasındaki korelasyon değerleri -0,46 ile 0,78 arasındadır. Havzada belirlenen ikinci ürünler arasında en yüksek korelasyon değeri incire aittir. En yüksek korelasyon değeri r=0,76 Aydın İstasyonunda RDI-3 aylık indislerde Mart ayında belirlenmiştir. Ancak Aydın İstasyonunda

incir üretimine ait verim değerleri 2013 yılına kadar bulunmaktadır. En düşük verim değeri 12 kg/meyve veren ağaç aşırı kurak koşullarda (-2,90) 2007 yılına aittir. Eylül ayına kadar incirler olgunluğa ulaşır ve hasat için hazır hale gelir. Kuraklık stresi bu aşamada daha önceki aşamalara kıyasla daha az etkili olsa da bitkinin genel sağlığını ve hasat edilen incirlerin kalitesini etkileyebilir. Kuraklık koşulları düzensiz olgunlaşmaya ve düşük meyve kalitesine yol açabilir (Pothasin, vd., 2016). 2007 yılında Türkiye'nin büyük bir alanında yağışların ortalamaların altında kalması ciddi kurak döneme neden olmuştur (Taşkın vd. 2022). Yüksek verim değerleri 2012 yılında 42 kg/meyve veren ağaç, 2013 yılında ise 41 kg/meyve veren ağaç şeklinde belirlenmiştir. 2012 yılındaki yüksek verim değerleri normal kurak koşullarda (0,67) iken 2013 yılındaki verim şiddetli nemli dönemde (1,28) alınan verim değeridir (Şekil 52). 2012 yılında yağışlarda normal değerlere göre %16 oranında artış mevcuttur ve özellikle havzanın yer aldığı Ege Bölgesi'nde normal değerlere göre %50 oranında artışlar tespit edilmiştir (MGM, 2013c). Bu artış verim değerlerinde en yüksek değere karşılık gelmektedir (Şekil 52). 2013 yılı yağış değerlerinde görülen %11 oranındaki artış verimi olumlu etkilemiştir (MGM, 2014d).



Şekil 52. Büyük Menderes Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Güney İstasyonu Aralık ayı; b: İncir grafiği Aydın İstasyonu Mart ayı).

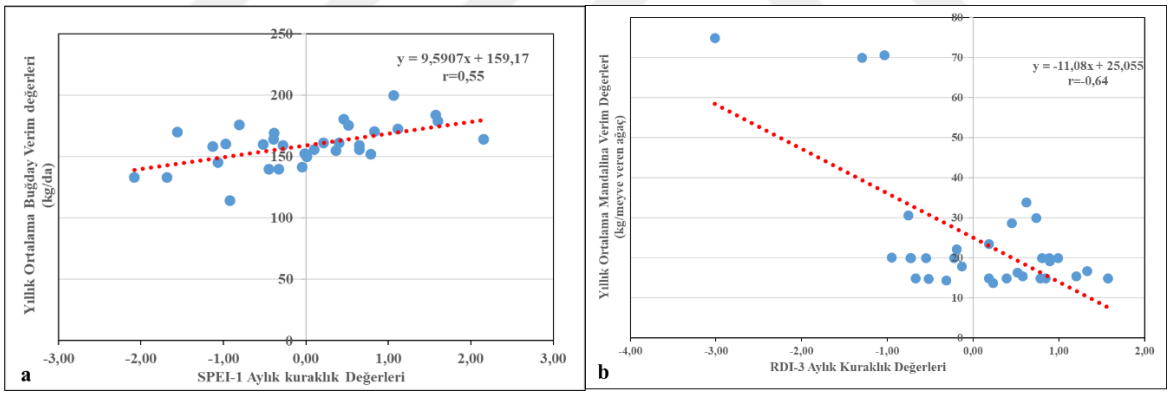
Batı Akdeniz Havzası: Havzada yer alan bulunan 11 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa, şeker pancarı, portakal, zeytin ve mandalina olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Bodrum istasyonunda mandalina, Finike İstasyonunda portakal, Acıpayam istasyonunda arpa, Elmalı İstasyonunda şekerpancarı, Milas, Datça, Muğla, Marmaris,

Fethiye ve Köyceğiz İstasyonlarında zeytin ikinci ürün olarak değerlendirilmiştir. Havzada bulunan istasyonların buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların verimdeki etkisi SPEI-1 aylık indislerle en iyi şekilde temsil edilirken verimdeki kuraklığın havza genelini etkilediği ay Nisan ayıdır (Şekil 42). Havzadaki istasyonların genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisinin yüksek olduğu ortalama korelasyon değerlerine göre belirlenmiştir (Şekil 71). Havzaya ait istasyonların meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,51 ile 0,55 arasındadır. Batı Akdeniz Havzası'nda yüksek korelasyon değeri r=0,55 Finike İstasyonunda Mayıs ayı SPEI-1 aylık indislerdedir. Dağılım grafiğine baktığımızda artan sıcaklıklar ve buharlaşmanın etkisi ile kuraklıkların buğday veriminde azalmaya neden olduğu nemlilik koşulları ile artan buğday verimi görülmektedir (Şekil 53). En düşük verim değeri 114 kg/da normal kurak koşullarda (-0,92) 2018 yılındadır. 2018 yılı sıcaklıkları normal sıcakların üzerinde gerçekleşmiş ve bu yıl 1998 yılından sonra en sıcak 2. yıl olarak kaydedilmiştir (MGM, 2019ı). Bu durum artan buharlaşma ile verimde düşüşe neden olmaktadır. Mayıs ayında buğdayda başaklanma ve olgunlaşma aşamalarına yaklaşırken, su stresi bitkinin gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir. Kuraklık koşulları, bitkinin su alımını kısıtlayarak, fotosentez, büyüme ve verim üzerinde olumsuz etkiler yaratır (Gülser ve Kızılkaya, 2020; Öztürk ve Korkut, 2018). Buğdayın su ihtiyacının karşılanamaması, başaklanma ve tane dolum süreçlerini olumsuz etkileyerek, verim kayıplarına yol açabilir. En yüksek verim değeri 200 kg/da ise 2012 yılında ve şiddetli nemli koşullarda (1,06) elde edilmiştir (Şekil 53).

Havzaya ait istasyonların meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlerin verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,64 ile 0,49 arasındadır. Havzada belirlenen ikinci ürünler arasında en yüksek korelasyon değeri mandalinaya aittir. Yüksek korelasyon değeri r=-0,64 RDI-3 aylıklarda Bodrum İstasyonunda Haziran ayındadır. Dağılım grafiğinde en yüksek verim değeri 2022 yılında 75 kg/meyve veren ağaç aşırı kurak (-3,02) koşullarda belirlenmiştir (Şekil 53). Diğer yüksek verimlerin mevcut olduğu yıllarda 2020 yılında70 kg/meyve veren ağaç iken 2021 yılında 71 kg/meyve veren ağaç değerleri şiddetli kurak (-1,30 ile-1,04) koşullardadır (Şekil 53). Genellikle mandalina yetiştiriciliğinde mayıs gübrelemesinden sonra mayıs ortası veya haziran başından itibaren genellikle toprağın yağışlarla ıslanması beklenemeden ağaçların sulanması gerekir. Bazı yıllar, yağışların erken

veya geç kesilme durumuna göre sulama dönemleri değişkenlik gösterebilir. Kurak dönemde verimin fazla olmasında ise mandalinaların sulanmasında genellikle damlama sulama yöntemi tercih edilmesi etkili olmuştur. Bu yöntem, su tasarrufunu artırmak ve toprağın verimliliğini korumak açısından etkili bir çözüm sunmaktadır. Son yıllarda ılıman geçen kışlar, mandalina ağaçlarının don zararından korunmasına ve sağlıklı bir şekilde çiçeklenmesine olanak tanımıştır. Bu durum mandalina verim değerleri ve kuraklık arasındaki negatif ilişkiyi açıklamaktadır. Haziran ayı, mandalina ağaçları için genellikle meyve tutumu ve meyve büyüme dönemi olarak tanımlanır. Bu dönemde elde edilen en düşük verim değerleri 1991 ile 1992 yıllarında 16 ile 17 kg/meyve veren ağaç olarak şiddetli nemli (1,20 ile 1,33) dönemlerde elde edilmiştir (Şekil 53). Bu dönemler her ne kadar nemlilik yüksek olsa da volkanik patlamaya bağlı düşük sıcaklıkların yaşandığı yıllar olması verimde etkili olabilir (Güler ve Erlat, 2023). Nemliliğe rağmen azalan verim mantar hastalıkları (örneğin, kök çürüklüğü ve yaprak lekesi) riskini artırabilir. Bu durum, ağaçların sağlığını ve meyve kalitesini olumsuz etkileyebilir. Aynı zamanda aşırı nemlilik, meyve kabuğunda çatlama ve deformasyon gibi kalite sorunlarına yol açabilir.



Şekil 53. Batı Akdeniz Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Finike İstasyonu Mayıs ayı; b: Mandalina grafiği Bodrum İstasyonu Haziran ayı).

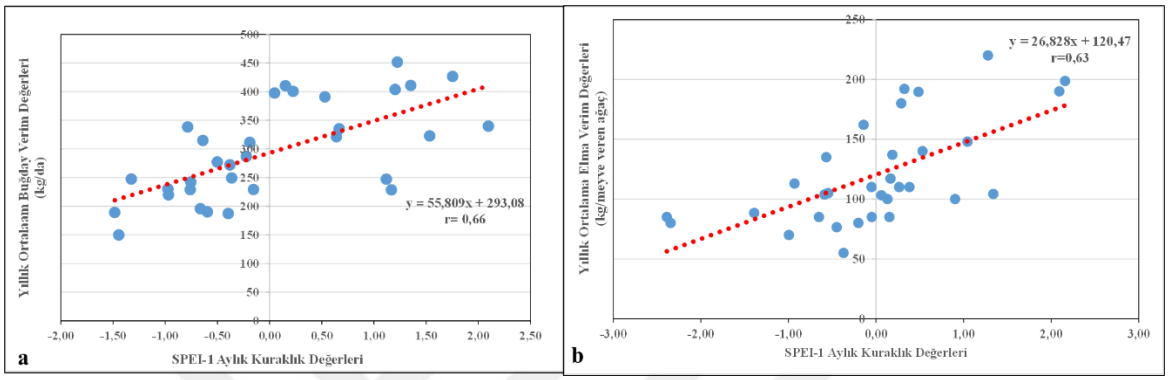
Antalya Havzası: Havzada yer alan bulunan 8 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa, şeker pancarı, portakal ve elma olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Eğirdir ve Uluborlu'da arpa, Senirkent ve Korkuteli'nde şekerpancarı, Alanya, Antalya ve Manavgat'ta

portakal, Isparta'da elma ikinci ürün olarak değerlendirilmiştir. Havzada bulunan istasyonların buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havzada kuraklıkların etkisinin en iyi yansıtıldığı indis türü SPEI-6 aylık indis olup en fazla etki havza genelinde Mayıs ayındadır (Şekil 42). Bu indis türünde genel olarak havzada güney kesimden kuzey kesimdeki istasyonlara doğru ortalama korelasyon değerlerinde artış görülmektedir (Şekil 71). Meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,62 ile 0,66 arasında değişmektedir. En yüksek korelasyon değeri SPEI-1 Kasım ayı Manavgat İstasyonuna aittir. SPEI-1 aylık dönemde yüksek korelasyon görülmesi sıcaklık artışı ile yüksek buharlaşmanın ani ve yoğun şiddette yağışlara neden olarak kuraklığı ifade etmesidir (Öz, vd., 2024). Manavgat İstasyonunda orta derece kurak koşullarda (1,48) verim 189,00 kg/da 2015 yılına aittir (Şekil 54). 2015 yılı genel olarak buğday üretiminde verim değerleri yüksek olarak belirlense de Manavgat İstasyonu için verim değeri düşüktür (Altan, vd., 2020). Verimin en düşük olduğu 2010 yılında orta derce kurak (-1,44) ile verim 149,74 kg/da'dır (Şekil 54). Buğday üretiminin yağışa bağlı olarak yapıldığı ülkemizde verimdeki azalmaların en büyük sebebi buğdayın dane büyüme döneminde yüksek sıcaklık ve kuraklığa maruz kalmasıdır (Sayılgan, 2016). 2010 yılı Türkiye'de Rusya merkezli en yüksek sıcaklıkların görüldüğü dönem olup verim değerlerinde azalmalara neden olmuştur (Barriopedro, vd., 2011). Nemliliğin yüksek olduğu koşullarda artan verim değerleri görülse de aşırı nemli koşulda (2,10) 2001 yılında verim 339,67 kg/da'dır. En yüksek verim değeri (1,23) ile orta derece nemli durumda 2000 yılında 451,32 kg/da'dır (Şekil 54).

Havzada bulunan istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlerin verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,57 ile 0,64 arasında değişmektedir. İkinci ürünler arasından en yüksek korelasyon değeri meteorolojik kuraklıklar ve elma verim değerleri arasında belirlenmiştir (Şekil 54). Isparta İstasyonunda SPEI-1 aylıklarda r=0,63 Nisan ayına aittir. Özellikle istasyondaki ortalama korelasyon değerleri SPEI ve RDI 1 aylık indislerde yüksek değere sahiptir (Şekil 77). Nisan ayında artan kuraklık şiddeti elma gelişim döneminde çiçeklenme dönemine karşılık gelmektedir. Bu dönemde artan buharlaşma şiddeti ve toprakta yeterli miktarda nem bulunmaması artan su ihtiyacının karşılanmasını engeller. Kuraklık koşulları, su alımını kısıtlayarak bitkilerin büyümesini olumsuz etkileyebilir. Su stresi, çiçeklerin döllenmesini ve meyve tutumunu azaltarak verim kaybına

yol açabilir (Bilgin, 2019). Dağılım grafiğinde aşırı kurak değerlerde 2018 yılında 80 kg/meyve veren ağaç verim değeri belirlenmiştir (Şekil 54). Nemlilik değerlerinin artması en yüksek verim değerinin 1997 yılında 220 kg/meyve veren ağaç olmasını sağlamıştır (Şekil 54). Özellikle karasal iklim bölgesinde bulunan Isparta'da ilkbahar döneminde artması beklenen yağışların azalması verimde de düşüşlere karşılık gelmektedir.



Şekil 54. Antalya Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Manavgat İstasyonu Kasım ayı; b: Elma grafiği Isparta İstasyonu Nisan ayı).

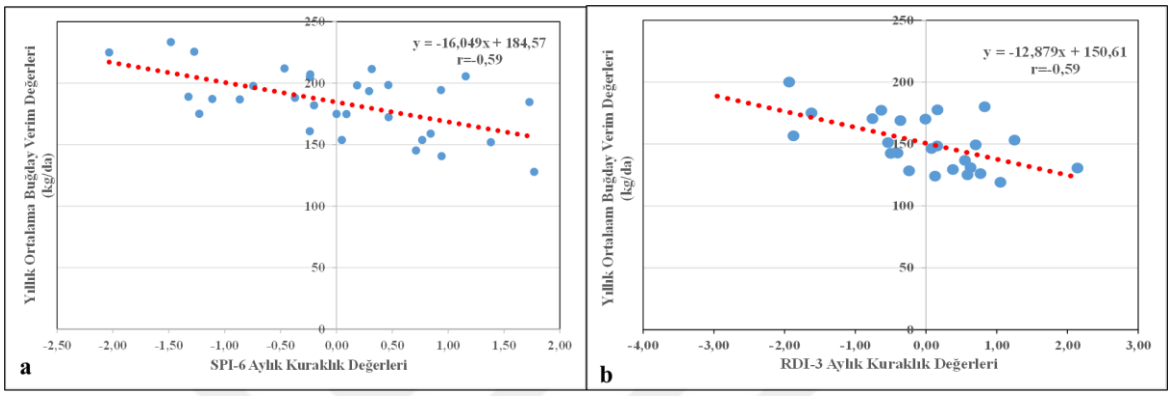
Doğu Akdeniz Havzası: Havzada yer alan bulunan 6 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa, üzüm ve portakal olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Hadim İstasyonunda arpa, Gazipaşa ve Anamur'da portakal, Silifke ve Erdemli 'de üzüm ikinci ürün olarak değerlendirilmiştir. Havzada bulunan istasyonların buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde kuraklıkların etkisi SPI-9 aylık indisler ile en iyi şekilde yansıtırken kuraklıkların verim üzerindeki etkisi Aralık ayında görülmektedir (Şekil 42). İstasyonlar kıyı kesimde yer almakta olup havzadaki tüm istasyonlarda özellikle doğu kesimde artan kuraklık etkisi belirgindir (Şekil 71). Havzadaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,59 ile 0,67 arasındadır. En yüksek korelasyon katsayısı r=-0,59 Ocak ayı SPI-6 aylıklarda Gazipaşa İstasyonuna aittir. Dağılım grafiğinde en düşük verim şiddetli nemli dönem (1,77) 1998 yılında 128,00 kg/da olarak belirlenmiştir (Şekil 55). Aşırı kurak dönemde (-2,03) 225 kg/da olup 2012 yılına aittir. 2019-2022 yılları

arasında verim değerleri 141 kg/da ile 159 kg/da arasında değişirken bu değerler (0,89 ile 0,71) arasındaki normal kurak koşullarda belirlenmiştir (Şekil 55). Gazipaşa İstasyonun çalışma alnın kıyı kesiminde yer alması ve Akdeniz iklim özellikleri sebebiyle kış aylarında aldığı yağışlar verimi etkilemektedir. Yüksek verim değerlerinin görüldüğü 234 ve 226 kg/da verim değerleri 2000 ve 2001 yıllarında elde edilmiştir (Şekil 55). Bu dönemler yaz mevsiminde şiddetli sıcaklıkların yaşandığı döneme karşılık gelir (Demirtaş, 2017a). Ancak Yüksek verim değerleri elde edilen kurak dönemlerde su sınırlı olduğunda, bitkiler genellikle neme erişmek için daha derin kök sistemleri geliştirir, bu da besin alımının ve sonraki stres faktörlerine karşı direncin artmasına neden olabilir (Wan, vd., 2022). Ayrıca kuraklık, bitkinin genel canlılığını ve verim potansiyelini artıran stresle ilgili bazı proteinlerin üretimini teşvik edebilir (Wan, vd., 2022). Yarı kurak bölgelerde buğday, mevcut nemi daha verimli bir şekilde kullanmaya adapte olmuş ve aşırı nemin hastalıklara ve besin sızıntısına yol açabileceği daha nemli ortamlara kıyasla daha yüksek verime yol açmıştır (Romano, vd., 2015). Özellikle Ocak ayı yağışları 2019, 2021 ve 2022 yıllarında normal değerlerin üzerinde iken 2020 yılında normal değerlerin altındadır (MGM, 2019ı; MGM, 2020i; MGM, 2021j; MGM, 2022k). Bu durum grafikte nemli koşullarda azalan verim değerlerini de etkilemiştir (Şekil 55). Aşırı nem, nemli koşullarda gelişen mantar enfeksiyonları gibi hastalıklara karşı artan duyarlılık da dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik streslere yol açabilir (Vannoppen ve Gobin, 2021b). Yüksek nem tahıl kalitesini ve gelişimini olumsuz etkileyerek protein içeriğinin ve genel verimin düşmesine neden olabilir (Shah, 2024). Çalışmalar, Ocak ayı gibi kritik büyüme aşamalarında yüksek yağış seviyelerinin, bu olumsuz etkiler nedeniyle azalan verimle ilişkili olduğunu göstermiştir (Vannoppen ve Gobin, 2021b).

Doğu Akdeniz Havzası'ndaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci tarımsal ürünler arasındaki korelasyon değerleri -0,59 ile 0,38 arasında değişmektedir. Yüksek negatif korelasyonun belirlendiği Hadim İstasyonunda arpa bitkisinde Aralık ayı RDI-3 aylıklarda belirlenmiştir (Şekil 73). İstasyona ait en yüksek verim değerlerinin bulunduğu 1999 (351 kg/da), 2012 (255 kg/da), 2013 (242 kg/da), 2014 (230 kg/da) yılları ve en düşük verimin olduğu 2016 (87 kg/da) yılları çıkarılarak dağılım grafiği oluşturulmuştur. Aşırı kurak dönem -1,94'te verim değeri 200 kg/da 2015 yılındadır (Şekil 55). Aşırı nemli 2,34'te ise 2001 yılında 131 kg/da verim değeri belirlenmiştir (Şekil 55). Arpanın gelişim dönemleri içerisinde dinlenme dönemine karşılık gelen Aralık ayında nemliliğin yüksek olması bitkide mantar hastalıklarının yayılarak verimde azalmaya sebep

olmaktadır. Özellikle Ramularia collo-cygni gibi patojenler, yüksek nem koşullarında daha aktif hale gelir ve bu da yaprak lekelerine ve erken yaşlanmaya yol açar (Bello ve Walker, 2017). Aralık ayındaki düşük sıcaklıklar ve yüksek nem, arpanın kışlama sürecini etkileyebilir; aşırı nem, kök çürümesine yol açabilirken, yetersiz nem ise bitkinin sağlığını tehdit edebilir (Bello ve Walker, 2017).



Şekil 55. Doğu Akdeniz Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Gazipaşa İstasyonu Ocak ayı; b:Arpa grafiği Hadim İstasyonu Aralık ayı).

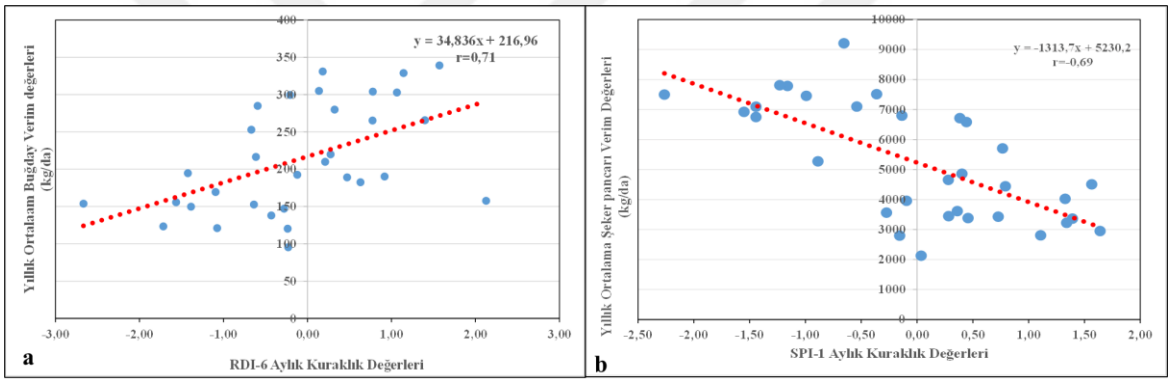
Konya Havzası: Havzada yer alan bulunan 11 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa ve şeker pancarı olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Konya Havalimanının bulunduğu Selçuklu İstasyonunda arpa, Cihanbeyli, Kulu, Aksaray, Çumra, Karaman, Karapınar, Niğde, Beyşehir, Seydişehir, Ereğli İstasyonlarında şeker pancarı ikinci ürün olarak değerlendirilmiştir. Havzada bulunan istasyonların buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havzanın etrafında bulunan denize paralel yüksek dağlık alanlar nemli hava kütlelerinin iç kesimlere sokulmasını engellemektedir. Bu sebeple kapalı havza özelliği kuraklık şiddetinin artarak daha sık görülmesindeki en temel faktörlerden biridir. Havzada yazlar sıcak ve kurak iken kış mevsimi soğuk ve az yağışlı olarak geçmektedir (Taş ve Yıldırım , 2020). Özellikle hazirandan itibaren azalan yağış tutarları temmuz-eylül dönemlerinde aylık 10 mm altına inmekte ve ekim ayından itibaren aylık toplam 50 mm'yi

aşmayan yağış dönemleri mevcuttur (Sarış ve Gedik, 2021). Havza genelinde kuraklıkların verime etkisini en iyi yansıtan indis SPEI-9 aylıklar olup Mayıs ayındaki etki yüksektir (Şekil 42). Havzanın batı kesimindeki istasyonlarda özellikler meteorolojik kuraklık etkisi ön plandadır (Şekil 71). Havza içeresindeki istasyonların meteorolojik kurakların buğday verimine etkisinde korelasyon değerleri -0,55 ile 0,77 arasında değişmektedir. En yüksek korelasyon değerinin Konya İstasyonu SPEI-6 aylık kuraklık indisinde Temmuz ayında r=0,77 olarak belirlenmiştir. Ancak temmuz ayında buğdayın hasat edilmiş olmasına bağlı olarak en yüksek korelasyonun belirlendiği diğer istasyon değerlendirilmiştir. Cihanbeyli İstasyonunda meteorolojik kuraklıklar ve buğday verim değerleri arasındaki ilişki RDI-6 aylıklarda r=0,71 olup bu değer Mart ayına aittir. Mart ayı buğday gelişim dönemleri içerisindeki önemli aylardandır. Çünkü buğday Mart ve Nisan aylarında ve bitkinin yaprak sayısının arttığı, gövde gelişiminin hızlandığı bir dönemdir. Bu dönemde su ve besin maddeleri alımı, bitkinin sağlıklı gelişimi için kritik öneme sahiptir (Chen, vd., 2018). Dağılım grafiğinde görüldüğü gibi kuraklığın şiddetlendiği dönemde azalan verim değerleri görülür (Şekil 56). Özellikle havzanın orta kesiminde bulunan Cihanbeyli İstasyonu kuraklık şiddetinin etkisinin daha fazla görüldüğü alandır. Aşırı kurak değerde (-2,07) 2021 yılında azalan verim değeri dikkat çekmektedir (Şekil 56). 2021 yılı Mart ayı ortalama sıcaklıkları normalin altında ve yağış değerlerinin %9 oranında azalmıştır (MGM, 2022k). Yağışlardaki bu azalma Mart ayındaki yüksek korelasyonu açıklamaktadır. En yüksek verim değeri de aşırı nemli koşullarda (2,09) 339 kg/da 2011 yılındadır (Şekil 56). Sıcaklıklar bu yılda mevsim normallerinde gerçekleşirken yağışlar azalsa da buharlaşma miktarının azalması verim değerlerini etkilememiştir.

Konya Havzası'ndaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci tarımsal ürünler arasındaki korelasyon değerleri -0,69 ile 0,64 arasında değişmektedir. En yüksek korelasyon değerinin belirlendiği şeker pancarı verimi ve meteorolojik kuraklıklar arasında negatif ilişki mevcuttur. Konya Havzası'nda artan nemlilik koşullarına rağmen azalan verim değerleri dikkat çekmektedir (Şekil 56). Havza genelinde istasyonlara göre kuraklığın verimdeki etkisinin dağılımında özellikle RDI ve aSPI indislerinin 1 aylık dönemlerinde yüksek ilişki mevcuttur. Nisan ayında Konya Havzası r=-0,69 SPI-1 aylıklarda Aksaray İstasyonunda şeker pancarında orta negatif korelasyon ilişkisi mevcuttur (Şekil 56). Dağılım grafiği 57'de görüldüğü gibi en yüksek verim değeri 9,205 kg/da normal kurak koşullarda (-0,65) belirlenmiştir. En yüksek verim değeri 2020 yılındadır. Aşırı kurak koşullarda (-2,26)

7,494 kg/da verim değeri mevcuttur (Şekil 56). 2020 yılı Nisan ayında Aksaray'ın yer aldığı İç Anadolu Bölgesi'nde sıcaklıklar normal değerlerde iken yağış değerleri normalin altında bir önceki yıla göre %14,9 oranında azalmıştır (MGM, 2021j). Şiddetli nemli dönemde ise (1,64) 1995 yılında 2,948 kg/da düşük verim değeri görülmektedir (Şekil 56). Şeker pancarı için Şubat, Mart ve Nisan ayları ekim yapılan ve çimlenmenin gerçekleştiği döneme karşılık gelmektedir. Genellikle şeker pancarının ekim dönemine karşılık gelen bu dönemde toprakta belirli yüksek miktarda su bulunması ekim zamanının gecikmesine ve aynı zamanda topraktaki tohumun zarar görmesine sebep olmaktadır (Kadıoğlu, 2009). Bu sebeple artan nemlilik verim kayıplarına yol açmaktadır. Konya Havzası'nda negatif korelasyonun görüldüğü SPI indisinde şiddetli yağışlar tohumların ekim ve çimlenme sürecini etkileyerek verim düşüşünü tetiklemektedir.



Şekil 56. Konya Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Cihanbeyli İstasyonu Mart ayı; b: Şeker pancarı grafiği Aksaray İstasyonu Nisan ayı).

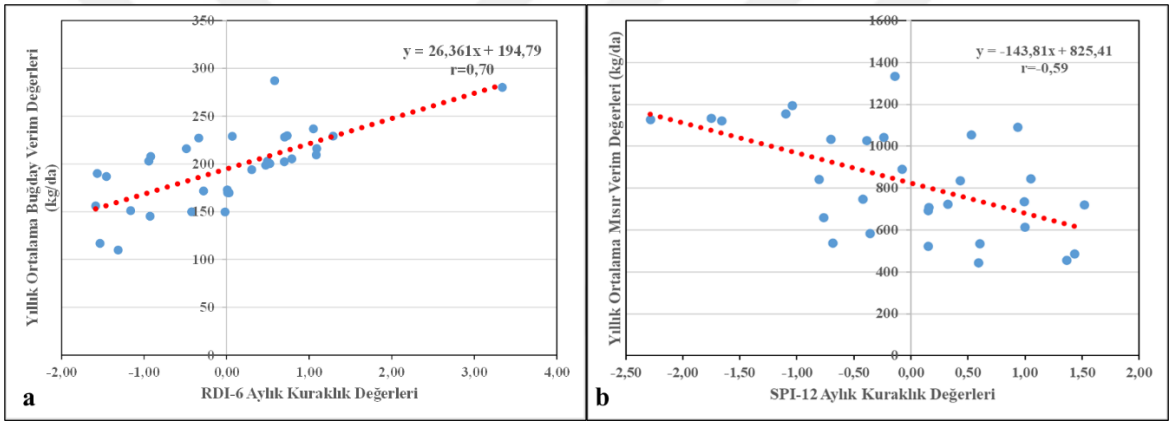
Seyhan-Ceyhan Havzası: Havzada yer alan bulunan 9 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler mısır, portakal ve üzüm olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Ulukışla, Adana, Ceyhan, Karaisalı, Karataş, Kozan, Yumurtalık, Dörtyol ve İskenderun İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisini RDI-6 aylık indisler temsil ederken, Mayıs ayı kuraklarının etkisini önemlidir (Şekil 42). Havzanın özellikle doğu kesiminde kuraklıkların etkisi belirgindir (Şekil 71). Havzadaki istasyonların

meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,46 ile 0,74 arasındadır. En yüksek korelasyon değeri Haziran ayı RDI-9 aylıklarda Ulukışla İstasyonunda 0,74 olarak belirlenmiştir. Ancak Haziran ayı genel itibari ile buğdayda hasat dönemine karşılık gelmesi sebebiyle Haziran ayından önceki aylardaki korelasyon değerlerine bakılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmelerde RDI-6 aylık değerlerde yüksek korelasyon değerleri mevcuttur. En yüksek korelasyon değerleri RDI-6 aylık indislerde Ulukışla İstasyonunda Mart ayında 0,60, Nisan ayında 0,66 ve Mayıs ayında 0,70 şeklindedir. Mart ayından Nisan ayına kadar devam eden süreç buğday gelişim dönemlerinden bitki yapraklarının sayısının arttığı gövde gelişiminin hızlanarak bitkinin su ve besin alımının yüksek olduğu dönemdir (Gao, 2023). Aynı zamanda Mayıs ayından Haziran ayına kadar bitkide başaklanmanın başladığı tanelerin olgunlaşarak tahıl doldurma sürecinin başladığı dönemdir (Gao, 2023). Bu aşama, buğdayın verim potansiyelinin en yüksek olduğu dönemdir. Su stresi bu dönemde verimi önemli ölçüde etkileyebilir (Chen, vd., 2019). Ulukışla İstasyonu havzanın kuzeybatı kesiminde daha karasal bir bölgede yer alması kuraklıktan etkilenme riskini arttırmaktadır. Bu aylara ait dağılım grafiklerine baktığımızda Mart ayında en düşük verim değeri 110 kg/da 1994 yılında normal kurak koşullarda (-0,51) belirlenmiştir. Nisan ayında ise belirlenen en düşük verim değeri 117 kg/da 2014 yılında şiddetli kurak koşullara (-1,49) karşılık gelir. Mayıs ayında ise kuraklığın verim üzerindeki şiddeti daha fazla olup 110 kg/da şiddetli kurak koşullarda (-1,31) belirlenmiştir (Şekil 57). Mayıs ayındaki en yüksek kurak koşullarda (-1,59) 2021 yılına karşılık gelip bu dönemde verim değeri 156 kg/da'dır (Şekil 57). 2020 yılındaki en yüksek verim değeri Mart ve Mayıs aylarına ait dağılım grafiklerinde şiddetli nemli ve normal kurak değerler arasında değişen koşullardadır. Genel olarak kuraklıkların Ulukışla İstasyonunda verimi Mart ayından Mayıs ayına kadar etkilediği görülmektedir. 1994, 2014 ve 2021 yılları genel olarak şiddetli kuraklıkların daha sık yaşandığı yıllara karşılık gelmektedir.

Havzadaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim arasındaki korelasyon değerleri -0,59 ile 0,30 arasındadır. Havzada her istasyonda belirlenen ikinci ürün üretim miktarına göre farklılaşmaktadır. Bu ürünler içerisinde Adana Bölge İstasyonunda herhangi bir ürüne ait üretim ve verim değerleri tüm yıllar için mevcut değildir. Ulukışla üzüm, Dörtyol portakal, Ceyhan, Karaisalı, Karataş, Kozan, Yumurtalık ve İskenderun İstasyonlarında da ikinci ürün olarak mısır belirlenmiştir. Bu ürünler içerisinde en yüksek korelasyon değeri Yumurtalık İstasyonunda mısır verim değerlerinde r=-0,59

olarak SPI-12 aylık indislerde Ekim ayındadır. Mısır tarımında en fazla su isteği özellikle Haziran-Ağustos ayları arasındadır. Ancak bu aylardan sonra özellikle sıcak ve nemliliğin yüksek olduğu gecelerde mısırın daha fazla solunum yapmasına daha fazla enerji harcamasına neden olmaktadır. Bu durum verim değerlerinin de azalmasına sebep olmaktadır. Dağılım grafiğinde aşırı kurak koşullarda (-2,28) verim 1130 kg/da 2014 yılındadır (Şekil 57). En yüksek verim değeri ise normal kurak koşullarda 1336 kg/da 2021 yılına aittir (Şekil 57). Genellikle istasyona ait düşük verim değerleri nemli dönemlerde dikkat çekmektedir (Şekil 57). 2014 yılında ekim ayında normal yağışlara göre %20,3'lük artış verimdeki değişimde etkili olabilir (MGM, 2015e). Havza genelindeki tüm istasyonlarda mısırdaki kurakların etkisi SPEI-12 aylık indiste yüksektir (Şekil 78).



Şekil 57. Seyhan-Ceyhan Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Ulukışla İstasyonu Mayıs ayı; b:Mısır grafiği Yumurtalık İstasyonu Ekim ayı).

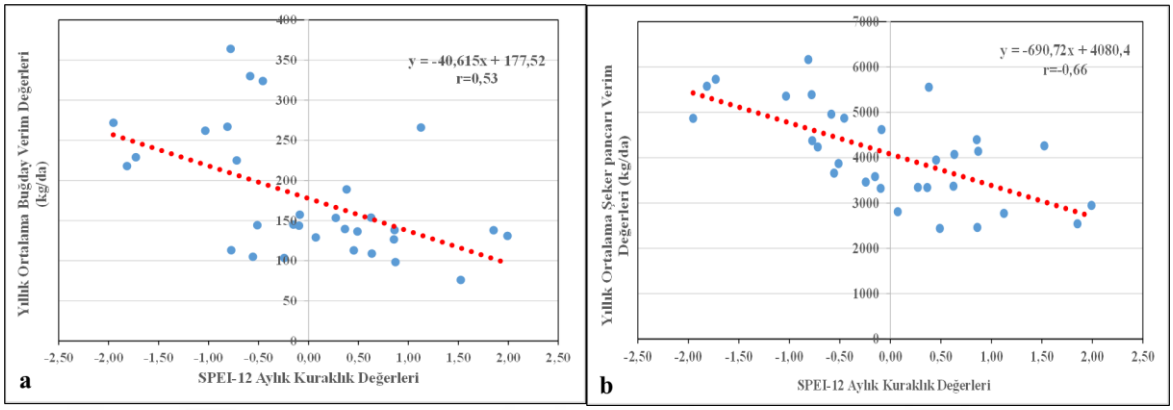
Asi Havzası: Havzada yer alan bulunan 7 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler portakal ve şeker pancarı olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Antakya, Samandağ, Afşin, Elbistan, Göksun, Kahramanmaraş ve Kilis İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisini SPEI-12 aylık indisler temsil ederken, Nisan ayı kuraklarının etkisini önemlidir (Şekil 42). Havzanın özellikle kuzeybatı kesiminde kuraklıkların etkisi belirgindir (Şekil 71). Havzadaki

istasyonların meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,53 ile 0,48 arasındadır. Havzaya ait en yüksek korelasyon değeri Göksun İstasyonunda SPEI-12 aylık indislerde Nisan ayında r=-0,53 olarak belirlenmiştir (Şekil 58). Göksun İstasyonu havzanın kuzeybatı kesiminde karasal iklim özelliklerinin baskın olduğu alanda yer almaktadır. İstasyona ait en yüksek verim değeri 2021 yılında 364 kg/da normal kurak koşullarda (-0,78) belirlenmiştir (Şekil 58). İstasyonda düşük verim değerleri şiddetli nemli koşullarda 76 kg/da 2002 yılına aittir (Şekil 58). Şiddetli nemli dönemde ise (-1,95) 272 kg/da 2013 yılındadır. 2013 yılında sıcaklıklar normal değerlerde iken yağışlarda normal değerlere göre %10 oranlık azalma görülmektedir (MGM, 2014d). 2013 yılında normal değerlerde seyreden sıcaklıklar verimdeki azalmayı etkilemiştir. Mart ve Nisan aylarında, buğday bitkisi hızla büyümeye başlar. Bu aşama, bitkinin yaprak sayısının arttığı ve gövde gelişiminin hızlandığı bir dönemdir. Bu dönemde su ve besin maddeleri alımı, bitkinin sağlıklı gelişimi için kritik öneme sahiptir (Chen, vd., 2018). Toprakta suyun aşırı birikmesi, köklerin oksijen alımını kısıtlayarak kök çürümesine yol açabilir. Kök çürümesi, bitkinin su ve besin maddelerini almasını zorlaştırarak, büyüme ve gelişim süreçlerini olumsuz etkiler (Xu, vd., 2018). Araştırmalar, yüksek nem koşullarında kök sağlığının bozulduğunu ve bunun da verim kaybına neden olduğunu göstermektedir (Waseem, vd., 2022).

Havzadaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünler verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,66 ile 0,28 arasındadır. Havzada Antakya, Kahramanmaraş ve Kilis istasyonlarında ikinci ürünlere ait üretim ve verim değerlerinde tüm yılların mevcut olmaması sebebiyle değerlendirilmemişlerdir. Bu istasyonlar dışında Samandağ İstasyonunda portakal, Afşin, Elbistan ve Göksun İstasyonlarında en yüksek üretilen ürün olarak şeker pancarı belirlenmiştir. İkinci ürünler ve meteorolojik kuraklıklar arasındaki ilişkide en yüksek değer Göksun İstasyonunda SPEI-12 aylık indislerde şeker pancarında r=-0,66 Nisan ayındadır (Şekil 58). Havzanın özellikle batı kesimine doğru meteorolojik kuraklıkların etkisi artmaktadır (Şekil 76). Şeker pancarı için Şubat, Mart ve Nisan ayları ekim yapılan ve çimlenmenin gerçekleştiği döneme karşılık gelmektedir. Genellikle şeker pancarının ekim dönemine karşılık gelen bu dönemde toprakta belirli yüksek miktarda su bulunması ekim zamanının gecikmesine ve aynı zamanda topraktaki tohumun zarar görmesine sebep olmaktadır (Kadıoğlu, 2009). Bu sebeple artan nemlilik verim kayıplarına yol açmaktadır. En yüksek verim değeri normal kurak koşullarda (-0,81) 6,165 kg/da 2018

yılındadır (Şekil 58). Şiddetli nemli dönemde (1,85) 2,541 kg/da 1992 yılındadır (Şekil 58). 1992 yılı yaz mevsiminde şiddetli kuraklıklar etkili olmuştur.



Şekil 58. Asi Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Göksun İstasyonu Nisan ayı; b: Şeker pancarı grafiği Göksun İstasyonu Nisan ayı).

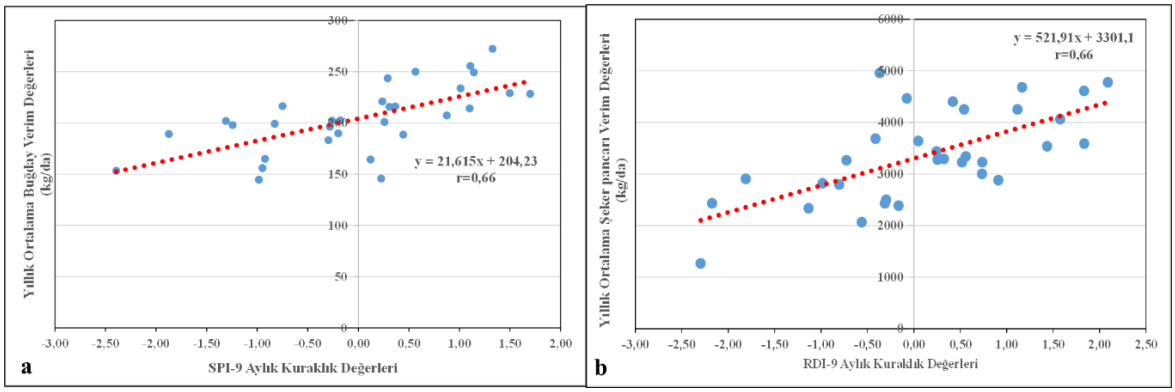
Kızılırmak Havzası: Havzada yer alan bulunan 23 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa, mısır, şekerpancarı ve üzüm olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Bafra mısır, Osmancık, Kastamonu, Çankırı, Kırşehir, Gemerek, Sivas, Develi, Kayseri/Pınarbaşı, Yozgat, Çiçekdağı ve Boğazlıyan şeker pancarı, Tosya, Ilgaz, Samsun, Kırıkkale, Zara, Tomarza, Sarız, Kaman, arpa, Nevşehir, Ürgüp üzüm havzadaki istasyonlara göre belirlenen üretimi gazla ikinci ürünlerdir. Kayseri ve Samsun İstasyonlarında veri eksikliğine bağlı ikinci ürün belirlenmemiştir.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisini SPEI-9 aylık indisler temsil ederken, Mayıs ayı kuraklarının etkisini önemlidir (Şekil 42). Havzanın genelinde meteorolojik kuraklıkların etkisi belirgin iken en yüksek etki batı kesimindeki istasyonlardadır (Şekil 71). Havzadaki istasyonların meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,62 ile 0,70 arasında değişmektedir. Haziran ayında SPI-6 ve aSPI-6 aylık 0,70 en yüksek korelasyon katsayısı Çankırı İstasyonuna aittir. Ancak Haziran ayında buğdayın hasat edilmesi sebebiyle en yüksek korelasyonun belirlendiği diğer istasyon olarak Nevşehir SPI-9 aylık indise ait r=0,66 Şubat ayı korelasyon değeri

değerlendirilmiştir (Şekil 59). Nevşehir İstasyonunda 2007 yılında en düşük verim değeri 145,0 kg/da -0,98 normal kurak koşullarda görülür. Aşırı kurak değer -2,39 için verim değeri 153,50kg/da şeklinde 2014 yılındadır (Şekil 59). Şubat ayında artan nemlilik değerleri verimde de artışa sebep olmaktadır. Özellikle 2014 yılındaki düşük verim değeri 153 kg/da aşırı kurak değerin (-2,39) görüldüğü yıla aittir (Şekil 59). 2014 yılı Türkiye'de ciddi kuraklığın yaşandığı ve verimde azalmaların görüldüğü yıldır. 2013 yılında tüm Türkiye genelinde etkili olan şiddetli kuraklık, 2014 yılında etkisini artırmıştır. 2014 yılındaki şiddetli kuraklık Türkiye üzerinde etkili olan atmosferik koşullardan Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ve Akdeniz hava modellerinin değişimi ile ilişkilidir (Soylu Pekpostalci, vd., 2023). Bu yılda Şubat ayı yağışlarındaki %65,1 oranındaki azalma verim değerinde de düşüşe neden olmuştur (MGM, 2015e). Özellikle Şubat ayındaki nem eksikliği başak başına çekirdek gelişimini engelleyebilir ve tahıl veriminin hayati bileşenleri olan çekirdek ağırlığını azaltabilir (Guttieri, vd., 2001). Dahası, kuraklık koşulları diğer çevresel streslerin etkilerini daha da kötüleştirebilir. Örneğin, genellikle kuru koşullara eşlik eden yüksek sıcaklıklar, bitkileri daha fazla strese sokarak fotosentetik oranların düşmesine ve tane dolum sürelerinin kısalmasına neden olabilir (Holman, 2024). Kuraklık ve sıcaklık stresinin bu kombinasyonu, buğday mahsullerinin genel verim potansiyelini önemli ölçüde azaltabilir, çünkü her iki faktör de tahıl gelişimi için gerekli fizyolojik süreçlere zarar verir (Djanaguiraman, vd., 2020).

Havzadaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim değerleri arasındaki korelasyon değerleri -0,66 ile 0,66 arasında değişmektedir. Havzada RDI-9 aylık değerlerde r=0,66 korelasyon değeri Eylül ayında Kastamonu İstasyonunda şeker pancarına aittir (Şekil 59). Havza genelindeki istasyonlarda özellikle SPEI indisinde havzanın kuzeyindeki istasyonlarda şeker pancarında kuraklıkların etkisi fazladır (Şekil 76). Dağılım grafiğinde en düşük verim değeri 1,266 kg/da (-2,30) aşırı kurak değerlerde 1994 yılına aittir (Şekil 59). En yüksek verim değeri ise normal kurak koşulların görüldüğü dönemde 4,961 kg/da 2017 yılına aittir (Şekil 59). Eylül ayı ise şeker pancarının gelişimindeki şeker biriktirme aşaması olan son dönemi ifade etmektedir. Her ne kadar bu dönemde bitkinin su ihtiyacı azalmış olsa da bu dönemde artan sıcaklıklar bitkiyi olumsuz etekleyebilmektedir. Eylül ayında sıcaklıkların artması ile şeker pancarındaki gelişme durarak bitki yumruda depoladığı şekeri harcar (Özçağlar, 1992). Bu durum yumrunun

irileşmesini engelleyerek verim düşüşüne neden olmaktadır (Kadıoğlu, 2009). Eylül ayında havzalarda yüksek sıcaklık ve artan buharlaşmaya bağlı verimde düşüş görülmektedir.



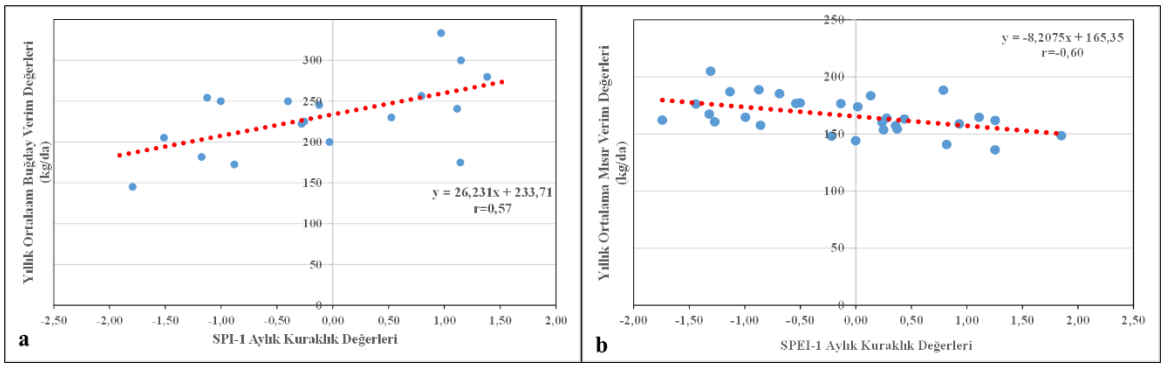
Şekil 59. Kızılırmak Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Nevşehir İstasyonu Şubat ayı; b: Şeker pancarı grafiği Kastamonu İstasyonu Eylül ayı).

Batı Karadeniz: Havzada yer alan bulunan 10 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa, mısır ve elma olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Düzce, Akçakoca, Zonguldak, Bolu, Bartın, Çerkeş, Amasra, İnebolu, Kastamonu/Bozkurt ve Sinop İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisini SPI-3 aylık indisler temsil ederken, Kasım ayı kuraklarının etkisini önemlidir (Şekil 42). Havzanın genelinde meteorolojik kuraklıkların etkisi doğu kesime doğru artmaktadır (Şekil 71). Havzadaki istasyonların meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,55 ile 0,57 arasında değişmektedir. Meteorolojik kuraklıkların buğday veriminde en fazla etkisi Mart ayında SPI-1 aylıklarda Akçakoca İstasyonunda ve aSPI-1 aylıklardadır (Şekil 60). Mart ayı bitkinin yaprak sayısının arttığı, gövde gelişiminin hızlandığı bir dönemdir. Bu dönemde su ve besin maddeleri alımı, bitkinin sağlıklı gelişimi için kritik öneme sahiptir (Chen, vd., 2018). Bu dönemde 1 aylık indislerde görülen kurak koşullar verimde düşüşe neden olmuştur. En düşük verim değeri Türkiye'de ısınma eğiliminin şiddetlendiği 1994 yılında şiddetli kurak dönemde (-1,79) 145 kg/da'dır (Şekil

60). En yüksek verim değeri ise bu dönemde normal kurak koşullarda 2008 yılında 333 kg/da olarak belirlenmiştir (Şekil 60). Ancak Akçakoca buğday verim değerleri 2008 yılına kadar bulunmaktadır. Akaçakoca İstasyonu dışında daha yüksek korelasyon değerinin mevcut olmamasına bağlı olarak bu istasyona ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havzadaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlerin verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,60 ile 0,54 arasında değişmektedir. Negatif ilişki ise Batı Karadeniz Havzası'nda bulunan Amasra İstasyonunda mısır bitkisinde r=-0,60, SPEI-1 aylıklarda Nisan ayındadır (Şekil 60). Mısırın istasyonlara göre kuraklıklardan etkilenme durumu havzanın genelindeki istasyonlarda yüksektir (Şekil 78). 2021 yılındaki 112 kg/da ve 2022 yılındaki 98 kg/da verim değerleri ilişkini daha iyi belirlenmesi amacıyla grafiğe dahil edilmemiştir. Mısır verim değerleri birbirine yakın değerlere sahip olsa da orta kurak -1,31 koşullarda 205 kg/da 2012 yılındadır (Şekil 60). Şiddetli nemli 1,85 koşullarda 148 kg/da verim değeri 2011 yılındadır (Şekil 60). Doğu Karadeniz havzası ile benzer nemli iklim özelliklerine sahip Batı Karadeniz Havzası'nda şiddetli nemli dönemde 1 aylık kısa süreli kuraklıkta görülen negatif ilişki verimde azalmayı temsil etmektedir. Mısır için çimlenme dönemine karşılık gelen negatif ilişki mantar hastalıklarının yayılımı, yaprak lekesi hastalığına (Cercospora zeae-maydis) neden olan patojenlerin gelişimini teşvik eder (Badu-Apraku, vd., 2017). Bu hastalık, yaprak alanının kaybına ve dolayısıyla fotosentez kapasitesinin azalmasına yol açarak verim kaybına neden olabilir.



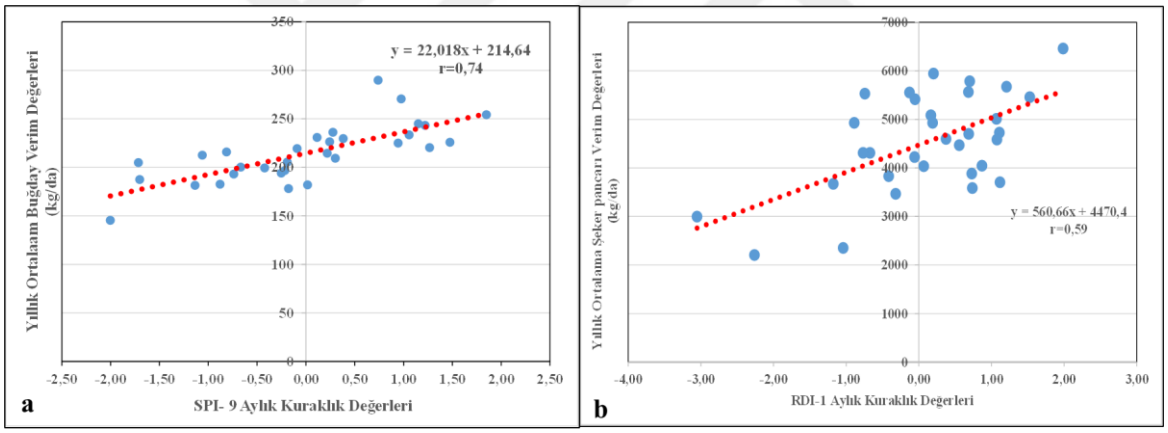
Şekil 60. Batı Akdeniz Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Akçakoca İstasyonu Mart ayı; b: Mısır grafiği Amasra İstasyonu Nisan ayı).

Yeşilırmak Havzası: Havzada yer alan bulunan 6 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler şekerpancarı ve elma olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Merzifon, Çorum, Tokat, Suşehri, Şebinkarahisar ve Amasya İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Yeşilırmak Havzası çalışma alanının kuzeyinden başlayarak iç kesimlere doğru topografik etkenler ile karasal iklimin hâkim olduğu bir alandır. Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisini SPEI-9 aylık indisler temsil ederken, Mayıs ayı kuraklarının etkisini önemlidir (Şekil 42). Havzanın genelinde meteorolojik kuraklıkların etkisi batı kesime doğru artmaktadır (Şekil 71). Havzadaki istasyonların meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,59 ile 0,74 arasında değişmektedir. Havzadaki kuraklık değerleri ve buğday verim değeri korelasyon katsayısında 0,74 en yüksek değer Mayıs SPI-9 aylıklarda belirlenmiştir (Şekil 61). Mayıs ayı değerlerinde en yüksek korelasyon karasal etkinin görüldüğü Tokat İstasyonuna aittir. Dağılım grafiğinde aşırı kurak koşullara ait (-2,00) en düşük verim değeri 2014 yılı 145,48 kg/da karşılık gelmektedir (Şekil 61). 2013-2014 yılında yaşanan şiddetli kuraklığın etkisi Yeşilırmak Havzası'nda da verimdeki düşüşler ile etkisini göstermiştir. Nemlilik değerlerinin arttığı dönemlerde verim değerleri birbirine yakın iken normal kurak koşulda (0,74) yüksek verim değeri 2008 yılı 289,90 kg/da olarak mevcuttur (Şekil 61). Diğer yüksek korelasyona sahip Kızılırmak Konya havzalarında olduğu gibi Yeşilırmak Havzası'nda da Mayıs ayı dışında buğday gelişimi için önemli olan aylarda yüksek korelasyon değerleri belirlenmiştir. Şubat ayında r=0,55, Mart ayında r=0,57 ve Nisan ayında r=0,64 korelasyon değerleri mevcuttur. Bu durum havzadaki verim değerlerinde Şubat ayından itibaren artan kuraklık şiddetinin verimi etkilediğini açıkça göstermektedir.

Havzadaki istasyonların meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim değerleri arasındaki korelasyon değerleri -0,50 ile 0,58 arasında değişmektedir. Yeşilırmak Havzası'nda Amasya İstasyonunda elma, diğer istasyonlarda ise şekerpancarı en fazla üretim miktarı olan ikinci ürün olarak belirlenmiştir. Meteorolojik kuraklıkların şeker pancarı verim değerleri üzerindeki etkisinin havza bazlı incelemesinde Yeşilırmak Havzası'nda pozitif korelasyon ilişkisi görülmektedir. RDI-1 aylıklarda Haziran ayında görülen pozitif ilişki

r=0,59 Yeşilırmak Havzası'nda Merzifon İstasyonuna aittir. Havzanın genelinde istasyonlarda RDI-1 aylık kuraklıklar şeker pancarı veriminde yüksek etkiye sahiptir (Şekil 76). Dağılım grafiğine baktığımızda havzada en düşük verim değeri aşırı kurak koşullarda (-2,26) 2,205 kg/da'dır (Şekil 61). En düşük verim değerinin elde edildiği yıl 1994 yılı olup Türkiye'deki ortalama havza sıcaklıklarının ciddi oranda artmaya başladığı yıla karşılık gelmektedir (Güler ve Erlat, 2023). En yüksek verim değeri ise şiddetli nemli koşullarda 6,461 kg/da 2022 yılına aittir. 2022 yılı Haziran ayında ise nemlilik koşulları Haziran ayı yağışlarında %60 oranında 2021 yılına göre artış görülmüştür (MGM,2023). Haziran ayı şeker pancarı için büyüme ve yetişme evresi olan ikinci devreye karşılık gelmektedir. Bu dönemde bitkinin su ihtiyacı artmakta ve yeterli sulandığında yumrudaki şeker birikimi artış göstermektedir. Haziran ayında RDI-1 aylıklarda görülen yüksek korelasyon artan sıcaklık ve buharlaşma şiddetinin verimi etkilediğini ifade etmektedir. Bu dönemde yüksek buharlaşma ve azalan yağış miktarı verim değerlerinde düşüşü gösterir (Şekil 61).



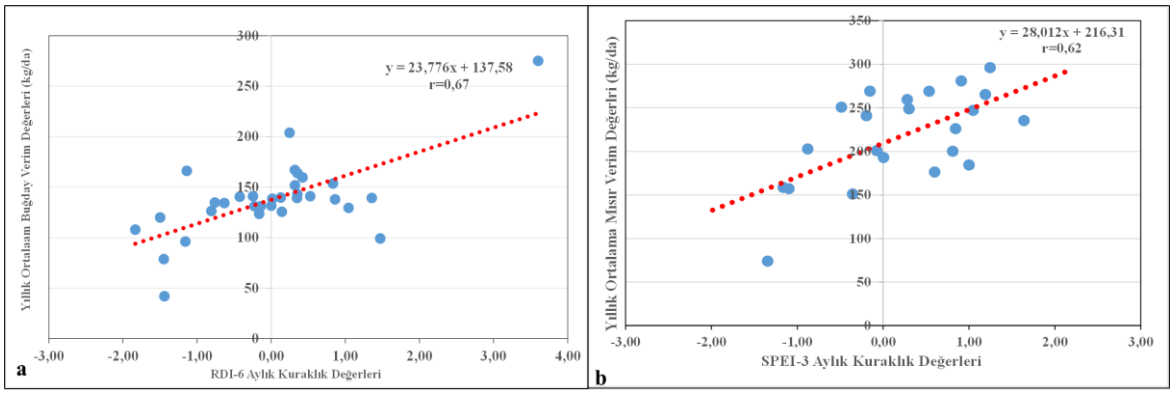
Şekil 61. Yeşilırmak Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Tokat İstasyonu Mayıs ayı; b: Şeker pancarı grafiği Merzifon İstasyonu Haziran ayı).

Doğu Karadeniz: Havzada yer alan bulunan 7 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa, mısır, çay ve fındık olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Ordu, Ünye, Giresun ve Gümüşhane İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır. Rize, Rize/Pazar ve Hopa İstasyonlarında buğday verim değerleri bulunmamaktadır. Karadeniz

kıyı kesimindeki bu istasyonlar hem topografik koşullar hem de yağış değerlerinin ve nemliliğin yüksek olmasına bağlı olarak buğday üretimini yapılmadığı alanlardır.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisini RDI-3 aylık indisler temsil ederken, Mayıs ayı kuraklarının etkisini önemlidir (Şekil 42). Havzanın genelinde meteorolojik kuraklıkların etkisi doğu kesimde artmaktadır (Şekil 71). Havzadaki istasyonların meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,46 ile 0,67 arasında değişmektedir. En yüksek korelasyon değeri RDI-6 Mayıs ayında 0,67 Giresun İstasyonundadır. Dağılım grafiğinde en düşük verim değeri 2021 yılında -1,44 orta derece kuraklıkta 42 kg/da'dır (Şekil 62). En yüksek verim değeri ise 3,60 aşırı nemlilikte 275,00 kg/da 2022 yılındadır (Şekil 62). Mayıs ayı buğday bitkisinin başaklanma ve olgunlaşma aşamalarına yaklaşırken, su stresinin gerçekleşmesi bitkinin gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir. Kuraklık koşulları, bitkinin su alımını kısıtlayarak, başak sayısını ve tane ağırlığını azaltarak, toplam verimi düşürebilir (Öztürk ve Korkut, 2018). Mayıs ayındaki sıcaklıkların mevsim normallerinin üzerinde olması ve yağışların normalin altında gerçekleşmesi verimde azalmaya neden olmuştur (MGM, 2022k).

Havzadaki istasyonların meteorolojik kuraklıklar ve ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,53 ile 0,62 arasında değişmektedir İstasyonlarda Ordu, Ünye, Giresun ve Hopa'da mısır, Rize'de çay, Rize/Pazar İstasyonunda fındık ve Gümüşhane İstasyonunda arpa en fazla üretim değerine sahip ürünler olarak belirlenmiştir. Bu ürünler içerisinden en yüksek korelasyon değeri Ordu İstasyonunda mısır bitkisine aittir (Şekil 62). Mısırın su seven bir bitki olmasına bağlı pozitif ilişki SPEI-3 aylıklarda Doğu Karadeniz Havzası Ordu İstasyonunda r=0,62 olarak belirlenmiştir (Şekil 78). Ancak Ordu İstasyonuna ait mısır verim değerleri 2012 yılına kadar kaydedilmiş daha sonraki yıllara ait veri bulunmamaktadır. Ordu İstasyonu dışında yüksek pozitif korelasyon değerinin bulunmamasına bağlı dağılım grafiği oluşturulmuştur. Dağılım grafiğinde en düşük verim değeri olan 2001 yılına ait 74 kg/da çıkarılarak oluşturulmuştur. Orta kurak koşullarda 157 kg/ da düşük verim değeri 2010 yılına aittir (Şekil 62). Genellikle mısırın ekim dönemine denk gelen Nisan ayında 3 aylık yağışlardaki azalma tohumların çimlenmesinde gecikmeye sebep olmaktadır (Wang, vd., 2019). Bu nedenle mısırın su seven bir bitki olmasına bağlı SPEI için artan buharlaşma mısırın çimlenmesinde gecikmeye neden olmaktadır. Şiddetli nemli dönemdeki 296 kg/da yüksek verim 1996 yılındadır (Şekil 62).



Şekil 62. Doğu Karadeniz Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Giresun İstasyonu Mayıs ayı; b: Mısır grafiği Ordu İstasyonu Nisan ayı).

Fırat-Dicle Havzası: Havzanın geniş alanı kapsamasına bağlı olarak meteorolojik kuraklıklar ile tarımsal verim ilişkisi alt havzalara göre ayrı başlıklar şeklinde değerlendirilmiştir.

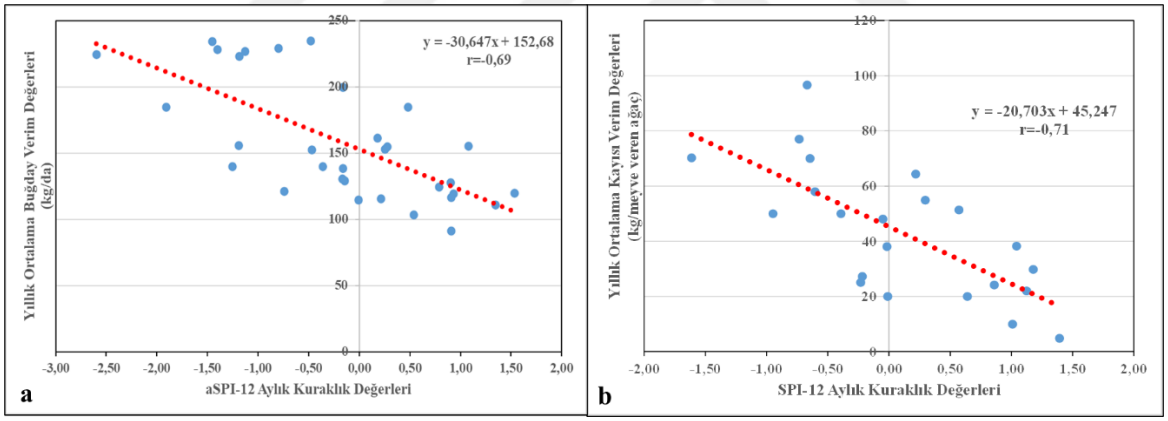
Yukarı Fırat Alt Havzası: Havzada yer alan bulunan 14 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa ve şeker pancarı olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Divriği, Kangal, Erzincan, Erzurum, Solhan, Bingöl, Tunceli, Palu, Elâzığ, Çemişgezek, Arapgir, Malatya ve Doğanşehir İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelindeki meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisini en iyi yansıtan indis türü SPEI-12 aylıklardır. Havzada özellikle Ocak ayı kuraklıkları buğday veriminde etkilidir (Şekil 42). Havzanın özellikle batı kesimindeki istasyonlarda kuraklıkların etkisi yüksektir (Şekil 71). Havzadaki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,69 ile 0,56 arasında değişmektedir. Yukarı Fırat Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değeri Çemişgezek İstasyonunda aSPI-12 aylık indislerde Kasım ayında r=-0,69 olarak belirlenmiştir (Şekil 63). Kasım ayı buğday gelişim dönemleri içerisinde Çemişgezek'in bulunduğu alandaki iklimsel özelliklerde en fazla yağışın kış ve ilkbahar aylarında düşmesi özellikle de kış aylarında görülen kar şeklindeki yağışlar bitki gelişimini etkilemiştir. Dağılım grafiğinde yüksek verim değeri 224

kg/da şiddetli kurak dönem (-2,60) koşullarında 2014 yılına aittir (Şekil 63). Aynı şekilde verim değerlerinin verim değerlerinin 233 ile 235 kg/da arasında değiştiği dönemler şiddetli kurak (-1,46) ve normal kurak (-0,80) koşullara karşılık gelmektedir (Şekil 63). Bu dönemlerde kış mevsimi sıcaklıkları normal sıcaklık değerleri üzerindedir. Özellikle 2014 yılında mevsim normalleri üzerindeki sıcaklıklar verimde artışa sebep olmuştur. Çünkü Kasım ayı bu gibi karasal iklim bölgelerinde düşük sıcaklıkların görüldüğü dönemdir. Bu süre zarfında buğday genellikle erken büyüme aşamasındadır veya yeni ekilmiştir. Kasım ayındaki kuraklık koşulları toprak neminin azalmasına neden olabilir, bu da su basmasını önler ve daha iyi kök gelişimini teşvik ederse faydalı olabilir. Aşırı nem, kök sağlığı için zararlı anaerobik koşullara yol açabilir (Adisa, vd., 2019). Bu nedenle, ılımlı kuraklık, bitkinin sonraki büyüme aşamalarında dayanıklılığı için çok önemli olan kök oluşumunu artırabilir. Toprak nemi sınırlı olduğunda, besin maddelerinin süzülmesi azalabilir ve kök bölgesinde daha iyi besin maddesi tutulmasına izin verebilir. Bu da buğday bitkileri tarafından daha iyi besin alımına yol açarak potansiyel olarak büyüme ve verimi artırabilir (Farhan, 2024). Şiddetli nemli (1,53) dönemde verim 120 kg/da 1996 yılında iken 91 kg/da normal koşullarda (0,90) 2006 yılındadır (Şekil 63). Araştırmalar, çiçeklenme ve tane dolumu gibi kritik büyüme aşamalarında meydana gelen kuraklığın, daha erken aşamalarda yaşanan kuraklığa kıyasla verim üzerinde daha belirgin bir olumsuz etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Farhan, 2024). Kasım ayındaki kuraklık kritik üreme aşamalarından önce meydana gelirse, genel verim potansiyelini olumsuz etkilemeyebilir.

Havza genelindeki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim değerleri arasındaki korelasyon değerleri -0,71 ile 0,45 arasında değişmektedir. Havzada yer alan Divriği, Kangal, Tunceli, Çemişgezek, Arapgir arpa, Erzincan, Bingöl, Palu, Elâzığ, Doğanşehir şeker pancarı, Malatya, kayısı buğdaydan sonra en fazla üretilen ve ikinci ürünlerdir. Bu ürünler içerisinde meteorolojik kuraklıklar ve verim arasındaki en yüksek korelasyon değeri r=-0,71 kayısı için SPI-12 aylık indislerde Malatya İstasyonundadır. Kayısı kış soğuklarına dayanıklı yazları sıcak ve kurak alanlarda yetişmektedir (Durmuş ve Yiğit, 2014). Malatya kayısı tarım faaliyetleri kurak dönemlerde sulama faaliyetleri ile sürdürülmektedir. Özellikler yılda 5 kez sulama faaliyetlerinin yapıldığı kayısı çok fazla su ihtiyacı olmayan ancak zamanında sulama ile verimin arttırıldığı üründür (Gündüz ve Akay, 2003). Kış dönemi Ocak-Şubat ayları, ağaçlar dinlenme evresindedir. Bu dönemde, soğuk hava koşulları kayısı ağaçlarının dormansi (uyku) dönemini sürdürmesine yardımcı olur. Bu

süreç, çiçek tomurcuğunun gelişimi için gereklidir (Bilgin ve Misirli, 2016). Mart ayında çiçeklenme dönemi başlar ve bu dönemde, sıcaklıkların artmasıyla birlikte çiçek tomurcukları açılmaya başlar. Ancak, bu süreçte don olayları kayısı verimini olumsuz etkileyebilir (Balcıoğlu vd., 2022). Bu sebeple Şubat ayında artan sıcaklıklar erken gelişme dönemini sağlayarak sulama faaliyetleri ile verimde artışa neden olabilir. En yüksek verim değeri 2005 yılında 97 kg/meyve veren ağaç olarak normal kurak koşullarda (-0,67) belirlenmiştir (Şekil 63). 2011 ile 2012 yıllarında da normal kurak koşullarda 70-77 kg/meyve veren ağaç verim değerleri mevcuttur (Şekil 63). 2011 yılında Şubat ayında mevsim normalleri üzerinde sıcaklıklar görülse de 2012 yılında mevsim normalleri altında sıcaklık değerleri verimi etkilemiştir (MGM, 2012b; MGM, 2013c). Şiddetli nemli dönemde (1,39) 1993 yılında 5 kg/meyve veren ağaç verim değerleri elde edilmiştir (Şekil 63). Yapılan çalışmalarda dondan etkilenmeyen yeni alanlar, özellikle yüksek plato sahalarından ürün alınmaya başlaması ilişkilidir (Balcıoğlu vd., 2022). Aynı zamanda artan sıcaklıklar ile birlikte fenolojik dönemlerde kaymalar belirlenmiştir (Balcıoğlu vd., 2022).



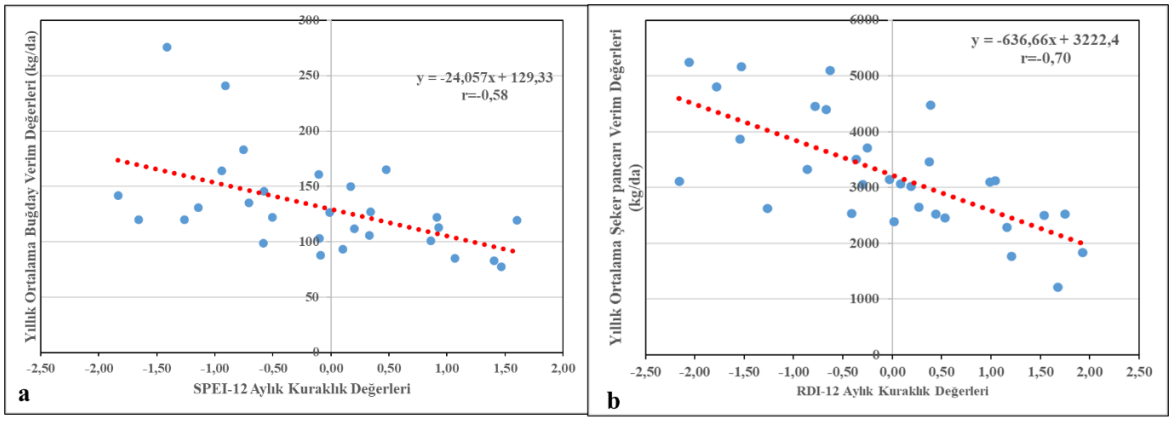
Şekil 63. Yukarı Fırat Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Çemişgezek İstasyonu Kasım ayı; b: Kayısı grafiği Malatya İstasyonu Şubat ayı).

Orta Fırat Alt Havzası: Havzada yer alan bulunan 3 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa ve şeker pancarı olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Muş, Hınıs ve Malazgirt İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde kuraklıkların buğday verimi üzerindeki etkisini en iyi temsil eden kuraklık indis ve dönemi SPI-12 aylıklardır. Aynı zamanda havzada Şubat ayı kuraklıklarının etkisi yüksektir (Şekil 42). Kuraklıkların etkisi havzanın orta kesimindeki istasyonlarda SPI-12 aylık indislerde yüksektir (Şekil 71). İstasyonlara göre meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,58 ile 0,40 arasında değişmektedir. Orta Fırat Havzası'nda en yüksek korelasyon değeri Muş İstasyonunda SPEI-12 aylık indislerde Şubat ayında r=-0,58 olarak belirlenmiştir (Şekil 64). Şubat ayı buğday gelişme dönemleri içerisinde kışlama aşamasından sonraki daha aktif büyüme dönemidir. Özellikle, tipik olarak Şubat ayının sonlarında başlayan birleşme aşaması, biyokütle birikimi ve verim sonuçlarını doğrudan etkileyen sürgün oluşumu için çok önemlidir (Xu, vd., 2018; Huang, vd., 2022). En yüksek verim değeri 276 kg/da şiddetli kurak koşullarda (-1,42) 2022 yılında elde edilmiştir (Şekil 64). Havzanın karasal iklimin baskın olduğu alanda bulunması kış aylarında düşük sıcaklıklar ve kar yağışının artması ile bitki gelişimini olumsuz etkileyebilir. Ancak 2022 yılında kurak koşullarda belirlenen yüksek verim değerleri normallerinin üzerinde gerçekleşen sıcaklıkların bu dönemde büyümeyi teşvik edici özelliğe sahip olabilir (MGM, 2022k). Şiddetli nemliliğin belirlendiği (1,47) koşullarda 78 kg/da verim değeri mevcuttur (Şekil 64). Şubat ayında meydana gelebilecek sıcaklık dalgalanmaları da nemin etkisini artırmaktadır. Ilımlı sıcaklıklar büyümeyi teşvik edebilirken, düşük sıcaklıklarla birleşen aşırı nem, hastalıklara elverişli bir mikro iklim yaratarak bitkileri daha da strese sokabilir (Sandhu, vd., 2016). Dağılım grafiğinde genellikle en yüksek verim değerleri normal kurak koşullarda (-0,94 ile 0,48 arasında) 146 kg/da ile 184 kg/da şeklinde değişmektedir (Şekil 64). Bu dönemde dağılım grafiği değerlendirilen Muş İstasyonunda buharlaşma miktarının azalıp topraktaki nem miktarı arttığında verim değerleri olumsuz etkilenirken, sıcaklık değerlerinin artıp topraktaki nem miktarının azalıyor olması verimi olumlu yönde etkilemiştir. Bu dönemde artan sıcaklık, buğdayın büyüme ve gelişme süreçlerini olumlu yönde etkileyerek verim artışına katkıda bulunabilir. Karasal iklimlerde, Şubat ayı genellikle kışın sona erdiği ve bitkilerin yeniden canlandığı bir dönemdir. Bu dönemde sıcaklıkların artması, buğday bitkisinin fotosentez aktivitesini artırarak, bitkinin besin maddelerini daha etkin bir şekilde kullanmasına olanak tanır (Kondić, vd., 2017). Özellikle, sıcaklıkların 0-5 °C arasında olması, buğdayın gelişim sürecinin başlaması için yeterlidir ve bu durum, bitkinin büyümesini teşvik eder (Kondić, vd., 2017). Nemliliğin arttığı dönemlerde buğday verimini öncelikle su basması yoluyla olumsuz etkilenebilir ve bu durum özellikle birleşme ve olgunluk aşamaları sırasında

zararlıdır. Su basması, büyüme oranlarının düşmesi ve verim oluşumu için kritik öneme sahip olan sürgün ölümlerinin artması nedeniyle biyokütlenin azalmasına neden olabilir (Chen, vd., 2018; Celedonio, vd., 2014). Çalışmalar, yağış ve buğday verimi arasındaki maksimum negatif korelasyonun bu dönemde gerçekleştiğini göstermiştir, bu da aşırı nemin büyüme ve gelişmeyi ciddi şekilde engelleyebileceğini göstermektedir (Chen, vd., 2018). Ayrıca, suya doygun koşullar kök solunumunu ve besin alımını bozarak bitki sağlığının kötüleşmesine ve verim potansiyelinin düşmesine neden olabilir (Tian, vd., 2021).

İstasyonlara göre meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim değerleri arasındaki korelasyon değerleri -0,70 ile 0,44 arasında değişmektedir. Muş ve Malazgirt istasyonlarında şeker pancarı, Hınıs İstasyonunda arpa üretim miktarı en fazla olan ikinci ürün olarak belirlenmiştir. Bu ürünler içerisinde meteorolojik kuraklıklar ve verim arasındaki en yüksek korelasyon değeri r=-0,70 şeker pancarında RDI-12 aylık indislerde Malazgirt İstasyonundadır (Şekil 64). Havza genelindeki istasyonlarda meteorolojik kuraklıkların etkisi yüksektir (Şekil 76). Şubat başında veya Mart sonunda ekimi başlayan şeker pancarının çimlenebilmesi için sıcaklık değerlerinin ortalama 7-8 °C'den düşük olmaması toprak sıcaklığının ise 2-3 °C arasında olması gereklidir (Döşer ve Avcı, 2019). Bu sebeple bu dönemde yaşanan kuraklıklar yüksek sıcaklık değerleri verimi olumlu yönde etkileyerek tohumların çimlenmesini sağlamaktadır. Yüksek verim değerleri genellikle 2020, 2021 ve 2022 yıllarına 5,110 ile 5,249 ton arasında değişmektedir. Bu yüksek verim değerleri aşırı kurak dönem (-2,06) ile normal kurak (-0,63) koşullar arasında değişmektedir (Şekil 64). Bu yıllarda Mart ayı sıcaklıklarının mevsim normalleri üzerinde olması verimde artışa sebep olmuştur. En düşük verim değeri 1223 ton şiddetli nemli dönemde 1993 yılında elde edilmiştir (Şekil 64). Diğer düşük verim değeri 1995 yılında şiddetli nemli koşullarda (1,93) 1,838 ton şeklindedir (Şekil 64). Bu yıllarda özellikle Doğu Anadolu Bölgesi'nin bulunduğu alanlarda aşırı nemli dönemler belirlenmiştir (Akbaş, 2014).



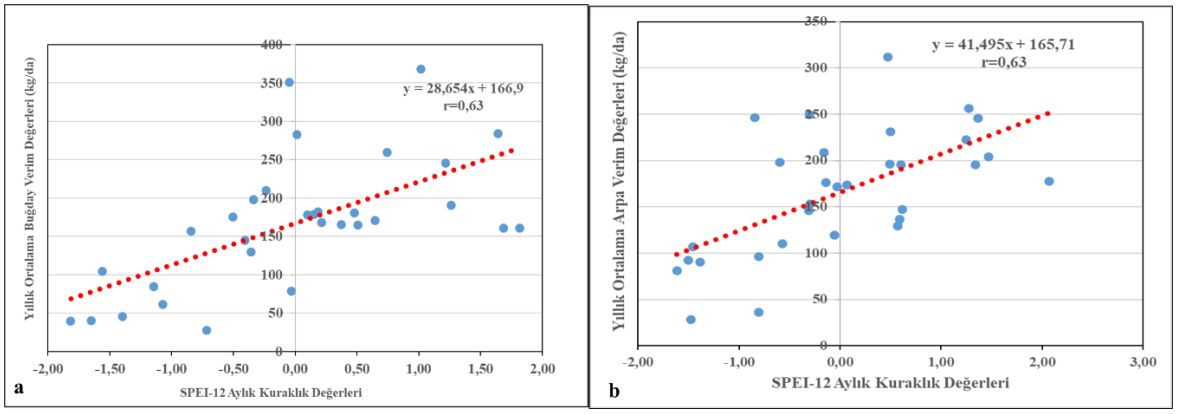
Şekil 64. Orta Fırat Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Muş İstasyonu Şubat ayı; Şeker pancarı grafiği Malazgirt İstasyonu Mart ayı).

Aşağı Fırat Alt Havzası: Havzada yer alan bulunan 8 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler üzüm, pamuk ve arpa olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Gaziantep, Adıyaman, Çermik, Siverek, Ceylanpınar, Şanlıurfa, Akçakale ve Birecik İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde kuraklıkların buğday verimindeki etkisini en iyi yansıtan indis türü SPEI-12 aylık indistir. Mayıs ayı kuraklıklarının etkisi havza genelinde bu indiste önemlidir (Şekil 42). Havza genelinde istasyonlarda doğu ve güney kesimlerdeki istasyonlarda kuraklıkların etkisi yüksektir (Şekil 71). Havzaya ait meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,47 ile 0,63 arasında değişmektedir. Meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arsındaki en yüksek ilişki değeri r=0,63 Birecik İstasyonunda SPEI-12 aylık indislerde Mayıs ayında belirlenmiştir (Şekil 65). Mayıs ayı bitki gelişim dönemleri içerisinde başaklanma ve tane dolumuna denk gelen dönemdir. Bu dönemde yaşanan su eksikliği düşük tane ağırlığına bağlı toplam verimin azalmasına yol açabilmektedir (Xu, 2023). Bitkinin besin maddelerini gövdeden tanelere doğru harekete geçirme yeteneği kuraklık stresi altında tehlikeye girerek verimde azalmayı etkilemektedir (Xu, 2023; Ma, vd., 2017). Dağılım grafiğine baktığımızda şiddetli kuraklığın yaşandığı (-1,81) döneminde 39 kg/da düşük verim değeri mevcuttur (Şekil 65). Bu dönem mevsim normalleri üzerindeki sıcaklıklar Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde sıcak ve kuru hava

kütlelerine açık alanda buharlaşma şiddetinin artarak verimde azalmaya sebep olmuştur. Bu yılda mayıs ayında mevsim normalleri üzerinde yağışlar görülse de sıcaklık ve buharlaşmanın artması verimi etkilemiştir (MGM, 2015e). Bir diğer düşük verim değeri 2000 yılında (-0,72) normal kurak koşullarda 27 kg/da'dır. Bu dönem hem ekonomik kriz etkisi hem de Türkiye üzerinde etkili olan sıcak havza dalgasının etkisi verimde düşüşe sebep olabilir. En yüksek verim değeri ise şiddetli nemli (1,02) koşullarda 368 kg/da olup 2006 yılına karşılık gelmektedir (Şekil 65).

Havza genelindeki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim değerleri arasındaki korelasyon değerleri -0,49 ile 0,61 arasında değişmektedir. Gaziantep istasyonunda tarımsal ürün verilerinin tam olarak bulunmaması sebebiyle ikinci ürünlerde değerlendirilememiştir. Adıyaman'da üzüm, Çermik, Siverek, Ceylanpınar, Şanlıurfa ve Akçakale'de pamuk, Birecik'te arpa üretim miktarı en fazla olan ikinci ürünler olarak belirlenmiştir. Bu ürünler ile meteorolojik kuraklıklar arasındaki en yüksek korelasyon değeri arpada SPEI-12 aylıklarda Birecik için Nisan ayında r=0,61 olarak belirlenmiştir (Şekil 65). Vejetatif gelişim dönemi Mart ayı ortalarından itibaren başlayarak bitkinin gövde yaprak gelişimi hızlanır. Nisan ayında ise büyüme hızı artarak su ile besin maddelerinin alınmasında kritik dönemdir (Kaya ve Akçura, 2022c). Bu dönemde yaşanan kuraklık bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir. Özellikle 2008 yılında mevsim ortalamaları üzerindeki sıcaklıklar buharlaşmanın artarak su açığının ortaya çıkmasına neden olmuştur (MGM, 2009). Bu dönemde Birecik'in bulunduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yağışlar 2007 yılı ortalama değerlerine göre %36,4 oranında azalmıştır (MGM, 2009). Bu sebeple arpanın gelişim dönemleri içerisinde en fazla suya ihtiyaç duyduğu bu dönemde yağışlardaki azalmanın etkisi ve artan sıcaklık buharlaşma etkisi düşük verime neden olmuştur (Şekil 65). En yüksek verim değeri normal kurak koşullarda (0,47) 1993 yılında 312 kg/da olarak belirlenmiştir (Şekil 65). Şiddetli nemli dönemde (2,07) verim 178 kg/da 2021 yılındadır. Diğer dönemlere göre nemli koşullarda verimde artış görülse de 2021 yılındaki mevsim normalleri üzerindeki sıcaklıklar verimi etkilemektedir (MGM, 2022k).



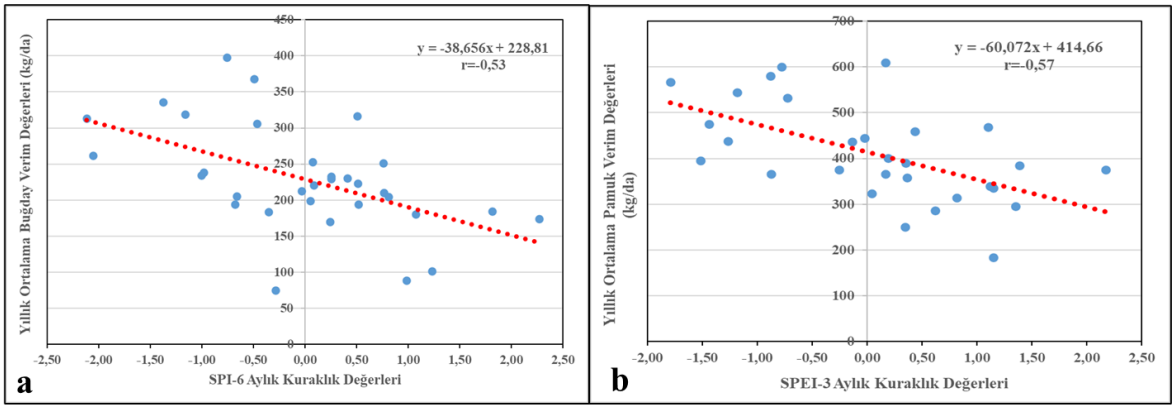
Şekil 65. Aşağı Fırat Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Birecik İstasyonu Mayıs ayı; Arpa grafiği Birecik İstasyonu Nisan ayı).

Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası: Havzada yer alan bulunan 7 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler pamuk ve arpa olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Ergani, Diyarbakır, Mardin, Nusaybin, Cizre ve Batman istasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimi üzerindeki etkisini en iyi yansıtan indis SPI-6 aylıklardır ve Aralık ayı kuraklarının etkisi belirgindir (Şekil 42). Havzanın doğu kesimindeki istasyonlarda kuraklıkların etkisi yüksektir (Şekil 71). Havzaya ait meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,53 ile 0,51 arasında değişmektedir. Meteorolojik kuraklıklar ile buğday verimi arasındaki ilişki de en yüksek değer SPI-6 ve 9 aylık indislerde Mardin İstasyonunda r=-0,53 Aralık ayında belirlenmiştir (Şekil 66). Mardin İstasyonunda yüksek verim değerleri 2020 ve 2022 yılları arasında 319 ile 368 arasında değişmektedir. Bu yıllardaki yüksek verim değerleri -1,37 ile -0,49 arasındaki şiddetli normal kurak koşullara aittir (Şekil 66). Aralık ayı genellikle buğday bitkisinin kışlama aşaması olup bitkinin büyüme hızının yavaşladığı dönemdir. Verim değerlerinin en yüksek olduğu bu yıllar genellikle kış mevsimi sıcaklıklarının mevsim normalleri üzerinde ancak yağışların mevsim normalleri altındaki yıllara karşılık gelmektedir (MGM, 2019ı; MGM, 2020i; MGM, 2021j). Her ne kadar bu yıllarda düşük yağışlar görülse de sıcaklıkların mevsim normalleri üzerinde görülmesi Aralık ayında bitki

gelişiminde olumlu etkiye sebep olmuştur. Kılık buğdayda kış mevsimindeki yüksek sıcaklıklar buğdayın sürgünlenme aşamasını teşvik ettiğini göstermektedir. Bu aşama, bitkinin daha fazla yan dal oluşturmasına ve dolayısıyla daha fazla başak sayısına ulaşmasına olanak tanır, bu da nihai verimi artırabilir (Xu, vd., 2020) 1999 yılı 75 kg/da, 2000 yılı 89 kg/da en düşük verim değerleri belirlenmiştir (Şekil 66). Aşırı nemli dönemde (2,27) 2018 yılında 174 kg/da verim değeri, aynı zamanda 1994 yılında, şiddetli nemli (1,81) dönemde 185 kg/da verim değeri belirlenmiştir (Şekil 66).

Havza genelindeki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim değerleri arasındaki korelasyon değerleri -0,61 ile 0,49 arasında değişmektedir. Havzada ikinci ürünlere ait veriler Diyarbakır ve Mardin İstasyonlarında eksik olması sebebiyle değerlendirme yapılamamıştır. Ergani, Cizre, Batman, Nusaybin'de pamuk, Siirt'te ise arpa üretim değerlerinin en yüksek olduğu diğer ürünler olarak belirlenmiştir. Bu ürünler arasında en yüksek korelasyon değeri r=-0,57 SPEI-3 aylıklarda Ağustos ayında Batman İstasyonunda pamuğa aittir (Şekil 66). İstasyonlara göre pamuk veriminde kuraklıkların etkisi SPEI-3 aylık indislerde havzanın genelinde yüksektir (Şekil 79). Pamuk özellikle sanayiye ham madde sağlaması açısından önemli bir sanayi bitkisidir. Batman'da pamuk tarımı nisan sonu-mayıs ayı başlarında yapılmaya başlanıp kasım sonuna kadar devam etmektedir. Temmuz-Ağustos ayları tane dolum aşamasıdır ve bu aşamada pamuk kozaları gelişir ve tohumlarla dolar. Bu, verim birikimi için çok önemli bir dönemdir. Tohum dolumu sırasındaki kuraklık, tohum ağırlığını ve yağ içeriğini önemli ölçüde azaltabilir. Yetersiz nem, daha küçük tohumlara ve daha düşük toplam verime yol açabilir (Zhu, vd., 2018). Pamuğun gelişim dönemleri içerisindeki Ağustos ayında artan sıcaklık ve buharlaşma etkisi pamuk verimini azaltabilir. Ancak pamuk üretiminin Batman'da sulamalı sistemler ile yapılıyor olması negatif ilişkinin görülmesine sebep olmuştur (Aydın, 2019). Sulamanın yaygın olduğu alanlarda kuraklık ve verim arasındaki ilişki negatif olabilmektedir (Özelkan, vd., 2016b). Dağılım grafiğinde en yüksek verim değeri 610 kg/da 2020 yılındadır. En düşük verim değeri ise 1992 yılında 185 kg/da şeklindedir (Şekil 66).



Şekil 66. Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Mardin İstasyonu Aralık ayı; Pamuk grafiği Batman İstasyonu Ağustos ayı).

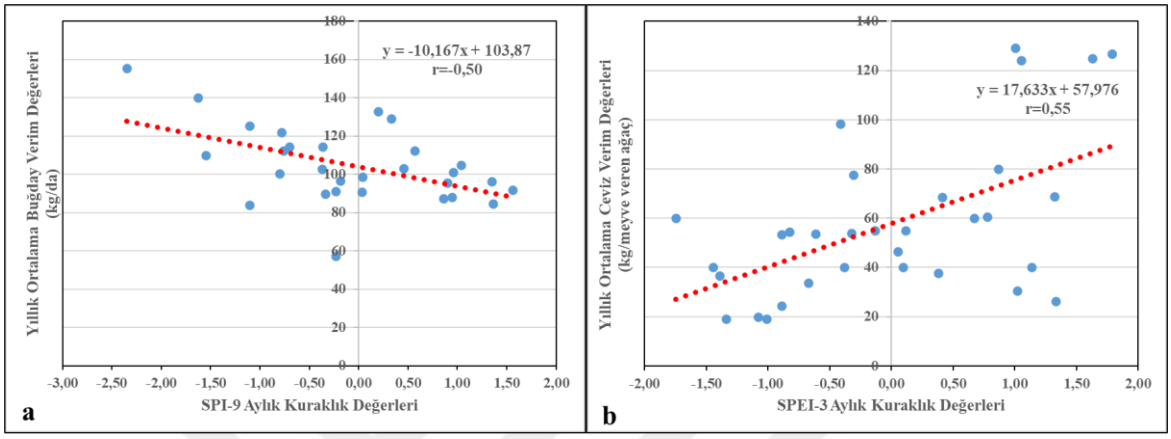
Zap-Şemdinli Alt Havzası: Havzada yer alan bulunan 3 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler ceviz ve arpa olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Hakkâri, Yüksekova ve Başkale İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisini en iyi temsil eden indis SPI-9 aylıklardır ve Şubat ayının etkisi havza genelinde önemlidir (Şekil 42). Havza genelinde ortalama korelasyon değerlerinin dağılışı genellikle SPI-9 aylıklarda havzanın doğusundaki istasyonlarda yüksektir (Şekil 71). İstasyonlara göre meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,46 ile 0,42 arasında değişmektedir. Zap-Şemdinli Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değeri Başkale İstasyonunda SPI-9 aylık indislerde Şubat ayında r=-0,46 olarak belirlenmiştir (Şekil 67). Şubat ayı buğday gelişme dönemleri içerisinde kışlama aşamasından sonraki daha aktif büyüme dönemidir. Özellikle, tipik olarak Şubat ayının sonlarında başlayan birleşme aşaması, biyokütle birikimi ve verim sonuçlarını doğrudan etkileyen süngülenme oluşumu için çok önemlidir (Xu, vd., 2018; Huang, vd., 2022). Dağılım grafiğinde en yüksek verim değeri 2011 yılında aşırı kurak koşullarda (-2,35) 155 kg/da belirlenmiştir (Şekil 67). 2011 yılında havzanın yer aldığı Doğu Anadolu Bölgesi'nde hem yağış değerlerinde azalama hem de sıcaklık değerlerinde normal değerlerin 1,8°C artış gerçekleşmiştir (Şimşek vd. 2012b). Bu durum buğday gelişimi için uygun sıcaklık koşullarını sağlamıştır. Karasal iklimlerde,

Şubat ayı genellikle kışın sona erdiği ve bitkilerin yeniden canlandığı bir dönemdir. Bu dönemde sıcaklıkların artması, buğday bitkisinin fotosentez aktivitesini artırarak, bitkinin besin maddelerini daha etkin bir şekilde kullanmasına olanak tanır (Kondić, vd., 2017). Özellikle, sıcaklıkların 0-5 °C arasında olması, buğdayın gelişim sürecinin başlaması için yeterlidir ve bu durum, bitkinin büyümesini teşvik eder (Kondić, vd., 2017). Düşük verim değeri ise 1992 yılında 92 kg/da şiddetli nemli koşullarda (1,56) belirlenmiştir (Şekil 67). Ancak 1992 yılı Türkiye'de kış mevsiminde düşük sıcaklıkların etkili olduğu dönemdir (Akbaş, 2014). Nemliliğin arttığı dönemlerde buğday verimini öncelikle su basması yoluyla olumsuz etkilenebilir ve bu durum özellikle birleşme ve olgunluk aşamaları sırasında zararlıdır. Su basması, büyüme oranlarının düşmesi ve verim oluşumu için kritik öneme sahip olan sürgün ölümlerinin artması nedeniyle biyokütlenin azalmasına neden olabilir (Chen, vd., 2018; Celedonio, vd., 2014). Çalışmalar, yağış ve buğday verimi arasındaki maksimum negatif korelasyonun bu dönemde gerçekleştiğini göstermiştir, bu da aşırı nemin büyüme ve gelişmeyi ciddi şekilde engelleyebileceğini göstermektedir (Chen, vd., 2018). Ayrıca, suya doygun koşullar kök solunumunu ve besin alımını bozarak bitki sağlığının kötüleşmesine ve verim potansiyelinin düşmesine neden olabilir (Tian, vd., 2021).

Havza genelindeki istasyonlarda meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim değerleri arasındaki korelasyon değerleri istasyonlara göre -0,41 ile 0,55 arasında değişmektedir. Başkale'de arpa ve Hakkâri'de ise ceviz en yüksek üretime sahip ikinci ürünler olarak belirlenmiştir. Yüksekova İstasyonunda yüksek üretim değerlerinin tam olarak mevcut olduğu bir ürün belirlenememiştir. En yüksek korelasyon değeri r=0,55 SPEI-3 aylık indislerde Aralık ayında Hakkari İstasyonunda ceviz için belirlenmiştir. Aralık ayı genellikle Zap-Şemdinli Alt Havzası düşük sıcaklıkların kış mevsiminde görüldüğü genellikle kışların kar yağışlı geçtiği bir alana karşılık gelmektedir. Ceviz ağaçları, belirli bir soğuklama süresine ihtiyaç duyarlar. Aralık ayındaki kuraklık, bu soğuklama sürecini etkileyebilir. Yeterli soğuklama süresi sağlanmadığında, ceviz ağaçları çiçek açma ve meyve verme dönemlerinde sorun yaşayabilir (Bayazit, 2024). Bu sebeple artan sıcaklık ve buharlaşma değerleri ceviz ağaçlarının yeterli gelişim sürecini sağlayamamasına neden olmaktadır. Dağılım grafiğinde en yüksek verim değerleri 1991 ile 1994 yılları arasındadır (Şekil 67). Bu yıllarda verim değerleri 124 ile 129 kg/meyve veren ağaç şeklinde değişmektedir. Bu dönemler aynı zamanda Türkiye'de şiddetli ısınmanın görülmediği düşük sıcaklıkların ve nemliliğin fazla olduğu yıllardır (Akbaş, 2014). Düşük verim değerleri 19

kg/meyve veren ağaç özellikle 2021 ve 2022 yıllarında belirlenmiştir (Şekil 67). Bu yıllar havzanın yer aldığı Doğu Anadolu Bölgesi'nde Aralık ayında 2020 yılında kış mevsimi sıcaklıkları 1,3 °C, 2021 yılında ise 2,6°C mevsim normalleri üzerinde sıcaklık değerleri mevcuttur (MGM, 2021j; MGM, 2022k).



Şekil 67. Zap-Şemdinli Alt Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Başkale İstasyonu Şubat ayı; Ceviz grafiği Hakkâri istasyonu Aralık ayı).

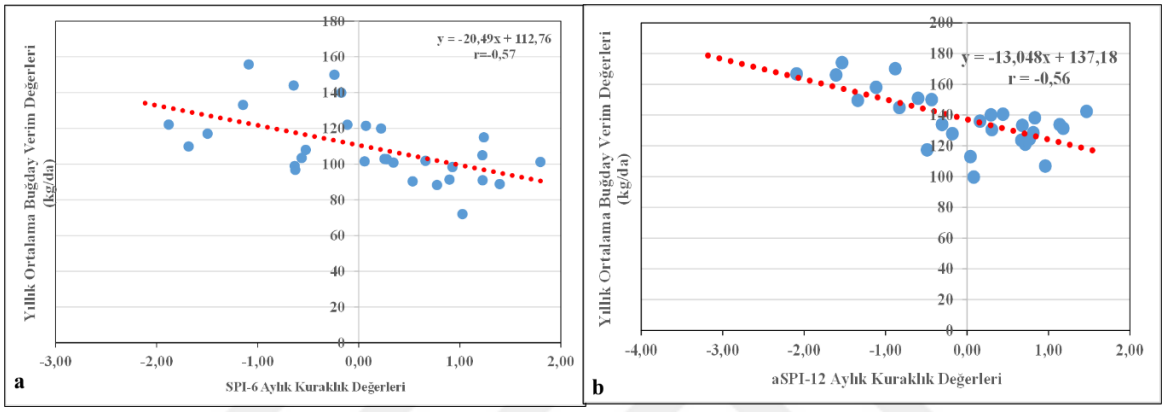
Çoruh Havzası**:** Havzada yer alan bulunan 5 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler elma ve arpa olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Bayburt, İspir, Oltu, Tortum ve Artvin istasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların etkisini en iyi yansıtan indis SPI-12 indisidir (Şekil 42). Havza genelinde Ocak ayındaki kuraklıkların verimdeki etkisi belirlenmiştir. Havza genelindeki ortalama korelasyon değerlerinde yüksek değerler SPEI-6 aylıklarda havzanın doğusunda yüksektir (Şekil 71). İstasyonlara göre meteorolojik kuraklıklar ve buğday verimi arasındaki korelasyon değerleri -0,57 ile 0,53 arasında değişmektedir. Çoruh Havzası'nda Tortum İstasyonunda SPI ile aSPI-6 aylık değerlerde Aralık ayında yüksek korelasyon değeri -0,57 olarak belirlenmiştir (Şekil 68). En yüksek verim değeri 270 kg/da 2022 yılında en düşük verim değeri 43 kg/da 200 yılında belirlenmiştir. Bu yıllar dağılım grafiğinden çıkarıldığında en düşük verim değeri 72 kg/da 1996 yılına ait iken en yüksek verim değeri 155 kg/da 2014 yılındadır (Şekil 68). Havada en

düşük verim değeri şiddetli nemli (1,03) koşullarda belirlenirken yüksek verim değeri 2014 yılı şiddetli (-1,09) kurak döneme denk gelmektedir (Şekil 68). 2014 yılında normal yağışlara göre Aralık ayında %11,9 oranında artış mevcuttur (MGM, 2015e). Bu durum verim de negatif etkiye sebep olmaktadır. Aralık ayında meydana gelen nemlilik ve aynı zamanda düşük sıcaklıklar geç ekimlerde buğday tanelerinin gelişimini olumsuz etkileyebilir bu durumda verimde düşüşlere neden olmaktadır. Aralık ayında görülen negatif korelasyon değerleri yaşanan nemli koşullar bitkinin fungal hastalıkların yayılmasını arttırabilir ya da kök çürüklüğü gibi hastalıklara zemin hazırlayarak verim kaybına neden olabilir (Gültekin vd., 2017; İrdem, 2022). Aynı zamanda bu dönemdeki yüksek nemlilik, buğdayın olgunlaşma sürecini geciktirerek, hasat zamanını uzatabilir ve bu da verim kaybına neden olabilir (İrdem, 2022). Aşırı nem, kök solunumu için kritik öneme sahip olan toprak havalanmasının zayıflamasına yol açabilir. Kökler oksijenden mahrum kaldığında, bodur büyüme ve verim oluşumu için gerekli olan kardeşlenmenin azalmasıyla sonuçlanabilir (Grant, vd., 2011). Ayrıca, yüksek nem su alımı ve terleme dengesini bozarak büyüme ve gelişmeyi engelleyebilecek fizyolojik strese yol açabilir (Farooq, vd., 2015). Aralık ayında yaşanan kuraklık, bitkilerin kök sisteminin derinleşmesine ve su kaynaklarını daha verimli kullanmasına olanak tanıyabilir. Bu, bitkinin suya erişimini artırarak, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde verim artışına yol açabilir (Gülser ve Kızılkaya, 2020).

Havza genelindeki ortalama korelasyonlarda yüksek değerler genellikle RDI-9 ve 12 aylıklarda yüksektir (Şekil 73). Meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlere ait verim değerleri arasındaki korelasyon değerleri istasyonlara göre -0,56 ile 0,40 arasındadır. Bayburt ve Artvin istasyonlarında elma, İspir Oltu ile Tortum İstasyonlarında arpa üretim miktarı en fazla olan ikinci ürün olarak belirlenmiştir. Çoruh Havzası'nda en yüksek negatif ilişki arpa da aSPI-12 aylıklarda Mayıs ayı için Tortum İstasyonuna aittir (Şekil 68). Dağılım grafiğinde ilişkinin daha belirgin olabilmesi amacıyla 2000, 2004, 2021 ve 2022 yıllarına ait verim değerleri çıkarılmıştır. 2000 yılı verim değerleri içerisinde en düşük verim değeri 56 kg/da iken 2021 yılı 221 kg/da, 2022 yılı 219 kg/da ile en yüksek verim değerlerine karşılık gelmektedir (Şekil 68). Ayrıca 2004 yılında da 163 kg/da yüksek verim değeri dağılım grafiklerinden çıkartılarak düzenlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda aşırı kurak değer -2,04'te 167 kg/da verim değeri mevcuttur (Şekil 68). Aşırı kurak döneme karşılık gelen verim değerinin yüksek olduğu 2014 yılıdır. Nemli ve orta nemli koşullarda birbirine yakın

verim değerleri görülse de grafikte azalan bir verim değişimi dikkat çekmektedir (Şekil 68). Mayıs arpa gelişim dönemleri içerisinde çiçeklenme ve tohum oluşturma dönemine karşılık gelmektedir. Bu dönemde farklı çalışmalarda olduğu gibi yüksek sıcaklıklar ile mantar türü hastalıklarda yayılma oranları azalarak verimde artış görülmektedir (Marik, vd., 2011; Aslan, vd., 2022; Bello ve Walker, 2017). Bu sebeple çeşitli karasal iklime bağlı yarı kurak bölgelere denk gelen istasyonlarda negatif ilişki arpanın çiçeklenme döneminde düşük nemlilik ve orta kurak koşullara ihtiyaç duyduğunu işaret etmektedir.



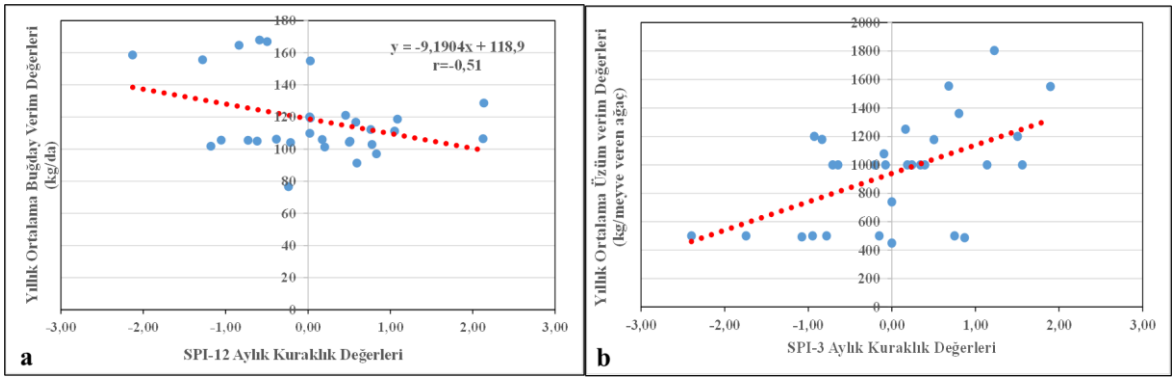
Şekil 68. Çoruh Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Tortum İstasyonu Aralık ayı; Arpa grafiği Tortum istasyonu Mayıs ayı).

Aras Havzası: Havzada yer alan bulunan 7 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa, şekerpancarı ve üzüm olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan Horasan, Arpaçay, Kars, Sarıkamış, Ardahan, Iğdır ve Doğubeyazıt İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Havza genelinde buğday verim değerleri üzerindeki meteorolojik kuraklıkların etkisini en iyi yansıtan kuraklık indisi SPI-12 aylıktır (Şekil 42). Bu indise göre kuraklığın etkisi en fazla Ocak ayında havza genelinde etkili olmaktadır. İstasyonlara göre ortalama korelasyon değerlerinde en yüksek değer genellikle RDI-12 indisinde havzanın doğusunda belirlenmiştir (Şekil 71). Kuraklık analizleri ve buğday verim değerleri korelasyon katsayıları istasyonlara göre -0,62 ile 0,46 arasında değişmektedir. En yüksek korelasyon

değeri -0,62 Temmuz ayı SPI-1 Horasan İstasyonuna aittir. Temmuz ayı genel olarak buğdayın hasat edildiği dönemdir. Bu sebeple bir diğer yüksek korelasyonun görüldüğü Horasan İstasyonunda Mart ayında SPI-12 aylıklarda r=-0,51 olarak belirlenmiştir (Şekil 69). Mart ayı genellikle buğdayın büyümeye başladığı ve bitki yaprak sayısının arttığı dönemdir. Bu aya ait aşırı kurak koşullarda (-2,13) verim değeri 158 kg/da olarak belirlenmiştir (Şekil 69). Bu ayda yaşanan kuraklıklar bitkinin gelişimi için uygun sıcaklıkların oluşmasında etkili olmasına bağlı verimde artışı temsil etmektedir. 2018 yıl Mart ayı sıcaklıkları havzada mevsim normalleri üzerindedir bu durum havzada bitkinin gelişimi için uygun sıcaklıkları sağlamıştır. Mart ayında buğday bitkisi, kök gelişimi ve sağlıklı büyüme için yeterli oksijene ihtiyaç duyar. Toprakta suyun aşırı birikmesi, köklerin oksijen alımını kısıtlayarak kök çürümesine yol açabilir. Kök çürümesi, bitkinin su ve besin maddelerini almasını zorlaştırarak, büyüme ve gelişim süreçlerini olumsuz etkiler (Xu, vd., 2018). Araştırmalar, yüksek nem koşullarında kök sağlığının bozulduğunu ve bunun da verim kaybına neden olduğunu göstermektedir (Waseem, vd., 2022). Bu durum, bitkinin sağlığını tehdit ederek, verim kaybına yol açabilir. Özellikle, buğdayda yaprak lekesi ve diğer mantar hastalıkları, yüksek nem koşullarında daha yaygın hale gelir (Aktaş, 2023). Bu nedenle, aşırı yağış, buğday verimini olumsuz etkileyen bir faktör olarak değerlendirilebilir.

Kuraklık analizleri ve ikinci ürünlere ait verim değerleri -0,42 ile 0,54 arasında değişmektedir. Havzada bulunan istasyonlarda Iğdır dışında en fazla üretim miktarı bulunan ürün arpadır. Buna bağlı olarak Iğdır İstasyonunda üzüm diğer istasyonlarda ise arpa ile meteorolojik kuraklıklar arasındaki ilişkiye bakılmıştır. En yüksek ilişki değeri üzümde belirlenmiştir. Aras Havzası'nda en yüksek korelasyon değeri aSPI ve SPI-3 aylık indislerde r=0,54 olarak Iğdır İstasyonunda belirlenmiştir (Şekil 75). Dağılım grafiğinde düşük verim değerlerinin 450-500 kg/meyve veren ağaç arasında değiştiği koşullar -2,40 aşırı kurak değer ile normal kurak değer (0,78) arsında değişmektedir (Şekil 69). Bu düşük verim değerlerinin 2008 yılı ile 2012 yılları arasında olduğu görülür. Bu yıllar genellikle Türkiye'de kış mevsiminde yağış değerlerinde azalma ve şiddetli kuraklıklar hakimdir. En yüksek korelasyonun görüldüğü Ocak ayı üzüm için dinlenme dönemidir. Ancak bu dönemde meydana gelecek yüksek sıcaklık ve kuraklıklar dönemdeki toprak neminin azalması bitkilerin kök sisteminin zayıflaması ve yaz aylarında su alımının kısıtlanmasına etki etmektedir (González-Fernández, vd., 2020).



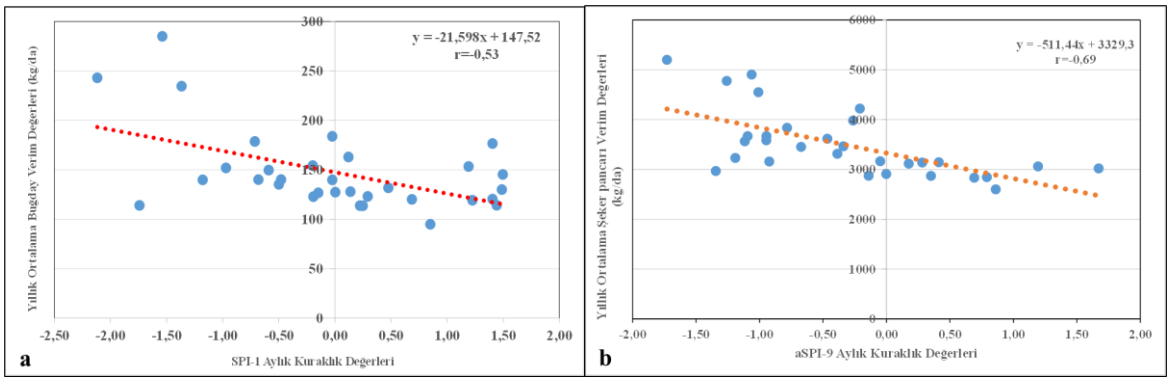
Şekil 69. Aras Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Horasan İstasyonu Mart ayı; Üzüm grafiği Iğdır İstasyonu Ocak ayı).

Van Gölü Havzası: Havzada yer alan bulunan 6 meteoroloji istasyonuna ait kuraklık indisleri ve buğday verimi ile ikinci tarımsal ürünlerin verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada buğdaydan sonra kuraklığın etkisinin belirlenmesi için kullanılan ikinci ürünler arpa ve şekerpancarı olarak belirlenmiştir. Havzada yer Ahlat, Tatvan, Erciş, Muradiye, Özalp ve Van İstasyonlarında buğday ve ikinci ürünlere ait değerlendirmeler yapılmıştır.

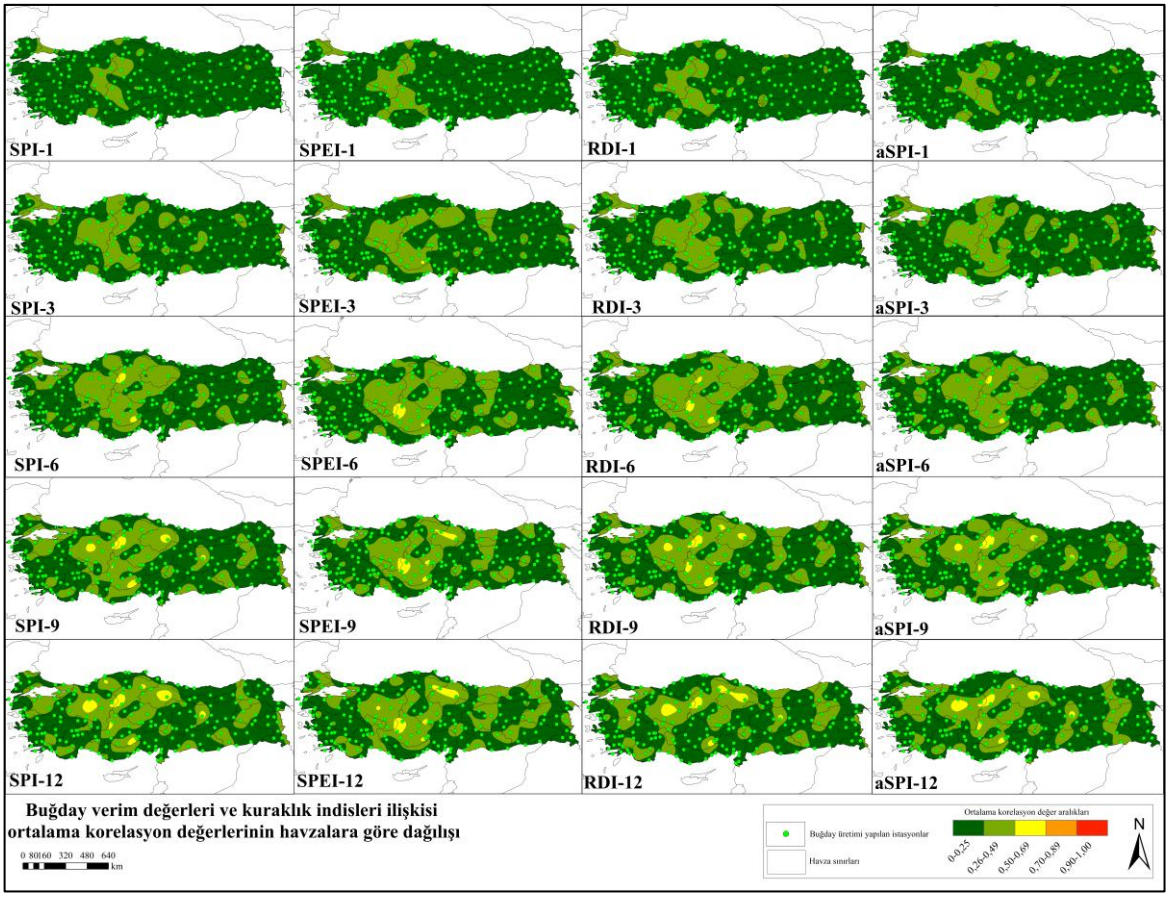
Havza genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etki SPEI-6 indisi ile en iyi temsil edilirken, Mayıs ayındaki kuraklık etkisi önemlidir (Şekil 42). İstasyonlardaki ortalama korelasyon değerlerinin değişiminde SPEI indisinde uzun dönemli kuraklıklarda yüksek değerler görülür (Şekil 71). Meteorolojik kuraklıklar ve buğday verim değerleri istasyonlara göre -0,53 ile 0,52 arasında korelasyon değerleri değişmektedir. Van Gölü havzasında yüksek negatif ilişki r=-0,53 Nisan ayı Ahlat İstasyonunda belirlenmiştir (Şekil 70). Nisan ayı buğdayda kardeşlenme ve sapa kalkma evresidir ve bu dönemdeki yağış verimi arttırmaktadır (Altıner, vd., 2018). Ancak nemli dönem patojenler gibi mantar hastalıklarının çoğalmasına elverişli bir ortam yaratabilir. Bu hastalıklar, erken tane ölümüne neden olarak ve toplam tane ağırlığını azaltarak tane kalitesini ve verimini ciddi şekilde etkileyebilir (Yang, vd., 2020). Yüksek nem ve ıslak koşulların varlığı, fungisit uygulamalarının etkinliğini de engelleyerek hastalık yönetimini daha zor hale getirebilir (Yang, vd., 2020). Dağılım grafiğinde en yüksek verim değerleri 285 kg/da ve 243 kg/da arasındaki değerler -2,12 ile -1,37 arasındaki kurak koşullardadır (Şekil 70). En yüksek verim değerinin görüldüğü yıllar ise 2019, 2021 ve 2022 yıllarındadır (Şekil 70). Ahlat İstasyonunda her ne kadar Nisan ayı bitki gelişimi için uygun yağışlar alıyor görünse de bitki

gelişiminde düşük sıcaklıkların görülmesi nemli koşullarda da azalan verim değerlerine neden olmaktadır. Nisan ayında düşük sıcaklıklar toprakta suyun donarak bitkinin etkili kullanımını engellerken artan sıcaklıklar bitkinin topraktaki suyu etkili kullanma imkanını arttırmaktadır.

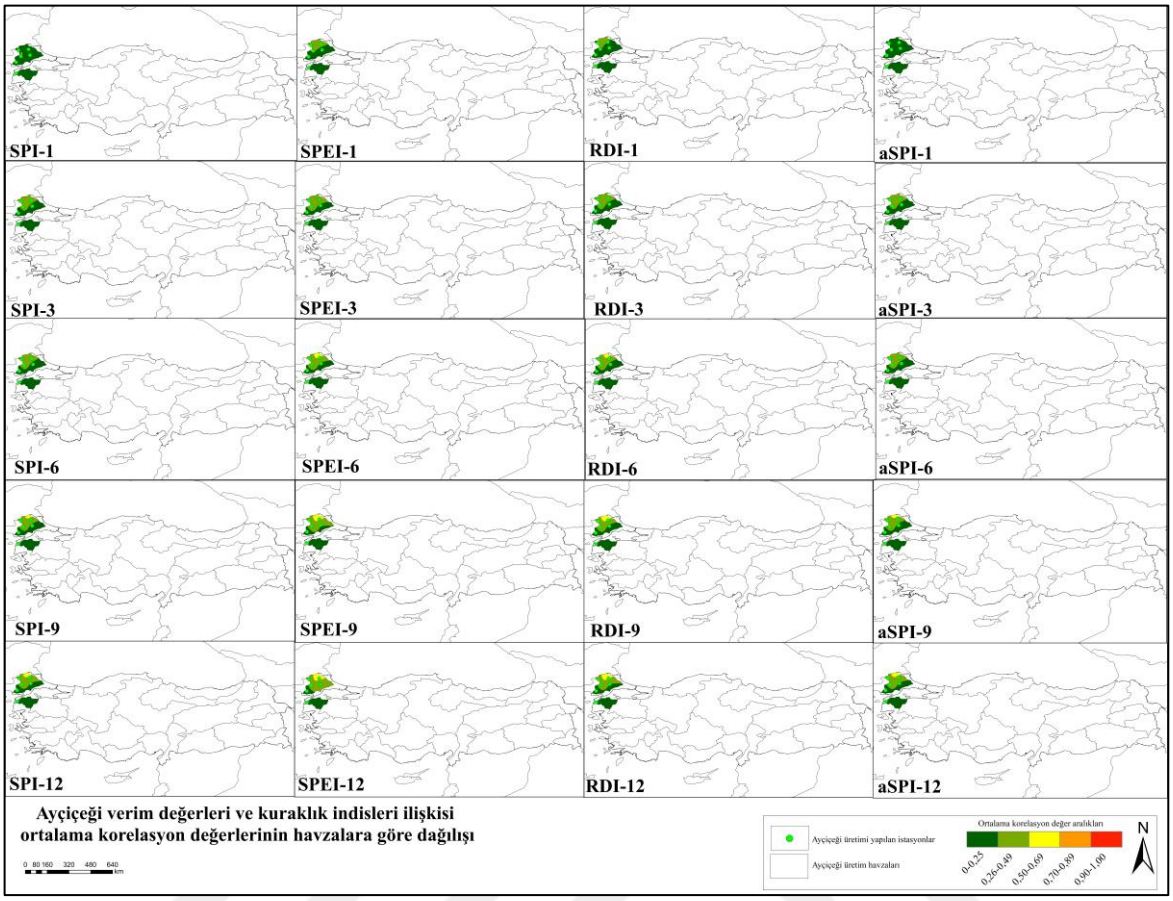
Meteorolojik kuraklıklar ve ikinci ürünlerin verim değerleri korelasyon değerleri -0,69 ile 0,60 arasında değişmektedir. Havzada bulunan istasyonlarda Özalp İstasyonundaki yüksek arpa üretimi dışında diğer istasyonlarda en yüksek üretim miktarı şeker pancarına aittir. Yapılan değerlendirmelerde en yüksek korelasyon değeri Van Gölü Havzası'nda aSPI-9 aylık değerlerde şeker pancarı bitkisinde Eylül ayında negatif ilişkilidir (Şekil 70). Havza genelindeki istasyonlarda da ortalama korelasyon değerleri genellikle 12 aylık uzun dönemli kuraklıklarda yüksektir (Şekil 76). Eylül ayında nemli dönemlerde görülen düşük verim değerleri ürünün şeker tutma dönemine karşılık gelen bu ayda yumrudaki şeker birikimin azaltıp, bitkinin yapraklarının kırılmasına ve kökün çürümesine sebep olmaktadır. Bu durum şeker pancarındaki verim değerinde azalmaya neden olur. Dağılım grafiğinde en yüksek verim değeri şiddetli kurak dönemde (-1,73) 2021 yılında 5,200 kg/da olarak belirlenmiştir (Şekil 70). Olgunlaşma dönemi olan Eylül ayında yüksek sıcaklık az yağış isteyen şeker pancarı için 2021 yılı en sıcak yıllardan biridir (Güler ve Erlat, 2023). Özellikle bu yılda Ekim ayında normalleri civarındaki sıcaklar diğer aylarda normal sıcaklıkların üzerinde olmuş bu durum verimi etkilemiştir (MGM, 2022k). Şiddetli nemli (1,67) dönemde verim 3,021 kg/da 1992 yılındadır (Şekil 70). Bu dönemdeki Pinatubo Volkanik Patlamasının etkisi ile görülen sıcaklıklardaki azalma verimde düşüşü tetiklemiştir.



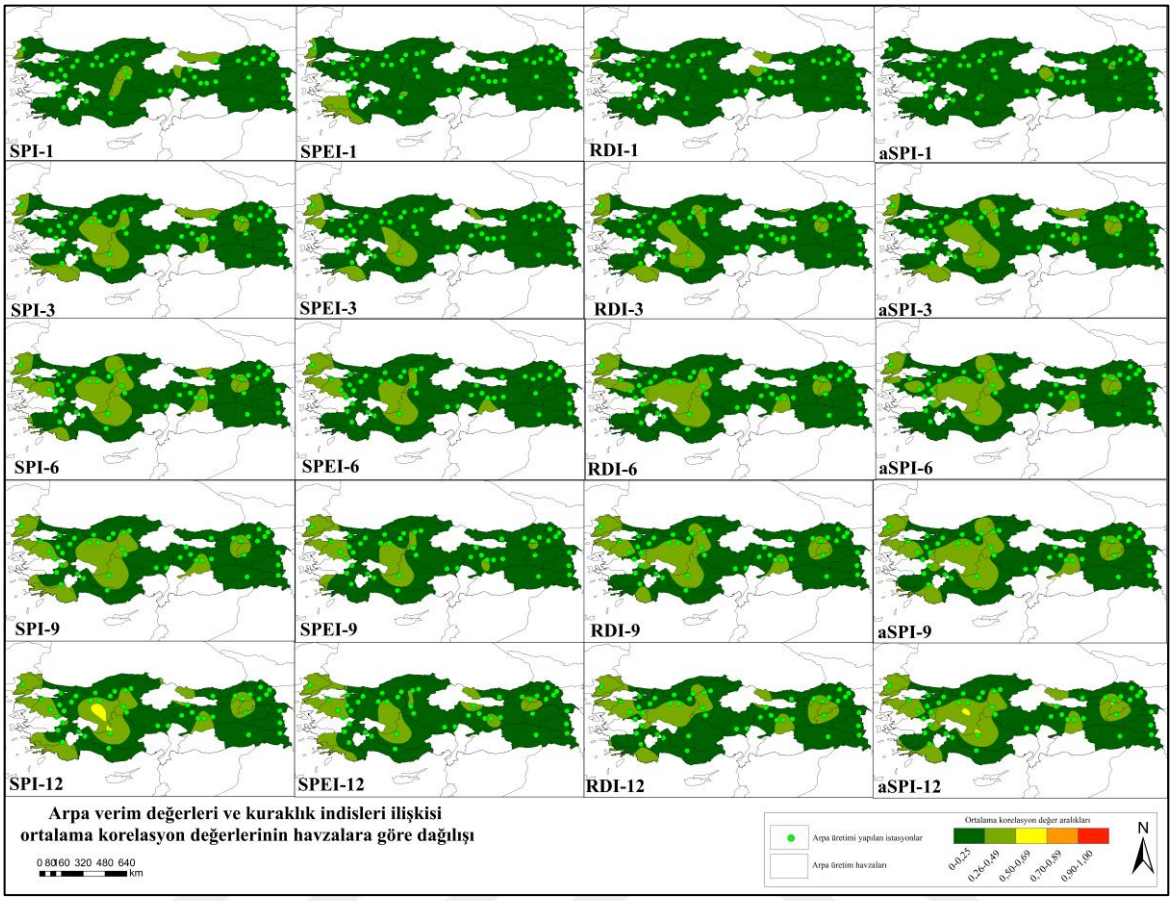
Şekil 70. Van Gölü Havzası'nda en yüksek korelasyon değerinin belirlendiği ürünler ve istasyonlara ait dağılım grafiği (a: Buğday grafiği Ahlat istasyonu Nisan ayı; Şeker pancarı grafiği Ahlat istasyonu Eylül ayı).



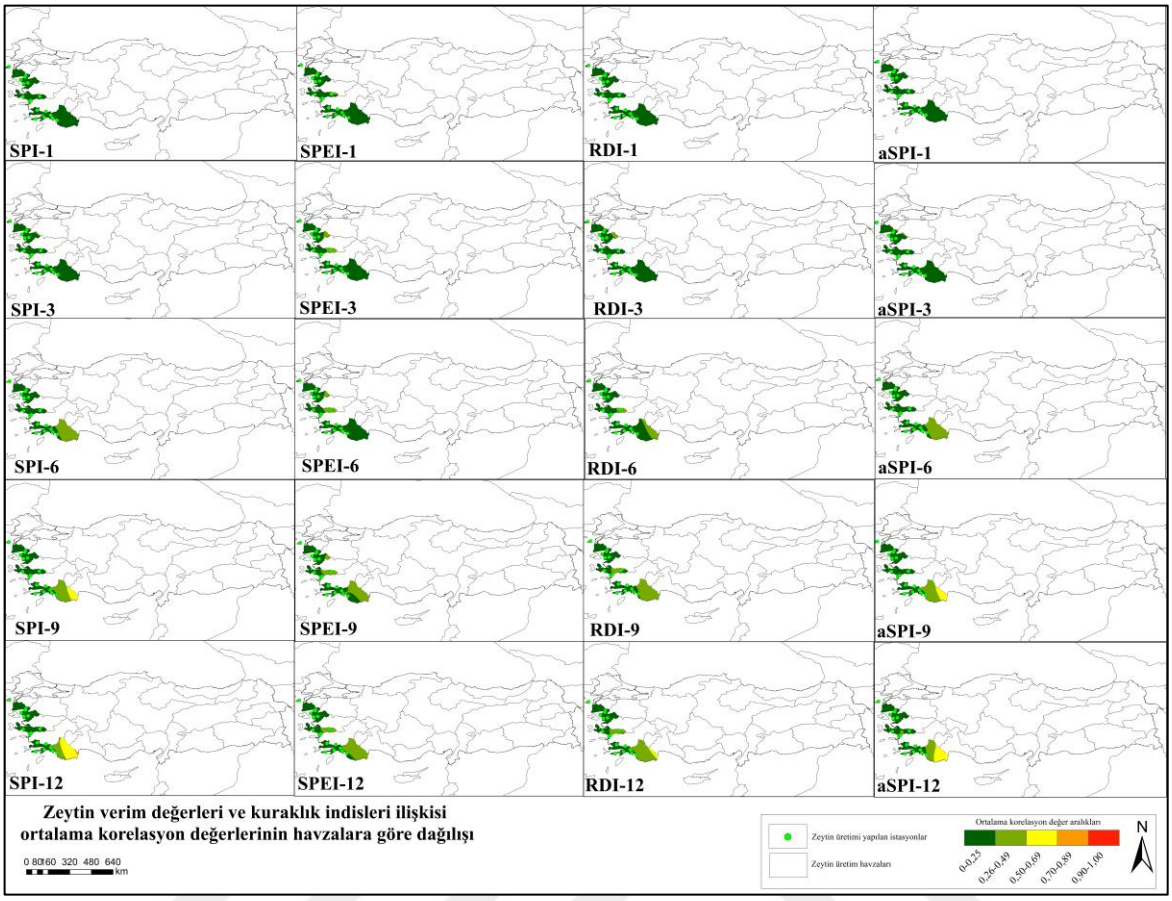
Şekil 71. Buğday üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve buğday verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.



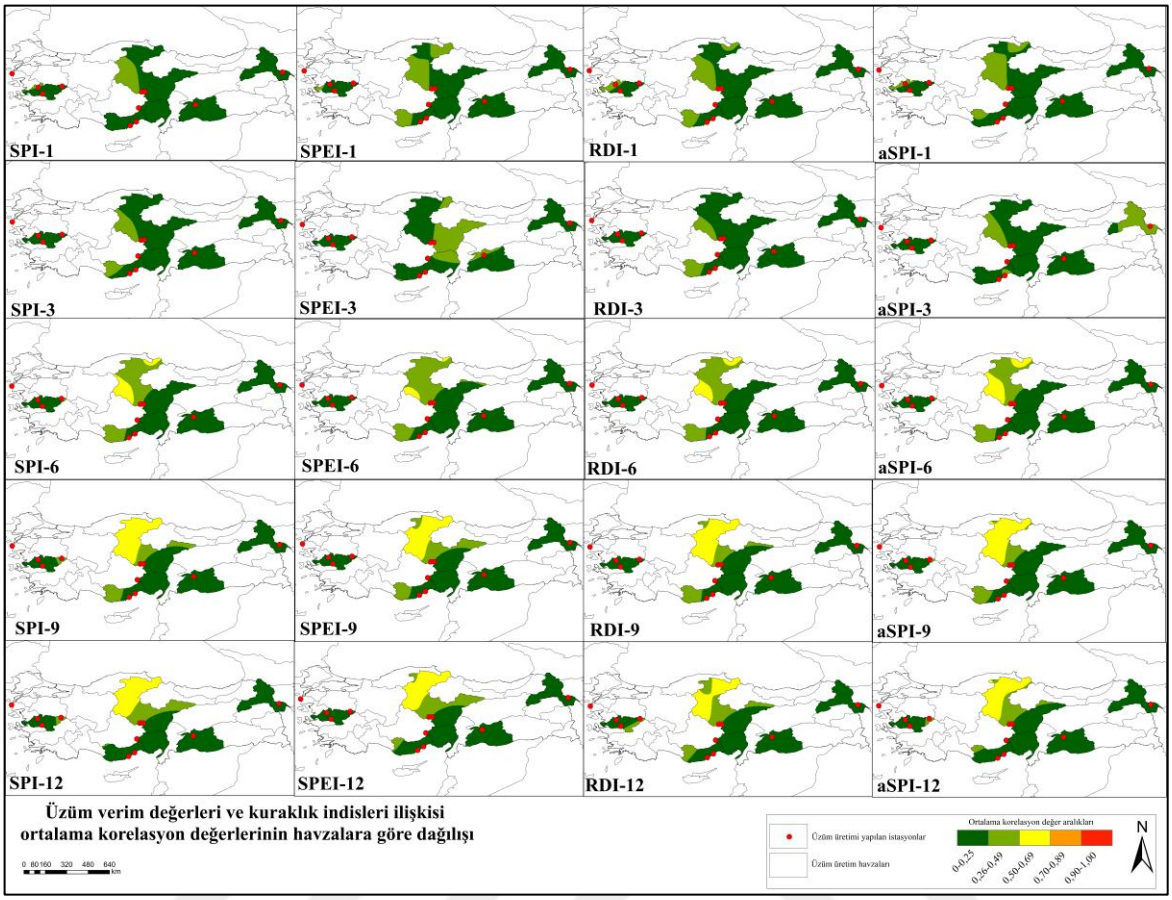
Şekil 72. Ayçiçeği üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve ayçiçeği verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.



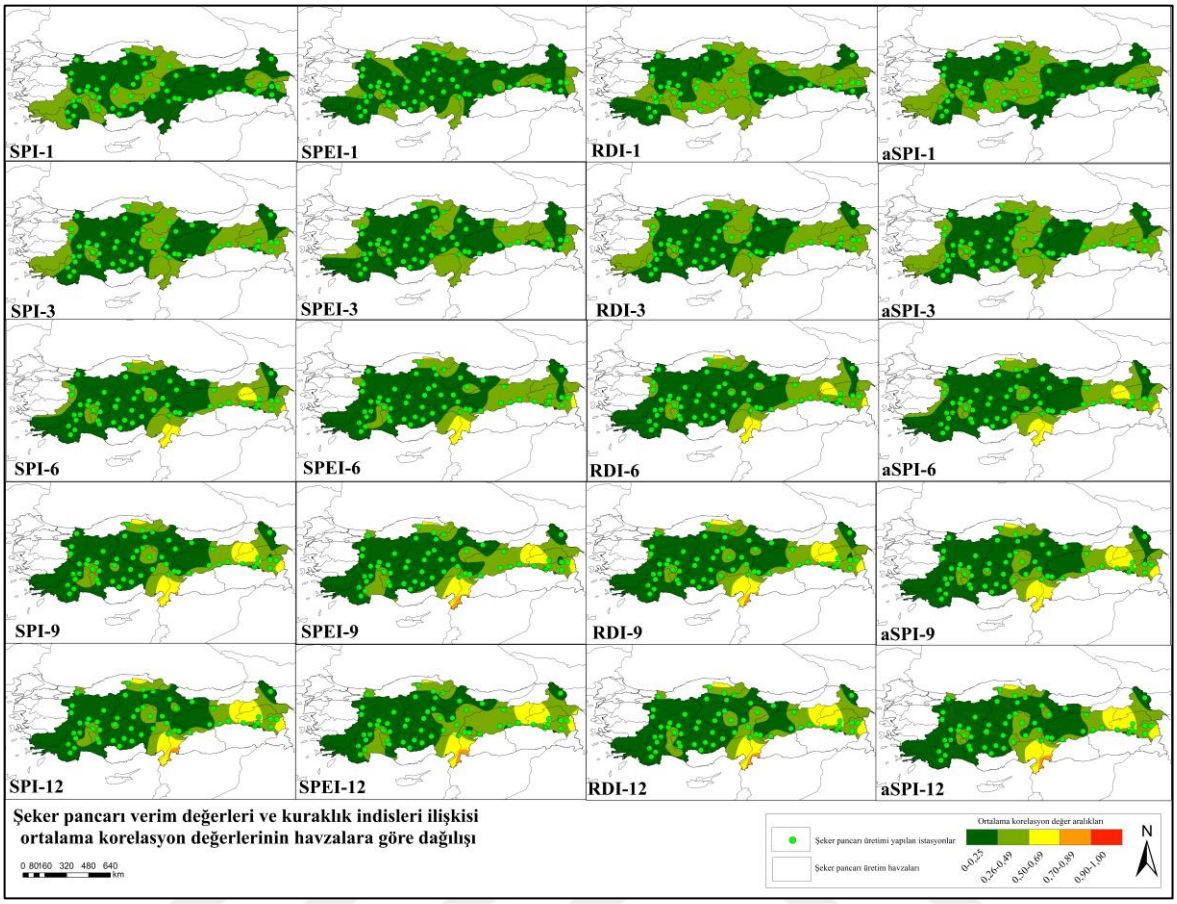
Şekil 73. Arpa üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve arpa verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.



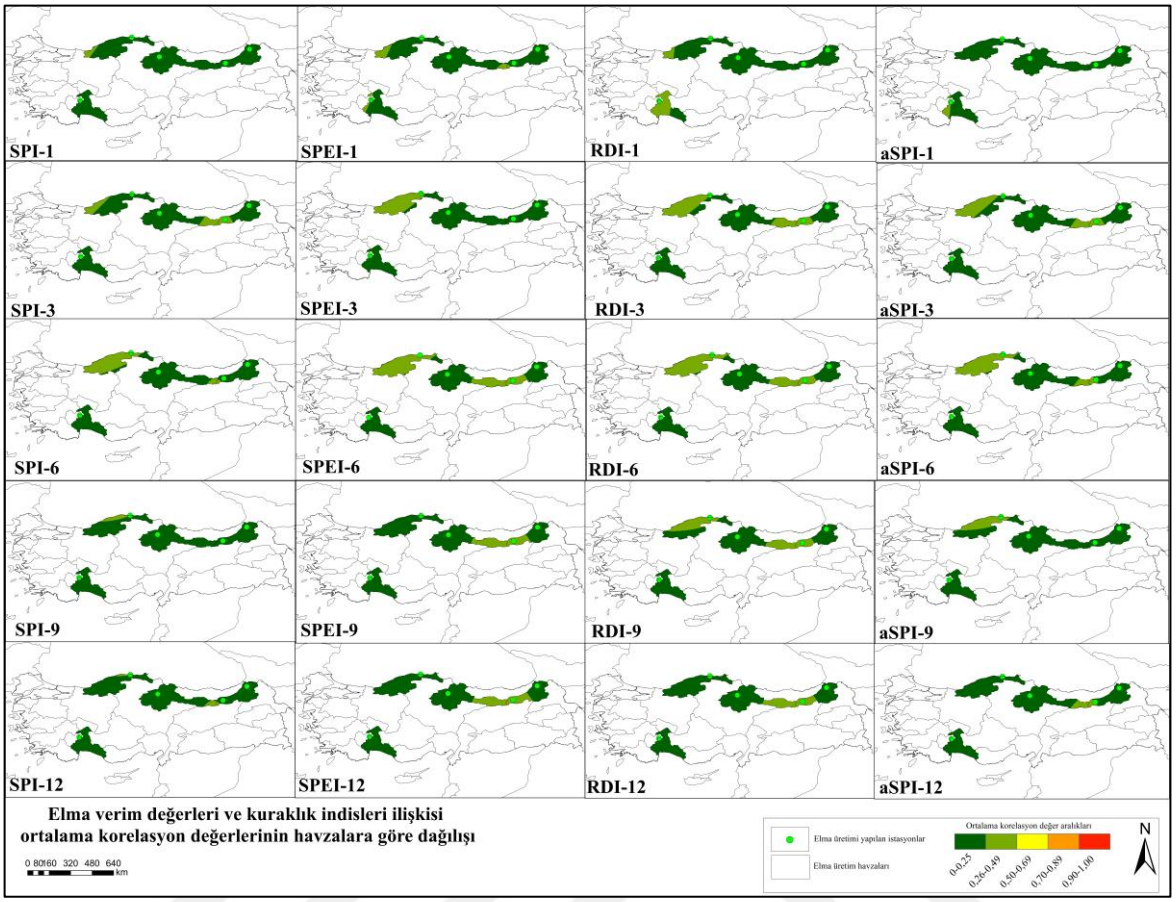
Şekil 74. Zeytin üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve zeytin verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.



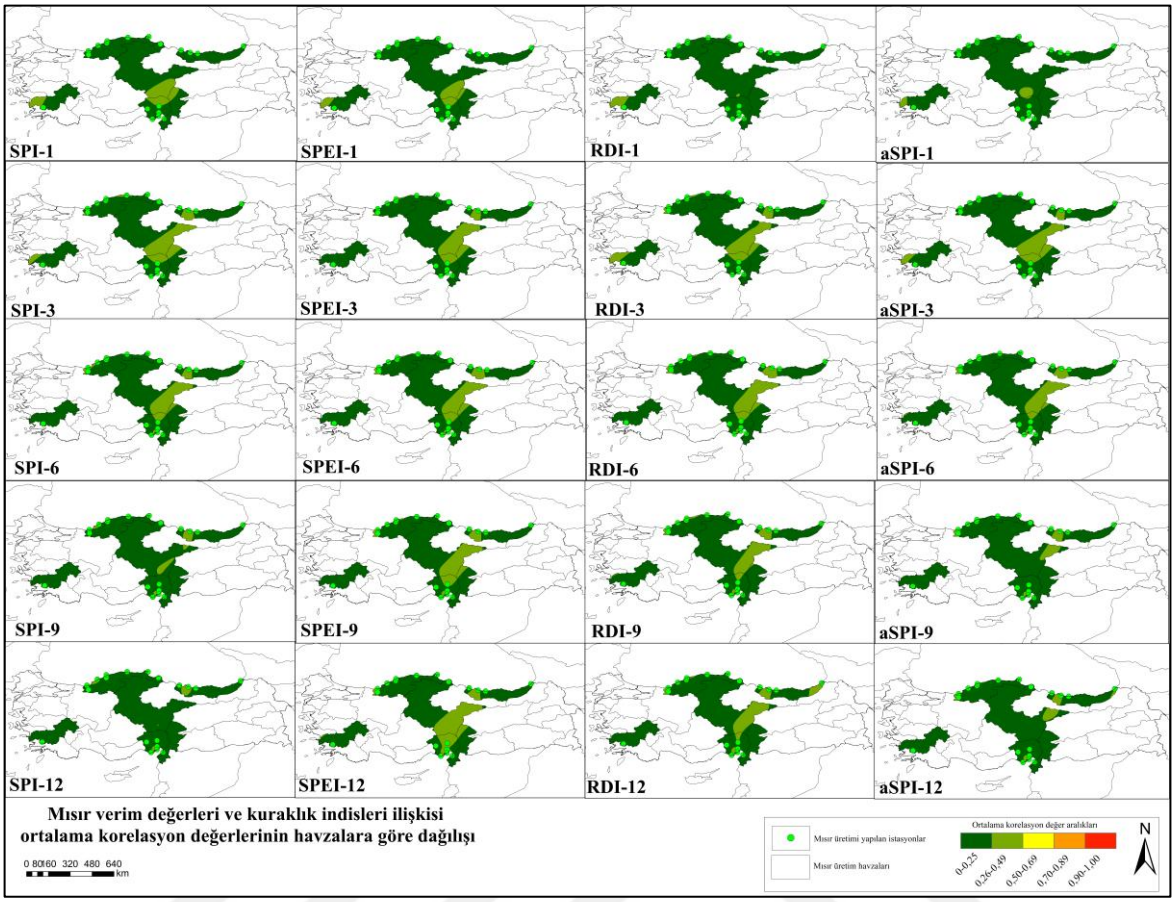
Şekil 75. Üzüm üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve üzüm verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.



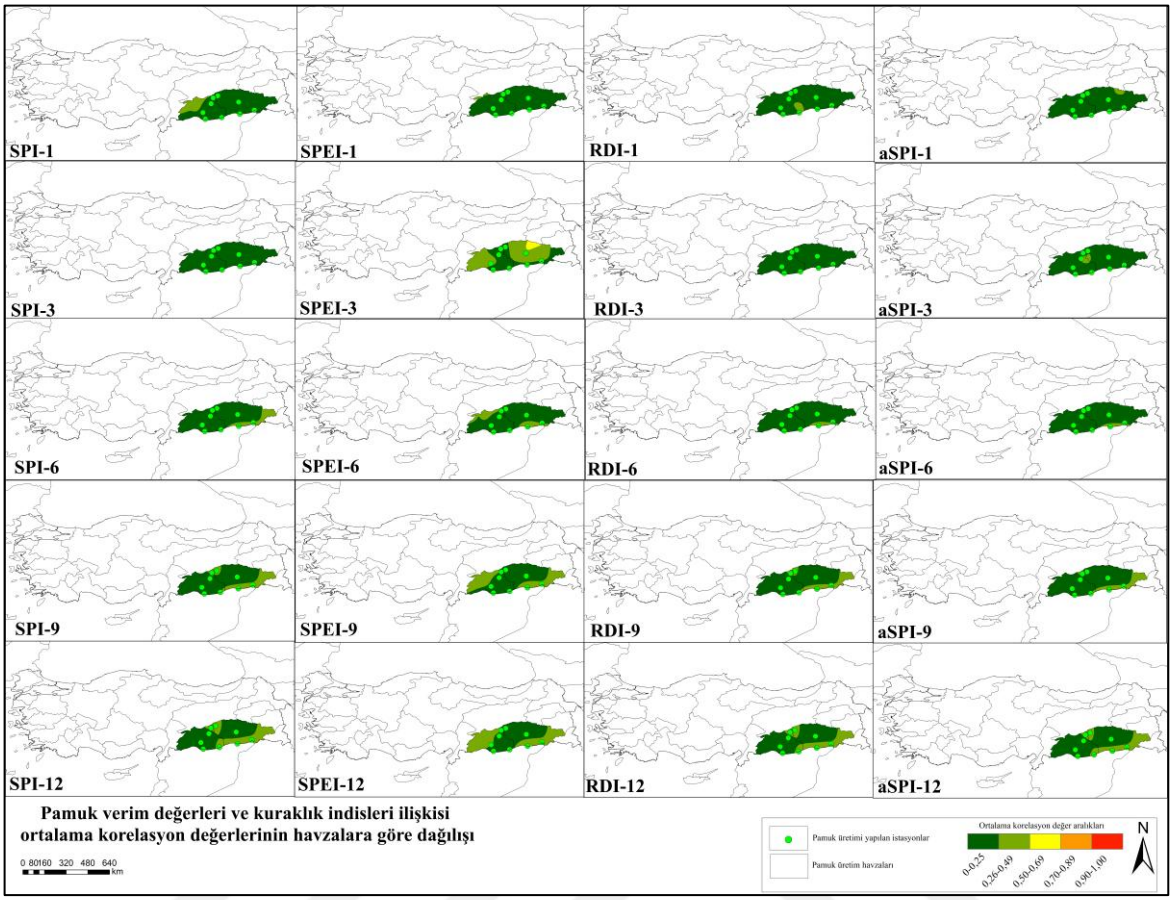
Şekil 76. Şeker pancarı üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve şeker pancarı verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.



Şekil 77. Elma üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve elma verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.



Şekil 78. Mısır üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve mısır verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.



Şekil 79. Pamuk üretiminin yapıldığı istasyonlardaki meteorolojik kuraklıklar ve pamuk verim değerleri arasındaki ortalama korelasyon değerlerinin indislere göre dağılışı gösterilmiştir.

ALTINCI BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın sonucunda gerçekleştirilen kuraklık analizlerinin mekânsal ve zamansal değişimi ile buğday verimi ve belirlenen ikinci tarımsal ürün verimi arasındaki ilişki detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerin bulguları, üç ana başlık altında özetlenmiştir. İlk başlık, havzalara göre kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimindeki farklılıkları ele almaktadır. İkinci başlıkta, havzaların meteorolojik kuraklıklar ile buğday verimi arasındaki ilişki düzeyleri incelenmiştir. Üçüncü başlık ise, her havzada en yüksek üretim değerine sahip olan ikinci tarımsal ürün için meteorolojik kuraklıklar ile verim arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesine odaklanmaktadır.

6.1. Havza Bazında Meteorolojik Kuraklıkların Değerlendirilmesi

Çalışmamızda Türkiye'deki 24 hidrolojik havza ve alt havzaları için 1991-2022 dönemini kapsayan kapsamlı bir kuraklık analizini içermektedir. Bu analizlerde kuraklığın çalışma alanın geneli ile havzalar özelinde mekânsal ve zamansal değişimini coğrafi faktörlerin bu değişim üzerindeki etkisini sunmak için SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılmıştır. Türkiye'nin topografik koşulları ile iklim değişikliğine hassas bir alan Akdeniz Havzası'nda yer alması kuraklığın mekânsal ve zamansal değişiminde en önemli faktör olmuştur. Çalışmanın sonuçları aşağıda verilmiştir:

İndis türlerine göre kuraklık şiddetlerinin değerlendirilmesinde SPI, RDI ve aSPI indislerinin SPEI indisine göre daha yüksek kuraklık değerleri hesapladığı belirlenmiştir. Tüm indislerde temel olarak yağış verilerinden yola çıkılarak kuraklık şiddeti hesaplanmaktadır. SPI, yağışın uzun vadeli ortalamaya göre sapmasını değerlendirirken, RDI yağışın potansiyel evapotranspirasyona (PET) olan oranının sapmasını değerlendirmektedir. aSPI ise yağışın bitkilerin kullanabileceği tarımsal yağış verilerini standartlaştırmaktadır. Bu sebeple SPI, RDI ve aSPI indislerinde yağış verisinin dikkate alınması ortalamanın altındaki yağışlarda aşırı kurak değerler göstermektedir. SPEI indisinde yalnızca yağış miktarının değil aynı zamanda potansiyel evapotranspirasyon (PET) (bitkisel-terleme ve buharlaşma) etkisinin dikkate alınması sebebiyle daha düşük kuraklık değerleri gösterebilir. Düşük yağışlı bir dönemin etkisi SPEI indisinde PET ile dengelenerek

daha düşük kuraklık seviyeleri hesaplanabilmektedir. Bu sebeple çalışmamızda farklı iklim özelliklerinin görülmesi havzalara göre SPI, RDI ve aSPI indislerinde yüksek kuraklık değerlerinin görülmesine neden olurken, bu indislere göre SPEI için daha düşük kuraklık değerleri belirlenmiştir. Aynı zamanda SPI, RDI ve aSPI indislerinde birbirine yakın kuraklık değerlerinin görülmesi yağışın hesaplamada temel girdi olarak kullanılması ile ilişkilidir.

Kısa vadeli kuraklık analizlerinde kurak dönemler daha fazla tekrarlanırken, uzun vadeli analizlerde kurak dönemler daha az tekrarlanmaktadır. Bu durumun temel nedenlerinden biri yağış dönemlerinin yıldan yıla değişkenlik göstermesi ve küresel iklim değişikliği ile birlikte artan sıcaklıklara bağlı olarak şiddetli yağışların artmasıdır. Sıcaklık artışı ile birlikte atmosferik buharlaşma oranları daha yoğun ve şiddetli yağışlara neden olmaktadır. Bu durum kısa süreli kuraklık analizlerinde yağış yokluğunu gösterse de yanıltıcı etkiye sahiptir. İklim değişikliğinin en önemli özelliği yağışlı dönemlerin daha yağışlı, kurak dönemlerin ise daha şiddetli kurak geçmesidir. Özellikle Türkiye'de 2010-2021 yılları arasında şiddetli yağışların etkisiyle yüzey akışının artması, toprakta depolanan su miktarını azaltarak kuraklığın şiddetini artırmaktadır.

1 aylık kuraklık indislerin yağışların mevsimsel olarak değişkenlik göstermesi kuraklık şiddetinin arttığı havzaların farklılaşmasına neden olmaktadır. SPI indisinde tüm havzalardan yüksek yağış değerlerine sahip olan Doğu Karadeniz Havzası'nda aşırı kurak koşullar sonbahar mevsimindeki yağış eksikliğini en iyi şekilde temsil etmektedir. Kuzey Ege Havzası'nın tüm havzalara göre yüksek sıcaklık ve PET değerlerine sahip olması SPEI indisinin özellikle ilkbaharda aşırı kuraklık şiddetini yansıtmasını sağlamaktadır. RDI ve aSPI indislerinde özellikle Aras Havzası'nda kuraklık koşulları en iyi temsil edilmektedir. Aras Havzası'nın ortalama yağış değerlerinin tüm havza ortalamalarına göre düşük olması özellikle ilkbahardaki yağış değişkenliğine bağlı kuraklık şiddetini ön plana çıkarmaktadır.

3 aylık indislerde SPI indisinde tüm havzaların ortalama yağış değerlerinin altındaki Van Gölü Havzası'nda kuraklık şiddeti temsil edilmektedir. Van Gölü Havzası'nda özellikle kış aylarında yağışların kar şeklinde olması özellikle ve bu durumun doğrudan toprak nemini arttırmamasına bağlı kış aylarında yüksek kuraklık şiddeti belirlenmektedir. SPEI indisi ise havzaların ortalamasından yüksek sıcaklık ve buharlaşma değerlerinin görüldüğü Gediz

Havzası'nda aşırı kurak değeri yansıtmaktadır. Havzada SPEI tarafından temsil edilen aşırı kurak değerin kış ayında görülmesi sıcaklık değerleri düşük olsa da yağıştaki azalma ile artan kuraklık şiddetini temsil etmektedir. RDI ve aSPI indislerinde 1 aylık indisler ile benzer şekilde düşük yağış değerlerine sahip Aras Havzası'nda özellikle Mayıs ayında aşırı kurak değeri temsil etmektedirler.

6 aylık indislerde SPI indisinde Doğu Karadeniz Havzası'nda en yüksek kuraklık şiddeti temsil edilmektedir. Özellikle de Aralık ayındaki aşırı kurak koşullar bu dönemdeki düşük yağış değerindeki değişimi SPI'nın en iyi yansıttığını göstermektedir. Aşağı Fırat Alt Havzası'nda tüm havza ortalamalarından yüksek sıcaklık ve PET değeri ile SPEI indisinde en yüksek kuraklık şiddeti görülmektedir. Havzada özellikle kurak iklim özelliklerinin baskın olması Eylül ayında da en şiddetli kuraklığın belirlenmesine neden olmuştur. RDI ve aSPI indislerinde ise tüm havzaların ortalama yağış değerlerinden düşük yağış görüldüğü Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası'nda en yüksek kuraklık şiddeti belirlenmiştir. RDI ve aSPI indislerinde özellikle kış ayındaki yağış değerlerindeki azalma kuraklığın havzadaki etkisini en iyi temsil etmektedir.

9 aylık indislerde en şiddetli kuraklıkların temsil edildiği havzalarda indislere göre farklılık görülmektedir. SPI indisinde Yukarı-Orta Dicle Havzası'nda en yüksek kuraklık şiddeti özellikle Ekim ayında görülmektedir. Havzada yaz kuraklıklarının ardından devam eden düşük yağış değerleri sonbahar mevsiminde de aşırı kurak değerlere neden olmuştur. SPEI indisinde kurak özelliklere sahip olan ve tüm havzalara göre yüksek sıcaklık ile PET değerlerine sahip olan Aşağı Fırat alt Havzası'nda en yüksek aşırı kurak değer belirlenmiştir. Kış mevsiminde özellikle normallerin üzerindeki sıcaklıklar ve düşen yağış değerleri ile artan kuraklık şiddeti etkisi SPEI indisinde belirlenmiştir. RDI ve aSPI indislerinde Doğu Akdeniz Havzası'nda uzun dönemli kuraklıkların etkisi özellikle yaz mevsiminde en iyi temsil edilmektedir.

12 aylık dönem incelemesinde şiddetli kuraklıkların etkisi SPI indisinde Marmara Havzası'nda SPI indisinde tüm havza ortalama yağış değerlerine yakın yağışın görüldüğü Marmara Havzası genelinde 12 aylık kuraklıkların etkisinin fazla olduğu belirlenmiştir. Bu havzada uzun dönemli kuraklıkların en etkisi en belirgin olarak Mayıs ayında SPI ile ön plana çıkmaktadır. Kuzey Ege Havzası'ndaki aşırı kurak değer SPEI indisi ile belirlenmiştir.

Şubat ayındaki havzada en yüksek kuraklık şiddeti temel olarak yağış değişkenliği ile ilişkilidir. RDI ve aSPI indisleri Doğu Akdeniz Havzası'nda Mart ayında belirlenen en yüksek kuraklık şiddetini en iyi temsil etmektedirler. Uzun dönemli indis değerlendirmelerinde kuraklık şiddetinin azalırken kuraklıkların etkisinin uzun sürdüğü belirlenmiştir. Tüm indis değerleri birbirine yakın sonuçlara sahiptir. Ancak kısa dönemli değerlendirmelerde kuraklık şiddetinin arttığı ve kuraklıkların daha sık etkili olduğu görülmektedir.

Kuraklık değerlendirmelerinde indislere göre uzun dönemli kuraklıkların daha az sayıda ancak uzun süreli kurak dönemler şeklinde belirlenmesi Türkiye 'nin iklimini kontrol eden atmosferik koşullar ile ilişkilidir. Türkiye iklimini kontrol eden bu koşullar orta enlem gezici depresyonlarının Kuzey Atlantik salınımına göre değişkenlik göstermesi, yağışların yıldan yıla ve mevsimsel olarak değişmesiyle birlikte kurak dönemleri etkilemektedir (Türkeş, 2020b). Kuzey Atlantik salınımının pozitif olduğu dönemlerde özellikle kış mevsimi daha soğuk ve daha az yağışlı geçmektedir. Çalışma sonuçlarında da yer alan Türkiye 'deki şiddetli kurak dönemler ile Kuzey Atlantik salınımının pozitif olduğu dönemler arasındaki ilişki literatürde geniş yer tutmaktadır (Kömüscü, 2001; Tatlı ve Türkes 2008b; Türkes 2020b; Topcu, 2022). Sıcak hava dalgalarının şiddetinin yüksek olduğu ve yağışların azaldığı uzun süreli kuraklıklar tarımsal üretimi etkilemektedir (Şen, vd. 2012; Ozelkan vd. 2016; Taşkın, vd. 2022).

6.2. Meteorolojik Kuraklıklar ve Buğday Verim İlişkisi

Türkiye'de bulunan 24 hidrolojik havza ve alt havzalar için 1991-2022 dönemini kapsayan meteorolojik kuraklıklar ile buğday ve her havzada en fazla üretilen tarımsal ürünlere ait verim değerleri arasındaki ilişki bu çalışmada değerlendirilmiştir. Analiz kapsamında SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi incelenmiş; coğrafi faktörlerin değişimi ve etkisi doğrultusunda buğday verimi ile belirlenen diğer ürünlerin verim değerleri arasındaki ilişkiler detaylı şekilde ortaya konmuştur. Çalışma alanında uzun yıllar boyunca devam eden düşük yağış miktarları ve artan sıcaklık eğilimleri nedeniyle meteorolojik kuraklık olaylarının geçmiş dönemlere kıyasla daha sık ve şiddetli meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durum, tarımsal kuraklığın etkisiyle ürün verimlerinin havzalara ve yıllara göre farklılık göstermesine neden olmuştur.

- Çalışmamızın sonuçlarında, meteorolojik kuraklıkların buğday verimi üzerindeki etkilerinin, özellikle 6, 9 ve 12 aylık uzun dönemli SPEI kuraklık indisinin daha iyi yansıttığı belirlenmiştir. SPEI hem yağış hem de buharlaşma ile ilişkilendirilen bir kuraklık indisi olarak, kısa ve uzun dönemli kuraklıkların bitki gelişimi üzerindeki etkilerini anlamada önemli bir araçtır. Bu indis toprak nemi ve bitki su ihtiyacı arasındaki dengeyi analiz ederek kuraklık koşullarının zaman içindeki değişimini yansıtır. Çalışma alanının iç kesimlerinde, karasal iklimin baskın olduğu bölgelerde, buğday verimi üzerindeki kuraklık etkilerinin Mayıs ayında daha yoğun hissedildiği anlaşılmaktadır. Bu bölgelerde, özellikle bahar aylarında yağışların azalması, bitkinin en yüksek su ihtiyacını duyduğu dönemde karasal iklimin tipik özelliği olan düşük yağışlarla birleşmekte ve yaz aylarına doğru artan sıcaklık ve buharlaşma şiddeti ile toprak neminin hızla tükenmesi, bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir. SPEI'nın uzun dönemli göstergeleri, bu sürecin zaman içinde nasıl bir etki yarattığını ve kuraklık koşullarının, özellikle verim üzerinde ne kadar belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. SPEI'dan sonra meteorolojik kuraklıkların buğday verimi üzerindeki etkisini en iyi yansıtan diğer indis SPI indisidir. Meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisinin RDI indisinde en az havzada ifade edildiği görülürken, aSPI indisinin herhangi bir havzada kuraklık koşullarını temsil etmediği belirlenmiştir.

- Çalışmamızın sonuçlarına göre meteorolojik kuraklıkların buğday veriminde etkili olduğu aylar havzaların özelliklerine göre farklılaşmaktadır. SPEI indisinin özellikle kış aylarında verim üzerindeki etkiyi gösterdiği havzalar Meriç-Ergene, Gediz, Küçük Menderes, Çoruh ve Yukarı Fırat Alt havzalarıdır. Özellikle Gediz ve Meriç-Ergene havzalarının iklim özelliklerine göre yağışlı dönemi ifade eden kış aylarında yaşanan kuraklıklar buğday veriminde etkili olmaktadır. Gediz Havzası'nda mevsimlik 3 aylık kuraklıkların etkisi ön planda iken Meriç-Ergene Havzası'nda 12 aylık uzun dönemli kuraklıkların etkisi görülmektedir. Küçük Menderes Havzası'nda ise 9 aylık kuraklıkların etkisi belirgindir. İrdem (2022), çalışmasında bölgelere göre seçilen illerdeki yağış ve sıcaklık değişiminin buğday verimindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma sonuçlarında Ege, Marmara ve Trakya'da kış mevsimindeki sıcaklıkların artışının buğday verimini olumsuz etkileyeceği belirtilmiştir. Aynı zamanda Türkeş (2012b), tarafından yapılan çalışmada da Türkiye'de Marmara ve Ege'de kış mevsimindeki kuraklaşma eğilimi ve yağışların azalması buğday verim değerlerinde olumsuz etkiye neden olmaktadır. Yukarı Fırat Alt Havzası ve

Çoruh Havzası gibi doğu kesimde ortalama yükselti ve karasallığın fazla olduğu alanlarda, özellikle kış mevsimindeki kar yağışlarının azalması, havza sıcaklıklarının, buharlaşmanın, sıcak hava dalgalarının etkileri ile kuraklık olaylarının sıklığının ve uzunluğunun artması toprak neminin azalarak buğday veriminin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Türkeş, 2020c). Aksu (2023), tarafından Türkiye'deki akarsu havzalarında yağış değerlerinin sınıflandırılmasına göre yapılan çalışmada Çoruh Havzası kış mevsiminde en düşük yağışa sahip havzalara arsında yer almaktadır. Bu çalışmanın sonuçları ile uyumlu olarak kış mevsimindeki kuraklıkların doğu bölgelerde karasal iklimin etkisi ile birlikte buğdayın diğer mevsimlerdeki kuraklıklardan da etkilenerek verim değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

- SPEI indisinde buğday gelişim döneminde önemli olan Nisan ayı kuraklıklarının buğday verimindeki etkisinin en iyi temsil edildiği havzalar Batı Akdeniz ve Asi havzalarıdır. Batı Akdeniz Havzası'nda 3 aylık kuraklıkların etkisi görülürken Asi Havzası'nda 12 aylık uzun dönemli kuraklıkların etkisi belirgindir. Demirdöğen vd., (2024c), çalışmasında Nisan ve Mayıs ayı kuraklıkları özellikle ekilebilir arazilerde %10 ila %21 arasında değişen oranlarda azalmaya yol açtığını belirlenmişlerdir. Asi Havzası'ndaki Kilis istasyonun da Çelik ve Karabulut (2017)'un yaptığı çalışma sonuçlarında kuraklık şiddetinin arttığı yıllarda Nisan ayının verim üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle Nisan ayının nemli geçmesi bitkinin Mayıs aylarına kadar yeşil kalmasını sağladığı belirlenmiştir. Ancak Nisan ayının kurak geçmesi bitkinin erken sararak verim kaybının meydana gelmesine neden olmaktadır. Çalışmamızın sonuçları ile uyumlu olarak havzaların özelliklerine göre nisan ayı kuraklıklarının verim üzerindeki etkisi belirginleşmektedir.

- Ancak SPEI indisi ve diğer indislerde de görüldüğü gibi çalışma alanındaki çoğu havzada en belirgin kuraklık etkisi Mayıs ayında ortaya çıkmaktadır. SPEI indisinde uzun dönemli (6, 9 ve 12) meteorolojik kuraklıkların buğdayın başaklanma aşamasına girdiği Mayıs ayında ön plana çıkan etkisi Antalya, Akarçay, Konya, Yeşilırmak, Van Gölü ve Aşağı Fırat Alt havzalarında belirgindir. Öztürk ve Korkut (2018), ekmeklik buğdayın gelişim dönemlerindeki kuraklık stresinden etkilenme durumunu araştırdıkları çalışmada, artan sıcaklıkların özellikle başaklanma ve tane dolum dönemlerinde etkisinin daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Peña-Gallardo, vd. (2019), İspanya'daki çalışmalarında kuraklık stresi nedeniyle buğdayın ilkbahar dönemindeki kuraklığa karşı daha hassas olduğunu

belirtmişlerdir. Çalışmamızda olduğu gibi İran'da yapılan çalışmada kurak bölgelerde yağmurla beslenen kışlık buğdayın kuraklıktan en fazla etkilendiği dönem olarak başaklanma dönemi olarak belirlenmiştir (Zarei, vd., 2020). Kaya (2021), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki çalışmasında kışlık buğdayda Mayıs ve Haziran ayındaki yaşanan sıcaklık ve kuraklık streslerinin tane veriminde ciddi kayıplara neden olduğu belirlenmiştir. Demirdöğen, vd. (2024c), çalışmasında Mayıs ayındaki 1°C'lik sıcaklık artışının buğday veriminde %4'lük bir verim düşüşüne neden olduğu belirlenmiştir. Buğdayın özellikle başaklanma dönemindeki sıcaklık dalgalanmalarına karşı hassasiyetinin arttığının üzerinde durulmuştur. Aynı çalışmada özellikle İç Anadolu'da sıcaklık artışının verimi etkilediği ve kurak bölgelerin sıcaklık artışı ile verim kaybına daha hassas olduğu belirlenmiştir. Çalışmamız ile uyumlu olarak Antalya Havzası dışındaki havzaların karasal iklim özelliklerine sahip olması ve sıcak hava dalgalarının artan sıklığı ile daha ılık geçen kış mevsiminden sonra daha da artan sıcaklıklar verimde olumsuz etkiye neden olmaktadır.

- Havzalar genelinde meteorolojik kuraklıkların buğday verimi üzerindeki etkileri, SPI indisinin 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemlerinde belirgindir.

- Kapalı havza özelliği gösteren ve bu sebeple karasal iklim özelliklerinin baskın olduğu havzalarda kış mevsiminde yaşanan kuraklıkların buğday verimi üzerindeki etkisi önemlidir. Özellikle Burdur-Göller Havzası, Aras, Orta Fırat Alt Havzası, Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası ve Zap-Şemdinli havzalarında kış mevsimindeki uzun dönemli (6, 9 ve 12 aylık) kuraklıkların etkisi SPI indisi tarafından temsil edilmektedir. Bu havzalarda genellikle yağışlar düzensiz olup, kış mevsimindeki yağışlar kar şeklinde gerçekleşmektedir. Kar yağışı bitkilerin köklerin donmasını engelleyerek toprak suyu seviyesini arttırmaktadır. Ancak havzalarda kış yağışlarındaki kar yağışının azalması buğdayın kök gelişiminin zayıflayarak baharda su yetersizliği yaşamasına neden olmaktadır. Çalışma alanın genellikle doğu kesimindeki havzalar için toplam yağışlardaki mevsimsel kaymaların yanında kış mevsimindeki kar yüksekliğinde anlamlı azalma eğilimleri belirlenmiştir (Topuz, 2023). Yine bu havzaların yer aldığı Doğu ve Güneydoğu bölgelerinde yağışların özellikle kış ve ilkbahar mevsimlerindeki azalma eğiliminin olması tarımsal üretim açısından da etkilenme oranını arttırmaktadır (Demir, vd., 2013).

- Kıyı kesimde ve denizel etkiye açık olan havzalarda (Büyük Menderes, Kızılırmak, Marmara ve Sakarya havzaları) meteorolojik kuraklıkların buğday verimindeki etkisi SPI 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler şeklinde farklılaştığı belirlenmiştir. Özellikle bu havzaların genelinde yağış eksikliğinin buğday verimindeki en önemli etkisi Mayıs ayına ait olduğu belirlenmiştir. Kışlık buğdayda tane doldurma dönemine denk gelen Mayıs ayı bitkinin su stresine karşı oldukça hassas olduğu dönemdir. Huang vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada da sonuçlarımız ile benzer şekilde buğdayın tane doldurma döneminde azalan toprak neminin kuraklık stresinin artarak verimde düşüşe sebep olduğu belirlenmiştir. Kurak ve yarı kurak iklim özelliklerinin dikkate alınarak kışlık buğdaydaki kuraklıkların verime etkisinin belirlendiği bir diğer çalışmada da tane doldurma ve başaklanma dönemindeki kuraklıkların verimi etkilediği belirlenmiştir (Moghimi, vd., 2021). SPI indisinde 3 ve 9 aylıklarda genel olarak yağış değerlerinin diğer havzalara göre yüksek olduğu Doğu Akdeniz ve Batı Karadeniz havzalarında özellikle Kasım ve Aralık aylarındaki kuraklıkların buğday verimindeki azalmayı en iyi yansıttığı belirlenmiştir. Bu alanlarda yapılan çalışmalarda Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Doğu Akdeniz Havzası'nda kış yağışlarındaki azalmanın verim üzerinde olumsuz etkisi öngörülmüştür (İrdem, 2022). Yine aynı çalışmada Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Batı Karadeniz Havzası'nda da kış ve ilkbahar mevsimlerinde artan yağışların verimde artışa neden olması beklenmektedir (İrdem, 2022). Çalışmamızın sonuçlarındaki Kasım ayındaki Batı Karadeniz'de havzada oluşan kuraklıkların buğday verimini olumsuz etkilemesi ile benzerlik göstermektedir.

- RDI kuraklık indisi, SPI ve SPEI indislerine kıyasla daha az sayıda havzada meteorolojik kuraklıkların buğday verimi üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Ancak, 1, 3, 6 ve 12 aylık dönemlerdeki etkiler, havzalar genelinde belirgin bir şekilde görülmektedir. Kış mevsimindeki kuraklıkların Susurluk Havzası'nda, uzun dönemli RDI indisinde (12 aylık) buğday verimi üzerindeki etkisi belirgindir. İlkbahar mevsiminde buğdayın önemli gelişim ayları olan Mart ve Mayıs ayındaki kuraklıkların etkisi RDI 1, 3 ve 6 aylık indislerde belirgindir. Özellikle Doğu Karadeniz, Küçük Menderes ve Seyhan-Ceyhan havzalarında ilkbahar mevsimi kuraklıkları en fazla etkiye sahiptir. Partal ve Yavuz (2020), tarafından Doğu Karadeniz'de yağış değişkenliğinde Mart, Eylül ve Ekim ayları dışında yağışlarda azalma eğilimi belirlenmiştir. Havzadaki yağışların azalma eğiliminin buğdayın başaklanma dönemi olan Mayıs ayında etkili olması ve sıcaklık değerlerinin değişimi ile buğday veriminin Doğu Karadeniz havzasında etkilenme oranı artmaktadır. Seyhan-Ceyhan

Havzası'nda da Mayıs ayı kuraklıklarının etkisi artan sıcaklıklar ve azalan yağış değerleri buğday verimi üzerinde en etkili dönemdir.

6.3. Meteorolojik Kuraklıklar ve İkinci Tarımsal Ürünlerin Verim İlişkisi

Türkiye'de bulunan 24 hidrolojik havza ve alt havzalar için 1991-2022 dönemini kapsayan meteorolojik kuraklıklar ile her havzada en fazla üretilen tarımsal ürünlere ait verim değerleri arasındaki ilişki bu çalışmada değerlendirilmiştir. Analiz kapsamında SPI, SPEI, RDI ve aSPI indisleri kullanılarak kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi incelenmiş; coğrafi faktörlerin değişimi ve etkisi doğrultusunda buğday verimi ile belirlenen diğer ürünlerin verim değerleri arasındaki ilişkiler detaylı şekilde ortaya konmuştur. Havzalardaki ikinci ürünlerden meteorolojik kuraklıkların etkisinin en fazla görüldüğü tarımsal ürünler arpa, şeker pancarı, mısır, üzüm, çeltik, incir, ayçiçeği, mandalina, kayısı, elma, zeytin, ceviz ve pamuk olarak belirlenmiştir.

- Meteorolojik kuraklıkların şeker pancarı verimi üzerindeki etkisi, özellikle SPEI-12 aylık dönemde en yüksek değere ulaşmaktadır. 12 aylık kuraklık dönemi, yıl boyunca süregelen yağış eksikliklerinin ve artan buharlaşmanın etkilerini kapsamaktadır. Bu dönemdeki kuraklıklar, toprak neminin azalarak bitkilerin su ihtiyacını karşılamakta zorluk yaşamasına neden olmaktadır. Şeker pancarı gibi suya duyarlı tarımsal ürünlerde, uzun süreli kuraklıkların verim üzerinde belirgin olumsuz etkileri görülmektedir. Çalışma alanının doğusunda yer alan Kızılırmak Havzası'nın doğusu, Yukarı Fırat ve Orta Fırat Alt havzaları, Van Gölü ve Asi havzalarında, 12 aylık kuraklık dönemi özellikle etkili olmuştur. Bu havzalarda, özellikle Eylül ayında yaşanan kuraklıklar, bitkilerin gelişimi üzerinde en fazla etkiye sahip olup, şeker pancarı veriminde önemli düşüşlere yol açmaktadır. Özçağlar (1992) ve Kadıoğlu (2009) çalışmalarında şeker pancarının Eylül dönemindeki kuraklık stresine bağlı azalan verim değerleri sebepleri özetlenmiştir. Çalışmalarda sonuçlarımız ile uyumlu olarak sıcaklıkların arttığı dönemde bitkinin yumrudaki depoladığı şekeri harcaması sonucu azalan verim değerleri mevcuttur. Döşer ve Avcı (2019), İç Anadolu ve Doğu Anadolu gibi karasal iklim bölgelerindeki artan sıcaklıkların şeker pancarı verimindeki etkisini) incelenmişlerdir. Bu çalışma sonuçlarında şeker pancarı yetişme devresindeki iyi senaryolara göre yaz aylarında kötü senaryolara göre yaz aylarıyla birlikte (Mayıs) hasat döneminde (Eylül) sıcaklık artışlarının verimi olumsuz etkileyeceği belirlenmiştir.

- Meteorolojik kuraklıkların mısır verimindeki etkisi en fazla üretimin yapıldığı istasyonlara göre genel olarak en fazla etkiyi SPEI-12 aylık indislerde temsil etmektedir. Mısırın gelişim dönemleri içerisinde Nisan ve Ekim aylarındaki kurakların buğday verimine etkisi baskındır. Uçak vd. (2010) çalışmalarında Çukurova'ya ait mısır veriminde etkili iklim parametrelerini araştırmışlardır. Bu çalışma sonuçlarında yüksek sıcaklık ve nem değerlerinin verimde düşüşe sebep olduğu belirlenmiştir. Dellal (2020b), tarafından Türkiye genelindeki yağış ve sıcaklık tahminleri doğrultusunda oluşturulan gelecekteki bitkisel üretim tahminlerinde de mısır veriminde %13,8 oranında azalma tahmin edilmektedir. Mereu, vd., (2021), tarafından İtalya'da mısır ve buğday gibi ürünlere iklim değişikliğinin etkisinin incelendiği çalışmada yaz mevsimi sıcaklıklarının kış mevsiminden daha fazla artarak mısırın yaz kuraklıklarından etkileneceği öngörülmüştür. Çalışma sonuçlarımız ile de uyumlu olarak yüksek sıcaklıkların ve buharlaşmanın etkisi sulamanın yaygın olmadığı alanlarda verimde düşüşe sebep olmaktadır.

- Arpa veriminde meteorolojik kuraklıkların etkisi özellikle SPI-12 aylık indislerde belirgindir. Özellikle havzalarda karasal iklim özelliklerinin hâkim olduğu iç kesimlerdeki istasyonlarda meteorolojik kurakların verime etkisi daha baskın özelliktedir. Dellal, vd. (2020b), çalışmasında arpanın da içerisinde bulunduğu ürünlerin sıcaklık ve yağış değişkenliğine bağlı kuraklıklardan etkileneceği belirlenmiştir. Çalışmada seçilen tarımsal ürünlerde 2050 yılın %4-12, 2080 yılında 5-20 oranlarında azalma tahmin edilmiştir. Yılmaz (2023), çalışmasında 2013-2014 yıllarındaki kuraklıkların etkisi ile arpa üretim ve verim değerlerinde bir önceki üretim dönemine göre %20 seviyesinde kayıplar belirlenmiştir.

- Zeytin veriminde meteorolojik kuraklıkların etkisi özellikle SPEI indisinde 3 aylıklarda görülmektedir. Zeytin üretiminde meteorolojik kuraklıklar denizel iklim özelliklerinin baskın olduğu Küçük Menderes Havzası'nda Ekim ayında etkili iken Kuzey Ege Havzası'nda Mayıs ayında etkili olmaktadır. Varol ve Ayaz (2012) tarafından yapılan çalışma sonuçlarında zeytin ağaçlarında kuraklık stresinin en fazla etkili olduğu dönem meyve tutumu ve yağ birikimi aşamaları olarak belirlenmiştir. Çalışmamız ile uyumlu olarak Kuzey Ege Havzası'nda meyve tutumu döneminde artan sıcaklıklar verimde azalmaya sebep olurken, Küçük Menderes Havzası'nda artan sıcaklık ve buharlaşmanın etkisi yağ birikimi dönemine karşılık gelmektedir. Fraga, vd., (2019), çalışmalarında Akdeniz Havzası'nda

artan sıcaklıkların zeytin verimi üzerindeki etkisinde büyüme mevsiminde olumlu etki görülse de uzun süre devam eden sıcaklıkların verimde düşüşe neden olacağı belirtilmiştir.

- Üzüm veriminde SPI 1 ve 3 aylıklar ile RDI indisinde 1 aylıklarda kuraklıkların verimi etkilediği belirlenmiştir. Karasal iklim özelliklerine sahip Aras Havzası'nda Ocak ayı kuraklıkları verimi etkilerken, Akdeniz iklim özelliklerinin görüldüğü Büyük Menderes Havzası'nda Mart ve Gediz Havzası'nda Haziran ayı kuraklıkları verimde düşüşe sebep olmaktadır. Çeltik bitkisi Marmara Havzası'nda sadece en yüksek üretime sahiptir ve SPEI-1 aylıklarda Haziran ayında meteorolojik kuraklıkların etkisi görülmektedir. Elma veriminde meteorolojik kuraklıkların en fazla etkili olduğu havza Antalya Havzası'dır. SPEI-1 aylıklarda Nisan ayı kuraklıklarının elma veriminde düşüşte etkili olduğu belirlenmiştir.

- Meriç-Ergene Havzası'nda en fazla üretime sahip olan ayçiçeği için meteorolojik kuraklıkların en fazla etkisi SPEI-6 aylık indislerde Haziran ayında etkiye sahiptir. Gürkan, vd. (2017), çalışmasında Türkiye'de yağlık ayçiçeği veriminde kuraklık etkisine bağlı olarak %20 oranında azalma belirlenmiştir.

- Sulamanın yaygınlaştığı ürünlerden olan mandalina, kayısı ve pamukta negatif korelasyonlar belirlenmiştir. Ancak ürünlerin su isteklerine bağlı havzalara göre negatif korelasyon değerleri değişkenlik göstermektedir. Mandalina için Batı Akdeniz Havzası'nda Haziran, pamuk için Yukarı-Orta Dicle Alt Havzası'nda Ağustos ayında ve kayısı için Yukarı Fırat Alt Havzası'nda meteorolojik kuraklıklar verimi negatif etkilemektedir. Çalışmamızın sonuçları ile uyumlu Özelkan, vd. (2016b) çalışmasında sulu tarım alanlarda negatif korelasyonlar belirlenmiştir. Çalışmamızdaki mandalina, kayısı ve pamuk gibi ürünlerin bölge üretimindeki önemine bağlı sulu tarımsal üretimin yapılmasına bağlı kuraklıkların etkisi negatif ilişkilidir. Gürkan, vd. (2017), çalışmasında Türkiye'de yağlık ayçiçeği ve pamuk veriminde kuraklık etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda kuraklıkların etkisinin artması pamuk veriminde %14 azalmaya neden olmuştur. Aynı çalışmada pamuk tarımında sulamanın önemine dikkat çekilmiştir ve sulamanın yaygın olmaması kuraklığın verimdeki etkisinin artmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma iklim değişikliği ve meteorolojik kuraklık ile değişen tarımsal verim değerlerine karşı dirençli sürdürülebilir üretim sistemleri için temel oluşturabilir. Kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde meydana gelen meteorolojik kuraklıkların, buğday başta olmak üzere çeşitli tarımsal ürünlerin verimi üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymuştur. Yapılan analizler, kuraklık şiddetinin ve süresinin artmasıyla birlikte tarımsal üretimde belirgin verim kayıplarının yaşandığını göstermektedir. Özellikle buğdayın ekim, büyüme ve başaklanma dönemlerinde yaşanan su eksikliğinin, ürün kalitesini ve miktarını ciddi şekilde etkilediği belirlenmiştir. Bu kapsamda, tarımsal kuraklık riskini en aza indirmek ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını geliştirmek için şu öneriler sunulmaktadır:

- İklim temelli erken uyarı sistemleri geliştirilerek, çiftçilerin kuraklık dönemlerine karşı önceden hazırlıklı olmaları sağlanmalıdır.
- Kuraklığa dayanıklı tohum çeşitleri ve alternatif sulama teknikleri teşvik edilmelidir.
- Toprak nemini koruyucu tarımsal uygulamalar yaygınlaştırılarak, suyun etkin kullanımı artırılmalıdır.
- Uzun vadeli meteorolojik veriler ışığında, bölgesel tarım planlamaları yapılmalı ve kuraklık senaryolarına dayalı tarım politikaları oluşturulmalıdır.
- Çiftçilere yönelik eğitim ve farkındalık programları düzenlenerek, kuraklık yönetimi konusunda bilinç düzeyi artırılmalıdır.

Sonuç olarak, kuraklık kaynaklı tarımsal verim kayıplarının önlenmesi için bilimsel analizlere dayalı stratejiler geliştirilmesi, bilişim teknolojileri ve uzaktan algılama tabanlı erken uyarı sistemlerinin entegrasyonu, iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik sürdürülebilir adaptasyon ve azaltım politikalarının uygulanması ile risk yönetimi süreçlerinin çok disiplinli yaklaşımlarla güçlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Adler, J. and Parmryd, I. (2010). "Quantifying colocalization by correlation: the pearson correlation coefficient is superior to the manders overlap coefficient". *Cytometry Part* A, 77A(8), 733-742. https://doi.org/10.1002/cyto.a.20896

Adisa, O., Botai, J., Adeola, A., Botai, C., Hassen, A., Darkey, D., andAdisa, A. (2019). "Analysis of drought conditions over major maize producing provinces of south Africa". *Journal of Agricultural Meteorology*, 75(4), 173-182. https://doi.org/10.2480/agrmet.d-18-00049

Agha, M., Bağçacı, S., and Şarlak, N. (2017). "Homogeneity analysis of precipitation series in North Iraq". *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics, 5*(3), 57-63.

Ahmed, S., Stepp, J., Orians, C., Griffin, T., Matyas, C., Robbat, A., and Kennelly, E. (2014). "Effects of extreme climate events on tea (camellia sinensis) functional quality validate indigenous farmer knowledge and sensory preferences in tropical China". *Plos One*, 9(10), e109126. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109126

Ahmed, K., Shahid, S. and Harun, B. (2014a). "Spatial interpolation of climatic variables in a predominantly arid region with complex topography. *Environ Syst Decis, 34*, 555-563.

Ahmed, K., Shahid, S., Ismail, T., Nawaz, N., and Wang, X. (2018b). "Absolute homogeneity assessment of precipitation time series in an arid region of Pakistan". *Atmósfera, 31*, 301-316.

Akansu, A. F. and Kızıldeniz, T. (2024). "Assessing Wheat Yield Responses and Growing Stages Alterations to Diverse Climate Change Scenarios". *Eurasian Journal of Agricultural Research, 8*(1), 85-95.

Akbaş, A. (2014). "Türkiye'de klimatolojik kuraklık olasılıklarının dağılışı". *Türk Coğrafya Dergisi* (63), 1-7.

Akcapınar, M. and Çakmak, B. (2022). "Yield Estimation in Some of the Wheat Varieties with the Help of Meteorological Factors: The Case of Şanlıurfa Ceylanpınar". *KSU J. Agric Nat, 25*(1), 200-213.

Aksu, H. H. (2023). “Estimation and analysis of seasonal rainfall distribution and potential of Turkiye and its 25 main watersheds”. *Atmosphere* 14(5):1–17. https:// doi. org/ 10. 3390/ atmos 14050 800

Aktaş, H. (2023). “Characterization of durum wheat (triticum durum l.) landraces regarding to some agronomic traits”. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(4), 740-754. https://doi.org/10.33462/jotaf.1108861

Aktürk, G., Zeybekoglu, U. and Yildiz, O. (2022a). “Assessment of meteorological drought analysis in the Kizilirmak River Basin, Turkey”. *Arabian Journal of Geosciences , 15*, 850.

Aktürk, G., Çıtakoğlu, H., Demir, V. and Beden, N. (2024b). “Meteorological Drought Analysis and Regional Frequency Analysis in the Kızılırmak Basin: Creating a Framework for Sustainable Water Resources Management”. *Water, 16*(2124), 1-33.

Alkaraki, K. and Hazaymeh, K. (2023). “A comprehensive remote sensing-based Agriculture Drought Condition Indicator (CADCI) using machine learning”. *Environmental Challenges, 11*. doi:https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100699

Al-Lami, A., Al-Timimi, Y. and Al-Salihi, A. (2014). “The Homogeneity Analysis of Rainfall Time Series for Selected Meteorological Stations in Iraq”. *Diyala Journal For Pure Sciences*, 52-63.

Altalib, A., Mahmood, M. and Aı-Ogaidi, A. (2021). Mapping reference evapotranspiration for Iraq using FAO Penman-Monteith method”. *AgricEngInt: CIGR Journal, 23*(2), 18-29.

Altan, H. ve Çalışkan, O. (2022). “ ‘Alata Yıldızı’×‘Bebeco’ kayısı melezlerinin fenolojik, bitkisel ve meyve kalite özellikleri yönünden değerlendirilmesi”. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 59(4). https://doi.org/10.20289/zfdergi.1115742

Amognehegn, A. E., Nigussie, A. B., Adamu, A. Y. and Mulu, G. F. (2023). “Analysis of future meteorological, hydrological, and agricultural drought characterization under climate change in Kessie watershed, Ethiopia. *Geocarto International*, *38*(1), 2247377.

An, N., Turp, M., Türkeş, M. and Kurnaz, M. (2020). "Mid-term impact of climate change on hazelnut yield". *Agriculture*, 10(5), 159. https://doi.org/10.3390/agriculture10050159

Aparecido, L. (2023). "Climate zoning: identifying suitable regions for the occurrence of alternaria brown spot in tangerine trees in Brazil". *Pest Management Science*, 80(3), 1615-1631. https://doi.org/10.1002/ps.7894

Apaydın, H., Sönmez, K. and Yıldırım, E. (2004). "Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey". *Climate Research, 28,* 31-40.

Arabi, C. ve Candoğan , B. (2022). "Marmara Bölgesinde Referans Bitki Su Tüketiminin Alansal ve Zamansal Değişimi". *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, *8*(2), 268-281.

Ardos, M. (1996). *Türkiye'de Kuaterner Jeomorfolojisi.* İstanbul: Çantay Kitabevi.

Arıoğlu, H., 1999. *Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 220, S. 175

Aslan, Z., Oğuz, Ç., ve Karakaya, A. (2022). "Önemli Bir Arpa Patojeni: Ramularia collo-cygni". *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11*(1), 205-237 .

Atalay, İ. (1986a). *Uygulamalı Hidrografya.* İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.

Atalay, İ. (1987b). *Türkiye Jeomorfolojisine Giriş.* İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.

Avcı, M. (2005). "Çeşitlilik ve Endemizm Açısından Türkiye'nin Bitki Örtüsü". *Coğrafya Dergisi* (13), 27-55.

Avcı, S. (1996). "Türkiye'de şeker pancarı ziraatının coğrafi esasları". *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi, 4*, 265-289.

Ayaz, M. ve Varol, N. (2015). "İklim Parametrelerindeki Değişimlerin (Sıcaklık, Yağış, Kar, Nispi Nem, Sis, Dolu ve Rüzgar) Zeytin Yetiştiriciliği Üzerine Etkileri". *Zeytin Bilimi, 5*(1), 33-40.

Aydın, F. ve Sarptaş, H. (2018). "İklim değişikliğinin bitki yetiştiriciliğine etkisi: model bitkiler ile Türkiye durumu . *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24*(3), 512-521.

Aydın, O. (2014). Türkiye'de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Kriging Yöntemiyle Belirlenmesi. Ankara: Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü .

Ayyıldız, S. ve Kayıkçıoğlu, H. (2019). "N-Fikser İçeren Biyolojik Gübrenin Akdeniz İklimi Koşullarında Mikrobiyolojik ve Biyokimyasal Toprak Özellikleri ile Mısır Verimine Etkisi". *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 46*(4), 505-521.

Badji, O., Zhu, Y., Lü, H., Guédé, K. G., Chen, T., Oumarou, A. and Brice, S. (2023). "The Effects of Drought in the Huaibei Plain of China Due to Climate Change". *Atmosphere, 14*(860), 1-19.

Badu-Apraku, B., Yallou, C., Obeng-Antwi, K., Alidu, H., Talabi, O., Annor, B. and Aderounmu, M. (2017). "Yield Grains in Extra-Early Maize Cultivars of Three Breeding Eras under Multiple Environments". *Agronomy Journal, 109*(2), 418-431.

Bahadır, M. (2012a). "Eber ve Akşehir Göllerinin bütünleşik kıyı alanları yönetimi". *Coğrafi Bilimler Dergisi,* 10(1), 63–90.

Bahadır, M. (2013b). "Determination of Spatial Changes in Akşehir Lake by Remote Sensing Techniques". *Marmara Journal of Geography* (28), 246-275.

Bakanoğulları, F. (2020). "SPEI ve SPI İndisleri Kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi Havzasında Kuraklık Şiddetlerinin Analizi". *Toprak Su Dergisi, 1*(9), 1-10.

Balcıoğlu, Y. E., Kaya, C. ve Demircan, M. (2022). "İklimin Durumu Malatya İlinde Kayısı Rekoltesi ve Coğrafi Dağılışına Etkileri". J*ENAS Çevre ve Doğa Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 119-146. https://doi.org/10.53472/jenas.1136337

Baldwin, B. (2015). The Growth and Productivity of Hazelnut Cultivars (Corylus avellana L.) in Australia. Ph.D. Thesis, University of Sydney, Sydney, Australia,

Baltaci, H., Göktürk, O., Kındap, T., Ünal, A., & Karaca, M. (2014). "Atmospheric circulation types in Marmara Region (nw turkey) and their influence on precipitation". *International Journal of Climatology*, 35(8), 1810-1820. https://doi.org/10.1002/joc.4122

Barriopedro, D., Fischer, E., Luterbacher, J., Trigo, R. and García-Herrera, R. (2011). "The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. *Science, 332*(6026), 220-224.

Bayraktar, İ. ve Doğan, M. (2021). "Muş İlinde Tarım ve Hayvancılık Faaliyetleri". *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi, 4*(2), 302-320.

Bayer Altin, T. and Altin, B. N. (2021). "Response of hydrological drought to meteorological drought in the eastern Mediterranean Basin of Turkey". *Journal of Arid Land, 13*(5), 470-486.

Bello, Z. and Walker, S. (2017). "Evaluating AquaCrop model for simulating production of amaranthus (Amaranthus cruentus) a leafy vegetable, under irrigation and rainfed conditions". *Agricultural and Forest Meteorology, 247*, 300-310.

Benbourhim, M. and Bouhamidi, A. (2008). "Error estimates for interpolating div–curl splines under tension on a bounded domain". *Journal of Approximation Theory*, 152(1), 66-81. https://doi.org/10.1016/j.jat.2007.10.002

Benito-Verdugo, P., Martínez-Fernández, J., González-Zamora, A., Almendra-Martín, L., Gaona, J. and Herrero-Jiménez, C. (2023). "Impact of Agricultural Drought on Barley and Wheat Yield: A Comparative Case Study of Spain and Germany". *Agriculture, 13*(2111), 1-20.

Beran, M. and Rodier, J.A. 1985. *Hydrological aspects of drought. Studies and reports in hydrology* 39. UNESCO-WMO, Paris.

Beyazıt, A. ve Gürbüzer, G. (2023). "Karadeniz Tahıl Koridoru Anlaşmasının Uluslararası Ticaret Açısından Değerlendirilmesi". *Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi, 10*(6), 2215-2235.

Beyhan, N. and Marangoz, D. (2007). "An investigation of the relationship between reproductive growth and yield loss in hazelnut". *Sci. Hortic*. 113, 208–215.

Biasi, R., Brunori, E., Ferrara, C. and Salvati, L. (2019). "Assessing Impacts of Climate Change on Phenology and Quality Traits of Vitis vinifera L.: The Contribution of Local Knowledge". *Plants, 8*(5), 1-18.

Bilgin, N. ve Misirli, A. (2016). "Bazı kayısı (prunus armeniaca l.) çeşitlerinin farklı ekolojilerdeki fenolojik özelliklerinin belirlenmesi". *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 179-179. https://doi.org/10.17100/nevbiltek.210985

Bilgin, S. (2019). "Determination of seedling quality characteristics of stone pine (pinus pinea l.), valonia oak (quercus ithaburensis decne. subsp. macrolepis (kotschy) hedge andamp; yalt.) and Turkey oak (quercus cerris l.) seedlings". *Turkish Journal of Forestry*, *20*(4), 297-304.

Biswas, D. and Jiang, G. (2011). "Differential drought-induced modulation of ozone tolerance in winter wheat species". *Journal of Experimental Botany*, 62(12), 4153-4162. https://doi.org/10.1093/jxb/err104

Borges, P., Franke, J., da Anunciação, Y., Weiss, H. and Bernhofer, C. (2016). "Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of precipitation distribution in Distrito Federal, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*(123), 335-348.

Bouhamidi, A. (2007). "Pseudo-differential operator associated to the radial basis functions under tension". *Esaim Proceedings*, 20, 72-82. https://doi.org/10.1051/proc:072007

Boyacı, S. (2019). "Bazı Elma (Malus domestica L.) Çeşitlerinin Fenolojik ve Pomolojik Özelliklerinin Belirlenmesi". *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 6*(1), 73-79.

Bras, A., Seixas, J., Carvalhais, N. and Jägermeyr, J. (2021). "Severity of drought and heatwave crop losses tripled over the last five decades in Europe". *Environmental Research*, 1-14.

Brooks, K. N., Pfolliott, P.F., Gregersen, H.M. and DeBano, L.F. (2003). *Hydrology and the Management of Watersheds.* (Third Edition). USA: Iowa State Press, Blackwell Publishing Company.

Browne, G., Prichard, T., Schmidt, L. and Krueger, W. (2011). "Evaluation of phosphonate treatments for control of phytophthora crown rot of walnut". *Plant Health Progress*, 12(1). https://doi.org/10.1094/php-2011-0601-01-rs

Burke, J. and Sanchez, J. (2018). "Cppu (n-(2-chloro-4-pyridinyl)-N'-phenylurea) enhancement of cotton yields". *Journal of Cotton Science*, 22(2), 117-125. https://doi.org/10.56454/kzcz8297

Bütüner, R., Şimşek, M., Aksöz, G. ve Şan, S. (2023). "Yapay Sinir Ağları ile Mısır Yapraklarında Hastalık Tespiti". *Bilişim Sistemleri ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, *5*(2), 21-21.

Büyüktavşan, F. ve Naneli, İ. (2020). "Farklı Münavebe Tekniklerinin Bitkisel Üretim ve Çevre Üzerine Etkileri Üzerine Etkileri". *Journal of Agricultural Biotechnology (JOINABT), 1*(1), 6-11.

Cai, G., Du, M. and Liu, Y. 2011. *Regional drought monitoring and analyzing using MODIS data¬A case study in Yunnan Province.* In Computer and Computing Technologies in Agriculture IV. Edited by D. Li, Yande Liu, and Y. Chen. Springer, Boston. pp. 243–251.

Cammarano, D., Ronga, D., Francia, E., Akar, T., Al-Yassin, A., Benbelkacem, A.and Pecchioni, N. (2021). "Genetic and Management Effects on Barley Yield and Phenology in The Mediterranean Basin". *Frontiers in Plant Science, 12,* 1-11.

Camoglu, G., Demirel, K., Kahriman, F., Akcal, A. and Nar, H. (2024). "Plant-based monitoring techniques to detect yield and physiological responses in water-stressed pepper". *Agricultural Water Management, 291*, 1-11.

Cartwright, J., Littlefield, C., Michalak, J., Lawler, J. and Dobrowski, S. (2020). "Topographic, soil, and climate drivers of drought sensitivity in forests and shrublands of the pacific northwest, USA". *Scientific Reports*, 10(1). https://doi.org/10.1038/s41598-020-75273-5

Cavalcante, E., Aguiar, C. and Pereira, G. (2019). "Phenology and vegetative growth of the fig tree cv "roxo de valinhos" under a drastic pruning system". *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 426. https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i6.1961

Celedonio, R., Abeledo, L. and Miralles, D. (2014). "Identifying the critical period for waterlogging on yield and its components in wheat and barley". *Plant and Soil*, 378(1-2), 265-277. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2028-6

Çelik, M. A. ve Karabulut, M. (2017). "Uydu Tabanlı Kuraklık İndisi (SVI) Kullanılarak Yarı Kurak Akdeniz İkliminde (Kilis) Buğday Bitkisinin Kurak Koşullara Verdiği Tepkinin İncelenmesi". *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *15*(1), 111-130.

Chen, Y., Huang, J., Song, X., Gao, P., Su-Qin, W., Shi, L. and Wang, X. (2018). "Spatiotemporal characteristics of winter wheat waterlogging in the middle and lower reaches of the yangtze river, China". *Advances in Meteorology*, 1-11. https://doi.org/10.1155/2018/3542103

Chen, X., Wang, L., Cao, Q., Sun, J., Nıu, Z., Yang, L. and Jiang, W. (2024). "Response of global agricultural productivity anomalies to drought stress in irrigated and rainfed agriculture". *Science China Earth Sciences, 67*, 1-15.

Cobourn, J. (1999). "Integrated watershed management on the Truckee River in Nevada". *Journal of the American Water Resources Association*, 35, 3, 623-632.

Cos, J., Doblas-Reyes, F., Jury, M., Marcos, R., Bretonni`ere, P. and Sams´o, M. (2022). "The Mediterranean climate change hotspot in the CMIP5 and CMIP6 projections". *Earth System Dynamic, 13,* 321-340. doi:https://doi.org/10.5194/esd-13-321-2022

Costa, D., Stuchi, E., Girardi, E., Gesteira, A., Filho, M., Lêdo, C. and Filho, W. (2020). "Hybrid rootstocks for valencia sweet orange in rainfed cultivation under tropical savannah climate". *Journal of Agricultural Science*, 12(11), 40. https://doi.org/10.5539/jas.v12n11p40

Coşkun, S. (2020). "Göller Yöresinde Sıcaklık, Yağış ve Akım Değerlerinde Meydana Gelen Eğilimler (Akdeniz Bölgesi-Türkiye)". *International Social Sciences Studies Journal, 6*(66), 3142-3155.

Crespo, C. (2024). "Unearthing unique value: exploring the potential of protected designation of origin on the tangerine industry of patate, tungurahua". E*conomia Agro-Alimentare*, (1), 55-77. https://doi.org/10.3280/ecag2024oa16120

Çardak, Ç. ve Örücü, Ö. K. (2022). "İklim Değişim Senaryolarına Göre Boylu Ardıç (Juniperus excelsa Bieb.) Türünün Günümüz ve Gelecekteki Yayılış Alanlarının GARP Programında Tahmini". *Mekânsal Planlama Dergisi, 2*(1), 14-24.

Çelik, A., (2010). Gediz Havzası Yağış ve Sıcaklık Trendleri ile Akarsu Akımları Arasındaki İlişkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, T. C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.

Çelik, Z., Uslu, İ., Yüceerim, G., Karagül, V. ve Ok Özdarıcı, A. (2023). "Çiftçilerin İklim Değişikliğine Tepkileri ve Uyum Yeteneğinin Belirlenmesi: Menemen Örneği". *Tarım Ekonomisi Dergisi, 29*(2), 65-77.

Çetin, G., Koçak, E. and Hantaş, C. (2014). "Bursa ve yalova illeri buğday tarlaları ve ağaçlık alanlardaki süne yumurta parazitoit (hymenoptera: scelonidae) türleri, bulunma oranları ve popülasyon takibi". *Derim,* 31(1), 35. https://doi.org/10.16882/derim.2014.55243

Cevheri, C., Yilmaz, A. and Beyyavaş, V. (2021). "Harran ovası koşullarında yetiştirilen bazı pamuk (gossypium hirsutum l.) çeşitlerine uygulanan organik ve mikrobiyal gübrelerin verim ve verim öğelerine etkisi". *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(1), 53-64. https://doi.org/10.29050/harranziraat.737298

Çimenderoğlu, S. (2020). Şeker Fabrikalarının Sosyoekonomik Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma: Kastamonu Örneği. Çanakkale: T. C. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Türkçe ve Sosyal Bilimler Eğitimi Bölümü Coğrafya Eğitimi Anabilim Dalı, Çanakkale.

Dai, M., Huang, S., Huang, Q., Leng, G., Guo, Y., Wang, L. and Zheng, X. (2020). "Assessing agricultural drought risk and its dynamic evolution characteristics". *Agricultural Water Management, 231*, 1-12.

Darbani, S., Mehrabi, A., Pordad, S., Maleki, A. and Farshadfar, M. (2020). "Effect of drought stress on agro-morphological traits in sunflower (helianthus annuusl.) genotypes and identification of informative issr markers". *Plant Genetic Resources*, 18(2), 49-62. https://doi.org/10.1017/s1479262120000040

Daryanto, S., Wang, L. and Jacinthe, P. (2016). "Global Synthesis of Drought Effects on Maize and Wheat Production". *PLoS ONE, 11*(5), 1-15. doi:10.1371/journal.pone.0156362

Das, S., Das, J. and Umamahesh, N. (2023). "A Non-Stationary Based Approach to Understand the Propagation of Meteorological to Agricultural Droughts". *Water Resources Management, 37*, 2483-2504.

Datt, R. (2024). “Predicting apple yield based on occurrence of phenological stage in conjunction with soil and weather parameters”. *International Journal of Computing and Digital Systems, 15*(1), 671-682.

del Pozo, A., Brunel-Saldias, N., Engler, A., Ortega-Farias, S., Acevedo-Opazo, C., Lobos, G. and Molina-Montenegro, M. (2019). “Climate Change Impacts and Adaptation Strategies of Agriculture inMediterranean-Climate Regions (MCRs) ”. *Sustainability, 11*, 1-16. doi:10.3390/su11102769

Dellal, İ. (2012a). “*Türkiye’de İklim Değişikliğinin Tarım ve Gıda Güvencesine Etkileri*”. Ankara: Türkiye’nin İklim Değişikliği II. Ulusal Bildiriminin Hazırlanması Projesi Yayını.

Dellal, İ., Ünüvar, İ., Bolat, M. ve Polat, K. (2020b). “İklim Değişikliği ve Tarım: Ekonomik Etkisi Uyum ve Azaltım Politikaları”, *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1*, 37.

Demir, İ., Kılıç, G. ve Coşkun, M. (2008). “Precis Bölgesel İklim Modeli İle Türkiye için İklim Öngörüleri: HaDAMP3 SRES A2 Senaryosu”, *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı* (s. 365-373). İstanbul: İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 25-28 Mart 2008.

Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Tuvan, A., Demircan, M. ve Akçakaya, A. (2013). “RCP4.5 Senaryosuna göre Türkiye’de Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları. ” *III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi.* TİKDEK. mgm.g ov.tr/FILES/iklim/rcp-45.pdf

Demir, N. ve Bostan, S. Z. (2021). “Yaş çay (Camelia sinensis L.) verimi ve kalite özelliklerinin güneşlenme durumu ve sürgün dönemlerine göre değişimi”. *Bahçe, 50*(2), 103-110.

Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Yazıcı, B., Gürkan, H. ve Akçakaya, A. (2014). “Türkiye’de Yeni Senaryolara Göre İklim Değişikliği Projeksiyonları”. *TÜCAUM - VIII. COĞRAFYA SEMPOZYUMU.* Ankara: Anakara Üniversitesi.

Demirdöğen, A. (2020a). “Türkiye‘de Sıcaklık ve Tarım Alanlarındaki Değişim”. *Tarım Ekonomisi Dergis , 26*(2), 167-176.

Demirdöğen, A. (2022b). "Türkiye'de Şeker: Üretim, Tüketim, Ticaret ve Politikaların Kısa Bir Tartışması". *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi, 8*(1), 85-95.

Demirdogen, A., Karapinar, B. and Özertan, G. (2024). "The impact of climate change on wheat in Turkey". *Regional Environmental Change*, *24*(1), 20.

Demirtaş, M. (2017a). "High impact heat waves over the Euro-Mediterranean region and Turkey-in concert with atmospheric blocking and large dynamical and physical anomalies". *Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering*, *18*(1), 97-114.

Demirtaş, M. (2018b). "The high-impact 2007 hot summer over Turkey: atmospheric-blocking and heat-wave episodes". *Meteorological Applications, 25*, 406-413.

Deveci, H. (2024). "İklim değişikliğinin pamuk yetiştiriciliğine etkisinin modellenmesi". *Çomü Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 96-107. https://doi.org/10.33202/comuagri.1449471

Djanaguiraman, M., Narayanan, S., Erdayani, E. and Prasad, P. (2020). "Effects of high temperature stress during anthesis and grain filling periods on photosynthesis, lipids and grain yield in wheat". *BMC Plant Biology*, 20(1). https://doi.org/10.1186/s12870-020-02479-0

Di Piazza, A., Conti, F., Noto, L., Viola, F., and La Loggia, G. (2011). "Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially completemonthly time series of precipitation for Sicily, Italy". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (13), 396-408.

Ding, D., Feng, H., Zhao, Y., He, J., Zou, Y. and Jin, J. (2016). "Modifying winter wheat sowing date as an adaptation to climate change on the loess plateau. *Agronomy Journal*, 108(1), 53-63. https://doi.org/10.2134/agronj15.0262

Doğan, G. ve Gürler , Z. (2015). "Türkiye Tarım Havzaları Üretim ve Destekleme Modeli Kapsamında Yeşilırmak Tarım Havzasında Yetiştirilen Tarım Ürünlerinin Arz Duyarlılığı". *YYÜ Tarih Bilimleri Dergisi., 25*, 231-243.

Donava, T. E. (2017). “Variability of conditions for water phase transitions in the atmosphere of the Black Sea region. ” *23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics.* doi:https://doi.org/10.1117/12.2286848

Döşer, B. ve Avcı, S. (2019). İklim değişikliğinin tarımsal üretim ekonomisi üzerine olası etkileri: şeker pancarı tarımı örneği. B. Gönençgil, T. Ertek, I. Akova, ve E. Elbasi (Ed.), *1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book* içinde, (s. 179-191). İstanbul,Türkiye.

Dracup, J. A., Lee, K. S. and Paulson, E. G. (1980). “On the definition of droughts”. *Water Resources Research*, American Geophysical Union, 16 (2): 297–302. doi:10.1029/WR016i002p00297.

DSİ. (2022). *Toprak Su Kaynakları*, Erişim adresi: https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754 erişim tarihi: 19.09.2022

Duygu, M. (2015). *Büyük Menderes Havzasının Kuraklıktan Etkilenebilirliğinin Değerlendirilmesi*. Ankara: T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.

Ebrahimi, A., Abbasi, A., Liang, J. and Jacobs, D. (2022). “Spatiotemporal trends of black walnut forest stocking under climate change”. *Frontiers in Forests and Global Change*, 10. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.970379

Elbaşı, E., Özdemir, H. (2018). “Marmara denizi akarsu havzalarının morfometrik analizi”. *Cografya Dergisi*, 36, 63-84. https://doi.org/10.26650/JGEOG418790

Eriş, E., Çavuş, Y., Aksoy, H., Burgan, H., Aksu, H. and Boyacıoğlu, H. (2020). “Spatiotemporal analysis of meteorological drought over Kucuk Menderes River Basin in the Aegean Region of Turkey”. *Theoretical and Applied Climatology, 142*(3-4), 1515-1530.

Erlat, E. ve Türkeş, M. (2015a). “Türkiye Rekor Maksimum ve Minimum Hava Sıcaklıklarının Frekanslarında 1950-2014 Döneminde Gözlenen Değişmeler ve Atmosfer Koşullarıyla Bağlantıları”. *Ege Coğrafya Dergisi, 24*(2), 29-55.

Erlat, E., Türkes, M. and Aydın-Kandemir, F. (2021b). “Observed changes and trends in heatwave characteristics in Turkey since 1950”. *Theoretical and Applied Climatology, 145*(1), 137-157.

Erlat, E. and Güler , H. (2023c). “Temporal Variation of Droughts According to Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in Turkey (1951-2022) ”. *Journal of Aegean Geography, (100th Year of the Republic Special Issue), 32*, 77-90.

Erinc, S. (1973a). “Türkiye’nin Şekillenmesinde Neotektoniğin Rolu ve Jeomorfoloji Jeodinamik İlişkileri”. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi*, (s. 1-12).

Erinc, S. (2000b). *Jeomorfoloji I.* İstanbul: Der Yayınları.

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

Erol, O., 2011. *Genel Klimatoloji*. 9. Baskı. Çantay Kitabevi

Ersöz, F. ve Ersöz , T. (2022). *İstatistik – I Kavram – Teori – Parametrik Testler.* Seçkin Yayıncılık.

Farouki, R., Manni, C., Sampoli, M. and Sestini, A. (2014). “Shape-preserving interpolation of spatial data by pythagorean-hodograph quintic spline curves”. *Ima Journal of Numerical Analysis*, 35(1), 478-498. https://doi.org/10.1093/imanum/drt072

Formayer, H., Huss, H., Kromb-kolb, H., and von Tiedemann, A. (2004). *Influence of climatic factors on theformation of symptoms of Ramularia collo-cygni.* (B. L. Yahyaoui AH, Ed.) Syria: Proceeding of the Second International Barley Leaf Blights.

França, N., Amorim, M., Girardi, E., Passos, O. and Filho, W. (2016). “Performance of ‘tuxpan valencia’ sweet orange grafted onto 14 rootstocks in northern Bahia, Brazil”. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 38(4). https://doi.org/10.1590/0100-29452016684

Francia, E., Tondelli, A., Rizza, F., Badeck, F., Li Destri Nicosia, O. and Akar , T. (2011). “Determinants of barley grain yield in a wide range of Mediterranean environments. *Field Crops Research, 120*(1), 169-178.

Frazier, A., Giambelluca, T., Diaz, H. and Needham, H. (2016). "Comparison of geostatistical approaches to spatially interpolate month-year rainfall for the Hawaiian Islands". *International Journal of Climatology, 36 (3)*, 1459-1470.

Farhan, M. (2024). "Impact assessment of agricultural droughts on water use efficiency in different climatic regions of punjab province pakistan using modis time series imagery". *Hydrological Processes*, 38(7). https://doi.org/10.1002/hyp.15232

Garipağaoğlu, N. (2012a). "Havza planlamalarında coğrafyanın rolü ve Türkiye'de havza planlamacılığı". *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(2),303-337.

Garipağaoğlu N. ve Uzun, M. (2019b). "İznik Gölü Havzası'nda doğal ortam koşulları, değişimler ve muhtemel risklerin havza yönetimi ve planlamasına etkisi". *Doğu Coğrafya Dergisi,* 24(42), 1-15.

Gaytancıoğlu, S. (2010). "Rasyonel Beklentiler Teorisi Çerçevesinde Türkiye 'de 1994 Krizi". *Ekonomi Bilimleri Dergisi, 2*(1), 139-146.

Gonçalves, L.P., Boscariol Camargo, R.L., Takita, M.A., Machado, M. A., Filho, S. S. W. and Costa C. G. M. (2019). "Rootstock-induced molecular responses associated with drought tolerance in sweet orange as revealed by RNA-Seq.*BMC*". *Genomics*, 20, 110. https://doi.org/10.1186/s12864-019-5481-z

González-Fernández, E., Piña-Rey, A., Fernández-González, M., Aira, M. and Rodriguez-Rajo, F. (2020). "Prediction of grapevine yield based on reproductive variables and the influence of meteorological conditions". *Agronomy, 10*(714), 1-19.

Gökmen, G. (2023). İklim Değişikliğinin Türkiye'nin Tarım Ürünleri Dış Ticaretine Etkileri: Buğday Örneği. T. C. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı.

Grigg, N. S. (1999). "Integrated water resources management: who should lead, who should pay?". *Journal of the American Water Resources Association*, 35, 3, 527-534.

Guo, W., Huang, S., Huang, Q., She, D., Shi, H., Leng, G. and Peng, J. (2023). "Precipitation and vegetation transpiration variations dominate the dynamics of agricultural drought characteristics in China". *Science of The Total Environment, 898*(165480), 1-12.

Guttieri, M., Stark, J., O'Brien, K. and Souza, E. (2001). "Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit". *Crop Science*, 41(2), 327-335. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412327x

Gül, V., Öztürk, E. ve Polat, T. (2017). "Yağlık ayçiçeği tanelerinin bazı karakteristik özelliklerinin belirlenmesi". *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *48*(2), 81-85.

Güler, H. ve Erlat, E. (2023). "Türkiye'de 1950-2022 Döneminde Ortalama Hava Sıcaklıklarında Görülen Değişimler ve Eğilimler". *Ege Coğrafya Dergisi, 32*(1), 1-17. doi:DOI: 10.51800/ecd.1281319

Gülser, C. ve Kızılkaya, R. (2020). "Farklı sulama miktarlarında yetiştirilen buğday bitkisinin su kullanma randımanı ile verimlilik parametreleri arasındaki ilişkiler". *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(1), 46-52. https://doi.org/10.33409/tbbbd.757010

Gültekin, I., Partigöç, F., Gültekin, S., Kaya, Y., Arısoy, R. ve Taner, A. (2017). "Orta Anadolu Bölgesi kuru koşullarında buğday tabanlı üretimde doğrudan ekim". *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 283-286. https://doi.org/10.18016/ksudobil.349258

Gümüş, K. A., Balçık, F. B., Esetlili, T. and Kahya, C. (2023). "Monitoring drought dynamics using remote sensing-based combined drought index in Ergene Basin, Türkiye". *Open Geosciences*, *15*(1), 20220594.

Günal, N. (2013). "Türkiye'de İklimin Doğal Bitki Örtüsü Üzerindeki Etkileri". *Acta Turcıca (Online Thematic Journal of Turkic Studies)* (1), 1-22.

Güner Bacanli, Ü. (2017). Trend analysis of precipitation and drought in the A egean region, Turkey". *Meteorological Applications*, *24*(2), 239-249.

Gürkan, H., Bayraktar, N. ve Bulut, H. (2017). "İklim Değişikliği Nedeniyle Artan Kuraklığın Ayçiçeği ve Pamuk Verimi Üzerine Etkileri". *KSÜ Doğa Bililimleri Dergisi, 20,* 216-221. DOI : 10.18016/ksudobil.349207

Hadi, J. and Tombul, M. (2018). “Comparison of Spatial Interpolation Methods of Precipitation and Temperature Using Multiple Integration Periods”. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 46*, 1187-1199.

Hasan, R., Islam, A., Maleque, M., Islam, M. and Rahman, M. (2023). “Effect of drought stress on leaf productivity and liquor quality of tea: a review”. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 9(4), 1-10. https://doi.org/10.9734/ajsspn/2023/v9i4187

Hao, Z., Sing, V. and Xia, Y. (2018). “Seasonal Drought Prediction: Advances, Challenges, and Future Prospects”. *Reviews of Geophysics, 56*(1), 108-141. doi:https://doi.org/10.1002/2016RG000549

Held, I. and Soden, B. (2006). “Robust responses of the hydrological cycle to global warming”. *Journal of Climate, 19*, 5686-5699. doi:https://doi.org/10.1175/JCLI3990.1

Hellal, F., Abdel-Hady, M., Khatab, I., El-Sayed, S. and Abdelly, C. (2019). “Yield characterization of Mediterranean barley under drought stress condition”. *AIMS Agriculture and Food , 4*(3), 518-533. doi:DOI: 10.3934/agrfood.2019.3.518

Hernández Vásquez, C., Ibáñez Castillo, L., Gómez Díaz, J. and Arteaga Ramírez, R. (2022). “Analysis of meteorological droughts in the Sonora river basin, Mexico”. *Atmósfera, 35*(3), 467-482.

Hisdal, H., Tallaksen, L. M., Peters, E., Stahl, K. and Zaidman, M. (2000). “Drought event definition”. *ARIDE Technical Rep, 6*, 15.

Hlisnikovský, L. (2024). “The evaluation of a long-term experiment on the relationships between weather, nitrogen fertilization, preceding crop, and winter wheat grain yield on cambisol”. *Plants*, 13(6), 802. https://doi.org/10.3390/plants13060802

Hofstra, N., Haylock, M., New, M., Jones, P. and Frei, C. (2008). “Comparison of six methods for the interpolation of daily, European climate data”. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*.

Holman, J. (2024). “Historic winter wheat yield, production, and economic value trends in kansas, the “wheat state”. *Crop Science*, 64(2), 925-941. https://doi.org/10.1002/csc2.21171

Hoşgören, M. Y. (2010a). *Hidrografyanın Ana Çizgileri I*. (6. Baskı). İstanbul: Çantay Kitabevi. ISBN: 975-7206-40-7

Hoşgören, M. Y. (2011b). *Jeomorfoloji Terimleri Sözlüğü*. İstanbul: Çantay Kitabevi.

Huang, J., Zhuo, W., Li, Y., Huang, R., Sedano, F., Su, W. and Zhang, X. (2020). "Comparison of three remotely sensed drought indices for assessing the impact of drought on winter wheat yield". *International Journal of Digital Earth, 13*(4), 504-526.

İçağa, Y. and Taş, E. (2018). "Comparative Analysis of Different Interpolation Methods in Modeling Spatial Distribution of Monthly Precipitation Spatial Distribution of Monthly Precipitation". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4*(2), 89-104.

İrcan, M. R. and Duman, N. (2021). "Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa ili kuraklık analizi". *Coğrafya Dergisi*, (42), 1-18.

İrdem, C. (2022). "Relationship of changes in wheat yield in Turkey with temperature and precipitation conditions". T*urkish Studies - Social Sciences*, 17(3), 377-392. https://doi.org/10.7827/turkishstudies.58107

İzbırak, R. (1992). *Coğrafya Terimleri Sözlüğü*. İstanbul: Milli Eğitim Basımevi

IPCC. (2007a). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPCC. (2022b). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovermental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York. NY, USA: Cambridge University Press. .

Iqbal, M., Goheer, M. and Khan, A. (2009). "Climate change aspersions on food security of Pakistan". *Science Vision, 15*(1), 15-23.

Jabbi, F., Li, Y., Zhang, T., Bin, W., Hassan, W. and Songcai, Y. (2021). "Impacts of Temperature Trends and SPEI on Yields of Major Cereal Crops in the Gambia". *Sustainability, 13*(12480), 1-19. doi:https://doi.org/10.3390/su132212480

Jin, N., Aziz, S., Feng, H., Wayayok, A. and Kamal, M. (2015). "Homogeneity Analysis of Rainfall in Kelantan, Malaysia". *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering), 76*(15), 1-6.

Judd, C., Westfall, J. and Kenny, D. (2012). "Treating stimuli as a random factor in social psychology: a new and comprehensive solution to a pervasive but largely ignored problem ". J*ournal of Personality and Social Psychology*, 103(1), 54-69. https://doi.org/10.1037/a0028347

Kapluhan, E. (2023). *Kuraklık ve Türkiye Tarımına Etkileri*. İKSAD, Burdur.

Kadıoğlu, S., Kadıoğlu, B., Taşğın, G. ve Kaya, C. (2024). "Erzurum ve Erzincan illerinde geleneksel şeker pancarı üretiminde mevcut durum analizi ve çiftçilerin ekim nöbetini uygulamasını etkileyen faktörlerin belirlenmesi". *Muş Alparslan Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 4*(2), 50-57.

Kadıoğlu, Y. (2009). "Çivril'de Şeker Pancarı Tarımının Coğrafi Özellikleri". *Eastern Geographical Review, 14*(22), 107-124.

Kahraman, M. ve Akova, İ. (2024). "Ukrayna-Rusya Savaşı ve Küresel Buğday Krizi". *Karadeniz Araştırmaları, XXI* (83), 681-700.

Kale, M. M. (2021). "Hydrological Drought Analysis for Akarçay Closed Basin". *Journal of Geography, 42*, 165-180.

Karabörk, M., Kahya, E. and Kömüşçü, A. (2007). "Analysis of Turkish precipitation data: homogeneity and the Southern Oscillation forcings on frequency distributions". *Hydrological Proceses, 21*, 3203-3210.

Karamouz, M., Rasouli, K. and Nazif, S. 2009. "Development of a hybrid index for drought prediction: case study". *J. Hydrol. Eng.* 14 (6): 617–627. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000022.

Karatayev, M., Clarke, M., Salnikov, V., Bekseitova, R. and Nizamova, M. (2022). "Monitoring climate change, drought conditions and wheat production in Eurasia: The case study of Kazakhstan". *Heliyon*, *8*(1).

Kartal, V. (2024a). "Elazığ'ın meteorolojik ve tarımsal kuraklığının farklı kuraklık indisleri kullanılarak değerlendirilmesi". *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 938-962. https://doi.org/10.17780/ksujes.1439195

Kartal, V. and Emiroğlu, M. (2024b). "Hydrological Drought and Trend Analysis in Kızılırmak, Yesilırmak and Sakarya Basins". *Pure and Applied Geophysics*, *181*, 1919-1943.

Karataş, N. and Şengül, M. (2020). "Some important physicochemical and bioactive characteristics of the main apricot cultivars from Turkey". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(6), 651-661. https://doi.org/10.3906/tar-2002-95

Kaya, M. D. and Day, S. (2008). "Ülkemiz Ayçiçeği Ekim Alanı ve Üretiminin Bölgelere Göre Dağılımı". *Ziraat Mühendisliği Dergisi* (351), 28-31.

Kaya, B. (2009). İklim Değişikliğini Türkiye'de Bığday, Arpa ve Mısır Bitkilerinin Üzerine Etkilerinin Panel Veri Modeli İle Analizi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: T.C. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı İktisat Politikası Bilim Dalı.

Kaya, Y., Nalcaiyi, A., Erdal, Ş., Arslan, Ö., Çiçek, N., Pekcan, V., and Ekmekçi, Y. (2016a). "Evaluation of male inbred lines of sunflower (helianthus annuus l.) for resistance to drought via chlorophyll fluorescence". *Turkish Journal of Field Crops*, 21(2), 162. https://doi.org/10.17557/tjfc.15482

Kaya, Y. (2021b). "Winter wheat adaptation to climate change in Turkey". *Agronomy*, *11*(4), 689.

Kaya, Y. ve Akçura, M. (2022c). "İklim Değişiminin Farklı Büyüme Tabiatına Sahip Bazı Arpa Çeşitleri Üzerine Etkisi". *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 9*(1), 107-118.

Keblouti, M., Ouerdachi, L. and Boutaghane, H. (2012). “Spatial Interpolation of Annual Precipitation in Annaba-Algeria - Comparison and Evaluation of Methods”. *Energy Procedia, 18*, 468-475.

Kendal, E. ve Sayar, S. (2013). “Dicle ve Fırat Havzalarında Bilinçsiz Sulamanın Ekolojik Denge Üzerinde Oluşturduğu Riskler”. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 6*(1), 89-91.

Ketin, İ. (2007). *Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış.* İstanbul: İTU Vakfı Yayınları.

Khorrami, B. ve Gündüz, O. (2019). “Aylık Ortalama Yağış için Jeoistatistiksel İnterpolasyon Tekniklerine Dayalı Geliştirilmiş Mekânsal Varyasyon Deseni İzmir-Türkiye‘den Örnek Bir Çalışma. ”. *10. Ulusal Hidroloji Kongresi.* Muğla: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi.

Kırtok, Y. (1997). *Genel Tarla Bitkileri, Serin ve Sıcak İklim Tahılları.* Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Kıymaz, T. (2015a). “Dünya ile Türkiye’deki tarımsal ürün fiyatları arasındaki etkileşimin incelenmesi–Kriz ve kuraklık etkileri”. *In EY International Congress on Economics II (EYC2015)* (pp. 1,11). Ankara: Gazi Üniversitesi.

Kıymaz, T. (2023b). “Gıda Güvenliği için Tahıl Üretiminin Etkin Desteklenmesine Yönelik Öneriler”. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 41 (Tarım Özel Sayısı)*, 61-76.

Kızıltoprak, F. ve Ündücü, A. (2022). “Dünyada ve Türkiye’de havza yönetimleri”. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 39*(4), 349-357.

Klua, C. and Boss, P. (2010). “Comparison of major volatile compounds from Riesling and Cabernet Sauvignon grapes (Vitis vinifera L.) from fruitset to harvest”. *Australian Journal of Grape and Wine Research , 16*(2), 337-348.

Ko, J., Ng, T., Jeong, S., Kim, J., Lee, B. and Kim, H. (2019). “Impacts of regional climate change on barley yield and its geographical variation in South Korea”. *International Agrophysics, 33*, 81-96. doi:DOI: https://doi.org/10.31545/intagr/104398

Koçman, A. 1993. *Türkiye İklimi*, EÜ Basımevi, İzmir.

Kondić, D., Bajić, M., Knezevic, D. and Hajder, Đ. (2017). "Winter wheat (triticum aestivum l.) overwintering under different sowing densities". *Agro-knowledge Journal, 17(4),* 307. https://doi.org/10.7251/agren1604307k

Kömüşçü, A. (2001a). "An Analysis of Recent Drought Conditions in Turkey in Relation to Circulation Patterns". *Drought Network News, 22*.

Kömüşçü, Ü., Turgu, E. and Deliberty, T. (2022b). "Dynamics of precipitation regions of Turkey: A clustering approach by K-means methodology in respect of climate variability". *Journal of Water & Climate Change, 13*(10), 1-29. doi:doi: 10.2166/wcc.2022.186

Köyceğiz, C. ve Büyükyıldız, M. (2018). "Türkiye'deki Beyşehir İstasyonunun Yıllık Meteorolojik Parametrelerinin Trend ve Homojenlik Analizleri". *IV International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS).* Kiev.

Kuo, Y., Li, Z. and Kifer, D. (2018). "Detecting Outliers in Data with Correlated Measures". *In 2018 ACM Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'18), October 22–26, 2018,* (pp. 287-296). Torino, Italy.

Küçükefe, B. ve Akkurt, Ö. H. (2022). "Covıd-19 Pandemisi ve Ukrayna-Rusya Savaşı'nın, Türkiye'de Tahıl Fiyatları ve Üretim Arzları Üzerindeki Etkileri". *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi, 08 (Special Issue)*, 90-94.

Łabędzki, L. and Bąk, B. (2014). "Meteorological and agricultural drought indices used in drought monitoring in Poland: a review". *Meteorology Hydrology and Water Management*, *2*(2), 1-13.

Lange, M. (2020). "Climate Change in the Mediterranean: Environmental Impacts and Extreme Events". *European Institute of the Mediterranean (IEMed)*, 30-45.

Lanza, L., Ramírez, J. and Todini, E. (2001). "Stochastic rainfall interpolation and downscaling. *Hydrology and Earth System Science* (5), 139-143.

Lena, B., Curci, G., Vergni, L.and Farinelli, D. (2022). "Climatic suitability of different areas in abruzzo, central italy, for the cultivation of hazelnut". *Horticulturae,* 8(7), 580. https://doi.org/10.3390/horticulturae8070580

Li, H. and Heap, D. A. (2008). *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists* (Cilt 2008/23). Geoscience Australia.

Li, W., Liu, S., Hau, M., Han, J. and Chen, X. (2021). "Advance in the study on meteorological and agricultural drought indices". *Meteorol. Environ. Sci, 196,* 76-82.

Lim Kam Sian, K., Zhi, X., Ayugi, B., Onyutha, C. and Shilenje, Z. (2023). "Meteorological Drought Variability over Africa from Multisource Datasets". *Atmosphere, 14*(1052), 1-25.

Lin, Y., Zhu, Z., Guo, W., Sun, Y., Yang, X. and Kovalskyy, V. (2020). "Continuous monitoring of cotton stem water potential using sentinel-2 imagery". *Remote Sensing*, 12(7), 1176. https://doi.org/10.3390/rs12071176

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

Liu, X., Zhu, X., Pan, Y., Bai, J. and Li, S. (2018a). "Performance of different drought indices for agriculture drought in the North China Plain". *Journal of Arid Land*. doi:https://doi.org/10.1007/s40333-018-0005-2

Liu, X. (2019b). "A probabilistic explanation of pearson's correlation". *Teaching Statistics*, 41(3), 115-117. https://doi.org/10.1111/test.12204

Liu, Q. (2024). "How residual plastic film affects the soil water–salt and cotton growth at the seeding stage". *Soil Use and Management*, 40(2). https://doi.org/10.1111/sum.13084

Ma, T., Zeng, W., Li, Q., Wu, J. and Huang, J. (2016). "Effects of water, salt and nitrogen stress on sunflower (helianthus annuus l.) at different growth stages". *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*,. https://doi.org/10.4067/s0718-95162016005000075

Ma, J., Li, R., Wang, H., Li, D., Wang, X., Zhang, Y. and Liu, Y. (2017). "Transcriptomics analyses reveal wheat responses to drought stress during reproductive stages under field conditions". *Frontiers in Plant Science*, 8. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00592

Manthos, I. (2023). “Molecular characterization of local walnut (juglans regia) genotypes in the north-east parnon mountain region of Greece”. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(24), 17230. https://doi.org/10.3390/ijms242417230

Marik, P., Snejdar, Z. and Matusinsky, P. (2011). “Expression of resistance to Ramularia leaf spot in winter barley cultivars grown in conditions of the Czech Republic”. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 47*(1), 37-40.

Matiu, M., Ankerst, D. and Menzel, A. (2017). “Interactions Between Temperature and Drought in Global and Regional Crop Yield Variability During 1961-201”. *PLoS ONE, 12*(5), 1-23.

Matthews, S. A. (2002). *ArcGIS Geostatistical Analyst.* GIS Resource Document 02-19.

McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1993). “The relationship of drought frequency and duration to time scale”. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, (s. 17-22). Anaheim, CA.

MedEC. (2020). *Risks Associated To Climate And Environmental Changes In The Mediterranean Region. Risks Associated to Climate and Environmental Changes in the Mediterranean Region:* A Preliminary Assessment by the MedECC Network SciencePolicy Interface.

Mellal, M., Khelifa, R., Chelli, A., Djouadi, N. and Madani, K. (2023). “Combined effects of climate and pests on fig (ficus carica l.) yield in a mediterranean region: implications for sustainable agricultural strategies”. *Sustainability*, 15(7), 5820. https://doi.org/10.3390/su15075820

MGM (2011a). *2010 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/2010-yili-iklim-degerlendirmesi.pdf.

MGM (2012b). *2011 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/2011-yili-iklim-degerlendirmesi.pdf.

MGM (2013c). *2012 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2012-iklim-raporu.pdf

MGM (2014d). *2013 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/2013-yili-iklim-degerlendirmesi.pdf.

MGM (2015e). *2014 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2014-iklim-raporu.pdf.

MGM. (2016f). *2015 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://mgm.gov.tr/FILES/iklim/2015-yili-iklim-degerlendirmesi.pdf.

MGM. (2017g). *2016 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2016-iklim-raporu.pdf.

MGM. (2018h). *2017 Yılı Sıcaklık ve Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/files/haberler/2018/2017sicaklikveyagisdegerlendirmesi.pdf.

MGM. (2019ı). *2018 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2018-iklim-raporu.pdf.

MGM. (2020i). *2019 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/files/iklim/yillikiklim/2019-iklim-raporu.pdf.

MGM. (2021j). *2020 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2020-iklim-raporu.pdf

MGM. (2022k). *2021 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://mgm.gov.tr/files/iklim/yillikiklim/2021-iklim-raporu.pdf.

MGM. (2023l). *2022 Yılı Yağış Değerlendirme Raporu.* Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: 20 Ocak 2024, https://www.mgm.gov.tr/files/iklim/yillikiklim/2022-iklim-raporu.pdf.

MGM. (2023i). *İklim Verileri*. Ankara: T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. 11.10.2022 tarihinde temin edilmiştir.

Micheloud, N., Castro, D., Buyatti, M., Gabriel, P. andGariglio, N. (2018). "Factors affecting phenology of different citrus varieties under the temperate climate conditions of santa fe, Argentina". *Revista Brasileira De Fruticultura*, 40(1). https://doi.org/10.1590/0100-29452018315

Miro, J., Maria, J., David, C., Gomez, I. and Luna, Y. (2023). "Precipitation and drought trends (1952–2021) in a key hydrological recharge area of the eastern Iberian Peninsula". *Atmospheric Research, 106695*, 1-19.

Mishra, A. and Singh, V. (2010). "A review of drought concepts". *Journal of Hydrology, 391*, 202-216.

Mızrak, G. (2021). *Yağışın Düşük Olduğu Yörelerde Buğday Tarımı.* Ankara: T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı.

Mlenga, D., Jordaan, A. and Mandebvu, B. (2019). “Monitoring droughts in Eswatini: A spatiotemporal variability analysis using the Standard Precipitation Index”. *Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies, 11*(1), 1-11.

Mohammed, Y. and Yimam, A. (2021). “Analysis of meteorological droughts in the Lake's Region of Ethiopian Rift Valley using reconnaissance drought index (RDI)”. *Geoenvironmental Disasters, 8*(13), 1-16. doi:https://doi.org/10.1186/s40677-021-00183-1

Moriondo, M., Giannakopoulos, C. and Bindi, M. (2011). “Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation”. *Climatic Change, 104*, 679-701.

Mukherjee, S. and Mishra, A. (2021). “Increase in compound drought and heatwaves in a warming world”. *Geophysical Research Letters*, 48(1). https://doi.org/10.1029/2020gl090617

Müller, L. and Bahn, M. (2022). “Drought legacies and ecosystem responses to subsequent drought”. G*lobal Change Biology*, 28(17), 5086-5103. https://doi.org/10.1111/gcb.16270

NCDC. 2010. U.S. Palmer Drought Indices. National Climatic Data Center. Erişim: 12.01.2024, <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/prelim/drought/palmer.html>

Negi, A. (2023). “Effect of weather parameters on wheat productivity: a statistical analysis using SPSS”. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 14(Oct, 10), 1378-1385. https://doi.org/10.23910/1.2023.4814a

Ndayiragije, J. and Li, F. (2022). “Effectiveness of Drought Indices in the Assessment of Different Types of Droughts, Managing and Mitigating Their Effects”. *Climate, 10*(125), 1-21.

Niemeyer, S. (2008). “New drought indices. Options Méditerranéennes”. *Série A: Séminaires Méditerranéens*, 80: 267–274.

Niu, K., Hu, Q., Zhao, L., Jiang, S., Yu, H., Liang, C. and Wang, Y. (2019). "Analysis of agricultural drought risk based on information distribution and diffusion methods in the main grain production areas of China". *Atmosphere*, 10(12), 764.

Ocvirk, D., Špoljarević, M., Kristić, M., Hancock, J., Teklić, T. and Lisjak, M. (2020). "The effects of seed priming with sodium hydrosulphide on drought tolerance of sunflower (helianthus annuus l.) in germination and early growth". *Annals of Applied Biology*, 178(2), 400-413. https://doi.org/10.1111/aab.12658

Omar, L.-C., Mariano, N.-C., Alberto, G., Ernestina, P.-G., Jorge, M.-M. and Enrique, T.-D. (2022). "Sensitivity of Four Indices of Meteorological Drought for Rainfed Maize Yield Prediction in the State of Sinaloa, Mexico". *Agriculture, 12*(525), 1-14. doi:https://doi.org/10.3390/agriculture12040525

Orimoloye, I. (2022). "Agricultural Drought and Its Potential Impacts: Enabling Decision-Support for Food Security in Vulnerable Regions". *Frontiers in Sustainable Food Systems, 6*, 1-11. doi:doi: 10.3389/fsufs.2022.838824

Özçelik, Ş. ve E. Akkuzu, (2023). "Ege Bölgesinde Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi". *Ege Univ. Ziraat Fak. Derg., 60 (3)*: 515-528, https://doi.org/10.20289/zfdergi.1286331

Öney, M., Anlı, A. S. (2023). "Regional Drought Analysis with Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (*SPEI*): Gediz Basin, Turkey". *Journal of Agricultural Sciences (Tarim Bilimleri Dergisi)*, 29(4): 1032-1049. DOI: 10.15832/ankutbd.1030782

Öz Y. F., Özelkan, E. and Tatlı, H. (2024). "Comparative analysis of SPI, SPEI, and RDI indices for assessing spatio-temporal variation of drought in Türkiye". *Earth Science Informatics*, 1-33. doi:https://doi.org/10.1007/s12145-024-01401-8

Özçağlar, A. (1992). "Türkiye'de Şeker Pancarı Ekim Alanlarının Coğrafi Dağılışı". *Türkiye Coğrafyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, 1*, 18-30.

Özelkan, E., Bagis, S., Ozelkan, C., Ustundag, B., Yucel, M. and Ormeci, C. (2015a). "Spatial interpolation of climatic variables using land surface temperature and modified inverse distance weighting". *International Journal of Remote Sensing, 36*(4), 1000-1025. doi:http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2015.1007248

Özelkan, E., Chen, G. ve Ustundag, B. B. (2016). "Multiscale object-based drought monitoring and comparison in rainfed and irrigated agriculture from Landsat 8 OLI imagery". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 44,* 159-170.

Özelkan, E. and Karaman, M. (2018b). "Analysis of the Effect of Meteorological and Hydrological Drought in Dam Lakes with Multi-Time Satellite Images: Atikhisar Dam (Çanakkale) Example". *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, 7*(2), 1023-1037.

Özocaklı, D. (2022). "Rusya'nın Ukrayna'ya Askeri Saldırısının Küresel Buğday Fiyatlarına Etkisi: GARCH Yöntemi". *Research in Social Sciences, II,* 35-53.

Öztürk, S., Tönük, G. ve Gülgün, B. (2014). "Türkiye'de Havza Yönetimi ve Yönetim Planı Yaklaşımları". *Ziraat Mühendisliği Dergisi* (361), 1-5.

Öztürk, E., Gul, V. ve Polat, T. (2017). "Yağlık ayçiçeği tanelerinin bazı karakteristik özelliklerinin belirlenmesi". *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 48(2), 81-85. https://doi.org/10.17097/ataunizfd.317828

Özüpekçe, S. (2021). "Drought analysis and relationship with water resources of Western Mediterrenean Basins closed area". *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE), 43,* 317-337.

Pan, R., Li, W., Wang, Q., and Ailiyaer, A. (2023). "Detectable anthropogenicintensification of the summer compoundhot and dry events over global land areas. *Earth's*" *Future, 11*, 1-17.

Parker L. E., McElrone A. J., Ostoja S. M., Forrestel E. J. (2020). "Extreme heat effects on perennial crops and strategies for sustaining future production". *Plant Science*, 295, 110397, doi: 10.1016/j.plantsci.2019.110397.

Parri, S. (2023). "Morpho-physiological responses of three italian olive tree (olea europaea l.) cultivars to drought stress". *Horticulturae*, 9(7), 830. https://doi.org/10.3390/horticulturae9070830

Partal, T., ve Yavuz, E. (2020). "Batı Karadeniz Bölgesinde Kuraklık İndisleri Üzerine Trend Analizi Uygulanması". *Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6*(2), 354-353.

Partigöç, S. ve Soğancı, S. (2019). "Küresel İklim Değişikliğinin Kaçınılmaz Sonu: Kuraklık". *Dirençlilik Dergisi, 2*(3), 287-299.

Paul, P., Bell, R., Barrett-Lennard, E., Kabir, E., Mainuddin, M. and Sarker, K. (2021). "Short-term waterlogging depresses early growth of sunflower (helianthus annuus l.) on saline soils with a shallow water table in the coastal zone of bangladesh". *Soil Systems*, 5(4), 68. https://doi.org/10.3390/soilsystems5040068

Peña-Gallardo, M., Vicente-Serrano, S., Domínguez-Castro, F. and Beguería, S. (2019). "The İmpact of Drought on the Productivity of Two Rainfed Crops in Spain". *Natural Hazards Earth System Sciences, 19*, 1215-1234. doi:https://doi.org/10.5194/nhess-19-1215-2019

Polat, A. and Caliskan, O. (2013). "Yield and fruit characteristics of various apricot cultivars under subtropical climate conditions of the mediterranean region in Turkey". *International Journal of Agronomy*, 2013, 1-5. https://doi.org/10.1155/2013/687345

Pothasin, P., Compton, S. and Wangpakapattanawong, P. (2016). "Seasonality of leaf and fig production in ficus squamosa, a fig tree with seeds dispersed by water". *Plos One*, 11(3), e0152380. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152380

Quaggio, J., Mattos, D., Cantarella, H., Stuchi, E. and Sempionato, O. (2004). "Sweet orange trees grafted on selected rootstocks fertilized with nitrogen, phosphorus and potassium". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(1), 55-60. https://doi.org/10.1590/s0100-204x2004000100008

Quiring, S.M. and Papakryiakou, T.N. 2003. "An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies". *Agric. For. Meteorol*. 118 (1–2): 49–62. doi:10.1016/S0168-1923(03)00072-8.

Rahman, M., Ali, M., Mojid, M., Anjum, N., Haq, M., Kainose, A. and Dissanayaka, K. (2022). "Crop coefficient, reference crop evapotranspiration and water demand of dry-season boro rice as affected by climate variability: a case study from northeast

Bangladesh". *Irrigation and Drainage*, 72(1), 148-165. https://doi.org/10.1002/ird.2754

Ray , D., West, P., Clark, M., Gerber, J., Prishchepov, A. and Chatterjee, S. (2019). "Climate Change has Likely Already Affected Global Food Production". *PLoS ONE , 14*(5), 1-18. doi:https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217148

Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y. and Xu, J. (2019). "Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review". *Plants, 8*(34), 1-29.

Rhee, J., Im, J. and Carbone, G.J. 2010. "Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data". *Remote Sens. Environ*. 114 (12): 2875–2887. doi:10. 1016/j.rse.2010.07.005.

Roongruangsri, W., Rattanapanone, N., Leksawasdi, N. and Boonyakiat, D. (2013). "Physico-chemical changes during growth and maturation of tangerine fruit cv"sai nam phueng" and "see thong". *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 12(1). https://doi.org/10.12982/cmujns.2013.0006

Rousta, I., Serif, M., Heidari, S., Kiani, A., Ólafsson, H., Kryszczak, J. and Baranowski, P. (2023). "Climatic variables impact on inland lakes water levels and area fluctuations in an arid/semi-arid region of Iran, Iraq, and Turkey based on the remote sensing data". *Earth Science Informatics*, *16*(2), 1611-1635.

Sandhu, S. S., Kaur, P., Tripatı, P., Patel, S. R., Prasa, R., Solanki, N. S., Kumar, R., Singh, C. B., Dubey, A. P. and Rao, V. U. M. (2016). "Effect of intra-seasonal temperature on wheat at different locations of India: A study using CERES-Wheat model". *Journal of Agrometeorology*, *18*(2), 222–233. https://doi.org/10.54386/jam.v18i2.939

Shaharudin, S., Ahmad, N. and Yusof, F. (2013). "Improved cluster partition in principal component analysis guided clustering". *International Journal of Computer Applications*, 75(11), 22-25. https://doi.org/10.5120/13156-0839

Shahid, S. (2010). "Impact of climate change on irrigation water demand of dry season boro rice in northwest Bangladesh". *Climatic Change*, 105(3-4), 433-453. https://doi.org/10.1007/s10584-010-9895-5

Sharma-Poudyal, D. and Chen, X. (2011). “Models for predicting potential yield loss of wheat caused by stripe rust in the u.s. pacific northwest”. *Phytopathology*, 101(5), 544-554. https://doi.org/10.1094/phyto-08-10-0215

Sahour, H., Vazifedan, M. and Alshehri, F. (2020). “Aridity trends in the Middle East and adjacent areas”. *Theoretical and Applied Climatology, 142*(3-4), 1039-1054.

Sarış, F. ve Gedik, F. (2021). “Konya Kapalı Havzası’nda Meteorolojik Kuraklık Analizi”. *Coğrafya Dergisi, 42*, 295-308. doi:https://doi.org/10.26650/JGEOG2021-885519

Saureshjani, H. (2021). “Relationship Between Weather Conditions and Climate Indices”. *International Journal of Plant Production, 15*, 541-551.

Sayılgan, Ç. (2016). “Küresel sıcaklık artışının buğdayda beklenen etkileri ve yüksek sıcaklığa toleranslılığın fizyolojik göstergeleri”. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 26*(3), 439-447.

Schleip, C., Rutishauser, T., Luterbacher, J. and Menzel, A. (2008). “Time series modeling and central European temperatureimpact assessment of phenological records over the last 250 years”. *Journal of Geophysical Research , 113*, 1-13.

Schumacher, S., Mertes, C., Kaltenbach, T., Bleyer, G. and Fuchs, R. (2024). “A method for phenotypic evaluation of grapevine resistance in relation to phenological development”. *Scientific Reports , 14*(915), 1-9.

Seleiman, M., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y. and Battaglia, M. (2021). “Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects”. *Plants , 10*, 1-25.

Shah, S. (2024). “Climate trends and wheat yield in punjab, Pakistan: assessing the change and impact”. *Sustainability*, 16(11), 4443. https://doi.org/10.3390/su16114443

Semenov, M. (2008). “Impacts of climate change on wheat in england and wales”. *Journal of the Royal Society Interface*, 6(33), 343-350. https://doi.org/10.1098/rsif.2008.0285

Sensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, U., ve Balta, I. (2008). *Türkiye İklimi.* Ankara: Turkish State Meteorological Service (DMİ).

Serkendiz, H., ve Tatlı, H. (2023). "Sosyo-Ekonomik ve Biyofiziksel Bileşenlerine Dayalı Geliştirilen Dirençlilik İndeksi ile Türkiye'de Kuraklığın İncelenmesi". *Dirençlilik Dergisi*, *7*(1), 73-91.

Silva, S., Souza, G., Chaves, A., Silva, M., Souza, R. and Beckmann-Cavalcante, M. (2022). "Morphophysiological aspects of ornamental sunflowers cultivated in different growing seasons under semi-arid conditions". R*evista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 26(4), 299-305. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n4p299-305

Singh, K., McClean, C., Büker, P., Hartley, S. and Hill, J. (2017). "Mapping regional risks from climate change for rainfed rice cultivation in India". *Agricultural Systems*, 156, 76-84. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.05.009

Slette, I., Post, A., Awad, M., Even, T., Punzalan, A., Williams, S. and Knapp, A. (2019). "How ecologists define drought, and why we should do better". *Global Change Biology*, 25(10), 3193-3200. https://doi.org/10.1111/gcb.14747

Shi, H., Wu, Y., Yi, L., Hu, H., Su, F., Wang, Y. and Hou, J. (2023). "Analysis of qtl mapping for germination and seedling response to drought stress in sunflower (helianthus annuus l.)". *Peerj*, 11, e15275. https://doi.org/10.7717/peerj.15275

Sobral, B., Oliveira-Junior, J., Gois, G. and Pereira-Junior, E. (2018). "Spatial variability of SPI and RDIst drought indices applied to intense episodes of drought occurred in Rio de Janeiro State, Brazil". *International Journal of Climatology, 38*(10), 3896-3916.

Sönmez, E., Dölek, İ., (2016). "Türkiye`nin Fiziki Coğrafyası, "Türkiye'nin jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri," doi: 10.14527/9786053180647.01

Stahl, K., Kohn, I., Blauhut, V., Urquijo, J., Stefano, L., Acácio, V. and Lanen, H. (2016). "Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports". *Natural Hazards and Earth System Science*, 16(3), 801-819. https://doi.org/10.5194/nhess-16-801-2016

Stagge, H. J., Tallaksen, M. L., Gudmundsson, L., Van Loon, F. A. and Stahl, K. (2015). "Candidate Distributions for Climatological Drought Indices(SPI and SPEI) ". *International Journal of Climatology* (35), 4027-4040.

Sürek, H., Kahraman, T. ve Unan, R. (2016). "Çeltik (orzya sativa l.) genotiplerinin trakya koşullarının farklı lokasyonlarında adaptasyonu ve bazı karakterler yönünden stabilite analizleri". *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(ÖZEL SAYI-1), 123-123. https://doi.org/10.21566/tarbitderg.280300

Süzer, S. (2004). Buğday tarımı. *Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Çiftçi Broşürü*, (51).https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=46

Şaroğlu, F. ve Güner, Y. (1981a). *Doğu Anadolu'nun Jeomorfolojik Gelişimine Etki Eden Öğeler; Jeomorfoloji, Tektonik, Volkanizma İlişkileri*. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 39-50.

Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1986b). "Doğu Anadolu'da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri". *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* (107), 73-94.

Şen, B., Topçu , S., Türkeş, M., Sen, B. and Warner, J. (2012). "Projecting climate change, drought conditions and crops productivity in Turkey". *Climate Research, 52*, 175-191.

Şen, O. (2014). "Türkiye'de Yaşanan Kuraklık ve Etkileri". *Kuraklık ve Tarım*, pp. 8-13.

Şensor, S. (2015). Türkiye'de İklim Değişikliğinin Meyve Ağaçları ve Buğdayın Fenolojik Dönemleri Üzerindeki Etkisi. Ankara: T. C. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi. Coğrafya (Fiziki Coğrafya), Anabilim Dalı.

Şimşek, O. and Çakmak, B. (2010a). "Drought Analysis for 2007-2008 Agricultural Year of Turkey". *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 7*(3), 1-11.

Şimşek, O., Yıldırım, M. ve Gördebil, N. (2012b). *2011–2012 Tarım Yılının Kuraklık Analizi*. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Zirai Meteoroloji Şube Müdürlüğü.

Şimşek, O., Yıldırım, M. ve Gördebil, N. (2013c). *2013–2014 tarım yılı kuraklık analizi.* Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı.

Şimşek, O., Yıldırım, M. ve Gördebil, N. (2015d). *2013-2014 tarım yılı kuraklık analizi.* Mteteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı.

Şorman, Ü., Mehr, D. and Hadi, J. (2018). "Study on spatial-temporal variations of Meteorological-Agricultural droughts in Turkey". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-3/W4* (pp. 1-8). Istanbul: GeoInformation For Disaster Management (Gi4DM).

Taş, İ. ve Yıldırım , E. (2020). "HadGEM2 Küresel İklim Modeli Tahminine Dayalı Konya Havzası Olası için Tarımsal Kurak Dönemleri". *Toprak Su Dergisi, Özel Sayı*, 56,66.

Taşkın, Ö., Somuncu, M. ve Çapar, G. (2022). "İklim Değişikliğinin Türkiye'de Su Kaynakları ve Tarım Sektörüne Etkileri Üzerine Bir Değerlendirme". *TÜCAUM 2022 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, (s. 468-484). Ankara.

Taşlıgil, N. ve Şahin G (2011). "Türkiye'de çeltik (Oryza sativa L.) yetiştiriciliği ve coğrafi dağılımı". *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 4(6)*: 182-203

Taşoğlu, E., Öztürk, M. and Yazıcı, Ö. (2024). "High Resolution Köppen-Geiger Climate Zones of Türkiye". *International Journal of Climatology, 44*, 5248-5265.

Tatar, Ö. (2016). "Climate Change Impacts on Crop Production in Turkey". *Lucrări Ştiinţifice, 59*(2), 135-140.

Tatlı, H., Dalfes, H. and Menteş, Ş. (2004a). "A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey". *International Jpurnal of Climatology 24*, 161-180.

Tatlı, H., ve Türkeş , M. (2008b). "Türkiye'deki 2006/2007 Kuraklığı ile Geniş Ölçekli Atmosferik Değişkenler Arasındaki Bağlantının Lojistik Regresyonla Belirlenmesi". *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı, 25-28 Mart 2008*, (s. 516-527). İstanbul.

Tian, L., Zhang, Y., Chen, P., Zhang, F., Li, J., Yan, F. and Feng, B. (2021). "How does the waterlogging regime affect crop yield a global meta-analysis". *Frontiers in Plant Science*, 12. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634898

Tigkas, D. and Tsakiris, G. (2015a). "Early Estimation of Drought Impacts on Rainfed Wheat Yield in Mediterranean Climate". *Environmental Processes, 2*, 97-114.

Tigkas, D., Vangelis, H. and Tsakiris, G. (2019b). "Drought characterisation based on an agriculture-oriented standardised precipitation index". *Theoretical and Applied Climatology, 135*, 1435-1447.

Tigkas, D., Vangelis, H., Proutos, N. and Tsakiris, G. (2022c). "Incorporating aSPI and eRDI in Drought Indices Calculator (DrinC) Software for Agricultural Drought Characterisation and Monitoring". *Hydrology, 9*(100), 1-14. doi:https://doi.org/10.3390/hydrology9060100

Topçu, E. (2022). "Appraisal of seasonal drought characteristics in Turkey during 1925–2016 with the standardized precipitation index and copula approach". *Natural Hazards* (112), 697-723. doi:https://doi.org/10.1007/s11069-021-05201-x

Topuz, M. (2023). "İl Merkezi Meteoroloji İstasyon Verilerine Göre Doğu Anadolu Bölgesi'nde Maksimum Kar Yüksekliğinin Eğilim Analizi". *Eastern Geographical Review, 28*(49), 74-81.

Tsakiris, G. (2004a). "Meteorological Drought Assessment. Paper prepared for the needs of the European Research Program MEDROPLAN". *Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning.* Zaragoza, Spain .

Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2005b). "Establishing a drought index incorporating evapotranspiration". *Eur Water, 9*(10), 1-9.

Tsakiris, G., Pangalou, D. and Vangelis, H. (2007c). "Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)". *Water Resource Manage,* 21, 821-833.

Turoğlu, H. (2019). İstanbul'un su yönetimi riskleri. B. Gonencgil, T. A. Ertek, I. Akova ve E. Elbasi (Ed.), *1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book* (s. 535-547) içinde. İstanbul, Türkiye: Istanbul University Press. https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.052

TÜİK. (2023). Bitkisel Verim ve Üretim Değerleri. Erişim: 10.03.2023, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=104&locale=tr adresinden alındı.

Türkeş, M. (2007a). "Türkiye'nin kuraklığa, çölleşmeye eğilimi ve iklim değişikliği açısından değerlendirilmesi". *Pankobirlik* (91), 38-47.

Türkeş, M. (2012b). "Kuraklık, Çölleşme ve Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi 'nin Ayrıntılı Bir Çözümlemesi". *Marmara Avrupa Araştırmaları Derneği, 20*(1), 1-49.

Türkeş, M. (2020c). Climate and Drought in Turkey. N. B. Harmancıoğlu, and A. D. (ed.) in, *Water Resources of Turkey, World Water Resources* (Cilt 2, s. 85-125). Springer.

Türkeş, M. (2020d). "İklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliğine etkileri: Bilimsel bir değerlendirme". *Ege Coğrafya Dergisi*, 29 (1), 125-149.

Türkeş, M. and Tatlı, H. (2009e). "Use of the standardized precipitation index (SPI) and a modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey". *International Journal of Climatology*, (29), 2270-2282.

Tüzün, G., (2010). Havza Planlama ve Yönetiminde Yöntem Arayışı: Meriç-Ergene Havzası Örneği. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, İstanbul.

Tveito, O., Wegehenkel, M., van der Wel, F. and Dobesch, H. (2008). *COST Action 719: the use of geographic information systems in climatology and meteorology.* Luxembourg: EUR-OP.

Uzun, M. ve Garipoğlu, N. (2021). "Havza Yönetiminin Gelişim Evreleri ve Farklı Modelleri". *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE), 43*, 338-357.

Ünal, Y., Kındap, T. ve Karaca, M. (2003). "Kümeleme analizi kullanılarak Türkiye'nin iklim bölgelerinin yeniden tanımlanması". *Int. J. Climatol.*23:1045-1055.

Wang, B., Liu, C., Zhang, D., He, Ç. and Li, Z. (2019). "Effects of maize organ-specific drought stress response on yields from transcriptome analysis". *BMC Plant Biolog, 335*, 1-19.

Wang, S., Huang, H. G., Lin, G. Q., Li, Z., Zhang, H. and Fan, R. Y. (2014). "Comparison of interpolation methods for estimating spatial distribution of precipitation in Ontario, Canada". *International Journal of Climatology, 34*, 3745–3751.

Wang, Z. (2024). "Exploring the drought tolerant quantitative trait loci in spring wheat". *Plants*, 13(6), 898. https://doi.org/10.3390/plants13060898

Wasaya, A., Abbas, T., Yasir, T., Sarwar, N., Aziz, A., Javaid, M. and Akram, S. (2021). "Mitigating drought stress in sunflower (helianthus annuus l.) through exogenous

application of β-aminobutyric acid". *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(2), 936-948. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00412-4

Wei, X., Huang, S., Li, J., Huang, Q., Leng, G., Liu, D. and Bai, Q. (2024). "The negative-positive feedback transition thresholds of meteorological drought in response to agricultural drought and their dynamics". *Science of the Total Environment, 906*(167817), 1-15.

White, G. F. (1997). "The river as a system. a geographer's view of promising approaches". *Water International*, 22(2), 79-81.

Wijngaard, J., Klein Tank, A., and Können, G. (2003). "Homogeneity of 20th Century European Daily Temprature and Precipitation Series". *International Journal of Climatology, 23*, 679-692.

Wilhite, D. A. and Glantz, M. H. (1985a). Understanding: The Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10 (3). 1–16.

Wilhite, D. A. (2000b). "Chapter 1 Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions". D. A. Wilhite (Ed.). in: *Drought: A global assessment.* (pp. 1–21). Routledge: London.

WMO. (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide.* World Meteorological Organization.

Xianfeng, L., Xiufang, Z., Yaozhong, P., Shuangshuang, L., Yanxu, L. and Yuqi, M. (2016). "Agricultural drought monitoring: Progress, challenges, and prospects". *Journal of Geographical Sciences,26*(6), 750-767.

Xu, W., Zou, Y., Zhang, G. and Linderman, M. (2014). "A comparison among spatial interpolation techniques for daily rainfall data in Sichuan Province, China". *International Journal of Climatology, 35*(10), 2898-2907.

Xu, Y., Xu, Y., Wang, Y., Wu, L., Li, G. and Song, S. (2017). "Spatial and temporal trends of reference crop evapotranspiration and its influential variables in Yangtze River Delta, eastern China". *Theoretical and Applied Climatology, 130*, 945-958.

Xu, Z. (2023). “Impact of drought stress on yield-related agronomic traits of different genotypes in spring wheat”. *Agronomy*, 13(12), 2968. https://doi.org/10.3390/agronomy13122968

Vasiliades, L., Loukas, A., and Liberis, N. 2011. “A water balance derived drought index for Pinios River Basin, Greece”. *Water Resources Management*, 25(4), 1087–1101.

Vannoppen, A., Gobin, A., Kotova, L., Top, S., Cruz, L., Vīksna, A. andTermonia, P. (2020a). “Wheat yield estimation from ndvi and regional climate models in latvia”. *Remote Sensing*, 12(14), 2206. https://doi.org/10.3390/rs12142206

Vannoppen, A. and Gobin, A. (2021b). “Estimating farm wheat yields from ndvi and meteorological data”. *Agronomy*, 11(5), 946. https://doi.org/10.3390/agronomy11050946

Velitchkova, M. (2023). “Effect of low light on photosynthetic performance of tomato plants—ailsa craig and carotenoid mutant tangerine”. *Plants*, 12(16), 3000. https://doi.org/10.3390/plants12163000

Yaban, İ. ve Kabay, T. (2019). “Kuraklık stresinin urfa biberinde iyon klorofil ve enzim içerikleri üzerine etkisi”. *Toprak Su Dergisi*, 11-17. https://doi.org/10.21657/topraksu.544650

Yakupoğlu, T., Gülümser, E., Doğrusöz, Ç. ve Başaran , U. (2019). “Tek yıllık yem bitkisi yetiştiriciliği altındaki su tutucu uygulanmış topraktan meydana gelen sediment ve yüzey akış”. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, *7*(2), 99-109.

Yalçınlar, İ. (1985). *Strüktüral Jeomorfoloji 1*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları. No: 800.

Yang, W., Feng, G., Read, J., Ouyang, Y., Han, J., and Li, P. (2020). “Impact of cover crop on corn–soybean productivity and soil water dynamics under different seasonal rainfall patterns”. *Agronomy Journal*, 112(2), 1201-1215. https://doi.org/10.1002/agj2.20110

Yao, N., Li, Y., Zhang, S., Chen, X., Ji, Y., Liu, F., and Feng, P. (2022). “Response of wheat and maize growth-yields to meteorological and agricultural droughts based on

standardized precipitation evapotranspiration indexes and soil moisture deficit indexes". *Agricultural Water Management, 266*, 1-22.

Yao, J., Wu, Y., Liu, J. and Wang, H. (2024). "Research on Drought Stress Monitoring of Winter Wheat during Critical Growth Stages Based on Improved DenseNet-121". *Appl. Sci.* 14, 7078. https://doi.org/10.20944/preprints202406.1662.v1

Yavaş, İ. (2010). Ege Bölgesi Ekmeklik Buğdaylarında Kurağa Dayanıklılık Özelliklerinin Saptanması. Doktora Tezi. T. C. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Aydın.

Yetmen, H. (2013). Türkiye'nin Kuraklık Analizi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Fiziki Coğrafya Bilim Dalı, Ankara.

Yıldız, M., Kaya, F. ve Terzi, H. (2020). "Kuraklık stresi ve bitki proteomiği". *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 10 (1),* 286-297. https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.568384

Yılmaz, F. F., ve Erdem, D. B. (2021). "Trakya Bölgesinde kuru koşullarda farklı toprak ordolarında yetiştirilen ayçiçeği çeşitlerinin verimi ile toprak nemi arasındaki ilişkiler".*Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*,*9*(2), 1-11.

Yilmaz, N., Işlek, F., Tekin, O., Sagbas, H., Erċışlı, S., Rampáčková, E. and Nečas, T. (2021). "Effect of methyl jasmonate, cytokinin, and lavender oil on antioxidant enzyme system of apricot fruit (prunus armeniaca l.)". *Sustainability*, 13(15), 8565. https://doi.org/10.3390/su13158565

Yılmaz, G. (2023). "Kuraklık ve Sıcak Hava Dalgasının Tarımsal Üretim Üzerine Etkileri". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 9*(2), 240-257.

Yılmaz, H., Dağ, M., ve Kaştan, A. (2023). "Sürdürülebilir Şeker Pancarı Üretimi için Üreticilerin Münavebe Uygulamalarını Etkileyen Faktörlerin Analizi". *Akademik Ziraat Dergisi, 12*(1), 83-90.

Yılmaz, M. (2017). "Konya Kapalı Havzası'nın TMPA uydu kaynaklı yağış verileri ile kuraklık analizi". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32*(2), 541-549.

Yu, C., Huang, X., Chen, H., Huang, G., Ni, S., Wright, J.and Yu, L. (2018). "Assessing the Impacts of Extreme Agricultural Droughts in China Under Climate and Socioeconomic Changes". *Earth's Future*, 689-703. doi:https://doi.org/10.1002/2017EF000768

Yücel, B. (2023). "Şeker Pancarının Gıda Endüstrisi Açısından Önemi". *International Journal of Sivas University of Science and Tecnology*, *2*(2), 54-64.

Zhou, L., Wang, S., Chi, Y. and Wang, J. (2018). "Drought impacts on vegetation indices and productivity of terrestrial ecosystems in southwestern China during 2001–2012". *Chinese Geographical Science*, 28(5), 784-796. https://doi.org/10.1007/s11769-018-0967-1

Zarei, A. R., Shabani, A. and Moghmi, M. M. (2021). "Accuracy Assessment of the SPEI, RDI and SPI Drought Indices in Regions of Iran with Different Climate Conditions". *Pure and Applied Geophysics, 178*, 1387-1403.

Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., and Khan, F. (2011). "A review of drought indices". *Environmental Reviews, 19*, 333-349.

Zeybekoglu, U., Hezarani, A. and Keskin, A. (2023). "Comparison of four precipitation based meteorological drought indices in the Yesilirmak Basin, Turkey". *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, 127*(1), 123-142.

Zhang, J., Zhang, S., Cheng, M., Jiang, H., Zhang, X., Peng, C. andJin, J. (2018). "Effect of drought on agronomic traits of rice and wheat: a meta-analysis". *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(5)*, 839. https://doi.org/10.3390/ijerph15050839

Zhou, L., Xu, H., Mischke, S., Meinhardt, L., Zhang, D., Zhu, X. and Fang, W. (2014). "Exogenous abscisic acid significantly affects proteome in tea plant (camellia sinensis) exposed to drought stress". *Horticulture Research*, 1(1). https://doi.org/10.1038/hortres.2014.29

Zhao, H., Li, X., Eziz, M. and Yao, J. (2022). "Changes in the characteristics of dry-wet periods in Xinjiang, China based on the SPEI index". *Atmósfera, 35*(3), 483-496.

Zhu, X., Sun, L., Kuppu, S., Hu, R., Mishra, N., Smith, J. and Zhang, H. (2018). “The yield difference between wild-type cotton and transgenic cotton that expresses ipt depends on when water-deficit stress is applied”. *Scientific Reports*, 8(1). https://doi.org/10.1038/s41598-018-20944-7

EKLER

Ek Tablo 1

Şeker pancarı üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Şeker Pancarı Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Şeker Pancarı Verim Değerleri (kg/da)
Antalya Havzası	**17826**	**Senirkent**	38,10	30,56	959	38,520	5,486
	17926	**Korkuteli**	37,06	30,19	1017	12,002	4,013
Aras Havzası	**17656**	**Horasan**	40,85	43,32	1720	10,636	2,995
Akarçay Havzası	**17190**	**Afyonkarahisar**	38,74	30,56	1034	73,871	4,795
	17796	**Bolvadin**	38,73	31,05	1018	41,962	4,575
	17239	**Akşehir**	38,37	31,43	1002	115,876	5,499
Batı Akdeniz Havzası	**17952**	**Elmalı**	36,74	29,91	1095	78,496	5,162
Burdur-Göller Havzası	**17238**	**Burdur**	37,72	30,29	957	24,675	4,041
	17892	**Tefenni**	37,32	29,78	1142	23995	4,186
Büyük Menderes Havzası	**17862**	**Dinar**	38,06	30,15	864	132,699	4,851
Fırat Havzası	**17872**	**Doğanşehir**	38,10	37,89	1223	22,663	4,877

Ek Tablo 1 Devamı

	17201	**Elazığ**	38,64	39,26	989	115,039	4,283
	17806	**Palu**	38,69	39,93	869	10,837	4,717
	17094	**Erzincan**	39,75	39,49	1216	128,510	4,718
	17203	**Bingöl**	38,88	40,50	1139	8,255	3,443
	17780	**Malazgirt**	39,14	42,53	1540	55,089	3,233
	17204	**Muş**	38,75	41,50	1322	107,204	3,438
Kızılırmak	**17760**	**Boğazlıyan**	39,19	35,25	1070	492,378	4,953
Havzası							
	17652	**Osmancık**	40,98	34,80	419	10,463	4,233
	17074	**Kastamonu**	41,37	33,78	800	52,345	3,370
	17080	**Çankırı**	40,61	33,61	755	16,896	4,127
	17160	**Kırşehir**	39,16	34,16	1007	81,543	5,150
	17162	**Gemerek**	39,19	36,08	1182	134,173	4,919
	17090	**Sivas**	39,74	37,00	1294	24,504	3,663
	17836	**Develi**	38,37	35,48	1204	75,303	4,323
	17802	**Kayseri/Pınarbaşı**	38,73	36,39	1542	42,092	4,082
	17140	**Yozgat**	39,82	34,82	1301	41,005	4,399
	17732	**Çiçekdağı**	39,61	34,42	900	25,920	4,672
Konya Havzası	**17191**	**Cihanbeyli**	38,65	32,92	973	553,248	6,281
	17754	**Kulu**	39,08	33,07	1005	62,317	5,739
	17192	**Aksaray**	38,37	34,00	970	363,435	5,226
	17900	**Çumra**	37,57	32,79	1014	813,984	6,012
	17246	**Karaman**	37,19	33,22	1018	367,058	5,286
	17902	**Karapınar**	37,71	33,53	996	394,192	4,978

Ek Tablo 1 Devamı

	17250	**Niğde**	37,96	34,68	1211	18,333	4,211
	17242	**Beyşehir**	37,68	31,75	1141	98,372	5,815
	17898	**Seydişehir**	37,43	31,85	1129	169,464	5,687
	17248	**Ereğli**	37,53	34,05	1046	167,380	4,807
Sakarya Havzası	**17069**	**Sakarya**	40,77	30,39	30	144,677	5,010
	17728	**Polatlı**	39,58	32,16	886	337,406	5,335
	17702	**Bozüyük**	39,90	30,05	754	6,441	4,979
	17832	**Ilgın**	38,28	31,89	1036	181,609	5,435
	17798	**Yunak**	38,82	31,73	1148	229,845	5,325
	17155	**Kütahya**	39,42	29,99	969	52,149	4,350
	17752	**Emirdağ**	39,01	31,15	983	213,428	5,094
Seyhan-Ceyhan Havzası	**17868**	**Afşin**	38,24	36,92	1230	128,646	5,278
	17870	**Elbistan**	38,20	37,20	1137	182,142	5,379
	17866	**Göksun**	38,02	36,48	1344	21,035	4,053
Van Gölü Havzası	**17810**	**Ahlat**	38,75	42,48	1730	49,656	3,390
	17205	**Tatvan**	38,50	42,28	1665	26,654	3,819
	17784	**Erciş**	39,02	43,34	1678	19,923	3,181
	17786	**Muradiye**	38,99	43,76	1706	8,358	3,702
	17172	**Van**	38,47	43,35	1675	5,620	2,408
Yeşilırmak Havzası	**17083**	**Merzifon**	40,88	35,46	754	56,427	4,532

Ek Tablo 1 Devamı

17084	**Çorum**	40,55	34,94	776	75,740	4,359
17086	**Tokat**	40,33	36,56	611	138,610	4,245
17684	**Suşehri**	40,16	38,08	1164	33,521	5,030

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 2

Arpa üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Arpa Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Arpa Verim Değerleri (kg/da)
Antalya Havzası	**17882**	**Eğirdir**	37,84	30,87	920	1,730	199
	17864	**Uluborlu**	30,46	1025	1025	501	219
Aras Havzası	**17656**	**Arpaçay**	40,85	43,32	1720	9,643	133
	17097	**Kars**	40,60	43,11	1777	22,685	132
	17692	**Sarıkamış**	40,33	42,60	2102	14,187	133
	17046	**Ardahan**	41,11	42,71	1827	10,111	147
	17720	**Doğubeyazıt**	39,54	44,02	1640	10,929	149
Batı Akdeniz Havzası	**17890**	**Acıpayam**	37,43	29,35	941	25,230	268

Ek Tablo 2 Devamı

Batı Karadeniz Havzası	**17070**	**Bolu**	40,73	31,60	743	18,082	321
	17646	**Çerkeş**	40,82	32,88	1126	6,504	201
Büyük Menderes Havzası	**17824**	**Güney**	38,15	29,06	825	5,200	234
	17188	**Uşak**	38,67	29,40	919	74,797	265
Çoruh Havzası	**17666**	**İspir**	40,49	41,00	1223	2,091	148
	17668	**Oltu**	40,55	42,00	1312	3,837	175
	17688	**Tortum**	40,30	41,54	1576	1,652	141
Dicle Havzası	**17210**	**Siirt**	37,93	41,94	895	1,232	172
	17880	**Başkale**	38,04	44,02	2286	381	117
Doğu Akdeniz	**17928**	**Hadim**	36,99	32,46	1552	265	164
Doğu Karadeniz	**17088**	**Gümüşhane**	40,46	39,47	1216	1,256	150
Fırat Havzası	**17734**	**Divriği**	39,36	38,11	1121	7,208	188
	17762	**Kangal**	39,24	37,39	1521	19,347	192
	17764	**Arapgir**	39,04	38,49	1200	6,014	173
	17768	**Çemişgezek**	39,04	38,92	898	6,335	187
	17165	**Tunceli**	39,11	39,54	981	928	151
	17740	**Hınıs**	39,37	41,70	1715	2,208	120
Kızılırmak Havzası	**17650**	**Tosya**	41,01	34,04	870	7,095	198
	17648	**Ilgaz**	40,92	33,63	885	1,044	223
	17135	**Kırıkkale**	39,84	33,52	751	6,596	242
	17716	**Zara**	39,89	37,75	1338	4,522	186

Ek Tablo 2 Devamı

	17837	**Tomarza**	38,45	35,79	1402	14,890	227
	17840	**Sarız**	38,48	36,50	1599	3,639	188
	17756	**Kaman**	39,37	33,71	1075	43,234	275
Konya Havzası	**17244**	**Konya Havalimanı (Selçuk)**	37,98	32,57	1031	37,464	246
Marmara Havzası	**17119**	**Yalova**	40,66	29,28	4	506	306
Meriç-Ergene Havzası	**17608**	**Uzunköprü**	41,27	26,71	45	6,675	212
Sakarya Havzası	**17662**	**Geyve**	40,52	30,30	100	3,054	245
	17680	**Beypazarı**	40,16	31,92	682	3,1735	253
	17664	**Kızılcahamam**	40,47	32,64	1033	6,539	209
	17679	**Nallıhan**	40,17	31,33	650	2,1415	275
	17120	**Bilecik**	40,14	29,98	539	3,373	204
Susurluk Havzası	**17700**	**Dursunbey**	39,58	28,63	637	4,345	191
	17695	**Keleş**	39,92	29,23	1063	887	171
	17748	**Simav**	39,09	28,98	809	13,479	209
	17704	**Tavşanlı**	39,54	29,49	833	18,274	214
	17114	**Bandırma**	40,33	28,00	63	7739	368
Van Gölü Havzası	**17812**	**Özalp**	38,66	43,98	2000	2,971	368

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 3

Mısır üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Mısır Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Mısır Verim Değerleri (kg/da)
Batı Karadeniz Havzası	**17072**	**Düzce**	40,84	31,15	146	35,135	702
	17015	**Akçakoca**	41,09	31,14	10	831	511
	17022	**Zonguldak**	41,45	31,78	135	1,934	149
	17020	**Bartın**	41,62	32,36	33	11,091	198
	17602	**Amasra**	41,75	32,38	73	773	162
	17024	**İnebolu**	41,98	33,76	64	1,360	316
	17026	**Sinop**	42,03	35,15	32	7,407	262
Büyük Menderes Havzası	**17886**	**Yatağan**	37,34	28,14	365	3,694	653
Doğu Karadeniz Havzası	**17624**	**Ünye**	41,14	37,29	16	6,574	201
	17034	**Giresun**	40,92	38,39	38	3,880	234
	17042	**Hopa**	41,41	41,43	33	844	216
Kızılırmak Havzası	**17622**	**Bafra**	41,55	35,92	103	22,726	592

Ek Tablo 3 Devamı

Seyhan-Ceyhan Havzası	**17960**	**Ceyhan**	37,01	35,81	48	849	849
	17936	**Karaisalı**	37,25	35,06	240	781	781
	17981	**Karataş**	36,57	35,39	611	900	900
	17908	**Kozan**	37,43	35,82	112	814	814
	17979	**Yumurtalık**	36,77	35,79	610	806	806
	17370	**İskenderun**	36,59	36,16	4	546	546

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 4

Ayçiçeği üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Ayçiçeği Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Ayçiçeği Verim Değerleri (kg/da)
Marmara Havzası	**17112**	**Çanakkale**	40,14	26,40	6	2,995	188
Meriç-Ergene Havzası	**17050**	**Edirne**	41,68	26,55	51	36,950	190
	17052	**Kırklareli**	41,74	27,22	232	24,541	169
	17631	**Lüleburgaz**	41,35	27,31	46	49,522	198
	17632	**İpsala**	40,89	26,39	81	22,012	183

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 5

Pamuk üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Pamuk Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Pamuk Verim Değerleri (kg/da)
Dicle-Fırat Havzası	**17980**	**Akçakale**	36,73	38,95	365	121,297	402
	17968	**Ceylanpınar**	36,84	40,03	360	31,614	413
	17912	**Siverek**	37,75	39,33	801	68,812	364
	17270	**Şanlıurfa**	37,16	38,79	550	158,261	393
	17950	**Cizre**	37,33	42,20	400	2,779	342
	17874	**Çermik**	38,14	39,46	695	5,532	410
	17282	**Batman**	37,86	41,16	610	9,876	390
	17847	**Ergani**	38,27	39,77	986	5,899	368
	17948	**Nusaybin**	37,08	41,23	488	7,255	396

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 6

Zeytin üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Zeytin Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Zeytin Verim Değerleri (kg/Meyve veren ağaç)
Batı Akdeniz Havzası	**17884**	**Milas**	37,30	27,78	57	50.179	7
	17297	**Datça**	36,71	27,69	28	2.818	12
	17292	**Muğla**	37,21	28,37	646	6.478	11
	17298	**Marmaris**	36,84	28,25	16	1.081	9
	17924	**Köyceğiz**	36,97	28,69	24	7.775	11
	17294	**Dalaman**	36,77	28,80	12	5.131	15
	17296	**Fethiye**	36,63	29,12	3	8.125	11
Kuzey Ege Havzası	**17145**	**Edremit**	39,59	27,02	21	33.814	14
	17175	**Ayvalık**	39,31	26,69	4	33.894	19
	17722	**Burhaniye**	39,50	26,98	20	29.228	14
	17742	**Bergama**	39,11	27,17	53	10.899	14
	17180	**Dikili**	39,07	26,89	3	6.097	13

Ek Tablo 6 Devamı

Küçük Menderes Havzası	**17820**	**Seferihisar**	38,20	26,84	22	9.095	12
	17232	**Kuşadası**	37,86	27,27	25	5.739	18
	17854	**Selçuk**	37,94	27,37	18	10.464	11
	17822	**Ödemiş**	38,22	27,96	111	7.002	11
Marmara Havzası	**17110**	**Gökçeada**	40,19	25,91	79	1.413	13

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 7

Üzüm üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	**İstasyon No**	**İstasyon Adı**	**Enlem (Kuzey)**	**Boylam (Doğu)**	**Yükselti (m)**	**1991-2022 Ortalama Üzüm Üretim Değerleri (ton)**	**1991-2022 Ortalama Üzüm Verim Değerleri (kg/meyve veren ağaç)**
Aras Havzası	**17100**	**Iğdır**	39,92	44,05	856	111	977
Dicle Havzası	**17265**	**Adıyaman**	37,76	38,28	672	11,219	505
Doğu Akdeniz Havzası	**17330**	**Silifke**	36,38	33,94	10	8,160	730
	17958	**Erdemli**	36,63	34,34	7	23,267	1389
Gediz Havzası	**17792**	**Salihli**	38,48	28,12	111	1,071	1141

Ek Tablo 7 Devamı

	17184	**Akhisar**	38,91	27,82	92	93,774	1209
	17750	**Gediz**	38,99	29,40	736	18,853	589
	17186	**Manisa**	38,62	27,40	71	932	671
Kızılırmak Havzası	**17193**	**Nevşehir**	38,62	34,70	1260	27,834	614
	17835	**Ürgüp**	38,62	34,91	1068	25,938	574
Marmara Havzası	**17111**	**Bozcaada**	39,83	26,07	30	6,820	873
Seyhan-Ceyhan Havzası	**17906**	**Ulukışla**	37,55	34,49	1453	2,739	525

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 8

Elma üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Elma Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Elma Verim Değerleri (kg/meyve veren ağaç)
Batı Karadeniz Havzası	**17606**	**Kastamonu/Bozkurt**	41,96	34,00	167	492	30
Çoruh Havzası	**17089**	**Bayburt**	40,25	40,22	1584	492	61
	17045	**Artvin**	41,18	41,82	613	1,028	43
Yeşilırmak Havzası	**17085**	**Amasya**	40,67	35,84	409	7,436	97
Antalya Havzası	**17240**	**Isparta**	37,78	30,57	997	11,123	121

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 9

İncir üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama İncir Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama İncir Verim Değerleri (kg/meyve veren ağaç)
Büyük Menderes Havzası	**17850**	**Sultanhisar**	37,88	28,15	73	13,432	34
	17860	**Nazilli**	37,91	28,34	84	41,636	25

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 10

Kayısı üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Kayısı Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Kayısı Verim Değerleri (kg/meyve veren ağaç)
Yukarı Fırat Alt Havzası	**17199**	**Malatya**	38,34	38,22	950	30,237	97

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 11

Mandalina üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Mandalina Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Mandalina Verim Değerleri (kg/meyve veren ağaç)
Batı Akdeniz Havzası	**17290**	**Bodrum**	37,03	27,44	26	5,356	24

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 12

Portakal üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Portakal Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Portakal Verim Değerleri (kg/meyve veren ağaç)
Antalya Havzası	17310	Alanya	36,55	31,98	6	12,967	83
	17300	Antalya Havalimanı	36,91	30,80	64	39,886	111
	17954	Manavgat	36,79	31,44	38	12,874	86
Batı Akdeniz Havzası	17375	Finike	36,30	30,15	2	36,939	145
Doğu Akdeniz Havzası	17974	Gazipaşa	36,27	32,30	21	3,978	55
	17320	Anamur	36,07	32,86	2	9,627	84
Seyhan-Ceyhan Havzası	17962	Dörtyol	36,82	36,20	29	30,947	112

Ek Tablo 12 Devamı

Asi Havzası	17986	Samandağ	36,08	35,95	4	12,480	98

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 13

Fındık üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	**İstasyon No**	**İstasyon Adı**	**Enlem (Kuzey)**	**Boylam (Doğu)**	**Yükselti (m)**	**1991-2022 Ortalama Fındık Üretim Değerleri (ton)**	**1991-2022 Ortalama Fındık Verim Değerleri (kg/meyve veren ağaç)**
Doğu Karadeniz Havzası	**17628**	**Rize/Pazar**	41,18	40,90	78	18	2

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 14

Ceviz üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Ceviz Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Ceviz Verim Değerleri (kg/meyve veren ağaç)
Zap-Şemdinli Alt Havzası	**17285**	**Hakkari**	37,57	43,74	1727	1,822	58

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 15

Çay üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Çay Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Çay Verim Değerleri (kg/meyve veren ağaç)
Doğu Karadeniz Havzası	**17040**	**Rize**	41,04	40,50	3	403,337	1,427

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.

Ek Tablo 16

Çeltik üretiminin yapıldığı havzalar ve bu havzalardaki istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti değerleri ile üretim verim değerleri gösterilmiştir.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)	1991-2022 Ortalama Çeltik Üretim Değerleri (ton)	1991-2022 Ortalama Çeltik Verim Değerleri (kg/da)
Marmara Havzası	**17674**	**Balıkesir/Gönen**	40,11	27,64	37	9,392	715

Kaynak: TÜİK, 2023 verilerden yararlanılmıştır.