

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**UYDU TABANLI İNDEKSLERLE KONYA ALTINOVA BÖLGESİNDE
KURAKLIĞIN ANALİZİ VE BUĞDAY VERİMİ İLE İLİŞKİSİ**

Muhammed Cem AKCAPINAR

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**ANKARA
2023**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

UYDU TABANLI İNDEKSLELERLE KONYA ALTINOVA BÖLGESİNDE KURAKLIĞIN ANALİZİ VE BUĞDAY VERİMİ İLE İLİŞKİSİ

Muhammed Cem AKCAPINAR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Belgin ÇAKMAK

Türkiye'nin en önemli tahıl üretim merkezlerinden Konya'da son yıllarda sıkça kuraklık yaşanmakta ve başta buğday olmak üzere ürün verimleri olumsuz etkilenmektedir. Bu tez çalışmasında Konya ili Altınova yöresinde, kuraklığın güncel yaklaşımlarla analiz edilmesi ve elde edilen sonuçlarla yaygın olan buğday çeşitlerinin verim tahminlerinde kullanılabilecek modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kuraklığın geçmişten günümüze eğilimi araştırılmış, gelecek içinse kısa, orta ve uzun vade kuraklık projeksiyonları oluşturulmuştur. Son olarak makine öğrenmesi algoritmalarıyla Kızıltan-91, Bayraktar-2000 ve Bezostaya-1 çeşitleri için verim tahmin modelleri geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda SPI'nin kuraklık tekerrürünü %28-31, SPEI'nin ise %33-34 arası değerlendirdiği belirlenmiş, SPEI-24 aylık zaman ölçeğinde hidrolojik kuraklık eğilimin olabileceği ortaya konmuştur. Gelecek projeksiyonlarına göre hiçbir küresel model ve zaman ölçeğinde kısa vade (2020-2040) için kuraklık yönelimi belirlenmemiştir. Meteorolojik kuraklık için SPI ve SPEI'nin birlikte kullanılmasının çok daha doğru değerlendirmelerin yapılmasına imkân vereceği kanaatine varılmıştır. Tarımsal kuraklık analizleri ise uydu tabanlı kuraklık indeksleriyle (VCI, TCI, VHI ve VSWI) buğdayın büyüme dönemlerine göre gerçekleştirilmiştir. Bunların arasında 'Bitki Örtüsü Durum İndeksi'nin (VCI) kullanım ve sonuçları açısından yöreye uygun olduğu değerlendirilmiştir. Tüm çeşitler için VCI'ye göre 2001, 2004, 2007, 2008, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018 ve 2019 yıllarında tarımsal kuraklığın yaşandığı dönemlerin olduğu belirlenmiştir. Son olarak çalışmada Bayraktar çeşidi için 21, Kızıltan çeşidi için 12 ve Bezostaya çeşidi için 8 adet verim tahmin modeli alternatif olarak sunulmuş olup, model performansları (R^2) sırasıyla 0.736-0.973, 0.733-0.956 ve 0.686-0.874 arasında değişmiştir. Geliştirilen modeller yöre için kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir.

Mayıs 2023, 191 sayfa

Anahtar Kelimeler: Buğday, kuraklık, verim tahmini, uydu tabanlı indeksler, makine öğrenmesi

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DROUGHT ANALYSIS AND ITS RELATION WITH WHEAT YIELD IN KONYA ALTINOVA REGION WITH SATELLITE-BASED INDEXES

Muhammed Cem AKCAPINAR

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Belgin ÇAKMAK

In recent years, Konya, one of the most important cereal production centers in Türkiye, has experienced severe drought events, which have negatively impacted crop yields, particularly wheat. This dissertation aims to analyse drought in the Altınova region of Konya province through up-to-date approaches and to develop models that can be used to estimate the yield of typical wheat varieties using the results obtained. The drought trend from the past to the present was analysed, and short-, medium-, and long-term drought projections for the future were developed. The yield prediction models for the Kızıltan-91, Bayraktar-2000, and Bezostaya-1 varieties were generated using machine learning algorithms. According to the study findings, SPI analyses drought recurrence between 28-31% and SPEI between 33-34%, and there may be a hydrological drought trend on the SPEI-24-month time scale. According to Future projections, no global model or time scale indicates drought tendency in a short-term (2020-2040). It is concluded that combining SPI and SPEI for meteorological drought will allow for far more accurate assessments. Agricultural drought analyses were carried out using satellite-based drought indices (VCI, TCI, VHI and VSWI) for wheat growth phases. Regarding application and outcomes, the 'Vegetation Condition Index (VCI)' is deemed suitable for the region. According to the VCI, all varieties experienced agricultural drought at various times in 2001, 2004, 2007, 2008, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018 and 2019. Finally, the study presented 21 yield prediction models for the Bayraktar variety, 12 yield prediction models for the Kızıltan variety, and 8 yield prediction models for the Bezostaya variety as alternatives, and the model performances (R^2) ranged between 0.736-0.973, 0.733-0.956 and 0.686-0.874 respectively. It is concluded that the developed models could be implemented in the region.

May 2023, 191 pages

Keywords: Wheat, drought, yield prediction, satellite-based indices, machine learning

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Türkiye’de tahıl üretiminin merkezi konumundaki Konya’da son yıllarda sıkça karşılaşılan kuraklık olayları su ve toprak kaynaklarını tehdit etmekte, tarımda ise ürün verimlerinde düşüslere neden olarak gıda arzında dengesizliklere yol açmaktadır. Yörede kuraklık etkisiyle yeraltı sularında azalmaların yanında tarım sahalarında zaman zaman obruk oluşumlarıyla da karşılaşılmaktadır. Sosyolojik ve ekonomik açıdan büyük maliyetler getiren kuraklığın her açıdan incelenmesi ve olumsuz etkilerine karşı mücadele edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle özellikle tarımsal ithalat-ihracat planlamasında önemli rol oynayan alternatif verim tahmin modellerinin sunulması; ekonomik katkıların sağlanması ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu konudaki çalışmam süresince bilgisi, deneyimi ve desteğiyle her zaman yanımda olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Belgin ÇAKMAK’a, tez izleme komisyonunda ayırdıkları zaman, sundukları bakış açıları ve yönlendirmeleriyle çalışmaya değer katan kıymetli hocalarım sayın Prof. Dr. Halit APAYDIN’a ve sayın Prof. Dr. Yeşim AHİ’ye, tez savunmamda jüri üyesi olarak yer alan, değerli görüş ve önerilerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Y. Ersoy YILDIRIM ve sayın Prof. Dr. Selçuk ALBUT hocalarıma, doktora eğitimim boyunca katkılarıyla her an yanımda olan arkadaşlarım Yüksel NADAROĞLU, Osman ESKİÖĞLU, Dr. Hüdaverdi GÜRKAN, Eser BORA, Yusuf ÇALIK, Hikmet COŞKUN ve Necdet DOLAY’a, gösterdikleri hoşgörü ve sağladıkları motivasyon için kurumum Meteoroloji Genel Müdürlüğü değerli yöneticilerine, çalışmama sundukları destek için Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü değerli yönetici ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Karşılaştığım her türlü zorluk ve engelleri aşmamda daima yanıbaşımdaya olan kıymetli eşim Neslihan AKCAPINAR’a, çalışma boyunca büyüdüklerini gözlemlediğim sevgili kızlarım Cemre Neva ile Dilge Hüma’ya ve tüm aileme gösterdikleri sabır, fedakârlık ve sonsuz desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Muhammed Cem AKCAPINAR
Ankara, Mayıs 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1 Materyal	20
3.1.1 Çalışma alanı	20
3.1.2 Buğday parselleri ve üretim verileri.....	22
3.1.3 Toprak özellikleri.....	24
3.1.4 Meteorolojik gözlem verileri	25
3.1.5 İklim projeksiyonları	27
3.1.6 Uydu verileri	28
3.2 Yöntem	29
3.2.1 Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI)	29
3.2.2 Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)	31
3.2.3 Referans evapotranspirasyonun hesaplanması	32
3.2.4 Kuraklık analizleri	34
3.2.5 Normallik testi	35
3.2.6 Mann-Kendall testi	36
3.2.7 Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)	37
3.2.8 Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST).....	40
3.2.9 Bitki Örtüsü Durum İndeksi (VCI).....	41
3.2.10 Sıcaklık Durum İndeksi (TCI).....	41
3.2.11 Bitki Örtüsü Sağlık İndeksi (VHI)	42
3.2.12 Bitki Örtüsü Su Arzı İndeksi (VSWI).....	43
3.2.13 Fenolojik dönemlerin belirlenmesi	44
3.2.14 Meteorolojik ve tarımsal kuraklık ilişkisinin belirlenmesi	47
3.2.15 Verim tahmin modeli	48
4. BULGULAR.....	60
4.1 SPI ile Kuraklık Analizi	60
4.2 SPEI ile Kuraklık Analizi.....	63

4.3 SPI ile SPEI İlişkisi	69
4.4 Kuraklık Trend Analizi	71
4.5 Kuraklık İndeksleriyle Buğday Verim İlişkisi	77
4.6 Kuraklık Projeksiyonları	79
4.6.1 SPEI-9 kuraklık projeksiyonları	80
4.6.2 SPEI-6 kuraklık projeksiyonları	87
4.7 Uydu Tabanlı İndekslerle Kuraklık Analizleri	94
4.7.1 NDVI ve LST analizi	94
4.7.2 Parsellere göre NDVI değerlendirmesi	105
4.7.3 Parsellere göre LST değerlendirmesi	112
4.7.4 VCI ve TCI Analizleri	119
4.7.5 Parsellere göre VCI değerlendirmesi	125
4.7.6 Parsellere göre TCI değerlendirmesi	133
4.7.7 VHI ve VSWI Analizler	141
4.7.8 Parsellere göre VHI değerlendirmesi	147
4.7.9 Parsellere göre VSWI değerlendirmesi	154
4.8 Meteorolojik ve Tarımsal Kuraklık İlişkisinin Değerlendirilmesi	161
4.8.1 SPI-SPEI ile VCI ilişkisi	161
4.8.2 SPI-SPEI ile TCI ilişkisi	162
4.8.3 SPI-SPEI ile VHI ilişkisi	163
4.8.4 SPI-SPEI ile VSWI ilişkisi	164
4.9 Buğday Çeşitlerinde Verim Tahmin Modelleri	165
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	171
KAYNAKLAR	184
ÖZGEÇMİŞ	191

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Santigrat derece
CH ₄	Metan
cm	Santimetre
CO ₂	Karbondioksit
da	Dekar
H ₂ O	Su buharı
km	Kilometre
°K	Kelvin
mm	Milimetre
MJ	Mega joule
Mt	Milyon ton
pH	Hidrojen potansiyeli
ppm	Milyonda bölüm
r	Korelasyon katsayısı
R ²	Belirleme katsayısı
σ	Standart sapma
Σ	Toplam
µm	Mikrometre

Kısaltmalar

ADNKS	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
A-D	Anderson-Darling
AKİ	Akım Kuraklık İndeksi
AMS	Agrometshell
BDG/GDD	Büyüme Derece Gün
BÜGEM	Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
C3S	Copernicus İklim Değişikliği Servisi
DI	Ondalıklar İndeksi
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
ECMWF	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi
FAO	BM Gıda ve Tarım Örgütü
FMI	Fin Meteoroloji Enstitüsü
GFDL	Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı
GWİ	Yeraltı Suyu İndeksi
HadGEM	Hadley Centre Küresel Çevre Modeli
IFS	Entegre Tahmin Sistemi
LST	Arazi Yüzey Sıcaklığı

MAE	Ortalama Mutlak Hata
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
M-K	Mann-Kendall
MODIS	Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi
MPI	Max Planck Enstitüsü
NDVI	Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
NIR	Yakın Kızılötesi
NOAA	ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
OMGI	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
PET	Potansiyel Evapotranspirasyon
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi
PHDI	Palmer Hidrolojik Kuraklık İndeksi
PNI	Normalin Yüzdesi İndeksi
PM	Penman-Monteith
RAE	Nispi Mutlak Hata
RCP	Temsili Konsantrasyon Rotaları
RegCM	Bölgesel İklim Modeli
RET	Referans Evapotranspirasyon
RMSE	Kök Ortalama Kare Hata
RRSE	Kök Nispi Kare Hata
SAVI	Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi
SE	Standart Hata
SPI	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
SPOT	Yer Gözlem Deneme Uydu
SRI	Standartlaştırılmış Yüzey Akış İndeksi
SRTM	Mekik Radarı Topografya Görevi
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
TCI	Sıcaklık Durum İndeksi
TİGEM	Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
USGS	Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması
VCI	Bitki Örtüsü Durum İndeksi
VHI	Bitki Örtüsü Sağlık İndeksi
VSWI	Bitki Örtüsü Su Arzı İndeksi
WEKA	Bilgi Analizi için Waikato Ortamı
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
WSI	Su Yeterlilik İndeksi
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Yıllara göre küresel CO ₂ konsantrasyonu (Anonymous 2022b).....	1
Şekil 1.2 Yıllık toplam alansal yağış normalleri 1991-2020 (Anonim 2021e).....	4
Şekil 3.1 Altınova Tarım İşletmesi uydu görüntüsü (Anonymous 2021).....	20
Şekil 3.2 Altınova Tarım İşletmesi ve çalışılan parseller	22
Şekil 3.3 Kızıltan-91, Bayraktar 2000 ve Bezostaya-1 buğday çeşitleri.....	23
Şekil 3.4 MGM Altınova OMGI ile ERA 5 setinin karşılaştırılması.....	26
Şekil 3.5 ET ₀ Calculator Ara yüzü.....	33
Şekil 3.6 Meteorolojik veri formatı.....	34
Şekil 3.7 Bitki sağlığı açısından NDVI (Anonymous 2023).....	38
Şekil 3.8 Örnek poligon gösterimi	39
Şekil 3.9 WEKA 3.8.6 versiyonu arayüzü	48
Şekil 4.1 SPI kuraklık grafikleri	61
Şekil 4.2 SPI-12 (Su Yılı), SPI-9 (Ekim-Hasat) ve SPI-6'ya göre kuraklık.....	63
Şekil 4.3 SPEI kuraklık grafikleri	64
Şekil 4.4 SPEI-12 (Su Yılı), SPEI-9 (Ekim-Hasat) ve SPEI-6'ya göre kuraklık.....	66
Şekil 4.5 Zaman ölçeklerine göre SPI ve SPEI ilişkisi dağılım grafikleri.....	69
Şekil 4.6 MPI RCP4.5 için SPEI-9 projeksiyonu	80
Şekil 4.7 MPI RCP8.5 için SPEI-9 projeksiyonu	81
Şekil 4.8 HadGEM RCP4.5 için SPEI-9 projeksiyonu	83
Şekil 4.9 HadGEM RCP8.5 için SPEI-9 projeksiyonu	84
Şekil 4.10 GFDL RCP4.5 için SPEI-9 projeksiyonu	85
Şekil 4.11 GFDL RCP8.5 için SPEI-9 projeksiyonu	86
Şekil 4.12 MPI RCP4.5 için SPEI-6 projeksiyonu	87
Şekil 4.13 MPI RCP8.5 için SPEI-6 projeksiyonu	88
Şekil 4.14 HadGEM RCP4.5 için SPEI-6 projeksiyonu	90
Şekil 4.15 HadGEM RCP8.5 için SPEI-6 projeksiyonu	91
Şekil 4.16 GFDL RCP4.5 için SPEI-6 projeksiyonu	92
Şekil 4.17 GFDL RCP8.5 için SPEI-6 projeksiyonu	93
Şekil 4.18 Çeşitlerde aylara göre NDVI ve LST değişimleri.....	95
Şekil 4.19 Çeşitlerde aylara göre NDVI-LST ve buğday verimi ilişkisi	97
Şekil 4.20 Çeşitlerde büyüme dönemlerine göre NDVI ve LST değişimi.....	99
Şekil 4.21 Büyüme dönemlerine göre NDVI-LST-Verim (Y) korelasyonları	100
Şekil 4.22 Altınova Tarım İşletmesi Mayıs ayı NDVI görüntüleri.....	103

Şekil 4.23 Altınova Tarım İşletmesi Nisan ayı LST (°C) görüntüleri	104
Şekil 4.24 Büyüme dönemlerine göre VCI-TCI-Verim korelasyonları.....	121
Şekil 4.25 Altınova Tarım İşletmesi Mayıs ayı VCI görüntüleri.....	123
Şekil 4.26 Altınova Tarım İşletmesi Nisan ayı TCI görüntüleri.....	124
Şekil 4.27 Büyüme dönemlerine göre VHI-VSWI-Verim korelasyonları.....	143
Şekil 4.28 Altınova Tarım İşletmesi Mayıs ayı VHI görüntüleri.....	145
Şekil 4.29 Altınova Tarım İşletmesi Mayıs ayı VSWI görüntüleri	146
Şekil 5.1 SPI ve SPEI nemli ve kurak dönemlerin tekerrür grafiği	171
Şekil 5.2 SPI 3 ve SPEI 3 (Mart-Nisan-Mayıs) kuraklık durumu.....	179



ÇİZELGELER DİZİNİ

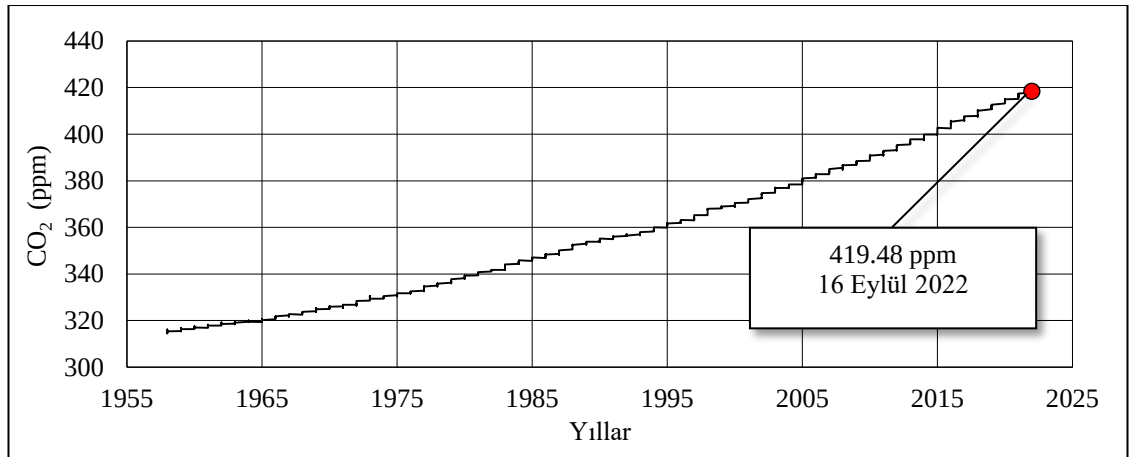
Çizelge 1.1 Türkiye’de 2021 yılında buğday üretimin en çok yapıldığı iller (TÜİK).....	6
Çizelge 3.1 Altınova Tarım İşletmesi arazi varlığı (Anonim 2021f).....	21
Çizelge 3.2 Konya ili 1929-2021 ortalama iklim parametreleri (Anonim 2022).....	21
Çizelge 3.3 Altınova Tarım İşletmesi parsel nadas uygulaması örneği.....	23
Çizelge 3.4 Buğday çeşitlerinin parsellerde ekim dönemleri.....	24
Çizelge 3.5 Veri setlerinin periyot ortalamalarına göre karşılaştırılması	27
Çizelge 3.6 İklim projeksiyon modellerine ilişkin bilgiler (Akçakaya vd. 2015).....	27
Çizelge 3.7 SPI ve SPEI kuraklık şiddeti sınıflandırması (Svoboda 2002).....	31
Çizelge 3.8 R-Studio ortamında SPI ve SPEI hesaplama örneği.....	35
Çizelge 3.9 Anderson-Darling (A-D) yöntemiyle normallik testi	36
Çizelge 3.10 NDVI kuraklık sınıflandırması (Aziz vd. 2018).....	39
Çizelge 3.11 Renklendirilmiş LST aralıkları (°C)	40
Çizelge 3.12 VCI, TCI ve VHI Kuraklık şiddeti sınıflandırması (Kogan 2001)	43
Çizelge 3.13 Altınova Tarım İşletmesi buğday gelişme dönemleri.....	45
Çizelge 3.14 Çeşitlerin büyüme derece gün (BDG) değerleri (°C)	46
Çizelge 3.15 Modellemede kullanılan algoritmalar	49
Çizelge 3.16 Model değişkenlerini ifade eden parametreler ve sembolleri	54
Çizelge 3.17 Bayraktar çeşidi verim tahmin modellerinin tasarımları	56
Çizelge 3.18 Kızıltan çeşidi verim tahmin modellerinin tasarımları	57
Çizelge 3.19 Bezostaya çeşidi verim tahmin modellerinin tasarımları.....	57
Çizelge 4.1 Kuraklık şiddet sınıflandırmasına göre gerçekleşme yüzdeleri (%).....	68
Çizelge 4.2 Zaman ölçeklerine göre SPI ile SPEI ilişkisi ve standart hatalar.....	69
Çizelge 4.3 Zaman ölçeklerinde aylara göre SPI ve SPEI korelasyonları (r)	70
Çizelge 4.4 SPI-1 Mann Kendall trend analizi sonuçları.....	71
Çizelge 4.5 SPI-3 Mann Kendall trend analizi sonuçları.....	72
Çizelge 4.6 SPI-6 Mann Kendall trend analizi sonuçları.....	72
Çizelge 4.7 SPI-9 Mann Kendall trend analizi sonuçları.....	72
Çizelge 4.8 SPI-12 Mann Kendall trend analizi sonuçları.....	73
Çizelge 4.9 SPI-24 Mann Kendall trend analizi sonuçları.....	73
Çizelge 4.10 SPEI-1 Mann Kendall trend analizi sonuçları	74
Çizelge 4.11 SPEI-3 Mann Kendall trend analizi sonuçları	74
Çizelge 4.12 SPEI-6 Mann Kendall trend analizi sonuçları	74
Çizelge 4.13 SPEI-9 Mann Kendall trend analizi sonuçları	75

Çizelge 4.14 SPEI-12 Mann Kendall trend analizi sonuçları	75
Çizelge 4.15 SPEI-24 Mann Kendall trend analizi sonuçları	75
Çizelge 4.16 SPI ve SPEI mevsimlik Mann Kendall trend analizi sonuçları	76
Çizelge 4.17 Meteorolojik parametrelerin Mann Kendall trend analizi sonuçları.....	76
Çizelge 4.18 SPI-SPEI 6 ve 9 aylık zaman ölçeklerinde verimlerle ilişkiler.....	78
Çizelge 4.19 MPI dönemlere göre kuraklık (SPEI-9) dağılım miktarı (%)	82
Çizelge 4.20 HadGEM dönemlere göre kuraklık (SPEI-9) dağılım miktarı (%).....	84
Çizelge 4.21 GFDL dönemlere göre kuraklık (SPEI-9) dağılım miktarı.....	86
Çizelge 4.22 MPI dönemlere göre kuraklık (SPEI-6) dağılım miktarı (%)	89
Çizelge 4.23 HadGEM dönemlere göre kuraklık (SPEI-6) dağılım miktarı (%).....	91
Çizelge 4.24 GFDL dönemlere göre kuraklık (SPEI-6) dağılım miktarı (%).....	93
Çizelge 4.25 NDVI-LST-Verim (Y) korelasyonları	98
Çizelge 4.26 Büyüme dönemlerine göre NDVI-LST-Verim (Y) korelasyonları	101
Çizelge 4.27 Kızıltan için B-Çi dönemi NDVI değişimi	105
Çizelge 4.28 Bayraktar için B-Çi dönemi NDVI değişimi	106
Çizelge 4.29 Bezostaya için B-Çi dönemi NDVI değişimi.....	107
Çizelge 4.30 Kızıltan (parşel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre NDVI	108
Çizelge 4.31 Kızıltan (parşel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre NDVI	109
Çizelge 4.32 Bayraktar büyüme dönemlerine göre NDVI değişimi	110
Çizelge 4.33 Bezostaya büyüme dönemlerine göre NDVI değişimi	111
Çizelge 4.34 Kızıltan için S-B dönemi LST değişimi	112
Çizelge 4.35 Bayraktar için S-B dönemi LST değişimi.....	113
Çizelge 4.36 Bezostaya için S-B dönemi LST değişimi.....	114
Çizelge 4.37 Kızıltan (parşel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre LST değişimi.....	115
Çizelge 4.38 Kızıltan (parşel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre LST değişimi.....	116
Çizelge 4.39 Bayraktar büyüme dönemlerine göre LST değişimi	117
Çizelge 4.40 Bezostaya büyüme dönemlerine göre LST değişimi	118
Çizelge 4.41 Büyüme dönemlerine göre VCI, TCI, Verim (Y) korelasyonları.....	119
Çizelge 4.42 Kızıltan parşellerinde B-Çi dönemi VCI değişimi.....	125
Çizelge 4.43 Bayraktar parşellerinde B-Çi dönemi VCI değişimi.....	126
Çizelge 4.44 Bezostaya parşellerinde B-Çi dönemi VCI değişimi	127
Çizelge 4.45 Kızıltan (parşel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre VCI değişimi.....	129
Çizelge 4.46 Kızıltan (parşel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre VCI değişimi.....	130
Çizelge 4.47 Bayraktar büyüme dönemlerine göre VCI değişimi	131
Çizelge 4.48 Bezostaya büyüme dönemlerine göre VCI değişimi	132
Çizelge 4.49 Kızıltan parşellerinde S-B dönemi TCI değişimi.....	133

Çizelge 4.50 Bayraktar parsellerinde S-B dönemi TCI değişimi.....	134
Çizelge 4.51 Bezostaya parsellerinde S-B dönemi TCI değişimi	135
Çizelge 4.52 Kızıltan (parsel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre TCI değişimi	137
Çizelge 4.53 Kızıltan (parsel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre TCI değişimi	138
Çizelge 4.54 Bayraktar büyüme dönemlerine göre TCI değişimi	139
Çizelge 4.55 Bezostaya büyüme dönemlerine göre TCI değişimi	140
Çizelge 4.56 Çeşitlerde VHI-WSVI ile verim ve diğer indekslerin korelasyonları.....	142
Çizelge 4.57 Kızıltan parsellerinde B-Çi dönemi VHI değişimi	147
Çizelge 4.58 Bayraktar parsellerinde S-B dönemi VHI değişimi	148
Çizelge 4.59 Bezostaya parsellerinde B-Çi dönemi VHI değişimi.....	149
Çizelge 4.60 Kızıltan (parsel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre VHI değişimi.....	150
Çizelge 4.61 Kızıltan (parsel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre VHI değişimi.....	151
Çizelge 4.62 Bayraktar büyüme dönemlerine göre VHI değişimi	152
Çizelge 4.63 Bezostaya büyüme dönemlerine göre VHI değişimi	153
Çizelge 4.64 Kızıltan parsellerinde B-Çi dönemi VSWI değişimi	154
Çizelge 4.65 Bayraktar parsellerinde B-Çi dönemi VSWI değişimi	155
Çizelge 4.66 Bezostaya parsellerinde B-Çi dönemi VSWI değişimi.....	156
Çizelge 4.67 Kızıltan (parsel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre VSWI değişimi .	157
Çizelge 4.68 Kızıltan (parsel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre VSWI değişimi .	158
Çizelge 4.69 Bayraktar büyüme dönemlerine göre VSWI değişimi.....	159
Çizelge 4.70 Bezostaya büyüme dönemlerine göre VSWI değişimi	160
Çizelge 4.71 Çeşitler için SPI-SPEI ile VCI arasındaki en yüksek korelasyonlar.....	162
Çizelge 4.72 Çeşitler için SPI-SPEI ile TCI arasındaki en yüksek korelasyonlar	163
Çizelge 4.73 Çeşitler için SPI-SPEI ile VHI arasındaki en yüksek korelasyonlar	164
Çizelge 4.74 Çeşitler için SPI-SPEI ile VSWI arasındaki en yüksek korelasyonlar	165
Çizelge 4.75 Bayraktar çeşidinde modeller ve performans ölçütleri	169
Çizelge 4.76 Kızıltan çeşidinde modeller ve performans ölçütleri	170
Çizelge 4.77 Bezostaya çeşidinde modeller ve performans ölçütleri	170
Çizelge 5.1 1971-2000 normaline göre kuraklık projeksiyonu özeti	173
Çizelge 5.2 Çeşitler için tarımsal kuraklığa en etkili indeksler	176
Çizelge 5.3 Çeşitlere göre kuraklık indeksleri ve kuraklık durumları	181

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yüzyıllar içinde dönüşen yaşam şekli ve buna bağlı olarak değişen ihtiyaçları 18. yüzyıla gelindiğinde, buharlı makinaların icadıyla ‘Sanayi Devrimi’nin doğmasına neden olmuştur. Sanayi devriminin etkileri ekonomik, sosyal ve kültürel olmak üzere farklı açılardan ele alınabilir. Genel olarak bilim ve teknikte daha hızlı ilerlemelere yol açmasıyla insan yaşamına sunduğu olumlu katkıların yanında, sanayileşmenin neden olduğu kontrolsüz şehirleşme ve şehirleşmeye bağlı nüfus artışı birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Doğal kaynaklar üzerindeki baskıların artması, çevresel problemler, tarım ve orman alanlarının yok olmaya başlaması bunlardan bazılarıdır. Sanayileşme etkisiyle gerçekleşen karbon salımları iklimsel problemlerin de temelini atmıştır. Bu dönemin başlangıcından günümüze kadar insan faaliyetleri atmosferik karbondioksit (CO₂) oranının %50’den fazla artmasına neden olmuştur (Anonymous 2022a). Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra ortaya çıkan tablo oldukça çarpıcıdır. ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA) tarafından paylaşılan bilgilere göre, Eylül 2022 itibariyle karbondioksit (CO₂) konsantrasyonu yükseliş trendini koruyarak 419.48 ppm seviyesine ulaşmıştır (Anonymous 2022b, Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Yıllara göre küresel CO₂ konsantrasyonu (Anonymous 2022b)

Türkiye’de de benzer bir durum söz konusudur. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından paylaşılan son verilere göre, 2020 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %3.1 artarak 523.9 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Buna

göre kişi başı toplam sera gazı emisyonu, 1990 yılında 4 ton CO₂ eşdeğeri iken 2020 yılına gelindiğinde 6.3 ton CO₂ eşdeğeri olarak karşımıza çıkmaktadır (Anonim 2020a).

Dünya yüzeyi ve atmosferden gelen radyasyonu absorbe etme ve yayma görevini üstlenen CO₂, Su Buharı (H₂O), Metan (CH₄) gibi sera gazlarının konsantrasyonlarındaki artış küresel ısınma olarak etkisini göstermektedir. Küresel ısınma ise yer kökenli, biyolojik kökenli ve bilhassa kuraklık gibi atmosfer kökenli birçok doğal afetin meydana gelmesinde pay sahibi olan iklim değişikliğine neden olmaktadır. İklım değişikliği, günümüzde insanlığa etkileri tüm yönleriyle tartışılan ve devletlerin topyekün mücadele etmek zorunda olduklarını kabul ettikleri büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Etkisi yıkıcı olan bu küresel problem insan hayatını her alanda tehdit etmektedir. Ulaşım, havacılık, denizcilik, spor, turizm, ticaret, sağlık ve milli savunma gibi tüm faaliyet kollarını etkileyen iklim değişikliğinin tarımı etkilememesi söz konusu değildir. Hatta tarım, iklim değişikliği etkilerinin ilk görüleceği alanlardandır. Bütün teknolojik gelişmelere rağmen tarımsal planlama ve uygulamalar büyük oranda iklim koşullarıyla ilintilidir. Aşırı yağış, sel/taşkın, dolu, fırtına, zirai don, erozyon ve kuraklık gibi kuvvetli meteorolojik olayların, iklim değişikliği nedeniyle etki alanlarının ve sürelerinin artması maddi-manevi çok büyük yıkımlara neden olmaktadır. Özellikle tarım sahalarında yaşanan bu olaylar birçok sorunu da beraberinde getirerek sağlıklı ve güvenli gıdaya erişimi sekteye uğratmaktadır.

İklım değişikliğinin en temel göstergesi, iklim faktörlerinin uzun yıllar içinde normal değerlerinden sapmasıyla ortaya çıkan mevsimsel anomalilerdir. Türkiye’de iklim faktörlerinde yıllar içinde sapmalar meydana gelmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Türkiye’de 2021 yılı ortalama sıcaklığının 14.9 °C olarak gerçekleştiğini ve bu değerin 1981-2010 dönemi ortalamasından 1.4 °C daha yüksek olduğunu bildirmiştir (Anonim 2021a).

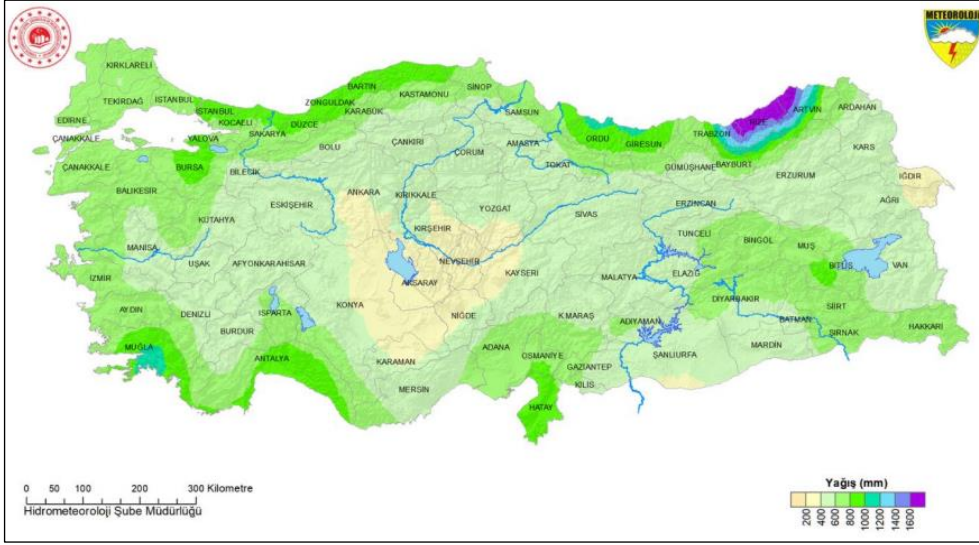
İklım değişikliğinin tetikleyicisi durumundaki CO₂ konsantrasyonundaki artışın etkisiyle bitkilerin daha kısa sürede büyümeleri söz konusu olabilmektedir. Büyüme döneminin kısalması, üretime yönelik harcanan işgücü ve maddi kaynak açısından bir miktar tasarruf sağlanması yardımcı olmaktadır. Bu yönüyle değerlendirildiğinde, tarımda iklim

değişikliği kaynaklı olumlu durumların da meydana geldiği düşünülebilir. Ancak söz konusu olumlu durumlar, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri yanında oldukça sınırlıdır.

İklim değişikliği tarımda toprak ve su başta olmak üzere doğal kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu nedenle Türkiye’de ve dünyada sıklıkla tartışılan konu iklim değişikliği kaynaklı bir doğal afet olan kuraklıktır. Özellikle Türkiye gibi Akdeniz havzasında yer alan, kurak-yarı kurak iklim kuşağı ülkeleri ile tarımsal üretimi önemli ölçüde yağışa bağlı ülkelerde, sayısı ve şiddeti artan kuraklık olayları gıda güvencesini ve ekonomileri büyük sorunlarla karşı karşıya bırakmaktadır. Bu durum başta sadece kuraklıktan etkilenen ülkeleri ilgilendiriyormuş gibi algılansa da kuraklık nedeniyle yeterli üretimin yapılamaması, küresel tedarik zincirinin kırılarak gıda arz-talep dengesinin bozulmasına neden olmakta, küresel *kıtlık* ve *açlık* şeklinde büyük bir insanlık dramını doğurmaktadır. Bu nedenle ülkeler hem kendileri hem de diğer ülkeler için sorumlu şekilde hareket etmek ve alınması gereken önlemler konusunda kararlı olmak zorundadırlar.

Türkiye, coğrafi konumu ve yapısı nedeniyle çok farklı iklim tiplerine ve mikro klima alanlarına sahiptir. Bu nedenle iklim faktörlerinde bölgesel farklılıklar gözlemlenmektedir. İklim faktörleri içinde büyük etkiye sahip olan yağış, zamana ve mekâna göre düzensiz bir dağılım göstermektedir. Türkiye’de en düşük yıllık yağış ortalaması Tuz Gölü çevresinde, en yüksek yıllık yağış ortalaması ise Doğu Karadeniz’de (Hopa civarı) görülmektedir (Şekil 1.2).

Türkiye yıllık alansal yağış normali (1991-2020) 573.4 mm’dir ve 2021 yılı alansal yağış toplamı 524.8 mm ile 1991-2020 normalinin %9 altında gerçekleşmiştir (Anonim 2021a). Yağış dağılımlarındaki bu düzensizliklerden dolayı birçok bölgede su stresi ve kuraklık yaşanmaktadır. Çalışma alanı olarak belirlenen Konya Altınova bölgesi Türkiye’de uzun yıllar yağış ortalamasının en düşük ve kuraklığın en etkili olduğu alanların başında gelmektedir. Türkiye’de uzun yıllar (1991-2020) toplam alansal yağış normalleri dağılımı şekil 1.2’de görülmektedir (Anonim 2021e).



Şekil 1.2 Yıllık toplam alansal yağış normalleri 1991-2020 (Anonim 2021e)

Kuraklık, uzun bir süre boyunca (genellikle bir mevsim veya daha fazla) yağış eksikliği ve bunun sonucunda su kıtlığı olarak tanımlanır (Anonymous 2022c). Kuraklık, sulama olmadan tarım yapılan yörelerde yağış-verim ilişkisinin temel belirleyicisi durumundadır. Tarımsal üretimde verim azalmalarının yanı sıra, bitki hastalıklarında artışa, ürün kalitelerinde düşüşe neden olan kuraklık uzun süreli durumlarda kıtlığa yol açan büyük bir felakete dönüşebilir. Sık ve uzun süreli kuraklık dönemlerinde, toprak ve bitki örtüsü büyük zararlar görmekte, tarım arazileri çölleşme ve erozyon tehdidi altında özelliklerini yitirmektedir. TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) verilerine göre; Türkiye’de yıllık nüfus artış hızı 2020 yılında binde 5.5 iken, 2021 yılında binde 12.7 olarak gerçekleşmiştir (Anonim 2021b). Türkiye’de gerçekleşen nüfus artışına çeşitli nedenlerle tarıma elverişli arazi miktarlarındaki kayıplar da eklenince konunun önemi daha da artmaktadır. Bu nedenle günümüzde artan nüfusun ihtiyacını karşılayacak miktarda gıda arzının sağlanması, doğal kaynakların korunması ve iyileştirilmesi ile tarımsal üretimde en yüksek verimin nasıl elde edileceği, ne gibi yaklaşım ve tekniklerin geliştirileceği konusu sıklıkla tartışılmaktadır.

Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri fark etmeksizin sürdürülebilir bir yapıda olmaları için tarımsal üretimlerinin kendilerine yetiyor olması gerekmektedir. Tarımsal üretim açısından kendine yetebilmek, toplumun beslenme ihtiyacını yeterli miktarda

karşılayabilmek ve kuraklık gibi ekstrem olaylar karşısında zor duruma düşmemek için gıda güvencesinin sağlanması anlamına gelmektedir. Kuraklığın neden olduğu olumsuzluklarla mücadele etmek her açıdan zor ve maliyetlidir.

Dünyada ülke nüfuslarının artışına bağlı olarak meydana gelen gıda talebindeki artışa karşılık, kuraklık gibi iklim değişikliği kaynaklı afetler neticesinde tatlı su kaynakları azalma eğilimindedir. Toprak ve su kaynaklarının kaybedilmesi, tarımsal sürdürülebilirliğin en yaygın sorunlarını oluşturmaktadır. Doğal kaynakların en önemlisi olan su, gıda güvencesinin ve sürdürülebilir kalkınmanın temel koşuludur. Türkiye su kaynakları açısından kısıtlı bir konumdadır ve Türkiye’de suyun en çok kullanıldığı alan tarımdır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından paylaşılan bilgilere göre; Türkiye toplam su potansiyelinin (58.41 milyar m³) 2021 yılında %77’si sulama suyu, %23’ü ise içme-kullanma ve sanayi suyu olarak kullanılmıştır (Anonim 2021c). OECD’nin gelecekte tarımda su alanında risk yaşayacağını öngördüğü ülkeler raporunda Türkiye de yer almaktadır. Türkiye raporda, orta-yüksek risk grubunda yer alırken, Türkiye’nin gelecekte karşılaşacağı en büyük risk *su kıtlığı* olarak belirtilmiştir. Raporda Çin, ABD ve Hindistan en fazla su kıtlığı tehlikesi yaşayacak ülkeler olarak sıralanmaktadır. Tarımda yaşanacak su kıtlığı tehlikesi endeksine göre de Türkiye, 2024-2050 dönemi içerisinde en çok risk arz eden ilk 15 ülke arasında yer almaktadır (Anonymous 2017a).

Göstergeler; kullanılabilir su miktarındaki azalmaların eşliğinde, artan tarım dışı su talepleri nedeniyle tarımda kullanılan fazla su miktarının daha fazla tartışılır hale geleceğine işaret etmektedir. Ayrıca çeşitli çevresel etkiler nedeniyle su kirliliğinin ve deniz seviyelerinin yükselmesinden kaynaklanan tuzluluğun artması gibi sorunlar nedeniyle birçok bölgede su kalitesinde düşmelerin de görülmesi ihtimal dâhilindedir. Bu durum kısıtlı su kaynakları üzerindeki baskının artmasına neden olmaktadır. Dünyada ortalama deniz seviyesi, büyük bölümü yakın dönemde gerçekleşmek üzere, 1880’li yıllardan bugüne 20 cm civarında yükselmiştir (Anonim 2023a). Deniz seviyesindeki bu artış sel/taşkın, erozyon, su ve çevre kirliliği, tarım topraklarının tuzlanmaya bağlı verim yitirmesi, çeşitli canlı türlerinin yok olması gibi büyük sorunlara neden olmaktadır. İklim

değişikliği, çevre kirliliği faktörleri, artan nüfus ve bilinçsiz uygulamaların tümü bir araya gelerek su ve toprak kayıplarının tükenmesinde rol oynamaktadır.

Türkiye'nin yüz ölçümü 78 milyon hektar olup, ekonomik olarak sulanabilecek tarım sahası 8.5 milyon hektardır ve 2021 yılı sonu itibarıyla 6.85 milyon hektarı sulamaya açılmıştır (Anonim 2021c). Türkiye'de toplam sulanabilir alanların sulamaya açılması kurak dönemlerde tarımın sağlıklı şekilde sürdürülmesini sağlamakta ve bu yönüyle büyük önem arz etmektedir. Ancak suyun kısıtlı olması ve gün geçtikçe su talebinin artması, su kaynaklarımızın korunmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle tarımsal sulama, kuraklık ve iklim değişikliği etkilerinin birlikte izlenmesi son derece önemlidir.

Dünyada açlığın izlenmesinde stratejik olarak kabul edilmesi yanında, yüksek adaptasyon yeteneği ve sulama yapılmadan da yetiştirilebilmesi nedeniyle buğday, Türkiye'de de özellikle Orta Anadolu'da en çok yetiştirilen ürünlerin başında gelmektedir. Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü (BÜGEM) tarafından yayınlanan rapora göre; Türkiye'de 2021 yılı buğday ekilişi 67.4 milyon dekar, toplam üretim 17.7 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (Anonim 2021d). Türkiye'de buğday üretiminin en çok olduğu il ise 2021 yılı TÜİK verilerine göre yaklaşık 1.58 milyon ton ile Konya'dır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1 Türkiye'de 2021 yılında buğday üretimin en çok yapıldığı iller (TÜİK)

İl Adı	Toplam Buğday	
	Üretim (milyon ton)	Alan (milyon dekar)
Konya	1.58	5.80
Şanlıurfa	1.18	3.10
Tekirdağ	1.04	1.93
Adana	0.71	1.59
Mardin	0.68	1.83
Edirne	0.65	1.36
Ankara	0.61	3.70
Diyarbakır	0.58	2.91
Kahramanmaraş	0.55	1.37
Kırklareli	0.54	1.18
Toplam	8.12	24.77

Türkiye'nin en önemli tahıl merkezi Konya son yıllarda sıklıkla kuraklık sorunları yaşamaktadır. Bu nedenle tarımsal faaliyetler ve yetiştirilen bitkiler olumsuz etkilenmektedir. Başta buğday olmak üzere tarımsal üretimlerin artırılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından verimli arazilerin boş kalmaması, üretimin artırılması ve ülke ekonomisine katkı sağlaması amacıyla 'Bitkisel Üretimi Geliştirme Projesi' kapsamında 21 ilde hububat, baklagil ve yağlı tohumlu ürünlerin tohumlarının %75'i hibe olarak dağıtılmıştır (Anonim 2020b). Buğday üretiminin artırılması, mevcut koşullarda en yüksek verimlerin alınması ve kuraklıkla etkin mücadele edilmesiyle gerçekleştirilebilir. Kuraklık, başlangıç ve bitiş zamanı kolay belirlenemeyen, devam süresi uzadıkça etkisi katlanarak artan ve ciddi ekonomik zararlara yol açabilen sinsi bir doğal afettir.

Bilim çevrelerince kuraklık meteorolojik, tarımsal, hidrolojik, sosyo-ekonomik ve ekolojik kuraklık şeklinde sınıflandırılmaktadır. Meteorolojik kuraklık; yağışın normalden düşük seyrettiği dönemleri, tarımsal kuraklık; bitkilerin su eksikliği nedeniyle sağlıklı büyümelerini gerçekleştiremedikleri durumları, hidrolojik kuraklık; su kaynaklarının tükenme eğilimlerini, sosyo-ekonomik kuraklık; çeşitli emtialar üzerinde kuraklık kaynaklı etkileri, ekolojik kuraklık ise doğal ekosistemlerde kuraklık nedeniyle ortaya çıkan olumsuzlukları konu almaktadır (Anonymous 2022d). Kuraklığın ekonomiye olan olumsuz etkileri; en başta ürün verimlerinde neden olduğu düşüşlerle gerçekleşmektedir. Kuraklık ayrıca tarımsal üretime endeksli tüm faaliyet kollarında ekonomik kayıplara neden olarak, işsizliğin artması gibi pek çok makro ölçekli problemin de temel kaynağı haline dönüşebilmektedir.

Çiftçiler kurak seyreden dönemlerde tarımsal planlamalarını (ekim, sulama, ilaçlama vb.) yapmakta zorluk yaşamaktadır. Ekim sonrası yağışların gecikmesi, bitkinin veriminde düşmelere neden olabilmektedir. Kurak dönemlerde imkânı olan çiftçiler bu açığı sulamayla kapatabilmekte ancak bu kez de su bedeli, elektrik, mazot gibi hesapta olmayan giderlerin ortaya çıkması çiftçileri ekonomik olarak zorlamaktadır.

Kuraklık neticesinde ürün verimlerinin ihtiyacı karşılamaması gıda güvencesi üzerinde baskı unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Gıda güvencesinin en önemli göstergesi olan

buğday üretiminin Türkiye’de en yoğun yapıldığı yer olan Orta Anadolu’nun büyük bir bölümünde kurak/yarı kurak iklim egemendir. Son yıllarda sıkça yaşanan kuraklık olaylarının etkisiyle yeraltı sularında ciddi seviyelerde azalmaların yanında tarım sahalarında çok sayıda obruk da oluşmaktadır. Ayrıca tarımsal sulama amaçlı kullanılan baraj ve göletlerde de su seviyeleri zaman zaman çok düşmektedir. Bu nedenlerden dolayı, ülkelere sosyolojik ve ekonomik açıdan büyük maliyetler getiren kuraklığın incelenmesi, gerçekleşecek olumsuz etkilerin azaltılması ve gerekli tedbirlerin alınması bakımından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, buğday bitkisi özelinde kuraklık ile verim arasındaki ilişkilerin bitkinin gelişim aşamaları göz önüne alınarak incelenmesi, meteorolojik kuraklık açısından kısa, orta ve uzun vade için temel öngörülerde bulunabilmek adına kuraklık projeksiyonlarının oluşturulması ve çeşit temelli verim tahmin modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Verim tahminleri Türkiye’de tarımsal ihracat-ithalat planlamasında büyük rol oynamakla birlikte, alternatif tahmin modellerinin sunulması hem ekonomik katkıların sağlanması hem de erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi açısından oldukça önem arz etmektedir. Çalışmada farklı yaklaşımlarla kuraklığın değerlendirilmesi için öncelikli olarak meteorolojik parametrelerle hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) analizleri, sonrasında ise Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ve Arazi Yüzey Sıcaklığını (LST) temel alan, tarımsal kuraklığı simgeleyen Bitki Örtüsü Durum İndeksi (VCI), Sıcaklık Durum İndeksi (TCI), Bitki Örtüsü Sağlık İndeksi (VHI) ve Bitki Örtüsü Su Arzı İndeksi (VSWI) analizleri gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

McKee vd. (1993), kuraklığın izlenmesi ve analizinde çok yönlü olabilecek bir gösterge ve tanım önermek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmalarında, SPI'yi ele almışlar, SPI hesaplama prensiplerini açıklamışlar ve zaman ölçekleri açısından farklılıklara ilişkin birtakım değerlendirmelerde bulunmuşlardır. SPI hesaplanmasında aylık yağış verilerini içeren en az 30 yıllık bir setinin hazırlanması gereklidir. Çalışmada Fort Collins bölgesi için 1889-1991 periyodu ve 3, 6, 12, 24 ve 48 aylık zaman ölçeklerinde hesapladıkları SPI değerlerini karşılaştırmışlardır. Buna göre; SPI değerlerinin zaman aralıkları küçük olduğunda (3 veya 6 ay), sıklıkla sıfırın üstünde ve altında hareket ettiğini, zaman periyodu 12, 24 ve 48 aya uzadığında ise yağıştaki değişikliklere daha yavaş tepki verdiğini belirlemişlerdir.

Kogan (1997), dünyada farklı ekolojik ortamlar için, kuraklık sırasında meydana gelen su ve sıcaklığa bağlı bitki örtüsü stresini belirlemede kullanılan VCI ve TCI uygulamalarına ilişkin örnekler paylaşmış ve bu uygulamalar yerinde ölçümlerle doğrulanmıştır. Çalışmada tarımsal üretim üzerinde kuraklığın etkileri de değerlendirilmiştir. Bu amaçla büyüme mevsimi ortalama VCI ve TCI değerleri hesaplanarak, ürün verimleri üzerine etkilerine bakılmıştır. Araştırma sonucunda, büyüme dönemlerinin kritik aşamalarında ürün verimleriyle indeksler arasında çok güçlü ilişkiler belirlenmiştir.

Gardner ve Dorling (1998), çok katmanlı algılayıcının (multilayer perceptron) tahmin, fonksiyon yaklaşımı ve sınıflandırma için kullanıldığında, özellikle net bir teorik modelin oluşturulamadığı durumlarla karşılaşıldığında veya doğrusal olmayan modellerle çalışırken bu yaklaşımın çok faydalı olduğunu vurgulamışlardır. Ancak çok katmanlı algılayıcının uygulanması, eğitimi ve yorumlanmasında çok sayıda zorluğun da bulunduğu dikkat çekmişlerdir.

Şen (2002), hidroloji ve meteorolojide kullanılan istatistik yöntemlerini anlattığı eserinde, Pearson korelasyon katsayısı (r_p) için bağımlılık sınıflarını paylaşmıştır. Sınıflandırmada

|0.3| - |0.5| aralığını *çok zayıf*, |0.5| - |0.7| aralığını *zayıf* ve |0.7| - |0.9| aralığını ise *oldukça negatif* veya *kuvvetli pozitif* olarak yorumlamıştır.

Sönmez ve Sarı (2004), verim tahmin çalışmalarında klasik yöntemlerle modern yöntemleri kullanımlarını avantaj ve dezavantajları açısından tartışmışlardır. Günümüzde verim tahmin çalışmalarında uydu verileri yanında agrometeorolojik parametrelerin de sisteme dâhil olduğu yaklaşımların gündemde olduğu belirtilmiş, ayrıca bu yaklaşımın kullanılabilirliği de irdelenmiştir. Türkiye’de de verim tahmini çalışmalarının yeni yaklaşımlarla gerçekleştirilmesinin ve farklı ekolojik bölgelere göre modellerin geliştirilmesinin bir zorunluluk olduğunu değerlendirmişlerdir.

Bitki ve hayvanların büyüme ve gelişmelerindeki değişik safhaları ve bu safhaların iklimle olan ilişkilerini inceleyen bilim dalı *Fenoloji*, bitkide iklim gidişine bağlı olarak farklılık gösteren gelişme dönemleri *Fenolojik Safhalar*, bu safhaların tespiti için yapılan gözlemler ise *Fenolojik Gözlemler* olarak adlandırılır. MGM tarafından *Fenolojik Gözlemler* kitabında iklim faktörlerinin etkisiyle bitkinin gelişiminde gerçekleşen değişimlerin tespit edilmesi için bitkiler özelinde gözlem esasları hakkındaki bilgileri derlenmiştir (Anonim 2005).

Sönmez vd. (2005), Türkiye’de meteorolojik kuraklık açısından hassasiyeti değerlendirmişlerdir. Çalışmada kuraklık analizleri SPI ile 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde gerçekleştirilmiş, kuraklığın oluşmaması için gerekli minimum yağış miktarları da hesaplanmıştır. Yapılan analizler neticesinde, kuraklık hassasiyetinin değişen zaman ölçeklerinde çeşitlilik gösterdiği belirlenmiştir. Bölgesel olarak Güneydoğu ve Doğu Anadolu’da daha kısa periyotlarda orta şiddette kuraklıklar ile karakterize edilirken, ülkenin kıyı harici kesimlerinde daha kısa zaman ölçeklerinde şiddetli kuraklıkların meydana geldiği, kurak olmayan koşullar için gerekli yağış miktarlarının ise kıyı kesimlerden iç kesimlere doğru artan zaman adımları ile azaldığı belirlenmiştir.

Karnieli vd. (2006), VHI kullanımını değerlendirdikleri çalışmalarında, VHI’nin suyun bitki örtüsünün büyümesi için temel sınırlayıcı faktör olduğu kurak, yarı kurak ve yarı

nemli iklim bölgelerinde başarılı bir şekilde uygulanabileceğini, ancak tropik bölgeler gibi yüksek sıcaklıkların bitki gelişimini hızlandırdığı alanlarda, bitki örtüsü durumunu değerlendirmede VHI kullanımının dikkatli yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Öktem ve Ağırmatlıoğlu (2006), buğdayda Harran Ovası koşullarında bazı gelişme dönemleri için Büyüme Derece Gün (GDD) değerlerinin belirlenmesi üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada, ekim zamanı ve çeşitlere göre farklılık göstermekle birlikte; sapa kalkma, başaklanma ve olgunlaşma dönemleri için GDD değerlerinin (sırasıyla) 716.1-818.4 °C, 1212.6-1450.6 °C ve 2214.2-2512.1 °C aralıklarında değiştiklerini belirtmişlerdir. Çalışmada ayrıca, Akkaya (1994)'nın 'ekim tarihi ve çeşide bağlı olarak değişmek üzere kışlık buğdayların 2000-2500 °C GDD'ye ihtiyaç duyduklarını' belirttiğini aktarmışlardır.

Sun ve Kafatos (2007), bitki örtüsü (NDVI) ile arazi yüzey sıcaklığı (LST) arasındaki ilişkileri inceledikleri çalışmalarında, güçlü korelasyonların sıcak mevsimlerde negatif, soğuk kış şartlarında ise pozitif olarak gerçekleştiğini bulmuşlardır. Çalışma sonucunda, Kuzey Amerika koşullarında sıcaklığa bağlı kuraklık indekslerinin sadece Mayıs-Ekim arası sıcak dönemde kullanılabilir olduğunu, soğuk dönemlerde ise daha dikkatli kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Hasaniha (2008), İran'ın Kuzeybatı bölgelerinin kuraklık analizleri gerçekleştirmek ve tarımsal verimle olan ilişkilerini belirlemek amacıyla yaptığı doktora çalışmasında, farklı kuraklık indeksleriyle (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi, Ortalama Yağışın Yüzdesi İndeksi, Çin Z İndeksi, Değiştirilmiş Çin Z İndeksi, Z-Skoru İndeksi, Standart Sapma İndeksi ve Yağış Onluklar İndeksi) analizler yapılmıştır. Çalışmada *Kademeli Çoklu Regresyon Yöntemi* ile kurulan modellerle gelecek 30 yıl için verim tahminleri yapılmıştır. Sonuçlar sulamasız koşullara bağlı yetiştirilen ürünlerde gelecek dönemde verim azalmalarının olabileceğini göstermiştir. Çalışmada kuraklığa karşı alınması gereken önlemlere de değinilmiştir.

Esfandiary vd. (2009), agrometeorolojik yaklaşımla Erdebil bölgesinde buğday verim tahminini gerçekleştirdikleri çalışmalarında, çıkış parametresi buğday verimi olan

modelde giriş parametreleri olarak sıcaklık, buhar basıncı, potansiyel evapotranspirasyon (PET), güneşlenme süresi ve büyüme derece gün (BDG) parametrelerini kullanmışlardır. Çalışmada BDG için, her fenolojik aşamanın periyodu ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi ifade ettiği vurgulanmıştır.

Usul (2010), Altınova Tarım İşletmesi'nde yürüttüğü doktora çalışmasında Arazi Kalite İndeksleri (AKI) ve SPOT 2 uydu görüntülerinden NDVI değerlerini hesaplamıştır. Çalışılan parsellere ait buğday verimleri ile NDVI değerleri ve parsellerin AKI değerleri arasında istatistiksel analizler yapılmış, AKI ile parsellerin ortalama verimleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada buğday için verim tahmin modeli geliştirilmiş ve modelde $R^2 = 0.75$ olarak belirlenmiştir.

Şimşek (2010) Türkiye için SPI ve Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI) ile aylık, mevsimlik ve tarım yılı bazında kuraklık analizleri ile buğday üretiminin en fazla olduğu 10 il için aylık, mevsimlik ve tarım yılı trend analizlerini gerçekleştirmiştir. Çalışmada ayrıca Agrometshell (AMS) modeliyle Su Yeterlilik İndeksi (WSI) üretilmiş ve buğday verim analizi de yapılmıştır. Hem SPI hem de PNI açısından kuraklığın en fazla yaşandığı yer Güneydoğu Anadolu Bölgesi olarak belirlenmiştir. SPI ve PNI trend analizleri sonucunda ise Konya'da, her iki indekse göre en fazla ve en yüksek düzeyde negatif düzeyde önem arz eden trendlerin olduğu tespit edilmiştir. Analizler sonucunda; meteorolojik kuraklık indekslerinin (SPI, PNI) tarımsal kuraklığı izlemede yetersiz kaldığı, tarımsal kuraklığı ifade eden indekslerin mutlaka kullanılması gerektiği ortaya konmuştur.

Vicente-Serrano vd. (2010), sıcaklık ve yağış verilerine dayanan yeni bir kuraklık indeksini önerdikleri çalışmalarında, SPEI'yi ele almış ve hesaplama yöntemlerini detaylarıyla açıklamışlardır. Kuraklık üzerinde yağış haricinde sıcaklığın da etkili olduğu prensibine göre geliştirilen SPEI, farklı zaman ölçeklerine göre su açığı veya fazlasının ortaya koyulduğu iklimsel bir su dengesini ve log-lojistik olasılık dağılımına ayarlamayı içermektedir. SPEI, SPI'ye benzemekle birlikte, kendi kendine kalibre edilmiş Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (sc-PDSI) ile de karşılaştırılabilmektedir. Çalışmada SPEI, kuraklık analizi ve izlemesi için büyük önem arz eden birçok farklı zaman ölçeklerinde

hesaplanabilir (multiscaler) olması nedeniyle, sc-PDSI'ye kıyasla daha avantajlı olarak değerlendirilmiştir.

Aher ve Lobo (2011), veri madenciliğinin eğitim sistemlerine nasıl uygulanabileceğini araştırdıkları çalışmalarında, WEKA ile ZeroR ve DBSCAN-kümeleme algoritmalarını kullanmışlardır. WEKA'nın işlevselliğe kolay erişim için grafik kullanıcı arayüzleri ile birlikte, veri analizi ve tahmine dayalı modelleme için bir görselleştirme araçları ve algoritmaları koleksiyonunu içerdiğini belirtmişlerdir.

Sattari vd. (2011), yapay sinir ağları (YSA) ile geleceğe yönelik kuraklık tahmin etmek için gerçekleştirdikleri çalışmada SPI modellenmesi yapmışlardır. SPI indeksleri 3, 6, 9 ve 12 aylık ölçekleri için hesaplanmış ve yağış değerleriyle birlikte model girdileri olarak kullanılmıştır. Hesaplanan ve tahmin edilen SPI değerleri 1999-2009 periyodu için test edilmiştir. Kurulan YSA modelinin, uzak ve yakın zaman yağış serilerinin korelasyonlarının düşük olması nedeniyle dönemler uzadıkça tahmin başarısının düştüğü belirtilmiştir.

Akçakaya vd. (2015), MGM bünyesinde Türkiye için üç küresel iklim veri seti (MPI, HadGEM ve GFDL) ve iki senaryo (RCP4.5 ve RCP8.5) çerçevesinde, RegCM4.3.4. bölgesel iklim modelini kullanarak 20 km çözünürlüklü, 2016-2099 periyodunu kapsayan iklim projeksiyonlarını hazırlamışlardır. Projeksiyonlar Türkiye ortalama sıcaklıklarında RCP4.5 ve RCP8.5 açısından HadGEM verilerine göre 1.5-3.6 °C, MPI ve GFDL verilerine göre 1.5-2.5 °C aralıklarında artış öngörmektedir. Yağış miktarları açısından kötümser senaryolar ele alındığında; HadGEM verilerine göre 2035 yılına kadar pozitif anomaliler beklenirken, MPI verilerine göre periyot boyunca ortalama 160 mm/yıl civarında, GFDL verilerine göre ise periyot boyunca ortalama 105-110 mm/yıl civarında azalış yaşanacağı öngörülmektedir.

El Naqa ve Murphy (2015), makine öğrenmesini 'çevreleyen ortamdan öğrenerek insan zekasını taklit etmek için tasarlanmış, gelişen bir hesaplama algoritmaları dalı' olarak tanımlamışlardır.

Sruthi ve Aslam (2015), tarımsal kuraklığı bitki stresi üzerinden ele almak amacıyla yaptıkları çalışmada, MODIS uydusundan alınan NDVI ve LST verilerini kullanarak 2002 ve 2012 yıllarının analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Kuraklık göstergesi olarak LST ve NDVI arasında yüksek bir negatif korelasyon belirlenmiştir. Buna göre; LST ve NDVI arasındaki korelasyon 2002 yılı için -0.635 ve 2012 yılı için -0.586 şeklindedir. Sonuçlar NDVI ve LST temelli yaklaşımların tarımsal kuraklık izleme-erken uyarı sistemi için çok yararlı olduğunu göstermiştir ve LST ile NDVI ilişkilendirildiğinde kuraklığın tespitinde kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir.

Arslan vd. (2016), Tharparkar bölgesinde 2014 yılında gerçekleşen kuraklığın, 2010-2014 periyoduna göre analizini gerçekleştirmişlerdir. MODIS uydusuna ait NDVI (MOD13Q1) ve LST (MOD11A2) görüntülerinin kullanıldığı çalışmada, 2010 yılında şiddetli kuraklığa işaret eden güçlü bir negatif NDVI-LST korelasyonu belirlenmiştir. Söz konusu ilişkinin belirtme katsayısının (0.8255), 2013 ve 2014 yıllarına göre daha büyük olduğu belirtilmiştir. Çalışmada zaman serisi uydu verilerinin iyi tanımlanmış bir kuraklık izleme sisteminin kuraklığın zamansal ve mekânsal değişikliğini, başlangıcını, şiddetini ve boyutunu belirlemede önemli ölçüde yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Svoboda ve Fuchs (2016), kuraklık indekslerinin ne anlama geldiğinin anlaşılmasının önemini vurgulamışlar ve söz konusu indeksleri ‘iklimsel veya hidrometeorolojik girdiler kullanılarak değerlendirilen kuraklık şiddetinin sayısal gösterimi’ şeklinde tanımlamışlardır. Çalışmada kuraklık izleme, değerlendirme ve erken uyarı yaklaşımları ele alınmış, günümüzde sıkça kullanılan kuraklık indeksleri derlenerek kullanımları hakkında bilgiler paylaşılmıştır.

Ayrancı vd. (2017), kontrollü tarla koşullarında, bazı ekmeklik buğday çeşitlerinde kuraklık stresine tepkilerinin ve kuraklığa dayanıklılıklarının belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, Bayraktar 2000, Gerek 79 ve Dağdaş 94 çeşitlerini kuraklığa karşı toleranslı olarak değerlendirmişlerdir.

Climate Engine, iklimsel çalışmalara yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiş bir web (www.climateengine.org/) uygulamasıdır. Climate Engine'i benzersiz kılan şey, basit bir web bağlantısıyla Dünya gözlem veri kümelerini işlemek, görselleştirmek ve analiz etmek, büyük verilerin hesaplama yükünün üstesinden gelmek ve tüm veri arşivlerini indirip işlemek yerine sonuçları indirme veya paylaşma yeteneği sağlamak için eşî görölmemiş erişimdir (Huntington vd. 2017).

Lang vd. (2017), Çin'de gerçekleştirdikleri çalışmada, FAO PM yöntemiyle 8 farklı yöntemi PET tahmini yönünden karşılaştırmışlardır. PM yönteminin, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından evapotranspirasyon tahmini için yaygın olarak standart bir yöntem olarak kabul edildiğı vurgulanmış ancak detaylı meteorolojik veri gereksinimi nedeniyle, kullanımının çoğı zaman birçok bölgede sınırlandığı belirtilmiştir. Çalışmada böyle durumlarda, PM yöntemine benzer verimlilikte alternatif bir yöntemin kullanılması gerektiğı aktarılmış, radyasyona dayalı üç yöntem (Makkink, Abtew ve Priestley–Taylor) ile sıcaklığa dayalı beş yöntem (Hargreaves–Samani, Thornthwaite, Hamon, Linacre ve Blaney-Criddle) karşılaştırılmıştır.

Madadgar vd. (2017), Avustralya'da gerçekleştirdikleri çalışmada kuraklığın şiddet ve tekerrüründeki artışların, tarımsal üretimi ve gıda güvenliğini olumsuz etkileyebileceğini vurgulamışlar ve sulamasız koşullarda büyüme mevsimindeki yağış ve toprak nemi açığının, (buğday, bakla, kanola, acı bakla ve arpa için) ortalama yıllık verimi nemli dönemlere göre %25-45 arasında azalttığını belirlemişlerdir. Çalışmada ürün veriminin olasılık dağılımını tahmin etmek için bir büyüme mevsimi boyunca öngörölün iklim koşullarını (yağış miktarı veya toprak nemi gibi) kullanan çok değışkenli bir olasılık modelini geliştirmişlerdir.

Aziz vd. (2018), Pakistan'ın Potohar bölgesinde 2009-2014 yılları Kasım-Nisan arası dönem için kuraklığı değerlendirmişlerdir. Bu amaçla analizlerde NDVI, devNDVI, VCI, TCI indekslerini kullanmışlardır. Sonuçlar Potohar bölgesinde 2010 yılında kuraklık yaşandığını ortaya koymuştur. Kuraklığın varlığı yer verileriyle de doğrulanmış, özellikle buğday verimlerinin 2010 yılında diğerlerinden daha düşük olduğı ve bunun kuraklıkla ilişkili olduğı değerlendirilmiştir. Araştırma alanı için NDVI ve VCI'nin diğer kuraklık

indekslerinden daha etkili olduğu sonucuna varılmış ve ürün verimleriyle birlikte de ele alınmıştır. Çalışmada uydu tabanlı kuraklık indekslerinin düzenli olarak izlenmesi ve haritalanmasının, kuraklık koşullarının tahmin edilmesinde önemli bir rol oynayacağı belirtilmiştir.

Yildirim ve Asik (2018), Seferihisar yöresinde narenciye alanlarında tarımsal kuraklığın NDVI, Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI) ve yüzey sıcaklığı ile analiz edilmesi amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada, NDVI ve SAVI'nin, sıcaklığın arttığı ve yağışın ise azaldığı (nem mevcudiyetini azaldığı) sulama dönemlerinde yüzey sıcaklığı ile önemli ölçüde negatif korelasyonlara sahip olduğunu belirlemişler, bu kombinasyonun, tarımsal kuraklık izleme ve erken uyarı sistemi için yararlı bilgiler sağlayabileceğini ifade etmişlerdir.

Bayissa vd. (2019), Etiyopya'daki tarımsal kuraklığın mekânsal ve zamansal boyutlarını izlemek için entegre bir kuraklık göstergesi geliştirmek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada, girdi parametreleri olarak SPI, LST anomalisi, stdNDVI ve toprak nemi anomalisini kullanmışlardır. Geliştirilen entegre kuraklık göstergesinin tarımsal kuraklık izleme ve erken uyarı sisteminin kurulmasında kullanılabilir potansiyele sahip olarak değerlendirilmiştir.

Masitoh ve Rusydi (2019), kuraklık hassasiyeti yüksek bir bölge olan Brantas Havzası için 2008 - 2017 döneminde VHI ile kuraklığın analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada bu amaçla MODIS'e ait NDVI ve LST verilerini kullanmışlardır. LST ve NDVI'nin VHI'ye etkisi, korelasyon ve regresyon analizleriyle gerçekleştirilmiştir. Buna göre; Brantas Havzası'nda LST-NDVI korelasyonu negatif (-0.73) olarak belirlenirken, LST-VHI korelasyonu 0.35 ve NDVI-VHI korelasyonu ise 0.63 düzeylerinde belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre arazi yüzey sıcaklığının bitki örtüsü kuraklığına etkisinin zayıf olduğu ortaya konmuştur. Çalışmaya göre, yüksek sıcaklık dağılımı baskın olarak düşük yoğunluklu bitki örtüsü alanlarında yer almıştır ve VHI tarafından belirtilen kuraklığın bitki örtüsünün iç koşullarından ve diğer çevresel unsurlardan etkilenme olasılığı daha yüksek olarak değerlendirilmiştir.

Ejaz ve Abbasi (2020), gerçekleştirdikleri çalışmalarında, Pakistan ekonomisi için büyük önemi olduğunu vurguladıkları buğday için verim tahminini veri madenciliği teknikleri ile belirlemişlerdir. Araştırmada veri setini analiz etmek için sinir ağı (Çok katmanlı algılayıcı) algoritmaları kullanan WEKA'dan yararlanılmıştır. Bu algorithmada 25 gizli katman, 0.3 öğrenme oranı ile %75.35 doğruluk elde edilmiştir.

Eroğlu ve Apaydın (2020), kuraklığın tahminine yönelik gerçekleştirdikleri çalışmalarında, YSA ile akarsu kuraklık indeksi (AKİ) yöntemi kullanmışlardır. Sakarya Havzası'nda yer alan ve araştırmanın konusuna dâhil edilen alanların meteoroloji istasyonları ile akım gözlem istasyonlarına ait 1996-2015 dönemi veriler yardımıyla 2015-2030 döneminde gerçekleşebilecek akımları modellemişlerdir. Devamında su yılına göre 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar için kümülatif akım serileri oluşturulmuş, akarsu kuraklık indeksi değerleri hesaplanmış ve gelecekte yaşanabilecek kuraklıklara ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda özellikle 6 aylık kuraklık verilerinin AKİ için kuraklık tahmininde yararlı olacağı vurgulanmıştır.

Luo vd. (2020), tarafından gerçekleştirilen çalışmada kurak iklime sahip Çin'in kuzeyindeki Sincan Uygur Özerk Bölgesi'ndeki kuraklık ve bitki örtüsü dinamikleri, SPEI ve NDVI kullanılarak değerlendirilmiştir. SPEI ile bölgede son 60 yıllık dönemde her 10 yılda 0.017 oranında kuraklıklarda artış olduğunu belirlenmiştir. NDVI ortalama yıllık değeri 0.28 olarak belirlenirken, batıda daha büyük ve doğuda daha küçük değerler alırken, mekânsal bir heterojenlik gösterdiği anlaşılmıştır. SPEI ve NDVI arasındaki korelasyonlarına da bakılan çalışmada, önemli düzeyde pozitif korelasyonlar gözlemlenmiştir.

Türkeş (2020), dünyada ve Türkiye'de gözlemlenen iklim değişikliğine ilişkin bazı çalışmaları ele almış, tarımsal üretim ve gıda güvenliğine üzerine etkilerini de çeşitli yönleriyle değerlendirmiştir. Çalışmada iklim değişikliğinin, kuraklıklar, taşkın ve seller, şiddetli hava olayları ve afetler yoluyla, küresel gıda üretimi ve gıda güvenliğine büyük bir tehdit oluşturduğu vurgulanmış, tarım açısından nüfus artışına bağlı olarak toplumların artan gıda talebini karşılayabilmek için daha fazla araziye ihtiyaç duyacağı

ve bu durumun olumsuz etkilere yol açabilecek arazi kullanım değışikliklerine yol açabileceği değlendirmesinde bulunulmuştur.

Akcapınar ve Çakmak (2021), Ankara Ayaş İlçesi için gerçekleştirdikleri çalışmada, potansiyel evapotranspirasyonu, Blaney Criddle, Hargreaves Samani, Thorntwaite ve Penman Monteith (PM) yöntemleriyle hesaplanmış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Ayrıca SPEI, scPHDI ve scPDSI indeksleriyle kuraklığı değlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda PET hesaplama yöntemlerinde farklı sonuçlar alınmasına rağmen, kuraklık analizlerinde birbirine yakın sonuçlar elde edildiği görölmüştür. Buna göre eldeki veri durumu ve analiz tecrübesi göz önünde bulundurularak tüm yöntemlerin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Demir vd. (2021), Konya Kapalı Havza yeraltı sularının seviyelerindeki değışimi Lineer trend ve Mann-Kendall yöntemi ile analiz etmişlerdir. Analizlerde 10 adet yeraltı suyu seviyesi gözlem istasyonu için aylık ortalama su seviyelerini kullanmışlar ve tüm istasyonlar için (son yıllarda artarak) su seviyelerinde azalma eğilimlerinin olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada su tüketimi yüksek tarım ürünlerinin yetiştirilmesine kısıtlamaların getirilmesi gibi önerilerde de bulunulmuştur.

Dikici ve Aksel (2021), Ceyhan Havzası için kuraklık risk analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada PNI, DI, SPI, SPEI, SRI, GWI, PDSI, scPDSI, PHDI, scPHDI, NDVI ve VCI kullanılmış ve indekslerin birbirleriyle korelasyonlarına da bakılmıştır. Havza için tüm indekslerin ortak şekilde kuraklık işaret ettiği dönemler 1972-1974, 1984-1986, 1989, 2001, 2007-2008, 2014 ve 2016 olarak belirlenmiştir.

Kloos vd. (2021), Almanya-Bavyera'da 2001-2020 döneminde NDVI ile LST arasındaki ilişkileri incelemişler ve arazi örtüsü ve rakım ile ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmada ayrıca, TCI, VCI ve VHI'yı öncelikle su kısıtlı alanlara uygulayarak, bunları toprak nemi ve tarımsal verim anomalileri ile birlikte değlendirmişlerdir. Araştırma sonuçları Temmuz ve Ağustos aylarında, tarım arazisi, otlak ve 800 m'nin altında, NDVI ve LST'nin negatif korelasyon gösterdiğini ve bu nedenle, burada bitki örtüsünün büyümesini sınırlayan temel faktörün su olduğunu göstermiştir.

Liu vd. (2021), Çin'in Sichuan Eyaletindeki 44 meteorolojik istasyonun 1961-2019 arası SPI ve SPEI kullanarak kuraklık analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Kuraklığın farklı zaman ölçeklerindeki eğilimleri ölçmek için de Mann-Kendall trend testini uygulamışlardır. SPI ve SPEI analizleri 1, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, çeşitli bölge ve zaman dilimlerinde SPI ve SPEI arasında önemli farklılıklar gözlemlenmişler, SPEI'nin kuraklık değerlendirmesinde SPI'ye göre daha duyarlı olduğu sunucuna varmışlardır. SPEI kuraklık eğiliminin ise düz ve engebeli alanlarda plato ve dağlık bölgelere göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Doğan ve Karabulut (2022), küresel ısınma neticesinde gerçekleşen sıcaklık artışlarının fenolojik dönemler üzerinde etkisini araştırmışlardır. Türkiye için MGM işletmesindeki 147 adet istasyona ait günlük maksimum ve günlük minimum sıcaklık verilerinden yararlanarak 1970-2018 periyodu BDG'leri hesaplamışlar ve anlamlı bir eğilim olup olmadığını Mann Kendall testi ile değerlendirmişlerdir. BDG hesaplamalarında taban sıcaklığını 0 °C, tavan sıcaklığını ise 30 °C almışlardır. Çalışma BDG'nin mevsimsel ve yıllık olarak pozitif trende sahip olduğu ortaya koymaktadır.

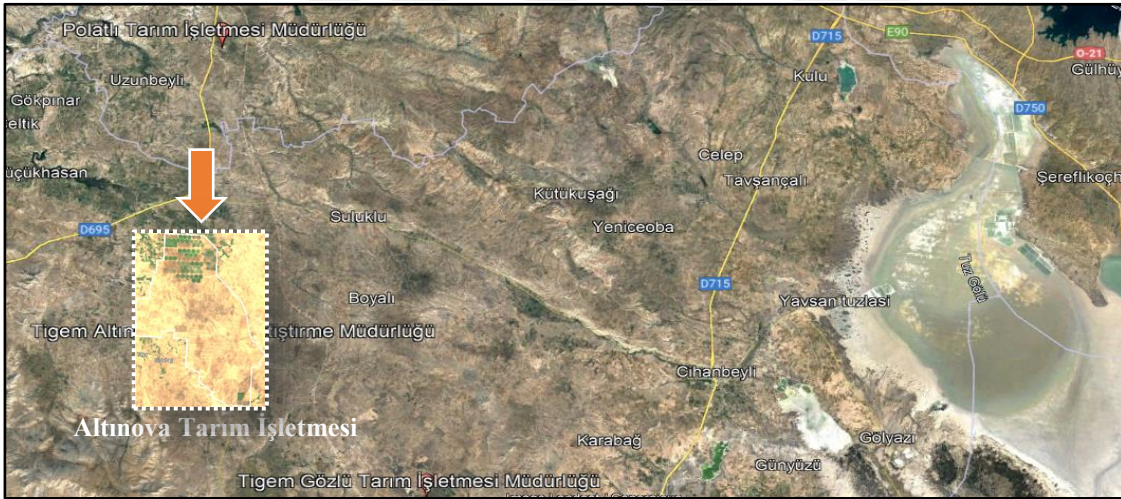
Akcapınar ve Çakmak (2022), Şanlıurfa koşullarında meteorolojik faktörlerin buğday verimleriyle ilişkilerini büyüme dönemlerine (Çimlenme/Çıkış, Kardeşlenme, Sapa Kalkma, Başaklanma, Tane Oluşumu ve Olgunlaşma) göre incelemişler ve verim tahmin modellerinin geliştirilmesini amaçlamışlardır. Araştırma sonucunda, buğdayda verim tahmin modellerinin büyüme dönemlerine kurulabileceğini ancak bu aşamada fenolojik gözlemlerin büyük önem taşıdığını vurgulamışlar, ekstrem olayların denklemlere katılabilmesi durumunda, sonuçların daha başarılı olabileceğini değerlendirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışma alanı

Araştırma alanı Orta Anadolu Tarım Havzasının büyük bölümünü oluşturan Konya ilinde yer alan, Altınova Tarım İşletmesi'dir. İşletme ilk olarak 1942 yılında 'Ziraat İşletmesi' olarak kurulmuş, 1950 yılında 'Devlet Üretim Çiftliği'ne dönüşmüştür. 1984 yılından itibaren ise TİGEM bünyesinde faaliyetlerini sürdürmektedir. Coğrafi konumu şekil 3.1'de görülen, Altınova Tarım İşletmesi, Konya ili Kadınhanı ilçesinin kuzeyinde, il merkezine 120 km, ilçeye 60 km, Tuz Gölü'ne ise kuş uçuşu yaklaşık 90 km uzaklıkta yer almaktadır (Anonim 2021f).



Şekil 3.1 Altınova Tarım İşletmesi uydu görüntüsü (Anonymous 2021)

İşletmede sertifikalı tohum üretimi amacıyla, buğday, arpa, yonca, fiğ, korunga, mısır ile hayvancılığın ihtiyacı olan kaba yem üretimleri yapılmaktadır. Altınova Tarım İşletmesi'nin toplam arazi varlığı 311 372 dekar olup, bunun 299 738.8 dekarı kültüraltı arazi varlığından meydana gelmektedir. İşletmenin sulanabilir arazi varlığı 39 457 dekadır ve bu alanın tamamı sulanmaktadır. Kuzey bölümünde yer alan sulanan alanın %76.65'i (31 644 da) center pivot, %19.77'si (8 160 da) yarı sabit yağmurlama sistemleri

ve %3.58'i (1 478 da) damla sulama sistemleriyle sulanmaktadır (Anonim 2021f). İşletme arazi varlığı çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Altınova Tarım İşletmesi arazi varlığı (Anonim 2021f)

Arazi Cinsi	Alan (da)	Oran (%)
A. Kültüraltı Arazi	299 738.8	96.3
• Tarla Arazisi	237 751.0	79.3
• Yem Bitkileri	28 239.0	9.4
• Tabi Mera	25 057.8	8.4
• Bahçe Arazisi	8 691.0	2.9
B. Kültürdışı Arazi	11 633.2	3.7
TOPLAM	311 372.0	100.0
Sulanan Alan	39 457.0	13.2

Orta Anadolu, tipik karasal iklimin etkili olduğu, kurak/yarı kurak iklim kuşağında yer alan işletmede 20 yıllık ekiliş (ekimden hasada kadar) üzerine düşen yağış ortalaması 293 mm'dir (Anonim 2021f). MGM 1929-2021 periyodu verilerine (Anonim 2022) göre; Konya ili için 92 yıllık periyotta yıllık ortalama yağış miktarı 331.8 mm, yıllık ortalama sıcaklık 11.7 °C ve yıllık ortalama güneşlenme süresi 7.4 saat olarak gerçekleşmiştir. Yörede en yüksek sıcaklık 40.6 °C ile Temmuz ayında, en düşük sıcaklık -28.2 °C ile Ocak ayında kaydedilmiştir. Ortalama en uzun güneşlenme süresi ise 11.8 saat ile Temmuz, en kısa güneşlenme süresi 3.2 saat ile Aralık ayında gerçekleşmiştir (Çizelge 3.2).

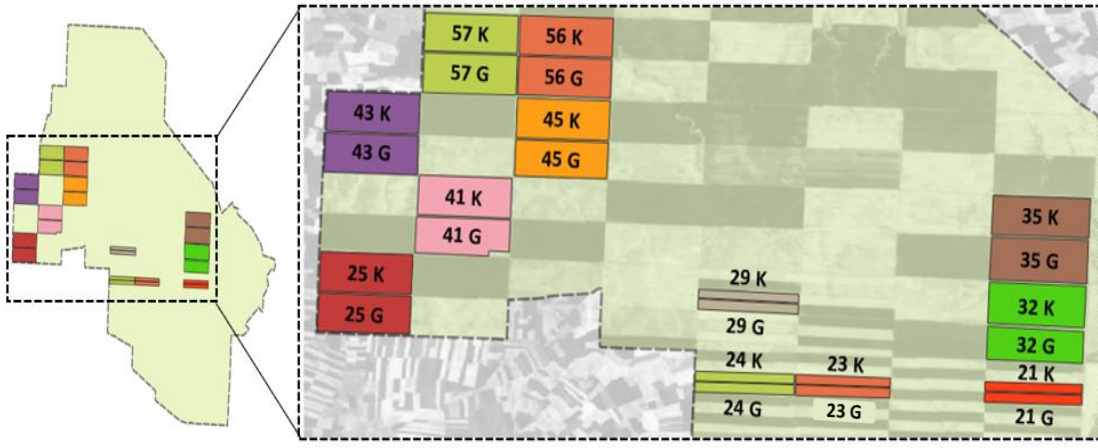
Çizelge 3.2 Konya ili 1929-2021 ortalama iklim parametreleri (Anonim 2022)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
O. Sck. (°C)	-0.2	1.5	5.5	11.1	15.9	20.1	23.5	23.3	18.8	12.8	6.5	1.8	11.7
O. En Yük. Sck.(°C)	4.6	7.0	11.7	17.5	22.4	26.7	30.2	30.2	26.0	20.0	13.1	6.6	18.0
O. En Düş. Sck.(°C)	-4.2	-3.3	-0.2	4.3	8.6	12.7	15.9	15.7	11.0	6.0	0.8	-2.3	5.4
O. Gün. Süresi (h)	3.3	4.6	5.9	7.2	9.0	10.7	11.8	11.4	9.7	7.3	5.3	3.2	7.4
Ay. T. Yağ. O.(mm)	38.4	28.8	29.4	31.7	43.0	25.9	7.5	6.3	13.5	29.6	32.0	45.7	331.8
En Yük. Sck. (°C)	19.9	23.8	28.9	30.9	34.4	36.7	40.6	39.0	38.8	32.3	25.4	21.8	40.6
En Düş. Sck. (°C)	-28.2	-26.5	-16.4	-8.6	-1.2	1.8	6.0	5.3	-3.0	-8.4	-20.0	-26.0	-28.2

O: Ortalama, Sck: Sıcaklık, T: Toplam, Yağ: Yağış, Gün: Güneşlenme, Ay: Aylık, h: saat

3.1.2 Buğday parselleri ve üretim verileri

Çalışmanın materyalini işletmenin orta bölümlerinde yer alan 21, 23, 24, 25, 29, 32, 35, 41, 43, 45, 56 ve 57 numaralı parseller olmak üzere, toplamda 12 buğday parseli oluşturmaktadır. Söz konusu parsellerde sulamasız tarım uygulanmaktadır. Parsellerin güney bölümleri G, kuzey bölümleri K ile gösterilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Altınova Tarım İşletmesi ve çalışılan parseller

Çalışmada 2001-2020 arası hasat sezonları ele alınmaktadır. Bu dönem süresince parsellere ilişkin ekim ve üretim bilgileri işletme kayıtlarından sağlanmıştır. Ayrıca işletmeye gerçekleştirilen saha ziyaretiyle parsel bilgileri, nadas uygulaması, yetiştirilen buğday çeşitleri gibi işletmeye ilişkin bilgiler derlenerek, planlama aşamasında kullanılmak üzere analiz edilmiştir. Buna göre; parsellerde makarnalık *Kızıltan-91*, ekmeklik *Bayraktar 2000* ve ekmeklik *Bezostaya-1* buğday çeşitlerinin ağırlıklı olarak ekildiği belirlenmiştir. Söz konusu çeşitler ve özellikleri şekil 3.3'te görülmektedir. Çalışmanın devamında çeşitlerin isimleri sadeleştirmek amacıyla *Kızıltan*, *Bayraktar* ve *Bezostaya* şeklinde kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Kızıltan-91, Bayraktar 2000 ve Bezostaya-1 buğday çeşitleri

Kızıltan ve Bayraktar çeşitleri kuraklığa Bezostaya çeşidinden daha dayanıklı iken, Bayraktar ve Bezostaya ise soğuğa karşı daha dayanıklı çeşitler olarak değerlendirilmektedir. Söz konusu buğday parselleri genellikle kendi içinde güney ve kuzey olarak iki bölüme ayrılmakta ve nöbetleşe ekim gerçekleştirilmektedir. Böylece ekilmeyen bölümün nadasa bırakılarak dinlenmesi sağlanmaktadır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Altınova Tarım İşletmesi parsel nadas uygulaması örneği

PARSEL-X		
Ekim Dönemi	Parsel-X Kuzey	Parsel-X Güney
2000-01	Bezostaya	Nadas
2001-02	Nadas	Bezostaya
2002-03	Bezostaya	Nadas
2003-04	Nadas	Bezostaya
2004-05	Bezostaya	Nadas
2005-06	Nadas	Bezostaya
2006-07	Bezostaya	Nadas
2007-08	Nadas	Bezostaya
2008-09	Bayraktar veya Kızıltan	Nadas
2009-10	Nadas	Bayraktar veya Kızıltan
2010-11	Bayraktar veya Kızıltan	Nadas
2011-12	Nadas	Bayraktar veya Kızıltan
2012-13	Bayraktar veya Kızıltan	Nadas
2013-14	Nadas	Bayraktar veya Kızıltan
2014-15	Bayraktar veya Kızıltan	Nadas
2015-16	Nadas	Bayraktar veya Kızıltan
2016-17	Bayraktar veya Kızıltan	Nadas
2017-18	Nadas	Bayraktar veya Kızıltan
2018-19	Bayraktar veya Kızıltan	Nadas
2019-20	Nadas	Bayraktar veya Kızıltan

Parsellere göre çeşitlerin ekim dönemleri incelendiğinde; 2001-2008 arası dönemde Bezostaya'nın ekildiği, bu dönemden sonra aynı parsellerde Bayraktar veya Kızıltan çeşitlerine yönelimin olduğu görülmüştür. Kızıltan çeşidinin ise 2008'den sonra ağırlıklı olmak üzere 2001-2020 dönemi boyunca ekildiği belirlenmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Buğday çeşitlerinin parsellerde ekim dönemleri

Parsel No	Kızıltan		Bayraktar		Bezostaya	
	2001-2008	2009-2020	2001-2008	2009-2020	2001-2008	2009-2020
21	✓	✓				
23	✓	✓				
24	✓	✓				
25				✓		
29		✓			✓	
32		✓			✓	
35		✓			✓	
41				✓	✓	
43				✓	✓	
45				✓	✓	
56				✓	✓	
57				✓	✓	

✓: Ekiliş

Çalışmada bitkisel üretim verileri olarak, TİGEM'den temin edilen, Altınova Tarım İşletmesine ait 2001-2020 dönemini kapsayan yıllık ortalama ve parsel bazlı buğday verim bilgileri kullanılmıştır (Anonim 2020c). İşletmede parseller arasında aynı dönemde farklı tarım teknikleri uygulanmamaktadır. Ancak değişen teknoloji ve ihtiyaca bağlı olarak yıllar içinde uygulamalarda farklılıklar olabilmektedir.

3.1.3 Toprak özellikleri

Altınova Tarım İşletmesi toprakları genel olarak killidir. İşletme arazilerinde, pH değerleri 7.11-8.42, çözünür tuz içerikleri ise %0.022-0.120 arasında (tuzsuz sınıf) değişmektedir. Bu değerler tuzluluk-alkalilik sorununun bulunmadığına işaret etmektedir. Toprakların kireç içerikleri üst katmanlarda %3.1-33.0 arasında, organik madde içerikleri ise genellikle düşük olup, %1.17-3.33 arasında değişmektedir. Yöre kurak/yarı kurak iklim kuşağında olduğu için, yağış miktarı fazla olmamaktadır. Bu nedenle topraktaki iyonların yıkanması da düşük seviyelerde gerçekleşmekte, üst

kısımlardan yıkanan kireç alt kısımlarda birikmektedir. Ayrıca düşük yağış rejimi yüksek sıcaklıklarla birlikte düşük biyokütle üretimi ve ayrışmaya bağlı olarak yeterli organik madde birikiminin sağlanamamasına neden olmaktadır (Anonim 1997).

3.1.4 Meteorolojik gözlem verileri

Meteorolojik kuraklık analizlerinin SPI ve SPEI ile yapılabilmesi için 30 yıllık kesintisiz veri seti gerekmektedir (Svoboda ve Fuchs 2016). Altınova Tarım İşletmesinde MGM tarafından işletilen otomatik meteoroloji gözlem istasyonu (OMGİ) yer almaktadır. Ancak bu istasyondan kuraklık analizleri için gerekli 30 yıllık kesintisiz veri seti 2020 yılı itibariyle sağlanamamakta ve güneşlenme ölçümleri (süresi ve/veya şiddeti) ise bulunmamaktadır. Bu nedenle meteorolojik kuraklık analizlerinde ve BDG hesaplamalarında ERA5 veri setinden yararlanılmıştır.

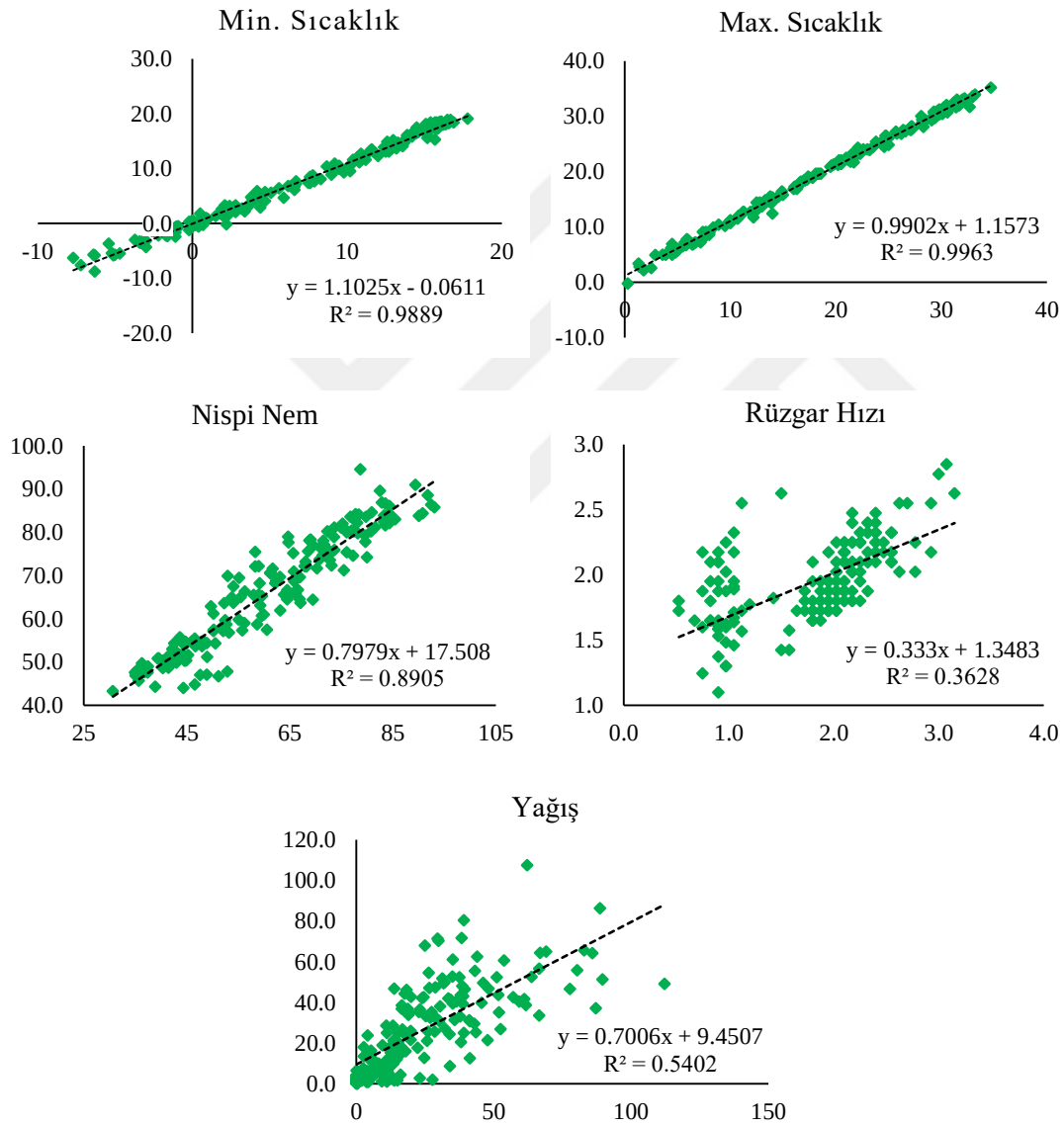
ERA5 veri seti, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) tarafından model ve yer gözlemlerinin birleştirilmesiyle elde edilen $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ çözünürlükteki en son iklim reanaliz ürünü olup, birçok atmosferik parametreyi saatlik veriler olarak sağlamakta ve gerçek zamanlı olarak 1979'dan son üç aya kadar kullanılabilir. ERA5 seti yüzey jeopotansiyelini tanımlamak için IFS, SRTM30 ve diğer yüzey yükseklik veri kümelerinin kombinasyonundan enterpolasyonlu yüzey yükseklik verilerini kullanmaktadır (Hersbach vd. 2018).

ERA5 veri seti *Copernicus İklim Değişikliği Servisi* (C3S) resmi internet adresinden (<https://cds.climate.copernicus.eu/#/search?text=ERA5&type=dataset>) açık erişimli olarak indirilebilmektedir. MGM Konya Kadınhanı Altınova TİGEM (17744) OMGİ enlem (38.7191) ve boylamı (32.1750) referans alınmıştır. Kullanılan meteorolojik parametreler;

- Günlük, Aylık maksimum sıcaklık ortalaması ($^{\circ}\text{C}$),
- Günlük, Aylık minimum sıcaklık ortalaması ($^{\circ}\text{C}$),
- Aylık ortalama nispi nem (%),
- Aylık ortalama rüzgâr hızı (ms^{-1}),

- Aylık toplam yağış miktarı (mm),
- Günlük toplam güneşlenme şiddeti aylık ortalaması (MJ m^{-2}) şeklindedir.

ERA5 veri setinin MGM Altınova OMGİ verileriyle karşılaştırılmaları yapılmıştır. MGM Altınova OMGİ, 2007 yılından itibaren düzenli olarak veri sağlamaktadır. Bu nedenle regresyon analizleri 2007-2020 dönemini kapsamaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 MGM Altınova OMGİ ile ERA 5 setinin karşılaştırılması

Regresyon denklemlerine ait R^2 ve Standart Hata (SE) değerleri ile karşılaştırma periyodu (2007-2020) ortalamaları çizelge 3.5'te görülmektedir. En düşük R^2 değeri *rüzgâr hızı* parametresinde belirlenmiştir. MGM OMGİ'de güneşlenme şiddeti ölçümleri olmadığı için karşılaştırma yapılamamıştır. Periyot (2007-2020) ortalamaları açısından ise ERA5 veri seti başarılı olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 Veri setlerinin periyot ortalamalarına göre karşılaştırılması

Parametre	OMGİ	ERA5	Denklem	R^2	SE	P-Değeri
Minimum Sıcaklık (°C)	6.43	6.46	$y = 1.1025x - 0.0611$	0.989	0.707	0.000*
Maksimum Sıcaklık (°C)	18.59	18.93	$y = 0.9902x + 1.1573$	0.996	0.575	0.000*
Nispi Nem (%)	61.18	67.50	$y = 0.7979x + 17.508$	0.891	5.088	0.000*
Rüzgâr Hızı (m/s)	1.8	2.0	$y = 0.333x + 1.3483$	0.363	0.496	0.017*
Güneşlenme Şiddeti (MJ)	-	17.64	-	-	-	-
Yağış (mm)	305.9	325.0	$y = 0.7006x + 9.4507$	0.540	15.46	0.000*

* %95 güven aralığı

3.1.5 İklim projeksiyonları

MGM tarafından iklim değişikliğinin gelecekteki etkilerini öngörebilmek amacıyla, Türkiye koşullarına uygun olduğu değerlendirilen 3 küresel iklim modeline (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M) ait veriler ile RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları temelinde, RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli kullanarak, Türkiye ve çevresi için 20 km çözünürlüklü iklim projeksiyonları geliştirilmiştir. Projeksiyonlarının referans dönemi 1971-2000 olup, 2100 yılına kadar veri sağlamaktadır (Akçakaya vd. 2015). Model bilgileri çizelge 3.6'da görülmektedir.

Çizelge 3.6 İklim projeksiyon modellerine ilişkin bilgiler (Akçakaya vd. 2015)

Küresel İklim Modeli	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR	GFDL-ESM2M
Kaynak Enstitü	Hadley Center/ İngiltere	Max Planck/ Almanya	NOAA-GFD Laboratuvarı/ABD
Küresel Model Çözünürlüğü	112.5 km	210 km	220 km
MGM Projeksiyon Çözünürlüğü	20 km	20 km	20 km

Projeksiyonlardan elde edilen sonuçlara göre; Türkiye için 2016-2099 döneminde RCP4.5 senaryosunda 1.5-2.5 °C, RCP8.5 senaryosunda ise 2.5-3.6 °C aralığında sıcaklık artışı öngörülmektedir. Yağış miktarları açısından belirli artış veya azalış eğiliminin olmadığı, toplam yağış miktarlarına göre Akdeniz Bölgesi'nin daha hassas bölge olarak dikkat çektiği, yağış dağılımlarının düzensizlikleri açısından ise artış eğilimlerinin söz konusu olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca iklim değişikliğinin göstergesi olarak, sıcak hava dalgası gibi ekstrem hava olaylarının sayı ve şiddetlerinde artış eğilimlerinin olması ve tarım-gıda güvenliğinin olumsuz etkilenmesi gibi önemli değerlendirmeler de yapılmıştır (Akçakaya vd. 2015).

Meteorolojik kuraklık açısından geleceğe yönelik öngörüler ortaya koyabilmek adına, MGM'den temin edilen, 3 küresel iklim modeli (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M) ve 2 senaryoya (RCP4.5, RCP8.5) ait iklim projeksiyonları verilerinden yararlanılmıştır. Projeksiyon verileri hem geleceğe (2020-2098), hem de geçmişe (1971-2000) yönelik olarak temin edilmiştir. 2020-2098 seti geleceğe yönelik öngöründe bulunmak, 1971-2000 seti ise yer gözlem verileriyle (ERA5) 2020-2098 setinin düzeltilmesinde ve sonuçların karşılaştırılmasında kullanılmak üzere temin edilmiştir.

3.1.6 Uydu verileri

Çalışmada NDVI ve LST değerleri Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) tarafından sağlanan MOD13Q1 ve MOD11A1 veri setlerinden, Climate Engine uygulaması aracılığıyla elde edilmiştir (Huntington vd. 2017). Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) MOD13Q1 verileri 250 m uzamsal, 16 günlük zamansal çözünürlüğe sahiptir ve ölçek faktörü 0.0001'dir (Didan vd. 2015). LST'yi sağlayan MOD11A1 verileri ise 1 km uzamsal, 8 günlük zamansal çözünürlüğe sahiptir. Sıcaklık değerleri Kelvin (°K) cinsinden sunulmakta olup, °C dönüşümü için - 273.15 uygulanmaktadır. Ürünün ölçek faktörü 0.02'dir (Wan 2013).

NDVI ve LST uydu verileri 2000-01 ile 2019-20 tarım sezonları arasındaki 20 yıllık üretim dönemini kapsayacak, yörede günlük ekimlerin başladığı en erken dönem olan Eylül'den hasatların yapıldığı en son dönem olan Temmuz ayına kadar, her ay için 2

görüntü olacak (1-15 ile 16-30 arasına göre) ve çalışma alanını kapsayacak şekilde indirilmiştir.

3.2 Yöntem

Kuraklığın farklı açılardan incelenmesi amaçlanan çalışmada, meteorolojik kuraklık analizleri uluslararası alanda yaygın olarak kullanılan SPI ve SPEI ile 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri için yapılmıştır. SPI analizleri için yalnızca yağış verileri yeterliyken, SPEI analizlerinde ise PET ya da ‘Referans Evapotranspirasyon (RET)’ tahmin edilmesinde kullanılacak olan yöntemle göre veriler değişmektedir. Bunlar içinde, PM yöntemi ulusal ve uluslararası birçok çalışmada daha başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle referans olarak gösterilmektedir. Bu yöntemde kullanılan veri miktarı daha çok olup, hesaplama daha fazla bilgi ve tecrübe gerektirmektedir. Tez çalışmasında RET hesaplamaları PM yöntemiyle (Allen vd. 1998) yapılmıştır.

3.2.1 Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI)

SPI, 1992'de Amerika Birleşik Devletleri Colorado Eyalet Üniversitesi'nde McKee vd. (1993) tarafından yapılan araştırma ve çalışmanın sonucu geliştirilmiş kuraklık indeksidir. SPI herhangi bir yer için geçmiş yağış verilerinden yararlanarak, 1 aydan 48 aya veya daha uzun bir süre için hesaplamalarda kullanılabilir. SPI hesaplanırken kullanılan zaman serilerinin belirli bir uzunlukta olması gerekmez (Svoboda ve Fuchs 2016).

SPI herhangi bir boyutu olmayan bir indekstir. Veri seti bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna uyarlanmıştır. Cheval'in (2015) bildirdiğine göre, McKee vd. (1993) Gamma dağılımı önermiştir. Gamma dağılımı şu eşitlikle tanımlanır;

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

Burada $\alpha > 0$ bir şekil parametresi, $\beta > 0$ bir ölçek parametresi, Γ gama fonksiyonu ve $x > 0$ yağış miktarıdır. Konum veya zaman ölçeği ne olursa olsun SPI, gama parametrelerinin tahmin edildiği temel periyoda göre kümülatif bir olasılığı temsil eder (Edwards 1997). Daha sonra kümülatif olasılık dağılımı standart normal dağılıma dönüştürülür (Sönmez vd. 2005) ve esas olarak belirlenen zaman dilimi içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile SPI elde edilir (McKee vd. 1993). Buna göre;

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma}$$

SPI : Standartlaştırılmış Yağış İndeksi

X_i : Aktüel yağış miktarı

$\bar{X}_i$: Ortalama yağış miktarı

σ : Standart sapma değeri

SPI, 20 yıllık bir veri seti ile hesaplanabilir, ancak ideal olan, zaman serilerinin en az 30 yıllık olmasıdır. SPI'nin çeşitli zaman aralıklarında hesaplanabilmesi birden fazla uygulamaya izin vermektedir. Söz konusu kuraklık etkisine bağlı olarak, 3 aylık veya daha düşük SPI değerleri temel kuraklığın izlenmesinde, 6 aylık veya daha düşük değerler tarımsal etkilerin izlenmesinde ve 12 ay veya daha uzun değerler ise hidrolojik etkilerin izlenmesinde yararlı olmaktadır (Svoboda ve Fuchs 2016).

SPI değerleri hesaplanırken ilk olarak, en az 30 yıllık kesintisiz aylık yağış verileri hazırlanmalı ve yağış değişimlerinin gözleneceği zaman ölçekleri (3, 6, 9, 12, 24 aylık gibi) belirlenmelidir. Ölçekler yağış eksikliğinin çalışılan konu (tarım, su kaynakları, yeraltı suları vb.) üzerine etkisinin görülmeye başlayacağı düşünülen zaman dilimlerini ifade etmektedir. Tüm zaman ölçeklerindeki yağış veri dizileri kayan bir özellikte olup, o ayın indeks değeri önceki ayların değerlerine göre belirlenmektedir. Daha sonra her veri seti Gamma dağılımına uydurulmalı ve böylece gözlenmiş yağış olasılıkları tanımlanmalıdır. Thom (1958) Gamma dağılımının klimatolojik zaman serilerine en uygun dağılım olduğunu ortaya koymuştur. Gama dağılımı, dağılım frekansı veya olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanmaktadır (Haan 1977).

SPI kuraklık analizlerinde indeksin negatif olduğu zaman dilimi kurak, pozitif olduğu zaman dilimi nemli dönem olarak değerlendirilir. İndeksin sıfırın altına düştüğü an kuraklığın başlangıcı, üzerine çıktığı an ise kuraklığın bitişi kabul edilmektedir. SPI metoduna göre yapılan sınıflandırma çizelge 3.7’de verilmiştir (Svoboda 2002).

Çizelge 3.7 SPI ve SPEI kuraklık şiddeti sınıflandırması (Svoboda 2002)

SPI/SPEI Şiddet Aralıkları	Sınıflandırma
2.0 ve daha fazla	Olağanüstü Nemli
1.60 / 1.99	Aşırı Nemli
1.30 / 1.59	Çok Nemli
0.80 / 1.29	Orta Nemli
0.51 / 0.79	Hafif Nemli
0.50 / -0.50	Normal Civarı
-0.51 / -0.79	Hafif Kurak
-0.80 / -1.29	Orta Kurak
-1.30 / -1.59	Şiddetli Kurak
-1.60 / -1.99	Çok Şiddetli Kurak
-2.0 ve daha düşük	Olağanüstü Kurak

3.2.2 Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)

SPEI, SPI temelini kullanmakla birlikte, yağış haricinde başta sıcaklık olmak üzere diğer iklim parametreleriyle temel su dengesinin etkisinin hesaba katılmasıyla SPI indeksinden ayrılmaktadır. Girdi olarak aylık yağış ve sıcaklık verileri kullanılmakta ve 1 aydan 48 aya kadar olan periyotlar için hesaplanabilmektedir. SPEI çıktıları, tüm iklim tiplerinde kullanılabilir olması yanında, geleceğe yönelik olarak iklim değişikliğinin etkisine bakılmasında da uygun bir indekstir. Ancak SPEI’nin hesaplanmasında eksiksiz bir veri seti gereksinimi bulunmaktadır. Ayrıca aylık bir indeks olan SPEI, hızlı gelişen kuraklık durumlarını çabuk tespit edemeyebilir (Svoboda ve Fuchs 2016). SPEI ve SPI için ortak şiddet sınıflandırması kullanılmaktadır (Çizelge 3.7).

SPEI indeksleri hesaplanırken, ilk olarak yukarıda bahsedilen metotlarla RET tahminleri yapılır. Sonrasında ise aylık toplam yağış değerleri (P_i) ile belirlenen referans evapotranspirasyon (RET_i) değerleri arasındaki fark alınarak su dengesi (SD) hesaplanır.

$$SD = P_i - RET_i$$

SPEI'nin değerini tahmin etmek için, su dengesi farkı log-lojistik olasılık dağılımı olarak normalize edilir. Eşitlik olasılık yoğunluk fonksiyonunu ifade etmektedir.

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

Burada α , β ve γ parametreleri sırasıyla ölçek, şekil ve orijini temsil eder. Bu nedenle, olasılık dağılım fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir:

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

Liu vd. (2021) tarafından bildirildiğine göre; Vicente-Serrano vd. (2010) SPEI'yi aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır.

$$SPEI = W - \frac{C0 + C1W + C2W^2}{1 + d1W + d2W^2 + d3W^3}$$

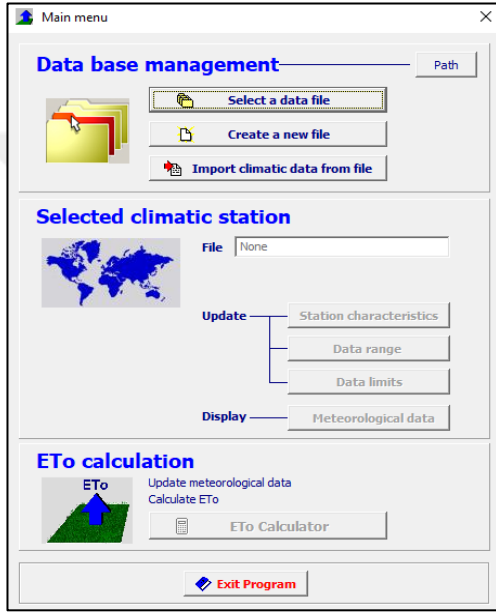
Burada $P \leq 0.5$ olduğunda, $W = \sqrt{-2 \ln(P)}$ ve $P > 0.5$ olduğunda, $W = \sqrt{-2 \ln(1 - P)}$, $C0=2.5155$, $C1=0.8028$, $C2=0.0203$, $d1 = 1.4327$, $d2 = 0.1892$, $d3 = 0.0013$ şeklindedir. Çalışmada SPI ve SPEI hesaplamaları *R-Studio* ortamında gerçekleştirilmiştir.

3.2.3 Referans evapotranspirasyonun hesaplanması

RET hesaplamalarında FAO-56'da açıklanan PM yöntemi kullanılmıştır (Allen vd. 1998). PM temel eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$PET = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

PM yöntemiyle RET hesaplamaları FAO tarafından geliştirilen *ET₀ Calculator* programıyla gerçekleştirilmiştir. Program resmi internet sitesi '<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/es/>' adresinden ücretsiz olarak indirilmektedir. Programın arayüzü şekil 3.5'teki gibidir.



Şekil 3.5 ET₀ Calculator Ara yüzü

Hesaplama kullanılan iklim parametreleri aylık olarak maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama nispi nem, ortalama 2 m rüzgâr hızı ve güneşlenme şiddeti değerleri şeklindedir. İklim verileri programa, sütunlar halinde, başlık kullanılmadan, CXT formatında bir editör aracılığıyla düzenlenerek yüklenmektedir (Şekil 3.6). Programın istediği enlem, boylam ve rakım bilgileri girilerek RET (ET₀) hesaplaması gerçekleştirilmektedir.

3.4	17.9	64.7	2.5	34.6
9.1	24.0	59.8	2.0	39.6
10.7	26.8	49.4	2.2	41.6
11.3	28.2	43.5	2.4	40.4
15.1	32.7	38.5	2.2	36.3
9.3	25.7	46.7	2.1	29.9
3.3	16.6	61.8	2.0	22.6
2.7	13.8	77.7	2.2	16.4

Şekil 3.6 Meteorolojik veri formatı

SPEI kuraklık analizlerinde RET hesaplamaları yer verileri (ERA5) ile iklim projeksiyonlarının geçmiş ve gelecek verileri kullanılarak yapılmıştır.

3.2.4 Kuraklık analizleri

Meteorolojik kuraklık (SPI, SPEI) analizleri R-Studio ortamında gerçekleştirilmiştir. R-Studio istatistik hesaplamaların ve grafik uygulamaların yapılmasına imkân sağlayan açık kaynak kodlu geliştirme ortamıdır. Program ‘r-project.org’ adresinden indirilmektedir. Çok yaygın olarak kullanılması, kolay ve anlaşılır bir arayüze sahip olması, Python gibi güncel dillerle uyumlu olması, araştırmacılar tarafından geliştirilen algoritmaların açık olarak ulaşılabilir olması, hızlı ve başarılı hesaplamalar yapabiliyor olması gibi birçok avantaj yanında öğrenim sürecinin uzun sürebilmesi, kolay hata yapılabilir olması ve çalışılacak verinin hazırlama aşamalarının zaman alması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

R-Studio ile SPEI ve SPI analizleri *SPEI Package version 1.7* yardımıyla gerçekleştirilmiştir. SPEI paketi ‘PET (ya da RET)’ ve ‘SPEI’ dâhil olmak üzere yaygın olarak kullanılan bir dizi fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. SPEI 1.7 paketinde verilerin normal dağılıma dönüştürülmesinde isteğe bağlı olarak *Log-Logistic*, *Gamma* veya *Pearson III* dağılımlardan herhangi biri seçilebilmektedir. Ancak normal koşullarda SPI için Gamma, SPEI içinse Log-Logistic dağılımları uygulanmaktadır (Anonymous 2017b). Programa veri (aylık yağış, RET değerleri veya RET parametreleri) girişi Text ya da Excel formatında yapılabilir. İlk olarak su bütçesi hesaplanmaktadır. Daha sonra istenen zaman ölçeği için (SPEI 1, 3, 6 vs.) indeksler üretilmektedir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8 R-Studio ortamında SPI ve SPEI hesaplama örneği

SPEI	SPI
<pre>> WBal<-Altinova\$Prpc-Altinova\$RET > spei1<-spei(WBal,1) > spei1 ...İndeksler ekrana gelir... > spei3<-spei(WBal,3) > spei3 ...İndeksler ekrana gelir... > plot.spei(spei1) ...Grafik ekrana gelir...</pre>	<pre>> spi(Altinova\$Prpc,1) ...İndeksler ekrana gelir... > spi(Altinova\$Prpc,3) ...İndeksler ekrana gelir... . . .</pre>

3.2.5 Normallik testi

Birçok istatistiksel işlem popülasyon normalliğine dayanmaktadır. Popülasyonun normal dağılıp dağılmadığını belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılarak normallik testi gerçekleştirilmektedir. Bir normallik testi için sıfır hipotezi (H_0) popülasyonun normal dağıldığını, alternatif hipotez (H_1) ise normal dağılmadığını belirtmektedir. Bu araştırmada normallik sınaması için *Anderson-Darling* testi kullanılmıştır. Bu test, örnek verilerin ampirik kümülatif dağılım işlevini, verilerin normal olması durumunda beklenen dağılımla karşılaştırır. Bu gözlenen fark yeterince büyükse, test popülasyon normalliğine ilişkin sıfır hipotezi (H_0) reddedilecektir.

Meteorolojik parametreler ile SPEI ve SPI değerlerine uygulanan normallik testi sonuçlarına göre SPI-1, SPI-3 ve SPI-24 hariç tüm popülasyonlarda P-değerleri (%95 güven aralığında) 0.05'ten küçük olarak belirlenmiştir. Buna göre sıfır hipotezi (H_0) reddedilerek, verilerin normal dağılım göstermediği belirlenmiştir. Çalışmada kuraklık indeks değerleri büyük oranda normal dağılım göstermediğinden Mann-Kendall yöntemiyle trend analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9 Anderson-Darling (A-D) yöntemiyle normallik testi

Popülasyon	Ortalama	Standart Sapma	Örnek Sayısı	A-D	P-Değeri
SPEI-1	0.006	0.982	495	1.117	0.006
SPEI-3	0.003	0.986	493	1.635	<0.005
SPEI-6	-0.003	0.984	490	1.836	<0.005
SPEI-9	-0.006	0.985	487	2.189	<0.005
SPEI-12	-0.006	0.985	484	2.010	<0.005
SPEI-24	-0.006	0.982	472	0.778	0.043
SPI-1	0.010	0.993	495	0.408	0.346*
SPI-3	0.006	0.980	493	0.727	0.058*
SPI-6	0.002	0.995	490	1.530	<0.005
SPI-9	0.001	1.000	487	1.510	<0.005
SPI-12	-0.006	0.985	484	2.010	<0.005
SPI-24	0.001	0.987	472	0.619	0.106*
T min	6.424	7.466	504	5.936	<0.005
T max	18.880	9.484	504	7.800	<0.005
T ave	12.650	8.450	504	7.018	<0.005
Rh mean	67.550	12.190	504	6.278	<0.005
Wind	2.008	0.293	504	1.914	<0.005
Rs	17.660	6.908	504	11.744	<0.005
Prcp	28.230	21.390	504	6.343	<0.005
RET	97.850	63.090	504	13.639	<0.005

* P>0.05

3.2.6 Mann-Kendall testi

Yörede meteorolojik kuraklık trendi incelenmiştir. Bu amaçla uygulanan Mann-Kendall (Mann 1945, Kendall 1975) testi parametrik olmayan bir test olup, hidroloji ve klimatolojide rastgeleliği test etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang vd. 2000, 2001). Mann-Kendall istatistiği (S), normal dağılmayan veri setinde trendin yönünü ve şiddetini göstermektedir.

Test için H_0 hipotezi trend olmadığını, H_1 hipotezi ise trend olduğunu belirtmektedir. Bulunan trendin önemliliğini belirlemek için S'nin varyansı, normalleştirilmiş Z istatistik değeri ve bu istatistiğe karşılık gelen normal dağılım olasılık dağılım fonksiyon değeri bulunur (Şimşek 2010). M-K testi $X_1, X_2...X_n$ zaman serileri için aşağıdaki gibi uygulanmaktadır:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_i)$$

$S > 0$ durumunda, zaman serisinde sonraki değerlerin, daha öncekilerden daha büyük olma eğiliminde, $S < 0$ durumunda ise tersinin doğru olduğu anlaşılmaktadır. S 'nin varyansı;

$$\text{var} = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_t f_t (f_t - 1)(2f_t + 5)]$$

Eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitlikte t , bağlı dereceler kümesi üzerinde değişir ve f_t , t mertebesinin frekansıdır. M-K testi aşağıdaki test istatistiğini kullanmaktadır.

$$z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{S}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{S}, & S < 0 \end{cases}$$

Hesaplanan Z değeri 0.01 veya 0.05'ten az olmak koşuluyla, negatif ise azalan, pozitif ise artan bir eğilimin olduğu ve bunların %1 veya %5 güven aralıklarında önemli olduğu değerlendirilmektedir (Şimşek 2010). Mann Kendall testinin uygulanmasında Fin Meteoroloji Enstitüsü (FMI) tarafından geliştirilen MAKESENS 1.0 (Salmi 2002) yazılımından yararlanılmıştır.

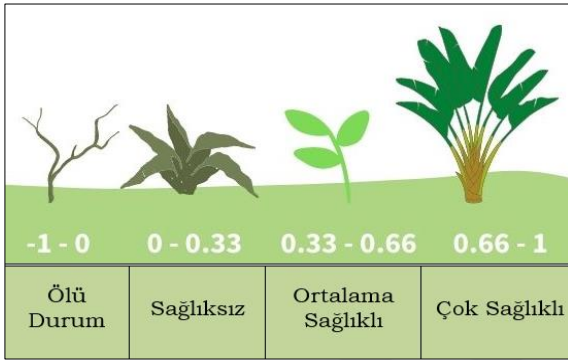
3.2.7 Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)

NDVI, bitki örtüsünün yansıttığı yakın kızılötesi (NIR) ve absorbe ettiği kırmızı ışık (RED) arasındaki farkı ölçerek bitki örtüsünü (vejetasyon) değerlendirmektedir.

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

Burada, NIR ışık spektrumun yakın kızılötesi dalga boyunu (0.851-0.879 μm), RED ise kırmızı bölge dalga boyunu (0.636-0.673 μm), birimsiz bir parametre olan NDVI ise bitki örtüsü indeks değerini temsil etmektedir. NDVI değer aralığı -1 ile 1 arasında değişmektedir.

Bitki örtüsünün bulunduğu alanlardaki NDVI değerleri, çıplak toprak, buz ve su yüzeylerine göre daha yüksek olmaktadır. NDVI değeri 1'e ne kadar yakın ise 'vejetasyon o kadar güçlüdür' şeklinde yorumlanmaktadır. NDVI kuraklığın temel göstergelerinden biridir. Genel olarak bitki örtüsünün gelişimini bitkinin yeşermesi üzerinden tanımlayarak kuraklıkla ilgili çok önemli ipuçları sunmaktadır. NDVI aynı zamanda bitki sağlığına ilişkin ipucu veren bir parametre olarak da ele alınabilir, ancak problemi teşhis etmenin bir yolu olmadığı anlaşılmalıdır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Bitki sağlığı açısından NDVI (Anonymous 2023)

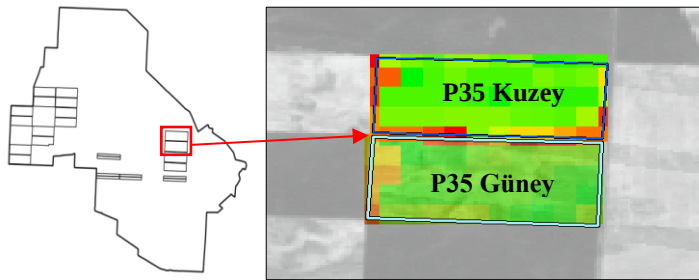
Kuraklık, sel/taşkın, hastalık, haşereler vb. nedenler bitki örtüsünü ve dolayısıyla NDVI değerlerini etkileyebilecek faktörler arasındadır (Anonymous 2023). NDVI bitki örtüsünün tanımlanmasında kullanılması yanında birçok uydu tabanlı kuraklık indeksinin de temelini oluşturmaktadır. Tarımsal kuraklığı belirlemek oldukça karmaşık, zaman alıcı ve maliyetli olmaktadır. Bu nedenle zaman içinde tarımsal kuraklığı izleme ve değerlendirmede çeşitli yaklaşımlar tartışılmış ve uzaktan algılama tekniklerinin kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Günümüzde konuyla ilgili kullanılabilecek işlenmiş uydu görüntüleri çeşitli internet siteleri ve uygulamalar aracılığıyla açık kaynak olarak erişilebilir durumdadır. Böylece uydu tabanlı indeksler yardımıyla kuraklığın izlenmesi ve kuraklığa dayalı verim tahmin modellerinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. NDVI temelli bitki örtüsü indeksleri bitkinin yeşilliğini ölçmeye dayalı geliştirildikleri için tarımsal kuraklığı izlemede dolaylı bir yaklaşım olarak kabul edilmektedirler. Ancak yine de temel olarak NDVI ile kuraklık ilişkilendirmesi aşağıdaki şekilde yapılabilir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10 NDVI kuraklık sınıflandırması (Aziz vd. 2018)

NDVI	Kuraklık Sınıfı
<0.0	Aşırı kurak
0.0–0.2	Kurak
0.2–0.4	Ilıman (Normal)
0.4–0.6	Nemli
>0.6	Aşırı nemli

Çalışmada kuraklık analizlerinin buğdayın büyüme dönemlerine göre yapılması planlanmıştır. Bu doğrultuda, yörede buğdayın tarlada olmadığı Ağustos ayı hariç her ay için görüntü alınması gerektiğinden, bulutluluk engeli bulunmayan ve 20 yıllık bir zaman serisi için veri imkânı sağlayan MODIS uydu görüntüleri (NDVI, LST) kullanılmıştır. Ancak NDVI ve LST ürünlerinde zamansal çözünürlüklerin farklı olması nedeniyle görüntüler birebir aynı günlere denk gelmemektedir. Analizlerin daha düzenli gerçekleştirilebilmesi amacıyla, görüntüler her ay için, 1_15 (ayın 1-15'i arası) ve 16_30 (ayın 16-30'u arası) olmak üzere 2 döneme ayrılarak indirilmiştir. Böylelikle yakın dönem görüntüleri daha anlaşılır ve birlikte işleme alınabilir bir şekle dönüştürülmüştür. İki ürün (NDVI, LST) için 20'şer yıl, 11'er ay, 2'şer görüntülük data seti elde edilmiştir. Daha net bir ifadeyle; toplam 880 adet görüntüyle çalışılmıştır.

İşletmede nadas uygulaması gerçekleştirilmektedir. Yalnızca ekili alanın işleme alınması için analizlerde nadas uygulaması dikkate alınmış ve tüm parsellerin kuzey ve güney poligonları oluşturulmuştur. Aşağıda 35 numaralı parsel (P35) için oluşturulan örnek poligonlar (Kuzey-Güney) görünmektedir. Görüntü tarihleri farklıdır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Örnek poligon gösterimi

3.2.8 Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST)

LST gelen güneş enerjisinin ısıttığı arazi yüzeyinden veya bitki örtüsü olan alanlarda gölgelik yüzeyinden gelen termal radyasyon emisyonunu ölçer. LST atmosfer ile arazi arasındaki ilişkiyi ifade eden önemli bir iklim göstergesidir. Yapılan araştırmalar arazi yüzeyinin termal stresinin de kuraklık üzerinde etkili olduğunu göstermiş ve bu durum Masitoh vd. (2019) tarafından bildirildiğine göre; LST tabanlı, TCI'nin (Jain vd. 2009) ortaya çıkması ile sonuçlanmıştır.

LST ise bir sıcaklık parametresi olduğundan herhangi bir kuraklık sınıflandırması bulunmamaktadır. Çünkü aynı sıcaklık değerleri farklı coğrafyalarda kuraklık açısından aynı durumu temsil etmeyebilecektir. Bu yüzden LST üzerinden bir kuraklık değerlendirmesi yapmak doğru bir yaklaşım değildir. Bunun için LST temelinde oluşturulan ve termal stresin değerlendirilmesinde başarılı olan TCI kullanımı daha uygun olmaktadır. Ancak yıllar içinde aynı dönemin karşılaştırıldığı durumlarda LST için yorum yapmak mümkündür. Bununla birlikte tarımsal açıdan bitkinin büyüme dönemine, mevsime ve ele alınan aya göre yorumlar değişebilmektedir. Çalışmada standart bir LST gösteriminin sağlanması için aşağıda paylaşılan renklendirilmiş sıcaklık aralıkları kullanılmıştır (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11 Renklendirilmiş LST aralıkları (°C)

LST
<20.0 °C
20.1-25.0 °C
25.1-30.0 °C
30.1-35.0 °C
35.1-40.0 °C
>40.0 °C

LST görüntülerinde çözünürlük değerleri (1000 m) NDVI görüntülerine (250 m) göre daha düşüktür. Bu nedenle rasterların hesaplanabilmesi için LST görüntülerinde *Resample* işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Uygulanan bu işlemle LST görüntülerinde çözünürlük değerleri değişmemekte, ancak piksellerin NDVI görüntü

çözünürlüğüne karşılık gelecek şekilde bölünmesi sağlanmaktadır. Uzaktan algılama ürünlerine ilişkin işlemler çeşitli UA veya CBS yazılımları aracılığıyla yapılmaktadır. Çalışılan görüntü sayısının fazla olması nedeniyle, resample, kırpma, raster hesaplama gibi çoklu işlemler CBS yazılımında çoklu görüntü işleme prosesiyle gerçekleştirilmiştir.

3.2.9 Bitki Örtüsü Durum İndeksi (VCI)

VCI özellikle yerel koşulların etkisiyle kuraklığın net olarak tanımlanamadığı bölgelerde kuraklığı belirlemek için kullanılmaktadır. İndeks; kuraklığın bitki örtüsü üzerindeki etkilerine, daha açık bir ifadeyle; bitki örtüsü değişikliklerine odaklanmakta ve bunları tarihsel olarak karşılaştırarak kuraklığın başlangıcı, süresi ve şiddeti hakkında bilgi sağlayabilmektedir (Svoboda ve Fuchs 2016). Kuraklığın tespit ve takibinde başarılı bulunan VCI, mevcut NDVI değerini önceki yıllarda aynı dönemde gözlemlenen değer aralığıyla karşılaştırır. VCI, yüzde (%) olarak ifade edilir ve gözlemlenen değer önceki yıllarda uç değerler (minimum ve maksimum) arasında nerede olduğu konusunda bir fikir verir. VCI, son derece elverişsiz koşullar için 0'dan optimal koşullar için 100'e kadar değişmekte ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$VCI = \left(\frac{NDVI_j - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) 100$$

Eşitlikte; $NDVI_j$ mevcut yılın NDVI değerini, $NDVI_{max}$ uzun yıllar maksimum NDVI değerini, $NDVI_{min}$ uzun yıllar minimum NDVI değerini göstermektedir. Bitki Örtüsü Durum İndeksi (VCI), kuraklık yönünden incelenen dönemin uzun yıllar içindeki değişimini ortaya koymaktadır.

3.2.10 Sıcaklık Durum İndeksi (TCI)

VCI bazı durumlarda doğru kuraklık analizi için tek başına yeterli olamamaktadır. Bu nedenle, termal koşullar hakkında bilgiye ihtiyaç olduğu düşünülmüştür. Sonuç olarak, TCI ortaya çıkmıştır (Kogan 1995). TCI sıcaklık faktörünün bitki örtüsü üzerindeki stres etkisini belirlemek için kullanılan uydu tabanlı bir indekstir. Toprağın ve bitki örtüsünün

sıcaklık değişimlerine karşı direncini ifade etmektedir ve su içeriği seviyeleri ile orantılı bir ilişkisi vardır. TCI, maksimum ve minimum sıcaklıklara göre tahmin edilir ve sıcaklığa karşı farklı bitki örtüsü tepkilerini yansıtacak şekilde değiştirilir. Tarımsal açıdan etkilerin öncelikli değerlendirildiği durumlarda ise genellikle VCI ile birlikte kullanılmaktadır.

Yüksek LST kuraklığa uygun koşulları sağlayarak ürünlerde büyüme mevsiminde olumsuz etkilere neden olabilmekte, düşük LST ise çoğunlukla bunun tersi duruma yani uygunluğa işaret etmektedir (Svoboda ve Fuchs 2016). TCI aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır. TCI, son derece elverişsiz koşullar için 0'dan optimal koşullar için 100'e kadar değişir.

$$TCI = \left(\frac{LST_{max} - LST}{LST_{max} - LST_{min}} \right) 100$$

Eşitlikte; LST mevcut ay veya yılın arazi yüzey sıcaklık değerini, LST_{max} maksimum arazi yüzeyi sıcaklığı değerini, LST_{min} minimum arazi yüzeyi sıcaklığı değerini göstermektedir. TCI hesaplanırken; uzun dönem içindeki en yüksek ve en düşük LST değerleri belirlenir. Ardından yukarıdaki eşitliğe göre indeks elde edilir.

3.2.11 Bitki Örtüsü Sağlık İndeksi (VHI)

VHI bitki örtüsü stresine dayalı olarak kuraklığı değerlendirebilen NDVI ve LST'nin birleşik bir indeksi olarak tanımlanabilir (Masitoh ve Rusydi 2019). Uzaktan algılama yaklaşımı ve uydu verilerini kullanarak kuraklıkla ilgili tarımsal etkileri izleme ve belirlemeye yönelik ilk geliştirilen önemli ürünlerden biridir (Svaboda ve Funch 2016). VHI aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$VHI = 0.5 (VCI + TCI)$$

Aynı zaman dilimlerine karşılık gelen VCI ve TCI raster görüntülerinden yararlanarak VHI indeksleri elde edilmiştir. VHI, bitki örtüsü sağlığını karakterize eden bir araç veya

nem ve termal koşulların birleştirilmiş tahmin ölçütü olarak değerlendirilebilir. VH (VHI, VCI, TCI) genellikle ürün durumunu ve beklenen verimi tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bitki örtüsü stres seviyesini gösteren indeks değerleri, %40'ın altındaysa, ürün ve mera üretiminde düşük verim, %60'ın üzerinde olması durumunda ise daha yüksek verim beklenebilir. Bitki örtüsü olmayan alan için (çöl, yüksek dağlar vb.) görüntülenen indeksler ise yüzey koşullarını karakterize ederler (Anonymous 2022e). Aşağıda kuraklık şiddet sınıflandırmaları görülmektedir (Çizelge 3.12). VCI, TCI ve VHI aynı kuraklık şiddet sınıflandırmasıyla değerlendirilmektedir (Kogan 2001).

Çizelge 3.12 VCI, TCI ve VHI Kuraklık şiddeti sınıflandırması (Kogan 2001)

VCI, TCI, VHI Değerleri (%)	<10	10-20	20-30	30-40	40-60	>60
Kuraklık Şiddeti	Aşırı	Şiddetli	Orta	Hafif	Normal	Nemli

3.2.12 Bitki Örtüsü Su Arzı İndeksi (VSWI)

VSWI özellikle orta ile yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda toprak neminin bir göstergesi olarak değerlendirilen bir ölçümdür. Bitkiler kuraklığa maruz kaldıklarında, su kaybını önlemek için terlemeyi azaltırlar. Bitki örtüsü (kanopi) sıcaklığı ise terleme oranındaki azalmadan sonra düşmeye başlar ve vejetasyon su durumu için iyi bir gösterge olarak kullanılabilir.

VSWI çok düşük olduğunda bitki örtüsünün terleme hızı düşer ve kuraklık meydana gelir. VSWI değeri ne kadar küçükse o bölgedeki kuraklık o ölçüde ciddidir. Genel olarak LST/NDVI (ya da NDVI/LST) oranının kuraklık koşullarını hızlı belirleyen bir yöntem olduğu kabul edilmektedir (Arslan vd. 2016). VSWI, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır ve herhangi bir sınıflandırması yoktur.

$$VSWI = \frac{NDVI}{LST}$$

Zaman serisi içinde VSWI değeri ne kadar düşükse o kadar kurak, ne kadar yüksekse o kadar nemli dönemi ifade etmektedir. MODIS uydusundan aynı döneme ait NDVI ve LST görüntüleri yardımıyla VSWI raster görüntüleri eşitlik kullanılarak elde edilmiştir.

3.2.13 Fenolojik dönemlerin belirlenmesi

Çalışmada analizlerin büyüme dönemlerine göre yapılması planlanmıştır. İşletmede fenolojik gözlemlere ilişkin kayıt bulunmamaktadır. Yörede çalışan saha uzmanlarından ayrı olarak alınan bilgiler sonucunda buğdayın ortalama büyüme dönemlerine ilişkin çizelge 3.13'teki bilgiler derlenmiştir.

Yıllık büyüme dönemleri içinse referans olarak MGM fenolojik gözlem kayıtlarından yararlanılmıştır. MGM tarafından yayınlanan *Fenolojik Gözlemler* el kitabında tahıllar için belirlenen fenolojik aşamalar Ekim, Çıkış, 3. Yaprak, Kardeşlenme, Sapa kalkma, Başaklanma (Püsküllenme), Çiçeklenme, Olgunlaşma ve Hasat şeklindedir. Ekim; tohumların ekildiği tarihi, Çıkış; ilk yaprağın toprak yüzüne çıkışını, 3. Yaprak; üçüncü yaprağın 1 cm'yi bulmasını, Kardeşlenme; ilk gövde düğümünün toprağın 1-2 cm üzerine çıkmasını, Sapa Kalkma; bitkinin hızla büyüdüğü tarihi, Başaklanma; yaprağın kınından başağın meydana gelmesini, Çiçeklenme; çiçeklerin ilk görüldüğü tarihi, Olgunlaşma; başakların tipik rengini almasını, Hasat ise tanelerin sertleşerek hasat olgunluğuna ulaşmasını ifade etmektedir (Anonim 2005). Ancak fenolojik gözlemlerde düzensizlikler söz konusu olabilmekte ve 2011 yılından sonra ise gözlem kayıtları bulunmamaktadır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde işletmeye en yakın konumda olan ve gözlem devamlılığı en yüksek istasyonun *Yunak* olduğu tespit edilmiştir.

Fenolojik dönemler Yunak istasyonuna ait 1995-2009 yılları arası buğday fenolojik gözlem kayıtlarından yararlanılarak BDG (Büyüme Derece Gün) esasına göre belirlenmiştir. İlk olarak Yunak istasyonu 1995-2009 yılları arası gözlem kayıtlarından yola çıkarak buğday için fenolojik dönemlerin ortalama BDG değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama BDG değerleri ile işletmeye ait ekim-hasat tarihlerine oranlanarak fenolojik dönemler belirlenmiştir. İşletmenin hasat tarihi kayıtları buğdayın tarladan toplandığı tarihi, MGM gözlem kayıtları ise buğdayın hasat olgunluğuna ulaştığı dönemi

işaret etmektedir. Bu nedenle MGM ve İşletme kayıtlarının fenolojik dönem uzunluğu ortalamaları arasındaki farktan yola çıkarak buğdayın toplanmadan önce tarlada beklediği ortalama gün belirlenmiş ve işletmenin hasat tarihleri bu değere göre düzeltilerek hasat olgunluğu tarihi belirlenmiştir.

Çizelge 3.13 Altınova Tarım İşletmesi buğday gelişme dönemleri

Gelişme Dönemi	Açıklama	Tarih Aralığı
Ekim	Kışlık ekimler 20 Eylül'den sonra başlamakta ve 30-40 gün kadar sürmektedir.	20 Eylül – 30 Ekim
Çıkış	Çıkışlar yağışın durumuna göre değişmektedir. Normal koşullarda ekimden yaklaşık olarak 10-15 gün sonra çıkış gerçekleşmektedir.	10 – 15 Kasım
Kış Uykusu	Yörede buğday yaklaşık olarak 100-115 gün arası uyku dönemi geçirmektedir.	Çıkış-Kardeşlenme-Uyku ve tekrar Kardeşlenme
Kardeşlenme	Bu dönem gübreleme yapılır. Gübreleme için yağmurun yakalanması beklenir. Şubat ayı sonu mart ayı başı gibi sıcaklığa da bağlı olarak kardeşlenme olur.	25 Şubat – 5 Mart
Kök Gelişimi	Sapa Kalkma öncesi dönem	5 Mart – 10 Nisan arası
Sapa Kalkma	Kardeşlenmeden sonra yağışa en çok ihtiyaç duyulan döneme girilmektedir. Nisan ayı ortalarında gerçekleşmeye başlamaktadır.	10 – 15 Nisan
Başaklanma	Sapa kalkma dönemi sonrası ortalama olarak 15-20 gün sümektedir. Mayıs ayı ilk yarısı gibi gerçekleşmektedir.	20 Nisan – 15 Mayıs
Çiçeklenme	Mayıs ayı sonlarına doğru gerçekleşmektedir.	25 Mayıs – 5 Haziran
Olgunlaşma	Fizyolojik olgunlaşmaya kadar geçen süredir.	5 – 15 Haziran
Hasat Olgunluğu	Haziran ayı ortalarından başlayarak, Temmuz ayı başlarına kadar sürmektedir.	15 Haziran – 5 Temmuz
Hasat	Buğdayın tarladan toplandığı zamandır. Kuruması beklenmektedir.	5– 15 Temmuz

BDG hesaplamaları için ERA5 setine ait günlük minimum ve maksimum sıcaklık verileri kullanılmıştır. Buğday için eşik değerler olan taban sıcaklığı 0 °C, tavan sıcaklığı ise 30

°C olarak kabul edilmiş ve BDG değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Doğan ve Karabulut, 2022).

$$BDG = \left[\frac{T_{min} + T_{max}}{2} \right] - T_{eşik}$$

Eşitlikte T_{min} günlük minimum sıcaklık, T_{max} günlük maksimum sıcaklık ve $T_{eşik}$ eşik sıcaklık değerini ifade etmektedir.

Çalışmada çeşitlere ve fenolojik dönemlere göre belirlenen ortalama BDG değerleri çizelge 3.13'te verilmiştir. Toplamda en yüksek BDG değerleri Bayraktar çeşidinde görülürken, çalışılan buğday çeşitleri için genel olarak; ekilişten hasat olgunluğuna kadar gerekli BDG değerlerinin ortalama 2100-2300 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Çizelgede Ekim 'E', Çıkış 'Ç', Kardeşlenme 'K', Sapa Kalkma 'S', Başaklanma 'B', Çiçeklenme 'Çi', Olgunlaşma 'O' ve Hasat Olgunluğu 'H' kısaltmalarıyla gösterilmiştir (Çizelge 3.14).

Çizelge 3.14 Çeşitlerin büyüme derece gün (BDG) değerleri (°C)

Çeşit	Gösterim	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	Σ BDG
Kızıltan	Dönemsel	250.4	572.5	192.7	253.9	292.1	321.8	296.7	2180.1
	Eklemeli	250.4	823.0	1015.6	1269.5	1561.6	1883.5	2180.1	
Bayraktar	Dönemsel	265.0	605.7	203.8	268.6	308.9	340.5	313.9	2306.5
	Eklemeli	265.0	870.7	1074.5	1343.1	1652.1	1992.6	2306.5	
Bezostaya	Dönemsel	241.3	551.6	185.6	244.6	281.3	310.1	285.9	2100.3
	Eklemeli	241.3	792.9	978.5	1223.1	1504.4	1814.4	2100.3	

BDG değerlerine göre büyüme dönemlerinin tarihleri belirlenmiştir. Bu tarihler arasında kalan aylık indeks değerlerinin ortalamaları alınarak büyüme dönemlerini temsil eden indeks değerleri hesaplanmıştır.

3.2.14 Meteorolojik ve tarımsal kuraklık ilişkisinin belirlenmesi

Çalışmada meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklık üzerine etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla SPI ve SPEI ile VCI, TCI, VHI ve VSWI arasındaki korelasyonlara bakılmıştır. SPI ve SPEI bütün zaman ölçeklerine (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık) ve uydu tabanlı tarımsal kuraklık indeksleri ise büyüme dönemlerine göre ele alınmıştır. Öncelikle her bir çeşit için ayrı ayrı işlemler yapılmıştır. Örneğin Bayraktar çeşidinde VCI üzerine SPI-SPEI etkileri şöyle değerlendirilmiştir:

- Tüm Bayraktar parsellerinde büyüme dönemlerine göre belirlenen VCI kuraklık değerleri ile SPI ve SPEI’de tüm zaman ölçekleri (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık) içindeki her ay için korelasyonlara bakılmıştır.
- Böylece, örneğin SPI-3 ~ VCI için tüm parsellerde her büyüme dönemine karşılık gelen aylık korelasyon değerleri elde edilmiştir.
- Daha sonra her parsel için belirlenen, büyüme dönemlerine ait aylık korelasyon değerleri, her biri kendi büyüme dönemine göre gelecek şekilde alt alta tekrar düzenlenmiştir. Böylece kaç parsel varsa o kadar sayıda, örneğin, E-Ç dönemi için aylık korelasyon değerleri bir araya toplanmış olmaktadır.
- Bundan sonra tüm parselleri temsil eden ortak bir korelasyon değerinin belirlenmesi için her aya karşılık gelen korelasyon değerlerinin medyanları hesaplanmaktadır.
- Böylece SPI-3 ile E-Ç dönemini temsil eden her ay için sadece bir korelasyon değeri elde edilmiş olmaktadır.
- SPI-3 ile E-Ç dönemindeki VCI arasındaki en yüksek korelasyonun belirlenmesi için aylık bu korelasyon değerleri arasından en yüksek olanı seçilmektedir.
- Bu işlem SPI ve SPEI tüm zaman ölçekleri ve uydu tabanlı indekslerin (VCI, TCI, VHI ve VSWI) tüm büyüme dönemleri ve her çeşit için yapılmaktadır.

Elde edilen sonuçlar, ileride Bulgular bölümünde çizelgeler halinde özetlenmiştir. Çizelgelerde her bir uydu tabanlı indeks üzerine meteorolojik kuraklığın en yüksek etkili olduğu indeks (SPI, SPEI), zaman ölçeği (1, 3, 6, 9, 12 ve 24) ve ay, her çeşit için ayrı şekilde belirlenerek gösterilmiştir.

3.2.15 Verim tahmin modeli

Çalışmanın temel amacı, proaktif yaklaşımın bir gereği olarak buğday çeşitleri için verim tahmin modellerinin geliştirilmesidir. Uydu tabanlı kuraklık indeksleri ve buğday verimleri temel değişkenler olarak kabul edilerek modellerin kurulması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tahmin modellerinin kurulmasında, tekli veya çoklu regresyon gibi klasik istatistik yöntemlerinden yararlanılabileceği gibi yapay zekâ temelli çeşitli yaklaşımlardan da yararlanılabilmektedir. Günümüzde her iki yaklaşımda da hesaplamaların daha hızlı ve kolay gerçekleştirilmesine olanak sağlayan çeşitli istatistik yazılımlar ya da geliştirme ortamları bulunmaktadır.

Burada verim tahmin modellerinin kurulmasında yapay zekânın bir alt dalı olan *Makine Öğrenmesi* temelli algoritmalarından yararlanılmış ve ilgili işlemler 'WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis)' yazılımında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 WEKA 3.8.6 versiyonu arayüzü

WEKA, açık kaynak kodlu bir yazılım olup, veri hazırlama, sınıflandırma, regresyon, kümeleme ve görselleştirme benzeri araçları içeren bir makine öğrenimi algoritmaları koleksiyonudur (Frank vd. 2016).

Makine öğrenmesi, çevreleyen ortamdan öğrenerek insan zekâsını taklit etmek için tasarlanmış, gelişen bir hesaplama algoritmaları dalıdır ve makine öğrenmesine dayalı teknikler, mühendislik, finans, eğlence, biyoloji ve tıbbi uygulamalar gibi çeşitli alanlarda başarıyla uygulanmıştır (El Naqa ve Murphy 2015).

WEKA ile tahmin modellemesinde kullanılabilecek makine öğrenmesi algoritması seçenekleri oldukça fazladır. Programda kullanılacak veri seti CSV formatında açıldığında uygun algoritmalar aktif hale gelmektedir. Aşağıda çalışmada kullanılan algoritmalar ve yer aldıkları gruplar WEKA’da kullanıldıkları isimleriyle görülmektedir (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15 Modellemede kullanılan algoritmalar

Grup	Açıklama	Kullanılan Algoritmalar
Functions	Bir işlevi tahmin eden algoritmalar	-LinearRegression -MultilayerPerceptron
Lazy	Lazy öğrenmeyi kullanan algoritmalar	-IBk -KStar -LWL
Meta	Birden fazla algoritma kullanan veya birleştiren algoritmalar	-Bagging
Rules	Kuralları kullanan algoritmalar	-DesicionTable -M5Rules
Trees	Karar ağaçlarını kullanan algoritmalar	-M5P -RandomForest -RandomTree -REPTree

Linear Regression (doğrusal regresyon): İki ya da daha çok sayıda değişken arasında herhangi bir ilişki olup olmadığının incelenmesi ve bu ilişkinin derecesinin belirlenmesidir. Genel bir ifadeyle; X ile gösterilen *bağımsız* değişkenin, Y ile gösterilen *bağımlı* değişken üzerine etkisini konu almaktadır (Yurtsever 1984). Eğer herhangi bir bağımlı Y değişkenini etkileyen tek bir bağımsız X değişkeni varsa *basit doğrusal regresyon*, birden fazla bağımsız değişken ($X_1, X_2 \dots X_n$) var ise *çoklu doğrusal regresyon* söz konusudur.

Multilayer Perceptron (çok katmanlı algılayıcı): Bir tür yapay sinir ağı olan çok katmanlı algılayıcılar, bir giriş vektörü ile bir çıkış vektörü arasında doğrusal olmayan bir eşlemeyi temsil eden, birbirine bağlı nöronlar veya düğümler (nodes) sisteminden oluşmaktadır. Basit doğrusal olmayan birçok transfer fonksiyonu üst üste binerek, çok katmanlı algılayıcının doğrusal olmayan fonksiyonlara yaklaşmasını sağlamaktadır. Eğer söz konusu transfer fonksiyonları doğrusal olsalardı, çok katmanlı algılayıcı yalnızca doğrusal fonksiyonları modelleyebilirdi. Çok katmanlı algılayıcılar, eğitim yoluyla öğrenme yeteneğine sahiptirler ve denetimli bir şekilde öğrenmektedirler. Eğitim, bir dizi girdi ve çıktı vektörlerinden oluşan bir eğitim verisiyle gerçekleştirilmektedir. Eğitim sırasında, çok katmanlı algılayıcıya eğitim verileri tekrar tekrar sunulmakta ve ağıdaki ağırlıklar, istenen girdi-çıkı eşlemesi oluşana kadar ayarlanmaktadır (Gardner ve Dorling 1998). WEKA’da tüm algoritmalar için model tasarımı; seçenekleri ifade eden harfler ve yanlarında girilen değerler şeklinde gösterilmektedir. Örneğin; Multilayer Perceptron algoritması için ‘-L 0.3 -M 0.2 -N 500 -V 0 -S 0 -E 20 -H a’ tasarımında her bir seçenek ‘-’ ile ayrılmış, kullanılan harflerle seçenekler belirtilmiş ve bir boşluk bırakılarak, o seçenek için girilen değer gösterilmiştir. Seçenekler değişmekle birlikte tüm algoritmalarda gösterim bu şekildedir. Bu algoritmanın temel seçenekleri aşağıda listelenmiştir.

- L, learningRate: Ağırlık güncellemeleri için öğrenme oranı
- M, momentum: Ağırlık güncellemelerine uygulanan momentum
- N, trainingTime: Eğitilecek çağ (epoch) sayısı
- V, validationSetSize: Doğrulama kümesinin yüzde boyutu
- S, seed: Kullanılacak rastgele sayı çekirdeği
- E, validationThreshold: Doğrulama testini sonlandırmak için kullanılır
- H, HiddenLayer: Sinir ağının gizli katmanlarını tanımlar

IBk (K-en yakın komşular sınıflandırıcısı): Basit ve zor bir yaklaşım olarak kabul edilen, parametrik olmayan denetimli bir sınıflandırıcıdır. Bir eğitim setinde saklanan k-en yakın komşuları tarafından bilinmeyen bir örneğin sınıf etiketini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bazı uzaklık fonksiyonlarına göre belirlenmektedir. Başarılı sonuçlar vermesine rağmen,

hassasiyetini artırmak için bazı uzantılar yapılmıştır (Akbulut vd. 2017). IBk algoritmasının temel seçenekleri (örnek: -K 1 -W 0 -A) şöyledir:

- K, KNN: Kullanılacak komşu sayısı
- V, windowSize: Eğitim havuzunda izin verilen maksimum örnek sayısını alır
- A, nearestNeighbourSearchAlgorithm: Kullanılacak en yakın komşu arama algoritması (varsayılan:LinearNNSearch)

Kstar (K*): Entropi tabanlı bir mesafe işlevi kullanan, örnek tabanlı bir sınıflandırıcıdır ancak kesinlikle bir mesafe fonksiyonu değildir. Örnek uzayındaki küçük değişikliklere çok duyarlı olma ve pürüzsüzlük problemlerine, iki örnek arasındaki tüm olası dönüşümleri toplayarak çözüm getirmeye çalışan bir algoritmadır (Cleary ve Trigg 1995).

KStar algoritması temel seçenekleri (örnek: -B 20 -M a) şunlardır:

- B, globalBlend: Global karıştırma için parametredir. Değerler 0-100 ile sınırlıdır
- M, missingMode: Eksik öznitelik değerlerinin nasıl ele alınacağını belirler

LWL (yerel ağırlıklı öğrenme): Yerel ağırlıklı bir öğrenme yöntemidir ve örnek tabanlı bir algoritma kullanmaktadır. Mesafe ağırlıklı bir regresyon yardımıyla bir yüzeyi yakındaki noktalara uydurmaktadır (Atkeson vd. 1997).

Bagging (torbalama): Bir tahmin edicinin birden çok sürümünü oluşturmak ve bunları toplu bir tahmin edici olarak kullanmak için geliştirilen bir yöntemdir. Doğrusal regresyonda sınıflandırma ve regresyon ağaçları ve alt küme seçimi kullanan gerçek ve simüle edilmiş veri setleri üzerinde yapılan testler, torbalamanın (bagging) doğrulukta önemli kazanımlar sağlayabileceğini göstermektedir (Breiman 1996). Bagging algoritması temel seçenekleri (örnek: P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10) şunlardır:

- P, bagSizePercent: Eğitim seti boyutunun yüzdesi olarak her çantanın boyutu
- S, seed: Kullanılacak rastgele sayı çekirdeği
- num-slots, numExecutionSlots: Topluluğu oluşturmak için kullanılacak yürütme yuvalarının (iş parçacıkları) sayısı

- I, numIterations: Gerçekleştirilecek yinleme sayısı

Decision Table (karar tablosu): Karar tabloları mümkün olan en basit hipotez uzaylarından biridir ve genellikle anlaşılması kolaydır. Sürekli özelliklere sahip veri kümelerinde performansı oldukça iyi olabilmektedir. Bu durum, makine öğrenmesinde kullanılan birçok veri kümesinin ya bu özellikleri gerektirmediğini ya da bu özelliklerin çok az değere sahip olduğuna işaret etmektedir (Kohavi 1995).

M5 Rules (M5 kuralları): Kural tabanlı bir öğrenme tekniği olup, nominal ve sayısal değerleri tahmin edebilmektedir. M5 kural setleri, model ağaçlarından üretilir ve kural algoritması, model ağacı oluşturma ve her döngüde en iyi kuralın belirlenmesi prensibine göre çalışmaktadır (Ayaz vd. 2015).

M5P: M5 algoritmasının genişletilmiş sürümüdür ve dört temel adımdan oluşmaktadır. Öncelikle, bir ağaç oluşturmak için girdi uzayı birkaç alt uzaya bölünür. Kökten düğüme kadar alt uzay içi değişkenlik, bölme kriteri kullanılarak en aza indirilir. Değişkenliği ölçmek için o düğüme ulaşan değerlerin standart sapması kullanılır. Ağacın inşası, düğümlerde beklenen hata azaltmayı maksimize eden standart sapma azaltma (SDR) faktörü kullanılır (Behnood vd. 2017). M5 Rules ve M5P algoritmaları seçenekleri (örnek: M 4.0 -num-decimal-places 4) aşağıdaki gibidir:

- M, minNumInstances: Bir yaprak düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı
- numDecimalPlaces: Modeldeki sayıların çıktısı için kullanılacak ondalık basamak sayısı

Random Forest (rastgele orman): Çok sayıda karar ağacının geliştirilmesiyle yürütülen bir topluluk makine öğrenimi tekniğidir. Rastgele ormanlar, her bir ağacın bağımsız olarak örneklenen ve ormandaki tüm ağaçlar için aynı dağılıma sahip rastgele bir vektörün değerlerine bağlı olduğu ağaç tahmincilerinin bir kombinasyonudur. Ormanlar için genelleme hatası ormandaki ağaç sayısı arttıkça sınırlanır. Bir ağaç sınıflandırıcı ormanın genelleme hatası, ormandaki tek tek ağaçların gücüne ve aralarındaki

korelasyona bağlıdır (Breiman 2001). Random Forest algoritması temel seçenekleri (örnek: -P 100 -I 10 -num-slots 3 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1) şunlardır:

- P, bagSizePercent: Eğitim seti boyutunun yüzdesi olarak her çantanın boyutu
- I, numIterations: Gerçekleştirilecek yineleme sayısı
- num-slots, numExecutionSlots: Topluluğu oluşturmak için kullanılacak yürütme yuvalarının (iş parçacıkları) sayısı
- K, numFeatures: Rastgele seçilen niteliklerin sayısını ayarlar. 0 ise $\text{int}(\log_2(\#\text{preditors}) + 1)$ kullanılır
- M, minNum: Bir yapraktaki örneklerin minimum toplam ağırlığı
- V, minVarianceProp: Regresyon ağaçlarında bölme işleminin yapılabilmesi için bir düğümde bulunması gereken tüm veriler üzerindeki varyansın minimum oranı
- S, seed: Kullanılacak rastgele sayı çekirdeği

Random Tree (rastgele ağaç): Rastgele seçilen 'K' niteliğini her düğümde dikkate alan bir ağaç oluşturmak için kullanılan ve budama yapılmayan bir sınıflandırma algoritmasıdır (Frank vd. 2016). Random Tree temel seçenekleri (örnek: -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1) aşağıdaki gibidir:

- K, KValue: Rastgele seçilen niteliklerin sayısını ayarlar. 0 ise $\text{int}(\log_2(\#\text{preditors}) + 1)$ kullanılır.
- M, minNum: Bir yapraktaki örneklerin minimum toplam ağırlığı
- V, minVarianceProp: Regresyon ağaçlarında bölme işleminin yapılabilmesi için bir düğümde bulunması gereken tüm veriler üzerindeki varyansın minimum oranı
- S, seed: Kullanılacak rastgele sayı çekirdeği

REP Tree (rep ağacı): Azaltılmış hata budama ağacı (rep ağacı), karar ağacının bir topluluk modelidir ve en yüksek bilgi-fayda oranının önemine göre regresyon ağacını bölerek ve budayarak bir karar regresyon ağacı oluşturmaktadır (Ahmad vd. 2020). REP Tree algoritması seçenekleri (Örnek: M 2 -V 0.001 -N 3 -S 1 -L -1 -I 0.0) şöyledir:

- M, minNum: Bir yapraktaki örneklerin minimum toplam ağırlığı
- V, minVarianceProp: Regresyon ağaçlarında bölme işleminin yapılabilmesi için bir düğümde bulunması gereken tüm veriler üzerindeki varyansın minimum oranı
- N, numFolds: Budama için kullanılan veri miktarını belirler.
- S, seed: Kullanılacak rastgele sayı çekirdeği
- L, maxDepth: Maksimum ağaç derinliği (kısıtlama olmaması için -1)
- I, initialCount: İlk sınıf değeri sayısı

Çeşit temelli buğday verim tahmin modelleri yukarıda bahsedilen algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modellemelerde bağımlı değişkenler (output) olarak Bayraktar, Kızıltan ve Bezostaya çeşitlerine ait verimler, bağımsız değişkenler (input) olarak ise büyüme dönemlerine ve aylara göre uydu tabanlı indeksler (NDVI, LST, VHI ve VSWI) ile dönemsel ve kümülatif olarak büyüme dönem uzunlukları kullanılmıştır. Model değişkenleri ve sembolleri çizelge 3.16’da görülmektedir.

Çizelge 3.16 Model değişkenlerini ifade eden parametreler ve sembolleri

Sıra	Parametre	Sembol	Sıra	Parametre	Sembol
1	NDVI	N	14	Olgunlaşma-Hasat Olgunluğu (O-H)	6
2	LST	L	15	Eylül	Ey
3	VHI	VH	16	Ekim	Ek
4	VSWI	Vs	17	Kasım	Ka
5	Verim (kg/da)	Y	18	Aralık	Ar
6	Büyüme Dönem Uzunlukları (gün)	Bg	19	Ocak	Oc
7	Kümülatif Büy. Dön. Uzun. (gün)	acBg	20	Şubat	Sb
8	Ekim-Çıkış (E-Ç)	0	21	Mart	Mr
9	Çıkış-Kardeşlenme (Ç-K)	1	22	Nisan	Ni
10	Kardeşlenme-Sapa kalkma (K-S)	2	23	Mayıs	My
11	Sapa Kalkma-Başaklanma (S-B)	3	24	Haziran	Hz
12	Başaklanma-Çiçeklenme (B-Çi)	4	25	Ayın 1-15 arası dönemi	I
13	Çiçeklenme-Olgunlaşma (Çi-O)	5	26	Ayın 16-31 arası dönemi	II

Model değişkenleri bu parametrelerin kombinasyonları şeklinde belirlenmiştir. Örneğin, sapa kalkma-başaklanma arası NDVI ‘N3’, Nisan ayının ikinci yarısındaki LST

‘L_Ni_II’ şeklinde sembolize edilmiştir. Eğer birden fazla dönem birlikte modellenecekse değişkenlerin başlangıcı ile bitişi arasında ‘-’ konularak gösterim yapılmıştır. Örnekle açıklamak gerekirse; çıkıştan-olgunlaşmaya kadar olan NDVI değerleri için değişkenler ‘N0-N5’ şeklinde gösterilmiş olup, N0, N1, N2, N3, N4 ve N5’ten oluşan 6 adet bağımsız değişkenin birlikte modellendiğini ifade etmektedir.

Farklı indeksler birlikte modellenecekse değişken öbekleri virgül (,) ile ayrılarak gösterilmiştir. Örneğin; ‘N0-N3, L0-L3’ gösterimi çıkıştan-başaklanmaya kadar olan NDVI ve LST değerlerinin birlikte modellendiğini ifade etmektedir. Bu durumda toplam bağımsız değişken sayısı 8’dir. Modellemelerde VCI ve TCI indeksleri NDVI ve LST’nin türevleri olması nedeniyle değişken olarak ele alınmamışlardır. Uydu tabanlı indekslerle büyüme dönemlerine ve aylara göre tek tek (örn; ‘VH4, Y’), eklemeli (örn; ‘VH_My_I, VH_My_II, Y’), birbirleriyle (örn; ‘N2, L2, Y’) ve büyüme dönem uzunluklarıyla kombine (örn; ‘N0-N5, acBg0-acBg5, Y’) olmak üzere, 3000’den fazla alternatif modelleme denemesi uygulanmıştır. Yukarıda anlatılan makine öğrenmesi algoritmaları tüm değişken kombinasyonlarında, eğitim setleri %70, %75 ve %80 şeklinde ayrı ayrı ayarlanarak ve algoritmaların kendine özgü (yukarıda açıklanan) seçeneklerinde değişiklikler yapılarak uygulanmıştır. Bu denemelerde çalışılan algoritma ve kombinasyona dair tasarım seçenekleri kaydedilmiş, modelleme esnasında-sonrasında korelasyon değerlerine göre elemeler yapılmış ve böylece başarılı model seçeneklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İşlemler sonucunda Bayraktar çeşidi için 21, Kızıltan çeşidi için 12 ve Bezostaya çeşidi için 8 adet model belirlenmiştir. Aşağıda çeşitler için model tasarımları (algoritma, sınıflandırıcılar) ve model eğitim yüzdeleri, model numaralarıyla birlikte görülmektedir. Bayraktar çeşidinde 10 ve 12 numaralı modeller hariç en başarılı modellerin genellikle *Bagging* algoritması ile kurulduğu belirlenmiştir. Sınıflandırıcı algoritmalar ise değişkenlik göstermektedir. Kızıltan çeşidinde ağırlıklı olarak *Lazy* öğrenme algoritmaları (KStar ve IBk) ile başarılı modeller kurulurken, Bezostaya çeşidinde ise *Bagging* algoritması ağırlıklı olmak üzere *Multilayer Perceptron*, *Lazy*, *Trees* ve *Rules* algoritmalarıyla kurulan model örnekleri de bulunmaktadır. (Çizelge 3.17, 3.18 ve 3.19). Modellerin kurulmasında kullanılan değişkenler ve performans ölçütleri ise *Bulgular* bölümünde paylaşılmıştır.

Çizelge 3.17 Bayraktar çeşidi verim tahmin modellerinin tasarımları

Model	Eğitim	Algoritma	Sınıflandırıcı
1	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomTree -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
2	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
3	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomTree -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
4	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	M5P -M 4.0 -num-decimal-places 4
5	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomTree -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
6	75.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	REPTree -M 2 -V 0.001 -N 3 -S 1 -L -I 0.0
7	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
8	75.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	REPTree -M 2 -V 0.001 -N 3 -S 1 -L -I 0.0
9	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
10	80.00%	MultilayerPerceptron -L 0.3 -M 0.2 -N 500 -V 0 -S 0 -E 20 -H a	
11	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	REPTree -M 2 -V 0.001 -N 3 -S 1 -L -I 0.0
12	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	M5P -M 4.0 -num-decimal-places 4
13	80.00%	MultilayerPerceptron -L 0.3 -M 0.2 -N 500 -V 0 -S 0 -E 20 -H a	
14	75.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
15	75.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	REPTree -M 2 -V 0.001 -N 3 -S 1 -L -I 0.0
16	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	REPTree -M 2 -V 0.001 -N 3 -S 1 -L -I 0.0
17	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
18	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
19	70.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
20	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomTree -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
21	70.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	RandomForest -P 100 -I 10 -num-slots 3 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1

Çizelge 3.18 Kızıltaın çeşidi verim tahmin modellerinin tasarımları

Model	Eğitim	Algoritma	Sınıflandırıcı
1	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 100 -W	M5P -M 4.0 -num-decimal-places 4
2	80.00%	lazy.IBk -K 1 -W 0 -A	
3	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	REPTree -M 2 -V 0.001 -N 3 -S 1 -L -I 0.0
4	80.00%	lazy.KStar -B 20 -M a	
5	75.00%	lazy.IBk -K 1 -W 0 -A	
6	70.00%	lazy.IBk -K 1 -W 0 -A	
7	80.00%	MultilayerPerceptron -L 0.3 -M 0.2 -N 450 -V 0 -S 0 -E 20 -H "3, 6"	
8	80.00%	MultilayerPerceptron -L 0.2 -M 0.1 -N 300 -V 0 -S 0 -E 20 -H 2	
9	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 20 -W	M5P -M 4.0 -num-decimal-places 4
10	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	REPTree -M 2 -V 0.001 -N 3 -S 1 -L -I 0.0
11	70.00%	lazy.KStar -B 20 -M a	
12	80.00%	MultilayerPerceptron -L 0.3 -M 0.2 -N 500 -V 0 -S 0 -E 20 -H "2, 2"	

Çizelge 3.19 Bezostaya çeşidi verim tahmin modellerinin tasarımları

Model	Eğitim	Algoritma	Sınıflandırıcı
1	80.00%	MultilayerPerceptron -L 0.3 -M 0.2 -N 400 -V 0 -S 0 -E 20 -H 100	RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
2	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 100 -W	RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
3	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	trees,RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
4	80.00%	MultilayerPerceptron -L 0.2 -M 0.2 -N 350 -V 0 -S 0 -E 20 -H 100	RandomTree -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1 -do-not-check-capabilities
5	80.00%	Bagging -P 100 -S 1 -num-slots 1 -I 10 -W	
6	75.00%	RandomForest -P 100 -I 100 -num-slots 1 -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1	
7	80.00%	lazy.IBk -K 1 -W 0 -A	
8	80.00%	M5Rules -M 4.0 -num-decimal-places 4	

Tasarımları paylaşılan modellerin seçiminde model performansının başarısı, kullanılan değişkenlerin sayısı ve erken tahmin kriterleri dikkate alınmıştır. Diğer bir ifadeyle; en yüksek model performansının (yüksek R^2 değeri), mümkün olan en erken dönemde, mümkün olduğunca az sayıda değişken kullanımıyla sağlanması amaçlanmıştır. Bezostaya çeşidinde Model-8 hariç, çeşitlerin tümünde tavsiye edilen modellerde $R^2 \geq 0.70$ ölçütü kabul edilmiştir. Bezostaya Model-8 ise tek değişkenle $R^2 \approx 0.69$ 'luk bir başarı yakaladığı için listeye eklenmiştir. Bu ölçütün altında kurulan modellere burada yer verilmemiştir. Kurulan modellerin başarısının değerlendirilmesinde aşağıda açıklanan çeşitli performans ölçütleri kullanılmıştır.

Correlation coefficient (r): Korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki doğrusal bir ilişkinin gücünün istatistiksel bir ölçüsüdür ve -1 ile 1 arasında değişen değerler almaktadır. Korelasyon katsayısının -1'e eşit olması negatif yönlü, 1'e eşit olması ise pozitif yönlü mükemmel bir ilişkiye işaret ederken, 0'a eşit olması doğrusal bir ilişkinin olmadığı anlamına gelmektedir. İki değişken (x ve y) arasındaki korelasyon aşağıdaki eşitlikte hesaplanmaktadır.

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Determination coefficient (R^2): R-Kare olarak da bilinen belirtme katsayısı, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin ne kadar güçlü olduğunu değerlendirmede kullanılır ve korelasyon katsayısının karesi olarak hesaplanmaktadır.

$$R^2 = (r_{xy})^2$$

Mean absolute error (MAE): Ortalama mutlak hata, gerçek değerler (x) ile tahmin edilen değerler (y) arasındaki hataları ifade eden istatistik bir ölçüdür ve mutlak hataların toplamının örneklem büyüklüğüne (n) bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n}$$

Root mean squared error (RMSE): Kök ortalama kare hata, sayısal tahminler için hata ölçüsü olarak sıklıkla kullanılmaktadır ve tüm hatanın karesinin ortalamasının kareköküdür.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|^2}{n}}$$

Relative absolute error (RAE) (%): Nispi mutlak hata, toplam mutlak hatanın alınması ve bunun ortalama ile gerçek değer arasındaki mutlak farka bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

$$RAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{\sum_{i=1}^n |y_i - \bar{x}_i|}$$

Root relative squared error (RRSE) (%): Kök nispi kare hata, bir modelin karesel hatalarının toplamıyla normalize edilmiş bir tahmine dayalı modelin karesel hatalarının toplamının karekökü olarak tanımlanır.

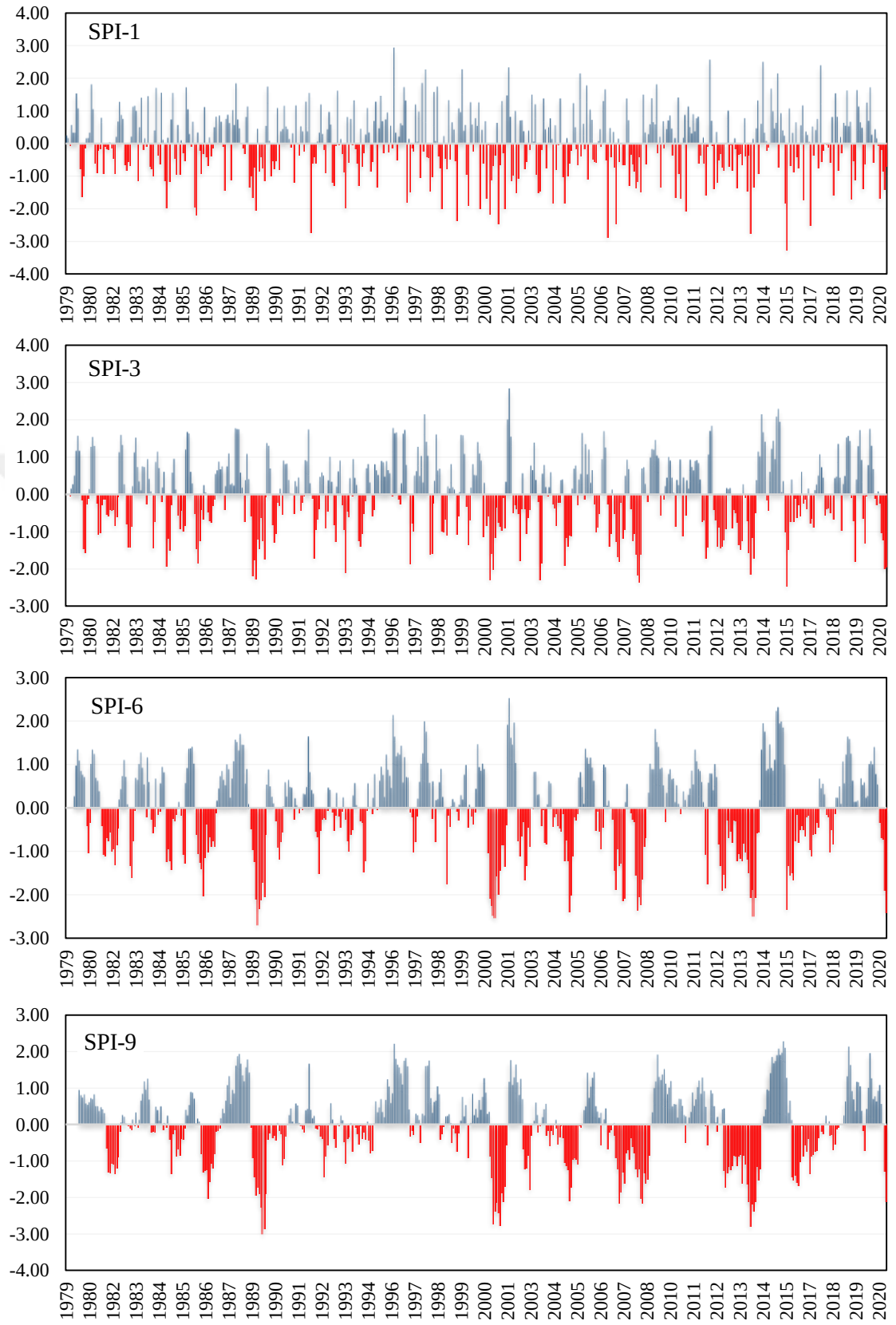
$$RRSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n |y_i - \bar{x}_i|^2}}$$

4. BULGULAR

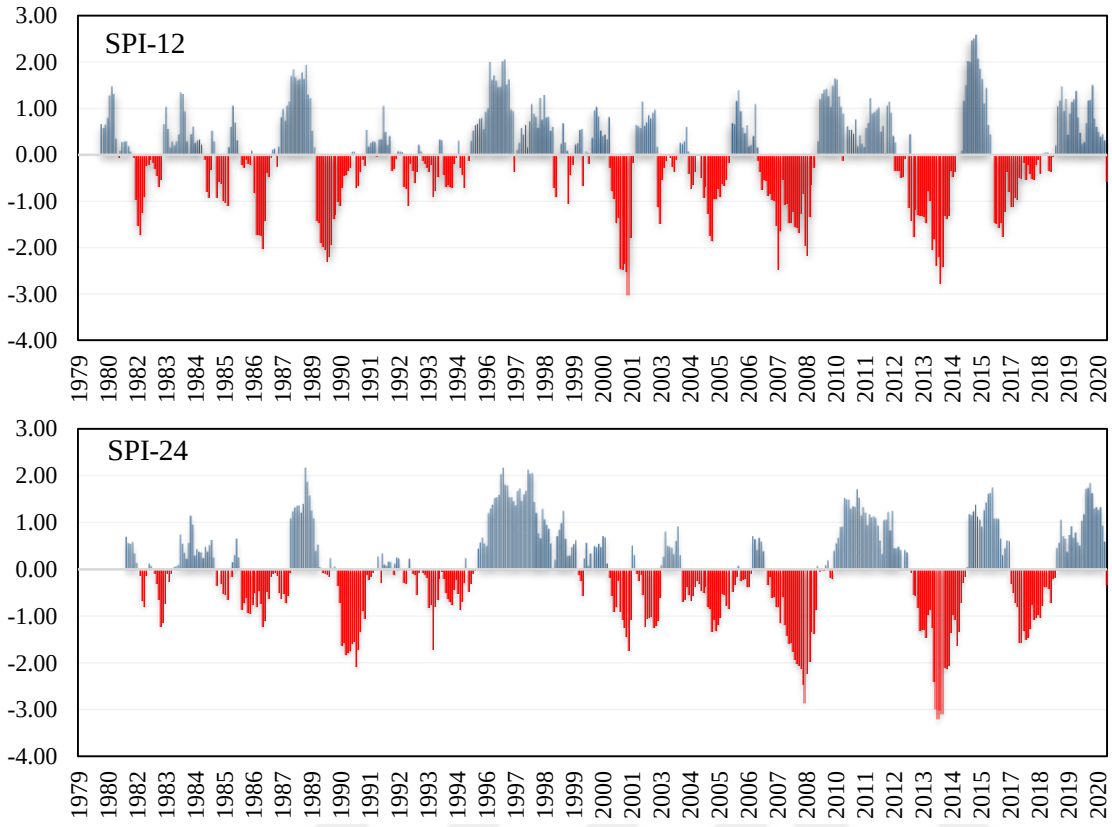
Konya Altınova bölgesi için SPI ve SPEI ile 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık analizleri yapılmış ve kuraklık indeks değerleriyle buğday çeşitlerinin verimleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuçlara göre; buğday verimleriyle en yüksek ilişkili zaman ölçekleri SPEI-6 ve SPEI-9 olarak belirlenmiştir. Bu zaman ölçeklerine iklim projeksiyonları uygulanmış, geleceğe yönelik öngörülerin yanında projeksiyonların geçmiş dönem setleriyle karşılaştırılması frekans analizleriyle yapılmış ve kuraklık şiddet sınıflarına göre yorumlanmıştır. Çalışmada ayrıca SPI ile SPEI'nin karşılaştırılması ve kuraklık zaman ölçeklerinin Mann-Kendall testi ile trend analizleri de yapılmıştır.

4.1 SPI ile Kuraklık Analizi

Konya Altınova bölgesinde meteorolojik kuraklığın değerlendirilmesinde ilk olarak uluslararası alanda kabul gören en önemli indekslerden biri olan SPI kullanılmıştır. SPI analizler yaklaşık 41 yıllık bir zaman serisi (Ekim 1979-Aralık 2020) için gerçekleştirilmiş olup, kuraklık grafikleri şekil 4.1'de görülmektedir. SPI-1 zaman ölçeğine göre araştırma periyodundaki toplam ayların %37.4'ü normal civarı seyrederken, %31.5'i nemli, %31.1'i ise kurak dönem olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler SPI-3 ölçeğine göre %36.3 normal civarı, %32.5 nemli, %31.2 kurak dönem, SPI-6 ölçeğine göre %36.1 normal civarı, %35.1 nemli, %28.8 kurak dönem, SPI-9 ölçeğine göre %41.9 normal civarı, %30.4 nemli, %27.7 kurak dönem, SPI-12 ölçeğine %40.1 normal civarı, %31.6 nemli, %28.3 kurak dönem, SPI-24 ölçeğine %38.6 normal civarı, %31.1 nemli ve %30.3 kurak dönem olarak gerçekleşmiştir.

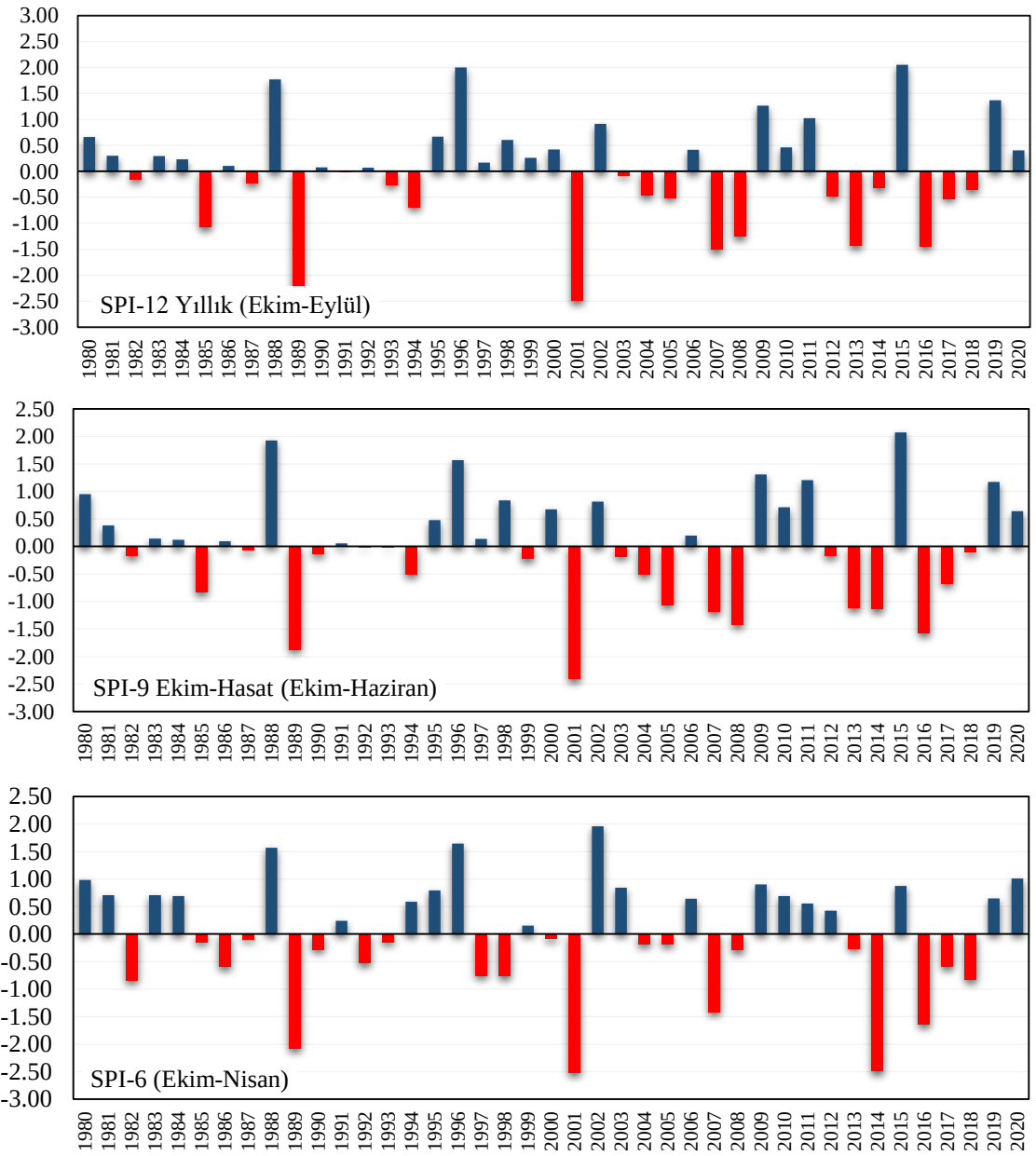


Şekil 4.1 SPI kuraklık grafikleri



Şekil 4.1 SPI kuraklık grafikleri (Devam)

Konya Altınova bölgesinde *Su Yılı* (Ekim-Eylül, 12 aylık) temel alınarak yapılan SPI analizlerine göre 41 yılın 21 yılı normal civarı, 10 yılı nemli, 10 yılı ise kurak dönem olarak gerçekleşmiştir. Burada $-0.50 \leq SPI \leq 0.50$ koşulu normal civarı dönemi ifade etmektedir. Bu periyot içinde 1996 ve 2015 yılları olağanüstü nemli, 1988 yılı aşırı nemli, 2019 yılı çok nemli olarak belirlenmiştir. Yörede 2001 ve 1989 yılları olağanüstü kurak olarak gerçekleşirken 2007, 2013 ve 2016 yıllarında şiddetli kuraklıklar, 2008 ve 1985 yıllarında ise orta şiddette kuraklıklar görülmüştür. Diğer dönemlerde normal civarı ile hafif-orta arası değişen şiddetlerde kurak ve nemli dönemler gerçekleşmiştir. Buğdayda ekimden hasada kadar geçen dönem (Ekim-Haziran, 9 aylık) ele alındığında ise; yukarıdakilere ek olarak 2005 ve 2014 yıllarında da orta şiddette kuraklığın yaşandığı görülmektedir. SPI-6 zaman ölçeğine göre ise; 1982, 1986, 1992, 1997, 1998 ve 2018 yılları kurak olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2).

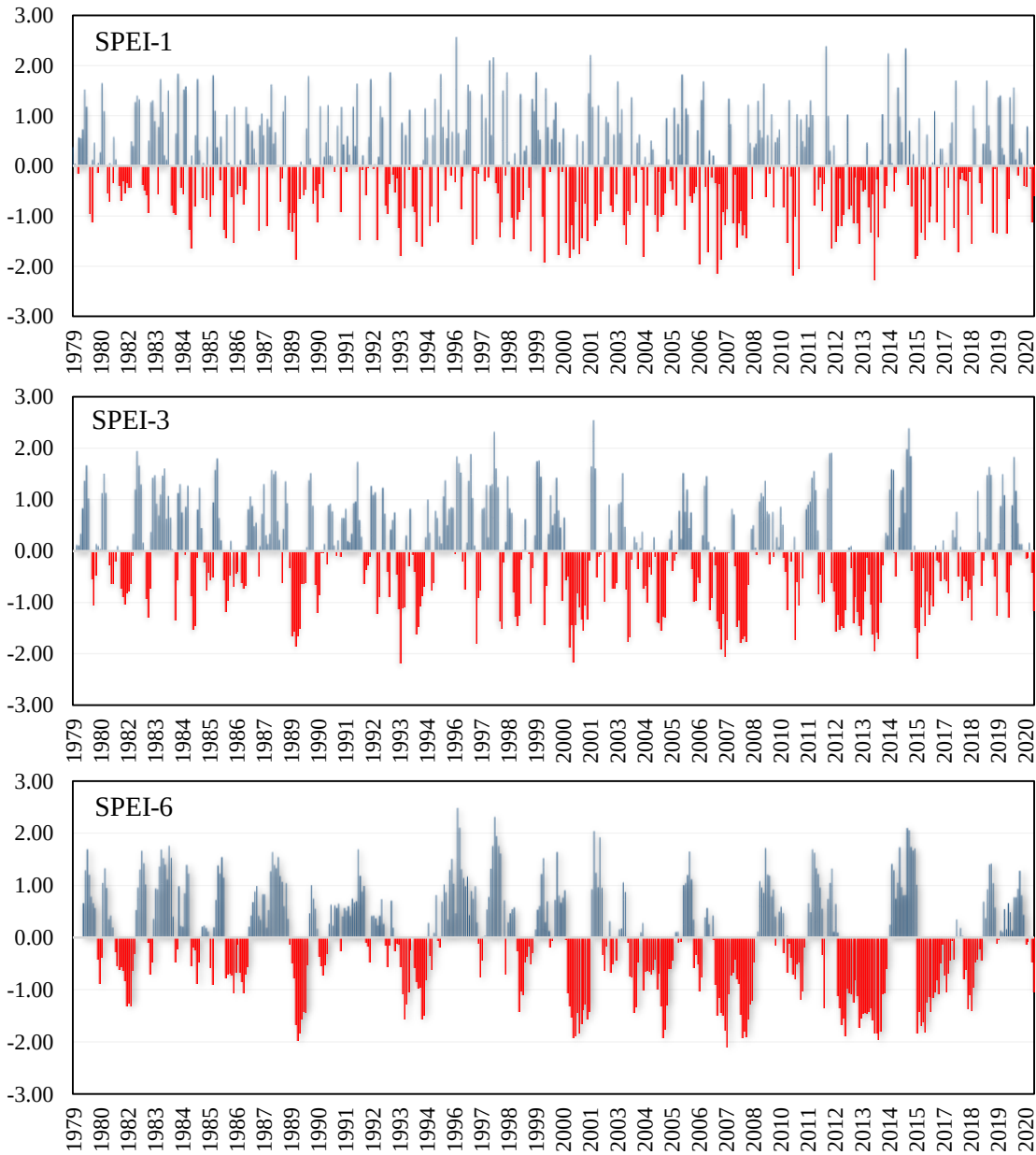


Şekil 4.2 SPI-12 (Su Yılı), SPI-9 (Ekim-Hasat) ve SPI-6'ya göre kuraklık

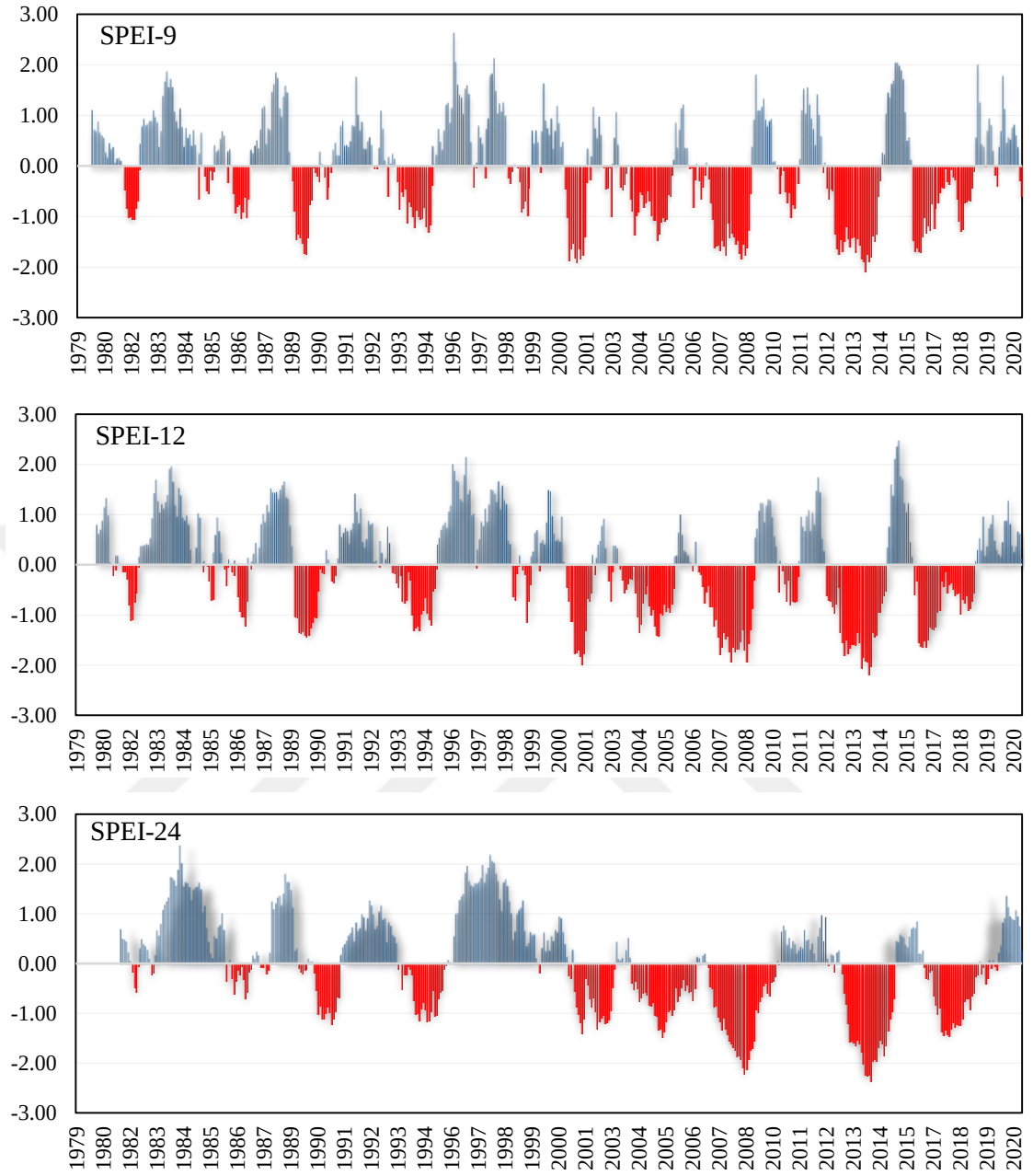
4.2 SPEI ile Kuraklık Analizi

Yörede meteorolojik kuraklık SPI temelli olarak geliştirilen ve içeriğinde yer alan RET katkısıyla su dengesi etkisini de hesaba katan SPEI ile de ele alınmıştır. Analizler SPI ile aynı periyot ve zaman ölçekleri için gerçekleştirilmiş olup, SPEI kuraklık grafikleri şekil 4.3'te görülmektedir. SPEI-1 zaman ölçeğine göre araştırma periyodundaki toplam ayların %35.2'si normal civarı seyredirken, %31.9'u nemli, %32.9'u ise kurak dönem

olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler SPEI-3 ölçeğine göre %34.9 normali civarı, %31.2 nemli, %33.9 kurak dönem, SPEI-6 ölçeğine göre %32.7 normali civarı, %33.9 nemli, %33.5 kurak dönem, SPEI-9 ölçeğine göre %34.3 normali civarı, %32.6 nemli, % 33.1 kurak dönem, SPEI-12 ölçeğine göre %33.3 normali civarı, %32.4 nemli, %34.3 kurak dönem, SPEI-24 ölçeğine göre ise %36.4 normali civarı, %30.5 nemli ve %33.1 kurak dönem olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.3).



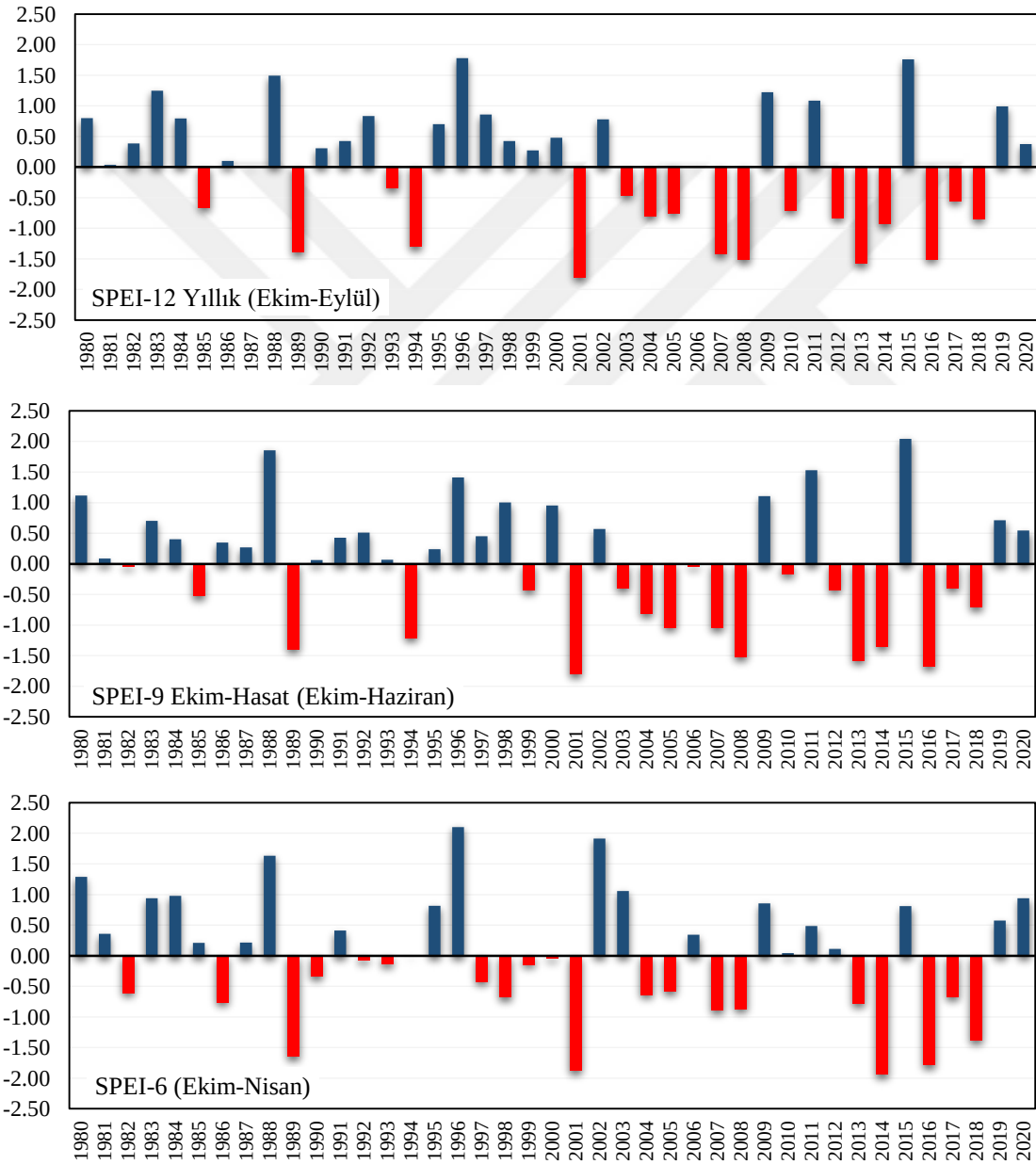
Şekil 4.3 SPEI kuraklık grafikleri



Şekil 4.3 SPEI kuraklık grafikleri (Devam)

Yörede *Su Yılı* temel alınarak yapılan SPEI analizlerine göre; 41 yılın 13 yılı normal civarı, 13 yılı nemli, 15 yılı ise kurak dönem olarak gerçekleşmiştir. Bu periyot içinde olağanüstü nemli herhangi bir dönem gerçekleşmemiş olup, en nemli dönemler 1996 ile 2015 yıllarında aşırı nemli, 1988 yılında çok nemli, 1983, 2009, 2011 ve 2019 ise orta şiddette nemli yıllar olarak belirlenmiştir. Yörede en kurak dönem 2001 yılında çok şiddetli kurak olarak gerçekleşirken, 1989, 1994, 2007, 2008, 2013 ve 2016 sezonlarında

şiddetli kuraklıklar görülmüştür. Su yılı açısından diğer dönemlerde normal civarı ile hafif-orta arası değişen şiddetlerde kurak ve nemli dönemler gerçekleşmiştir. Buğdayda ekimden hasada kadar geçen dönem (Ekim-Haziran, 9 aylık) ele alındığında; yukarıdakilere ek olarak 2005 yılının hafif şiddetliden orta şiddetli kuraklığa ve 2014 yılının ise orta şiddetliden şiddetli kuraklığa doğru eğilim gösterdiği belirlenmiştir. SPEI-6'ya göre ise; 1982, 1986 ve 1998 yıllarında kuraklık yaşanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 SPEI-12 (Su Yılı), SPEI-9 (Ekim-Hasat) ve SPEI-6'ya göre kuraklık

SPI ve SPEI ile farklı zaman ölçeklerinde kuraklık şiddet sınıflarına göre gerçekleşme yüzdeleri hesaplanmıştır. Buna göre; SPEI'nin tüm zaman ölçeklerinde SPI'ye göre kurak geçen dönemlerin gerçekleşme yüzdelerini daha yüksek oranda değerlendirdiği, SPI'nin ise normal civarında gerçekleşme yüzdesinin tüm zaman ölçeklerinde SPEI'ye göre daha yüksek oranda değerlendirdiği görülmektedir. SPI'ye göre tüm zaman ölçeklerinde (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık) kuraklık şiddet sınıflandırması %Normal>%Nemli>%Kurak şeklinde gerçekleşirken, SPEI'de bu dönemlerin % miktarları SPI indeksine nazaran birbirlerine göre daha yakın değerler olmasından dolayı, zaman ölçeklerinde farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, SPEI-1 ölçeğinde %Normal>%Kurak>%Nemli şeklinde gerçekleşirken, SPEI-9 ölçeğinde %Kurak>%Normal>%Nemli olarak gerçekleşmiştir. SPI'ye göre olağanüstü kuraklığın gerçekleşme yüzdesi tüm zaman ölçeklerinde olağanüstü nemliliğe göre daha yüksek iken, SPEI'ye göre 24 aylık zaman ölçeği hariç genellikle daha düşük veya yakın olarak seyretmektedir. SPI'ye göre 3 aylık zaman ölçeğinde orta şiddette kuraklığın gerçekleşme yüzdesi (%11.8) ve 6 aylık zaman ölçeğinde orta şiddette nemliliğin gerçekleşme yüzdesi (%14.7) en yüksek değerlerdir. SPEI'ye göre ise 1 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde orta şiddette kuraklığın gerçekleşme yüzdesi (%13.3) ile 12 aylık zaman ölçeğinde orta şiddette nemliliğin gerçekleşme yüzdesi (%15.3) en dikkat çekici değerler olarak karşımıza çıkmaktadır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Kuraklık şiddet sınıflandırmasına göre gerçekleşme yüzdeleri (%)

	n	≥2	1.60/1.99	1.30/1.59	0.80/1.29	0.51/0.79	0.50/-0.50	-0.51/-0.79	-0.80/-1.29	-1.30/-1.59	-1.60/-1.99	≤-2	Σ
SPI-1	495	1.8	3.2	4.2	10.5	11.7	37.4	11.5	9.5	3.8	3.8	2.4	100
SPI-3	493	1.0	4.1	4.9	11.8	10.8	36.3	8.9	11.8	4.7	3.9	2.0	100
SPI-6	490	0.8	3.1	4.3	14.7	12.2	36.1	7.6	10.2	3.9	2.9	4.3	100
SPI-9	487	1.0	4.7	3.1	11.7	9.9	41.9	5.5	11.3	3.9	2.9	4.1	100
SPI-12	484	1.2	3.5	4.1	12.0	10.7	40.1	8.1	8.9	4.8	3.3	3.3	100
SPI-24	472	1.3	3.0	6.4	10.6	10.0	38.6	11.0	9.7	4.0	2.5	3.0	100
SPEI-1	495	1.4	4.0	5.3	11.7	9.5	35.2	9.1	13.3	6.1	3.6	0.8	100
SPEI-3	493	0.6	4.1	6.5	13.4	6.7	34.9	10.5	11.8	6.9	3.9	0.8	100
SPEI-6	490	1.2	3.9	4.5	14.1	10.2	32.7	10.6	10.2	7.6	4.9	0.2	100
SPEI-9	487	1.0	4.1	3.7	13.1	10.7	34.3	8.2	11.3	7.4	6.0	0.2	100
SPEI-12	484	0.8	2.9	5.4	15.3	8.1	33.3	10.3	11.4	6.8	5.2	0.6	100
SPEI-24	472	1.1	5.3	3.8	10.4	10.0	36.4	9.1	13.3	4.9	4.0	1.7	100

n: Örnek Sayısı, Σ:Toplam

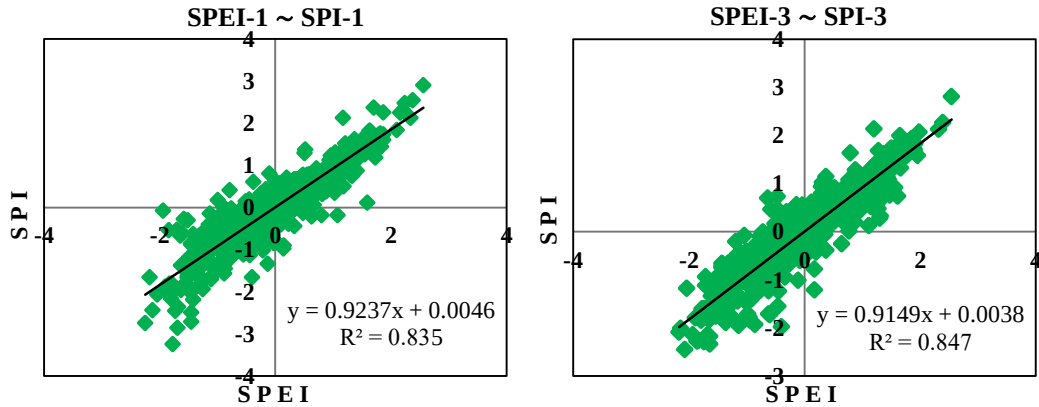
4.3 SPI ile SPEI İlişkisi

Su yılına göre SPI ve SPEI analizleri 40 yılı aşkın bir süre (1979-2020) için analiz edilmiştir. Bu zaman serisine göre analiz edilen tüm zaman ölçeklerinde (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık) SPI ve SPEI korelasyonlarına %95 anlamlı ($P \leq 0.05$) olmak koşuluyla bakılmıştır. En yüksek korelasyon ($r=0.920$) 3 aylık zaman ölçeğinde, en düşük korelasyon ($r=0.835$) ise 24 aylık zaman ölçeğinde belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

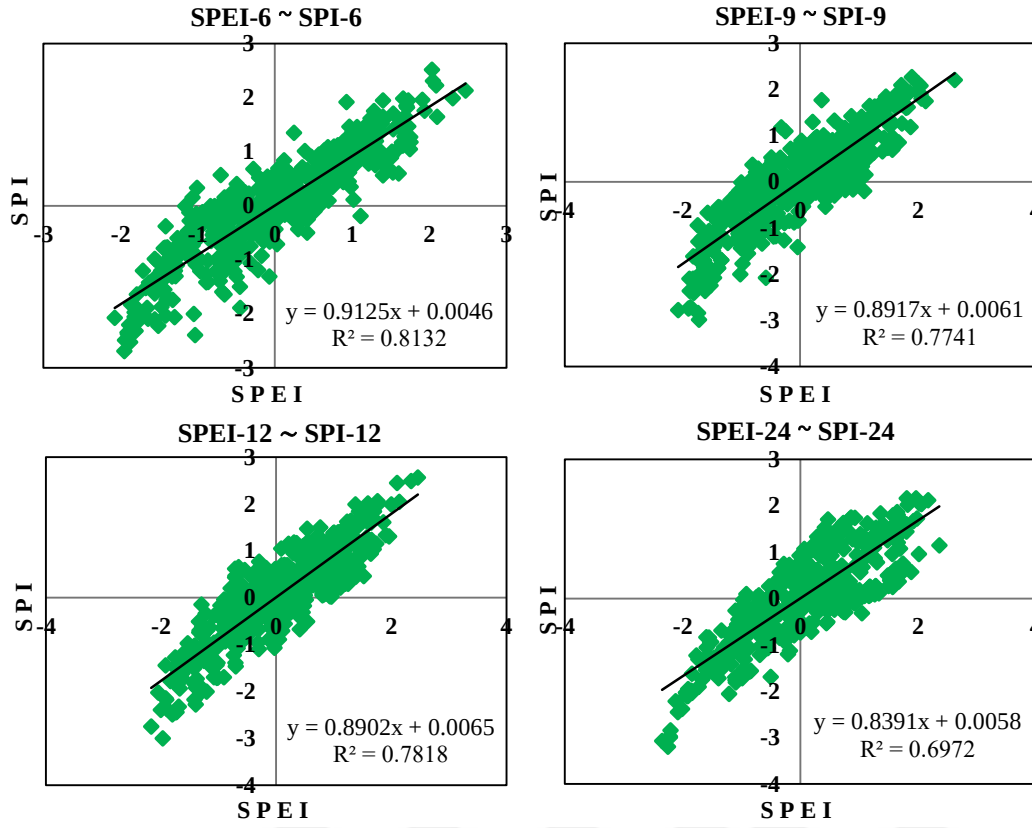
Çizelge 4.2 Zaman ölçeklerine göre SPI ile SPEI ilişkisi ve standart hatalar

Zaman Ölçeği	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Belirleme Katsayısı (R^2)	Standart Hata (SE)	P-Değeri
1	$y = 0.9237x + 0.0046$	0.914	0.835	0.404	<0.05
3	$y = 0.9149x + 0.0038$	0.920	0.847	0.384	<0.05
6	$y = 0.9125x + 0.0046$	0.902	0.813	0.431	<0.05
9	$y = 0.8917x + 0.0061$	0.880	0.774	0.475	<0.05
12	$y = 0.8902x + 0.0065$	0.884	0.782	0.463	<0.05
24	$y = 0.8391x + 0.0058$	0.835	0.697	0.544	<0.05

SPI-SPEI regresyon eşitlikleri ve dağılım grafikleri şekil 4.5'te görülmektedir. Genel olarak oldukça yüksek düzeyde ilişkiler belirlenmiş olmakla birlikte, zaman ölçeği büyüdükçe SPI ile SPEI arasındaki korelasyonlarda azalma göze çarpmaktadır. Bunun nedeni SPEI hesaplamalarında RET olarak dahil edilen diğer meteorolojik parametrelerin zaman ölçeğinin artmasına bağlı olarak sapma göstermesidir.



Şekil 4.5 Zaman ölçeklerine göre SPI ve SPEI ilişkisi dağılım grafikleri



Şekil 4.5 Zaman ölçeklerine göre SPI ve SPEI ilişkisi dağılım grafikleri (Devam)

SPI ve SPEI indekslerinin ilişkilerine zaman ölçekleri içindeki aylara göre de (%95 güven aralığında) bakılmıştır. Buna göre, 1 aylık zaman ölçeğinde Kasım (0.980) ile 3 aylık zaman ölçeğinde Ocak (0.980) en kuvvetli ilişkiler olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Zaman ölçeklerinde aylara göre SPI ve SPEI korelasyonları (r)

Aylar	1	3	6	9	12	24
Ekim	0.946	0.866	0.888	0.910	0.893	0.865
Kasım	0.980	0.915	0.858	0.868	0.891	0.842
Aralık	0.953	0.956	0.823	0.807	0.812	0.816
Ocak	0.959	0.980	0.885	0.829	0.863	0.831
Şubat	0.946	0.971	0.943	0.848	0.853	0.823
Mart	0.902	0.941	0.932	0.850	0.864	0.801
Nisan	0.955	0.948	0.943	0.915	0.877	0.826
Mayıs	0.934	0.921	0.927	0.936	0.902	0.831
Haziran	0.953	0.937	0.906	0.938	0.911	0.833
Temmuz	0.856	0.915	0.923	0.914	0.919	0.841
Ağustos	0.723	0.918	0.906	0.892	0.923	0.857
Eylül	0.847	0.774	0.891	0.851	0.902	0.854

4.4 Kuraklık Trend Analizi

SPI ve SPEI'ye göre 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri ve dört mevsim için yapılan analiz sonuçları çizelge 4.4-4.15 ve 4.16'da verilmiştir. Çizelgelerde aylar su yılına göre sıralanmıştır. Trend serisinin başladığı yıl *ilk yıl*, bittiği yıl *son yıl*, yıl sayısı *n* olarak belirtilmiştir. Sağ tarafta yer alan *Z Test* kolonunda ise belirlenen trend durumu pozitif ve negatif değerler kullanılarak gösterilmiştir. Negatif işaretli değerler trendin düşüş yani kuraklık yönünde olduğunu, pozitif değerler ise artış yani nemlilik yönünde olduğunu belirtmektedir. Analizlerde periyot içinde oluşan trendin önem düzeyi 0.10, 0.05 ve 0.01 olarak en sağ kolonda gösterilmiştir.

SPI trend analizleri sonucunda 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde 0.10, 0.05 ve 0.01 düzeylerinde önem arz eden bir trend bulunamamıştır. SPI-1 zaman ölçeğinde Kasım, Nisan ve Temmuz aylarında negatif, Eylül ayında ise pozitif yönlü 0.10 düzeyinde trend belirlenirken, SPI-3 zaman ölçeğinde yine Kasım ayında negatif yönlü 0.10 düzeyinde trend belirlenmiştir (Çizelge 4.4 ve 4.5). Mevsimlik trend analizlerinde ise, sonbahar için 0.10 düzeyinde negatif yönlü trend belirlenirken, diğer mevsimlerde önem arz eden bir trend belirlenmemiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.4 SPI-1 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1979	2020	42	-0.92	
Kasım	11	1979	2020	42	-1.84	0.10
Aralık	12	1979	2020	42	0.54	
Ocak	1	1980	2020	41	1.17	
Şubat	2	1980	2020	41	-0.02	
Mart	3	1980	2020	41	0.76	
Nisan	4	1980	2020	41	-1.89	0.10
Mayıs	5	1980	2020	41	-0.25	
Haziran	6	1980	2020	41	1.06	
Temmuz	7	1980	2020	41	-1.89	0.10
Ağustos	8	1980	2020	41	0.69	
Eylül	9	1980	2020	41	1.72	0.10

Çizelge 4.5 SPI-3 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1980	2020	41	0.04	
Kasım	11	1980	2020	41	-1.70	0.10
Aralık	12	1979	2020	42	-1.39	
Ocak	1	1980	2020	41	0.21	
Şubat	2	1980	2020	41	1.03	
Mart	3	1980	2020	41	0.84	
Nisan	4	1980	2020	41	-1.11	
Mayıs	5	1980	2020	41	-0.93	
Haziran	6	1980	2020	41	-0.48	
Temmuz	7	1980	2020	41	0.65	
Ağustos	8	1980	2020	41	0.86	
Eylül	9	1980	2020	41	0.36	

Çizelge 4.6 SPI-6 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1980	2020	41	0.37	
Kasım	11	1980	2020	41	-0.40	
Aralık	12	1980	2020	41	-1.02	
Ocak	1	1981	2020	40	0.54	
Şubat	2	1981	2020	40	0.61	
Mart	3	1980	2020	41	0.13	
Nisan	4	1980	2020	41	-0.56	
Mayıs	5	1980	2020	41	-0.18	
Haziran	6	1980	2020	41	0.01	
Temmuz	7	1980	2020	41	-0.64	
Ağustos	8	1980	2020	41	-0.61	
Eylül	9	1980	2020	41	-0.55	

Çizelge 4.7 SPI-9 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1980	2020	41	-0.48	
Kasım	11	1980	2020	41	-1.31	
Aralık	12	1980	2020	41	-1.22	
Ocak	1	1981	2020	40	0.92	
Şubat	2	1981	2020	40	1.01	
Mart	3	1981	2020	40	0.56	
Nisan	4	1981	2020	40	0.28	
Mayıs	5	1981	2020	40	-0.16	
Haziran	6	1980	2020	41	-0.63	
Temmuz	7	1980	2020	41	-0.42	
Ağustos	8	1980	2020	41	0.35	
Eylül	9	1980	2020	41	0.51	

Çizelge 4.8 SPI-12 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1980	2020	41	-0.01	
Kasım	11	1980	2020	41	-0.38	
Aralık	12	1980	2020	41	-0.38	
Ocak	1	1981	2020	40	-0.15	
Şubat	2	1981	2020	40	0.08	
Mart	3	1981	2020	40	0.05	
Nisan	4	1981	2020	40	0.31	
Mayıs	5	1981	2020	40	0.45	
Haziran	6	1981	2020	40	0.12	
Temmuz	7	1981	2020	40	0.03	
Ağustos	8	1981	2020	40	-0.13	
Eylül	9	1980	2020	41	-0.46	

Çizelge 4.9 SPI-24 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1980	2020	40	-0.13	
Kasım	11	1980	2020	40	-0.14	
Aralık	12	1980	2020	40	-0.31	
Ocak	1	1981	2020	39	0.12	
Şubat	2	1981	2020	39	0.33	
Mart	3	1981	2020	39	0.31	
Nisan	4	1981	2020	39	0.17	
Mayıs	5	1981	2020	39	0.36	
Haziran	6	1981	2020	39	0.17	
Temmuz	7	1981	2020	39	0.02	
Ağustos	8	1981	2020	39	0.00	
Eylül	9	1980	2020	40	-0.03	

SPEI trend analizleri sonucunda, SPEI-1 zaman ölçeğinde Kasım ve Temmuz aylarında 0.05, Nisan ayında 0.10 düzeyinde negatif, SPEI-3 zaman ölçeğinde Mayıs ayında 0.05, Nisan ayında 0.10 düzeyinde negatif, SPEI-6 zaman ölçeğinde Aralık ayında 0.05, Temmuz ve Ağustos aylarında 0.10 düzeyinde negatif, SPEI-9 zaman ölçeğinde Kasım ve Aralık aylarında 0.05, Temmuz ayında 0.10 düzeyinde negatif, SPEI-12 zaman ölçeğinde Ocak, Şubat, Temmuz ve Eylül aylarında 0.10 düzeyinde negatif yönlü trendler belirlenmiştir. SPEI-24 zaman ölçeğinde ise tüm aylarda 0.05 önem düzeyinde negatif yönlü trendler dikkat çekmektedir (Çizelge 4.10-15). Mevsimlik trend analizlerinde ise, ilkbahar için 0.05 önem düzeyinde negatif yönlü trend belirlenirken, diğer mevsimlerde önem arz eden bir trend belirlenmemiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.10 SPEI-1 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1979	2020	42	-0.70	
Kasım	11	1979	2020	42	-2.01	0.05
Aralık	12	1979	2020	42	0.56	
Ocak	1	1980	2020	41	1.18	
Şubat	2	1980	2020	41	-0.69	
Mart	3	1980	2020	41	-0.98	
Nisan	4	1980	2020	41	-1.94	0.10
Mayıs	5	1980	2020	41	-0.76	
Haziran	6	1980	2020	41	0.71	
Temmuz	7	1980	2020	41	-2.21	0.05
Ağustos	8	1980	2020	41	-0.93	
Eylül	9	1980	2020	41	0.44	

Çizelge 4.11 SPEI-3 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1980	2020	41	-0.82	
Kasım	11	1980	2020	41	-1.54	
Aralık	12	1979	2020	42	-1.64	
Ocak	1	1980	2020	41	0.16	
Şubat	2	1980	2020	41	0.74	
Mart	3	1980	2020	41	-0.21	
Nisan	4	1980	2020	41	-1.95	0.10
Mayıs	5	1980	2020	41	-2.12	0.05
Haziran	6	1980	2020	41	-1.07	
Temmuz	7	1980	2020	41	-0.34	
Ağustos	8	1980	2020	41	-0.40	
Eylül	9	1980	2020	41	-1.35	

Çizelge 4.12 SPEI-6 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1980	2020	41	-0.51	
Kasım	11	1980	2020	41	-1.19	
Aralık	12	1980	2020	41	-2.09	0.05
Ocak	1	1981	2020	40	-0.37	
Şubat	2	1981	2020	40	0.14	
Mart	3	1980	2020	41	-0.91	
Nisan	4	1980	2020	41	-1.49	
Mayıs	5	1980	2020	41	-1.27	
Haziran	6	1980	2020	41	-1.34	
Temmuz	7	1980	2020	41	-1.81	0.10
Ağustos	8	1980	2020	41	-1.81	0.10
Eylül	9	1980	2020	41	-1.70	0.10

Çizelge 4.13 SPEI-9 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1980	2020	41	-1.36	
Kasım	11	1980	2020	41	-2.15	0.05
Aralık	12	1980	2020	41	-2.03	0.05
Ocak	1	1981	2020	40	-0.49	
Şubat	2	1981	2020	40	-0.42	
Mart	3	1981	2020	40	-1.39	
Nisan	4	1981	2020	40	-1.18	
Mayıs	5	1981	2020	40	-1.36	
Haziran	6	1980	2020	41	-1.31	
Temmuz	7	1980	2020	41	-1.70	0.10
Ağustos	8	1980	2020	41	-1.09	
Eylül	9	1980	2020	41	-1.63	

Çizelge 4.14 SPEI-12 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1980	2020	41	-1.36	
Kasım	11	1980	2020	41	-1.49	
Aralık	12	1980	2020	41	-1.63	
Ocak	1	1981	2020	40	-1.74	0.10
Şubat	2	1981	2020	40	-1.91	0.10
Mart	3	1981	2020	40	-1.56	
Nisan	4	1981	2020	40	-1.08	
Mayıs	5	1981	2020	40	-1.22	
Haziran	6	1981	2020	40	-1.15	
Temmuz	7	1981	2020	40	-1.71	0.10
Ağustos	8	1981	2020	40	-1.58	
Eylül	9	1980	2020	41	-1.74	0.10

Çizelge 4.15 SPEI-24 Mann Kendall trend analizi sonuçları

Zaman Serisi		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Ekim	10	1980	2020	41	-2.30	0.05
Kasım	11	1980	2020	41	-2.37	0.05
Aralık	12	1980	2020	41	-2.48	0.05
Ocak	1	1981	2020	40	-2.33	0.05
Şubat	2	1981	2020	40	-2.13	0.05
Mart	3	1981	2020	40	-2.40	0.05
Nisan	4	1981	2020	40	-2.23	0.05
Mayıs	5	1981	2020	40	-2.35	0.05
Haziran	6	1981	2020	40	-2.10	0.05
Temmuz	7	1981	2020	40	-2.06	0.05
Ağustos	8	1981	2020	40	-2.06	0.05
Eylül	9	1980	2020	41	-2.44	0.05

Çizelge 4.16 SPI ve SPEI mevsimlik Mann Kendall trend analizi sonuçları

SPI-SPEI Mevsimlik		İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
SPI	Sonbahar	1980	2020	41	-1.70	0.10
	Kış	1980	2020	41	1.03	
	İlkbahar	1980	2020	41	-0.93	
	Yaz	1980	2020	41	0.86	
SPEI	Sonbahar	1980	2020	41	-1.54	
	Kış	1980	2020	41	0.74	
	İlkbahar	1980	2020	41	-2.12	0.05
	Yaz	1980	2020	41	-0.40	

Meteorolojik parametrelerin trend analizleri de gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; yağış ve güneşlenme şiddeti hariç diğer parametrelerde 0.10, 0.05 ve 0.01 önem düzeylerinde trendler belirlenmiştir. Minimum sıcaklıklarda 0.05, maksimum ve ortalama sıcaklıklarda 0.10 önem düzeylerinde pozitif yönlü ve nispi nemde 0.10 önem düzeyinde negatif yönlü trendler dikkat çekmektedir. En güçlü trend negatif yönlü olarak 0.01 önem düzeyinde rüzgâr hızında belirlenmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17 Meteorolojik parametrelerin Mann Kendall trend analizi sonuçları

Parametre	İlk Yıl	Son Yıl	n	Z Test	Önem Düzeyi
Minimum Sıcaklık (°C)	1979	2020	495	2.06	0.05
Maksimum Sıcaklık (°C)	1979	2020	495	1.69	0.10
Ortalama Sıcaklık (°C)	1979	2020	495	1.84	0.10
Ortalama Nispi Nem (%)	1979	2020	495	-1.74	0.10
Rüzgâr hızı (m/s)	1979	2020	495	-2.87	0.01
Güneşlenme Şiddeti	1979	2020	495	0.57	
Yağış Miktarı(mm)	1979	2020	495	-0.53	

SPEI yönteminde yağış haricindeki meteorolojik parametrelerin kuraklığa etkileri, RET olarak sisteme dâhil edilmektedir. Bu nedenle SPI yöntemine göre daha detaylı analiz imkânı sunmaktadır. Meteorolojik parametrelerin bu çalışmada olduğu gibi uzun yıllar içindeki trendleri SPEI-24 gibi nispeten daha uzun zaman ölçeklerinde önemli düzeyde trendlerin belirlenmesinde etkili olmaktadır. SPEI-24 ölçeğinde belirlenen bu trend, çalışma alanında ‘hidrolojik kuraklığa’ doğru önemli düzeyde bir yönelimin olduğuna işaret ediyor olabilir.

4.5 Kuraklık İndeksleriyle Buğday Verim İlişkisi

Çalışmada meteorolojik kuraklık projeksiyonlarının oluşturulmasında tarımsal verim yönünden en etkili zaman ölçeğinin seçilmesinin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu amaçla Altınova Tarım İşletmesinde araştırma periyodunda sıkça ekilen buğday çeşitleri olan Kızıltan, Bayraktar ve Bezostaya verimleri ile SPI ve SPEI’de 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 zaman ölçekleri arasında ilişkiler incelenmiştir. SPI ve SPEI indeksleri tüm zaman ölçeklerinde verimlerle benzer ilişkiler göstermektedir. Ancak SPEI indeksiyle verimler arasında belirlenen ilişki düzeyleri ve kuvvetli ilişki sayılarının, SPI indeksiyle elde edilen sonuçlara göre bir miktar daha yüksek olduğu görülmüştür. Tüm çeşitlerde verimler ile en yüksek ilişkili zaman ölçeklerinin SPEI-9 ve SPEI-6 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

SPI-6 ölçeğinde $r \geq |0.50|$ korelasyonunun, Kızıltan için 6, Bayraktar için 7 ve Bezostaya için 8 ayda, SPEI-6 ölçeğinde ise Kızıltan için 8, Bayraktar için 7 ve Bezostaya için 8 ayda gerçekleştiği belirlenmiştir. Aynı zamanda SPEI-6 ölçeğinde $r \geq |0.70|$ korelasyonu sayısı (10), SPI-6’dakinden (8) fazladır. Buna göre iki indeks arasında SPEI-6’nın daha yüksek düzeyde sonuç verdiği belirlenmiştir. Benzer şekilde 9 aylık zaman ölçeğinde ise SPI ile Kızıltan arasında 7, Bayraktar arasında 6 ve Bezostaya arasında 8 ayda $r \geq |0.50|$ korelasyonunda ilişki kurulurken, SPEI ile Kızıltan, Bayraktar ve Bezostaya çeşitlerinin tümünde 7 ayda $r \geq |0.70|$ korelasyonunda ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Ancak SPEI-9 ölçeğinde $r \geq |0.70|$ korelasyonu sayısının (15), SPI-9 ölçeğinden (13) fazla olduğu belirlenmiştir. Buğday çeşitlerine göre, SPI-SPEI için 6 ve 9 aylık zaman ölçeklerinde aylara göre belirlenen korelasyonlar renklendirilmiş olarak çizelge 4.18’de gösterilmiştir. Çizelgede $r \leq |0.50|$ koşulunu sağlayan ilişkiler önemsiz kabul edilerek yansıtılmamıştır. Kuraklıkla en yüksek ilişkiler Bezostaya çeşidinde belirlenmiştir. Bu durum kuraklığa dayanıklılık açısından en düşük çeşidin Bezostaya olduğu konusunda fikir vermektedir. Kızıltan ve Bayraktar için net bir ayırım yapılamamış ancak kuraklığa dayanıklılıklarının daha yüksek olduğu değerlendirilmiştir (Çizelge 4.18). Bu sonuçlara göre; SPEI-9 zaman ölçeği ile yakın sonuçlar vermesi nedeniyle SPEI-6 zaman ölçeği temelinde de meteorolojik kuraklık projeksiyonlarının oluşturulması karar verilmiştir.

Çizelge 4.18 SPI-SPEI 6 ve 9 aylık zaman ölçeklerinde verimlerle ilişkiler

	Buğday Çeşidi	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SPI-6	Kızıltan 91												
	Bayraktar 2000												
	Bezostaya-1												
SPEI-6	Kızıltan 91												
	Bayraktar 2000												
	Bezostaya-1												
SPI-9	Kızıltan 91												
	Bayraktar 2000												
	Bezostaya-1												
SPEI-9	Kızıltan 91												
	Bayraktar 2000												
	Bezostaya-1												

Sarı | 0.50 | <r< | 0.70 |, Pembe | r≥ | 0.70 |

4.6 Kuraklık Projeksiyonları

Yukarıda belirtilen analizler eşliğinde, SPEI-9 ve SPEI-6 zaman ölçekleri için üç küresel iklim modeli veri setiyle (MPI, HadGEM, GFDL) ve iki senaryo (RCP4.5 ve RCP8.5) için projeksiyonlar geliştirilmiştir. 1971-2000 ve 2020-2098 projeksiyon dataları ile SPEI-6 ile SPEI-9 analizleri gerçekleştirilmiş ve kuraklık şiddet sınıflandırmalarına göre frekans analizi yapılarak karşılaştırılmıştır.

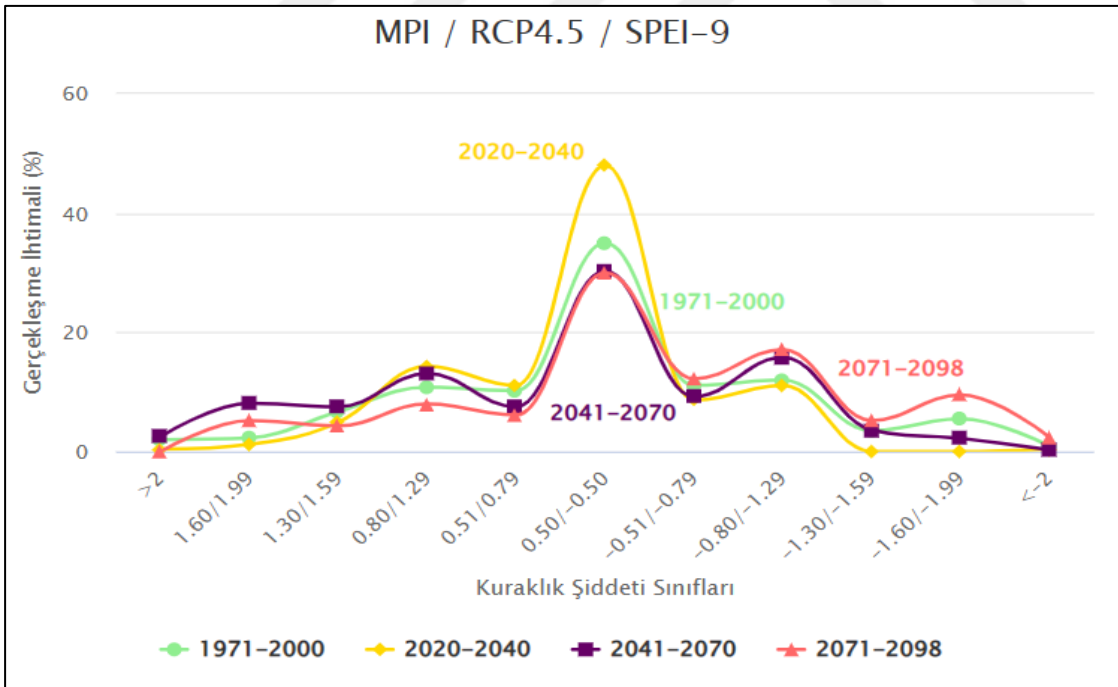
Kuraklık projeksiyonları grafikler halinde hazırlanmıştır. Projeksiyon çalışmalarında elde edilen sonuçlar tahmin olarak değerlendirilmemelidir. Projeksiyonların geliştirilmesindeki temel amaç; çalışılan konu hakkında geleceğe yönelik fikir verebilecek birtakım öngörülerini sunmaktır. Projeksiyon periyodunun (2020-2098) çok uzun bir zaman dilimini kapsaması nedeniyle kısa, orta ve uzun vade olarak ayrı ayrı değerlendirilmesi daha doğru bir yaklaşım olmaktadır. Bu nedenle çalışmada projeksiyon periyotları 2020-2040 (kısa vade), 2041-2070 (orta vade) ve 2071-2098 (uzun vade) olarak ayrılmış ve değerlendirmeler buna göre yapılmıştır. Söz konusu projeksiyonlar, anlamını tam olarak karşılamasa da iyi ve kötü şeklinde adlandırılabilen RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre ayrıca değerlendirilmiştir. Projeksiyon modeli dataları yer gözlem verileriyle düzeltilmiş ve aynı model datalarının geçmiş dönem verileri (1971-2000) referans kabul edilerek, bu dönem (geçmiş dönem) ile karşılaştırılmaları da yapılmıştır.

Yorumların daha kolay anlaşılması adına 1971-2000 yılları için *Geçmiş Dönem*, 2020-2040 yılları için *1. Dönem*, 2041-2070 yılları için *2. Dönem* ve 2071-2098 yılları için *3. Dönem* ifadeleri kullanılmıştır. Grafiklerde geçmiş dönem ile gelecek dönemlerdeki kuraklık tekerrürleri kuraklık şiddet sınıflandırmalarına göre ve farklı renklerle gösterilmiştir. Grafikler indeks değerlerinin kuraklık sınıflarındaki yığılmalarına bağlı olarak kuraklıklardaki gerçekleşme ihtimalini (%) göstermekte ve gelecek dönemlerde kuraklığın artış veya azalışına dair fikirler sunmaktadır. Zaman ölçeklerinin altında normali civarı, nemli ve kurak dönemlerin dağılım miktarları (%) çizelge olarak da gösterilmiştir. Çizelgelerde örneğin 'MPI45_2040' ifadesi MPI küresel veri setinde RCP4.5 senaryosuna göre 2020-2040 dönemi için kuraklık dağılım miktarını ifade etmektedir. Bu kombinasyon tüm küresel veri setleri ve dönemler için geçerlidir.

4.6.1 SPEI-9 kuraklık projeksiyonları

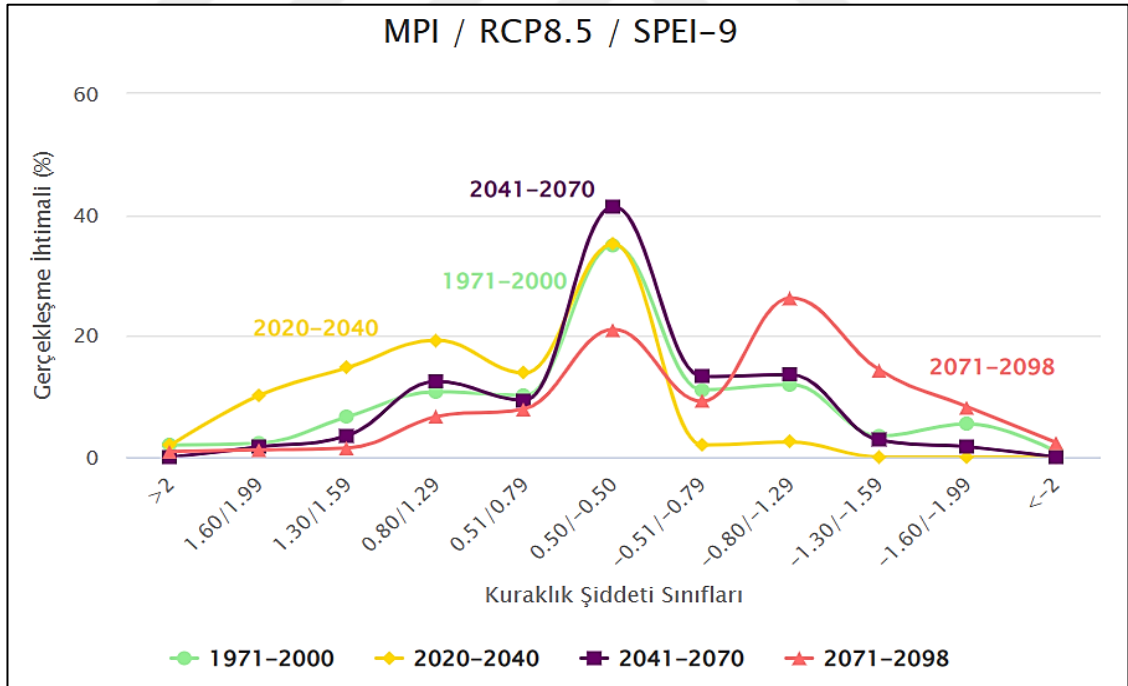
4.6.1.1 MPI kuraklık projeksiyonları

MPI RCP4.5 SPEI-9 senaryosu : MPI küresel veri setiyle RCP4.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-9 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normali civarında yaşandığı, kurak ve nemli dönemlerde ise dağılımların birbirine yakın oranlarda olduğu göze çarpmaktadır. MPI 1. dönemde geçmiş döneme kıyasla normali civarında gerçekleşen dağılımın oranında kayda değer bir artış, kurak ve nemli dönemlerin gerçekleşme oranında orta şiddette nemlilik hariç azalmalar öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme göre normali civarında dağılımın daha az olacağı, nemli dönemlerde hafif şiddette nemlilik hariç artış, kurak dönemlerde ise orta şiddette kuraklıkta artış, çok şiddetli kuraklıklarda azalış yaşanacağı öngörülmektedir. 3. dönemde normali civarında dağılımda geçmiş döneme göre azalma, buna karşılık; nemli dönemlerde aşırı şiddette nemlilik hariç azalma ve kurak dönemlerde ise artış olacağı öngörülmüştür (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 MPI RCP4.5 için SPEI-9 projeksiyonu

MPI RCP8.5 SPEI-9 senaryosu: MPI küresel veri setiyle RCP8.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-9 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normali civarında yaşandığı, kurak ve nemli dönemlerde ise dağılımların birbirine yakın olmakla birlikte kurak dönemdeki dağılımın bir miktar daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. MPI 1. dönemde geçmiş dönemde normali civarında gerçekleşen dağılımın hemen hemen aynı oranda devam edeceği, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında önemli ölçüde artış olacağı ve bununla birlikte kurak dönemlerde önemli ölçüde azalışların olacağı öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme göre normali civarında dağılımın daha fazla olacağı, çok nemli dönemlerdeki azalma hariç geçmiş döneme yakın oranlarda nemliliğin ve hafif-orta şiddette kurak dönemlerde bir miktar artış ile çok şiddetli kurak dönemlerde azalış olacağı öngörülmektedir. 3. dönemde ise normali civarında dağılımda ve nemli dönemlerde geçmiş döneme göre büyük oranda azalmanın, buna karşılık; kurak dönemlerde ise büyük oranda artışın yaşanacağı ve en büyük dağılımın orta şiddette kurak dönemlerde olacağı öngörülmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 MPI RCP8.5 için SPEI-9 projeksiyonu

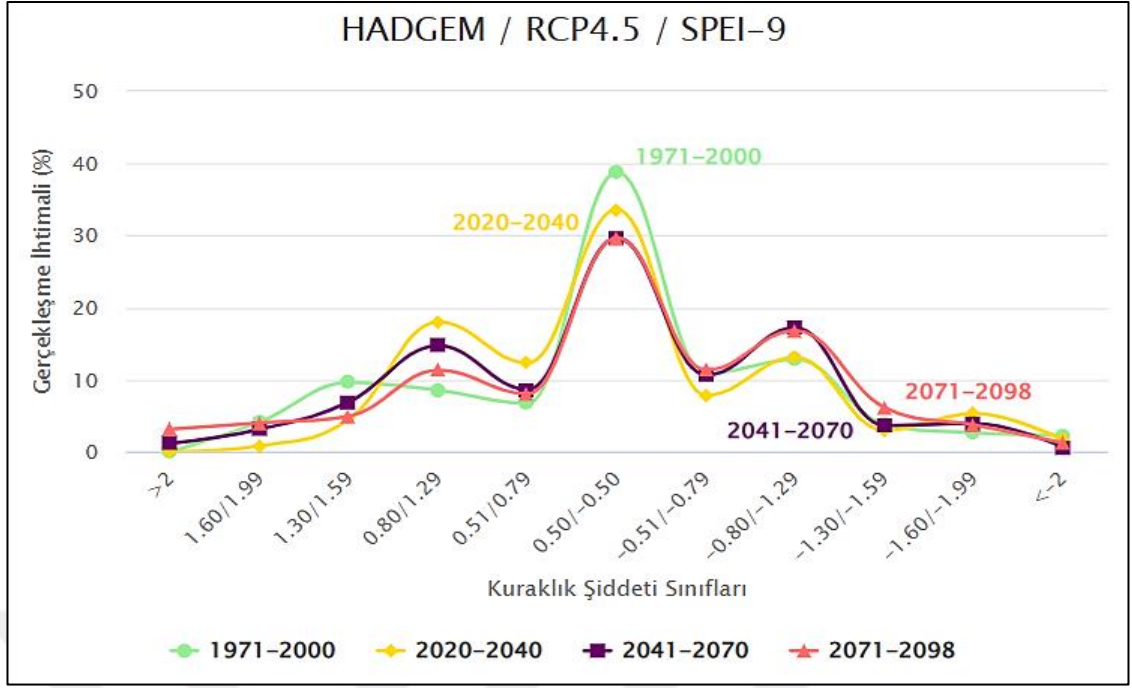
MPI küresel veri seti RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre gerçekleştirilen kuraklık projeksiyonları ile 1971-2000 döneminin kuraklık ve nemlilik açısından karşılaştırılması çizelge 4.19’da görülmektedir.

Çizelge 4.19 MPI dönemlere göre kuraklık (SPEI-9) dağılım miktarı (%)

	MPI_7120	MPI45_2040	MPI45_4170	MPI45_7198	MPI85_2040	MPI85_4170	MPI85_7198
Nemli	32.1	32.0	38.6	23.5	60.2	27.3	18.3
Normal	35.0	47.9	30.3	30.0	35.2	41.2	21.1
Kurak	32.9	20.1	31.1	46.5	4.6	31.5	60.6

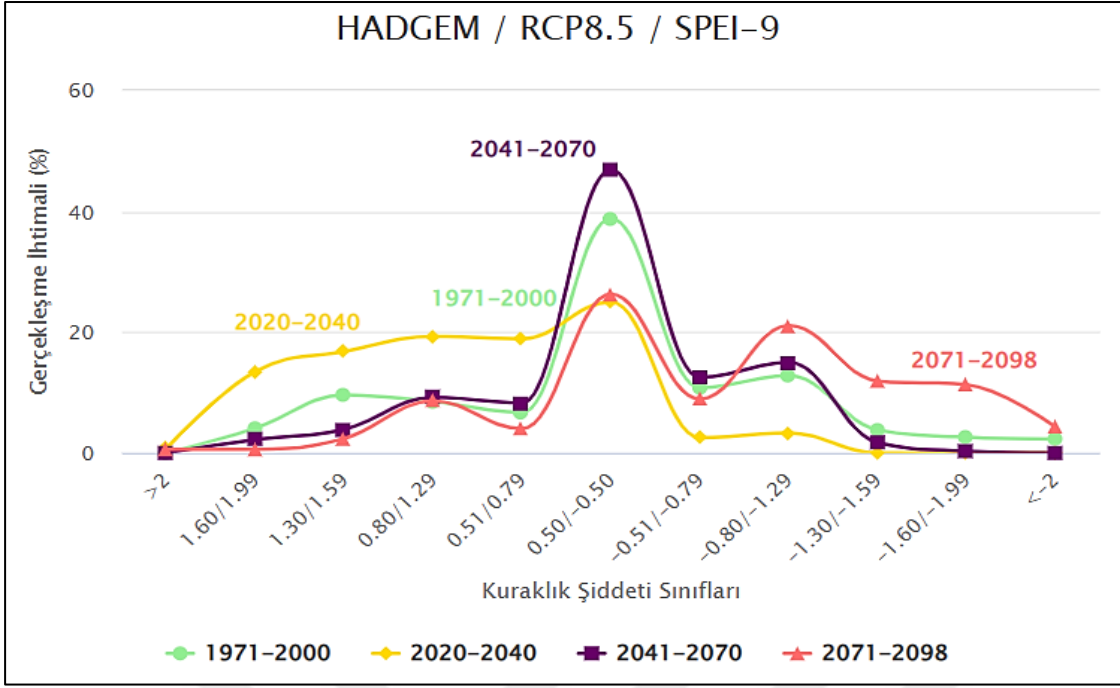
4.6.1.2 HadGEM kuraklık projeksiyonları

HadGEM RCP4.5 SPEI-9 senaryosu: HadGEM küresel veri setiyle RCP4.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-9 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normali civarında yaşandığı, kurak dönemlerdeki dağılımın nemli dönemlere nazaran bir miktar daha yüksek oranlarda olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca çok nemli dönemler ile orta şiddette kurak dönemlerdeki dağılımların daha yüksek oranlarda oldukları görülmektedir. HadGEM 1. dönemde geçmiş dönemde normali civarında gerçekleşen dağılımın daha düşük oranda devam edeceği, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında önemli ölçüde artış olacağı, kurak dönemlerin ise geçmiş döneme benzer oranlarda gerçekleşeceği, böylelikle 1. dönemde nemliliğe doğru bir eğilimin olacağı öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme göre normali civarında dağılımın daha düşük olacağı, nemli ve kurak dönemlerde ise benzer oranlarda artış gerçekleşeceği ve birbirlerine yakın oranda dağılım gösterecekleri öngörülmektedir. 3. dönemde ise 2. dönemdekine benzer bir dağılımın olacağı ancak bir miktar nemlilikte azalmanın yaşanacağı öngörülmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 HadGEM RCP4.5 için SPEI-9 projeksiyonu

HadGEM RCP8.5 SPEI-9 senaryosu: HadGEM küresel veri setiyle RCP8.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-9 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normali civarında yaşandığı, kurak ve nemli dönemlerde ise dağılımların birbirine yakın oranlarda ancak kurak dönemdeki dağılım oranının bir miktar daha fazla olduğu gözle çarpılmaktadır. HadGEM 1. dönemde normali civarında gerçekleşen dağılımın geçmiş dönemdekine nazaran oldukça düşük oranda seyredeceği, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında önemli ölçüde artış olacağı ve bununla birlikte kurak dönemlerde önemli ölçüde azalışların olacağı öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme göre normali civarında dağılımın daha fazla olacağı, çok nemli dönemlerdeki azalma hariç geçmiş döneme yakın oranlarda nemliliğin ve hafif-orta şiddette kurak dönemlerde bir miktar artış ile çok şiddetli kurak dönemlerde azalış olacağı öngörülmektedir. 3. dönemde ise normali civarında dağılımda ve nemli dönemlerde geçmiş döneme göre büyük oranda azalmanın, buna karşılık; kurak dönemlerde ise büyük oranda artışın yaşanacağı ve normali civarı dışındaki en büyük dağılımın orta şiddette kurak dönemlerde olacağı öngörülmüştür (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 HadGEM RCP8.5 için SPEI-9 projeksiyonu

HadGEM küresel veri seti RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre gerçekleştirilen kuraklık projeksiyonları ile 1971-2000 döneminin kuraklık ve nemlilik açısından karşılaştırılması çizelge 4.20’de görülmektedir.

Çizelge 4.20 HadGEM dönemlere göre kuraklık (SPEI-9) dağılım miktarı (%)

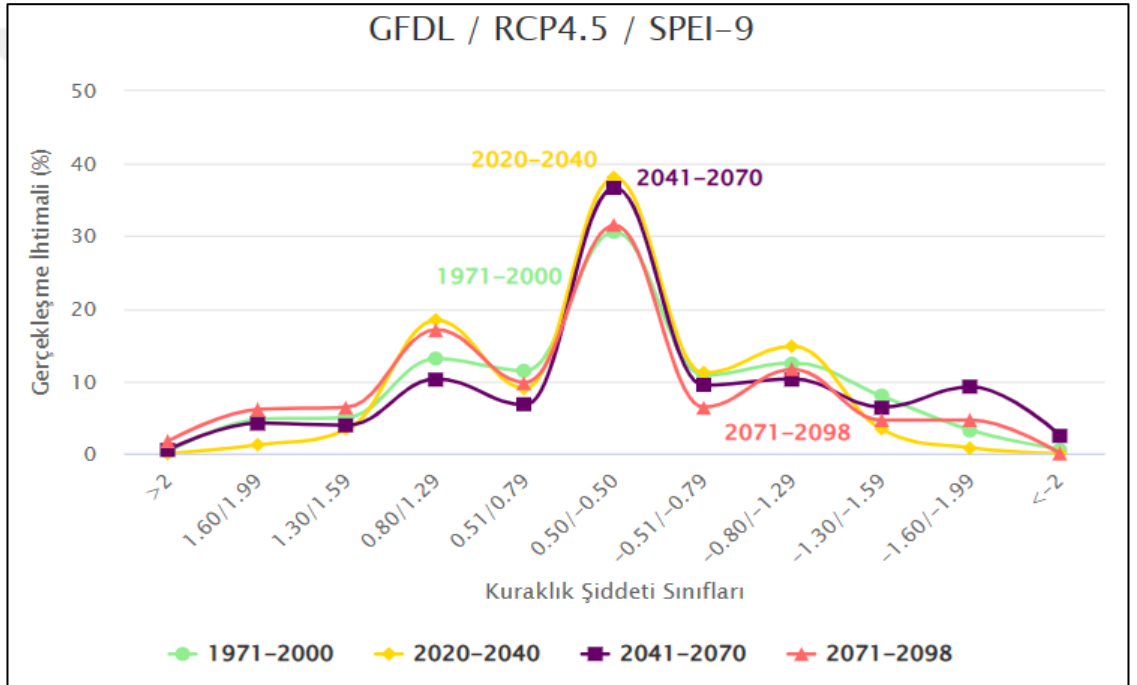
	HG_7120	HG45_2040	HG45_4170	HG45_7198	HG85_2040	HG85_4170	HG85_7198
Nemli	28.9	35.7	34.4	31.2	69.3	23.6	16.2
Normal	38.8	33.6	29.8	29.7	25.0	46.9	26.3
Kurak	32.3	30.7	35.8	39.1	5.7	29.5	57.5

HG: HadGEM

4.6.1.3 GFDL kuraklık projeksiyonları

GFDL RCP4.5 SPEI-9 senaryosu: GFDL küresel veri setiyle RCP4.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-9 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normali civarında yaşandığı, kurak ve nemli dönemlerde ise dağılımların birbirine yakın oranlarda olduğu göze çarpmaktadır. GFDL 1. dönemde, geçmiş dönemde normali civarında gerçekleşen dağılımın daha yüksek oranda devam edeceği, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında

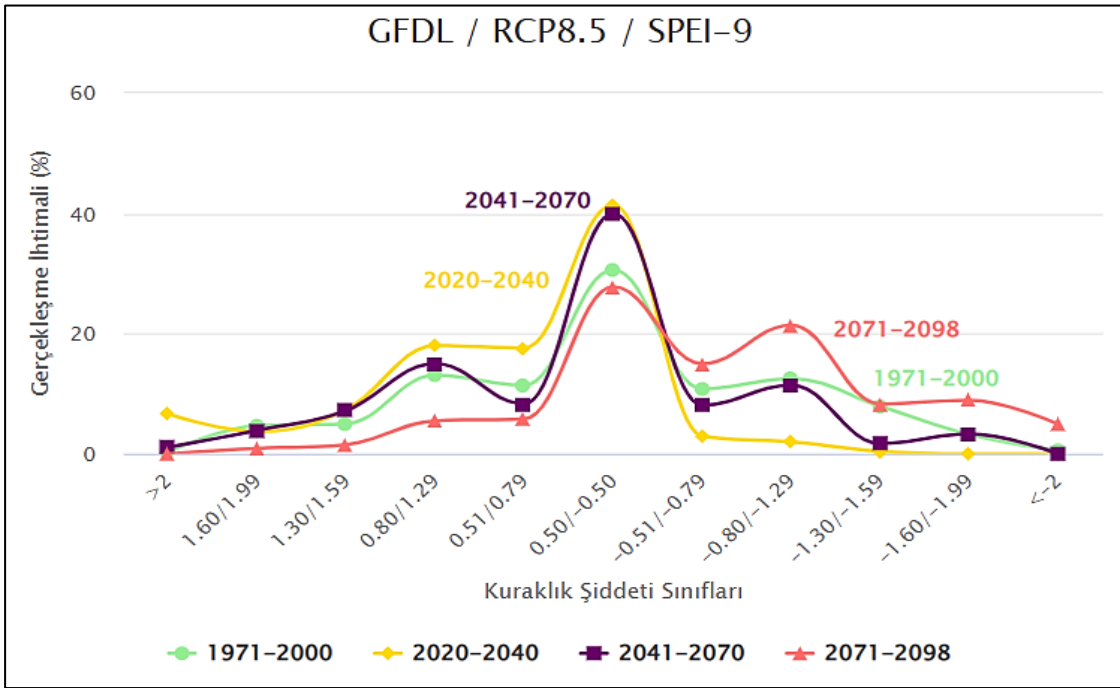
önemli ölçüde artış olacağı, kurak dönemlerin oranlarında ise orta şiddette kuraklıklar hariç bir miktar azalmanın gerçekleşeceği, böylelikle 1. dönemde nemliliğe doğru bir eğilimin daha fazla olacağı öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme göre normal civarında dağılımın daha yüksek olacağı, nemli dönemlerde azalma ve kurak dönemlerde hafif, orta ve şiddetli kuraklıklarda bir miktar azalma diğerlerinde ise artışların olacağı gerçekleşeceği öngörülmektedir. 3. dönemde ise geçmiş dönemle hemen hemen benzer oranda normal civarı dağılım yanında daha yüksek oranda nemliliğin, daha düşük oranda da kurak dönemlerin olacağı, bir başka ifadeyle; nemliliğe doğru bir eğilimin olacağı öngörülmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 GFDL RCP4.5 için SPEI-9 projeksiyonu

GFDL RCP8.5 SPEI-9 senaryosu: GFDL küresel veri setiyle RCP8.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-9 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normal civarında yaşandığı, kurak ve nemli dönemlerde ise dağılımların birbirine yakın oranlarda olduğu göze çarpmaktadır. 1. dönemde geçmiş dönemde normal civarında gerçekleşen dağılımın daha yüksek oranda devam edeceği, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında önemli ölçüde artış olacağı, kurak dönemlerin oranlarında ise önemli miktarda azalmanın gerçekleşeceği, böylelikle 1. dönemde nemliliğe doğru bir eğilimin olacağı

öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme göre normal civarında dağılımın daha yüksek olacağı, nemli dönemlerde bir miktar artış ve kurak dönemlerde azalmaların gerçekleşeceği öngörülmektedir. 3. dönemde ise normal civarında dağılımda ve nemli dönemlerde geçmiş döneme göre önemli oranda azalmanın, buna karşılık; kurak dönemlerde ise büyük oranda artışın yaşanacağı ve normal civarı dışındaki en büyük dağılımın orta şiddette kurak dönemlerde olacağı öngörülmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 GFDL RCP8.5 için SPEI-9 projeksiyonu

GFDL küresel veri seti RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre gerçekleştirilen kuraklık projeksiyonları ile 1971-2000 döneminin kuraklık ve nemlilik açısından karşılaştırılması çizelge 4.21’de görülmektedir.

Çizelge 4.21 GFDL dönemlere göre kuraklık (SPEI-9) dağılım miktarı

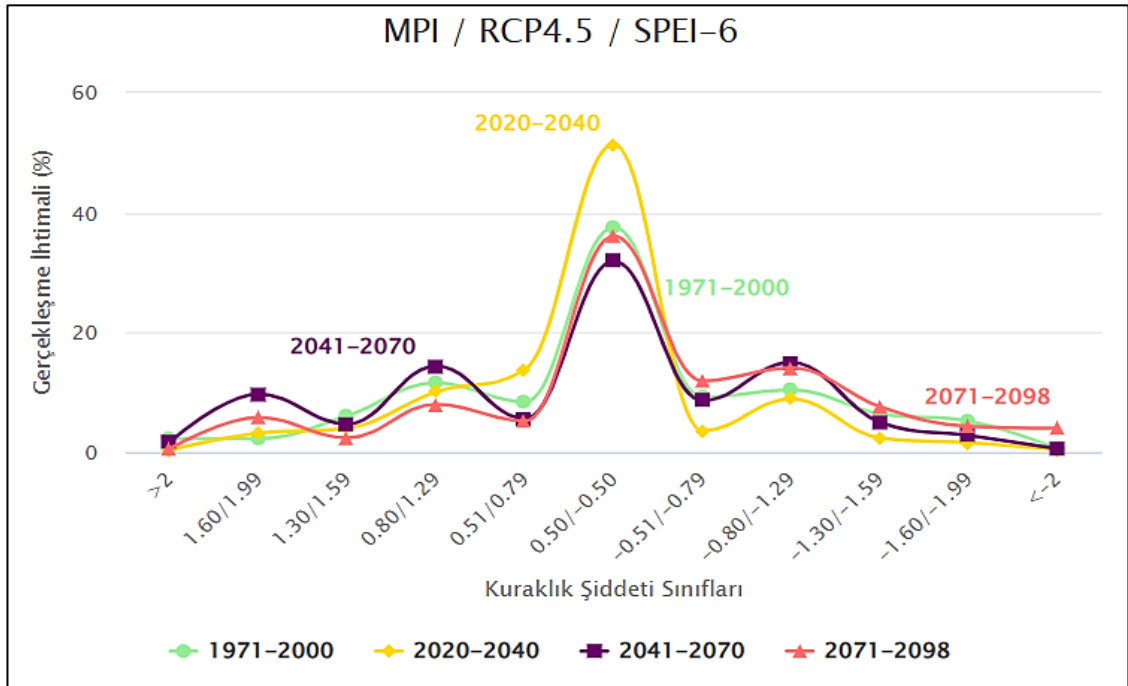
	GF_7120	GF45_2040	GF45_4170	GF45_7198	GF85_2040	GF85_4170	GF85_7198
Nemli	34.4	32.0	25.6	41.3	53.3	35.6	13.8
Normal	30.6	38.1	36.7	31.5	41.4	40.0	27.8
Kurak	35.0	29.9	37.7	27.2	5.3	24.4	58.4

GF: GFDL

4.6.2 SPEI-6 kuraklık projeksiyonları

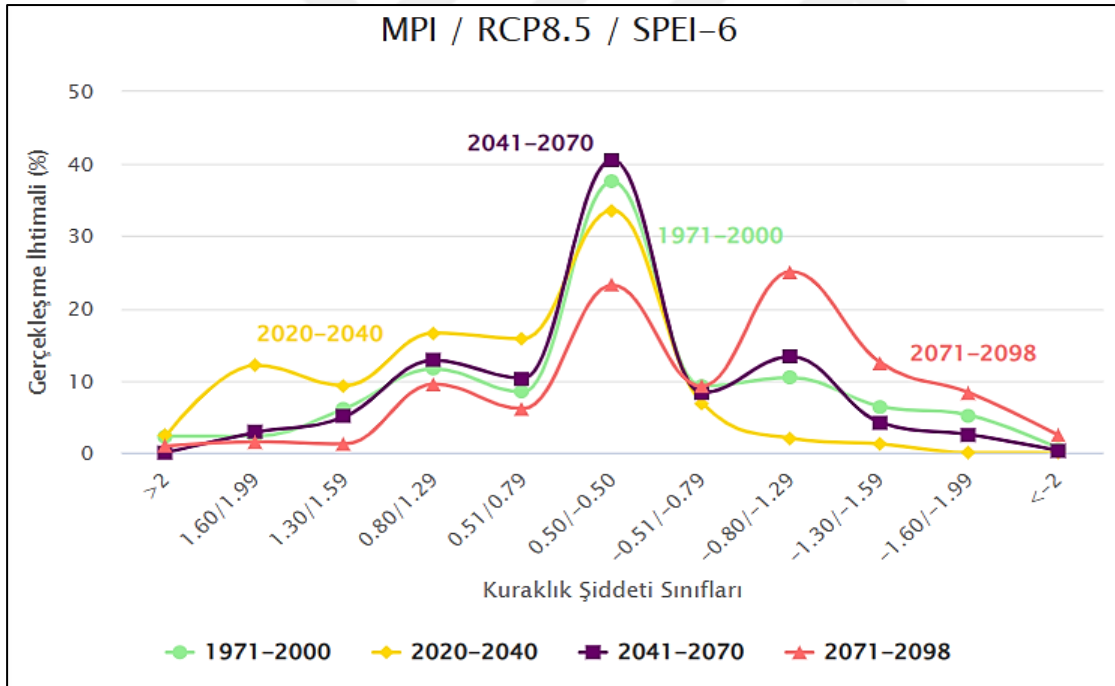
4.6.2.1 MPI kuraklık projeksiyonları

MPI RCP4.5 SPEI-6 senaryosu: MPI küresel veri setiyle RCP4.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-6 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normali civarında yaşandığı, kurak ve nemli dönemlerde ise dağılımların birbirine yakın oranlarda olduğu göze çarpmaktadır. MPI 1. dönemde geçmiş döneme kıyasla normali civarında gerçekleşen dağılımın oranında kayda değer bir artış, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında geçmiş dönemle benzerlik, kurak dönemde ise önemli derece azalma, diğer bir ifadeyle; kuraklıktan normali civarına doğru bir eğilim öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme göre normali civarında dağılımın daha az olacağı, nemli dönemlerde genel olarak artış yaşanacağı, bunun orta ve aşırı nemli dönemlerde yoğunlaşan dağılımlar olarak görüleceği, kurak dönemlerin benzer oranda seyredeceği ancak orta kurak dönemlerin dağılım oranlarında artış görüleceği öngörülmektedir. 3. dönemde ise normali civarında dağılımın geçmiş döneme yakın miktarda seyredeceği, nemli dönemlerde azalma, kurak dönemlerde ise artış olacağı öngörülmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 MPI RCP4.5 için SPEI-6 projeksiyonu

MPI RCP8.5 SPEI-6 senaryosu: MPI küresel veri setiyle RCP8.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-6 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normali civarında yaşandığı, kurak ve nemli dönemlerde ise dağılımların birbirine yakın oranlarda olduğu göze çarpmaktadır. MPI 1. dönemde geçmiş döneme kıyasla normali civarında gerçekleşen dağılımın oranında azalış, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında önemli miktarda artış, kurak dönemde ise önemli miktarda azalış, diğer bir ifadeyle; kuraklıktan nemliliğe doğru bir eğilim öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme yakın bir dağılım görünmekle birlikte, normali civarında dağılım oranında artış, nemli dönemlerde benzer dağılım ve kurak dönemlerde ise küçük bir miktar azalma yaşanacağı öngörülmektedir. 3. dönemde ise normali civarında dağılımda ve nemli dönemlerde geçmiş döneme önemli miktarda azalma, buna karşılık; kurak dönemlerde ise büyük miktarda artış olacağı, dolayısıyla kuraklığa doğru önemli bir eğilimin söz konusu olabileceği öngörülmektedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 MPI RCP8.5 için SPEI-6 projeksiyonu

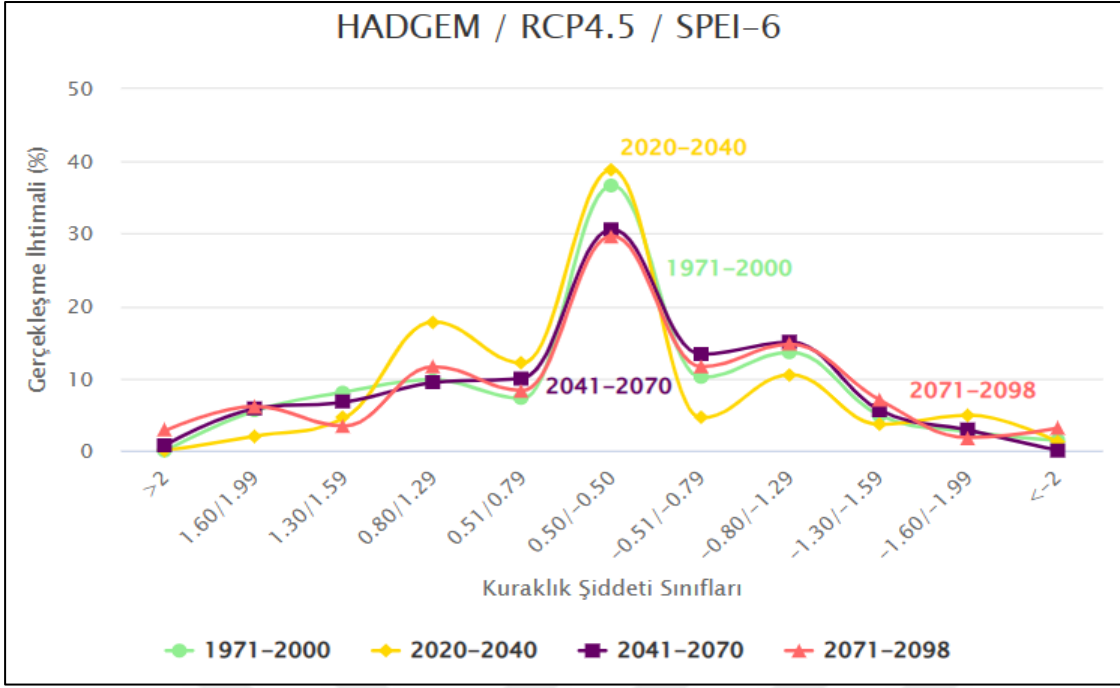
MPI küresel veri seti RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre gerçekleştirilen kuraklık projeksiyonları ile 1971-2000 döneminin kuraklık ve nemlilik açısından karşılaştırılması çizelge 4.22’de görülmektedir.

Çizelge 4.22 MPI dönemlere göre kuraklık (SPEI-6) dağılım miktarı (%)

	MPI_7120	MPI45_2040	MPI45_4170	MPI45_7198	MPI85_2040	MPI85_4170	MPI85_7198
Nemli	30.7	31.6	36.1	22.0	56.2	30.9	19.2
Normal	37.6	51.4	31.9	36.1	33.6	40.5	23.2
Kurak	31.8	17.0	32.0	41.9	10.2	28.6	57.5

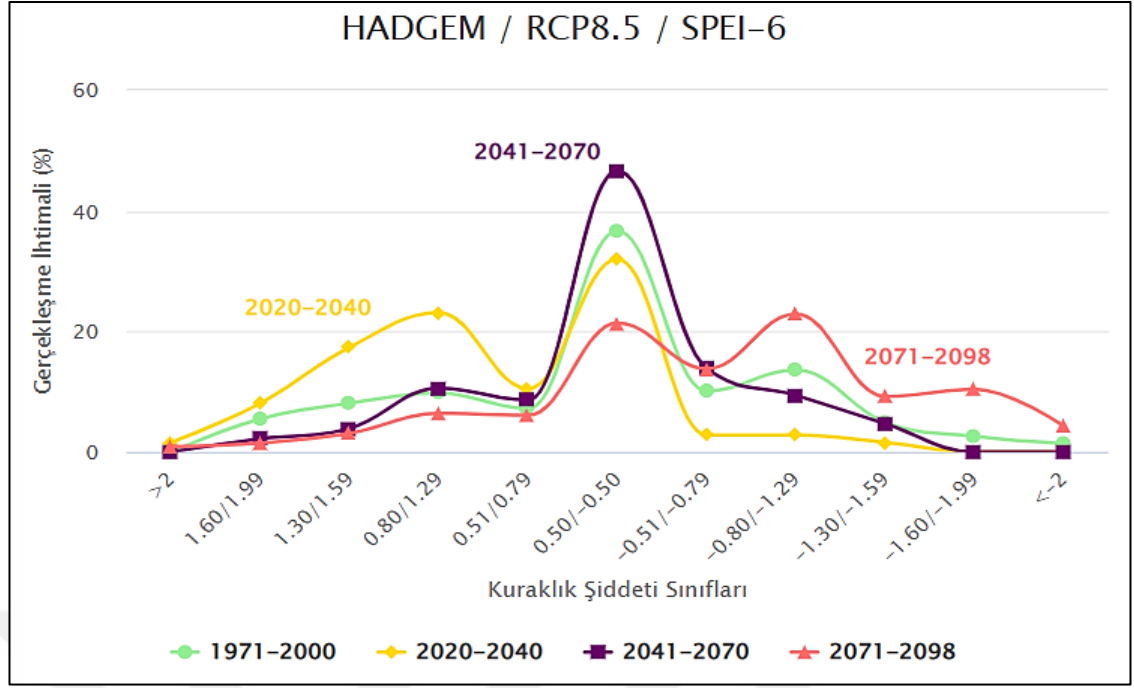
4.6.2.2 HadGEM kuraklık projeksiyonları

HadGEM RCP4.5 SPEI-6 senaryosu: HadGEM küresel veri setiyle RCP4.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-6 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normali civarında yaşandığı, kurak ve nemli dönemlerde ise dağılımların birbirine yakın olmakla birlikte kurak dönemlerin bir miktar daha yüksek oranda olduğu göze çarpmaktadır. 1. dönemde geçmiş döneme kıyasla normali civarında gerçekleşen dağılımın oranında bir miktar artış, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında kayda değer miktarda artış, kurak dönemde ise önemli miktarda azalış, diğer bir ifadeyle; kuraklıktan nemliliğe doğru bir eğilim öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme kıyasla normali civarı dağılım oranında kayda değer miktarda azalış, kurak dönemlerde daha fazla olmakla birlikte nemli ve kurak dönemlerde bir miktar artış yaşanacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla bu dönemde kuraklığa doğru bir eğilimin daha fazla olacağı değerlendirilmektedir. 3. dönemde ise normali civarı dağılımda azalış, nemli dönemlerde küçük miktarda, buna karşılık, kurak dönemlerde ise kayda değer miktarda artış olacağı öngörülmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 HadGEM RCP4.5 için SPEI-6 projeksiyonu

HadGEM RCP8.5 SPEI-6 senaryosu: HadGEM küresel veri setiyle RCP8.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-6 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normal civarında yaşandığı, kurak ve nemli dönemlerde ise dağılımların kurak dönemler bir miktar daha fazla olmakla birlikte birbirine yakın oranlarda olduğu göze çarpmaktadır. HadGEM 1. dönemde geçmiş döneme kıyasla normal civarında gerçekleşen dağılımın oranında bir miktar azalış, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında büyük miktarda artış, kurak dönemde ise büyük miktarda azalış, diğer bir ifadeyle; kuraklıktan nemliliğe doğru bir eğilim öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme kıyasla normal civarında dağılım oranında önemli miktarda artış, buna karşılık; nemli ve kurak dönemlerde bir miktar azalış yaşanacağı öngörülmektedir. 3. dönemde ise normal civarı ve nemli dönemlerin dağılımlarda önemli miktarda azalış, buna karşılık; kurak dönemlerde ise kayda değer miktarda artış olacağı, dolayısıyla bu dönemde kuraklığa doğru bir eğilimin söz konusu olduğu öngörülmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 HadGEM RCP8.5 için SPEI-6 projeksiyonu

HadGEM küresel veri seti RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre gerçekleştirilen kuraklık projeksiyonları ile 1971-2000 döneminin kuraklık ve nemlilik açısından karşılaştırılması çizelge 4.23’te görülmektedir.

Çizelge 4.23 HadGEM dönemlere göre kuraklık (SPEI-6) dağılım miktarı (%)

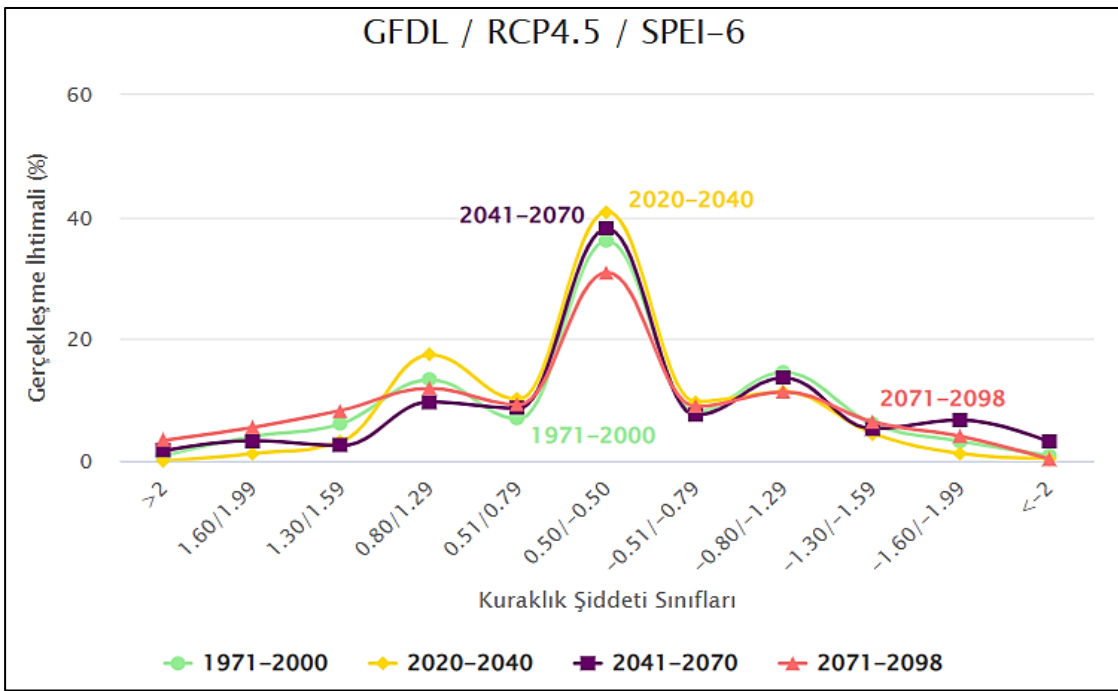
	HG_7120	HG45_2040	HG45_4170	HG45_7198	HG85_2040	HG85_4170	HG85_7198
Nemli	30.7	36.4	32.7	32.2	60.7	25.3	18.0
Normal	36.7	38.9	30.6	29.7	32.0	46.7	21.4
Kurak	32.6	24.7	36.7	38.1	7.3	28.0	60.6

HG: HadGEM

4.6.2.3 GFDL kuraklık projeksiyonları

GFDL RCP4.5 SPEI-6 senaryosu: GFDL küresel veri setiyle RCP4.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-6 için; geçmiş dönemde dağılımın büyük oranda normali civarında yaşandığı, kurak ve nemli dönemlerde ise dağılımların birbirine yakın oranlarda olduğu göze çarpmaktadır. GFDL 1. dönemde geçmiş döneme kıyasla normali civarında gerçekleşen dağılımın oranında artış, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında küçük bir

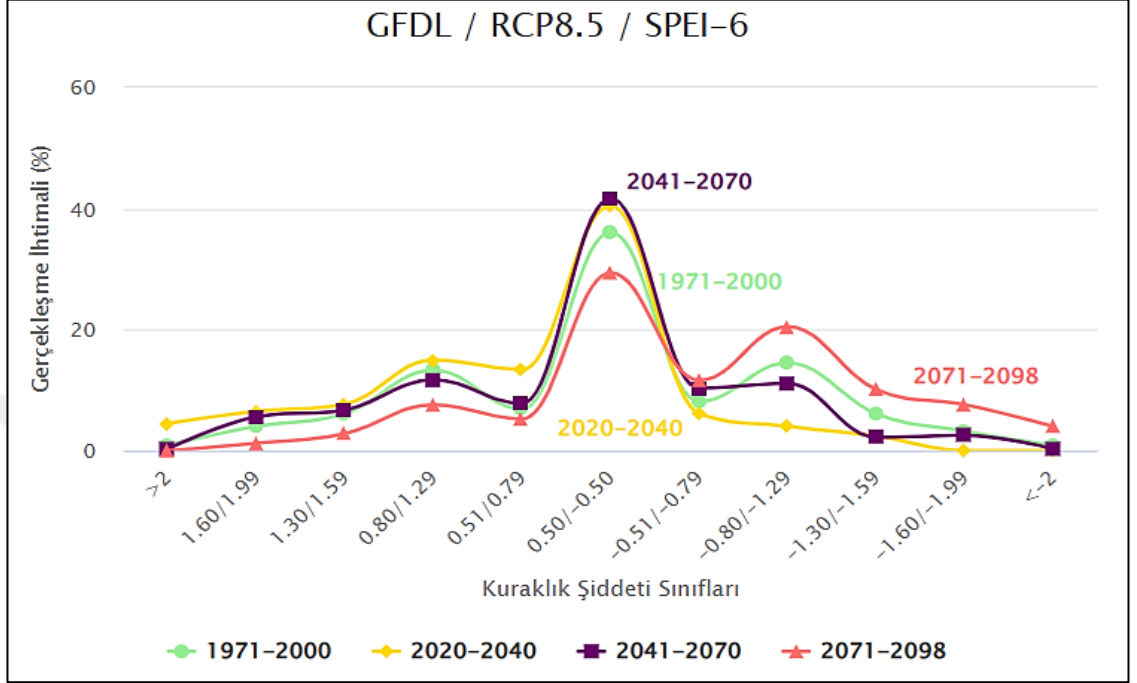
miktarda artış, kurak dönemde ise önemli miktarda azalış, diğer bir ifadeyle; kuraklıktan nemliliğe doğru bir eğilim öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme kıyasla normal civarında dağılım oranında küçük bir miktar artış, nemli dönemlerde azalış ve kurak dönemlerde ise bir miktar artış yaşanacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla bu dönemde kuraklığa doğru bir gidiş göze çarpmaktadır. 3. dönemde ise normal civarı dağılımda azalış, nemli dönemlerde miktarda artış, buna karşılık; kurak dönemlerde ise bir miktar azalış olacağı öngörülmektedir. Bu dönemde ise nemliliğe doğru bir eğilim göze çarpmaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 GFDL RCP4.5 için SPEI-6 projeksiyonu

GFDL RCP8.5 SPEI-6 senaryosu: GFDL küresel veri setiyle RCP8.5 senaryosuna göre hesaplanan SPEI-6 için; 1. dönemde geçmiş döneme kıyasla normal civarında gerçekleşen dağılımın oranında bir miktar artış, nemli dönemlerin gerçekleşme oranında büyük miktarda artış, kurak dönemde ise büyük miktarda azalış, diğer bir ifadeyle; kuraklıktan nemliliğe doğru bir eğilim öngörülmektedir. 2. dönemde geçmiş döneme kıyasla normal civarında dağılım oranında kayda değer miktarda artış, buna karşılık; nemli dönemlerde küçük bir artış, kurak dönemlerde ise kayda değer bir miktar azalış yaşanacağı öngörülmektedir. 3. dönemde ise normal civarı ve nemli dağılımlarda büyük

miktarda azalış, kurak dönemlerde ise büyük miktarda artış olacağı öngörülmektedir. Bu dönemde kuraklığa doğru kuvvetli bir eğilim söz konusudur (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 GFDL RCP8.5 için SPEI-6 projeksiyonu

GFDL küresel veri seti RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre gerçekleştirilen kuraklık projeksiyonları ile 1971-2000 döneminin kuraklık ve nemlilik açısından karşılaştırılması çizelge 4.24'te görülmektedir.

Çizelge 4.24 GFDL dönemlere göre kuraklık (SPEI-6) dağılım miktarı (%)

	GF_7120	GF45_2040	GF45_4170	GF45_7198	GF85_2040	GF85_4170	GF85_7198
Nemli	31.2	31.9	25.8	38.3	47.1	32.1	16.8
Normal	36.1	40.9	38.1	30.9	40.5	41.7	29.4
Kurak	32.8	27.1	36.2	30.9	12.5	26.4	53.8

GF: GFDL

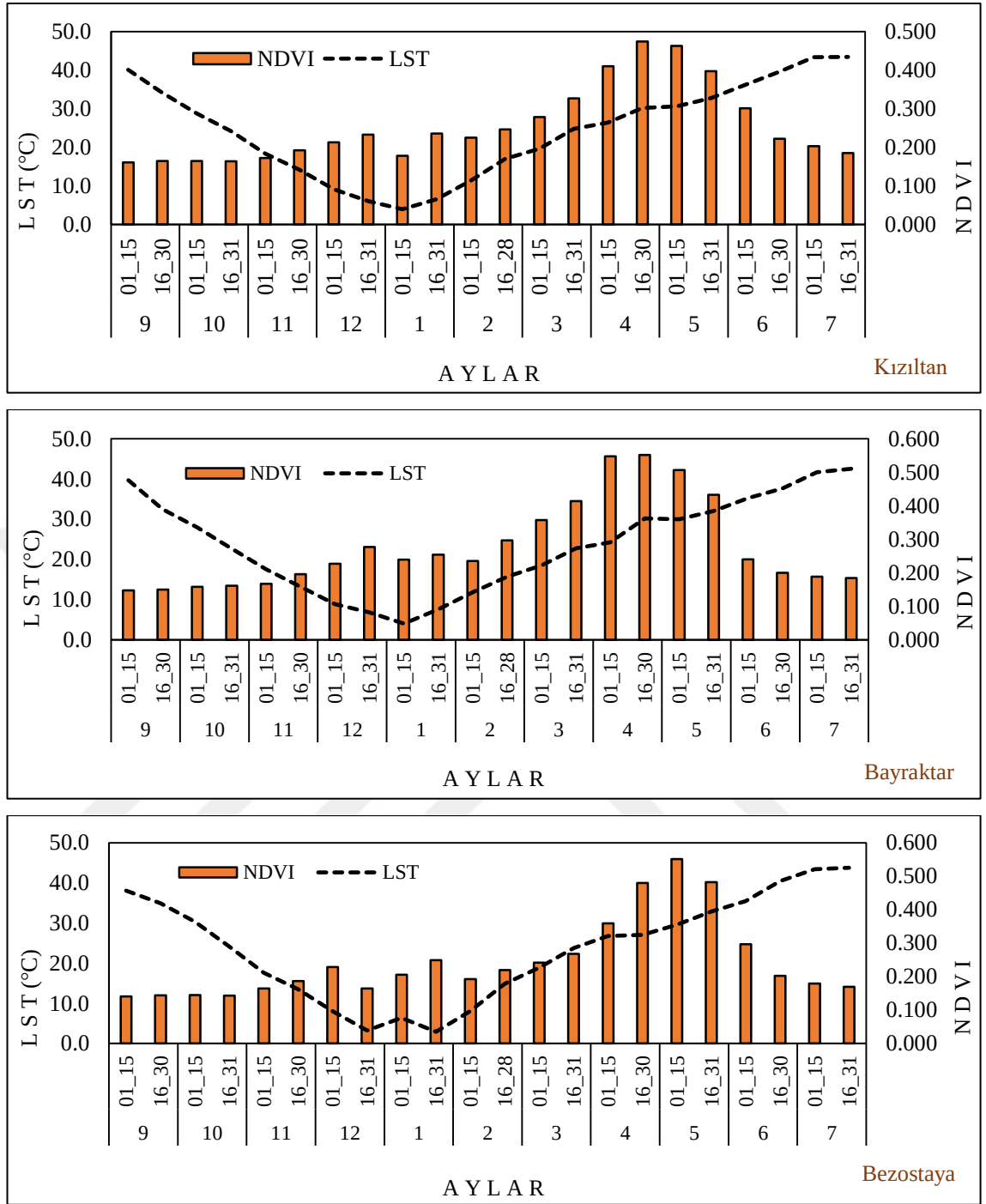
4.7 Uydu Tabanlı İndekslerle Kuraklık Analizleri

Kızıltan çeşidi 21, 23 ve 24 numaralı parsellerde 2001-2008 ve 2009-2020 dönemlerinin ikisinde de ekilirken; 29, 32 ve 35 numaralı parsellerde yalnızca 2009-2020 döneminde, Bayraktar çeşidi 25, 41, 43, 45, 56 ve 57 numaralı parsellerde 2009-2020 arası dönemde, Bezostaya çeşidi 29, 32, 35, 41, 43, 45, 56 ve 57 numaralı parsellerde 2001-2008 arası dönemde ekilmiştir. Mevsim boyunca NDVI ve LST'nin aylara göre değişimleri yanında, birbirleri ve ilgili çeşidin verimiyle olan ilişkileri de tüm parseller için birlikte ele alınmış, tablo ve grafiklerle gösterilmiştir. Gösterimlerde seriyi daha doğru temsil etmesi nedeniyle merkezi eğilim ölçüsü olarak *medyan* kullanılmıştır.

Diğer kuraklık indekslerinin aylık bazlı değerlendirmelerine çalışmanın temel amacı olmaması nedeniyle yer verilmemiştir. Bu indeksler (VCI, TCI, VHI ve VSWI) büyüme dönemlerine göre hesaplanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Analizlerin sunulmasında benzer şekilde tablo ve grafiklerden yararlanılmış, büyüme dönemleri çeşitli kısaltmalarla (Ekim; E, Çıkış; Ç vs.) ifade edilmiştir. Çizelgelerde aylık değerler 1'inden 15'ine kadar 1-15 ve 16'sından 30'una kadar ise 16-30 şeklinde iki bölüm olarak gösterilmiştir.

4.7.1 NDVI ve LST analizi

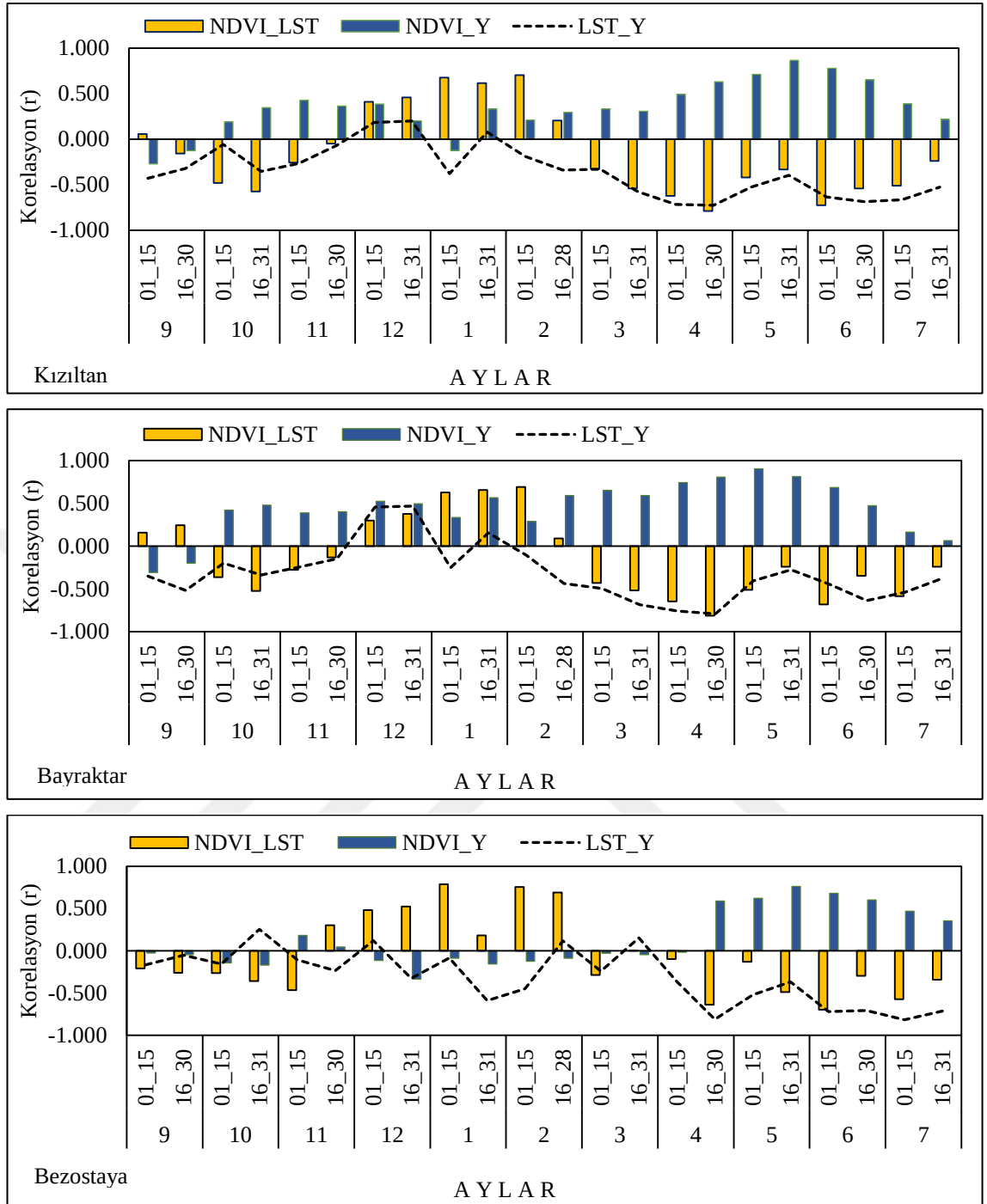
Çeşitlerin ekildikleri parsellerde yıllara göre ekim-hasat süresince NDVI ve LST değişimleri incelenmiştir. Yörede çeşitlerin tümünde ekimler mevsim koşullarına bağlı olarak genellikle Ekim ayı, hasatlar ise Temmuz ayı içerisinde gerçekleştirilmektedir. Parsellerde ortalama olarak Eylül-Ekim aylarında NDVI değerleri en düşük seviyelerindedir. NDVI değerleri Kasım sonlarında bir miktar yükselişe geçtikten sonra Aralık, Ocak ve Şubat aylarında soğuklama etkisiyle düşük seviyelerde seyretnmekte, Şubat sonlarından itibaren ise kademeli yükselişe geçmektedir. Bitkide yeşermenin başladığı bu dönemden itibaren Nisan ve Mayıs aylarında en yüksek NDVI değerleri görülmektedir. Sıcaklıkların yükselmesiyle birlikte olgunlaşmaya başlayan buğday, Mayısın ikinci yarısından sonra yavaş yavaş sararmaya başlar, NDVI değerleri böylece düşme eğilimi gösterir ve bu süreç hasada kadar devam eder. LST ise ekim döneminden itibaren düşmeye başlamakta, Ocak ayında en düşük değerini görmektedir. Daha sonra kademeli olarak artış eğilimi gerçekleşmektedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Çeşitlerde aylara göre NDVI ve LST değişimleri

Çeşitlerin aylara göre NDVI-LST, NDVI-verim ve LST-verim ilişkileri incelenmiştir. Genel olarak Kızıltan ve Bayraktar çeşitlerinde ilişkiler açısından Bezostaya çeşidine göre daha benzer sonuçların belirlendiği görülmüştür. Kuraklık açısından önem arz eden NDVI-LST korelasyonları, LST'nin nispeten yüksek olduğu ekim sonrası ilk dönemlerde negatif yönlüdür. Bu dönemde LST-verim ilişkisinin de yine negatif yönlü olduğu dikkat

çekmektedir. Buğday normal gelişimi için çimlenme ve kardeşlenme dönemlerinde düşük sıcaklık ve yüksek nem tercih etmektedir (Geçit 2016). Bu nedenle özellikle Ç-K dönemi öncesi gerçekleşen yağışlar ve buna bağlı serinleme etkisi verime olumlu olarak yansırken, kurak geçen dönemlerde ise LST artmakta ve bu durumda verim olumsuz etkilenmektedir. Bitkinin soğuklamayı yaşadığı kış periyodunda (Kardeşlenme dönemi içinde) LST düşmekte ve NDVI-LST ilişkisi pozitif yönlü, LST-verim ilişkisi ise zıt yönlü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu dönemde yörede tarım sahaları genelde kar ya da buzla kaplı olabilmektedir. Bu nedenle NDVI değerleri ile verim arasında kayda değer bir ilişki görülmemektedir. Şubat ayı ortalarından itibaren ise hem hava sıcaklığı hem de LST artmaya başlamakta, olası kar/buz örtüsü kalkmakta ve bitki sapa kalkma süreciyle hızlı bir yeşerme dönemine geçiş yapmaktadır. Artan NDVI değerleri verimlerle güçlü pozitif yönlü ilişkiler yakalarken, artan LST değerleri ile verimler arasında bu kez negatif yönlü ilişkiler dikkat çekmektedir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 Çeşitlerde aylara göre NDVI-LST ve buğday verimi ilişkisi

Kızıltan için Nisan ayının 2. yarısında negatif yönlü NDVI-LST ve LST-verim, Mayıs ayının 2. yarısında ise pozitif yönlü NDVI-verim en yüksek düzeydeki ilişkiler olarak belirlenmiştir. Bayraktar çeşidinde ise Nisan ayının 2. yarısında negatif yönlü NDVI-LST ve LST-verim, Mayıs ayının 1. yarısında pozitif yönlü NDVI-verim ilişkileri en yüksek değerler olarak dikkat çekmektedir. Bezostaya parsellerinde ise Haziran ayının ilk

yarısındaki negatif yönlü NDVI-LST ile Nisan ayının 2. yarısındaki negatif yönlü NDVI-LST, LST-verim ve Mayıs ayının 2. yarısındaki ise pozitif yönlü NDVI-verim ilişkileri en yüksek değerler olarak belirlenmiştir. Nisan ayı yörede yaklaşık olarak S-B, Mayıs ayı ise B-Çi dönemine denk gelmektedir. Haziran ayının özellikle ilk yarısı ise çiçeklenmeden olgunlaşmaya kadar geçen dönemdir ve NDVI, LST, verim arasında önemli ilişkiler bu dönemde de dikkat çekmektedir. Kuraklığın en büyük göstergesi bitkisel üretimde neden olduğu verim kayıplarıdır. Bu nedenle çalışma, temel konusu olan kuraklık-verim ilişkileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Aylara ve büyüme dönemlerine göre buğday verimleri, NDVI ve LST ilişkilerine bakılmıştır. Aşağıda Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında belirlenen korelasyonlar (r) görülmektedir (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25 NDVI-LST-Verim (Y) korelasyonları

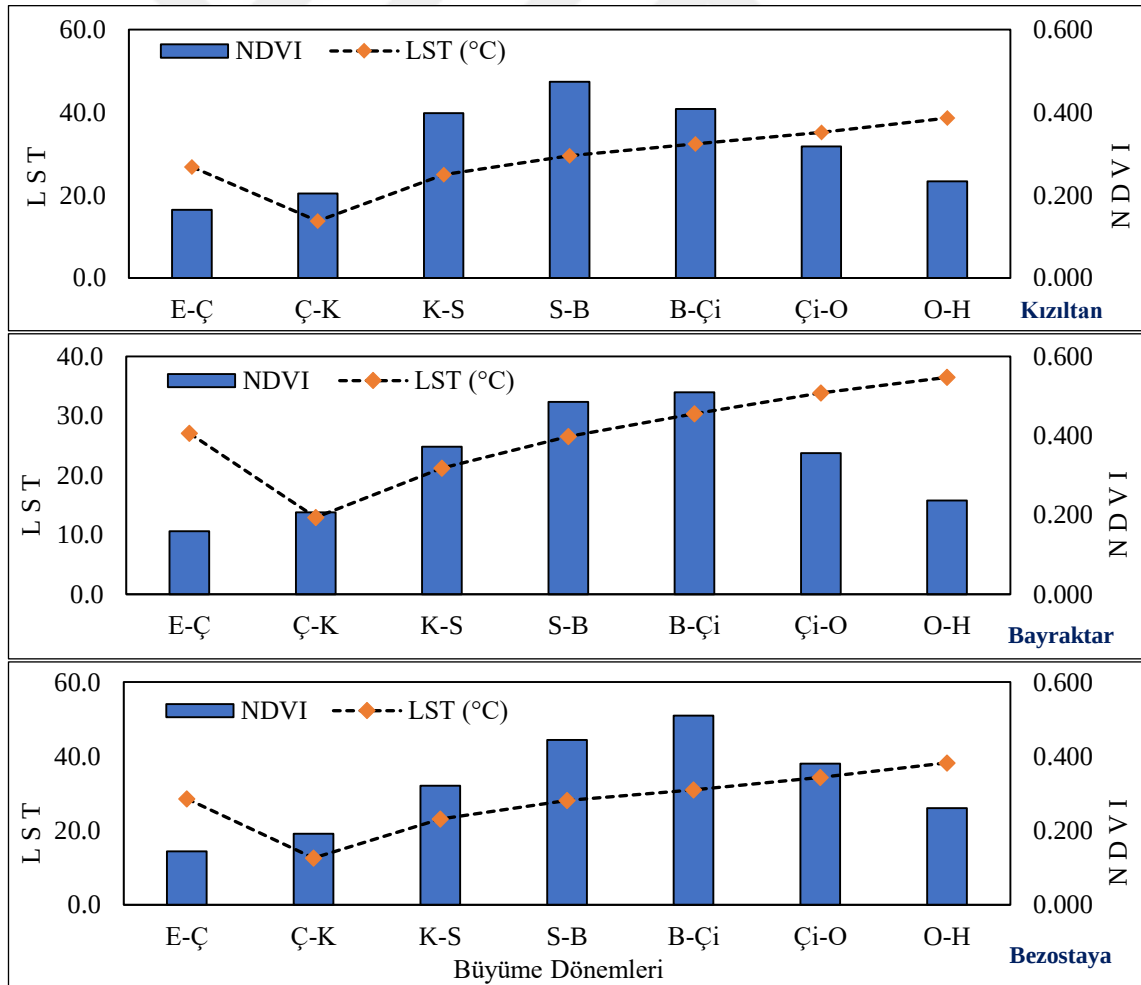
	Nisan		Mayıs		Haziran	
Kızıltan	01_15	16_30	01_15	16_31	01_15	16_30
NDVI-LST	-0.623	-0.790	-0.422	-0.333	-0.727	-0.542
NDVI-Y	0.491	0.631	0.711	0.866	0.779	0.653
LST-Y	-0.717	-0.727	-0.526	-0.396	-0.636	-0.686
Bayraktar	01_15	16_30	01_15	16_31	01_15	16_30
NDVI-LST	-0.646	-0.813	-0.512	-0.240	-0.683	-0.349
NDVI-Y	0.742	0.807	0.901	0.813	0.685	0.471
LST-Y	-0.759	-0.792	-0.406	-0.276	-0.443	-0.636
Bezostaya	01_15	16_30	01_15	16_31	01_15	16_30
NDVI-LST	-0.097	-0.640	-0.131	-0.490	-0.699	-0.296
NDVI-Y	-0.016	0.588	0.620	0.761	0.678	0.602
LST-Y	-0.365	-0.812	-0.523	-0.368	-0.720	-0.709

P≤0.05

Çeşitlerin büyüme dönemlerine göre NDVI ve LST medyan değişimleri aşağıda incelenmiştir. E-Ç arası dönemde en düşük seviyede olan NDVI değerleri, Ç-K arası dönemde özellikle buğdayda soğuklamanın bitmesi, hava ve yüzey sıcaklıklarının yükselişe geçmesiyle beraber artışa geçmektedir. Sapa kalkma dönemi ile tüm parsellerde hızlı bir yeşerme periyoduna girilmekte, NDVI değerleri hızla yükselmektedir. Kademeli olarak B-Çi dönemine kadar bitkide yeşermenin artarak sürmesi nedeniyle, NDVI değerleri yükselişe geçmekte, olgunlaşmayla birlikte sararmanın etkisiyle kademeli olarak yeniden düşüş eğilimi görülmektedir. Tüm çeşitlerde en yüksek NDVI değerine

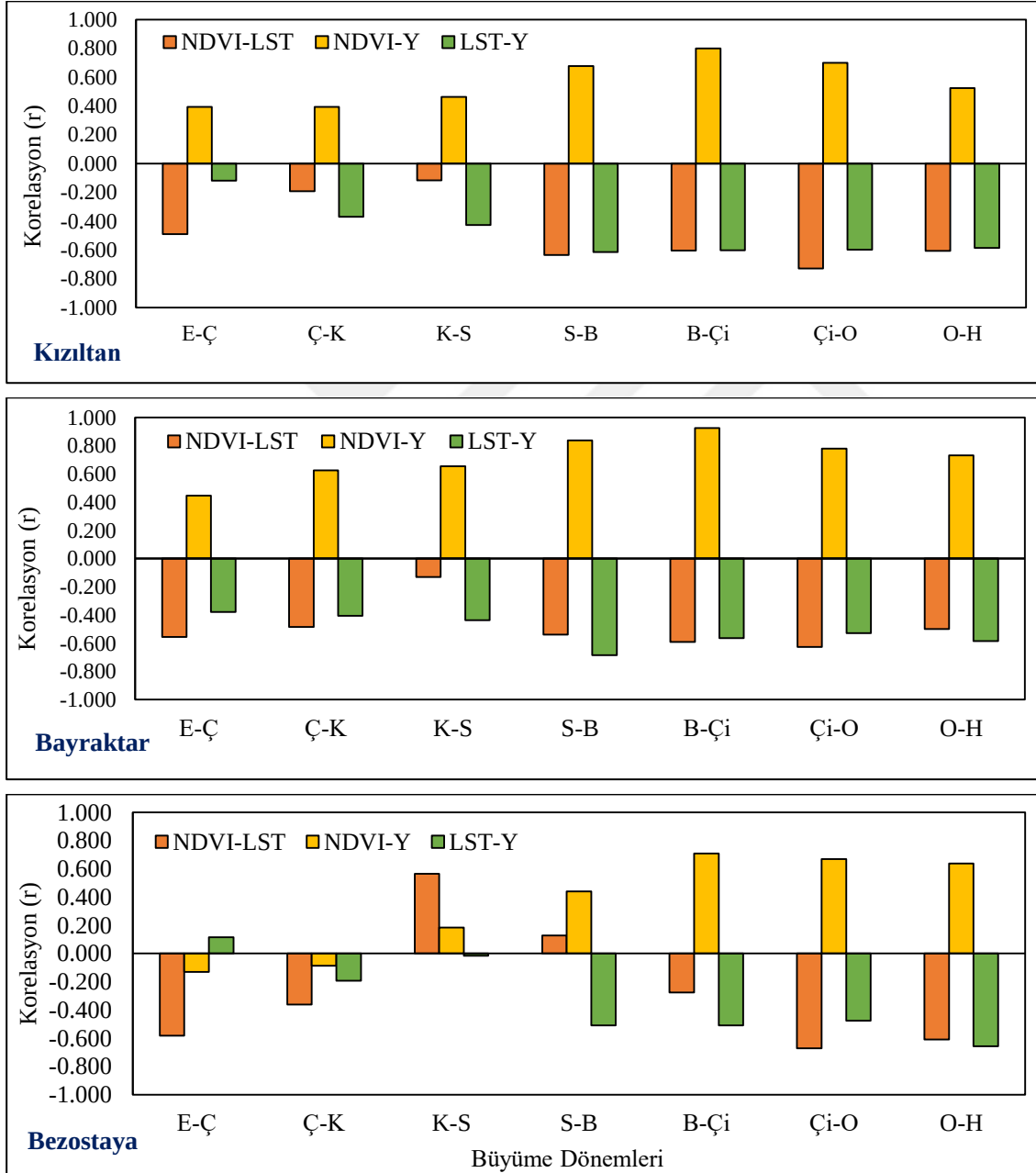
genellikle başaklanma döneminde ulaşmakla birlikte, bu durum parsele ve yıla göre sapa kalkma ile çiçeklenme arası dönemde gerçekleşmektedir (Şekil 4.21).

LST ise sonbaharda gerçekleşen ekimler nedeniyle E-Ç arası dönemde nispeten yüksek seviyede başlamakta, çıkıştan kardeşlenmeye kadar devam eden uzun dönemde en düşük seviyesine gerilemektedir. Bu dönem kış uykusunun gerçekleştiği soğuk dönemdir. Dolayısıyla LST değerleri düşme eğilimindedir. Buğday kış uykusundan çıktıktan sonra sıcaklıkların artmasıyla birlikte kardeşlenme safhasına geçer. Bu dönemden itibaren hasada kadar LST değerleri ısınan havanın etkisiyle yükselme eğilimine girer. Özellikle sapa kalkma ve başaklanma dönemlerinde hem NDVI hem de LST değerlerinde birlikte artışlar dikkat çekmektedir. B-Çi arası NDVI değerlerinde düşüş başlamakta, LST yükselme eğilimini korumaktadır. LST hasat öncesi en yüksek değerine ulaşmaktadır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Çeşitlerde büyüme dönemlerine göre NDVI ve LST değişimi

Çeşitlerde büyüme dönemlerine göre NDVI-LST, NDVI-Verim ve LST-Verim ilişkileri analiz edilmiştir. Büyüme dönemlerine göre çeşitlerin tümünde en yüksek NDVI-Verim korelasyonları pozitif olarak B-Çi arası dönemde belirlenirken, LST-Verim korelasyonları ise çeşitlerin tümünde ve tüm dönemlerde negatif olarak belirlenmiştir. LST ne kadar yüksek olursa kuraklık koşulları o kadar uygun hale gelmekte ve bu durum verimde düşme olarak etkisini göstermektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Büyüme dönemlerine göre NDVI-LST-Verim (Y) korelasyonları

En yüksek NDVI-Verim korelasyonları Kızıltan'da 0.800, Bayraktar'da 0.926 ve Bezostaya'da 0.709 seviyelerinde belirlenmiştir. NDVI ile tüm büyüme dönemlerinde en yüksek korelasyonlar Bayraktar çeşidinde belirlenirken, bunu Kızıltan ve ardından Bezostaya çeşidi takip etmiştir. Bezostaya çeşidinde K-S dönemi hariç, çeşit ve büyüme dönemlerinin tümünde NDVI-LST ilişkisi negatif yönlü olarak belirlenmiştir. Buna göre, en yüksek NDVI-LST ilişkilerinin Kızıltan'da -0.730, Bayraktar'da -0.626 ve Bezostaya'da -0.672 olarak Çi-O arası dönemde olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 4.27). Çiçeklenmeden sonra buğdayda artan sıcaklıklarla birlikte sararmanın başlaması nedeniyle en yüksek (negatif yönlü) NDVI-LST korelasyonları bu dönemde belirlenmiştir. LST'deki artışla birlikte NDVI değerlerindeki düşüş, tarımsal kuraklığın oluşmasına neden olabilecek yoğun nem stresine işaret edebilir (Harishnaika vd. 2022). Çeşitlerde genel olarak sapa kalkma sonrası NDVI-LST korelasyonlarının artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bitkinin su ihtiyacının arttığı hızlı büyüme-yeşerme dönemine olan sapa kalkma sonrası yüksek LST arazide termal stresin bir göstergesi ya da kuraklık açısından kırılganlığın arttığı dönemi ifade etmektedir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26 Büyüme dönemlerine göre NDVI-LST-Verim (Y) korelasyonları

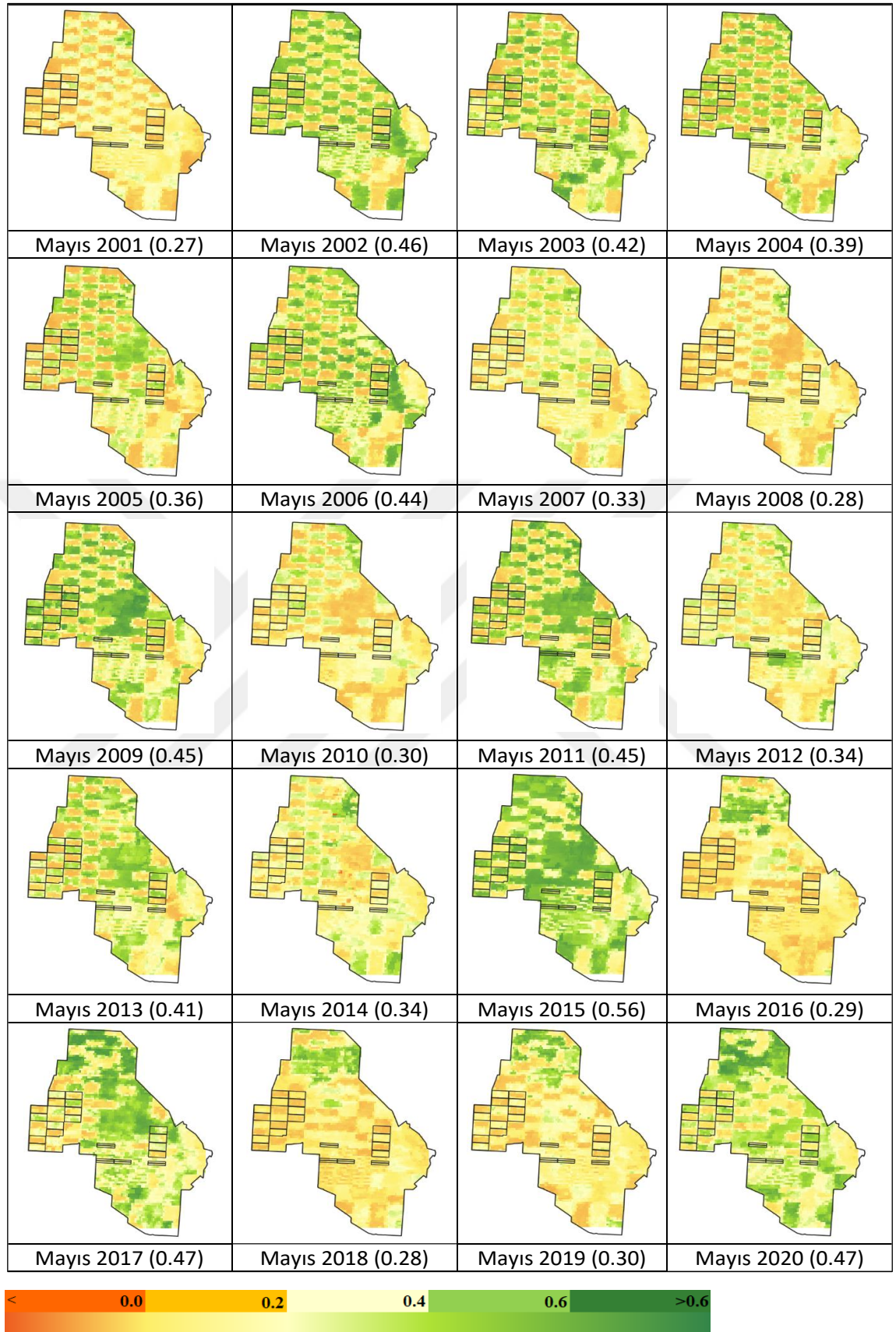
Kızıltan	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
NDVI-LST	-0.490	-0.192	-0.117	-0.636	-0.605	-0.730	-0.606
NDVI-Y	0.393	0.394	0.463	0.678	0.800	0.701	0.524
LST-Y	-0.120	-0.369	-0.426	-0.614	-0.603	-0.598	-0.587
Bayraktar	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
NDVI-LST	-0.555	-0.485	-0.130	-0.539	-0.591	-0.626	-0.500
NDVI-Y	0.446	0.626	0.656	0.839	0.926	0.781	0.732
LST-Y	-0.379	-0.405	-0.436	-0.685	-0.563	-0.529	-0.586
Bezostaya	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
NDVI-LST	-0.582	-0.361	0.565	0.127	-0.277	-0.672	-0.609
NDVI-Y	-0.130	-0.087	0.184	0.439	0.709	0.670	0.638
LST-Y	0.116	-0.194	-0.015	-0.509	-0.509	-0.477	-0.657

P<0.05

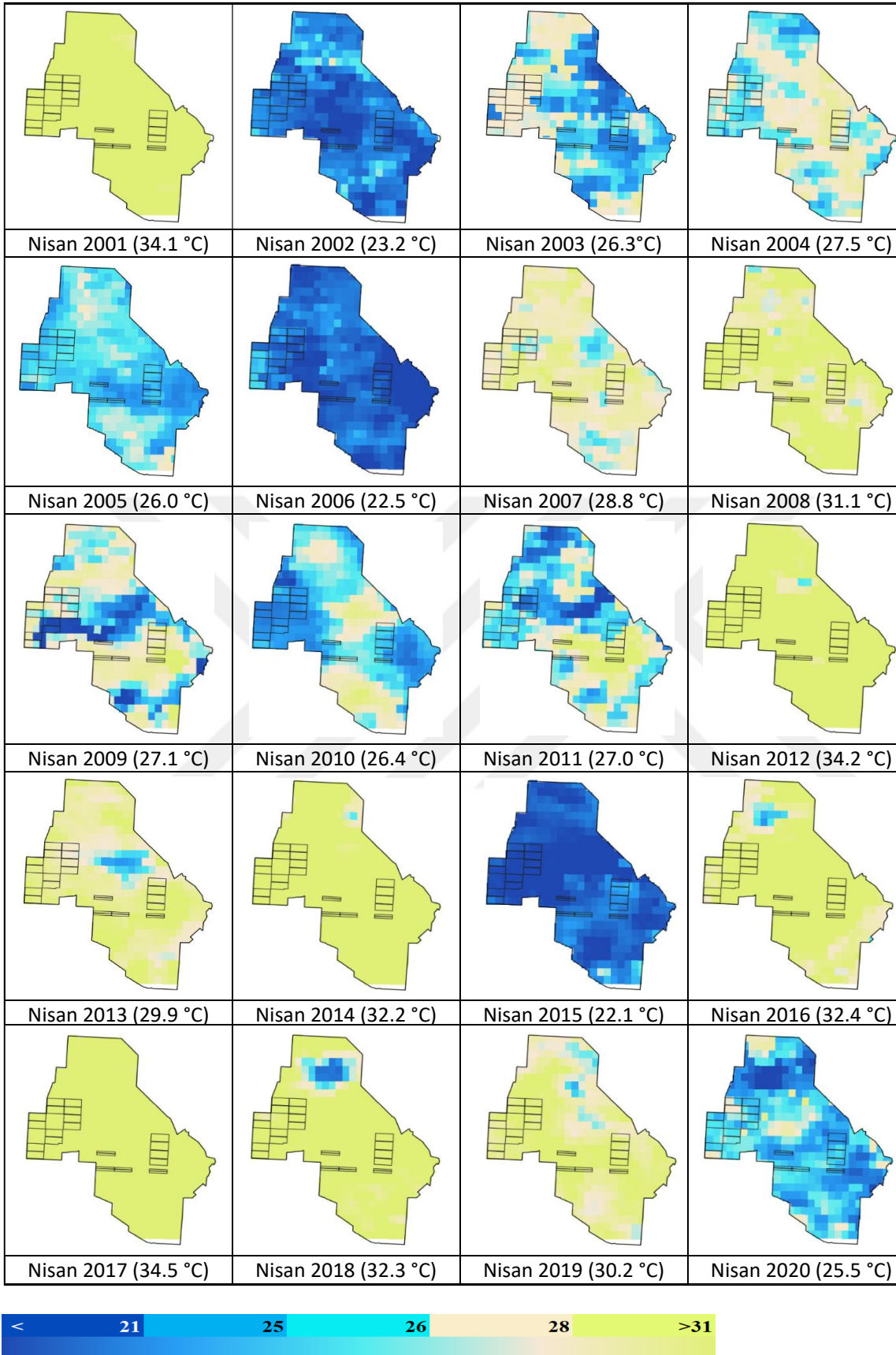
Altınova Tarım İşletmesinde ortalama olarak B-Çi arası döneme denk gelen ve çeşit verimleriyle de en yüksek korelasyonların belirlendiği Mayıs ayı NDVI görüntüleri yıllara ve kuraklık şiddetlerine göre renklendirilerek gösterilmiştir. Parsel poligonları (Güney ve Kuzey olarak) görüntülerin (Raster) içinde konumlandırılmıştır. 20 yıllık dönemi kapsayan NDVI görüntülerinde yeşil ile temsil edilen nemli alanlar ile turuncu

ile temsil edilen kurak alanlar yıllara göre oldukça farklılıklar göstermektedir. Buna göre; görüntülerde 2015, 2017, 2020 ve 2002 yıllarının nemli, 2001, 2008, 2018 ve 2016 yıllarının ise diğer yıllara nazaran kurağa yakın ılıman seyrettiği dikkat çekmektedir. İşletmenin kuzey bölümünde, 2016 yılından itibaren sulama sisteminin hayata geçirilmesi nedeniyle, bu yıldan sonra kurak geçen dönemlerde yeşil örtü karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.22).

LST analizlerine göre ise çeşitlerde verimle en yüksek ilişki düzeylerinin belirlendiği ve takriben S-B dönemine denk gelen Nisan ayına ait görüntüler paylaşılmıştır. Görüntülerde LST'nin en düşük olduğu alanlar koyu mavi, en sıcak olduğu alanlar ise sarı tonda göre renklendirilmiştir. İşletme arazisinde yüzey sıcaklıklarının en düşük ($LST < 25.0^{\circ}\text{C}$) gerçekleştiği yıllar 2015, 2006 ve 2002, en yüksek ($LST > 34.0^{\circ}\text{C}$) gerçekleştiği yıllar ise 2017, 2012 ve 2001 olarak dikkat çekmektedir (Şekil 4.23).



Şekil 4.22 Altınova Tarım İşletmesi Mayıs ayı NDVI görüntüleri



Şekil 4.23 Altınova Tarım İşletmesi Nisan ayı LST (°C) görüntüleri

4.7.2 Parsellere göre NDVI değerlendirmesi

Kızıltan parsellerinde B-Çi döneminde vejetasyonun en güçlü olduğu yıl şiddetli nemliliğin (0.637) yaşıandığı 2015 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla (NDVI≥0.400), 2011, 2020, 2003, 2009, 2002, 2010, 2013, 2006, 2005, 2017, 2004 ve 2018 yılları takip etmiştir. Kızıltan parsellerinde NDVI değerleri açısından şiddetli kurak/kurak dönem yaşanmamış, ancak kurağa yakın, vejetasyonun daha düşük olduğu dönemler yaşanmıştır. Bunlar sırasıyla 2016, 2001, 2019, 2014, 2007, 2008 ve 2012 yılları şeklindedir. Parsellere göre de yıllar içinde farklılıklar olmaktadır. Örneğin; Parsel 23 ve Parsel 24'te 2002 ve 2006 yılları nemli olarak belirlenirken, Parsel 21'de normal olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde 2004 yılı Parsel 23 için nemli, Parsel 21 ve Parsel 24 içinse normal olarak değerlendirilmiştir. NDVI ortalamalarına göre Parsel 21 hariç tüm parseller nemli sınıfta yer almakta, en yüksek ortalama değer (0.482) ise 32 numaralı parselde görölmektedir (Çizelge 4.27). İşletmede parsellerin toprak özellikleri, su tutma kapasiteleri, eğimleri, konumları gibi nedenlerden ötürü NDVI değerlerinde ve ürün verimlerinde değişkenlikler meydana gelmektedir.

Çizelge 4.27 Kızıltan için B-Çi dönemi NDVI değişimi

YIL	P21	P23	P24	P29	P32	P35	ORT
2001				#	#	#	0.330
2002				#	#	#	0.513
2003				#	#	#	0.536
2004				#	#	#	0.401
2005				#	#	#	0.483
2006				#	#	#	0.502
2007				#	#	#	0.349
2008				#	#	#	0.356
2009		#	#	#			0.535
2010	#	#	#	#			0.509
2011	#	#	#	#			0.555
2012		#					0.360
2013		#					0.508
2014							0.335
2015							0.637
2016							0.281
2017							0.418
2018							0.401
2019	#						0.330
2020			#				0.542
ORT	0.392	0.443	0.443	0.413	0.482	0.448	0.444



P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Bayraktar için NDVI-verim ilişkisi en yüksek düzeyde B-Çi arası dönemde vejetasyonun en güçlü olduğu yıl şiddetli nemliliğin (0.719) yaşandığı 2015 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla ($NDVI \geq 0.400$), 2011, 2009, 2020, 2010, 2013, 2018, 2012, 2014 ve 2019 yılları takip etmiştir. Bayraktar çeşidinde NDVI değerleri açısından vejetasyonun daha düşük olduğu dönemler yaşanmakla birlikte, parsellere göre de yıllar içinde farklılıklar olmaktadır. Örneğin, 2012, 2014, 2017, 2018 ve 2019 yıllarında parsellere göre nemli veya normal olarak sınıflandırmalarda değişiklikler görülmektedir. Tüm parseller NDVI ortalamalarına göre nemli sınıfta yer almakta olup, en yüksek ortalama değer (0.540), 43 numaralı parselde, en düşük ortalama değer (0.469) ise 25 numaralı parselde görülmektedir. Parsellerin ortalamalarına göre vejetasyonun en düşük (0.301) seyrettiği yıl 2016 olurken, bunu 2017 yılı (0.399) takip etmiştir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28 Bayraktar için B-Çi dönemi NDVI değişimi

YIL	P25	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2009	#						0.680
2010	#						0.581
2011							0.600
2012							0.410
2013							0.569
2014							0.408
2015							0.719
2016							0.301
2017							0.399
2018							0.467
2019							0.404
2020							0.585
ORT	0.469	0.506	0.540	0.505	0.520	0.494	0.506
-0.1 0.0 0.2 0.4 0.6 1.0							

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Bezostaya çeşidinde de kuraklığın verim üzerindeki etkilerinin en belirgin olarak görüldüğü B-Çi döneminde yıllara ve parsellere göre farklılıklar olabilmektedir. Parsellerin birlikte yıllık ortalamaları incelendiğinde; vejetasyonun en düşük seviyelerde seyrettiği yılların 2008 ve 2001, en yüksek seviyelerde seyrettiği yılların ise 2002, 2006 ve 2003 olduğu görülmektedir. Parseller ayrı ayrı ele alındığında ise, NDVI ortalamalarına göre tüm parsellerin nemli sınıfta yer aldığı, en yüksek ortalama değer (0.545) 56 numaralı parselde, en düşük ortalama değer (0.437) ise 29 numaralı parselde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29 Bezostaya için B-Çi dönemi NDVI değişimi

YIL	P29	P32	P35	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2001									0.397
2002									0.610
2003									0.551
2004									0.528
2005									0.474
2006									0.580
2007									0.479
2008									0.373
ORT	0.437	0.486	0.486	0.482	0.499	0.522	0.545	0.534	0.499
-0.1 0.0 0.2 0.4 0.6 1.0									

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

NDVI değişimi çeşitlerin ekildiği parsel ve büyüme dönemlerine göre incelenmiş, yıllara, parsellere ve büyüme dönemlerine göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kızıltan parsellerinde, vejetasyonun genel olarak en düşük seviyelerde seyrettiği yıllar; 2001, 2007, 2008, 2012, 2014 ve 2016 (Çizelge 4.30 - 4.31), Bayraktar parsellerinde, 2014, 2016, 2017 (Çizelge 4.32) ve Bezostaya parsellerinde ise 2001 ve 2008 şeklinde belirlenmiştir (Çizelge 4.33). Kızıltan ve Bayraktar çeşitlerinde 2015, Bezostaya çeşidinde ise 2006 yılları NDVI açısından vejetasyonun en yüksek seviyede (nemli) gerçekleştiği yıllar olarak karşımıza çıkarken, diğer yıllarda çeşitlerin hiçbirinde NDVI açısından dönemsel nemlilik ya da aşırı kurak (<0.0) sınıfta herhangi bir dönem yaşanmamıştır. Ayrıca, tüm çeşitlerde büyüme dönemi ve parsellere göre değişmek koşuluyla, çok nemliliğin (>0.6) görüldüğü yıllar yaşanmıştır. Aşağıda yıllara ve büyüme dönemlerine göre çeşitlere ait NDVI değişimleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.30 Kızıltan (parsel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre NDVI

YIL	P21						P23						P24								
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001																					
2002																					
2003																					
2004																					
2005																					
2006																					
2007																					
2008																					
2009																					
2010	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2011	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019	#	#	#	#	#	#	#														
2020															#	#	#	#	#	#	#

<

0.0

0.2

0.4

0.6

>0.6



Çizelge 4.31 Kızıltan (parşel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre NDVI

YIL	P29							P32							P35						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009	#	#	#	#	#	#	#														
2010	#	#	#	#	#	#	#														
2011	#	#	#	#	#	#	#														
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

<

0.0

0.2

0.4

0.6

>0.6



Çizelge 4.32 Bayraktar büyüme dönemlerine göre NDVI değişimi

YIL	P25							P41							P43						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009	#	#	#	#	#	#	#														
2010	#	#	#	#	#	#	#														
2011																					
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					
YIL	P45							P56							P57						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009																					
2010																					
2011																					
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

<

0.0

0.2

0.4

0.6

>0.6



Çizelge 4.33 Bezostaya büyüme dönemlerine göre NDVI değişimi

YIL	P29								P32								P35							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H			
2001																								
2002																								
2003																								
2004																								
2005																								
2006																								
2007																								
2008																								
YIL	P41								P43								P45							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H			
2001																								
2002																								
2003																								
2004																								
2005																								
2006																								
2007																								
2008																								
YIL	P56								P57								P59							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H			
2001																								
2002																								
2003																								
2004																								
2005																								
2006																								
2007																								
2008																								

<

0.0

0.2

0.4

0.6

>0.6



4.7.3 Parsellere göre LST değerdendirilmesi

Buğday verimleriyle en yüksek düzeyde ilişkinin belirlendiğı S-B arası dönemde Kızıltan parsellerinde ortalama LST'nin en yüksek (35.3°C) olduğı yıl 2012 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla (LST≥31.0°C), 2001, 2007, 2016, 2018 ve 2014 yılları takip etmiştir. LST'nin en düşük gerçekleştiğı yıl ise 2011 (22.6°C) olurken, bunu 2006, 2002, 2010 ve 2009 yılları izlemiştir. Parsellere göre de farklılıklar göze çarpmaktadır. Parsel 21, uzun yıllar ortalaması en yüksek (31.6°C) ve Parsel 32 ise en düşük (26.9°C) LST değerlerine sahiptir. Bir arazide LST'nin yüksek olması, orada düşük toprak neminin ve yüksek bir termal stresin varlığının bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır. Parsel 32'de 2013 ve 2015 yıllarında araştırma periyodundaki en düşük LST değerleri gerçekleşmiştir (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34 Kızıltan için S-B dönemi LST değışimi

YIL	P21	P23	P24	P29	P32	P35	ORT
2001				#	#	#	32.4
2002				#	#	#	24.6
2003				#	#	#	29.0
2004				#	#	#	29.1
2005				#	#	#	27.3
2006				#	#	#	23.8
2007				#	#	#	32.2
2008				#	#	#	30.6
2009		#	#	#			24.8
2010	#	#	#	#			24.7
2011	#	#	#	#			22.6
2012		#					35.3
2013		#					25.4
2014							31.1
2015							26.9
2016							31.7
2017							28.2
2018							31.6
2019	#						30.1
2020			#				28.2
ORT	30.6	29.0	28.4	29.1	26.9	29.4	28.5



P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Bayraktar parsellerinde ortalama LST'nin en yüksek (32.4 °C) olduğu yıl 2012 şeklinde belirlenirken, bunu sırasıyla ($LST \geq 28.0$ °C), 2017, 2016, 2014 ve 2018 yılları takip etmiştir. LST'nin en düşük ($LST \leq 25.0$ °C) gerçekleştiği yıl ise 2013 (20.1 °C) olarak belirlenirken, bunu sırasıyla, 2015, 2011, 2010 ve 2009 yılları izlemiştir. Yıllar içinde Parsel 25'in uzun yıllar ortalaması en yüksek (26.9 °C) ve Parsel 43'ün ise en düşük (25.4 °C) LST değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Çizelge 4.35).

Çizelge 4.35 Bayraktar için S-B dönemi LST değişimi

YIL	P25	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2009	#						24.9
2010	#						23.5
2011							23.2
2012							32.4
2013							20.1
2014							29.8
2015							22.5
2016							30.6
2017							31.1
2018							28.4
2019							27.2
2020							25.5
ORT	26.9	28.5	25.4	26.4	26.3	26.5	26.6

< 20 °C
25 °C
30 °C
35 °C
40 °C
>40 °C

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Bezostaya parsellerinde S-B dönemi ortalama LST'nin en yüksek (31.4 °C) olduğu yıl 2012 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla ($LST \geq 28.0$ °C), 2003, 2001 ve 2004 yılları takip etmiştir. LST'nin en düşük ($LST \leq 25.0$ °C) gerçekleştiği yıl 2002 (24.0 °C) olurken, bunu 2006 (24.5 °C) yılı izlemiştir. Parsel 41, uzun yıllar ortalaması en yüksek (31.0 °C) ve Parsel 35 ise en düşük (25.4 °C) LST değerlerine sahiptir (Çizelge 4.36).

Çizelge 4.36 Bezostaya için S-B dönemi LST değişimi

YIL	P29	P32	P35	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2001									29.2
2002									24.0
2003									30.5
2004									28.2
2005									26.5
2006									24.5
2007									31.4
2008									27.7
ORT	26.8	26.8	25.4	31.0	26.7	28.5	28.3	28.3	27.7

< 20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	>40 °C
---------	-------	-------	-------	-------	--------

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Çeşitlerin ekildiği parsel ve dönemleri ayrı ayrı büyüme dönemlerine göre incelenmiştir. Parsellerde LST dağılımları yıllara ve dönemlere göre genel olarak benzerlik göstermektedir. Tüm parsellerde en düşük LST değerleri Ç-K, en yüksek LST değerleri ise O-H arası dönemde gerçekleşmektedir. Kızıltan Parsel 21’de sapa kalkmadan hasada kadar geçen dönemde LST dağılımları diğer parsellere nazaran daha yüksek (sıcak) değerlerde seyretmiştir (Çizelge 4.37-4.38). Bayraktar Parsel 41’de başaklanmadan çiçeklenmeye kadar geçen dönemde yıllara göre LST dağılımları diğer parsellere nazaran daha yüksek değerlerde seyretmiştir (Çizelge 4.39). Bezostaya çeşidinde ise LST değerleri parsellerde genel olarak birbirilerine yakın seyretse de E-Ç döneminde en düşük LST değerleri parsel 43’te, en yüksek LST değerleri ise parsel 35’te görülmektedir. Diğer büyüme dönemlerinde ise en düşük LST değerlerinin parsel 35’te, en yüksek LST değerleri ise parsel 41’de olduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.40).

Çizelge 4.37 Kızıltan (parsel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre LST değişimi

YIL	P21						P23						P24								
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001																					
2002																					
2003																					
2004																					
2005																					
2006																					
2007																					
2008																					
2009																					
2010																					
2011																					
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

<

20 °C

25 °C

30 °C

35 °C

40 °C

>40 °C



Çizelge 4.38 Kızıltan (parsel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre LST değişimi

YIL	P29							P32							P35						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2010	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2011	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2012	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2013	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2014	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2015	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2016	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2017	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2018	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2019	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2020	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

<

20 °C

25 °C

30 °C

35 °C

40 °C

>40 °C



Çizelge 4.39 Bayraktar büyüme dönemlerine göre LST değişimi

YIL	P25								P41								P43							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	
2009	#	#	#	#	#	#	#																	
2010	#	#	#	#	#	#	#																	
2011																								
2012																								
2013																								
2014																								
2015																								
2016																								
2017																								
2018																								
2019																								
2020																								

YIL	P45								P56								P57							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	
2009																								
2010																								
2011																								
2012																								
2013																								
2014																								
2015																								
2016																								
2017																								
2018																								
2019																								
2020																								

<	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	>40 °C
---	-------	-------	-------	-------	-------	--------

Çizelge 4.40 Bezostaya büyüme dönemlerine göre LST değişimi

YIL	P29							P32							P35						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001																					
2002																					
2003																					
2004																					
2005																					
2006																					
2007																					
2008																					
YIL	P41							P43							P45						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001																					
2002																					
2003																					
2004																					
2005																					
2006																					
2007																					
2008																					
YIL	P56							P57							P57						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001																					
2002																					
2003																					
2004																					
2005																					
2006																					
2007																					
2008																					

<

20 °C

25 °C

30 °C

35 °C

40 °C

>40 °C



4.7.4 VCI ve TCI Analizleri

Çalışmada çeşitler için parsel bazında VCI, TCI ve buğday verimi korelasyonlarına büyüme dönemlerine göre bakılmıştır. Çeşitlerin tümünde en yüksek düzeyde VCI-Verim korelasyonları B-Çi arası dönemde belirlenmiş olup, Kızıltan'da 0.811, Bayraktar'da 0.895 ve Bezostaya da ise 0.785 seviyelerindedir. En yüksek TCI-Verim ilişkileri ise Kızıltan ve Bayraktar'da S-B arası dönemde sırasıyla 0.634 ve 0.678, Bezostaya çeşidinde ise O-H arası dönemde 0.636 olarak belirlenmiştir. Bezostaya çeşidinde S-B arası 0.496 seviyesindeki TCI-Verim korelasyonu da dikkat çekici olarak değerlendirilmiştir. En yüksek VCI-TCI korelasyonları ise tüm çeşitlerde Çi-O arası dönemde belirlenmiştir. Buna göre korelasyonlar Kızıltan'da 0.719, Bayraktar da 0.656, Bezostaya da 0.665 seviyelerinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.41).

Çizelge 4.41 Büyüme dönemlerine göre VCI, TCI, Verim (Y) korelasyonları

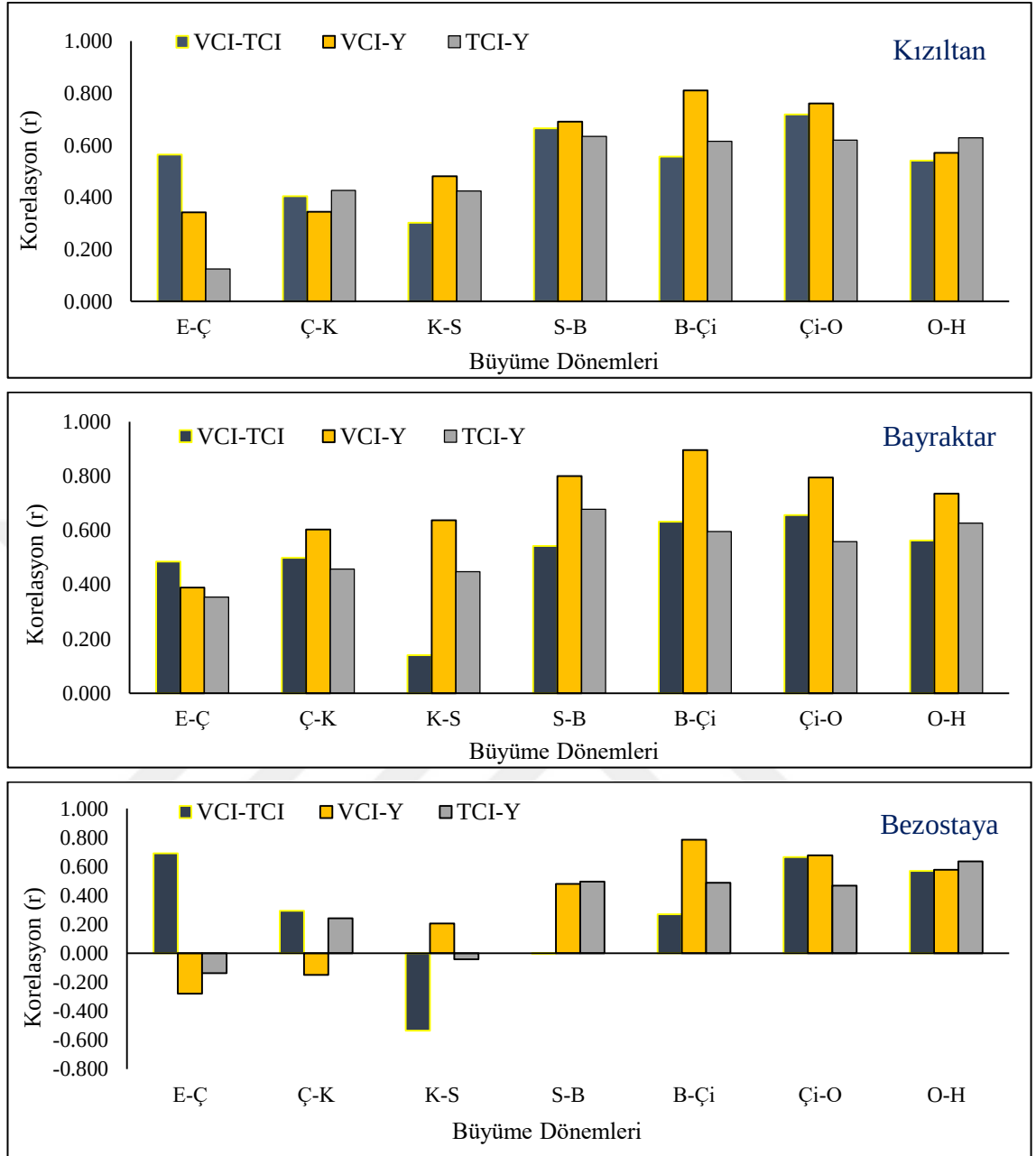
Kızıltan	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
VCI-TCI	0.564	0.404	0.302	0.666	0.557	0.719	0.541
VCI-Y	0.343	0.344	0.481	0.690	0.811	0.761	0.570
TCI-Y	0.124	0.426	0.424	0.634	0.615	0.620	0.629
Bayraktar	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
VCI-TCI	0.485	0.499	0.140	0.542	0.631	0.656	0.563
VCI-Y	0.389	0.603	0.637	0.799	0.895	0.794	0.735
TCI-Y	0.354	0.457	0.448	0.678	0.595	0.559	0.627
Bezostaya	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
VCI-TCI	0.692	0.294	-0.535	-0.001	0.271	0.665	0.570
VCI-Y	-0.280	-0.149	0.205	0.480	0.785	0.678	0.578
TCI-Y	-0.137	0.242	-0.041	0.496	0.488	0.467	0.636

P<0.05

Korelasyonlar incelendiğinde Kızıltan çeşidinde VCI'nin verimle, Ç-K ve O-H arası dönem hariç TCI'den daha yüksek düzeyde ilişkili olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; VCI'nin çıkış döneminde bitkide henüz güçlü bir yeşil aksam olmaması, hasat döneminde ise bitkide sararmanın başlamasıdır. Bayraktar çeşidinde ise tüm büyüme dönemlerinde VCI-Verim korelasyonlarının TCI-Verim korelasyonlarından daha yüksek düzeyde seyrettiği görülmektedir. Bezostaya'nın ise kuraklığa dayanıklılığı düşüktür ve kurak

koşullarda çıkışı gecikebilmektedir (Anonim 2023b). Bu nedenle S-B dönemine kadar VCI ve TCI de verimle önemli düzeyde ilişkiler görülmemiştir.

Çeşitlerin hiçbirinde TCI ile verim (Y) arasında E-Ç döneminde önemli düzeyde bir ilişki görülmemiştir. Ancak Kızıltan ve Bayraktar çeşitlerinde büyüme mevsimi içerisinde Ç-K (sırasıyla 0.426 ve 0.457) ve K-S (sırasıyla 0.424 ve 0.448) arası dönemler ile sapa kalkmadan hasada kadar tüm büyüme dönemleri arasında birbirine oldukça yakın ve önemli düzeyde ilişkiler belirlenmiştir. Bezostaya çeşidinde ise sapa kalkmadan hasada kadar tüm büyüme dönemleri arasında korelasyonlarda artış belirlenmiştir. VCI ile TCI arasında en yüksek korelasyonlar ise Kızıltan'da Çi-O (0.719) ve S-B (0.666), Bayraktar'da Çi-O (0.656) ve B-Çi (0.631), Bezostaya'da Çi-O (0.665) dönemlerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.24)

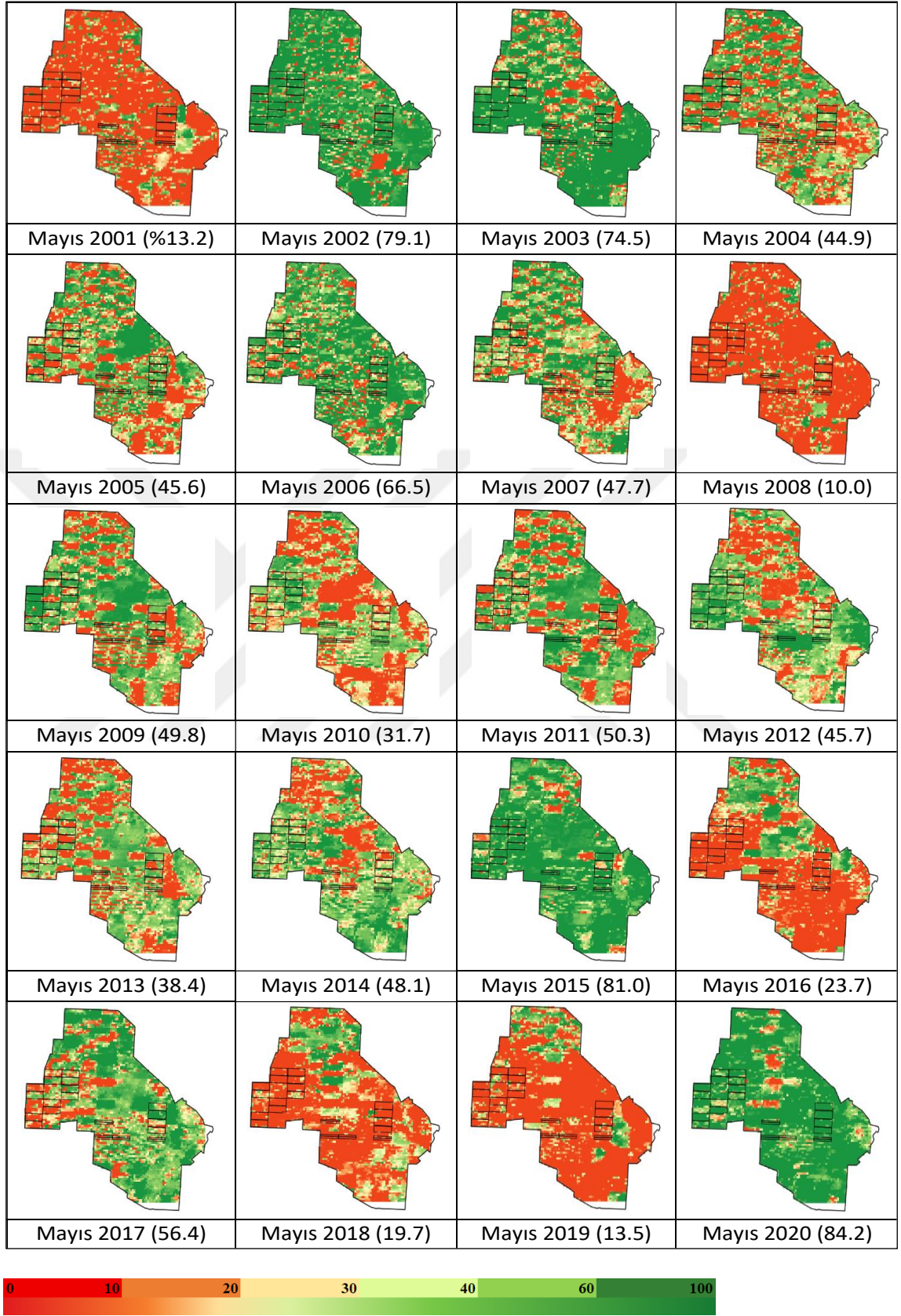


Şekil 4.24 Büyüme dönemlerine göre VCI-TCI-Verim korelasyonları

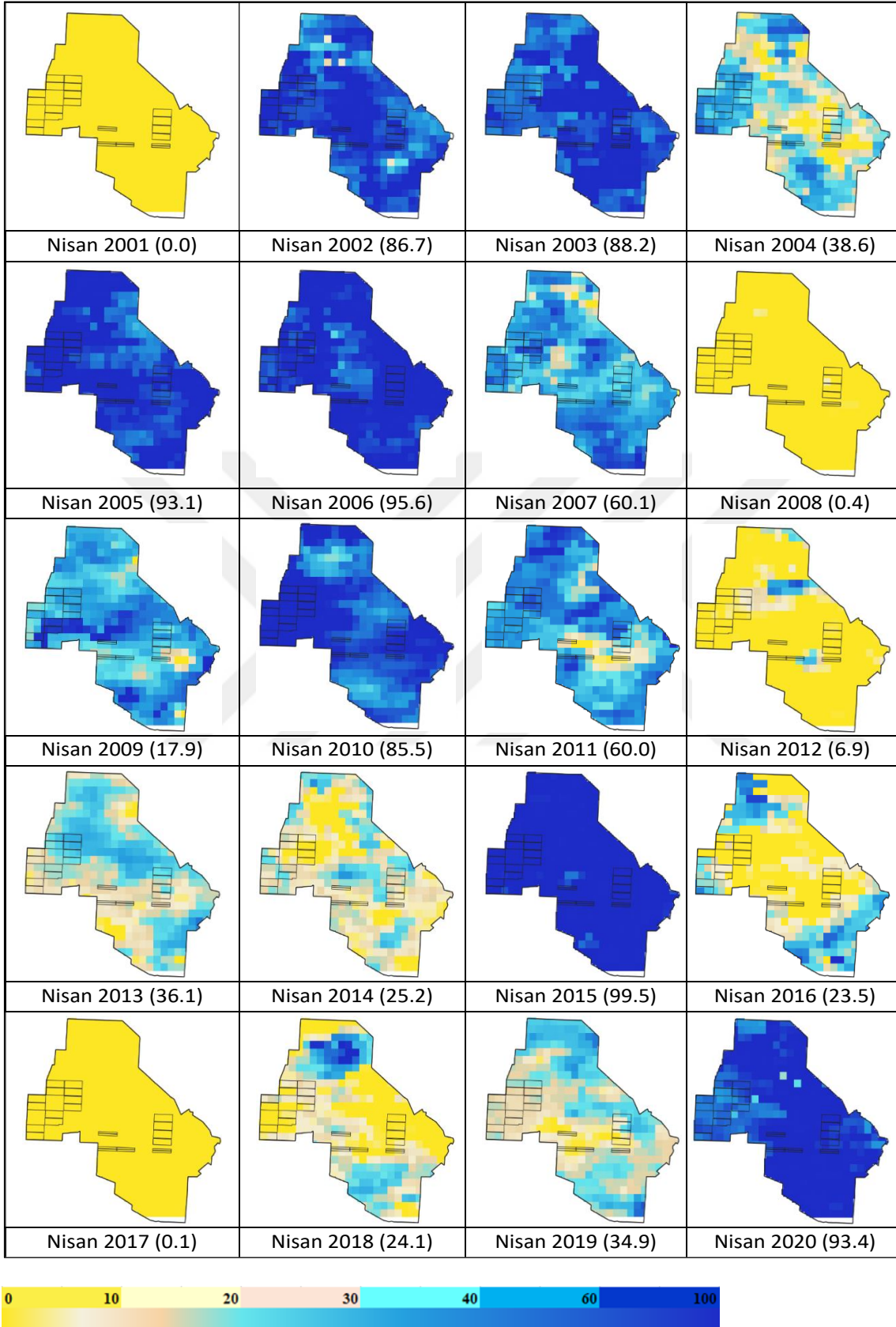
Altınova Tarım işletmesinde yaklaşık olarak B-Çi arası döneme denk gelen Mayıs ayı VCI görüntüleri ile S-B arası döneme denk gelen Nisan ayı TCI görüntüleri paylaşılmıştır. VCI görüntülerinde en kurak alanlar koyu turuncu (<%10), en nemli alanlar ise koyu yeşil (>%60) tonlarla renklendirilerek gösterilmiştir. Buna göre, 2001, 2008, 2019, 2016 ve 2018 en kurak, 2002, 2003, 2015 ve 2020 ise en nemli yıllar olarak dikkat çekmektedir (Şekil 4.25).

TCI görüntülerinde en yüksek termal stres (kuraklık) alanları koyu sarı (≤ 10), en düşük termal stres (nemlilik) alanları ise lacivert (≥ 60) tonlarla renklendirilerek gösterilmiştir. Buna göre, 2001, 2008, 2017 ve 2012 en kurak, 2005, 2006, 2015 ve 2020 ise en nemli yıllar olarak dikkat çekmektedir (Şekil 4.26).





Şekil 4.25 Altınova Tarım İşletmesi Mayıs ayı VCI görüntüleri



Şekil 4.26 Altınova Tarım İşletmesi Nisan ayı TCI görüntüleri

4.7.5 Parsellere göre VCI değerlendirmesi

Tüm çeşitlerde buğday verimleriyle en yüksek ilişkinin belirlendiği B-Çi döneminde (takriben mayıs ayı) parsel bazında ortalama VCI değerleri çizelge 4.43-4.44 ve 4.45'te paylaşılmıştır. Kızıltan için vejetasyonun en güçlü olduğu yıl *şiddetli nemliliğin* (%100.0) yaşandığı 2015 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla ($VCI \geq 60.0$), 2003, 2002, 2006, 2005, 2020, 2009, 2011 ve 2013 yılları takip etmiştir. Vejetasyonun en zayıf olduğu yıl *aşırı kuraklığın* (%0.5) yaşandığı 2001 olurken, bunu sırasıyla ($VCI \leq 40.0$) 2016 ve 2007 yılları aşırı kurak, 2008, 2019 ve 2014 yılları şiddetli kurak, 2012 yılı orta şiddette kurak, 2004, 2018 ve 2017 yılları ise hafif şiddette kurak olarak takip etmiştir. B-Çi dönemi VCI ortalamalarına göre tüm parseller normal ancak düşük sınır değerlerine yakın şekilde sınıflandırılmışlardır. Buna göre en yüksek ortalama değer (%47.0) 21 numaralı parselde, en düşük ortalama değerleri ise Parsel 32 (%42.5) ve ardından Parsel 23 (%43.3) de görülmektedir (Çizelge 4.42).

Çizelge 4.42 Kızıltan parsellerinde B-Çi dönemi VCI değişimi

YIL	P21	P23	P24	P29	P32	P35	ORT
2001				#	#	#	0.5
2002				#	#	#	86.6
2003				#	#	#	97.6
2004				#	#	#	34.0
2005				#	#	#	72.9
2006				#	#	#	81.5
2007				#	#	#	9.4
2008				#	#	#	12.7
2009		#	#	#			65.0
2010	#	#	#	#			53.9
2011	#	#	#	#			64.0
2012		#					24.0
2013		#					61.8
2014							16.5
2015							100.0
2016							1.1
2017							39.4
2018							34.4
2019	#						15.8
2020			#				72.8
ORT	47.0	43.3	46.5	44.4	42.5	44.6	44.7



P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Bayraktar parsellerinde vejetasyonun en güçlü olduğu yıl *şiddetli nemliliğin* (%100.0) yaşandığı 2015 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla ($VCI \geq 60.0$), 2009, 2011, 2020, 2010 ve 2013 yılları takip etmiştir. Vejetasyonun en zayıf olduğu yıl ise *aşırı kuraklığın* (%0.0) yaşandığı 2016 olurken, bunu sırasıyla ($VCI \leq 40.0$) 2017, 2019, 2014, 2012 ve 2018 yılları hafif şiddette kurak olarak takip etmiştir. B-Çi dönemi VCI ortalamalarına göre tüm parseller normal olarak sınıflandırılmışlardır. Buna göre en yüksek ortalama değer (%57.2) 43 numaralı parselde, en düşük ortalama değer (%42.6) ise Parsel 57’de görülmektedir (Çizelge 4.43).

Çizelge 4.43 Bayraktar parsellerinde B-Çi dönemi VCI değişimi

YIL	P25	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2009	#						87.9
2010	#						64.9
2011							71.3
2012							26.1
2013							63.9
2014							25.4
2015							100.0
2016							0.0
2017							23.3
2018							40.0
2019							24.4
2020							67.9
ORT	49.9	54.9	57.2	44.5	44.0	42.6	48.9

0	10	20	30	40	60	100
---	----	----	----	----	----	-----

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Bezostaya çeşidinde ise vejetasyonun en güçlü olduğu yıl *şiddetli nemliliğin* (%95.0) yaşandığı 2002 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla ($VCI \geq 60.0$), 2006, 2003 ve 2004 yılları takip etmiştir. Diğer taraftan, vejetasyonun en zayıf olduğu yıl *aşırı kuraklığın* (%5.1) yaşandığı 2008 olurken, bunu 2001 yılı *şiddetli kurak* (%14.5) olarak takip etmiştir. Araştırma periyodu B-Çi dönemi VCI ortalamalarına göre tüm parseller normal olarak sınıflandırılmışlardır. Buna göre en yüksek ortalama değer (%59.9) 32 numaralı parselde, en düşük ortalama değerleri (%45.1) ise Parsel 43’te görülmektedir (Çizelge 4.44).

Çizelge 4.44 Bezostaya parsellerinde B-Çi dönemi VCI değişimi

YIL	P29	P32	P35	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2001									14.5
2002									95.0
2003									74.7
2004									63.6
2005									46.8
2006									83.6
2007									46.9
2008									5.1
ORT	57.5	59.9	53.2	56.1	45.1	49.3	58.9	50.2	53.8

0	10	20	30	40	60	100
---	----	----	----	----	----	-----

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

VCI değerlendirmeleri çeşitlerin ekildikleri dönemlere göre yapılmıştır. VCI indeksi kuraklığı vejetasyon durumu açısından ele almaktadır. 2001-2008 periyodunda, Kızıltan ekimi gerçekleştirilen Parsel 21, Parsel 23 ve Parsel 24'te genel olarak nemliliğin en yoğun görüldüğü yıllar; 2002, 2003, 2005, 2006 kuraklığın daha yoğun görüldüğü yıllar ise 2001, 2007 ve 2008 şeklindedir. Yıllara, parsellere ve büyüme dönemlerine göre kurak-nemli dönemler değişebilmektedir. Örneğin; Parsel 21, 23 ve 24'te 2007 yılı ekimden kardeşlenmeye kadar nemli seyredirken devamında aşırı kuraklığa doğru bir eğilim göstermiştir. 2009-2020 periyodunda ekim yapılan 21, 23, 24, 29, 32 ve 35 numaralı tüm parsellerde, genel olarak 2015 yılı en nemli, 2012, 2014 ve 2016 yılları ise en kurak yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan; 2009, 2010, 2011 ve 2020 yıllarında nemliliğin daha yoğun yaşandığı belirlenmiştir. Yıllar içinde parsellere göre de farklılıklar görülmektedir. Örneğin 2012 yılında Parsel 29 ve Parsel 32'de nemli dönem yaşanmazken, Parsel 35'te şiddetli veya aşırı şiddetli kurak dönem yaşanmamıştır. Benzer şekilde; 2017 yılında Parsel 29 ve Parsel 32'de nemli dönem görülmezken, Parsel 35'te kardeşlenmeden sonra hasada kadar nemli dönemler yaşanmıştır. Bu bağlamda 2012 ve 2017 yılı özelinde Parsel 29 ve Parsel 32'de tarımsal kuraklık yaşanmış olabilir şeklinde değerlendirilmiştir (Çizelge 4.45-4.46).

Bayraktar çeşidi için VCI değerlendirmeleri 2009-2020 dönemlerine göre yapılmıştır. 2009-2020 periyodunda Bayraktar ekimi yapılan 25, 41, 43, 45, 56 ve 57 numaralı tüm parsellerde, genel olarak 2015 yılı en nemli, 2016, 2014, 2017 ve 2012 yılları ise en kurak

yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan; 2009, 2010, 2011, 2013, 2019 ve 2020 yıllarında nemliliğin daha yoğun yaşandığı belirlenmiştir. Yıllar içinde parsellere göre de farklılıklar görülmektedir. Örneğin 2012 yılında Parsel 56'da hiçbir büyüme döneminde nemlilik yaşanmazken, Parsel 41 ve 43'te birçok dönemde nemlilikle karşılaşmıştır (Çizelge 4.47).

Bezostaya çeşidi için VCI değerlendirmeleri 2001-2008 dönemine göre yapılmıştır. 2001-2008 periyodunda Bezostaya ekimi yapılan tüm parsellerde, genel olarak 2001, 2005 ve 2008 yıllarında kurak dönemlerin diğerlerine nazaran daha yoğun olduğu belirlenmiştir. Parseller ve dönemler arasında farklılıklar olmakla birlikte genel olarak 2004 ve 2006 yıllarında nemlilikler daha fazla görülmüştür (Çizelge 4.48).

Çizelge 4.45 Kızıltan (parşel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre VCI değışimi

YIL	P21							P23							P24						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001	Orange	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Orange	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Orange
2002	Red	Red	Green	Green	Orange	Orange	Red	Red	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green
2003	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Green
2004	Green	Green	Orange	Yellow	Green	Orange	Red	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green	Red	Green	Green	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Orange
2005	Orange	Orange	Orange	Green	Green	Green	Green	Orange	Yellow	Orange	Green	Green	Green	Green	Red	Yellow	Orange	Green	Green	Green	Green
2006	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Orange	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Orange	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2007	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
2008	Yellow	Yellow	Red	Red	Orange	Red	Red	Yellow	Green	Red	Red	Orange	Orange	Red	Orange	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red
2009	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2010	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2011	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2012	Green	Red	Orange	Yellow	Green	Green	Green	#	#	#	#	#	#	#	Yellow	Red	Red	Red	Orange	Green	Green
2013	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Orange	#	#	#	#	#	#	#	Orange	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green
2014	Red	Orange	Red	Red	Orange	Green	Green	Red	Red	Red	Orange	Orange	Orange	Red	Red	Red	Red	Orange	Orange	Yellow	Green
2015	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green
2016	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Red	Red	Red	Red
2017	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Yellow	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green
2018	Red	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Orange	Red	Yellow	Orange	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red
2019	#	#	#	#	#	#	#	Yellow	Green	Green	Green	Orange	Red	Green	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Green
2020	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	#	#	#	#	#	#	#

0

10

20

30

40

60

100

Aşırı

Şiddetli

Orta

Hafif

Normal

Nemli

Çizelge 4.46 Kızıltan (parsel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre VCI değişimi

YIL	P29							P32							P35						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2010	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2011	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2012	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2013	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2014	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2015	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2016	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2017	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2018	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2019	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2020	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

01020304060100

AşırıŞiddetliOrtaHafifNormalNemli

Çizelge 4.47 Bayraktar büyüme dönemlerine göre VCI değişimi

YIL	P25							P41							P43						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2010	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2011																					
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

YIL	P45							P56							P57						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009																					
2010																					
2011																					
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

Çizelge 4.48 Bezostaya büyüme dönemlerine göre VCI değişimi

YIL	P29							P32							P35						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2002	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2003	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2004	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2005	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2006	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2007	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2008	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
YIL	P41							P43							P45						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2002	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2003	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2004	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2005	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2006	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2007	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2008	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
YIL	P56							P57							P57						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2002	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2003	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2004	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2005	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2006	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2007	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2008	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

0

10

20

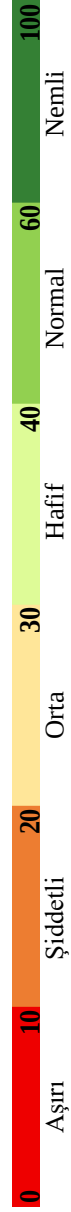
30

40

60

100

AşırıŞiddetliOrtaHafifNormalNemli

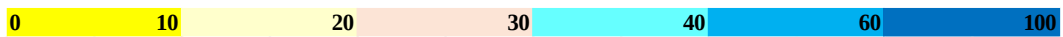


4.7.6 Parsellere göre TCI değerdendirilmesi

Çeşitlerin tümünde verimlerle en yüksek ilişkili dönem S-B arası olarak belirlenmiş ve buğday parsellerinde ortalama TCI değerdleri renklendirilmiş gösterimlerle çizelge 4.50-4.51 ve 4.52’de verilmiştir. Kızıltan çeşidinde TCI değerdinin en yüksek (%98.3) olduğu yıl 2006 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla (TCI≥60.0), 2011, 2009, 2002, 2010, 2013, 2015, 2017, 2020 ve 2005 yılları takip etmiştir. TCI değerdlerinin en düşük (TCI≤40.0) gerçekleştiği yıllar 2001 (%7.5) ve 2012 (%7.8) olarak belirlenirken, bunları sırasıyla 2007, 2008, 2018, 2016 ve 2014 yılları takip etmiştir. Parsellere göre de yıllar içinde farklılıklar göze çarpmaktadır. Parsel 32, uzun yıllar ortalaması en yüksek (%61.2) ve Parsel 23 ise en düşük (%39.0) TCI değerdlerine sahiptir. TCI arazinin nem içeriği hakkında ipucu sunmaktadır. Bu açıdan bakıldığında; parsellerin uzun yıllar ortalamaları genel olarak normal seviyededir. Ancak Parsel 23 normalin bir miktar altında hafif kurak sınıfında yer alırken, Parsel 32 ise normalin bir miktar üstünde nemli sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.49).

Çizelge 4.49 Kızıltan parsellerinde S-B dönemi TCI değerişimi

YIL	P21	P23	P24	P29	P32	P35	ORT
2001				#	#	#	7.5
2002				#	#	#	89.8
2003				#	#	#	42.7
2004				#	#	#	41.2
2005				#	#	#	60.4
2006				#	#	#	98.3
2007				#	#	#	10.1
2008				#	#	#	26.9
2009		#	#	#			92.2
2010	#	#	#	#			81.9
2011	#	#	#	#			97.2
2012		#					7.8
2013		#					77.8
2014							37.4
2015							72.0
2016							31.4
2017							70.1
2018							30.9
2019	#						42.3
2020			#				62.3
ORT	54.4	39.0	47.5	52.8	61.2	56.5	54.4



P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Bayraktar parsellerinde en yüksek TCI (%100.0) olduğu yıl 2013 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla ($TCI \geq 60.0$), 2015, 2011, 2010 ve 2009 yılları takip etmiştir. TCI değerlerinin en düşük ($TCI \leq 40.0$) gerçekleştiği yıl ise 2012 (%4.2) olarak belirlenirken, bunu 2017, 2016, 2014 ve 2018 yılları takip etmiştir. Parsellere göre de yıllar içinde farklılıklar göze çarpmaktadır. Parsel 25, uzun yıllar ortalaması en yüksek (%58.2) ve Parsel 57 ise en düşük (%42.1) TCI değerlerine sahiptir (Çizelge 4.50).

Çizelge 4.50 Bayraktar parsellerinde S-B dönemi TCI değişimi

YIL	P25	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2009	#						61.9
2010	#						72.6
2011							75.3
2012							4.2
2013							100.0
2014							23.9
2015							81.2
2016							15.6
2017							14.9
2018							31.8
2019							44.6
2020							57.5
ORT	58.2	50.5	51.5	42.9	45.0	42.1	48.4



P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Bezostaya çeşidinde verimlerle O-H dönemi harici en yüksek ilişkinin belirlendiği S-B döneminde Bezostaya parsellerinde ortalama TCI değerleri aşağıdaki gibidir. Buna göre; TCI değerinin en yüksek (%84.8) olduğu yıl 2002 olarak belirlenirken, bunu 2006 yılı (%74.6) takip etmiştir. TCI değerlerinin en düşük ($TCI \leq 10.0$) gerçekleştiği yıl 2007 (%9.8) olarak belirlenirken, bunu 2003 (%23.3) ve 2001 (%28.7) yılları takip etmiştir. Parsel 41, uzun yıllar ortalaması en yüksek (%56.6) ve Parsel 32 ise en düşük (%38.5) TCI değerine sahiptir (Çizelge 4.51).

Çizelge 4.51 Bezostaya parsellerinde S-B dönemi TCI değişimi

YIL	P29	P32	P35	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2001									28.7
2002									84.8
2003									23.3
2004									43.0
2005									59.9
2006									74.6
2007									9.8
2008									47.7
ORT	44.0	38.5	46.2	56.6	45.6	47.9	43.9	39.5	46.5



P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

TCI'ye göre, 2001-2008 periyodunda, Parsel 21, Parsel 23 ve Parsel 24'te genel olarak nemliliğin en yoğun görüldüğü yıllar; 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, kuraklığın daha yoğun görüldüğü yıllar ise 2001, 2007 ve 2008 şeklinde belirlenmiştir. VCI de olduğu gibi TCI de de yıllara, parsellere ve büyüme dönemlerine göre kurak-nemli dönemler değişebilmektedir. 2007 yılı TCI'ye göre de ekimden kardeşlenmeye kadar nemli seyrederken devamında aşırı kuraklığa doğru bir eğilim göstermiştir. 2009-2020 periyodunda ekim yapılan 21, 23, 24, 29, 32 ve 35 numaralı tüm parsellerde, genel olarak 2015 yılı en nemli, 2014 ve 2016 yılları ise en kurak yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan; 2009, 2010, 2011, 2013 ve 2020 yıllarında termal stresin daha düşük diğer bir ifadeyle, nemliliğin daha yoğun yaşandığı belirlenmiştir. Parsellere göre de bazı farklılıklar belirlenmiştir. Örneğin 2012 yılında Parsel 21 ve Parsel 24'te başaklanma döneminden sonra nemliliğe eğilim gösterirken, Parsel 29, 32 ve 35'te kurak dönem devam etmiştir. Benzer şekilde; 2017 yılında tüm parsellerde nemli ve kurak dönemlerin yaşanırken, Parsel 32'de sadece kurak dönem gözlemlenmiştir (Çizelge 4.52-4.53).

Bayraktar çeşidinde TCI'ye göre, 2009-2020 periyodunda ekim yapılan tüm parsellerde, genel olarak 2015 yılı en nemli 2012 ve 2016 yılları ise en kurak yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan; 2009, 2010, 2011, 2013 ve 2020 yıllarında termal stresin daha düşük diğer bir ifadeyle nemliliğin daha yoğun yaşandığı belirlenmiştir (Çizelge 4.54).

Bezostaya parsellerinde ise yıllara ve büyüme dönemlerine göre TCI açısından, kurak ve nemli olarak net bir ayırım yapılamamakla birlikte, genel olarak 2001, 2007 ve 2008 yıllarında sıcaklık stresinin yaşandığı belirlenmiştir. Özellikle tüm parsellerde 2007 yılında ekimden kardeşlenmeye kadar geçen dönemde nemlilik yaşanırken devamından kuraklığa doğru yönelim olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.55).



Çizelge 4.52 Kızıltan (parsel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre TCI değişimi

YIL	P21								P23								P24							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H			
2001	Blue	Yellow	Blue	Orange	Orange	Yellow	Orange	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Orange	Blue	Yellow	Blue	Orange	Blue	Orange	Blue	Blue			
2002	Yellow	Cyan	Blue	Blue	Blue	Yellow	Blue	Yellow	Blue	Orange	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Blue	Orange	Blue	Blue	Blue	Blue			
2003	Blue	Blue	Cyan	Blue	Blue	Blue	Blue	Cyan	Yellow	Blue	Orange	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue			
2004	Orange	Blue	Yellow	Blue	Blue	Cyan	Blue	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Blue	Blue			
2005	Cyan	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Blue	Blue			
2006	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Orange	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Blue	Blue			
2007	Blue	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Cyan	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Blue			
2008	Cyan	Blue	Blue	Blue	Cyan	Yellow	Cyan	Yellow	Blue	Blue	Cyan	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Blue	Yellow			
2009	Cyan	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Blue	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#			
2010	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#			
2011	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#			
2012	Orange	Blue	Yellow	Cyan	Blue	Blue	Blue	#	#	#	#	#	#	#	Yellow	Blue	Yellow	Blue	Blue	Blue	Blue			
2013	Blue	Blue	Blue	Yellow	Cyan	Yellow	Yellow	#	#	#	#	#	#	#	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue			
2014	Yellow	Orange	Cyan	Cyan	Blue	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Orange	Blue	Blue	Cyan	Yellow	Blue	Cyan	Blue	Orange	Blue	Blue			
2015	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue			
2016	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow	Orange	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Cyan	Yellow	Blue	Blue	Orange	Yellow			
2017	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Orange	Orange	Blue	Blue	Cyan	Blue	Blue	Blue	Blue	Orange	Blue	Yellow	Blue	Blue	Cyan	Orange			
2018	Blue	Cyan	Blue	Blue	Orange	Orange	Blue	Blue	Orange	Blue	Yellow	Yellow	Cyan	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Orange	Blue			
2019	#	#	#	#	#	#	#	Orange	Blue	Blue	Yellow	Cyan	Cyan	Blue	Orange	Blue	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Blue			
2020	Yellow	Orange	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Orange	Blue	Cyan	Yellow	Blue	Blue	#	#	#	#	#	#	#			

01020304060100

AşırıŞiddetliOrtaHafifNormalNemli



Çizelge 4.53 Kızıltan (parşel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre TCI değışimi

YIL	P29							P32							P35						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2010	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2011	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

01020304060100

AşırıŞiddetliOrtaHafifNormalNemli



Çizelge 4.54 Bayraktar büyüme dönemlerine göre TCI değişimi

YIL	P25							P41							P43						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2010	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2011																					
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

YIL	P45							P56							P57						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009																					
2010																					
2011																					
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

0	10	20	30	40	60	100
Aşırı	Şiddetli	Orta	Hafif	Normal	Nemli	

Çizelge 4.55 Bezostaya büyüme dönemlerine göre TCI değişimi

YIL	P29								P32								P35							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	
2001																								
2002																								
2003																								
2004																								
2005																								
2006																								
2007																								
2008																								
YIL	P41								P43								P45							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	
2001																								
2002																								
2003																								
2004																								
2005																								
2006																								
2007																								
2008																								
YIL	P56								P57								P59							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	
2001																								
2002																								
2003																								
2004																								
2005																								
2006																								
2007																								
2008																								

0

10

20

30

40

60

100

Aşırı

Şiddetli

Orta

Hafif

Normal

Nemli

4.7.7 VHI ve VSWI Analizler

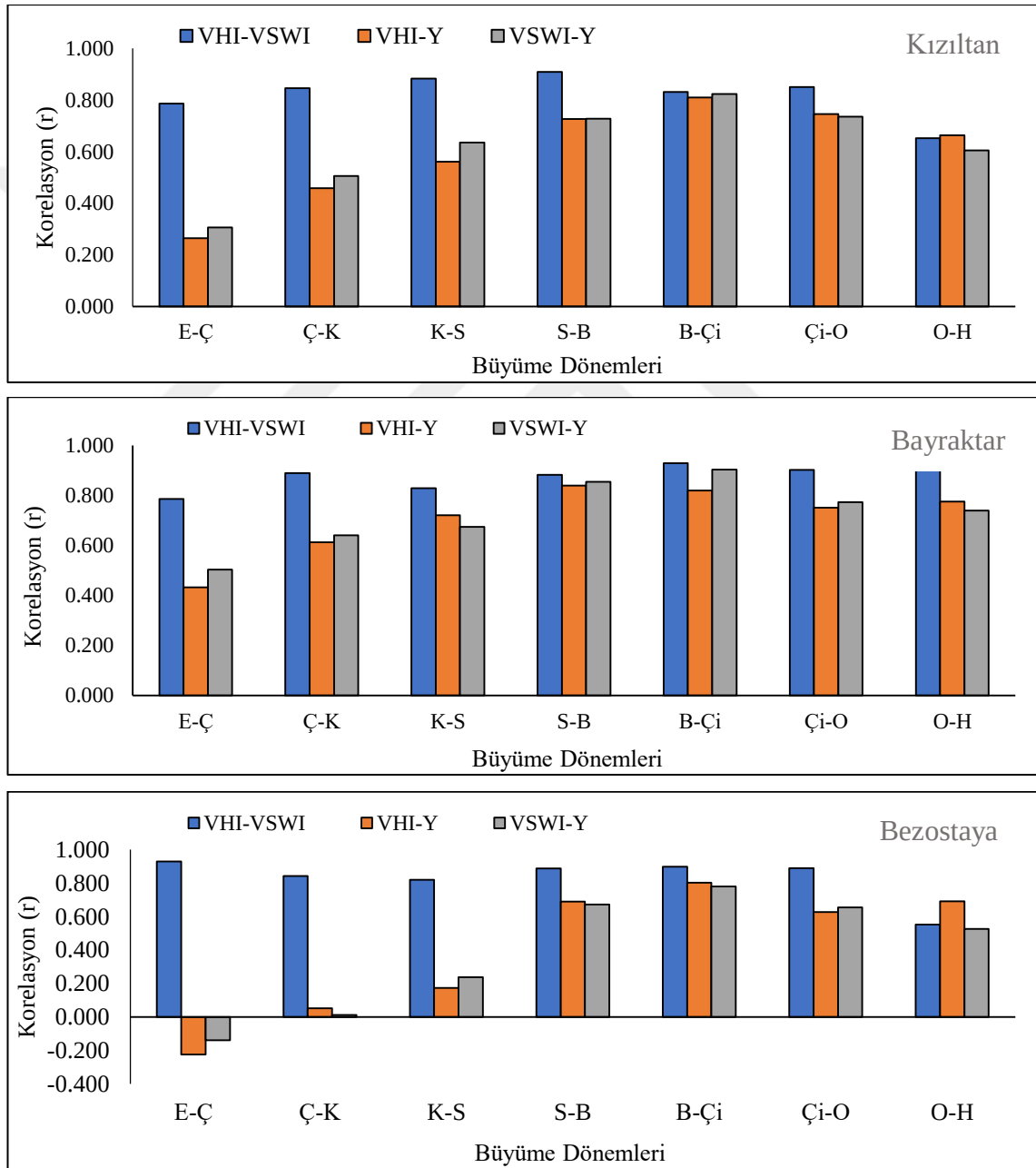
Kızıltan, Bayraktar ve Bezostaya parsellerinde VHI, VSWI ile buğday verimi ve diğer indeksler arasındaki korelasyonlara büyüme dönemlerine göre bakılmıştır. Kızıltan ve Bezostaya çeşitlerinde en yüksek VHI-Verim ve VSWI-Verim korelasyon değerleri B-Çi döneminde belirlenirken, Bayraktar çeşidinde en yüksek VHI-verim korelasyonu S-B, VSWI-verim korelasyonu ise B-Çi döneminde tespit edilmiştir. Kızıltan çeşidinde sırasıyla 0.810 ve 0.823, Bayraktar çeşidinde 0.840 ve 0.904, Bezostaya çeşidinde ise 0.802 ve 0.779 korelasyon değerleri belirlenmiştir. Diğer indekslerle de yüksek düzeylerde korelasyonlar gözlemlenmiştir. Kızıltan çeşidinde en yüksek korelasyon VSWI-NDVI arasında Çi-O döneminde (0.973), Bayraktar çeşidinde VSWI-VCI arasında B-Çi döneminde (0.947) ve Bezostaya çeşidinde VHI-VSWI arasında E-Ç döneminde (0.929) belirlenmiştir. VHI ve VSWI ile LST arasındaki ilişkiler tüm çeşitlerde zıt yönlü olarak karşımıza çıkmaktadır (Çizelge 4.56).

Çizelge 4.56 Çeşitlerde VHI-WSVI ile verim ve diğer indekslerin korelasyonları

Kızıltan	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
VHI-NDVI	0.741	0.708	0.807	0.869	0.788	0.813	0.652
VHI-LST	-0.737	-0.683	-0.530	-0.796	-0.731	-0.793	-0.683
VHI-VCİ	0.885	0.846	0.801	0.917	0.886	0.928	0.883
VHI-TCİ	0.884	0.830	0.812	0.908	0.879	0.926	0.859
VHI-VSWI	0.786	0.846	0.883	0.909	0.831	0.851	0.653
VHI-Y	0.264	0.458	0.561	0.726	0.810	0.745	0.663
VSWI-Y	0.306	0.505	0.635	0.728	0.823	0.736	0.605
VSWI-NDVI	0.825	0.935	0.742	0.930	0.962	0.973	0.731
VSWI-LST	-0.817	-0.503	-0.705	-0.849	-0.769	-0.833	-0.726
VSWI-VCİ	0.689	0.865	0.756	0.888	0.851	0.849	0.657
VSWI-TCİ	0.702	0.545	0.670	0.768	0.613	0.727	0.481
Bayraktar	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
VHI-NDVI	0.805	0.837	0.742	0.823	0.893	0.877	0.884
VHI-LST	-0.780	-0.779	-0.711	-0.822	-0.826	-0.802	-0.778
VHI-VCİ	0.886	0.868	0.768	0.875	0.896	0.922	0.909
VHI-TCİ	0.835	0.863	0.741	0.881	0.910	0.897	0.856
VHI-VSWI	0.787	0.890	0.830	0.882	0.930	0.902	0.928
VHI-Y	0.433	0.613	0.721	0.840	0.820	0.752	0.775
VSWI-Y	0.503	0.641	0.674	0.855	0.904	0.774	0.740
VSWI-NDVI	0.824	0.713	0.455	0.494	0.417	0.370	0.462
VSWI-LST	-0.809	-0.658	-0.567	-0.770	-0.754	-0.724	-0.698
VSWI-VCİ	0.638	0.936	0.739	0.860	0.947	0.939	0.928
VSWI-TCİ	0.728	0.602	0.509	0.691	0.740	0.687	0.691
Bezostaya	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
VHI-NDVI	0.777	0.716	0.459	0.669	0.784	0.867	0.780
VHI-LST	-0.915	-0.727	-0.336	-0.522	-0.667	-0.771	-0.771
VHI-VCİ	0.913	0.815	0.500	0.729	0.806	0.911	0.864
VHI-TCİ	0.926	0.794	0.465	0.684	0.788	0.913	0.893
VHI-VSWI	0.929	0.842	0.818	0.887	0.897	0.888	0.552
VHI-Y	-0.224	0.052	0.173	0.690	0.802	0.627	0.690
VSWI-Y	-0.139	0.011	0.237	0.671	0.779	0.654	0.526
VSWI-NDVI	0.885	0.722	0.370	0.077	-0.200	-0.200	-0.133
VSWI-LST	-0.867	-0.648	-0.286	-0.391	-0.613	-0.815	-0.570
VSWI-VCİ	0.871	0.773	0.634	0.843	0.830	0.855	0.420
VSWI-TCİ	0.840	0.578	0.151	0.396	0.595	0.767	0.457

Korelasyonlar incelendiğinde, tüm çeşitlerde büyüme dönemlerinde VHI ve VSWI değerlerinin verimle korelasyonlarının paralel artış ve azalış gösterdiği görülmektedir. Kızıltan ve Bezostaya çeşitlerinde korelasyon değerleri birbirlerine yakın belirlenmekle birlikte, VHI ve VSWI için en yüksek değerler B-Çi döneminde belirlenirken, Bayraktar çeşidinde VHI için S-B, VSWI içinse B-Çi dönemlerinde belirlenmiştir. Tüm çeşitlerde VSWI-verim ve VHI-verim korelasyonlarının birbirine oldukça yakın düzeylerde olduğu

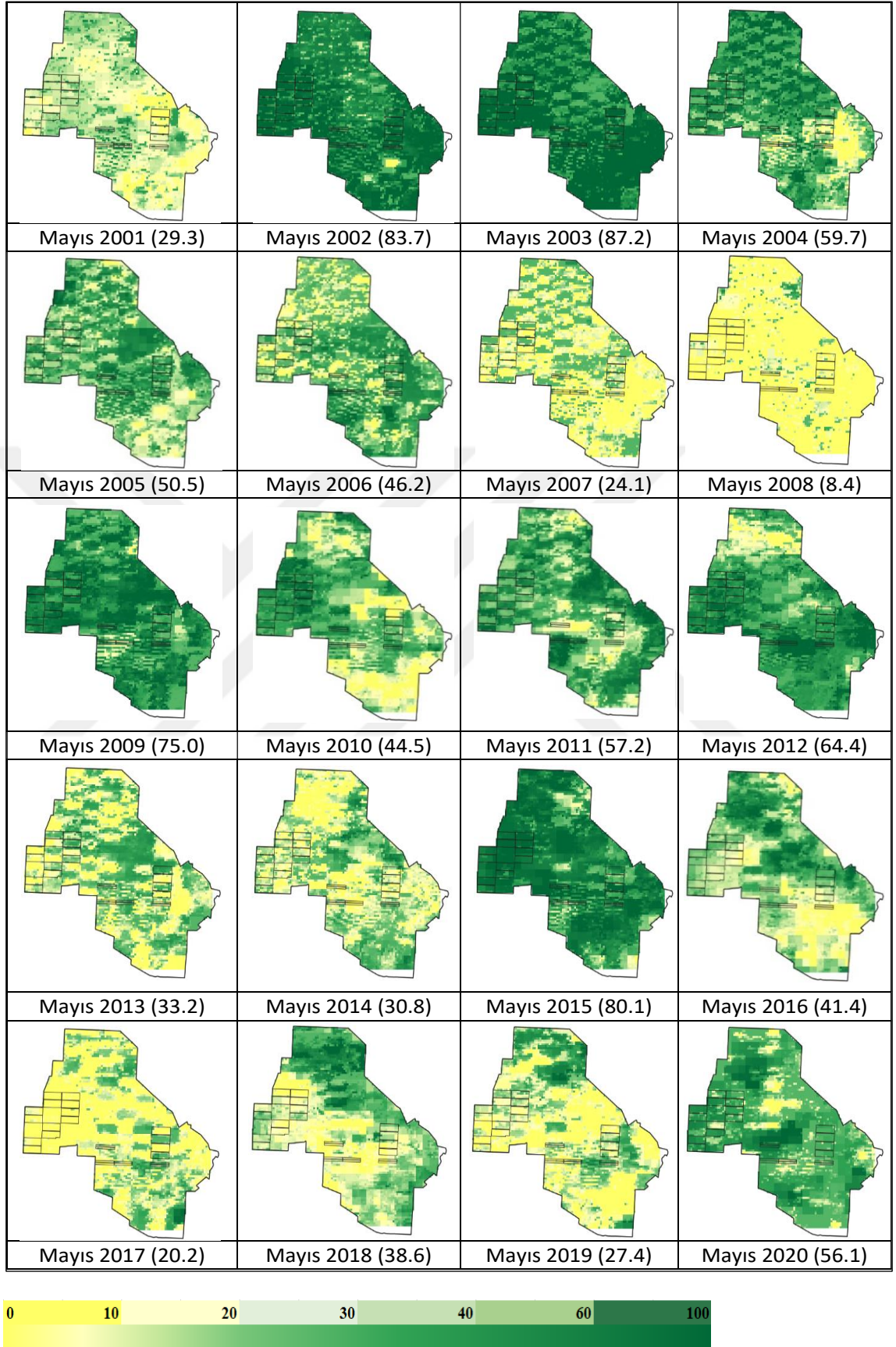
gözlemlenmiştir. VHI-VSWI korelasyonları ise tüm çeşitlerde büyüme dönemi boyunca genel olarak yüksek düzeylerde olmakla birlikte, Kızıltan çeşidinde en yüksek seviyesine (0.909) S-B, en düşük seviyesine (0.653) O-H döneminde, Bayraktar çeşidi en yüksek seviyesine (0.930) B-Çi, en düşük seviyesine (0.787) E-Ç döneminde, Bezostaya çeşidi ise en yüksek seviyesine (0.929) E-Ç, en düşük seviyesine (0.552) O-H dönemde ulaşmaktadır (Şekil 4.27).



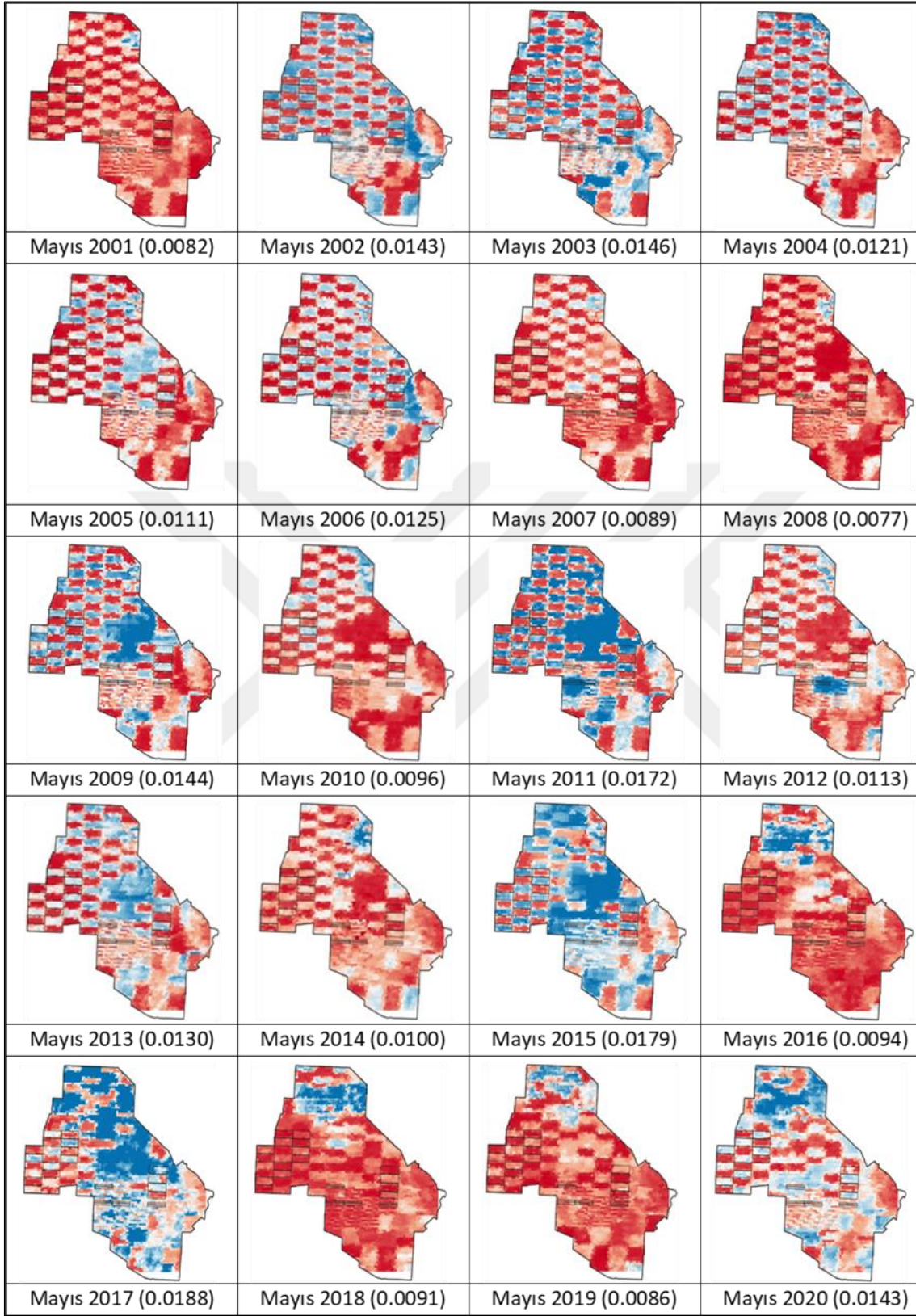
Şekil 4.27 Büyüme dönemlerine göre VHI-VSWI-Verim korelasyonları

Altınova yöresinde yaklaşık olarak Başaklanma-Çiçeklenme arası döneme denk gelen Mayıs ayı VHI ve VSWI görüntüleri paylaşılmıştır. Aşağıda Bitki Örtüsü Sağlık İndeksine (VHI) göre en kurak alanlar koyu sarı (<%10), bitki sağlığı açısından en uygun durumda olan nemli alanlar ise koyu yeşil (>%60) tonlarla renklendirilerek gösterilmiştir. Analizlere göre; 2001, 2008, 2017 ve 2014 en kurak, 2002, 2003, 2015 ve 2012 ise en nemli yıllar olarak dikkat çekmektedir (Şekil 4.28).

Bitki Örtüsü Su Arzı İndeksi (VSWI) açısından en yüksek termal stres (kuraklık) alanları koyu kırmızı (<0.003), en düşük termal stres (nemlilik) alanları ise koyu mavi (>0.022) tonlarla renklendirilerek gösterilmiştir. Buna göre; 2001, 2008, 2019 ve 2018 en kurak, 2002, 2003, 2017 ve 2020 ise en nemli yıllar olarak dikkat çekmektedir (Şekil 4.29).



Şekil 4.28 Altınova Tarım İşletmesi Mayıs ayı VHI görüntüleri



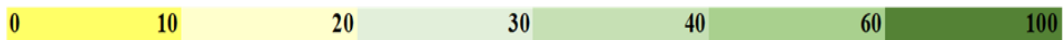
Şekil 4.29 Altınova Tarım İşletmesi Mayıs ayı VSWI görüntüleri

4.7.8 Parsellere göre VHI değerlendirmesi

Buğday verimleriyle en yüksek ilişkinin (0.810) belirlendiği B-Çi döneminde Kızıltan parsellerinde ortalama VHI değerleri aşağıdaki gibidir. En nemli (%97.3) yıl 2015 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla ($VHI \geq 60.0$), 2006, 2003, 2002, 2005, 2011, 2009 ve 2017 yılları takip etmiştir. Kızıltan parsellerinde vejetasyonun en zayıf olduğu yıl *aşırı kuraklığın* (%0.5) yaşandığı 2007 olurken, bunu sırasıyla ($VHI \leq 40.0$) 2019 ve 2001 yılları *şiddetli kurak*, 2012, 2018, 2014, 2016 ve 2008 yılları *orta şiddette kurak* olarak takip etmiştir. Araştırma periyodu B-Çi dönemi VHI ortalamalarına göre Parsel 32 hariç, tüm parseller normal ancak düşük sınır değerlerine yakın şekilde sınıflandırılmışlardır. Buna göre en yüksek ortalama değer (%51.4) 21 numaralı parselde, en düşük ortalama değer ise Parsel 32’de (%39.5) görülmektedir (Çizelge 4.57).

Çizelge 4.57 Kızıltan parsellerinde B-Çi dönemi VHI değişimi

YIL	P21	P23	P24	P29	P32	P35	ORT
2001				#	#	#	17.1
2002				#	#	#	80.3
2003				#	#	#	83.4
2004				#	#	#	49.1
2005				#	#	#	75.8
2006				#	#	#	88.5
2007				#	#	#	4.7
2008				#	#	#	28.7
2009		#	#	#			64.7
2010	#	#	#	#			45.9
2011	#	#	#	#			71.8
2012		#					21.1
2013		#					58.7
2014							25.4
2015							97.3
2016							27.3
2017							61.2
2018							22.3
2019	#						13.6
2020			#				45.3
ORT	51.4	49.3	47.9	45.6	39.5	45.1	46.5



P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Bayraktar parsellerinde verimlerle en yüksek ilişkinin (0.840) belirlendiği S-B döneminde ortalama VHI değerleri aşağıdaki gösterilmiştir. Analizlerde, en nemli (%89.8) yıl 2015 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla ($VHI \geq 60.0$), 2010, 2009, 2011 ve 2013 yılları takip etmiştir. Vejetasyonun en zayıf olduğu yıl ise *aşırı kuraklığın* (%8.5) yaşandığı 2016 olurken, bunu sırasıyla ($VHI \leq 40.0$) 2017, 2014 ve 2012 yılları *şiddetli kurak* olarak takip etmiştir. Araştırma periyodu S-B dönemi VHI ortalamalarına göre tüm parseller normal şiddetinde sınıflandırılmıştır. Buna göre en yüksek ortalama VHI değeri (%55.8) 43 numaralı parselde, en düşük ortalama VHI değeri ise Parsel 45'te (%41.8) belirlenmiştir (Çizelge 4.58).

Çizelge 4.58 Bayraktar parsellerinde S-B dönemi VHI değişimi

YIL	P25	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2009	#						75.0
2010	#						75.7
2011							71.2
2012							19.7
2013							67.5
2014							19.7
2015							89.8
2016							8.5
2017							17.9
2018							50.3
2019							46.2
2020							52.8
ORT	52.2	53.9	55.8	41.8	46.4	43.3	48.9

0	10	20	30	40	60	100
---	----	----	----	----	----	-----

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Buğday verimleriyle en yüksek ilişkinin (0.802) belirlendiği B-Çi döneminde Bezostaya parsellerinde ortalama VHI değerlerine göre; en nemli (%90.3) yıl 2002 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla ($VCI \geq 60.0$), 2006, 2005 ve 2004 yılları takip etmiştir. Bezostaya parsellerinde vejetasyonun en zayıf olduğu yıl *orta şiddette kuraklığın* (%24.2) yaşandığı 2007 yılı olurken, bunu sırasıyla ($VCI \leq 40.0$) 2008 ve 2001 yılları *hafif kurak* olarak izlemiştir. Araştırma periyodu S-B dönemi VHI ortalamalarına göre tüm parseller normal ve nemli şiddetlerinde sınıflandırılmıştır. En yüksek ortalama değer (%65.1) 56

numaralı parselde, en düşük ortalama değer ise (%49.9) 43 numaralı parselde belirlenmiştir (Çizelge 4.59).

Çizelge 4.59 Bezostaya parsellerinde B-Çi dönemi VHI değişimi

YIL	P29	P32	P35	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2001									33.3
2002									90.3
2003									58.4
2004									63.5
2005									67.8
2006									81.5
2007									24.2
2008									31.0
ORT	60.8	53.1	51.8	51.1	49.9	60.8	65.1	57.3	56.2

0 10 20 30 40 60 100

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

VHI ve VSWI değerlendirmeleri ekim dönemlerine göre yapılmıştır. Parsellerdeki kuraklık durumları, yıllara ve büyüme dönemlerine ayrıntılı olarak paylaşılmıştır. VHI ve VSWI ise birbirlerine benzer sonuçlar gösterebildikleri gibi farklılıklar da ortaya çıkabilmektedir. VHI'ye göre, 2001-2008 periyodunda, Kızıltan ekimi gerçekleştirilen Parsel 21, Parsel 23 ve Parsel 24'te genel olarak nemliliğin en yoğun görüldüğü yıllar; 2002, 2003, 2005 ve 2006 kuraklığın daha yoğun görüldüğü yıllar ise 2001, 2007 ve 2008 şeklindedir. 2009-2020 periyodunda ekim yapılan 21, 23, 24, 29, 32 ve 35 numaralı tüm parsellerde, genel olarak 2015 yılı en nemli, 2012, 2014 ve 2016 yılları ise en kurak yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer yandan 2009, 2010, 2011, 2013, 2015, 2018 ve 2020 yıllarında nemliliğin daha yoğun yaşandığı belirlenmiştir (Çizelge 4.60-4.61). VHI analiz sonuçlarına göre; 2009-2020 periyodunda, Bayraktar ekimi gerçekleştirilen parsellerde genel olarak nemliliğin en çok görüldüğü yıllar; 2015, 2009, 2011 ve 2010 iken kuraklığın en çok görüldüğü yıllar 2016, 2014, 2012 ve 2017 olarak karşımıza çıkmaktadır (Çizelge 4.62). Bezostaya ekimi gerçekleştirilen parsellerde ise genel olarak nemliliğin en çok görüldüğü yıllar; 2002, 2004 ve 2006 iken kuraklığın en çok görüldüğü yıllar ise 2001 ve 2008 olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.63).

Çizelge 4.60 Kızıltan (parsel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre VHI değişimi

YIL	P21						P23						P24								
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2002	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2003	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2004	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2005	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2006	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2007	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2008	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2009	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2010	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2011	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2012	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2013	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2014	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2015	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2016	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2017	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2018	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2019	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2020	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

01020304060100

AşırıŞiddetliOrtaHafifNormalNemli

Çizelge 4.61 Kızıltan (parşel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre VHI değışimi

YIL	P29							P32							P35						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2010	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2011	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2012	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2013	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2014	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2015	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2016	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2017	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2018	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2019	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2020	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

01020304060100

AşırıŞiddetliOrtaHafifNormalNemli

Çizelge 4.62 Bayraktar büyüme dönemlerine göre VHI değişimi

YIL	P25								P41								P43							
	E-Ç #	Ç-K #	K-S #	S-B #	B-Çi #	Çi-O #	O-H #		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	
2009																								
2010																								
2011																								
2012																								
2013																								
2014																								
2015																								
2016																								
2017																								
2018																								
2019																								
2020																								

YIL	P45								P56								P57							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H		E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	
2009																								
2010																								
2011																								
2012																								
2013																								
2014																								
2015																								
2016																								
2017																								
2018																								
2019																								
2020																								

0	10	20	30	40	60	100
Aşırı	Şiddetli	Orta	Hafif	Normal	Nemli	

Çizelge 4.63 Bezostaya büyüme dönemlerine göre VHI değişimi

YIL	P29								P32								P35							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H			
2001																								
2002																								
2003																								
2004																								
2005																								
2006																								
2007																								
2008																								
YIL	P41								P43								P45							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H			
2001																								
2002																								
2003																								
2004																								
2005																								
2006																								
2007																								
2008																								
YIL	P56								P57								P59							
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H			
2001																								
2002																								
2003																								
2004																								
2005																								
2006																								
2007																								
2008																								

0

20

30

40

60

100

Aşırı

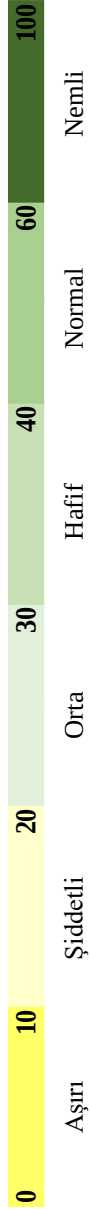
Şiddetli

Orta

Hafif

Normal

Nemli



4.7.9 Parsellere göre VSWI değerdendirmesi

Buğday verimleriyle en yüksek ilişkinin (0.823) belirlendiğı B-Çi döneminde Kızıltan parsellerinde ortalama VSWI değerdleri aşağıdaki gibidir VSWI'ye göre, nemliliğın en yüksek (0.0236) olduğı yıl 2015 olarak belirlenirken, bunu sırasıyla 2011, 2009, 2006, 2013, 2003, 2002 ve 2010 yılları takip etmiştir. VSWI değerdlerinin en düşük gerçekteştigi yıllar 2016, 2007, 2001, 2019, 2014, 2008, 2012, 2018, 2004 ve 2017 olarak değerdendirilmiştir. Parsellere göre yıllar içinde farklılıklar da görölmektedir. Parsel 32, uzun yıllar ortalaması en yüksek (0.0167) ve Parsel 21 ise en düşük (0.0118) VSWI değerdlerine sahiptir. VSWI değeri ne kadar düşük olursa nem eksikliği kaynaklı sıcaklık stresi ve kuraklık o kadar yüksek olmaktadır (Çizelge 4.64).

Çizelge 4.64 Kızıltan parsellerinde B-Çi dönemi VSWI değerişimi

YIL	P21	P23	P24	P29	P32	P35	ORT
2001				#	#	#	0.0095
2002				#	#	#	0.0168
2003				#	#	#	0.0169
2004				#	#	#	0.0126
2005				#	#	#	0.0158
2006				#	#	#	0.0174
2007				#	#	#	0.0092
2008				#	#	#	0.0106
2009		#	#	#			0.0183
2010	#	#	#	#			0.0165
2011	#	#	#	#			0.0208
2012		#					0.0107
2013		#					0.0170
2014							0.0103
2015							0.0236
2016							0.0090
2017							0.0147
2018							0.0116
2019	#						0.0097
2020			#				0.0161
ORT	0.0118	0.0140	0.0144	0.0136	0.0167	0.0146	0.0144

< 0.003 0.010 0.160 0.220 >0.220

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Buğday verimleriyle en yüksek ilişkinin (0.904) belirlendiği B-Çi döneminde Bayraktar parsellerinde ortalama VSWI değerleri aşağıdaki gibidir. Buna göre; VSWI'nin en yüksek (0.0267) olduğu yıl 2015, en düşük (0.0096) olduğu yıl ise 2016 olarak belirlenmiştir. Sırasıyla 2009, 2011, 2013 ve 2010 yılları yüksek VSWI değerlerine sahipken, 2019, 2012, 2017 ve 2014 yılları ise düşük VSWI değerlerine sahiptir. Parsel 43, uzun yıllar ortalaması en yüksek (0.0191) ve Parsel 41 ise en düşük (0.0160) VSWI değerlerine sahiptir (Çizelge 4.65).

Çizelge 4.65 Bayraktar parsellerinde B-Çi dönemi VSWI değişimi

YIL	P25	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2009	#						0.0239
2010	#						0.0208
2011							0.0220
2012							0.0127
2013							0.0210
2014							0.0133
2015							0.0267
2016							0.0096
2017							0.0131
2018							0.0144
2019							0.0125
2020							0.0191
ORT	0.0168	0.0160	0.0191	0.0171	0.0176	0.0169	0.0174
< 0.003 0.010 0.160 0.220 >0.220							

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

Bezostaya parsellerinde verimlerle en yüksek ilişkinin (0.779) belirlendiği B-Çi arası dönemde ortalama VSWI değerlerinin en yüksek (0.0210) olduğu yıl 2002, en düşük (0.0119) olduğu yıl ise 2008 olarak belirlenmiştir. Sırasıyla 2006, 2003 ve 2004 yılları yüksek VSWI değerlerine sahipken, 2001 ve 2007 yılları ise düşük VSWI değerlerine sahiptir. Parsel 56, uzun yıllar ortalaması en yüksek (0.0177) ve Parsel 41 ise en düşük (0.0136) VSWI değerlerine sahiptir (Çizelge 4.66).

Çizelge 4.66 Bezostaya parsellerinde B-Çi dönemi VSWI değişimi

YIL	P29	P32	P35	P41	P43	P45	P56	P57	ORT
2001									0.0124
2002									0.0210
2003									0.0170
2004									0.0170
2005									0.0163
2006									0.0197
2007									0.0134
2008									0.0119
ORT	0.0142	0.0158	0.0167	0.0136	0.0163	0.0170	0.0177	0.0174	0.0161
< 0.003 0.010 0.160 0.220 >0.220									

P: Parsel, ORT: Ortalama, #:Değer yok

VSWI'ye göre, Kızıltan çeşidinde 2001-2008 periyodunda, Parsel 21, Parsel 23 ve Parsel 24'te genel olarak nemliliğin en yoğun görüldüğü yıllar; 2002, 2003 ve 2006 kuraklığın daha yoğun görüldüğü yıllar ise 2001, 2004, 2007 ve 2008 şeklinde belirlenmiştir. 2009-2020 periyodunda ekim yapılan 21, 23, 24, 29, 32 ve 35 numaralı tüm parsellerde, genel olarak 2015 yılı en nemli 2014 ve 2016 yılları ise en kurak yıllar olarak belirlenmiştir. Öte yandan 2009, 2010, 2011 ve 2013 yıllarında termal stresin daha düşük diğer bir ifadeyle, nemliliğin daha yoğun yaşandığı yıllar olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.67-4.68).

Bayraktar çeşidi için 2009-2020 periyodunda ekim yapılan tüm parsellerde, genel olarak 2015 yılı en nemli 2014, 2016 ve 2017 yılları ise en kurak yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer yandan 2009, 2010, 2011, 2013, 2018 ve 2019 yıllarında ise nemliliğin daha yoğun yaşandığı belirlenmiştir (Çizelge 4.69). Bezostaya parsellerinde ise, 2001-2008 periyodunda, genel olarak 2006 ve 2002 yılları en nemli 2001, 2008 ve 2005 yılları ise en kurak yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır (Çizelge 4.70).

Çizelge 4.67 Kızıltan (parsel 21, 23, 24) büyüme dönemlerine göre VSWI değişimi

Yıl	P21							P23							P24						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001																					
2002																					
2003																					
2004																					
2005																					
2006																					
2007																					
2008																					
2009																					
2010	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2011	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019	#	#	#	#	#	#	#														
2020															#	#	#	#	#	#	#

< 0.003 0.010 0.160 0.220 >0.220

Çizelge 4.68 Kızıltan (parşel 29, 32, 35) büyüme dönemlerine göre VSWI değışimi

YIL	P29							P32							P35						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009	#	#	#	#	#	#	#														
2010	#	#	#	#	#	#	#														
2011	#	#	#	#	#	#	#														
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

<

0.003

0.010

0.160

0.220

>0.220

< 0.003 0.010 0.160 0.220 >0.220

Çizelge 4.69 Bayraktar büyüme dönemlerine göre VSWI değişimi

YIL	P25							P41							P43						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009	#	#	#	#	#	#	#														
2010	#	#	#	#	#	#	#														
2011																					
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

YIL	P45							P56							P57						
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2009																					
2010																					
2011																					
2012																					
2013																					
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018																					
2019																					
2020																					

<	0.003	0.010	0.160	0.220	>0.220
---	-------	-------	-------	-------	--------

Çizelge 4.70 Bezostaya büyüme dönemlerine göre VSWI değişimi

YIL	P29						P32						P35								
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001																					
2002																					
2003																					
2004																					
2005																					
2006																					
2007																					
2008																					
YIL	P41						P43						P45								
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001																					
2002																					
2003																					
2004																					
2005																					
2006																					
2007																					
2008																					
YIL	P56						P57						P57								
	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H	E-Ç	Ç-K	K-S	S-B	B-Çi	Çi-O	O-H
2001																					
2002																					
2003																					
2004																					
2005																					
2006																					
2007																					
2008																					
< 0.003 0.010 0.160 0.220 >0.220																					

< 0.003 0.010 0.160 0.220 >0.220

4.8 Meteorolojik ve Tarımsal Kuraklık İlişkisinin Değerlendirilmesi

Meteorolojik kuraklık indeksleri SPI ve SPEI ile uydu tabanlı tarımsal kuraklık indeksleri VCI, TCI, VHI ve VSWI arasındaki ilişkilere ($P < 0.05$ koşuluyla) tüm zaman periyotlarında (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık), büyüme dönemlerine göre bakılmıştır. İlgili çeşidin ekildiği tüm parseller ayrı ayrı ele alınmış, çeşide ilişkin ortak bir değerlendirme yapabilmek için korelasyon değerlerinin (r) medyanları kullanılmıştır. Tüm çeşitlerde SPI ve SPEI indekslerin ayrı olarak diğer uydu tabanlı indekslerle aralarında birbirine çok yakın korelasyonlar belirlenmiştir. Ancak burada tarımsal kuraklık üzerine etkisi ufak farklarla da olsa en yüksek ilişkinin belirlendiği indekse (SPI ve SPEI) ait zaman ölçeği ve aya ilişkin bilgiler ele alınmıştır. Çizelge gösterimlerinde ise büyüme dönemlerine göre ‘uydu tabanlı indekslerle tanımlanan tarımsal kuraklık’ ile ‘SPI-SPEI ile belirlenen meteorolojik kuraklık’ arasındaki en yüksek ilişkinin belirlendiği ‘ay’ ve ‘korelasyon (medyan)’ değerlerine yer verilmiştir.

4.8.1 SPI-SPEI ile VCI ilişkisi

Kızıltan çeşidinde VCI ile SPI ve SPEI’ye ait korelasyonlar incelenmiş ve hiçbir dönemde önemli sayılabilecek ($r \geq |0.50|$) bir ilişki belirlenememiştir. Bu nedenle Kızıltan çeşidi için meteorolojik kuraklığın VCI ile tanımlanan tarımsal kuraklık üzerine etkisi çok düşük olarak kabul edilmiş ve burada yer verilmemiştir. Bayraktar çeşidinde 0.76 ile 0.86 arasında değişen düzeylerde korelasyonlar belirlenmiş olup, VCI’ye göre tanımlanan S-B dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPI-9 zaman ölçeğinde Haziran ayı kuraklık değeri %86 oranında etkili olarak bulunmuştur. VCI üzerine etkileri dönemlere göre değişmekle birlikte 3 aylık zaman ölçeklerinde Nisan ayında, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde ise Haziran ayında kuvvetli ilişkiler belirlenmiştir. Bezostaya çeşidinde ise 0.72 ile 0.90 arasında değişen düzeylerde ilişkiler göze çarpmaktadır. VCI’ye göre tanımlanan B-Çi dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPEI-12 zaman ölçeğinde Haziran ayı kuraklığı %90 oranında etkili olarak bulunmuştur (Çizelge 4.71).

Çizelge 4.71 Çeşitler için SPI-SPEI ile VCI arasındaki en yüksek korelasyonlar

VCI	Kızıltan			Bayraktar			Bezostaya		
B. Dönemi	İndeks	Ay	r	İndeks	Ay	r	İndeks	Ay	r
E-Ç	#	#	#	SPI-12	6	0.76	SPEI-3	9	-0.77
Ç-K	#	#	#	SPI-9	6	0.76	SPI-1	10	0.72
K-S	#	#	#	SPI-12	6	0.77	SPEI-3	11	0.76
S-B	#	#	#	SPI-9	6	0.86	SPI-12	4	0.78
B-Çi	#	#	#	SPI-3	4	0.84	SPEI-12	6	0.90
Çi-O	#	#	#	SPEI-3	4	0.76	SPEI-9	9	0.80
O-H	#	#	#	SPEI-3	4	0.80	SPI-6	5	0.78

: $r < 0.50$

4.8.2 SPI-SPEI ile TCI ilişkisi

Çeşitler için TCI ile tanımlanan tarımsal kuraklık üzerine meteorolojik kuraklığın etkisi incelenmiştir. Kızıltan çeşidinde 0.54 ile 0.73 arasında değişen düzeylerde korelasyonlar belirlenmiş olup, TCI'ye göre tanımlanan O-H dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPI-12 zaman ölçeğinde Eylül ayı kuraklığı %73 oranında etkili olarak bulunmuştur. Kızıltan çeşidinde VCI üzerine olan meteorolojik kuraklık etkisi çok zayıf iken, TCI de durum daha farklıdır. Kızıltan çeşidi kuraklığa en dayanıklı çeşit olması nedeniyle TCI ile meteorolojik kuraklık arasında vejetatif gelişmeden ziyade kanopi sıcaklığının düşmesinden dolayı daha yüksek düzeyde ilişki belirlenmiştir. Kızıltan çeşidinde TCI ile SPI-SPEI arasında Ç-K döneminde önemli düzeyde bir ilişki belirlenemezken, diğer büyüme dönemlerinde 1, 3, 6 ve 12 aylık değişen zaman ölçeklerinde zayıf düzeyde ilişkiler gözlemlenmiştir (Çizelge 4.72).

Bayraktar çeşidinde 0.54 ile 0.85 arasında değişen düzeylerde korelasyonlar belirlenmiş olup, TCI'ye göre E-Ç dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPI-9 zaman ölçeğinde Eylül ayı kuraklığı %85 oranında etkili olarak bulunmuştur. TCI üzerine etkileri dönemlere göre değişmekle birlikte 1 aylık zaman ölçeklerinde Nisan ayında, 3 ve 6 aylık zaman ölçeklerinde ise Haziran ayında önemli düzeyde ilişkiler belirlenmiştir. Bezostaya çeşidinde ise |0.51| ile 0.87 arasında değişen kuvvetli ilişkiler göze çarpmaktadır. TCI'ye

göre belirlenen E-Ç dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPI-3 zaman ölçeğinde Ekim ayı kuraklığı %87 oranında etkili olarak bulunmuştur (Çizelge 4.72).

Çizelge 4.72 Çeşitler için SPI-SPEI ile TCI arasındaki en yüksek korelasyonlar

TCI	Kızıltan			Bayraktar			Bezostaya		
B. Dönemi	İndeks	Ay	r	İndeks	Ay	r	İndeks	Ay	r
E-Ç	SPI-6	11	0.68	SPI-9	9	0.85	SPI-3	10	0.87
Ç-K	#	#	#	SPI-6	6	0.67	SPEI-6	1	0.74
K-S	SPI-3	4	0.54	SPI-1	4	0.54	SPI-3	3	-0.51
S-B	SPEI-1	4	0.62	SPI-1	4	0.79	SPI-3	1	0.76
B-Çi	SPI-1	4	0.58	SPI-1	4	0.82	SPEI-3	9	0.85
Çi-O	SPI-3	4	0.60	SPI-1	4	0.67	SPEI-3	9	0.70
O-H	SPI-12	9	0.73	SPEI-3	6	0.70	SPI-12	9	0.77

: $r < 0.50$

4.8.3 SPI-SPEI ile VHI ilişkisi

VHI ile belirlenen tarımsal kuraklık üzerine meteorolojik kuraklığın etkisi incelenmiştir. Kızıltan çeşidinde 0.60 ile 0.72 arasında değişen düzeylerde korelasyonlar belirlenmiştir. VHI'ye göre tanımlanan O-H dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPEI-6 zaman ölçeğinde Haziran ayı kuraklığı %72 oranında etkili olarak bulunmuştur. Kızıltan çeşidinde tüm büyüme dönemlerinde VHI ile SPI-SPEI arasında birbirine daha yakın düzeyde ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 4.73).

Bayraktar çeşidinde 0.70 ile 0.87 arasında değişen düzeylerde korelasyonlar belirlenmiş olup, VHI'ye göre E-Ç dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPI-9 zaman ölçeğinde Eylül ayı kuraklığı %87 oranında etkili olarak bulunmuştur. VHI üzerine etkileri dönemlere göre değişmekle birlikte 1 ve 3 aylık zaman ölçeklerinde Nisan ayında, 9 aylık zaman ölçeklerinde ise Haziran ayında önemli düzeyde ilişkiler belirlenmiştir. Bezostaya çeşidinde ise 0.66 ile 0.87 arasında değişen kuvvetli ilişkiler göze çarpmaktadır. VHI'ye göre belirlenen E-Ç dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPI-3 zaman ölçeğinde Ekim ayı kuraklığı %87 oranında etkili olarak bulunmuştur (Çizelge 4.73).

Çizelge 4.73 Çeşitler için SPI-SPEI ile VHI arasındaki en yüksek korelasyonlar

VHI	Kızıltan			Bayraktar			Bezostaya		
B. Dönemi	İndeks	Ay	r	İndeks	Ay	r	İndeks	Ay	r
E-Ç	SPEI-3	10	0.71	SPI-9	9	0.87	SPI-3	10	0.87
Ç-K	SPEI-3	11	0.60	SPI-9	6	0.79	SPI-3	10	0.70
K-S	SPI-9	6	0.71	SPI-3	4	0.70	SPEI-9	1	0.66
S-B	SPEI-1	4	0.68	SPEI-1	4	0.76	SPI-12	4	0.83
B-Çi	SPI-1	4	0.70	SPI-1	4	0.81	SPEI-6	9	0.84
Çi-O	SPI-3	4	0.71	SPI-1	4	0.76	SPI-6	5	0.75
O-H	SPEI-9	6	0.72	SPEI-3	4	0.78	SPEI-9	9	0.78

4.8.4 SPI-SPEI ile VSWI ilişkisi

VSWI ile belirlenen tarımsal kuraklık üzerine meteorolojik kuraklığın etkisi incelenmiştir. Kızıltan çeşidinde 0.66 ile 0.72 arasında değişen düzeylerde korelasyonlar belirlenmiştir. VSWI'ye göre tanımlanan B-Çi dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPEI-3 zaman ölçeğinde Nisan ayı kuraklığı %72 oranında etkili olarak bulunmuştur. Kızıltan çeşidinde tüm büyüme dönemlerinde VSWI ile SPI-SPEI arasında (VHI da olduğu gibi) birbirine daha yakın düzeyde ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 4.74).

Bayraktar çeşidinde 0.76 ile 0.84 arasında değişen düzeylerde korelasyonlar gözlemlenmiştir. VSWI'ye göre tanımlanan E-Ç dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPI-6 zaman ölçeğinde Haziran ayı kuraklığı %84 oranında etkili olarak bulunmuştur. Meteorolojik kuraklığın VSWI ile belirlenen tarımsal kuraklık üzerine etkileri dönemlere göre değişmekle birlikte kuvvetli ilişkiler belirlenmiştir. Bezostaya çeşidinde ise 0.71 ile 0.87 arasında değişen kuvvetli ilişkiler göze çarpmaktadır. VSWI'ye göre tanımlanan E-Ç dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine SPI-3 zaman ölçeğinde Ekim ayı kuraklığı %87 oranında bulunurken, B-Çi dönemindeki tarımsal kuraklık üzerine ise SPEI-9 zaman ölçeğinde Haziran ayı kuraklığı da aynı şekilde %87 oranında etkili olarak bulunmuştur (Çizelge 4.74).

Çizelge 4.74 Çeşitler için SPI-SPEI ile VSWI arasındaki en yüksek korelasyonlar

VSWI	Kızıltan			Bayraktar			Bezostaya		
B. Dönemi	İndeks	Ay	r	İndeks	Ay	r	İndeks	Ay	r
E-Ç	SPI-6	11	0.66	SPI-6	6	0.84	SPI-3	10	0.87
Ç-K	SPI-12	6	0.66	SPI-12	6	0.79	SPI-3	10	0.71
K-S	SPI-12	6	0.70	SPI-9	6	0.76	SPEI-9	1	0.74
S-B	SPI-9	5	0.69	SPI-3	4	0.78	SPEI-6	3	0.85
B-Çi	SPI-3	4	0.72	SPI-3	4	0.81	SPEI-9	6	0.87
Çi-O	SPEI-3	4	0.69	SPI-1	4	0.78	SPI-6	5	0.78
O-H	SPEI-3	4	0.68	SPI-3	4	0.82	SPI-6	5	0.77

4.9 Buğday Çeşitlerinde Verim Tahmin Modelleri

Bayraktar, Kızıltan ve Bezostaya çeşitleri için geliştirilen verim tahmin modelleri çizelge 4.75, 4.76 ve 4.77’de verilmiştir. Model performansları Bayraktar için $0.736 \leq R^2 \leq 0.973$, Kızıltan için $0.733 \leq R^2 \leq 0.956$ ve Bezostaya için $0.686 \leq R^2 \leq 0.874$ aralıklarında değişmektedir. Bayraktar için geliştirilen model çeşitliliğinin diğerlerinden daha fazla olduğu, Bezostaya için geliştirilen modellerin performanslarının ise diğerlerinden bir miktar daha düşük olduğu görülmektedir. Genetik farklılıkların kuraklık-verim ilişkili modellemelerde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Çeşitlerin tümünde NDVI ve LST temelli modellerin haricinde VHI, VSWI ve büyüme dönem uzunluklarının dahil edildiği alternatif modeller sunulmuştur.

Bayraktar çeşidinde toplamda 21 adet verim tahmin modeli alternatif olarak sunulmuştur. Büyüme dönemlerine ait değişkenlerle kurulan modellerin daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Performansı en yüksek (0.973) model ekimden çiçeklenmeye kadar olan büyüme dönemleri NDVI değerleriyle (N0-N4) birlikte elde edilen Model-1 olarak belirlenmiştir. Toplam 5 değişkenin kullanıldığı bu model, yüksek bir performansla çiçeklenme döneminden itibaren (hasattan yaklaşık 2 ay kadar öncesi) tahmin imkânı sunmaktadır. Benzer şekilde Model-2, Model-4 ve Model-10 da yine 2 ay kadar öncesinden oldukça başarılı sonuçlar sunan diğer alternatiflerdir. Bu modellerin ortak özelliği az sayıda değişkene ihtiyaç duymalarıdır.

Eğer ekimden başaklanmaya kadar ki büyüme dönemleri NDVI değerleriyle (N0-N3) elde edilen Model-3 kullanılırsa yine oldukça yüksek bir performansla (0.939), hasattan yaklaşık 3 ay öncesinde (Nisan ayı) tahmin imkânı elde edilmektedir. Model-5, Model-9, Model-11 ve Model-12 de aynı şekilde 3 ay öncesinden tahmin yapabilmektedir. Model-5 Nisan ayı NDVI ve LST değerlerini, Model-9 VSWI indeksini, Model-11 VHI indeksini ve Model-12 S-B dönemi NDVI değerini kullanmaktadır. Bunların arasında Model-5 herhangi bir indeks hesaplanmadan sadece 2 değişken kullanarak, 0.906'lık R^2 değeriyle oldukça dikkat çekici alternatif bir model olarak belirlenmiştir.

Büyüme dönemlerinde ekime yaklaştıkça kullanılan değişken sayısı azalmakta, daha erken tahmin imkânı sunmakta ancak model performanslarında düşüş gerçekleşmektedir. Yine de daha erken dönem için modeller kurulabilmiştir. Öyle ki; ekimden sapa kalkmaya kadar ki büyüme dönemleri NDVI değerleriyle (N0-N2) kurulan Model-17 ile ekimden kardeşlenmeye kadar ki NDVI değerleriyle (N0-N1) elde edilen Model-21 sırasıyla 0.789 ve 0.736'lık performans değerleriyle başarılı bulunmuştur. Bu iki model hasattan yaklaşık olarak 4-5 ay öncesinde tahmin imkânı sunmaktadır.

Erken tahmin için NDVI haricinde LST, VHI ve Bg gibi değişkenlerin hesaba katılmasıyla farklı alternatif modeller de geliştirilmiştir. Bu bağlamda Model-18, hasattan yaklaşık 7 ay önce, Model-13, Model-16 ve Model-19 yaklaşık 5-6 ay önce tahmin gerçekleştirebilmektedir. Modellerin performansları ise sırasıyla; 0.785, 0.845, 0.810 ve 0.774 şeklinde belirlenmiş ve başarılı modeller olarak değerlendirilmiştir.

Ekimden sapa kalkmaya kadar olan büyüme dönemi değerleriyle kurulan modeller, performansları yüksekten düşüğe göre sırasıyla; Model-6, Model-7, Model-8, Model-14, Model-15 ve Model-20 şeklindedir. Farklı değişken alternatifleri kullanılarak kurulan bu modeller, yaklaşık 4 ay kadar öncesinden tahmin yapabilmektedir. Bunların arasında Model-7 sadece 2 değişkenle kurulmuş olup, 0.872'lik R^2 değeriyle dikkat çekmektedir. Model-16 ve Model-20 ise tek değişkenle kurulan alternatif modellerdir.

Kızıltan çeşidinde toplamda 12 adet verim tahmin modeli alternatif olarak sunulmuştur. Aylık indeks değerlerine göre kurulan modellerin daha başarılı sonuçlar verdiği

belirlenmiştir. Ancak bu durumda başarılı modellerde değişken sayıları artmaktadır. Performansı en yüksek (0.956) model Ekimden Mayıs'a kadar olan aylık NDVI ve LST değerleriyle (N_Ek_I-N_My_II, L_Ek_I-L_My_II) birlikte kurulan Model-1 olarak karşımıza çıkmaktadır. Toplam 32'şer değişkenin kullanıldığı Model-1 ve Model-2 ($R^2=0.941$) ile 4 değişkenle kurulan Model-3 ($R^2=0.920$) yüksek performanslarıyla hasattan yaklaşık 2 ay öncesinde tahmin imkânı sunmaktadır. Bu üç model içerisinde Model-3 çok daha az değişken kullanması nedeniyle öne çıkmaktadır.

Model-7, Model-10 ve Model-12 çiçeklenme, Model-9 başaklanma, Model-8 ise kardeşlenme döneminden itibaren tahminde kullanılması durumunda başarılı sonuçlar sunan alternatiflerdir. Bu modellerin performansları (R^2) sırasıyla; 0.850, 0.808, 0.733, 0.837 ve 0.834 şeklindedir. Modellerin değişken sayıları ise sırasıyla; 10, 5, 1, 4 ve 6 olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlar arasında, en erken tahminde kullanılabilecek olan model, R^2 değeri de yüksek olan Model-8 olarak belirlenmiştir.

Model-4, Model-5, Model-6 ve Model-11 ise en erken tahminde kullanılabilecek modeller olarak dikkat çekmektedir. Bu modellerin tümü aylık değişkenleri kullanmaktadırlar ve değişken sayıları sırasıyla; 20, 12, 20 ve 16 şeklindedir. Performans değerleri (R^2) ise sırasıyla; 0.916, 0.887, 0.861 ve 0.799 olup, kullanılabilir modeller olarak değerlendirilmiştir. Modelleri daha detaylı irdelemek gerekirse; Model-4 ve Model-6 hasattan yaklaşık 5 ay, Model-11 6 ay, Model-5 ise yaklaşık 7 ay önceden tahminde kullanılabilecek modeller olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değerlendirmeye istinaden, Model-5 hem değişken sayısının nispeten az olması, doğrudan aylık olarak NDVI ve LST değerlerini kullanması, yüksek performans değeri ve en erken tahmine olanak sağlaması nedenleriyle kullanımı en uygun model olarak belirlenmiştir.

Bezostaya çeşidi için toplamda 8 adet alternatif verim tahmin modeli olarak sunulmuştur. Aylık NDVI ve LST değerlerinden elde edilen Model-1 ile büyüme dönemlerine göre VHI ve VSWI kombinasyonu ile elde edilen Model-2 en yüksek performansı ($R^2=0.874$) sunan modeller olarak belirlenmiştir. Bu iki modelin hemen ardından ise sadece büyüme dönemlerine göre VHI ile elde edilen Model-3 0.859'luk R^2 değeri ile gelmektedir. Ancak bu 3 model arasında bir seçim yapmak gerekirse yüksek performansının yanı sıra

doğrudan aylık NDVI ve LST değerlerini kullanması ve hasattan yaklaşık 6 ay önceden tahmine olanak sağlaması nedeniyle Model-1 öne çıkmaktadır. Model-2 ve Model-3 ise iyi performans sunmaları yanında hasattan yaklaşık 3 ay kadar öncesinden de tahminde kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir. Model-4 ise yüksek model performansı ($r^2=0.915$) yakalayan ve yaklaşık 5 ay önceden tahminde kullanılabilecek başka bir alternatiftir. Model-1 ile benzerlik göstermektedir. Diğer model alternatifleri (Model-5, 6, 7 ve 8) ise model performansları ve erken tahmin açısından bir miktar daha geride kalmakla birlikte, kabul edilebilir ölçülerde alternatif modeller olarak değerlendirilmiştir.



Çizelge 4.75 Bayraktar çeşidinde modeller ve performans ölçütleri

Model	Bağımsız Değişkenler	Değişken Sayısı	r	R ²	MAE	RMSE	RAE	RRSE
1	N0-N4	5	0.986	0.973	18.59	22.95	15.49%	16.35%
2	N4, Bg4	2	0.970	0.941	23.34	25.66	25.75%	24.92%
3	N0-N3	4	0.969	0.939	21.74	26.38	23.99%	25.61%
4	N4	1	0.956	0.914	25.12	30.63	27.71%	29.75%
5	N_Ni_I, L_Ni_I	2	0.952	0.906	30.26	40.84	33.38%	39.66%
6	N0-N2, acBg0-acBg2	6	0.940	0.884	38.60	45.43	47.76%	48.41%
7	N2, Bg2	2	0.934	0.872	29.71	38.49	32.78%	37.38%
8	VH0-VH2, acBg0-acBg2	6	0.932	0.869	39.43	47.58	48.79%	50.71%
9	Vs0-Vs3	4	0.932	0.869	35.17	41.32	38.80%	40.12%
10	N_My_I	1	0.925	0.856	32.12	38.64	35.44%	37.53%
11	VH_Ni_I	1	0.925	0.856	40.98	51.51	45.21%	50.02%
12	N3	1	0.923	0.852	29.61	39.87	32.67%	38.72%
13	N0-N1, L0-L1, acBg0-acBg1	6	0.919	0.845	49.00	56.94	54.06%	55.30%
14	N0-N2, L0-L2	6	0.914	0.835	34.77	46.70	43.02%	49.77%
15	VH0-VH2	3	0.911	0.830	44.30	51.48	54.82%	54.87%
16	VH_Sb_II	1	0.900	0.810	40.95	46.36	45.18%	45.02%
17	N0-N2	3	0.888	0.789	41.64	50.59	45.94%	49.13%
18	N_Ar_I, N_Ar_II, L_Ar_I, L_Ar_II	4	0.886	0.785	53.73	67.35	59.28%	65.40%
19	N0-N1, Bg0-Bg1	4	0.880	0.774	38.59	48.36	48.93%	52.99%
20	N2	1	0.865	0.748	45.41	53.60	50.09%	52.05%
21	N0-N1	2	0.858	0.736	45.78	52.45	58.04%	57.48%

Çizelge 4.76 Kızıltan çeşidinde modeller ve performans ölçütleri

Model	Bağımsız Değişkenler	Değişken Sayısı	r	R ²	MAE	RMSE	RAE	RRSE
1	N_Ek_I-N_My_II, L_Ek_I-L_My_II	32	0.978	0.956	22.61	28.91	24.63%	26.73%
2	VH_Ek_I-VH_My_II, Vs_Ek_I-Vs_My_II	32	0.970	0.941	17.43	26.65	18.99%	24.64%
3	N_My_I, N_My_II, L_Ni_I, L_Ni_II	4	0.959	0.920	25.25	34.72	27.51%	32.11%
4	N_Ek_I-N_Sb_II, L_Ek_I-L_Sb_II	20	0.957	0.916	21.24	32.43	23.14%	29.99%
5	N_Ek_I-N_Ar_II, L_Ek_I-L_Ar_II	12	0.942	0.887	21.45	34.96	23.54%	33.01%
6	VH_Ek_I-VH_Sb_II, Vs_Ek_I-Vs_Sb_II	20	0.928	0.861	24.17	41.82	27.32%	40.41%
7	N0-N4, acBg0-acBg4	10	0.922	0.850	37.06	42.73	40.36%	39.51%
8	N0-N2, L0-L2	6	0.915	0.837	54.46	59.78	59.32%	55.27%
9	N0-N3	4	0.913	0.834	39.61	53.69	43.14%	49.65%
10	VH0-VH4	5	0.899	0.808	38.13	50.53	41.54%	46.72%
11	N_Ek_I-N_Oc_II, L_Ek_I-L_Oc_II	16	0.894	0.799	26.51	45.03	29.98%	43.50%
12	N4	1	0.856	0.733	56.93	67.11	62.02%	62.05%

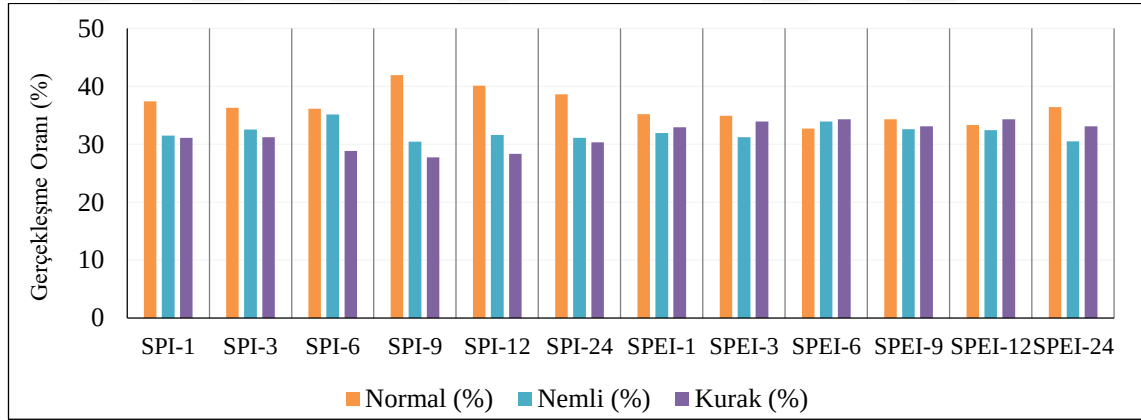
Çizelge 4.77 Bezostaya çeşidinde modeller ve performans ölçütleri

Model	Bağımsız Değişkenler	Değişken Sayısı	r	R ²	MAE	RMSE	RAE	RRSE
1	N_Ek_I-N_Oc_II, L_Ek_I-L_Oc_II	16	0.935	0.874	41.61	47.76	56.14%	56.46%
2	VH0-VH3, Vs0-Vs3, Bg0-Bg3	12	0.935	0.874	48.89	55.21	58.51%	56.84%
3	VH0-VH3	4	0.927	0.859	43.48	52.25	58.67%	61.76%
4	N_Ek_I-N_Sb_II, L_Ek_I-L_Sb_II	20	0.915	0.837	39.38	46.28	53.14%	54.70%
5	N_Ek_I-N_My_II	16	0.895	0.801	34.81	41.42	46.97%	48.95%
6	N0-N4, L0-L4	10	0.851	0.724	41.01	47.59	58.45%	58.78%
7	VH_Ni_II, VH_My_I, Vs_Ni_II, Vs_My_I	4	0.848	0.719	30.12	39.45	40.65%	46.63%
8	N4	1	0.828	0.686	46.59	54.58	62.87%	64.51%

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu doktora çalışmasında yukarıda bahsedilen temel prensipler doğrultusunda Konya Altınova yöresi kuraklık-verim ilişkisi açısından ele alınmıştır. Çalışma sahası TİGEM Altınova Tarım İşletmesi, çalışmanın konusu ise sulamasız tarım koşullarında yetiştirilen buğday çeşitleri olarak belirlenmiştir. Yörede meteorolojik ve tarımsal kuraklığın güncel yaklaşımlarla analiz edilerek mevcut durumun ortaya koyulması ve elde edilen analiz sonuçlarına dayanarak, çeşit temelli kullanılabilir verim tahmin modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca kısa, orta ve uzun vadede nasıl bir meteorolojik kuraklık durumunun ortaya çıkabileceği de MGM iklim projeksiyonları yardımıyla değerlendirilmiştir.

Çalışmada meteorolojik kuraklık analizleri SPI ve SPEI ile 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde yapılmıştır. Yörede kuraklık SPI'ye göre tüm zaman ölçeklerinde daha düşük tekerrürlerle gerçekleşmektedir. SPI kuraklık tekerrürünü yaklaşık olarak %28-31 arası, SPEI ise %33-34 arası olarak değerlendirmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 SPI ve SPEI nemli ve kurak dönemlerin tekerrür grafiği

SPI ve SPEI analizleri su yılı için 12 aylık zaman ölçeğinde, ekim-hasat dönemi için 9 aylık ve 6 aylık zaman ölçeklerinde ayrıca incelenmiş ve hangi yıllarda kuraklıkların yaşandığı da irdelenmiştir. Analizlerde, her iki indekste ve her üç zaman ölçeğinde ortak

olarak değişen şiddetlerde kuraklıkların yaşandığı yıllar geğmişten günümüze doğru; 1989, 2001, 2007 ve 2016 olarak belirlenmiştir.

SPI ve SPEI indekslerinin birbirleriyle ilişkileri de değerlendirilmiştir. İki indeks arasındaki en yüksek korelasyon (0.920) 3 aylık zaman ölçeğinde, en düşük korelasyon (0.835) ise 24 aylık zaman ölçeğinde belirlenmiştir. Zaman ölçekleri büyüdükçe ortaya çıkan bu farkın nedeni, iklim parametrelerine bağlı olarak geręekleřen sapmaların RET faktörü olarak yansımasıdır.

Kuraklık trend analizlerine göre, SPI indeksinde yalnızca 1 ve 3 aylık zaman ölçeklerinde 0.10 düzeyinde trendler belirlenirken, SPEI indeksinde tüm zaman ölçeklerinde daha yüksek güven aralıklarında kuraklığa doğru trendler belirlenmiştir. Özellikle 24 aylık zaman ölçeğinde tüm aylarda 0.05 düzeyinde negatif yönlü trendlerin belirlenmiş olması yörede tarımsal kuraklığında ötesinde ‘hidrolojik kuraklığa’ doğru bir trendin olabileceğine işaret etmektedir. Svoboda vd. (2012), 12 aydan 24 aya kadar ölçeklerin genellikle nehir akışlarına, rezervuar seviyelerine ve hatta yeraltı suyu seviyelerine işaret ettiğini bildirmişlerdir. Yörede uzunca bir süredir kuraklık nedeniyle su kaynaklarının tükenmekte olduğu, yeraltı sularında geręekleřen azalmalara bağlı olarak çok sayıda obruğun meydana geldiği bilinen bir durumdur. Çalışma alanı tarım işletmesinin kontrolünde modern tarım sistemlerinin uygulandığı verimli arazilerden oluşan bir saha olup işletmede herhangi bir obruk oluşumu geręekleřmemiřtir. Ancak bölgede hidrolojik kuraklık tehlikesi bu risklerin meydana gelme olasılığını artıracak önemli bir unsurdur.

Kuraklığın mevsimsel trendlerine de bakılmıştır. SPI’ye göre sonbahar mevsimi için 0.10 önem düzeyinde negatif, SPEI’ye göre ise ilkbahar mevsimi için 0.05 önem düzeyinde negatif trendler belirlenmiştir. Ekimlerin geręekleřtirildiği ve ardından tohumların geręekleřen yağışlarla toprağa tutunarak kararlı ve güçlü bir kardeşlenme başlangıcına geğiş yaptığı kritik sonbahar mevsiminde kuraklığa doğru bir eğilimin olması sadece işletme açısından değil yöre çiftçileri açısından da maddi zararlara neden olabilecek bir durumdur. Sonbahar mevsimi için buğday açısından en etkili iklim parametresinin yağış olması nedeniyle söz konusu trend SPI ile belirlenmiştir. İlkbahar mevsiminde ise bu kez verim faktörleri devreye girmeye başlamaktadır. Sapa kalkmayla beraber hızlı bir

generatif döneme geçiş yapan buğday bahar mevsiminin ortalarına doğru havaların ısınmasıyla beraber başaklanma ve çiçeklenme dönemlerini geçirir. Bu dönemlerde tanelerin kaliteli dolum yapabilmesi için en etkili iklim faktörü bu kez sıcaklık olarak karşımıza çıkar. Bu nedenle ilkbahar mevsimi için negatif yönlü trend SPEI ile belirlenmiştir.

Yörede verim açısından SPEI 9 ve SPEI 6 aylık zaman ölçeklerinin tüm çeşitlerde ortak şekilde etkili olduğu belirlenmiş ve buradan yola çıkarak 3 küresel veri seti ve 2 senaryo ile kuraklık projeksiyonları da geliştirilmiştir. 1971-2000 projeksiyonu normal kabul edildiğinde, hem RCP4.5 hem de RCP8.5 senaryolarına göre hiçbir küresel set ve zaman ölçeğinde 2020-2040 dönemi için kuraklığa doğru bir yönelim belirlenmemiştir. RCP4.5 senaryosunda 2041-2070 döneminde HadGEM ve GFDL setleri kuraklığa doğru bir yönelimin, MPI seti ise nemliliğe doğru bir yönelimin olabileceğini ortaya koymaktadır. RCP8.5 senaryosunda tüm setler bu dönemi normal civarında öngörmektedir. RCP4.5 senaryosunda 2071-2098 döneminde GFDL seti hariç kuraklığa yönelimin olacağı, RCP8.5 senaryosunda ise aynı dönem için tüm küresel setlerde kuraklığa doğru bir yönelimin olacağı öngörülmektedir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 1971-2000 normaline göre kuraklık projeksiyonu özeti

Veri Seti	Ölçek	RCP4.5			RCP8.5		
		2040	4170	7198	2040	4170	7198
MPI	SPEI-9	*	+	-	+	*	-
	SPEI-6	*	+	-	+	*	-
HadGEM	SPEI-9	+	-	-	+	*	-
	SPEI-6	*	-	-	+	*	-
GFDL	SPEI-9	*	-	+	+	*	-
	SPEI-6	*	-	+	+	*	-

*: Normali civarı, +: Nemli, -: Kurak

Projeksiyonlar açısından özellikle 2020-2040 dönemi için karanlık bir senaryo yokmuş gibi görülse de, ortaya çıkan bu tabloyu önümüzdeki dönemde kuraklığın yaşanmayacağı veya yağışların çok olacağı gibi yorumlamak doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Burada kuraklığın görülme sıklığında artış veya azalış olacağı şeklinde düşünülmesi

gerekmektedir. Nitekim bu çalışmada gerçekleştirilen analizlerde de yörede son yıllarda kuraklığa doğru ciddi bir eğilimin olduğu belirlenmiştir. Kuraklığın temel etkeni olan yağış parametresi üzerine iklim değişikliğinin etkisi daha çok dağılımlarının düzensizleşmesi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum bitki için yarayışlı olmayan dönemlerde yağışın gerçekleşmesi ya da birbirine yakın konumda bulunan tarım alanlarının bazılarında kuraklığın yaşaması bazılarında yaşanmaması gibi durumların ortaya çıkmasına neden olabilecektir. Dolayısıyla projeksiyonların bir tahmin değil oldukça uzun bir periyodu ele alan öngörüler olduğu unutulmamalıdır.

Meteorolojik kuraklığa ilişkin analizlerin ardından, tarımsal kuraklığı simgeleyen uydu tabanlı indekslerle buğday çeşitlerine ve parsellere indirgenmiş detaylı kuraklık analizleri de gerçekleştirilmiştir. Tarımsal kuraklığın tespiti oldukça karmaşık, zaman alıcı ve maliyetli olmaktadır. Bu nedenle yıllar içinde araştırmacılar tarafından uydu tabanlı birçok kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Çalışmada NDVI ve LST yardımıyla geliştirilen VCI, TCI, VHI ve VSWI ile tarımsal kuraklık analizleri 20 üretim dönemi, 3 buğday çeşidi, 12 parsel, 7 büyüme dönemi için gerçekleştirilmiştir.

Kızıltan, Bayraktar ve Bezostaya çeşitlerinin ekimden hasada kadar NDVI ve LST değişimleri ile birbirleri ve verimlerle ilişkileri incelenmiştir. Çeşitlerin ortalama NDVI ve LST eğrilerinin birbirine oldukça benzer oldukları belirlenmiştir. Ancak en yüksek NDVI değerine Kızıltan ve Bayraktar çeşitleri Nisan ayının ikinci yarısında ulaşırken, Bezostaya çeşidi Mayısın ilk yarısında ulaşmaktadır. En yüksek ortalama NDVI değerleri Bayraktar (0.552), Bezostaya (0.551) ve Kızıltan (0.474) şeklinde sıralanmaktadır. Çeşitlerin verimleri ile NDVI değerleri arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, en yüksek ilişki Bayraktar çeşidinde Mayıs ayının ilk yarısında (0.901) belirlenirken, Kızıltan çeşidinde Mayıs ayının ikinci yarısında (0.866), Bezostaya çeşidinde ise Mayıs ayının ikinci yarısında (0.761) belirlenmiştir. LST ile verimler arasındaki ilişkiler tüm çeşitlerde zıt yönlü olarak ve Nisan ayının ikinci yarısında belirlenmiştir. Buna göre; en yüksek düzeyde ilişki Bezostaya çeşidinde (-0.812) belirlenirken, bunu Bayraktar (-0.792) ve Kızıltan (-0.727) çeşidi takip etmiştir. Genetik farklılıklar ve yüzey sıcaklığının verimlere etkisi açısından farklılıklar oluşmaktadır. Çeşitlerin verimleriyle NDVI ve LST ilişkileri büyüme dönemleri açısından da irdelenmiştir. Buna göre; NDVI ile en yüksek ilişki

düzeyleri tüm çeşitlerde B-Çi döneminde, Bayraktar çeşidinde '0.926', Kızıltan çeşidinde '0.800' ve Bezostaya çeşidinde '0.709' seviyelerinde belirlenmiştir. LST ile en yüksek ilişki düzeyleri ise Bayraktar çeşidinde S-B döneminde '-0.685', Bezostaya çeşidinde O-H döneminde '-0.657' ve Kızıltan çeşidinde S-B döneminde '-0.614' seviyelerinde belirlenmiştir.

NDVI-LST korelasyonu ise kuraklık açısından önemli bir göstergedir. Negatif korelasyon kuraklık koşullarının oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Çalışmada buğday çeşitlerinin tümünde en yüksek NDVI-LST korelasyonları Çi-O döneminde belirlenmiştir. Kızıltan çeşidinde -0.730, Bezostaya çeşidinde -0.672, Bayraktar çeşidinde ise -0.626 seviyelerinde korelasyonlar belirlenmiştir. Buna göre; Çi-O döneminde LST'nin NDVI'ya etkisinin en yüksek düzeyde Kızıltan çeşidinde olduğu belirlenmiştir.

Yörede kuraklık sadece yıllara ve dönemlere göre değil aynı zamanda, parsellere göre de değişiklikler göstermektedir. Bunun nedeni; tarım tekniklerinin eş olduğu koşulda, parsellerin toprak özellikleri ve toprak su içeriklerinin farklı olmasıdır. İndeksler kuraklıkları farklı yorumlamaktadır. Örneğin, VCI indeksi kuraklığı vejetasyon durumu, TCI ise termal stres açısından ele almaktadır. VHI ve VSWI ise vejetasyon ile termal stres faktörlerinin farklı kombinasyonlarıyla değerlendirme yapmaktadır. Bu durum herhangi bir çeşitte aynı yıl için farklı değerlendirmelerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. VCI, TCI ve VHI için ortak bir şiddet sınıflandırma skalası kullanılırken, VSWI ise dönemlere göre düşük veya yüksek değerde olmasına bağlı olarak daha subjektif bir değerlendirme sunmaktadır.

Kuraklık başlangıç ve bitişinin tespit edilmesi çok zor olan karmaşık yapıda bir olaydır. Tek bir açıdan ele alınması yeterli gelmeyecektir. Bu nedenle kuraklığın takibinde sadece bir indeks ve bir zaman ölçeği ile değerlendirme yapılmamalıdır. Tarımsal kuraklık kavramı, bitkinin topraktan su ihtiyacını karşılayamaması durumunu, meteorolojik kuraklık ise yağışın uzun yıllar ortalamasından sapmasını ifade etmektedir. Tarımsal kuraklığın temelinde meteorolojik kuraklık yatmaktadır ancak yalnızca meteorolojik kuraklıkla tarımsal kuraklığı açıklamak her zaman mümkün olmamaktadır. Tarımsal kuraklığı etkileyen, yağışın düzensiz dağılımı, bitki cinsi ve çeşidi, toprak yapısı, arazi

konumu, tarımsal uygulamalar gibi daha birçok konu vardır. Ayrıca meteorolojik kuraklık yaşandıktan sonra tarımsal kuraklığın etkilerinin her koşulda aynı dönemde hissedileceği gibi bir olgu da yoktur. Tarımsal kuraklığın çok karmaşık bir yapı olmasının nedenlerinden biri de budur. Şiddetli bir meteorolojik kuraklığın ardından topraktaki suyun yeterli olması bitkide o an için tarımsal kuraklığa neden olmazken aslında topraktaki su içeriğinin azalması daha sonraki bir dönemde çok daha hafif bir meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklık olarak etkili olmasına neden olabilecektir.

Bu çalışmada kuraklık farklı açılardan ele alınmış ve tarımsal kuraklığın uydu tabanlı indekslerle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bunu yaparken 3 farklı çeşit için meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklık üzerine etkili olduğu indeks (SPI-SPEI) ve zaman ölçekleri de incelenmiştir. Aşağıda buğdayda büyüme dönemlerinde farklı indekslerle (VCI, TCI, VHI, VSWI) belirlenmiş tarımsal kuraklıkların üzerine en yüksek düzeyde etkili olduğu belirlenen meteorolojik kuraklık indeksleri görülmektedir. Örnekle açıklamak gerekirse, çizelgedeki yorumlama ‘Bezostaya çeşidinde, B-Çi döneminde VCI ile tanımlanan tarımsal kuraklık üzerine SPEI-9 ile belirlenen Eylül (9) ayı kuraklığı %90 olarak etkilidir’ şeklinde yapılmalıdır. Kuraklığa dayanıklılığı en yüksek Kızıltan çeşidinde belirlenen ilişkilerin diğerlerine nazaran daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2 Çeşitler için tarımsal kuraklığa en etkili indeksler

Dönem	Kızıltan				Bayraktar				Bezostaya			
	TKİ	MKİ	Ay	r	TKİ	MKİ	Ay	r	TKİ	MKİ	Ay	r
E-Ç	VHI	SPEI-3	10	0.71	VHI	SPI-9	9	0.87	TCI	SPI-3	10	0.87
Ç-K	VSWI	SPI-12	6	0.66	VHI	SPI-9	6	0.79	VCI	SPI-1	10	0.72
K-S	VHI	SPI-9	6	0.71	VCI	SPI-12	6	0.77	VCI	SPEI-3	11	0.76
S-B	VSWI	SPI-9	5	0.69	VCI	SPI-9	6	0.86	VSWI	SPEI-6	3	0.85
B-Çi	VSWI	SPI-3	4	0.72	VCI	SPI-3	4	0.84	VCI	SPEI-12	6	0.90
Çi-O	VHI	SPI-3	4	0.71	VSWI	SPI-1	4	0.78	VCI	SPEI-9	9	0.80
O-H	TCI	SPI-12	9	0.73	VSWI	SPI-3	4	0.82	VCI	SPI-6	5	0.78

TKİ: Tarımsal Kuraklık İndeksi, MKİ: Meteorolojik Kuraklık İndeksi, r: Korelasyon Katsayısı

Yörede SPI ve SPEI meteorolojik kuraklık açısından birbirlerine yakın sonuçlar sunmaktadırlar. Daha önce bahsedildiği gibi iki indeksin birbirleriyle ilişkileri çok yüksektir ancak zaman ölçekleri uzadıkça, RET faktörü nedeniyle fark bir miktar açılmaktadır. Sonrasında iki indeksle trend analizleri de yapılmıştır. Sonuçlar bu kez birbirine çok benzememektedir. Yukarıda sonuçlardan bahsedilmiştir. Yıllara göre zaman ölçeklerinde (3, 6, 9 ve 12 aylık) yapılan analizlerde ise SPEI ile çok daha fazla kuraklığın belirlendiği görülmüştür. Tarımsal kuraklık üzerine etkileri de incelenen indekslerde SPI çeşitlerde oldukça etkili olarak bulunmuştur. Ancak buradan SPEI'nin etkili olmadığı gibi bir düşünce oluşmamalıdır. Çok az farklarla birbirlerine üstünlük kurdukları belirlenmiştir. Yapılan bu analizler ışığında, hem SPI hem de SPEI yöreye oldukça uygun ve kullanılması tavsiye edilebilir indeksler olarak değerlendirilmiştir. SPI, SPEI'ye göre veri ihtiyacı daha az, analizi daha kolay bir indekstir. Mutlaka bir tercih yapmak istenirse, kısa dönemler veya zaman ölçekleri için SPI, daha uzun dönemler için SPEI kullanılması düşünülebilir. Tarımsal açıdan değerlendirmek gerekirse, özellikle yağışın daha çok etkili olduğu ekimden başaklanmaya kadar olan dönem için SPI, sıcaklığın etkisinin artmaya başladığı başaklanmadan hasada kadar olan dönem için SPEI kullanılabilir. Ancak eğer SPEI analizi yapılabiliyorsa SPI analizinin yapılmaması için herhangi engel durum yoktur. Ayrıca bu çalışmada RET hesaplamaları FAO tarafından kullanılması tavsiye edilen 'Penman-Monteith' yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin kullanılması hem analiz tecrübesi gerektirmesi hem de daha fazla veri ihtiyacı nedeniyle çeşitli zorluklara neden olabilir. Böyle bir durumda SPEI yöntemini uygulamak için yalnızca sıcaklık parametresinden yararlanılarak PET hesaplanabilecek metotlar da kullanılabilir. Sonuç olarak bu çalışmada gerçekleştirilen analiz ve edinilen deneyimlere dayanarak iki indeksin (SPI, SPEI) birlikte kullanılmasının kuraklık açısından çok daha doğru değerlendirmelerin yapılmasına imkân vereceği kanaatine varılmıştır.

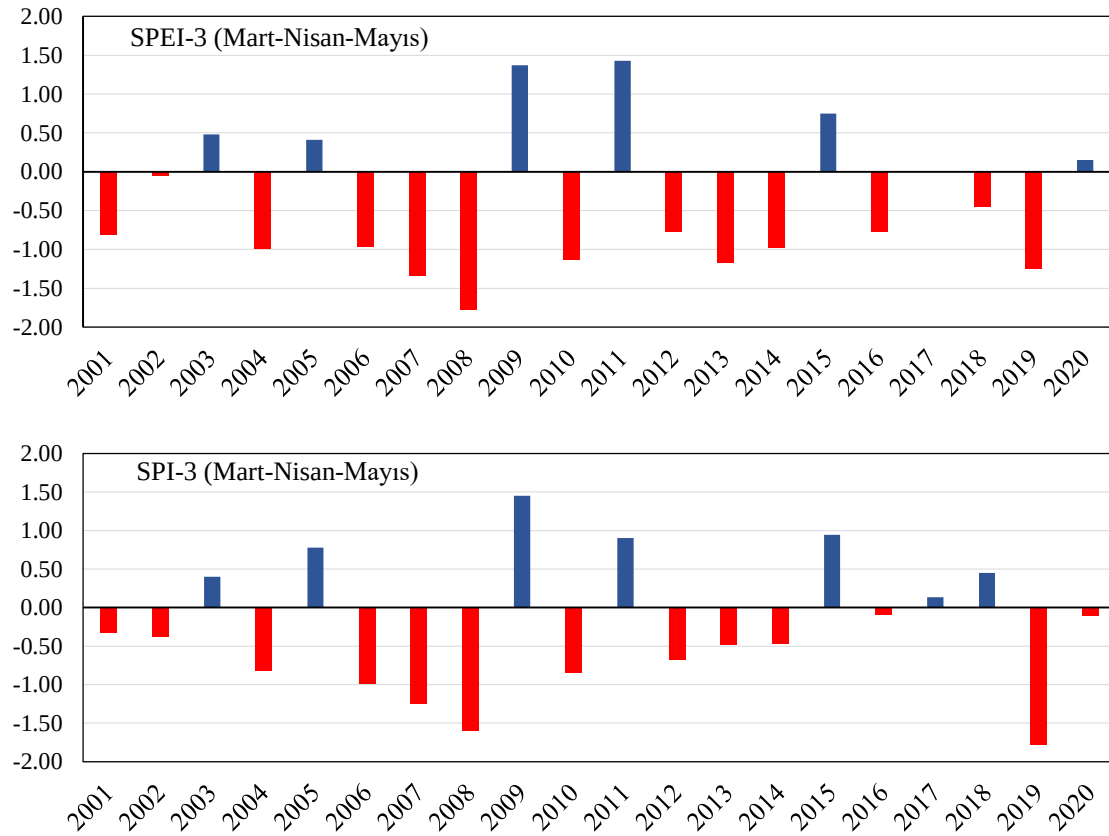
Çalışmada gerçekleştirilen kuraklık analiz sonuçları özet olarak çizelge 5.3'te görülmektedir. Çizelgedeki kuraklıklar şiddetlerine göre değil, geçmişten günümüze şeklinde sıralanmışlardır. Çalışılan parsellerde Kızıltan 2001-2020 arası, Bayraktar 2009-2020 arası, Bezostaya ise 2001-2008 arası dönemlerde ekilmiştir. Dolayısıyla kuraklık analizleri ekildikleri yıllara göre olan durumları yansıtmaktadır. Kuraklık analizlerine

göre, tüm kuraklık indekslerinde ortak şekilde Kızıltan çeşidi için; 2001, 2007, 2008, 2014, 2016 ve 2018 yılları, Bayraktar çeşidinde 2012, 2016 ve 2017 yılları, Bezostaya çeşidinde ise 2001 yılı hem meteorolojik hem de tarımsal açıdan kuraklığın yaşandığı yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan analizler meteorolojik kuraklığın etki süresine bağlı olarak yörede çoğunlukla tarımsal kuraklığa doğru dönüştüğünü göstermektedir. Ancak bu durum her zaman geçerli olmamaktadır. Bazı durumlarda meteorolojik kuraklık yaşanmasına rağmen tarımsal açıdan kuraklık belirlenememiştir. Bunun sebebi meteorolojik kuraklığın yaşandığı periyotta parselin mevcut toprak nemi içeriğinin bitkinin normal gelişimini sürdürmesini sağlamasıdır. Örnek olarak, Kızıltan için meteorolojik kuraklık açısından SPEI-3, 6, 9 ve 12 aylık ve SPI-9 aylık ölçeğinde kurak yıl olarak değerlendirilen 2013 yılı hiçbir indekste tarımsal açıdan kurak olarak değerlendirilmemiştir. 2013 yılı arazi yüzey sıcaklıklarının (LST) düşük seyretmesi nedeniyle, meteorolojik olarak kuraklık olsa da tarımsal açıdan herhangi bir kuraklığa dönüşmemiş yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.3).

2019 yılı meteorolojik kuraklık 6, 9 ve 12 aylık ölçeklere göre kurak yıl olarak değerlendirilmemiş, ancak TCI hariç diğer indekslerde kuraklık yaşanan yıl olarak belirlenmiştir. Tarımsal kuraklığın temel nedeni toprakta bitkinin ihtiyaç duyduğu nemin yeteri kadar bulunmamasıdır. Bu nedenle tarımsal kuraklık için en önemli faktör yağış olmakla birlikte, yağışların özellikle iklim değişikliğinin etkisiyle dağılımlarındaki düzensizliklere bağlı olarak, bitkinin ihtiyacı olan dönemde gerçekleşmemesi ya da şiddetli kuraklık geçiren bir önceki yılın toprak neminde yol açtığı kayıpların telafi edilememesi bir sonraki dönemde tarımsal kuraklığa zemin oluşturabilir. Bu nedenle özellikle meteorolojik kuraklık açısından bitkide sapa kalkmayla birlikte yoğun yağışa ihtiyaç duyulan Mart-Nisan-Mayıs (3 aylık) dönemi kuraklık durumunun da gözden geçirilmesi yerinde olacaktır. Nitekim 2019 yılında bu dönemin kurak geçirildiği ve diğer zaman ölçeklerinde görülmeyen bu dönemdeki kuraklığın tarımsal kuraklık olarak sahaya yansıdığı belirlenmiştir. 2016 yılı ise tüm zaman ölçeklerinde ve tüm çeşitlerde tarımsal kuraklık açısından dikkat çekici kurak bir yıl olarak belirlenmesine rağmen SPI-3 aylık zaman ölçeğinde kurak olarak belirlenmezken, SPEI-3 zaman ölçeğinde kurak olarak belirlenmiştir (Şekil 5.2). Buradan anlaşılabileceği üzere, kuraklıkları tek bir zaman ölçeğinde belirleyebilmek her zaman mümkün olmayacağı gibi indeksler arası

farklılıklar da gerçekleşebilmektedir. Bu durum kuraklık izleme ve değerlendirme çalışmalarında analizlerin farklı indeks ve ölçeklerde entegre şekilde yapılması gerektiğine dair önemli bir bulgu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bayraktar parsellerinde tarımsal kuraklık açısından dönemsel ve yıllık olarak farklar olabilmekle birlikte indekslerin genelinde 2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019 yıllarında tarımsal kuraklık yaşanmış olarak belirlenmiştir. En az sayıda kurak yıl ise (2012, 2016 ve 2017) TCI'ye göre yıllık (E-H dönemi) olarak belirlenmiştir. Bayraktar parsellerinde LST'nin genel olarak çok yüksek seyretmemesi nedeniyle yıllık ortalamalarda termal stres düşük olduğu için kurak yıl sayısı fazla artmamıştır (Çizelge 5.3).



Şekil 5.2 SPI 3 ve SPEI 3 (Mart-Nisan-Mayıs) kuraklık durumu

Bezostaya çeşidi çalışılan parsellerde 2001-2008 yıllarında ekilmiştir. 2001 yılı tüm indekslerde meteorolojik ve tarımsal açıdan kurak olarak değerlendirilmiştir. 2007 yılı VCI, 2008 yılı ise TCI indeksleri haricinde kurak olarak belirlenmiştir. 2003 yılı ise

sadece TCI indeksine göre kurak olarak değerlendirilmiştir. Meteorolojik olarak 2003 yılında 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde herhangi bir kuraklık yaşanmamış ancak birçok Bezostaya parselinde LST değerleri yüksek seyretmiştir. TCI indeksi toprak nem açığı kaynaklı stresin belirlenmesinde etkili bir indekstir. 2003 yılında özellikle sapa kalkmadan başaklanmaya kadar dönemde bitkinin ihtiyacı olan su miktarının TCI indeksine göre karşılanmadığı, bu nedenle bazı parsellerde tarımsal kuraklığın yaşanmış olabileceği değerlendirilmiştir (Çizelge 5.3).

Analiz neticesinde 6 ve 9 aylık olarak bakılan meteorolojik kuraklıkların çoğunlukla sahada tarımsal kuraklıklara dönüştüğü değerlendirilmiş ancak tarımsal kuraklıklar üzerinde 3 aylık (Mart-Nisan-Mayıs) zaman ölçeğindeki meteorolojik kuraklığın da etkili olabileceği ortaya koyulmuştur. Ancak bu her durumda böyle olmayabilecektir. Ekilen çeşitlerin kuraklığa dayanıklılıkları, ekilen parselin toprak özellikleri, su tutma kapasiteleri, konumu, toprağın nem içeriğine katkı yapan yağışların miktar ve dağılımları, toprak yüzeyinden buharlaşma miktarı, termal stres gibi faktörler nedeniyle meteorolojik kuraklıklar her zaman tarımsal kuraklığa dönüşmediği gibi meteorolojik kuraklığın gerçekleşmediği bir sezonda da tarımsal kuraklığın olamayacağı anlamını taşımamaktadır. Analiz ve değerlendirmeler neticesinde, kuraklık değerlendirmelerinde tek bir zaman ölçeğinin ve tek bir indeksin baz alınması doğru bir yaklaşım olmayacağı kanaatine varılmıştır.

Çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda tarımsal kuraklığın belirlenmesinde meteorolojik kuraklık ile uydu tabanlı tarımsal kuraklık indeksleri birlikte analiz edilirse gerçeğe yakın sonuçlara erişilebileceği değerlendirilmiştir. Analizlerde kullanılan indekslerin tümü yörede tarımsal kuraklığı izlemede uygun olmakla birlikte VCI bir adım daha önde olarak değerlendirilmiştir. Bunun nedeni yörede meydana gelen kuraklık olaylarını yorumlamada daha detaylı olduğunun gözlemlenmesi yanında, VCI'nin sadece NDVI ile hesaplanabilir olması, diğer indekslerde olduğu gibi ayrıca LST verisine ihtiyaç duymamaktadır.

Çizelge 5.3 Çeşitlere göre kuraklık indeksleri ve kuraklık durumları

Çeşit	İndeks	Dönemi	Kuraklık Yaşanan Yıllar
Genel	SPI-3	Mart-Nisan-Mayıs	2004, 2006, 2007, 2008, 2010, 2012, 2019
	SPI-6	Ekim-Nisan	2001, 2007, 2014, 2016, 2017, 2018
	SPI-9	Ekim-Haziran (ekim-hasat)	2001, 2004, 2005, 2007, 2008, 2013, 2014, 2016, 2017
	SPI-12	Ekim-Eylül (Su Yılı)	2001, 2005, 2007, 2008, 2013, 2016, 2017
Genel	SPEI-3	Mart-Nisan-Mayıs	2001, 2004, 2006, 2007, 2008, 2010, 2012, 2013, 2014, 2016, 2019
	SPEI-6	Ekim-Nisan	2001, 2004, 2005, 2007, 2008, 2013, 2014, 2016, 2017, 2018
	SPEI-9	Ekim-Haziran (ekim-hasat)	2001, 2004, 2005, 2007, 2008, 2013, 2014, 2016, 2018
	SPEI-12	Ekim-Eylül (Su Yılı)	2001, 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2012, 2013, 2014, 2016, 2017, 2018
Kızıltan	VCI	B-Çi	2001, 2004, 2007, 2008, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019
		Yıllık (E-H)	2001, 2004, 2007, 2008, 2012, 2014, 2016, 2017, 2019
	TCI	S-B	2001, 2007, 2008, 2012, 2014, 2016, 2018
		Yıllık (E-H)	2001, 2007, 2008, 2012, 2014, 2016, 2018, 2019, 2020
	VHI	B-Çi	2001, 2007, 2008, 2012, 2014, 2016, 2018, 2019
		Yıllık (E-H)	2001, 2007, 2008, 2012, 2014, 2016, 2017, 2019
	VSWI	B-Çi	2001, 2004, 2007, 2008, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019
		Yıllık (E-H)	2001, 2004, 2007, 2008, 2012, 2014, 2016, 2017
Bayraktar	VCI	B-Çi	2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019
		Yıllık (E-H)	2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019
	TCI	S-B	2012, 2014, 2016, 2017, 2018
		Yıllık (E-H)	2012, 2016, 2017
	VHI	S-B	2012, 2014, 2016, 2017
		Yıllık (E-H)	2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019
	VSWI	B-Çi	2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019
		Yıllık (E-H)	2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019
Bezostaya	VCI	B-Çi	2001, 2008
		Yıllık (E-H)	2001, 2005, 2008
	TCI	S-B	2001, 2003, 2007
		Yıllık (E-H)	2001, 2007
	VHI	B-Çi	2001, 2007, 2008
		Yıllık (E-H)	2001, 2008
	VSWI	B-Çi	2001, 2007, 2008
		Yıllık (E-H)	2001, 2005, 2008

Çalışmanın temel amacı olan çeşit odaklı verim tahmin modelleri geliştirilmesinde aylık (1. ve 2. dönem) ve büyüme dönemlerine göre uydu tabanlı ürün ve indeksler (NDVI, LST vd. indeksler) ile büyüme dönem uzunlukları (dönemsel ve eklemeli) giriş parametreleri, çeşitlerin yıllık verimleri ise çıkış parametreleri olarak kullanılmış ve WEKA ortamında makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak modeller geliştirilmiştir.

Genetik farklılıkların kuraklık-verim ilişkili modellemelerde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Çeşitlerin tümünde NDVI ve LST temelli modellerin haricinde VHI, VSWI ve büyüme dönem uzunluklarının dahil edildiği alternatif modeller sunulmuştur. Modellerin seçilmesinde ‘en yüksek tahmin performansı’ haricinde, ‘erken tahmin alternatifleri’ ve mümkün olan ‘en az sayıda değişkeninin kullanımı’ kriterleri temel alınmıştır.

Bayraktar çeşidi için toplamda 21 adet verim tahmin modeli alternatif olarak sunulmuş olup, model performansları $0.736 \leq R^2 \leq 0.973$ aralığında değişmektedir. Büyüme dönemlerine göre kurulan modellerin daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Performansı en yüksek (0.973) model ekimden çiçeklenmeye kadar olan büyüme dönemleri NDVI değerleriyle birlikte elde edilen Model-1 olarak karşımıza çıkmaktadır. Toplam 5 değişkenin kullanıldığı bu model, yüksek bir performansla çiçeklenme döneminden itibaren (hasattan yaklaşık 2 ay kadar öncesi) tahmin imkânı sunmaktadır. Çalışmada Bayraktar çeşidi için 2-7 ay öncesinden tahmine imkân veren modeller alternatif olarak sunulmuştur.

Kızıltan çeşidinde toplamda 12 adet verim alternatif tahmin modeli olarak sunulmuş olup, model performansları $0.733 \leq R^2 \leq 0.956$ aralığında değişmektedir. Aylık indeks değerlerine göre kurulan modellerin daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Performansı en yüksek (0.956) model Ekimden Mayıs’a kadar olan aylık NDVI ve LST değerleriyle birlikte kurulan Model-1 olarak karşımıza çıkmaktadır. Toplam 32’şer değişkenin kullanıldığı Model-1 ve Model-2 (0.941) ile 4 değişkenle kurulan Model-3 (0.920) yüksek performanslarıyla hasattan yaklaşık 2 ay öncesinde tahmin imkânı sunmaktadır. Bu üç model içerisinde Model-3 çok daha az değişken kullanması nedeniyle

öne çıkmaktadır. Kızıltan çeşidi için 2-7 ay öncesinden tahmine imkân veren modeller alternatif olarak sunulmuştur.

Bezostaya çeşidi içinse toplamda 8 adet verim tahmin modeli alternatif olarak sunulmuş olup, model performansları $0.686 \leq R^2 \leq 0.874$ arasında değişmektedir. Aylık NDVI ve LST değerlerinden elde edilen Model-1 ile büyüme dönemlerine göre VHI ve VSWI kombinasyonu ile elde edilen Model-2 en yüksek performansı (0.874) sunan modeller olarak belirlenmiştir. Model-1 yüksek performansının yanı sıra doğrudan aylık NDVI ve LST değerlerini kullanması ve hasattan yaklaşık 6 ay önceden tahmine olanak sağlaması nedeniyle öne çıkmaktadır.

Çalışma sonunda kuraklık-buğday verim ilişkileri detaylı şekilde ve parsel temelli olarak incelenmiş, meteorolojik bilgi ile uydu tabanlı güncel ürünler analizlerde kullanılmıştır. Böylelikle yöntemlerin hem kullanılabilir olup olmadığı test edilmiş, hem de konunun tüm paydaşları için yol gösterici önemli ürünler elde edilmiştir. Meteorolojik kuraklığın kısa, orta ve uzun vadeli olarak projeksiyonları üretilerek, güncel analizlerin yanında geleceğe yönelik olarak kuraklık perspektifi de sunulmuştur. Çalışmada buğday büyüme dönemlerine göre ele alınmıştır. Kalitesi ve çeşitliliği yüksek fenolojik gözlemler buna benzer çalışmalarda hem çok başarılı tahmin modellerinin geliştirilmesine olanak sağlayacak hem de iklim değişikliği etkisinin daha doğru izlenmesine yardımcı olacaktır. Çalışmada meteorolojik ve tarımsal kuraklık çeşit ve parsel temelli olarak analiz edilmiş ve verim tahmin modelleri çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak geliştirilmiştir. Bu modellerin araştırma sahasında kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Anonim. 1997. TİGEM Altınova Tarım İşletmesi Topraklarının Detaylı Toprak Etüd ve Haritalaması, Sayı:23. 1997
- Anonim. 2005. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. Fenolojik Gözlemler. Meteoroloji Memurlarının El Kitabı Teknik Seri No: 6. Ankara
- Anonim. 2020a. Sera Gazı Emisyon İstatistikleri. Web Sitesi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2020-45862> Erişim Tarihi: 15.12.2022.
- Anonim. 2020b. Web Sitesi: <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Duyuru/96/Urun-Masalari-Haziran-Ayi-Bultenleri-Yayinlandi> Erişim Tarihi: 20.07.2020
- Anonim. 2020c. Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü. Altınova Tarım İşletmesi üretim kayıtları.
- Anonim. 2021a. MGM 2021 Yılı İklim Değerlendirmesi. Web Sitesi: <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2021-iklim-raporu.pdf> Erişim Tarihi: 15.12.2022.
- Anonim. 2021b. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. Web Sitesi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2022-49685> Erişim Tarihi: 15.12.2022
- Anonim. 2021c. DSİ 2021 Yılı Faaliyet Raporu. Web Sitesi: https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/Sayfa/759/1107/DosyaGaleri/2021_yili_faaliyet_raporu.pdf Erişim Tarihi: 15.12.2022
- Anonim. 2021d. Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü. Ürün Masaları Buğday Bülteni Mayıs 2022. Sayı:20, Ankara.
- Anonim. 2021e. 2021 Yılı Yağış Değerlendirmesi. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim. 2021f. Web Sitesi: <https://www.tigem.gov.tr/Sayfalar/Detay/7818ed33-02b6-4a24-b067-72363f3f3104> Erişim Tarihi: 05.09.2021
- Anonim. 2022. Web Sitesi: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=KONYA> Erişim Tarihi: 05.12.2022
- Anonim. 2023a. Web Sitesi: <http://climatechange.boun.edu.tr/deniz-seviyesinin-yukselmesi/> Erişim Tarihi: 11.03.2023.
- Anonim. 2023b. Web Sitesi: <https://www.tmo.gov.tr/urun-katalogu/kirmizi-sert-bugdaylar> Erişim Tarihi: 18.03.2023.
- Anonymous. 2017a. Web Sitesi: https://read.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/water-risk-hotspots-for-agriculture_9789264279551-en#page5 Erişim Tarihi: 28.03.2019.

- Anonymous. 2017b. Web Sitesi: <https://cran.r-project.org/web/packages/SPEI/SPEI.pdf>
Erişim Tarihi: 14.07.2021
- Anonymous. 2021. Google Earth Pro 7.3.4.8248. Altinova Tarım İşletmesi, Türkiye.
38.72 N, 32.16 E, Eye alt 243.76 km. Erişim Tarihi: 05.09.2021
- Anonymous. 2022a. Carbon Dioxide. Web Sitesi: <https://climate.nasa.gov/> Erişim Tarihi:
5.11.2022.
- Anonymous. 2022b. NOAA Global Carbon Dioxide (CO₂). Web Sitesi:
https://gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2/co2_mm_mlo.txt Erişim Tarihi:
5.11.2022.
- Anonymous. 2022c. Web Sitesi: <https://drought.unl.edu/Education/DroughtBasics.aspx>
Erişim Tarihi: 15.12.2022.
- Anonymous. 2022d. Web Sitesi: <https://www.drought.gov/what-is-drought/drought-basics> Erişim Tarihi: 15.12.2022.
- Anonymous. 2022e. Vegetation Health index (VHI). Web Sitesi:
https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browseVH.php Erişim
Tarihi: 03.03.2023
- Anonymous. 2023 Web Sitesi: <https://up42.com/blog/5-things-to-know-about-ndvi>
Erişim Tarihi: 13.03.2023
- Aher, S. B., and Lobo, L., 2011. Data mining in educational system using weka.
In International conference on emerging technology trends (ICETT) (Vol. 3, pp.
20-25).
- Ahmad, M., Tang, X., and Ahmad, F. 2020. Evaluation of liquefaction-induced settlement
using random forest and REP tree models: taking pohang earthquake as a case of
illustration. In Natural Hazards-Impacts, Adjustments and Resilience. IntechOpen.
- Akbulut, Y., Sengur, A., Guo, Y., and Smarandache, F. 2017. NS-k-NN: Neutrosophic
set-based k-nearest neighbors classifier. Symmetry, 9(9), 179.
- Akcapınar, M. C., ve Çakmak, B. 2021. Ankara İli Ayaş İlçesinde Kuraklığın
Değerlendirilmesi. Uluslararası Biyosistem Mühendisliği Dergisi, 2(2), 119-130.
Ulusal Kongre Sunum
- Akcapınar, M. C., ve Çakmak, B. 2022. Meteorolojik Faktörler Yardımıyla Bazı Buğday
Çeşitlerinde Verim Tahmini: Şanlıurfa Ceylanpınar Örneği. Kahramanmaraş Sütçü
İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 25(Ek Sayı 1), 200-213
- Akçakaya, A., Sümer, U.M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan,
H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M.,
Yağan, S. ve Çukurçayır, F. 2015. Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları
ve İklim Değişikliği-TR2015-CC. Meteoroloji Genel Müdürlüğü yayını, 149 s.,
Ankara.

- Akkaya, A., 1994. Buğday Yetiştiriciliği. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv.Genel Yayın No:1, Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:1, Ders kitabı Yayın No:1, s:225, Kahramanmaraş.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Arslan, M., Zahid, R., and Ghauri, B. 2016. Assessing the occurrence of drought based on NDVI, LST and rainfall pattern during 2010–2014. In 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) (pp. 4233-4236). IEEE.
- Atkeson, C. G., Moore, A. W., and Schaal, S. 1997. Locally weighted learning. *Lazy learning*, 11-73.
- Ayaz, Y., Kocamaz, A. F., and Karakoç, M. B. 2015. Modeling of compressive strength and UPV of high-volume mineral-admixed concrete using rule-based M5 rule and tree model M5P classifiers. *Construction and Building Materials*, 94, 235-240.
- Ayrancı, R., Sade, B., ve Soylu, S. 2017. Ekmeklik buğday genotiplerinin verim ve fenolojik özelliklerinin tane doldurma dönemindeki kuraklık stresine tepkileri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26, 112-118.
- Aziz, A., Umar, M., Mansha, M., Khan, M. S., Javed, M. N., Gao, H., and Abdullah, S. 2018. Assessment of drought conditions using HJ-1A/1B data: a case study of Potohar region, Pakistan. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 1019-1036.
- Bayissa, Y. A., Tadesse, T., Svoboda, M., Wardlow, B., Poulsen, C., Swigart, J., and Van Andel, S. J. 2019. Developing a satellite-based combined drought indicator to monitor agricultural drought: A case study for Ethiopia. *GIScience & Remote Sensing*, 56(5), 718-748.
- Behnood, A., Behnood, V., Gharehveran, M. M., and Alyamac, K. E. 2017. Prediction of the compressive strength of normal and high-performance concretes using M5P model tree algorithm. *Construction and Building Materials*, 142, 199-207.
- Breiman, L. 1996. Bagging predictors. *Machine learning*, 24, 123-140.
- Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32.
- Cheval, S. 2015. The Standardized Precipitation Index – an overview. *Romanian Journal of Meteorology*. 12. 17-64.
- Cleary, J. G., and Trigg, L. E. 1995. K*: An instance-based learner using an entropic distance measure. In *Machine Learning Proceedings 1995* (pp. 108-114). Morgan Kaufmann.
- Demir, V., Uray, E., Orhan, O., Yavariabdi, A., and Kusetogullari, H. 2021. Trend analysis of ground-water levels and the effect of effective soil stress change: the case study of konya closed basin. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 515-522.

- Didan, K., Munoz, A. B., Solano, R., and Huete, A. 2015. MODIS vegetation index user's guide (MOD13 series). University of Arizona: Vegetation Index and Phenology Lab, 35.
- Dikici, M. and Aksel, M. 2021. Comparison of drought indices in the case of the ceyhan basin. *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEgeo)*, 8(2):113-125. doi. 10.30897/ijegeo.792379
- Doğan, İ. ve Karabulut, M. 2022. Türkiye’de büyüme derece günlerinin zamansal ve mekânsal trendinin incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8 (1) , 122-133. DOI: 10.21324/dacd.883309
- Edwards, D. C. 1997. Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time scales. Air Force Inst of Tech Wright-Patterson Afb Oh.
- Ejaz, N., and Abbasi, S. 2020. Wheat yield prediction using neural network and integrated svm-nn with regression. *Pakistan Journal of Engineering, Technology & Science*, 8(2).
- El Naqa, I., and Murphy, M. J. 2015. What is machine learning? (pp. 3-11). Springer International Publishing.
- Eroğlu, T. A., and Apaydin, H. 2020. Estimation of drought by streamflow drought index (SDI) and artificial neural networks (ANNs) in Ankara-Nallihan region. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(2), 348-357.
- Esfandiary, F., Aghaie, G., & Mehr, A. D. (2009). Wheat yield prediction through agro meteorological indices for Ardebil District. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49, 32-35
- Frank, E., Hall, M. A., and Witten, İ. H. 2016. The WEKA Workbench. Online Appendix for "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques", Morgan Kaufmann, Fourth Edition, 2016.
- Gardner, M. W., and Dorling, S. R. 1998. Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric environment*, 32(14-15), 2627-2636.
- Geçit, H. H. 2016. Serin İklim Tahılları (Buğday, Arpa, Yulaf, Çavdar, Triticale). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1640, Ankara, 822 sy.
- Haan, C.H. 1977. Statistical methods in hydrology. Iowa State University Press. Ames. 378 pp, Iowa.
- Harishnaika, N., Ahmed, S. A., Kumar, S., and Arpitha, M. 2022. Computation of the spatio-temporal extent of rainfall and long-term meteorological drought assessment using standardized precipitation index over Kolar and Chikkaballapura districts, Karnataka during 1951-2019. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27, 100768.

- Hasaniha, H. 2008. İran'ın kuzeybatısında kuraklık ve verim ilişkisinin analizi. Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J. N. 2018. ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).
- Huntington, J. L., Hegewisch, K. C., Daudert, B., Morton, C. G., Abatzoglou, J. T., McEvoy, D. J., and Erickson, T. 2017. Climate engine: Cloud computing and visualization of climate and remote sensing data for advanced natural resource monitoring and process understanding. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(11), 2397-2410.
- Jain, S. K., Keshri, R., Goswami, A., Sarkar, A., and Chaudhry, A. 2009. Identification of drought-vulnerable areas using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 30(10), 2653-2668.
- Karnieli, A., Bayasgalan, M., Bayarjargal, Y., Agam, N., Khudulmur, S., and Tucker, C. J. 2006. Comments on the use of the vegetation health index over Mongolia. *International Journal of Remote Sensing*, 27(10), 2017-2024.
- Kendall, K. 1975. Thin-film peeling-the elastic term. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 8(13), 1449.
- Kloos, S., Yuan, Y., Castelli, M., and Menzel, A. 2021. Agricultural drought detection with MODIS based vegetation health indices in southeast Germany. *Remote Sensing*, 13(19), 3907.
- Kogan, F. N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in space research*, 15(11), 91-100.
- Kogan, F. N. 1997. Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), 621-636.
- Kogan, F. N. 2001. Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of the American meteorological society*, 82(9), 1949-1964.
- Kohavi, R. 1995. The power of decision tables. In *Machine Learning: ECML-95: 8th European Conference on Machine Learning Heracleion, Crete, Greece, April 25–27, 1995 Proceedings 8* (pp. 174-189). Springer Berlin Heidelberg.
- Lang, D., Zheng, J., Shi, J., Liao, F., Ma, X., Wang, W., and Zhang, M. 2017. A comparative study of potential evapotranspiration estimation by eight methods with FAO Penman–Monteith method in southwestern China. *Water*, 9(10), 734.
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q., and Wang, J. 2021. Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*, 11(1), 1280.

- Luo, N., Mao, D., Wen, B., and Liu, X. 2020. Climate change affected vegetation dynamics in the northern Xinjiang of China: Evaluation by SPEI and NDVI. *Land*, 9(3), 90.
- Madadgar, S., AghaKouchak, A., Farahmand, A., ve Davis, S. J. 2017. Probabilistic estimates of drought impacts on agricultural production. *Geophysical Research Letters*, 44(15), 7799-7807.
- Mann, H. B. 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica*, 13, 245-259
- Masitoh, F., and Rusydi, A. N. 2019. Vegetation Health Index (VHI) analysis during drought season in Brantas Watershed. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 389, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Boston: 179-184.ş
- Öktem, A., ve Ağırmatlıoğlu, A. 2006. Farklı tarihlerde ekilen buğday (*triticum ssp.*) genotiplerinde bazı gelişme dönemleri için gerekli GDD (Growing Degree Days) Değerlerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 29-37.
- Salmi, T. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the Excel template application MAKESENS. *Ilmatieteen laitos*.
- Sattari, M. T., Yürekli, K., ve Ünlükara, A. 2011. Karaman ilinde yapay sinir ağları yaklaşımı kullanılarak kuraklığın tahmini. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 7-13.
- Sönmez, N. K., ve Sarı, M. 2004. Verim tahmini çalışmalarında yeni yaklaşımlar: Uzaktan algılama ve agrometeorolojik yöntemler. *Derim*, 21(2), 5-18.
- Sönmez, F. K., Kömüşcü, A. U., Erkan, A., and Turgu, E. 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Natural Hazards*, 35, 243-264.
- Sruthi, S., and Aslam, M. M. 2015. Agricultural drought analysis using the NDVI and land surface temperature data; a case study of Raichur district. *Aquatic Procedia*, 4, 1258-1264.
- Sun, D., and Kafatos, M. 2007. Note on the NDVI-LST relationship and the use of temperature-related drought indices over North America. *Geophysical Research Letters*, 34(24).
- Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., and Stephens, S. 2002. The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1181-1190.
- Svoboda, M., Hayes, M., and Wood, D. 2012. Standardized precipitation index: user guide.

- Svoboda, M. D. and Fuchs, B. A. 2016. Handbook of drought indicators and indices. World Meteorological Organization. Geneva, pp.1-44.
- Şen, Z. 2002. İstatistik veri işleme yöntemleri:(hidroloji ve meteoroloji). Su Vakfı Yayınları.
- Şimşek, O. 2010. Türkiye’de tarım yılı kuraklık değerlendirmesi ve bitki gelişim modeli ile buğdayda kuraklık-verim analizi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora tezi.
- Thom, H. C. 1958. A note on the gamma distribution. Monthly weather review, 86(4), 117-122.
- Türkeş, M. 2020. İklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliğine etkileri: bilimsel bir değerlendirme. Ege Coğrafya Dergisi, 29(1), 125-149.
- Uşul, M. 2010. Arazi kalite parametrelerinin buğday ürün rekoltesi üzerine etkilerinin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi kullanılarak belirlenmesi, Altınova Tarım İşletmesi örneği. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Doktora tezi.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., and López-Moreno, J. I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of climate, 23(7), 1696-1718.
- Wan, Z. 2013. MODIS land surface temperature products users’ guide- Collection-6. Earth Research Institute (ERI), University of California: Santa Barbara, CA, USA, 805.
- Yıldırım, T., ve Asik, S. 2018. Index-based assessment of agricultural drought using remote sensing in the semi-arid region of Western Turkey. Journal of Agricultural Sciences, 24(4), 510-516.
- Yurtsever, N. 1984. Deneysel istatistik metotlar. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı. KHGM Yayınları. Yayın No:121. Ankara
- Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W. D., and Niitsoo, A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century, Atmos. Ocean, 38, 395-429, 2000a.
- Zhang, X., Harvey, K. D., Hogg, W. D., and Yuzyk, T. R. 2001. Trends in Canadian streamflow. Water Resources Research, 37(4), 987-998. FMI 2002