



**PORSUK ÇAYI HAVZASINDA İKLİM
DEĞİŞİKLİĞİNİN KURAKLIĞA VE BUĞDAY
VERİMİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Çayan ALKAN

Doktora Tezi

**Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Fatih KONUKCU
2021**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**PORSUK ÇAYI HAVZASINDA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN
KURAKLIĞA VE BUĞDAY VERİMİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Çayan ALKAN

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Fatih KONUKCU

TEKİRDAĞ-2021

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

PORSUK ÇAYI HAVZASINDA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN KURAKLIĞA VE BUĞDAY VERİMİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Çayan ALKAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Tarımı etkileyen başlıca iklim olayı kuraklıktır. Bu çalışmada da; iklim ve kuraklığın tarıma etkisi, havza içerisinde detaylı analiz edilmesi açısından önemlidir. Çalışmanın amacı; Porsuk Çayı Havzası'nda iklim değişikliğinin tarımsal, meteorolojik ve hidrolojik kuraklık ile buğday verimine etkisinin belirlenmesidir. Bu tezde Porsuk Çayı Havzasında; geçmişteki (1970-2018) ve HadGEM2-ES küresel iklim modelinin iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) senaryolara göre üretilmiş gelecekteki (2018-2100) iklim verileri kullanılarak; Standart Yağış İndisi (SYİ), Standart Akış İndisi (SAİ), Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PKŞİ) ve WOFOST modeli yardımıyla kuraklık analizleri ve buğday verim analizleri yapılmıştır. Havzanın kurak bir bölgede yer aldığı anlaşılmışken; geçmişte özellikle hidrolojik ve tarımsal kuraklıkların hakim olduğu, meteorolojik açıdan normal bir iklimin hüküm sürdüğü tespit edilmiştir. Tarımsal açıdan kuraklığın şiddetli yaşandığı bölgeler sırasıyla; Odunpazarı, Alpu ve Tepebaşı şeklindedir. Geçmişte; 1981, 1986, 1989, 2008, 2013, 2015, 2018 yıllarının kurak geçtiği belirlenmiştir. Gelecekte; en kurak yılların 2056, 2058, 2069, 2070, 2089, 2096 yılları olması beklenirken; en sulak yılın 2021 olması beklenmektedir. Porsuk Çayı havzası gelecekte; meteorolojik açıdan kuraklaşma, hidrolojik açıdan ise sulaklaşma eğilimindedir. Tarımsal açıdan ise; zaman geçtikçe kuraklaşma potansiyeli mevcut olsa da, normal bir iklimin hakim olacağı tespit edilmiştir. Gelecekte hidrolojik açıdan en kurak yer Odunpazarı'dır. Porsuk Çayı havzasında, gözlenen ve WOFOST modeliyle tahminlenen buğday biyokütlesi değerleri arasında; 2016 yılı için + %23,8'lik fark ve 2017 yılı için + %1,2'lik bir fark tespit edilmiştir (2017 değerleri>2016 değerleri ve tahminlenen>gözlenen). Havzadaki iyimser senaryo sonuçlarına göre, yakın gelecekte (2020-2045) %0,73'lük buğday verim artışı beklenmektedir. Bunun dışındaki tüm dönemlerde, buğday verimlerinde (%0.43-1.5 arasında) azalma gerçekleşeceği tahminlenmektedir. Havzadaki iklim değişikliği; referans (1970-2000) dönemle kıyaslandığında, gelecekte sıcaklık ve yağış artışları şeklinde olacaktır. Sonuç olarak; WOFOST, gözlenen değerlerden daha büyük buğday verimleri tahminlemeye eğilimli olsa da, modelin gelecekteki buğday verimini tahminlemede güvenle kullanılabilmesi düşünülmektedir. Bu çalışma sonucunda; karar vericilerin kullanması için, kuraklık periyotları ve bitki verim tahminleme ile ilgili önemli veriler üretilmiştir. Bu sayede; bölgede, kuraklık riski altındaki alan ve zamanlarda buğday tarımının planlanması, verim kayıplarının azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Anahtar kelimeler: İklim Değişikliği, Kuraklık İndisleri, Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi, Bitki-İklim Modelleri, WOFOST Modeli, Porsuk Çayı Havzası

2021, 165 sayfa

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF CLIMATE CHANGE IMPACTS ON DROUGHT AND WHEAT YIELD IN PORSUK CREEK WATERSHED

Çayan ALKAN

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Drought is main climatic event affecting to agriculture. The purpose of the study is to determine the effect of climate change on agricultural, meteorological, hydrological drought and wheat yield in Porsuk Creek basin. Drought analyses and wheat yield analyses were carried out with the help of Standard Precipitation Index (SPI), Standard Runoff Index (SRI), Palmer Drought Severity Index (PDSI) and WOFOST model using the past (1970-2018) and future (between 1970-2100) climate data produced according to the optimistic (RCP4.5) and pessimistic (RCP8.5) scenarios of HadGEM2-ES global climate model in Porsuk Creek Basin. The analysis revealed that the basin was located in an arid region; it was determined that hydrological and agricultural droughts were dominant and a meteorologically normal climate prevailed in the past. Sub basin in the study area where agricultural drought is experienced severely are Odunpazarı, Alpu and Tepebaşı, respectively. 1981, 1986, 1989, 2008, 2013, 2015 and 2018 years were dry. While the driest years are expected to be 2056, 2058, 2069, 2070, 2089, 2096; the wettest year is expected to be 2021. Porsuk Creek basin tends to be drought meteorologically and wet hydrologically in the future. In terms of agricultural drought; Although there is a potential for drought over time, it has been determined a normal climate will prevail throughout the basin. Odunpazarı is the driest place hydrologically in the future. When compare the biomass values of the wheat observed in Porsuk Creek basin with estimated by WOFOST model; there were + 23,8% difference for 2016 and + 1,2% difference for 2017 (2017 values>2016 values and estimated>observed). According to the results of the models in the basin; 0,73% wheat yield increase is expected in the near future (2020-2045). It is estimated wheat yield will decrease (%0.43-1.5) in all other periods. Compared to reference (1970-2000) period; climate change will be in the form of temperature and precipitation increases in the future in the watershed. As a result; it is believed that WOFOST can be used in safe in predicting future wheat yield, Although the model tends to predict wheat yield higher than observed values. As a result of this study, important data on drought periods and crop yield estimation have been produced for use by decision makers. In this way; planning of wheat farming will be made as temporal and spatial under drought risk. So, it will help to reduce yield losses.

Key words: Climate Change, Drought Index, Palmer Drought Severity Index, Plant-Climate Model, WOFOST Model, Porsuk Creek Watershed, Wheat

2021, 165 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
TEŞEKKÜR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Önemi ve Gerekçesi.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	3
1.3. Tezin Kapsamı.....	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Kuraklık.....	6
2.2. Kuraklık İndisleri.....	12
2.2.1. Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi.....	18
2.2.2. Standart Yağış İndisi ve Standart Akış İndisi.....	21
2.3. Bitki İklim Modelleriyle Verim Tahmini.....	24
2.4. İklim Değişikliği.....	30
2.5. İklim Modelleri.....	43
3. MATERYAL VE YÖNTEM	50
3.1. Materyal.....	50
3.1.1. Araştırma Alanı.....	50
3.1.2. İklim Verileri.....	59
3.1.3. Kuraklık Tahmin Modelleri.....	63
3.1.4. İklim Modelleri.....	64
3.1.5. Bitki Verim Tahmin Modeli: WOFOST.....	65
3.1.6. Buğday Bitkisi.....	67
3.2. Yöntem.....	70
3.2.1. Kuraklık Analizi.....	70
3.2.1.1. Standart Yağış İndisiyle Meteorolojik Kuraklıkların Modellenmesi.....	71

3.2.1.2. Standart Akış İndisiyle Hidrolojik Kuraklıkların Modellenmesi.....	72
3.2.1.3. Palmer Kuraklık Şiddeti İndisiyle Tarımsal Kuraklıkların Modellenmesi.....	73
3.2.2. İklim Değişikliğinin Modellenmesi.....	78
3.2.3. WOFOST Modeliyle Bitki Verim Tahmini.....	79
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	85
4.1. Kuraklık İndisleriyle İlgili Geçmişe Ait Bulgular.....	85
4.1.1. Geçmişteki Hidrolojik Kuraklık (Standart Akış İndisi) Sonuçları.....	85
4.1.2. Geçmişteki Meteorolojik Kuraklık (Standart Yağış İndisi) Sonuçları.....	90
4.1.3. Geçmişteki Tarımsal Kuraklık (Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi) Sonuçları.....	92
4.1.4. Geçmişteki Kuraklıkla İlgili Genel Değerlendirme.....	94
4.2. WOFOST Bitki-İklim Modeliyle Belirlenen Mevcut Buğday Bulguları.....	106
4.3. Kuraklık İndisleriyle İlgili Geleceğe Ait Bulgular.....	110
4.3.1. Gelecekteki Meteorolojik Kuraklık (Standart Yağış İndisi) Sonuçları.....	111
4.3.2. Gelecekteki Hidrolojik Kuraklık (Standart Akış İndisi) Sonuçları.....	115
4.3.3. Gelecekteki Tarımsal Kuraklık (Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi) Sonuçları.....	122
4.3.4. Gelecekteki Kuraklıkla İlgili Genel Değerlendirme.....	126
4.4. WOFOST Bitki-İklim Modeliyle Tahmin Edilen Buğday Verimleri.....	127
4.5. İklim Değişikliğiyle İlgili Bulgular.....	130
4.6. Bulguların Genel Değerlendirilmesi.....	134
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	136
KAYNAKLAR.....	141
ÖZGEÇMİŞ.....	151

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1. Karşılaşılabilecek kuraklık şiddetlerine göre alınabilecek önlemler (SYGM, 2015e).....	8
Çizelge 2.2. Kuraklık şiddetinin etkileri (SYGM, 2015e)	9
Çizelge 2.3. Türkiye'nin kuraklık yönetimi açısından analizi (SWOT analizi) (SYGM, 2015d).....	9
Çizelge 2.4. Türkiye'nin tarımsal kuraklık yönetimi açısından analizi (SWOT analizi) (SYGM, 2015d)	10
Çizelge 2.5. Bazı kuraklık indisleri (SYGM, 2015a)	15
Çizelge 2.6. Popüler kuraklık indisi bilgileri (WMO, 2016).....	15
Çizelge 2.7. Bazı bitki iklim modelleri ve onlara erişilebilecek internet adresleri (Palosuo vd., 2011)	25
Çizelge 2.8. Örnek bir bitki iklim modelindeki muhtemel değişkenler (Hadiya vd., 2018).....	26
Çizelge 2.9. 2004'teki insan kaynaklı sera gazı dağılım oranları (Arıkan ve Özsoy, 2008)....	32
Çizelge 2.10. Kyoto Protokolü ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)'nin karşılaştırılması (Arıkan ve Özsoy, 2008)	32
Çizelge 2.11. Atmosferdeki sera gazı değişimleri (Arıkan ve Özsoy, 2008).....	34
Çizelge 2.12. Bazı afetlerin sebeplerine göre sınıflandırılması (Türkeş ve Deniz, 2010).....	34
Çizelge 2.13. Sera gazı emisyon senaryolarının tarihçesi (Saygılı, 2017).....	36
Çizelge 2.14. Atmosferdeki bazı sera gazı oranları (Şimşek, 2011).....	36
Çizelge 2.15. Dinamik ve İstatistiksel ölçek küçültme yöntemlerinin özellikleri (SYGM, 2015b).....	46
Çizelge 2.16. İklim modellerinin kıyaslanması (SYGM, 2015b).....	47
Çizelge 3.1. Çalışma havzasının karakteristikleri.....	53
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan Akım Gözlem İstasyonlarının isimleri.....	58
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan Yağış Gözlem İstasyonlarının isimleri.....	58
Çizelge 3.4. Buğday tarlasının toprak özellikleri.....	59
Çizelge 3.5. Çalışma alanının uzun yıllık iklim ortalamaları (1928-2019) (Anonim, 2020b)..	60
Çizelge 3.6. Çalışma alanının gelecekteki muhtemel iyimser (RCP4.5) iklim ortalamaları (2016-2096).....	61

Çizelge 3.7. Çalışma alanının gelecekteki muhtemel kötümser (RCP8.5) iklim ortalamaları (2016-2096).....	62
Çizelge 3.8. Türkiye ve Eskişehir'in buğday üretim verileri (USDA, 2019).....	69
Çizelge 3.9. Genel olarak Porsuk Çayı havzasında buğdayın fenolojik dönem tarihleri.....	70
Çizelge 3.10. Buğday tarlasına uygulanan ilaç ve gübre bilgileri.....	70
Çizelge 3.11. Standart Yağış İndisi Kuraklık Sınıfları (SYGM [Su Yönetimi Genel Müdürlüğü], 2015).....	72
Çizelge 3.12. Standart Akış İndisi Kuraklık Sınıfları (Meresa vd., 2016).....	72
Çizelge 3.13. Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi Sınıfları (SYGM, 2015).....	78
Çizelge 4.1. Alpu-3343 SYİ Sonuçları.....	90
Çizelge 4.2. Alpu-18088 SYİ Sonuçları.....	90
Çizelge 4.3. Anadolu Üniversitesi-17121 SYİ Sonuçları.....	91
Çizelge 4.4. Hasan Polatkan havaalanı-17123 SYİ Sonuçları.....	91
Çizelge 4.5. Odunpazarı-Kanlıpınar-18739 SYİ Sonuçları.....	91
Çizelge 4.6. Tarla denemesinin (buğday üretiminin) yapıldığı dönemde Alpu'daki PKŞİ sonuçları.....	92
Çizelge 4.7. Porsuk Çayı havzasında geçmişteki yıllık kuraklık indisi sonuçları.....	95
Çizelge 4.8. Geçmişteki kuraklık frekansları.....	101
Çizelge 4.9. Porsuk Çayı havzasının mekansal kuraklık oranları.....	102
Çizelge 4.10. Porsuk Çayı havzasının zamansal kuraklık oranları.....	103
Çizelge 4.11. Porsuk Çayı havzasında geçmişteki buğday deneme dönemine ait kuraklık indisi ve durum sonuçları.....	103
Çizelge 4.12. Çalışma alanındaki buğday verim miktarları.....	107
Çizelge 4.13. Havzadaki ortalama verime kıyasla buğday verimi değişim oranları.....	108
Çizelge 4.14. Araştırma tarlasında gözlenen ve WOFOST modeliyle tahminlenen buğday biyokütlesi.....	109
Çizelge 4.15. Çalışma alanında gözlenen ve WOFOST modeliyle tahminlenen buğday biyokütlesinin değişim yüzdesi.....	109
Çizelge 4.16. Gelecekteki yıllık SYİ sonuçları.....	111
Çizelge 4.17. Gelecekteki meteorolojik kuraklık (SYİ) frekansları.....	113
Çizelge 4.18. Gelecekteki SYİ sonuçlarının dönemsel analizi.....	114
Çizelge 4.19. Gelecekteki SYİ sonuçlarının mevcut duruma (Geçmişe) göre değişimi.....	114

Çizelge 4.20. Gelecekteki yıllık SAI sonuçları.....	116
Çizelge 4.21. Gelecekteki hidrolojik kuraklık (SAI) frekansları.....	119
Çizelge 4.22. Gelecekteki SAI sonuçlarının dönemsel analizi.....	119
Çizelge 4.23. Gelecekteki SAI sonuçlarının mevcut duruma (Geçmiştekine) göre değişimi.....	120
Çizelge 4.24. Gelecekteki yıllık PKŞİ sonuçları.....	122
Çizelge 4.25. Gelecekteki tarımsal kuraklık (PKŞİ) frekansları.....	124
Çizelge 4.26. Gelecekteki PKŞİ sonuçlarının dönemsel analizi.....	125
Çizelge 4.27. Gelecekteki PKŞİ sonuçlarının mevcut duruma (Geçmiştekine) göre değişimi.....	125
Çizelge 4.28. Gelecekteki kuraklık indisi sonuçlarının mevcut duruma (Geçmişe) göre değişimi.....	126
Çizelge 4.29. Porsuk Çayı havzasında gelecekteki WOFOST sonuçları (TAGP-Buğday biyokütlesi- kg/da)	127
Çizelge 4.30. Porsuk Çayı havzasında gelecekteki WOFOST sonuçlarının (TAGP-Buğday biyokütlesi- kg/da) dönemsel analizi.....	128
Çizelge 4.31. Porsuk Çayı havzasında gelecekteki WOFOST sonuçlarının (TAGP-Buğday biyokütlesi- kg/da) mevcut duruma göre dönemsel değişimi.....	128
Çizelge 4.32. Porsuk Çayı havzasında geçmişteki iklime kıyasla, HadGEM2-ES modeline göre bazı iklim parametrelerindeki yıllık değişimler.....	130
Çizelge 4.33. Porsuk Çayı havzasında geçmişteki iklime kıyasla, HadGEM2-ES modeline göre bazı iklim parametrelerindeki 25'er yıllık değişimler.....	133
Çizelge 4.34. Porsuk Çayı havzasında gelecekteki tarımsal kuraklık sonuçlarıyla buğday biyokütlesi sonuçlarının dönemsel analizi.....	134

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1. Sera gazı konsantrasyonları ve iklim senaryoları (Çelik vd., 2008).....	31
Şekil 3.1. Eskişehir-Porsuk Çayı havzasının konumu (Güney, 2017).....	51
Şekil 3.2. Eskişehir-Porsuk Çayı havzasının alt havzaları (Güney, 2017).....	52
Şekil 3.3. Çalışma alanı (Orta Porsuk Çayı Havzası) haritası.....	52
Şekil 3.4. İlçe sınırları ve çalışma alanı haritası.....	53
Şekil 3.5. Çalışma alanının SYM-kabartma haritaları.....	54
Şekil 3.6. Çalışma alanının eğim grupları haritası.....	54
Şekil 3.7. Çalışma alanının eşyüksele eğrileri haritası.....	55
Şekil 3.8. Çalışma alanının bakı haritası.....	55
Şekil 3.9. Porsuk Çayı Havzası arazi kullanım haritası (Tekkanat, 2015).....	56
Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan Yağış Gözlem İstasyonları ve Akım Gözlem İstasyonlarının konumu.....	58
Şekil 3.11. Buğday verimi gözlem alanı.....	59
Şekil 3.12. Buğdayın fenolojik dönem resimleri (Çaylak, 2015).....	68
Şekil 3.13. Buğday organları (Kapur, 2010)	69
Şekil 3.14. WOFOST modeli genel sayfası.....	80
Şekil 4.1. D12A034 Porsuk baraj çıkışı SAİ sonuçları.....	86
Şekil 4.2. D12A054 Porsuk Çayı Eşenkara istasyonu SAİ sonuçları.....	86
Şekil 4.3. D12A063 Ulu dere Uluçayır SAİ sonuçları.....	87
Şekil 4.4. D12A101 Kargın derivasyon SAİ sonuçları.....	87
Şekil 4.5. D12A172 Sarısu inönü SAİ sonuçları.....	88
Şekil 4.6. D12A181 Porsuk Çalça istasyonu SAİ sonuçları.....	88
Şekil 4.7. D12A182 Pörtek Memik SAİ sonuçları.....	89
Şekil 4.8. D12A215 Porsuk Parsibey SAİ sonuçları.....	89
Şekil 4.9. Buğday denemesinin (üretiminin) yapıldığı dönemde Alpu'daki aylık PKŞİ grafiği.....	94
Şekil 4.10. Buğday denemesinin (üretiminin) yapıldığı dönemde Alpu'daki yıllık PKŞİ grafiği.....	94
Şekil 4.11. Mevcut durumdaki (Geçmişteki) kuraklık indisi analizleri.....	100
Şekil 4.12. Havzadaki 2015 yılına ait tüm kuraklık indisi sonuçları.....	104

Şekil 4.13. Havzadaki 2015 yılına ait SYİ ve SAİ sonuçları.....	104
Şekil 4.14. Havzadaki 2016 yılına ait PKŞİ ve SYİ sonuçları.....	104
Şekil 4.15. Havzadaki 2017 yılına ait PKŞİ ve SYİ sonuçları.....	105
Şekil 4.16. Havzadaki 2018 yılına ait PKŞİ ve SYİ sonuçları.....	105
Şekil 4.17. Gelecekteki iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) SYİ sonuçları.....	114
Şekil 4.18. Gelecekteki iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) SAİ sonuçları.....	121
Şekil 4.19. Gelecekteki iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) PKŞİ sonuçları.....	125
Şekil 4.20. Porsuk Çayı havzasında HadGEM2-ES modeli ile RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre 25 yıllık dönemler için buğday verim tahminleri.....	129



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kisaltmalar	Açıklamalar
CBS	:Coğrafi Bilgi Sistemleri
CMIP5	:Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (Kuple Model Karşılaştırma Projesi Faz 5)
DSİ	:Devlet Su İşleri
DSSAT	:Decision Support System for Agrotechnology Transfer
ET	:Evapotranspirasyon
FAO	:Food and Agriculture Organization (Dünya Gıda ve Tarım Örgütü)
HadGEM2-ES	:Hadley Centre Global Environment Model Version 2 (Hadley Merkez Küresel Çevre Modeli 2.Versiyon)
HINDEX	:Harvest Index (Hasat İndeksi)
IPCC	:Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
KSTK	:Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi
LAI	:Leaf Area Index (Yaprak alan indeksi)
NDVI	:Normalized Difference Vegetation Index (Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indisi)
NYI	:Normal Yağışın Yüzdesi (Percent of Normal Index)
PKŞİ	:Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (Palmer Drought Severity Index)
RCP4.5	:Representative Concentration Pathways 4.5 (İyimser iklim senaryosu)
RCP8.5	:Representative Concentration Pathways 8.5 (Kötümser iklim senaryosu)
RegCM 4.3	:Regional Climate Model version 4.3 (Bölgesel İklim Modeli 4.3 versiyonu)
SAİ	:Standart Akış İndisi (Standard Runoff Index)
SRES	:Special Report on Emissions and Scenarios (Salım Senaryoları Özel Raporu)
SYEİ	:Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)
SYGM	:Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
SYİ	:Standart Yağış İndisi (Standard Precipitation Index)

TAGP	:Total Above Ground Production (Biyokütle)
UA	:Uzaktan Algılama
UNFCCC	:United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)
WOFOST	:World FOod STudies
YSA	:Yapay Sinir Ağları



TEŞEKKÜR

Çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Fatih KONUKCU ve Dr. Bahadır ALTÜRK başta olmak üzere Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı'ndaki hocalarıma, bu tezin oluşmasına katkı sağlayan ve veri temininde yardımlarını benden esirgemeyen; DSİ Genel Müdürlüğü'ne, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'ne, Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne, Eskişehir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'ne, TİK (Tez izleme komitesi) üyeleri Prof. Dr. Ahmet İSTANBULLUOĞLU ve Prof. Dr. İsmet BAŞER'e, Ziraat Mühendisi Erdinç SAVAŞLI'ya, İnşaat Mühendisi Soner Çağatay BAĞÇACI'ya, Meteoroloji Mühendisi Ferat ÇAĞLAR'a ve adını yazamadığım herkese çok teşekkür ederim. Son olarak, desteğini her zaman hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2021

Çayan ALKAN
Biyosistem Yüksek Mühendisi
(Ziraat Mühendisi)

1. GİRİŞ

Gelecekte daha sık yaşanması beklenen hidro-meteorolojik afetlerin başlıca kaynağının iklim değişikliği olacağı düşünüldüğünde, bu konuda daha fazla ve detaylı araştırmalar yapılması ihtiyacı her geçen yıl kendini tekrar hatırlatmaktadır. İklim değişikliğinin taşkın ve kuraklıklara olan etkisinin yanında, buğday gibi stratejik tarım ürünlerinin verimlerini de etkileyerek gıda güvencesinde sorun yaşanmasına sebep olması beklenmektedir. Bir tarım ülkesi olan Türkiye, yağış rejiminin düzensiz ve değişken olduğu Akdeniz havzasında olması dolayısıyla iklim değişikliğinden en çok etkilenecek ülkelerden birisidir (Anonim, 2010; Polat, 2017).

Türkiye’de, kuraklıktan etkilenecek başlıca bölgelerden olan İç Anadolu bölgesinin, nüfusun önemli bir bölümünü barındırması sebebiyle kurağa karşı hassasiyetinin incelenmesi gerekmektedir. Bölgedeki Porsuk Çayı havzası ise; hem Eskişehir’in içme suyunu sağladığı için, hem de bölgedeki tarımın etkin şekilde sürdürülebilmesi için incelenmesi gereken havzaların başında gelmektedir.

Ekonomisi tarıma dayanan bölgenin, kuraklık zararının belirlenerek uyum stratejilerinin geliştirilmesi, bu çalışmanın gerekliliği ve önemini teşkil etmektedir.

1.1. Tezin Önemi ve Gerekçesi

Tarım sektörü; hem insanlara iş imkanı sunması hem de insanların sağlıklı ve yeterli beslenmesine katkı sağlaması açısından çok önemlidir. Özellikle Türkiye gibi kuru tarımın yapıldığı ülkelerde, yağışa doğrudan bağlı olunması sebebiyle tarım sektörü, kuraklık ve taşkın gibi ekstrem iklim olaylarından çok etkilenmektedir. Özellikle iklim değişikliği bu ekstrem iklim olaylarının sıklığını ve şiddetini arttırmaktadır (Türkeş, 2014).

İklim değişikliğinin en önemli sebebi, sera gazı salınımlarının artış göstermesidir. Bu doğrultuda Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)’nde sera gazı emisyon senaryoları oluşturulmaktadır. IPCC 5. Değerlendirme raporunda bu senaryolar yenilenmiştir. RCP 2.5, RCP 4.5, RCP 6 ve RCP 8.5 gibi dört farklı senaryodan biri olan RCP 4.5, iyimser senaryo olarak; RCP 8.5 ise kötümser senaryo olarak adlandırılmaktadır. Bölge için önemini koruyan bu konular kapsamında, Türkiye’de bugüne kadar iklim değişikliğinin tarımsal üretime ve

kuraklığa nasıl etki edeceği ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Gülsever, 2006; Işıldar, 2010; Kapur, 2010; Koç, 2011; Deveci, 2015; Yıldırım vd. 2016).

Türkiye’de kuraklık alanında yapılan çalışmalarda; Yetmen (2013) Türkiye genelindeki meteorolojik kuraklığı; Dinç vd. (2016) Antalya’daki meteorolojik kuraklığı; Kıymaz vd. (2011) ise, Kırşehir’deki Seyfe Gölü için meteorolojik kuraklığı incelemiştir. Gülsever (2006) Thornthwaite indisiyle Dicle Havzasında kuraklık analizi yaparken; Altın ve Barak (2012) ise Erinç indisiyle Seyhan Havzasında kuraklık analizi yapmıştır. Reis ve Dutal (2016) Kahramanmaraş’taki hidrolojik kuraklığı De Martonne indisiyle belirlemiştir.

Akbaş (2013) Palmer Kuraklık Şiddeti İndisini kullanarak Türkiye’de alansal ve zamansal inceleme yapmıştır. Sonuçta; Türkiye’de kuraklık, yağış noksanlığı olarak kendini hissettirmektedir. Şubat ve Temmuz aylarının kurak geçtiği yıllar 1973, 1974, 2001, 2007 ve 2008’dir. Yaz kuraklığının beklendiği Temmuz ayında 1972, 1983, 1984, 1991, 1992 ve 1993 yıllarında normal ve nemli koşullar görülmüştür. Aynı şekilde, nemli koşulların beklendiği Şubat ayında ise; yine beklenenin aksine 1971, 1973, 1974, 1989, 1990, 1991, 2001, 2007 ve 2008 yıllarında kış kuraklığı görülmüştür. Karadeniz Bölgesi kuraklığın en az yaşandığı, Marmara Bölgesi ise en fazla yaşandığı yerdir.

Türkiye’de iklim değişikliği ve iklim değişikliğinin tarıma etkisi alanında yapılan çalışmalarda; Önder vd. (2009) iklim değişikliğinin, Türkiye’deki tarımsal kuraklıkla ilişkisini tespit etmek amacıyla SRES’in A2 senaryosunu kullanmışlardır. Işıldar (2010) Ege’de, iklim değişikliğinin mısır verimine etkisini kuraklık indisleriyle incelemiştir. Kapur (2010) iklim değişikliğinin buğday verimine etkisini Çukurova şartlarında incelerken, Çaylak (2015) ise Kırklareli şartlarında incelemiştir.

Yıldırım vd. (2016) 1961-2013 yılları arasındaki sıcaklık ve yağış verilerini kullandıkları çalışmalarında, haşhaşın iklim parametrelerine bağlı olarak yetişebileceği alanları modellemiştir. Ayrıca; HadGEM2-ES küresel iklim modeli ve RCP 8.5 senaryosuna göre, sıcaklık ve yağış projeksiyonlarını kullanarak, iklim değişikliğinin gelecekte haşhaş üretim alanlarını azaltacağını ve bu çalışmalarının da ekim alanlarının belirlenmesine yardımcı olacağını öne sürmüşlerdir.

Porsuk Çayı havzası ile ilgili yapılan çalışmalarda ise, çalışma sayının yetersiz olduğu ve incelenen konunun sınırlı kaldığı görülmüştür. Örneğin, Sarış (2016); Porsuk Çayı havzasındaki geçmişe ait düşük akımları inceleyerek, havzada geçmiş yıllarda hidrolojik kuraklık yaşandığını tespit etmiştir.

Literatürdeki bu tarz örneklerle kıyaslandığında, yapılan bu tez çalışması; tüm (meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal) kuraklık çeşitlerinin incelenmesi, ilçe bazında analiz yapılması ve geleceğe ilişkin yeni (güncel) iklim senaryoları (RCP 4.5 ve RCP 8.5 gibi) kullanılması gibi özellikleri sebebiyle önemlidir. Çalışma havzasının kapsamlı bir analizi olan bu tez çalışmasının, literatürdeki boşluğu bu özellikleriyle dolduracağı düşünülmektedir.

Ayrıca, çalışma alanında iklim değişikliğinin kuraklık ve (buğday verimi özelinde) tarıma etkisinin araştırılması konusunda sınırlı sayıda çalışma vardır. Bu yönüyle bu araştırma sonuçlarının, bölgedeki kuraklık eylem planlarına da ciddi katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Gıda kantitesinin kuraklıktan etkilenmesi sebebiyle; bu çalışma, gıda güvenesi ile yakından ilişkilidir. Sürdürülebilir etkin tarımın şartlarından birisi de, kuraklığın tarım üzerindeki etkisinin belirlenmesidir.

1.2. Tezin Amacı

Türkiye'nin de içinde bulunduğu, Akdeniz Havzası iklim değişikliğinden en çok etkilenecek bölgelerden birisidir (Anonim, 2010; Polat, 2017). Özellikle Porsuk Çayı Havzası, yarı-kurak iklime ve düzensiz yağış rejimine sahip olması nedeniyle iklim değişikliği ve kuraklıktan en çok etkilenecek bölgelerin başında gelmektedir (SYGM, 2016d). Havzada sürdürülebilir bir tarım için iklim değişikliğinin detaylı analiz edilip, özellikle kuraklık gibi ekstrem iklim olaylarının bitkisel üretimde yaratacağı olumsuz etkiler ve bu etkilerin en aza indirilmesi için alınabilecek önlemler ortaya konulmalıdır.

Bu çalışmanın genel amacı; Porsuk Çayı Havzası'nda iklim değişikliğinin tarımsal, meteorolojik ve hidrolojik kuraklık ile buğday verimine etkisinin belirlenmesidir. Araştırmada ulaşılabilecek hedefler ise;

- 1) Çalışma alanında, geçmişten günümüze (1970-2018) kuraklığın (meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal) analiz edilmesi ve kuraklığın buğday verimine etkisinin belirlenmesi;
- 2) Çalışma alanında farklı senaryolar için iklim değişikliğinin belirlenmesi;
- 3) Çalışma alanında iklim değişikliğinin kuraklığa etkisinin belirlenmesi;
- 4) Çalışma alanında iklim değişikliğine bağlı kuraklığın buğday verimine etkisinin belirlenmesi; ve

- 5) İklim değışikliği ve kuraklığın buğday verimine olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi için alınabilecek önlemlerin ortaya konulmasıdır.

1.3. Tezin Kapsamı

- 1) Çalışma alanında, geçmişten günümüze (1970-2018) kuraklığın (tarımsal, meteorolojik ve hidrolojik) analiz edilmesi ve kuraklığın buğday verimine etkisinin belirlenmesi kapsamında:

- Standart Yağış İndisi (SYİ), Standart Akış İndisi (SAİ) ve Palmer Kuraklık Şiddeti indisi (PKŞİ) ile kuraklık analizleri (Frekans, şiddet, zamansal ve konumsal analizleri) yapılmıştır; ve bu kuraklıkların buğday verimine etkileri, WOFOST bitki verim tahmin modeli ile belirlenmiştir.

- 2) Çalışma alanında farklı senaryolar için iklim değışikliğinin belirlenmesi kapsamında:

- 2020-2100 döneminde iklim değışikliği; HadGEM2-ES küresel iklim modeli ve RegCM 4.3 bölgesel iklim modelinin yağış ile sıcaklık verileri, RCP 4.5 (iyimser) ve RCP 8.5 (kötümser) senaryolarına göre 25 yıllık periyotlar halinde analiz edilmiştir.

- 3) Çalışma alanında iklim değışikliğinin kuraklığa etkisinin belirlenmesi kapsamında 2020-2100 döneminde RCP 4.5 (iyimser) ve RCP 8.5 (kötümser) senaryolarına göre 25 yıllık periyotlar halinde tahmin edilen iklim değışikliğinin:

- meteorolojik kuraklığa etkisi Standart Yağış İndisi (SYİ) ile;
- hidrolojik kuraklığa etkisi Standart Akış İndisi (SAİ) ile;
- tarımsal kuraklığa etkisi Palmer Kuraklık Şiddeti indisi (PKŞİ) ile belirlenmiştir.

- 4) Çalışma alanında iklim değışikliğine bağlı kuraklığın bitki (buğday) verimine etkisinin belirlenmesi kapsamında, 2020-2100 döneminde RCP 4.5 (iyimser) ve RCP 8.5 (kötümser) senaryolarına göre 25 yıllık periyotlar halinde tahmin edilen iklim değışikliğinin;

- Buğday verimine etkisi WOFOST bitki verim tahmin modeliyle belirlenmiştir.

- 5) İklim değışikliği ve kuraklığın buğday verimine olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi için alınabilecek önlemler kapsamında:

- Çalışma sahasında, buğday için en uygun ekim alanları ve zamanları Palmer Kuraklık Şiddeti İndisiyle, iklim parametrelerinin buğday verimine etkisi ise WOFOST bitki verim tahmin modeliyle belirlenmiştir.
- Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporlarında alınan kararlar doğrultusunda Türkiye ve diğer ülkelerin yapmaları gereken sorumluluklara alternatif öneriler de sunulmuştur.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde; kuraklık, kuraklık indisleri, bitki iklim modelleriyle verim tahmini, iklim değişikliği ve iklim modelleri konularıyla ilgili kaynaklar analiz edilmiştir.

2.1. Kuraklık

Canlılar için çevresel ve sosyoekonomik kayıplara sebep olan, ani ilerleyip ekosistem bozulmaları yaratarak maddi kayıp ve ölümlere sebep olabilen, toplumları geniş çapta etkileyen, insanların yardım almadan üstesinden gelemeyeceği doğal veya yapay (canlılar etkisiyle) sebeplerden kaynaklanan doğa koşullarına afet (felaket) denilmektedir (SYGM, 2015d; Türkeş ve Deniz, 2010). Dünyada en etkili 30'a yakın felaket arasından, en tehlikelisinin kuraklık olduğu kabul edilmektedir. Dünyada afetlerin önem sıralaması sırasıyla şu şekildedir; Kuraklık, seller, deprem, volkan, tsunami, yangınlar, toz fırtınası, çığ, kar fırtınası, yıldırım çarpması, dolu ve toprak çökmesi (Anonim, 2019b). Dünya Meteoroloji Teşkilatı'nın belirlediği kuraklık riski taşıyan 76 ülke içerisinde Türkiye de bulunmaktadır (Hıms, 2013; Duygu, 2015). Türkiye'de ise afetlerin önem sıralaması sırasıyla şu şekildedir; deprem, yangın, kuraklık, sel ve çığ (Anonim, 2019b).

Kuraklık; yavaş başlayan, kümülatif artarak etkisini hissettiren, suyun uzun yıllık normallerindeki aşağı yönlü sapmayı ifade eden, şiddeti-başlangıcı-bitişi ile ilgili fikir birliğinin sağlanması zor olan, taşkınlara kıyasla çok daha geniş alanlarda etkisini hissettiren ve devasa ekonomik kayıplara yol açabilen farklı (özel) bir afet çeşididir (Akbaş ve Tatlı, 2013; SYGM, 2015e). Kuraklık geçici bir süreç olup, sadece kuru periyotların sıklığı ile ifade edilirken; kıraçlık ise kuraklığın kalıcı bir iklim haline gelmesi durumudur (kıraçlık= kurak iklim). Çölleşme ise; kurak bölgelerde iklim değişikliği ve insan v.b. çeşitli kaynaklı etmenler sonucu verimli toprağın kaybolmasıdır. Kıraç ve kurak afetleri doğal olaylardır ve engellenememektedirler. Fakat, bu afetlerin etkileri azaltılabilir. Bunun için; su kaynaklarının kirletilmesi ve havzaların amaç dışı kullanılması gibi çevre bozunumları önlenmelidir (Duygu, 2013; Anonim, 2019b).

Kuraklığın doğrudan ve dolaylı etkileri bulunmaktadır (Gülsever, 2006). Bu doğrudan etkilere, çevresel (teknik) etkiler; dolaylı etkilere, sosyoekonomik (kültürel) etkiler de denilmektedir. Çevresel (teknik) etkiler olarak; erozyon (toprak-su-rüzgar erozyonları) artar, su seviyeleri düşer, hayvan ölümleri artar, tarımsal hastalık ve zararlılarda artışlar gözlenir, orman

tahribatı ile yangınları gözlenir, su kaynaklarındaki kalite bozulmaları ve tarımsal üretimde düşüşler gözlenir. Sosyoekonomik (kültürel) etkiler ise; yoksulluğa-işsizliğe bağlı olarak özellikle metropollerde suç-göç olayları artar, turizm sektöründe sıkıntılar beklenir, çiftçilerin ve ülkenin milli gelirinde düşüşler gözlenir ve sonunda da kıtlık gerçekleşmektedir.

Yağış, akım ve toprak nemi gibi farklı alanları kapsadığı için geniş kapsamlı bir kuraklık tanımı yapmak zordur. Bu sebeple farklı kuraklık tanımlarıyla karşılaşılabilir. Bunlardan yaygın olan bazıları; meteorolojik-hidrolojik-tarımsal-sosyoekonomik kuraklıklardır. Atmosferik, ekolojik (Su kaynaklarındaki genel düşüşler), klimatolojik ve su yönetimsel kuraklık sınıfları olduğunu iddia eden araştırmacılar da vardır.

Meteorolojik kuraklık; belirli zaman periyotlarında, bölgenin uzun yıllık yağış normallerine kıyasla daha az yağış gerçekleşmesi olayıdır (SYGM, 2016d; Şen, 2016). Bir bölgeye düşen yağış miktarı kuraklığı ifade ederken, başka bir bölgeye düşen aynı yağış miktarı sulaklığı niteleyebilmektedir (Doğan, 2013). Örneğin; bazı alanlar için meteorolojik kuraklığın tespiti şöyle yapılabilir; 21 günlük yağış toplamları, normalinin 1/3'ünden daha az yağmışsa ya da 15 günden daha çok yağış düşmeyen bölgelerde meteorolojik kuraklığın olduğu söylenebilir (Dabanlı, 2017; Şen, Z. 2017).

Bir alanda yağış azsa bile bitki kök bölgesinde yeterli nem varsa, tarımsal kuraklıktan bahsedilmemektedir. Yani, meteorolojik kuraklık yaşanırken tarımsal kuraklık yaşanmayabilmektedir. Yağış, kuraklık üzerindeki etken tek faktör olmamaktadır (Kokkokoğlu, 2006). Örneğin; sulama uygulamalarıyla nehir akımları azaltılırken, toprak nemi arttırılabilmektedir. Yani; sulamayla birlikte hidrolojik kuraklık arttırılırken, tarımsal kuraklık azaltılabilmektedir (Leng vd., 2015; Akbaş ve Tatlı, 2013; Kokkokoğlu, 2006; Vural, 2010).

Kuraklığın tarımsal çeşidi; toprağın nemindeki azalma eksikliği nedeniyle tarımsal üretimde belirgin düşüşlerin olması, hidrolojik çeşidi; su kaynaklarında meydana gelen seviye düşüşlerinin olması (yeraltı suyu da dahil), meteorolojik çeşidi ise belli sürelerde ortalama değerlerden daha düşük yağış düşmesi olayı olarak tanımlanabilmektedir (Akar vd., 2015).

Tarımsal kuraklık; büyüme periyodu boyunca bitkinin kritik döneminde, kök bölgesinde büyüme ve gelişme için yeterli toprak nemi bulunmama durumunda meydana gelmektedir. Ekim ve çimlenme zamanlarındaki kuraklıkların, bitki büyüme zamanındaki kuraklıklara kıyasla verimi daha çok düşürdüğü ve daha tehlikeli olduğu söylenebilir. Yüksek sıcaklık ve düşük nispi nem kuraklığın şiddetini arttırmaktadır (Doğan, 2013; Duygu, 2013).

Tarımsal kuraklığın sonucunda, üretim ve tüketim faaliyetlerindeki ciddi aksaklıklara sosyoekonomik kuraklık (kıtlık) denilmektedir. Kıtlığa sebep olan en önemli etmen, tarımsal kuraklıktır. Tarımsal üretimin ihtiyacı karşılayamadığı durumlarda ortaya çıkan kıtlık, kuraklıkların en tehlikeli çeşididir. Fiziki bir olay olan kuraklık ile sosyoekonomik bir kuraklık olan kıtlık (açlık) ilişkisinin anlaşılması çok zordur (Anlı, 2014; Küçükyaman, 2010).

Hidrolojik kuraklık aşamasında; su kaynakları (akarsu, göl ve deniz) ekosistemleri bozularak, deniz ürünleri de olumsuz etkilenmekte ve özellikle içme suyu kaynaklarının miktarı ve kalitesi düşmektedir. Genelde havza bazında incelenen hidrolojik kuraklık; arazi kullanım değişikliği, verimsiz arazi ve orman kaybı gibi etmenlerden de çok etkilenmektedir (Doğan, 2013). Hidrolojik kuraklıklar, hareketli ortalamalar ve uzun devre eğilimi yöntemleri yardımıyla da tespit edilebilmektedirler.

Tarımsal kuraklığın; meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar arasında gerçekleşebildiği yaygın şekilde iddia edilse de, tarımsal kuraklık-sosyoekonomik kuraklık arasındaki sıkı ilişki sebebiyle sıralamada hidrolojik kuraklıklardan sonra tarımsal kuraklığın gerçekleştiğini söylemek daha doğru olacaktır (Doğan, 2013).

Karşılaşılabilecek farklı kuraklık şiddetlerine göre, genel olarak alınabilecek önlemler ve farklı kuraklık şiddetlerinin tarıma etkileri, SYGM tarafından tablolaştırılmıştır. Özellikle kuraklık şiddeti çok artmadan, önlemlerin gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir (Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2).

Çizelge 2.1. Karşılaşılabilecek kuraklık şiddetlerine göre alınabilecek önlemler (SYGM, 2015e)

Hafif kurak	Orta kurak	Kurak	Çok kurak
Tüm halk bilinçlendirilmeli. Az su isteyen münavebeli bitkiler yaygınlaştırılmalı. Damla sulama kullanmayan çiftçilerin destekleri azaltılmalı.	Tüm tedbirlere ek olarak; Eğitim ve yayım faaliyetleri arttırılmalı.	Tüm tedbirlere ek olarak; Rotasyonla sulama yaptırılmalı. Sadece, damla sulama gibi modern sulama yöntemleri kullanan çiftçiler desteklenmeli.	Tüm tedbirlere ek olarak; Acil eylem planları uygulanmalı. Kısıntılı sulamaya gidilerek, su ücretleri arttırılmalı. Yeraltı suyunun kontrollü olarak kullanımına izin verilmeli.

Çizelge 2.2. Kuraklık şiddetinin etkileri (SYGM, 2015e)

Kuraklık şiddeti	İndis aralığı	Etkileri
Hafif	PKŞİ: -1 ile -2 arası; SYİ: -0,5 ile -1 arası NYY: 0,5 ile 0,8 arası	Bitki gelişimi yavaşlar.
Orta	PKŞİ: -2 ile -3 arası; SYİ: -1 ile -1,5 arası NYY: 0,25 ile 0,5 arası	Bitkisel üretim ve akarsu seviyeleri düşebilir.
Şiddetli	PKŞİ: -3 ile -4 arası; SYİ: -1,5 ile -2 arası NYY: 0,05 ile 0,25 arası	Bitkisel üretim ve akarsu seviyeleri düşer.
Çok şiddetli	PKŞİ: < -4 SYİ: < -2 NYY: < 0,05	Olağanüstü ve yaygın bitki kayıplarıyla birlikte akarsu seviyeleri kritik düzeyin altına düşer.

Türkiye'nin genel ve tarımsal kuraklık analizini gösteren tablolara SYGM raporlarından ulaşılabilmektedir. Ülkemizin Akdeniz havzasında bulunması ve ülkemize ait geçmiş verilere ulaşmadaki zorluklar, dikkat çekmektedir (Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4).

Çizelge 2.3. Türkiye'nin kuraklık yönetimi açısından analizi (SWOT analizi) (SYGM, 2015d)

Güçlü taraflar	Zayıf taraflar	Fırsatlar	Tehditler
Disiplinlerarası çalışma açısından uzman insan kaynağına sahip olunması.	Havza bazlı ulusal veri sisteminin tamamlanamamış olması. Geçmiş kuraklık sonuçlarına ulaşmadaki zorluk.	İklim değişikliği ile ilgili konularda yapılan bilimsel araştırmalardaki artış.	Kamu ile özel sektörün arasında yaşanabilecek menfaat çatışması. İklim değişikliğinden en çok etkilenecek olan Akdeniz havzası içerisinde bulunması.

Çizelge 2.4. Türkiye'nin tarımsal kuraklık yönetimi açısından analizi (SWOT analizi) (SYGM, 2015d)

Güçlü taraflar	Zayıf taraflar	Fırsatlar	Tehditler
Akarsularının çoğu ülke içerisinde doğmaktadır.	Arazi ve su kaynaklarının havza bazlı yönetilememesi. Kuraklıkla ilgili Ar-Ge sayısının yetersizliği.	Ülkede farklı iklim bölgelerinin olması. Kurağa dayanabilen bitki potansiyelinin varlığı.	Çiftçilerin aşırı su kullanımı. Su kalitesinde yaşanan bozulmalar.

Su zengini ülkelerde, kişi başına bir yılda en az 8.000 m³ su gerekmektedir. Ülkemizde Doğu Karadeniz bölgesi haricinde, bu değerler oldukça düşük olduğundan; Türkiye su zengini ülke değildir. Yine de; akarsularının çoğu ülke içerisinden doğduğu için, Türkiye'nin tarımsal kuraklıkla mücadelede büyük bir avantajı vardır. Türkiye'nin yaklaşık 50 milyon hektarlık arazisi kuraklıkla mücadele etmektedir. Yani ülkemizin, yaklaşık %55'i kuraktır. Türkiye'nin 2030'larda nüfusunun 100 milyonlara ulaşip, kişi başına düşen su miktarının 1.100 m³'ler civarında olması beklenmektedir (Konukcu vd., 2004; İstanbulluoğlu vd., 2007; Anonim, 2019a; Dabanlı, 2017; Şen, 2017).

Ülkemizde; ilk kuraklık çalışmaları 1940'lı yıllarda başlamış, 1955'te Tümertekin, De Martonne indisiyle çeşitli kuraklık haritaları elde etmiş, kuraklığın önemi ise 1970'lerde daha çok anlaşılıp, konuyla ilgili araştırmalar artırılmıştır (Çaldağ, 2009; Duygu, 2015). Dünya'da 1970'li yılların sonlarında kuraklıkla ilgili çalışmalarda, Yevjevich tarafından geliştirilen gidışler teorisi yönteminin, önemli bir dönüm noktası olduğu bilinmektedir. Bu dönemlerde; Erinç ve Aydeniz kuraklık indisleri gibi popüler yöntemler geliştiren bazı Türk araştırmacılar da, kuraklık çalışmalarına büyük katkı sağlamışlardır.

Ülkemizdeki kuraklık detaylıca incelendiğinde, şu sonuçlara ulaşılmaktadır: Türkiye'de 1970-1990 arası; Karadeniz haricindeki tüm sahil bölgeleriyle (Ege, Akdeniz ve Marmara gibi) Güneydoğu Anadolu bölgesinin kuraklıklardan aşırı etkilendiği belirtilmektedir. Türkiye'nin en kurak illerinden Karaman'da ise, 1975-2010 yılları arasındaki 35 yılın %55'inin meteorolojik olarak kurak geçtiği görülmüştür. Aslında son yıllardaki ülkemizdeki kuraklık şiddetlenmelerinin başlıca sorumlusunun, Kuzey Atlantik salınımında görülen değişikliklerin olmasıdır (Orhan, 2014; Kokkokoğlu, 2006). Ülkemizde 2010-2011 yıllarında Batı Karadeniz kıyıları, Güneydoğu Anadolunun alt kısımları ile Van ve Kırklareli alanlarında çok az yağış düşmüştür. Konya Kapalı havzasında yeraltı su düşüşlerinin 1 m/yıl'a kadar inebildiği bilinmektedir (Şimşek vd., 2012; Doğan, 2013; Duygu, 2015). Büyük Menderes Havzasında ortalama her 5 yılda bir kuraklık olayının yaşandığı, şiddetli kuraklıkların ise yaklaşık her 20

yılda bir gerçekleştiği tahmin edilmektedir. Büyük Menderes Havzasında 2007'deki kuraklık sonucu bazı barajlardaki seviyelerin yarı yarıya düştüğü gözlenmiştir (Çaldağ, 2009; Duygu, 2015).

Türkiye'de şiddetli kuraklığın yaşandığı bazı yıllar şunlardır; 1928, 1956, 1970, 1977, 1984, 1990, 1994, 2000, 2006 ve 2008'dir (Duygu, 2013). Genel olarak Temmuz ve Ağustos'ta ülkemizde; kuzey Marmara ile Karadeniz Bölgesi haricinde tam kuraklık görülmektedir. Ekimde ise, sadece Güneydoğu ve İç Anadolu'da yarı kurak koşullara rastlanabilmektedir. Türkiye'deki kuraklaşma eğiliminde olan bölgeler ise sırasıyla; Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Ege kıyıları, Marmara (özellikle Trakya) bölgesi, İç ve Doğu Anadolu bölgeleridir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne göre Türkiye'de kuraklıktan en çok etkilenecek bölgeler, Güneydoğu ve İç Anadolu'dur (Altın ve Barak, 2012; Gülsever, 2006; Akbaş, 2013; Dabanlı, 2017).

Kuraklıkla ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Önder vd. (2009) iklim değişikliğinin Türkiye'deki tarımsal kuraklıkla ilişkisini tespit etmek amacıyla, 1990'lar ile 2070'leri kıyaslarken, RCM bölgesel iklim modeli sonuçlarını kullanmışlardır. İklim değişikliği etkisini değerlendirirken, SRES'in A2 senaryosunu kullanan araştırmacılar; yağış miktarını potansiyel ET'ye oranlayarak kuraklık indisi elde etmişlerdir. Sonuç olarak; 2070'lerde Akdeniz kıyılarında yağışların %30'lara yakın bir oranda azalacağını, Karadenizde ise %22 oranlarında artacağını tahmin etmektedirler. Ayrıca; 2070'lerde Türkiye'deki sıcaklıkların 5 °C daha yüksek olabileceğini belirten araştırmacılar; Doğu Karadeniz bölgesi haricinde tüm Türkiye'nin kuraklıklarının şiddetlenebileceğini öngörmektedirler.

Arslan vd. (2014) Antalya civarında CBS ve Aydeniz yöntemini kullanarak kuraklık analizi yapmışlardır. Sonuçta; 1985-2006 arasında sulama bölgesinde kurak döneme rastlamamışlardır.

Antofie vd. (2015) Karpat bölgesindeki kuraklığın başlangıç ve bitişinin niceliksel bir ölçüsünü belirlemeye çalıştıkları araştırmalarında; ayrıca kuraklığın mekânsal analizinin yapılmasının yanında kuraklığın tekerrür sıklığını da belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda kuraklığa genel bir bakış sağlamayı amaçladıklarını açıklamışlardır.

Sarış (2016) Porsuk Çayı havzasının 4 Akarsu Gözlem istasyonunun 1969-2011 arası günlük akım verilerini inceleyerek düşük akımların eşik değeri, süresi ve mevsimselliğinin zamansal analizini yaparak, bunun yanında Akarsu Akım Eksikliği indisiyle de kuraklık analizi yapmıştır. Araştırma sonucunda; Porsuk çayı havzasındaki düşük akımların eşik değerinin mekânsal olarak yukarı ve alt havzalarda farklılık gösterdiğini, zamansal olarak ise düşük akımlarda eşik değerlerin azalma trendinde olduğunu ve düşük akımların erken dönemlerde ortaya çıktığını tespit etmiştir.

Kuraklıkla ilgili literatür analiz edildiğinde, şu sonuçlara ulaşılmıştır. Dünya’da yaklaşık 1,3 milyar kişi temiz su bulamamakta, özellikle Afrika ve Ortadoğu’daki 20’ye yakın ülke su sıkıntısı yaşamaktadır (Türkeş, 2012). Avusturalya, Mezopotamya ve ABD dünyadaki önemli kurak bölgelerdendir. Özellikle ABD’nin güney bölgeleri, geçmiş yıllardan günümüze kadar kuraklıklarla mücadele etmektedir. ABD’de; 1637, 1729, 1735, 1824, 1863, 1879 ve 1959 yıllarında şiddetli kuraklıklar yaşanmıştır (Stockton vd., 1989; Şen, 2016). 1965 yılında Palmer tarafından PKŞİ’nin geliştirilmesi ve 1993 yılında McKee tarafından SYİ yöntemlerinin geliştirilmesi, kuraklık çalışmalarının dönüm noktası olmuştur. Ülkemizle ilgili çalışmalarda ise, doğu Karadeniz haricindeki yerlerde kuraklıklara sık rastlanıldığı anlaşılmıştır. Özetle; kuraklıklar, alansal ve zamansal olarak çok değişken olsa da, özellikle Ortadoğu ve Mezopotamya gibi kuraklık potansiyeli yüksek olan yerlerde, kıtlık felaketine dönüşebilmektedir. Bu sebeple; kurağa hassas alanlar için, yöreye özgü kuraklık indisi geliştirme çalışmalarına ağırlık vermek gerekmektedir.

2.2. Kuraklık İndisleri

Bu bölümde; yaygın kullanılan kuraklık indislerine ve indis içindeki değişkenlere değinilmiştir. Kuraklık indislerine; karar vericilere uzun karmaşık hesaplamalarda kolaylık sağlayan yardımcı elemanlar gözüyle bakılmalıdır. Dünya’da 150’ye yakın kuraklık indisi kullanılmaktadır. Bu indisler içerisinde; su dengesini temel eşitlik olarak kabul eden, toprak özelliklerini dikkate alan, kombine indisler daha güvenilirdir. Su dengesindeki temel girdi yağış iken; temel kayıplar akış, sızma, ET, bitki bünyesindeki su ve toprak suyudur (Doğan, 2013; Kokkokoğlu, 2006; Şen, 2016).

Sessiz afet olarak da nitelendirilen kuraklık, sıradan bir vatandaş tarafından çoğu zaman farkedilemeyebilir. Kuraklık indisi aracılığıyla, kuraklık başlangıç-bitiş-şiddeti belirlenebilir. Kuraklık çalışmalarında daha güvenilir sonuçlar almak için birkaç indis birlikte kullanılmalıdır.

Çünkü; bölgenin jeomorfolojik, hidrometeorolojik şartları ile incelenen kuraklık çeşidine göre indislerin birbirlerine üstünlükleri olabilmektedir.

Kuraklık indisleri; yağış, akım, buharlaşma v.b. çok sayıda hidrometeorolojik veriyi bünyesinde hesaba katarak tek bir sihirli sayıya çevirmektedir. Kuraklık indislerinin dezavantajları ise; güvenilir bir kuraklık tespiti için zamana bağlı bir azalma fonksiyonu gerekirken, çoğu kuraklık indisi sadece yağışın basit toplamlarını dikkate almaktadır. Ayrıca; kuraklık tespitinde toprak neminin çok önemli olmasına rağmen, PKŞİ ve Yüzey Suyu Sağlama İndisi (SWSI) dışındaki diğer indisler toprağı ayrı sınıflandırmamaktadır (Akbaş, 2013).

Geliştirilen ilk kuraklık indisleri sadece çalışma alanındaki bölgede güvenilir olup, yaygın kıyaslama yapamazken; W. C. Palmer'in 1965'te geliştirdiğı PKŞİ (Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi), şeffaf eşitlikli kuraklık indis sistematığına sahip, boyutsuz olması kuraklığın tüm dünyada zamansal ve alansal analizine imkan tanınması açısından bir dönüm noktasıdır (Doğan, 2013; Kokkokoğlu, 2006).

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi, büyük ölçeklerde ($7.500-100.000 \text{ km}^2$ gibi) tüm iklimi aylık olarak değerlendiren birer araç olarak düşünülebilmektedir. Bitki Nem İndisi (CMI), ET eksikliğini nitelerken; PKŞİ, yağış eksikliğini nitelemektedir. Yine de her iki yöntem birbirine çok benzemektedir. PKŞİ (Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi)'nin aksine; SYİ (Standart Yağış İndisi) kuraklığın istatistiksel özelliğini de hesaba kattığı için oldukça güvenilirdir. Fakat SYİ yöntemi de; arazi kullanımı, toprak ve bitki gelişimi evrelerini hesaba katmadığı için tarımsal kuraklığı nitelemede yetersiz kalmaktadır (Narasimhan ve Srinivasan, 2005).

Kuraklık indislerinde genellikle bulunan değişkenler şunlardır: Kar örtüsü, Bitki örtüsü, Akarsu debisi, Yeraltı suyu, Göl-baraj seviyesi, İklim parametreleri (yağış, sıcaklık, ET v.b.), Toprak nemi bileşenleri (Tarla Kapasitesi, Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi v.b.). Kuraklık indisi seçimi yaparken; kuraklık izleme, erken uyarı ve öngörüsünü en güvenilir yapabilme potansiyeline sahip olan, birçok değişkeni dikkate alan indisleri kullanmak gerekmektedir. Tüm bu şartları sağlayan SYİ ve PKŞİ, dünyada en yaygın kullanılan indislerdir (SYGM, 2015a).

Türkiye'deki ilk kuraklıkla ilgili çalışma; 1943 yılında Tanoğlu'nun, sıcaklık ile yağışı kullanarak, De Martonne yöntemiyle Türkiye'nin kuraklık haritasını yapmasıdır. Sonraki yıllarda; Türk bilim insanları tarafından geliştirilmiş olan Erinç ve Aydeniz kuraklık indisleri, kurumlarımızda sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır. İklimi sınıflandıran birer klimatolojik indis (iklim indisi) olarak nitelendirilen bu yöntemlerden Aydeniz yöntemi, Aydeniz (1973) tarafından geliştirilmiştir. Aydeniz yöntemi, sadece sıcaklık-yağış verilerini dikkate almayıp,

nem-yağış ile sıcaklık-güneşlenme süresi ilişkilerini de hesaba katmaktadır. Aydeniz yöntemindeki değişkenler; ortalama sıcaklık, toplam yağış, ortalama güneşlenme ve oransal nemdir. Erinç indisi ise, coğrafyacilar tarafından sık tercih edilmektedir. Erinç indisindeki kuraklık sınıflandırılması ilk olarak; yağış ve buharlaşma verilerinin oranlanarak, Türkiye'deki 80 adet meteoroloji istasyonuna uygulanmasıyla yapılmıştır (Özgürel vd., 2003; Apak, 2009; Duygu, 2013; Tosunoğlu, 2014).

Ülkemizdeki kuraklık tespitinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü şu indisleri kullanabilmektedir; SYİ, PKŞİ, Normalin Yüzdesi, Aydeniz ve Erinç İndisi (Duygu, 2013). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) Meteoroloji Müdürlüğü de kuraklık analizlerinde sıklıkla; SYİ, Aydeniz, De Martonne ve Normalin Yüzdesi İndisi yöntemlerini kullanmaktadır (Çakal, 2016).

Dünya'da ise, özellikle 2006 ile 2010 yılları arasında önemli bazı kuraklık indisleri geliştirilmiştir. Örneğin; 2006 yılında Tsakiris ve Vangelis tarafından geliştirilen Keşif Kuraklık İndisi (RDI) yönteminde; yağış ve potansiyel ET oranlaması öncelikle lognormal olasılık dağılımına uydurulup, sonra standart normal dağılıma çevrilmektedir. Keşif Kuraklık İndisi (RDI) içerisinde, lognormal olasılık dağılım yerine gama olasılık dağılımının kullanılmasını öneren araştırmacılar da mevcuttur. SAİ ise, Shukla ve Wood tarafından 2008 yılında geliştirilmiştir (Esfahanian, 2016). 2008 yılında Şen ise kuraklık analizlerinde; yağış, sıcaklık ve neme dayanan Üçlü Kuraklık Göstergesi (TDI) yöntemini önermiştir. 2010'da da Kao ve Govindaraju, yağış-akış verilerini kopula yönteminde kullanarak Ortak Kuraklık Göstergesi (JDI) indisini geliştirmişlerdir (Dabanlı, 2017).

Bilimsel çalışmalarda kabul gören, tarımsal kuraklık indislerinden bazıları; Evapotranspirasyon Kısıtı İndisi (ETDI), Toprak Nem Kısıtı İndisi (SMDI), Efektif Kuraklık İndisi (EDI) ve Birleşik krallık'ta sıkça kullanılan Kuraklık Şiddet İndisi (DSI)'dir. ETDI indisi, SMDI indisine benzer şekilde hesaplama yapsa da; tek farkı toprak nemi yerine, ET değerlerini kullanıyor olmasıdır. SMDI; oldukça yavaş tepki gösteren PKŞİ ve SYİ'ye kıyasla, daha derin toprak tabakalarını daha iyi tahminlemektedir (Niemeyer, 2008). DTx isimli yeni bir tarımsal kuraklık indisi de vardır. Terleme açığına dayanan DTx, x gün boyunca bitkinin terlemesinin bir göstergesidir. DTx, SYİ'ye kıyasla sadece yağışın değil aynı zamanda iklim, toprak ve arazi kullanımının da bir göstergesidir (Niemeyer, 2008). Tarımsal kuraklığı niteleyen Su Yeterlilik İndeksi (WSI) ise; FAO tarafından geliştirilen AgroMetShell yazılımı ile belirlenebilmektedir. WSI değerleri, 0-100 arasında değişmektedir ve 100'e yaklaştıkça bitkinin su ihtiyacının azaldığını nitelemektedir (Anonim, 2016).

Akdeniz İklim İndisi, Baraj Depolama İndisi, Islak Akım İndisi, Aylık Nehir Akımı İndisi, (KSTK'yı tahminleyebilen) Topoğrafik Nemlilik İndisi, Hidrolojik Yıl Kuraklık İndisi ve Ortalama Maksimum Kuraklık İndisi de yaygın kuraklık indislerindedir (Çakal, 2016).

Dünyada ve ülkemizde sıklıkla kullanılan popüler kuraklık indislerinin, hangi kuraklık çeşitlerini temsil ettikleri bilinmektedir. Çok sayıda kuraklık çeşidini temsil etme yeteneğine sahip olan indislerin kullanımı, oldukça fayda sağlayacaktır. Popüler kuraklık indislerine ait; geliştiren kişi (yılı) ve indis girdileri kullanılarak, çalışmaya özgü uygun indisler tercih edilmelidir (Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6).

Çizelge 2.5. Bazı kuraklık indisleri (SYGM, 2015a)

	Meteorolojik Kuraklık	Hidrolojik Kuraklık	Tarımsal Kuraklık
SYİ	+	+	
PKŞİ	+		+
SAİ (Standart Akış İndisi)		+	
Normal Yağışın Yüzdesi (PNI)	+		+
Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (PDHI)	+	+	+
Erinç Kuraklık İndisi (Im)	+		+
Aridite İndisi (AI)	+		+
Palmer Nem Anomali İndisi	+		+
Aydeniz İndisi			+
Normalleştirilmiş Vejetasyon Değişim İndisi (NDVI)			+

Çizelge 2.6. Popüler kuraklık indisi bilgileri (WMO, 2016)

	İndisi geliştirenler (Yılı)	İndis girdileri
Meteorolojik Kuraklık İndisleri		
Standart Yağış İndisi (SPI)	McKee (1993)	Yağış
Deciles	Gibbs ve Maher (1967)	Yağış
Standart Yağış-Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)	Vicente-Serrano vd. (2010)	Aylık yağış ve sıcaklık
Aridite İndisi (AI)	De Martonne (1925)	Aylık ortalama sıcaklık ve yağış
Hidrolojik Kuraklık İndisleri		
Standart Akış İndisi (SRI)	Shukla ve Wood (2008)	Aylık akım
Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (PDHI)	Palmer (1965)	Yağış, sıcaklık ve KSTK
Akım Kuraklık İndisi (SDI)	Nalbantis ve Tsakiris (2008)	Aylık akım

Çizelge 2.6. (devam)

Tarımsal Kuraklık İndisleri		
Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI)	Palmer (1965)	Aylık sıcaklık ve yağış, KSTK
Evapotranspirasyon Kısıtı İndisi (ETDI)	Narasimhan ve Srinivasan (2004)	SWAT ile modellenir
Toprak Nem Kısıtı İndisi (SMDI)	Narasimhan ve Srinivasan (2004)	SWAT ile modellenir

Kuraklık indisleriyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Gülsever (2006) Thornthwaite kuraklık indisi yardımıyla, kuraklık riskinin en az olduğu yerin Bitlis ve kuraklık riskinin en fazla olduğu yerlerin ise sırası ile Diyarbakır, Batman ve Cizre olduğunu tespit etmiştir. Geliştirilmiş Fournier ve Bagnouls-Gausson yöntemleri birlikte kullanılarak, kuraklığın yaşandığı istasyonları belirlemiştir.

Altın ve Barak (2012) Seyhan havzası civarlarındaki 29 meteoroloji istasyonundaki 1970-2009 yıllarının toplam yağış ve ortalama sıcaklık değerlerini kullanarak Erinç yöntemiyle iklim tipini belirlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda; Kahramanmaraş ve Mersin gibi güneydeki bölgelerde kuraklık riskine rastlamamışlardır.

Shahabfar ve Eitzinger (2013) İran’da, SYİ, Normal Yağışın Yüzdesi (PNI), Z-Skoru (Z), Çin-Z İndisi (CZI), Modifiye Çin-Z İndisi (MCZI), Martonne kuraklık indisi (I) isimli 6 adet meteorolojik kuraklık indisini karşılaştırmıştır. Çalışmaları sonucunda; Z-Skoru, CZI ve MCZI indislerinin meteorolojik kuraklığı tahminlemede başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

Hınıs (2013); yeni geliştirilip hidrometeorolojik bir kuraklık indisi olarak tanımlanan, Bütünleşik Kuraklık İndisi ile Aksaray’da kuraklığı incelemiştir. Ayrıca; diğer popüler kuraklık indislerinden olan Normalleştirilmiş Yağış İndisi (NYİ)’ni kullanarak bulduğu sonuçları, Bütünleşik Kuraklık İndisi sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. 1969-2000 arasındaki toplam 372 aylık yağış, sıcaklık, akım ve buharlaşma verilerini; BKİ içerisinde kullanarak kuraklığı incelemiştir. Çalışması sonucunda; gözlenen akım verileri ve Bütünleşik Kuraklık İndisi sonuçlarının, nisan ve mayıs aylarında örtüşürken, şubat ve ekim aylarında örtüşmediğini tespit etmiştir.

Anlı (2014) Türkiye’nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde; Keşif Kuraklık İndisi (RDI) yöntemini kullanarak ve referans bitki su tüketiminin (ET_0) zamansal değişim analizini

yaparken Mann Whitney U (parametrik olmayan) testi ile Dickey-Fuller (parametrik) testini kullanarak bölgedeki kuraklıkları incelemiştir. Bitki su tüketimlerini hesaplarırken Penman-Monteith yöntemini kullandığı çalışmasının sonucunda; bölgede, referans bitki su tüketiminin (ET_0) giderek artma trendi yaşadığını ve genelde kurakça bir iklimin hakim olduğunu tespit etmiştir. Araştırmacı; Keşif Kuraklık İndisi (RDI)'nin kuraklık çalışmalarında güvenle kullanılabileceğini de belirtmektedir.

Akar vd. (2015) meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların birbirlerine göre olan ilişkilerini karşılaştırmak amacıyla 1990-2004 verileriyle, 13 km^2 'lik Yozgat-Sorgun-İkikara havzasında hidrolojik kuraklık indisi olarak da kullanılabilen Erozyona Yatkinlik İndisi (EI), Bagnouls Gausson Kuraklık İndisi (BGI), Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) ve Modifiye Fournier İndisi (FI) yöntemlerini kullanarak kuraklık analizi yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda; Bagnouls Gausson İndisi haricindeki diğer tüm indislerin hidrolojik kuraklık konusunda, meteorolojik kuraklıkla benzer sonuçlar tahminlediğini belirtmektedirler. Şöyle ki; Bagnouls Gausson İndisi sonuçlarına göre, kuraktan nemli döneme gidilirken, ortalama yıllık toplam akımlar artmayarak azalmıştır.

Reis ve Dutal (2016) Kahramanmaraş'taki hidrolojik kuraklığı, yağış ve sıcaklık verileriyle kolayca hesaplanabilen "De Martonne Yıllık Kuraklık İndisi" yöntemiyle tespit etmiştir. Sonuçta, 2014 yılı için gerçekleşme olasılıklarıyla birlikte kuraklık indis sınıflarını elde etmiştir.

Traore (2016); Normal Yağışın Yüzdesi (PNI), Çin-Z İndisi (CZI), Normal-SYİ, Log Normal-SYİ, Gama-SYİ ve Deciles gibi kuraklık indislerini kullanarak; Mann Kendall (MK test), Spearman's rho (SR test) ve Şen eğilim trend analizi yöntemlerini kullanarak, yağış ve sıcaklıkların zaman serilerinin eğilimlerini belirlemiştir. Zaman serilerindeki değişim noktalarının tespit edilmesinde Pettitt testini kullanan araştırmacı; yağış ve sıcaklık zaman serilerinin eğimleri için Thiel-sen yöntemini kullanmıştır. Çin-Z İndisi (CZI) ve Gama-SYİ'nin, daha nemli bir iklim tahminleme eğiliminde olduğunu belirten araştırmacı, eğilim analiz sonuçlarına göre, 10 yıllık zaman periyotları için; ortalama yıllık yağış ve sıcaklıklarda sırasıyla 3'er mm ve 0,3'er °C artışlar olacağını da belirtmektedir.

Kuraklık indisleriyle ilgili literatür analiz edildiğinde; ülkemizin koşullarına uyumlu Erinç ve Aydeniz yöntemi gibi Türk indislerinin, ülkemizde yapılacak çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı anlaşılmıştır. Fakat; Türkiye şartlarındaki sonuçların, bilimsel çalışmalarda kabul gören PKŞİ, SYİ ve SAİ gibi diğer kuraklık indis sonuçlarıyla doğrulanması faydalı olacaktır.

2.2.1. Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi öncelikle su dengesi belirlemektedir. Daha sonra; iki tabaka olarak varsaydığı toprağın üst bölümünü yüzeysel toprak olarak isimlendirmektedir. Yağışın düşüp, buharlaşmanın gerçekleştiği tabakanın yüzeysel toprak olduğunu belirten PKŞİ; yüzeysel topraktaki ET'nin potansiyel ET olduğu kabulünü yapmaktadır. Yüzeysel toprakta suya tam doygunluk yaşanmadan ve ET gerçekleşmeden, alt toprak katmanında herhangi bir değişimin gerçeklemeyeceği varsayımını da yapan PKŞİ, toprakta sırasıyla önce potansiyel ET'nin gerçekleşmesi, sonra tam doygun toprak koşullarında yüzey akışın olduğunu belirtmektedir (Fakat bunlar birer varsayımdır, toprak neme tam doymasa da yüzey akışın gerçekleşebileceği bilinmektedir). Potansiyel ET'yi Thornthwaite yöntemiyle hesaplayan PKŞİ; kuraklık şiddetini belirlerken, gerçek akış ve gerçek ET'lerin aylık ortalama değerlerini onların potansiyel değerlerine oranlayarak gerçekleşmesi beklenen (tahmini: yapay) yağışlar üretmektedir¹. PKŞİ; bu tahmini yağışın, gerçek yağıştan olan farklarına göre de kuraklık şiddetlerini hesaplamaktadır. Yani; aylık periyotta tahminlenen (beklenen, hesaplanan) yapay yağış ile gerçekte düşen yağışın farkları, incelenen bölge için nem fazlalığı veya azlığını tanımlamaktadır. PKŞİ hesaplarına başlamadan önce; su dengesi eşitliğiyle mevcut kuraklık durumu düşünülerek kalibrasyon yapılması tavsiye edilmektedir (Özgürel vd., 2002).

Palmer'in geliştirdiği kuraklık indislerinin çoğu (PKŞİ, Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi, Palmer Nem Anomali İndisi (ZNDX)), toprak-su dengesini dikkate alarak hesaplanan geniş kapsamlı kuraklık değerlendirme yöntemleridir. Palmer Nem Anomali İndisi (ZNDX), önceki ayın nemlilik durumundan etkilenmediği için, PKŞİ ve PHDI'ya kıyasla daha büyük değişkenlik gösterir. Palmer Nem Anomali İndisi (ZNDX); kısa (3 ay gibi) zaman periyotlarında meteorolojik kuraklıkları, orta (6 ay gibi) zaman periyotlarında tarımsal kuraklıkları daha iyi belirleyebilmektedir. İlk yayınlandığında PKŞİ, bir meteorolojik kuraklık indisi olarak sunulsa da, indis sonuçlarının yavaş değişime yatkın olması sebebiyle PKŞİ'yi diğer kuraklık türlerini belirlemede kullanmak daha güvenilir olmaktadır. Palmer'in kendi geliştirdiği diğer çoğu indis sonuçlarının, genellikle birbiriyle yakın (benzer) kuraklık desenleri tahminlediği (oluşturduğu) düşünülmektedir (SYGM, 2015f; Akbaş ve Tatlı, 2013).

Dünyadaki en popüler kuraklık indisi SYİ'dir. İlk kapsamlı kuraklık indisi ise PKŞİ'dir. PKŞİ çoğunlukla ABD'de kullanılırken, Deciles indisi Avustralya'da, SYİ ise dünya genelinde

¹ PKŞİ'nin bu tahmini-yapay yağışları: "Mevcut koşullar için iklimsel uygunluk değerleri: CAFEC" olarak bilinmektedir.

kullanılabilmektedir. PKŞİ'nin; Kanada, Arjantin, Avustralya, Macaristan ve Akdeniz ülkelerinde başarılı sonuçlar verdiği söylenebilmektedir. Doğu Afrika için en uygun indisin SYİ olduğu belirtilmektedir (Shahabfar ve Eitzinger, 2013; Vasiliades ve Louksas, 2009; Doğan, 2013).

1940-2005 aralığında 30 civarı meteorolojik istasyon verileriyle; Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), SYİ ve PKŞİ'nin kullanılarak Portekiz için yapılan kuraklık analizlerinde, PKŞİ'nin diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu iddia edilmektedir (Çakal, 2016). PKŞİ ve SYİ ile; yazlık bitkilere kıyasla (sorgum gibi), kışlık bitkilerle (buğday gibi) daha uyumlu sonuçlar elde edilebilmektedir (Narasimhan ve Srinivasan, 2005).

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi; ABD'de özellikle NewYork, Utah, Colarado ve Idaho gibi eyaletlerdeki kuraklık izlemede sıklıkla kullanılmaktadır. Meksika ve ABD sınırındaki Conchos nehir havzasında, PKŞİ ve Gumbel dağılımıyla yapılan kuraklık analizinde, 1990'lı yıllarda tekerrür periyodu 90 yıl olan şiddetli kuraklıklar yaşandığı belirtilmektedir (Özgürel vd., 2003; Kokkokoğlu, 2006).

Türkiye şartlarında ise; PKŞİ'nin şubat ve temmuz ayları sonuçlarına göre; 1971'de Trakya'nın kuzeyinin nemli olduğu görülürken, aynı aylar için 1972'de Biga yarımadası, Fethiye, Antalya, Kars ve Ankara'da kuraklıklar tespit edilmiş, aynı aylar için 1974'te ise Sakarya, Konya, Adana, Iğdır ve Şanlıurfa'da kuraklıklar tahminlenmiştir. Türkiye şartları PKŞİ ile genel olarak değerlendirildiğinde ise; kuraklığın en çok gözlemlendiği bölge Trakya iken, en az gözlemlendiği bölge Karadeniz bölgesidir. PKŞİ'nin, ülkemizin şartlarına uygun-güvenilir sonuçlar ürettiği belirtilebilmektedir (Akbaş, 2013).

Türkiye'de, iklim değişikliğinin bitki verimine etkisinin belirlenmesi amacıyla en uygun kuraklık indisleri araştırılmış, Ege'de seçilen bitkiler 1963-2007 verileriyle analiz edilerek, Aydın için Kendini Kalibre Edebilen Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (SC-PDSI)'nin, Uşak-Denizli-Afyon bölgeleri için PKŞİ'nin en iyi sonuçları ürettiği belirtilmiştir (Çakal, 2016).

Kıbrıs'ta 1975-1995 aralığında PKŞİ yardımıyla; Güzelyurt, Gazimağusa, Ercan, Girne, Lefkoşa, Yeni Erenköy ve Alevkaya isimlerindeki 7 meteorolojik istasyondan en kurağının, Güzelyurt olduğu tespit edilmiştir (Çakal, 2016).

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi ile ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Özgürel vd. (2002) Ege bölgesinin 1966-1999 verilerini PKŞİ hesabı için kullanmışlardır. Çalışmaları sonucu; çoğu diğer araştırmalara benzer olarak bölgedeki kuraklık sınıflarının normal seviyelerde olduğunu belirtmektedirler. Çoğunlukla da “nemlice ve orta kurak” sınıflarında sıklık tespit etmişlerdir. Bölgenin en kurak ayının haziran olduğunu, en yoğun kuraklıkların da Afyon civarında gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Çünkü; kasım ayında bile Afyon civarlarında orta kurak sınıflara rastlamışlardır.

Özgürel vd. (2003) Ege bölgesinde, PKŞİ ve Aydeniz kuraklık indisi yöntemlerini karşılaştırdıkları çalışmalarının sonucunda, tarımsal kuraklığı PKŞİ'nin Aydeniz yöntemine kıyasla daha güvenilir tahminlediğini belirtmektedirler.

Quiring ve Papakryiakou (2003) Kanada'da buğday veriminin tahmini amacıyla 4 farklı tarımsal kuraklık indisi (PKŞİ, SYİ, Palmer-Z indisi ve NOAA kuraklık indisi) kullanarak en uygun indisi belirlemek amacıyla karşılaştırmalı performans analizi yapmışlardır. Kırk üç bitki için de regresyon modeli oluşturan araştırmacılar; belirtme katsayısı (R^2), hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE), d katsayısı ve ortalama mutlak hata değerleriyle istatistiki değerlendirme yapmışlardır. Sonuçta buğday verimindeki kayıpların; hastalık, zararlı, afet ve toprak özelliklerinden de kaynaklanabileceğini hatırlatan araştırmacılar; Palmer-Z indisinin en uygun indis olduğunu belirtmişlerdir.

Vasiliades ve Loukas (2009) Yunanistan'da Palmer'in 4 indisini (PKŞİ, Ağırlıklı PKŞİ, Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi ve Z indisi) de kullanarak hidrolojik ve tarımsal kuraklığı incelemiştir. Ağırlıklı PKŞİ ve Z indislerinin, kuraklıkları daha güvenilir tahminlediği belirtilmektedir.

Işıldar (2010) SYİ ve Palmer'in geliştirdiği 4 farklı kuraklık indisini daha kullanarak Ege bölgesindeki illerde kuraklık araştırması yapmıştır. Kendinden kalibreli PKŞİ 0.43'lük bir R^2 değeri ile Aydın ili için en güvenilir sonuçları ürettiğini belirten araştırmacı; kuraklık indislerine bağlı mısır verimi modellerinin, değişimlerin sadece %40'ını açıklayabildiğini belirtmektedir. Geri kalan verim sapması oranı, iklim haricindeki değişkenler (Sulama, toprak özelliği, gübreleme, ekim zamanı-sıklığı, bitki çeşidi v.b. kültürel işlemler; ile hastalık, zararlı ve sel felaketi gibi afetler) sebebiyle gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Ayrıca çalışmada, en başarısız tahminlemenin SYİ yöntemiyle yapıldığı belirtilmektedir. Bu durumun; SYİ'nin sadece yağış verilerine bağlı olması sebebiyle olabileceği düşünülmektedir.

Akbaş (2014) Türkiye'deki 96 meteorolojik istasyonun 1929-2009 yılları arasındaki sıcaklık-yağış verilerini ve ABD-ORNL DAAC'deki KSTK verilerini kullanarak; PKŞİ

indisiyle Türkiye'deki kuraklık olasılıklarının alansal dağılımını bulmayı amaçlamıştır. Çalışması sonucunda, kuraklık olasılık sınıfları oluşma olasılığı en yüksek sınıfın “normal” olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca; araştırmacı PKŞİ'nin Türkiye'de kullanılabileceğini önermektedir.

Nam vd. (2015) gelecekteki kuraklığın analizi için; 1980-2010 arasındaki 54 meteorolojik istasyon verileriyle birlikte SYİ, Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ve Kendini Kalibre Edebilen Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (SC-PDSI) yöntemlerini kullanarak (RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları eşliğinde), kuraklık özelliklerini tespit etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, gelecekte özellikle Güney Kore'de ciddi kuraklık artışı beklediklerini belirtmektedirler.

Çakal (2016) Kuzey Kıbrıs'ta aylık PKŞİ sonuçlarına Mann Kendall trend analizini uygulamıştır. Sonuç olarak, Eylül 1978 ve Ağustos 2015 periyotlarında 6 defa kuraklık tespit etmiştir. Trend analizi sonuçlarının PKŞİ değerlerindeki düşüşü doğruladığını belirten Çakal; Kuzey Kıbrıs ikliminin yaklaşık %28'inin normal, %27'sinin nemli ve %45'inin kurak olduğunu da tespit etmiştir.

2.2.2. Standart Yağış İndisi ve Standart Akış İndisi

Günümüzde Dünya'daki ülkelerin en az 1/3'ünde kullanılan SYİ, McKee ve arkadaşları tarafından 1993 yılından geliştirilmiştir. McKee yağış eksikliğinin; akarsu akışını, yer altı suyunu ve toprak nemini nasıl etkilediğini tespit etmeyi amaçlamıştır. Kurak ay toplamları, gözlem ayı sayısına bölünerek istasyonların kuraklık olasılıkları elde edilebilmektedir. SYİ'de her bir yağış değeri; seri ortalamalarından çıkartılıp, serinin standart sapmasına bölünerek indis sonucu elde edilebilmektedir. SYİ'de, standart normal dağılımlı yağış dizileri kullanılmaktadır. Fakat, yağış dizilerinin olasılık dağılımının normal dağılımdan ziyade Gama dağılımına daha iyi uyduğu bilinmektedir (SYGM, 2015a; Topçu ve Seçkin, 2013; Oğuztürk ve Yıldız, 2014).

PKŞİ ve SYİ en popüler kuraklık indisleridir. 6 adet performans kriterine (boyutsallık, sağlamlık, şeffaflık, karmaşıklık, genişletilebilirlik ve izlenebilirlik) göre; SYİ'nin PKŞİ'den daha iyi (kolay ve başarılı) olduğu söylenebilmektedir (Dhakar vd., 2013). Standart Yağış İndisi, 2 parametrelili Gama dağılımını kullanırken; yağış ve potansiyel ET arasındaki aylık farklara göre tahminleme yapan Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ise 3 parametrelili Gama dağılımını kullanmaktadır (Saygılı, 2017). Standartlaştırılmış Yeraltı Suyu Seviyesi İndisi (SGI) ise; tamamıyla SYİ ve SAİ (Standart Akış İndisi) yöntemlerine

benzemekle birlikte sadece yeraltı suyu seviyelerine girdi olarak ihtiyaç duymaktadır (Meres vd., 2016; Duygu, 2015).

Standart Yağış İndisi bir istasyondaki yağışın kümülatif olasılığını kullanmaktadır. Normalde bu indisin kullanımı, 1 yıldan az yağışların normal dağılıma uymamaları nedeniyle oldukça zordur. Bu sebeple, yağış dizilerinin normal dağılıma uygun hale getirilmeleri gerekmektedir. Ayrıca; kuraklık çalışmalarında güvenilir sonuçlar için, 30 yıllık verilerle çalışılması tavsiye edilmektedir (Topçu, 2013).

Türkiye’de SYİ’ye göre iklimin normal olduğu yıl sayısı en az Güneydoğu ve Ege bölgelerinde görülebilmektedir. Ülkemizde SYİ’ye göre en fazla tekrar eden 2. Kuraklık sınıfı, hafif kurak sınıfı olduğu bilinmektedir. Türkiye’de sadece %2,5’luk oranda ekstrem kuraklık sınıfları (olağanüstü kurak ve olağanüstü nemli) görülmüştür (Şimşek, 2010).

Standart Yağış İndisi ile ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Kokkokoğlu (2006) Türkiye’nin İç Anadolu bölgesinin 1953-2003 arası 50 yıllık verilerini SYİ yönteminde kullanarak, Parametrik ve nonparametrik yöntemlerle de karşılaştırma yapıp, kuraklık süreleri histogramlarına uygunlukları analiz etmiştir. Araştırmacı, nonparametrik Kernel yönteminin iki tepeli histogramlar için uygun olduğunu tespit ettikten sonra, örnek dönüş periyodu hesapları yaparak çeşitli sonuçlar üretmiştir.

Kıymaz vd. (2011) Seyfe gölü için, ellerindeki verileri 16’şar yıllık iki döneme ayırarak SYİ yöntemiyle meteorolojik kuraklığını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, Kırşehir ilinde gelecekte su stresinin artacağını belirtmektedirler.

Sattari vd. (2011) YSA ve SYİ kullanarak geleceğin kuraklık tahminini yapmışlardır. 1975-2009 yılları verilerini Karaman İli için kullanan araştırmacılar; YSA girdisi olarak SYİ verilerini kullanmışlardır. Ayrıca En iyi YSA modelini seçebilmek için ise; ortalama kareler hatası ve doğrusal korelasyon katsayısı gibi yöntemleri kullanmışlardır. Sonuçta; gelecekteki SYİ’leri belirlemede, YSA modellerinin tahmin başarılarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Yetmen (2013) SYİ yöntemini kullanarak Türkiye’nin kuraklık analizini yapmıştır. Sonuçta Türkiye’deki en kurak zamanlardan biri olan 2008 yılının; kış mevsiminde Ege, Trakya ve Antalya’da, sonbaharda Ordu sahilleri ve Kırklareli’de, ilkbaharda ise Kapadokya, Gelibolu, Artvin çevresinde ve Güneydoğu Anadolu’da kuraklıkların yaşandığı belirtilmektedir.

Doğan (2013) Konya kapalı havzasında; SYİ, Normal Yağışın Yüzdesi, Efektif Kuraklık İndisi (EKİ), Yağış Kuyrukları (YK), Z-Skoru ve Çin Z İndisi (ÇZİ) yöntemlerini kullanarak, havzada 196 kez kuraklık tespit etmiş ve 1972-2009 yılları arasında incelediği 444 aylık periyodun %35'nin kuraklıkla geçtiğini belirtmiştir.

Dinç vd. (2016) Antalya'da SYİ ile 1970-2014 uzun yıllık yağış verileri kullanılarak, meteorolojik kuraklık analizi yapmışlardır. SYİ değerlerinde azalma gözlenmeyip, SYİ'nin kuraklık sınıfının normal olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Meresa vd. (2016) SYİ, Standart Akış İndisi, Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) yöntemlerini ve HBV hidrolojik yağış-akış modelini kullanarak gelecekteki iklimi tahminlemiştir. Çalışmaları sonucunda; gelecekte SYİ ve SAI'nin daha ıslak bir iklim tahminlediğini buna karşılık SYEI'nin daha kurak bir iklim öngördüğü belirtilmektedir.

Standart Akış İndisi ile ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Duan ve Mei (2014), iklim modeli ve senaryoları ile hidrolojik model kullanarak, tüm kuraklık çeşitlerini kıyaslamışlardır. Çin'deki Huai nehir havzasında, 2000 ve 2100'e gelene kadarki 40'ar yıllık periyotlardaki kuraklık değişimlerini inceleyen araştırmacılar; Standart Toprak Nemi İndisi (SSWI), SYİ ve Standart Akış İndisi yöntemlerini kullanmışlardır. Ayrıca; Meteorolojik kuraklığa kıyasla, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların bölgede daha istikrarsız (tehlikeli) olduğunu tespit etmişlerdir.

Bakanoğulları ve Yeşilköy (2014) Çatalca'daki Damlıca havzasındaki 27 yıllık yağış ve 25 yıllık akım gözlemlerini SYİ ve SAI yöntemleri içerisinde kullanarak hidro-meteorolojik kuraklığı incelemiştir. Çalışmaları sonucunda, 1990 yılını aşırı hidrometeorolojik kurak yıl olarak; 1983 ve 1985 yıllarını aşırı meteorolojik kurak yıl olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca; 1980-2006 yılları arasındaki verilere göre; Damlıca havzasının yıllık ortalama akım, yağış yüksekliği ve yüzey akış katsayısını sırasıyla 53 mm, 709 mm ve %3 olarak tespit etmişlerdir.

Leng vd. (2015) SYİ, SAI (Standart Akış İndisi) ve Standart Toprak Nemi İndisi (SSWI) yöntemlerini kullanarak iklim değişikliğinin hidrometeorolojik ve tarımsal kuraklıklar üzerine olan etkilerini belirlemiştir. Araştırmacılar; çalışmalarında ayrıca, 5 küresel iklim modelini, RCP 8.5 senaryosunu ve Değişken İnfiltrasyon Kapasitesi (VIC) hidrolojik modelini de kullanmışlardır.

2.3. Bitki-İklim Modelleriyle Verim Tahmini

Bir olayın; analitik (uygulamalı) modellerle formülizasyonuna simülasyon (o olayın benzetimi) denmektedir. Simülasyon modelleri; ekosistemlerin ampirik yapılarını oluşturmaktadır (Havza-taşkın bilgisayar simülasyon modeli gibi). Oluşturulan bu yapay ekosistem; değişik iklim koşullarının, seçilen farklı bitkilerin verimlerini değiştireceği varsayımına dayanmaktadır. Modeller; gerçek durumları, bazı yaklaşımlarla simüle ederek gelecekteki durumun tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır. Modellerin bitki verimlerini doğru tahminleyebilmesi oldukça zordur. Çünkü; bitki verimini etkileyen çok sayıda ve karmaşık ilişki değişkenleri vardır. Bu değişkenlerden bazıları; sulama, gübreleme, ekim (dikim) ve ilaçlama gibi kültürel faaliyetlerdir. Bu faaliyetlerin tarihlerindeki değişiklikler de verimi çok etkilemektedir (Pamuk ve Özgürel, 2005). Farklı bitki-iklim modelleri aynı bölgede bile çok farklı sonuçlar tahminleyebilmektedir. Çünkü; her modelin parametrelerinin etki derecesi farklı olabilmektedir. Açık kodlu modellerde verileri kullanmak oldukça zor olmaktadır (Çaylak, 2015).

İlk bitki iklim modeli, Brouwer ve Wit tarafından 1969 yılında geliştirilmiştir. 1975’li yıllarda hidrometeorolojik değişkenlerle basit denklemler kullanarak, bu çalışmalar hızlanmıştır. 1980’lerden sonra; genel bitki tahminlerindense, spesifik bitkiyi derinlemesine analiz etme çabaları başlamıştır. Dünya’da 1990’larda bilgisayar destekli bitki iklim simülasyon modelleri yaygınlaşınca, ülkemizde de bu konuya ilgi başlamıştır. Ülkemizde; iklim-bitki verimi ilişkisiyle ilgili çalışmaların 1990’lara dayandığı görülmektedir. Yine de; aşırı veri ihtiyacından dolayı, ülkemizde bitki iklim modeliyle yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır (Çaylak, 2015).

Bitki veriminin matematiksel terimlerle %100 doğrulukla tahminlenmesi imkansızdır. Çünkü verim; toprak, bitki ve hava gibi, biyotik-abiyotik faktörlere bağlıdır. Ampirik bitki iklim modelleri, regresyon eşitlikleriyle ifade edilerek gözlenen verilere dayanmaktadır. Bitki verim modelleri non-lineerdir. Bitki iklim modellerinin yeni versiyonlarının geliştirilebilmesi için; tarımcılar, hidrometeorolojistler, biyologlar ve bilgisayar mühendislerinin ortak çalışmaları gerekmektedir (Çaldağ, 2009).

Bazı bitki iklim modeli örnekleri; Aquacrop, CropSyst, CERES, SIMWASER (Simulation von Wasser und Ertrag), EPIC ve SWAP’tır (Koç, 2011; Çaldağ, 2009). Çizelge 2.7’deki gibi popüler çoğu bitki iklim modellerine, ücretsiz ulaşılabilmektedir.

Çizelge 2.7. Bazı bitki iklim modelleri ve onlara erişilebilecek internet adresleri (Palosuo vd., 2011)

Bitki iklim modeli	İnternet erişim adresi
WOFOST	http://www.wofost.wur.nl
DSSAT	http://www.icasa.net/dssat/
CROPSYST	http://www.bsyse.wsu.edu/CSSuite/CropSyst/index.html
HERMES	ckersebaum@zalf.de
STICS	http://www.avignon.inra.fr/agroclim_stics_eng/
DAISY	http://code.google.com/p/daisy-model/
APES	http://www.apesimulator.it/default.aspx
FASSET	http://www.fasset.dk

Bitki iklim modelleri, tanımlamalı ve açıklamalı olarak ikiye ayrılabilir. 1980'lerde tanımlamalı modeller, yerlerini açıklamalı modellere terk etmiştir. 1980'li yıllardan sonra bilim adamları, artık tüm bitki çeşitlerini barındırıp genel tahminlerde bulunan modeller yerine, spesifik bitkiler üzerine yoğunlaşarak çok az sayıda bitkiyi derinlemesine analiz eden modeller geliştirme üzerine düşünmeye başlamışlardır. Bu tarz spesifik modellerden biri olan CERES-Wheat modeli, 1984'te Ritchie ve Otter tarafından geliştirilmiştir. CERES-Wheat, solar radyasyona ve CO_2 'ye karşı oldukça duyarlıdır. CERES-Wheat, DSSAT bitki iklim model grubuna dahildir. CERES-Wheat modelinin; anlaşılır bir ara yüze sahip olması, çeşitli bitkiler için simülasyon yapabilme özelliği ve popüleritesi sebebiyle bu modelle ilgili çok sayıda yayına ulaşılabilmektedir. Fakat modelin kapalı kodlu olması onun en büyük dezavantajıdır (Koç, 2011; Çaldağ, 2009; Çaylak, 2015).

Çeşitli bitki iklim modellerinin kendi arasında kıyaslanmasıyla, elde edilen sonuçlar şöyledir: Bitki iklim modellerinin maksimum kök gelişimi tahmin değerleri, büyükten küçüğe doğru kabaca şu şekilde sıralanabilmektedir; DAISY, STICS, FASSET, WOFOST, DSSAT ve HERMES'dir. Yaprak alan gelişimi ve Güneş ışığı emilimi açısından (fotosentez açısından) DSSAT, CROPSYST ve APES modellerinin nispeten kolay ve başarılı olduğu; güneş ışığı özümlemesinde WOFOST, DAISY ve HERMES modellerinin daha güvenilir olduğu söylenebilmektedir. CROPSYST ve HERMES'in tahıl dolumu süresi tahmin sonuçları diğer model sonuçlarından daha kısa olmaktadır. Bitki iklim modellerinin farklı sonuçlara ulaşmasının sebeplerinden bazıları da; bitki su alım dağılımının değişimine neden olan etmenlerden ve modellerin kullandıkları ET eşitliklerinden (Penman Monteith, Priestley Taylor ve M. Turc gibi) kaynaklanabilmektedir (Palosuo vd., 2011).

Model başarısı sorgulandığında örneğin; dünya genelinde 280'e yakın verim değerleriyle CERES-Wheat model tahminleri karşılaştırılarak, modelin dane verimi tahmin

başarısının %60 olduğu tespit edilmiştir. SUCROS (Simple and Universal Crop Growth Simulator), AquaCrop, WOFOST ve CropSyst modelleri; su kullanım etkinliğini belirlemek için de kullanılabilir. AquaCrop'un sulama çalışmalarında, CropSyst'in yağışa bağlı tahminlemelerde ve WOFOST'un ise kuraklık altındaki şartlarda daha başarılı sonuçlar ürettiği bilinmektedir (Çaylak, 2015).

Bitki iklim modellerinden beklenen güvenilir sonuçların alınabilmesi için; bitki boyu, yaprak alan indeksi (LAI), gübre-sulama-tohum miktar ile sayıları gibi verilerin alındığı doğrudan arazi ölçümleri kullanılmalıdır. Arazi ölçümleriyle elde edilen bazı değişkenlerin sağlanması için, UA teknolojilerine başvurulabilmektedir. Bitki fenolojik değişimlerinin uzaktan algılama ile takip edilmesi çalışmaları, 1980'li yıllardan sonra yoğunluk kazanmıştır. UA-WOFOST, UA teknolojisinin WOFOST'a entegre edilerek kullanılmış halini ifade etmektedir (Çaylak, 2015; Huang vd., 2016).

Disiplinlerarası araştırma sonucu geliştirilen WOFOST modeli, kuraklıkla ilgili çalışmalarda oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır. Üretimi azaltabilen çeşitli faktörler, çoğu bitki iklim modelinde dikkate alınmamaktadır. Buna rağmen; bitki iklim model sonuçlarının güvenilir olduğu düşünülmektedir. Yine de, farklı bitki iklim modelleri ile de sağlama yapılması oldukça yararlı olacaktır (Koç, 2011).

WOFOST model sonuçlarının sağlanmasının yapılmasında, SWAP ve CERES modelleri kullanılabilir. SWAP ve WOFOST da; potansiyel ET tahmini için Penman Monteith yöntemini kullanmaktadırlar. CERES modeli gibi WOFOST da, mekanik bir modeldir. WOFOST modeli yardımıyla su limitli bitki gelişimindeki; toprak su içeriği, biyokütle ile verim değişimleri grafikleri elde edilip görselleştirilebilmektedir (Koç, 2011; Eitzinger vd.,2004; Hadiya vd., 2018).

WOFOST'un başlıca çıktıları; biyokütle, verim, LAI ve HINDEX değerleridir (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8. Örnek bir bitki iklim modelindeki muhtemel değişkenler (Hadiya vd., 2018)

WOFOST'taki minimum veri ihtiyaçları	WOFOST'ta kullanılacak toprak verileri	WOFOST'taki muhtemel çıktılar
İstasyon adı	Tekstür	Çeşitli iklim ve toprak şartları altındaki verim değişkenliği
Rakım	Organik karbon (%)	Ekim çeşidi ve stratejileri
Enlem	Tarla kapasitesi ($cm^3 cm^{-3}$)	Çeşitli sulama ve gübreleme şartları altındaki bölgesel maksimum verim tahmini
Boylam	Solma noktası ($cm^3 cm^{-3}$)	
Angstrom a sabiti	Doygun nem içeriği ($cm^3 cm^{-3}$)	
Angstrom b sabiti	Hacim ağırlığı ($g cm^{-3}$)	
Minimum ve maksimum sıcaklıklar		
Günlük yağış ve buhar basıncı		
Günlük solar radyasyon ve 10 m'deki rüzgar hızı		
Güneşlenme süresi		
Fenolojik dönem tarihleri (Takvim günü)		

Bitki-İklim modelleriyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Jamieson vd. (1998) Yeni Zelanda'daki 1991-1992 yılları arasında buğday ekili alanlarında 5 bitki iklim modelini kıyasladıkları çalışmalarında; SWHEAT modelinin buğday verimini olduğundan %20 daha az tahminlediğini tespit etmişlerdir. Diğer 4 model tahmininde ise, %10'a yakın oranlarda sapma gözlemişlerdir.

Okay ve Demirtaş (2007), Türkiye ile ilgili yapılan yorumlarda, kışın 2 °C, yazın ise 3 °C artış tahminlerini göz önüne alarak; sıcaklıkların 3 °C değişimi, CO_2 'nin %50 ve %100 artması, durumlarındaki mısır verimlerini incelemiştir. Bursa şartlarındaki CO_2 ve sıcaklık artışlarının, CERES-Maize bitki iklim modelindeki mısır verimlerini de arttırdığını belirtmektedirler. Mısır verimindeki bu artış oranlarının; sıcaklığın 3 °C artmasıyla % 7,2 olduğu, CO_2 konsantrasyonunun %50 artmasıyla ise %59,5'lik mısır verim artışı olduğu tespit edilmiştir.

Doğan vd. (2008) iklimsel değişkenlerin nohut verimine etkisini DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) modeliyle tahminlemiştir. Bitki verimi, bitki su tüketimi (ETc) ve biyokütle değişkenlerinin; minimum ve maksimum sıcaklık değişimlerine tepkisinin sonuçlarını da araştıran araştırmacılar; maksimum sıcaklıkların yükselmesinin; bitki

verimi ve biyokütüde %35'lere yakın artışlara sebep olurken, ETC'nin %10'lar oranında artmasına neden olabileceğini iddia etmektedirler. Araştırmacılar; sıcaklık ve karbondioksitin birlikte artmasının nohut verimini arttıracakını fakat sıcaklık artışı sebebiyle nohutun %10 daha fazla su tüketme eğilimine gireceğini belirtmektedirler.

Çaldağ (2009) NDVI ile BDG (Büyüme Derece Gün) arasında doğrusal olmayan ama yüksek korelasyon tespit etmiştir. Kırklareli ile Edirne'de kışlık buğday veriminin sırasıyla ortalama %9, ve %30 artacağını, Tekirdağ'da %13 oranında azalacağını belirtmektedir.

Kapur (2010) TERCH-RAMS iklim modeli sonuçlarını kullanarak; gelecekte yağışların ortalama %33 azalabileceğini ve ortalama sıcaklıklarda 3 °C'lik artış olabileceğini belirtmektedir. Çukurova bölgesinde; farklı sulama, CO₂ ve sıcaklık seviyelerinin Adana-99 buğday çeşidine etkilerini incelemiştir. Çalışması sonucunda; artan 1 °C'lik sıcaklığın çiçeklenmeye kadar olan süreyi 5 gün, olgunluğa kadar geçen süreyi 9 gün kısalttığını belirtmektedir. Ayrıca kuraklık yüzünden kardeş sayısında % 10'luk azalmalar olabilirken; CO₂ artışının, kardeş ve başak sayısını sırasıyla yaklaşık %70 ve %15 oranlarında arttırdığı belirtilmektedir.

Palosuo vd. (2011) kolay ulaşılabilmeyen yaygın kullanılan 8 adet (WOFOST, DSSAT, CROPSYST, DAISY, HERMES, STICS, APES ve FASSET) bitki iklim modeli kullanarak, Avrupa'nın 8 farklı bölgesinde (Çekya, Slovakya, Türkiye, Almanya ve Danimarka ülkeleri içerisindeki) 49 gelişme sezonu boyunca kışlık buğday için model performanslarını kıyaslamışlardır. Çalışmaları sonucunda, hiçbir modelin kusursuz şekilde verimi tahminleyemediğini belirtmektedirler. En güvenilir verim tahminini DSSAT ve DAISY (agreement index'leri en yüksek çıkmasıyla birlikte root mean square error-RMSE'leri en küçük çıktığı için) modellerinin yaptığını; gerçek verimden oldukça büyük tahmin yapan WOFOST, STICS ve HERMES modellerinin aksine, CROPSYST modelinin oldukça düşük verim tahminlediğini belirtmişlerdir. Bitkinin toprak üstü organlarını tahminlerken; APES, DAISY, HERMES, STICS ve WOFOST modellerinin yüksek biyokütle değeri tahminlediğini buna karşılık CROPSYST, DSSAT ve FASSET modellerinin daha küçük biyokütle değeri tahminlediğini belirtmişlerdir. Sonuçta; yüksek hasat indeksi tahminleyen modeller sırasıyla DSSAT, FASSET, HERMES ve WOFOST modelleri, APES ve DAISY ise düşük hasat indeksi ürettiği sonucuna ulaşmışlardır. Buğdayın fenolojik dönem tahminlerinde ise şaşırtıcı şekilde değişken sonuçlara ulaşmışlardır. HERMES modelinin olgunluk dönemini, APES modelinin ise çiçeklenme dönemini yaklaşık 2 haftalık sapmalarla tahminlediğini farketmişlerdir.

Çaylak (2015) iklim değişikliği sebebiyle Kırklareli’de buğday veriminde meydana gelebilecek değişimleri incelemiştir. ECHAM5 ve RegCM4 iklim modellerinin sonuçlarını kullandığı çalışması neticesinde; buğday veriminin 5 °C sıcaklık artışına %36’lık verim kaybıyla cevap verdiğini, ve CO₂ ile solar radyasyonun ise buğday veriminin artmasına neden olduğunu belirtmektedir.

WOFOST modeli ile ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Eitzinger vd. (2004) Avusturya’da, 2000-2001 yılları arası kışlık buğday ve yazlık arpa için, CERES, SWAP ve WOFOST modellerini kullanmış ve TDR ile toprak su içeriğini belirlemiştir. Çalışmaları sonucunda; WOFOST modelinin aksine, CERES ve SWAP modellerinin buğday ile arpanın tane verimlerini daha başarılı tahminlediğini tespit etmişlerdir. Her 3 modelin de; toplam toprak nemini başarılı şekilde tahminleyemediğini belirten araştırmacılar, modellerin toprak nem azalışlarını gerçeğin üstünde öngördüğünü belirtmektedirler.

Koç (2011) iklim değişikliğinin Kırklareli’de kışlık buğday bitkisinin gelişimine (verimine) olası etkilerinin WOFOST bitki iklim modeliyle araştırılmasını amaçladığı çalışmasında, 2009-2010 buğday gelişme dönemi için arazi ölçümü ve gözlemleri yaparak WOFOST modeliyle buğday gelişimini benzetmiştir. Araştırmacı sonuç olarak, 2009-2010 yılına ait yağış verilerine göre yağışta meydana gelebilecek %10–30 azalmayı modellediğinde, yağıştaki azalmanın verim üzerinde anlamlı etkisinin olmayacağını fakat %40 oranındaki yağış azalışının verimde 5 kg/ha’lık azalışa sebep olabileceğini belirtmektedir. Ayrıca sıcaklıkta 2 °C ve radyasyonda %10 oranındaki artış, verimin %23 artmasına; sıcaklıkta 2 °C ve radyasyonda %12 oranındaki artışın ise, verimin %37 oranında artmasına sebep olacağını belirtmektedir.

Koç (2011) ayrıca, ECHAM5 iklim modelinin A2 senaryosunu kullanıp, WOFOST modelinin de yardımıyla iklim değişikliğinin tarıma etkisini incelerken; seçilen bitkiler için WOFOST’un kalibrasyonunu da yapmıştır. Modelin kalibrasyonun öncesi maksimum LAI değeri gerçeğe kıyaslandığında hata oranı %63’lerdeyken kalibrasyon sonrası bu oran %0,2’lere düşürülmüştür.

Konukcu vd. (2020); AquaCrop ve WOFOST modellerini kullanarak, iklim değişikliğinin buğday verimine etkisini Trakya Bölgesi’nde incelemiştir. Bu amaçla; RegCM3 iklim modeli ve A2 senaryosunu kullanarak, bölgedeki üç farklı tarlanın buğday

verimlerini kullanıp; kısa, orta ve uzun dönem tahminleri elde etmişlerdir. Sonuçta, Akıncılar mevkisi için; AquaCrop modeli ile yaklaşık %50 verim artışı, WOFOST modeli ile yaklaşık %40 verim artışı tespit edilmiştir.

Tüm literatür analiz edildiğinde, bitki iklim modeli çalışmalarında; yeni geliştirilecek modellerin spesifik bitkiler için geliştirilmesinin, elde edilen sonuçların farklı modellerle de sağlamanın (doğrulamasının) yapılmasının ve arazi ölçümlerinin zor olduğu durumlarda UA teknolojilerinden yararlanılmasının oldukça faydalı olacağı anlaşılmaktadır.

2.4. İklim Değişikliği

Bu bölümde; iklim değişikliğinin, sebep olduğu afetler ve tarım-su kaynakları üzerine etkisi anlatılacaktır. Ayrıca; Dünya’da iklim değişikliğine uyum ve önleme çabalarının tarihsel süreci anlatılacaktır. Dünya’da iklim değişikliğiyle ilgili sözleşme ve protokoller anlatılarak, iklim değişikliğinden etkilenecek başlıca ülkeler anlatılacaktır.

Fiziki Coğrafya’nın çalışma alanlarından biri olan klimatolojinin amacı, yeryüzündeki iklim tiplerini belirleyerek bu iklim tiplerinin yayılış alanlarını tespit etmektir. Ayrıca klimatoloji, iklimin doğa ve insan üzerine etkilerini de araştırmaktadır.

Klimatolojiyi alansal olarak, mikro-mezo-makro klimatoloji olarak ayırabilirken; uygulamalı olarak istatistiksel-sinoptik-tarımsal-hidro klimatoloji gibi sınıflara ayırmak mümkündür. Örneğin; hava tahmini yapmak, sinoptik klimatolojinin konusudur. Hidroklimatoloji, havzalara düşen yağış ve onların durumuyla ilgilenirken; bitki yetiştirme uzunluğu ve fenolojik dönemler ile iklimin ilişkisini tarımsal klimatoloji araştırmaktadır (Yalçın vd., 2005).

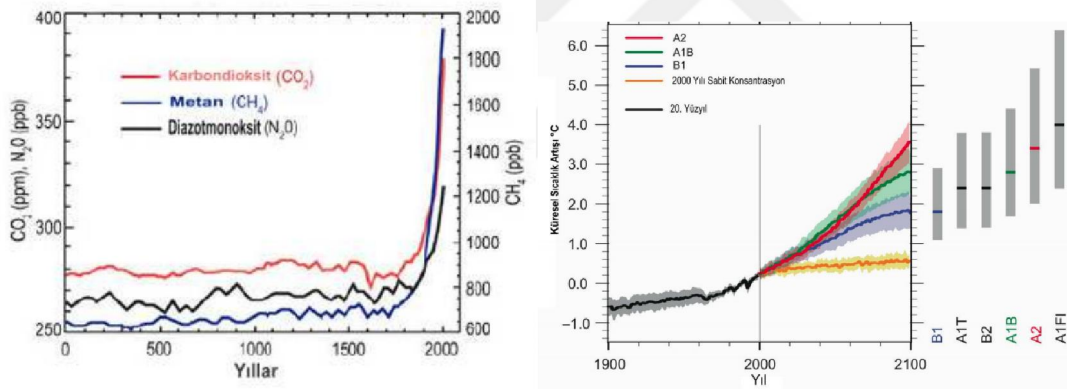
Dünyada görülen iklim tiplerinden bazıları; Akdeniz, Ekvatorial, Muson, Tropikal, Tundra, okyanus, kutup ve çöl iklimleridir. İklim farklılıklarının çeşitli afetlere sebep olduğu bilinmektedir. Örneğin; atmosfer (klimatolojik-hidrometeorolojik) kökenli afetlerden bazıları; sel, kuraklık, fırtına, çığ ve tipidir.

Sanayi devriminden sonra toplumlar iklim değişikliğini daha da şiddetlendirici eylemlerde bulunmuşlardır. Bugünden itibaren atmosfere hiç sera gazı salınımı yapılmazsa dahi, 20’şer yıllık periyotlar boyunca 1’er °C hava artışları yaşanmaya devam edebilecektir. İklim değişikliği çalışmalarında, iklim senaryolarının kullanılması çok faydalı olmaktadır. İklim

senaryoları, geleceğin tahmin edilmesi olmayıp, olması muhtemel alternatif durumlardır. İklim senaryoları yardımıyla iklim değişikliği çalışmaları kapsamında; su bütçesi, don takvimi ve iklim diyagramı oluşturulabilmektedir.

Canlı faaliyetleri sebebiyle atmosferde sera gazlarının artması sonucu yeryüzündeki yapay sıcaklık artışına küresel ısınma denir. Küresel iklim değişikliği sebebiyle de yağış, sıcaklık, kuraklık ve sel gibi iklimsel etmenlerin düzensizleşerek değişmesi olayına ise iklim değişikliği denmektedir. İklim değişikliğinin başlıca kaynağı da sera gazlarıdır (Soylu ve Sade, 2012).

İklim değişikliğiyle ilgili olarak, son yüzyıldaki karbondioksit konsantrasyonları, büyük oranda artış göstermiştir. Aynı yüzyılın son çeyreğindeki sıcaklık artışları da dikkat çekmektedir ve iklim senaryoları sonuçlarına göre, gelecekteki yüzyılda da bu artışların artarak devam etmesi beklenmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Sera gazı konsantrasyonları ve iklim senaryoları (Çelik vd., 2008)

Bitki gelişimindeki gerilemeler, deniz seviyesi yükselmeleri ve kar örtülü alanların azalması iklim değişikliğinin ayak sesleridir. İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında, CO_2 yutak alanlarının genişletilmesi gerekmektedir. CO_2 gibi sera gazlarındaki artışlar, küresel ısınmayı şiddetlendirerek hayvanları da oldukça etkilemektedir. Bir milyondan fazla tür sayısına sahip olmaları nedeniyle böcekler, dünyadaki en büyük canlı grubudur. Küresel ısınma, böceklerin lehine bir durumdur. İklim değişikliği sebebiyle kış sıcaklıklarının da artması beklendiği için böcek popülasyonunda ciddi artışlar görülebilecektir. Bu sebeple yakın gelecekte, iklim değişikliği etkisiyle zararlı böcekler çoğalıp bitkilerin verim kaybına yol açabileceklerdir.

Kuraklıktan etkilenme dereceleri belirlenirken; iklim değişikliğinin sağlık, gıda ve su üzerindeki etkileri analiz edilerek, orijinal kuraklık indisleri geliştirilip daha geniş kapsamlı ve sosyoekonomik analizler yapılabilmektedir. Dünya ölçeğinde (Geniş alanlarda-kapsamlı) uygulanabilen bu tarz indisler yardımıyla, ülke ölçeğinde iklim değişikliğine hassasiyet incelenebilmektedir. Bu çalışma konusu ise politika ile doğrudan ilişkili ve çok önemlidir. Gelişmekte olan tarım ülkeleri, gelişmiş sanayi ülkelerine kıyasla iklim değişikliğine karşı daha hassastır. Gelişmiş sanayi ülkeleri atmosfere sera gazı salmaya devam ettiği sürece bu durum, tarım ülkelerinin felaketine sebep olabilecektir. Böyle yapay sebeplerin yanında, doğal atmosferik değişimler de tarıma zarar vermektedir. Yağış ve sıcaklık değişimlerinin, bitkinin kritik fenolojik dönemlerine rastlaması, verimi ciddi oranda düşürebilmektedir. CO_2 konsantrasyonundaki artışlar da bazı bitkileri çok etkileyecektir. Bu sebeplerle; iklim değişikliği, tarım ve politika arasında sıkı ilişki bulunmaktadır.

Tüm sera gazları içerisindeki oranının %40'lara yakın olduğu düşünülürse CO_2 en önemli sera gazı olarak nitelendirilebilmektedir. Bu sebeple, CO_2 -bitki ilişkisi incelenmesi gereken bir etkileşimdir. Tarımsal üretimin zarar görmesi, gıda fiyatlarının yükselmesine dolayısıyla açlık ve çatışmalara sebep olabilecektir. Bu sebeple kuraklık-gıda güvencesi ilişkisi de gelecek vadeden çalışma konularındandır (Atay, 2015).

Tarım, atmosfere en çok sera gazı salan 3. sektördür (Çizelge 2.9).

Çizelge 2.9. 2004'teki insan kaynaklı sera gazı dağılım oranları (Arıkan ve Özsoy, 2008)

Sektörler	Sera gazı dağılım oranları (%)
Enerji temini	26
Sanayi	19
Tarım	17
Ormançılık	17
Ulaşım	13
Binalar	8
Atıklar	3

İklim değişikliğiyle mücadelede; trafik yönetimi, yüksek verimli kömür, hidrojen üretim ve kullanımı, nükleer enerji kullanımı, akıllı ulaşım sistemleri, akıllı binalar, tarımda biyokütle, rüzgar ve güneş enerji sistemlerinin kullanılması ön plana çıkmaktadır (Arıkan ve Özsoy, 2008).

İklim değişikliğinin; dünyadaki politika (siyaset) ile yakın ilişkisi sebebiyle, çeşitli protokol ve sözleşmeler imzalanmaktadır (Çizelge 2.10).

Çizelge 2.10. Kyoto Protokolü ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)'nin karşılaştırılması (Arıkan ve Özsoy, 2008)

Kyoto Protokolü	UNFCCC
İklim değişikliğiyle ilgili bilinen etkili anlaşmalardan önemlilerindendir (İçerisinde esneklik düzenlemeleri mevcuttur).	Tüm iklim görüşmelerinin temel metnidir.
İçerisinde sera gazları tanımlanmıştır.	İçerisinde sera gazları tanımlanmamıştır.
Yaptırım gücü vardır.	Yaptırım gücü zayıftır.
iklim değişikliğine uyum konusuna değinilmemiştir.	iklim değişikliğine uyum konusunda fikirler vardır.
Protokolün yürürlüğe girebilmesi için ¾ oranında üye ülke onayı gerekmektedir.	Karar alma organlarına sahiptir.

UNFCCC; atmosferdeki sera gazı birikimlerini ve onun iklim sistemi üzerindeki tehlikeli etkisini durdurmayı başarmak, şeklinde çok genel amaçlar içerirken; Kyoto protokolü ise, somut hedef ve adımları içeren ilk iklim değişikliğiyle mücadele çalışmalarındandır (Arıkan ve Özsoy, 2008).

Kyoto Protokolü'nün eksik yönlerinden birisi; iklim değişikliğine uyum konusunda hiçbir öngörü ve planlamaya yer vermemiş olmasıdır. Halbuki; sera gazı salınımlarını kontrol ederek iklim değişikliği ile mücadele kadar, iklim değişikliğine uyum da bir o kadar önemlidir. İD'ye uyumun önemi 2000'lerde anlaşılmiş olup, IPCC'nin 3. Değerlendirme raporunda da bu konuya değinilmiştir (Arıkan ve Özsoy, 2008).

Kyoto Protokolü ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)'nde alınacak kararlar genelde, ülkeler arasındaki siyasi ilişkilere ve güçlü ülkelerin fikirlerine göre şekillenmektedir. İklim değişikliğinin sonuçlarından şiddetle etkilenecek küçük ada ülkeleri ve AB ülkeleri, iklim değişikliği ve sera gazı salınım konusunda kararlı politikalar izlese de; Rusya ve ABD'nin 2000'lerden sonra Kyoto protokolüne uymamaya başlaması, iklim değişikliğiyle birleşik mücadeleyi zayıflatmaktadır. Bu yüzden son zamanlarda iklim değişikliğiyle mücadele çalışmaları oldukça karmaşıklaşmıştır (Arıkan ve Özsoy, 2008).

Ayrıca; bazı ülkelerin bu çeşit iklim değişikliğiyle ilgili anlaşma ve protokollere girmemelerini, onların ihmalkarlığından değil, iklim değişikliğiyle mücadele konusunda onlara teklif edilen yaptırımları hazmedemediklerinden kaynaklandığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

İklim; atmosfer, insanlar, buzullar, kara ve deniz yüzeyleri arasındaki etkileşim sonucu şekillenmektedir. Sera gazı konsantrasyonlarının artması ve yerkürenin ışınlam dengesinin değişmesi, iklim değişikliğinin başlıca sebeplerindendir. Doğal bir süreç olan sera etkisi

sebebiyle, 33 °C daha sıcak bir dünyada yaşamaktayız. Doğalgaz, petrol ve kömür gibi fosil yakıtların kullanılmasıyla, yeraltındaki C molekülü atmosferdeki oksijen ile birleşip, sera gazlarından biri olan CO_2 'yi oluşturmaktadır (Arıkan ve Özsoy, 2008).

Sera gazları dünya'da 17. yy'dan itibaren araştırılmaktadır. CH_4 , Azot dioksit ve CO_2 gibi gazların atmosferin sera etkisini arttırabileceğinin farkedilmesi 1970'lere dayanmaktadır (Arıkan ve Özsoy, 2008).

Atmosferdeki farklı sera gazlarının, çeşitli dönemlere göre değişen miktarları Çizelge 2.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.11. Atmosferdeki sera gazı değişimleri (Arıkan ve Özsoy, 2008)

	Sanayi öncesi atmosferik birikim değeri	2005 atmosferik birikim değeri	1750-2005 toplam artış (%)
CO_2	280 ppm	380 ppm	35
CH_4	715 ppb	1775 ppb	148
N_2O	270 ppb	320 ppb	18

Metan, diazot monoksit, kükürt dioksit ve sülfür gazlarını tarım sektörünün; florine gazını soğutucu aletlerin ve CO_2 'yi de çimento fabrikalarının ürettiği bilinmektedir. İlginç bir şekilde; çölleşme sonucu küresel ısınma azalabilmektedir. Çünkü, atmosfere karışan çöl tozları güneş enerjisini kırmaktadır (Kapur, 2010).

Farklı afet türlerinin alt çeşitlerine Çizelge 2.12'den ulaşılabilir.

Çizelge 2.12. Bazı afetlerin sebeplerine göre sınıflandırılması (Türkeş ve Deniz, 2010)

Afetin kaynağı (sınıfı)	Afetin ana çeşidi	Afetin alt çeşidi
Klimatolojik	Kuraklık, ekstrem sıcaklıklar ve yangınlar	Hidrometeorolojik ve tarımsal kuraklık
Meteorolojik	Fırtına	Hortum ve siklonik hareketler
Hidrolojik	Taşkın	Sel
Biyolojik	Böcek istilası ve salgın hastalıklar	Viral-Fungal-Bakteriyel enfeksiyonlar
Jeofiziksel	Deprem	Tsunami
	Kuru kütle hareketi	Heyelan ve çığ
	Volkan	Zehirli gaz ve lav püskürmesi

İklim değişikliğinin bazı kanıtları; yağış azlığı, yüksek sıcaklık, deniz seviyesi yükseklikleri ve doğadaki aşırı değişikliklerdir. İklim değişikliği sebebiyle; biyolojik çeşitlilik azalabilirken, toprağın fiziksel özelliği iyileşebilmektedir (Balkan, 2017; Saygılı, 2017).

İlk çağlarda 275 ppm civarlarındaki CO_2 konsantrasyonu, son yıllarda 380 ppm'lere yaklaşmıştır. Bu durum, son yıllarda dünyanın ortalama sıcaklığının 5 °C'lere kadar artmasına neden olmuştur. CO_2 konsantrasyonu 2030'larda iki kat artmış olursa, denizlerdeki yükseliş yaklaşık 20 cm olabilecektir. Sektörel bazda düşünöldüğünde; tarım, endüstri ve enerji sektörleri atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarını arttırmaktadır (Çelik vd., 2008).

Kuzey Kutbu'na 2030'larda eylöl ayında gidildiğinde, hiç buz görölmemesinin muhtemel olduğu belirtilmektedir. Sibirya'nın donmuş turbalık alanlarında da erimelerin başladığı bilinmektedir. Gelecekte bu donmuş toprakta hapsolmuş olan metan gazının atmosfere karışmasıyla iklim değişikliğinin şiddetlenmesi beklenmektedir. İklim değişikliği sebebiyle artacak sıcaklıklar buğdaygilleri hızlı geliştirecek fakat tane bağlama için daha az zaman kalacağı için verim düşüşleri yaşanabilecektir (Balkan, 2017).

İklim değişikliğinin taşkın ve kuraklıkları nasıl etkileyeceğine dair fikir birliği olmasa da, gelecekteki muhtemel sıcak bir iklimin; hidrolojik çevrimi hızlandırıp, şiddetlendirerek daha yoğun ve yağışların dengesiz olacağı bir geleceğe sebep olacağı beklenmektedir (Göncü, 2005).

Küresel ısınma sadece yeryüzeyi sıcaklığındaki artışı belirtse de; iklim değişikliği, hem küresel ısınmayı hem de sera gazı yoğunluğuna sebep olan tüm etmenleri içine almaktadır. İklimi etkileyen faktörler; bitki örtüsü, enlem, yükselti ve yer şekilleridir (Doğan, 2013).

Sera gazlarının dünyanın etrafını kaplayarak enerjiyi koruması ve bir ısınmaya neden olması (Sera etkisi); canlılığın devamı için gerekli olsa da, şiddetli olmaması arzu edilmektedir (Doğan, 2013).

İklim değişikliğine karşı alınabilecek önlemler temelde iki çeşittir. Bunlar; sera gazı emisyonlarının azaltımı ve iklim değişikliğine uyum (Tarımı iklim değişikliğine uydurarak ve depolama tesisleriyle taşkınlara önlem almak gibi) sağlanmasıdır. Tarım sektörü; iklim değişikliğinin hem kurbanı hem de nedenlerinden birisidir. Çünkü; bazı tarımsal faaliyetler iklim değişikliğini tetiklemekte, iklim değişikliği sebebiyle de tarımsal verim düşebilmektedir. İklim değişikliği, su kalitesini bozabilmektedir. Su kalitesi kötü ise de, bitki verimi düşmektedir (Anonim, 2019b).

Bazı popüler sera gazı emisyon senaryolarının, geliştirilme yer ve tarihleri Çizelge 2.13’dedir. Özellikle RCPs senaryoları, güncel olması sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadır (Çizelge 2.13).

Çizelge 2.13. Sera gazı emisyon senaryolarının tarihçesi (Saygılı, 2017)

İsim	Geliştirilme yeri (Hangi IPCC raporunda kullanıldı)	Yıl
SA 90	IPCC 1. Değerlendirme raporunda	1990
IS92	IPCC 2. Değerlendirme raporunda	1992
SRES (Special Report on Emissions and Scenarios)	IPCC 3. ve 4. Değerlendirme raporunda	2000
RCPs (Representative Concentration Pathways)	IPCC 5. Değerlendirme raporunda	2009

Atmosferdeki en önemli sera gazı kaynaklarının başında, CO_2 gelmektedir (Çizelge 2.14).

Çizelge 2.14. Atmosferdeki bazı sera gazı oranları (Şimşek, 2011)

Gaz	Oranı (%)
Karbondiyoksit	75
Metan	15
Azot oksitler	9
HFC’ler ve PFC’ler	1

Atmosferdeki sera gazları; Su buharı (%35-70), CO_2 (%10-25) , CFC (%22), Metan (%5-10), Ozon (%5) ve azot oksitler (%5)’dir. Bu sera gazları ayrıca kendiliğinden de oluşabilmektedir (Balkan, 2017).

Atmosferde yaklaşık; %78 azot, %21 oksijen ve %1 oranında argon bulunmaktadır. Atmosferde CO_2 ’nin 2 kat artmasıyla; yağışta %20’lik, toprak nemi ile akımlarda %50’şerlik dalgalanmalar gerçekleşebilecektir (Şimşek, 2011).

UNFCCC’de iklim değişikliğine hassas ülkeler; küçük ada devletleri, metropol şehir kirliliğinin çok olduğu ülkeler, ekonomileri fosil yakıtlara bağlı olan ülkeler, denize çıkışı olmayan ülkeler ve doğal hidrometeorolojik felaketlere açık ülkeler olarak sınıflandırılmıştır (Arıkan ve Özsoy, 2008).

İklim değişikliği sebebiyle gerçekleşebilecek tehlikeler; kentsel ısı adalarının oluşması, iklimsel hastalıklarda artış ve tarımdaki su-toprak-bitki-hayvan kaybıdır. Bu yüzden, gelecekte tarımsal su yönetimi konusuna önem verilmelidir. Ayrıca, geçim kaynakları (ve beslenme alışkanlıkları) çeşitlendirilmelidir. Kentleşmenin kontrolü, nüfus planlaması ve iklim değişikliğini dikkate alan kalkınma modellerinin oluşturulması ülkelerin bu kapsamdaki görevlerinden diğerleridir (Arıkan ve Özsoy, 2008).

Dünyadaki iklim değişikliği çalışmaları son zamanlarda model tahminleri üzerine yoğunlaşmıştır. Küresel iklim modelleri kullanılarak, sıcaklık ve yağış gibi iklim parametreleri belli çözünürlüklerle tahminlenebilmektedir. İklimle ilişkili bitki modelleri de yaygınlaşarak, bitki bazında özelleşmiş modeller bulunmaktadır. En önemli besin kaynaklarından olan buğday ve çeltikle ilgili çok sayıda model geliştirilmiştir (Çaldağ, 2009).

Son yıllarda daha da önemsenen; insan kaynaklı en büyük afet olan iklim değişikliği ve onun sonucu olan küresel ısınmanın, önemsenmesinin sebeplerinden bazıları da; dünyadaki yağış azalışı ve sıcaklık artışıyla birlikte, buzulların eriyerek deniz seviyelerini yükseltmesi ve bunun sonucunda da Maldiv ve Papua Yeni Gine adaları gibi bazı ada ülkelerini yok olmakla karşı karşıya bırakmasıdır. Çok daha önemli bir başka etkisi ise; yeraltı su kaynaklarının, yükselen tuzlu deniz suyuyla karışmasıdır. Ülkelerin içme suyu ihtiyaçlarını karşılama konusunda adeta bir emniyet sibobu görevi gören yeraltı su kaynaklarının kirlenmesi, canlı hayatını tehlikeye sokabilecek bir konudur (Türkeş ve Deniz, 2010).

Hükümetlerarası iklim değişikliği paneli, iklim değişikliğiyle mücadele ve uyum için Dünya Meteoroloji Örgütü ve BM'nin işbirliği sonucu ilk kez 1988 yılında gerçekleştirilmiştir. 1995 yılında yayınlanan IPCC 2. Değerlendirme raporu sonrasında çok önemli bir anlaşma olan Kyoto protokolü 1997 yılında imzalanarak, 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Yüz doksan civarındaki ülkenin taraf olduğu yasal bağlayıcı Kyoto protokolünün yerini alan Paris anlaşması 2015'te imzalanmıştır. Kyoto protokolüne göre, sanayileşen ülkeler (Ek-I olarak isimlendirilen ülkeler) emisyonlarını azaltmalıdır. Bu gelişmiş ülkelerin 2008-2012 (I. Taahhüt dönemi) içerisinde sera gazı emisyonunu %5 oranında (1990 yılına kıyasla) azaltmaları beklenmektedir (SYGM, 2019).

Kapitalist ülkelerin kendi içlerindeki sanayileşme rekabetlerine, iklim değişikliği konusunu alet etmeleri çok tehlikeli bir davranıştır. Bazı gelişmiş ülkeler, kendilerine rakip gördüğü diğer gelişmiş ülkeleri, aşırı sera gazı salınımı ile suçlayarak sanayileşmelerini azaltmayı hedeflemektedir.

Paris anlaşması; düşük karbonlu bir gelecek oluşturmak amacıyla, bu yüzyıldaki küresel sıcaklık artışını 2 °C'nin altında tutarak, gelecekte de 1,5 °C'lerin altında kalmasını amaçlamaktadır. IPCC'nin değerlendirme raporlarından 1.si 1988, 2.si 1995, 3.sü 2001'de, 4.sü 2007'de, 5.si 2014'te yayınlanmıştır. 6.sının 2022'de yayınlanması planlanmaktadır (Yani, ortalama 7 yıl aralıklarla rapor yayınlanmaktadır). 2007'de ise IPCC'ye Nobel barış ödülü verilmiştir. Türkiye ise; 2004 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)'nin, 2009'da ise Kyoto protokolünün tarafı olmuştur (Paris Anlaşmasını da imzalamıştır) (SYGM, 2019).

Dünya'da, 1 yılda 1 kişi 4 ton CO_2 atmosfere bırakırken; Türkiye'de 6 ton bırakmaktadır. Ülkemizde, Sera gazı emisyonlarının %71'i enerji sektöründen, %13'ü sanayi sektöründen, %7'si tarım sektöründen ve %9'u da atıklardan kaynaklanmaktadır (Odaman Cindoruk vd., 2015).

Tarımda makineleşme arttıkça, sera gazı (CO_2 , SF_6 , CH_4 , $PFCs$, N_2O ve $HFCs$) salımı da yükselmiştir. 2016'nın yaz mevsimi itibarıyla CO_2 miktarının dünya genelinde 407 ppm'lere ulaştığı bilinmektedir. Atmosferdeki CO_2 'nin yarısı, okyanuslarda çözünerek ya da karalara absorbe olmaktadır (Dabanlı, 2017).

İklim değişikliğinin sebep olduğu bazı felaketler şunlardır; seller, kuraklıklar, kıtlık ve sosyoekonomik patlamalar² (Odaman Cindoruk vd., 2015).

Su ve gıda güvenliğinin iklim değişikliğiyle yakın ilişkisi bulunmaktadır. 2080 yılına kadar iklim değişikliğinin, dünyadaki mevcut tarımsal üretimi en az %3 düşürebileceği öngörülmektedir. Gelişmekte olan ülkeler %9, Güney Amerika %13, Afrika kıtası ise %17'lik bir tarımsal üretim kaybıyla karşı karşıya kalabilecektir (Türkeş, M. 2014).

Yetersiz kaynaklarının, eşitsiz paylaşıldığı dünyada ABD yine, uluslararası anlaşmalardan çekilerek iklim etiğini de çiğnemektedir. Bu sebeplerle gelişmiş ülkelere kıyasla gelişmekte olan ülkeler, iklim değişikliği zararlarının yaklaşık %75'ini karşılamak zorunda kalacaktır. Yani iklim değişikliğinden daha çok etkilenenler, fakir ülkeler olacaktır. İklim değişikliği etkisi altında tarımsal verimler özellikle Kuzey Amerika ve Kuzey Avrupa'da bir miktar artabilecektir (Türkeş, M. 2014).

² Su savaşları-kitlesele göçler, biyolojik çeşitliliğin azalması, türlerin yok olması gibi.

İklim değişikliğinden en çok etkilenecek bölgelerin; Kuzey Avrupa, doğu Afrika, Arjantin ve Kanada olacağı tahmin edilmektedir. 2100 yılına kadar ise, güney Avrupa ve Akdeniz havzasında sıcaklıklar 5 °C artabilecektir (Kayam, 2014; Dabanlı, 2017).

Dünya ortalama sıcaklığı geçen yüzyılda 0.8 °C yükselmiş ve gelecek yüzyılda da 5 °C yükselmesi beklenmektedir. Güney yarım küreye kıyasla kuzey yarım küre, 2 kat daha fazla ısınmaktadır. Çünkü; güney yarım kürede okyanusların oranı çokken (okyanuslar, sıcaklık değişimlerini yavaşlatıp tölere edebilmektedir), kuzey yarım kürede karaların oranı çoktur (Topçu, 2013; Doğan, 2013).

İklim değişikliğinden; kuzey Afrika ülkeleri ve ülkemizin de içinde bulunduğu Akdeniz havzasının doğusundaki ülkeler, güney Avrupa ülkelerine kıyasla daha çok etkilenecektir. Akdeniz havzasında 2050'ye kadar sıcaklıklarda 2-3 °C artış, yağışlarda %10-20 aralığında azalma beklenmektedir (Atay, 2015).

2010'larda iklim değişikliğine karşı mücadelenin, UNFCCC ve Kyoto protokolü maddeleri şeklinde iki farklı yoldan devam ettiği anlaşılmaktadır. AB'ye girme sürecindeki bir OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) ülkesi olan Türkiye; 2010'lara kadar sera gazı salınımının azaltılması konusunda hiçbir yükümlülüğe girmemiştir. 2008 yılı itibariyle ABD, Kazakistan ve Türkiye, Kyoto protokolüne taraf değilken; Güney Kıbrıs, Malta, Arjantin, Meksika, Güney Kore ve Belarus Kyoto protokolü kurallarına uymaktadır. 1990'lı yıllarda ülkemizde sera gazı salınımları %75'ler düzeyinde artmış olsa da; raylı ulaşımın yaygınlaştırılması, depolanan atıklardan enerji üretilmesi ve yalıtım sektörünün geliştirilmesi önemli başarılarıdır. Bunlar Türkiye'ye gelecekte olumlu referans olacak konulardır. Sera gazı emisyonunun azaltımı konusunda ülkemizin en makul hedefi, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ve enerji verimliliği olabilmektedir (Arıkan ve Özsoy, 2008).

Dünyadaki nüfusunun %5'ine sahip olan ABD, tek başına atmosfere salınan karbondioksitin %25'inden sorumludur. ABD'yi %23'lük oran ile Çin takip etmektedir. Çin'den sonra ise; bazı AB ülkeleri, Hindistan, Rusya ve Brezilya atmosfere sera gazı salınan ülkeler olarak sıralanmaktadır. Çin ve Güney Kore'den sonra; atmosfere bıraktığı karbondioksit miktarı en fazla artan 3. Ülke Türkiye'dir. Bu sebeple, dünyada oldukça tepki çekmektedir (Balkan, 2017).

Gelecekteki sıcaklık artışlarının Fas ve Yunanistan'da, patates ve buğday gibi bazı bitki verimlerini arttıracacağı, Pakistan'da ise buğday verimini ciddi oranlarda etkilemeyeceği

bilinmektedir. Ayrıca; Türkiye’de bitki verimlerini %4-10 arasında düşürebileceği de belirtilmektedir (Atay, 2015).

Su zenginliği değerinin 1.700 m³/kişi/yıl, su sıkıntısı değerinin 1.000 – 1.700 m³/kişi/yıl, su eksikliği değerinin 1.000 m³/kişi/ yıl ve mutlak su eksikliği değerinin 500 m³/kişi/ yıl olduğu düşünüldüğünde, ülkemizin 2020’lerde yaklaşık 1.000 m³/kişi/ yıl su miktarıyla su eksikliği çekeceği beklenmektedir (Şen, 2016).

Türkiye’nin de içinde olduğu 80’e yakın ülkenin kuraklıktan etkilendiği düşünülmektedir. İklim değişikliği etkisi altındaki ülkemizin Trakya bölgesinde; 2100 yılına kadar sıcaklıklar yaklaşık 5 °C artabilecek (su kaynakları miktarı %40 azalabilecek), 2050 yılına kadar da su kaynakları yaklaşık %30 azalabilecektir. Ayrıca iklim değişikliği sebebiyle Trakya’da; buğday verimlerinin yaklaşık %60’lar seviyesinde artması, ayçiçeği verimlerininse %20’ler seviyesine gerilemesi beklenmektedir. Gelecekte ülkemizde en büyük sıcaklık artışlarının Fırat-Dicle, Seyhan, Ceyhan ve Konya Kapalı Havzaları’nda olabileceği beklenmektedir. iklim değişikliği sebebiyle Ege (özellikle büyük menderes havzası) ve Akdeniz’deki turizm sektörünün zarar göreceği beklenmektedir (İçme suyu sıkıntısı ve aşırı sıcaklar sebebiyle). Bu sebeple kırsal turizme doğru yönelmek mantıklı olabilecektir (Yılmaz ve Yılmaz, 2013).

Kayam ve arkadaşlarının 2002’de yaptıkları bir çalışmada; Ege Bölgesindeki 1970-2000 arası sıcaklık ve yağışlardaki değişimin buğday verimine etkilerini incelenmiştir. Aylık yağışlarda %5 ve %10’luk düşüşler ile aylık ortalama sıcaklıklarda 1 °C ve 2 °C’lik yükselişleri içeren dört farklı iklim senaryosunu analiz etmişlerdir. Nisan ve Mayıs ayı yağışlarının %5 azaldığını, buğday verimlerinde ortalama 13 kg/ha ve %10’luk bir düşüş olduğundaysa 23 kg/ha’lık verim azalması beklediklerini bildirmişlerdir (Kayam, 2014).

Türkiye’de 2014’te; Marmara’daki yığılımlı yağışlar mevsim normallerine göre yaklaşık %35, 2013’e kıyasla %50 düşerken; İç Anadolu’daki yığılımlı yağışlar mevsim normallerine göre yaklaşık %40,5, 2013’e kıyasla %50 düşmüştür. Tekirdağ ve Edirne’de ise NDVI sonuçları normalin üzerinde çıkmaktadır (Anonim, 2014).

Türkiye’de 2017 haziran ayında; İstanbul, Eskişehir, Çanakkale, Düzce, Iğdır, Erzurum, Diyarbakır ve Şanlıurfa’da ortalama sıcaklıklar, normallerin çok üzerinde gerçekleşmiştir. Seyhan havzasında 2100 yılına kadar; aylık ortalama sıcaklıkların 3 °C artacağı, evapotranspirasyonun %15 oranında artacağı ve yıllık yağış miktarının %25 oranında azalacağı tahmin edilmektedir (Kayam, 2014; Anonim, 2017).

Türkiye’de son 50 yılın en sıcak 4. Yılı 2016’dır. 2016 yılında en soğuk ayı -35,1°C ile Aralık’ta Ağrı’da; en sıcak ayı 47,2°C ile Temmuz’da Cizre’de yaşanmıştır. 2016 yılında ülkemizde 1.300’e yakın sayıda, rekor sayılabilecek hidrometeorolojik ekstrem olaylar yaşanmıştır. 2016’da; İstanbul, Eskişehir, Tekirdağ, Antalya, Konya, Diyarbakır ve Erzurum’daki sıcaklık sapmaları 1,5 °C’nin üstünde gerçekleşmiştir. Ülkemizde en sıcak ilk 5 yılın 3’ü 2010’dan sonra yaşanmıştır. Türkiye’nin en sıcak yılı 2010’dur. (Maksimum sıcak hava dalgası 2010’da meydana gelmiştir.) (Coşkun vd., 2017).

İklim değişikliğinin Türkiye’ye etkisi özellikle; biyolojik çeşitliliğe, tarıma, gıda güvencesine, canlı yaşamlarına, su kaynaklarına; doğal afetlere ve insan sağlığına olabilecektir. 20. yy.’ın sonlarına doğru Gediz ve Büyük Menderes Havzalarındaki, yüzey sularının %50’sinin buharlaşması beklenmektedir (Anonim, 2019a).

Türkiye; IPCC raporlarında Orta doğu ve kurak Asya ülkesi olarak gruplandırılmışken; sahip olduğu Trakya bölgesi sebebiyle AB’nin yeşil kitap kapsamında Balkan’lar bölgesinde yer almaktadır (Arıkan ve Özsoy, 2008).

21 yüzyılın ilk yarısında Türkiye’nin batı şehirlerinde yağışlar %25’ler oranında düşebilecektir. Akdeniz, Ege, İç ve Güneydoğu Anadolu’da kuraklıklar 7 aya kadar çıkabilirken; Marmara ve Doğu Anadolu’da 5 ay ve Karadeniz’de 3 ay kuraklık görülebilmektedir. Akdeniz, Ege ve İç Anadolu bölgelerinin kesişim noktasındaki Akarçay havzası ise, kuraklık açısından çok kritik bir bölgedir. Akarçay havzasında 2020’nin sonlarında şiddetli kuraklıklar beklenmektedir. Ayrıca ülkemizde, iklim değişikliğinin etkisiyle, salgın hastalıkların da artması beklenmektedir (Dabanlı, 2017).

Türkiye’deki iklim değişikliği çalışmaları, 1993 yılında ulusal iklim programının hazırlanmasına dayanmaktadır. Sonraki yıllarda, İstanbul ve Ankara gibi büyükşehirlerde iklim değişikliği eğitim seminerleri düzenlenmiştir. 2001’de tarım bakanlığının organize ettiği, iklim değişikliğinin tarım üzerine etkileri paneli gerçekleştirilmiştir. Tüm bunların sonucunda ise; 2004 yılında UNFCCC’ye katılan Türkiye, Gülhane Askeri Tıp Akademisi (GATA)’nın yardımlarıyla küresel ısınma, iklim değişikliği ve sağlık etkileri isimli kitap yayınlamıştır. 2005’te Türkiye, REC isimli iklim değişikliği bülteni yayınlamıştır. TBMM’de 2007 yılında, küresel ısınma araştırma komisyonu oluşturulup; tarımsal kuraklık ve zararlarıyla ilgili bakanlar kurulu kararı alınmıştır. 2008’de ise Türkiye, Kyoto protokolüne katılmaya karar vermiştir (Arıkan ve Özsoy, 2008).

İklim değişikliği, Türkiye’yi güneyden kuzeye doğru olumsuz etkileyerek, deniz seviyelerini yükseltip turistik ada ve yoğun yerleşim merkezlerini sular altında bırakacaktır. Ayrıca; kar erimelerine sebep olduğu için kış turizmine de zarar verecek olan iklim değişikliği, deniz ekosistemini bozması sebebiyle deniz ürünlerini de olumsuz etkileyerek tüm hayvanların sağlığına zarar verecek ve özellikle içme suyu kaynaklarının miktarını ve kalitesini düşürecektir (Orhan, 2014).

İklimle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Göncü (2005), iklim değişikliğinin havza akımlarını yazın %70 azaltıp, kışın %140 oranlarında arttırabileceğini belirtmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği sebebiyle göl hacimlerinin de yazın %13 azaltıp, kışın %20 oranlarında arttırabileceği de ulaştığı diğer sonuçlardandır.

Yıldız vd. (2009) rakım ve iklimi benzer olan alanların homojen ekolojik alan ismiyle nitelendirildiklerini belirterek; Türkiye’deki 265 meteorolojik istasyonun verilerini ve Anuspline yöntemini kullanıp kuraklık indisleri elde etmişlerdir. Sonuç olarak, SRTM sayısal arazi modelinin de desteğiyle Türkiye’nin 37 farklı iklimsel alana sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Kayam (2014) iklim değişikliğinin toprak nemine etkisini belirlemek amacıyla, A1B iklim projeksiyonu sonuçlarını kullanarak Akdeniz havzasındaki Aydın’ın toprak nemini SWAP tek boyutlu modeliyle tahminlemiştir.

Atay (2015), Panel Otoresif Dağıtılmış Gecikmeli Model için Havuzlanmış Ortalama Grup Tahmincisi (PMG), Ortalama Grup Tahmincisi (MG) ve Dinamik Sabit Etkiler Tahmincisi (DFE)ni; Akdeniz Havzasında başlıca yetişen 3 bitki olan buğday, patates ve mısır için uygulamıştır. Atay çalışması sonucunda; iklim değişikliğinin tarıma etkileri konusunda Güney Avrupa ülkelerinin, Kuzey Afrika ülkelerinden daha dayanıklı olduğunu belirtmektedir. Ayrıca; buğday, patates ve mısırın yağış değişimlerine kıyasla sıcaklık değişimlerinden daha çok etkilendiği belirtilmektedir.

Konukcu vd. (2019), “TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri” isimli proje kapsamında bölgedeki; ekstrem iklimi değerlendirerek, arazi kullanım durumunu ve su kalitesine etkisini belirleyip, iklim değişikliğinin ayçiçeği ve buğday verimine

etkisini modellemişlerdir. Sonuçta, bölgedeki iklim değişikliğine adaptasyon konusundaki önerilerini belirtmişlerdir.

2.5. İklim Modelleri

Bu bölümde; iklim modellerinin tarihsel gelişimi ve iklim senaryolarının oluşturulma mantığı (aşaması) anlatılacaktır. Ayrıca; iklim modellerindeki dinamik ve istatistiksel ölçek küçültme yöntemleri de açıklanacaktır. İklim modelleri; veri boyutunun hacmi sebebiyle süper bilgisayar gücüne ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden genelde araştırmacılar, bu tarz modellerin çıktı sonuçlarını kullanmayı tercih etmektedirler. İklim değişikliğinin en olumsuz sonuçları için, HadGEM2-ES iklim modelinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

IPCC nin son değerlendirme raporunda bulunan CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5: Kuple Model Karşılaştırma Projesi Faz 5) arşivinde bulunan 3 adet yer sistem modeli vardır. Bunlar; HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1'dir (İncecik, 2016).

HadGEM2-ES küresel iklim modeli genelde diğer modellere kıyasla oldukça güvenilir sonuçlar üretmektedir. Dünya'da en çok tercih edilen iklim senaryoları ise RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarıdır (Esfahanian, 2016).

Başlıca üç küresel iklim modelinden (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M) olan HadGEM2-ES'in seçilerek, bölgesel konsantrasyon yolu (RCM) senaryolarından 4.5 ve 8.5 senaryoları ile 10 km'lik yüksek çözünürlüklerde çalışmak tavsiye edilmektedir. Küresel iklim modelleri sonuçlarını güvenle kullanabilmek için; dinamik veya istatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri kullanarak bölgeselleştirme yapılabilmektedir (SYGM, 2016d).

Küresel iklim modelleri atmosferi 150 km'lik gridlerle çözebilmektedir. Yerel etkileri anlamak adına, küresel iklim modelleri yüksek çözünürlüklerde çalıştırılabilir fakat hesaplama maliyetinin yüksek olması bu seçeneği optimum kılmamaktadır. Aslında bölgesel iklim modelleri basit değil, küresel iklim modellerinden daha karmaşıktır. Genelde bu tarz çalışmalarda önceden elde edilmiş günlük yağış ve sıcaklık verileri araştırmacılara oldukça yardımcı olmaktadır. İklim modeli çalışmalarında; yatay grid aralığının 100-250 km olduğu değerler, düşük çözünürlüklü olarak nitelendirilebilmektedir. Böyle görüntüleri daha da hassaslaştırabilmek için ölçek küçültme yöntemi kullanılmaktadır. Ölçek küçültme yöntemi,

küresel iklim modeli çıktılarının, belirli bir alan üzerinde çözünürlüklerinin arttırılması şeklinde tanımlanabilmektedir. RegCM bölgesel iklim modeli, dinamik ölçek küçültme yöntemini kullanan bir modeldir (Batıbeniz, 2014).

İklim sisteminin karmaşık-kaotik (doğrusal olmayan) yapısından dolayı, iklim modellerinin güvenilir tahminde bulunamayabileceği akıldan çıkarılmamalıdır. Basit iklim modelleri 1 veya 2 boyutlu olmaktadır. Küresel iklim modelleri, çeşitli senaryo çıktılarına göre gelecek tahminini, üç saatlik zaman diliminden beş yıllık zaman dilimine kadar güvenle yapabilmektedir (SYGM, 2015b).

Küresel iklim modellerinin çözünürlüğün yüzlerce kilometre olması sebebiyle model çıktılarının belirsizliği çoktur. İstatistik veya dinamik yöntemle ölçek küçültme gerekmektedir. İstatistiki ölçek küçültme yöntemi ucuz olmasının yanında, gelecekteki fiziksel ilişkileri pek de dikkate almadığından sonuçlarının güvenilirliği tartışılmaktadır. Bu sebeple; engebesiz homojen alanlarda istatistiki ölçek küçültme yöntemi, engebeli arazilerde ise dinamik ölçek küçültme yönteminin kullanılması daha makul olacaktır. Alternatif olarak hibrit yaklaşımlar da bulunmaktadır (SYGM, 2016a).

Küresel iklim modellerin genelde yatay çözünürlüğü 250 km, düşey çözünürlüğü 1 km'dir. Küresel iklim modelleri, iklim sistemi değişkenlerini üç boyutlu düşündüğünden en karmaşık iklim modeli çeşididir. Kanada İklim Merkezi, Birleşik Krallık Meteoroloji Ofisi, Alman Max Plank Enstitüsü ve ABD Oregon Eyalet Üniversitesi gibi sayılı birkaç kurumda güvenle çalıştırılabilen küresel iklim modelleri, CRAY 3TE gibi süper bilgisayar yardımıyla hesaplama yapmaktadır. Ayrıca model çıktılarının saklanabilmesi için multi-terabyte kapasiteli veri saklama depolarına da ihtiyaç vardır (Göncü, 2005; Dabanlı, 2017).

Birinci yy.da deniz seviyelerinin 40 cm yükselebilmesi ihtimal dahilindedir. Yağışlar 19. yy. boyunca yaklaşık %2 artmıştır. Kar yağışları günümüzde, 20 yıllık periyotlarla %10 oranlarında düşebilmektedir. Sıcaklıklardaki her 1 °C'lik artışlar, buharlaşma miktarlarını %4 oranlarında arttırabilmektedir. SRES A2 senaryosuna göre; 2070-2100 arası yağışlar, 1960-1990 arasındakilere kıyasla yaklaşık %4 artabilecektir (Göncü, 2005).

İklim senaryoları genel olarak; SRES (Salım Senaryoları Özel Raporu) ve RCP (Representative Concentration Pathways: Temsili Konsantrasyon Yolu) senaryoları olmak üzere 2'ye ayrılabilir. Kullanımı günümüzde yaygın olmayan IS92a isimli bir iklim senaryosu daha bulunmaktadır. Böyle senaryolar çeşitli ekonomik, sosyal ve çevresel şartlar altında sera gazlarının dağılımını öngörmektedirler. Örneğin IS92a'ya göre; dünya nüfusunun

2100'lerde 11,3 milyarı geçmesinin yanında, 2100'lerde; nükleer, biyoyakıt, güneş ve hidroelektrik dünya enerjisi ihtiyacının yaklaşık %40'larını karşılayabilecektir (SYGM, 2015b; Göncü, 2005).

IPCC tarafından; atmosfere salınan sera gazları ile askı maddelerine etki eden değişkenler dikkate alınarak SRES senaryoları oluşturulmuştur. Her bir senaryoda; farklı sosyoekonomik şartlar, nüfus, teknolojik ve çevre değişkenler dikkate alınmaktadır. Bunlar içerisinde en kötümser olanı A2 senaryosudur. IPCC'nin eski senaryolarından olan A2, nüfus artışının devam edip heterojen bir dünya öngörmektedir. A2 senaryosu, zengin ve fakir ülkeler arasındaki eşitsizliğin devam edip, teknolojik değişikliklerin yavaş gelişeceğini tahminlemektedir. IPCC'nin Emisyon senaryoları özel raporu-Special Report on Emissions Scenarios (SRES) senaryoları; iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirirken, gelecekteki muhtemel farklı nüfus, sosyoekonomik ve çevresel etkilere göre A1, A2, B1 ve B2 isimli tahminlemelere göre oluşturulmuştur (Atay, 2015; Dabanlı, 2017; Altürk, 2017).

RCP'nin; 4.5 (sera gazı salınımı açısından iyimser senaryo) ve 8.5 (sera gazı salınımı açısından kötümser senaryo) senaryoları; SRES'in A ve B senaryo setlerinden daha güvenilirdir. Çünkü; SRES senaryo setleri, RCP senaryo setlerinden neredeyse 10 yıl daha eskidir. İklim modeli çalışmalarında 10 km çözünürlüklerle çalışmak (yaygındır) tavsiye edilebilmektedir (SYGM, 2015e).

IPCC'nin eski senaryolarından; A1 çok hızlı ekonomik büyüme ve sonrasında azalmayı öngörürken, B2 sosyoekonomik ve çevre sürdürülebilirliğine önem veren dünyayı öngörmektedir. IPCC raporlarındaki SRES modellerinin A2 (en kötümser) ve B1 (en iyimser) senaryoları kullanılarak; geçmiş yıllar iklim normalleri ve gelecek dönem iklim öngörüsünün mevsimsel değişim katsayısı (% olarak; CV) hesaplanarak sağlıklı sonuçlar elde edilebilmektedir (Türkeş, 2012; Şen, 2016).

SRES senaryoları, IPCC 3. değerlendirme raporunda kullanılmıştır. Örneğin SRES A2, hızlı nüfus artışı ve ekonomik büyüme tahminlemektedir. SRES senaryolarından A2 ile güncel (Representative Concentration Pathway-RCP) RCP8.5 senaryosu arasında büyük benzerlik bulunmaktadır. A2 senaryosunda; ekonomik kalkınma bölgeselken, sürekli nüfus artışı beklenmektedir. Günümüzdeki CO_2 380 ppm'ler civarındayken, bu senaryoya göre CO_2 konsantrasyonlarının 1000 ppm'lere kadar çıkabileceği öngörülmektedir. Üç yüz seksen ppm'ler civarında bulunan atmosferdeki karbondioksitin 2100 yılına kadar; SRES'in

senaryolarına göre 550 ile 800 ppm'ler arasında bir değer alabilecektir (Kapur, 2010; Atay, 2015; Göncü, 2005; Dabanlı, 2017).

SRES senaryolarının yaygın kullanımı 2001 yılı (IPCC'nin 3. değerlendirme rapor yılı) ncesinde görülmekteyken; artık SRES senaryo setlerinin güvenilirliği (güncelliği) kalmamış ve kullanımı terkedilmeye başlanmıştır. Daha güncel ve güvenilir olan RCP senaryo setleri; RCP 2.6; 4.5; 6; ve 8.5 olmak üzere dört adettir. Bunlar arasında en çok tercih edileni ise; RCP 4.5 ve RCP 8.5'tir (SYGM, 2015b).

En karmaşık-gelişmiş hidrolojik modeller, küresel iklim modelleridir. Genel dolaşım modelleri olarak da adlandırılan küresel iklim modelleri, okyanus ve atmosfer dolaşım hareketlerini güvenle tahminleyebilmektedir. İklimsel tahminler ilk olarak 1903 yılında hava tahminleriyle başlamıştır. Ve havanın; nem, sıcaklık, yoğunluk, basınç ve rüzgar hızı etmenlerine göre değiştiği ne sürülmüştür (SYGM, 2015b).

İklim modelleri; 1960'larda sadece atmosferik bileşenleri (yağış, sıcaklık, ET, basınç, albedo v.b.) dikkate alırken, 1980'lerde karasal (bitki örtüsü indisleri ve toprak nemi gibi), 1990'larda okyanussal (deniz buzu özellikleri gibi), 2000'lerde kimyasal (kükürt ve karbon gibi) değişkenleri de bünyesine katarak çok geniş bir değerlendirme potansiyeline ulaşmıştır (SYGM, 2015b).

Küresel iklim modellerinin çözünürlüğünü arttırabilmek için iki yöntemle ölçek küçültme sağlanabilmektedir. Bunlar; dinamik ölçek küçültme yöntemi ile istatistiksel ölçek küçültme yöntemleridir. Gelecekteki iklim, yüksek çözünürlükle bu iki yöntem sayesinde modellenebilmektedir. Küresel iklim modeli çıktılarının, bölgesel iklim modeli çıktılarına dnştrlme aşamasında kullanılabilen, istatistiksel ölçek küçültme yöntemi; geçmiş iklim değişkenleriyle istasyonda ölçülen veriler arasında istatistiki bağıntı kurma prensibine dayanmaktadır. Bu bağıntının gelecekte de sabit kalacağı varsayılarak, tahminler yapılmaktadır. Özetle; istatistiksel yöntem, küçük alanlarda uygulanır ama hızlıdır. Noktasal (istasyon) verilerle kıyaslanabilir (uyumludur). Dinamik lek küçültme yönteminde ise; küresel iklim modelinin benzeri bir fiziksel model aracılığıyla çözünürlük düşürülmektedir (SYGM, 2015b; izelge 2.15).

Çizelge 2.15. Dinamik ve İstatistiksel ölçek küçültme yöntemlerinin özellikleri (SYGM, 2015b)

İstatistiksel ölçek küçültme		Dinamik ölçek küçültme	
Avantajları	Dezavantajları	Avantajları	Dezavantajları
Hızlı hesap yapılır.	Toprak nemi, bulut, kar, albedo gibi değişkenleri dikkate almaz.	Toprak nemi, bulut, kar, albedo gibi değişkenleri dikkate alır.	Hesaplamalar uzun zaman alır.
İstasyon verisi kullanıldığından geçmişe yönelik tahmin kolaydır.	Geçmiş iklim değişkenleriyle istasyonda ölçülen veriler arasında istatistiki bağıntının sabit kalacağını varsaymaktadır.	Gelecekteki İklimin değişeceğini kabul ederek, tekrar hesaplamalar yapar.	Sık düzeltme yapılması gerekir.
İstenilen her noktasal istasyonun gelecekteki iklim tahmini kolaydır.	Topoğrafya ve bitki örtüsünü dikkate almadığı için, sadece istasyona yakın yerlerde güvenilir sonuç verebilmektedir.	Topoğrafya ve bitki örtüsünü dikkate alır.	Noktasal gözlemlerle zor kıyaslanır.

Açık kaynak kodlu olan RegCM, İtalya'daki ICTP (Abdus Salam Uluslararası Teorik Fizik Merkezi Yer Bilimleri Fizik Bölümü) tarafından 1980'lerde geliştirilen ilk bölgesel iklim modelidir. Bu model; arazi, son işlemci, başlangıç ve sınır koşulları gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Bu modelin 3. ve 4. versiyonları bulunmaktadır (RegCM3 ve RegCM4 gibi) (SYGM, 2015b).

Bölgesel iklim modelleri, küresel iklim modellerinin çıktılarını, girdi olarak kullanmaktadırlar. Bölgesel iklim modellerinden RegCM, 1989'da geliştirilmişken; RegCM2 1993'te; RegCM2.5 1999'da; RegCM3 2006'da ve yaygın kullanılıp oldukça güvenilir olan RegCM4 ise 2010'da geliştirilmiştir. Bu bölgesel iklim modellerin en önemli özelliği, dünyanın her bölgesinde 10 km çözünürlükteki hassasiyetlerle tahminleme yapabilmesidir. HadRM2 ve HadRM3 de bölgesel iklim modelleridir (Saygılı, 2017).

Küresel ve bölgesel iklim modelleri arasındaki farklara bakılarak, kullanım için tercih yapılabilir (Çizelge 2.16).

Çizelge 2.16. İklim modellerinin kıyaslanması (SYGM, 2015b)

Küresel İklim Modelleri	Bölgesel İklim Modelleri
Yatay çözünürlükleri 175 km civarındadır.	Yatay çözünürlükleri 30 km civarındadır.
Bölgesel iklim modellerine veri sağlayabilir.	Küresel iklim modellerine veri sağlayamaz.
Veri boyutu sebebiyle süper bilgisayar gücüne ihtiyaç duyar.	Kişisel bilgisayarlarda bile kullanılabilme kolaylığına sahiptir.
Daha küçük bölgesel bazdaki model tahminleri güvenilir değildir.	Daha küçük bölgesel bazdaki model tahminleri nispeten daha güvenilirdir.

Ülkemizdeki bazı havzalarda; HadGEM2-ES iklim modelinin, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine kıyasla daha kötümser tahminlemeler yaptığı söylenebilmektedir (Örneğin; Küçük Menderes havzasının gelecekteki sıcaklık artışını en yüksek tahminleyen model yine HadGEM2-ES olmuştur). Bu sebeple iklim değişikliğinin en olumsuz sonuçları araştırılmak isteniyorsa, HadGEM2-ES iklim modelinin kullanımı tavsiye edilebilmektedir (SYGM; 2016d).

2100 yılına kadar akımlarının %50 oranında azalması beklenen Batı Karadeniz havzası için, kullanılan iklim modelleri arasından akımları yüksekten aza doğru tahminleyen modeller sırasıyla; MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1 ve HADGEM2-ES modelleridir. Sıcaklıkları yüksekten aza doğru tahminleyen modeller ise sırasıyla HADGEM2-ES ve MPI-ESM-MR modelleridir (SYGM, 2016c).

Ülkemizdeki havzaların, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR küresel iklim modelleri ile RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre iklim değişikliği projeksiyonlarına Su Yönetimi Genel Müdürlüğünden ulaşılabilmektedir. Fakat, Türkiye’de iklim modeli sonuçlarının güvenilir olmadığı düşünülmektedir. Ülkemizde iklim modeli sonuçlarına güvenilirliğinin az oluşunun sebeplerinden bazıları; Türkiye’nin karışık bitki örtüsü, deniz-kara etkileşimi sebebiyle homojen bir iklimin yaşanmaması ve dağlık bölgelerinin çokluğudur. Bu sebeple Türkiye gibi ülkelerde; iklim modellemelerinde grid kutularının yatay çözünürlüğü daha hassas olmalıdır (Batıbeniz, 2014).

İklim modelleriyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Saygılı (2017) kuraklık erken uyarı sistemi sağlamak amacıyla, MPI-ESM-MR iklim modeli çıktılarını kullanarak ve RegCM4.4 bölgesel iklim modelini kullanıp, 50 km çözünürlüğe düşürülmüş veriler üzerinden, (kötümser sera gazı emisyon senaryosu) RCP 8.5’e göre gelecek tahmini yapmıştır. Son olarak; kuraklık olasılıklarını oldukça başarılı tahminleyen SYİ ve SYEİ yöntemlerini kullanarak, kuraklık haritaları elde etmiştir.

Batıbeniz (2014), bölgesel iklim modeli (RegCM 3)nin yağış ve sıcaklık çıktılarını kullanarak, ülkemizdeki ekstrem hava olaylarını iklim indisleriyle tahminlemiştir. 1961-2008 yıllarındaki verilerin kullanıldığı model çalışmasında çözünürlük 10 km olarak kullanılmıştır. Araştırmacı; bölgedeki 15 ülkenin 50’ye yakın istasyonuna ait iklim verileri kullanılarak, bölgedeki soğuk günlerin azalmasının 1970’lerde başladığı, sıcak günlerdeki artışın ise

1990'larda başladığını tespit etmiştir. Araştırmasında; yaz günleri (SU), sıcak günler (TX90p) ve sıcak geceler (TN90p) indislerinde 25 günlere ulaşan artışlar yakalayan Batıbeniz, çalışmasının sonucunda; bölgesel iklim modeli sonuçlarının, kuraklık indisi sonuçlarını ve sıcaklıkları başarılı şekilde tahminlediğini belirtmektedir.

Yıldırım vd. (2016) 1961-2013 arasındaki iklim verilerini kullanarak, Türkiye'deki haşhaşın iklim değişikliğinden etkilenme derecelerini incelemişlerdir. Optimum ortalama sıcaklığı 17 °C olan haşhaşın yaşam bölgesini belirlemeyi amaçlayan araştırmacılar, HadGEM2-ES modeli ve RCP8.5 senaryosunu kullanmışlardır. Sonuç olarak, gelecekteki iklim değişikliğinin haşhaş üretim alanlarını azaltabileceğini öngörmüşlerdir.

Öztürk vd. (2017) gelecek 100 yılı üç farklı periyoda bölerek, RegCM4.3.5 senaryosuna göre Asya bölgesinde sıcaklık ve yağış tahmini yapmışlardır. Araştırmacılar küresel iklim modeli olarak HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR modellerini kullanmışlardır. Ölçek küçültme için, Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX)-50 km kullanmışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışma alanına ilişkin haritalar, ArcGIS 10.4 programı yardımıyla oluşturulmuştur. Bu haritalardan elde edilebilecek bilgiler; havzanın bakı, eğim ve topoğrafya (SYM, eşyüksekti eğrisi ve kabartma gibi) bilgileri ile; AGİ ve YGİ'lerin konumu ve isimleri; alan sınırları, havza karakteristikleri ve buğday alanı ile ilgili bilgilerdir.

3.1.1. Araştırma Alanı

Porsuk Çayı Havzası: Tekil nehir havzalarından olan Sakarya havzası; Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık %7'sini kaplamaktadır. Sakarya havzası içerisindeki Porsuk Çayı ise; rekreasyon, balıkçılık, tarıma ve endüstriye su sağlama amaçlarıyla kullanılabilir. Porsuk Çayı havzasının yukarı kısmını orman ve meralar oluşturuyorken; aşağı kısmını ise tarım arazileri oluşturmaktadır. Eskişehir kent merkezinin şebeke-içme suyu da Porsuk Çayı'ndan temin edilmektedir (Kalabak içme-kaynak suyu da mevcuttur) (SYGM, 2016b; Şimşek, 2011).

Ülkemizdeki 26 havza arasından; 479 mm'lik yıllık ortalama yağış miktarı ile Sakarya havzası, 500 mm'den az yağış alan dört havzadan birisidir. Buna karşın en yüksek akım değerine sahip havzalardandır. İçerisinde yoğun nüfusun yaşaması Sakarya havzasının bir başka önemli özelliğidir (SYGM, 2016b).

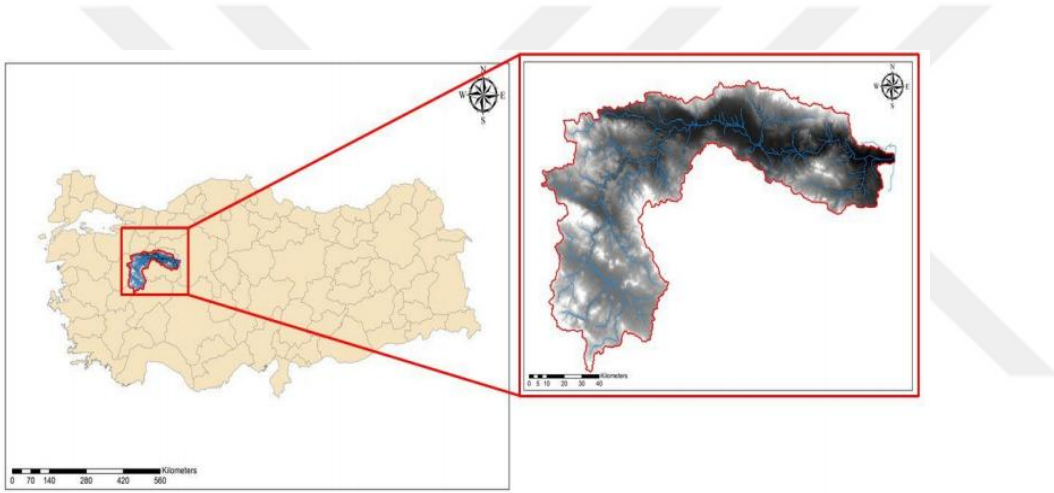
Önemli tarım alanlarından Pamukova'yı da sulayan Sakarya Nehri; Eskişehir'in Çifteler ilçesinin Sakaryabaşı'ndaki kaynaklardan doğarak, en son Karadenize dökülmektedir. Sakarya Nehri'nin önemli kollarından bazıları; Porsuk Çayı, Göynük Çayı, Seydi Suyu, Ankara Çayı, Karasu Çayı, Göksu Çayı, Çarksuyu deresi ve Mudurnu Çayı'dır (SYGM, 2016b).

Sakarya havzası içerisinde yaklaşık 60 göl ve 155 büyük akarsu bulunmaktadır. On beşe yakın İl ile teması bulunan bu büyük havzada; Eskişehir, Bilecik ve Sakarya illerinin tamamı; Ankara ve Bolu'nun yaklaşık olarak yarısı; Konya, Kütahya ve Afyon'un yaklaşık olarak çeyreği; Bursa ve Kocaeli'nin yaklaşık olarak %15'i bulunmaktadır (SYGM, 2016b).

Konumu: Porsuk havzasının suları, Sakarya Nehrine dökülmektedir. Aşağı Sakarya havzasının alt havzalarından olan Porsuk havzası, yaklaşık 11.114 km²'lik alana sahiptir.

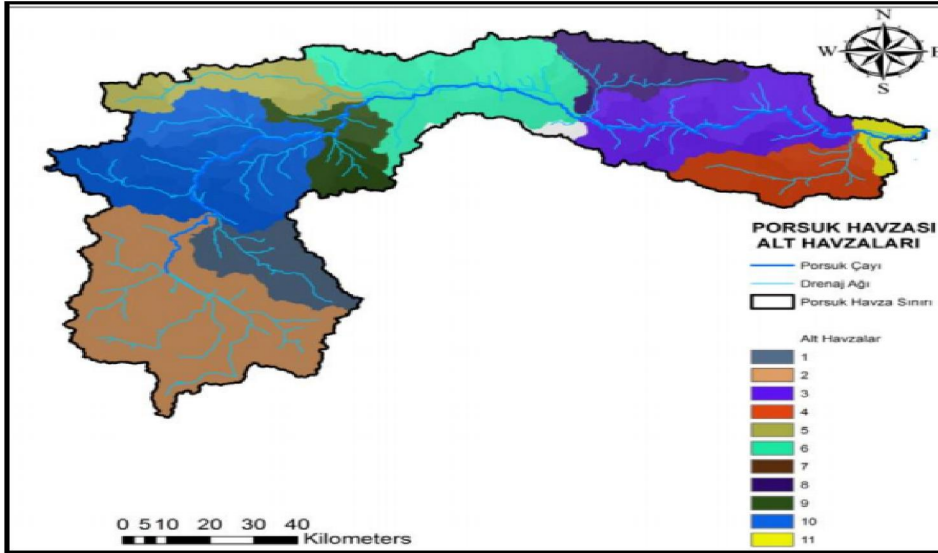
Havza; doğu-batı yönünde 202 km, kuzey-güney yönünde 135 km uzunluğa sahiptir. Araştırma alanı, 29° 38’-31° 59’ doğu boylamları ile 38° 44’-39° 99’ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. %60’ından fazlası dağlık olan havza; Ege, Marmara ve İç Anadolu Bölgelerinin kesiştiği yerde bulunmaktadır. Eskişehir ve Kütahya Şehir merkezlerini içine alan havza; ayrıca Ankara, Bilecik, Afyon ve Uşak illerinin de bir kısmını içine almaktadır (ztrk 2007, Tekkanat, 2015; Güney, 2017).

Eskişehir’in imesuyunu sağlaması açısından önemli olan Porsuk ayı’nın havzası, Türkiye yüzölçümünün %7’sini kaplayan Sakarya havzasının önemli bir alt havzasıdır. Porsuk ayı havzası’nın merkezinde (ortasında) bulunan çalışma alanı; Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerinin arasında yer almaktadır (alışma alanı, Orta Porsuk ayı Havzası’dır) (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Eskişehir-Porsuk ayı havzasının konumu (Güney, 2017)

Porsuk ayı havzası genel olarak 11 alt havzaya ayrılabilir (Şekil 3.2).



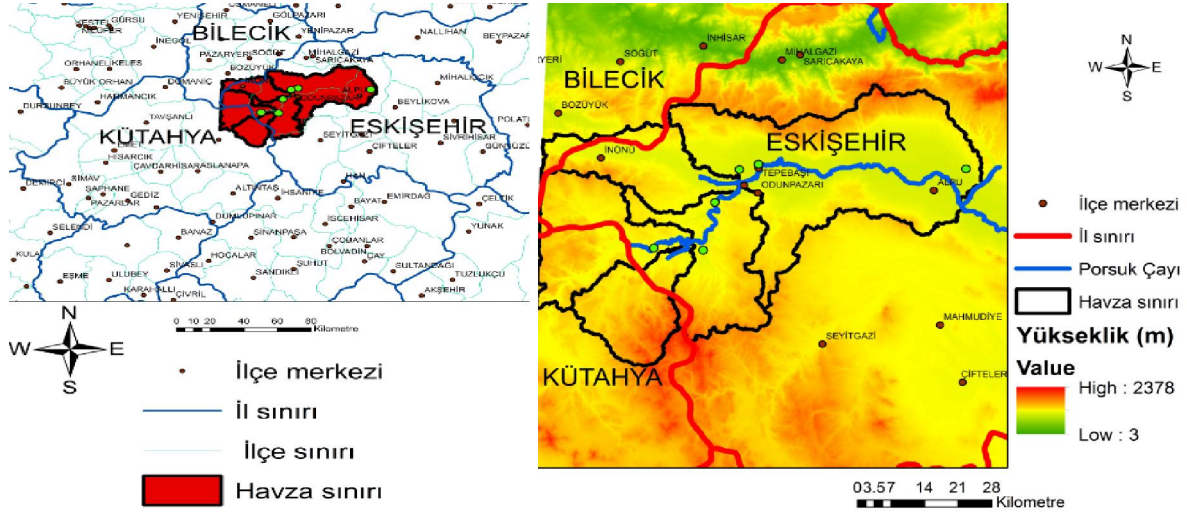
Şekil 3.2. Eskişehir-Porsuk Çayı havzasının alt havzaları (Güney, 2017)

Porsuk Çayı havzasının, orta bölümünde yer alan çalışma havzası; Şekil 3.2'deki 5, 6, 9 ve 10 nolu alt havzalarını kapsamaktadır. Alpu, Tepebaşı ve Odunpazarı İlçeleri de çalışma havzasının içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Çalışma alanı (Orta Porsuk Çayı Havzası) haritası

Bu tezde kullanılan çalışma alanı, Orta Porsuk Çayı havzasıdır. Bu çalışma alanının büyük bir bölümü Eskişehir içerisinde bulunsa da, yaklaşık %12'si Kütahya ve %3'ü de Bilecik İl sınırları içerisinde yer almaktadır. Havza yükseklik bilgisinin de bulunduğu, havzanın yakından görünümü sağdaki şekildedir (Şekil 3.4).



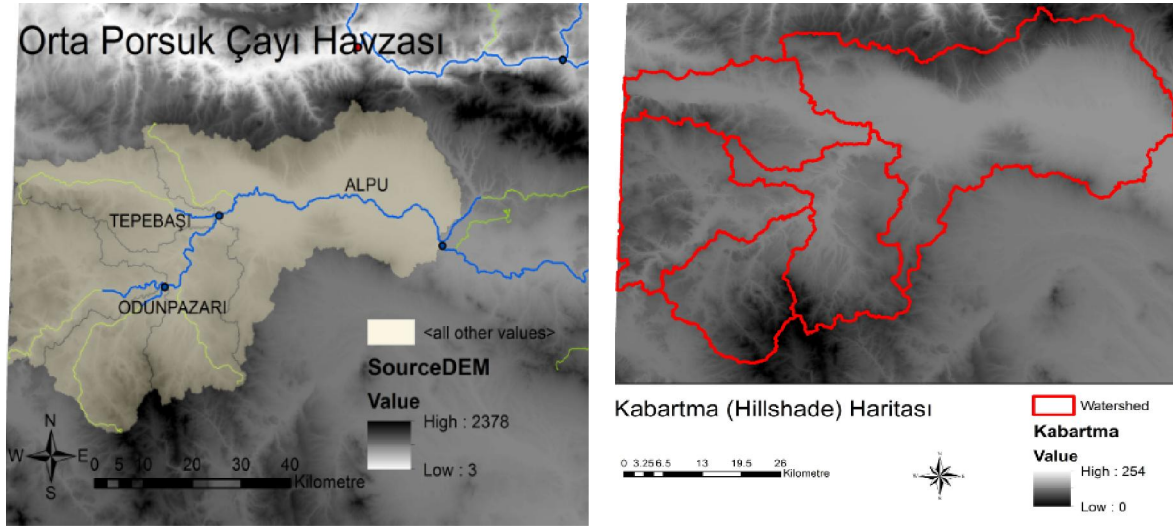
Şekil 3.4. İlçe sınırları ve çalışma alanı haritası

Google Earth Pro ve ArcGIS 10.4 programları yardımıyla belirlenen havza karakteristikleri Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

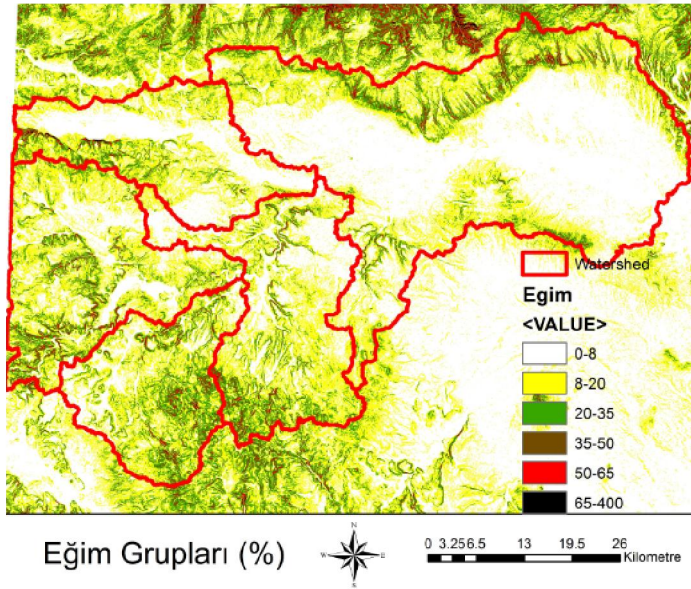
Çizelge 3.1. Çalışma havzasının karakteristikleri

Havza minimum yüksekliği (m)	Havza maksimum yüksekliği (m)	Havza ortalama yüksekliği (m)	Havza alanı (km^2)	Havza eğimi (%)	Enlem	Boylam
789	1176	933	441,18	9,9	39,8	30,24

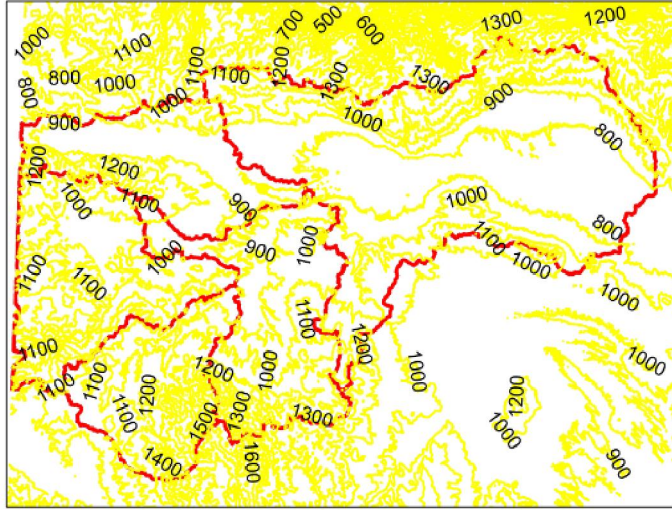
Topoğrafya: Çalışma alanının; SYM-kabartma, eğim, eşyüksekti eğrileri ve baki haritası ArcGIS 10.4 programı ile oluşturulmuştur. Doğusunda geniş düzlükler bulunan çalışma alanında, yükselti ve eğim olarak genelde homojen bir dağılım gözlenmektedir. Havza güneyinde dağlık-dik alanlar bulunmaktadır (Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8).



Şekil 3.5. Çalışma alanının SYM-kabartma haritaları

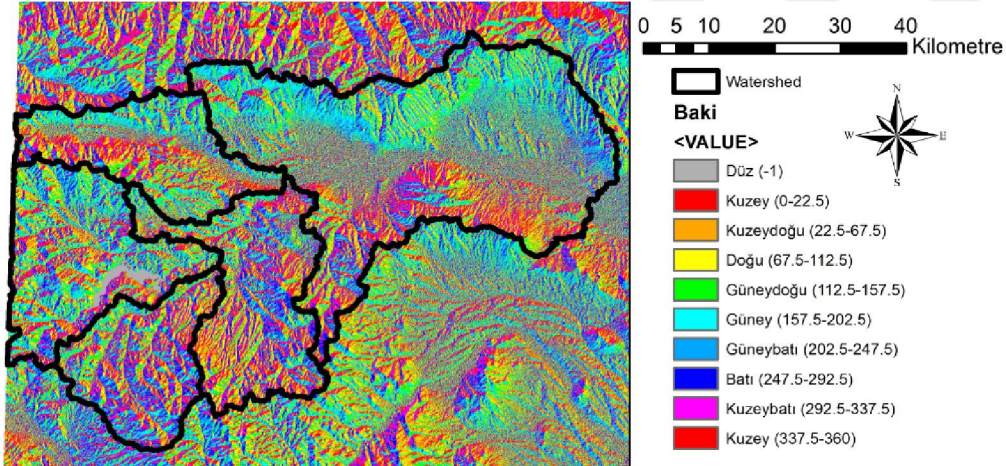


Şekil 3.6. Çalışma alanının eğim grupları haritası



Eş yükselti eğrileri (m) — Eş yükselti eğrisi
 0 3.256.5 13 19.5 26 Kilometre — Havza

Şekil 3.7. Çalışma alanının eşyüksekti eğrileri haritası



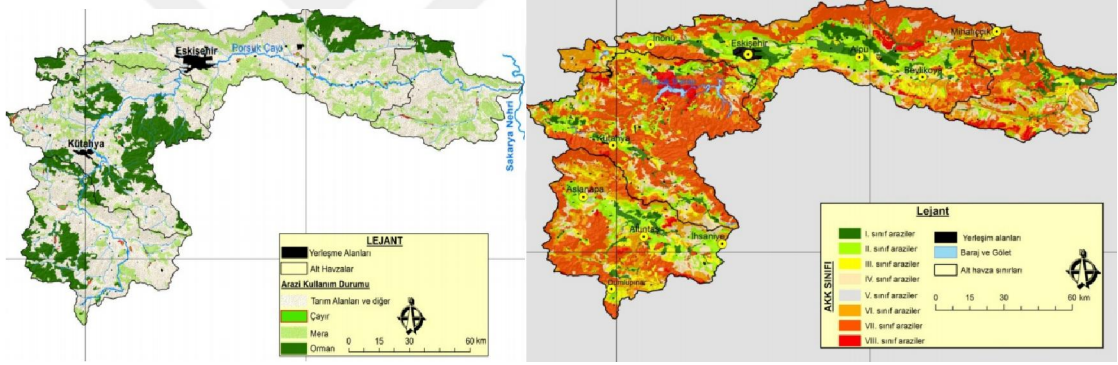
Şekil 3.8. Çalışma alanının baki haritası

Havzanın diğer özellikleri şu şekildedir:

Hidrolojik yapısı: Murat Dağı eteklerinden doğan Porsuk Çayı'nın önemli yan kolları; Kokar Çayı, Çat Deresi, Kargın Deresi ve Mihaliçcik Deresidir. Porsuk Çayı, Kütahya ve Eskişehir'i geçerek Sakarya Nehrine ulaşır. Bölgedeki sıcak su kaynakları, Alpu'daki Uyuzhamamı ve Eskişehir-Merkez'deki Ilıca'dır. Havzada doğal göl bulunmamaktadır. Ayrıca havzada 13 baraj, 2 gölet ve 1 adet de depolama tesisi bulunmaktadır. Havzadaki en büyük baraj

olan Porsuk Barajı taşkın koruma ve sulama amaçlı inşa edilmiştir (Öztürk 2007, Tekkanat, 2015; Güney, 2017).

Arazi örtüsü: Porsuk Çayı havzasının yaklaşık %77'si bozkırlardan, %22'si ise ormanlardan oluşmaktadır. Havza arazi kullanımının; yaklaşık %56'sını tarım alanları, %20'sini mera alanları, %17'sini ormanlar, %2'sini yerleşim alanları ve %0,3'ünü çayırılık alanlar oluşturmaktadır. Havzanın özellikle Doğusu tarım alanlarıyla kaplıdır. Bölgedeki tarım ürünleri; çeltik, mısır, şeker pancarı, yulaf, çavdar, arpa ve buğdaydır. Havzanın bitki örtüsü; genel olarak Avrupa ve Akdeniz şartlarını yansıtırken; bölgesel olarak Türkiye'nin iç kesimlerindeki stepleri ve Kuzeybatısındaki ormanları yansıtmaktadır. Özellikle Eskişehir-Alpu arası düzdür ve kekik bitkisinin yoğun olduğu steplerden oluşmaktadır. Havzada; I. Sınıf araziler %7, II. Sınıf araziler %15, III. ve IV. Sınıf araziler %11, VI. Sınıf araziler %17, VII. Sınıf araziler %35 ve VIII. Sınıf araziler %4'lük oranda bulunmaktadır (Şekil 3.9). Sonuçta, havzanın sadece %43'ü işlemeli tarıma uygundur (Öztürk 2007, Tekkanat, 2015; Güney, 2017).



Şekil 3.9. Porsuk Çayı Havzası arazi kullanım haritası (Tekkanat, 2015)

Toprak yapısı: Çalışma alanının organik maddece fakir olan topraklarında, neojen devirde oluşan granit ve mermerlere rastlanmaktadır. Havza çoğunlukla sedimentler, metamorfik ve ofiyolitik kayalardan oluşmaktadır. Çalışma alanında; hidromorfik-alüvyal topraklar, kırmızı-kahverengi topraklar ve kireçsiz-kahverengi orman toprakları bulunmaktadır.

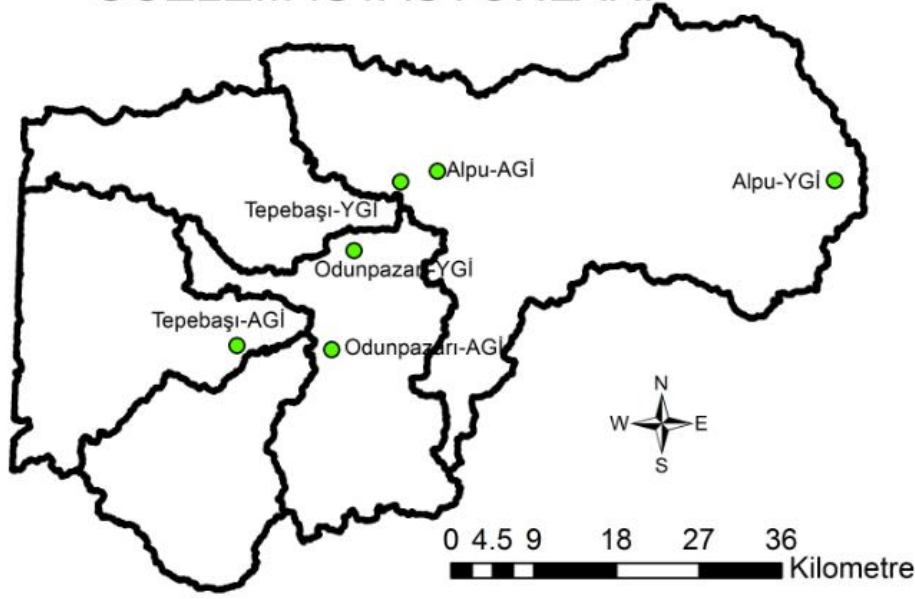
Sosyoekonomisi: 1990 yılında Eskişehir merkezinin (Odunpazarı ve Tepebaşı) nüfusu 447.926 iken, 2000 yılında 519.602 olmuştur. 1990 yılında Alpu'nun nüfusu 18.679 iken, 2000 yılında 16.727 olmuştur. Üniversite şehri olarak bilinen Eskişehir'de, okuma-yazma oranı %96'dan büyüktür. Çeşitli konulardaki sınıflandırmalara göre, Türkiye şehirleri arasında ilk 7'ye giren Eskişehir'de; makine, seramik, tekstil ve gıda sektörü gelişmiştir. Ayrıca demiryolu

ve tarım açısından da bölge oldukça önemlidir. Bölgedeki maden yataklarından bazıları; nikel, kükürt, demir, krom ve mermerdir (Öztürk 2007, Tekkanat, 2015; Güney, 2017).

İklimi: Havzadaki rüzgarlar, “hafif rüzgar” sınıfında yer almaktadır. Havzada yazlar kurak, kışlar uzun ve sert olmaktadır. Kasım-Nisan arası havzada kar görülebilmektedir. Doğudan batıya doğru yağışlar artmaktadır. Yılın 108 günü yağışlıdır. Havzanın Eskişehir’i içine alan kısmı karasal İç Anadolu yağış rejimine sahiptir. Köppen indisine göre; havzanın sıcaklık rejimi ılıman karasal kuşaktır. Havzanın yıllık ortalama yağışı 470 mm, yıllık maksimum yağış ortalaması 603 mm iken yıllık minimum yağış ortalaması 283 mm’dir. Havzanın ortalama sıcaklığı 10,4°C, yıllık maksimum sıcaklık ortalaması 21,1°C ve yıllık minimum sıcaklık ortalaması -0,4°C’dir. Thornthwaite indisine göre Eskişehir; yarı kurak 1. Dereceden mezotermal, su fazlası olmayan iklim tipindedir (Öztürk 2007, Tekkanat, 2015; Güney, 2017).

Yağış Gözlem İstasyonları (YĞİ) ve Akım Gözlem İstasyonları (AGİ): Yağış Gözlem İstasyonları (YĞİ) olarak; Alpu’yu 3343 nolu YĞİ temsil ederken, Tepebaşı’nı 17123 nolu YĞİ ve Odunpazarı’nı ise 18739 nolu YĞİ temsil etmektedir. Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) olarak; Alpu’yu D12A054 nolu AGİ temsil ederken, Tepebaşı’nı D12A034 nolu AGİ ve Odunpazarı’nı ise D12A063 nolu AGİ temsil etmektedir (Şekil 3.10). Bu gözlem istasyonlarındaki eksik veriler, çevredeki diğer istasyonlardan temin edilmiştir. Çalışma alanında kullanılan Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) isimleri Çizelge 3.2’de, Yağış Gözlem İstasyonları (YĞİ) isimleri ise Çizelge 3.3’te gösterilmektedir.

GÖZLEM İSTASYONLARI



Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan Yağış Gözlem İstasyonları ve Akım Gözlem İstasyonlarının konumu

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan Akım Gözlem İstasyonlarının isimleri

İstasyon No	İstasyon Adı
D12A215	Porsuk çayı (Parsibey)
D12A182	Pürtek deresi (Memik)
D12A063	Ulu dere (Uluçayır)
D12A034	Porsuk çayı (Porsuk barajı çıkışı)
D12A172	Sarısu (İnonü)
D12A170	Sarısu (Kandilli)
D12A101	Kargın deresi (Derivasyon kanalı)
D12A160	Söğüt deresi (Küre)
D12A054	Porsuk çayı (Eşenkara)
D12A181	Porsuk çayı (Çalça (Y.bosna))

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan Yağış Gözlem İstasyonlarının isimleri

İstasyon adı	İstasyon no	Enlemi
Alpu	3343	39,80
Alpu	18088	39,77
Anadolu Üniversitesi	17121	39,81
Odunpazarı Kanlıpınar Köyü	18739	39,74
Odunpazarı Kireçköyü	18946	39,77
Tepebaşı Bozdağ	18602	39,90
Tepebaşı Çanakkıran Köyü	18834	39,67
Hasan Polatkan Havaalanı	17123	39,85

Verim tahmini yapılan tarla: Buğday verilerinin alındığı araştırma bölgesi, Eskişehir-Tepebaşı'ndaki Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün merkezindeki arazide bulunmaktadır. Bu bölge, 39 ° 46 ' kuzey enlemi ve 30 ° 24 ' doğu boylamında yer almaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Buğday verimi gözlem alanı

Toprak özellikleri: Bezostaja buğday gözlem verilerinin alındığı tarlanın, toprak özellikleri Çizelge 3.4'te gösterilmektedir. Bu buğday tarlasının Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi (KSTK) 220 mm/m'dir. Toprağa ilişkin bazı (aritmetik) ortalama değerler şu şekildedir; pH: 7.87, tuz (%): 0.03, organik madde (%): 1.06'dır.

Çizelge 3.4. Buğday tarlasının toprak özellikleri

Derinlik	Su ile doymuşluk (%)	pH (doymuş toprakta)	EC (dS/m)	Tuz (%)	Kireç (%)	Organik madde (%)	Fraksiyon yüzdeleri			Bünye	Tarla Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)
							Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)			
0-30	79	7,84	0,39	0,021	10,87	1,45	24,7	21,7	53,6	Kil	43,9	28,1
30-60	80	7,83	0,78	0,052	9,78	1,03	23,6	19,8	56,6	Kil	40,6	29,6
60-90	81	7,93	0,48	0,03	10,51	0,7	31,4	19,5	49,1	Kil	41,8	28,1

3.1.2. İklim Verileri

Geçmişe ilişkin iklim verileri: Çalışmadaki, geçmişe ait iklim verileri Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü (GKTAE), DSİ ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden, geleceğe ilişkin iklim verileri ise SYGM'den alınmıştır. DSİ'den aylık toplam akım verileri; MGM'den, aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri alınmıştır. GKTAE'den alınan; solar radyasyon, yağış, minimum ve maksimum sıcaklık gibi iki yıllık iklim verileri, enstitünün kendi meteoroloji istasyonundan günlük olarak elde edilmiştir.

İklim değişikliğinin belirlenmesinde; 1970-2000 yılları arasına ait geçmişteki zaman periyodu, referans dönem olarak kabul edilmiş ve geleceğe ilişkin kıyaslamalar buna göre yapılmıştır. Referans (1970-2000) döneme ilişkin iklim verilerinin bulunduğu gözlem istasyonlarının seçiminde; homojenlik testi uygulanarak, homojen olmayan istasyonlar çalışmadan çıkarılmıştır.

Çalışma alanının uzun yıllık iklim ortalamaları, izelge 3.5’de gösterilmektedir. Uzun yıllık verilere göre; havzadaki ortalama sıcaklık 11,2 C, Ortalama en yüksek sıcaklık 17,4 C, Ortalama en düşük sıcaklık 5,4 C ve Ortalama toplam yağış miktarı 374,2 mm’dir (izelge 3.5).

Çizelge 3.5. Çalışma alanının uzun yıllık iklim ortalamaları (1928-2019) (Anonim, 2020b)

Aylar	Ortalama sıcaklık (C)	Ortalama en yüksek sıcaklık (C)	Ortalama en düşük sıcaklık (C)	Ortalama toplam yağış (mm)
Ocak	0	3,8	-3,3	41,4
şubat	1,6	6,3	-2,3	35,8
Mart	5,3	11,4	0	36,9
Nisan	10,6	17,2	4,2	37,2
Mayıs	15,4	22	8,5	45,4
Haziran	19,2	25,9	11,9	36
Temmuz	21,8	28,9	14,2	14,6
Ağustos	21,8	29,4	14,1	7,9
Eyll	17,7	25,4	10,3	15,3
Ekim	12,3	19,5	5,9	25,2
Kasım	7	12,7	1,9	30,4
Aralık	2,2	6,1	-1,1	48,1
Yıllık ortalama	11,2	17,4	5,4	31,18

Geleceğe ilişkin iklim verileri: Bu iklim verileri, SYGM’den günlük olarak temin edilmiştir. SYGM’den alınan geleceğe ilişkin iklim verileri; toplam yağış, toplam akım, ET, solar radyasyon, minimum ve maksimum sıcaklıklardır. Bu veriler; RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre, HadGEM2-ES ve RegCM 4.3 iklim modelleri tarafından, 2016-2096 yılları

arasını kapsayacak şekilde günlük üretilmiştir. İstatistiki ölçek küçültme yöntemi; gelecekteki fiziksel ilişkileri dikkate almadığından daha az güvenilirdir (SYGM, 2016a; Batıbeniz, 2014). Bu yöntem yerine, dinamik ölçek küçültme yöntemini kullanan RegCM 4.3 bölgesel iklim modeli; bu çalışmada da kullanılarak araştırmanın güvenilirliği artırılmıştır. Çalışmada kullanılan bu bölgesel iklim modeliyle, 10x10 km çözünürlüklü iklim benzeşim verileri üretilmiştir. Bölgesel iklim modeli sonuçları kullanılmadan önce; yanlışlık düzeltme yöntemi uygulanarak, iklimsel tahmin verilerinin bünyesinde bulunabilecek doğal hatalar düzeltilmiştir.

HadGEM2-ES modeli ve RCP4.5 senaryosuna göre; çalışma alanının gelecekteki muhtemel iklim ortalamaları, Çizelge 3.6'da gösterilmektedir. Gelecekte; havzadaki ortalama en yüksek sıcaklık 21,89 °C, ortalama en düşük sıcaklık 8,71 °C, ortalama potansiyel evapotranspirasyon 14,6 mm, ortalama toplam yağış miktarı 42,38 mm ve ortalama toplam akım miktarı 0,59 mm 'dir (Çizelge 3.6).

İklim değişikliğinin belirlenmesinde; 1970-2000 yılları arasına ait geçmişteki zaman periyodu, referans dönem olarak kabul edilmiş ve geleceğe ilişkin kıyaslamalar buna göre yapılmıştır. Bu geçmiş zaman periyoduna ait; yağış, minimum ve maksimum sıcaklık ortalamalarına kıyasla, gelecekteki yıllık ortalamalar oranlanmıştır (Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7).

Çizelge 3.6. Çalışma alanının gelecekteki muhtemel iyimser (RCP4.5) iklim ortalamaları (2016-2096)

Aylar	Ortalama en yüksek sıcaklık (°C)	Ortalama en düşük sıcaklık (°C)	Ortalama potansiyel evapotranspirasyon (mm)	Ortalama toplam yağış (mm)	Ortalama toplam akım (mm)
Ocak	22,3	11,14	5,68	49,82	0,69
Şubat	21,95	8,075	10,48	40,02	1,33
Mart	21,37	8,52	18,90	46,14	1,99
Nisan	21,31	8,36	22,43	39,82	1,51
Mayıs	18,42	6,45	24,76	39,44	0,68
Haziran	22,82	7,16	28,46	37,46	0,2
Temmuz	21,08	7,02	12,76	36,02	0,06
Ağustos	20,5	7,5	6,66	43,63	0,06
Eylül	24,51	10,54	7,54	44,21	0,04

Çizelge 3.6. (devam)

Ekim	23,4	9,89	13,89	42,20	0,1
Kasım	22,89	9,36	13,07	48,37	0,15
Aralık	22,17	10,53	10,56	41,42	0,3
Yıllık ortalama	21,89	8,71	14,60	42,38	0,59

HadGEM2-ES modeli ve RCP8.5 senaryosuna göre; çalışma alanının gelecekteki muhtemel iklim ortalamaları, Çizelge 3.7’de gösterilmektedir. Gelecekte; havzadaki ortalama en yüksek sıcaklık 23,38 °C, ortalama en düşük sıcaklık 10,43 °C, ortalama potansiyel evapotranspirasyon 14,09 mm, ortalama toplam yağış miktarı 41,34 mm ve ortalama toplam akım miktarı 0,36 mm ’dir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Çalışma alanının gelecekteki muhtemel kötümser (RCP8.5) iklim ortalamaları (2016-2096)

Aylar	Ortalama en yüksek sıcaklık (°C)	Ortalama en düşük sıcaklık (°C)	Ortalama potansiyel evapotranspirasyon (mm)	Ortalama toplam yağış (mm)	Ortalama toplam akım (mm)
Ocak	22,2	10,78	5,97	50,03	0,51
Şubat	24,94	10,93	10,69	34,04	0,79
Mart	24,14	10,74	18,35	40,70	1
Nisan	22,78	11,04	22,29	43	0,75
Mayıs	20,47	7,84	26,59	41,33	0,39
Haziran	21,95	7,93	30,59	41,36	0,14
Temmuz	23,03	9,35	11,08	34,98	0,04
Ağustos	22,21	10,14	5,32	40,49	0,05
Eylül	24,92	12,53	5,93	40,08	0,03
Ekim	25,76	12,22	12,91	42,28	0,11
Kasım	25,31	11,07	10,78	41,64	0,18
Aralık	22,84	10,58	8,53	46,16	0,3
Yıllık ortalama	23,38	10,43	14,09	41,34	0,36

3.1.3. Kuraklık Tahmin Modelleri

Dünya’da en yaygın kullanılan kuraklık indisleri; PKŞİ, SYİ, SAİ, Normal Yağışın Yüzdesi (PNI) ve Normalleştirilmiş Vejetasyon Değişim İndisi (NDVI) iken; ülkemizde bu indislere ek olarak Aydeniz ve Erinç indisleri de kullanılmaktadır (SYGM, 2015a). Kuraklık çeşitlerini daha iyi temsil etmesi sebebiyle; PKŞİ, SYİ ve SAİ’nin, bu çalışmada kullanılması tercih edilmiştir (Shahabfar ve Eitzinger, 2013; Vasiliades ve Louksas, 2009). Girdi parametresi olarak; SYİ aylık toplam yağışları (mm) kullanırken, SAİ aylık toplam akımları (mm) kullanmakta, PKŞİ ise temelde aylık toplam yağışı (mm) ve potansiyel ET (ortalama sıcaklık) verisini kullanmaktadır. Sonuçta; çıktı olarak üretilen indis değerlerinin ifade ettikleri anlam, bu yöntemlerin tablolarına bakılarak yorumlanmaktadır. Daha detaylı bilgi yöntem bölümünde verilecektir.

Kuraklık analizleri için ihtiyaç duyulan bölgenin; meteorolojik verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden, hidrolojik (akım) verileri DSİ Genel Müdürlüğü’nden ve geleceğe ilişkin iklim verileri SYGM’den temin edilmiştir.

Meteorolojik Kuraklık: Bu çalışmadaki meteorolojik kuraklıklar, Standart Yağış İndisi ile belirlenmiştir. SYİ, McKee ve arkadaşları tarafından 1993 yılında geliştirilen meteorolojik kuraklığı belirleyen bir indistir. SYİ kuraklık sınıfları, standart normal dağılımlı yağış dizilerinden elde edilir. Fakat yağış dizilerinin olasılık dağılım fonksiyonu normal dağılıma genelde uymamaktadır. Yağış dizileri genelde gama dağılımına uymaktadır. Bu sebeple, yağış verilerinin SYİ’de kullanılabilmesi için standart yağış dizilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Yöntemin uygulanışının basit oluşu, kullanımının tercih edilmesine sebep olmaktadır. SYİ’nin avantajı; istatistiki mantıkla çalıştığı için kuraklık olasılıklarını belirlemede güvenilir olmasıdır. SYİ’nin dezavantajı ise; KSTK ve ET’yi dikkate almayarak sadece yağış verilerine göre kuraklık tahmini yapmasıdır. SYİ model parametresi, aylık toplam yağış (mm) miktarlarıdır (Akbaş, 2013; Saygılı, 2017).

Hidrolojik Kuraklık: Bu çalışmadaki hidrolojik kuraklıklar, Standart Akış İndisi ile belirlenmiştir. SAİ, tamamen SYİ’ye benzemektedir. SAİ’de akım verileri kullanılırken, SYİ’de yağış verileri kullanılmaktadır. Akışın yağışla ilişkisini belirleyen parametreler; toprak nemi, infiltrasyon, havzanın boyutu ve arazi kullanımı gibi karakteristiklere bağlı olduğu için, SAİ sonuçları daha kapsamlı çıktılara sahip olabilmektedir. SYİ ve SAİ (Standart Akış İndisi) sonuçlarının zamansal değişiminde belli bir korelasyonun olduğu da bilinmektedir. SAİ model parametresi, aylık toplam akım (mm) miktarlarıdır (Meresa vd., 2016; Duygu, 2015).

Tarımsal Kuraklık: Bu çalışmadaki tarımsal kuraklıklar, Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi ile belirlenmiştir. PKŞİ; Palmer isimli araştırmacı tarafından 1965 yılında geliştirilmiş, dünyada en yaygın kullanılan tarımsal kuraklık indislerindedir. PKŞİ; başlarda meteorolojik kuraklığı tespit etmek için düşünülse de, zamanla hidrolojik ve tarımsal kuraklığın belirlenmesinde de güvenle kullanılabilceği anlaşılmıştır. Bu indisteki tüm yağışların, yağmur formunda düştüğü kabul edildiğinden karlı bölgelerde güvenilir sonuçlar elde edilememektedir. PKŞİ; sıcaklık, yağış, tarla kapasitesi, Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi (KSTK) verilerini kullanarak toprak-su dengesi eşitlikleriyle kuraklık şiddetini belirlemektedir. Yöntemde; toprak, yüzeyinden 25 mm itibaren ikiye bölünmüş olarak düşünülmektedir. PKŞİ ayrıca; üst toprak katmanı neme doymadan, alt toprak katmanına su geçmediği ve her iki toprak katmanı doymadan da yüzey akışın gerçekleşmediği varsayımına dayanmaktadır. Alt ve üst tabakalar su ile dolup, KSTK miktarına erişildiği zaman yüzey akış olmaktadır. Üst toprakta olan evapotranspirasyon (ET)'un daima potansiyel ET olarak gerçekleştiği PKŞİ yönteminin bir diğer önemli kabulüdür (Akbaş, 2013; SYGM, 2015c).

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi, su dengesi eşitliğinden arz talep yaklaşımına göre oluşturulmuştur. Bu yöntem; geniş topoğrafyalara uygun olmayıp homojen bölgenin toprak nemlerini tahminlemede daha güvenilirdir (Kokkoğlu, 2006). PKŞİ indis sonuçları daha yavaş değişmeye eğilimlidir çünkü önceki koşullar, indis değerinin 2/3'lük kısmını içermektedir. Yani PKŞİ; 2/3 oranında önceki koşullara bağlı olduğu için, uzun bir hafızaya sahip olmakla nitelendirilebilmektedir (SYGM, 2015a; Çakal, 2016).

Özellikle ABD (Kansas ve Iowa eyaletleri) koşulları için haftalık ve aylık periyotta kuraklığı analiz etmek için geliştirilen PKŞİ; ortalama yüzey sıcaklıklarını ve su dengesinin çoğu temel değişkenini kullanmakta, fakat sulama gibi insan etkisini ve toprak tipini dikkate almamaktadır. Yani; yöntem içerisinde, su dengesine yapılan insan müdahaleleri önemsenmemektedir (Akbaş, 2013; Çakal, 2016).

3.1.4. İklim Modelleri

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin son raporlarında en çok tercih edilen iklim senaryoları RCP 4.5 ve RCP 8.5'dir. Dünya'da en yaygın kullanılan iklim modelleri; HadGEM2-ES Küresel İklim Modeli ve RegCM 4.3 Bölgesel İklim Modeli iken; RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları da güncel ve popüler olduğundan, bu çalışmada da kullanımı tercih edilmiştir (SYGM, 2016d; Şen, 2016; Anonim, 2018). Sonuçta, bu iklim modelleri yardımıyla üretilen çıktılar; solar radyasyon ($watt/m^2$), toplam yağış (mm), toplam akım (mm),

ortalama rüzgar hızı (m/sn), minimum ve maksimum sıcaklık (°C) verileridir. İklim değişikliğinin belirlenmesinde; 1970-2000 yılları arasına ait geçmişteki zaman periyodu, referans dönem olarak kabul edilmiş ve geleceğe ilişkin kıyaslamalar buna göre yapılmıştır. Geleceğe ilişkin iklim verileri ise, SYGM'den alınmıştır.

HadGEM2-ES Küresel İklim Modeli: CMIP 5 kapsamında üretilen 2. Nesil küresel iklim modellerindendir. İngiltere Meteoroloji Servisine bağlı Hadley Center araştırma kuruluşu tarafından geliştirilmiştir. Global Environment Model Version 2 anlamına gelen modelin ismindeki ES takısı; modelin içerisine hidroloji, arazi yüzeyi, kimya, troposfer, aerosoller, kara karbon döngüsü, okyanus biyokimyası ile okyanus ve deniz buzu konularını da alan güncel bir versiyonunu ifade etmektedir (Anonim, 2018).

RegCM 4.3 Bölgesel İklim Modeli: İlk kez Amerikan Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi (NCAR) tarafından geliştirilen ve bölgesel iklim model sistemi olarak tanımlanan RegCM'nin yeni versiyonlarının oluşturulmasında Uluslararası Abdüsselam Teorik Fizik Merkezi (ICTP)'nin Yer Sistem Fiziği (ESP) Bölümü aktif rol almıştır. 1989 yılında ilk versiyonu olan RegCM 1 geliştirilmiştir. Modelin diğer üst versiyonları ve geliştirilme tarihleri ise şu şekildedir: RegCM 2-1993, RegCM2.5-1999, RegCM 3-2006, RegCM 4-2010 (Anonim, 2018).

RCP 4.5 ve RCP 8.5 Senaryoları: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 5. Değerlendirme Raporu için oluşturulan güncel senaryolardan (RCP 2.5, RCP 4.5, RCP 6 ve RCP 8.5), en çok tercih edilen iyimser senaryo RCP 4.5 ve kötümser senaryo RCP 8.5'dir. Sera gazı emisyonlarının iklim (ışınım) zorlama seviyesi 2100 yılına kadar; 4.5 W/m²'lik bir değere ulaşıyorsa RCP 4.5 ile, 8.5 W/m²'lik bir değere ulaşıyorsa RCP 8.5 ile belirtilmektedir (Anonim, 2018). Bu senaryolara göre, küresel ve bölgesel iklim modelleri aracılığıyla gelecekteki yağış ve sıcaklık değerleri tahmin edilebilmektedir.

3.1.5. Bitki Verim Tahmin Modeli: WOFOST

Yaygın kullanılan bitki iklim modelleri; WOFOST, DSSAT, CERES, DAISY ve CROPSYST'tir (Çaldağ, 2009; Palosuo vd., 2011; Koç, 2011). WOFOST modeli, güneş ışığı özümlemesinde ve kuraklık altındaki şartlarda daha başarılı sonuçlar üretmektedir (Koç, 2011; Palosuo vd., 2011; Çaylak, 2015). Ayrıca, diğer bitki iklim modelleriyle kıyaslandığında; WOFOST'un menülerinin kullanım kolaylığı, aşırı sayıda meteorolojik parametreye ihtiyaç

duymaması ve sonuçları görselleştirebilme özelliği bulunmaktadır (Koç, 2011). Bu sebeple; kuraklık temelinde yürütülen bu çalışmada, WOFOST modelinin kullanımı tercih edilmiştir.

WOFOST'taki modelleme çalışmaları için ihtiyaç duyulan bölgenin; meteorolojik verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden, tarımsal verileri ise Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü ile Eskişehir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden ve gelecekteki muhtemel iklim verileri SYGM'den temin edilmiştir.

WOFOST: Hollanda'daki Wageningen Üniversitesi'nden temin edilebilen model; Wageningen Tarım Üniversitesi, Dünya Gıda Çalışmalar Merkezi, Agrobiyolojik Araştırma Merkezi ve Üretim Ekolojisi Teorisi işbirliği ile 1998 yılında geliştirilmiştir. Bu bitki gelişim simülasyon modelinin geliştirilmesinde görev alan bilim insanları J. Wolf, C. A. Van Diepen, C. Rappoldt ve H. Van Keulen'dir. Kodlarına ulaşılabilen, açık kaynak kodlu bir model olan WOFOST, tek yıllık bitkilerin iklim koşulları altındaki büyümelerini tahmin etmektedir (Koç, 2011). WOFOST modelinde kullanılabilecek bitkiler şunlardır: Arpa, nohut, börülce, bakla, kolza, yer fıstığı, ayçiçeği, tütün, buğday, şeker kamışı, şeker pancarı, çeltik, sorgum, soya fasülyesi, pamuk, mısır ve patates'tir.

WOFOST modelinde ihtiyaç duyulan üç çeşit veri grubu vardır. Bunlar (Wolf, 2003);

1) İklim verileri:

- Bitkinin yetiştirme sezonu boyunca günlük ihtiyaç duyulan iklim verileri şunlardır: Minimum ve maksimum sıcaklık, solar radyasyon, yağış, buhar basıncı, evapotranspirasyon, 2 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı

2) Bitki verileri:

- Bitki ekim yoğunluğu, ekim tarihi, yaprak alan indeksi, bitki yoğunluğu, ekim-oluşum-çiçeklenme-olgunlaşma gibi fenolojik gelişim tarihleri
- Orta ve son hasattaki; toplam biyokütle, yaşayan ve ölü yaprak ağırlığı
- Ayrıca; hastalık-zararlı-yabancı ottan dolayı olan verim kayıpları ile gübre eksikliğinden olan verim kayıplarının da oranlarının bilinmesi, çalışmaların güvenilirliğini arttırmaktadır.

3) Toprak verileri:

- Tarla kapasitesi-solma noktası değerleri, porozite, kök derinliği, hidrolik iletkenlik, yeraltı su seviyesi, tuzluluk

WOFOST'ta bazı parametrelerin hassasiyeti oldukça önemlidir. Bunlar; çıkıştan tozlaşmaya kadar termal zaman (TSUM1), tozlaşmadan olgunluğa kadar termal zaman (TSUM2), asimilasyonu yapraklara taşıma etkinliği (CVL), asimilasyonu depo organlarına taşıma etkinliği (CVO), asimilasyonu köklere taşıma etkinliği (CVR), asimilasyonu gövdeye taşıma etkinliği (CVS), özgül yaprak alanı (SLATB), 35 °C'deki yaşam süresi (SPAN), başlangıç ürün kuru ağırlığı (TDWI), maksimum yaprak CO_2 asimilasyon oranı (AMAXTB)'dir (Şen, 2009).

Özetle, WOFOST modelinde; bitkiye, toprağa, fenolojik döneme ve iklime ilişkin girdiler kullanılmaktadır. WOFOST'un başlıca iklimsel girdileri; günlük yağış, solar radyasyon, rüzgar hızı, minimum ve maksimum sıcaklıklardır. WOFOST'un başlıca çıktıları; biyokütle, verim, yaprak alan indeksi (LAI) ve hasat indeksi (HINDEX) değerleridir. Sonuçların yorumlanması aşamasında; yüksek LAI ve HINDEX değerlerine sahip, optimum verim elde edilecek üretim şartları sağlanmalıdır.

3.1.6. Buğday Bitkisi

Çalışma havzasında yetiştirilen bitkiler; buğday, ayçiçeği, mısır, şeker pancarı ve arpa'dır. Temel besin kaynaklarından olması ve sulama ihtiyacının az olması sebebiyle kuraklık çalışmalarına uygunluğu dolayısıyla; bu tez kapsamında da Bezostaja buğday çeşidinin kullanımı tercih edilmiştir. Ayrıca; bölgede yaygın olarak ekilen bu buğday çeşidinin kullanılması, iklim değişikliğinden etkilenen bölge tarımının, yerel koşullarda gerçekçi temsil edilmesi açısından önemlidir.

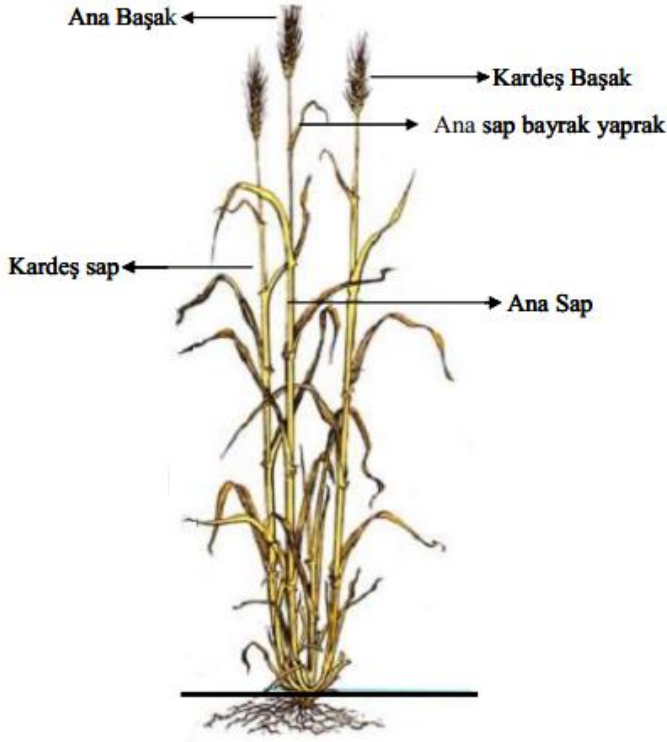
Buğday başağının yaklaşık %70'i nişasta, %12'si su, %10'u protein, %3'ü yağ, %2'si şeker, %1'i küldür. Buğday gelişme döneminde ihtiyaç duyulan, optimum sıcaklıkların üzerindeki her 1°C'lik artışların, buğday verimlerini 5,5 kg/da azaltabileceği tahmin edilmektedir.

Buğday, C3 bitkisidir ve CO_2 artışı buğdayı olumlu etkilemektedir. Dünyada tarım alanlarının yaklaşık %15'ini buğday tarlaları oluşturmaktadır. Bir insanın yılda ortalama 225 kg buğday tüketmesi gerektiği düşünülmektedir. İnsanın ihtiyacı olan proteinin %25'ini ve kalorisinin de %20'sini oluşturan buğday; bu gibi sebeplerden dolayı en önemli bitkiler içerisinde yer almaktadır. Dünyadaki buğdayın yaklaşık %3,5'unu Türkiye üretmektedir. Buğday ülkemizde yaklaşık 9,5 milyon hektarlık alana ekilebilirken; bu alanlardan yaklaşık yılda 20 milyon ton buğday verimi alınabilmektedir (Kapur, 2010).

Buğdayın, organlarının ve farklı fenolojik dönemdeki hallerinin bilinmesi oldukça önemlidir (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13).



Şekil 3.12. Buğdayın fenolojik dönem resimleri (Çaylak, 2015)



Şekil 3.13. Buğday organları (Kapur, 2010)

Türkiye'ye ve Eskişehir'e ilişkin buğday verileri Çizelge 3.8'de gösterilmektedir. Eskişehir'deki buğday verim değerlerinin, Türkiye ortalamasının üzerinde olduğu bilinmektedir (Çizelge 3.8). Porsuk Çayı havzasındaki, buğdayın genel fenolojik dönem tarihleri ise Çizelge 3.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.8. Türkiye ve Eskişehir'in buğday üretim verileri (USDA, 2019; Anonim, 2020a)

	Yıl	Türkiye	Eskişehir
Üretim miktarı (Ton)	2016	17 250 000	575 430
	2017	21 000 000	538 796
	2018	19 000 000	526 919
Alan (Hektar)	2016	7 820 000	182 943
	2017	7 800 000	193 122
	2018	7 620 000	181 137
Verim (Ton/Hektar)	2016	2,21	3,15
	2017	2,69	2,79
	2018	2,5	2,91

Çizelge 3.9. Genel olarak Porsuk Çayı havzasında buğdayın fenolojik dönem tarihleri

Dönem	Tarih
Ekim	15 Ekim - 25 Kasım
İlk çıkış	15 Kasım - 10 Aralık
Çiçeklenme	Nisan Sonu - Mayıs Başı
Hasat tarihi	15 Temmuz -Ağustos Başı

Çalışma alanında kullanılan buğday tarlasındaki kültürel işlemlere ilişkin bilgiler, Çizelge 3.10'dadır. Buğday tarlasında uygulanan azot dozu, 9 kg N/da'dır.

Çizelge 3.10. Buğday tarlasına uygulanan ilaç ve gübre bilgileri

İlaç	Uygulama zamanı	Uygulama miktarı
Fungusit + Herbisit	25.04.2017	80 gr/da
Herbisit	15.05.2017	71,4 mL/da
Gübre		
DAP (Diamonyum fosfat)	20.10.2016	13 kg/da
Üre	18.04.2017	9 kg/da
Amonyum nitrat	28.05.2017	9 kg/da

3.2. Yöntem

Çalışmada iklim değişikliğinin; meteorolojik kuraklığa etkisi Standart Yağış İndisi (SYİ) ile, hidrolojik kuraklığa etkisi Standart Akış İndisi (SAİ) ile ve tarımsal kuraklığa etkisi Palmer Kuraklık Şiddeti indisi (PKŞİ) ile belirlenmiştir. Havza özelliklerinin tespit edilmesinde ve elde edilen sonuçların görselleştirilmesinde, ArcGIS 10.4 programı kullanılmıştır. PKŞİ, SYİ ve SAİ indis sonuçlarını kolaylıkla hesaplayabilmek için, indiste kullanılan eşitlikler excel tablosuna girilerek kuraklık modelleri oluşturulmuştur.

3.2.1. Kuraklık Analizi

Bu çalışmada; meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıklar incelenmiştir. Bu amaçla, geçmişe yönelik kuraklıkları belirlemek için; DSİ ve MGM'den alınan, aylık toplam yağış (mm), aylık toplam akım (mm) ve aylık ortalama sıcaklık (°C) verileri kullanılmıştır. Geleceğe yönelik kuraklıkları belirlemek için, SYGM'den alınan; RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına göre üretilmiş ve ölçek küçültme yöntemiyle bölgeyi temsil edebilecek forma getirilmiş iklim verileri (aylık toplam yağış (mm), aylık toplam akım (mm) ve aylık ortalama sıcaklık (°C)) kullanılmıştır. Bu geçmişteki ve gelecekteki iklim verileri, kuraklık indislerinin (SYİ-SAI-

PKŞİ) hesaplanmasında kullanılarak kuraklık sınıfı haritaları elde edilmiştir. Sınıflandırma sonucunda kurak bölgelerde tarımı yapılan buğday bitkisi verileri, WOFOST bitki-iklim modelinde kullanılarak iklim değişikliğinin tarıma etkisi buğday bitkisi bazında tahminlenmiştir.

Referans (1970-2000) döneme ilişkin iklim verilerinin bulunduğu gözlem istasyonlarının seçiminde; homojenlik testi uygulanarak, homojen olmayan istasyonlar çalışmadan çıkarılmıştır. Bölgesel iklim modeli sonuçları kullanılmadan önce ise; yanlışlık düzeltme yöntemi uygulanarak, iklimsel tahmin verilerinin bünyesinde bulunabilecek doğal hatalar düzeltilmiştir.

İklim değişikliğinin, kuraklık analizleri üzerine etkisini tespit etmek için; HadGEM2-ES ve RegCM 4.3 iklim modelleri yardımıyla üretilen; toplam yağış (mm) verileri SYİ'de, toplam akım (mm) verileri SAİ'de; toplam yağış (mm), ortalama sıcaklık (°C) ve ET (mm) verileri PKŞİ'de kullanılarak, kuraklık sınıfı sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçların geleceğe yönelik analizinde; hem 2018-2096 yılları arası için yıllık olarak; hem de yakın (2020-2045), orta (2045-2070) ve uzak (2070-2095) gelecek için dönemsel olarak hesaplanmıştır. Dönemsel analiz için, yıllık indis sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Geçmişe yönelik kuraklık analizi ise, 1970-2018 yılları arasında yapılmıştır.

Çalışmada, mekansal ve zamansal olarak kuraklık indisi sonuçları belirlenmiştir. Mekansal analizde; Alpu, Tepebaşı ve Odunpazarı istasyonları bazında PKŞİ, SYİ ve SAİ sonuçları belirlenmiştir. Zamansal analizde ise; geçmiş (1970-2018) ve gelecek (2018-2096) dönemin kuraklık desenleri, yıllık olarak belirlenmiştir. Ayrıca; gelecek yıllar, 25'er yıllık periyotlar halinde de incelenmiştir.

3.2.1.1. Standart Yağış İndisiyle Meteorolojik Kuraklıkların Modellenmesi

Standart yağış indisi için sadece aylık yağış verilerine ihtiyaç vardır. Eşitlik 3.1'deki; X_i yağış miktarı (mm) iken, X_i^{ort} ortalama yağış miktarı (mm) ve σ ise standart sapmadır (Hasaniha, 2008).

$$SYI = \frac{X_i - X_i^{ort}}{\sigma} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1 yardımıyla yapılan hesaplamalar sonucunda, Çizelge 3.11'deki SYİ kuraklık sınıfları elde edilebilmektedir. Çizelgedeki renklendirme, kuraklık bulgularının yorumlanmasını kolaylaştırmak amacıyla yapılmıştır.

Çizelge 3.11. Standart Yağış İndisi Kuraklık Sınıfları (SYGM [Su Yönetimi Genel Müdürlüğü], 2015)

SYİ	Kuraklık sınıfı
2 <	Aşırı Nemli
1,5-2,0	Çok Nemli
1,0-1,5	Orta Nemli
0,5-1,0	Nemlice
-0,5 ile 0,5 arası	Normal
-0,5 ile -1 arası	Kurakça
-1 ile -1,5 arası	Orta Kurak
-1,5 ile -2,0 arası	Çok Kurak
< -2	Aşırı Kurak

3.2.1.2. Standart Akış İndisiyle Hidrolojik Kuraklıkların Modellenmesi

SAİ için sadece aylık akım verilerine ihtiyaç vardır. Eşitlik 3.2'deki; X_a akım miktarı (mm) iken, X_a^{ort} ortalama akım miktarı (mm) ve σ ise standart sapmadır.

$$SAİ = \frac{X_a - X_a^{ort}}{\sigma} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2 yardımıyla yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge 3.12'deki SAİ kuraklık sınıfları elde edilebilmektedir. Çizelgedeki renklendirme, kuraklık bulgularının yorumlanmasını kolaylaştırmak amacıyla yapılmıştır.

Çizelge 3.12. Standart Akış İndisi Kuraklık Sınıfları (Meresa vd., 2016)

SYİ+SAİ+SYEİ	Kuraklık sınıfı
0<	Nemli
0 ile -1 arası	Hafif Kurak
-1 ile -1,5 arası	Orta Kurak
-1,5 ile -2,0 arası	Çok Kurak
< -2	Aşırı Kurak

3.2.1.3. Palmer Kuraklık Şiddeti İndisiyle Tarımsal Kuraklıkların Modellenmesi

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi'ndeki Potansiyel ET değerleri Thornthwaite yöntemine göre belirlenmiştir. Bunun için; ortalama sıcaklık verileri kullanılıp, meteoroloji istasyonunun enlemine göre düzeltme işlemi yapılarak, Düzeltilmiş Potansiyel ET değerleri kullanılmıştır.

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisinin ihtiyaç duyduğu veriler şunlardır;

- Aylık ortalama sıcaklık (°C)
- Aylık toplam yağış miktarı (mm)
- Aylık ortalama evapotranspirasyon (mm)
- Aylık ortalama potansiyel evapotranspirasyon (mm)
- Aylık ortalama toprak su dolumu miktarı (mm)
- Aylık ortalama akış (mm)
- Aylık ortalama topraktan kaybolan su (mm)
- Mevcut su kapasitesi (Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi) (mm)
- Belirli bir ay için topraktaki su miktarının potansiyel kaybı (mm)
- Her bir meteoroloji istasyonunun enlem derecesi

Eşitlik 3.3- 3.6'lardaki; Y: Yağış (mm); TB: Tava buharlaşması (mm); ET: Evapotranspirasyon (mm); K: Kayıp (mm); B: Beslenme (mm); A: Akış (mm); EBTN: En büyük toprak nemi kapasitesi (mm) iken (Palmer, 1965);

$$\text{Eğer } Y < TB \text{ ise } K = ET - Y \quad (3.3)$$

$$\text{Eğer } Y > TB \text{ ise } B = Y - ET \quad (3.4)$$

$$\text{Eğer } B > EBTN \text{ ise } A = B - EBTN \quad (3.5)$$

$$\alpha = \frac{\bar{ET}}{\bar{TB}} \quad \beta = \frac{\bar{B}}{\bar{PB}} \quad \gamma = \frac{\bar{A}}{\bar{PA}} \quad \delta = \frac{\bar{K}}{\bar{PK}} \quad (3.6)$$

$$F = Y - (\alpha ET + \beta PB + \gamma PA - \delta PK) \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7'deki; F: Gerçek yağış ile yapay (hesaplanan) yağış arasındaki fark (mm); Y: Yağış (mm); ET: Evapotranspirasyon (mm); PB: Potansiyel beslenme (mm); PA: Potansiyel akış (mm); PK: Potansiyel kayıp (mm); α - β - γ - δ ise katsayılarıdır (Palmer, 1965; Şen, 2016).

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi'nin hesap aşamaları aşağıdaki sıralama ile yapılabilmektedir (Palmer, 1965; Çakal, 2016);

1) Thornthwaite ile potansiyel ET hesabı: Bunun için; ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), toplam yağış (mm) ve istasyon enlemine ihtiyaç vardır.

- **Aylık sıcaklık indisi (j):** 12 ay için de ayrı ayrı j_i değerleri hesaplanıp, toplanarak j değeri elde edilir. Eşitlikteki t_i , i. Ay için ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değeridir. $j_i = \left(\frac{t_i}{5}\right)^{1,514}$
- **Yıllık sıcaklık indisi (J):** $J = \sum_{i=1}^n \left(\frac{j_i}{5}\right)^{1,514}$
- **Potansiyel ET (PE_x):** Gün ışığı saatlerinin sayısına göre bir düzeltme yapılarak bu eşitlik kullanılmaktadır. PE_x 'in birimi mm'dir. $PE_x = 16 \left(\frac{10 \cdot t_i}{J}\right)^a$
 $a = (675 \cdot 10^{-9} \cdot J^3) - (771 \cdot 10^{-7} \cdot J^2) + (1,79 \cdot 10^{-4} \cdot J) + 0,492$
- **Düzeltilmiş Potansiyel ET ($PE_{Düzeltilmiş}$):** $PE_{Düzeltilmiş} = PE_x \cdot c$
Eşitlikteki c katsayısı, meteoroloji istasyonunun enlemine göre değişmektedir.
- **Depolanmış toprak nemi (S_i) ve yüzey akışın (RO_i) hesabı:** Önceki ay sonlarındaki, toprağın her iki tabakasındaki (25 mm'den bölünmüş olan), toprak nemlerinin toplamı olan S_i ve yağış yüksekliği P_i toplanacaktır. Bu değer $PE_{Düzeltilmiş}$ değerinden daha yüksek olduğu ilk ay, ıslak ay olarak tanımlanır. Bu ilk ıslak aydaki depolanmış toprak nemi "sıfır" kabul edilmektedir. Sonra diğer aylar hesaplanır. Topraktaki nem miktarı, toprağın depolayabileceği maksimum nem miktarından küçükse, yüzey akış o ay için "sıfır" kabul edilmektedir. Büyükse zaten yüzey akış gerçekleşmektedir.

$S_{i-1} + P_i - PE_{Düzeltilmiş}$ değerine X dersek;

$X \leq 0$ iken; $S_i = 0$ ve $RO_i = 0$ olmaktadır.

$X > 0$ iken ise; KSTK (Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi) ile bu X değerinin kıyaslanması gerekmektedir. Şöyle ki;

Eğer $X \geq \text{KSTK}$ ise; $RO_i = X - \text{KSTK}$ ve $S_i = \text{KSTK}$ 'dir.

Eğer $X < \text{KSTK}$ ise; $RO_i = 0$ ve $S_i = X$ 'dir.

Bu KSTK değerini topraktan toprağa çok değiştiği için; PKŞİ'nin, geniş alanları tam temsil edemeyebilmesine sebep olarak, güvenilirliğini azaltmaktadır.

Üst (yüzey) toprak tabakası kalınlığı 25 mm kabul edilmektedir. Eğer;

$S \geq 25$ mm ise; $S_{üst}=25$ mm ve $S_{alt}= S-25$ mm'dir.

$S < 25$ mm ise; $S_{üst}= S$ ve $S_{alt}= 0$ 'dır.

Eşitlikteki; $S_{üst}= Ay$ başında yüzeyde depolanan toprak nemi ve $S_{alt}= Ay$ başında aşağıda depolanan toprak nemidir.

- **Gerçek ET'nin hesabı (ET):**

İlk ay için ET (mm) şöyle hesaplanmaktadır: Eğer;

$$PE_1 \geq P_1 \text{ ise } ET_1 = P_1$$

$$PE_1 < P_1 \text{ ise } ET_1 = P_1 \text{ düzeltilmiş}$$

Diğer aylar için ET ise şöyle hesaplanmaktadır($S_{i-1} + P_i - PE_{Düzeltilmiş}$ değerine X dersek): Eğer;

$$X \leq 0 \text{ ise } ET_i = S_i + P_i$$

$$X > 0 \text{ ise } ET_i = PE_{düzeltilmiş}$$

2) Hidrolojik hesaplamalar:

$$PR = KSTK - (S_{üst} - S_{alt}) \quad (3.8)$$

$$PL = PL_{üst} - PL_{alt} \quad (3.9)$$

$$PRO = KSTK - PR = S_{üst} + S_{alt} \quad (3.10)$$

Eşitliklerdeki;

PR: Toprağın nem içeriğinin doyması için gereken nem miktarı (Potansiyel nem ağığı)

PL: Yağış yokken gerçekteşen ET (Potansiyel kayıp)

PRO: Potansiyel yağış, KSTK'ya eşitken; potansiyel yağış ve potansiyel nem ağığının arasındaki fark (Potansiyel yüzey akış)

$PL_{üst}$: Üst tabakadaki potansiyel kayıp

PL_{alt} : Alt tabakadaki potansiyel kayıp

3) İklim katsayıları: Aylık ortalama değerlerin birbirlerine oranlanmasıyla bulunan bu katsayılar, haftalık veya aylık olarak hesaplanabilmektedir. Bu iklim katsayıları; her bir ay için (hesaplanan) potansiyel değerler ve mevcut ortalamalar arasındaki oranı göstermektedir.

$$a_j = \frac{\overline{ET}_j}{\overline{PE \text{ düzeltilmiş}}_j} \quad b_j = \frac{\overline{R}_j}{\overline{PR}_j} \quad c_j = \frac{\overline{RO}_j}{\overline{PRO}_j} \quad d_j = \frac{\overline{L}_j}{\overline{PL}_j} \quad (3.11)$$

Eşitliklerdeki;

a_j : ET katsayısı; b_j : Sızma (nem açığı) katsayısı; c_j : Yüzey akış katsayısı; d_j : Kayıp'tır.

4) Mevcut koşullara uygun iklim değişkenleri (CAFEC değerleri):

$$\widehat{ET}_j = a_j \cdot PE_j \quad (3.12)$$

$$\widehat{R}_j = b_j \cdot PR_j \quad (3.13)$$

$$\widehat{RO}_j = c_j \cdot PRO_j \quad (3.14)$$

$$\widehat{L}_j = d_j \cdot PL_j \quad (3.15)$$

$\dot{P}_j \geq 0$ olmak üzere;

$$\dot{P}_j = \widehat{ET}_j + \widehat{RO}_j + (\widehat{R}_j - \widehat{L}_j) \quad (3.16)$$

D : Mevcut yağış ve CAFEC katsayı değerleri (yağışı) arasındaki farktır. Bu değer, istasyondaki belli bir ay için su eksikliğini-fazlalığını göstermektedir.

5) Nem anomalisi (Z) indisi: Bu aşamadaki dönüşümler ağırlık faktörü (K) ile yapılacaktır. Hem alansal hem de zamansal sapmalar çok olabileceği için bu K faktörü kullanılmaktadır. Kuraklığın alansal kapsamı, bu K faktöründen aşırı etkilenmektedir. Bu K katsayısı, bölgeden bölgeye değişen iklimin özelliklerine bağlıdır.

$$D_j = P_j - \dot{P}_j \quad (3.17)$$

$$Z_j = K_j \cdot D_j \quad (3.18)$$

$$K_j = \frac{17,6 \cdot \overline{K}_j}{\sum_{i=j}^{12} \overline{d}_j \overline{K}_j} \quad (3.19)$$

$$\overline{K}_j = (1,5 \cdot \log_{10} \left(\frac{\overline{PE}_j + \overline{R}_j + \overline{RO}_j}{\overline{P}_j + \overline{L}_j} \right) + (2,8 \cdot \overline{d}_j^{-1}) + 1) \quad (3.20)$$

Eşitliklerdeki;

D_j : Mevcut yağış ve CAFEC katsayı değerleri (yağışı) arasındaki sapma miktarı

P_j : Belirli bir ay için gerçek yağış değeri

\dot{P}_j : Belirli bir ay için CAFEC yağış değeri

Z_j : Palmer Z indisi

\overline{d}_j : Tüm d değerlerinin aylık ortalaması

\overline{d}_j^{-1} : Bütün yıllar için, aylık tüm d değerlerinin ortalaması (aylık kayıtların ortalaması)

6) **PKŞİ (X_j) hesabı:** Kurak periyotların başlangıç ve bitişlerini belirlemek için son aşama, Z indisinin zaman serilerinin üretilmesidir. X_j 'nin; negatif değerleri kuraklık durumunu, pozitif değerleri ise sulaklık durumunu ifade etmektedir. X_i değeri ise, PKŞİ'nin ilk aydaki değeridir.

$$X_j = (0,897 \cdot X_{j-1}) + \left(\frac{Z_j}{3}\right) \quad \text{ve} \quad X_i = \frac{Z_i}{3} \quad (3.21)$$

Bu eşitlikler yardımıyla yapılan hesaplamalar sonucunda, Çizelge 3.13'deki PKŞİ kuraklık sınıfları elde edilebilmektedir. Çizelge 3.13'deki renklendirme, kuraklık bulgularının yorumlanmasını kolaylaştırmak amacıyla yapılmıştır.

Çizelge 3.13. Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi Sınıfları (SYGM, 2015c)

PKŞİ	Kuraklık sınıfı	
4 <	Aşırı Nemli	
3 ile 4 arası	Çok Nemli	
2 ile 3 arası	Orta Nemli	
1 ile 2 arası	Hafif Nemli	
0,5-1,0	Nemli	
0,5 ile -0,5 arası	Normal	
-0,5 ile -1 arası	Kurak	
-1 ile -2 arası	Hafif Kurak	
-2 ile -3 arası	Orta Kurak	
-3 ile -4 arası	Çok Kurak	
< -4	Aşırı Kurak	

3.2.2. İklim Değişikliğinin Modellenmesi

İklim değişikliğinin belirlenmesinde; 1970-2000 yılları arasına ait geçmişteki zaman periyodu, referans dönem olarak kabul edilmiş ve geleceğe ilişkin kıyaslamalar buna göre yapılmıştır. Bu referans (1970-2000) döneme ilişkin iklim verilerinin bulunduğu gözlem istasyonlarının seçiminde; homojenlik testi uygulanarak, homojen olmayan istasyonlar çalışmadan çıkarılmıştır.

İklim değişikliğinin modellenmesi aşamasında; kullanılan modeller HadGEM2-ES ve RegCM 4.3 iken; kullanılan senaryolar RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarıdır. HadGEM2-ES küresel iklim modeli tahminlerinin düşük çözünürlüklü olması sebebiyle, RegCM 4.3 bölgesel iklim modelinde dinamik ölçek küçültme yapılarak, daha güvenilir ve yüksek çözünürlüklü iklim verileri elde edilmiştir. Bu bölgesel iklim modeli sonuçları kullanılmadan önce yanlılık düzeltme yöntemi uygulanarak, iklimsel tahmin verilerinin bünyesinde bulunabilecek doğal hatalar düzeltilmiştir. Gelecekteki iklimsel değişiklikler ise, 25 yıllık dönemler halinde incelenmiştir.

İklim değişikliğinin modellenmesinde; günlük olarak yağış, güneş radyasyonu, ortalama rüzgar hızı, minimum ve maksimum sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Bu veriler; 2016-2096 yılları arası için, 10 km çözünürlükle üretilmiştir. SYGM'den alınan bu verilerin, WOFOST modeli ve kuraklık indislerinde kullanılabilmesi için gerekli birim dönüştürme işlemleri yapılmıştır. Bu amaçla; güneş radyasyonu değerleri W/m^2 'den, kJ/m^2 'ye çevrilmiştir. Ayrıca; iklim modeliyle tahminlenen referans dönemine ait yağış ve sıcaklık değerleri, gözlenen değerlerle karşılaştırılarak, bu iki grubun ortalamaları arasındaki farkın istatistiki olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir.

3.2.3. WOFOST Modeliyle Bitki Verim Tahmini

Çalışmada, Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü yerleşkesindeki, 2016 ve 2017 yıllarına ait Bezostaja buğday çeşidi ekili tarla verileri kullanılmıştır. Çalışma alanındaki buğday ekimleri, 18.10.2015 ve 14.10.2016 tarihlerinde yapılmıştır.

Çalışma alanının genel iklimini temsil eden, 2016-2017 yılları test dönemi (2016 yılı kalibrasyon için, 2017 yılı doğrulama için kullanılmıştır) olarak seçilmiştir. Kalibrasyon aşamasında, Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün arazisindeki Bezostaja buğday verimi değerleri kullanılmıştır. WOFOST modeli ile 2016-2017 yılı için gözlenen verim değerleri karşılaştırılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi, ortalama rüzgar hızı (m/sn)'na göre yapılmıştır. Uyuşma indisi (d) ile analiz sonucunda; gözlenen ve tahminlenen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu ve WOFOST modelinin gelecekteki buğday verimini tahminlemede güvenilir olduğu anlaşılmıştır.

İklim değişikliğinin, buğday verimine etkisinin tespit edilmesi ve gelecekteki buğday verimlerinin tahminlenmesi amacıyla; Geçit kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü arazisindeki 2016 ve 2017 yıllarına ait gözlenen buğday verimleri, WOFOST modeli tahmin değerleriyle kalibre edilmiştir. Daha sonra; HadGEM2-ES ve RegCM 4.3 iklim modellerinin, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre üretilen; solar radyasyon (watt/m^2 'den kilojoule/m^2 'ye çevrilerek kullanılmıştır), toplam yağış (mm), ortalama rüzgar hızı (m/sn), minimum ve maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) günlük verileri WOFOST modelinde kullanılarak, verim sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçların geleceğe yönelik analizinde; yakın (2020-2045), orta (2045-2070) ve uzak (2070-2095) gelecek için dönemsel olarak buğday verimleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken, iklim modellerinin; yakın (2020-2045), orta (2045-2070) ve uzak (2070-2095) gelecek için ürettikleri iklim verileri, WOFOST modeli veri dosyalarına girilerek kullanılmıştır.

WOFOST bitki-iklim modeliyle iklim değişikliğinin tarımsal üretime etkisi buğday bitkisi bazında tespit edilmiştir. Hava sıcaklığı ve yağış gibi çeşitli iklim parametreleri değişimlerinin tarımsal üretime (verime) etkisi değerlendirilmiştir. İklim değişikliğinin; kuraklığa, sıcaklığa, yağışa, yüzey akışa ve tarımsal üretime (verime) etkisi değerlendirilmiştir. Bölge çiftçisinin de faydalanabileceği; kuraklık risk ölçümü ve analizleri yapılarak, tarımsal sigortalama açısından oldukça faydalı sonuçlar ortaya konulmuştur.

WOFOST için; Bitki su tüketimi (mm/gün), Yüzey akış (mm/gün), Kök bölgesinde toprak nemi (mm), Toplam yağış (mm/gün), Bitki yüzey sıcaklığı ve 2 m'deki minimum

sıcaklık-maksimum sıcaklık-özgül nem-hava sıcaklığı-alansal rüzgar değerleri gerekebilmektedir (Şen, 2009).

WOFOST modelinin; genel veri sekmesinden; simülasyonun su veya gübre limitlilik durumu seçilmektedir. Bitki verisi sekmesinden bitki fenolojik dönem tarihleri seçilebilmektedir. İklim verisi sekmesinden; yağış verilerinin periyodu seçilmektedir. Toprak verisi sekmesinden toprak tipi seçilmektedir. Bitki besleme verisi sekmesinden azot, fosfor ve potasyum gibi gübre miktarları ayarlanabilmektedir (Koç, 2011; Altürk vd., 2019; Konukcu vd., 2020). WOFOST modelindeki bu; bitki, iklim, toprak ve fenolojik dönem tarihleri verilerin girilebileceği tuşlar Şekil 3.14'te görülmektedir.



Şekil 3.14. WOFOST modeli genel sayfası

Verilerin WOFOST modeline girilmesi aşamasında; aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- WOFOST dosyaları; Excel'de hazırlanıp, Wordpad'e dönüştürülmüştür.
- Oluşturulacak WOFOST dosyalarında, isim uzantılarındaki yıllar üç haneli yazılmıştır (Örneğin .2075 yılı, .075 şeklinde olmalıdır). Dosyaların kayıt türü, "Biçimli Metin (Boşlukla ayrılmış)" olmalıdır.
- Dosya isimlendirmelerinde Türkçe karakter kullanılmamıştır. Dosya isimleri, 6 karaktardan uzun olmamalıdır.
- Buğday bitkisinin fenolojik dönem tarihlerine ilişkin bilgiler, WOFOST modelinde istenilen sayı formatına çevrilerek modele girilmiştir.
- WOFOST modelinde, kullanılmaya hazır olan wordpad dosyasında; enlem, boylam, rakım bilgileri ile günlük olarak girilen; güneş radyasyonu, yağış, ortalama rüzgar hızı, minimum ve maksimum sıcaklık verileri oluşturulmuştur.

Gelecekteki buğday verimlerinin modellenmesi aşamasında; iklim modeli çıktılarındaki 3 saatlik solar radyasyon değerlerinin birimleri $watt/m^2$ iken; WOFOST modeline girilen bu değerlerin birimleri $kilojoule/m^2/gün$ olarak çevrilmiştir.

WOFOST modelinin bitki gelişim simülasyonu, SUCROS modelinden örnek alınmıştır. Modeldeki kısıtlı koşullardaki üretim ise, QUFTS modeline göre yapılmaktadır. WOFOST modelindeki bitki gelişim tahmini için; özümseme-solunum, fenolojik gelişim, transpirasyon ve toprak-su dengesi eşitlikleri kullanılarak simülasyon yapılmaktadır. Bu eşitlikler aşağıda açıklanacaktır (Boogaard vd., 2014).

Brüt özümleme oranı (Boogaard vd., 2014);

$$A_L = A_m (1 - e^{-\epsilon \frac{I_{aL}}{A_m}}) \quad (3.22)$$

Eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Eşitlikteki;

A_L : Brüt özümleme oranı ($kg (CO_2)/ m^2$ (yaprak) /sn)

A_m : Maksimum brüt özümleme oranı ($kg (CO_2)/ m^2$ (yaprak) /sn)

ϵ : Yaprığın ilk ışık kullanım etkinliği ($kg (CO_2)/joule$)

I_{aL} : Yaprak tabakası tarafından özümlenen radyasyon oranı'dır.

Fenolojik gelişme oranı (Boogaard vd., 2014);

$$DVR = \frac{T_e}{T_{req}} \quad (3.23)$$

Eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Eşitlikteki;

DVR: Fenolojik gelişme oranı

T_e : Günlük etkili sıcaklık ($^{\circ}C$)

T_{req} : Bitki gelişimi için gerekli termal süre ($^{\circ}C gün$)'dir.

Bitkilerin iklim ile olan ilişkilerinde; transpirasyonun oranlanmasına dayanan ve sabit varsayımlarla gerçekleşen bir özümseme yaşandığı kabul edilmektedir. Gerçekleşen bu özümseme (Boogaard vd., 2014);

$$A = \frac{T_a}{T_p} A_p \quad (3.24)$$

Eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Eşitlikteki;

A: Gerçekleşen özümseme (kg/ha/gün)

A_p : Potansiyel özümseme (kg/ha/gün)

T_a : Gerçek (su kısıtlı) transpirasyon oranı (mm/gün)

T_p : Potansiyel transpirasyon oranı (mm/gün)'dir.

WOFOST'taki maksimum transpirasyon değeri (Eitzinger vd.,2004);

$$E_{tp} = E_p [1 - \exp(-k_{gb}LAI)] \quad (3.25)$$

Eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Eşitlikteki;

E_{tp} : Maksimum transpirasyon oranı

k_{gb} : Radyasyonun sönüm (tükenme) katsayısı

LAI: Yaprak alan indeksi değeri'dir.

Gerçek transpirasyonun bileşenlerinden biri olan, su kısıtındaki küçültme faktörü (R_{ws});

$$R_{ws} = \frac{(\theta_t - \theta_{wp})}{(\theta_{ws} - \theta_{wp})} \quad (3.26)$$

Eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Eşitlikteki (Eitzinger vd.,2004);

R_{ws} : Su kısıtındaki küçültme faktörü

θ_t : Gerçek toprak suyu içeriği

θ_{wp} : Solma noktasındaki toprak suyu içeriği

θ_{ws} : Kritik toprak nemi'dir.

Su azlığı veya çokluğu'nun bir sonucu olarak, gerçek transpirasyon (Eitzinger vd.,2004);

$$T_a = E_{tp} R_{ws} R_{os} \quad (3.27)$$

Eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Eşitlikteki;

T_a : Gerçek transpirasyon

E_{tp} : Maksimum transpirasyon oranı

R_{ws} : Su kısıtındaki küçültme faktörü

R_{os} : Oksijen kısıtındaki küçültme faktörü'dür.

Bitkinin günlük gelişme oranı (G_p);

$$G_p = (A_d(30/44) - R_m)/Q \quad (3.28)$$

Eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Eşitlikteki (Ittersum vd., 2003);

G_p : Bitkinin günlük gelişme oranı (kg kuru madde/ha/gün)

A_d : Günlük brüt CO_2 özümleme oranı (kg CO_2 /ha/gün)

R_m : Solunum için harcanan enerji (kg karbonhidrat/ha/gün)

Q: Kuru madde üretimi için asimilasyon gereksinimi (kg karbonhidrat/kg kuru madde)

30/44: Karbondioksitten, karbonhidrata (şekere) dönüştürme sayısıdır.

WOFOST, bitki biyokütlesini; sıcaklık, solar radyasyon ve bitki özelliklerinin bir fonksiyonu olarak hesaplamaktadır. Modelde üretilen karbonhidratın bir kısmı solunum enerjisinde kullanılmakta, kalan kısım ise kuru maddeye dönüştürülmektedir. Dönüştürülen bu kuru madde miktarı, WOFOST modelindeki biyokütle değişkenidir (Dhillon vd., 2020).

WOFOST'taki bitki büyüme hızı, Eşitlik 3.29 ile hesaplanmaktadır (Dhillon vd., 2020):

$$\Delta G = C_e (A - R_m) \quad (3.29)$$

ΔG : Büyüme oranı (kg kuru madde/ha/gün)

C_e : Dönüştürme verimliliği (kg kuru madde/kg karbonhidrat)

A: Brüt özümleme (kg karbonhidrat/ha/gün)

R_m : Solunum enerjisi oranı (kg karbonhidrat/ha/gün)

Özetle, Monteith'in ışık kullanım verimliliği ilkesine dayanarak; WOFOST'taki toplam kuru madde (kg kuru madde/ha/yıl)'nin, (NPP) Net Birincil Üretim (kg/ha/yıl)'e eşit olduğu söylenebilmektedir. WOFOST, biyokütleyi tahminlerken; toprak nemi, potansiyel ve gerçek transpirasyon değerlerini de kullanmaktadır (Dhillon vd., 2020).



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde; geçmişe ve geleceğe ilişkin kuraklık sonuçları, geçmişe ve geleceğe ilişkin buğday verim sonuçları, iklim değişikliği sonuçları ve genel değerlendirme yer almaktadır.

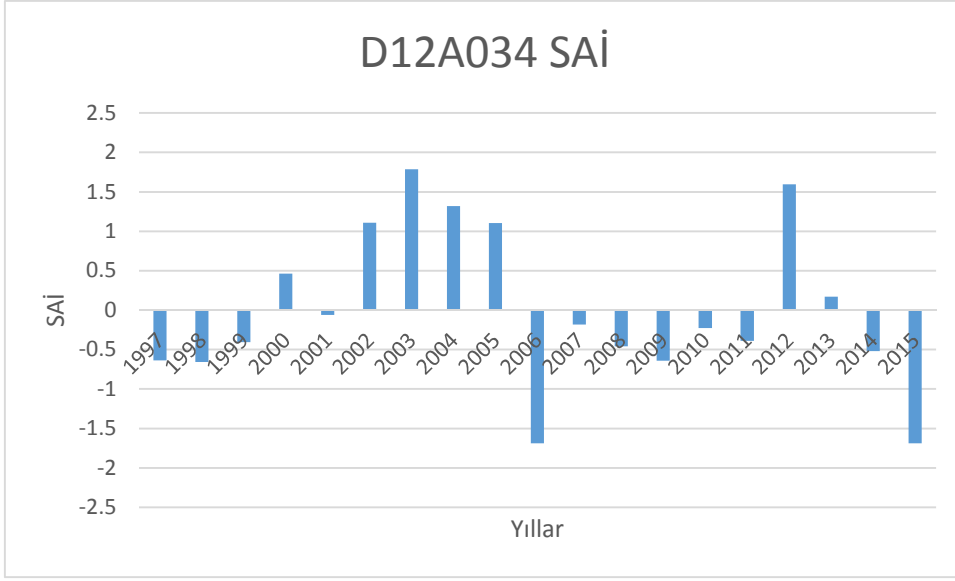
4.1. Kuraklık İndisleriyle İlgili Geçmişe Ait Bulgular

Bu bölümde; öncelikle üç adet (hidrolojik, meteorolojik ve tarımsal) kuraklık çeşidi, genel olarak istasyon bazında analiz edilmiştir. Tüm kuraklık çeşitlerinin topluca ve detaylı analizi ise, son (Geçmişteki kuraklıkla ilgili genel değerlendirme) alt başlıkta yapılmıştır. Geçmişteki; hidrolojik kuraklıkları belirlemek için SAİ, meteorolojik kuraklıkları belirlemek için SYİ ve tarımsal kuraklıkları belirlemek için PKŞİ sonuçları analiz edilmiştir.

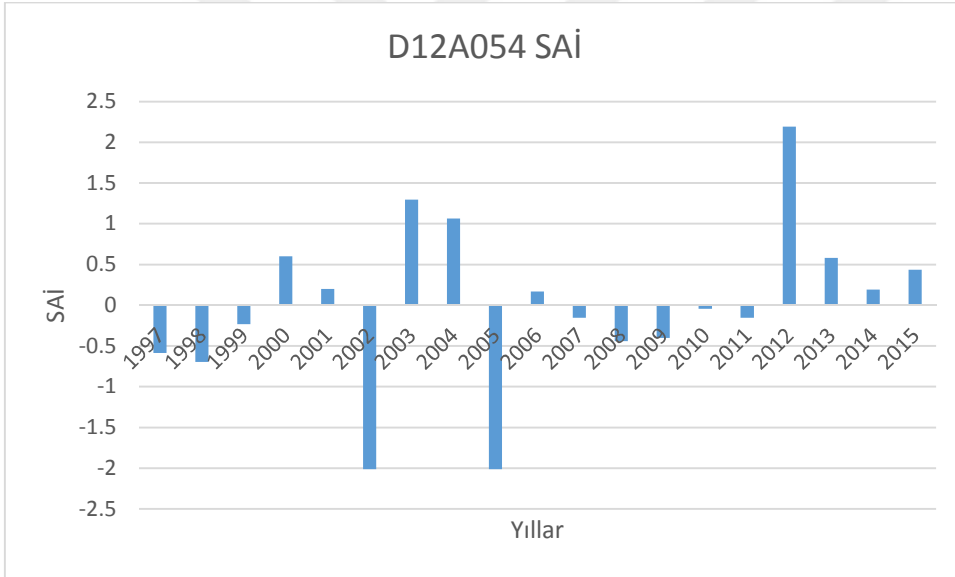
4.1.1. Geçmişteki Hidrolojik Kuraklık (Standart Akış İndisi) Sonuçları

Bu bölümde, istasyon bazında AGİ'ler analiz edilmiştir. Bunun için DSİ'den alınmış aylık toplam akım (mm) verileri kullanılmıştır. Geçmişteki hidrolojik kuraklıkları tespit etmek için, Standart Akış İndisi (SAİ) sonuçları incelendiğinde, çalışma alanında hidrolojik kuraklıkların hakim olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.1- Şekil 4.8).

Şiddetli hidrolojik kuraklıkların gözlemlendiği AGİ'ler; D12A034, D12A054 ve D12A181 istasyonlarıdır. Şiddetli hidrolojik sulaklıkların gözlemlendiği AGİ'ler ise; D12A034 ve D12A182 istasyonlarıdır (Şekil 4.1- Şekil 4.8).

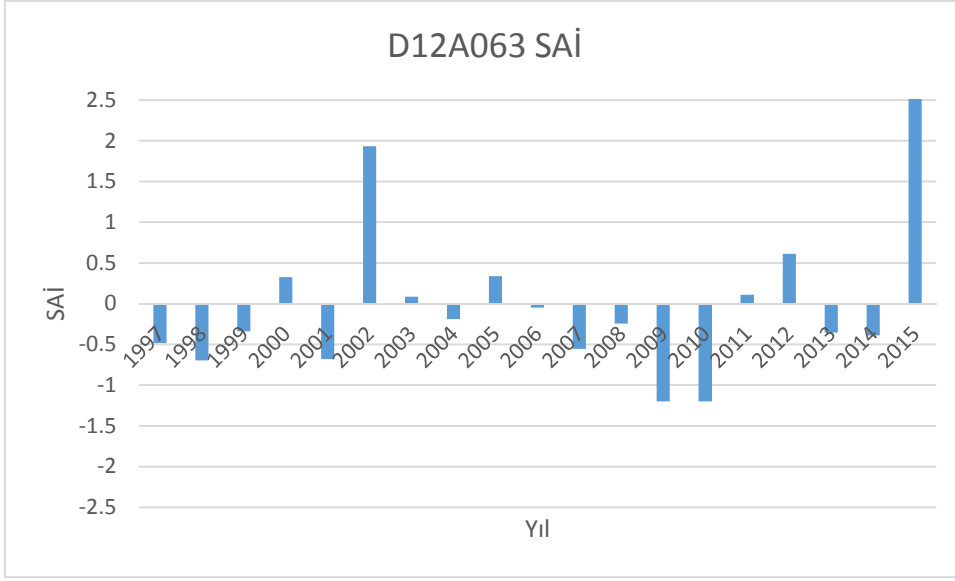


Şekil 4.1. D12A034 Porsuk baraj çıkışı SAİ sonuçları

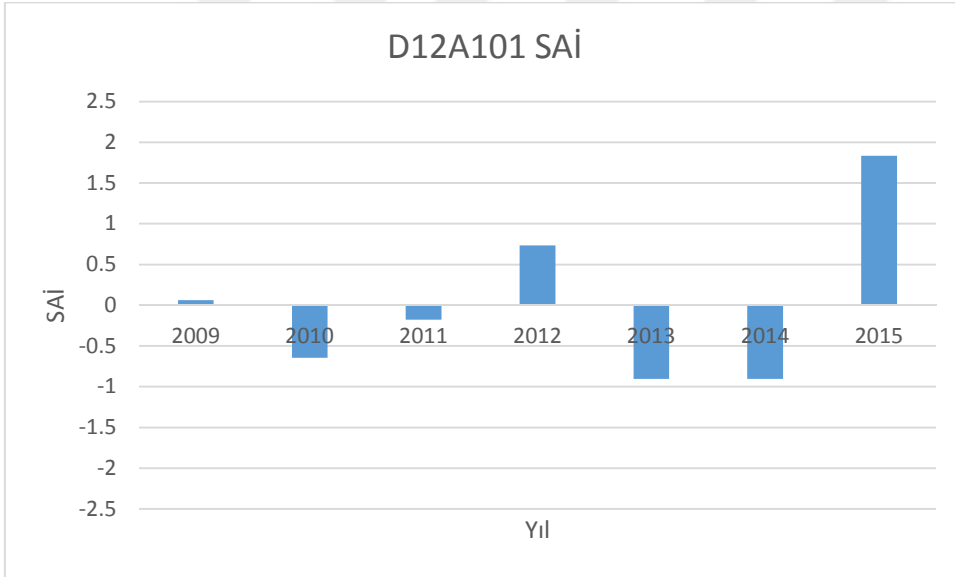


Şekil 4.2. D12A054 Porsuk Çayı Eşenkara istasyonu SAİ sonuçları

D12A034 istasyonunda hidrolojik sulaklığın, D12A054 istasyonunda hidrolojik kuraklığın hakim olduğu görülmektedir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).

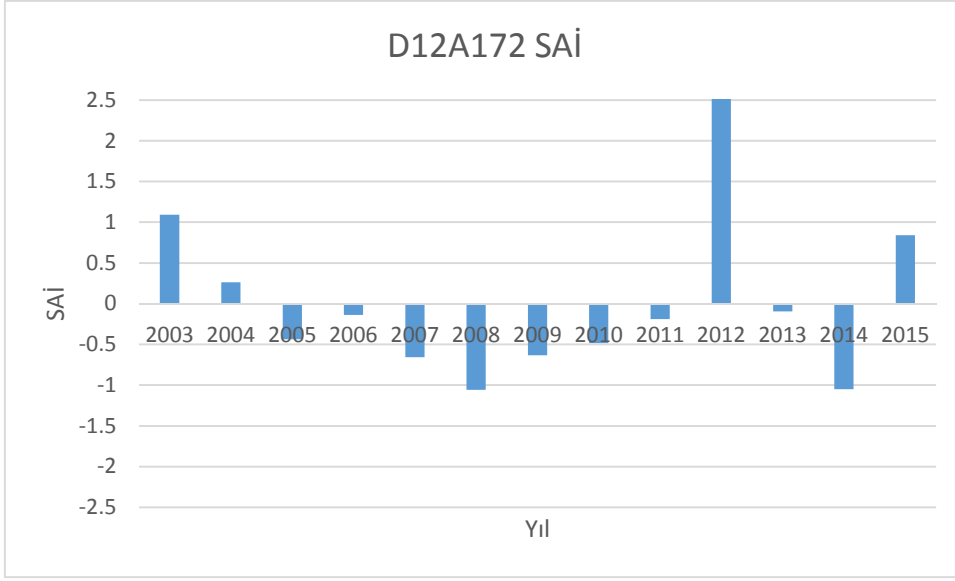


Şekil 4.3. D12A063 Ulu dere Uluçayır SAİ sonuçları

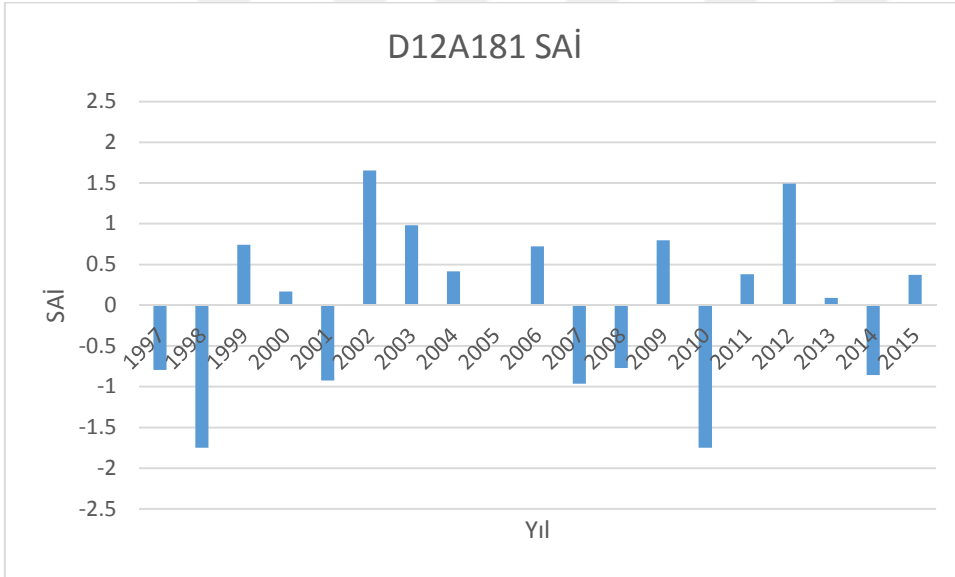


Şekil 4.4. D12A101 Kargın derivasyon SAİ sonuçları

D12A063 istasyonunda şiddetli olmayan hidrolojik kuraklıklar hakim olsa da, şiddetli hidrolojik sulaklıklar gözlenebilmektedir. D12A101 istasyonu ise, hidrolojik açıdan normal sınıfa dahil edilebilmektedir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

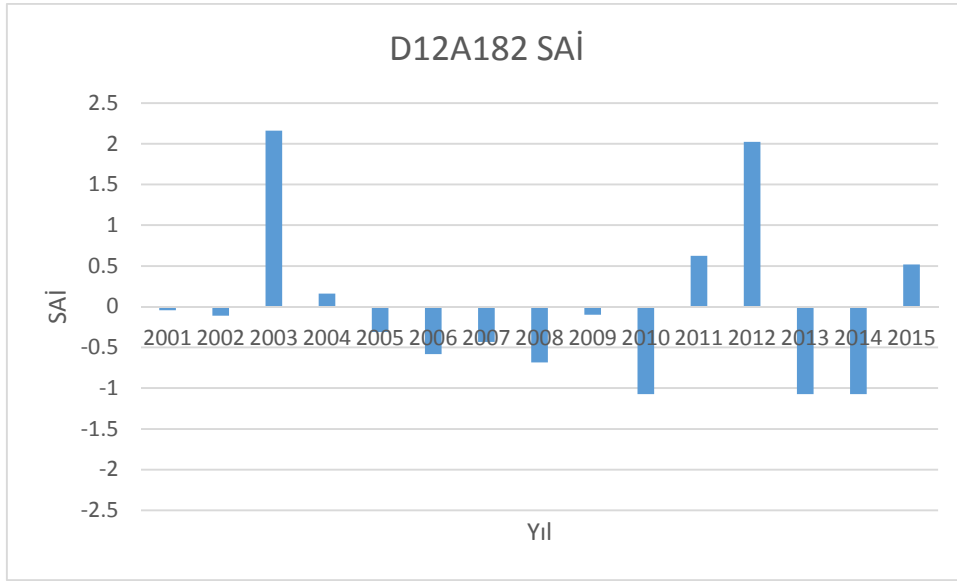


Şekil 4.5. D12A172 Sarısu inönü SAİ sonuçları

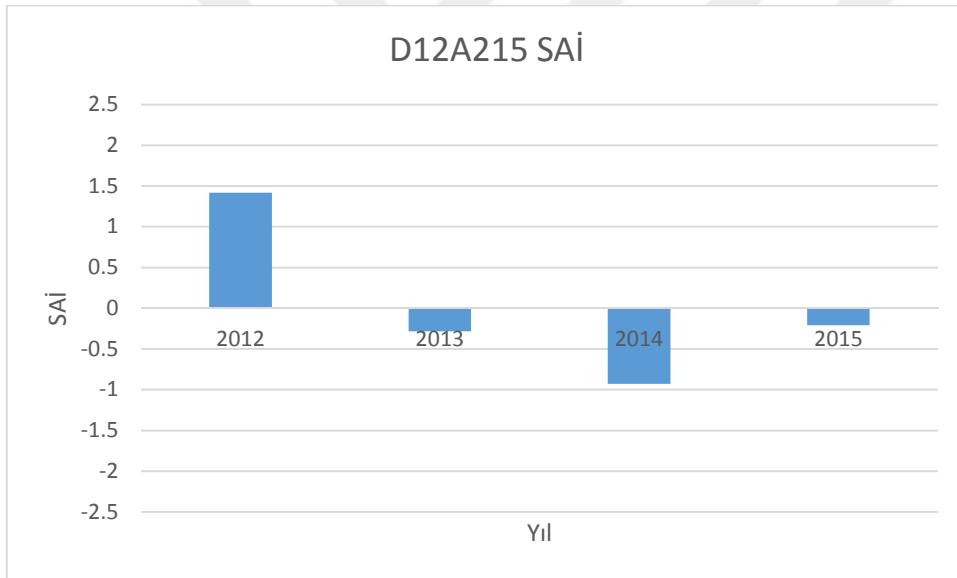


Şekil 4.6. D12A181 Porsuk Çalça istasyonu SAİ sonuçları

Hidrolojik açıdan; D12A172 istasyonu kurak, D12A181 istasyonu ise normal sınıfa dahil edilebilmektedir. D12A182 istasyonunda, hidrolojik açıdan; kuraklıklar hakim olsa da, yaşanan sulaklıkların şiddetli olduğu görülmektedir. D12A215 istasyonu, hidrolojik açıdan normal sınıfa dahil edilebilmektedir (Şekil 4.5 - Şekil 4.8).



Şekil 4.7. D12A182 Pörttek Memik SAI sonuçları



Şekil 4.8. D12A215 Porsuk Parsibey SAI sonuçları

Ülkemizde, Doğu Karadeniz haricindeki bölgelerde sıklıkla kuraklık yaşandığı düşünüldüğünde ve İç Anadolu'daki Porsuk Çayı havzasındaki Sarış (2016)'ın ve Kokkokoğlu (2006)'nun çalışma sonuçları incelendiğinde, bu çalışmadaki geçmişe ait kuraklık bulgularının, Türkiye'nin genel (hidrolojik, meteorolojik ve tarımsal) kuraklık durumu ile benzer olduğu görülmektedir (Şen, 2016; SYGM 2016d).

4.1.2. Geçmişteki Meteorolojik Kuraklık (Standart Yağış İndisi) Sonuçları

Bu bölümde, istasyon bazında YGİ'ler analiz edilmiştir. Bunun için MGM'den alınmış aylık toplam yağış (mm) verileri kullanılmıştır. Geçmişteki meteorolojik kuraklıkları tespit etmek için, SYİ sonuçları incelendiğinde, bölgede meteorolojik kuraklıkların şiddetli olmadığı ve normale yakın bir iklimin hakim olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.1- Çizelge 4.5).

On yedi yıllık (1984-2000 arası) yağış gözlemlerinin bulunduğu Alpu'daki 3343 nolu YGİ özel olarak incelendiğinde; bu istasyon özelinde normalden nemli iklime doğru bir kayma olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 4.1). Meteorolojik açıdan, 18088 nolu YGİ normal sınıfa dahil edilebilmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1. Alpu-3343 SYİ Sonuçları

Yıllık SYİ Sonucu	Yıl
-0,89 (Kurakça)	1984
-0,27 (Normal)	1985
-0,10 (Normal)	1986
0,33 (Normal)	1987
-0,78 (Kurakça)	1988
-1,12 (Orta Kurak)	1989
1,70 (Çok Nemli)	1990
-1,28 (Orta Kurak)	1991
-1,01 (Orta Kurak)	1992
-0,18 (Normal)	1993
0,17 (Normal)	1994
-0,14 (Normal)	1995
2,01 (Aşırı Nemli)	1996
0,77 (Nemlice)	1997
-0,60 (Kurakça)	1998
-0,17 (Normal)	1999
1,57 (Çok Nemli)	2000

Çizelge 4.2. Alpu-18088 SYİ Sonuçları

Yıllık SYİ Sonucu	Yıl
-1,41 (Orta Kurak)	2013
0,25 (Normal)	2014
0,65 (Nemlice)	2015
0,87 (Nemlice)	2016
0,74 (Nemlice)	2017
-1,10 (Orta Kurak)	2018

Çizelge 4.3. Anadolu Üniversitesi-17121 SYİ Sonuçları

Yıllık SYİ Sonucu	Yıl
0,20 (Normal)	2015
0,58 (Nemlice)	2016
0,69 (Nemlice)	2017
-1,47 (Orta Kurak)	2018

Meteorolojik açıdan; 17121, 17123 ve 18739 nolu YGI'ler normal sınıfta dahil edilebilmektedir (Çizelge 4.3 - Çizelge 4.5).

Çizelge 4.4. Hasan Polatkan havaalanı-17123 SYİ Sonuçları

Yıllık SYİ Sonucu	Yıl
-2,51 (Aşırı Kurak)	1990
1,18 (Orta Nemli)	1991
-0,46 (Normal)	1992
-0,55 (Kurakça)	1993
-0,62 (Kurakça)	1994
-0,10 (Normal)	1995
-0,25 (Normal)	1996
0,24 (Normal)	1997
1,55 (Çok Nemli)	1998
-0,08 (Normal)	1999
0,23 (Normal)	2000
0,75 (Nemlice)	2001
0,00 (Normal)	2002
-0,26 (Normal)	2003
-1,58 (Çok Kurak)	2004
0,64 (Nemlice)	2005
-0,27 (Normal)	2006
0,61 (Nemlice)	2007
-1,53 (Çok Kurak)	2008
0,51 (Nemlice)	2009
1,01 (Orta Nemli)	2010
1,48 (Orta Nemli)	2011

Çizelge 4.5. Odunpazarı-Kanlıpınar-18739 SYİ Sonuçları

Yıllık SYİ Sonucu	Yıl
-0,76 (Kurakça)	2015
1,13 (Orta Nemli)	2016
-0,37 (Normal)	2017

4.1.3. Geçmişteki Tarımsal Kuraklık (Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi) Sonuçları

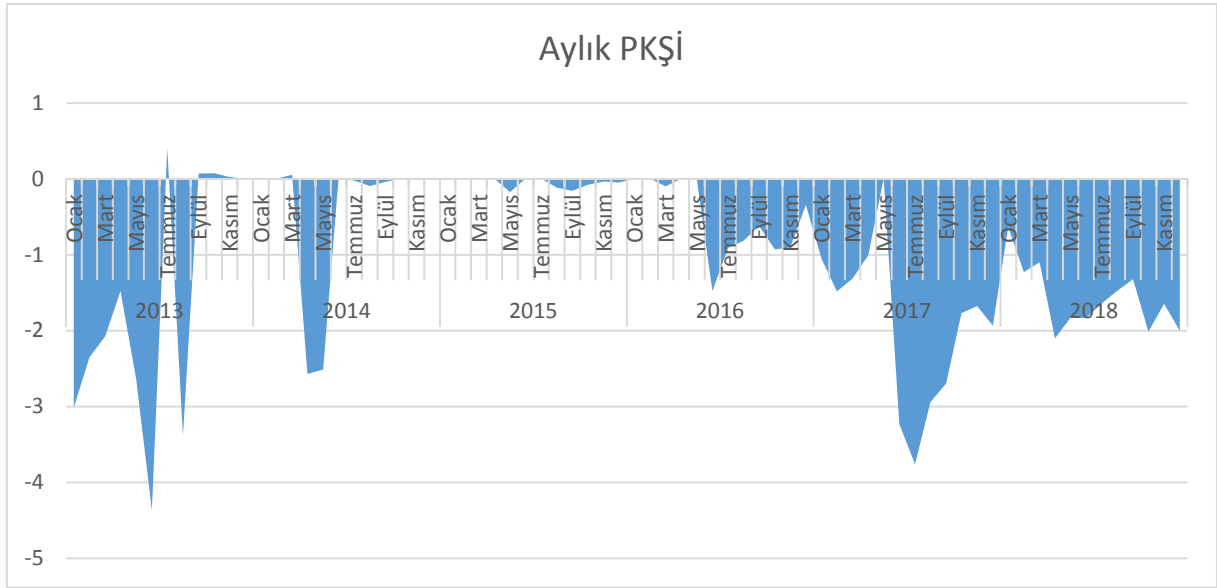
Bu bölümde, tarımsal açıdan önemli bir bölge olan Alpu'daki tarımsal kuraklık analiz edilmiştir. Geçmişteki tarımsal kuraklıkları tespit etmek için; DSI'den alınmış aylık toplam akım (mm), MGM'den alınmış aylık toplam yağış (mm) ve aylık ortalama sıcaklık (°C) verileri kullanılmıştır. PKŞİ sonuçları incelendiğinde; Alpu'da, tarımsal kuraklıkların son yıllarda şiddetle yaşandığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Tarla denemesinin (buğday üretiminin) yapıldığı dönemde Alpu'daki PKŞİ sonuçları

Yıllar	Aylar	PKŞİ
2013 (-1,56)	Ocak	-3,02
	Şubat	-2,35
	Mart	-2,07
	Nisan	-1,47
	Mayıs	-2,64
	Haziran	-4,36
	Temmuz	0,41
	Ağustos	-3,38
	Eylül	0,07
	Ekim	0,07
	Kasım	0,02
	Aralık	0
2014 (-0,43)	Ocak	0
	Şubat	0
	Mart	0,05
	Nisan	-2,57
	Mayıs	-2,51
	Haziran	0
	Temmuz	-0,02
	Ağustos	-0,09
	Eylül	-0,04
	Ekim	0
	Kasım	0
	Aralık	0

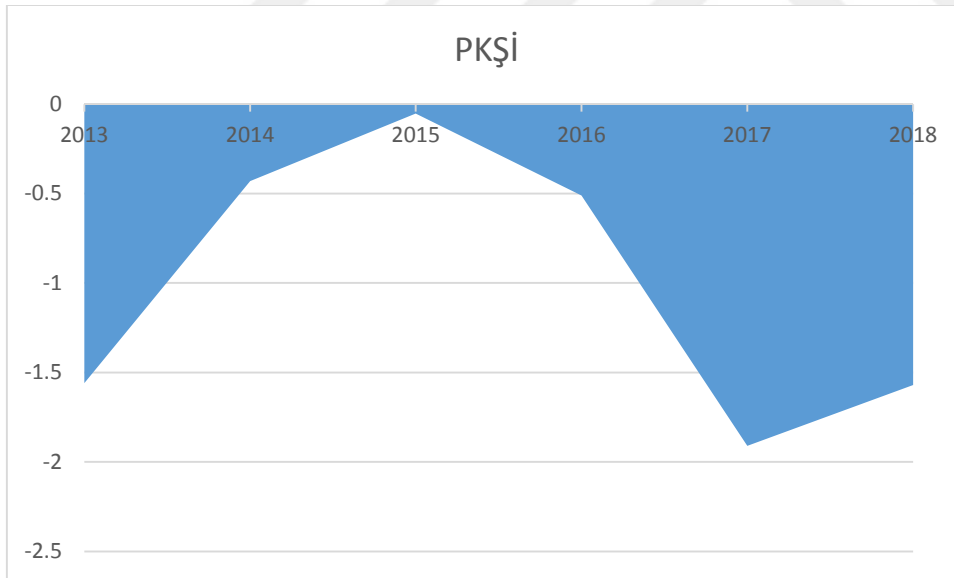
Çizelge 4.6. (devam)

2015 (-0,05)	Ocak	0
	Şubat	0
	Mart	0
	Nisan	0
	Mayıs	-0,17
	Haziran	0
	Temmuz	0
	Ağustos	-0,11
	Eylül	-0,15
	Ekim	-0,07
	Kasım	-0,03
	Aralık	-0,04
2016 (-0,51)	Ocak	0
	Şubat	0
	Mart	-0,09
	Nisan	0
	Mayıs	0
	Haziran	-1,48
	Temmuz	-0,90
	Ağustos	-0,81
	Eylül	-0,62
	Ekim	-0,93
	Kasım	-0,90
	Aralık	-0,34
2017 (-1,91)	Ocak	-1,05
	Şubat	-1,48
	Mart	-1,31
	Nisan	-1,00
	Mayıs	0
	Haziran	-3,23
	Temmuz	-3,76
	Ağustos	-2,94
	Eylül	-2,69
	Ekim	-1,77
	Kasım	-1,67
	Aralık	-1,93
2018 (-1,57)	Ocak	-0,63
	Şubat	-1,22
	Mart	-1,09
	Nisan	-2,10
	Mayıs	-1,82
	Haziran	-1,83
	Temmuz	-1,64
	Ağustos	-1,47
	Eylül	-1,32
	Ekim	-2,01
	Kasım	-1,64
	Aralık	-2,0



Şekil 4.9. Buğday denemesinin (üretim) yapıldığı dönemde Alpu'daki aylık PKŞİ grafiği

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi sonuçları incelendiğinde ise, çalışma alanında tarımsal kuraklıkların hakim olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Buğday denemesinin (üretim) yapıldığı dönemde Alpu'daki yıllık PKŞİ grafiği

4.1.4. Geçmişteki Kuraklıkla İlgili Genel Değerlendirme

Bu bölümde; geçmişteki kuraklıkların, zamansal ve mekansal analizi yapılmıştır. Çalışma alanındaki; toplam yağış (mm) verileri kullanılarak SYİ sonuçları, toplam akım (mm)

verileri kullanılarak SAİ sonuçları, toplam yağış (mm) ve ortalama sıcaklık (°C) verileri kullanılarak PKŞİ sonuçları elde edilmiştir.

Tarımsal açıdan kuraklığın şiddetli yaşandığı bölgeler sırasıyla; Odunpazarı, Alpu ve Tepebaşı şeklindedir. 1970’li yıllarda (1970-1980 arasında) Odunpazarı’nda; meteorolojik sulaklık varken bile, tarımsal kuraklıkların oluşması şiddetle devam etmiştir (Çizelge 4.7).

Tüm kuraklık çeşitleri açısından, yıllık bazda genel değerlendirmeler sonucunda; 1981, 1986, 1989, 2008, 2013, 2015, 2018 yıllarının kurak geçtiği; 2000 ve 2003 yıllarının sulak geçtiği; 1985 yılının ise normal geçtiği tespit edilmiştir. Ayrıca; 1997-1999 ve 2006-2011 yılları arasının hidrolojik kurak, 2012 yılının ise hidrolojik sulak geçtiği görülmektedir. 2016 ve 2017 yılları ise meteorolojik açıdan sulak, tarımsal açıdan kurak geçmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Porsuk Çayı havzasında geçmişteki yıllık kuraklık indisi sonuçları

Yıl	SYİ			SAİ			PKŞİ		
	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu
1970		1,27 (Orta nemli)						-0,83 (Kurak)	
1971		0,12 (Normal)						3,17 (Çok kurak)	
1972		-0,08 (Normal)						-4,52 (Aşırı kurak)	
1973		1,36 (Orta nemli)						-4,56 (Aşırı kurak)	
1974		0,19 (Normal)						-4,45 (Aşırı kurak)	
1975		0,60 (Nemlice)						-4,56 (Aşırı kurak)	
1976		0,38 (Normal)						-2,8 (Orta kurak)	
1977		0,18 (Normal)						3,13 (Çok kurak)	
1978		2,38 (Aşırı nemli)						0 (Normal)	

Çizelge 4.7. (devam)

Yıl	SYİ			SAİ			PKŞİ		
	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu
1979		-0,43 (Normal)						-2,67 (Orta kurak)	
1980		-0,01 (Normal)						-2,42 (Orta kurak)	
1981		-2,31 (Aşırı kurak)						-4,4 (Aşırı kurak)	
1982		-0,80 (Kurakça)						0 (Normal)	
1983		0,32 (Normal)						0 (Normal)	
1984		-0,24 (Normal)	-0,89 (Kurakça)					-4,67 (Aşırı kurak)	-0,26 (Normal)
1985		-0,31 (Normal)	-0,27 (Normal)					-0,4 (Normal)	-0,32 (Normal)
1986		-0,95 (Kurakça)	-0,10 (Normal)					-3,43 (Çok kurak)	-0,97 (Kurak)
1987		0,01 (Normal)	0,33 (Normal)					-0,82 (Kurak)	-0,73 (Kurak)
1988		0,39 (Normal)	-0,78 (Kurakça)					-0,4 (Normal)	-1,53 (Hafif kurak)
1989		-0,46 (Normal)	-1,12 (Orta kurak)					-3,25 (Çok kurak)	-1,55 (Hafif kurak)
1990	-2,51 (Aşırı kurak)	-1,61 (Çok kurak)	1,70 (Çok nemli)						0,6 (Nemli)
1991	1,18 (Orta nemli)		-1,28 (Orta kurak)				0,06 (Normal)		-0,27 (Normal)
1992	-0,46 (Normal)		-1,01 (Orta kurak)				-0,94 (Kurak)		0,45 (Normal)
1993	-0,55 (Kurakça)		-0,18 (Normal)				-0,52 (Kurak)		-0,25 (Normal)

Çizelge 4.7. (devam)

Yıl	SYİ			SAİ			PKŞİ		
	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu
1994	-0,62 (Kurakça)		0,17 (Normal)				-1,32 (Hafif kurak)		-0,64 (Kurak)
1995	-0,10 (Normal)		-0,14 (Normal)				-1,31 (Hafif kurak)		-1,72 (Hafif kurak)
1996	-0,25 (Normal)		2,01 (Aşırı nemli)				-1,17 (Hafif kurak)		2,08 (Orta kurak)
1997	0,24 (Normal)		0,77 (Nemlice)	-0,64 (Hafif kurak)	-0,48 (Hafif kurak)	-0,59 (Hafif kurak)	-0,53 (Kurak)		1,47 (Hafif nemli)
1998	1,55 (Çok nemli)		-0,60 (Kurakça)	-0,66 (Hafif kurak)	-0,69 (Hafif kurak)	-0,70 (Hafif kurak)	2,77 (Orta nemli)		-1,31 (Hafif kurak)
1999	-0,08 (Normal)		-0,17 (Normal)	-0,40 (Hafif kurak)	-0,34 (Hafif kurak)	-0,23 (Hafif kurak)	-0,2 (Normal)		0,34 (Normal)
2000	0,23 (Normal)		1,57 (Çok nemli)	0,46 (Nemli)	0,32 (Nemli)	0,60 (Nemli)	0,25 (Normal)		-0,2 (Normal)
2001	0,75 (Nemlice)			-0,06 (Hafif kurak)	-0,68 (Hafif kurak)	0,20 (Nemli)	-0,15 (Normal)		0,18 (Normal)
2002	0,00 (Normal)			1,11 (Nemli)	1,93 (Nemli)	-2,01 (Aşırı kurak)	2,34 (Orta nemli)		
2003	-0,26 (Normal)			1,79 (Nemli)	0,09 (Nemli)	1,30 (Nemli)	1,75 (Hafif nemli)		
2004	-1,58 (Çok kurak)			1,32 (Nemli)	-0,19 (Hafif kurak)	1,06 (Nemli)	-1,08 (Hafif kurak)		
2005	0,64 (Nemlice)			1,11 (Nemli)	0,34 (Nemli)	-2,01 (Aşırı kurak)	0,32 (Normal)		
2006	-0,27 (Normal)			-1,69 (Çok kurak)	-0,05 (Hafif kurak)	0,17 (Nemli)	-0,72 (Kurak)		
2007	0,61 (Nemlice)			-0,18 (Hafif kurak)	-0,55 (Hafif kurak)	-0,15 (Hafif kurak)	0,48 (Normal)		

Çizelge 4.7. (devam)

Yıl	SYİ			SAİ			PKŞİ		
	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu
2008	-1,53 (Çok kurak)			-0,46 (Hafif kurak)	-0,24 (Hafif kurak)	-0,44 (Hafif kurak)	0,01 (Normal)		
2009	0,51 (Nemlice)			-0,64 (Hafif kurak)	-1,20 (Orta kurak)	-0,40 (Hafif kurak)	0,4 (Normal)		
2010	1,01 (Orta nemli)			-0,23 (Hafif kurak)	-1,20 (Orta kurak)	-0,04 (Hafif kurak)	0,54 (Nemli)		
2011	1,48 (Orta nemli)			-0,39 (Hafif kurak)	0,11 (Nemli)	-0,15 (Hafif kurak)	0,53 (Nemli)		
2012				1,59 (Nemli)	0,61 (Nemli)	2,19 (Nemli)	-0,77 (Kurak)		
2013			-1,41 (Orta kurak)	0,17 (Nemli)	-0,35 (Hafif kurak)	0,58 (Nemli)	-0,94 (Kurak)		-1,56 (Hafif kurak)
2014			0,25 (Normal)	-0,52 (Hafif kurak)	-0,39 (Hafif kurak)	0,19 (Nemli)	-1,06 (Hafif kurak)		-0,43 (Normal)
2015	0,20 (Normal)	-0,76 (Kurakça)	0,65 (Nemlice)	-1,69 (Çok kurak)	2,97 (Nemli)	0,44 (Nemli)	-0,98 (Kurak)	-0,55 (Kurak)	-0,05 (Normal)
2016	0,58 (Nemlice)	1,13 (Orta nemli)	0,87 (Nemlice)				-0,91 (Kurak)	-0,7 (Kurak)	-0,5 (Kurak)
2017	0,69 (Nemlice)	-0,37 (Normal)	0,74 (Nemlice)				-1,01 (Hafif kurak)	-0,26 (Normal)	-1,9 (Hafif kurak)
2018	-1,47 (Orta kurak)		-1,10 (Orta kurak)				-2,72 (Orta kurak)	-2,13 (Orta kurak)	-1,56 (Hafif kurak)

Elde edilen sonuçlara göre havzada; tarımsal açıdan kuraklığın hakim olduğu, meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların ise normale yakın seyrettiği tespit edilmiştir. Ayrıca meteorolojik kuraklıkların, normalden kurağa doğru kayma eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

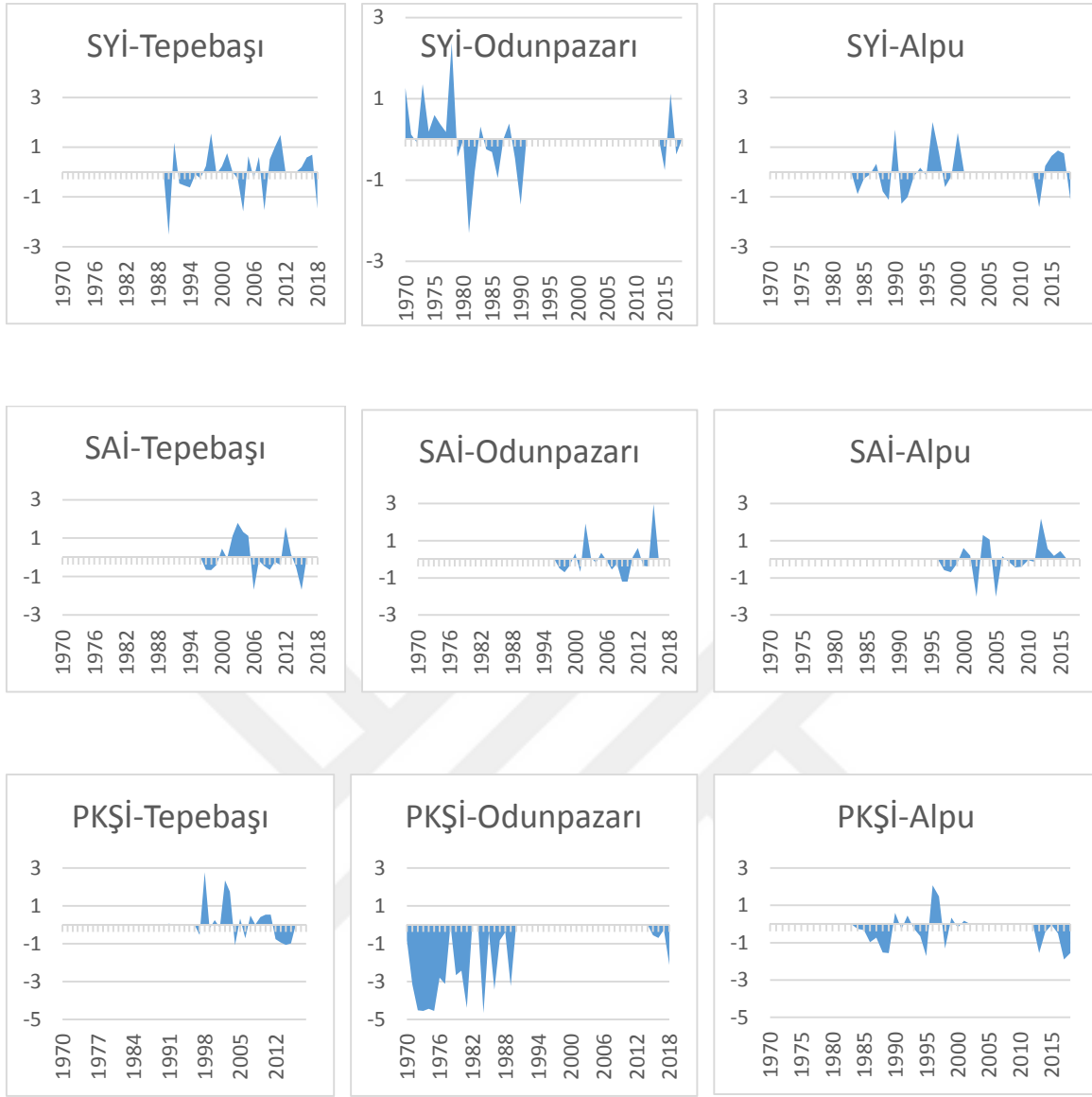
Alpu'nun hidrolojik kuraklığa hassasiyetinin az olduğu ve daha homojen bir durumun hakim olduğu anlaşılmışken; Tepebaşı ve Odunpazarı'nda hidrolojik kuraklık açısından değişken bir durum olduğu anlaşılmıştır. Tepebaşı ve Odunpazarı'nın coğrafi yakınlığı

sebebiyle benzer eğilim göstermesi, SAI sonuçlarıyla da desteklenerek, SAI'nin bölge şartları için güvenilir olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.7).

Tarımsal kuraklık açısından; Alpu'nun tehlike altında olduğu tespit edilmiştir. Tepebaşı ve Odunpazarı'nın tarımsal açıdan günümüzde normal şartlarda olsa da, geçmişte tarımsal kuraklıkların hakim olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 4.7).

Özellikle 1990 yılının, havza genelinde kurak geçtiği görülmektedir. Meteorolojik kuraklık açısından, diğer bölgelere kıyasla Odunpazarı'nın daha nemli olduğu söylenebilmektedir. 2010 yılının ise, hidrolojik açıdan kurak geçtiği anlaşılmaktadır. 2015 yılında tarımsal kuraklık açısından, normal şartların hakim olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7).

Çalışma alanındaki yağış, akım ve sıcaklık verileri kullanılarak; kuraklık indisi sonuçları yıl bazında elde edilmiştir. Yıllık bazda değerlendirildiğinde, bölgede tarımsal kuraklıkların hakim olduğu ve çok şiddetli yaşandığı görülmektedir. Sadece Tepebaşı'nda tarımsal anlamda bir sulaklıktan bahsedilebilmektedir. Meteorolojik ve hidrolojik olarak normal durumun hakim olduğu, kuraklık ve sulaklık olaylarının dengeli şekilde yaşandığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Mevcut durumdaki (Geçmişteki) kuraklık indisi analizleri

Geçmişteki kuraklık frekansları incelendiğinde, hafif kuraklıklarla daha sık karşılaşıldığı ve aşırı kuraklıklarla daha nadir karşılaşıldığı anlaşılmaktadır. Kuraklık frekanslarının en yüksek olduğu yerler incelendiğinde ise, şu sonuçlar elde edilmiştir: Meteorolojik kuraklık açısından, Alpu'da analiz edilen 23 yılın 5'inde (%22) orta kuraklık tespit edilmiştir. Hidrolojik kuraklık açısından, Tepebaşı ve Odunpazarı'nda %56 oranında hafif kuraklık gözlenmiştir. Tarımsal kuraklık açısından, Alpu'da %30 oranında hafif kuraklık tespit edilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Geçmişteki kuraklık frekansları

SYİ			SAİ			PKŞİ		
Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu
%8 kurakça (2/26)	%13 kurakça (3/23)	%13 kurakça (3/23)	%56 hafif kurak (10/18)	%56 hafif kurak (10/18)	%44 hafif kurak (8/18)	%29 kurak (8/28)	%17 kurak (4/24)	%17 kurak (4/23)
%4 orta kurak (1/26)		%22 orta kurak (5/23)		%11 orta kurak (2/18)		%21 hafif kurak (6/28)		%30 hafif kurak (7/23)
%8 çok kurak (2/26)	%4 çok kurak (1/23)		%11 çok kurak (2/18)			%4 orta kurak (1/28)	%17 orta kurak (4/24)	%4 orta kurak (1/23)
%4 aşırı kurak (1/26)	%4 aşırı kurak (1/23)				%11 aşırı kurak (2/18)		%17 çok kurak (4/24)	
							%25 aşırı kurak (6/24)	

Çizelge 4.9 incelendiğinde, havzada oransal olarak; nemli şartlara kıyasla kurak şartların, tüm kuraklık çeşitlerinde daha baskın olduğu anlaşılmaktadır. Bu sebeple, çalışma alanının kurak bir bölgede olduğu yorumu yapılabilir (Çizelge 4.9).

Havza genelinde; hidrolojik kuraklık olay sayılarının oransal değeri (%62,9) yüksek gibi gözükse de, bu durum aldattıcıdır. Çünkü SAİ kuraklık sınıfı çizelgesindeki değer aralıklarının özel durumu (kendine özgü olması-farklılığı) sebebiyle indis değerlerinin sıfırdan büyük tüm sonuçları nemli sınıfına dahil edilmektedir. Bu sebeple aslında havza, hidrolojik olarak kurak değil, normale yakındır (Çizelge 4.9).

Havza meteorolojik kuraklık açısından (%31,6 oranı ile) normal sınıfa dahil edilebilmektedir. Havzada tarımsal kuraklık açısından, yaşanan kurak koşullar (%42,8) ile normal koşullar (%44,7) oransal olarak yakın olsa da, tarımsal kuraklık şiddetlerinin çok fazla olduğu bilinmektedir. Bu durum, bölgede tarımsal kuraklığın, buğday bitkisine ani zarar verme ihtimalinin yüksek olduğunun göstergesidir (Çizelge 4.9).

Havza genelinde meteorolojik kuraklık açısından; normale yakın bir durum gözlenirse de, (%36,7 oranı ile) kuraklığa eğilimli bir potansiyel de mevcuttur. Tepebaşı'na kıyasla Alpu, meteorolojik olarak daha kuraktır. Havzada hidrolojik kuraklık açısından, Odunpazarı ve Alpu (%55,5 oranı ile) benzer özellik gösterirken; Tepebaşı (%77,8 oranı ile), bu iki bölgeden de çok

daha fazla kuraktır. Tarımsal kuraklık açısından; en kurak bölge (%55,5 oranı ile) Alpu iken, en nemli bölge ise Tepebaşı'dır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Porsuk Çayı havzasının mekansal kuraklık oranları

	SYİ (Meteorolojik kuraklık)			SAİ (Hidrolojik kuraklık)			PKŞİ (Tarımsal kuraklık)		
	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu	Tepebaşı	Odunpazarı	Alpu
İlçedeki kuraklık oranı (%)	33,3	38	38,9	77,8	55,5	55,5	35	38,9	55,5
İlçedeki nemlilik oranı (%)	28,6	38	27,8	22,2	44,4	44,4	20	5,55	11,1
İndis bazında genel kuraklık oranı (%)	36,7			62,9			42,8		
İndis bazında genel nemlilik oranı (%)	31,7			37			12,5		

Son dört yıllık periyotta en kurak yıl 2018'dir. Havzadaki çok kurak yıllardan bazıları; sırasıyla 2018, 2010, 1990, 1980'dir. Bu durum; geçmişten günümüze doğru yaklaştıkça, kuraklıkların (şiddetlendiğinin) gerçekleşme sayılarındaki artışın göstergesidir (Çizelge 4.10).

2016, 2015 ve 1970 yıllarında normal şartların hakim olduğu anlaşılmaktadır. 1980 ve 1990 yıllarında birbirine yakın koşullar gözlenmişken; 2010 yılından sonra kuraklık ve nemlilik olaylarında dengesizlikler gözlenmeye başlamıştır (Çizelge 4.10).

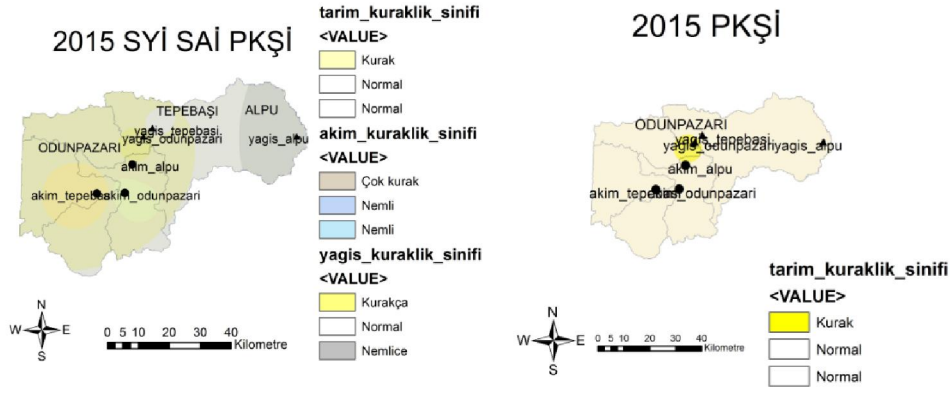
Çizelge 4.10. Porsuk Çayı havzasının zamansal kuraklık oranları

	Kuraklık oranı (%)	Nemlilik oranı (%)
1970	33,3	33,3
1980	50	16,7
1990	53,3	20
2000	42,8	38
2010	60	26,7
2015	22,2	33,3
2016	33,3	22,2
2017	33,3	5,55
2018	77,78	22,2

Son dört yıllık periyottaki genel kuraklık durumları incelendiğinde; Alpu'da normalleşme, Odunpazarı ve Tepebaşı'nda kuraklaşma göze çarpmaktadır. Bu dört yıllık periyotta; seneler geçtikçe de, kuraklık sayılarında artış görülmektedir. Ayrıca son dört yıllık periyotta, tarımsal kuraklıklar şiddetlenerek artmıştır. Özellikle Tepebaşı'ndaki tarımsal kuraklıklar, dengesiz şekilde şiddetlenme eğilimindedir (Çizelge 4.11).

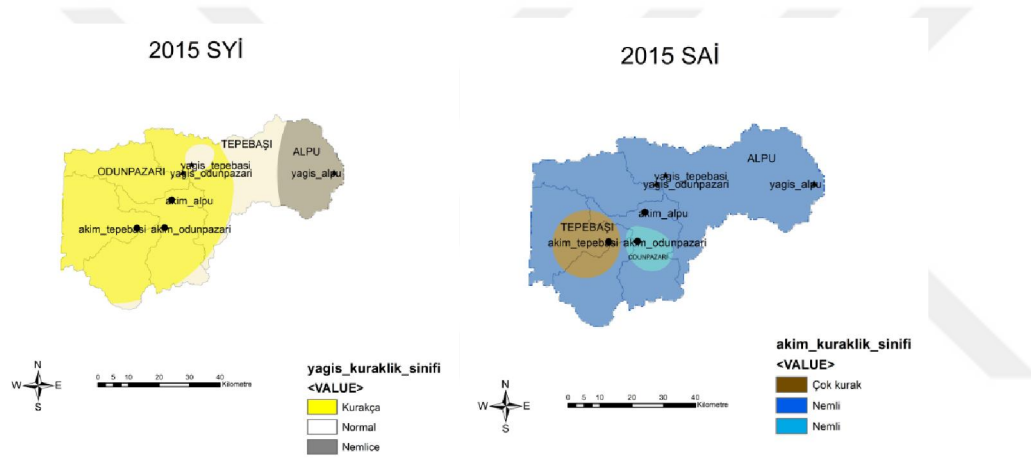
Çizelge 4.11. Porsuk Çayı havzasında geçmişteki buğday deneme dönemine ait kuraklık indisi ve durum sonuçları

	Alpu			Odunpazarı			Tepebaşı		
	SYİ	SAİ	PKŞİ	SYİ	SAİ	PKŞİ	SYİ	SAİ	PKŞİ
2015	0,65 (Nemlice)	0,44 (Nemli)	-0,05 (Normal)	-0,76 (Kurakça)	2,97 (Nemli)	-0,55 (Kurak)	-0,11 (Normal)	-1,69 (Çok kurak)	0,33 (Normal)
2016	0,87 (Nemlice)		-0,5 (Kurak)	1,13 (Orta nemli)		-0,7 (Kurak)	-0,94 (Kurakça)		0,9 (Nemli)
2017	0,74 (Nemlice)		-1,9 (Hafif kurak)	-0,37 (Normal)		-0,25 (Normal)	1,05 Orta nemli		-0,6 (Kurak)
2018	-1,10 (Orta kurak)		-1,56 (Hafif kurak)	-0,71 (Kurakça)		-2,13 (Orta kurak)	-0,71 (Kurakça)		-3,9 (Çok kurak)



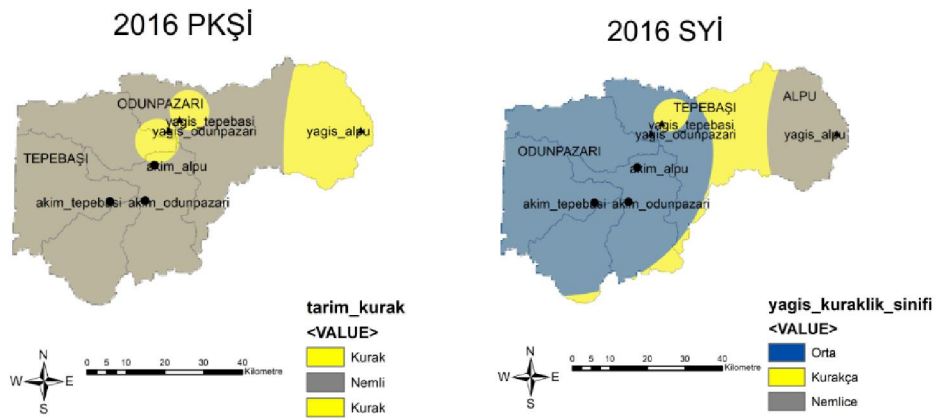
Şekil 4.12. Havzadaki 2015 yılına ait tüm kuraklık indisi sonuçları

2015 yılında; meteorolojik olarak kuraklık, hidrolojik olarak sulaklık gerçekleşse de; genel olarak normal şartların hakim olduğu söylenebilmektedir (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13).



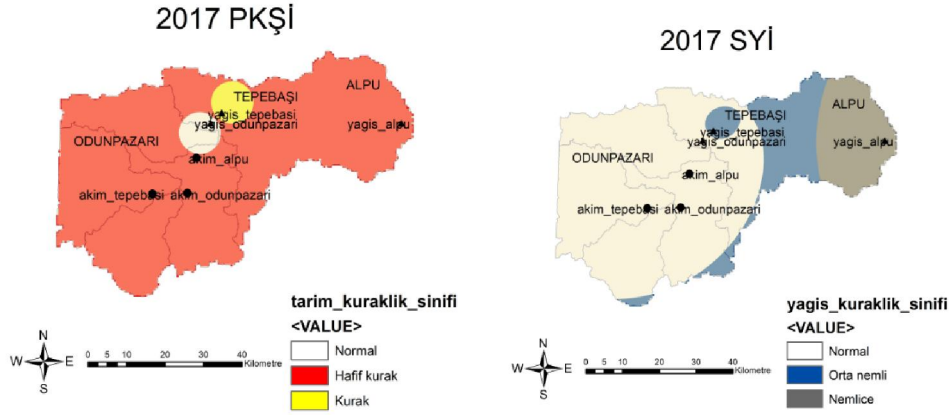
Şekil 4.13. Havzadaki 2015 yılına ait SYİ ve SAI sonuçları

2016 yılında; Odunpazarı ve Tepebaşı' nı kapsayan havzanın batı kısımlarında, tarımsal ve meteorolojik nemlilik (sulaklık) gözlenmiştir (Şekil 4.14).



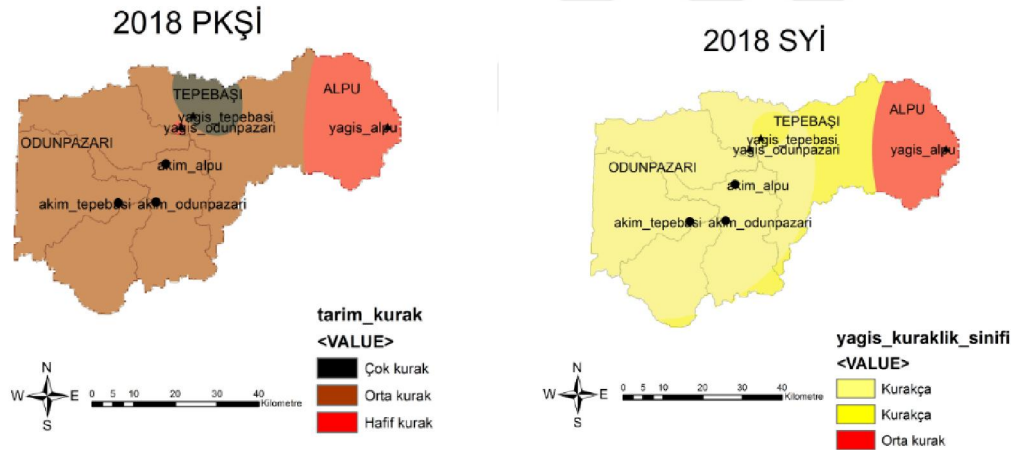
Şekil 4.14. Havzadaki 2016 yılına ait PKŞİ ve SYİ sonuçları

2017 yılında; havza geneli tarımsal olarak kurak koşullar altındayken, meteorolojik olarak havza batısında normal, doğusunda ise nemli şartlar hakim olmuştur (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Havzadaki 2017 yılına ait PKŞİ ve SYİ sonuçları

2018 yılında; havza geneli tarımsal ve meteorolojik olarak kurak koşullar altındayken, tarımsal kuraklıklar meteorolojik kuraklıklardan daha şiddetli gerçekleşmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Havzadaki 2018 yılına ait PKŞİ ve SYİ sonuçları

Kokkokoğlu (2006), Türkiye'nin İç Anadolu bölgesinin 1953-2003 arası 50 yıllık verilerini SYİ yönteminde kullanarak, Ankara civarında kuraklığa eğilimli alanlar belirlemiştir. Batıbeniz (2014), bölgesel iklim modeli (RegCM 3)nin yağış ve sıcaklık çıktılarını kullanarak, ülkemizdeki ekstrem hava olaylarını iklim indisleriyle tahminlemiştir. 1961-2008 yıllarındaki verilerin kullanıldığı model çalışmasında araştırmacı; bölgedeki 15 ülkenin 50'ye yakın istasyonuna ait iklim verileri kullanılarak, bölgedeki soğuk günlerin azalmasının 1970'lerde başladığı, sıcak günlerdeki artışın ise 1990'larda başladığını tespit etmiştir. Akbaş (2013), PKŞİ'nin Türkiye şartlarına uygun sonuçlar ürettiğini ve 1970-1990 yılları arasının ülkemizde

kurak geçtiğini belirtmektedir. Çizelge 4.7 incelendiğinde; literatürdeki belirtilen 1970-1990 arasındaki periyotla uyumlu şekilde ama 1970, 1978 ve 1990 yılları haricinde, Porsuk Çayı havzasının da bu dönemi, kurak dönem olarak nitelendirilebilmektedir. Bu durum, çalışma alanının Türkiye ortalamasını yansıttığını ve ekstrem noktada bulunmadığını göstermektedir.

Coşkun vd. (2017), Türkiye’de son 50 yılın en sıcak 4. Yılının 2016 olduğunu ve 2016’da 1.300’e yakın sayıda, rekor sayılabilecek hidrometeorolojik ekstrem olaylar yaşandığını belirtmişlerdir. Ayrıca 2016’da; İstanbul, Eskişehir, Tekirdağ, Antalya, Konya, Diyarbakır ve Erzurum’daki sıcaklık sapmalarının 1,5 °C’nin üstünde gerçekleştiğini söylemişlerdir. Ülkemizde; 1998 yılından bu yana en sıcak ilk beş yılın üçünün 2010’dan sonra yaşandığını belirten araştırmacılar, maksimum sıcak hava dalgasının 2010’da meydana geldiğini söylemişlerdir. Bu durumun, Porsuk Çayı havzası için doğrudan gerçekleşmemesi sebebiyle, sıcaklık artışlarıyla kuraklık arasında direkt ilişki kurulması araştırmacıları yanıltabilecektir. Bu sonuçlar; kuraklığın çok daha karmaşık ilişkiler bütünü olduğunun ve farklı değişkenlerin kombinasyonu sonucunda kuraklık indisleri oluşturmak gerektiğinin kanıtıdır.

Dabanlı (2017), 21. yy’ın ilk yarısında Türkiye’nin batısındaki yağışların %25 oranlarında düşebileceğini belirtmektedir. Benzer şekildeki yağış düşüşlerine farklı kaynaklarda da rastlamak mümkündür. Örneğin; ülkemizde 2014’te İç Anadolu’daki yağışların, mevsim normallerine göre %40, 2013’e kıyasla %50 düştüğü belirtilmektedir (Anonim, 2014). Bu çalışmalardaki sonuçlarla uyumlu olarak yağış düşüşleri Porsuk Çayı havzasında da görülse de; azalmaların daha çok 21. yy’ın ikinci yarısında belirginleşmesi beklenmektedir.

4.2. WOFOST Bitki-İklim Modeliyle Belirlenen Mevcut Buğday Bulguları

Bu bölümde elde edilen bulgulara ulaşabilmek için, Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü’nün 2016-2017 yılına ait, Bezostaja buğday çeşidinin verim değerleri kullanılmıştır.

Bulguların istatistiki değerlendirmesinde, uyuşma indisi (d) kullanılmıştır. Işıldar (2010)’a göre; tahminlenen ve gözlenen değerlerin birbirine yakınlığı hakkında bilgi veren uyuşma indisi (d), bu çalışmada da geçmişe ve geleceğe ilişkin buğday verimi ve iklim tahminlerin (modellemenin), doğruluk derecesini belirlemek için kullanılmıştır. Bu indis sonuçlarının 0,5 ile 1 arasında değerler alması, başarılı tahminlemenin (modellemenin) yapıldığının bir göstergesi olacaktır.

Türkiye genelindeki buğday verimleriyle kıyaslandığında, Porsuk Çayı havzasında daha büyük verimlere ulaşıldığı görülmektedir. Geçmiş on yıla (2008-2018) kıyasla, son yıllarda havzadaki buğday verimlerinde artışlar gerçekleşmektedir. Kuraklıkların görüldüğü bu son dönemde, gerçekleşen bu verim artışlarının sebebi; verimli buğday çeşitlerinin seçimi ve kültürel işlemler (sulama, gübreleme, ilaçlama v.b) olarak yorumlanabilmektedir. Özellikle 2016 yılındaki buğday verimlerinde, önemli artışlar kaydedilmiştir. En yüksek buğday verimlerine ulaşılması sebebiyle, Alpu'nun tarım açısından önemli bir bölge olduğu ve özellikle tarımsal kuraklık açısından dikkatlice incelenmesi gerektiğini desteklemektedir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Çalışma alanındaki buğday verim miktarları

Yıl	Buğday verimi (kg/da)			
	Türkiye geneli	Alpu	Odunpazarı	Tepebaşı
2010	241	129	135	276
2011	267	212	247	324
2012	265	336	273	316
2013	278	385	255	302
2014	240	314	282	285
2015	287	325	309	222
2016	269	348	332	287
2017	280	314	300	302
2018	277	-	-	-
2008-2018 arası (Uzun yıllık ortalama verim)	-	262	251	282

Son yıllarda, Alpu ve Odunpazarı'ndaki buğday verim değişimleri birbirine oldukça yakındır. 2016 yılında; büyük oransal verim artışlarıyla, çok miktardaki verimlere ulaşılmıştır. Son yıllarda havzada gerçekleşen buğday verim artışlarının en büyük olduğu yer Alpu'dur. Hızla gelişen tarımsal tekniklere ve teknolojilere rağmen buğday verim artışlarının çok olmayıp, hatta verim kayıplarının görüldüğü bölge ise Tepebaşı'dır. Bu sebeple, tarımsal kuraklıkların Tepebaşı'nda etkin olduğu ve bölgenin tarımsal kuraklığa daha hassas olduğu yorumu yapılabilmektedir. 2015 yılında Tepebaşı'nda tarımsal kuraklık görülmemesine rağmen buğday verimlerinin düşmesine; bu yıl özelinde yanlış buğday çeşidi seçimi ve çiftçilerin hatalı kültürel işlemleri (sulama, ilaçlama, gübreleme v.b) sebep olmuş olabilir (Çizelge 4.13).

Geçmiş yıllarda, verim kayıplarına daha sık rastlanmaktadır. Özellikle 2010 yılında, Alpu'da büyük verim kayıpları yaşanmıştır. Aynı yılda; Odunpazarı ve Tepebaşı'nda da gözlenen verim düşüşleri, bölgede 2010 yılında tarımsal kuraklıkların hakim olduğunu

desteklemektedir. Bu tarımsal kuraklıklardan en çok etkilenen yerler sırasıyla; Alpu, Odunpazarı ve Tepebaşı'dır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Havzadaki ortalama verime kıyasla buğday verimi değişim oranları

	Alpu		Odunpazarı		Tepebaşı	
	Buğday verimi (kg/da)	Ortalamaya kıyasla buğday verimi değişimi (%)	Buğday verimi (kg/da)	Ortalamaya kıyasla buğday verimi değişimi (%)	Buğday verimi (kg/da)	Ortalamaya kıyasla buğday verimi değişimi (%)
2010	129	-%51	135	-%46	276	-%2
2011	212	-%19	247	-%2	324	+ %15
2012	336	+ %28	273	+ %9	316	+ %12
2013	385	+ %47	255	+ %2	302	+ %7
2014	314	+ %20	282	+ %12	285	+ %1
2015	325	+ %24	309	+ %23,1	222	-%21,3
2016	348	+ %33	332	+ %32,3	287	+ %1,8
2017	314	+ %20	300	+ %19,5	302	+ %7,1
2008-2017 arası (Uzun yıllık ortalama verim)	262		251		282	

Araştırma havzasının, 2008-2018 arası on yıllık ortalama buğday verim değeri olan 265 kg/da ile kıyaslandığında; bölgede Bezostaja buğday çeşidinin kullanılmasıyla verim değeri 482 kg/da'lara kadar çıkabilmektedir. WOFOST modelinin, gözlenen değerlerden daha büyük buğday verimleri tahminlemeye eğilimli olduğu düşünülmektedir (Çizelge 4.14).

Çalışmada, buğday verim gözlemlerinin yapıldığı; 2016 yılı kalibrasyon için, 2017 yılı doğrulama için kullanılmıştır. Sonuçların hassasiyeti için ise, uyuşma indisi (d) kullanılmıştır. Işıldar (2010)'ın belirtmesine göre; tahminlenen ve gözlenen değerlerin birbirine yakınlığı hakkında bilgi veren uyuşma indisi (d), biyokütle sonuçları açısından bu çalışmada da 0,5 ile 1 arasında değer aldığından (d=0,84), bu çalışmadaki WOFOST modeli sonuçları başarılı kabul

edilmektedir. Yani, tahminlenen buğday biyokütle değerleri, gözlenen buğday biyokütle değerlerini temsil edebilmektedir (Çizelge 4.14).

Gözlenen ve tahminlenen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu ve WOFOST modelinin gelecekteki buğday verimini tahminlemede güvenilir olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Araştırma tarlasında gözlenen ve WOFOST modeliyle tahminlenen buğday biyokütlesi

Yıl	Gözlenen (Gerçek)	Tahminlenen (WOFOST modeli)
	Bezostaja buğday biyokütlesi (kg/da)	Buğday biyokütlesi (kg/da)
2016	848	1050
2017	1284	1300

Porsuk Çayı havzasında, buğdayın WOFOST model sonuçlarıyla gözlem değerlerinin kıyaslanması sonucunda; gözlenen ve tahminlenen TAGP değerleri arasında 2016 yılı için + %23,8'lik bir sapma ve 2017 yılı için +%1,2'lik bir sapma tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre; WOFOST modelinin havzada, TAGP değerlerini tahminlemede daha başarılı olduğu söylenebilmektedir. 2016 yılı verilerine kıyasla, 2017 yılındaki tahmin sonuçlarının daha başarılı olduğu da söylenebilmektedir (Çizelge 4.15).

Porsuk Çayı havzasında, kuraklık indislerinin sonuçları incelendiğinde; 2016 yılına kıyasla, 2017 yılı daha kurak geçmiştir. Kurak geçen 2017 yılındaki WOFOST tahminleri, gözlenen değerlere çok daha yakın olmuştur.

Çizelge 4.15. Çalışma alanında gözlenen ve WOFOST modeliyle tahminlenen buğday biyokütlesinin değişim yüzdesi

	Gözlenen ve WOFOST ile tahminlenen TAGP-Buğday biyokütlesi (kg/da) değişim yüzdesi
2016	+ %23,8
2017	+ %1,2

Palosuo vd. (2011), 8 adet (WOFOST, DSSAT, CROPSYST, DAISY, HERMES, STICS, APES ve FASSET) bitki iklim modeli kullanarak, Avrupa'nın 8 farklı bölgesinde (Çekya, Slovakya, Türkiye, Almanya ve Danimarka ülkeleri içerisindeki) kışlık buğday için model performanslarını kıyaslamışlardır. Çalışmaları sonucunda, hiçbir modelin kusursuz şekilde verimi tahminleyemediğini belirtmektedirler. Gerçek verimden oldukça büyük tahmin

yapan modellerin WOFOST, STICS ve HERMES modelleri olduğunu belirtmişlerdir. Bitkinin toprak üstü organlarını tahminlerken; APES, DAISY, HERMES, STICS ve WOFOST modellerinin yüksek biyokütle değeri tahminlediğini belirtmişlerdir. Sonuçta; yüksek hasat indeksi tahminleyen modellerin sırasıyla DSSAT, FASSET, HERMES ve WOFOST modelleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Eitzinger vd. (2004) Avusturya’da, 2000-2001 yılları arası kışlık buğday ve yazlık arpa için, CERES, SWAP ve WOFOST modellerini kullanmıştır. Çalışmaları sonucunda; WOFOST modelinin aksine, CERES ve SWAP modellerinin buğday ile arpanın tane verimlerini daha başarılı tahminlediğini tespit etmişlerdir. Quiring ve Papakryiakou (2003) Kanada’da buğday veriminin tahmini amacıyla 4 farklı tarımsal kuraklık indisi (PKŞİ, SYİ, Palmer-Z indisi ve NOAA kuraklık indisi) kullanarak; sonuçta buğday verimindeki kayıpların; hastalık, zararlı, afet ve toprak özelliklerinden de kaynaklanabileceğini hatırlatan araştırmacılar; Palmer-Z indisinin en uygun indis olduğunu belirtmişlerdir. Işıldar (2010), SYİ ve Palmer’in geliştirdiği 4 farklı kuraklık indisini daha kullanarak Ege bölgesindeki illerde kuraklık araştırması yapmıştır. Kendinden kalibreli PKŞİ’nin, Aydın ili için en güvenilir sonuçları ürettiğini belirten araştırmacı; kuraklık indislerine bağlı mısır verimi modellerinin, değişimlerin sadece %40’ını açıklayabildiğini belirtmektedir. Geri kalan verim sapması oranı, iklim haricindeki değişkenler (Sulama, toprak özelliği, gübreleme, ekim zamanı-sıklığı, bitki çeşidi v.b. kültürel işlemler; ile hastalık, zararlı ve sel felaketi gibi afetler) sebebiyle gerçekleştiğini tahminlemiştir. Ayrıca çalışmada, en başarısız tahminlemenin SYİ yöntemiyle yapıldığı belirtilmektedir. Bu durumun; SYİ’nin sadece yağış verilerine bağlı olması sebebiyle gerçekleşmiş olabileceğini söylemiştir. Literatürdeki bu sonuçlar analiz edildiğinde; hiçbir bitki iklim modelinin kusursuz olmaması ve iklim haricindeki değişkenlerin de bitki verimleri üzerinde çok etkin olmasından dolayı, bitkilere ait indeks tahminleme farklarının yüksek çıkabilmesi beklenmektedir. Ayrıca WOFOST modelinin; mekânsal olarak başarısız sonuçlar da üretebileceği ve modelin gözlenenenden daha büyük bitki verimleri tahminleme potansiyeli, literatür sonuçlarıyla da doğrulanmıştır.

4.3. Kuraklık İndisleriyle İlgili Geleceğe Ait Bulgular

Bu bölümde; öncelikle üç adet (hidrolojik, meteorolojik ve tarımsal) kuraklık çeşidi, kendi alt başlıklarında detaylı olarak analiz edilecektir. Tüm kuraklık çeşitlerinin genel yorumu ise, son (Gelecekteki kuraklıkla ilgili genel değerlendirme) alt başlıkta yapılacaktır. Analizler;

HadGEM2-ES küresel iklim modeli ve RegCM 4.3 bölgesel iklim modeline ait, RCP4.5 (iyimser) ve RCP8.5 (kötümser) iklim senaryolarının ürettiği veriler esas alınarak yapılmıştır.

4.3.1. Gelecekteki Meteorolojik Kuraklık (Standart Yağış İndisi) Sonuçları

Meteorolojik kuraklıkla ilgili bulgulara ulaşabilmek için, SYGM'den alınan geleceğe ilişkin aylık toplam yağış (mm) tahmin verileri kullanılmıştır.

Gelecekte Porsuk Çayı havzasında meteorolojik kuraklık açısından; sulak yıllar 2016, 2021, 2026, 2034, 2042, 2052 iken; kurak yıllar 2056, 2058, 2063, 2069, 2070, 2077, 2081, 2082, 2089, 2096 yıllarıdır. 2021'de kötümser senaryoya aşırı nemli bir durumun hakim olması beklenirken, 2025'de iyimser senaryoya göre aşırı kurak bir durumun yaşanması beklenmektedir (Çizelge 4.16).

Gelecekte Porsuk Çayı havzasında meteorolojik kuraklık açısından; en kurak yıl 2096 iken, en sulak yılın 2021 olması beklenmektedir. İyimser senaryoya göre 2084-2088 yılları arasında, kötümser senaryoya göre 2028-2032 ve 2045-2051 yılları arasında "normal" kuraklık sınıfını temsil eden bir iklimin hakim olması beklenmektedir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Gelecekteki yıllık SYİ sonuçları

Yıl	Porsuk Çayı Havzası	
	RCP4.5	RCP8.5
2016	0,99 (Nemlice)	0,82 (Nemlice)
2017	0,40 (Normal)	-0,66 (Kurakça)
2018	1,19 (Orta nemli)	-0,61 (Kurakça)
2019	0,05 (Normal)	0,88 (Nemlice)
2020	0,76 (Nemlice)	-0,81 (Kurakça)
2021	0,83 (Nemlice)	3,47 (Aşırı nemli)
2022	2,34 (Aşırı nemli)	-0,32 (Normal)
2023	-0,51 (Kurakça)	0,32 (Normal)
2024	2,66 (Aşırı nemli)	0,26 (Normal)
2025	-2,17 (Aşırı kurak)	0,64 (Nemlice)
2026	1,29 (Orta nemli)	2,40 (Aşırı nemli)
2027	-0,64 (Kurakça)	0,78 (Nemlice)
2028	-1,20 (Orta kurak)	0,45 (Normal)
2029	1,09 (Orta nemli)	-0,48 (Normal)
2030	0,47 (Normal)	0,48 (Normal)
2031	1,64 (Çok nemli)	-0,38 (Normal)
2032	-0,46 (Normal)	0,22 (Normal)
2033	0,14 (Normal)	0,57 (Nemlice)

Çizelge 4.16. (devam)

Yıl	RCP4.5	RCP8.5
2034	1,16 (Orta nemli)	2,01 (Aşırı nemli)
2035	-0,03 (Normal)	1,14 (Orta nemli)
2036	-0,21 (Normal)	0,13 (Normal)
2037	-1,10 (Orta kurak)	0,97 (Nemlice)
2038	-1,05 (Orta kurak)	2,22 (Aşırı nemli)
2039	0,27 (Normal)	-0,15 (Normal)
2040	-0,07 (Normal)	0,28 (Normal)
2041	0,09 (Normal)	-1,57 (Çok kurak)
2042	1,83 (Çok nemli)	1,84 (Çok nemli)
2043	-0,45 (Normal)	0,07 (Normal)
2044	-0,41 (Normal)	0,57 (Nemlice)
2045	0,93 (Nemlice)	-0,05 (Normal)
2046	-0,25 (Normal)	0,18 (Normal)
2047	0,57 (Nemlice)	0,13 (Normal)
2048	1,68 (Çok nemli)	0,27 (Normal)
2049	-0,05 (Normal)	0,26 (Normal)
2050	-0,90 (Kurakça)	-0,35 (Normal)
2051	0,02 (Normal)	-0,15 (Normal)
2052	1,05 (Orta nemli)	1,26 (Orta nemli)
2053	-1,14 (Orta kurak)	0,89 (Nemlice)
2054	-1,25 (Orta kurak)	0,25 (Normal)
2055	0,58 (Nemlice)	-1,14 (Orta kurak)
2056	-0,57 (Kurakça)	-1,43 (Orta kurak)
2057	-0,07 (Normal)	-0,08 (Normal)
2058	-0,90 (Kurakça)	-1,03 (Orta kurak)
2059	1,04 (Orta nemli)	-0,28 (Normal)
2060	-1,50 (Orta kurak)	0,60 (Nemlice)
2061	-1,28 (Orta kurak)	-0,18 (Normal)
2062	0,89 (Nemlice)	-1,10 (Orta kurak)
2063	-1,14 (Orta kurak)	-0,54 (Kurakça)
2064	-1,24 (Orta kurak)	-0,03 (Normal)
2065	0,03 (Normal)	-0,58 (Kurakça)
2066	-1,09 (Orta kurak)	-0,29 (Normal)
2067	-0,01 (Normal)	-0,69 (Kurakça)
2068	-0,62 (Kurakça)	-0,19 (Normal)
2069	-1,30 (Orta kurak)	-0,89 (Kurakça)
2070	-1,79 (Çok kurak)	-1,01 (Orta kurak)
2071	1,28 (Orta nemli)	0,04 (Normal)
2072	-0,08 (Normal)	-0,96 (Kurakça)
2073	0,11 (Normal)	-0,91 (Kurakça)
2074	0,77 (Nemlice)	0,32 (Normal)
2075	0,85 (Nemlice)	-0,20 (Normal)
2076	1,61 (Çok nemli)	-0,55 (Kurakça)

Çizelge 4.16. (devam)

Yıl	RCP4.5	RCP8.5
2077	-0,95 (Kurakça)	-1,07 (Orta kurak)
2078	0,00 (Normal)	-0,81 (Kurakça)
2079	-0,43 (Normal)	-0,54 (Kurakça)
2080	1,23 (Orta nemli)	-0,17 (Normal)
2081	-1,18 (Orta kurak)	-0,54 (Kurakça)
2082	-0,64 (Kurakça)	-1,57 (Çok kurak)
2083	-0,79 (Kurakça)	2,73 (Aşırı nemli)
2084	0,07 (Normal)	1,03 (Orta nemli)
2085	0,11 (Normal)	1,47 (Orta nemli)
2086	0,12 (Normal)	-0,93 (Kurakça)
2087	-0,01 (Normal)	0,19 (Normal)
2088	0,49 (Normal)	-0,30 (Normal)
2089	-0,58 (Kurakça)	-1,21 (Orta kurak)
2090	-0,29 (Normal)	-0,59 (Kurakça)
2091	-1,42 (Orta kurak)	-0,17 (Normal)
2092	0,03 (Normal)	-0,73 (Kurakça)
2093	1,18 (Orta nemli)	-1,43 (Orta kurak)
2094	-0,27 (Normal)	0,38 (Normal)
2095	-0,05 (Normal)	-1,54 (Çok kurak)
2096	-1,77 (Çok kurak)	-1,31 (Orta kurak)

Gelecekteki meteorolojik kuraklık frekanslarının, en yüksek olduğu kuraklık sınıfları incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir: İyimser senaryoya göre, analiz edilen 81 yılın 13'ünde (%16) orta beklenmektedir. Kötümser senaryoya göre ise %20 kurakça durum yaşanacağı beklenmektedir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Gelecekteki meteorolojik kuraklık (SYİ) frekansları

Porsuk Çayı Havzası	
RCP4.5	RCP8.5
%12 kurakça (10/81)	%20 kurakça (16/81)
%16 orta kurak (13/81)	%9 orta kurak (8/81)
%2 çok kurak (2/81)	%4 çok kurak (3/81)
%1 aşırı kurak (1/81)	

Gelecekteki meteorolojik kuraklık durumu, dönemsel olarak değerlendirildiğinde; havza genelinin normal bir iklime sahip olacağı söylenebilmektedir. Fakat, kötümser senaryoya göre yakın gelecekte nemli bir dönem beklenmektedir. Meteorolojik açıdan havza genelinin; yakın gelecekte sulaklaşma eğiliminde, orta ve uzak gelecekte ise kuraklaşma eğiliminde olacağı düşünülmektedir (Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19).

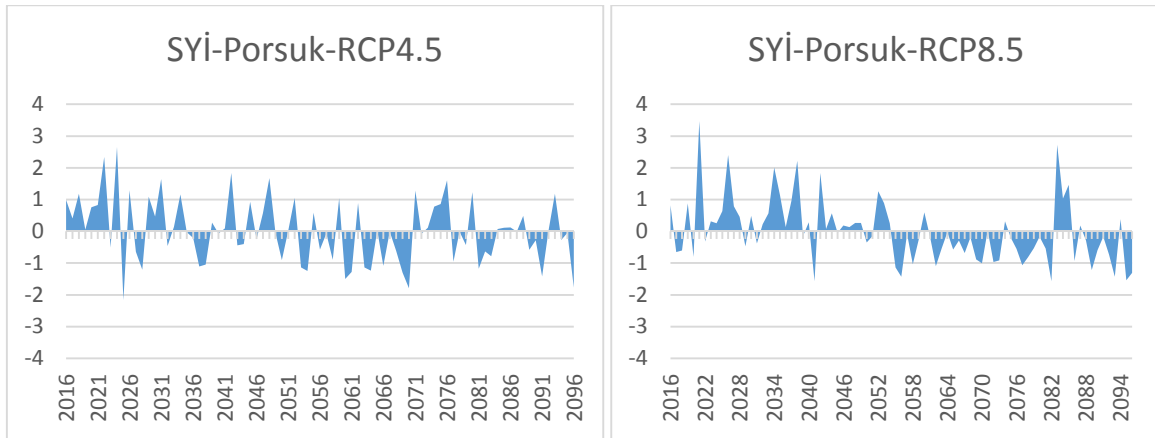
Çizelge 4.18. Gelecekteki SYİ sonuçlarının dönemsel analizi

Alan	Senaryo	Dönem		
		2020-2045 (Yakın gelecek)	2045-2070 (Orta gelecek)	2070-2095 (Uzak gelecek)
Porsuk Çayı Havzası	RCP4.5	0,28 (Normal)	-0,32 (Normal)	-0,02 (Normal)
	RCP8.5	0,58 (Nemlice)	-0,24 (Normal)	-0,35 (Normal)

Çizelge 4.19. Gelecekteki SYİ sonuçlarının mevcut duruma (Geçmişe) göre değişimi

Alan	Senaryo	Dönem		
		2020-2045 (Yakın gelecek)	2045-2070 (Orta gelecek)	2070-2095 (Uzak gelecek)
Porsuk Çayı Havzası	RCP4.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)
	RCP8.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)

Meteorolojik kuraklık açısından gelecekteki iyimser ve kötümser senaryoya göre; gerçekleşebilecek kuraklıklara kıyasla, sulaklıkların daha şiddetli yaşanması beklenmektedir. Özellikle yakın gelecekte sık görülebilecek sulaklıkların şiddeti, oldukça fazla olabilecektir. Kötümser senaryoya göre, 2080'li yıllardaki sulak periyodun haricinde, orta ve uzak gelecekte meteorolojik kuraklıkların ısrarla hakim olması beklenmektedir. İyimser senaryoya göre havzada; orta gelecekte meteorolojik kuraklıklar hakimken, uzak geleceğe doğru bu durum yumuşayıp, sıklıkla sulaklıklarla karşılaşma ihtimali de vardır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Gelecekteki iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) SYİ sonuçları

4.3.2. Gelecekteki Hidrolojik Kuraklık (Standart Akış İndisi) Sonuçları

Hidrolojik kuraklıkla ilgili bulgulara ulaşabilmek için, SYGM'den alınan geleceğe ilişkin aylık toplam akım (mm) tahmin verileri kullanılmıştır.

Gelecekteki hidrolojik kuraklık açısından havza genelinde; 2023, 2025, 2034, 2045, 2063, 2095 ve 2096 yıllarındaki iklimin dengesiz olması beklenirken; 2015, 2021, 2088 ve 2090 yıllarının sulak geçeceği tahmin edilmektedir. Hidrolojik açıdan kurak geçmesi beklenen yıllar ise; 2031, 2032, 2038, 2057, 2059, 2060, 2064-2069 arası, 2073, 2074, 2078 ve 2083'tür (Çizelge 4.20).

Hidrolojik kuraklık açısından; Alpu ve Odunpazarı'nda orta gelecekte kuraklık hakim olacakken, Alpu'da uzak gelecekte sulaklık hakim olacaktır. Tepebaşı'nda ise; hidrolojik kurak ve sulak periyotların kendi içerisinde peşpeşe yaşanması beklenmektedir. Gelecekteki hidrolojik kuraklık açısından; Alpu ve Tepebaşı'na kıyasla, Odunpazarı'nın daha çok kuraklaşma eğilimde olacağı beklenmektedir (Çizelge 4.20).

Gelecekteki hidrolojik kuraklık açısından havza geneli değerlendirildiğinde; en kurak yer Odunpazarı'dır. Hidrolojik kuraklık açısından Alpu ve Tepebaşı'nda; orta gelecekte kuraklık hakimken, uzak gelecekte sulaklık hakim olacaktır. Buna rağmen, Tepebaşı'nda daha dengeli (normal) bir iklimin hakim olması beklenmektedir (Çizelge 4.20).

Gelecekteki hidrolojik kuraklık açısından; iyimser senaryoya göre havza genel olarak değerlendirildiğinde; özellikle orta gelecekte kuraklığın hakim olacağı, en kurak bölgenin Tepebaşı olacağı ve Alpu'nun kuraktan sulaklaşmaya eğilimli olacağı tahmin edilmektedir. Kötümser senaryoya göre havza genel olarak değerlendirildiğinde ise; çalışma alanında dengeli bir iklimin hakim olması (çok uzun kurak ve sulak periyotlara rastlanmaması), sadece Odunpazarı'nda orta gelecekte yaşanabilecek uzun bir kurak periyot gerçekleşmesi beklenmektedir. Ayrıca kötümser senaryoya göre; gelecekte havzadaki ilçelerde birbirine çok benzer iklimin hakim olması, yine de bölgedeki en kurak yerin (dengesiz bir iklimin hakim olduğu) Alpu olması beklenmektedir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Gelecekteki yıllık SAİ sonuçları

Yıl	Alpu		Odunpazarı		Tepebaşı	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2015	1,34 (Nemli)	1,27 (Nemli)	0,26 (Nemli)	1,55 (Nemli)	2,00 (Nemli)	3,16 (Nemli)
2016	-0,36 (Hafif kurak)	0,55 (Nemli)	0,35 (Nemli)	-0,46 (Hafif kurak)	0,03 (Nemli)	0,79 (Nemli)
2017	-0,58 (Hafif kurak)	0,28 (Nemli)	-0,14 (Hafif kurak)	-0,26 (Hafif kurak)	0,02 (Nemli)	-0,62 (Hafif kurak)
2018	-0,15 (Hafif kurak)	1,33 (Nemli)	0,99 (Nemli)	3,97 (Nemli)	0,33 (Nemli)	3,94 (Nemli)
2019	-0,36 (Hafif kurak)	0,75 (Nemli)	-0,01 (Hafif kurak)	-0,65 (Hafif kurak)	-0,75 (Hafif kurak)	-0,48 (Hafif kurak)
2020	0,14 (Nemli)	-0,39 (Hafif kurak)	1,49 (Nemli)	-0,70 (Hafif kurak)	-0,13 (Hafif kurak)	-0,10 (Hafif kurak)
2021	0,22 (Nemli)	0,06 (Nemli)	0,82 (Nemli)	0,76 (Nemli)	1,19 (Nemli)	0,93 (Nemli)
2022	1,65 (Nemli)	0,49 (Nemli)	3,98 (Nemli)	-0,29 (Hafif kurak)	1,85 (Nemli)	-0,45 (Hafif kurak)
2023	2,56 (Nemli)	-1,12 (Orta kurak)	4,96 (Nemli)	-0,73 (Hafif kurak)	4,19 (Nemli)	-0,74 (Hafif kurak)
2024	0,56 (Nemli)	0,80 (Nemli)	2,43 (Nemli)	-0,60 (Hafif kurak)	1,51 (Nemli)	-0,08 (Hafif kurak)
2025	2,51 (Nemli)	-1,04 (Orta kurak)	-0,57 (Hafif kurak)	0,84 (Nemli)	-0,36 (Hafif kurak)	0,05 (Nemli)
2026	0,33 (Nemli)	-0,29 (Hafif kurak)	1,35 (Nemli)	-0,66 (Hafif kurak)	1,18 (Nemli)	-0,61 (Hafif kurak)
2027	-0,62 (Hafif kurak)	0,15 (Nemli)	-0,79 (Hafif kurak)	-0,38 (Hafif kurak)	-0,74 (Hafif kurak)	-0,65 (Hafif kurak)
2028	-0,77 (Hafif kurak)	0,02 (Nemli)	-0,34 (Hafif kurak)	-0,37 (Hafif kurak)	-0,47 (Hafif kurak)	-0,61 (Hafif kurak)
2029	-0,91 (Hafif kurak)	0,79 (Nemli)	-0,79 (Hafif kurak)	2,48 (Nemli)	-0,80 (Hafif kurak)	2,57 (Nemli)
2030	-0,26 (Hafif kurak)	-0,41 (Hafif kurak)	-0,32 (Hafif kurak)	0,38 (Nemli)	0,33 (Nemli)	-0,18 (Hafif kurak)
2031	-0,86 (Hafif kurak)	-0,38 (Hafif kurak)	-0,29 (Hafif kurak)	-0,69 (Hafif kurak)	-0,67 (Hafif kurak)	-0,73 (Hafif kurak)
2032	-0,76 (Hafif kurak)	-1,13 (Orta kurak)	-0,53 (Hafif kurak)	-0,20 (Hafif kurak)	-0,78 (Hafif kurak)	-0,77 (Hafif kurak)
2033	-0,56 (Hafif kurak)	-0,66 (Hafif kurak)	0,38 (Nemli)	-0,70 (Hafif kurak)	-0,71 (Hafif kurak)	-0,75 (Hafif kurak)
2034	-1,07 (Orta kurak)	0,20 (Nemli)	-0,81 (Hafif kurak)	0,11 (Nemli)	-0,82 (Hafif kurak)	-0,48 (Hafif kurak)
2035	-0,39 (Hafif kurak)	-0,35 (Hafif kurak)	-0,30 (Hafif kurak)	0,07 (Nemli)	-0,72 (Hafif kurak)	-0,56 (Hafif kurak)
2036	-0,36 (Hafif kurak)	-0,05 (Hafif kurak)	0,92 (Nemli)	2,34 (Nemli)	-0,32 (Hafif kurak)	0,61 (Nemli)
2037	-0,92 (Hafif kurak)	-0,07 (Hafif kurak)	-0,38 (Hafif kurak)	1,76 (Nemli)	-0,70 (Hafif kurak)	0,58 (Nemli)
2038	-0,85 (Hafif kurak)	-0,27 (Hafif kurak)	-0,11 (Hafif kurak)	-0,68 (Hafif kurak)	-0,52 (Hafif kurak)	-0,73 (Hafif kurak)
2039	-0,78 (Hafif kurak)	0,26 (Nemli)	-0,74 (Hafif kurak)	-0,50 (Hafif kurak)	-0,75 (Hafif kurak)	-0,54 (Hafif kurak)
2040	-0,77 (Hafif kurak)	1,02 (Nemli)	0,15 (Nemli)	1,87 (Nemli)	-0,15 (Hafif kurak)	0,42 (Nemli)
2041	-0,56 (Hafif kurak)	0,16 (Nemli)	0,71 (Nemli)	1,18 (Nemli)	-0,56 (Hafif kurak)	-0,47 (Hafif kurak)
2042	-0,57 (Hafif kurak)	-1,58 (Çok kurak)	-0,77 (Hafif kurak)	-0,69 (Hafif kurak)	-0,69 (Hafif kurak)	-0,83 (Hafif kurak)
2043	-0,11	0,52 (Nemli)	-0,41 (Hafif kurak)	-0,66 (Hafif kurak)	-0,54 (Hafif kurak)	-0,54 (Hafif kurak)

Çizelge 4.20. (devam)

Yıl	Alpu		Odunpazarı		Tepebaşı	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2044	-0,48 (Hafif kurak)	-0,71 (Hafif kurak)	0,36 (Nemli)	0,22 (Nemli)	0,13 (Nemli)	-0,72 (Hafif kurak)
2045	-0,45 (Hafif kurak)	-1,11 (Orta kurak)	0,64 (Nemli)	-0,55 (Hafif kurak)	0,45 (Nemli)	-0,79 (Hafif kurak)
2046	-0,53 (Hafif kurak)	0,27 (Nemli)	-0,19 (Hafif kurak)	-0,20 (Hafif kurak)	0,88 (Nemli)	-0,57 (Hafif kurak)
2047	-0,22 (Hafif kurak)	-0,19 (Hafif kurak)	0,92 (Nemli)	1,23 (Nemli)	0,41 (Nemli)	-0,64 (Hafif kurak)
2048	-0,41 (Hafif kurak)	0,66 (Nemli)	0,23 (Nemli)	-0,46 (Hafif kurak)	2,28 (Nemli)	-0,52 (Hafif kurak)
2049	-0,23 (Hafif kurak)	-0,27 (Hafif kurak)	0,21 (Nemli)	-0,57 (Hafif kurak)	0,15 (Nemli)	-0,43 (Hafif kurak)
2050	1,00 (Nemli)	-0,02 (Hafif kurak)	2,08 (Nemli)	-0,41 (Hafif kurak)	2,84 (Nemli)	-0,38 (Hafif kurak)
2051	0,47 (Nemli)	-0,57 (Hafif kurak)	0,37 (Nemli)	0,20 (Nemli)	0,69 (Nemli)	-0,55 (Hafif kurak)
2052	-0,58 (Hafif kurak)	0,15 (Nemli)	-0,78 (Hafif kurak)	-0,11 (Hafif kurak)	-0,75 (Hafif kurak)	-0,16 (Hafif kurak)
2053	-0,72 (Hafif kurak)	0,05 (Nemli)	-0,77 (Hafif kurak)	0,38 (Nemli)	-0,75 (Hafif kurak)	0,03 (Nemli)
2054	0,42 (Nemli)	-0,14 (Hafif kurak)	-0,58 (Hafif kurak)	1,49 (Nemli)	-0,08 (Hafif kurak)	-0,27 (Hafif kurak)
2055	-0,67 (Hafif kurak)	0,24 (Nemli)	-0,63 (Hafif kurak)	2,81 (Nemli)	0,02 (Nemli)	0,36 (Nemli)
2056	-0,80 (Hafif kurak)	-0,33 (Hafif kurak)	-0,73 (Hafif kurak)	1,45 (Nemli)	-0,74 (Hafif kurak)	0,64 (Nemli)
2057	-0,46 (Hafif kurak)	-0,05 (Hafif kurak)	-0,24 (Hafif kurak)	-0,67 (Hafif kurak)	-0,65 (Hafif kurak)	-0,13 (Hafif kurak)
2058	-0,74 (Hafif kurak)	-0,95 (Hafif kurak)	-0,77 (Hafif kurak)	-0,41 (Hafif kurak)	-0,78 (Hafif kurak)	0,15 (Nemli)
2059	-0,92 (Hafif kurak)	-0,58 (Hafif kurak)	-0,80 (Hafif kurak)	-0,69 (Hafif kurak)	-0,81 (Hafif kurak)	-0,61 (Hafif kurak)
2060	-0,20 (Hafif kurak)	-0,12 (Hafif kurak)	-0,72 (Hafif kurak)	-0,69 (Hafif kurak)	-0,70 (Hafif kurak)	-0,59 (Hafif kurak)
2061	-0,32 (Hafif kurak)	0,30 (Nemli)	0,33 (Nemli)	-0,46 (Hafif kurak)	-0,45 (Hafif kurak)	-0,02 (Hafif kurak)
2062	-0,57 (Hafif kurak)	0,34 (Nemli)	-0,54 (Hafif kurak)	0,40 (Nemli)	-0,45 (Hafif kurak)	0,67 (Nemli)
2063	-1,20 (Orta kurak)	-1,15 (Orta kurak)	-0,79 (Hafif kurak)	0,99 (Nemli)	-0,81 (Hafif kurak)	1,61 (Nemli)
2064	-0,28 (Hafif kurak)	-0,65 (Hafif kurak)	-0,60 (Hafif kurak)	-0,73 (Hafif kurak)	-0,73 (Hafif kurak)	-0,69 (Hafif kurak)
2065	-0,59 (Hafif kurak)	-0,53 (Hafif kurak)	-0,37 (Hafif kurak)	-0,64 (Hafif kurak)	-0,50 (Hafif kurak)	-0,70 (Hafif kurak)
2066	-1,27 (Orta kurak)	-0,60 (Hafif kurak)	-0,78 (Hafif kurak)	-0,71 (Hafif kurak)	-0,70 (Hafif kurak)	-0,76 (Hafif kurak)
2067	-0,73 (Hafif kurak)	-0,45 (Hafif kurak)	-0,34 (Hafif kurak)	-0,72 (Hafif kurak)	-0,37 (Hafif kurak)	-0,62 (Hafif kurak)
2068	-0,85 (Hafif kurak)	-0,99 (Hafif kurak)	-0,77 (Hafif kurak)	-0,64 (Hafif kurak)	-0,79 (Hafif kurak)	-0,70 (Hafif kurak)
2069	-0,38 (Hafif kurak)	-0,76 (Hafif kurak)	-0,77 (Hafif kurak)	-0,70 (Hafif kurak)	-0,71 (Hafif kurak)	-0,55 (Hafif kurak)
2070	-0,98 (Hafif kurak)	0,08 (Nemli)	-0,37 (Hafif kurak)	-0,59 (Hafif kurak)	-0,57 (Hafif kurak)	-0,12 (Hafif kurak)
2071	-0,68 (Hafif kurak)	0,09 (Nemli)	-0,71 (Hafif kurak)	-0,56 (Hafif kurak)	-0,61 (Hafif kurak)	0,04 (Nemli)
2072	-0,87 (Hafif kurak)	-0,10 (Hafif kurak)	-0,79 (Hafif kurak)	-0,58 (Hafif kurak)	-0,62 (Hafif kurak)	0,01 (Nemli)

Çizelge 4.20. (devam)

Yıl	Alpu		Odunpazarı		Tepebaşı	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2073	-0,32 (Hafif kurak)	-0,84 (Hafif kurak)	-0,66 (Hafif kurak)	-0,65 (Hafif kurak)	-0,58 (Hafif kurak)	-0,62 (Hafif kurak)
2074	-0,40 (Hafif kurak)	-1,23 (Orta kurak)	-0,76 (Hafif kurak)	-0,73 (Hafif kurak)	-0,70 (Hafif kurak)	-0,74 (Hafif kurak)
2075	-0,48 (Hafif kurak)	0,41 (Nemli)	-0,57 (Hafif kurak)	-0,59 (Hafif kurak)	-0,52 (Hafif kurak)	0,42 (Nemli)
2076	-0,26 (Hafif kurak)	0,17 (Nemli)	-0,07 (Hafif kurak)	-0,47 (Hafif kurak)	-0,10 (Hafif kurak)	-0,16 (Hafif kurak)
2077	-0,48 (Hafif kurak)	-0,71 (Hafif kurak)	0,01 (Nemli)	-0,65 (Hafif kurak)	-0,21 (Hafif kurak)	-0,71 (Hafif kurak)
2078	-0,48 (Hafif kurak)	-0,78 (Hafif kurak)	-0,63 (Hafif kurak)	-0,67 (Hafif kurak)	-0,73 (Hafif kurak)	-0,68 (Hafif kurak)
2079	0,40 (Nemli)	-0,32 (Hafif kurak)	0,40 (Nemli)	-0,72 (Hafif kurak)	-0,27 (Hafif kurak)	-0,62 (Hafif kurak)
2080	2,14 (Nemli)	0,18 (Nemli)	0,41 (Nemli)	-0,60 (Hafif kurak)	-0,09 (Hafif kurak)	-0,35 (Hafif kurak)
2081	2,78 (Nemli)	-0,78 (Hafif kurak)	0,57 (Nemli)	-0,59 (Hafif kurak)	0,88 (Nemli)	-0,04 (Hafif kurak)
2082	2,03 (Nemli)	-0,08 (Hafif kurak)	0,28 (Nemli)	-0,66 (Hafif kurak)	0,16 (Nemli)	-0,43 (Hafif kurak)
2083	-0,72 (Hafif kurak)	-0,63 (Hafif kurak)	-0,66 (Hafif kurak)	-0,40 (Hafif kurak)	-0,51 (Hafif kurak)	-0,04 (Hafif kurak)
2084	-0,05 (Hafif kurak)	0,22 (Nemli)	-0,36 (Hafif kurak)	-0,59 (Hafif kurak)	-0,23 (Hafif kurak)	-0,11 (Hafif kurak)
2085	-0,71 (Hafif kurak)	0,76 (Nemli)	-0,74 (Hafif kurak)	-0,34 (Hafif kurak)	-0,60 (Hafif kurak)	0,39 (Nemli)
2086	1,45 (Nemli)	0,32 (Nemli)	-0,51 (Hafif kurak)	1,01 (Nemli)	-0,35 (Hafif kurak)	0,62 (Nemli)
2087	0,31 (Nemli)	1,30 (Nemli)	-0,55 (Hafif kurak)	0,70 (Nemli)	-0,24 (Hafif kurak)	0,99 (Nemli)
2088	1,13 (Nemli)	1,80 (Nemli)	0,00 (Nemli)	2,59 (Nemli)	0,15 (Nemli)	1,83 (Nemli)
2089	0,17 (Nemli)	-0,91 (Hafif kurak)	-0,64 (Hafif kurak)	-0,03 (Hafif kurak)	-0,47 (Hafif kurak)	-0,06 (Hafif kurak)
2090	2,63 (Nemli)	2,96 (Nemli)	0,35 (Nemli)	0,16 (Nemli)	0,86 (Nemli)	0,59 (Nemli)
2091	1,15 (Nemli)	5,06 (Nemli)	-0,12 (Hafif kurak)	0,52 (Nemli)	0,43 (Nemli)	2,12 (Nemli)
2092	1,02 (Nemli)	0,11 (Nemli)	-0,69 (Hafif kurak)	-0,74 (Hafif kurak)	-0,21 (Hafif kurak)	0,06 (Nemli)
2093	1,62 (Nemli)	3,17 (Nemli)	-0,18 (Hafif kurak)	-0,11 (Hafif kurak)	0,83 (Nemli)	4,13 (Nemli)
2094	1,04 (Nemli)	-0,06 (Hafif kurak)	0,20 (Nemli)	-0,63 (Hafif kurak)	1,84 (Nemli)	-0,10 (Hafif kurak)
2095	0,20 (Nemli)	-1,25 (Orta kurak)	-0,64 (Hafif kurak)	-0,75 (Hafif kurak)	-0,14 (Hafif kurak)	-0,81 (Hafif kurak)
2096	2,34 (Nemli)	-1,24 (Orta kurak)	1,80 (Nemli)	-0,69 (Hafif kurak)	3,42 (Nemli)	-0,64 (Hafif kurak)
2097	1,02 (Nemli)	-0,43 (Hafif kurak)	0,16 (Hafif kurak)	-0,55 (Hafif kurak)	0,67 (Nemli)	-0,14 (Hafif kurak)

Gelecekte hidrolojik açıdan; şiddetli kuraklıklara rastlama ihtimali Odunpazarı'nda yüksekken, Tepebaşı'nda düşüktür. Havzada, gelecekteki en nemli bölge Alpu olacaktır. Uzak gelecekte iklimin dengesizleşme eğilimde olacağı düşünülmektedir. Orta gelecekteki 2060'lı yıllarda, kuraklığın havza genelinde hakim olacağı beklenmektedir (Çizelge 4.20).

Gelecekteki hidrolojik kuraklık frekanslarının, en yüksek olduğu oranlar incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir: İncelenen 83 yıllık zaman serisinden; Alpu'daki 47 yılda (%57), Odunpazarı'ndaki 57 yılda (%69) ve Tepebaşı'ndaki 57 yılda (%69) hafif kuraklık yaşanması beklenmektedir (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21. Gelecekteki hidrolojik kuraklık (SAİ) frekansları

Alpu		Odunpazarı		Tepebaşı	
RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
%57 hafif kurak (47/83)	%45 hafif kurak (37/83)	%64 hafif kurak (53/83)	%69 hafif kurak (57/83)	%66 hafif kurak (55/83)	%69 hafif kurak (57/83)
%4 orta kurak (3/83)	%10 orta kurak (8/83)				
	%1 çok kurak (1/83)				

Hidrolojik kuraklık açısından; uzak gelecekte Alpu'da sulaklığın, Odunpazarı'nda kuraklığın hakim olacağı beklenirken; yakın gelecekte Odunpazarı'nda sulaklığın hakim olacağı beklenmektedir. Orta gelecekte havza geneli kurak olacaktır. Odunpazarı'nda orta ve uzak geleceğin kurak olacağı, Alpu'da ise yakın ve orta geleceğin kurak olacağı beklenmektedir. Yani; hidrolojik açıdan, Alpu sulaklaşma eğilimindeyken, Odunpazarı kuraklaşma eğilimindedir. Hidrolojik açıdan Tepebaşı'nda ise, normal bir iklim hakim olacaktır. İyimser senaryoya göre, Odunpazarı ve Tepebaşı'nda benzer iklim yaşanacakken; kötümser senaryoya göre, Alpu ve Tepebaşı'nda benzer iklim yaşanacaktır (Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23).

Çizelge 4.22. Gelecekteki SAİ sonuçlarının dönemsel analizi

İlçe	Senaryo	Dönem		
		2020-2045 (Yakın gelecek)	2045-2070 (Orta gelecek)	2070-2095 (Uzak gelecek)
Alpu	RCP4.5	-0,16 (Hafif kurak)	-0,47 (Hafif kurak)	0,45 (Nemli)
	RCP8.5	-0,2 (Hafif kurak)	-0,28 (Hafif kurak)	0,34 (Nemli)
Odunpazarı	RCP4.5	0,42 (Nemli)	-0,26 (Hafif kurak)	-0,28 (Hafif kurak)
	RCP8.5	0,14 (Nemli)	-0,04 (Hafif kurak)	-0,26 (Hafif kurak)
Tepebaşı	RCP4.5	0,016 (Nemli)	-0,14 (Hafif kurak)	-0,1 (Hafif kurak)
	RCP8.5	-0,24 (Hafif kurak)	-0,24 (Hafif kurak)	0,22 (Nemli)

Çizelge 4.23. Gelecekteki SAI sonuçlarının mevcut duruma (Geçmiştekine) göre değişimi

İlçe	Senaryo	Dönem		
		2020-2045 (Yakın gelecek)	2045-2070 (Orta gelecek)	2070-2095 (Uzak gelecek)
Alpu	RCP4.5	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Artış (Sulaklaşma)
	RCP8.5	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Artış (Sulaklaşma)
Odunpazarı	RCP4.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)
	RCP8.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)
Tepebaşı	RCP4.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)
	RCP8.5	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Artış (Sulaklaşma)

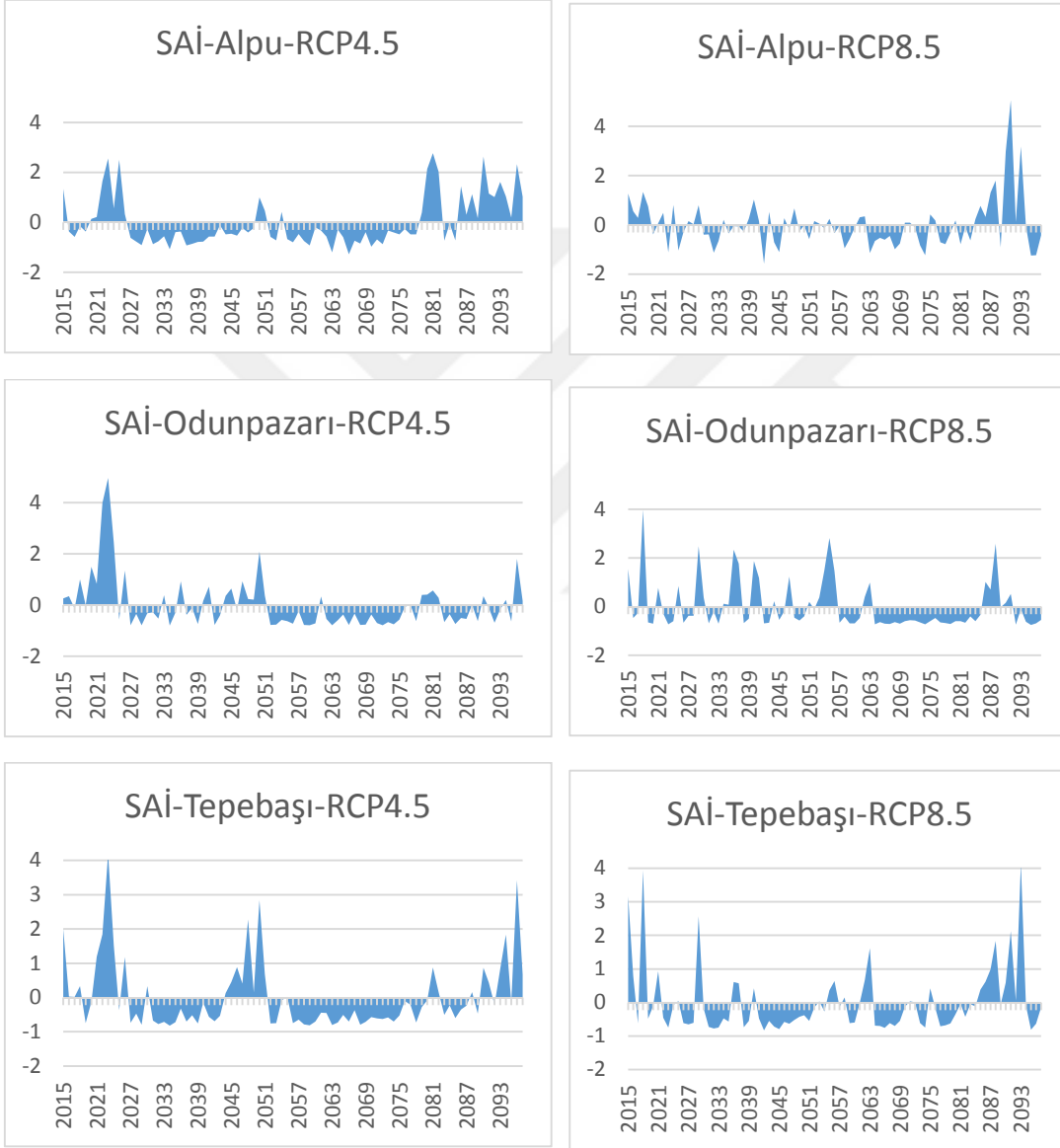
Hidrolojik kuraklık açısından gelecekte iyimser senaryoya göre; Alpu’da kuraklık ve sulaklıkların şiddetli-dengesiz gerçekleşmesi beklenirken; Odunpazarında daha dengeli ve normal iklimin hakim olacağı; Tepebaşı’nda ise, kuraklıkların peşpeşe benzer şiddetlerde yaşanırken sulaklıkların aralıklarla dengesiz şiddetlerde yaşanacağı tahminlenmektedir. Havza genelinde orta gelecekte hidrolojik kuraklıkların hakim olacağı görülürken (Özellikle Alpu’daki bu kurak dönem çok yıkıcı olacaktır), Alpu’da uzak gelecekte hidrolojik sulaklığın hakim olması beklenmektedir (Şekil 4.18).

Hidrolojik kuraklık açısından gelecekte kötümser senaryoya göre; kuraklıklar düşük şiddette de olsa uzun süreli-sürekli yaşanırken, sulaklıkların nadiren ama şiddetle yaşanması beklenmektedir. Uzak gelecekte özellikle Alpu’da ve Tepebaşı’nda şiddetli hidrolojik sulaklıklar beklenmektedir. Odunpazarı ve Tepebaşı’nda sık sık şiddetli hidrolojik sulaklıklar beklenirken, Alpu’da uzak geleceğe kadar şiddetli sulaklıklar beklenmemektedir (Alpu’da daha dengeli bir iklim hakim olacaktır). Alpu’da kuraklıkların aralıklarla (kesikli) yaşanması beklenirken, Odunpazarı’nda uzak gelecekte uzun süreli (ısrarlı) kurak periyot hakim olacaktır. Hidrolojik kuraklıkların uzak gelecekte, peşpeşe ve daha sık tekrarladığı farkedilmektedir (Şekil 4.18).

Hidrolojik kuraklık açısından gelecekte; Alpu’da ve Tepebaşı’nda gözlenecek sulaklıkların şiddetli olacağı, özellikle uzak gelecekteki sulaklıkların bu iki bölgede yoğun (ısrarlı ve şiddetli) gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Dengeli bir iklimin hakim olduğu

Odunpazarı'nda ise, kuraklıkların düşük şiddetli de olsa ısrarla-devamlı yaşanacağı anlaşılmaktadır (Şekil 4.18).

Özetle; hidrolojik kuraklık açısından havza genel olarak incelendiğinde, orta gelecekte kuraklıklar hakimiyetini hissettirse de, uzak gelecekte sulaklaşmanın başlaması ve bozulan iklim dengesinin sık sık taşkınlara sebep olması beklenmektedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Gelecekteki iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) SAI sonuçları

4.3.3. Gelecekteki Tarımsal Kuraklık (Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi) Sonuçları

Tarımsal kuraklıkla ilgili bulgulara ulaşabilmek için; SYGM'den alınan geleceğe ilişkin aylık toplam yağış (mm), aylık toplam akım (mm) ve ortalama sıcaklık (°C) tahmin verileri kullanılmıştır.

Gelecekte Porsuk Çayı havzasında tarımsal kuraklık açısından; sulak yıllar 2021, 2023, 2027, 2030, 2045, 2046, 2048, 2084 iken; kurak yıllar 2018-2020 arası, 2035, 2044, 2053-2056 arası, 2058, 2062, 2065, 2070-2074 arası, 2083, 2089-2092 arası, 2096, 2097 yıllarıdır. Özellikle kurak yılların, ısrarlı uzun periyotlar halinde yaşanması göze çarpmaktadır (Çizelge 4.24).

Gelecekte Porsuk Çayı havzasında tarımsal kuraklık açısından; en kurak yıl 2054 iken, en sulak yılın 2045 olması beklenmektedir. İyimser senaryoya göre; 2032 yılında şiddetli bir sulaklığın gerçekleşmesi beklenirken, 2054 yılında şiddetli bir kuraklık yaşanması beklenmektedir (Çizelge 4.24).

Gelecekte Porsuk Çayı havzasında tarımsal kuraklık açısından; iyimser ve kötümser senaryoya göre 2049-2052 yılları arası ve 2066-2069 yılları arasında, kötümser senaryoya göre ise 2030-2044 yılları arasında uzun periyotlu normal durumlu bir iklimin hakim olması beklenmektedir. Ayrıca; her iki senaryoya göre de 2095 yılında sulaklık hakimiyeti bulursa da, dönemsel analiz sonucunda havzanın kuraklaşma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Gelecekteki yıllık PKŞİ sonuçları

Yıl	Porsuk Çayı Havzası	
	RCP4.5	RCP8.5
2015	0,40 (Normal)	0,35 (Normal)
2016	0,30 (Normal)	0,05 (Normal)
2017	-0,37 (Normal)	-0,91 (Kurak)
2018	-0,64 (Kurak)	-1,09 (Hafif kurak)
2019	-0,84 (Kurak)	-1,54 (Hafif kurak)
2020	-0,56 (Kurak)	-0,58 (Kurak)
2021	0,55 (Nemli)	1,16 (Hafif nemli)
2022	0,99 (Nemli)	-0,13 (Normal)
2023	1,76 (Hafif nemli)	0,60 (Nemli)
2024	0,21 (Normal)	0,11 (Normal)
2025	-0,61 (Kurak)	0,02 (Normal)
2026	-0,14 (Normal)	0,20 (Normal)
2027	0,77 (Nemli)	1,35 (Hafif nemli)
2028	0,10 (Normal)	0,90 (Nemli)

Çizelge 4.24. (devam)

Yıl	RCP4.5	RCP8.5
2029	-0,32 (Normal)	-0,93 (Kurak)
2030	0,55 (Nemli)	0,79 (Nemli)
2031	-0,66 (Kurak)	0,23 (Normal)
2032	2,05 (Orta nemli)	0,45 (Normal)
2033	0,14 (Normal)	0,24 (Normal)
2034	0,44 (Normal)	-0,47 (Normal)
2035	-0,57 (Kurak)	-0,63 (Kurak)
2036	-0,92 (Kurak)	-0,43 (Normal)
2037	-1,12 (Hafif kurak)	-0,41 (Normal)
2038	-1,01 (Hafif kurak)	-0,36 (Normal)
2039	0,09 (Normal)	0,23 (Normal)
2040	0,09 (Normal)	0,16 (Normal)
2041	0,58 (Nemli)	0,31 (Normal)
2042	0,03 (Normal)	0,06 (Normal)
2043	-0,01 (Normal)	0,01 (Normal)
2044	-1,20 (Hafif kurak)	-0,72 (Kurak)
2045	1,44 (Hafif nemli)	1,55 (Hafif nemli)
2046	0,55 (Nemli)	0,93 (Nemli)
2047	-0,41 (Normal)	-0,77 (Kurak)
2048	1,23 (Hafif nemli)	0,51 (Nemli)
2049	-0,17 (Normal)	-0,20 (Normal)
2050	-0,14 (Normal)	0,27 (Normal)
2051	-0,13 (Normal)	0,14 (Normal)
2052	-0,16 (Normal)	-0,30 (Normal)
2053	-1,85 (Hafif kurak)	-0,98 (Kurak)
2054	-2,34 (Orta kurak)	-0,72 (Kurak)
2055	-1,72 (Hafif kurak)	-1,15 (Hafif kurak)
2056	-0,62 (Kurak)	-0,84 (Kurak)
2057	-0,48 (Normal)	-0,78 (Kurak)
2058	-0,60 (Kurak)	-1,15 (Hafif kurak)
2059	1,41 (Hafif nemli)	0,19 (Normal)
2060	-0,56 (Kurak)	-0,06 (Normal)
2061	-0,34 (Normal)	-0,01 (Normal)
2062	-0,66 (Kurak)	-0,98 (Kurak)
2063	0,68 (Nemli)	0,13 (Normal)
2064	0,26 (Normal)	0,45 (Normal)
2065	-0,71 (Kurak)	-1,37 (Hafif kurak)
2066	0,13 (Normal)	0,28 (Normal)
2067	-0,13 (Normal)	-0,36 (Normal)
2068	0,14 (Normal)	0,45 (Normal)
2069	0,04 (Normal)	-0,08 (Normal)
2070	-1,49 (Hafif kurak)	-1,42 (Hafif kurak)
2071	-0,62 (Kurak)	-1,15 (Hafif kurak)
2072	-0,76 (Kurak)	-0,86 (Kurak)

Çizelge 4.24. (devam)

Yıl	RCP4.5	RCP8.5
2073	-0,72 (Kurak)	-1,59 (Hafif kurak)
2074	-1,27 (Hafif kurak)	-1,30 (Hafif kurak)
2075	0,08 (Normal)	-0,11 (Normal)
2076	0,07 (Normal)	-0,77 (Kurak)
2077	0,50 (Nemli)	0,13 (Normal)
2078	-0,43 (Normal)	-0,89 (Kurak)
2079	-0,07 (Normal)	-0,17 (Normal)
2080	-0,26 (Normal)	-1,24 (Hafif kurak)
2081	0,40 (Normal)	1,45 (Hafif kurak)
2082	0,15 (Normal)	0,23 (Normal)
2083	-0,96 (Kurak)	-0,68 (Kurak)
2084	1,42 (Hafif nemli)	1,51 (Hafif nemli)
2085	-0,29 (Normal)	-0,44 (Normal)
2086	0,72 (Nemli)	0,41 (Normal)
2087	-0,07 (Normal)	0,16 (Normal)
2088	-0,16 (Normal)	0,22 (Normal)
2089	-0,81 (Kurak)	-0,53 (Kurak)
2090	-0,68 (Kurak)	-0,57 (Kurak)
2091	-1,47 (Hafif kurak)	-0,88 (Kurak)
2092	-1,27 (Hafif kurak)	-1,57 (Hafif kurak)
2093	0,49 (Normal)	-0,55 (Kurak)
2094	-0,20 (Normal)	-0,27 (Normal)
2095	0,90 (Nemli)	0,79 (Kurak)
2096	-1,12 (Hafif kurak)	-0,75 (Kurak)
2097	-1,18 (Hafif kurak)	-0,62 (Kurak)

Gelecekteki tarımsal kuraklık frekanslarının, en yüksek olduğu kuraklık sınıfları incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir: İyimser senaryoya göre, analiz edilen 82 yılın 18'inde (%22) kurak durum beklenmektedir. Kötümser senaryoya göre ise %27 oranında kurak durum yaşanacağı beklenmektedir (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25. Gelecekteki tarımsal kuraklık (PKŞİ) frekansları

Porsuk Çayı Havzası	
RCP4.5	RCP8.5
%22 kurak (18/82)	%27 kurak (22/82)
%13 hafif kurak (11/82)	%15 hafif kurak (12/82)
%1 orta kurak (1/82)	%4 orta kurak (3/82)
%1 aşırı kurak (1/82)	

Gelecekteki tarımsal kuraklık durumu, dönemsel olarak değerlendirildiğinde; havza genelinin normal bir iklime sahip olacağı söylenebilmektedir. Fakat, tarımsal açıdan havza genelinin; orta gelecekte uzak geleceğe doğru, kuraklaşma potansiyeli bulunmaktadır (Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27).

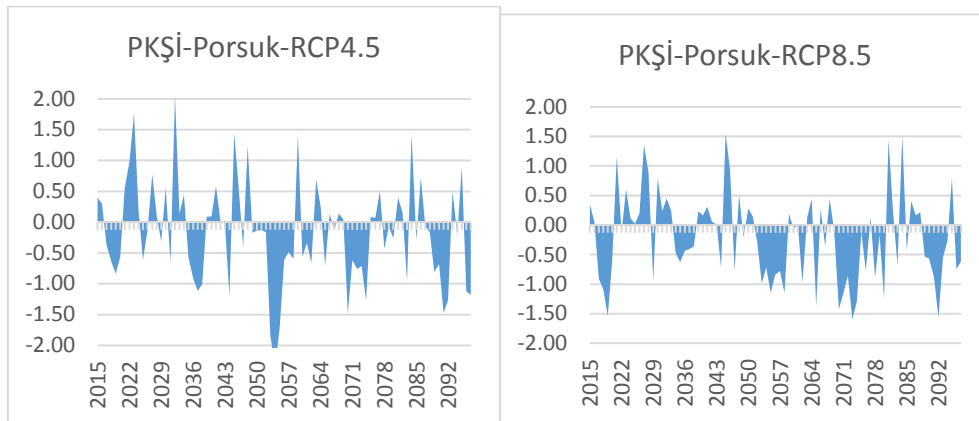
Çizelge 4.26. Gelecekteki PKŞİ sonuçlarının dönemsel analizi

Alan	Senaryo	Dönem		
		2020-2045 (Yakın gelecek)	2045-2070 (Orta gelecek)	2070-2095 (Uzak gelecek)
Porsuk Çayı Havzası	RCP4.5	0,1 (Normal)	-0,26 (Normal)	-0,26 (Normal)
	RCP8.5	0,14 (Normal)	-0,24 (Normal)	-0,39 (Normal)

Çizelge 4.27. Gelecekteki PKŞİ sonuçlarının mevcut duruma (Geçmiştekine) göre değişimi

Alan	Senaryo	Dönem		
		2020-2045 (Yakın gelecek)	2045-2070 (Orta gelecek)	2070-2095 (Uzak gelecek)
Porsuk Çayı Havzası	RCP4.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)
	RCP8.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)

Tarımsal kuraklık açısından; her iki senaryoya göre de orta ve uzak gelecekte, sulaklıklara kıyasla kuraklıkların daha yoğun (ısrarlı ve şiddetli) yaşanması beklenmektedir. Kötümser senaryoya göre; yakın gelecekte sulaklıklar hakim olsa da, orta gelecekte uzun ve şiddetli kuraklık periyotları beklenmektedir. Kötümser senaryoya kıyasla iyimser senaryoda, daha şiddetli kuraklık ve sulaklıklarla karşılaşılması beklenmektedir. Özellikle orta gelecekte sonra havza genelinde, tarımsal kuraklığın hakim olması beklenmektedir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Gelecekteki iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) PKŞİ sonuçları

4.3.4. Gelecekteki Kuraklıkla İlgili Genel Değerlendirme

Gelecekte Porsuk Çayı havzasında meteorolojik kuraklık açısından; sulak yıllar 2016, 2021, 2026, 2034, 2042, 2052 iken; kurak yıllar 2056, 2058, 2063, 2069, 2070, 2077, 2081, 2082, 2089, 2096 yıllarıdır.

Gelecekteki hidrolojik açıdan; 2015, 2021, 2088 ve 2090 yıllarının sulak geçeceği tahmin edilmektedir. Hidrolojik açıdan kurak geçmesi beklenen yıllar ise; 2031, 2032, 2038, 2057, 2059, 2060, 2064-2069 arası, 2073, 2074, 2078 ve 2083'tür.

Gelecekte Porsuk Çayı havzasında tarımsal kuraklık açısından; sulak yıllar 2021, 2023, 2027, 2030, 2045, 2046, 2048, 2084 iken; kurak yıllar 2018-2020 arası, 2035, 2044, 2053-2056 arası, 2058, 2062, 2065, 2070-2074 arası, 2083, 2089-2092 arası, 2096, 2097 yıllarıdır.

Gelecekte Porsuk Çayı havzası tüm kuraklık çeşitleri (meteorolojik, hidrolojik, tarımsal) açısından değerlendirildiğinde; en kurak yılların 2056, 2058, 2069, 2070, 2089, 2096 yılları olması beklenirken; en sulak yılın 2021 olması beklenmektedir.

Gelecek açısından, tüm kuraklık çeşitleri genel olarak değerlendirildiğinde; kötümser senaryoya (RCP8.5) göre hesaplanan SAİ sonuçları haricindeki, tüm kuraklık çeşidi ve senaryo (iyimser RCP4.5 ve kötümser RCP8.5) sonuçlarına göre; yakın (2020-2045) gelecekte sulaklaşma, orta (2045-2070) ve uzak (2070-2095) gelecekte kuraklaşma yaşanması beklenmektedir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. Gelecekteki kuraklık indisi sonuçlarının mevcut duruma (Geçmişe) göre değişimi

Porsuk Çayı Havzası	Senaryo	Dönem		
		2020-2045 (Yakın gelecek)	2045-2070 (Orta gelecek)	2070-2095 (Uzak gelecek)
Meteorolojik Kuraklık (SYİ)	RCP4.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)
	RCP8.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)
Hidrolojik Kuraklık (SAİ)	RCP4.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)
	RCP8.5	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Artış (Sulaklaşma)
Tarımsal Kuraklık (PKŞİ)	RCP4.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)
	RCP8.5	Artış (Sulaklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)	Azalış (Kuraklaşma)

Saygılı (2017), MPI-ESM-MR iklim modeli çıktıları kullanarak ve RegCM4.4 bölgesel iklim modelini kullanıp, Ortadoğu ve Kuzey Afrika için gelecekteki kuraklık tahminini, RCP 8.5 senaryosuna göre hesaplanmış SYİ ve SYEİ yöntemlerini kullanarak yapmıştır. Sonuçta; Türkiye genelinde, uzak gelecek (2075-2095) için normalden kurağa kayan bir iklim öngörerek, yaşanacak kuraklıkların şiddetli olacağını tespit etmiştir. Araştırmadaki SYEİ yönteminin, tarımsal kuraklığı temsil ettiği kabul edilirse; bu tez çalışmasındaki meteorolojik ve tarımsal kuraklık sonuçlarına benzer bulgular elde edildiği söylenebilmektedir. Fakat; uzak (2075-2095) gelecekte Porsuk Çayı havzasında, Türkiye geneline kıyasla agro-meteorolojik açıdan daha kurak bir iklim yaşanacağı anlaşılmaktadır.

4.4. WOFOST Bitki-İklim Modeliyle Tahmin Edilen Buğday Verimleri

Gelecekteki muhtemel buğday verim değerlerine ulaşabilmek için; SYGM'den alınan geleceğe ilişkin, aylık toplam yağış (mm), solar radyasyon ($kilojoule/m^2$), ortalama rüzgar hızı (m/sn), minimum ve maksimum sıcaklık ($^{\circ}C$) tahmin verileri kullanılmıştır.

Geleceğe ilişkin temin edilen veriler WOFOST modeline girilerek, ilerideki buğday verimleri tahminlenmiştir. Bu amaçla, Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü arazilerindeki, 2016 ve 2017 yılına ait Bezostaja buğday verimleri kullanılarak, WOFOST modelinde kalibre edilen değerler de kullanılmıştır.

Gelecekteki, kuraklık indisleri ve WOFOST modeline ilişkin sonuçların yorumlanması için analizler de yapılmıştır. İklim değişikliğine tarımsal uyum kapsamında; Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporlarında alınan kararlar doğrultusunda, bölge ölçeğinde yapılması gereken görevlere alternatif ek tarımsal öneriler sunulmuştur.

Gelecekte havzadaki en büyük buğday biyokütlesi değerlerine, iyimser senaryoya göre 2040'lı yıllarda ulaşılması tahminlenmektedir. Havzada gelecekteki buğday biyokütlesi değerlerinin, genel olarak (yaklaşık) 1050 kg/da civarlarında olması beklenmektedir (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29. Porsuk Çayı havzasında gelecekteki WOFOST sonuçları (TAGP-Buğday biyokütlesi- kg/da)

Alan	Senaryo	Yıl				
		2020	2040	2060	2080	2095
Porsuk Çayı Havzası	RCP4.5	1050	1060	1050	1050	1050
	RCP8.5	1050	1050	1050	1050	1050

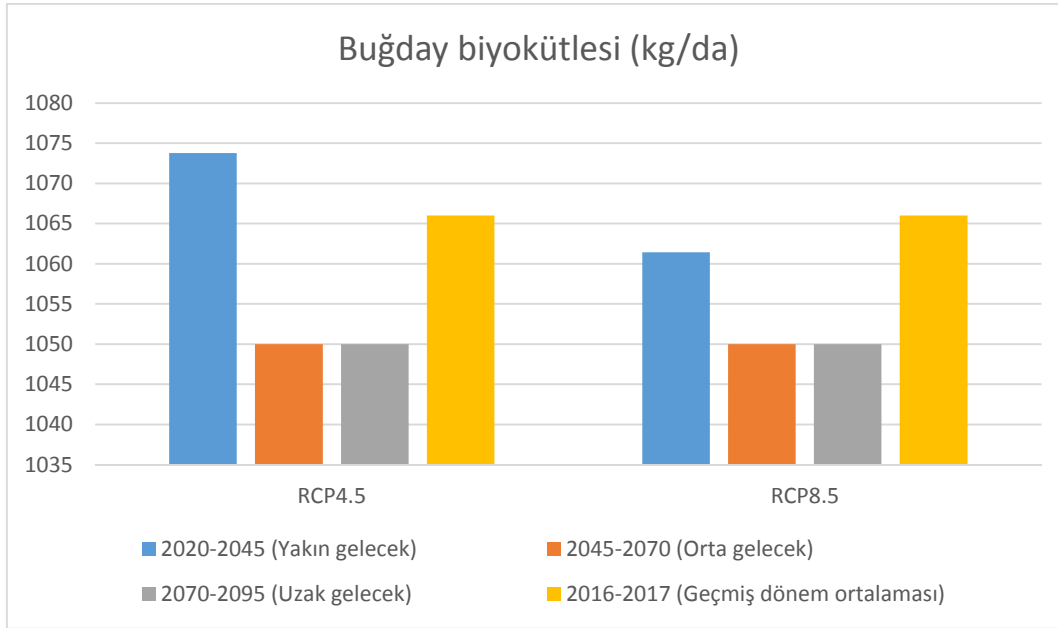
Çizelge 4.30. Porsuk Çayı havzasında gelecekteki WOFOST sonuçlarının (TAGP-Buğday biyokütlesi- kg/da) dönemsel analizi

Alan	Senaryo	Dönem		
		2020-2045 (Yakın gelecek)	2045-2070 (Orta gelecek)	2070-2095 (Uzak gelecek)
Porsuk Çayı Havzası	RCP4.5	1073,750	1050	1050
	RCP8.5	1061,430	1050	1050

Porsuk Çayı havzasında WOFOST modeli sonuçlarına göre; yakın gelecekte, iyimser senaryoya göre %0,73'lük buğday verim artışı beklenmektedir. Bunun dışındaki tüm dönemlerde buğday verimlerinde azalma gerçekleşeceği tahminlenmektedir (Şekil 4.20, Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31. Porsuk Çayı havzasında gelecekteki WOFOST sonuçlarının (TAGP-Buğday biyokütlesi- kg/da) mevcut duruma göre dönemsel değişimi

Alan	Senaryo	Dönem		
		2020-2045 (Yakın gelecek)	2045-2070 (Orta gelecek)	2070-2095 (Uzak gelecek)
Porsuk Çayı Havzası	RCP4.5	%0,73 (Artış)	- %1,5 (Azalış)	- %1,5 (Azalış)
	RCP8.5	- %0,43 (Azalış)	- %1,5 (Azalış)	- %1,5 (Azalış)



Şekil 4.20. Porsuk Çayı havzasında HadGEM2-ES modeli ile RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre 25 yıllık dönemler için buğday verim tahminleri

Çaylak (2015), iklim değişikliği sebebiye Kırklareli’de buğday veriminde meydana gelebilecek değişimleri incelemiştir. ECHAM5 ve RegCM4 iklim modellerinin sonuçlarını kullandığı çalışması neticesinde; buğday veriminin 5 °C sıcaklık artışına %36’lık verim kaybıyla cevap verdiğini, ve CO_2 ile solar radyasyonun ise buğday veriminin artmasına neden olduğunu belirtmektedir. Bu sonuçlar ve Çizelge 4.31 analiz edildiğinde; Kırklareli’deki durumun aksine, Eskişehir’de buğday verimlerinin sıcaklık değişiminden aşırı şekilde etkilenmesi beklenmemektedir.

Konukcu vd. (2020); WOFOST modelini kullanarak, iklim değişikliğinin buğday verimine etkisini Trakya Bölgesi’nde incelemiştirler. Bu amaçla; RegCM3 iklim modeli ve A2 senaryosunu kullanarak, bölgedeki üç farklı tarlanın buğday verimlerini kullanıp; kısa, orta ve uzun dönem tahminleri elde etmişlerdir. Sonuçta, WOFOST modeli ile; Akıncılar tarlası için yaklaşık %40 verim artışı, Sofular tarlası için yaklaşık %12 verim artışı ve Çövenli tarlası için yaklaşık %5 verim azalışı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar analiz edildiğinde; iklim değişikliğinin buğday verimini arttırma üzerine, Trakya Bölgesi’nde olumlu bir etkisinin olacağı, Porsuk Çayı havzasında ise olumsuz bir etkisinin olacağı anlaşılmaktadır. Bölgenin iklim şartları açısından; Porsuk Çayı havzasının, Trakya Bölgesi’ne kıyasla kurağa daha hassas olduğu görülmektedir. Kullanılan iklim senaryolarının ve incelenen zaman periyotlarının sonuçları etkileyeceği düşünüldüğünde, bölgeler arası kıyaslamada; aynı dönem, iklim modeli ve aynı senaryolarının kullanılması fayda sağlayacaktır.

4.5. İklim Değişikliğiyle İlgili Bulgular

İklim değişikliğinin belirlenmesinde; 1970-2000 yılları arasına ait geçmişteki zaman periyodu, referans dönem olarak kabul edilmiş ve geleceğe ilişkin kıyaslamalar buna göre yapılmıştır. Bu geçmiş zaman periyoduna ait; yağış, minimum ve maksimum sıcaklık ortalamalarına kıyasla, gelecekteki yıllık ortalamalar oranlanmıştır. Porsuk Çayı havzasında HadGEM2-ES modeline göre, geçmiş iklim verileriyle kıyaslandığında; 2025, 2028, 2037, 2041, 2053-2056, 2058, 2060-2064, 2066, 2069, 2070, 2077, 2081, 2082, 2089, 2091, 2093 ve 2095 yıllarında yağış değişimlerinde azalma beklenmektedir (Örneğin, 2095 yılı için; RCP4.5 senaryosuna göre %30,68 artış beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre %16,33'lük bir azalış beklenmektedir). Minimum ve maksimum sıcaklık değişimlerinde ise, tüm senaryolara göre artış beklenmektedir (Örneğin, 2095 yılı RCP8.5 senaryosuna göre; minimum sıcaklık artışı +6,02 °C olacakken, maksimum sıcaklık artışı +7,22 °C olacaktır) (Çizelge 4.32).

Çizelge 4.32. Porsuk Çayı havzasında geçmişteki iklime kıyasla, HadGEM2-ES modeline göre bazı iklim parametrelerindeki yıllık değişimler

Yıl	Minimum sıcaklık değişimi (°C)		Maksimum sıcaklık değişimi (°C)		Yağış değişimi (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2020	2,54	2,16	3,30	3,73	56,32	5,23
2021	2,25	2,13	2,64	2,26	58,63	130,84
2022	1,67	1,87	1,70	2,80	106,31	19,68
2023	2,50	2,05	3,41	3,20	16,03	38,28
2024	2,22	2,56	3,13	3,15	116,41	36,52
2025	2,71	2,42	3,95	2,91	-36,51	47,68
2026	2,88	2,51	3,21	2,79	73,05	99,44
2027	2,13	1,71	3,08	2,33	11,99	52,00
2028	1,99	2,83	3,29	3,23	-5,93	42,26
2029	2,57	2,28	3,10	3,91	66,80	15,02
2030	2,16	2,35	2,73	3,45	47,08	43,22
2031	2,07	2,39	2,67	3,06	84,27	17,73
2032	2,22	3,22	3,38	3,89	17,51	35,53

Çizelge 4.32. (devam)

Yıl	Minimum sıcaklık değişimi (°C)		Maksimum sıcaklık değişimi (°C)		Yağış değişimi (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2033	3,22	3,42	4,11	3,33	36,77	45,69
2034	2,47	2,31	3,40	2,50	68,90	87,83
2035	3,12	2,57	3,55	3,85	31,29	62,47
2036	3,57	3,16	4,96	4,51	25,44	32,87
2037	2,40	3,99	3,76	4,46	-2,70	57,54
2038	2,90	2,21	3,66	2,86	-1,01	94,02
2039	2,48	3,82	3,98	4,82	40,92	24,73
2040	2,59	3,92	3,43	4,48	29,95	37,31
2041	3,19	2,90	4,02	4,76	35,07	-17,14
2042	3,30	3,19	3,29	3,42	90,31	82,95
2043	2,58	3,49	3,86	4,67	18,08	31,18
2044	3,80	2,37	4,85	3,79	19,37	45,65
2045	3,49	2,08	3,90	3,36	61,58	27,58
2046	3,06	4,08	4,12	4,91	24,43	34,30
2047	2,98	3,32	3,57	3,62	50,39	32,77
2048	2,36	3,67	3,08	4,86	85,33	36,85
2049	2,37	4,15	2,90	5,14	30,77	36,73
2050	3,04	3,50	3,43	3,95	3,66	18,73
2051	3,33	3,07	4,36	4,21	32,87	24,51
2052	3,28	3,97	4,20	4,77	65,48	66,06
2053	3,36	3,86	4,66	4,33	-3,86	55,12
2054	3,94	3,91	5,09	4,46	-7,45	36,38
2055	2,85	3,30	2,76	4,80	50,72	-4,35
2056	4,60	4,16	5,97	5,63	14,21	-12,88
2057	3,97	3,89	4,87	5,05	30,11	26,76
2058	3,42	5,15	4,48	6,64	3,81	-1,35
2059	3,71	4,79	3,48	5,91	65,16	20,84
2060	3,29	5,48	4,93	6,21	-15,29	46,52
2061	3,93	4,89	5,78	6,04	-8,39	23,67
2062	3,36	4,80	3,67	6,62	60,44	-3,24
2063	3,48	4,00	4,90	5,17	-3,85	13,17

Çizelge 4.32. (devam)

Yıl	Minimum sıcaklık değişimi (°C)		Maksimum sıcaklık değişimi (°C)		Yağış değişimi (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2064	3,84	4,35	4,97	5,37	-6,92	28,19
2065	4,77	4,81	5,59	6,08	33,13	12,06
2066	3,98	4,63	5,01	5,51	-2,37	20,54
2067	4,17	4,81	4,90	6,03	32,04	8,88
2068	3,46	5,19	4,79	6,47	12,64	23,32
2069	2,82	4,93	4,19	6,24	-8,83	2,98
2070	3,42	4,30	4,79	5,05	-24,44	-0,62
2071	4,29	4,70	4,72	5,63	72,79	30,02
2072	3,14	5,35	3,80	6,83	29,60	0,73
2073	3,32	4,18	4,08	5,47	35,77	2,18
2074	2,76	4,57	3,71	5,38	56,72	38,25
2075	3,48	5,41	4,37	6,11	59,31	23,20
2076	4,75	5,09	4,98	6,32	83,12	12,80
2077	3,45	5,51	4,79	6,57	2,00	-2,40
2078	3,38	6,15	4,33	7,14	32,09	5,12
2079	3,79	5,47	4,44	6,93	18,49	13,29
2080	4,02	5,68	5,19	7,24	71,33	24,03
2081	4,18	5,57	5,66	7,00	-5,15	13,04
2082	3,39	5,53	4,62	7,38	12,08	-17,19
2083	3,54	5,99	4,65	5,97	7,25	109,02
2084	4,16	6,12	4,64	6,83	34,40	59,23
2085	3,22	5,52	4,00	5,99	35,81	72,06
2086	4,00	4,89	4,55	6,36	36,14	1,62
2087	3,89	5,98	4,24	7,31	31,80	34,42
2088	3,00	5,85	4,16	6,49	47,67	20,31
2089	4,18	5,97	4,77	6,82	13,78	-6,63
2090	3,63	6,29	3,88	7,64	23,18	11,54
2091	3,56	6,03	5,25	6,71	-12,67	24,04
2092	4,02	6,14	4,63	7,58	33,03	7,46
2093	3,85	6,73	4,60	7,98	69,68	-12,98
2094	3,85	6,19	5,05	7,15	23,70	40,29
2095	3,62	6,02	4,26	7,22	30,68	-16,33

Porsuk Çayı havzasında HadGEM2-ES modeline göre, geçmiş (1970-2000) iklim verileriyle kıyaslandığında; gelecekteki yağışlarda, maksimum ve minimum sıcaklıklarda artış beklenmektedir. Maksimum sıcaklıklardaki artışın 3,47 °C ile 6,7 °C aralığında gerçekleşmesi beklenmektedir. Yağışlardaki artışın ise, %18,71 ile %46 arasında yaşanması beklenmektedir. Sonuçta; zaman geçtikçe, sıcaklık artışlarının artması, yağış artışlarının ise azalması beklenmektedir (Fakat; iyimser senaryoya göre, uzak gelecekteki yağış tahminlerinde artış beklenmektedir) (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.33. Porsuk Çayı havzasında geçmişteki iklime kıyasla, HadGEM2-ES modeline göre bazı iklim parametrelerindeki 25'er yıllık değişimler

Periyot	Minimum sıcaklık (°C)		Maksimum sıcaklık (°C)		Yağış (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2020-2045	2,66 artış	2,69 artış	3,47 artış	3,52 artış	41 artış	46 artış
2045-2070	3,47 artış	4,19 artış	4,4 artış	5,25 artış	22,13 artış	22,06 artış
2070-2095	3,69 artış	5,58 artış	4,55 artış	6,7 artış	31,47 artış	18,71 artış

Traore (2016); Çin-Z indeksi (CZI) ve gama-SYI'nin, daha nemli bir iklim tahminleme eğiliminde olduğunu belirterek, eğilim analiz sonuçlarına göre, 10 yıllık zaman periyotları için; ortalama yıllık yağış ve sıcaklıklarda sırasıyla 3'er mm ve 0,3'er °C artışlar olacağını belirtmektedir. Önder vd. (2009), 2070'lerde Akdeniz kıyılarında yağışların %30'lara yakın bir oranda azalacağını, Karadenizde ise %22 oranlarında artacağını tahmin etmektedirler. Ayrıca; 2070'lerde Türkiye'deki sıcaklıkların 5 °C daha yüksek olabileceğini belirten araştırmacılar; Doğu Karadeniz bölgesi haricinde tüm Türkiye'nin kuraklıklarının şiddetlenebileceğini öngörmektedirler. Kapur (2010), TERCH-RAMS iklim modeli sonuçlarını kullanarak; gelecekte yağışların ortalama %33 azalabileceğini ve ortalama sıcaklıklarda 3 °C'lik artış olabileceğini belirtmektedir. Literatürdeki bu sonuçlar; Çizelge 4.38'deki sonuçlarla kıyaslandığında, Porsuk Çayı havzasının; sıcaklık ve yağış artışları sebebiyle, karadeniz iklimine yaklaşacağı düşünülmektedir.

4.6. Bulguların Genel Değerlendirilmesi

Tüm dönem ve senaryo kıyaslamalarında birbiriyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre; çalışma alanındaki muhtemel buğday verim değişimlerinin, tarımsal kuraklık indisi sonuçlarıyla uyumlu olması beklenmektedir. Sonuçta; PKŞİ'nin, tarımsal kuraklıkları tahminlemek için havzada güvenle kullanılabileceği anlaşılmaktadır (Çizelge 4.34). Elde edilen bu sonuçlar, Çizelge 4.33'deki iklimsel değişimler tablosuyla da uyumlu olmuştur.

Havzadaki iklim değişikliği, referans (1970-2000) dönemle kıyaslandığında; gelecekte kuraklığa bağlı olarak, buğday verimlerinde azalma beklenmektedir. Ayrıca; gelecekte sıcaklık ve yağış artışları beklenmektedir. Fakat, bu artışlar; zaman geçtikçe oransal olarak, sıcaklık artışlarının artması ve yağış artışlarının azalması şeklinde olmaktadır. Bu durum, gelecekteki kuraklık ve buğday verim düşüşleriyle uyumludur (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34. Porsuk Çayı havzasında gelecekteki tarımsal kuraklık sonuçlarıyla buğday biyokütlesi sonuçlarının dönemsel analizi

Senaryo	Dönem								
	2020-2045 (Yakın gelecek)			2045-2070 (Orta gelecek)			2070-2095 (Uzak gelecek)		
	PKŞİ (Tarımsal kuraklık sonucu)	WOFOST (Buğday verimi) sonucu	İklim Değişikliği sonucu	PKŞİ (Tarımsal kuraklık) sonucu	WOFOST (Buğday verimi) sonucu	İklim Değişikliği sonucu	PKŞİ (Tarımsal kuraklık) sonucu	WOFOST (Buğday verimi) sonucu	İklim Değişikliği sonucu
RCP4.5	Sulaklaşma	Verim artışı	Sıcaklık artışı, Yağış artışı	Kuraklaşma	Verim azalışı	Sıcaklık artışı, Yağış artışı	Kuraklaşma	Verim azalışı	Sıcaklık artışı, Yağış artışı
RCP8.5	Sulaklaşma	Verim azalışı	Sıcaklık artışı, Yağış artışı	Kuraklaşma	Verim azalışı	Sıcaklık artışı, Yağış artışı	Kuraklaşma	Verim azalışı	Sıcaklık artışı, Yağış artışı

Koç (2011) iklim değişikliğinin Kırklareli'de kışlık buğday bitkisinin gelişimine (verimine) olası etkilerinin WOFOST bitki iklim modeliyle araştırılmasını amaçladığı çalışmasında, 2009-2010 buğday gelişme dönemi için arazi ölçümü ve gözlemleri yaparak WOFOST modeliyle buğday gelişimini benzetmiştir. Araştırmacı sonuç olarak, 2009-2010 yılına ait yağış verilerine göre yağışta meydana gelebilecek %10–30 azalmayı modellediğinde, yağıştaki azalmanın verim üzerinde anlamlı etkisinin olmayacağını fakat %40 oranındaki yağış azalışının verimde 5 kg/ha'lık azalışa sebep olabileceğini belirtmektedir. Ayrıca sıcaklıkta 2 °C ve radyasyonda %10 oranındaki artış, verimin %23 artmasına; sıcaklıkta 2 °C ve radyasyonda %12 oranındaki artışın ise, verimin %37 oranında artmasına sebep olacağını belirtmektedir. Atay (2015); buğday, patates ve mısırın yağış değişimlerine kıyasla sıcaklık değişimlerinden daha çok etkilendiğini belirtmektedir. Yıldırım vd. (2016), 1961-2013 arasındaki iklim

verilerini kullanarak, Türkiye'deki haşhaşın iklim değişikliğinden etkilenme derecelerini incelemek için HadGEM-2ES modeli ve RCP8.5 senaryosunu kullanmışlardır. Sonuç olarak, gelecekteki iklim değişikliğinin haşhaş üretim alanlarını azaltabileceğini öngörmüşlerdir. Konukcu vd. (2020); WOFOST modelini kullanarak, iklim değişikliğinin buğday verimine etkisini Trakya Bölgesi'nde incelemişlerdir. Bu amaçla; RegCM3 iklim modeli ve A2 senaryosunu kullanarak, bölgede buğday verim artışı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar analiz edildiğinde; az miktardaki radyasyon artışının bile, bitki verimlerini önemli ölçüde artırabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca iklim değişikliği sebebiyle gelecekteki; çalışma alanında bulunan buğday üretim alanlarının azalmasına ek olarak, Türkiye'deki haşhaş üretim alanlarının da azalması beklenmektedir. Son olarak; iklim değişikliğinin buğday verimini arttırma üzerine, Trakya Bölgesi'nde olumlu bir etkisinin olacağı, Porsuk ayı havzasında ise olumsuz bir etkisinin olacağı anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile, Porsuk Çayı havzasında; SYİ, SAİ, PKŞİ ve WOFOST bitki iklim modeli ile, HadGEM2 ES küresel iklim modeli ve RegCM 4.3 bölgesel iklim modeli sonuçları kullanılarak; yakın (2020-2045), orta (2045-2070) ve uzak (2070-2095) gelecek için iklim değişikliğinin buğday verimine ve kuraklıklara etkisi tahminlenmiştir.

Çalışmadaki; geçmişe ait iklim verileri, DSİ ve MGM'den, geleceğe ilişkin iklim verileri ise SYGM'den alınmıştır. İklim değişikliğinin belirlenmesinde; 1970-2000 yılları arasına ait geçmişteki zaman periyodu, referans dönem olarak kabul edilmiş ve geleceğe ilişkin kıyaslamalar buna göre yapılmıştır. Gelecekteki muhtemel iklim verilerinin belirlenmesi aşamasında, RegCM 4.3 bölgesel iklim modeliyle 10x10 km çözünürlüklü iklim benzeşim verileri üretilmiştir.

Çalışma sonucunda havzanın kurak bir bölgede yer aldığı anlaşılmışken; geçmiş yıllar genel olarak değerlendirildiğinde özellikle hidrolojik ve tarımsal kuraklıkların hakim olduğu, meteorolojik açıdan normal bir iklimin hüküm sürdüğü, hidrolojik açıdan en kurak yerin Tepebaşı olduğu, tarımsal açıdan en kurak yerin Odunpazarı olduğu tespit edilmiştir. Tarımsal açıdan kuraklığın şiddetli yaşandığı bölgeler sırasıyla; Odunpazarı, Alpu ve Tepebaşı şeklindedir.

Geçmişle kıyaslandığında, günümüzde daha çok sayıda ve şiddetli kuraklıklarla karşılaşıldığı anlaşılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre havzada; tarımsal açıdan kuraklığın hakim olduğu, meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların ise normale yakın seyrettiği (Ayrıca, hidro-meteorolojik kuraklık ve sulaklık olaylarının dengeli şekilde yaşandığı) tespit edilmiştir. Ayrıca meteorolojik kuraklıkların, normalden kurağa doğru kayma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Tepebaşı'na kıyasla Alpu, meteorolojik olarak daha kuraktır.

Havzada hidrolojik kuraklık açısından, Odunpazarı ve Alpu benzer özellik gösterirken; Tepebaşı, bu iki bölgeden de nispeten daha fazla kuraktır. Alpu'nun hidrolojik kuraklığa hassasiyetinin az olduğu ve daha homojen bir durumun hakim olduğu anlaşılmışken; Tepebaşı ve Odunpazarı'nda hidrolojik kuraklık açısından heterojen (değişken) bir durumun olduğu anlaşılmıştır. Tepebaşı ve Odunpazarı'nın coğrafi yakınlığı sebebiyle benzer eğilim göstermesi, SAİ sonuçlarıyla da desteklenerek, SAİ'nin bölge şartları için güvenilir olduğu tespit edilmiştir.

Tarımsal kuraklık açısından, Alpu'nun tehlike altında olduğu tespit edilmiştir. Tepebaşı ve Odunpazarı'nın tarımsal açıdan günümüzde normal şartlarda olsa da, geçmişte tarımsal

kuraklıkların hakim olduğu anlaşılmaktadır. 1970'li yıllarda (1970-1980 arasında) Odunpazarı'nda; meteorolojik sulaklık varken bile, tarımsal kuraklıkların oluşması şiddetle devam etmiştir.

Havzadaki çok kurak yıllardan bazıları; sırasıyla 2018, 2010, 1990, 1980'dir. Bu durum; geçmişten günümüze doğru yaklaştıkça, kuraklıkların (şiddetlendiğinin) gerçekleşme sayılarındaki artışın göstergesidir.

Tüm kuraklık çeşitleri açısından, yıllık bazda genel değerlendirmeler sonucunda; 1981, 1986, 1989, 2008, 2013, 2015, 2018 yıllarının kurak geçtiği; 2000 ve 2003 yıllarının sulak geçtiği; 1985 yılının ise normal geçtiği tespit edilmiştir (Zaten; 2008 yılının Türkiye genelinde çok kurak geçtiğini de, literatürdeki farklı çalışmalar desteklemektedir). Ayrıca; 1997-1999 ve 2006-2011 yılları arasının hidrolojik kurak, 2012 yılının ise hidrolojik sulak geçtiği görülmektedir. 2016 ve 2017 yılları ise meteorolojik açıdan sulak, tarımsal açıdan kurak geçmiştir.

Gelecekte Porsuk Çayı havzası tüm kuraklık çeşitleri (meteorolojik, hidrolojik, tarımsal) açısından değerlendirildiğinde; en kurak yılların 2056, 2058, 2069, 2070, 2089, 2096 yılları olması beklenirken; en sulak yılın 2021 olması beklenmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Porsuk Çayı havzası gelecekte; meteorolojik açıdan kuraklaşma, hidrolojik açıdan ise sulaklaşma eğilimindedir. Tarımsal açıdan ise; zaman geçtikçe kuraklaşma potansiyeli mevcut olsa da, havza genelinde normal bir iklimin hakim olacağı tespit edilmiştir.

Gelecekte Porsuk Çayı havzasında; tarımsal kuraklık açısından kötümser senaryoya göre, özellikle 2030-2044 yılları arasında uzun periyotlu normal durumlu bir iklimin hakim olması beklenmektedir.

Havza genelinde meteorolojik ve tarımsal açılardan, özellikle Haziran aylarında kuraklık hakimiyeti dikkat çekmektedir. Uzak (2075-2095) gelecekte Porsuk Çayı havzasında, Türkiye geneline kıyasla agro-meteorolojik açıdan daha kurak bir iklim yaşanacağı anlaşılmaktadır.

Gelecekteki hidrolojik kuraklık açısından havza geneli değerlendirildiğinde; en kurak yer Odunpazarı'dır (şiddetli kuraklıklara rastlama ihtimali de Odunpazarı'nda çok yüksektir, Tepebaşı'nda ise düşüktür). Ayrıca Odunpazarı'nda, kuraklıkların düşük şiddetli de olsa ısrarla-devamlı yaşanacağı da anlaşılmaktadır. Tepebaşı'nda dengeli (normal) bir iklimin hakim

olması beklenmektedir. Alpu'da ve Tepebaşı'nda ise, özellikle uzak gelecekte yoğun ve şiddetli hidrolojik sulaklıklar olacağı tahmin edilmektedir (Orta gelecekte havza geneli hidrolojik açıdan kurak olacaktır). Gelecekte hidrolojik olarak, en nemli bölgenin Alpu olacağı söylenebilmektedir. Yani; gelecekte hidrolojik açıdan, Alpu sulaklaşma eğilimindeyken, Odunpazarı kuraklaşma eğilimindedir (Uzak gelecekte iklimin dengesizleşme eğilimde olacağı düşünülmektedir).

Porsuk Çayı havzasında gözlenen ve tahminlenen buğday değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu ve WOFOST modelinin gelecekteki buğday verimini tahminlemede güvenilir olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca sonuç olarak; WOFOST modelinin, gözlenen değerlerden daha büyük buğday verimleri tahminlemeye eğilimli olduğu düşünülmektedir.

Sonuçta; WOFOST modelinin havzada, diğer parametrelere kıyasla TAGP değerlerini tahminlemede daha başarılı olduğu söylenebilmektedir. 2016 yılı verilerine kıyasla, 2017 yılındaki tahmin sonuçlarının daha başarılı olduğu da söylenebilmektedir.

Porsuk Çayı havzasında, kuraklık indislerinin sonuçları incelendiğinde; 2016 yılına kıyasla, 2017 yılı daha kurak geçmiştir. Kurak geçen 2017 yılındaki WOFOST tahminleri, gözlenen değerlere çok daha yakın olmuştur.

Porsuk Çayı havzasında WOFOST modeli sonuçlarına göre; yakın gelecekte (2020-2045), iyimser senaryoya göre %0,73'lük buğday verim artışı beklenmektedir. Bunun dışındaki tüm dönemlerde buğday verimlerinde azalma gerçekleşeceği tahminlenmektedir.

Çalışma alanında; gelecekteki muhtemel buğday verimi değişimlerinin, tarımsal kuraklık indisi sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Sonuçta; PKŞİ'nin, tarımsal kuraklıkları tahminlemek için havzada güvenle kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Trakya'daki durumun aksine; Porsuk Çayı havzasında, buğday verimlerinin sıcaklık değişiminden aşırı şekilde etkilenmesi ve iklim değişikliğinin buğday verimini azaltması beklenmektedir.

Porsuk Çayı havzasında HadGEM2-ES modeline göre, geçmiş (1970-2000) iklim verileriyle kıyaslandığında; gelecekteki yağışlarda, maksimum ve minimum sıcaklıklarda artış beklenmektedir. Maksimum sıcaklıklardaki artışın 3,47 °C ile 6,7 °C aralığında gerçekleşmesi beklenmektedir. Yağışlardaki artışın ise, %18,71 ile %46 arasında yaşanması beklenmektedir. Sonuçta; zaman geçtikçe, sıcaklık artışlarının artması, yağış artışlarının ise azalması beklenmektedir.

Havzadaki iklim değişikliği, referans (1970-2000) dönemle kıyaslandığında; gelecekte kuraklığa bağlı olarak, buğday verimlerinde azalma beklenmektedir. Ayrıca; gelecekte sıcaklık ve yağış artışıları beklenmektedir. Fakat, bu artışlar; zaman geçtikçe oransal olarak, sıcaklık artışlarının artması ve yağış artışlarının azalması şeklinde olmaktadır. Bu durum, gelecekteki kuraklık ve buğday verim düşüşleriyle uyumludur.

Kuraklığın, karmaşık ilişkiler bütünü olduğu ve farklı değişkenlerin kombinasyonu sonucunda kuraklık indisleri oluşturmak gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca; hiçbir bitki iklim modelinin kusursuz olmaması ve iklim haricindeki değişkenlerin de bitki verimleri üzerinde çok etkin olmasından dolayı, model sonuçlarının güvenilirliği azalmaktadır. Sonuçta; Eskişehir’de buğday verimlerinin sıcaklık değişiminden aşırı şekilde etkilenmesi beklenmemektedir. Yine de, çalışma alanında bulunan buğday üretim alanlarının azalması beklenmektedir.

Bu tezin bulgularının (uzun yıllık verilerden hesaplanan sonuçlar olduğu için) gelecekte önemini daha da hissettirecek iklim değişikliği ve kuraklık çalışmalarına önemli veriler sağlayacağı düşünülmektedir.

Öneriler şu şekilde sıralanabilmektedir:

- İklimle ilgili çalışacaklara önerilerden bazıları; iklim değişikliğinin gelecekte sıcaklıkları çok arttıracacağı, ama yağışları o oranda etkilemeyeceği bilindiğinden; iklim değişikliğinin tarıma, su kaynaklarına, hidrometeorolojik afetlere, su kalitesine ve toprak nemine etkisi detaylıca araştırılmalıdır.
- Bölge için; iklim değişikliğine uygun tarım deseni, bu çalışma sonucunda elde edilen kurak periyotlara göre düzenlenmelidir.
- Çalışma alanında; gelecekteki kurak geçmesi beklenen dönemlerde, damla sulama desteği sağlanmalıdır. Sulak olması beklenen zamanlarda ise, taşkın koruma önlemleri alınmalıdır.
- Çalışma alanı için, gelecekte yaşanması beklenen kuraklık durumlarında, Susurluk havzası ve Batı Karadeniz havzasından su transferi yapılabilir (Fakat, havzalar arası su transferinin, doğanın dengesini-bölgenin iklimini bozma gibi olumsuz etkileri de vardır).
- Bölgede yaygın olan atık sular değerlendirilmeli ve su hasadı tekniklerinin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

- Çalışma alanındaki, gelecekte kurak olması beklenen bölgelerde-zamanlarda; buğday gibi kritik bitkilerin ekim yerleri değiştirilmelidir. Bu kurak bölgelerde-zamanlarda; bitki hastalık-zararlı mücadelesi iyi yapılmalı, kaliteli gübre kullanılmalı ve kurağa dayanıklı bitki çeşitlerinin yetiştirilmesi tercih edilmelidir. Çünkü; kuraklık engellenemeyeceği için hiç olmazsa iklim dışındaki etmenleri iyileştirerek, kurak zararını azaltmak amacıyla bitki verimi artırılmaya çalışılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Akar, Ö., Oğuz, İ. ve Yürekli, K. (2015). İkikara havzasının kurak ve ıslak dönemlerinin bazı kuraklık indisleri yardımıyla karşılaştırılması. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. (E-ISSN: 2147-8848). 32 (2),7-13
- Akbaş, A. (2013). *Türkiye’de Palmer kuraklık indisine göre kuraklığın alansal ve zamansal değişiminin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi sosyal bilimler enstitüsü, Çanakkale.
- Akbaş, A. (2014). Türkiye’de klimatolojik kuraklık olasılıklarının dağılışı. *Türk Coğrafya Dergisi*, ISSN 1308-9773, Sayı 63: 1-7, İstanbul.
- Akbaş, A. ve Tatlı, H. (2013, Nisan 24-26). Türkiye üzerindeki belli kuraklık yılların Palmer kuraklık şiddeti indisi ile analizi. 6. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Altın, T. B. ve Barak, B. (2012). Seyhan havzasında 1970-2009 yılları arasında yağış ve hava sıcaklığı değerlerindeki değişimler ve eğilimler. *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı 58: 21-34, İstanbul, (ISSN 1308-9773)
- Altürk, B. (2017). *Arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliğinin ve su kaynaklarına etkisinin belirlenmesi: Ergene havzası örneği* (Doktora Tezi), Namık Kemal üniversitesi fen bilimleri enstitüsü biyosistem mühendisliği anabilim dalı. Tekirdağ.
- Altürk, B., Bakanoğulları, F., Konukcu, F. ve Albut, S. (2019). *TR21 Trakya bölgesinde iklim değişikliğinin ayçiçeği ve buğday verimine etkisinin modellenmesi*. TR21 Trakya bölgesinde iklim değişikliğinin etkileri ve uyum stratejileri. Tekirdağ, Mart, 2019, (7) 101-117.
- Anlı, A. S. (2014). Güneydoğu anadolu bölgesinde referans bitki su tüketiminin (ET0) zamansal değişimi ve RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) yöntemiyle meteorolojik kuraklık analizi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(2014) 248-260.
- Anonim (2010). *Türkiye iklim değişikliği stratejisi 2010-2020*. Çevre ve şehircilik bakanlığı, Ankara.
- Anonim (2014). *Agrometeorolojik verim tahmin bülteni: Bülten No-2014 /1*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Bölümü, Ankara. ss.13
- Anonim (2016). *Agrometeorolojik verim tahmin bülteni: Bülten No-2016 /2*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Bölümü, Ankara. ss.12
- Anonim (2017). *Aylık Bülten: Sayı 137*. Meteoroloji genel müdürlüğü araştırma dairesi başkanlığı, Temmuz 2017, ss. 21
- Anonim (2018). *Yeni senaryolarla Türkiye için iklim değişikliği projeksiyonları*. https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/IKLIM_DEGISIKLIGI_PROJEKSIYONLAR_I.pdf-(Erişim tarihi:04.06.2018).

- Anonim (2019a). *Türkiye'nin iklim değişikliği uyum stratejisi ve eylem planı*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editorodnya/Iklim_Degisikligi_Uyum_Stratejisi_ve_Eylem_Plani.pdf-(Erişim tarihi: 15.03.2019).
- Anonim (2019b). *Kuraklık risk yönetimi*. Erişim Tarihi: 14.02.2019. http://www.academia.edu/6076180/Kuraklik_Risk_Yonetimi_Konya
- Anonim (2020a). *TÜİK verileri*. Erişim tarihi: 17.08.2020. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Anonim (2020b). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü Eskişehir verileri*. Erişim tarihi: 25.08.2020. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler_istatistik.aspx?k=undefined&m=ESKISEHIR
- Antofie, T., Naumann, G., Spinoni, J. ve Vogt, J. (2015). Estimating the water needed to end the drought or reduce the drought severity in the Carpathian region. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 177–193
- Apak, E. (2009). *Standart yağış indeksi(SPI) yöntemi ile ege bölgesinde kuraklık analizi* (Yüksek lisans tezi), Ege üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Tarımsal yapılar ve sulama anabilim dalı. İzmir.
- Arıkan, Y. ve Özsoy, G. (2008). A'dan Z'ye iklim değişikliği başucu rehberi. Bölgesel Çevre Merkezi, ISBN: 978 – 975 – 6180 – 31 – 0. s. s. 127
- Arslan, O., Önder, H. H. ve Özdemir, G. (2014). Aydeniz Yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Antalya'daki Aksu sulama alanı için kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 51 (2): 109-115, ISSN 1018 – 8851
- Atay, M. U. (2015). *The impact of climate change on agricultural production in Mediterranean countries* (PhD thesis), Graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university, Department of earth system science. Ankara.
- Bakanoğulları, F. ve Yeşilköy, S. (2014). Determination of Meteorological and Hydrological Drought in Damlica Creek Watershed in Çatalca-İstanbul, Turkey. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, Special Issue: 1, 1152-1157: p.p 6, 2014
- Balkan, A. (2017). İklim değişikliği ve bitkisel üretime etkisi. Ders Notları. Namık Kemal Üniversitesi, Şubat 2017. Tekirdağ. s.s. 335
- Batıbeniz, F. (2014). *Yüksek çözünürlükteki bölgesel iklim modeli simülasyonu ile ekstrem iklim indekslerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi), İstanbul teknik üniversitesi fen bilimleri enstitüsü meteoroloji mühendisliği anabilim dalı. İstanbul.
- Boogaard, H. L., Van Diepen, C. A., Rötter, R. P., Cabrera, J. M. C. A. ve Van Laar, H. H. (2014). *User's guide for the WOFOST control center 2.1 and WOFOST 7.1.7 crop growth simulation model*. Wageningen University and research centre, Alterra, Netherlands. 2014, s.s 133
- Coşkun, M., Sümer, U. M., Ulupınar, Y., Şensoy, S., Demircan, M., Bölük, E., Arabacı, H., Eskioglu, O., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S. ve Kervankıran, S. (2017). 2016 yılı iklim

- değerlendirmesi. T.C. orman ve su işleri bakanlığı meteoroloji genel müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı. Ocak 2017 Ankara.
- Çakal S. (2016). *Kuzey Kıbrıs'ın Palmer kuraklık analizi* (Yüksek Lisans Tezi). ODTÜ Kuzey Kıbrıs kampüsü fen bilimleri enstitüsü sürdürülebilir çevre ve enerji sistemleri, Kuzey Kıbrıs.
- Çaldağ, B. (2009). *Trakya bölgesi'nin tarımsal meteorolojik özelliklerinin belirlenmesi*. (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, meteoroloji mühendisliği anabilim dalı, İstanbul.
- Çaylak, O. (2015). *İklim değişikliğinin buğday bitkisinin gelişimi ve verimine olası etkilerinin bitki-iklim simulasyon modeli ile incelenmesi* (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, meteoroloji mühendisliği anabilim dalı, İstanbul.
- Çelik, S., Bacanlı, H. ve Görgeç, H. (2008). Küresel iklim değişikliği ve insan sağlığına etkileri. Telekomünikasyon Şube Müdürlüğü Kasım 2008. Ss. 31. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/saglik/iklimdegisikligi/kureseliklimdegisikligietkileri.pdf>. Erişim tarihi: 07.03.2019.
- Dabanlı, İ. (2017). *Türkiye'de iklim değişikliğinin yağış-sıcaklığa etkisi ve kuraklık analizi: Akarçay örneği* (Doktora tezi), İstanbul teknik üniversitesi fen bilimleri enstitüsü İnşaat mühendisliği anabilim dalı. İstanbul.
- Deveci H. (2015). *Trakya bölgesi'nde iklim değişikliğinin yüzey su kaynakları, toprak nemi ve bitki verimine etkisinin modellenmesi* (Doktora Tezi), Namık Kemal üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Tekirdağ.
- Dhakar, R., Sehgal, V. K. ve Pradhan, S. (2013). Study on inter-seasonal and intra-seasonal relationships of meteorological and agricultural drought indices in the Rajasthan State of India. *Journal of Arid Environments* 97, 108-119.
- Dhillon, M. S., Dahms, T., Kuebert-Flock, C., Borg, E., Conrad, C. Ve Ullmann, T. (2020). Modelling crop biomass from synthetic remote sensing time series: Example for the DEMMIN test site, Germany. *Journal of MDPI Remote Sensing*, 12, 1819. DOI:10.3390/rs12111819
- Dinç, N., Aydınşakir, K., Işık, M. ve Büyüктаş, D. (2016). Standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI) yöntemi ile Antalya ili kuraklık analizi. (*Araştırma Makalesi*) *Derim*, 2016, 33 (2):279-298 (DOI:10.16882/derim.2016.267912)
- Doğan, E., Kahraman, A., Kırnak, H., Bucak, B. ve Tonkaz, T. (2008). Maksimum ve minimum sıcaklıklar ile karbondioksit oranlarında meydana gelen artışların nohut (*Cicer arietinum* l.) verim ve verim parametrelerine etkisi: DSSAT simülasyon çalışması. Gaziosmanpaşa Üniversitesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (1), 63-69
- Doğan S. (2013). *Konya kapalı havzasının kuraklık karakterizasyonunun zamansal-konumsal analizi* (Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü çevre mühendisliği anabilim dalı, Konya.

- Duan, K. ve Mei, Y. (2014). Comparison of Meteorological, Hydrological and Agricultural Drought Responses to Climate Change and Uncertainty Assessment. *Journal of Water Resource Management*, 28: 5039–5054. DOI 10.1007/s11269-014-0789-6
- Duygu, M. B. (2013). Kuraklık yönetimi. Kuraklık yönetimi, iklim değişikliğine uyum, taşkın yönetim planlarının hazırlanması hizmet içi eğitimi, 10 Aralık 2013 Afyonkarahisar.
- Duygu, M. B. (2015). *Büyük menderes havzasının kuraklıktan etkilenebilirliğinin değerlendirilmesi* (Uzmanlık tezi), T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü. Ankara.
- Eitzinger, J., Trnka, M., Hösch, J., Zalud, Z. ve Dubrovsky, M. (2004). Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Journal of Ecological Modelling*, 171, 223–246
- Esfahanian, E. (2016). *Development of a meteorological, agricultural, stream health and hydrological (MASH) comprehensive drought index* (PhD Thesis), Biosystems Engineering-Michigan State University. Michigan-ABD.
- Göncü, S. (2005). *İklim değişikliğinin su havzalarına etkisinin HSPF modeli ile incelenmesi* (Doktora tezi), Anadolu Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü çevre mühendisliği anabilim dalı. Eskişehir.
- Gülsever, H. (2006). *Dicle havzasında sıcaklık –yağış ve kuraklık analizi* (Yüksek lisans tezi), T.C. Dicle üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, inşaat mühendisliği anabilim dalı. Diyarbakır.
- Güney G. (2017). *Porsuk havzasında küçük ölçekli hidroelektrik enerji potansiyelinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi), Bilecik Şeyh Edebali üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Bilecik.
- Hadiya, N. J., Kumar, N. ve Mote, B. M. (2018). Use of WOFOST model in agriculture-A review. *Journal of agricultural research communication centre, Agricultural Reviews*, 39(3) 2018: 234-240. Online ISSN:0976-0539. DOI: 10.18805/ag.R-1691.
- Hasaniha, H. (2008). *İran'ın kuzeybatısında kuraklık ve verim ilişkisinin analizi* (Doktora tezi), Ankara üniversitesi fen bilimler enstitüsü, tarımsal yapılar ve sulama anabilim dalı, Ankara.
- Hınıs, M. A. (2013). Bütünleşik kuraklık indeksi ile Aksaray'da hidrometeorolojik kuraklık analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 28, No 4, 711-721.
- Huang, J., Sedano, F., Huang, Y., Ma, H., Li, X., Liang, S., Tian, L., Zhang, X., Fan, J. ve Wu, W. (2016). Assimilating a synthetic Kalman filter leaf area index series into the WOFOST model to improve regional winter wheat yield estimation. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 216: 188–202
- Işıldar, M. (2010). *Tarımsal kuraklık indisleri ile Ege bölgesi bazı illerin mısır üretiminde olabilecek değişimlerin araştırılması* (Yüksek lisans tezi), Adnan menderes üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, tarımsal yapılar ve sulama anabilim dalı, Aydın.

- Ittersum, M. K., Leffelaar, P. A., Keulen, H., Kropff, M. J., Bastiaans, L., ve Goudriaan, J. (2003). On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy*, 18: 201-234
- İncecik, S. (2016). İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi projesi: İklim projeksiyonları. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü taşkın ve kuraklık yönetimi dairesi başkanlığı. 19 Temmuz 2016. ss.38
- Istanbulluoglu, A., Konukcu, F., Kocaman, I. Ve Göçmen, E. (2007). Trakya bölgesi içme ve kullanma suyu ihtiyacının belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(2): 187-194, ss.8
- Jamieson, P. D., Porter, J. R., Goudriaan, J., Ritchie, J.T, Keulen, H. V. ve Stol, W. (1998). A comparison of the models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUCROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought. *Journal of Field Crops Research* 55, 23-44
- Kapur, B. (2010). *Artan CO₂ ve küresel iklim değişikliğinin Çukurova bölgesinde buğday verimliliği üzerine etkileri* (Doktora tezi), Çukurova üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, tarımsal yapılar ve sulama anabilim dalı, Adana.
- Kayam, Y. (2014). *İklim değişikliğine bağlı toprak nemindeki değişimin Aydın'da örnek bir alanda pamuk bitkisinde SWAP modeli ile simülasyonu* (Yüksek lisans tezi). Adnan menderes üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Toprak bilimi ve bitki besleme anabilim dalı. Aydın.
- Kıymaz, S., Güneş, V. ve Asar, M. (2011). Standartlaştırılmış Yağış İndeksi İle Seyfe Gölünün kuraklık dönemlerinin belirlenmesi. *Gazi Osmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2011, 28(1), 91-102
- Koç, E. M. (2011). *İklim değişikliğinin tarıma olası etkilerinin WOFOST bitki iklim modeli ile araştırılması* (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, meteoroloji mühendisliği anabilim dalı, İstanbul.
- Kokkokoğlu, N. (2006). *İç anadolu bölgesi kuraklık sürelerinin parametrik ve nonparametrik yaklaşımla analizi* (Yüksek Lisans Tezi), Kırıkkale üniversitesi fen bilimleri enstitüsü inşaat mühendisliği anabilim dalı, Kırklareli.
- Konukcu, F., Istanbuluoglu, A. ve Kocaman, I. (2004). Social and technical strategies to overcome a possible water crisis in the Thrace region and Istanbul in the near future. EWRA symposium on water resources management: Risk and challenges for the 21. Century, 531-543.
- Konukcu, F., Albut, S. ve Altürk, B. (2019). *TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri*. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Mart, 2019, ss. 194
- Konukcu, F., Deveci, H. ve Altürk, B. (2020). Modelling of the effect of climate change on wheat yield in Thrace region with AquaCrop and WOFOST models. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 17(1), s.s. 19

- Küçükyaman, D. (2010). *Kovada gölü'nün hidrolojik ve meteorolojik kuraklık analizi* (Yüksek lisans tezi), Süleyman Demirel üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, inşaat mühendisliği anabilim dalı, Isparta.
- Leng, G., Tang, Q. ve Rayburg, S. (2015). Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. *Journal of Global and Planetary Change* 126, 23–34
- Meresa, H. K., Osuch, M. ve Romanowicz, R. (2016). Hydro-Meteorological Drought Projections into the 21-st Century for Selected Polish Catchments. *Journal of Water* 2016, 8, 206; doi:10.3390/w8050206
- Nam, W. H., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Tadesse, T. ve Wilhite, D. A. (2015). Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea. *Journal of Agricultural Water Management* 160, 106–117
- Narasimhan, B. ve Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 133, 69–88
- Niemeyer, S. (2008). New drought indices. Series A No. 80. CIHEAM. Zaragoza. 267- 274
- Odaman Cindoruk, Y., Fidan, A.N., Dedeoğlu, Y., Ünlü, H. ve Kuban, B. (2015). İklim değişikliği çalışmalarında Bursa örneği: Bursa karbon ayakizi. 11. ulusal çevre mühendisliği kongresi 15-17 Ekim 2015-Bursa.
- Oğuztürk, G. ve Yıldız, O. (2014). Drought analysis for different time periods in the city of Kırıkkale. *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 6, No.2, June 2014
- Okay, D. ve Demirtaş, Ç. (2007). Bursa koşullarında sıcaklık ve CO₂ değişimlerinin mısır bitkisinin verim ve evapotranspirasyon üzerine etkisinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 17(2): 81-87
- Orhan, O. (2014). *Konya kapalı havzası'nda uzaktan algılama ve CBS teknolojileri ile iklim değişikliği ve kuraklık analizi* (Yüksek lisans tezi), Aksaray üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, harita mühendisliği anabilim dalı, Aksaray.
- Önder, D., Aydın, M., Berberoğlu, S., Önder, S. ve Yano, T. (2009). The use of aridity index to assess implications of climatic change for land cover in Turkey. *Turk Journal of Agriculture Forest* 33, 305-314. TÜBİTAK, doi:10.3906/tar-0810-21
- Özgürel, M., Pamuk, G. ve Topçuoğlu, K. (2002). Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi İle Ege Bölgesinde Kuraklığın İrdelenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2002, 39(1):119-126. (ISSN 1018-8851)
- Özgürel, M., Pamuk, G. ve Topçuoğlu, K. (2003). Ege Bölgesi koşullarında farklı iki kuraklık indisinin karşılaştırılması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2003, 40(1):95-102. (ISSN 1018-8851)
- Öztürk, R. (2007). *Porsuk Çayı çevre sorunları ve bunların çözümlenmesinde havza yönetimi önerileri* (Yüksek lisans tezi), Çukurova üniversitesi fen bilimleri enstitüsü peyzaj mimarlığı anabilim dalı, Adana.

- Öztürk, T., Turp, M. T., Türkeş, M. ve Kurnaz, M. L. (2017). Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4.3.5. *Journal of Atmospheric Research* 183, 296–307
- Palmer W. C. (1965). *Meteorological Drought*. U.S. Department of Commerce. Research paper no: 45. February 1965, Washington. 58 pp.
- Palosuo, T., Kersebaum, K. C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J. E., Patil, R. H., Ruget, F., Rumbaur, C., Takac, J., Trnka, M., Bindi, M., Çaldağ, B., Ewert, F., Ferrise, R., Mirschel, W., Şaylan, L., Siska, B. ve Rötter. (2011). Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. *European Journal of Agronomy*. 35 (2011) 103– 114.
- Pamuk, G. ve Özgürel, M. (2005). Bitki büyüme modelleri: CERES-Maize Örneği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2005, 42(1):107-118. (ISSN 1018-8851)
- Polat K. (2017). *Ramsar alanlarda iklim değişikliği ile mücadele ve uyum açısından iyi tarım uygulamalarının rolü: Göksu Deltası Örneği* (Doktora Tezi), Ankara üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Ankara.
- Quiring, S. M. ve Papakryiakou, T. N. (2003). An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 118 (2003) 49–62
- Reis, M. ve Dutal, H. (2016). Markov zinciri modeli kullanılarak Kahramanmaraş ili için gelecekteki hidrolojik kuraklık olasılıklarının belirlenmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16 (1): 34-43
- Sarış, F. (2016). Porsuk çayı havzasında düşük akım analizi. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi 33, 73-81. ISSN 1305-2128
- Sattari, M. T., Yürekli, K. ve Ünlükara, A. (2011). Karaman ilinde yapay sinir ağırları yaklaşımı kullanılarak kuraklığın tahmini. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4 (1): 7-13, (ISSN: 1308-3945, www.nobel.gen.tr)
- Saygılı, F. S. (2017). *Determination of the changes of drought occurrence in middle east and north africa using regional climate modeling* (MSc Thesis), Bogazici University Graduate Program in Computational Science and Engineering, Istanbul.
- Shahabfar, A. ve Eitzinger, J. (2013). Spatio-Temporal Analysis of Droughts in Semi-Arid Regions by Using Meteorological Drought Indices. *Journal of Atmosphere* 2013, 4, 94-112;doi:10.3390/atmos4020094, ISSN 2073-4433
- Soylu, S. ve Sade, B. (2012). *İklim değişikliğinin tarımsal ürünlere etkisi üzerine bir araştırma projesi*. Proje No: TR51/12/TD/01/020. Konya.
- Stockton, C. W., Meko, D. M. ve Bogges, W. R. (1989). *Drought history and reconstructions from tree ring*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, July, s.s. 65

- SYGM (2015a). *Konya havzası kuraklık yönetim planı-Ek I-kuraklık indis, indikatör ve eşik değerlerinin tespiti*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü taşkın ve kuraklık yönetimi dairesi başkanlığı Ankara, Eylül, 2015, s.s. 235
- SYGM (2015b). *Konya havzası kuraklık yönetim planı-Ek II/I-havza su potansiyeli ve su potansiyelindeki değişimin tespiti: Bölgesel iklim modellemesi*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü taşkın ve kuraklık yönetimi dairesi başkanlığı Ankara, Eylül, 2015, s.s. 261
- SYGM (2015c). *Konya havzası kuraklık yönetim planı-Ek I-kuraklık indis, indikatör ve eşik değerlerinin tespiti*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü taşkın ve kuraklık yönetimi dairesi başkanlığı. Ankara, Eylül, 2015, s.s. 235
- SYGM (2015d). *Konya havzası kuraklık yönetim planı-Ek IV-kuraklık ve su kıtlığının etkilerini azaltmak için alınacak tedbirler ve eylem planı*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü taşkın ve kuraklık yönetimi dairesi başkanlığı Ankara, Eylül, 2015, s.s 385
- SYGM (2015e). *Konya havzası kuraklık yönetim planı*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü taşkın ve kuraklık yönetimi dairesi başkanlığı Ankara, Eylül, 2015, s.s 329
- SYGM (2015f). *Konya havzası kuraklık yönetim planı-yönetici özeti*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü taşkın ve kuraklık yönetimi dairesi başkanlığı Ankara, Eylül,2015, s.s. 62
- SYGM (2016a). *İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi projesi: Proje nihai raporu: Ek 2 – iklim değişikliği projeksiyonları*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü, Ankara, Haziran,2016 s.s. 410
- SYGM (2016b). *İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi projesi: Proje nihai raporu: Ek 14 – Sakarya havzası*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü, Ankara, Haziran,2016 s.s. 137
- SYGM (2016c). *İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi projesi: Proje nihai raporu: Ek 15 – Batı karadeniz havzası*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü, Ankara, Haziran,2016 s.s. 125
- SYGM (2016d). *İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi projesi: Proje nihai raporu*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü, Ankara, Haziran,2016 s.s. 389.
- SYGM (2019). *İklim Değişikliği, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Faaliyetleri*. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı su yönetimi genel müdürlüğü taşkın ve kuraklık yönetimi daire başkanlığı. <http://suyonetimi.ormansu.gov.tr/Files/brosurler/TKYDB%20BROSUR%20AS%20YE N.pdf> Erişim tarihi: 11.02.2019. s.s. 56
- Şen, B. (2009). *Bölgesel iklim modelleri kullanılarak Çukurova yöresi 'nde iklim değişikliğinin 1. ve 2. ürün mısır verimine olası etkilerinin belirlenmesi* (Doktora tezi), Çukurova üniversitesi fen bilimleri enstitüsü tarımsal yapılar ve sulama anabilim dalı, Adana.

- Şen, Z. (2016). Sözlü Görüşme (Kurs Notları: «Kuraklık Model, Tahmin, Mücadele ve Planlama Yöntemleri Kısa Kursu»). Su Vakfı, İstanbul, (Görüşme (Kurs) tarihi:23-26 Mayıs 2016)
- Şen, Z. (2017). İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkileri. İklim Değişikliği bülteni: sayı 3. Şubat 2017. Su vakfı. İstanbul. s.s 11.
- Şimşek, B. (2011). *Şehirselsel havzalarda oluşan su kirliliğinin HSPF ile modellenmesi ve iklim değişikliği etkilerinin belirlenmesi-Eskişehir örneği* (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu üniversitesi fen bilimleri enstitüsü çevre mühendisliği anabilim dalı. Eskişehir.
- Şimşek, O. (2010). *Türkiye’de tarım yılı kuraklık değerlendirmesi ve bitki gelişim modeli ile buğdayda kuraklık-verim analizi* (Doktora Tezi). Ankara üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, tarımsal yapılar ve sulama anabilim dalı. Ankara.
- Şimşek, O., Gördebil, N. ve Yıldırım, M. (2012). 2010–2011 tarım yılının kuraklık analizi. T.C. Orman ve su işleri bakanlığı meteoroloji genel müdürlüğü araştırma dairesi başkanlığı.
- Tekkanat İ. S. (2015). *Porsuk çayı havzasında yağış şiddeti ile akarsu akımları arasındaki ilişki ve eğilimlerin analizi* (Yüksek Lisans Tezi), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi sosyal bilimler enstitüsü, Çanakkale.
- Topçu, E. (2013). *L-momentler ve standart yağış indeksi(SYİ) yardımıyla Seyhan havzası kuraklık analizi* (Yüksek lisans tezi), Çukurova üniversitesi fen bilimleri enstitüsü inşaat mühendisliği anabilim dalı, Adana.
- Topçu, E. ve Seçkin, N. (2013). L-momentler ve standart yağış indeksi (SYİ) yardımıyla Seyhan havzası kuraklık analizi. Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt:29-1.
- Tosunoğlu, F. (2014). *Türkiye’deki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların atmosferik salınımlarla olan ilişkilerinin incelenmesi* (Doktora tezi), Atatürk üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, inşaat mühendisliği anabilim dalı, Erzurum.
- Traore, E. Y. (2016). *Drought and trend analysis in Trarza region in Mauritania*, (MSc thesis). Graduate School of Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology, İzmir.
- Türkeş, M. (2012). Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.
- Türkeş, M. (2014). İklim değişikliğinin tarımsal gıda güvenliğine etkileri, geleneksel bilgi ve agroekoloji. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(2): 71-85
- Türkeş, M. ve Deniz, Z. A. (2010). Klimatolojik/meteorolojik ve hidrolojik afetler ve sigortacılık sektörü. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi* (7):2.
- USDA (2019). World Agricultural Production: April 2019. United States Department of Agriculture. Erişim tarihi: 06.05.2019. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>

- Vasiliades, L. ve Louksas, A. (2009). Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly, Greece. *Journal of Desalination* 237, 3–21
- Vural, L. (2010). *Ege bölgesi kurak dönem özelliklerinin araştırılarak, kuraklık izleme ve erken uyarı modelinin oluşturulması* (Yüksek Lisans Tezi), Celal Bayar Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü inşaat mühendisliği anabilim dalı. Manisa.
- WMO. (2016). *Handbook of Drought Indicators and Indices*. World Meteorological Organization, Geneva, ss. 45
- Wolf, J. (2003). Calibration of WOFOST Crop Growth Simulation Model For Use Within CGMS, s.s 38
- Yalçın, G., Demircan, M., Ulupınar, Y. ve Bulut, E. (2005). Klimatoloji- I. Çevre ve orman bakanlığı, Devlet meteoroloji işleri genel müdürlüğü. Mart 2005 Ankara (DMİ yayınları yayın no: 2005 / 1) s.s. 227
- Yetmen, H. (2013). *Türkiye'nin kuraklık analizi* (Doktora tezi), Ankara üniversitesi sosyal bilimler enstitüsü coğrafya anabilim dalı. Ankara.
- Yıldırım, M. U., Demircan, M., Özdemir, F. A. ve Sarıhan, E. O. (2016). İklim Değişikliğinin Haşhaş (*Papaver somniferum L.*) Üretim Alanlarına Etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (Özel sayı-2):289-295. DOI: 10.21566/tarbitderg.282851
- Yıldız, H., Avağ, A., Mermer, A., Ünal, E., Urla, Ö., Aydoğdu, M., Dedeoğlu, F., Özaydın, K. A. ve Aydoğmuş, O. (2009). Rakım ve kuraklık indisi değerlerine göre Türkiye'nin homojen alanlarının belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 2009, Cilt: 18 (Sayı: 1-2): 17-21
- Yılmaz, F. K. ve Yılmaz, Ö. (2013). 3. Uluslararası Coğrafya Sempozyumu-GEOMED 2013. 415-428.

YAYINLAR:

Alkan, Ç. (2016). *Küçük su havzaları hidrolojik modeli WinTR-55'in Bursa ili bazı sulama gölet havzalarına uygulanabilirliğinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi), Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı. Bursa.

Alkan, Ç. (2017, Ekim 04-06). *WinTR-55 Modeli ile Mockus yönteminin karşılaştırılması: Ankara Polatlı Kargalı Göleti havzası örneği*. IX. Ulusal Hidroloji Kongresi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.

Sener, M., M. Pehlivan, M. Tekiner, C. Alkan, U.E. Ozden, T. Erdem, I.H. Celen, A. Seren, S.A. Aytac, H.U. Kolsuz, K. Seyrek, G. Guresci, G. Kose ve L. Turan, (2018). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Remote Sensing for Crop Pattern Mapping, Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(12A), 60-63. 8831-8837. (SCI-Expanded)

Sener, M., D. Boyraz Erdem, C. Alkan, I.H. Celen ve T. Erdem, (2018). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Agricultural Activity, *Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(6):137-139.

Alkan, Ç. (2019, Ekim 9-12). *Trakya Bölgesinde Maksimum Sıcaklıkların Frekans Analizi*. 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, 2019, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla.

Alkan, Ç. (2019, Ekim 9-12). *M. Turc yönteminin eleştirisi ve alternatif yöntemler*. 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla.

Alkan, Ç. (2019, September 24-27). *Some Methods and Technologies Used for Hydrological Studies*. 1st International Congress on Biosystems Engineering (ICOBEN2019). Antakya, Hatay, Turkey.

Alkan, Ç. (2019, September 24-27). *WinTR-55 Model Aided Analysis of Creeks and Ponds Basins in Turkey*. 1st International Congress on Biosystems Engineering (ICOBEN2019). Antakya, Hatay, Turkey.