

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİLECİK'İN BAZI GÖLET HAVZALARINDAKİ TAŞKIN PİK DEBİLERİNİN
BELİRLENMESİ VE TARIMSAL KURAKLIĞININ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MECİT ÖZTÜRK

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ ÇAYAN ALKAN

BİLECİK, 2025

10592120

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİLECİK'İN BAZI GÖLET HAVZALARINDAKİ TAŞKIN PİK DEBİLERİNİN
BELİRLENMESİ VE TARIMSAL KURAKLIĞININ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MECİT ÖZTÜRK

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ ÇAYAN ALKAN

BİLECİK, 2025

10592120

BEYAN

“Bilecik’in Bazı Gölet Havzalarındaki Taşkın Pik Debilerinin Belirlenmesi ve Tarımsal Kuraklığının Analizi” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:		/.....	

Mecit Öztürk

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

Dünyamızın en önemli doğal kaynaklarından biri olan su, tarım sektörü için de hayati önem taşımaktadır. Küresel nüfusun artması ve gıda ihtiyacının artması, tarımsal su kaynaklarının üzerinde giderek artan bir baskı oluşturmaktadır. Bu nedenle, tarımsal su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi günümüzde son derece önemli hale gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, Bilecik ilinin tarımsal kuraklık ve tarımsal taşkın konuları ele alınmıştır. Bu amaçla, ilin kalkınmasına ve Bilecikli çiftçilere destek olmak amacıyla tarımsal kuraklık ve taşkın ile ilgili araştırmalar yapılmış; bu araştırmalarda WinTR-55 ve DrinC yazılımları kullanılmıştır.,

Bu tezi tamamlama sürecinde desteklerini esirgemeyen ve katkıda bulunan birçok değerli kişiye içtenlikle teşekkür ederim. Öncelikle, çalışmam boyunca bana her zaman rehberlik eden ve akademik süreçte desteklerini eksik etmeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Çayan ALKAN'a en derin minnet ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca, değerli akademik katkıları ve görüşleri için Prof. Dr. Sultan KIYMAZ ve Prof. Dr. Ramazan MERAL'e teşekkürlerimi belirtmek isterim. Kurumsal destekleri için Eskişehir Devlet Su İşlerine ve kurum bünyesinde çalışarak değerli bilgi ve tecrübelerini bizlerden esirgemeyen Sayın Caner ÖZER Bey'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Son olarak, sağladığı önemli veriler için Bilecik Meteoroloji Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Bu tezin tamamlanması için bana maddi ve manevi destek sağlayan aileme ve sevdiklerime de teşekkür ederim.

Umarım bu tez, tarımsal su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetimi konusunda bilgi ve farkındalık oluşturmaya katkıda bulunur ve gelecekteki çalışmalara ilham kaynağı olur.

Saygılarımla,

Mecit ÖZTÜRK

2025

ÖZET

BİLECİK'İN BAZI GÖLET HAVZALARINDAKİ TAŞKIN PİK DEBİLERİNİN BELİRLENMESİ VE TARIMSAL KURAKLIĞININ ANALİZİ

İklim Değişikliği ve beraberinde yaşanan taşkın ve kuraklık su kaynaklarını önemli düzeyde etkilemektedir. Su kaynaklarını en çok kullanan sektör de tarım sektörüdür. Bu yüzden; havzaların tarımsal su yönetimi planları yapılmalıdır. Bu çalışmada; Bilecik ilçelerindeki başlıca üretilen tarım ürünlerinin, taşkın ve kuraklık açılarından etkileşimleri incelenmiştir. Bu amaçla Bilecik'teki tarımsal ürün verilerine TÜİK'ten ulaşılmıştır. Bilecik ilçelerinin iklimsel verilere Bilecik Meteoroloji Müdürlüğünden, havza verilerine ise Devlet Su İşleri (DSİ) Bölge Müdürlüğünden ulaşılmıştır. Çalışmada, taşkın analizi Gölpazarı'ndaki Arap deresi, Delikbağ deresi; Pazaryeri'ndeki Gümüşdere; Yenipazar'daki Çöte havzaları kullanılmıştır. Havzaların özellikleri (alanı, uzunluğu, eğimi, eğri numarası) ve iklim verileri hazırlanıp, WinTR-55 ve DrinC modelinde kullanılmıştır. Sonuçta; RDI Kuraklık indeks sonucu ve şerbetçiotu verimi arasındaki R^2 değeri, kıyaslanan ilçeler arasında en yüksek değere Bilecik Merkez'de 0.195'lik değerle ulaşmıştır. RDI kuraklık indeks sonucu ve buğday verimi arasındaki R^2 değeri, kıyaslanan ilçeler arasında en yüksek değere Bilecik Merkez'de 0.31 değerle ulaşmıştır. Ayrıca; Bilecik'te 2017 yılında kuraklık indeks değerlerinde önemli bir azalış gözlemlenmiştir. Bozüyük'te kuraklığın en belirgin olduğu yıllar 2006 ve 2007 olarak görülmektedir. Pazaryeri'nde ise 2007 yılı, kuraklığın etkisinin en yoğun hissedildiği yıl olarak görülmektedir. WinTR-55 modeliyle 100 yıllık tekerrür süresine ait pik debi değerleri kıyaslandığında; Gölpazarı-Arap Deresi 66,59 m³/s ile en yüksek riske sahip alandır. Bunu 47,06 m³/s ile Gölpazarı-Gümüşdere, 47,00 m³/s ile Gölpazarı-Delikbağ Deresi ve 26,27 m³/s ile Yenipazar-Çöte takip etmektedir. Gelecekteki araştırmalar, farklı bitki çeşitlerinin kuraklığa karşı tolerans seviyelerini ve kuraklığın tarımsal üretim üzerindeki etkilerini azaltmak için geliştirilebilecek adaptasyon stratejilerini incelemeye odaklanmalıdır. Tarımsal su yönetimi çalışmalarında, neticede sel-kuraklık-su kirliliği riski haritaları oluşturulmalıdır. Çiftçileri bilinçlendirmek için, bu afetlere karşı farkındalık ve eğitim çalışmaları yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal Taşkın, Tarımsal Kuraklık, WinTR-55, DrinC Modeli, İklim Değişikliği.

ABSTRACT
DETERMINATION OF FLOOD PEAK DISCHARGES IN SOME POND
WATERSHEDS AND ANALYSIS OF AGRICULTURAL DROUGHT OF BİLECİK

Climate change, and the accompanying floods and droughts, significantly impact water resources. Since the agricultural sector is the largest consumer of these resources, comprehensive agricultural water management plans must be developed for the basins. This study examined the interactions between the main agricultural products cultivated in the Bilecik districts and the effects of both floods and droughts. For this purpose, agricultural product data for Bilecik were obtained from TÜİK (Turkish Statistical Institute). Climatic data for the Bilecik districts were acquired from the Bilecik Meteorology Directorate, and basin data were supplied by the State Hydraulic Works (DSİ) Regional Directorate. For the flood analysis, the following basins were used: the Arap Stream and the Delikbağ Stream in Gölpazarı; the Gümüşdere in Pazaryeri, and the Çöte Basın in Yenipazar. Basin characteristics (area, length, slope, curve number) and climatic data were prepared and utilized within the WinTR-55 and DrinC models. The results showed that the R² value for the relationship between the RDI drought index and hop yield reached its highest value among the compared districts in Bilecik Center, with a value of 0.195. Similarly, the R² value for the relationship between the RDI drought index and wheat yield reached its highest value in Bilecik Center, with a value of 0.31. Furthermore, a significant decrease in drought index values was observed in Bilecik in 2017. The years 2006 and 2007 were determined to be the most pronounced drought years in Bozüyük. In Pazaryeri, the year 2007 was identified as having the most intense drought impact. When comparing the peak discharge values for the 100-year recurrence interval using the WinTR-55 model, the Gölpazarı-Arap Stream area presents the highest risk with 66.59 m³/s. This is followed by Gölpazarı-Gümüşdere (47.06 m³/s), Gölpazarı-Delikbağ Stream (47.00 m³/s), and Yenipazar-Çöte (26.27 m³/s). Future research should focus on examining the tolerance levels of different crop varieties to drought and the adaptation strategies that can be developed to mitigate the impacts of drought on agricultural production. Finally, risk maps for flood-drought-water pollution should be created in agricultural water management studies, and awareness and education programs should be conducted to inform farmers about these hazards.

Keywords: Agricultural Flood, Agricultural Drought, WinTR-55, DrinC Model, Climate Change.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi	4
2.2. Tarımsal Kuraklık.....	7
2.3. Önemli Bazı Kuraklık İnceleme Programları.....	10
2.4. Tarımsal Taşkın.....	11
3. Materyal ve Yöntem.....	13
3.1. Materyal	13
3.1.1. Araştırma bölgesinin belirlenmesi.....	13
3.1.3. Havza Bilgileri.....	18
3.1.4. Bitki verim değerleri.....	18
3.2. Yöntem.....	22
3.2.1. Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) ve Kuraklık İndeksi Hesaplayıcısı (DrinC) Programı	22
3.2.2. WinTR-55 Programı.....	23
3.2.3. İstatistiksel değerlendirme	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	29
4.2. Tarımsal kuraklığın bitki verimiyle korelasyonu.....	30
4.3. Tarımsal kuraklığın alansal ve zamansal değişimi.....	34
4.4. Tarımsal kuraklığın yıllara göre değişimi.....	37
4.5. Tarımsal Taşkınla İlgili Bulgular.....	46
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	49
KAYNAKÇA	55

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. 2022 Yılına ait Bilecik ili öne çıkan tarla bitkileri üretimi	14
Tablo 3.2. İlçeler bazında hayvan varlığı	15
Tablo 3.3. Bilecik iline ait bazı istasyon bilgileri.....	16
Tablo 3.4. Bilecik iline yıllık sıcaklık ortalamaları (°C)	17
Tablo 3.5. Bilecik iline yıllık yağış ortalamaları (mm)	17
Tablo 3.6. Çalışma yapılan havzaların fiziksel özellikleri	18
Tablo 3.7. Buğday (Durum Buğdayı Hariç) Kg/Dekar Verim Değerleri	19
Tablo 3.8. Şerbetçiotu Kg/Dekar Verim Değerleri.....	19
Tablo 3.9. Arpa Kg/Dekar Verim Değerleri.....	20
Tablo 3.10. Çavdar Kg/Dekar Verim Değerleri	20
Tablo 3.11. Mısır Kg/Dekar Verim Değerleri	21
Tablo 3.12. Yulaf Kg/Dekar Verim Değerleri.....	21
Tablo 3.13. Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) Sınıflandırması	23
Tablo 3.14. Düzeltme faktörü, Fp.....	24
Tablo 3.15. Toprak sınıfı grupları	26
Tablo 4.1. Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) değerleri	29
Tablo 4.2. Bitki verim değerleriyle RDI korelasyonu	31
Tablo 4.3. Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) ile Shapiro-Wilk testi	32
Tablo 4.4. Spearman testi sonuçları.....	33
Tablo 4.5. Havzaların 24 saatlik yağış miktarları (mm).....	47
Tablo 4.6. Farklı Tekerrür Sürelerinde Gelebilecek Pik Debi Değerleri.....	47

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Sektörel su kullanımı	2
Şekil 3.1. Bilecik iline ait harita.....	14
Şekil 3.2. NRCS Tip II yağış dağılımı hesabı için birim pik yüzey akış miktarı	25
Şekil 3.3. ABD’de ki yağış dağılımları.....	25
Şekil 4.1. 2004-2005-2006-2007 yıllarına ait kuraklık haritası.	35
Şekil 4.2. 2008-2009-2010-2011 yıllarına ait kuraklık haritası.	35
Şekil 4.3. 2012-2013-2014-2015 yıllarına ait kuraklık haritası.	36
Şekil 4.4. 2016-2017-2018-2019 yıllarına ait kuraklık haritası.	36
Şekil 4.5. 2020-2021-2022 yıllarına ait kuraklık haritası	37
Şekil 4.6. Bilecik şehir merkezi yıllara göre kuraklık değişimi.....	38
Şekil 4.7. Bozüyük ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi	39
Şekil 4.8. Pazaryeri ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi	40
Şekil 4.9. Gölpazarı ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi.....	41
Şekil 4.10. İnhisar ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi	42
Şekil 4.11. Osmaneli ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi	43
Şekil 4.12. Yenipazar ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi	44
Şekil 4.13. Söğüt ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi	45
Şekil 4.14. Yüzdesel anlamda kuraklık sınıflandırması.....	46
Şekil 4.15. 100 yılda gelebilecek pik debi değerleri	48

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

BM: Birleşmiş Milletler

CN: Eğri Numarası

TC: Konsantrasyon süresini (saat)

CO₂: Karbondioksit

CH₄: Metan

N₂O: Nitröz oksit

PET: Potansiyel Evapotranspirasyon

CFC: Kloroflorokarbon

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

DSİ: Devlet Su İşleri

MGM: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

UKÖM: Ulusal Kuraklık Önleme Merkezi

SAR: Sodyum Adsorbsiyon Oranı İndeksi

RSC: Kalıcı Sodyum Karbonat

pH: Potansiyel Hidrojen

EC: Electrical Conductivity

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

SYI: Standartlaştırılmış Yağış İndeksi

SPI: Standartlaştırılmış Yağış İndisi (Standardized Precipitation Index)

SPEI: Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index)

RDI: Keşif Kuraklık İndeksi

USDA: Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (United States Department of Agriculture)

ppmv: Milyonda Hacim Oranı (parts per million by volume)

H₂O: Su

O₃: Ozon

yy.: Yüzyıl



1. GİRİŞ

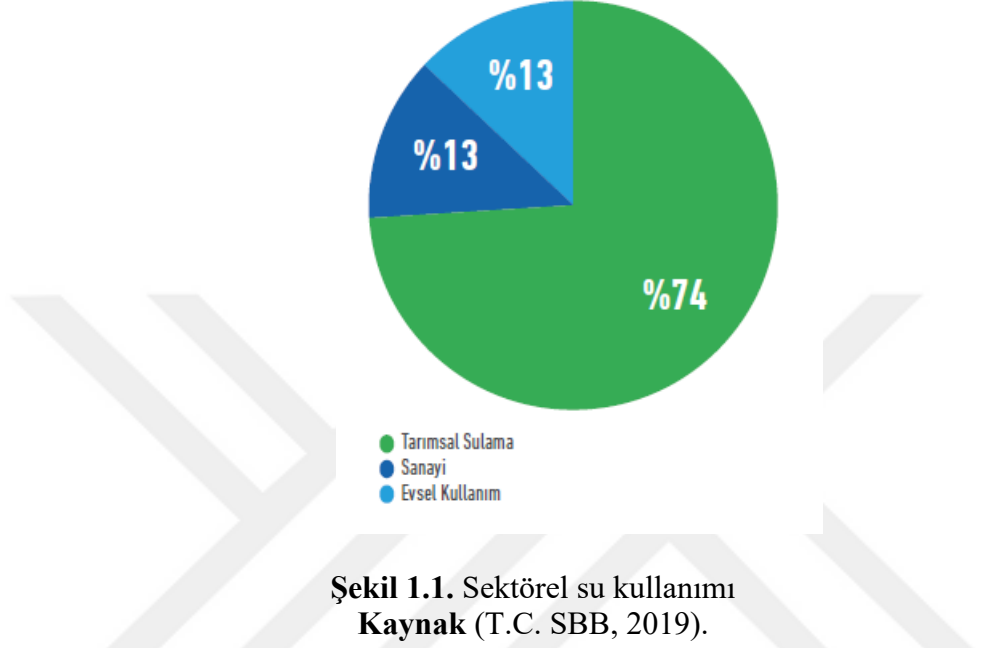
Bütün canlılar için en önemli doğal kaynaklardan biri olan su, tamamen ikame edilemeyen bir kaynaktır. Diğer bir ifadeyle, hayatın ve canlıların kaynağıdır. Su kaynaklarının akılcı ve sürdürülebilir kullanımı, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması ile sağlanabilir. Su kaynaklarının korunması, su kaynaklarının kirlenmesini ve tükenmesini önlemek için alınan önlemleri ifade eder. Su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılması ise, su kaynaklarının gelecek nesiller için de korunmasını sağlamak için yapılan kullanımları ifade eder (Kırtorun ve Karaer 2018).

Su, yaşamın vazgeçilmez unsuru ve tarımın da temel girdisidir. Sulama, tarımsal üretimi arttırırken, çevreye zarar verebilir ve doğal dengenin bozulmasına yol açabilir. Tarım sektörü, artan nüfus ve iklim değişikliği nedeniyle iki büyük sorunla karşı karşıyadır. Su kaynakları kısıtlanmaya devam ettikçe, tarımda kullanılan su miktarı da azalacak ve dünya gıda güvenliği tehlikeye girecektir. (Çakmak ve Gökalp, 2011). Nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve tarım faaliyetlerinin artması gibi nedenler, su ihtiyacını arttırmakta ve bu da su kaynaklarının aşırı tüketimine ve kirlenmesine yol açmaktadır. Bu durum, su kaynaklarının kullanılamaz hale gelmesine kadar çeşitli sorunlara neden olmaktadır (Solak vd., 2019). 21. yüzyılın küreselleşen sisteminde insanlığın nüfusu hızla artmakla birlikte 8 milyarı aşmıştır. (Sevinç ve Aktuğ, 2023) BM raporlarına göre, 2050'de 10 milyara ulaşacak dünya nüfusu, şehirleri yaşanmaz, suyu içilmez hale getirecek (Çamurcu, 2005).

1972 Stockholm Konferansı'nda BM, suyun önemini kabul ederek, çevrenin korunması için "su, toprak, hava ve doğal ekosistemlerin gelecek nesiller için planlama ya da yönetim yoluyla korunması" gerektiğini vurgulamıştır. Dublin Uluslararası Su ve Çevre Konferansı, 1977 Mar del Plata BM Su Konferansı'ndan sonra, su konusunda en önemli konferanslarından biri olarak kabul edilmektedir. Haziran 1992'de Rio de Janeiro'da (Brezilya) düzenlenen BM Çevre ve Kalkınma Konferansı'nın amaçları; suya dair farklı programlar arasındaki ilişkilerin güçlendirilmesi ve sektörler arasında koordinasyon sağlayacak yaklaşımlar geliştirilmesi; strateji ve eylemleri, milli programlara esas olması için hükümetlerin dikkatine takdim edilmesi ve su kaynakları yönetiminin iyileştirilmesinde çevresel etkilerin ve gelişme fırsatlarının göz önünde bulundurulması sağlanması şeklinde sıralanmıştır (Günaydın, 2009).

Türkiye'nin toplam su potansiyeli, 501 milyar m³/yıl olarak tahmin edilmektedir. Bu miktarın 166 milyar m³/yıl'ı doğrudan akışa geçmektedir. Geri kalan suyun %67'si sızma, buharlaşma ve transpirasyonla kaybolmaktadır. Akarsularımızın toplam debisi, yeraltına sızan

suların da katkısıyla yılda ortalama 186,1 milyar m³/yıl seviyesindedir. Baraj ve göletlerde tutulan su miktarı ise yaklaşık 91,1 milyar m³/yıl'dır. Su kullanımının sektörel dağılımına bakıldığında ortalama olarak %74'lük miktarın, tarımsal sulama, %13'lük miktarın sanayi, %13'lük miktarın da evsel kullanım (Şekil 1.1) maksatlı olduğu görülmektedir (Yıldırım, 2013; T.C. SBB, 2019).



Atmosfer değişik gazlardan oluşur. Güneş ışınları atmosferi aşarak yeryüzünü ısıtır. Atmosferdeki CO₂, CH₄, N₂O, O₃, CFC (kloroflorokarbon) gibi gazlar güneşten dünyaya gelen ısının bir kısmını yalıtarak yeryüzünün belirli sıcaklıkta kalmasına olanak sağlar. Atmosferin ısıyı tutma niteliği sayesinde denizlerin, okyanusların donması önlenir. Atmosferin bu ısınma ve ısıyı tutma niteliğine sera etkisi denir. (Akın, 2006). Kısacası yeryüzü sıcaklığındaki artış, tüm dünyayı ve canlıları etkileyen ve çevresel değişikliklere neden olan küresel ısınma olarak adlandırılır (Özen, 2008). Dünyanın aldığı ve yansıttığı güneş ışığı miktarı, sıcaklığın atmosfer tarafından tutulması, su buharının evaporasyonu ve yoğunlaşması gibi etmenler yardımıyla, dünya yüzeyindeki sıcaklık belirlenebilmektedir. (Aksay vd, 2005).

Küresel ısınma, su kaynaklarını doğrudan ve dolaylı olarak etkileyerek suyun önemini daha da arttırmaktadır. Küresel ısınma sonucu su kaynaklarında yaşanan ciddi sorunlar, tarım ve orman ürünlerinde azalışa, enerji sıkıntısına ve kıyı kesimlerden iç kısımlara doğru nüfus hareketine neden olacaktır (Karaman ve Gökalp, 2010).

İklim, yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca gözlenen hava koşullarının ortalamasıdır. Bu ortalamanın sınırları, en yüksek ve en düşük değerlerle belirlenir, İklim

değişikliği ise nedenleri ne olursa olsun, onlarca yıl veya daha uzun süre boyunca iklimin ortalama durumunda veya değişikliğinde gerçekleşen değişikliklerdir. (Demircan, 2019). İklim değişikliğinin, yağış düzenindeki değişiklikler nedeniyle birçok nehrin akışını değiştirmesi muhtemeldir. Aynı zamanda iklim değişikliği, kuraklıkların daha sık yaşanması ve diğer su kaynakları üzerindeki baskının artması nedeniyle nehir suyuna olan talebi muhtemelen artıracaktır (Tir ve Stinnet, 2012). İklim değişikliği bir yandan nehirlerden gelen suya olan talebi artırırken, bir yandan da tatlı suyun mevcudiyetini ve dağıtımını (sel ve kuraklık gibi su ile ilgili felaketlerin etkilerini) değiştirmesi muhtemeldir (Allan vd., 2013).

Gıda güvenliğinin sağlanması, yoksulluğun azaltılması ve ekosistemlerin korunması şeklindeki üçlü hedefimize ulaşmak için su konusunun tam olarak ele alınması büyük önem taşımaktadır. Daha iyi su yönetimi su açığının kapatılmasında önemli bir rol oynamakta olup; gelecekteki su talebini azaltabilir, çevresel bozulmayı sınırlayabilir ve su için rekabeti kolaylaştırabilir. Su verimliliğindeki %35'lik bir artış, ek mahsul su tüketimini %80'den %20'ye düşürebilir ve birim su başına daha fazla gıda üretilebilir. Tarımsal verimlilik, teknolojik gelişmelerle birlikte artmaktadır. Küresel gıda fiyatları belirgin bir şekilde düşmüştür. Ancak bu durum tarımda daha fazla su kullanımını da beraberinde getirmiştir (Molden, 2013).

Bu çalışmada; Bilecik ve İlçelerdeki başlıca üretilen tarım ürünlerinin, taşkın ve kuraklık açılarından hassasiyeti (duyarlılığı) analiz edilecektir. Bu amaçla Bilecik'teki tarımsal ürün verilerine TÜİK'ten, iklimsel verilere Bilecik Meteoroloji Müdürlüğünden, havza verilerine ise Devlet Su İşleri (DSİ) Şube Müdürlüğünden ulaşılmıştır. Yapılan literatür taramasına göre, Bilecik İli için tarımsal kuraklık ve taşkın açısından böyle kapsamlı bir çalışmanın bulunmadığı görülmüştür. Taşkın ve kuraklığın birlikte değerlendirilip, bütüncül analiz yapılmasının azlığı dikkat çekmektedir. Bu çalışma ile, Bilecik'teki tarım ve su kaynakları konularıyla ilgilenen paydaşlara, Bilecik'in taşkın ve kuraklık yönetimi konusunda faydalı çıktılar üretilmiş olacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, yağış rejimleri üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır. Bu etki, kuraklık gibi ciddi sonuçlara neden olmaktadır. Kurak olan alanlarda sorunun daha da artması yanı sıra daha önceden yağış almış olan alanlarda daha da fazla yağışın olacağı tahmin edilmektedir. (Karaman ve Gökalp, 2010). Kuraklık oluşumu, sıcaklık stresi ve taşkınlardaki uzun vadeli eğilimler, iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkisindeki coğrafi çeşitliliği vurgulamaktadır (Anderson vd., 2020). Yeryüzünün ortalama sıcaklığının arttırmakta olan küresel ısınma doğal yollar ile oluşması mümkün olsa bile küresel ısınmanın en önemli sebebi sera gazı etkisidir. Atmosferde birikmiş olan sera gazları kızılötesi radyasyon şekline dönüşmüş olan güneş ışınlarının atmosferin dışına çıkmasını engelleyerek küresel ısınmaya neden olur. Birikmiş olan sera gazının ne kadar ısınmaya yol açacağı ise iklim hassasiyeti adı verilen ölçüye bağlıdır. Son aşamada küresel ısınma, iklim değişikliğine yol açar. İklim değişimi gezegenimizin fiziki ve insani coğrafyasını değiştirmektedir (Engin, 2012).

Türkiye'de küresel iklim değişikliğinin etkileri, su kaynaklarının azalması, kuraklık, sıcak hava dalgaları, sellerdeki artış ve tarımda verimliliğin düşüşü şeklinde kendini göstermektedir. Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 2013 tarihli 5. Değerlendirme Raporu (AR5) belirtilen, Akdeniz Havzası'nda ve Türkiye'de iklim değişikliğinin etkilerinin ciddi boyutlarda olduğunu ortaya koymaktadır (Turan, 2018).

Sulu tarım alanlarında yıllık su tüketimi toplam tüketilen suyun yüzde 70-75'ine karşılık gelmektedir. Bu durum iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerindeki tehdidini artırmaktadır. Bu tehdidi azaltmak için, öncelikle su tüketimini azaltacak önlemler alınmalıdır. Nüfusun artmasıyla birlikte, artan gıda ihtiyacını karşılamak, çeşitli gıdalara erişimi sağlamak, iklim değişikliğiyle beraber artış göstermekte olan kuraklık etkilerine uyum sağlamak, atıl arazileri değerlendirmek, kırsal kesimdeki yoksulluğu azaltmak ve üretim verimliliğini artırmak günümüz öncelikli konulardır. Türkiye'nin kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı, 1400 m³ olup, su kısıtı yaşanan ülkeler kategorisine girmektedir. Artan su talebi, kuraklık, kentleşme, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi faktörler, su kaynaklarımız üzerinde baskı oluşturmaktadır. Bu baskının etkisiyle, gelecekte su sıkıntısı çekmemiz muhtemeldir. Bu nedenle, su kaynaklarımızı korumak, alternatif su kaynakları geliştirmek ve sürdürülebilir su politikalarına devam etmek önemlidir (Strateji, T. C., & Başkanlığı, B. 2019).

Atmosfer, yeryüzündeki yaşam için olmazsa olmaz bir unsurdur. %78 azot, %20,95 oksijen ve %0,93 karbondioksit ve çok sayıda diğer gazlardan oluşur. Atmosfer, tıpkı seralarda olduğu gibi güneş ışınlarını geçirirken yeryüzünden geri yansıyan uzun dalgalı (termik) ışıının büyük kısmının uzaya kaçmasına engel olmaktadır. Bu özelliği sayesinde atmosfer, yeryüzünün ısı dengesini doğal bir şekilde düzenler. Sera gazları, atmosferin üst tabakalarında bulunan ve yer ışıının uzaya kaçmasına engel olan gazlardır. Sera gazlarının termik ışımaya karşı az geçirgen olması sebebiyle doğal bir süreç olan yerkürenin ısı dengesini düzenlemesi olayına ise sera etkisi adı verilir (Arıkan Uysal, 2022).

Sera gazları, atmosferde sıcaklık tutma kapasitesini yükselten gazlardır. Sera gazlarının bir kısmı doğal yollarla oluşmak ile birlikte %90 bandında beşerî faaliyetler sonucu oluşmaktadırlar. Sera gazlarının oluşmasına etki eden başlıca fosil yakıtların yanması olmak üzere orman alanlarının savunmasız hale getirilmesi, tarımsal etkinlikler ve diğer etkinlikler neden olmaktadır. Belirli bir zaman ve alanda atmosfere salınan sera gazları emisyon olarak tanımlanmaktadır. Sera gazları atmosferde bulunan gazların sadece %1'ini oluştururlar (Erdoğan, 2020).

Doğal sera gazı olarak bilinen en önemli gazlar; su buharı (H_2O), karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), diazotmonoksit (N_2O) ve ozon (O_3) gazlarıdır. Sera gazı birikiminde sanayi devrimi sonrası bir yükselme olmuştur. 1750 yılından itibaren CO_2 birikimi %30, CH_4 birikimi %145 ve N_2O birikimi %15 oranında artmış bulunmaktadır. 1958'den beri yapılan Mauna Loa ölçümlerine göre atmosferdeki CO_2 birikimi hızına hız katarak artmaya devam etmektedir. Sanayi öncesi dönemde yaklaşık olarak 280 ppmv, 1994'te 358 ppmv olarak belirlenen CO_2 salınımlarındaki artışın günümüzdeki hızıyla devam etmesi takdirinde, 21. yy. sonuna kadar 500 ppmv'yi bulabileceği öngörülmektedir (Arıkan Uysal, 2022).

Alkan (2021) İklim değişikliğinin kuraklığa ve buğday verimine etkisinin belirlenmesi başlıklı tezinde Porsuk Çayı havzasında yaptığı çalışmada havzanın kurak bir bölgede olduğunu saptamıştır. Geçmişte, hidrolojik ve tarımsal kuraklıkların yaygın olduğu, meteorolojik açıdan ise normal bir iklimin hüküm sürdüğünü tespit etmiştir. Araştırmacı; Porsuk Çayı gelecekte meteorolojik açıdan kuraklaşacağını, hidrolojik açıdan ise zaman geçtikçe kuraklaşma potansiyeli mevcut olsa da, normal bir iklimin hüküm süreceğini belirtmektedir.

Sırdaş ve Şen (2010) Dünyada ve Ülkemizde yapılan çeşitli kuraklık araştırmalarını incelemiş ve Türkiye de bulunan 60 büyük meteorolojik gözlem istasyonunun yaklaşık 1930-1990 yılları arasındaki aylık yağış verileri kullanılarak kesim seviyesi değerlerinin alansal

dağılımını tespit etmiştir. Bu çalışmada ayrıca ülkemizin yarı kurak bir bölgede bulunduğunu ve bu kuraklığın sürekli bir tehdit oluşturduğu, bu tehdidi önlemenin en önemli koşulunun kuraklığın bir merkez tarafından izlenerek Ulusal Kuraklık Önleme Merkezi (UKÖM)'nin kurulması gerektiği de elde ettiği sonuçlar arasındadır.

Richter ve Semenov (2005) İngiltere ve Galler'de gelecekte olabilecek iklim değişimlerini modelleyerek kuraklık risklerinin buğday verimine olacak etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada 2020 ile 2050 yıllarına doğru bölgede ısınmanın yükseleceği ve bunun tarımsal üretim üzerine pozitif etki oluşturacağı tespit edilmiştir. Çalışma Ortalama buğday üretiminde hektara 1.5-2 ton üretimin artacağı ve buğday verimine avantaj sağlayacağı yönündedir

Türkeş (2012) Küresel iklim değişikliğinin yol açtığı kuraklık ve çölleşme ile ilgili bilimsel bir değerlendirme yapmıştır. Yağış miktarlarında 1900–2005 döneminde, dünyanın çeşitli bölgelerinde önemli azalış ve artış eğilimlerinin gözlemlendiğine vurgu yapan araştırmacı, Doğu Akdeniz ve Türkiye'de, özellikle 1900'lı yıllarla birlikte donlu ve kar yağışlı günlerin belirgin bir şekilde azalmasının sıcak günlerin ve gecelerin sayıları ile gece en düşük ve gündüz en yüksek ortalama hava sıcaklıklarının artması, şeklinde kendisini hissettirdiğini tespit etmiştir.

Kapluhan (2013) Türkiye'de kuraklık ve kuraklığın tarıma olan etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmada kuraklığın etkilerinin genellikle ilk olarak tarımda görüldüğüne ve yavaş yavaş diğer suya bağımlı sektörlere yayıldığına vurgu yapmıştır. Ülkemizin küresel ısınmanın muhtemel etkileri açısından, risk grubu ülkeler arasında yer aldığı ve gelecekte özellikle Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinin iklim değişikliğinden daha çok etkileneceğini ve tarımsal kuraklığın olumsuz etkilerini azaltmak, kuraklığın olmadan önceki dönemlerde alınacak tedbirler ve kuraklığın etkili olduğu dönemlerde yapılacak doğru planlamalar ile olacağını tespit etmiştir.

Akcan vd. (2022) 1985–2018 yılları arasında Türkiye'de gözlemlenen iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerindeki etkilerini, Otoregresif Dağıtılmış Gecikme Modeli (ARDL) sınır testi yaklaşımı kullanılarak detaylı bir şekilde analiz etmişlerdir. Gerçekleştirdikleri analizler neticesinde, yağış miktarında ve nem oranlarında meydana gelen değişimlerin tarım sektörünün Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) içindeki payını pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde etkilediği sonucuna varılmış, buna karşı sıcaklıkta ve

karla örtülü gün sayısındaki değişimlerin ise tarım sektörünün GSYİH içindeki payını negatif ve anlamlı bir düzeyde etkilediği tespit edilmiştir.

Selçuk ve Gülümser (2023) Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 2050'li ve 2080'li yıllara yönelik sıcaklık ve yağış projeksiyonları kullandığı çalışmasında, sıcaklık değerlerinin yükseleceğini, yağış miktarının azalacağını ve buna bağlı olarak da ürün veriminde önemli oranlarda düşüşler yaşanacağını ortaya koymaktadırlar ve 2050'li yıllarda buğdayda yüzde 7,4 ile İç Anadolu; mısırda yüzde 13,6 ile Doğu Anadolu; ayçiçeğinde yüzde 7,7 ile İç Anadolu Bölgesinde, 2080'li yıllarda ise buğdayda yüzde 11,85 ile Güneydoğu Anadolu; mısırda yüzde 19 ile Doğu Anadolu; ayçiçeğinde yüzde 13,5 ile İç Anadolu Bölgesinde en yüksek verim düşüşü tespit etmişlerdir

2.2. Tarımsal Kuraklık

Tarımsal kuraklık, bitkinin büyüme ve gelişim sürecinde ihtiyaç duyduğu suyun kök bölgesinde yetersiz miktarda bulunması şeklinde tanımlanabilir. Özellikle ekonomileri büyük ölçüde tarım sektörüne dayanan gelişmekte olan ülkelerde kuraklık, su varlığı, tarımsal üretim, gıda güvencesi ve kırsal geçim kaynakları açısından önemli düzeyde etkiler ortaya çıkarabilmektedir. Tarımsal kuraklık, ürün veriminde düşüşlere ve sulama faaliyetlerinin sektöre uğramasına neden olmaktadır; bu durum, doğrudan ürün çeşitliliği ve miktarında azalmalara yol açarak, hayvan sağlığı açısından da hastalık ve ölüm risklerini beraberinde getirmektedir. (Tunç ve Demirbaş, 2022) Kuraklık, dünya çapında ekonominin ve çevrenin birçok sektörünü etkileyen önemli bir doğal afet olarak kabul edilir. Yağışla başlayıp yüzey suyu sistemlerindeki akışa veya yeraltı suyu akiferlerindeki dolmaya ve depolamaya kadar hidrolojik döngünün neredeyse tüm belirleyicilerini etkiler. (Tigkas vd., 2013).

DSİ verileri Türkiye'nin yıllık toplam kullanılabilir yüzey ve yeraltı sularının 112 milyar m³ olduğunu göstermektedir. Toplam kullanılan su miktarı 44 milyar m³'tür. Toplam kullanılan su miktarının ise %73'ü sulama suyu olarak kullanılmaktadır (Arıkan Uysal, 2022). İklim değişikliği verilerine göre, yağışlarda olduğu gibi Türkiye'nin güney havza alanlarında su potansiyelinin azalması beklenmektedir (Şen 2013). Ülkemizin, küresel iklim değişikliğinin olası etkileri açısından risk grubu ülkeler arasında yer aldığı, gelecekte özellikle Akdeniz ve İç Anadolu Bölgelerimizin iklim değişikliğinden daha çok etkileneceği tahmin edilmektedir. Ülkemizde ise, çölleşmeye meyilli yarı-kurak ve kuru/yarı-nemli araziler, ülke topraklarının

%35'ini oluşturmakta; yarı-nemli iklim şartları ile beraber bu oran yaklaşık %60'a ulaşmaktadır (Turan, 2018).

Menteşe ve Akbulut (2023) Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYI) ile Bilecik istasyonu (1964–2021) ve Bozüyük istasyonlarının (1964–2021) kuraklık durumunu incelemiştir. Araştırmacılar iki ilçenin kurak, normal ve nemli periyot oranlarının birbirine benzerlik gösterdiğini tespit etmişlerdir. Kış mevsiminde de kuraklıklar yaşandığı, yaz mevsimine kıyasla daha az olsa da, mevsimsel kuraklığın bir parçası olduğu ve bu anlamda her iki meteoroloji istasyonunun henüz ciddi bir kuraklıkla karşı karşıya olmadığı tespit ettikleri diğer sonuçlar arasındadır.

Arıkan Uysal (2022) Bursa için yaptığı kuraklık analizinde 1990-2019 yılları arasındaki yağışla sıcaklık değerleri için parametrik olmayan Mann-Kendall ve Şen'in Trend Analizlerini uygulamıştır. Yapmış olduğu trend analizi sonuçlarına göre yağış verilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim bulamamıştır ancak, sıcaklık verilerinde artış eğilimleri gözlemlemiştir. Kuraklık analizi için uygulamış olduğu SPI ve SPEI yöntemlerinin her ikisinin sonuçlarına göre 1960-2019 yılları arasında ekstrem değerlere ulaşılmış olsa da genel olarak normal kuraklık seviyelerinin hâkim olduğunu tespit etmiştir.

Bacanlı ve Kargı (2018) Bursa ili için yapmış oldukları Standart Yağış İndeksi (SYI) yöntemi ile 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık zaman periyotları için kuraklık analizi yapmışlardır. Yıllık ve aylık bazda yağış verilerinde kayda değer bir eğilim saptamamışlardır. Kısa süreli periyotlarda (3-6 ay) normal veya hafif kuraklıklara daha sık rastlarken, uzun süreli periyotlarda (12-24-48 ay) şiddetli ve çok şiddetli kuraklık gözlemlemiştir.

Karaer ve Gültaş (2018), Bilecik ili için yapmış oldukları çalışmada 1, 3, 6, 12, 24 aylık periyotlarda SPI yöntemi ile kuraklık analizi yapmışlar ve kuraklığın 6 ve 12 aylık periyotlarda hissedildiğini, kuraklığın genel olarak yaz aylarında görüldüğünü tespit etmişlerdir.

Onuşluel Gül (2023) Tarımsal kuraklık analizleri, Türkiye genelinde uzaktan algılama (UA) verilerinden faydalanılarak ve Google Earth Engine (GEE) platformunda hesaplamalar yapılarak gerçekleştirmiş ve bu analizleri TCI, VCI ve VHI indisleri temel alınarak tamamlanmıştır. Yakın geçmiş dönem (2018-2021) ile geçmiş dönem (2002, 2005, 2010, 2015 yılları) için Temmuz ve Ocak ayları bazında kıyaslandığında, Ocak ayında da yaygın ve şiddetli kuraklık olaylarının deneyimlendiğini tespit etmiştir.

Keskiner ve Şimşek (2023) Son on yıllık Standardize Yağış İndeksi (SYI) değerlerinin yinelenme periyotları inceleyerek, Isparta, Eğirdir ve Seydişehir istasyonlarında, her dönemde

en az bir defa beş yıl ve üzeri süren kurak periyotların yaşandığı ve bu durumun, söz konusu istasyonların ciddi meteorolojik kuraklık riski altında olduğunu tespit etmişlerdir ve Seydişehir istasyonunun gelecek yıllarda, Isparta ve Eğirdir istasyonlarına kıyasla daha yüksek şiddette kuraklık dönemlerine maruz kalacağı tespit ettiği diğer sonuçlar arasındadır.

Şarlak vd. (2024) Devegeçidi Baraj Gölü'nde 2008–2021 dönemine ait baraj işletim verilerini LOWESS eğrileri oluşturulmuşlar ve bu eğrilerin, 2012–2016 yılları arasında toplam su sarfiyatı hacminde ve 2013–2021 yılları arasında ortalama rezervuar hacminde belirgin bir azalma eğilimi olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Aynı zamanda, toplam gelen su değerleri, yaz ve ilkbahar mevsimleri özelinde analiz etmiş ve veri setinde 2014 yılından itibaren düşüşler gözlemlenmiştir. Bölgede üretilen pamuk, arpa, mısır ve buğday gibi tarımsal ürünlerin ekim alanı ve verim miktarlarında 2004 yılından bu yana artışlar kaydedildiği gözlenmiş ve bu bulgunun, tarıma ve sulamaya açılan alanların genişletildiğine yönelik olduğunu tespit etmişlerdir.

Bakanoğulları (2020) yaptığı çalışmada İstanbul-Büyükçekmece Havzası'ndaki Damlıca Deresi Havzası'nda kuraklığın sıklık ve şiddetini SPEI (Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi) ile belirlemeyi ve bu sonuçları SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndisi) ile kıyaslamayı amaçlamıştır. 25 yıllık meteorolojik verilerle yapılan analizde, yıllık SPEI ve SPI indeksleri arasında $R^2=0.977$ ile istatistiksel olarak anlamlı ve güçlü bir ilişki belirlenmiştir. Buna karşın, aylık ve mevsimlik değerlendirmelerde kuraklık şiddetleri arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Yıllık sonuçlara göre SPEI, havzada 4 yıl orta ve 7 yıl hafif kurak dönem tespit ederken, SPI ise 2 yıl şiddetli ve 3 yıl orta kurak dönem belirlemiştir. Çalışma, SPEI kuraklık indisinin tarımsal üretim ve kuraklık değerlendirmelerinde daha hassas sonuçlar ortaya koyduğunu ve kuraklığı azaltma politikalarına yönelik karar vericilere daha sağlıklı veriler sunabileceğini önermektedir.

Özçelik ve Akkuzu (2023) Ege Bölgesi genelinde Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, bölgede şiddetli ve çok şiddetli kuraklık dönemlerinin yaşandığı belirlenmiştir. Özellikle araştırmacıların 1989, 1993, 2007, 2008, 2011 ve 2012 yılları kuraklık olaylarının yoğun olduğu dönemlerdir; bu yıllar arasında 2007-2008 yılları çok şiddetli kuraklıkların kaydedildiği yıllar olarak öne çıkan bulgularıdır.

2.3. Önemli Bazı Kuraklık İnceleme Programları

Kuraklık indeksleri, karmaşık iklimsel işlevleri basitleştirdikleri ve iklimsel anomalileri şiddetleri, süreleri ve sıklıkları açısından niceleyebildikleri için kuraklığın karakterizasyonu ve izlenmesi için önemli araçlardır. Ayrıca, daha geniş bir kitleye kuraklık dönemlerinin şiddeti ile ilgili kolay anlaşılır bilgiler aktarabildikleri için çok faydalıdır (Tsakiris vd., 2007). Geleneksel olarak, kuraklıklar incelenen belirleyici ile karakterize edilir ve meteorolojik (yağış, potansiyel evapotranspirasyon), hidrolojik (akış veya yeraltı suyu beslenmesi), tarımsal (toprak nemi) olarak sınıflandırılır. Seçilecek belirleyici, analizin hangi hidrolojik döngü bölümüne odaklamak istenildiğine bağlıdır (Tigkas vd., 2013).

Kuraklık indeksleri akademik alanda (eğitim, araştırma, vb.) stratejik ve operasyonel düzeylerde (karar verme, proaktif yönetim ve kuraklık azaltma vb.) kullanılabilir, çok geniş bir potansiyel kullanıcı kitlesine sahiptir. Elbette, tek bir indeks evrensel olarak uygun değildir, bu nedenle çoğu durumda birden fazla indekse bakmak gerekir. Kuraklık indeksleri genellikle ilgili denklemleri ve prosedürleri manuel olarak uygulayarak veya bu amaç için tasarlanmış araçlar kullanılarak hesaplanır. Bu tür araçlar, diğer yazılım paketleri (örneğin MATLAB, R-Project, ArcGIS vb.) çerçevesinde veya bir veya daha fazla indeksi içeren bağımsız yazılım olarak çalışabilir. Mevcut kuraklık indeksi hesaplama araçlarından bazıları şunlardır (Tigkas vd, 2015).

- **SPI_SL_6:** Bu basit uygulama, Standartlaştırılmış Yağış İndeksini (SPI) farklı aylık aralıklar için hesaplar.
- **SPATSIM:** Öncelikle su kaynakları bilgi yönetimi yazılım paketi olsa da Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Desil Yöntemi, Etkili Kuraklık İndeksi (EDI) ve uzun vadeli ortalama ve ortanca yağıştan sapmalar gibi yağışa dayalı indekslerin hesaplanması için de kullanılabilir. GIS şekil dosyalarını ana veri erişim biçimi olarak kullanan entegre bir veri tabanı yönetim sistemine sahiptir.
- **SPEI paketi:** Bu paket, R programı için Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi'ni (SPEI) ve SPI'yi hesaplamak üzere kullanılabilen bir fonksiyon setidir.
- **CDI:** FAO SWALIM tarafından geliştirilen MS Excel tabanlı bir yazılımdır (Balint vd., 2011). Yağış Kuraklık İndeksi (PDI), Sıcaklık Kuraklık İndeksi (TDI), Bitkisel Kuraklık İndeksi (VDI) ve Kombine Kuraklık İndeksi (CDI) olmak üzere dört indeksi hesaplar.

Mevcut kuraklık indeksi hesaplama araçlarının çoğu, kullanıcıların uzman seviyesinde bilgisayar becerilerine sahip olmasını veya belirli yazılım paketleriyle aşına olmasını gerektirir. Bu durum, kuraklık indeksi hesaplamalarını uzmanlarla sınırlar. Karmaşık hesaplamaları basit bir arayüz aracılığıyla gerçekleştiren ve net, karşılaştırılabilir sonuçlar üreten bağımsız, özel yazılımların geliştirilmesi hem akademik hem de operasyonel kullanım için oldukça faydalıdır. Ayrıca, birden fazla kuraklık indeksinin sonucu birlikte değerlendirildiğinde, kuraklığın şiddetinin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve belirli araştırma veya yönetim hedefleri için daha iyi bir bakış açısı elde edilmesi mümkün olur. Bu düşüncelerden yola çıkarak, Atina Ulusal Teknik Üniversitesi Doğal Afetlerin Değerlendirilmesi ve Proaktif Planlama Merkezi ile Arazi Islahatları ve Su Kaynakları Yönetimi Laboratuvarı'nda DrinC adlı yazılım paketi geliştirilmiştir. DrinC, özellikle yeni geliştirilmiş iki indeks olmak üzere, kuraklık karakterizasyonu, kuraklık izleme, kuraklık risklerinin mekânsal analizi ve iklim senaryolarının araştırılması için uygun olan kuraklık indekslerinin hesaplanması için kullanılabilir. Kullanıcı, pencere tabanlı bir arayüz üzerinden, her bir görev veya vaka çalışmasının özel gereksinimlerine en uygun seçeneği belirleyebilir. Ayrıca, DrinC, sıcaklık bazlı yöntemlerle potansiyel evapotranspirasyonu hesaplamak ve kuraklığı izlemek için iki modül içerir. Bu çalışmada, DrinC yazılımının hedefleri, genel tasarımı ve uygulaması sunulmaktadır. Ayrıca, kuraklık analizi için çeşitli yaklaşımların yazılım tarafından kullanımı ve bazı gerçek dünya uygulamaları da açıklanmaktadır (Tigkas vd., 2013).

2.4. Tarımsal Taşkın

Doğal bir afet türü olan taşkınlar, sadece Türkiye'yi değil tüm dünyayı etkileyerek insanların sosyoekonomik hayatlarını olumsuz etkilemektedir. Bu doğa olayı, bir bölgenin iklim koşullarına, jeolojik ve topografik yapısına bağlı olarak gelişir. Günümüzde küresel ısınma ve buzulların erimesi gibi etkenler, her kıtayı etkileyen iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Türkiye de bu küresel değişimlerden etkilenmiş ve son on yılda 258 sel felaketi yaşanmıştır. Bu felaketler sonucunda 245.788 hektarlık alan sular altında kalmış, 135 kişi hayatını kaybetmiş ve maddi zarar \$160 milyonu aşmıştır. Taşkın önleme çalışmaları günümüzde artmış olsa da sel felaketlerinin sıklığı da artmakta devam etmektedir (Doğan vd., 2013).

Bayazıt (2021) Bilecik ilindeki şehirleşmenin taşkın riski üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yapılan çalışmada Bozüyük ilçesinin sürekli taşkın riski altında olduğu tespit edilmiştir. Tarım arazilerinin orman alanlarına göre taşkın riskinin daha fazla olduğu bulunan sonuçlar arasındadır.

Dursun (2022) Bilecik'in Osmaneli ilçesinde taşkın riskini coğrafi bilgi sistemi kullanarak incelemiştir. Yapılan çalışmada Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) kullanarak taşkına sebep olan parametrelerin ağırlık değerleri hesaplanmış ve taşkın riskine sahip olan alanlar belirlenmiştir. Taşkın risk analizinin yapıldığı çalışmada sonuç olarak %11,94 oranında çok yüksek riskli, %35,98 oranında yüksek riskli, %28,72 oranında riskli, %20,61 az riskli ve %2,75 oranında risksiz alanlar tespit edilmiştir. Genellikle akarsu havzalarına yakın alanlarda, taşkın oluşum riskinin fazla olduğu elde ettiği sonuçlar arasındadır.

Alkan (2016) Bursa İlinde seçilen bazı gölet havzalarında taşkın debi tahminleri için Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından geliştirilen ve küçük su havzalarına yönelik bir model olan WinTR-55 modelinin uygulanabilirliğini araştırdığı projesinde Mockus, Rasyonel ve DSİ olmak üzere üç sentetik yöntem kullanılarak taşkın debi değerleri tahmin etmiştir. Elde edilen sonuçları, WinTR-55 modeli ile yapılan tahminlerle karşılaştırmıştır. İncelenen on yedi havzadan Kestel Ağlaşan-Kayacık Kızılcıklıdere ve Gemlik Küçükkuşla gölet havzaları hariç on beşinde, WinTR-55 modelinin sentetik yöntemlere göre biraz daha yüksek taşkın debi değerleri tahmin ettiğini bulmuştur. Küçük su havzalarında taşkın debilerinin güvenli bir şekilde tahmini için WinTR-55 modelinin uygun olduğunu değerlendirmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, Bilecik ilinde yetişen seçili bitki türleri ile Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) sonuçları arasındaki anlamlı korelasyonları tartışarak, kuraklığın bu bitkiler üzerindeki etkisinin şiddetini ortaya koymaktır. Literatürde kuraklık analizleri ağırlıklı olarak yalnızca yağış verisine dayanan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yöntemiyle yürütülmektedir. Oysa bu tezde, yağışa ek olarak Potansiyel Buharlaşma-Terleme (PET) verilerini de girdi olarak kullanan RDI yöntemi tercih edilmiştir. RDI'nın kullanılması, tarımsal kuraklığa yönelik daha gerçekçi ve kapsamlı sonuçlar üretmeyi hedeflemektedir. Çalışmanın ikinci ayağını ise tarımsal taşkın konusu oluşturmaktadır. Bu kapsamda, WinTR-55 programı kullanılarak Bilecik ilindeki belirli havzalarda taşkın riski hesaplaması gerçekleştirilmiştir. WinTR-55, özellikle küçük havzalarda akış hacmini, pik debi oranını ve hidrografları hesaplamada yüksek doğruluk sağladığı için, çalışma alanı olarak seçilen Bilecik ili için uygun ve güvenilir bir yöntem olarak kabul edilmektedir.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma bölgesinin belirlenmesi

Bilecik, Marmara Bölgesi'nin güneydoğu köşesinde, Marmara, Karadeniz, İç Anadolu ve Ege bölgelerinin kesiştiği bir noktada yer alır. 39° ve 40° 31' kuzey enlemleri ile 29° 43' ve 30° 41' doğu boylamları arasında konumlanmıştır. Doğuda Bolu ve Eskişehir, güneyde Kütahya, batıda Bursa ve kuzeyde Sakarya illeri ile komşudur (Şekil 3.1). Bilecik 4321 kilometrekarelik yüzölçümü ile Türkiye'nin küçük illerinden biridir ve alan sıralamasında 65. sıradadır. Bilecik'in arazi yapısı tepelik alanlardan, dik ve derin vadilerle yarılmış aşınım düzlüklerine kadar çeşitlilik gösterir. Kuzey Anadolu Dağları'nın başlangıç noktası, İç Anadolu Platolarının ilk kıvrımları ve Marmara Bölgesi'nin kıyı ve akarsu ovalarının sona erdiği alanlar, Bilecik'in sınırları içerisindedir. Kuzey Anadolu Dağları'nın ikinci serisi olan Köroğlu Dağları da il topraklarında başladığı için, arazi batıdan doğuya doğru yükselir. Bu yükselti güneye doğru dalgalı bir görünüme dönüşür ve Bozüyük Ovası ile Sakarya Nehri ile kuzey-güney yönünde ikiye ayrılır. Dağlar nehrin her iki yakasında da devam eder. Bilecik'in deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 500 metredir. Güneydoğuya, Karasu Vadisi'ne doğru gidildikçe yükseklik azalır ve İstasyon Mahallesi'nde deniz seviyesine kadar iner.



Şekil 3.1. Bilecik iline ait harita

Kaynak: (Başkaya, 2013).

Bilecik, coğrafi konumu ve iklim çeşitliliği nedeniyle bitkisel ve hayvansal açıdan önemli bir potansiyele sahiptir. Tarım ve Orman Bakanlığının 2023 yılı il brifingine göre ilde 2022 yılına ait öne çıkan tarla bitkileri üretimi ve (Tablo 3.1) hem büyükbaş hem de küçükbaş hayvancılığı verileri paylaşılmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.1. 2022 Yılına ait Bilecik ili öne çıkan tarla bitkileri üretimi

Tür	Ekilen Alan (Da)	Üretim (Ton)	Ekiliş oranı %
Buğday	305200	70391	56,3
Arpa	73658	15074	13,6

Tablo 3.1. (Tablonun Devamı)

Çavdar	5118	1518	0,9
Yulaf (Yeşil Ot)	19800	12114	3,7
Kuru Fasulye	2246	470	0,4
Nohut	6656	875	1,2
Ayçiçeği (Yağlık)	84545	15324	15,6
Ayçiçeği (Çerezlik)	15124	3074	2,8
Mısır (Silajlık)	5825	30719	1,1
Korunga (Yeşil Ot)	3192	4526	0,6
Yonca (Yeşil Ot)	19218	40123	3,5
Şerbetçiotu	1820	1047	0,3

Kaynak: (Tarım Orman Bakanlığı Bilecik il brifingi, 2022)**Tablo 3.2.** İlçeler bazında hayvan varlığı

İlçeler	Büyükbaş (adet)			Küçükbaş (adet)		
	Sığır	Manda	Toplam	Koyun	Keçi	Toplam
Merkez	7.275	14	7.289	21.349	7.405	28.754
Bozüyük	5.797	2	5.799	38.498	4.777	43.275
Gölpazarı	3.020	0	3.020	11.556	4.705	16.261
İnhisar	230	0	230	4.351	4.361	8.712
Osmaneli	7.893	13	7.906	11.152	5.667	16.819
Pazaryeri	4.299	18	4.317	16.082	1.470	17.552
Söğüt	3.540	2	3.542	17.411	12.293	29.704
Yenipazar	3.407	0	3.407	1.699	209	1.908
Toplam	35.461	49	35.510	122.098	40.887	162.985

Kaynak: (Tarım Orman Bakanlığı Bilecik il brifingi, 2022)

3.1.3. Çalışma alanı iklim bilgileri

Bilecik, Marmara Bölgesi'nin güneydoğusunda yer alan bir ildir. Farklı coğrafi bölgelere komşu olması ve topografik çeşitliliği, ilin iklimini de etkilemektedir. Bu nedenle Bilecik'te üç farklı iklim tipi görülür:

- **Marmara Bölgesi İklimi:** Merkez, Gölpazarı, Osmaneli ve Söğüt ilçelerinde hakimdir. Bu bölgelerde kışlar ılık ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuraktır.
- **İç Anadolu Bölgesi İklimi:** Bozüyük, Pazaryeri ve Yenipazar ilçelerinde görülür. Bu bölgelerde kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuraktır.
- **Mikro-klima İklimi:** Gölpazarı, Osmaneli ve Söğüt ilçelerinin Sakarya Nehri kıyısı şeridinde görülür. Bu bölgelerde nehrin etkisiyle daha ılıman bir iklim hakimdir.

Kuraklık analizinde kullanılan veriler MGM'nin 8 farklı istasyonundan alınan yağış ve sıcaklık verilerine dayanmaktadır (Tablo 3.3). Bu amaçla ilgili yıllara ait dönemlerde ölçülmüş yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Kuraklık analizi için, Bilecik'in 1990-2021 yılları arası Bilecik Merkez Meteoroloji İstasyonu (İst No: 17120), 2005-2022 yılları arası Pazaryeri Meteoroloji İstasyonu (İst No: 17701), 1990-2020 yılları arası Bozüyük Meteoroloji İstasyonu'na (İst No: 17702) ait ortalama sıcaklık (Tablo 3.4) ve yağış verileri kullanılmıştır (Tablo 3.5).

Tablo 3.3. Bilecik iline ait bazı istasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon Numarası	Enlem Boylam
BİLECİK	17120	40°14' 13.93"N 29°97'72.40"E
PAZARYERİ	17701	39°99'38.09"N 29°91'14.46"E
BOZÜYÜK	17702	39°90'38.95"N 30°05'24.71"E
GÖLPAZARI	18086	40°27'50.00"N 30°32'97.22"E
YENİPAZAR	18381	40°16'77.78"N 30°51'86.11"E
OSMANELİ	18087	40°36'27.78"N 30°00'63.89"E
SÖĞÜT	17703	40°02'05.05"N 30°18'50.47"E
İNHİSAR	18380	40°07'66.67"N 30°38'25.00"E

Tablo 3.4. Bilecik iline yıllık sıcaklık ortalamaları (°C)

Yıllar	Merkez	Pazaryeri	Bozüyük	Söğüt	Gölpazarı	İnhisar	Osmaneli	Yenipazar
2004	12,6	10,9	10,8	12,3				
2005	12,7	10,8	11,1	10,4				
2006	12,4	9,1	10,5	11,8				
2007	13,6	11,4	11,9	12,9				
2008	13,3	11,4	11,6	12,5				
2009	13,5	12,5	11,9	12,7				
2010	14,7	13,2	13,3	13,9				
2011	11,8	10,1	10,3	11,2				
2012	13,2	11,4	11,4	12,9				
2013	13,5	11,6	11,6	13,2	12,3		14,7	
2014	14,2	12,4	12,5	13,7	11,8	16,2	15,3	12,6
2015	13,4	11,5	11,3	12,4	11,7	15,1	14,2	11,6
2016	13,8	12,0	12,0	13,2	12,8	15,5	14,5	12,0
2017	13,4	11,4	11,4	12,9	12,9	15,2	15,1	11,6
2018	14,4	12,4	13,0		14,1	16,5	16,2	13,0
2019	13,6	11,2	12,1		12,6	15,9	14,9	12,2
2020	13,8	11,2	12,1		12,6	15,8	14,8	12,3
2021	13,3	10,9			12,4	15,4	14,4	11,8
2022	13,0	10,5			12,0	15,0	14,2	11,5

Tablo 3.5. Bilecik iline yıllık yağış ortalamaları (mm)

Yıllar	Merkez	Pazaryeri	Bozüyük	Söğüt	Gölpazarı	İnhisar	Osmaneli	Yenipazar
2004	35,9	29,3	31,2	35,4				
2005	35,8	17,9	25,4	21,0				
2006	27,7	21,8	35,3	25,8				
2007	37,5	35,7	28,1	24,5				
2008	37,1	41,7	38,4	37,5				
2009	35,7	52,6	45,0	50,5				
2010	55,7	36,5	34,2	32,3				
2011	37,4	48,1	38,2	141,4				
2012	46,2	41,1	33,8	118,7				
2013	30,3	48,5	36,6	41,6	31,8		24,5	
2014	50,6	42,5	42,7	41,5	38,9	34,7	34,7	52,9
2015	49,7	38,5	37,0	36,8	40,1	42,3	40,8	42,2
2016	41,2	26,9	36,2	35,4	39,1	38,3	34,9	42,1

Tablo 3.5. Tablonun devamı

2017	36,3	35,7	50,4	44,9	31,7	36,3	31,7	38,1
2018	49,6	35,3	41,2	40,9	44,2	32,5	27,7	43,8
2019	45,5	39,3	36,0	31,8	34,2	32,1	29,2	41,9
2020	37,4	40,3	43,7	39,0	24,0	26,1	16,9	29,3
2021	46,6	41,8		29,4	42,8	32,0	33,8	49,3
2022	40,0	40,0			35,4	34,1	25,9	39,2

3.1.3. Havza Bilgileri

Bilecik’te yıllık ortalama yağış miktarı 450 kg/m²’dir. Yağışlar genellikle Ocak ve mayıs aylarında yoğunlaşır. Bulutluluk açısından ise yılın 92 günü açık, 96 günü kapalı ve 177 günü bulutlu geçmektedir. Devlet Su İşleri (DSİ) 3. Bölge Müdürlüğünden elde edilen verileri Tablo 3.6.’da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Çalışma yapılan havzaların fiziksel özellikleri

Havza adı	Havza alanı (km ²)	Havza uzunluğu (km)	Havza harmonik eğimi	Tc (Konsantrasyon süresi), saat	CN (Eğri numarası)
Gölpazarı-Arap deresi	3.4	3.3	0.094	0.005	75
Gölpazarı-Delikbağ deresi	2.4	2.7	0.04	0.007	75
Pazaryeri-Gümüşdere	4.91	5.82	0.038	0.014	74
Yenipazar-Çöte	3.87	4.9	0.028	0.014	74

3.1.4. Bitki verim değerleri

Çalışma kapsamında incelenen 2004-2022 yılları arasına ait buğday verim değerleri kg/da (durum buğdayı hariç) (Tablo 3.7), 2004-2016 yılları arasına ait şerbetçiotu kg/da verim değerleri (Tablo 3.8), 2004-2022 yılları arası arpa kg/da verim değerleri (Tablo 3.9), 2004-2022 yılları arasına ait çavdar kg/da verim değerleri (Tablo 3.10), 2004-2021 yılları arasına ait mısır kg/da verim değerleri (Tablo 3.11), 2004-2022 yılları arasına ait yulaf kg/da verim değerleri (Tablo 3.12) Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) elde edilmiştir. Verim değerleri tablosu RDI değerlerinin hesaplandığı yıllara göre düzenlenmiştir, belirtilen yılda RDI sonucu yoksa tabloda yıldız koyulmuştur.

Tablo 3.7. Buğday (Durum Buğdayı Hariç) Kg/Dekar Verim Değerleri

Yıllar	Bilecik	Bozüyük	Pazaryeri	Söğüt
2004	323	298	*	*
2005	300	300	*	*
2006	222	261	222	198
2007	182	234	226	202
2008	239	278	239	254
2009	262	224	224	245
2010	210	210	210	196
2011	226	265	226	247
2012	207	203	233	230
2013	205	233	236	256
2014	220	279	274	350
2015	156	174	222	265
2016	152	221	240	300
2017	154	307	252	305
2018	154	192	252	229
2019	119	291	251	304
2020	298	260	196	313
2021	264	*	176	229
2022	*	*	*	278

Kaynak: (URL-1, 2024)**Tablo 3.8. Şerbetçiotu Kg/Dekar Verim Değerleri**

Yıllar	Bilecik	Pazaryeri
2004	370	*
2005	500	*
2006	500	519
2007	400	520
2008	400	573
2009	414	520
2010	450	530
2011	450	500
2012	500	510
2013	500	525
2014	420	530
2015	422	550
2016	200	575
2017	200	575
2018	200	575
2019	179	575
2020	600	575
2021	702	575

Kaynak: (URL-1, 2024)

Tablo 3.9. Arpa Kg/Dekar Verim Değerleri

Yıllar	Bilecik	Bozüyük	Pazaryeri	Söğüt
2004	342	312	*	*
2005	243	330	*	*
2006	188	300	282	207
2007	225	250	300	220
2008	219	286	286	286
2009	199	245	245	253
2010	158	229	178	198
2011	151	278	258	254
2012	204	259	292	245
2013	197	293	287	279
2014	224	309	324	324
2015	207	205	259	268
2016	158	262	257	299
2017	150	392	301	340
2018	133	217	267	215
2019	95	317	257	290
2020	215	275	200	272
2021	*	*	*	204
2022	*	*	*	229

Kaynak: (URL-1, 2024)**Tablo 3.10.** Çavdar Kg/Dekar Verim Değerleri

Yıllar	Bilecik	Bozüyük	Pazaryeri	Söğüt
2004	289	164	*	*
2005	248	179	*	*
2006	200	200	220	220
2007	250	200	200	220
2008	200	250	251	300
2009	205	275	270	330
2010	192	230	250	240
2011	200	275	270	320
2012	200	250	255	300
2013	230	250	240	295
2014	268	306	318	428
2015	251	202	267	354
2016	220	293	264	341
2017	260	355	332	414
2018	219	250	280	250
2019	209	280	280	350
2020	200	300	280	351
2021	206	*	307	242
2022	*	*	*	279

Kaynak: (URL-1, 2024)

Tablo 3.11. Mısır Kg/Dekar Verim Değerleri

Yıllar	Bilecik	Bozüyük	Pazaryeri
2004	644	525	*
2005	694	554	*
2006	574	568	267
2007	571	537	220
2008	485	521	328
2009	460	500	323
2010	351	396	336
2011	297	367	329
2012	350	354	378
2013	289	333	333
2014	227	303	318
2015	190	250	390
2016	222	647	267
2017	160	607	486
2018	174	593	500
2019	154	600	375
2020	100	538	300
2021	*	*	227

Kaynak: (URL-1, 2024)**Tablo 3.12.** Yulaf Kg/Dekar Verim Değerleri

Yıllar	Bilecik	Pazaryeri	Söğüt
2004	298	*	*
2005	233	*	*
2006	200	200	200
2007	155	195	200
2008	101	240	220
2009	102	260	300
2010	150	260	251
2011	180	265	271
2012	180	268	251
2013	195	257	282
2014	198	267	339
2015	187	249	234
2016	163	229	230
2017	147	238	229
2018	160	260	251
2019	156	260	300
2020	200	260	352
2021	200	260	222
2022	*	*	267

Kaynak: (URL-1, 2024)

3.2. Yöntem

3.2.1. Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) ve Kuraklık İndeksi Hesaplayıcısı (DrinC) Programı

Çalışmada, Belirlenen Meteoroloji İstasyonu'na ait aylık maksimum ve minimum sıcaklık ve yağış, aylık ortalama sıcaklık ve yağış verileri DrinC programında kullanılmıştır.

DrinC, çeşitli kuraklık indekslerinin hesaplanması için kullanıcı dostu bir araç sunmayı hedeflemektedir. Tasarımının temel amacı, meteorolojik, hidrolojik, tarımsal olmak üzere farklı kuraklık türleri ve farklı konumlar için en geniş uygulanabilirliği sağlamaktır. Ayrıca, kuraklık çalışmalarının genellikle veri kullanılabilirliğinin sınırlı olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde kritik öneme sahip olduğu da hesaba katılmıştır. Bu nedenle, indekslerin seçimi için temel kriterler şunlardır:

a) Yazılımın birçok bölgede uygulanmasına izin veren nispeten düşük veri gereksinimleri olması

b) Sonuçlarının doğrudan ve etkili operasyonel kullanım için açıkça yorumlanabilmesi.

Bu kriterlere dayanarak, DrinC içindeki en çok kullanılan indeksler; Keşif Kuraklık İndeksi (RDI), Akış Kuraklık İndeksi (SDI), Standardize Yağış İndeksi (SPI) ve Yağış desilleridir (PD). Söz konusu bu indeksler, gözlemlenen girdi (yağış) ve çıktı (buharlaşma-terleme) arasındaki dengesizliği ve buna bağlı olarak ortaya çıkan su açığını daha hassas bir şekilde belirlemek doğru bir şekilde su açığını ele almak için geliştirilmiştir (Tigkas, vd, 2015). RDI hem kümülatif yağışa (P) hem de potansiyel evapotranspirasyona (PET) dayanır; biri ölçülen (P) ve biri hesaplanan (PET) belirleyicidir. RDI'nin başlangıç değeri (α_k), i'inci yıl için k (ay) zaman diliminde hesaplanması Denklem (3.1)'de verilmiştir (Tigkas, vd, 2015).

$$\alpha_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}, i = 1(1)N \text{ ve } j = 1(1)k \quad (3.1)$$

Eşitlikteki;

P_{ij} : i yılının, j ayı yağışı

PET_{ij} : i yılının, j ayının potansiyel evapotranspirasyon

N: mevcut verilerin toplam yıl sayısını temsil eder.

k=ay

α_k değerleri, geniş bir lokasyon yelpazesinde ve farklı zaman dilimlerinde yapılan testlerde (Tigkas, vd, 2015) hem Log-normal hem de gamma dağılımlarını tatmin edici bir şekilde takip eder. Log-normal dağılımın geçerli olduğu varsayılarak, RDI_{st} hesaplanışı Denklem (3.2)'de verilmiştir.

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\bar{\sigma}_y} \quad (3.2)$$

$y^{(i)}$ = i yılının α_k değerinin logaritması

$\bar{y}$ = tüm α_k değerlerinin aritmetik ortalamasını

$\bar{\sigma}_y$ = α_k değerlerinin logaritmalarının standart sapması

DrinC programından çıktı olarak Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) bulunmaktadır, çıkan sonuç RDI kuraklık sınıflandırma değerlerine göre yorumlanmaktadır (Tablo 3.13).

Tablo 3.13. Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) Sınıflandırması

Kuraklık Kategorisi	RDI
Kuraklık yok	$RDI \geq 0.0$
Hafif kurak	$-1.0 \leq RDI < 0.0$
Orta derece kurak	$-1.5 \leq RDI < -1.0$
Şiddetli kurak	$-2.0 \leq RDI < -1.5$
Aşırı kurak	$RDI < -2.0$

3.2.2. WinTR-55 Programı

Bu çalışmada tarımsal taşkın hesaplaması için WinTR-55 modeli kullanılmıştır. WinTR-55 modeli, pik yüzey akış debi miktarının hesaplanmasında NRCS-TR 55 yöntemini temel almaktadır. Aşağıda NRCS-TR 55 yöntemi detaylı olarak açıklanmaktadır. Küçük kırsal ve kentsel havzalarda pik yüzey akış miktarının belirlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan NRCS-TR 55 yöntemi, 24 saatlik yağış miktarı verilerinin varlığında ve havzanın alanının 900 ha'dan küçük, ortalama eğiminin de %0,5'ten büyük olması durumunda sağlıklı bir şekilde kullanılabilir. NRCS-TR 55 tabanlı (yöntemini kullanan) bir bilgisayar simülasyon modeli olan WinTR-55 modeli ise maksimum 10 alt havzası olan ve alanı 6500 hektara kadar olan havzalarda güvenle kullanılabilir. Modelde kullanılan yöntem eşitliği Denklem (3.3)'de verilmiştir. Modeldeki bu eşitliğin güvenilir sonuçlar

verebilmesi için eğri numarasının (CN) kırktan büyük ve T_c 'nin 0.1 ile 10 saat arasında olması gerekmektedir (Huffman vd. 2013).

$$q_p = q_u A Q F_p \quad (3.3)$$

Eşitlikteki;

q_p = Pik yüzey akış debisi (m^3/s)

q_u = Birim pik debi (km^2/cm)

A = Havza alanı (km^2)

Q = İstenen tekerrür periyodundaki 24 saatlik yağıştan oluşan yüzey akış derinliği (mm)

F_p = Havzadaki göl ve bataklık oranına göre belirlenen düzeltme faktörü (Tablo 3.14'ten belirlenmektedir.)

Tablo 3.14. Düzeltme faktörü, F_p

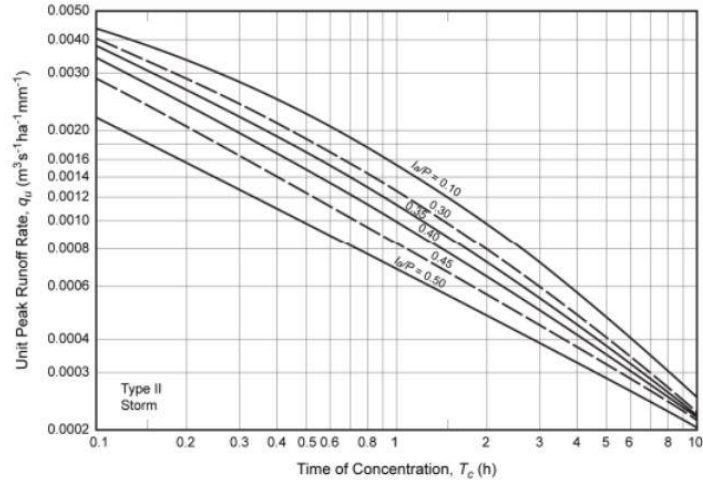
Havzadaki göl ve bataklık alanlarının yüzdesi	F_p
0.0	1
0.2	0.97
1	0.87
3	0.75
5	0.72

Kaynak: (Huffman vd. 2013).

Denklem 3.3.'te kullanılacak F_p değeri Tablo 3.14.'ten belirlenebilmektedir. Denklem 3.4'ten T_c hesaplandıktan sonra T_c ve $\frac{l_a}{p}$ parametreleri kullanılarak birim pik yüzey akış miktarı (q_u) belirlenebilmektedir (Şekil 3.2). (Huffman vd. 2013).

$$T_c = L^{0.8} \left[\frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{4407 (S_g)^{0.5}} \right] \quad (3.4)$$

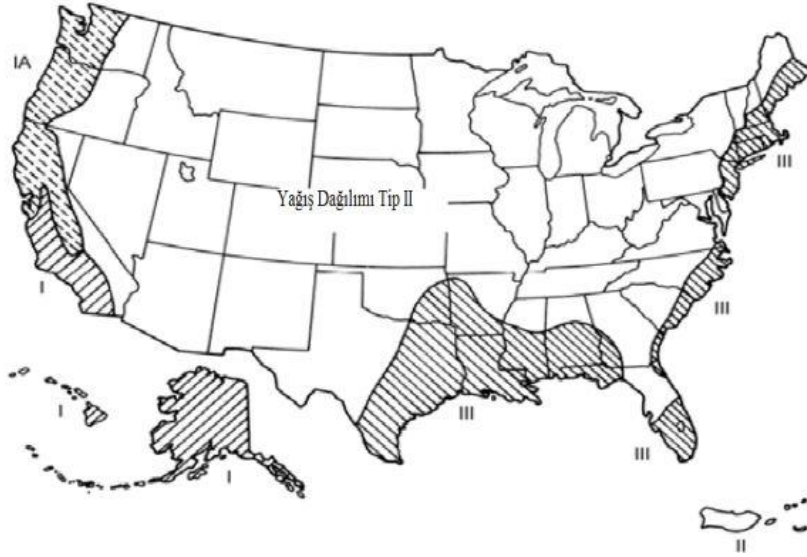
Eşitlikteki; T_c : Konsantrasyon süresini (saat), L : Havzanın en uzak noktasından havza çıkışına olan en uzun su yolu uzunluğunu (metre), CN : Yüzey akış eğri numarasını, S_g : Ortalama havza eğimini (m/m) ifade etmektedir.



Şekil 3.2. NRCS Tip II yağış dağılımı hesabı için birim pik yüzey akış miktarı

Kaynak: (Huffman vd. 2013).

Amerika Birleşik Devletleri'nde yağış dağılımı, (Şekil 3.3) gösterilen coğrafi sınırlara göre Tip I, Tip IA, Tip II ve Tip III olmak üzere dört farklı kategoriye ayrılır. Bilecik'te ki gölet havzaları için Türkiye'de bu tür bölgelere ilişkin bir sınıflandırma mevcut olmadığından, WinTR-55 modeline ABD'nin büyük bölümünde de hâkim olan Tip II yağış dağılımı girilmiştir. Bu tip, ortalama bir dağılımı temsil etmektedir.



Şekil 3.3. ABD'de ki yağış dağılımları

Kaynak: (Alkan, 2016).

WinTR-55 modeli, CN ve T_c değerlerini hesaplamanın yanında, yüzey akış hacmini ve pik debiyi de hesaplayabilme özelliğine sahiptir. Havzanın boyutu, şekli, eğimi, toprak tipi, arazi kullanımı, jeolojik yapısı, bitki örtüsü ve iklimi gibi havza özellikleri T_c değerini etkileyen faktörler arasındadır. T_c değerini hesaplamak için geliştirilen farklı formüller mevcuttur. Bu

formüllerden bazıları akışı, kanal akışı, tabaka akışı gibi kategorilere ayırarak her bir bileşenin toplamını konsantrasyon süresi olarak ifade ederken, bazı formüller ise tek bir eşitlik kullanarak T_c değerini hesaplayabilmektedir. Kirpich'in 1940'ta formüle ettiği ve özellikle gölet havzaları gibi kompakt (toplu) havzalar için önerilen eşitlik Denklem 3.5.'te gösterilmiştir.

$$T_c = k L^{0.77} S^{-0.385} \quad (3.5)$$

Eşitlikteki;

T_c : Konsantrasyon süresi (dakika),

k : sabit bir katsayı (Eğer L uzunluğu metre cinsinden ise 0.0195, feet cinsinden ise 0.0078 alınmaktadır),

L : En uzun su yolu uzunluğu (metre),

s : Ortalama havza eğimini ifade etmektedir.

WinTR-55 modelinde gerekli olan CN değerinin hesaplayabilmek için toprak grubunun sızma değerlerine göre sınıflandırılmıştır (Tablo 3.15).

Tablo 3.15. Toprak sınıfı grupları

Toprak grubu	Tanımı	Yağış ilerledikçe sızma kapasitesinin erişeceği limit değer, f_c (mm/h)
A	En düşük yüzey akış potansiyeli	8-12
B	Nispeten düşük yüzey akış potansiyeli	4-8
C	Nispeten yüksek yüzey akış potansiyeli	1-4
D	En yüksek yüzey akış potansiyeli	0-1

Kaynak: (Huffman vd. 2013).

CN yöntemi olarak da bilinen NRCS grafiksel yöntemi, aşağıda formülüyle birlikte gösterilmektedir (Öztürk ve Apaydın 1997, Huffman vd. 2013).

$$Q = \frac{(l-0.2S)^2}{l+0.8S} \quad (3.5)$$

Q = Yüzey akış miktarı (mm) l = Sağanak yağışın miktarı (mm) S = Akış ve Yağış arasındaki maksimum potansiyel fark (Su tutma potansiyeli) (mm)

$$S = (25400/CN) - 254$$

CN = Yüzey akış eğri numarası

$$l_a = 0.2 S$$

Denklemdaki l_a ; gecikme kayıplarını, yüzey biriktirmelerini, infiltrasyon v.b. etmenleri içermektedir.

3.2.3. İstatistiksel değerlendirme

Veri setinin normal dağılım varsayımını test etmek amacıyla Shapiro-Wilk testi kullanılır. Shapiro-Wilk testi küçük örneklem grupları için en güvenilir ve güçlü seçenek olarak önermektedir. Shapiro-Wilk testinin, özellikle küçük ve orta büyüklükteki örneklem için diğer normallik testlerine (Kolmogorov-Smirnov gibi) kıyasla daha yüksek istatistiksel güce sahiptir (Razali ve Wah, 2011).

Normallik varsayımının sağlanmaması durumunda, değişkenler arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü doğru bir şekilde ölçmek için Pearson yerine Spearman sıra korelasyon katsayısının (ρ) kullanılması gerekmektedir (Schober, Boer, & Schwarte, 2018). Spearman katsayısı, verilerin ham değerleri yerine sıralamalarını kullandığı için aykırı değerlere karşı daha dirençlidir ve parametrik olmayan bir alternatif sunar. Yapılan istatistiksel analizlerin geçerliliği için ön koşul olan normallik varsayımı, öncelikle Shapiro-Wilk testi ile kontrol edilmiştir. Normalliğin sağlanması, t-testi veya Pearson korelasyonu gibi parametrik testlerin güvenilir sonuçlar vermesi için kritik öneme sahiptir (Ghasemi & Zahediasl, 2012).

Normallik ihlali durumunda Pearson'a karşı dikkatli olunmasını ve Spearman katsayısının kullanılmasını bilimsel olarak gerekçelendirir. Bu nedenle, Pearson'ın sonuçlarını teyit etmek veya karşılaştırmak için Spearman'ı birlikte sunulabilir. Pearson ve Spearman değerleri arasında büyük bir fark olması ise, ilişkinin doğrusal olmaktan çok monotonik olduğunu veya Pearson'ın aykırı değerlerden etkilendiğini işaret eder (Bishara ve Hittner 2015).

Bu çalışmada hem pearson hem de spearman testi beraberce kullanışmıştır. Temel amaç ise

- Doğrusallık ve Monotoniklik
- Sağlamlık



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. RDI Değerleri

Bu çalışmada, Bilecik Merkez, Pazaryeri, Bozüyük ve Söğüt'e ait bitki verim değerleriyle RDI korelasyonu değerlendirilirken bitki verim değerleri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) kaynaklarından elde edilen verilerin belirli dönemsel kısıtlılıklar taşıdığı tespit edilmiştir. Bu durum, araştırmanın zaman aralığını doğrudan etkilemiştir. Örneğin, Bilecik Merkez ilçesi için bitki verimi verileri 2004-2020 yılları arasını kapsarken, Pazaryeri ilçesi için bu aralık 2006-2021 yılları ile sınırlıdır. Benzer şekilde, Bozüyük ilçesine ait veriler de 2004-2020 yılları arasını kapsamaktadır. Söz konusu bu veri kısıtlılıkları doğrultusunda, araştırmanın temel bileşenlerinden biri olan RDI değerleri, ilgili ilçeler için belirtilen bu tarih aralıklarıyla sınırlandırılmıştır. Bilecik'te en kurak yıl -2,92 ile 2017'de, en nemli yıl ise 1,57 ile 2011'de yaşanırken; Pazaryeri -3,11, Bozüyük-1,84 ve Söğüt'te -1,29 ile en kurak yıl 2007 olmuştur. 2013'te Gölpazarı'nda -1,73, 2014'te İnhisar'da -1,77, 2013'te Osmaneli'nde-1,59 ve 2020'de Yenipazar'da ise -1,27 RDI değeriyle en kurak yıllar olmuştur (Tablo 4.1). Bilecik'in diğer ilçelerinde RDI sonuçlarının hesaplanabilmesi için gerekli yağış ve sıcaklık verilerinin kesiştiği yıllar ise Gölpazarı 2013-2020, İnhisar 2014-2022, Osmaneli 2013-2022, Yenipazar 2014-2022 yılları arasında olduğundan dolayı çalışmaya R^2 açısından bitki verim değerleriyle karşılaştırılmamıştır. RDI sonuçları daha eski yıllara kadar gitmemesi verim değerleriyle daha anlamlı bir sonuç vermeyecektir fakat kuraklığın belirtilen yıllara göre nasıl değiştiğini görebilmek için çalışmaya dahil edilmiştir.

Tablo 4.1. Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) değerleri

Yıllar	Bilecik	Pazaryeri	Bozüyük	Söğüt	Gölpazarı	İnhisar	Osmaneli	Yenipazar
	RDI	RDI	RDI	RDI	RDI	RDI	RDI	RDI
2004	0,84	*	0,8	*				
2005	0,07	*	0,51	*				
2006	-0,87	-1,19	-1,84	-0,88				
2007	-0,82	-3,11	-1,87	-1,29				
2008	0,43	0,46	-0,48	-0,68				
2009	-0,37	0,04	-0,23	-0,13				
2010	-0,27	0,18	-1,19	-0,32				
2011	1,57	1,12	0,55	0,04				
2012	0,26	0,62	-0,25	1,76				
2013	-1,03	0,32	-1,17	3,15	-1,73	*	-1,59	*
2014	0,43	0,51	-0,3	-0,16	0,75	-1,77	0,30	-0,93
2015	-0,96	1,16	0,55	0,23	1,56	2,07	2,08	2,09
2016	-2,22	-0,14	-0,67	-0,40	0,23	0,36	0,58	-0,33
2017	-2,92	-0,84	-0,94	-0,46	-1,24	0,27	-0,41	-1,12

Tablo 4.1. Tablonun devamı

2018	-0,27	-0,59	-0,04	-0,16	0,72	-0,68	-0,31	0,34
2019	-0,20	0,03	0,69	0,00	0,05	0,24	0,33	0,33
2020	0,19	0,85	0,25	-0,27	-1,20	-0,31	-1,46	-1,27
2021	0,08	-0,07	*	-0,40	0,17	-0,71	0,43	0,72
2022	*	*	*	-0,33	0,68	0,51	0,04	0,14

4.2. Tarımsal kuraklığın bitki verimiyle korelasyonu

Bu çalışmada, kuraklığın tarımsal üretim üzerindeki etkilerini niceliksel olarak değerlendirmek amacıyla, belirli bitki türlerinin seçimi yapılmış ve bu türlerin verim değerleri ile kuraklık arasındaki ilişki R^2 değerleri üzerinden incelenmiştir. Çalışmaya dâhil edilen başlıca bitkiler; buğday (durum buğdayı hariç) (*Triticum aestivum*), arpa (*Hordeum vulgare*), çavdar (*Secale cereale*), mısır (*Zea mays*), yulaf (*Avena sativa*) ve şerbetçiotu (*Humulus lupulus*) olarak belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, buğday verimi için R^2 değerleri Bilecik merkezde 0.31, Bozüyük'te 0.029, Pazaryeri'nde 0.0038 ve Söğüt'te 0.0025 olarak saptanmıştır. Bu bulgular ışığında, buğdayın yetiştirme döneminde kuraklıktan doğrudan ve belirgin şekilde etkilendiği bölgenin 0.31 R^2 değeri ile Bilecik Merkez olduğu, kuraklığın buğday verimi üzerindeki etkisinin en düşük olduğu bölgenin ise 0.0038 R^2 değeri ile Pazaryeri olduğu gözlemlenmiştir.

Şerbetçiotu özelinde yapılan incelemede, R^2 değeri Pazaryeri'nde 0.195 olarak belirlenirken, Bilecik merkezde 0.0011 olarak tespit edilmiştir. Diğer ilçelerde ise şerbetçi otu verim değerlerine ulaşamadığından R^2 hesaplaması yapılamamıştır. Arpa verimi için hesaplanan R^2 değerleri; Bilecik merkezde 0.1, Pazaryeri'nde 0.07, Bozüyük'te 0.002 ve Söğüt'te 0.0248 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, arpa veriminin kuraklıktan en çok Bilecik Merkez'de etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Çavdar verimi için R^2 değerleri; Bilecik merkezde 0.029, Pazaryeri'nde 0.164, Bozüyük'te 0.0011 ve Söğüt'te 0.0146 olarak bulunmuştur. Mısır veriminde ise; Bilecik merkezde 0.03, Pazaryeri'nde 0.049 ve Bozüyük'te 0.011 R^2 değerleri kaydedilmiştir. Söğüt ilçesinde mısır verim değerlerine ulaşamaması nedeniyle R^2 hesaplaması gerçekleştirilememiştir.

Son olarak, yulaf verimi için R^2 değerleri; Bilecik merkezde 0.31, Pazaryeri'nde 0.62, Bozüyük'te 0.036 ve Söğüt'te 0.0793 olarak hesaplanmıştır. (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Bitki verim değerleriyle RDI korelasyonu

	Bazı Bitkilerin R ² Değerleri			
Bitkiler	Bilecik	Pazaryeri	Bozüyük	Söğüt
Arpa	0.1	0.07	0.002	0.0248
Çavdar	0.029	0.164	0.0011	0.0146
Mısır	0.03	0.049	0.011	*
Yulaf	0.08	0.62	*	0.0793
Buğday	0.31	0.0038	0.029	0.0025
Şerbetçiotu	0.195	0.0011	*	*

Bu bulgulara dayanarak, şerbetçiotunun yetiştirme açısından toplam varyansı açıklama gücünün en yüksek olduğu bölge 0.195 R² değeri ile Bilecik Merkez olduğu, Pazaryeri'nin ise 0.0011 R² değeri ile bu varyansın Bilecik Merkeze göre zayıf kaldığı görülmüştür.

Elde edilen R² değerleri ışığında, tarımsal kuraklığın buğday ve şerbetçiotu üretimini farklı şekillerde etkilediği açıktır. Buğday verimi; Pazaryeri ve Bozüyük'e kıyasla, Bilecik merkezde kuraklıktan daha çok etkilenmiştir. Şerbetçiotu verimi ise; Pazaryeri'ne kıyasla, Bilecik Merkez'de kuraklıktan daha çok etkilenmiştir. Kuraklığın bitki fizyolojisi ve verimi üzerindeki etkilerini daha detaylı incelemek için ek deneyler yapılabilir. Farklı bitki türleri ve kuraklık toleransları araştırılabilir. Bölgesel kuraklık risk haritaları oluşturulabilir ve sulama planlaması bu haritalara göre yapılabilir

Keşif kuraklık indeksi değerlerinin normal dağılıp dağılmadığını bulmak için Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. Birçok güçlü istatistiksel test (parametrik testler) ancak veriler normal dağılım gösteriyorsa güvenilir sonuçlar verir. Shapiro-Wilk testi, bu ön koşulun sağlanıp sağlanmadığını belirlemede bu çalışmaya yol gösterecektir. Veriler normal dağılmıyorsa, istatistiksel geçerliliği korumak için non-parametrik bir alternatif seçilmelidir.

Veriler normal dağılıyorsa, RDI ve verim değerleri arasında pearson korelasyonu testi yapmak uygundur, normal dağılmıyorsa Spearman testi uygulamak doğru olacaktır. Shapiro-Wilk testi Python yazılımıyla incelenmiştir ve Bilecik ve Söğüt'te RDI değerleri normal dağılmamıştır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) ile Shapiro-Wilk testi

Merkez Adı	Keşif Kuraklık İndeksinin Shapiro-Wilk Test İstatistiği			
	Test İstatistiği (W)	p-değeri	$p \leq 0.05$	Sonuç (Normallik)
Bilecik (Merkez)	0.9381	0.2688	Hayır	Normal Dağılmıştır
Bilecik (Pazaryeri)	0.8531	0.0152	Evet	Normal Dağılmamaktadır
Bilecik (Bozüyük)	0.9351	0.2645	Hayır	Normal Dağılmıştır
Bilecik (Söğüt)	0.7309	0.0003	Evet	Normal Dağılmamaktadır

Spearman sıra korelasyonu katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu test, verilerin sayısal değerlerinden ziyade, onların sıralamasına odaklanır. Yani, en büyük değerden en küçük değere doğru yapılan sıralamaya göre bir ilişki olup olmadığını inceler.

Spearman testinin sonucunda elde edilen katsayı (Spearman korelasyon katsayısı) -1 ile +1 arasında bir değer alır. Bu değer yorumu şöyledir:

- +1'e Yakın Değer: Değişkenler arasında pozitif ve güçlü bir ilişki vardır. Yani, bir değişken arttıkça diğeri de düzenli olarak artar.
- -1'e Yakın Değer: Değişkenler arasında negatif ve güçlü bir ilişki vardır. Yani, bir değişken arttıkça diğeri düzenli olarak azalır.
- 0'a Yakın Değer: Değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır.

Spearman test çıktısı olan p değeri <0.05 ise: Bu, bulduğumuz ilişkinin tesadüfen ortaya çıkma olasılığının çok düşük olduğu anlamına gelir. Bu durumda, iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olduğunu kabul ederiz. Yani, bu ilişki tesadüfi bir durumdan daha fazlasıdır ve bulduğumuz sonuçlar güvenilirlerdir. Eğer p değeri büyükse (0.05 'ten büyük): Bu, bulduğumuz ilişkinin tesadüfen ortaya çıkma olasılığının yüksek olduğu anlamına gelir. Bu durumda, iki değişken arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

Spearman korelasyon katsayısı yöntemine göre bu çalışmada kullanılan bitkilerin verim değerleriyle ile kuraklık arasındaki anlamlı ya da anlamsız ilişkisi colab uygulaması üzerinden Python yazılım diliyle hesaplanmıştır. Yapılan analizler, bazı bölgelerdeki bitkilerin verim değerleri ile kuraklık arasında istatistiksel olarak anlamlı

ve güçlü ilişkiler olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, kuraklık arttıkça ilgili bitkilerin verim değerlerinin de benzer şekilde değiştiğini işaret etmektedir. (Tablo 4.4) Tabloda yazan s.k.k. ise spearman korelasyon katsayısıdır. RDI değerleriyle verim değerleri arasında spearman korelasyon katsayısı esas alınarak analiz yapılmıştır. Sonuçlara göre;

- Bilecik'te Buğday: Bilecik'te RDI ile Buğday verim değerleri arasında pozitif yönde, güçlü ve anlamlı bir ilişki belirlenmiştir (S.K.K. = 0.609, $p = 0.007$). Bu durum, kuraklığın azalmasıyla buğday veriminin de arttığı şeklinde yorumlanabilir.
- Pazaryeri'nde Yulaf: Pazaryeri'nde RDI ile Yulaf verim değerleri arasında pozitif yönde, güçlü ve anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir (S.K.K. = 0.601, $p = 0.014$).
- Söğüt'te Yulaf: Söğüt'te RDI ile Yulaf verim değerleri arasında pozitif yönde, çok güçlü ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur (S.K.K. = 0.681, $p = 0.003$).
- Diğer ilçelerde tüm S.K.K. (spearman korelasyon katsayısı) değerlerinin p -değerleri 0.05'ten büyüktür. Bu durum, bu bölgelerdeki Arpa, Çavdar, Mısır ve Şerbetçi Otu gibi diğer bitki türleri için kuraklık ile verim arasında anlamlı bir ilişkinin bulunmadığı anlamına gelir. Bu bitkilerdeki verim değişiklikleri kuraklıkla doğrudan ilişkili değildir veya gözlemlenen ilişkiler tesadüfi olabilir.

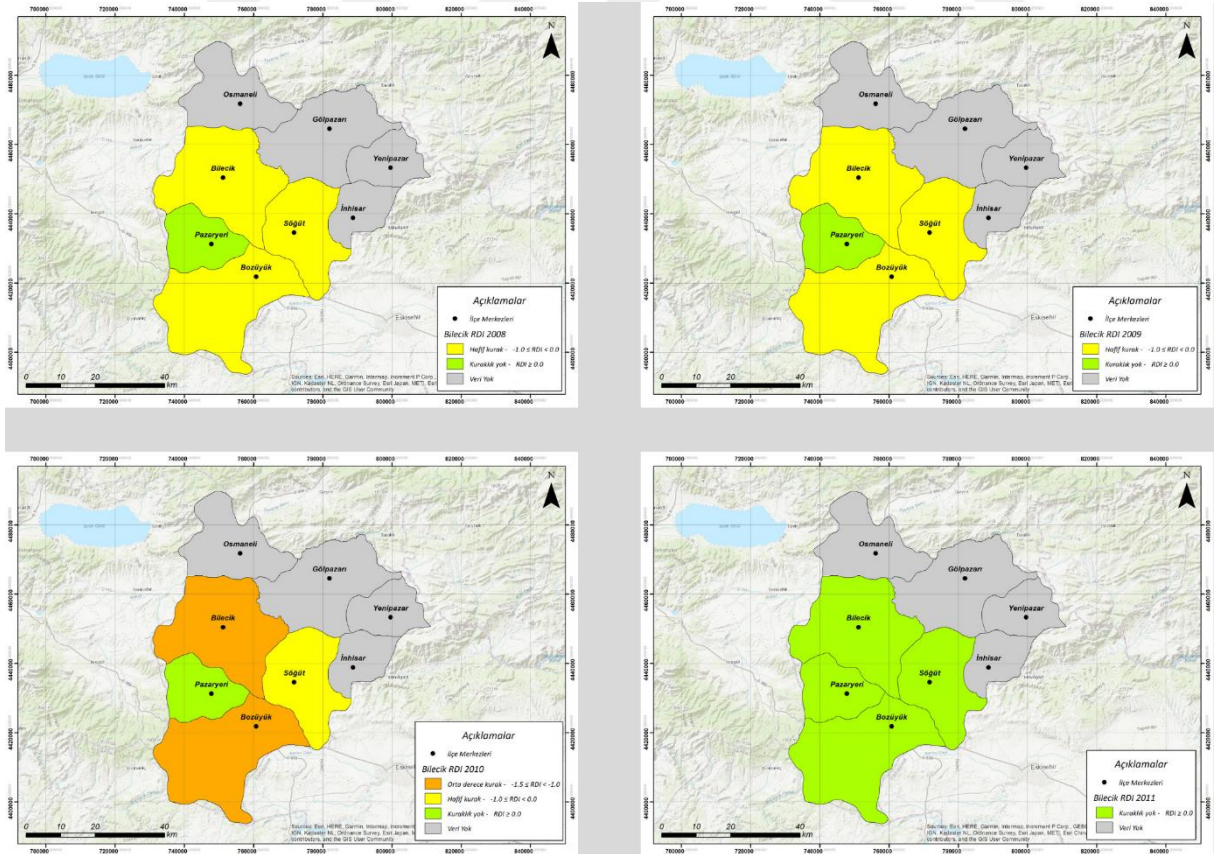
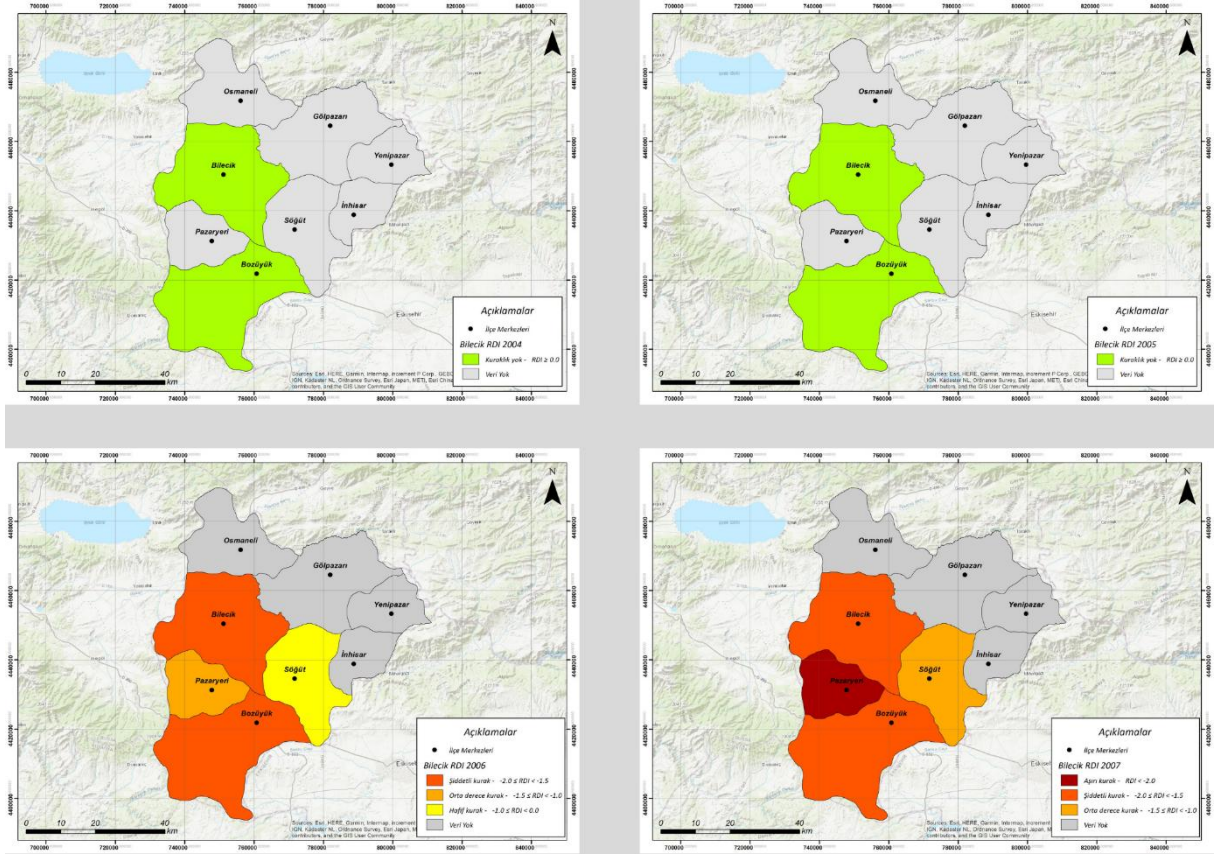
Tablo 4.4. Spearman testi sonuçları

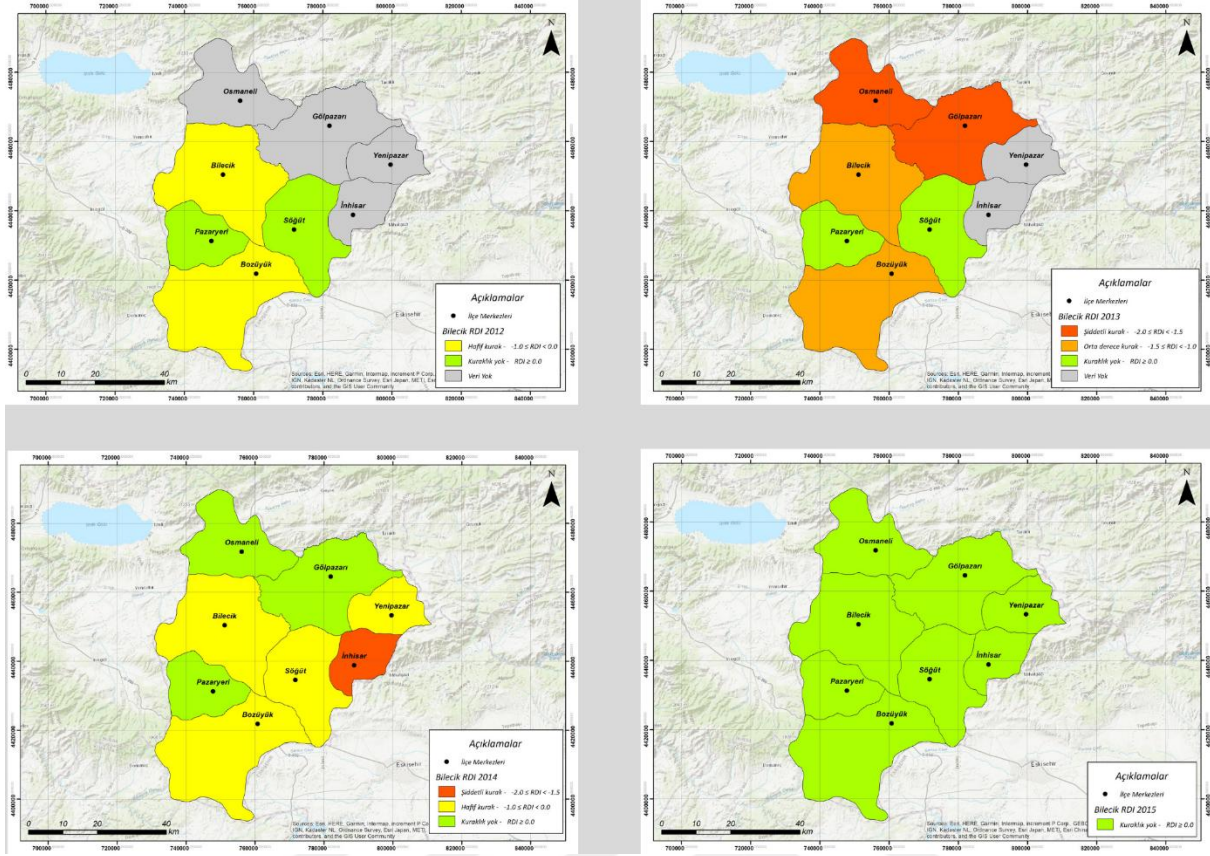
	Arpa	Çavdar	Buğday	Mısır	Şerbetçi Otu	Yulaf
Bilecik	S.K.K. 0.343 p-değeri: 0.164	S.K.K. -0.216 p-değeri: 0.389	S.K.K. 0.609 p-değeri: 0.007	S.K.K. -0.186 p-değeri: 0.474	S.K.K. 0.209 p-değeri: 0.404	S.K.K. 0.282 p-değeri: 0.257
Pazaryeri	S.K.K. -0.124 p-değeri: 0.648	S.K.K. 0.123 p-değeri: 0.651	S.K.K. -0.187 p-değeri: 0.488	S.K.K. 0.258 p-değeri: 0.336	S.K.K. -0.213 p-değeri: 0.428	S.K.K. 0.601 p-değeri: 0.014
Bozüyük	S.K.K. 0.120 p-değeri: 0.646	S.K.K. -0.007 p-değeri: 0.979	S.K.K. 0.177 p-değeri: 0.498	S.K.K. -0.071 p-değeri: 0.786		
Söğüt	S.K.K. 0.156 p-değeri: 0.550	S.K.K. 0.366 p-değeri: 0.148	S.K.K. 0.206 p-değeri: 0.427			S.K.K. 0.681 p-değeri: 0.003

4.3. Tarımsal kuraklığın alansal ve zamansal değişimi

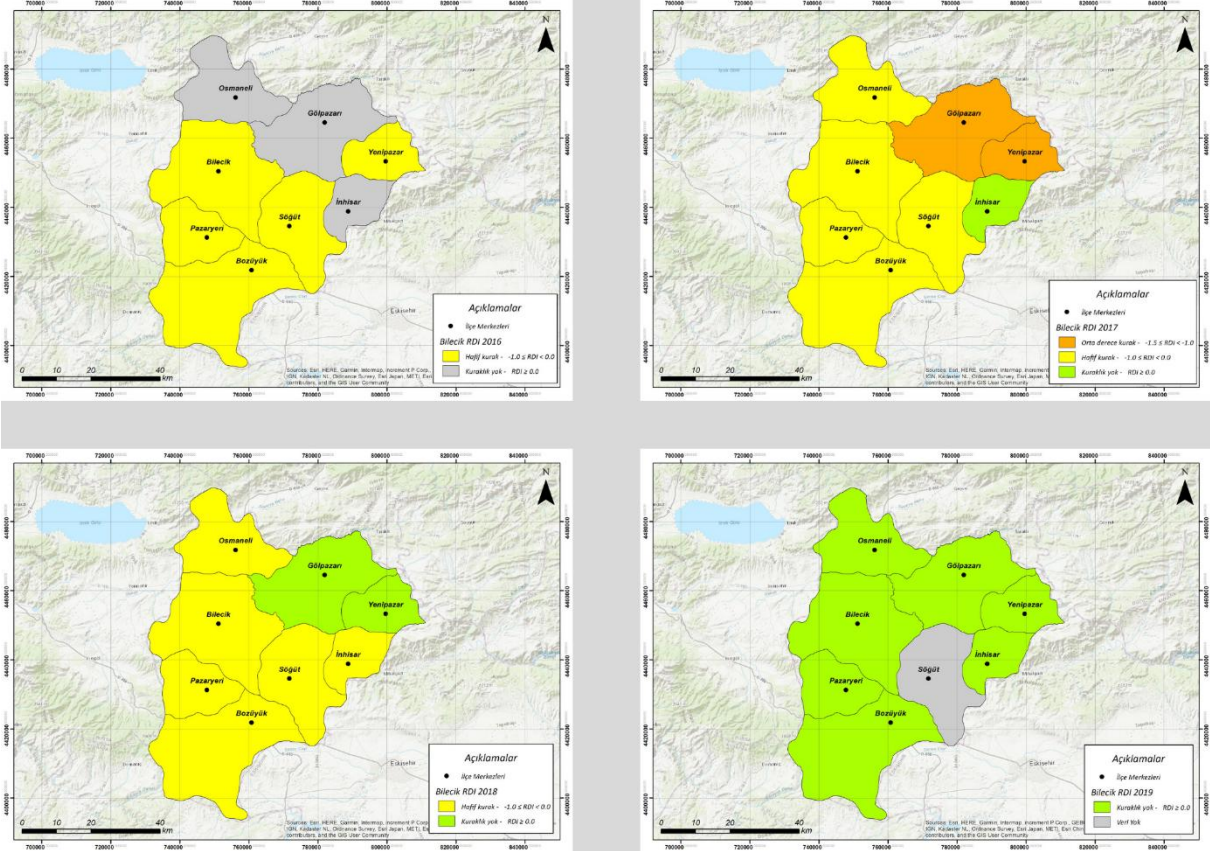
Bu çalışmada ArcGIS 10.8.2 programı kullanılarak Bilecik ve ilçelerinin 2004-2005-2006-2007 (Şekil 4.1) 2008-2009-2010-2011 (Şekil 4.2) 2012-2013-2014-2015 (Şekil 4.3) 2016-2017-2018-2019 (Şekil 4.4) 2020-2021-2022 (Şekil 4.5) yıllarına ait RDI verilerine göre haritalandırma yapılmıştır. Çalışmanın daha eski yıllardaki RDI değerlerine göre haritalandırma yapılamamasının nedeni yağış ve sıcaklık verilerindeki eksiklikten kaynaklanmaktadır. Özetle, bazı yıllarda veri olmamasının nedeni o bölgede RDI hesaplanabilmesi için gerekli olan yağış ve sıcaklık verilerinin olmamasıdır RDI hesaplamasında sıcaklık verisi ve yağış verisi aynı anda olmalıdır. Verilerin birinin eksikliğinde RDI hesaplanamamaktadır. Haritada renklendirme kullanılmış ve renk sınıfına göre o bölgenin kuraklık değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bilgiler ışığında sıcaklık ve yağış bilgileri DrinC programında hesaplandıktan sonra ArcGIS 10.8.2 programında kuraklık sınıflandırma değerlerine göre haritalandırma yapılmıştır.

Analiz edilen haritalarda, incelenen 2004-2022 yılları arası dönemde Bilecik iline bağlı merkez ve ilçelerde meydana gelen önemli kuraklık olaylarını ortaya koymaktadır. Özellikle 2006 yılında Bilecik Merkez ve Bozüyük'ün şiddetli kurak koşulları altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bir sonraki yıl, 2007'de ise kuraklık daha da şiddetlenerek Pazaryeri'nde aşırı kuraklık seviyesine ulaşırken, Bilecik ve Bozüyük'te yine şiddetli kuraklık koşulları hâkim olmuştur. İleri yıllarda da şiddetli kuraklık olayları devam etmiştir; 2013'te Osmaneli ve Gölpazarı'nda ve 2014'te İnhisar'da şiddetli kuraklık gözlenmiştir.

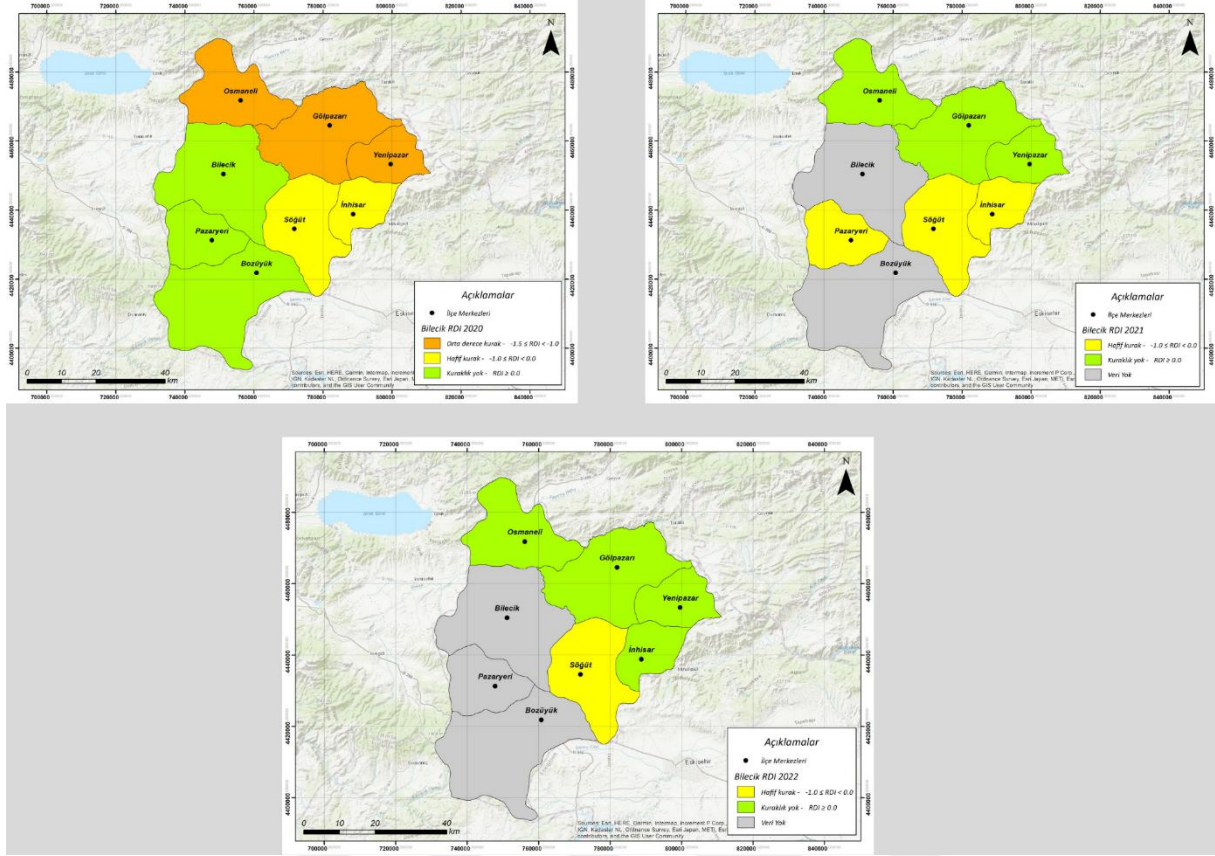




Şekil 4.3. 2012-2013-2014-2015 yıllarına ait kuraklık haritası.



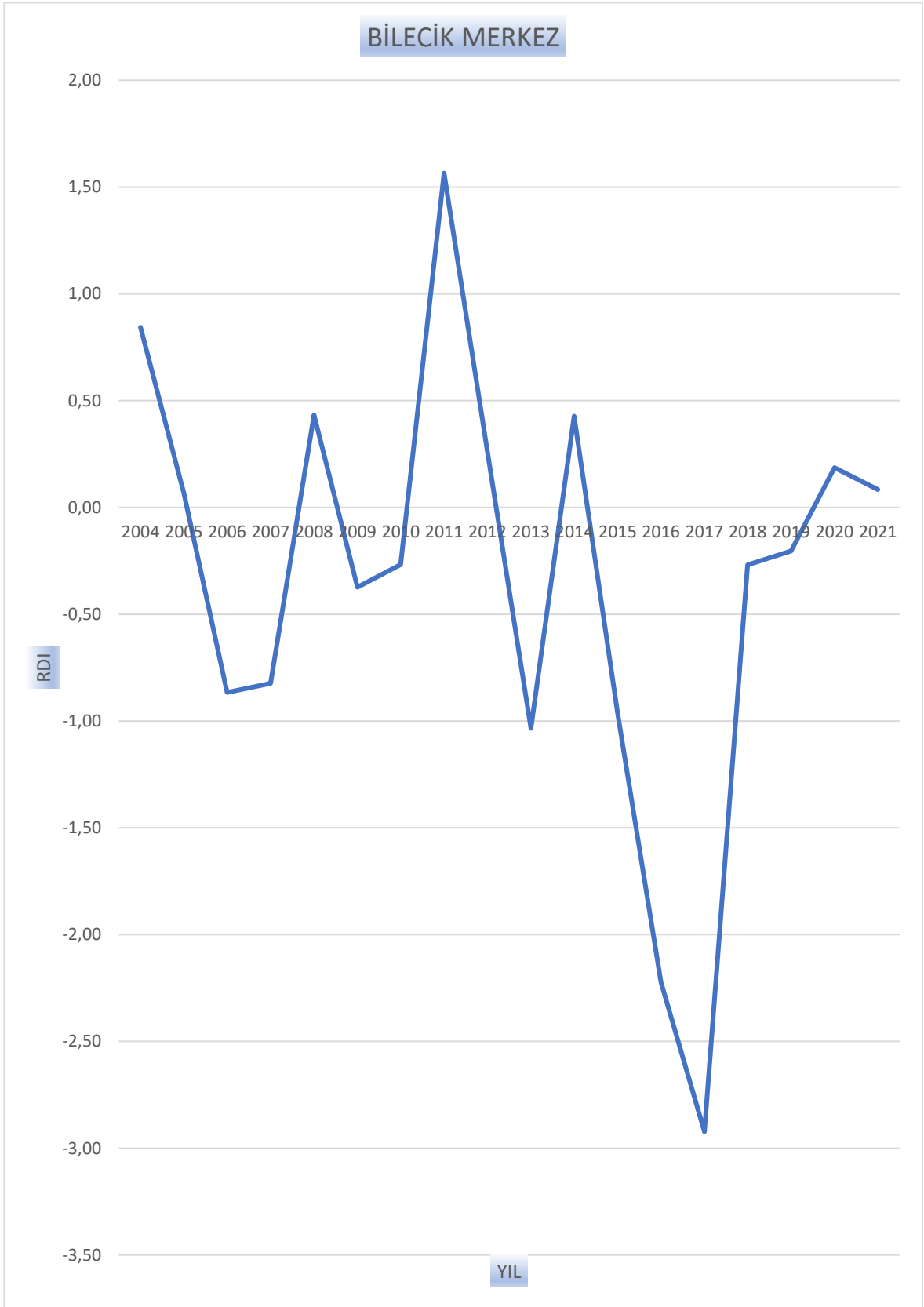
Şekil 4.4. 2016-2017-2018-2019 yıllarına ait kuraklık haritası.



Şekil 4.5. 2020-2021-2022 yıllarına ait kuraklık haritası.

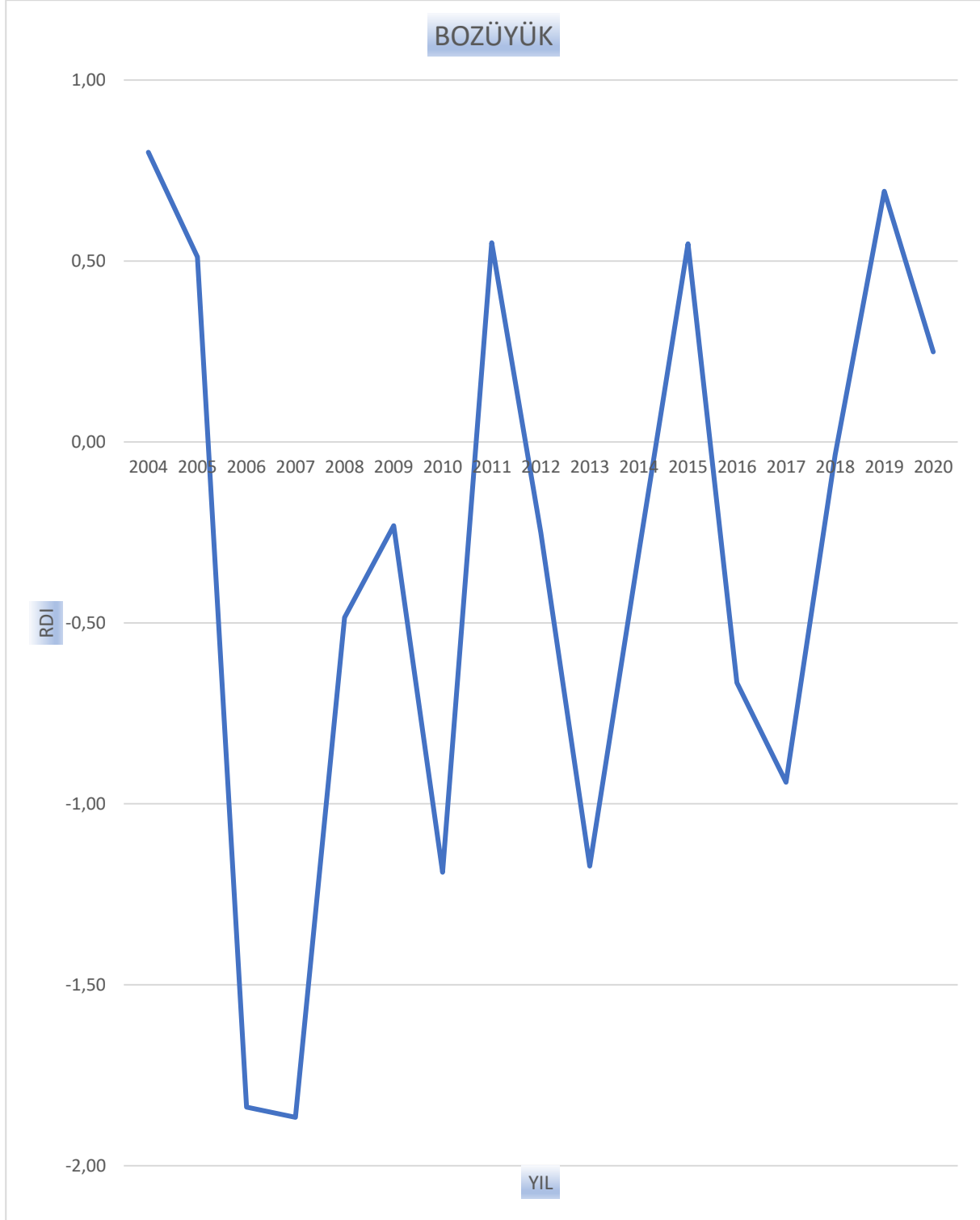
4.4. Tarımsal kuraklığın yıllara göre değişimi

Araştırmada, Bilecik Merkez ilçe, Bozüyük ve Pazaryeri'nin kuraklık şiddetlerinin yıllara göre nasıl değiştiğini analiz edilmiştir. Bilecik'te 2017 yılında kuraklık indeks değerlerinde önemli bir azalış gözlemlenmiştir (Şekil 4.6). Bu dönemde kuraklığın oldukça etkili olduğu söylenebilir. 2011'de ise kuraklık indeks değerlerinde önemli bir artış olduğu görülmektedir. Bu dönem kuraklığın etkisinin en az olduğu yıl olarak karşımıza çıkmaktadır.



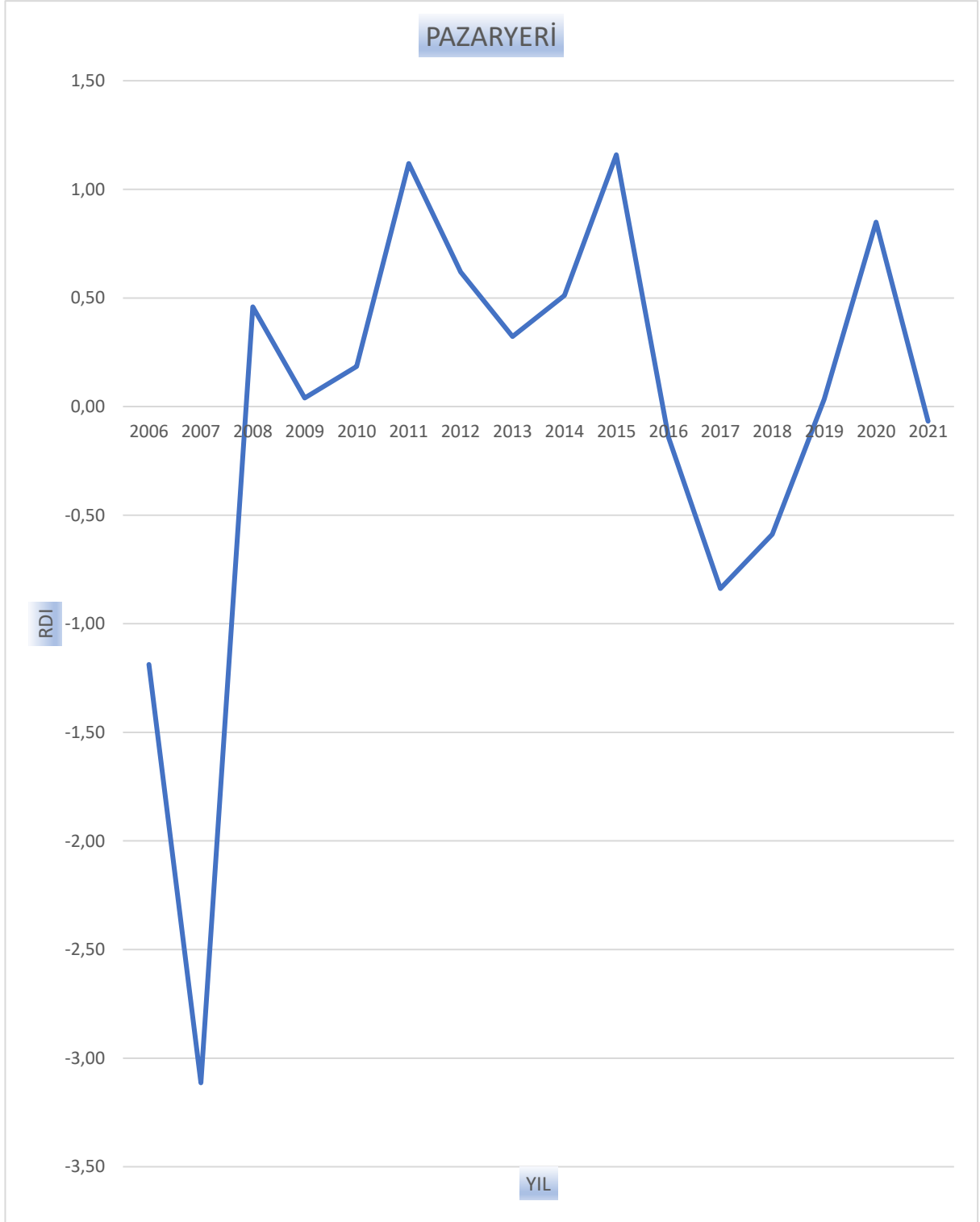
Şekil 4.6. Bilecik şehir merkezi yıllara göre kuraklık değişimi

Bozüyük'te kuraklığın en belirgin olduğu yıllar 2006 ve 2007 olarak görülmektedir (Şekil 4.7). Bu yıllarda kuraklık, etkisini net bir şekilde göstermiştir. 2004 yılında ise kuraklık indeks değerlerinde artış görülmüştür.



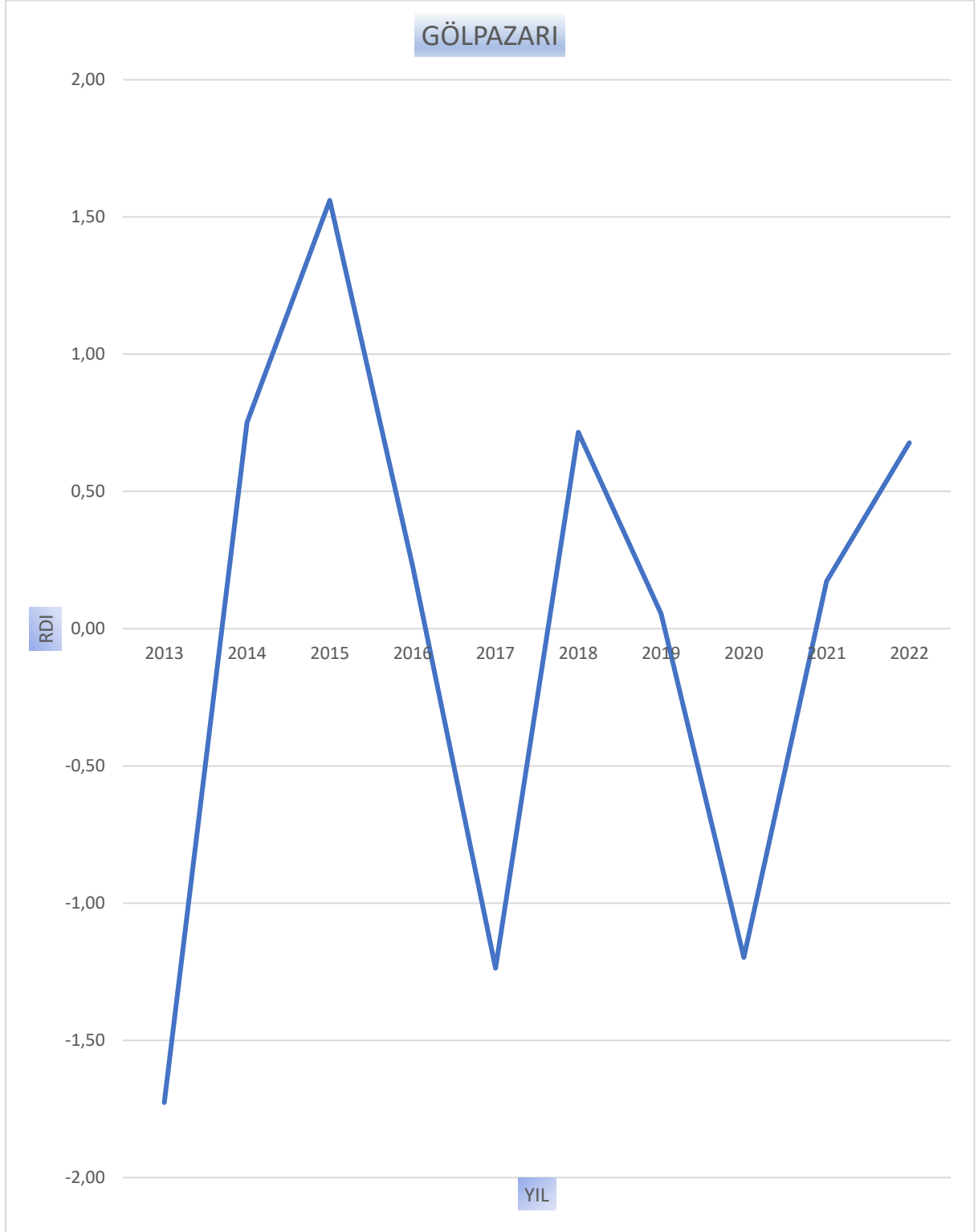
Şekil 4.7. Bozüyük ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi

2007 yılında, Pazaryeri'nde ise kuraklığın etkisinin en yoğun hissedildiği yıl olarak görülmektedir (Şekil 4.8). 2011 ve 2015 yıllarında ise kuraklık indeks değerlerinde artış gözlemlenmiştir.



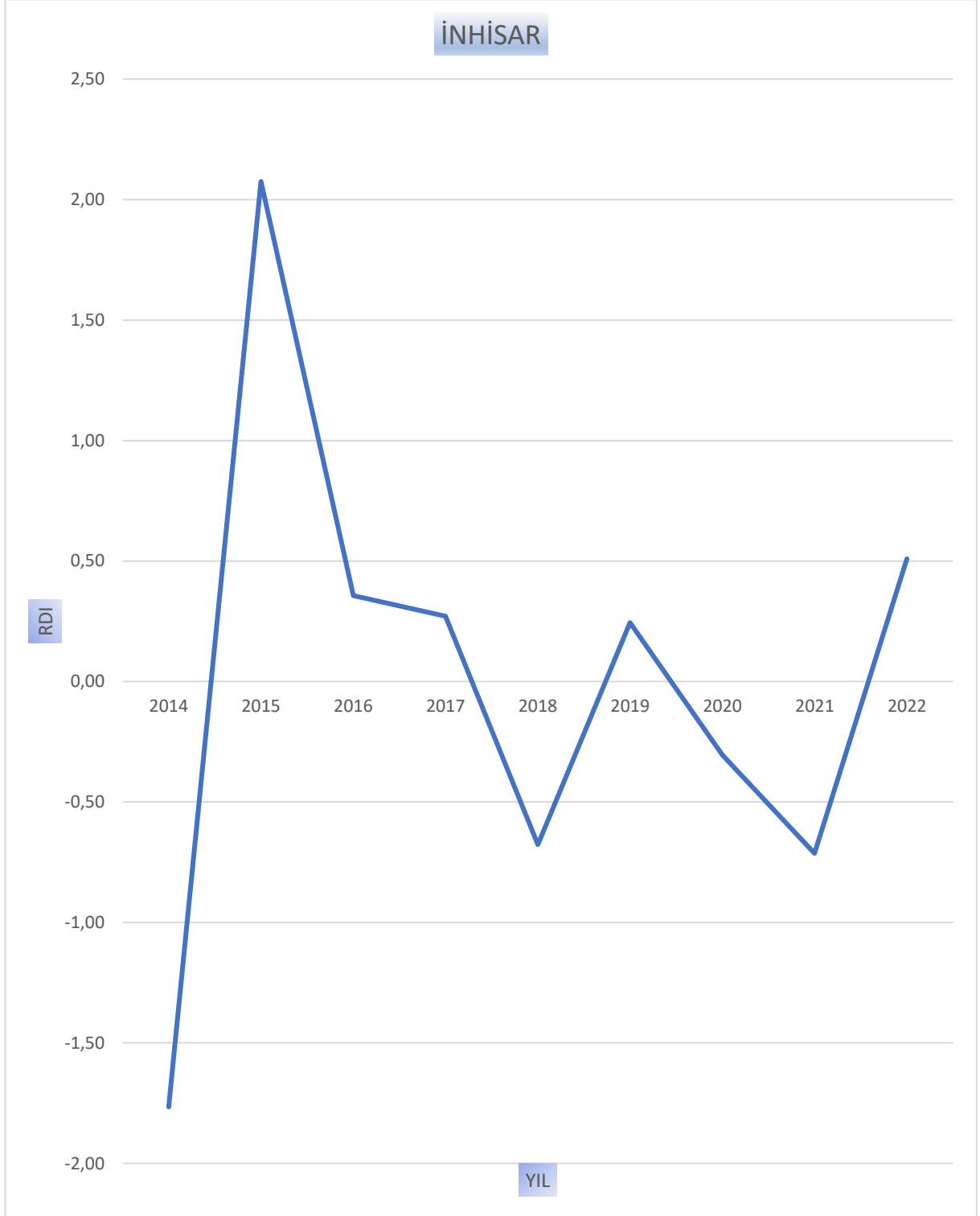
Şekil 4.8. Pazaryeri ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi

2013 yılında, Gölpazarı'nda kuraklığın etkisinin en yoğun hissedildiği yıl olarak görülmektedir (Şekil 4.9). 2015 yılında ise kuraklık indeks değerlerinde artış gözlemlenmiştir.



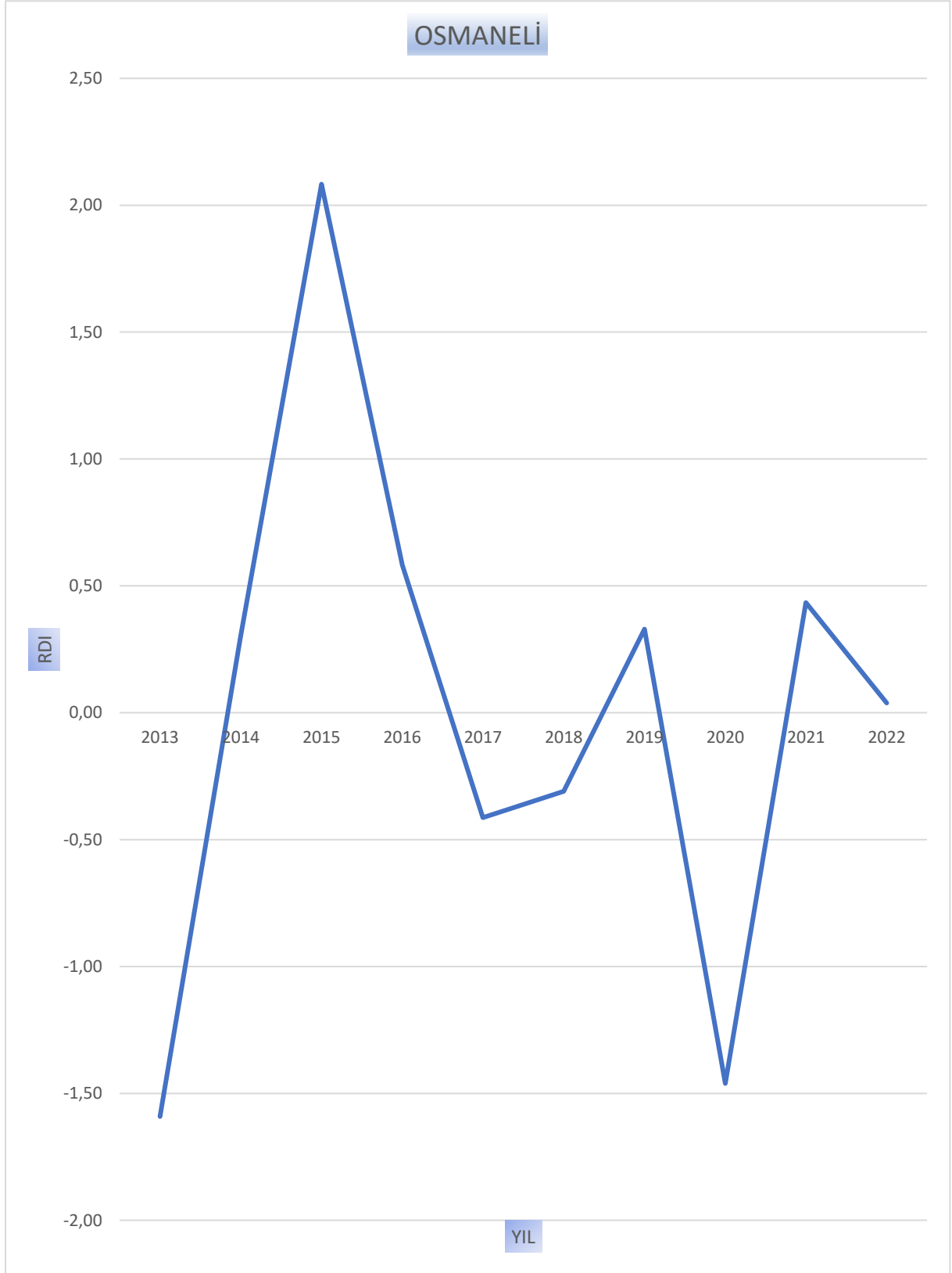
Şekil 4.9. Gölpazarı ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi

2014 yılında, İnhisar’da kuraklığın etkisinin en yoğun hissedildiği yıl olarak görülmektedir (Şekil 4.10). 2015 yılında ise kuraklık indeks değerlerinde artış gözlemlenmiştir.



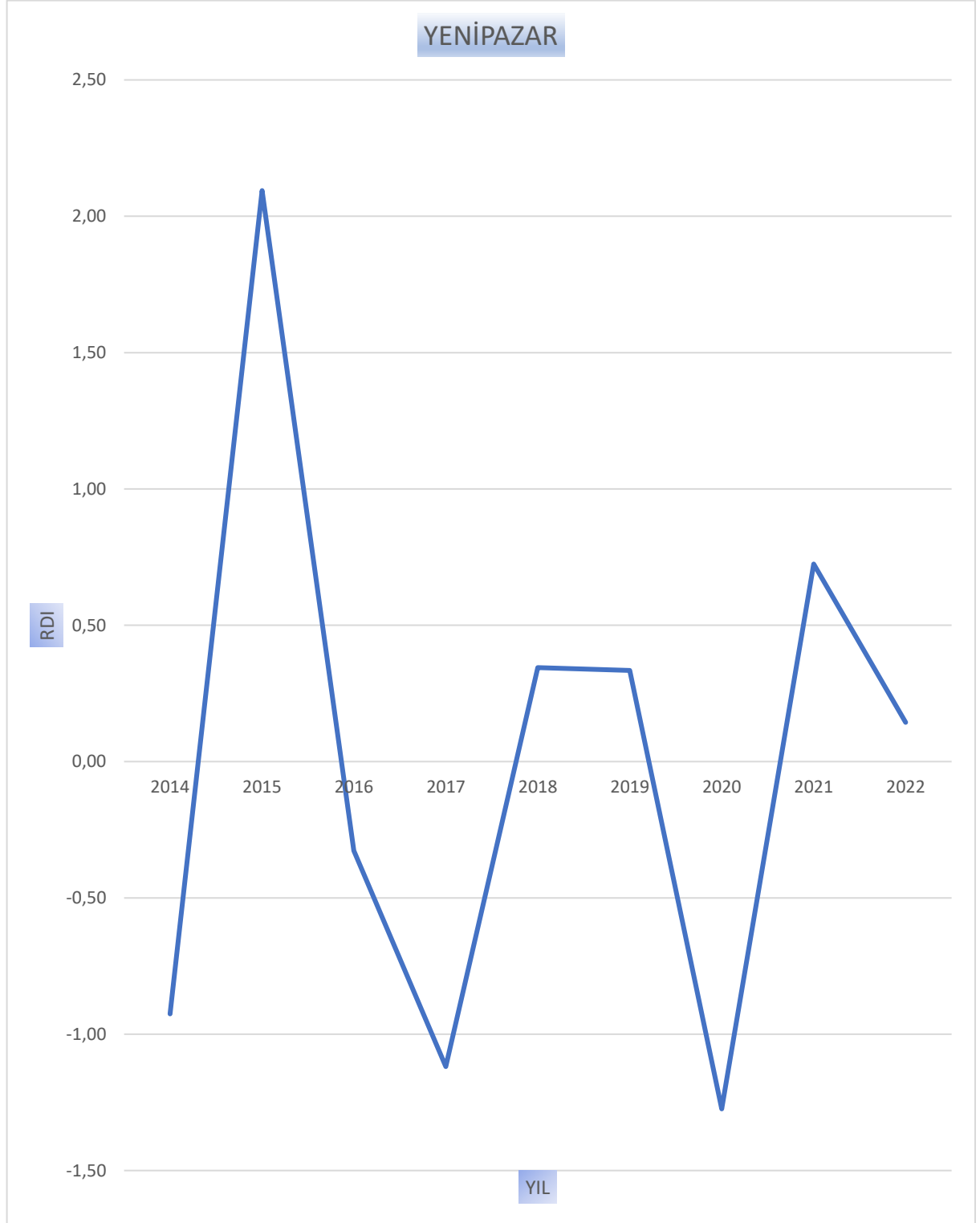
Şekil 4.10. İnhisar ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi

2013 ve 2020 yılları Osmaneli’nde kuraklığın etkisinin en yoğun hissedildiği yıllar olarak görülmektedir (Şekil 4.11). 2015 yılında ise kuraklık indeks değerlerinde artış gözlemlenmiştir.



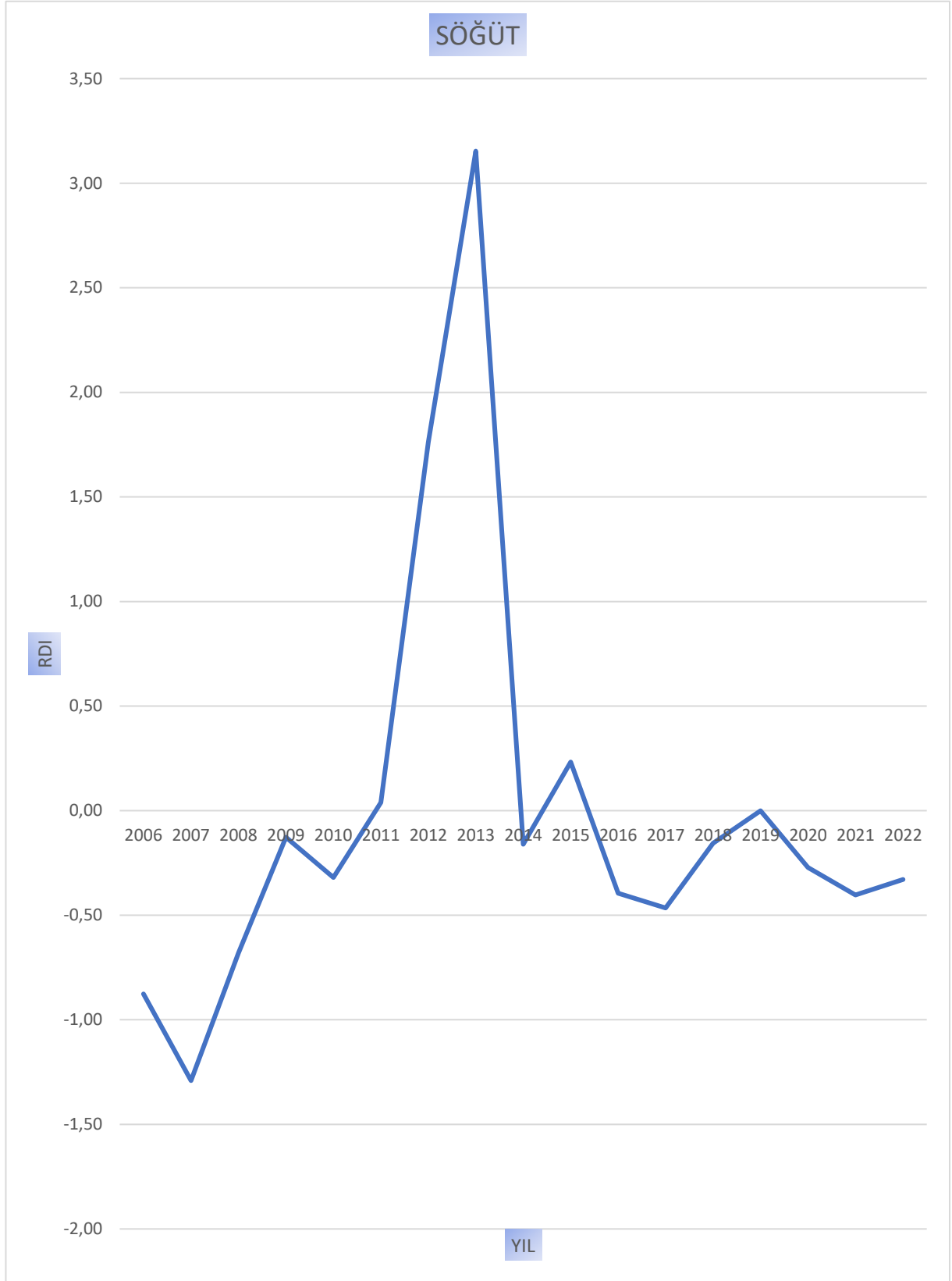
Şekil 4.11. Osmaneli ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi

2017 ve 2020 yılları Yenipazar’da kuraklığın etkisinin en yoğun hissedildiği yıllar olarak görülmektedir (Şekil 4.12). 2015 yılında ise kuraklık indeks değerlerinde artış gözlemlenmiştir.



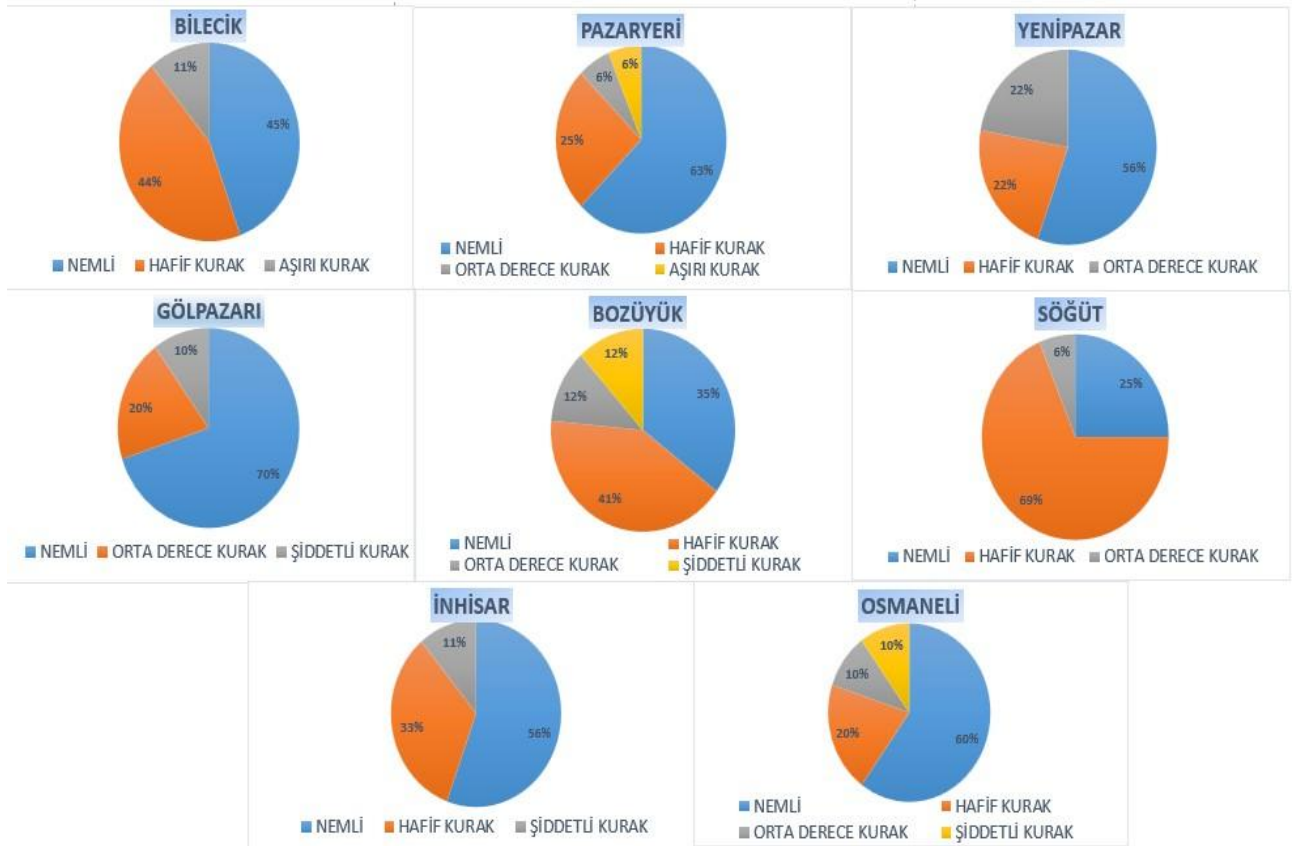
Şekil 4.12. Yenipazar ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi

2006 yılında, Söğüt'te kuraklığın etkisinin en yoğun hissedildiği yıl olarak görülmektedir (Şekil 4.13). 2012 ve 2013 yıllarında ise kuraklık indeks değerlerinde artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. Söğüt ilçesi yıllara göre kuraklık değişimi

Bilecik ve ilçeleri için belirli yıllar arasındaki RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) değerlerinin yıllara göre değişimi grafiklendirilmiştir. Bu genel eğilimleri ve kuraklık periyotlarını daha detaylı incelemek ve kuraklığın farklı şiddet seviyelerindeki dağılımını ortaya koymak amacıyla, her bir çalışma alanı için RDI sonuçları kuraklık sınıflandırmasına göre yüzdesel olarak analiz edilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Yüzdesel anlamda kuraklık sınıflandırması

4.5. Tarımsal Taşkınla İlgili Bulgular

Elde edilen veriler ışığında WinTR-55 programında tekerrür süresi ve karşılığı olarak 24 saatlik yağış miktarları (mm) Tablo 4.5’de gösterilmiştir. Her bir araştırma alanının farklı tekerrür sürelerindeki pik debi değerlerini (m^3/s) belirleyerek sel riskinin karşılaştırılması

analizinin yapıldığı araştırmada, her araştırma alanı için 2,5,10,25,50 ve 100 yıllık tekerrür sürelerine ait pik debi değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.6).

Tablo 4.5. Havzaların 24 saatlik yağış miktarları (mm)

Havza adı	Tekerrür süresi (yıl)	24 saatlik yağış miktarları (mm)
Gölpazarı-Arap deresi	2	29,42
	5	44,12
	10	56,02
	25	73,88
	50	89,39
	100	107
Gölpazarı-Delikbağ deresi	2	29,42
	5	44,12
	10	56,02
	25	73,88
	50	89,39
	100	107
Pazaryeri-Gümüşdere	2	32,07
	5	42,57
	10	50,13
	25	60,37
	50	68,54
	100	77,17
Yenipazar-Çöte	2	31,64
	5	41,08
	10	47,32
	25	55,21
	50	61,06
	100	66,87

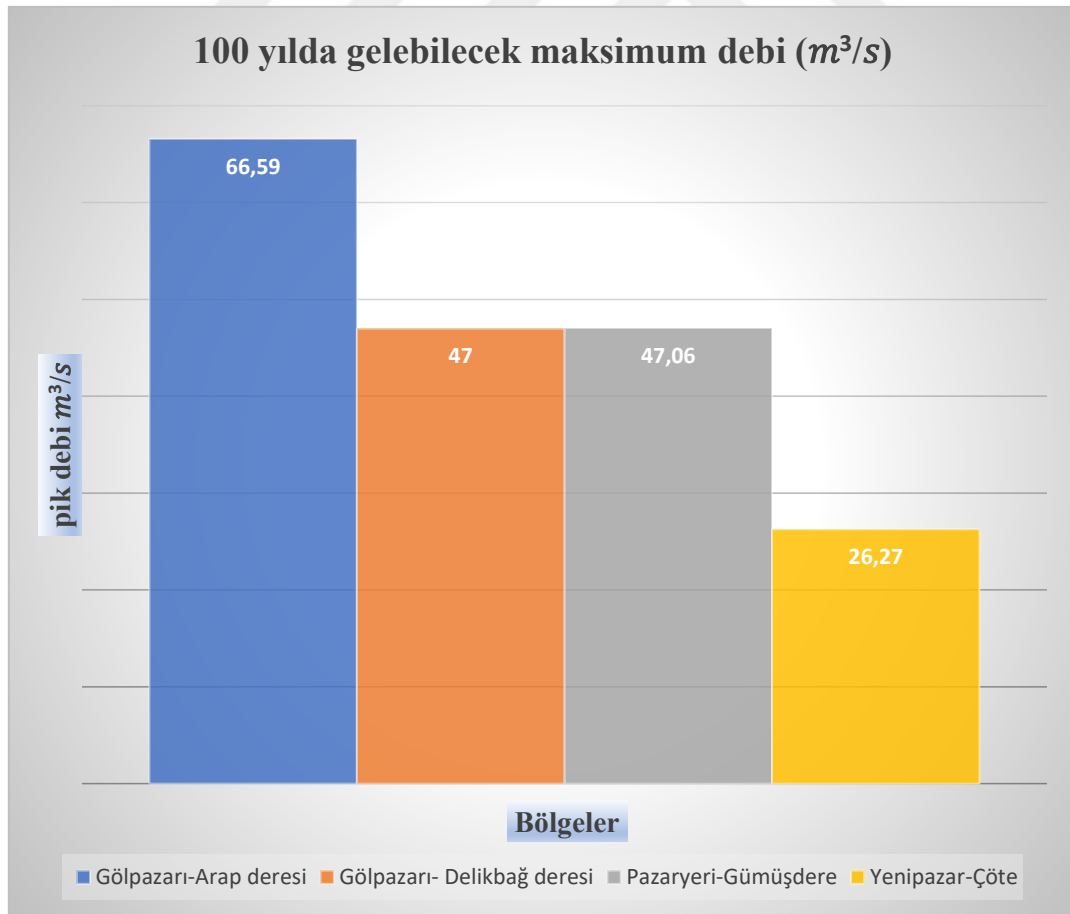
Tablo 4.6. Farklı Tekerrür Sürelerinde Gelebilecek Pik Debi Değerleri

Havza adı	Tekerrür süresi (yıl)	Pik debi değerleri (m^3/s)
Gölpazarı-Arap deresi	2	0,75
	5	7,82
	10	15,74
	25	31,54
	50	47,28
	100	66,59
Gölpazarı-Delikbağ deresi	2	0,53
	5	5,52
	10	11,11
	25	22,26
	50	33,38
	100	47,00

Tablo 4.6. Tablonun Devamı

Pazaryeri-Gümüşdere	2	1,65
	5	8,64
	10	15,16
	25	25,38
	50	35,46
	100	47,06
Yenipazar-Çöte	2	1,13
	5	5,90
	10	9,94
	25	15,79
	50	20,65
	100	26,27

100 yıllık tekerrür süresine ait pik debi değerleri baz alınarak her araştırma alanının sel riski kıyaslanmıştır. Gölpazarı-Arap Deresi 66,59 m³/s ile en yüksek riske sahip alandır. Bunu 47,06 m³/s ile Gölpazarı-Gümüşdere, 47,00 m³/s ile Gölpazarı-Delikbağ Deresi ve 26,27 m³/s ile Yenipazar-Çöte takip etmektedir (Şekil 4.15).

**Şekil 4.15.** 100 yılda gelebilecek pik debi değerleri

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmanın bulguları, 2004-2021 yılları arasındaki RDI sonuçlarına detaylı bir bakış sunmaktadır. Bilecik merkez özelinde incelendiğinde, 2017 yılının -2.92'lik RDI değeriyle (aşırı kurak) en şiddetli kuraklığın yaşandığı yıl olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, Bilecik merkez için en nemli yıl ise 2011 olarak kaydedilmiştir. Bozüyük ilçesinde 2004-2020 yılları arasındaki RDI sonuçlarına göre genel bir kuraklık eğilimi göze çarpmaktadır. Bu dönemdeki en belirgin kurak yıl, -1.87 değeriyle (Şiddetli kurak) 2007 olmuştur. Bozüyük'ün en nemli yılı ise 0.80 değeriyle 2004 olarak tespit edilmiştir. Pazaryeri ilçesinin 2006-2021 yılları arasındaki RDI sonuçları incelendiğinde, bu bölgenin genel olarak daha sulak ve nemli bir seyir izlediği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, Pazaryeri'nde kuraklığın en şiddetli yaşandığı yıl, -3.11 değeriyle (aşırı kurak) 2007 olarak belirlenmiştir. En nemli yıllar ise 2011 ve 2015 olarak kaydedilmiştir.

Çalışmada Bilecik ilinde bulunan 3 meteoroloji istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerlerinden yararlanılarak, RDI kuraklık indislerinin yıllık hesaplanmasını ve bu yıllara ait kuraklık şiddetinin incelenmesini kapsamaktadır. Araştırma, tarımsal kuraklık açısından 2004-2020 yılları arasında Bilecik Merkez ve Bozüyük'te 2006-2021 yılları arasında Pazaryerinde buğday ve şerbetçiotu verim değerleri ile kuraklık indis değerleri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesine odaklanmıştır. RDI sonuçlarına göre kuraklık şiddetinin ve buğday verimindeki değişimlerin belirgin olduğu dönemler tespit edilmiştir.

Çalışmada, 2004-2022 yılları arasındaki Bilecik merkez, Bozüyük ve Pazaryeri ilçelerindeki buğday verim değerleri (durum buğdayı hariç) ile Bilecik merkez ve Pazaryeri ilçelerindeki şerbetçiotu verim değerleri analiz edilmiştir. Belirtilen yıllara ait RDI değerleri ile bu ürünlerin verimleri arasındaki korelasyonlar incelenmiş ve anlamlı sonuçlar tartışılmıştır. Bilecik'in diğer ilçelerinin çalışmaya dahil edilememesi nedeni, söz konusu ilçelere ait ortalama sıcaklık ve yağış verilerine ulaşılabilmesi olmasındır. RDI ve verim değerleri arasındaki R^2 sonuçlarına bakıldığında buğday verimi açısından Bilecik merkez için 0.31, Bozüyük 0.029, Pazaryeri 0.0038; Şerbetçiotu verim değerleri ve RDI arasındaki R^2 sonuçlarına bakıldığında Bilecik merkez 0.195, Pazaryeri ise 0.0011 değerini vermektedir bu sonuçlar ışığında çalışma alanı içerisinde kuraklığın buğday verimini en çok etkilediği yer Bilecik merkez olarak saptanmıştır. Şerbetçiotu için ise kuraklığın verime etkisinin en çok olduğu yer Bilecik merkez olarak belirlenmiştir.

Çalışma bulgularına göre, 2004-2022 yılları arasındaki verim değerleri incelendiğinde, 2009 ve 2015 yıllarında Bilecik merkezde hem buğday hem de şerbetçiotu üretiminde önemli

ölçüde verim kayıpları yaşandığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, Pazaryeri ilçesinde aynı dönemde buğday ve şerbetçiotu verimlerinde kayda değer bir düşüşe rastlanmamıştır. Yapılan RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) analiz sonuçları da bu durumu destekler niteliktedir; 2015-2019 yılları arasında Bilecik merkezde şiddetli kuraklık koşulları yaşanırken, Pazaryeri'nin kuraklıktan Bilecik merkezi kadar olumsuz etkilenmediği tespit edilmiştir. Bu durum, kuraklık koşullarının tarımsal verim üzerinde doğrudan ve belirgin bir etkiye sahip olduğunun önemli bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

Tarımsal taşkınının araştırıldığı bu çalışmada Gölpazarı-Arap deresi, Gölpazarı- Delikbağ deresi, Pazaryeri-Gümüşdere ve Yenipazar-Çöte havzalarının 2,5,10,25,50 ve 100 yıllık tekerrür sürelerinde gelebilecek pik debi değerleri (m^3/s) WinTR-55 programında hesaplanmıştır. 100 yıllık tekerrür süresi baz alındığında Gölpazarı-Arap Deresi $66,59 m^3/s$ ile en yüksek riske sahip alandır. Bunu $47,06 m^3/s$ ile Gölpazarı-Gümüşdere, $47,00 m^3/s$ ile Gölpazarı-Delikbağ Deresi ve $26,27 m^3/s$ ile Yenipazar-Çöte takip etmektedir.

Menteşe ve Akbulut (2023), Bilecik ve Bozüyük istasyonlarının (1964-2021) kuraklık durumunu Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYI) kullanarak incelemişlerdir. Araştırmacılar, her iki ilçenin kurak, normal ve nemli periyot oranlarının birbirine benzer olduğunu bulmuşlardır. Kış mevsiminde de kuraklıklar yaşandığını ve yaz mevsimine kıyasla daha az olsa da mevsimsel kuraklığın bir parçası olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, her iki meteoroloji istasyonunun da henüz ciddi bir kuraklıkla karşı karşıya olmadığını belirtmişlerdir. Bu tezde yapılan çalışma, Bilecik ve Bozüyük ilçeleri arasında kuraklık ilişkisinin benzer olduğunu ve Mentese ve Akbulut'un (2023) çalışmasını destekler nitelikte olduğunu göstermektedir. Ancak, buğdayın R^2 değerleri karşılaştırıldığında Bozüyük'te 0.029, Bilecik için ise 0.31 değerlerinin bulunması, Buğday verimi açısından Bilecik merkezin Bozüyük ilçesine göre kuraklıktan daha çok etkilendiğini göstermektedir. Bu bulgular, Bilecik ve Bozüyük'teki kuraklık durumunun karmaşıklığını ve tarımsal üretim üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır. Farklı bitki çeşitlerinin kuraklığa karşı farklı tolerans seviyelerine sahip olabileceğini hatırlamak ve bu nedenle bitki verim değerleriyle kuraklık şiddetinin her zaman güçlü bir korelasyon göstermeyeceğini de göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Gelecekteki araştırmalar, farklı bitki çeşitlerinin kuraklığa karşı tolerans seviyelerini ve kuraklığın tarımsal üretim üzerindeki etkilerini azaltmak için geliştirilebilecek adaptasyon stratejilerini incelemeye odaklanmalıdır.

Menteşe ve Akbulut (2023) tarafından Bilecik için yapılan çalışmada 2017 yılı kuraklık durumu SPI yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve "çok kurak" bir yıl olduğu sonucuna

varılmıştır. Buna karşın Uysal (2022) tarafından Bursa ili için yapılan çalışmada ise 2017 yılı kuraklık durumu SPEI yöntemi ile incelenmiş ve SPI yöntemine göre daha az kurak bir yıl olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Tarımsal kuraklık açısından değerlendirme yapılan bu tezde Bilecik'te yapılmasına rağmen Bursa'da yapılan araştırma sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir bu durum, kullanılan kuraklık değerlendirme yönteminin, sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. SPI yöntemi, sadece yağış verilerini kullanarak kuraklık şiddetini değerlendirmeye çalışırken, SPEI yöntemi ise evapotranspirasyon gibi diğer faktörleri de göz önünde bulundurarak daha kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır. Bu nedenle, farklı iklim bölgelerinde ve mevsimlerde SPEI yönteminin SPI yöntemine göre daha doğru sonuçlar vermesi beklenmektedir. 2017 yılı kuraklık sonuçlarına ilişkin iki çalışmanın bu tezde yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında SPEI yönteminin SPI yöntemine göre 2017 yılı kuraklık sonuçlarını daha iyi yansıttığını göstermektedir. Bu nedenle, kuraklık analizlerinde SPEI yönteminin kullanılması daha uygun olacaktır.

Alkan, (2016) Bursa ilinde seçtiği bazı gölet havzalarında taşkın debi tahminleri için Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından geliştirilen ve küçük su havzalarına yönelik bir model olan WinTR-55 modelinin uygulanabilirliğini araştırdığı projesinde Mockus, Rasyonel ve DSİ olmak üzere üç sentetik yöntem kullanılarak taşkın debi değerleri tahmin etmiştir. İncelediği on yedi havzadan Kestel Ağlaşan-Kayacık Kızılcıklı dere ve Gemlik Küçükumla gölet havzaları hariç on beşinde, WinTR-55 modelinin sentetik yöntemlere göre biraz daha yüksek taşkın debi değerleri tahmin ettiği görülmüştür. Osmangazi Güneybayır bölgesinde yaptığı araştırmada, 100 yılda bir gelebilecek pik debi değerinin $156,96 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye ulaştığını ortaya koymuştur. Bu değer, araştırma alanı olarak seçilen 4 bölgenin pik debi değerlerinin oldukça üzerindedir ve bu durum, Bursa'nın Osmangazi bölgesindeki yapılaşmanın bu tezdeki 4 bölgeye kıyasla daha yoğun olduğunu göstermektedir. Diğer yandan araştırmacının, Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere bölgesinde $41,13 \text{ m}^3/\text{s}$ pik debi değeri bulması bu tezde ise Pazaryeri-Gümüşdere bölgesinde $47,06 \text{ m}^3/\text{s}$ pik debi değeri tespit edilmesi bu iki bölgenin yakın olması ve benzer yapısal özelliklere sahip olduğu pik debi değerlerindeki benzerlikleri açıklayabilir.

Bu tezde araştırılan 4 bölge içerisinde Gölpazarı-Arap deresi, Gölpazarı-Delikbağ deresi ve Pazaryeri-Gümüşdere bölgesinin Yenipazar-Çöte bölgesine göre 100 yılda gelebilecek pik debi değerlerinin fazla olması 3 bölgenin de Yenipazar-Çöte ye göre yapılaşma ve eğim yönünden fazla olduğunu göstermektedir. Pik debi değerlerini etkileyebilecek diğer faktörler

de göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, arazi örtüsü, yağış miktarı ve iklim değişikliği gibi faktörler de önemli rol oynayabilir.

Gölpazarı-Arap Deresi, taşkın riski açısından diğer araştırma alanlarına göre daha yüksek bir risk taşımaktadır. Sel riskinin yönetilmesi ve önleyici tedbirlerin alınması için bu alan öncelikli olarak ele alınmalıdır. Diğer araştırma alanlarında da sel riskinin azaltılması için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Her araştırma alanı için ayrıntılı sel riski haritaları oluşturulmalıdır. Sel riskine karşı farkındalık ve eğitim çalışmaları yapılmalıdır. Su havzalarının korunması ve sürdürülebilir yönetimi için gerekli adımlar atılmalıdır.

Taylan (2024) Bozüyük'ün 1991-2023 arasında SPI yöntemine göre yaptığı kuraklık analizinde bulduğu değerler. Bu çalışmada ki Bozüyük'te 2004-2020 yılları arasında bulunan RDI sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir.

Tarate vd. (2024), ölçülmeyen havzalarda hidrolojik modellerin çok değerli olduğunu belirtmiştir. Modeller doğru akış tahmini için çok önemlidir. Ayrıca NRCS-CN yöntemi verimli ve üstündür. Bu çalışmada literatürde yaygın yöntemlerden WinTR-55 hidrolojik modeli (içerdiği NRCS-CN yöntemi) kullanılmıştır.

Bu çalışma sonucunda Bilecik'te üretilen Buğday ve şerbetçiotunun kuraklığa karşı duyarlılığı belirlenmiştir. Ayrıca Bilecik'te oluşması muhtemel pik debi miktarı belirlenmiştir. Çalışma Bilecik'te yaşanan kuraklık ve sel gibi büyük afetleri bir arada inceleyerek literatüre katkı sağlayacaktır. Bu çalışma özellikle kuraklık indeksi sonucu ile ürün verimi arasındaki ilişkinin tespit katsayısı ile incelenmesi açısından farklılık yaratmıştır. Gelecekte bölge için farklı kuraklık indeksleri ve hidrolojik modeller kullanılarak elde edilen sonuçların bu çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılması önerilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, Pazaryeri ilçesinde 2007 yılında kaydedilen ekstrem kuraklık değerlerinin (-3.11), Marmara Havzası'nda o dönemde yaşanan daha geniş kapsamlı kuraklık olayları ile paralellik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan kapsamlı Marmara Havzası Kuraklık Yönetim Planı gibi bölgesel raporlar, bu tür şiddetli kuraklık dönemlerine dair genel değerlendirmeler sunmaktadır. Bu çalışmada Pazaryeri'nde gözlemlenen -3.11 RDI değeri gibi ekstrem değerlerin sadece yerel bir sonuç olmadığını, Marmara genelinde yaşanan daha geniş çaplı bir kuraklık olayının parçası olduğunu göstermektedir.

Karaer ve Gültaş (2018) tarafından SPI ile yapılan analiz, Bilecik'te kuraklık periyotlarının yaşandığını göstermektedir. Ancak bizim çalışmamızda RDI'nın kullanılması,

yükselen sıcaklıkların etkisiyle buharlaşma-terleme oranlarının artması nedeniyle kuraklığın daha şiddetli olduğunu ortaya koymaktadır.

Duvan vd. (2021), Bilecik ve ilçeleri için hesapladığı RDI değerlerini, MGM 2015 raporunda belirtilen HadGEM2-ES modelinin bulgularıyla tartışmıştır. Model, gelecek dönem için yağışlarda azalma öngörürken, aynı zamanda sapmaların daha az olacağı kanısına varmaktadır. Ancak bu çalışmada elde edilen kuraklığın yüzdesel dağılım grafikleri bu varsayımla örtüşmemektedir. Grafikler, aynı il içerisinde dahi, Gölpazarı'nın %70 nemli bir profile sahipken, Söğüt'ün %69 oranında hafif kurak bir karaktere büründüğünü göstermektedir. Bu bölgesel çeşitlilik, gelecekte de iklimin ortalamadan daha az sapacağı yönündeki model tahmininin aksine, yerel ölçekteki iklimsel farklılıkların ve düzensizliklerin devam edeceğini işaret etmektedir.

İlgar (2010) Çanakkale Merkez Meteoroloji İstasyonunda 1929-2007 yılları arasında gözlenmiş aylık yağış toplamlarından oluşan veriler kullanmıştır. SYI yöntemini ile 12 aylık (yıllık) ve 3 aylık (mevsimlik) analiz yapılarak incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre, Çanakkale yıllık kuraklık koşullarında artış mevcuttur. Bu çalışmada değerlendirilen Bilecik'in Çanakkale'de kuraklığın incelendiği tarihler arasında sadece 2004 ve 2007 tarihleri kesişmektedir ve İlgar'ın kuraklık sonuçlarıyla paralellik göstermekte ve artış gözlemlenmiştir. Bu değerlerin paralellik göstermesinde iki ilinde Marmara bölgesinde olması dikkat çekmektedir.

Bu çalışma, Bilecik ilinde tarımsal kuraklık ve taşkın riskine karşı geliştirilecek önlemler açısından bölge çiftçiliği için kritik öneme sahiptir. Araştırmada, arpa, çavdar, buğday, mısır, şerbetçiotu ve yulaf gibi ana tarım ürünlerinin verim değerleri ile Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) arasındaki korelasyonel ilişkiyi tespit etmek amaçlanmıştır. Veri setlerinin istatistiksel varsayımları, Shapiro-Wilk normallik testi ile detaylı olarak incelenmiştir. Bu testin sonuçlarına bağlı olarak, ilişkilerin gücünü ve yönünü ölçmek için Parametrik (Pearson) ve Parametrik Olmayan (Spearman Sıra) korelasyon katsayıları kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, bitkisel üretim verimleri ile kuraklık indeksi arasındaki ilişki ortaya koymaktadır. Pearson Korelasyonu sonuçlarına göre, normal dağılım varsayımını karşılayan ürünler arasında Buğday, Bilecik genelinde kuraklıktan en çok olumsuz etkilenen bitkisel ürün olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, buğday verimi ile kuraklık değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı ve güçlü bir doğrusal ilişki olduğunu göstermektedir. Spearman Sıra Korelasyonu sonuçlarına göre ise, normal dağılım göstermeyen veriler incelendiğinde, Yulaf bitkisinin veriminin kuraklıktan etkilendiği, özellikle Pazaryeri ve Söğüt'te bu etkinin anlamlı olduğu

tespit edilmiştir. Bu durum, yulaf verimi ve kuraklık şiddeti arasında monotonik bir ilişki bulunduğunu işaret etmektedir. Pazaryeri'nde Keşif kuraklık indeksi Normal dağılmamasına rağmen yulaf ile istatistiksel olarak pearson korelasyonuna göre yüksek bir sonuç çıkarması ise bu anlamlı ilişkinin aynı zamanda doğrusal bir yapıda da kendini gösterdiğini belirten ek bir bulgu olarak ele alınabilir sonuç olarak Geleneksel salma sulama yerine, su verimliliğini artıran damla sulama ve mikro yağmurlama sistemlerine geçiş teşvik edilmelidir. RDI gibi kuraklık indekslerine dayalı erken uyarı sistemleri oluşturularak çiftçilere ne zaman ve ne kadar sulama yapmaları gerektiği konusunda anlık bilgi sağlanmalıdır. Pazaryeri ve Söğüt'te yulafın kuraklıktan etkilendiği bulgusu, bu ilçelerde yulaf için ek sulama veya yulaf ekiminin kuraklık riskinin düşük olduğu dönemlere kaydırılması üzerine pilot çalışmalar yapılmasını gerektirir. Kuraklık endekslerinin (RDI gibi) ne anlama geldiği ve bu indekslerin tarımsal kararları (ekim zamanı, sulama miktarı) nasıl etkilediği konusunda Bilecik çiftçilerine yönelik pratik eğitimler düzenlenmelidir. Çalışmanın diğer konusu tarımsal taşkın bulguları ise bize Bilecik ilinde tedbir alacağımız öncelikli alanları göstermektedir, bu bağlamda Taşkın önleme projeleri için kaynaklar öncelikle Gölpazarı-Arap Deresi ve Pazaryeri-Gümüşdere havzalarına yönlendirilmelidir. Yüksek pik debi değerlerine sahip havzalarda, dere yataklarının mevcut kesit kapasiteleri hemen gözden geçirilmeli; 50 veya 100 yıllık tekerrür sürelerine dayanabilecek şekilde genişletilmesi veya derinleştirilmesi planlanmalıdır. Yüksek taşkın riski taşıyan (özellikle 25 ve 50 yıllık tekerrür sınırları içindeki) dere yataklarına yakın alanlara yerleşim ve kritik altyapı (hastane, okul vb.) inşası kesinlikle yasaklanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Akın, G.** (2006). Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46(2), 29-43
- Aksay, C. S., Ketenoğlu, O., & Kurt, L.** (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 1(25), 29-42.
- Allan, C., Xia, J., & Pahl-Wostl, C.** (2013). Climate change and water security: challenges for adaptive water management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 625-632.
- Alkan, Ç.** (2016). *Küçük Su Havzaları Hidrolojik Modeli WinTR-55'in Bursa İli Bazı Sulama Gölet Havzalarına Uygulanabilirliğinin Araştırılması* (Yayınlanmış Yüksek Lisan Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Anderson, R., Bayer, P. E., & Edwards, D.** (2020). Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current opinion in plant biology*, 56, 197-202.
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (T.C. SBB),** (2019). *Türkiye Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları 2. Ulusal Gözden Geçirme Raporu "Ortak Hedefler için Sağlam Temeller"* [Erişim: 11.09.2025, https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/03/Surdurulebilir-Kalkinma-Amaclari-Turkiye-2nci-Ulusal-Gozden-Gecirme-Raporu_TR-WEB.pdf]
- Asri, F. Ö., Demirtaş, E. I., Özkan, C. F., & Arı, N.** (2011). Organik ve Kimyasal Gübre Uygulamalarının Hıyar Bitkisinin Verim, Kalite ve Mineral İçeriklerine Etkileri. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 24(2), 139-143.
- Bacanlı, Ü. G., & Kargı, P. G.** (2019). Uzun ve Kısa Süreli Periyotlarda Kuraklık Analizi: Bursa Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 166-174.
- Bakanoğulları, F.** (2020). SPEI ve SPI indisleri kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi Havzasında kuraklık şiddetlerinin analizi. *Toprak Su Dergisi*, 9(1), 1-10.
- Başkaya, Z.** (2013). Gelişimi ve Dağılışı Bakımından Türkiye ipekböcekçiliğinde Bilecik ilinin Yeri, Sorunları ve Çözüm Önerileri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18(30), 257-286.
- Bayazıt, Y.** (2021). Bilecik İlindeki Şehirleşmenin Taşkın Riski Üzerindeki Etkilerinin Bulunduğu. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 217-227.
- Bishara, A. J., & Hittner, J. B.** (2015). Reducing bias and error in the correlation coefficient due to nonnormality. *Educational and psychological measurement*, 75(5), 785-804.

- Çakmak, B., & Gökalp, Z.** (2011). İklim Değişikliği ve Etkin Su Kullanımı. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 87-95.
- Çamurcu, H.** (2005). Dünya Nüfus Artışı ve Getirdiği Sorunlar. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(13), 87-105.
- Demircan, M.** (2022). İklim, İklim Değişikliği ve Su İlişkisi. Küresel İklim Değişikliği ve Sosyo-Ekonomik Etkileri. 47-84.
- Doğan, E., Sönmez, O., Yapan, E., Othan, K., Özdemir, S., & Çitgez, T.** (2013). Aşağı Sakarya Nehrinde Taşkın Yayılım Haritalarının Elde Edilmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 17(3), 363-369.
- Dursun, Y.** (2022). *Coğrafi Bilgi Sistemi ile Taşkın Risk Analizi: Osmaneli/Bilecik Örneği* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Duvan, A., Aktürk, G., & Yıldız, O.** (2021). Meteorolojik kuraklığın zamansal ve alansal özelliklerine iklim değişikliğinin etkisi, Sakarya Havzası Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 207-217.
- Engin, B.** (2012). İklim Değişikliği ile Mücadelede Uluslararası İşbirliğinin Önemi. *Sosyal Bilimler Dergisi*, (2), 71-82.
- Erdoğan, S.** (2020). Enerji, Çevre ve Sera Gazları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 277-303.
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S.** (2012). Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. *International journal of endocrinology and metabolism*, 10(2), 486.
- Gül, G. O.** (2024). Türkiye’de tarımsal kuraklığın uzaktan algılama verileri ile Google Earth Engine üzerinden izlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 71-80.
- Günaydın, G.** (2009). Suyun Piyasalaştırılması, Küresel Tarım-Su İlişkisi. *Memleket Siyaset Yönetim*, 4(10), 33-58.
- Huffman, R. L., Fangmeier, D. D., Elliot, W. J., Workman, S. R., & Schwab, G. O.** (2013). *Soil and water conservation engineering*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- İlgar, R.** (2010). Çanakkale’de Kuraklık Durumu ve Eğilimlerinin Standartlaştırılmış Yağış İndisi İle Belirlenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (22), 183-204.

- Kapluhan, E.** (2013). Türkiye’de Kuraklık ve Kuraklığın Tarıma Etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (27), 487-510.
- Karaer, M., & Gültaş, H. T.** (2018). Kuraklık Oluşumunun Bilecik İlinde Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 303-308.
- Karaman, S., & Gökalp, Z.** (2010). Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 59-66.
- Keskiner, A. D., & Şimşek, O.** (2023). Olasılıklı meteorolojik kuraklık analizi: Göller Yöresinde bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 160-169.
- Kırtorun, E., & Karaer, F.** (2018). Su Yönetimi ve Suyun Sürdürülebilirliği. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(2), 151-159.
- Menteşe, S., & Akbulut, S.** (2023). Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ile Bilecik Merkez İlçe ve Bozüyük İlçesinin Kuraklık Durumunun Belirlenmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 28(49), 40-51.
- Molden, D.** (2013). *Water for food water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture*. Routledge.
- Morid, S., Smakhtin, V., & Moghaddasi, M.** (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(7), 971-985.
- Özçelik, Ş., & Akkuzu, E.** (2023). Ege Bölgesinde Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 60(3), 515-528.
- Özen, G.** (2008). Küresel Isınma Sürecinde Örgütsel Performansın Sürdürülebilir Kılınması Açısından İşletmelerde Eko-Verimlilik Çalışmaları: Örnek Uygulamalar (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Öztürk F.** (2003). Kurukavak Deresi Havzasında Yüzey Akış ve Sediment Miktarının AGNPS Modeli ile Tahmini. *Journal of Agricultural Sciences*, 9(03).
- Öztürk, F., & Apaydın, H.** (1997). Açık Drenaj Kanalı Proje Debisinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi ve Kültürteknik Derneği*, 6, 5-8.

- Razali, N. M., & Wah, Y. B.** (2011). Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), 21-33.
- Richter, G. M., & Semenov, M. A.** (2005). Modelling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales: assessing drought risks. *Agricultural systems*, 84(1), 77-97.
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A.** (2018). Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & analgesia*, 126(5), 1763-1768.
- Selçuk, F., & Gülümser, A. A.** (2023). İklim Değişikliği Etkisinde Türkiye’de Tarımsal Ürün Verimliliği: Bölgesel Bir Değerlendirme. *Bölgesel Kalkınma Dergisi*, 1(04), 425-451.
- Sevinç, M. Y., & Aktuğ, S. S.** (2023). Nüfus Artışının Yol Açtığı Sorunlara Küresel Bakış. *Ankara Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 6, (11)
- Sırdaş, S., & Şen, Z.** (2010). Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması. *İtü Dergisi/d*, 2(2).
- Solak, S., Kılıç, M. Y., & Solmaz, S. K. A.** (2019). Bursa İlinde Sürdürülebilir Kentsel Su Yönetimi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1), 111-124.
- Strateji, T. C., & Başkanlığı, B.** (2019). Türkiye Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları 2. Ulusal Gözden Geçirme Raporu 2019 “Ortak Hedefler İçin Sağlam Temeller”.
- Şarlak, N., Muratoğlu, A., & Tiğrek, Ş.** (2024). Devegeçidi Baraj Gölü meteorolojik-hidrolojik-tarımsal kuraklık analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(1), 16-28.
- Şen, Ö. L.** (2013). Türkiye’de İklim Değişikliğinin Bütünsel Resmi. *Türkiye’de İklim Değişikliği Kongresi (TİKDEK 2013)*, 3-5.
- Tarate, S. B., Patel, N. R., Danodia, A., Pokhariyal, S., & Parida, B. R.** (2024). Geospatial technology for sustainable agricultural water management in india—a systematic review. *Geomatics*, 4(2), 91-123.
- Taylan, E. D.** (2024). An Approach for Future Droughts in Northwest Türkiye: SPI and LSTM Methods. *Sustainability*, 16(16), 6905.
- Tigkas, D., Vangelis, H., & Tsakiris, G.** (2013). The RDI as a composite climatic index. *Eur Water*, 41, 17-22.
- Tigkas, D., Vangelis, H., & Tsakiris, G.** (2015). DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8, 697-709.

Tir, J., & Stinnett, D. M. (2012). Weathering climate change: Can institutions mitigate international water conflict?. *Journal of Peace Research*, 49(1), 211-225.

Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water resources management*, 21, 821-833.

Tsakiris, G., Vangelis, H., & Tigkas, D. (2010). Drought impacts on yield potential in rainfed agriculture. In *Proceedings of 2nd International conference on drought management 'economics of drought and drought preparedness in a climate change context*, s. 191-197.

Tunç, Z. M. B., & Demirbaş, N. (2022). Gıda Güvencesi Ekseninde Küresel Bir Sorun Olarak Tarımsal Kuraklık: Dünyada ve Türkiye'de Yapılan Çalışmalar, 17. *IBANESS İktisat, İşletme ve Yönetim Bilimleri Kongreler Serisi*, 12-13.

Turan, E. S. (2018). Türkiye'nin İklim Değişikliğine Bağlı Kuraklık Durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 63-69.

Türk, M. (2012). Türkiye’de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.

Uysal, G. A. (2022). *Bursa Bölgesinde Zaman Serileri, SPI ve SPEI Kuraklık İndisleri Kullanılarak Kuraklık Analizi Üzerine bir Araştırma* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Yıldırım, Y. E. (2013). Tarımsal Su Yönetimi. Su Kaynaklarının Yönetimi. *Panel Bildirileri*, 15 Mart, Nevşehir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Kamu Yönetimi Bölümü, Nevşehir.

URL-1: [Erişim: 01.03.2025, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>]