

## Meteorolojik Kuraklığın Buğday Verimindeki Etkisinin Değerlendirilmesi: Kızılırmak Havzası Örneği

Fatma YAMAN ÖZ<sup>1\*</sup>, Emre ÖZELKAN<sup>2</sup>, Kürşad DEMİREL<sup>3</sup>, Hasan TATLI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimler Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Çanakkale, Türkiye

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doğal Afetlerin Risk Yönetimi Anabilim Dalı, Çanakkale, Türkiye

<sup>3</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 17020, Çanakkale, Türkiye

<sup>4</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Klimatoloji/Meteoroloji Bilim Dalı, 1720 Çanakkale, Türkiye

\*Sorumlu Yazar: [fatmayamanoz.comu@gmail.com](mailto:fatmayamanoz.comu@gmail.com)

Geliş Tarihi: 08.12.2024 Düzeltme Geliş Tarihi: 17.12.2024 Kabul Tarihi: 17.12.2024

### ÖZ

Çalışmada, tarımsal üretimin fazla ve tarımsal kuraklığın etkili olduğu Kızılırmak Havzası'nda ekstrem kurak ayların ve yılların belirlenmesi ile tarımsal kuraklık-buğday verimi arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. 1991-2022 yılları arasındaki kuraklık – verim ilişkisinin incelendiği çalışmada, havzada oluşan kuraklık koşullarının belirlenmesinde Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) kullanılmıştır. Kuraklık 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemlerde incelenmiştir. Çalışmamızda havzalar arasında aşırı kuraklık değerleri 1994, 2008, 2014 ve 2016 yıllarındadır. Kısa dönemli (1-3 aylık) kuraklık şiddetinin, özellikle çalışma alanının güneyinde karasal iklimin etkili olduğu Kayseri ve Ürgüp istasyonlarında, buğday verimini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Uzun dönemli (6-12 aylık) kuraklık ise 2007-2014 yılları arasında çalışma alanının güney kesimindeki Nevşehir istasyonunda yüksek korelasyon değerlerine sahip olup, kuraklık şiddetinin arttığı dönemlerde verimde ciddi düşüşler gözlemlenmiştir. Kuraklık şiddeti ve tekrarlama sıklığının, karasal iklim özellikleri, atmosferik koşullar ve artan sıcak hava dalgalarıyla birlikte 2000'li yıllardan itibaren belirgin şekilde arttığı, bu durumun da verim kayıplarına yol açtığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, buğdayın yaklaşık hasat zamanı olan haziran ayına kadar yaşanan 6 aylık meteorolojik kuraklıkların Kızılırmak Havzası'ndaki buğday verimine etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma, kuraklık ve verim arasındaki ilişkinin zamanla değiştiğini ve uzun süreli kuraklık koşullarının tarımsal üretimi olumsuz etkilediğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Meteorolojik kuraklık, SPEI, Kızılırmak Havzası, buğday verimi.

## Assessment of the Effect Meteorological Drought on Wheat Yield: A Case Study of Kizilirmak Basin

### ABSTRACT

This research, it was aimed to determine the extreme dry months and years in the Kizilirmak basin, where agricultural production is high and agricultural drought is effective, and to evaluate the relationship between agricultural drought and wheat yield. In the study in which the drought - yield relationship between 1991-2022 was examined, Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) was used to determine the drought conditions in the basin. Drought was analysed in 1, 3, 6, 9 and 12-month periods. In Kizilirmak Basin, the class range of normal arid conditions with the highest average frequency value among the drought classes was determined as -0.99 to 0.99. In this study, extreme droughts among the basins were in 1994, 2008, 2014 and

2016. Short-term (1-3 months) drought severity has a negative effect on wheat yield, especially in Kayseri and Ürgüp stations in the south of the study area where continental climate is effective. Long-term (6-12 months) drought had high correlation values at Nevşehir station in the southern part of the study area between 2007-2014, and serious decreases in yield were observed during periods of increased drought severity. It was determined that drought severity and recurrence frequency increased significantly since 2000s with continental climate characteristics, atmospheric conditions and increasing heat waves, which led to yield losses. The obtained findings reveal that the meteorological conditions of 6 months until June, which is approximately the harvest time of wheat, are effective on wheat yield in Kizilirmak Basin. The study shows that the relationship between drought and yield changes over time and that long-term drought conditions negatively affect agricultural production.

**Key words:** Meteorological drought, SPEI, Kizilirmak basin, wheat yield.

## GİRİŞ

Kuraklık su kaynaklarının kıtlığı, ekosistemde bozulmalar, tarımsal üretim kayıpları, gıda sıkıntısı gibi tehlikelere sebep olan ve sonuç olarak tüm ekosistem ile sosyal kalkınmayı etkileyerek kayıplara yol açan ciddi bir doğal afetdir (Zhou, et al., 2022). İklim değişikliği ile birlikte kuraklık şiddeti ve sıklığı artmaktadır (Wang, Tu, Sing, Chen, & Lin, 2021; Zhou, et al., 2022; Wei, et al., 2024). Sıcaklık artışına bağlı oluşan kuraklıklar aynı zamanda bölgesel yağış miktarının azalması ve evapotranspirasyondaki artıştan kaynaklanmaktadır (Hao, Sing, & Xia, Seasonal Drought Prediction: Advances, Challenges, and Future Prospects, 2018). Etkilerine ve nedenlerine bağlı olarak kuraklıklar meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyoekonomik kuraklıklar olarak sınıflandırılmaktadır (Ndayiragije & Li, 2022). Bu çalışma meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklık ile buğday verimi üzerine olan etkisini analiz etmeye odaklanmaktadır.

Tarımsal kuraklık, belirli bir zamanda belirli miktarda mahsul veya mera büyümesi ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli toprak neminin veya toprak suyunun yetersiz olmasıdır (Li, Liu, Hau, Han, & Chen, 2021; Guo, et al., 2023). Artan sıcaklıklar daha fazla buhar basıncı açığı ve buharlaşma talebini arttırarak evapotranspirasyonun artması ile toprak neminin azalmasına neden olur (Hao, Sing, & Xia, 2018). Bu durum, sıcaklığın evapotranspirasyonu değiştirerek yağış modellerini doğrudan etkilemesi ve bu yolla atmosferik su kaynaklarında meydana gelen değişikliklerin, meteorolojik kuraklık koşullarını şekillendirmesiyle sonuçlanmaktadır (Wei, et al., 2024). Toprak neminin azalması ya da sıcaklık ve yağış eksikliği baskısı sonucu ürün kalitesinde ve üretim potansiyelinde değişiklikler görülebilir (Aydın & Sarptaş, 2018; Camoglu, Demirel, Kahrıman, Akcal, & Nar, 2024). Örneğin hava sıcaklıklarındaki artış yetiştirilen ürünlerin olgunlaşma zamanının kısalması ya da çiçeklenme dönemindeki yüksek sıcaklıklar ile tane/tohum miktarında azalma gibi bitki gelişimine etkisi olacaktır (Moriondo, Giannakopoulos, & Bindi, 2011). Büyüme döngüsü boyunca yaşanan yüksek sıcaklıklar ve yağış yetersizliği ile su stresi artarak bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir (Iqbal, Goheer, & Khan, 2009; Ozelkan, Chen, & Ustündag, 2016). Buğdayın yerel ve bölgesel düzeyde ekonomiyi önemli ölçüde etkileyen, dünya çapında en çok üretilen ürünlerden biri olması kuraklığa karşı olan hassasiyeti ile önemli tarım ürünlerinden biridir. Özellikle iklime bağlı olarak yetiştirilen ve çalışmamızda konu olan buğday kuraklık stresinden tüm aşamalarında etkilenmektedir. Ancak en kritik aşamalar tane oluşum ve üreme aşamasındadır (Raza, et al., 2019). Bu değişikliklerle birlikte tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü alanlarda toprakta meydana gelecek verimsizlik, bitkinin su ihtiyacını karşılayamaması, tarımsal üretimin azalması ve tarımsal alanların amaç dışı kullanılması gibi durumlar meydana gelir (Partigöç & Soğancı, 2019).

Tarımsal kuraklığın, genellikle bitki üretimini ve mahsul verimini etkileyen toprak nemindeki eksiklikle ilgili olmasına bağlı hidrolojik modeller yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan tarımsal kuraklık göstergeleri çoğunlukla Toprak Nemi Yüzdesi (SMP) (Sheffield, Goteti, Wen, & Wood, 2004), Ürün Nem İndeksi (CMI) (Palmer, 1965), Toprak Nem Açığı İndeksi (SMDI) (Narasimhan & Srinivasan, 2005), Normalleştirilmiş Toprak Nemi (NSM) (Dutra, Viterbo, & Miranda, 2008) ve Standartlaştırılmış Toprak Nem İndeksi (SSI) (Hao, AghaKouchak, Nakhjiri, & Farahmand, 2014). Tarımsal kuraklık genellikle önceki yağış eksikliği ve/veya artan sıcaklık nedeniyle açık toprak yüzeyi ve bitkiden artan evapotranspirasyondan kaynaklanmasına bağlı olarak sıcaklık ve evapotranspirasyonun kullanıldığı Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) (Vicente-Serrano, Beguería, & Lopez-Moreno, 2010) ve Keşif Kuraklık İndisi (RDI) (Tsakiris, Pangalou, & Vangelis, 2007) kullanılır.

Literatürde farklı çalışmalarda tarımsal kuraklık ve tarımsal kuraklığın buğday üretimi verim değişimi üzerine olan etkilerin incelendiği çeşitli çalışmalar mevcuttur. Keşif Kuraklık İndisi (RDI) ile kuraklığın buğday verimi üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği Yunanistan'a ait iki kırsal alanda kuraklık ile buğday verimi arasında yüksek oranda korelasyon ilişkisi belirlenmiştir (Tigkas & Tsakiris, 2015). Standartlaştırılmış Yağış

Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) indisinin kullanıldığı 1961-2014 yılları arasındaki çalışmada yüksek sıcaklıklar ve kuraklığın buğday, soya fasulyesi ve mısırdaki verim değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir (Matiu, Ankerst, & Menzel, 2017). İspanya’da kuraklığın buğday ve arpa üzerindeki etkisinin Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ve çeşitli kuraklık yöntemleri ile değerlendirmesinde yılın farklı dönemlerinde kuraklık şiddetine göre yüksek korelasyon ilişkisi ortaya koyulmuştur (Peña-Gallardo, Vicente-Serrano, Domínguez-Castro, & Beguería, 2019). Shaanxi ve Henan kentleri kışlık buğday ve kuraklığın etkileşimi incelenen çalışmada kışlık buğdayın özellikle tane doldurma aşamalarında su stresine daha hassas olduğu ve daha fazla suya ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir (Huang, et al., 2020). Keşif Kuraklık İndisi (RDI), Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) yöntemleri ile kışlık buğday verimi arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmada çeşitli iklim koşullarında yüksek korelasyon değerleri belirlenmiştir (Zarei, Shabani, & Moghimi, 2021). Almanya ve İspanya’da toprak nemi ile tahıl verimi için yapılan çalışmada İspanya’da %30 oranında verim azalması ve Almanya’da pozitif tarımsal kuraklık eğilimleri ile tahıl ürünlerinde %5 verim düşüşleri tespit edilmiştir (Benito-Verdugo, et al., 2023). Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ve Standartlaştırılmış Toprak Nem İndeksi (SSI), büyük ölçekli iklimsel salınımlar ve bölgesel hidro-meteorolojik değişkenler dâhil edilerek yapılan çalışmada Hindistan’da tarımsal kuraklık eğiliminin arttığı belirlenmiştir (Das, Das, & Umamahesh, 2023). Çin’de 2001’den 2020’ye kadar olan süreçte hem sulanan hem de yağmurla beslenen tarım sistemlerinde tarımsal kuraklığın değerlendirilmesinde Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) 1,3, 6 ve 12 aylıklarda anlamlı korelasyon değerleri mevcuttur (Chen, et al., 2024).

Türkiye’nin yarı kurak iklim özelliğine sahip Akdeniz iklim kuşağında bulunması ve atmosferik dolaşım, iklim koşullarına, fiziki coğrafya faktörlerine de bağlı olarak ülke genelinde kuraklık olayları çok sık yaşanmaktadır. Yağışın yaklaşık %67’si kış ve ilkbahar yağışları şeklinde iken ülkenin orta ve güneydoğu bölgelerinin çoğu yarı kurak iklim özelliklerine sahiptir (Aktürk, Zeybekoğlu, & Yıldız, 2022). Yer şekilleri, engebe özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak yarı kurak iklim kuşağında bulunan Kızılırmak Havzası, çalışma alanı olarak seçilmiş ve meteorolojik kuraklıkların zaman içindeki dağılımı ve özellikleri aynı zamanda tarımsal kuraklık ilişkisinin belirlenmesi için buğday verimi ile korelasyon değerleri oluşturulmuştur. Türkiye’de yapılan tarımsal kuraklık ve tahıl ürünlerine ait çalışmalar son dönemde yaygınlık kazanmıştır. Coğrafi bölgelere göre yapılan çalışmada İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde yaz mevsiminde yaşanan tarımsal kuraklık korelasyon değerlerinin yüksek olduğu yaz kuraklıklarını sonbahar ile ilkbahar kuraklıklarını takip ettiğine ulaşılmıştır (Şorman, Mehr, & Hadi, 2018). Türkiye’nin en büyük havzalarından biri olan Kızılırmak Havzası’nda 1973-2013 yılları arasındaki kuraklıklar, Standart Yağış indisi (SPI) yöntemi kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde incelenmiş ve uzun süreli kuraklıkların son yıllarda belirgin şekilde arttığı tespit edilmiştir (Arslan, Bilgil, & Veske, 2016). Yukarı Kızılırmak Havzası’nda Kızılırmak Nehri’nin tarımsal sulama amaçlı kullanım özellikleri Wilcoxon ve ABD tuzluluk diyagramlarına göre incelenmiş, suyun kimyasal özelliklerine etki eden coğrafi faktörler değerlendirilmiş ve suyun artan tuzluluk ve yaz kuraklığı nedeniyle sulama için sınırlı uygunluk taşıdığı tespit edilmiştir (Koç, Doğru, & Han, 2018). Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) zaman serilerinin kullanılmasıyla, 1960-2017 çalışma döneminin 31 yılının değişen şiddetlerde kuraklıktan etkilendiği ve Kızılırmak nehir havzasının yaygın kuraklıkların etkisi altında olduğunu ortaya koymuştur (Aktürk, Zeybekoğlu, & Yıldız, 2022). Kızılırmak Havzası’ndaki barajların buharlaşma kayıpları ve artan su talebi nedeniyle su kaynakları üzerindeki etkileri su bütçesi metodu ile analiz edilmiş ve özellikle kurak iklim koşullarına sahip Delice alt havzasında sürdürülebilir su yönetimi için optimizasyon gerekliliği vurgulanmıştır (Can & Yılmaz, 2023). Kızılırmak Havzası’nın kuraklık hassasiyeti, su bütçesi ve iklim değişikliğinin etkileri analiz edilerek, sektörlerin kuraklık koşullarından etkilenebilirliği değerlendirilmiş ve entegre havza yönetimi yaklaşımıyla sürdürülebilir su kullanımı ve kuraklığın etkilerini azaltmayı hedefleyen bir eylem planı oluşturulmuştur (T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023). Yapılan bir çalışmada farklı tarihlerde farklı coğrafik alanlarda yaşanmış kuraklık ve sıcak hava dalgası afetlerinden örnekler ile bu afet tiplerinin tarımsal üretime etkileri ve etkilerin birbiriyle olan ilişkilerinin ortaya konulmuştur (Yılmaz, 2023). Konya Bölgesinde iklim değişikliğinin buğday ve yonca üretimi üzerine etkilerinin incelenmesinde 2 °C’lik sıcaklık artışının yonca, 4 °C’lik sıcaklık artışının buğday üretiminde zorluklara neden olacağı belirtilmiştir (Akansu & Kızıldeniz, 2024). Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Değiştirilmiş China-Z İndisi (MCZI), China-Z İndisi (CZI) ve Z-Değeri İndisi (ZSI) dört farklı endeksin sonuçlarına göre, havza en uzun ve en şiddetli kuraklık dönemlerini ağırlıklı olarak 2000’li yıllarda yaşamıştır (Aktürk, Çitakoğlu, Demir, & Beden, 2024). Kızılırmak, Yeşilirmak ve Sakarya havzalarında hidrolojik kuraklığın belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada 1, 3, 6 ve 12 aylık normal kuraklık değerleri gözlenmiştir (Kartal & Emiroğlu, 2024). Bir diğer çalışmada Kızılırmak Havzası’ndaki meteoroloji ve DSİ istasyonlarından elde edilen sıcaklık, yağış, buharlaşma ve akım verilerinin uzun yıllara dayalı zaman serilerindeki değişimleri Mann-Kendall ve Spearman Rho trend analizleriyle incelenmiş ve özellikle sıcaklık artışlarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir (Kartal, Gözalan, & Öztekin, 2024). Kızılırmak Havzası için yapılan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) kuraklık indisinde kurak dönemlerin nemli dönemlere göre daha fazla tekrarlandığı görülmüştür (Robleh, Yuce, & Deger, 2024). Yukarı Kızılırmak Havzası için Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) serilerinden faydalanılarak

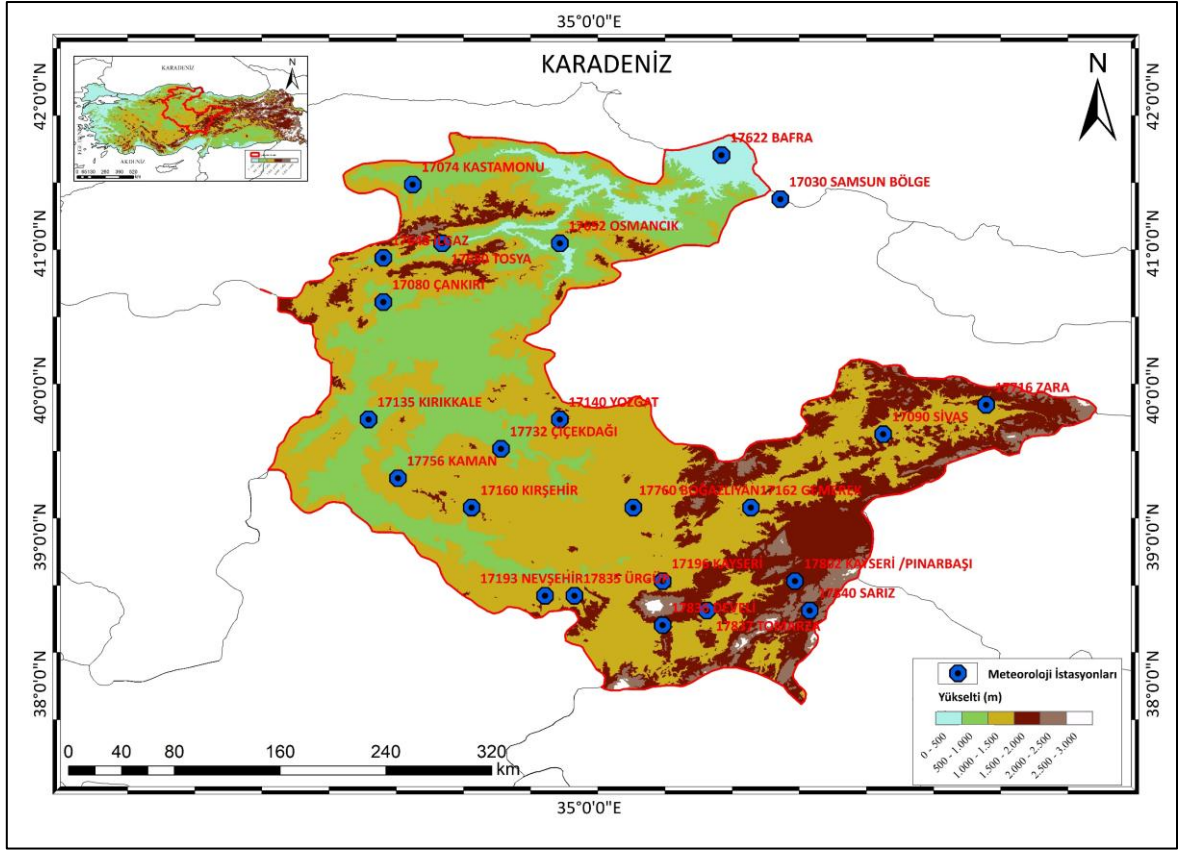
yakın gelecek için yapılan kuraklık tahminlerinde 2100 yılına kadar kuraklık olaylarının sayısı ve şiddeti ile kurak dönemlerin süresinin artacağı öngörülmüştür (Selçuk, Selçuk, & Cebeci, 2024).

Bu çalışmada; meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklığa etkisinin alansal-zamansal değişimi araştırılmıştır. Geçmiş çalışmaların doğrultusunda, üretim potansiyeli ve stratejik önemi dikkate alındığında ve kısa vadede iklim değişikliği ve buna bağlı olarak da kuraklık etkisinin yüksek olması beklenen Kızılırmak Havzası bu çalışmada çalışma alanı olarak seçilmiştir. Ayrıca havzanın bulunduğu alanın tarımsal üretim için uygun alanlardan oluşması ve üretiminin yapılması havzanın özellikle tarımsal kuraklığa olan hassasiyetini arttırmaktadır. Tarımsal ürün olarak stratejik ve ekonomik açıdan son derece önemli olan buğday bitkisi seçilmiştir. Meteorolojik kuraklığın belirlenmesi aşamasında, yağış miktarı ve potansiyel evapotranspirasyonu (PET) dikkate alarak ve su açığına bağlı olasılık dağılım fonksiyonu uygulayan SPEI indisi kullanılmıştır (Tegos, Stefanidis, Cody, & Koutsoyiannis, 2023). SPEI rüzgârın etkili olduğu, bitki örtüsünün çok olduğu ve buna bağlı yüksek evapotranspirasyon olabilecek bölgelerde tercih edilebilir (Özelkan, 2022)) ve çalışma alanı Kızılırmak Havzası buna benzer bir yapıdadır. SPEI buğday gibi ürünlerin gelişim dönemleri boyunca yaşanan su açığı ve bunun verim üzerindeki etkilerini açıklayabilmeye olanak tanımaktadır (Shi, Yang, Ding, Chen, & Shi, 2023; Tegos, Stefanidis, Cody, & Koutsoyiannis, 2023). Sonuç olarak, bu çalışmada buğday verimine etki eden meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde SPEI indisi tercih edilmiş, Kızılırmak Havzası'na ait kuraklık ile buğday verimi değerleri arasındaki ilişkinin alansal-zamansal değişimi incelenmiş ve sonuçlar sosyo-ekonomik boyutları ile ortaya konulmuştur.

## MATERYAL VE METOT

### Çalışma Alanı

Kızılırmak Havzası 37°56'-41°44' kuzey enlemleri ile 32°48'-38°24' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Kızılırmak 1.151 km<sup>2</sup>'lik uzunluğunda olup 82.182 km<sup>2</sup>'lik havza alanına sahiptir (Şekil 1). Kızılırmak, Sivas-İmralı çevresinden doğar; sırasıyla Kayseri, Nevşehir, Aksaray, Kırşehir, Ankara, Kırıkkale, Çankırı, Çorum, Sinop ve Samsun illerinden geçerek Bafra Ovası'ndan Karadeniz'e dökülür. Ayrıca Kızılırmak Havzası İç Anadolu Bölgesi'nin doğu bölümünde yer almakta olup Karadeniz, Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgelerinin bir kısmını kapsamaktadır. Havza içerisindeki alt bölgeler ise Aşağı Kızılırmak, Orta Kızılırmak, Yukarı Kızılırmak, Delice, Seyfe, Tuzla ve Develi havzalarıdır. Havzanın topografik özellikleri ve bu özelliklere bağlı iklimsel farklılıklar mevcuttur (T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023). Havzanın en engebeli bölgesi olan Yukarı Kızılırmak, kuzeyden ve güneyden dağlık alanlarla sınırlanmıştır (Sağdıç & Koç, 2012). Çayır ve platoların bulunduğu Orta Kızılırmak bölümü volkanik kökenli dağlar ve geniş ova tepeleriyle farklılık göstermektedir. Aşağı Kızılırmak bölümünde ise batı kesimde bulunan Kuzey Anadolu ve Küre dağları Batı Karadeniz Havzası ile sınır oluşturmaktadır (Aktürk, Çıtakoğlu, Demir, & Beden, 2024). Aynı zamanda Karadeniz'den gelen nemli hava kütlelerine karşı bariyer etkisi yaparak Karadeniz iklim özelliklerine sebep olmaktadır. Aşağı Kızılırmak bölgesi dışında kalan alanlarda karasal iklim özellikleri hâkimdir (Can & Yılmaz, 2023). Karadeniz iklim özelliklerinde kışlar ılık, yazlar serin ve her mevsim yağışlıdır. Günlük ve yıllık sıcaklık farkları nemliliğin yüksek olması sonucu azdır. Karasal iklim özelliklerinde ise kışlar soğuk genellikle kar yağışlı, yazlar sıcak ve kuraktır. Havzaya ait 1991-2022 yılları arası ortalama yıllık toplam yağış değeri 425,65 mm, yıllık ortalama sıcaklık değeri ise 11,18°C'dir. Bitki örtüsü özellikleri tarım arazileri, verimli orman arazileri ve tahrip edilmiş orman arazileri geniş alan kaplamaktadır (Aktürk, Çıtakoğlu, Demir, & Beden, 2024). Havzada en çok üretilen tarım ürünleri arasında tahıllar, şekerpancarı, patates, kavun, karpuz ve baklagiller yer alır (Aktürk, Çıtakoğlu, Demir, & Beden, 2024).



Şekil 1. Çalışma alanının yükseklik haritası ve meteoroloji istasyonlarının dağılımı.

## Materyal

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından temin edilen Kızılırmak Havzası'ndaki 23 meteoroloji gözlem istasyonunda (Çizelge 1), 1991-2022 yılları arasında ölçülen aylık toplam yağış verileri ile aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verileri, SPEI kuraklık indislerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu dönemin seçilmesinin temel nedeni, 1991-2022 yılları arasındaki gözlem süresi boyunca tüm istasyonlarda yapılan ölçümlerde eksik veri bulunmamasıdır. Meteorolojik kuraklığın buğday verimiyle ilişkisini değerlendirmek amacıyla, havza içindeki istasyonlara ait 1991-2022 yılları arasındaki yıllık buğday verim değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 1. Kızılırmak Havzası'nda kullanılan istasyonlar ve enlem, boylam yükselti özellikleri.

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükselti (m)
17622	BAFRA	41,55	35,92	103
17652	OSMANCIK	40,98	34,80	419
17074	KASTAMONU	41,37	33,78	800
17650	TOSYA	41,01	34,04	870
17836	DEVELİ	38,37	35,48	1204
17196	KAYSERİ	38,69	35,50	1094
17802	KAYSERİ /PINARBAŞI	38,73	36,39	1542
17840	SARIZ	38,48	36,50	1599
17837	TOMARZA	38,45	35,79	1402
17135	KIRIKKALE	39,84	33,52	751
17732	ÇİÇEKDAĞI	39,61	34,42	900
17756	KAMAN	39,37	33,71	1075
17160	KIRŞEHİR	39,16	34,16	1007
17648	ILGAZ	40,92	33,63	885
17080	ÇANKIRI	40,61	33,61	755
17030	SAMSUN BÖLGE	41,34	36,26	4
17193	NEVŞEHİR	38,62	34,70	1260
17835	ÜRGÜP	38,62	34,91	1068
17760	BOĞAZLIYAN	39,19	35,25	1070
17140	YOZGAT	39,82	34,82	1301
17162	GEMEREK	39,19	36,08	1182
17090	SİVAS	39,74	37,00	1294
17716	ZARA	39,89	37,75	1338

## Yöntem

Standartlaştırılmış yağış Evapotranspirasyon indisi (SPEI) yağış ve sıcaklık verilerine dayanarak sıcaklık değişkenliğinin kuraklık değerlendirmeleri üzerindeki etkisini içermesi nedeniyle avantajlıdır (Vicente-Serrano, Beguería, & Lopez-Moreno, 2010). Matematiksel olarak Standartlaştırılmış Yağış İndisi'ne (SPI) benzer olsa da sıcaklığın rolünü de içermektedir. SPEI hesaplanırken yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki fark iklimsel su dengesi ya da su açığı olarak ifade edilmektedir (Miro, Estrela, Corell, Gomez, & Luna, 2023). PET, verilere bağlı olarak Thornthwaite, Hargreaves ve Penman-Monteith yöntemleri dâhil olmak üzere üç farklı şekilde hesaplanabilmektedir (Anderson & French, 2019). Bu çalışmada Hargreaves yöntemi kullanılmış olup, bu yöntem genellikle verilerin az olduğu durumlarda PET'i hesaba katmada daha başarılı sonuçlar vermektedir (Qaisrani, Nuthammachot, & Techato, 2021). Hargreaves PET hesaplama yöntemi Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$PET = cH \cdot 0,408 Ro \cdot (T - 17,8)\sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (1)$$

Yukarıdaki formülde  $cH$  0,0023 değerinde Hargreaves katsayısıdır, buharlaşmanın gizli ısı akısının tersi 20 °C 'de 0.408 sabit değerini verir,  $Ro$  güneş radyasyonunu gösterir ve ortalama sıcaklık  $T$  olarak verilir (Qaisrani, Nuthammachot, & Techato, 2021). Su açığı herhangi bir ay için "i" olarak hesaplanır (Eşitlik 2-3):

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \text{için } P \leq 0,5 \quad (2)$$

$$p = 1 - f(x) \quad (3)$$

Burada (Eşitlik 4):

$$f(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x} - y \right)^\beta \right]^{-1} \quad (4)$$

Aşağıdaki formülde bir D serisi ve log-logistik dağılım için olasılık fonksiyonu Eşitlik 5 ile hesaplanabilir:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[ 1 + \left( \frac{x-y}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-2} \quad (5)$$

Burada  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$ ,  $\gamma > D < \infty$  için sırasıyla ölçek, şekil ve orijini göstermektedir. Ayrıca, Eşitlik 5'teki sabitler aşağıdaki gibi değerlere sahiptir (Tirivarombo, Osupile, & Eliasson, 2018):

$C_0 = 2.515517$ ,  $C_1 = 0.802853$ ,  $C_2 = 0.010328$ ,  $d_1 = 1.432788$ ,  $d_2 = 0.189269$ , ve  $d_3 = 0.001308$ .

SPEI indisinde kuraklık şiddeti için kullanılan sınıf aralıkları aşağıda Çizelge 2'de gösterilmiştir:

Çizelge 2. SPEI indisleri kuraklık sınıfları (Zarei, Shabani, &amp; Moghimi, 2021).

SPEI	Kuraklık Sınıfları
$\geq 2,0$	Aşırı Nemli
1,5 ile 1,99	Şiddetli Nemli
1,0 ile 1,49	Orta Nemli
0,99 ile -0,99	Normal
-1,00 ile -1,49	Orta Kurak
-1,50 ile -1,99	Şiddetli Kurak
$\leq -2,00$	Aşırı Kurak

Bu çalışmada kuraklık ve buğday verim değerleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için Pearson korelasyon katsayısı (r) kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı, -1 ile +1 arasında değer alır ve ilişkinin hem yönünü hem de gücünü tanımlar (Field, 2013; Gravetter & Wallnau, 2013). Bu bağlamda, pozitif bir r değeri daha düşük kuraklık seviyelerinin daha yüksek verimle ilişkili olduğunu gösterirken, negatif bir r değeri kuraklığın verim üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu ifade eder. Korelasyon değerlerinin düzeyleri belirlenirken Çizelge 3'teki değerler esas alınmıştır.

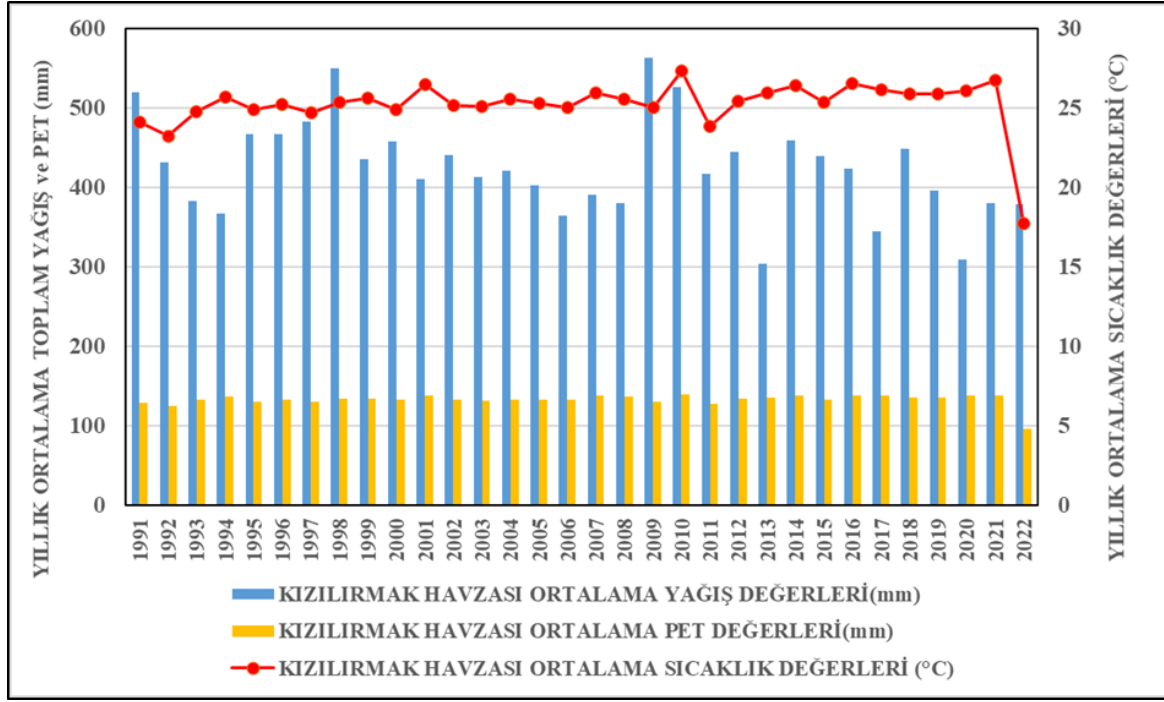
Çizelge 3. Korelasyon değerleri ilişki düzeyleri (Ersöz &amp; Ersöz, 2022)

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

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Kızılırmak Havzası Yağış ve Sıcaklık Değerlendirmesi

Çalışma alanı yarı kurak iklim özelliklerine sahiptir. Havzaya ait 1991-2022 yılları ortalama toplam yağış değerleri düşük olup genele olarak dalgalanmalar mevcuttur (Şekil 2). Havzaya ait 1991-2022 yılları arası ortalama yağış değeri 425,65 mm ve ortalama sıcaklık değeri 25,23 °C'dir. Havzaya ait ortalama yağış değerlerinde en yüksek yağış değeri 2009 yılı 563,64 °C'dir (Şekil 2). En düşük yağış değeri ise 2013 yılı 303,48 °C'dir (Şekil 2). Havza içerisinde 1991-2022 yılları arasında yıllık ortalama toplam yağış değerlerinde en yüksek yağış Bafra istasyonunda 739,62 mm'dir. Havzanın kuzeyinde kıyı kesiminde bulunan Bafra istasyonunda Orta Karadeniz'de ve denizel etkiye açık olmasıyla Karadeniz'den gelen nemli hava kütlelerine bağlı yüksek yağış değerleri görülür (Şekil 1). En düşük yağış değeri iç kesimindeki Boğazlıyan istasyonunda 339,97 mm olarak belirlenmiştir. Boğazlıyan istasyonu etrafının yüksek dağlık alanlar ile çevrili olması ve denizel etkisinin zayıf olmasına bağlı havza içerisindeki en düşük yağışa sahip istasyondur (Şekil 1). 1991-2022 yılları arasında en yüksek ortalama sıcaklık değeri 2010 yılında 27,32°C'dir (Şekil 2). En düşük sıcaklık değeri ise 17,71°C'dir. Havzada bulunan istasyonlar arasında ortalama yüksek yıllık sıcaklık değeri batıdaki Kırıkkale istasyonunda 30,96°C'dir. Havzanın güneydoğusundaki Kayseri/Pınarbaşı istasyonu ise 21,21°C ile en düşük yıllık ortalama sıcaklığına sahiptir. Havzaya ait 1991-2022 yılları arası ortalama PET değeri 132,89 mm'dir. En yüksek ortalama PET değeri 2010 yılında 139,32 mm'dir (Şekil 2). En düşük ortalama PET 2022 yılında 95,89 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Görülen en yüksek ortalama sıcaklık değerleri ile benzer şekilde çalışma alanının batısındaki Kırıkkale istasyonunda ortalama en yüksek PET 155,08 mm'dir. En düşük ortalama PET değeri de ortalama düşük sıcaklıklar ile uyumlu şekilde havzanın güneydoğusundaki Kayseri/Pınarbaşı istasyonunda 116,50 mm'dir.

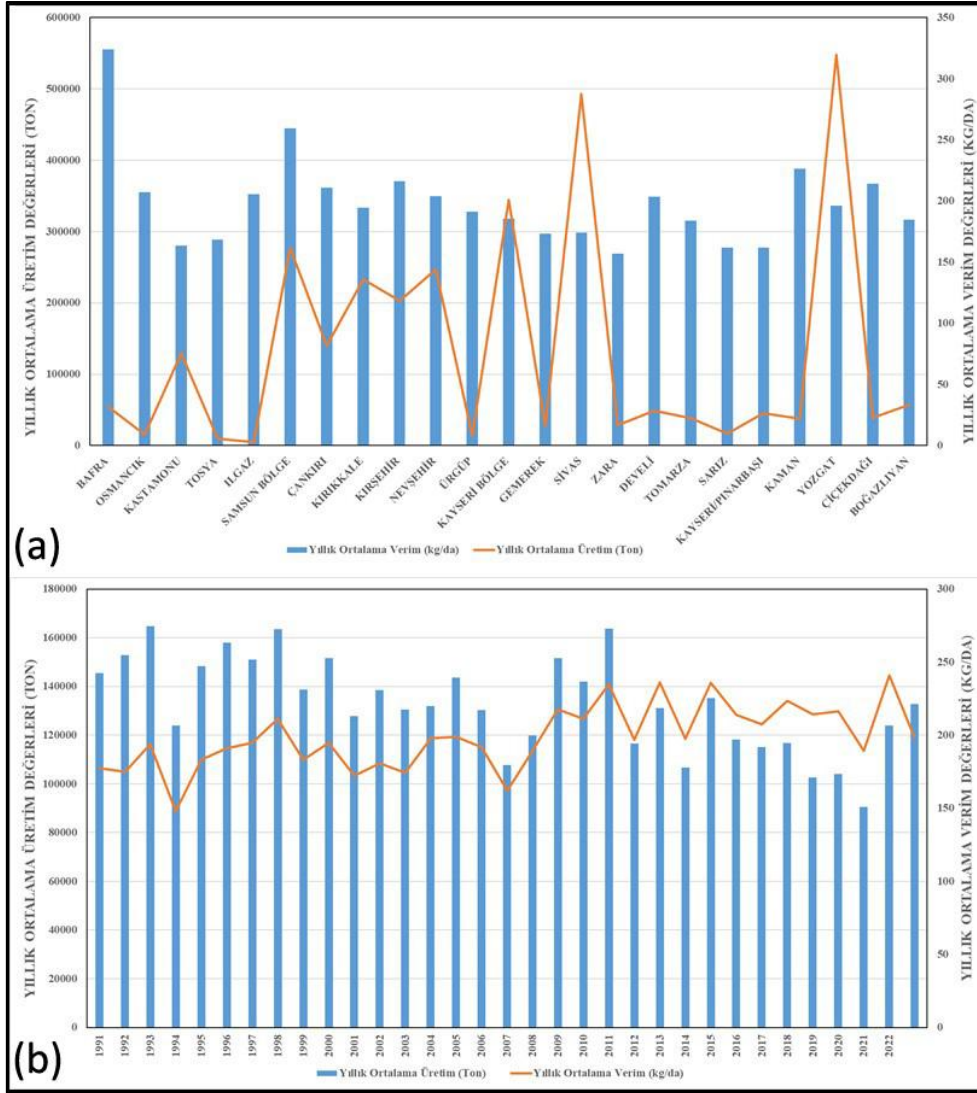


Şekil 2. Kızılırmak Havzası 1991-2022 yılları arası ortalama yağış, sıcaklık ve PET değerleri.

### Kızılırmak Havzası Buğday Üretimi ve Verim Değerlerinin Değerlendirilmesi

Kızılırmak Havzası'nda 1991-2022 yılları arasında ortalama buğday üretim değeri 132.716 tondur. İstasyonlara göre, ortalamadan düşük üretim değerleri, çalışma alanının kıyı kesimine yakın olan ve batıda engebenin fazla olduğu Kastamonu, Tosya ve Ilgaz istasyonlarında görülmektedir (Şekil 3). 1991-2022 yıllarına ait ortalama verim değeri 198,59 kg/da olarak belirlenmiştir. Buğday verim değerlerinde, ortalamadan düşük değerler çalışma alanının doğu kesimindeki engebeli ve karasal iklim koşullarına sahip Zara istasyonunda 156,9 kg/da olarak kaydedilmiştir (Şekil 3). Havzaya ait istasyonlardaki üretim değerlerinin değişiminde, genel olarak üretim artışlarının verim artışlarına neden olduğu görülmektedir (Şekil 3). Bu durumdan farklı olarak, kuzey kesimde kıyıda bulunan Bafra istasyonunda, 54.645 tonluk düşük üretim değerlerine rağmen ortalama 324,09 kg/da yüksek verim dikkat çekmektedir (Şekil 3). Bu durum Bafra istasyonunun çalışma alanının kuzeyindeki kıyı kesimde, verimli alüvyal ovada yer almasıyla ilişkilendirilebilmektedir. Yıllara göre üretim ve verim değerlerinin değişimi incelendiğinde, 2019-2021 yılları arasında düşük verim değerleri gözlenmiştir. Üretim değerlerinde en düşük üretim 1994 yılında, en yüksek üretim ise 2022 yılında gerçekleşmiştir. Özellikle 2019 yılında Covid-19 pandemisiyle başlayan gıda krizine bağlı olarak, 2019'dan 2021'e kadar verim değerlerinde azalma gözlemlenmiştir (Gökmen, 2023). 2022 yılında, Rusya-Ukrayna savaşına bağlı olarak oluşabilecek ülke içi olumsuzlukları önlemek amacıyla buğday ihracatına ara verilmiştir.





Şekil 3. Kızılırmak Havzası buğday üretim ve verim değerlerinin mekânsal ve zamansal değişimi (a: Havzaya ait istasyonların 1991-2022 yılları arası ortalama üretim ve verim değerleri, b: Havzanın yıllık ortalama üretim ve buğday verim değerlerinin zamansal değişimi gösterilmiştir).

### Kızılırmak Havzası Kuraklık Değerlendirmesi

Havza içerisinde bulunan 23 meteoroloji istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama minimum ve maksimum yağış değerlerinden faydalanarak SPEI kuraklık indisleri uygulanmıştır. SPEI'ya ait 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler şeklinde kuraklık şiddeti hesaplanmıştır. İndis dönemlerine ait en yüksek kuraklık şiddetinin görüldüğü ay ve kuraklığın en fazla tekrarladığı yıllar belirlenmiştir. 1 aylık indislerde aşırı kurak koşullar 2014, 3 aylıklarda 2008 6 ve 9 aylıklarda 1994, 12 aylıklarda 2016 yıllarında aşırı kurak değerler belirlenmiştir (Çizelge 4).

SPEI 1 aylıklarda aşırı kurak değerler -1,92 ile -4,54 arasında değişmektedir (Çizelge 4). En yüksek aşırı kurak değer havzanın kuzeyinde ve denizel iklim etkisine açık Osmançık istasyonunda -4,54 ile 2014 yılının Ocak ayına aittir (Şekil 4). Kuraklığın zamansal değişiminde, 2014 yılı Ocak ayı için en şiddetli kuraklığın görüldüğü dönem olurken, aşırı nemli koşullar 2000 yılında 2,61 değeriyle kaydedilmiştir (Şekil 5). 2012 yılında özellikle Kızılırmak Havzası'nın da içerisinde yer aldığı karasal İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin bazı bölümlerinde etkili olan meteorolojik kuraklıklar yaz kuraklığı ile birleşerek 2013 yılında tüm Türkiye'de etkili olmuştur (Selçuk, Selçuk, & Cebeci, 2024; Türkes, 2020). 2013 yılında tüm Türkiye genelinde etkili olan şiddetli kuraklık, 2014 yılında etkisini artırmıştır. 2014 yılındaki şiddetli kuraklık Türkiye üzerinde etkili olan atmosferik koşullardan Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ve Akdeniz hava modellerinin değişimi ile ilişkilidir (Soylu Pekpostalci, et al., 2023). Batı Avrupa üzerinde etkili olan Azor Yüksek Basıncı'nın Türkiye'ye doğru genişlemesi, yağışlı hava kütlelerinin geçişini engellemiştir (Türkes, 2020; Soylu Pekpostalci, et al., 2023). Aynı zamanda 2014 yılında Sibiryaya Yüksek Basıncı Türkiye'nin doğusuna kadar etkili olarak soğuk ve kuru havanın geniş alanlara hâkim olmasına neden olmuştur (Türkes, 2020; Soylu Pekpostalci, et al., 2023). Bu dönemde özellikle kış yağışlarının azalması ve kar yağışlarının

yetersizliği, Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde 2012 yılında başlayan kuraklığın etkisinin 2014 yılında daha da şiddetlenmesine sebep olmuştur.

3 aylık indislerde aşırı kurak değerler -2,24 ile -3,02 arasında değişmektedir (Çizelge 4). En yüksek aşırı kurak değer, 2008 yılı Mayıs ayında havzanın güneyinde karasal iklimin görüldüğü Nevşehir istasyonunda yüksek olduğu kaydedilmiştir (Şekil 4). Kuraklığın zamansal değişiminde, 2008 yılı artan sıcaklıklar ve azalan yağışların etkisiyle hem meteorolojik hem de tarımsal kuraklığın İç Anadolu ve tüm Türkiye’de ciddi bir sorun oluşturduğu dönemdir (Simsek & Cakmak, 2010; Türkes, 2012; Öz Y., Özalkan, & Tatlı, 2024) (Şekil 4,5). Farklı çalışmalarda da 2007-2008 yılında meydana gelen ilkbahar kuraklıklarının yaz kuraklıkları ile birleşmesinin, 3 aylıklarda artan kuraklık şiddetlerine karşılık geldiği belirtilmiştir (Tatlı & Türkes, 2008; Erlat & Güler, 2023). SPEI 3 aylıklarda aşırı nemli koşullar, 2,35 ile 2015 yılında, 2008 yılındaki aşırı kurak koşullara benzer şekilde, havzanın güneyindeki karasal iklimin görüldüğü Nevşehir istasyonunda kaydedilmiştir (Şekil 5).

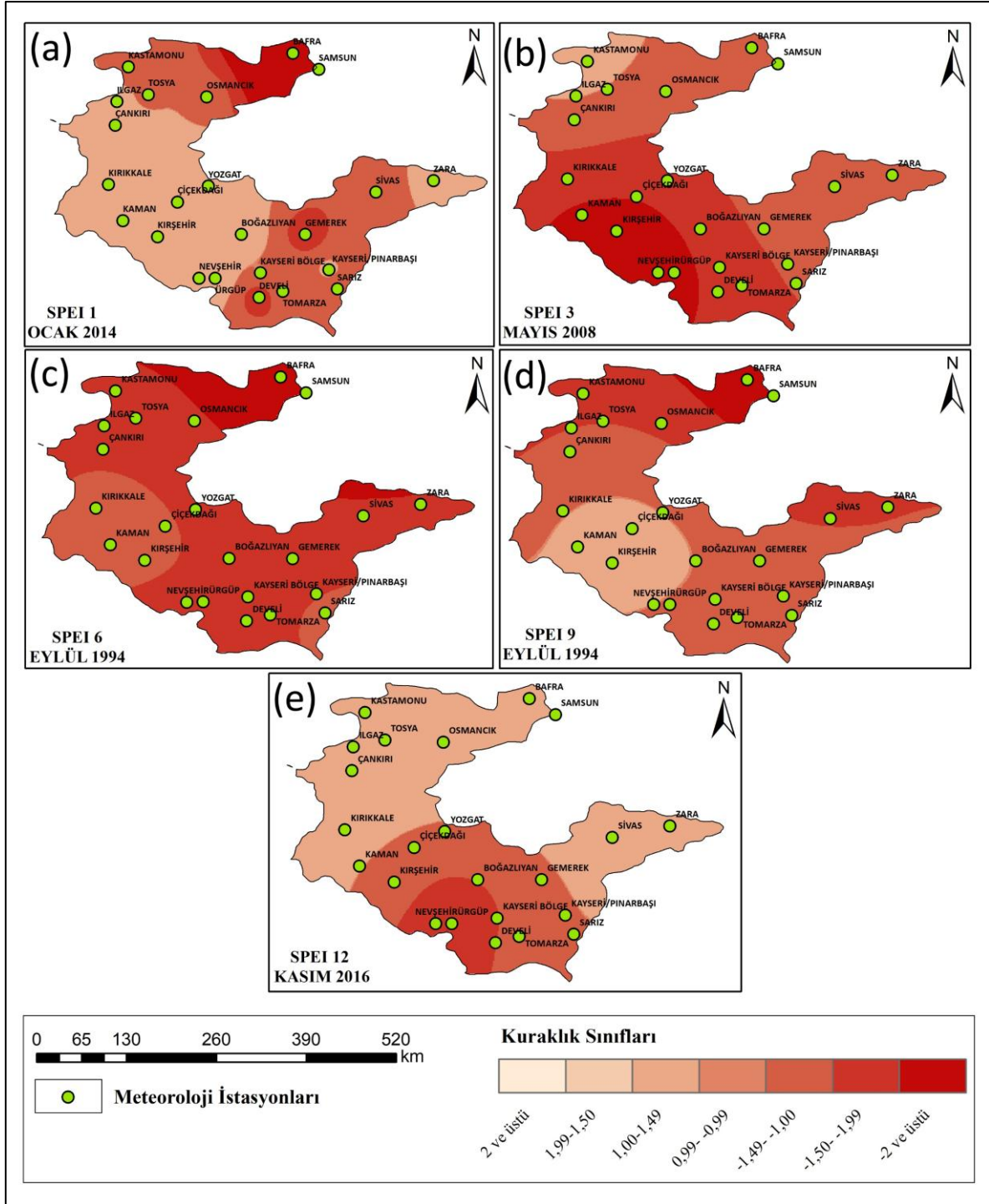
6 aylıklarda aşırı kurak değerler -2,31 ile -3,32 arasında değişmektedir (Çizelge 4). SPEI indisinde, 1994 yılı Eylül ayında -3,32 değeri ile kıyı kesimde denizel etkinin görüldüğü Samsun istasyonunda en yüksek aşırı kurak değer kaydedilmiştir (Şekil 4). 1980’lerden sonra artan sıcak hava dalgalarının kuraklığa etkisi, özellikle 1994 yılında görülen sıcak hava dalgasıyla 6 aylık indislerde dikkat çekmektedir (Yıldız, 2014; Erlat, Türkes, & Aydın-Kandemir, 2021). SPEI 6 aylıklarda zamansal değişimde aşırı nemli koşullar, yine kıyı kesimdeki Samsun istasyonunda 2022 yılında 2,76 olarak kaydedilmiştir (Şekil 5).

9 aylıklarda aşırı kurak değerler -2,17 ile -3,82 arasında değişmektedir (Çizelge 4). SPEI için en yüksek aşırı kurak değer, 1994 yılı Eylül ayında -3,82 olarak Samsun istasyonunda kaydedilmiştir (Şekil 4). SPEI 9 aylıklarda, 2022 yılı havzanın güney kesimindeki karasal iklime sahip Kayseri istasyonunda 2,76 aşırı nemlilik değeri belirlenmiştir (Şekil 5). 6 aylık indislerde olduğu gibi, 1994 yılındaki kuraklığın etkisi 9 aylıklarda da dikkat çekmektedir (Şekil 4).

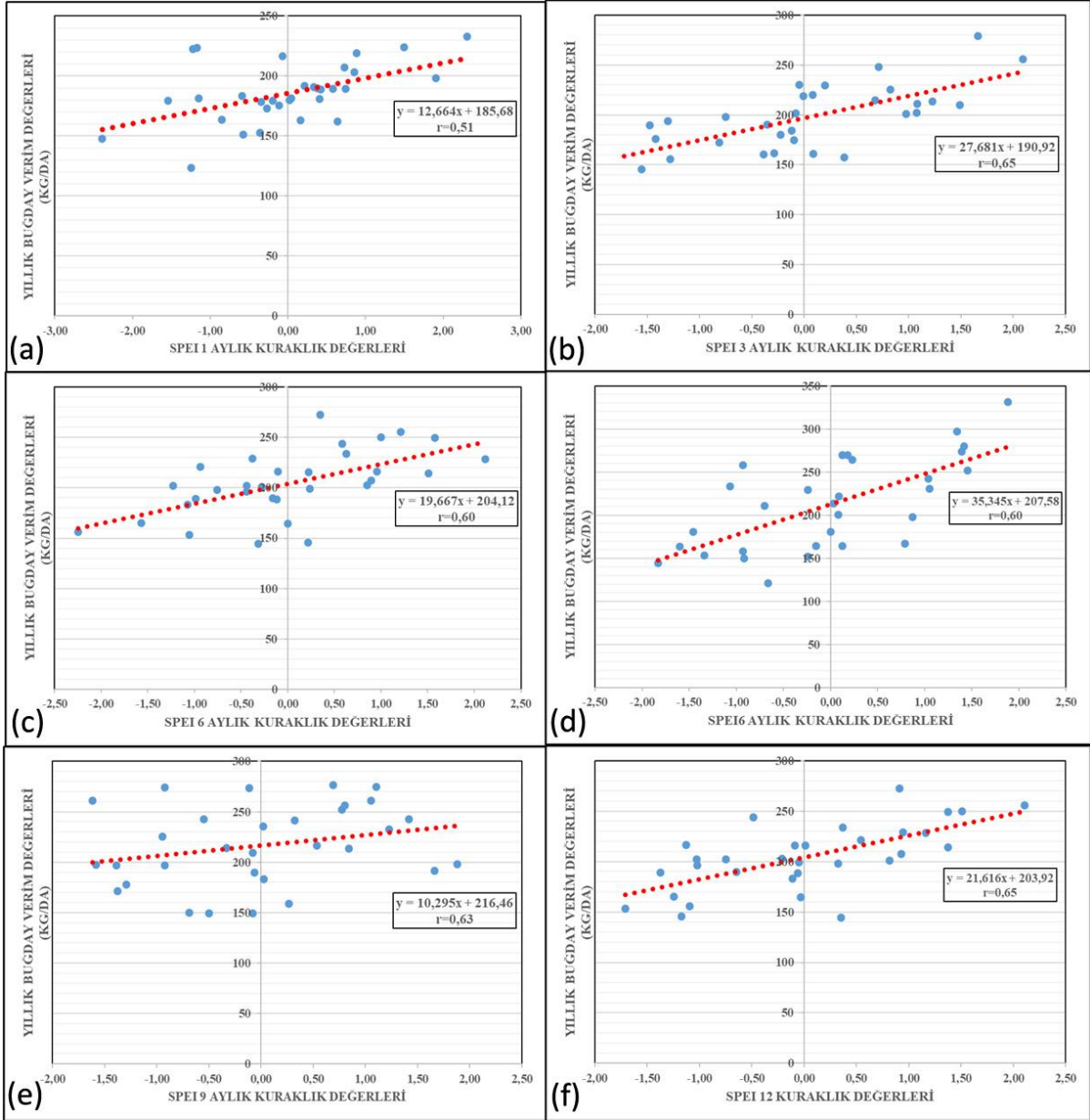
12 aylıklarda aşırı kurak değerler -2,19 ile -2,84 arasında değişmektedir (Çizelge 4). Aşırı kurak değerlerden -2,84, 2016 yılı Kasım ayında havzanın güneyindeki karasal iklime sahip Nevşehir istasyonunda belirlenmiştir (Şekil 4). 2000’li yıllardan itibaren daha sık yaşanan sıcak hava dalgaları gibi, 2016 yılında da yaşanan sıcak hava dalgası özellikle kış döneminde etkisini göstermiştir. Kuraklığın zamansal değişiminde, 2022 yılı havzanın güney kesimindeki karasal iklime sahip Kayseri istasyonunda 2,65 nemlilik değeri kaydedilmiştir (Şekil 5).

Çizelge 4. Kuraklık indislerine göre aşırı kurak değerlerin belirlendiği yıllar ve istasyonlar.

SPEI					
AYLAR	1	3	6	9	12
OCAK	OSMANCIK	SİVAS	NEVŞEHİR	ÇİÇEKDAĞI	GEMEREK
	2014 -4,54	2001 -2,39	2021 -2,69	2021 -2,40	2014 -2,47
ŞUBAT	TOMARZA	BAFRA	KIRŞEHİR	BOĞAZLIYAN	GEMEREK
	1995 -1,92	2014 -2,24	2021 -2,51	2017 -2,27	2014 -2,24
MART	SİVAS	BAFRA	BAFRA	SAMSUN	KIRIKKALE
	2001 -2,39	2014 -2,97	2014 -2,61	2001 -2,17	2008 -2,06
NİSAN	KIRIKKALE	DEVELİ	BAFRA	BAFRA	DEVELİ
	2016 -2,44	2014 -2,35	2014 -2,61	2014 -2,20	2014 -2,19
MAYIS	SARIZ	NEVŞEHİR	SAMSUN	BAFRA	KIRIKKALE
	2019 -2,14	2008 -3,02	1994 -2,71	2014 -2,45	2008 -2,48
HAZİRAN	KAYSERİ BÖLGE	SAMSUN	SAMSUN	BAFRA	SAMSUN
	2001 -2,39	1994 -2,76	1994 -2,92	2014 -2,66	1994 -2,19
TEMMUZ	SAMSUN	SAMSUN	SAMSUN	GEMEREK	SAMSUN
	2000 -3,13	1994 -2,55	1994 -3,04	2014 -2,45	1994 -2,31
AĞUSTOS	TOMARZA	TOMARZA	SAMSUN	SAMSUN	SAMSUN
	1996 -2,81	1996 -2,81	1994 -2,73	1994 -2,83	1994 -2,38
EYLÜL	SAMSUN	DEVELİ	SAMSUN	SAMSUN	SAMSUN
	2017 -3,02	2017 -2,70	1994 -3,32	1994 -3,82	1994 -2,77
EKİM	KAYSERİ/PINARBAŞI	SAMSUN	SAMSUN	SAMSUN	NEVŞEHİR
	2004 -2,07	2017 -2,56	1994 -3,14	1994 -3,07	2016 -2,69
KASIM	KAYSERİ/PINARBAŞI	TOMARZA	BOĞAZLIYAN	NEVŞEHİR	NEVŞEHİR
	2010 -2,38	2020 -2,53	2016 -2,83	2016 -2,74	2016 -2,84
ARALIK	DEVELİ	ILGAZ	KAMAN	BAFRA	KAYSERİ
	2010 -2,12	2020 -2,31	2020 -2,31	2020 -2,30	2001 -2,46



Şekil 4. Kızılırmak Havzası aşırı kurak değerlerin görüldüğü istasyonlara ait aylar ve yıllar (a: SPEI 1 Ocak 2014, b: SPEI 3 Mayıs 2008, c: SPEI 6 Eylül 1994, d: SPEI 9 Eylül 1994, e: SPEI 12 Kasım 2016).



Şekil 5. Kızılırmak Havzası'nda, kuraklık indis değerleri ile buğday verimi arasındaki ilişkinin yüksek olduğu istasyonlara ait dağılım grafikleri hazırlanmıştır (a: SPEI 1 Kayseri/Bölge, Haziran; b: SPEI 3 Ürgüp, Haziran; c: SPEI 6 Nevşehir, Ocak; d: SPEI 6 Osmançık, Mart; e: SPEI 9 Nevşehir, Şubat; f: SPEI 12 Nevşehir, Haziran).

### Verim ve Kuraklık Değerlendirmesi

Kızılırmak Havzası'nda, SPEI indis değerleri ile buğday verim değerleri arasındaki ilişki belirlenmiş ve meteorolojik kuraklığın verim değişiminde etkili olduğu ay ve dönemler tespit edilmiştir. Bu ay ve dönemlere göre oluşturulan dağılım grafikleriyle, kuraklık değerlerinin verim değişimine etkisi sebepleriyle açıklanmıştır.

Havzaya ait en düşük verim değeri 2000 yılında 54,15 kg/da'dır. En düşük verimin mevcut olduğu 2000 yılı Havzaya ait en düşük verim değeri, 2000 yılında 54,15 kg/da olarak kaydedilmiştir. En düşük verimin görüldüğü 2000 yılı, Türkiye'nin tamamında etkili olan kuraklık şiddetinin Kızılırmak Havzası'nda da hissedildiği bir dönemdir. 1999 yılının ardından 2000 yılında da etkili olan kuraklık sırasında, İç Anadolu'da yağış miktarı 375 mm'ye kadar düşmüştür (T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023). SPEI 1 aylık değerlendirmelerde, artan kuraklık şiddetinde düşük verim değerleri gözlemlenmiştir (Şekil 6). Aynı zamanda, verim değerlerinin dağılım grafiğinde normal kurak koşullar arasında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 6). Havzanın güneydoğusundaki engebeli ve karasal iklimin hâkim olduğu Kayseri/Bölge istasyonunda, SPEI 1 aylık indislerde en yüksek korelasyon değeri  $r=0,51$  olarak belirlenmiştir. Haziran ayında görülen bu en yüksek korelasyon değerinde, şiddetli kurak koşullarda (-1,24), 123,59 kg/da verim kaydedilmiştir. En düşük verim değeri olan

123,59 kg/da, 1993 yılına aittir. Türkiye'deki sıcak hava dalgalarının sıklığı, 1993 yılından sonra çok daha fazla artış göstermiştir. Bu değişimin sebebi, Pinatubo Volkanik Patlaması'nın 36 aylık soğutma etkisinin 1991, 1992 ve 1993 yıllarında kesintiye uğramasıdır (Erlat, Türkes, & Aydın-Kandemir, 2021) Ancak, 1993 yılından sonra farklı çalışmalarda, Türkiye'nin güney, güneydoğu ve İç Anadolu bölgelerinde artan kuraklık şiddeti belirlenmiştir (Erlat & Güler, 2023). 1993 yılında yaşanan kuraklık, düşük yağış miktarı ve yüksek sıcaklıklarla tarımı olumsuz etkilemiştir. Özellikle İç Anadolu Bölgesi'nde etkili olan kuraklık, buğday üretimini önemli ölçüde azaltmıştır (Demirdogen, Karapinar, & Özertan, 2024). En yüksek verim değerinin 233,00 kg/da şiddetli kurak dönemde (-1,17) belirlenmiştir. En yüksek verim değeri, 233,00 kg/da olarak şiddetli kurak bir dönemde (-1,17) belirlenmiştir. Bu en yüksek verim değeri, sıcaklık ortalamasının havza genelinde en düşük olduğu yıl olan 2022 yılına aittir. 3 aylık kuraklık analizi ve verim değerlendirmelerinde en yüksek korelasyon  $r=0,65$ 'tir. SPEI 3 aylıklarda görülen yüksek korelasyon değeri havzanın güneyinde karasal iklimdeki Ürgüp istasyonunda Haziran ayına aittir (Şekil 6). Güney kesimdeki Ürgüp istasyonunda verimin düşük olduğu dönemler kuraklık şiddetinin arttığı dönemlere karşılık gelmektedir (Şekil 6). En düşük verim değeri 79,51 kg/da şiddetli kurak değer (-1,72) ile 2008 yılına aittir. Aralık 2006 yılından Aralık 2008 yılına kadar devam eden kuraklığın etkisi düşük verim değerleri ile dikkat çekmektedir. Özellikle buğday gelişim dönemlerinde yağışa ihtiyacının fazla olması İç Anadolu Bölgesi'nde uzun yıllar normal yağış ortalamasından %22 oranında azalan yağış değerleri ile verimde düşüğe neden olmaktadır (T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023). En yüksek verim değeri 279,14 kg/da şiddetli nemli (1,66) değer ile 2011 yılına karşılık gelmektedir.

6 aylık indislerde kuraklık ile verim arasındaki korelasyon değeri  $r=0,60$  olup güneydeki Nevşehir istasyonunda Ocak ayında, kuzeydeki Osmaniye istasyonunda ise Mart ayında yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Güney kesimdeki Nevşehir istasyonu ve kuzey kesimdeki Osmaniye istasyonuna ait dağılım grafiklerinde kurak dönemler düşük verim değerlerine karşılık gelmektedir. Karasal iklime sahip Nevşehir istasyonunda aşırı kurak değerde (-2,25) 2001 yılında 155,96 kg/da verim değeri görülür. Nevşehir istasyonunun en düşük verim değeri, 144,56 kg/da 2007 yılına aittir. 2007-2008 dönemi, Türkiye'de geniş alanları etkileyen en şiddetli kurak dönem olarak ifade edilmektedir (Türkes, 2012; Öz Y., Özelkan, & Tatlı, 2024). Özellikle 2001 sonrasındaki dönemde genel olarak normal sınır veya normalin altında kalan yağışlar 2007 yılında, ülke genelinde şiddetli bir kurak döneme neden olmuştur (Tatlı & Türkes, 2008; Taskın, Somuncu, & Capar, 2022). En yüksek verim ise normal kuraklık değerinde (0,32) 272,33 ile 2011 yılındadır.

9 aylık kuraklık verim korelasyon sonuçlarında  $r=0,63$  güney kesimdeki Nevşehir istasyonu Şubat ayına aittir (Şekil 6). Dağılım grafiğinde görüldüğü gibi, 9 aylık SPEI için verim değerlerinin birbirine yakın şekilde dağıldığı belirlenmiştir. Aşırı kurak (-1,62) koşullarda 260,91 kg/da verim değeri mevcuttur. 2007 yılındaki en düşük verim değeri 149,14 kg/da normal kurak (-0,50) koşullarda görülmektedir. 6 aylıklar ile benzer şekilde Türkiye'de şiddetli kuraklığın etkili olduğu 2007 yılı 9 aylık indislerde de belirlenmiştir. En yüksek verim değeri ise 276,39 kg/da 2008 yılında normal kuraklık değerlerinde (0,69) görülür.

SPEI indisi için en yüksek korelasyon  $r=0,65$  havzanın güneyindeki karasal iklime sahip Nevşehir istasyonuna ait Haziran ayında belirlenmiştir (Şekil 6). Dağılım grafiğinde şiddetli kurak (-1,71) koşullarda 153,33 kg/da 2014 yılına aittir. İstasyona ait en yüksek verim değeri ise 2011 yılında 272,33 kg/da normal kurak (0,91) koşullardadır. 2012 yılında Kızılırmak Havzası ve çevresinde başlayan meteorolojik kuraklık, yaz kuraklığı ile birleşerek 2013 yılında tüm Türkiye'yi etkisi altına almış ve 2014 yılında etkisini daha da artırmıştır. Bu durum dağılım grafiğinde şiddetli kuraklık ile düşük verim değerleri arasında açıkça görülmektedir (Şekil 6).

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Kızılırmak Havzası'nda bulunan 23 meteoroloji istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık minimum ile maksimum yağış değerlerinden yararlanılarak SPEI kuraklık indislerinin 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için hesaplanmasını ve bu dönemlere ait kuraklık şiddetinin incelenmesini kapsamaktadır. Araştırma, 1991-2022 yılları arasında buğday verim değerleri ile kuraklık indis değerleri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesine odaklanmıştır. SPEI sonuçlarına göre kuraklık şiddetinin ve buğday verimindeki değişimlerin belirgin olduğu dönemler tespit edilmiştir.

Kısa dönemli kuraklıklar (1 ve 3 aylık indisler), havzanın farklı bölgelerinde çeşitli etkiler yaratmaktadır. İstasyonların havza içerisindeki konumları, denizellik ve karasallık etkisine bağlı olarak yağış dönemlerini ve kuraklık şiddetini farklılaştırmaktadır. Örneğin, 2014 yılı Ocak ayında aşırı kurak değerler, havzanın kuzeyindeki kıyı kesimde bulunan Osmaniye istasyonunda kaydedilmiştir. Uzun dönemli kuraklıklar (6, 9 ve 12 aylık indisler), özellikle 1994 ve 2016 yıllarında Eylül ile Kasım aylarında belirginleşmiştir. Bu kuraklıklar, kıyı kesimdeki Samsun ve havzanın güneyindeki Nevşehir istasyonlarında aşırı kurak değerlerle dikkat çekmiştir. Kuraklık şiddetindeki bu artışın, Azor Yüksek Basıncı, Sibirya Yüksek Basıncı ve Kuzey Atlantik Salınımı gibi atmosferik koşulların etkisiyle

ortaya çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca, 2000’li yıllardan itibaren sıklaşan sıcak hava dalgaları, kuraklık koşullarını daha da ağırlaştırmıştır.

Buğday verim değerleri ile kısa dönemli (1-3 aylık) kuraklık şiddeti arasındaki ilişki incelendiğinde, r değerlerinin 0,51 ile 0,65 arasında değiştiği görülmüştür. SPEI indisinde en yüksek ilişki 1993 ve 2018 yıllarının Haziran ayında havzanın güneyinde karasal iklim koşullarındaki Kayseri ve Ürgüp istasyonlarında belirlenmiştir. Karasal iklimin etkili olduğu bu bölgelerde yaz kuraklığının, buğday veriminde ciddi düşüslere neden olduğu dikkat çekmiştir. İlkbahar döneminde yağışların azalması ve yaz kuraklığı ile birleşmesi, kuraklık şiddetinin artmasına bağlı olarak buğday verimini önemli ölçüde etkilemiştir.


Uzun dönemli (6, 9, 12 aylıklar) kuraklıklar ile buğday verim değerleri arasındaki ilişkinin incelendiği sonuçlarda r değerlerinin 0,60 ile 0,65 arasında olduğu tespit edilmiştir. u dönemde, özellikle 2007-2014 yıllarında Ocak, Şubat ve Haziran aylarında, havzanın güneyindeki Nevşehir istasyonunda yüksek ilişki mevcuttur. Kuraklık şiddetinin artışı, İç Anadolu Bölgesi gibi buğday tarımının yoğun yapıldığı alanlarda, bitkinin kritik su ihtiyacının olduğu gelişim döneminde verimde ciddi kayıplara yol açmıştır. Çalışma, kuraklık koşulları ile verim arasındaki ilişkilerin zamanla değiştiğini ve kuraklık şiddetinin arttığı dönemlerde buğday üretiminde önemli düşüşler yaşandığını ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, Kızılırmak Havzası'nda kuraklık ve buğday verimi arasındaki ilişki, iklimsel değişimlerin tarımsal üretim üzerindeki etkisini göstermektedir. Sağlam ve sürdürülebilir buğday üretim sistemlerinin oluşturulması, iklim değişikliğine karşı gıda güvenliğini sağlamak, ekonomik istikrarı korumak ve çevreyi muhafaza etmek adına bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma, iklim değişikliğinin buğday üretimi üzerindeki karmaşık etkilerini inceleyerek, bu stratejik ürünün iklime ve meteorolojik kuraklığa olan hassasiyetini gözler önüne sermektedir.


**Çıkar Çatışması Beyanı:** Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.


**Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti:** Fatma Yaman Öz: analiz; araştırma; veri düzenleme; görselleştirme, yazı-orijinal taslak; Emre Özelkan: teorik arka plan, organizasyon, gözden geçirme ve düzenleme, süpervizyon. Kürşad Demirel: inceleme ve organizasyon, denetim; Hasan Tatlı: veri toplama, inceleme ve organizasyon, denetim.

#### YAZAR ORCID NUMARALARI

Fatma YAMAN ÖZ  <https://orcid.org/0000-0002-6983-288X>

Emre ÖZELKAN  <https://orcid.org/0000-0002-2031-1610>

Kürşad DEMİREL  <https://orcid.org/0000-0002-2029-5884>

Hasan TATLI  <https://orcid.org/0000-0002-1960-0618>

#### KAYNAKLAR

Akansu, A. F., & Kızıldeniz, T. (2024). Assessing Wheat Yield Responses and Growing Stages Alterations to Diverse Climate Change Scenarios. *Eurasian Journal of Agricultural Research*, 8(1), 85-95.

Aktürk, G., Çıtakoğlu, H., Demir, V., & Beden, N. (2024). Meteorological Drought Analysis and Regional Frequency Analysis in the Kızılırmak Basin: Creating a Framework for Sustainable Water Resources Management. *Water*, 16(2124), 1-33.

Aktürk, G., Zeybekoğlu, U., & Yıldız, O. (2022). Assessment of meteorological drought analysis in the Kizilirmak River Basin, Turkey. (1-15, Ed.) *Arabian Journal of Geosciences*, 15(850).

Anderson, R., & French, A. (2019). Crop evapotranspiration. *Agronomy* 9, 614.

Arslan, O., Bilgil, A., & Veske, O. (2016). Standart Yağış İndisi Yöntemi ile Kızılırmak Havzası'nın Meteorolojik Kuraklık Analizi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 188-194.

Aydın, F., & Sarptaş, H. (2018). İklim değişikliğinin bitki yetiştiriciliğine etkisi: model bitkiler ile Türkiye durumu . *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(3), 512-521.

- Benito-Verdugo, P., Martínez-Fernández, J., González-Zamora, A., Almendra-Martín, L., Gaona, J., & Herrero-Jiménez, C. (2023). Impact of Agricultural Drought on Barley and Wheat Yield: A Comparative Case Study of Spain and Germany. *Agriculture*, 13(2111), 1-20.
- Camoglu, G., Demirel, K., Kahriman, F., Akcal, A., & Nar, H. (2024). Plant-based monitoring techniques to detect yield and physiological responses in water-stressed pepper. *Agricultural Water Management*, 291, 1-11.
- Can, A., & Yılmaz, D. (2023). Kızılırmak Havzası Barajlarının Kuraklığa Etkisi . *MAUN Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4(1), 1-10.
- Chen, X., Wang, L., Cao, Q., Sun, J., Niu, Z., Yang, L., & Jiang, W. (2024). Response of global agricultural productivity anomalies to drought stress in irrigated and rainfed agriculture. *Science China Earth Sciences*, 67, 1-15.
- Das, S., Das, J., & Umamahesh, N. (2023). A Non-Stationary Based Approach to Understand the Propagation of Meteorological to Agricultural Droughts. *Water Resources Management*, 37, 2483-2504.
- Demirdogen, A., Karapinar, B., & Özertan, G. (2024). The impact of climate change on wheat in Turkey. *Regional Environmental Change*, 24(20), 1-11. doi:<https://doi.org/10.1007/s10113-023-02172-6>
- Dutra, D., Viterbo, P., & Miranda, P. (2008). ERA-40 reanalysis hydrological applications in the characterization of regional drought. *Geophysical Research Letters*, 35, L19402.
- Erlat, E., & Güler, H. (2023). Temporal Variation of Droughts According to Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in Turkey (1951-2022). *Journal of Aegean Geography, (100th Year of the Republic Special Issue)*, 32, 77-90.
- Erlat, E., Türkes, M., & Aydın-Kandemir, F. (2021). Observed changes and trends in heatwave characteristics in Turkey since 1950. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(1), 137-157.
- Ersöz, F., & Ersöz, T. (2022). *İstatistik – Kavram – Teori – Parametrik Testler*. Seçkin Yayıncılık.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. London: SAGE Publications.
- Gökmen, G. (2023). İklim Değişikliğinin Türkiye'nin Tarım Ürünleri Dış Ticaretine Etkileri: Buğday Örneği. T. C. İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı .
- Gravetter, F., & Wallnau, L. (2013). *Statistics for the Behavioral Sciences (9th Edition)*. Belmont, CA: Wadsworth.
- Guo, W., Huang, S., Huang, Q., She, D., Shi, H., Leng, G., . . . Peng, J. (2023). Precipitation and vegetation transpiration variations dominate the dynamics of agricultural drought characteristics in China. *Science of The Total Environment*, 898(165480), 1-12.
- Hao, Z., AghaKouchak, A., Nakhjiri, N., & Farahmand, A. (2014). Global integrated drought monitoring and prediction system. *Scientific Data*, 1, 140001.
- Hao, Z., Sing, V., & Xia, Y. (2018). Seasonal Drought Prediction: Advances, Challenges, and Future Prospects. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 108-141. doi:<https://doi.org/10.1002/2016RG000549>
- Huang, J., Zhuo, W., Li, Y., Huang, R., Sedano, F., Su, W., . . . Zhang, X. (2020). Comparison of three remotely sensed drought indices for assessing the impact of drought on winter wheat yield. *International Journal of Digital Earth*, 13(4), 504-526.
- Iqbal, M., Goheer, M., & Khan, A. (2009). Climate change aspersions on food security of Pakistan. *Science Vision*, 15(1), 15-23.
- Kartal, F., Gözalan, S., & Öztekin, M. (2024). Kızılırmak Havzası'nın Sıcaklık, Yağış, Buharlaştırma İle Akım Verilerinin Eğilim (Trend) Yönlerinin Belirlenmesi. *International Journal of Eurasia Social Sciences (IJOESS)*, 15(57), 1055-1070.

- Kartal, V., & Emiroğlu, M. (2024). Hydrological Drought and Trend Analysis in Kızılırmak, Yesılırmak and Sakarya Basins. *Pure and Applied Geophysics*, 181, 1919-1943.
- Koç, H., Doğru, D., & Han, E. (2018). Yukarı Kızılırmak Havzası'nda ırmak sularının tarımda sulama amaçlı kullanım özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Türk Coğrafya Dergisi*, 70, 57-70.
- Li, W., Liu, S., Hau, M., Han, J., & Chen, X. (2021). Advance in the study on meteorological and agricultural drought indices. *Meteorol. Environ. Sci*, 196, 76-82.
- Matiu, M., Ankerst, D., & Menzel, A. (2017). Interactions Between Temperature and Drought in Global and Regional Crop Yield Variability During 1961-201. *PLoS ONE*, 12(5), 1-23.
- Miro, J. J., Estrela, M. J., Corell, D., Gomez, D., & Luna, M. Y. (2023). Precipitation and drought trends (1952–2021) in a key hydrological recharge area of the eastern Iberian Peninsula. *Atmospheric Research*, 286, 1-19.
- Moriondo, M., Giannakopoulos, C., & Bindi, M. (2011). Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. *Climatic Change*, 104, 679-701.
- Narasimhan, B., & Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133, 69-88.
- Ndayiragije, J., & Li, F. (2022). Effectiveness of Drought Indices in the Assessment of Different Types of Droughts, Managing and Mitigating Their Effects. *Climate*, 10(125), 1-21.
- Ozelkan, E., Chen, G., & Ustündag, B. (2016). Multiscale object-based drought monitoring and comparison in rainfed and irrigated agriculture from Landsat 8 OLI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 44, 159-170.
- Öz Y., F., Özelkan, E., & Tatlı, H. (2024). Comparative analysis of SPI, SPEI, and RDI indices for assessing spatio-temporal variation of drought in Türkiye. *Earth Science Informatics*, 1-33. doi:https://doi.org/10.1007/s12145-024-01401-8
- Özelkan, E. (2022). Spatial–Temporal Change of a Dam Lake Using Remote Sensing and Meteorological Drought Indices. In A. Shaban, *Satellite Monitoring of Water Resources in the Middle East* (pp. 129-147). Cham: Springer Water.
- Palmer, W. (1965). Meteorological drought. *Research Paper*, No: 45.
- Partigöç, S., & Soğancı, S. (2019). Küresel İklim Değişikliğinin Kaçınılmaz Sonu: Kuraklık. *Dirençlilik Dergisi*, 2(3), 287-299.
- Peña-Gallardo, M., Vicente-Serrano, S., Domínguez-Castro, F., & Beguería, S. (2019). The impact of drought on the productivity of two rainfed crops in Spain. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19, 1215-1234.
- Qaisrani, Z., Nuthammachot, N., & Techato, K. (2021). Drought monitoring based on Standardized Precipitation Index and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in the arid zone of Balochistan province, Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(11), 1-13.
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2019). Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. *Plants*, 8(34), 1-29.
- Robleh, H., Yuce, M., & Deger, I. (2024). Meteorological drought monitoring in Kızılırmak Basin, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, 83(265), 1-16.
- Sağdıç, M., & Koç, H. (2012). Yukarı Kızılırmak Havzası'nın İklimi. *Türk Coğrafya Dergisi*(58), 1-20.



- Selçuk, S., Selçuk, B., & Cebeci, M. (2024). Projections of meteorological drought events in the upper Kızılırmak basin under climate change scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 155, 5629-5646.
- Sheffield, J., Goteti, G., Wen, F., & Wood, E. F. (2004). A simulated soil moisture based drought analysis for the United States. *Journal of Geophysical Research*, 109, D24108.
- Shi, X., Yang, Y., Ding, H., Chen, F., & Shi, M. (2023). Analysis of the Variability Characteristics and Applicability of SPEI in Mainland China from 1985 to 2018. *Atmosphere*, 14(790), 1-17.
- Simsek, O., & Cakmak, B. (2010). Drought Analysis for 2007-2008 Agricultural Year of Turkey. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 7(3), 1-11.
- Soylu Pekpostalci, D., Tur, R., Danandeh Mehr, A., Vazifekhah Ghaffari, M., Dabrowska, D., & Nourani, V. (2023). Drought Monitoring and Forecasting across Turkey: A Contemporary Review. *Sustainability*, 15(6080), 1-23. doi:<https://doi.org/10.3390/su15076080>
- Şorman, A., Mehr, A., & Hadi, S. (2018). Study on spatial-temporal variations of Meteorological-Agricultural droughts in Turkey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-3/W4, 2018*, (pp. 483-490). Istanbul, Turkey.
- T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2023). *Kızılırmak Havzası Kuraklık Yönetim Planı*. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü .
- Taskın, O., Somuncu, M., & Capar, G. (2022). An Assessment on the Impacts of Climate Change on Water Resources and Agriculture Sector in Turkey. *TUCAUM 2022 International Geography Symposium*, (pp. 468-484). Ankara.
- Tatlı, H., & Türkes, M. (2008). Determination of the Link between the 2006/2007 Drought in Turkey and Large-Scale Atmospheric Variables by Logistic Regression. *Proceedings of the IVth Atmospheric Sciences Symposium, March 25-28, 2008*, (pp. 516-527). Istanbul.
- Tegos, A., Stefanidis, S., Cody, J., & Koutsoyiannis, D. (2023). On the Sensitivity of Standardized-PrecipitationEvapotranspiration and Aridity Indexes Using Alternative Potential Evapotranspiration Models. *Hydrology*, 10(64), 1-13.
- Tigkas, D., & Tsakiris, G. (2015). Early Estimation of Drought Impacts on Rainfed Wheat Yield in Mediterranean Climate. *Environmental Processes*, 2, 97-114.
- Tirivarombo, S., Osupile, D., & Eliasson, P. (2018). Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI). *Phys Chem Earth, Parts A/B/C*, 106, 1-10.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. (2007). Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resource Manage*, 21, 821-833.
- Türkes, M. (2012). Drought, Desertification and a Detailed Analysis of the United Nations Convention on Combating Desertification. *Marmara European Studies Association*, 20(1), 1-49.
- Türkes, M. (2020). Climate and Drought in Turkey. In N. B. Harmancıoğlu, & A. D. (Editorial), *Water Resources of Turkey, World Water Resources* (Vol. 2, pp. 85-125). Springer.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & Lopez-Moreno, J. I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: the standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718.
- Wang, T., Tu, X., Sing, V., Chen, X., & Lin, K. (2021). Global data assessment and analysis of drought characteristics based on CMIP6 . *Journal of Hydrology*, 596(126091), 1-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126091>

- Wei, X., Huang, S., Li, J., Huang, Q., Leng, G., Liu, D., . . . Bai, Q. (2024). The negative-positive feedback transition thresholds of meteorological drought in response to agricultural drought and their dynamics. *Science of the Total Environment*, 906(167817), 1-15.
- Yıldız, O. (2014). Spatiotemporal Analysis of Historical Droughts in the Central Anatolia, Turkey . *Gazi University Journal of Science*, 27(4), 1177-1184.
- Yılmaz, G. (2023). Kuraklık ve Sıcak Hava Dalgasının Tarımsal Üretim Üzerine Etkileri. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(2), 240-257 .
- Zarei, A., Shabani, A., & Moghimi, M. (2021). Accuracy Assessment of the SPEI, RDI and SPI Drought Indices in Regions of Iran with Different Climate Conditions. *Pure and Applied Geophysics*, 178, 1387-1403. doi:<https://doi.org/10.1007/s00024-021-02704-3>
- Zhou, Z., Liu, S., Ding, Y., Fu, Q., Wang, Y., Cai, H., & Shi, H. (2022). Assessing the responses of vegetation to meteorological drought and its influencing factors with partial wavelet coherence analysis. *Journal of Environmental Management* , 311(114879), 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114879>