



Received: 26 July 2023 | Accepted: 10 September 2023

TÜRKİYE'DE STANDARDİZE YAĞIŞ EVAPOTRANSPIRASYON İNDİSİNE (SPEI) GÖRE KURAKLIKLARIN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ (1951-2022)

Temporal Variation of Droughts According to Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in Türkiye (1951-2022)

Ecmel ERLAT*

*Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü
İzmir-Türkiye*

ecmel.erlat@ege.edu.tr

Hakan GÜLER

*Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü
İzmir-Türkiye*

hakan.k.guler@gmail.com

Abstract

In this study, the temporal changes in droughts in Türkiye were investigated based on the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) for 3, 6, and 12-month time scales during the period of 1951-2022. The analyses, conducted using the average of 102 grid data representing Türkiye, revealed a decreasing trend in SPEI values throughout the water year and all seasons. This indicates a shift in SPEI values from the "normal" class to "moderate and severe drought" classes over the past 72 years in Türkiye. Since the late 1990s, more severe and prolonged meteorological, agricultural, and hydrological droughts have been observed. The most severe and prolonged droughts in Türkiye during the period of 1951-2022, based on SPEI 3, 6, and 12-month time scales, occurred in the water year 2020-2021. Specifically, considering SPEI-12, "severe drought" conditions persisted for consecutive 12 months from December 2020 to November 2021, with "extreme drought" conditions observed for 4 months within the same period. When the temporal changes of SPEI values were examined according to seasonal averages in Türkiye, a tendency towards drier conditions was observed in all seasons, with a stronger tendency noticed in the summer and autumn seasons. In the summer season, SPEI-3 values showed a statistically significant decreasing trend of -1.02 (-1.03) at the 0.001 level based on simple linear regression analysis (Sen's slope) over the past 72 years. This indicates an increase in meteorological and agricultural droughts during the summer and autumn seasons in Türkiye over the past 72 years. The use of both precipitation and evapotranspiration data in the SPEI method demonstrated that the decreasing trend in index values, particularly more prominent in the last 20 years in Türkiye, cannot be solely attributed to high precipitation variability. This also suggests that rising temperatures and increasing evaporation/transpiration rates contribute to the intensification of droughts and the extension of dry periods.

Keywords: Drought, SPEI, climate change, time-series analysis, Türkiye.

Öz

Bu çalışmada, Türkiye'de Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisine (SPEI) göre 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde kuraklıkların 1951-2022 dönemindeki zamansal değişimi incelenmiştir. Türkiye'yi temsil eden 102 grid verisinin ortalamasına göre yapılan analizler, su yılında ve tüm mevsimlerde incelenen dönemde SPEI değerlerinin azalma eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durum Türkiye'de son 72 yılda SPEI değerlerinde "normal" sınıftan "orta ve şiddetli kurak" sınıflara doğru bir kayma olduğunu göstermiştir. Özellikle 1990'lı yılların sonlarından itibaren daha şiddetli ve uzun meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıklar gözlenmeye başlanmıştır. Türkiye ortalamasına göre 1951-2022 döneminde en şiddetli ve uzun kuraklıklar SPEI 3, 6 ve 12 zaman ölçeklerinde 2020-2021 su yılına aittir. SPEI-12 esas alındığında, 2020-2021 su yılında, Aralık 2020-Kasım 2021 tarihleri arasında birbirini izleyen 12 ay boyunca "şiddetli kurak" koşullar devam etmiş, aynı dönem içinde 4 ayda ise "ekstrem kurak" koşullar gözlenmiştir. Türkiye'de mevsimlik ortalamalara göre SPEI değerlerinin zamansal değişimi incelendiğinde, tüm mevsimlerde daha kurak koşullara kayma eğiliminin gözlemlendiği ancak bu eğilimin yaz ve sonbahar mevsimlerinde daha kuvvetli olduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde SPEI-3 değerleri basit doğrusal regresyon analizine (Sen'in eğim değerine) göre son 72 yılda 0.001 düzeyinde istatistik olarak anlamlı olmak üzere -1.02 (-1.03) azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum son 72 yılda Türkiye'de yaz ve sonbahar mevsimlerinde meteorolojik ve tarımsal kuraklıkların arttığının göstergesidir. Yağış yanında evapotranspirasyon verilerinin de kullanıldığı SPEI yöntemi, Türkiye'de özellikle son 20 yılda daha belirgin olmak üzere indis değerlerindeki azalma eğiliminden sadece yüksek yağış değişkenliğinin sorumlu olmadığını, yükselen hava sıcaklıkları ve artan buharlaşma/terleme oranlarının da kuraklıkların şiddetlenmesi ve kurak dönemlerin uzamasına katkı sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, SPEI, iklim değişikliği, zaman dizisi analizi, Türkiye.

* Sorumlu Yazar/ Corresponding author

1. GİRİŞ

Kuraklık, belli bir süre için yağış miktarının ve su varlığının ortalama değerlere göre azaldığı doğal ve geçici bir durumdur. Kuraklıkları diğer meteorolojik/klimatolojik kökenli afetlerden ayıran en önemli özelliği, başladığı ve sona erdiği zamanı belirlemenin güçlüğü ile alansal olarak çok geniş bölgeleri etkilemeleridir. Kuraklıklar, tarım, su kaynakları, enerji ve doğal çevre üzerinde yıkıcı etkiler oluşturabilmekte ve bu durum kuraklıkları tüm dünyada en yüksek ekonomik zarara yol açan klimatolojik kökenli afetlerden biri haline getirmektedir (Vicente-Serrano vd., 2005; Mishra ve Singh, 2010). Her yıl küresel olarak yaklaşık 55 milyon insan kuraklıktan doğrudan etkilenmekte ve bu durum kuraklığı dünyanın hemen her yerinde tarım ürünleri ve çiftlik hayvanları için en ciddi tehlike haline getirmektedir (WHO, 2021). Veriler, son 40 yılda kuraklıktan etkilenen bitkilerin yüzdesinin iki kattan fazla arttığını ve her yıl yaklaşık 12 milyon hektar arazinin kuraklık ve çölleşme nedeniyle kaybedildiğini göstermektedir (FAO, 2017).

Oluşum şekli ve etkileri göz önüne alınarak kuraklıklar meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik kuraklıklar olarak sınıflandırılmaktadır. Meteorolojik kuraklıklar, iklim değişkenliğinin bir sonucu olarak genellikle bir bölgede özellikle yılın yağışlı bir döneminde "ortalama" veya seçilen bir "referans dönemine" göre yağış miktarında gözlenen negatif yöndeki sapma sonucu oluşmaktadır. Meteorolojik kuraklığın şiddeti ve süresine bağlı olarak yeraltı ve yüzey su kaynaklarının ortalama seviyelerinin altında kalması sonucu hidrolojik kuraklıklar ortaya çıkmaktadır. Bitkiler için toprakta bulunan nem miktarı, tarımsal üretimi ve dolayısıyla tarımdan elde edilecek geliri olumsuz yönde etkileyecek bir seviyeye düştüğünde ise tarımsal kuraklık oluşmaktadır. Sosyoekonomik kuraklık, bölgesel su kaynaklarından sağlanan su miktarının, su taleplerini karşılayamadığında ortaya çıkmaktadır (Yihdego vd., 2019).

Kuraklığın klimatolojik olarak tanımlanabilir özellikleri arasında şiddeti, oluşum sıklığı, süresi, etkilediği coğrafi alan ve zamanlaması yer almaktadır. Kuraklık olaylarının yukarıda belirtilen özelliklerinin belirlenmesi ve izlenmesi amacıyla geliştirilmiş genellikle sıcaklık, yağış, toprak nemi ve yüzeysel akış miktarı gibi meteorolojik ve hidrolojik göstergelere dayanan birçok indis bulunmaktadır. Literatürde en sık kullanılan kuraklık indisleri arasında Standardize Yağış İndisi (SPI), Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), Erinç Kuraklık İndisi (Im), Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI) gelmektedir (Mishra ve Singh, 2010; Türkeş ve Tatlı, 2010).

Türkiye’de yağış değişkenliğinin yüksek olması nedeniyle kuraklık olasılığı da fazladır. Türkiye’de SPI indisine göre kuraklığın alansal dağılışı incelendiğinde aylık SPI değerlerinin kurak olma olasılıkları (SPI değerleri <0) Akdeniz kıyı kuşağında 0.57, Türkiye-Suriye sınır bölgesinde ise 0.55 olarak belirlenmiştir. Söz konusu değer Türkiye'nin kıtasal İç Anadolu Bölgesi'nde minimum 0,45 değerine ulaşmakta, Akdeniz kıyılarında yaklaşık 0.21–0.23 arasında değişmekte, Batı ve Doğu Karadeniz bölgeleri ve Kuzeydoğu Anadolu’da yaklaşık 0.03’e kadar azalmaktadır. Türkiye'deki SPI’ye göre aşırı kurak (SPI değerleri ≤ -2) olma olasılığının en yüksek olduğu alan yaklaşık 0.27 değeri ile Harran ve Akçakale ovalarındadır. (Türkeş 2013, 2020).

Yapılan çalışmalar, 1950'lerden bu yana birçok bölgede artan buharlaşma ve azalan yağış nedeniyle meteorolojik kuraklıkların arttığı ve kurak alanların alansal boyutunda değişikliklerin yaşandığını göstermektedir (Huang vd., 2016; Chiang vd., 2021; Ullah vd., 2022). Küresel ölçekte daha kurak koşullara doğru kayma eğilimi gösteren en önemli bölgelerden biri de Türkiye'nin içinde yer aldığı Akdeniz Havzası'dır (Dabanlı vd., 2017; Seager vd., 2019; Sahour vd, 2020; Spinoni vd., 2021). Türkiye’de 1931’den 2010’a kadar olan dönemde 250 meteoroloji istasyonunun verilerine göre kuraklıkların zamansal değişimi 12 aylık Standardize Yağış İndisine göre incelendiğinde, ekstrem, şiddetli ve orta şiddetteki kuraklıkların Trakya ve Ege Bölgesinde 1990’lı yılların ilk yarısında, Güneydoğu Anadolu ile Doğu Anadolu’nun güneyinde 1970’lerin ilk yarısı, 1990’lı yılların sonu ile 2000’li yılların başında, İç Anadolu’nun kuzeyinde 1950’li ve 2000’li yılların başında, Doğu Karadeniz’de dar bir alanda 1950’li yıllarda gözlemlendiği görülmektedir (Dabanlı vd., 2017). 1948–2018 döneminde İran’ın doğu ve batısında, Türkiye’nin batı ve iç kısımlarında, Irak ve Suriye'nin kuzeyi ve Ürdün’ün batısı ve İsrail’de Aralık’tan Eylül’e kadar olan dönemde kuraklıkta %106’ya varan istatistiksel olarak anlamlı bir artış (kuraklık indisinde düşüş eğilimi) belirlenmiştir. Yıllık olarak, kuraklıkta saptanan eğilimlerin % 62.5’inin, yağıştaki azalma ve potansiyel buharlaşma-terlemedeki artışın birleşik etkileri ile ilişkili olduğu saptanmıştır (Sahour vd., 2020). Küçük Menderes havzasında 5 meteoroloji istasyonunun 1960-1985 dönemindeki 3 aylık SPEI değerleri esas alındığında, en uzun kurak dönemin 28 ay ile 2016-2018 döneminde, 6 aylık SPEI değerlerinde 30 ay süre ile 2016-2018 dönemine, 12 aylık SPEI değerlerinde 40 ay ile 1991-1994 döneminde yaşandığı görülmektedir. SPI’ye göre en şiddetli kuraklık ise 1992 yılında yaşanmıştır. Bulgular Küçük Menderes Havzası’nda kuraklığın şiddetinin arttığı, sıklığının ise zamanla azaldığını göstermiştir (Eriş vd., 2020). 1925–2016 yılları arasında

Türkiye'de 126 meteoroloji istasyonunun gözlemlerinden yararlanılarak 3 aylık SPI yöntemine göre yapılan kuraklık analizi, ilkbahar, yaz ve kış aylarında kuraklıkta istatistiki olarak önemsiz bir artışın gözlemlendiğini, sonbaharda ise özellikle Türkiye'nin iç kesimlerinde önemli bir artışın yaşandığını göstermiştir. 1925 yılından bu yana en düşük SPI değeri (-2.12) 1972 ilkbaharına ve en yüksek SPI değeri ise (2.14) 1941 kış mevsimine aittir. Sonuçlar Türkiye'de şiddetli kuraklık vakalarının daha sık görüldüğünü ortaya koymuştur (Topçu, 2022). 1901'den 2015'e kadar olan dönem için 1, 3, 6 ve 12 aylık aralıklarla elde edilen SPEI değerleri incelendiğinde, 1901-2015 yılları arasında Türkiye'nin güney, güneydoğu ve İç Anadolu'nun bazı bölgelerinde SPEI değerlerinde azalma (kuraklıkta artış), Türkiye'nin kuzey, batı ve İç Anadolu'nun bazı bölgelerinde artış eğilimi (nemli koşullarda artış) olduğu görülmektedir (Jamal vd., 2022).

Birçok farklı iklim modelinin sonuçları, 21. yüzyılın sonuna kadar olan dönemde Türkiye'de daha sık, daha uzun ve daha şiddetli kuraklıkların yaşanacağını öngörmektedir (Şen vd., 2012; Önal ve Ünal, 2014; Çamalan vd., 2017; Türkeş vd., 2020). Örneğin RegCM3 modelinin sonuçları, 1961-1990 referans dönemi ile karşılaştırıldığında 2071-2100 döneminde, Ege, Akdeniz ve Orta, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin, Standardize Yağış İndisine göre daha sık 'orta şiddette kuraklık' olayları ile karşılaşacağını, özellikle Türkiye'nin batı ve güneybatı kıyı bölgelerinde "şiddetli kuraklık" koşullarında ciddi artışların meydana geleceğini göstermektedir. Edirne, Çanakkale, İzmir, Muğla, Burdur, Fethiye, Silifke, Adana ve Kilis gibi şehirlerde kuraklık olaylarının sıklığının iki katına hatta üç katına çıkacağı öngörülmektedir (Şen vd., 2012). ICTP-RegCM3 tarafından üretilen iklim simülasyonları, referans dönemine göre (1961-1990) gelecekte (2071-2100) Türkiye'nin güneydoğu kesiminde kış yağışlarında %24'lük bir azalmanın yaşanacağını öngörmektedir (Önal ve Ünal, 2014). HadGEM2-ES RCP4.5 model projeksiyonları, Türkiye'de 1971-2000 döneminde SPEI-3 aylık zaman ölçeğinde hafif nemli (0.0 - 0.99) sınıflandırmasında yoğunlaşan değerlerin, 2016-2040 periyodunda hafif kurak, 2041-2070 ve 2071-2098 periyodunda ise orta kurak sınıfa doğru kayma eğilimi göstereceğini öngörmektedir (Çamalan vd., 2017). MPI-ESM-MR küresel iklim modeli ile bölgesel iklim modeli simülasyonları kullanılarak 1971-2000 referans dönemine göre Türkiye'deki mevsimsel yağış klimatolojisi ve kuraklık koşullarındaki değişimler 2021-2050 dönemi ile karşılaştırıldığında, RCP8.5 emisyon senaryosuna göre, Türkiye'nin tüm bölgelerinde yağışta önemli bir azalmanın yanı sıra kuraklık koşullarının frekansının ve şiddetinin artacağı öngörülmektedir (Türkeş vd., 2020).

Bu çalışmada, Türkiye'de kuraklık olaylarının zamansal değişimini belirlemek için, ülke sınırları içindeki 102 grid hücrenin 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerindeki yıllık ve mevsimlik SPEI değerlerinin 1951-2022 dönemindeki değişim ve eğilimleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

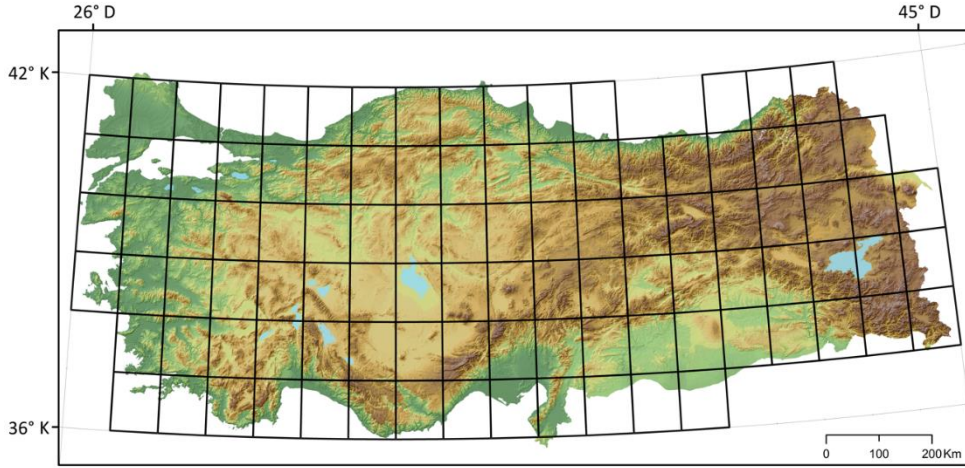
Çalışmada Türkiye'de kuraklıkların belirlenmesinde sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerine dayalı olarak geliştirilen Standardize Yağış-Evapotranspirasyon İndisinden (SPEI) yararlanılmıştır (Vicente-Serrano vd., 2010). SPEI, İklim Tahmin Merkezi (CPC) tarafından 55.5 km çözünürlüklü enterpole ile 111 km çözünürlüğe sahip veriler olarak yayınlanmaktadır. Ortalama sıcaklık verileri, NOAA NCEP CPC GHCN_CAMS gridli veri setinden, toplam aylık yağış verileri Küresel Yağış İklimlendirme Merkezi'nden (GPCC) elde edilmektedir. Potansiyel evapotranspirasyonu (PET) tahmin etmek için Thornthwaite denklemi kullanılmaktadır. SPEI'nin diğer kuraklık indislerine göre önemli bir avantajı, kuraklık koşullarının başlangıcı ve sona erme tarihleri ile kuraklığın şiddetini belirlemesidir. SPEI, farklı zaman ölçekleri (1-48 ay) için hesaplanabilmekte ve bu yolla farklı kuraklık türlerinin tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. SPEI en kısa zaman ölçeklerinde (1-3 ay) meteorolojik kuraklıklar, 3-6 aylık zaman ölçeklerinde tarımsal kuraklık, 12 ay ve daha uzun zaman ölçekleri için hesaplanan SPEI değerleri hidrolojik kuraklıkları tanımlamada yardımcı bir göstergedir (<https://spei.csic.es>). Bu nedenle çalışmada Türkiye'de meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların zamansal değişimini belirlemek için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğine (SPEI-3, SPEI-6 ve SPEI-12) ait SPEI değerleri incelenmiştir. Akdeniz makro iklimindeki frontojenez dönemi ve buna bağlı yağışın aylara dağılımı dikkate alınarak, SPEI değerleri su yılına göre (1 Ekim'den bir sonraki yılın 30 Eylül'üne kadar olan 12 aylık dönem) ve mevsimlik olarak analiz edilmiştir. Kuraklık, aylık SPEI değerinin -1'e eşit veya daha düşük olduğu dönem olarak tanımlanmıştır. SPEI göre nemlilik/kuraklık sınıflandırılması ve indis değerleri Çizelge 1'de yer almaktadır.

Çalışmada Türkiye'yi kapsayan (36°- 42° kuzey paralelleri ile 26°- 45° doğu meridyenleri arasında) 102 grid hücrenin (Şekil 1) 1951- 2022 dönemine ait SPEI verileri kullanılmıştır (SPEI Global Drought Monitor, 2023).

Çizelge 1- Standardize Yağış-Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) sınıflandırması, indis değerleri ve indis değerlerinin olasılıkları (Potop vd. 2014).

Table 1- Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) classification, index values and probabilities of index values.

Sınıflandırma	SPEI indis değerleri	Olasılık
Ekstrem nemli	≥ 2.0	0.02
Şiddetli nemli	1.50 to 1.99	0.06
Orta nemli	1.49 to 1.00	0.10
Normal	0.99 to -0.99	0.65
Orta kurak	-1.00 to -1.49	0.10
Şiddetli kurak	-1.50 to -1.99	0.06
Ekstrem kurak	≤ -2.00	0.02



Şekil 1- Çalışmada SPEI verilerinin kullanıldığı 102 grid hücrenin alansal dağılımı
Figure 1- Spatial distribution of 102 grid cells where SPEI data were used in the study.

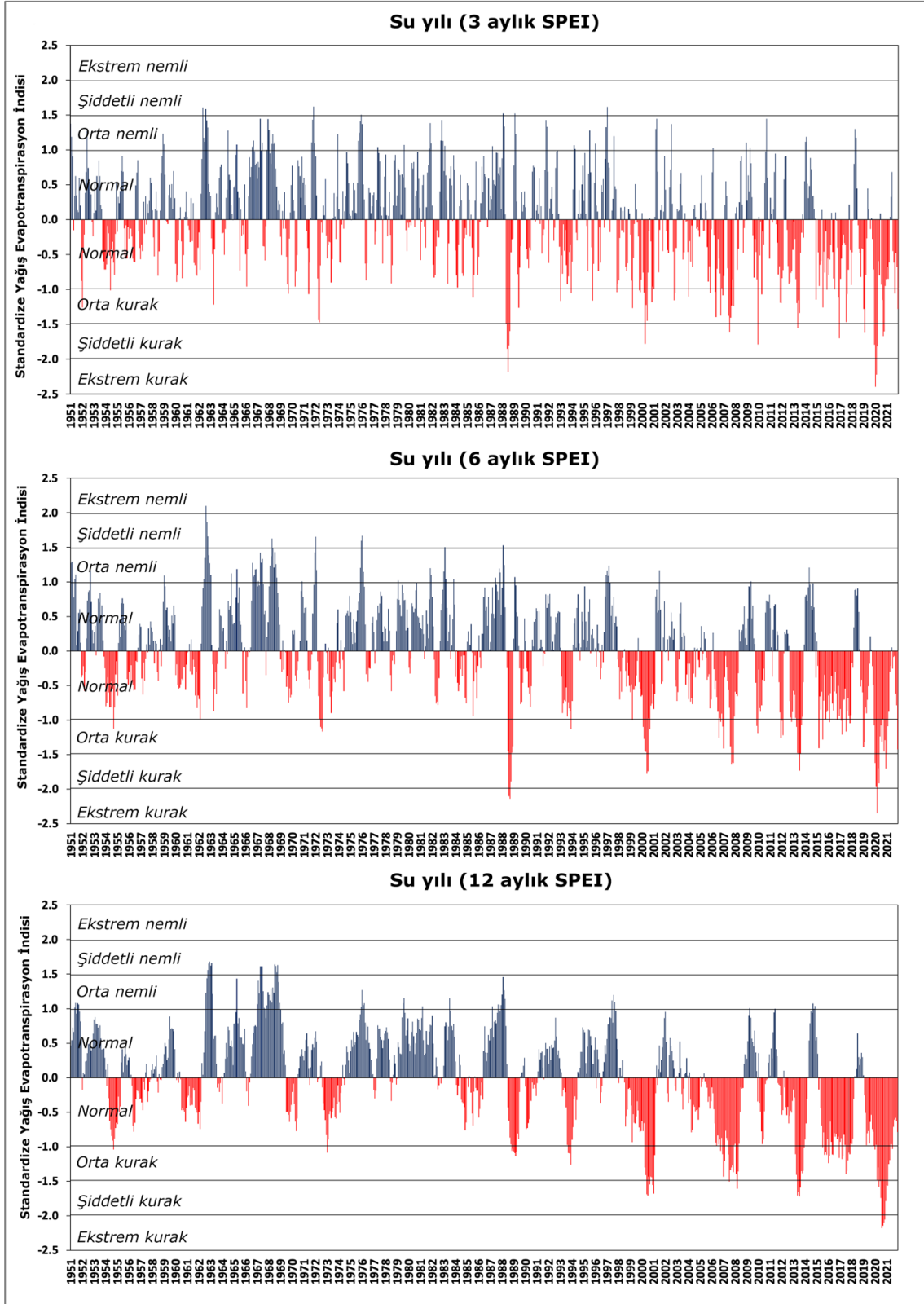
Çalışmada Türkiye’de SPEI değerlerindeki artma veya azalma yönündeki olası eğilimlerinin yönü ve büyüklüğünü tespit etmek amacıyla, klimatoloji çalışmalarında sıklıkla kullanılan basit doğrusal regresyon analizi ile parametrik olmayan Mann-Kendall sıra ilişki katsayısı (Sneyers, 1990) yöntemleri kullanılmıştır. Doğrusal regresyon analizinde, zaman bağımsız değişken SPEI değerleri ise bağımlı değişken olarak kabul edilerek SPEI değerlerine ait zaman dizilerinin eğilimleri hesaplanmış ve $n - 2$ serbestlik dereceli Student t testi ile regresyon katsayısı β ’nın istatistiksel olarak anlamlılığı sınanmıştır. Mann-Kendall sıra katsayısı ile elde edilen olası eğilimleri büyüklüğü Sen’in eğim yöntemi ile belirlenmiştir (Sen, 1968). Çalışmada, SPEI değerlerinin zaman serilerindeki olası değişim noktalarını belirlemek amacıyla Pettitt testi kullanılmıştır (Pettitt, 1979). Parametrik olmayan bu yöntem aylık ve/veya yıllık ölçekteki değişim yıllarını tespit etmektedir. Tüm test istatistiklerinin, istatistiksel olarak anlamlılıkları $\alpha = 0.05$, $\alpha = 0.01$ ve $\alpha = 0.001$ olmak üzere üç seviyede test edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Türkiye’de 3 aylık Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisindeki değişim ve eğilimler

Türkiye’de 102 grid hücrenin ortalamasına göre su yılında 1951-2022 döneminde SPEI-3 değerleri azalma eğilimi göstermiştir. SPEI-3 değerindeki azalma eğilimi, Türkiye’nin son 72 yılda meteorolojik kuraklıkların arttığını göstermektedir. Basit doğrusal regresyon analizine (Sen’in eğim değerine) göre SPEI-3 değerindeki azalış eğilimi son 72 yılda -0.66 (-0.62) olmak üzere ($R^2 = 0.23$, t testi = -4.57) 0.001 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır (Tablo 2). Pettitt testi sonuçlarına göre en önemli değişiklik 1998 yılındadır. Türkiye’nin su yılına göre 3 aylık zaman dilimindeki SPEI değerlerindeki zamansal değişimleri incelendiğinde, orta ve şiddetli kurakların 1990’lı yılların sonundan itibaren daha sık ve daha şiddetli gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 2). Bu durum 1990’lı yılların sonunda başlayan kuraklaşma eğiliminin 21. yüzyıldan itibaren daha da kuvvetlendiğini kanıtlamaktadır. Türkiye ortalamasına göre 1950 yılından bu yana en şiddetli meteorolojik

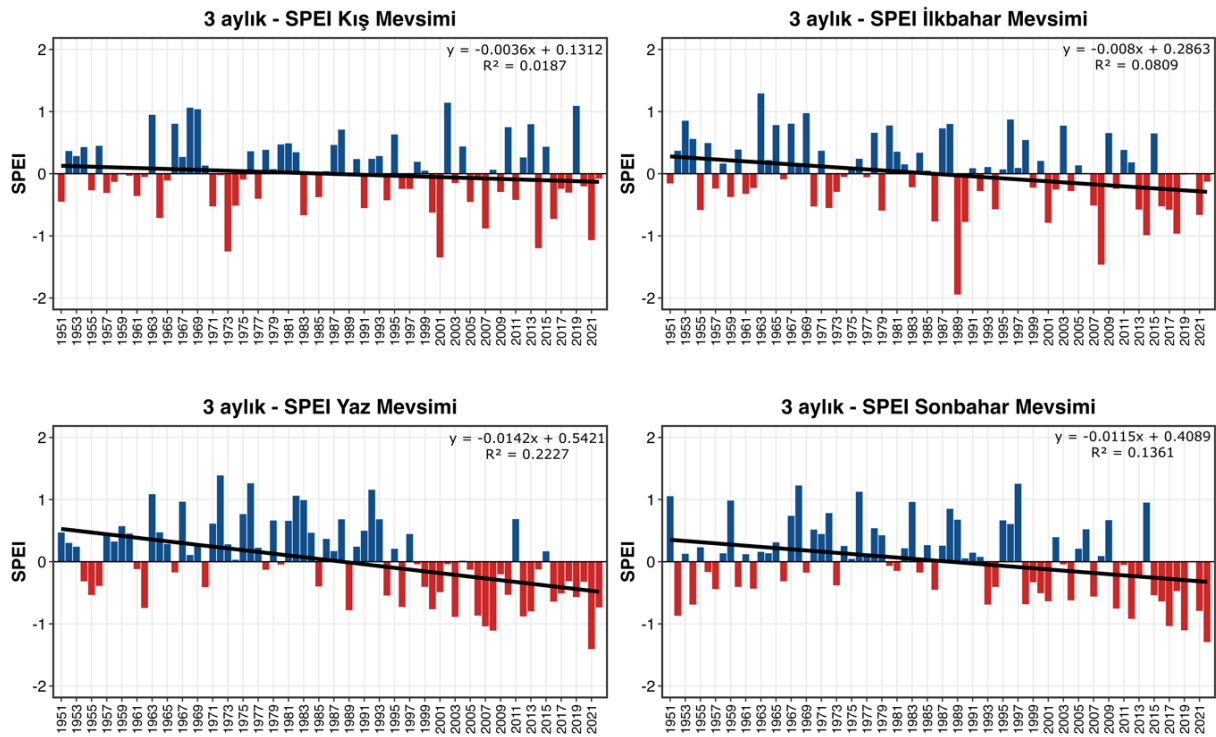
kuraklık 2020 yılının Eylül ile Aralık ayları arasında yaşanmıştır. Özellikle 2020 yılının Ekim ve Kasım aylarında meteorolojik kuraklıkların şiddeti SPEI sınıflandırmasına göre ekstrem değerlere ulaşmıştır.



Şekil 2- Türkiye'de 1951-2022 yılları arasında su yılına göre (1 Ekim-30 Eylül) 3, 6 ve 12 aylık Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisinin zamansal değişimi.

Figure 2- Temporal variation of 3, 6 and 12-month SPEI by water year between 1951-2022 in Türkiye.

Mevsimsel olarak incelendiğinde, kış mevsiminde SPEI-3 değerleri zayıf bir azalma eğilimi göstermesine rağmen bu mevsimdeki daha kurak koşullara doğru kayma eğilimi istatistiki olarak anlamlı değildir. Pettitt testi sonuçlarına göre kış mevsiminde SPEI-3 değerlerindeki en önemli değişiklik 1995 yılında gerçekleşmiştir. SPEI-3 değerleri esas alındığında 1951-2022 yılları arasında Türkiye’de kış mevsiminde en şiddetli meteorolojik kuraklıklar sırasıyla 2001, 1973 ve 2014 yıllarında gözlenmiştir. Aynı dönemin ilkbahar mevsiminde de SPEI-3 değerlerinde 0.05 düzeyinde istatistiki olarak anlamlı olmak üzere daha kurak koşullara doğru kayma eğilimi basit doğrusal regresyon analizine (Sen’in eğim değerine) göre son 72 yılda -0.58 (-0.52)’dir. İlkbahar mevsiminde meteorolojik kuraklıklarda gözlenen artış eğilimi Pettitt testi sonucuna göre 1988 yılı sonrası daha belirgin hale gelmiştir. 1951-2022 yılları arasında Türkiye’de ilkbahar mevsiminde en şiddetli meteorolojik kuraklıklar sırasıyla 1989, 2008 ve 2014 yıllarında gözlenmiştir. Türkiye’de 3 aylık SPEI değerlerinde en belirgin değişim yaz mevsimine aittir. SPEI-3 değerleri basit doğrusal regresyon analizine (Sen’in eğim değerine) göre son 72 yılda -1.02 (-1.03) değeri ile ($R^2 = 0.22$, t testi = -4.48) 0.001 düzeyinde istatistiki olarak anlamlı olmak üzere azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum yaz mevsiminde 1950’den bu yana gözlenen sıcaklık artışının bu mevsimdeki kuraklıkları daha da şiddetlendirdiğini ortaya koymaktadır. Pettitt testi sonucuna göre indis değerindeki değişim 1992 yılında yaşanmıştır. 1951-2022 yılları arasında Türkiye’de yaz mevsiminde en şiddetli meteorolojik kuraklıklar sırasıyla 2021, 2008 ve 2007 yıllarına aittir. Diğer mevsimlerde olduğu gibi son 72 yılda Türkiye ortalamasına göre SPEI-3 değerlerinde sonbahar mevsiminde basit doğrusal regresyon analizine (Sen’in eğim değerine) göre son 72 yılda azalma -0.83 (-0.85)’tür ve Pettitt testi sonuçlarına göre bu değişim 1996 yılında başlamıştır. Sonbahar mevsiminde en şiddetli meteorolojik kuraklıklar sırasıyla 2020, 2022 ve 2019 yıllarına aittir. Türkiye ortalamasına göre 2020 yılı sonbaharı “ekstrem kurak” koşullar egemen olmuştur (Şekil 3).

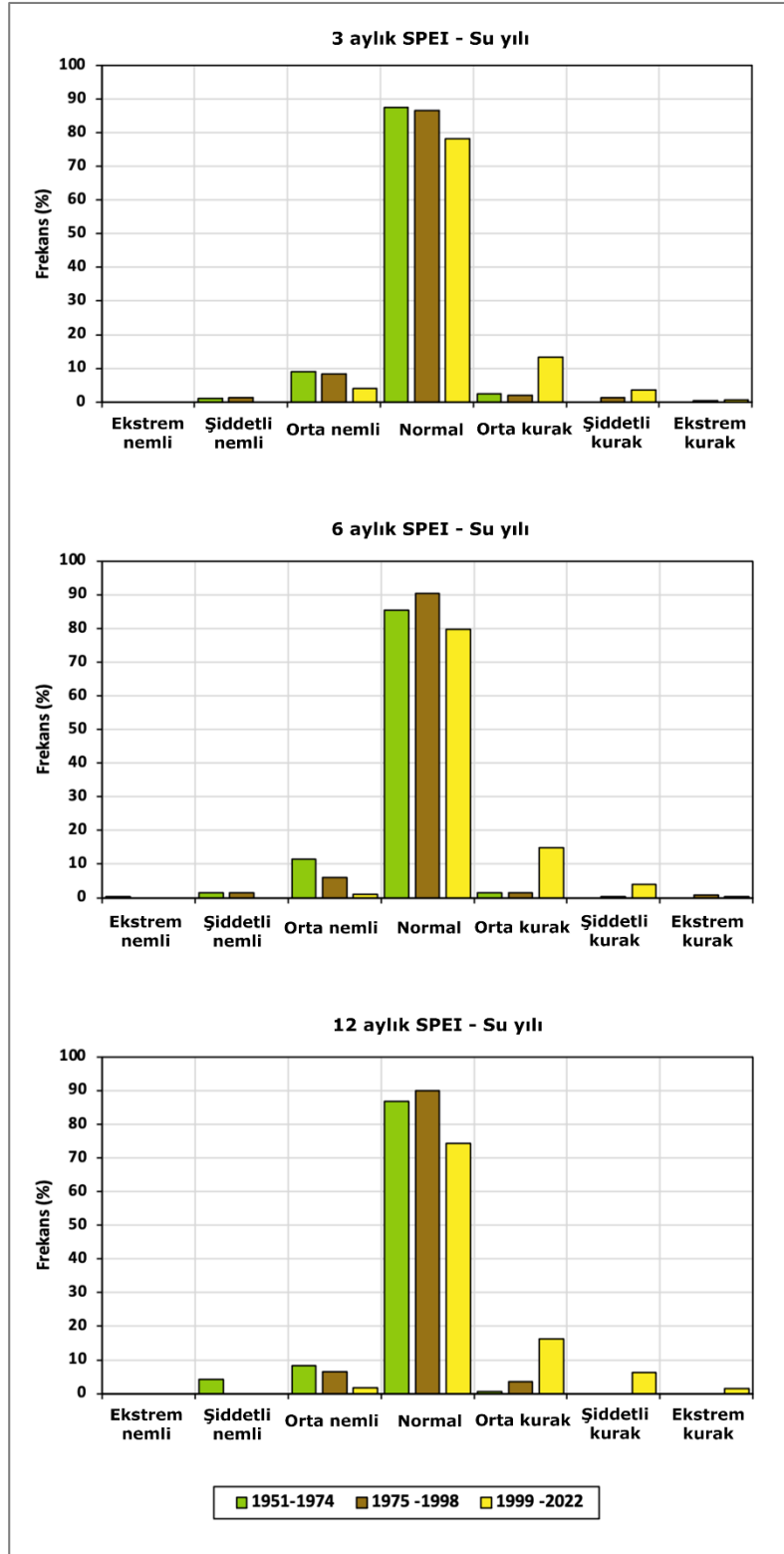


Şekil 3- Türkiye’de 1951-2022 yılları arasında mevsimlere göre 3 aylık Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisinin zamansal değişimi.

Figure 3- Temporal variation of 3-month Standardized Precipitation Evapotranspiration Index -3 by seasons between 1951-2022 in Türkiye.

Türkiye ortalamasına göre SPEI-3 değerleri son 72 yılda eşit üç döneme ayrılarak (1951-1974, 1975-1998, 1999-2022) incelendiğinde, su yılında indis değerlerinde daha kurak koşullara olan kayma eğilimi daha iyi görülmektedir. Örneğin 1951-1974 döneminde frekansı % 9 olan orta nemli koşulları gösteren SPEI değerlerinin oranı 1999-2022 döneminde % 4’e düşerken, orta kurak koşulları temsil eden SPEI değerlerinin frekansı % 2.4’den % 13.4’e yükselmiştir. Türkiye ortalamasına göre su yılında 1951-1974 döneminde SPEI

sınıflandırmasına göre şiddetli ve ekstrem kurak koşullar gözlenmez iken, 1999-2022 döneminde şiddetli kuraklıkların frekansı % 3.6'ya ulaşmıştır. Nitekim son 72 yılda su yılına göre SPEI-3 zaman ölçeğinde en şiddetli kuraklık, -2.40 ve -2.22 değerleri ile Ekim ve Kasım 2020 tarihinde gözlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4 -Türkiye’de su yılında (1 Ekim-30 Eylül) üç döneme göre (1951-1974, 1975-1998 ve 1999-2021) 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğine ait SPEI histogramı.

Figure 4- SPEI histogram for 3, 6 and 12-month time scales for three periods (1951-1974, 1975-1998, and 1999-2021) in Türkiye in water year.

Çizelge 2- Türkiye’de SPEI değerlerindeki basit doğrusal ve Mann-Kendall (M-K) testine göre trend analiz sonuçları. Yıldız işaretleri, istatistiki olarak ‘****’ $p < 0.001$, ‘***’ $p < 0.01$ ve ‘**’ $p < 0.05$ anlamlılık düzeylerini belirtmektedir.

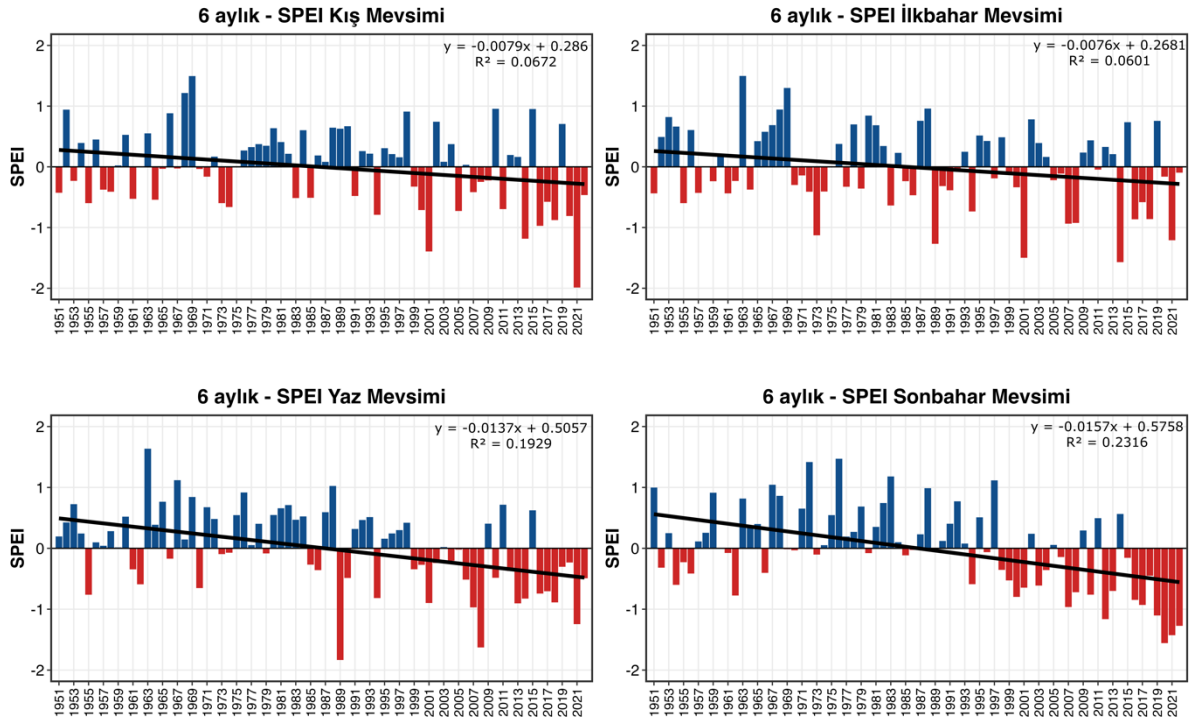
Table 2- Trend analysis results based on simple linear regression and Mann-Kendall (M-K) test for SPEI values in Türkiye. Asterisks indicate level of statistical significance at ‘****’ $p < 0.001$, ‘***’ $p < 0.01$ and ‘**’ $p < 0.05$.

SPEI zaman ölçeği	Dönem	Mann Kendall (z değeri)	Sen's slope - (SPEI/Tüm dönem)	OLS (t değeri)	$\hat{\beta}$ (SPEI/Tüm dönem)	Pettit Test
3 aylık SPEI	Su Yılı	-3.72	-0.62***	-4.57	-0.66***	1998***
	Kış	-0.99	-0.24	-1.16	-0.26	1995
	İlkbahar	-2.41	-0.52*	-2.48	-0.58*	1988
	Yaz	-3.96	-1.03***	-4.48	-1.02***	1992***
	Sonbahar	-2.94	-0.85**	-3.32	-0.83**	1996**
6 aylık SPEI	Su Yılı	-3.51	-0.75***	-4.17	-0.80***	1998***
	Kış	-1.62	-0.45	-2.25	-0.57*	1998
	İlkbahar	-1.41	-0.44	-2.12	-0.55*	1988
	Yaz	-3.70	-1.01***	-4.09	-0.99***	1988***
	Sonbahar	-3.96	-1.22***	-4.59	-1.13***	1997***
12 aylık SPEI	Su Yılı	-3.98	-1.07***	-4.92	-1.07***	1998***
	Kış	-3.54	-1.06***	-4.49	-1.08***	1999**
	İlkbahar	-3.58	-1.02***	-4.01	-1.05***	1998**
	Yaz	-3.33	-1.01***	-3.82	-1.03***	1998**
	Sonbahar	-3.38	-1.06***	-4.13	-1.05***	1998**

3.2 Türkiye’de 6 aylık Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisindeki değişim ve eğilimler

Türkiye’de 102 grid hücrelerinin ortalama verisine göre, 1951-2022 döneminde su yılında 6 aylık SPEI değerleri 0.001 düzeyinde istatistiki olarak anlamlı olmak üzere azalma eğilimi göstermiştir. Basit doğrusal regresyon analizine (Sen’in eğim değerine) göre SPEI-6 değerlerindeki azalış eğilimi son 72 yıl için -0.80 (-0.75)’dir (Çizelge 2). SPEI değerlerindeki gözlenen azalma eğilimi özellikle 1998 sonrası Türkiye’nin su yılında meteorolojik/tarımsal kuraklıklara daha sık ve şiddetli maruz kaldığını ortaya koymaktadır. Nitekim Türkiye’de 1951 yılından bu yana SPEI-6 aylık indisinde su yılına göre orta şiddette kuraklıkların gözleendiği (-1.00 ile -1.49) en uzun kurak dönem, kesintisiz 15 ay devam eden, ortalama SPEI değerinin -1.49 olduğu (orta kurak) Eylül 2020 ile Kasım 2021 tarihleri arasında kapsamaktadır. Kasım 2000-Haziran 2001 tarihleri arasında kesintisiz 8 ay, Nisan 1989-Eylül 1989 ile Ocak 2014-Haziran 2014 tarihleri arasında kesintisiz 6 ay devam eden kurak dönemler Türkiye’de 21. yüzyılda kuraklıkların süresinin uzadığını göstermektedir. Son 72 yılda su yılına göre en şiddetli kuraklık SPEI-6 sınıflandırmasında -2.35 indis değeri ile Aralık 2020 yılına aittir (Şekil 2).

Türkiye ortalamasına göre son 72 yılda kış mevsiminde 6 aylık zaman ölçeğinde SPEI değerleri istatistiki olarak anlamlı olmayan bir azalma eğilimi göstermiştir. Pettitt testi sonucuna göre kış mevsiminde SPEI değerlerindeki en önemli değişiklik 3 aylık SPEI değerlerinde olduğu gibi 1998 yılında gerçekleşmiştir. SPEI-6 değerlerine göre 1951 yılından bu yana en şiddetli kış kuraklıkları sırasıyla 2021, 2001 ve 2014 yıllarında gözlenmiştir. Türkiye’de 2021 kışı, son 72 yılda SPEI-6 değerlerine göre ekstrem kuraklığın gözleendiği ilk kış mevsimi olma özelliği taşımaktadır. Kış mevsiminde olduğu gibi Türkiye’de 1951-2022 döneminde ilkbahar mevsiminde 3 aylık zaman ölçeğindeki SPEI değerlerinde istatistiki olarak anlamlı olmayan bir kuraklaşma eğilimi mevcuttur. Basit doğrusal regresyon analizine (Sen’in eğim değerine) göre son 72 yılda, ilkbaharda 6 aylık zaman ölçeğinde SPEI değeri -0.55 (-0.44) olmak üzere daha kurak sınıfa doğru kaymıştır. Türkiye’de 1951-2022 döneminde 6 aylık SPEI değerlerinde en önemli değişim yaz ve sonbahar mevsimlerinde gözlenmiştir. Basit doğrusal regresyon analizine (Sen’in eğim değerine) göre 6 aylık zaman ölçeğinde SPEI, 0.001 düzeyinde istatistiki olarak anlamlı olmak üzere yaz mevsiminde son 72 yılda -0.99 (-1.01), sonbahar mevsiminde -1.13 (-1.22) azalma eğilimi göstermiştir. Pettitt testinin sonuçlarına göre bu değişim yaz mevsiminde 1988, sonbaharda ise 1997 yılında başlamıştır. Bu durum Türkiye’de yaz ve sonbahar mevsimlerinde son 40 yılda tarımsal kuraklıkların şiddetlendiğini ve uzadığını ortaya koymaktadır (Şekil 5).



Şekil 5- Türkiye’de 1951-2022 yılları arasında mevsimlere göre 6 aylık Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisinin zamansal değişimi.

Figure 5- Temporal variation of 6-month Standardized Precipitation Evapotranspiration Index by seasons between 1951-2022 in Türkiye.

Türkiye’de su yılında SPEI-6 değerlerine ait histogram incelendiğinde, 1951-1974 döneminde ekstrem ve şiddetli nemli sınıflandırmaya ait indis değerlerinin, 1975-2022 yılları arasında hiç gözlemlenmediği görülmektedir. Buna karşılık Türkiye ortalamasına göre su yılında 1951-1974 döneminde SPEI sınıflandırmasına göre şiddetli ve ekstrem kurak koşullar gözlenmez iken, 1999-2022 döneminde şiddetli kuraklıkların frekansı % 4’e ulaşmıştır (Şekil 4).

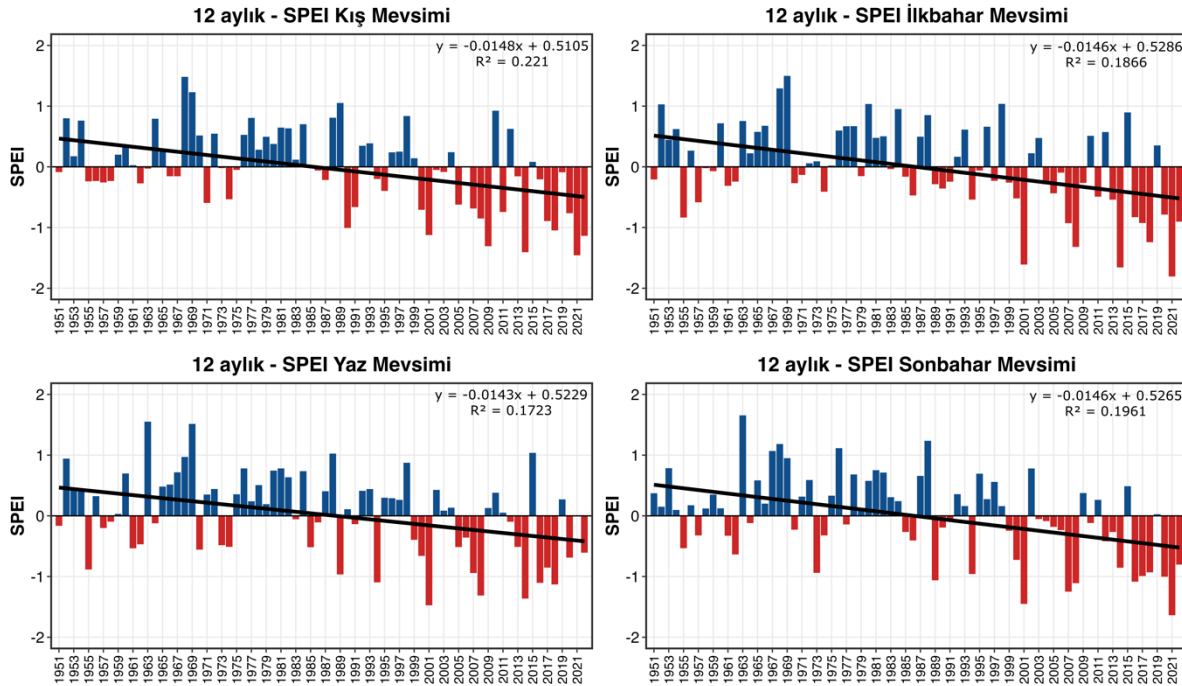
3.3 Türkiye’de 12 aylık Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisindeki değişim ve eğilimler

Türkiye ortalamasına göre 1951-2022 döneminde su yılında SPEI-12 değerleri 0.001 düzeyinde istatistiki olarak anlamlı olmak üzere azalma eğilimi göstermiştir. Basit doğrusal regresyon analizine (Sen’in eğim değerine) göre SPEI-12 değerindeki azalış eğilimi son 72 yılda -1.07 (-1.07) olmak üzere 0.001 düzeyinde istatistiki olarak anlamlıdır. Bu eğilim 1998 yılı itibariyle belirginleşmiştir. Nitekim su yılında 1998 yılı öncesi SPEI-12 değerlerinde hiç şiddetli kurak sınıfa giren bir yıl gözlenmez iken, 1999-2022 döneminde 5 yıl şiddetli kurak koşullar görülmüştür. 102 grid verisinin ortalamasına göre 1951 yılından bu yana Türkiye’de SPEI-12 zaman ölçeğinde en şiddetli kuraklık -1.66 indis değeri ile 2020-2021 su yılında gözlenmiştir. Kuraklıklar süre olarak incelendiğinde, Mart 2001-Ekim 2001 arasında kesintisiz 8 ay, Şubat-Mayıs 2014 tarihleri arasında kesintisiz 4 ay ve Aralık 2020-Kasım 2021 döneminde birbirini izleyen 12 ay boyunca şiddetli, aynı dönem içinde 4 ayda ise ekstrem kurak koşullar egemen olduğu görülmektedir. Bu durum Türkiye’de 2000’li yıllardan itibaren kuraklıkların sadece şiddetinin artmadığının aynı zamanda süresinin de uzadığını ve hidrolojik kuraklık riskinin arttığını işaret etmektedir.

Türkiye ortalamasına göre su yılında SPEI-12 değerlerine ait histogram incelendiğinde, 1951-1974 döneminde orta nemli koşulları gösteren SPEI değerlerinin frekansı % 8.3 iken bu oran 1999-2022 döneminde % 1.8’e düştüğü buna karşılık orta kurak koşullar temsil eden SPEI değerlerinin frekansı % 0.7’den % 16.3’e yükseldiği görülmektedir. SPEI değerlerinde en önemli değişim ise şiddetli kuraklığı gösteren indis sınıflarında gözlenmektedir. Örneğin 1951-1974 döneminde şiddetli ve ekstrem kurak koşullar gözlenmez iken, 1999-2022 döneminde şiddetli kuraklıkların frekansı % 6.2’ye, ekstrem kuraklıkların oranı ise % 1.4’e ulaşmıştır (Şekil 4).

Türkiye ortalamasına göre mevsimler itibariyle SPEI-12 değerleri incelendiğinde dört mevsimde de 1951 yılından 2022 yılına kadar olan dönemde kuraklaşma eğiliminin egemen olduğu görülmektedir. Mevsimler

arasında SPEI-12 değerlerinde göre en kuvvetli azalma eğilimi kış mevsimine aittir. Basit doğrusal regresyon analizine (Sen'in eğim değerine) göre bu mevsimde son 72 yılda 0.001 anlamlı olmak üzere SPEI değerlerinde -1.08 (-1.06) azalma söz konusudur. Pettitt testi sonuçlarına göre Türkiye'de kış mevsiminde 1999 yılı sonrası daha kurak koşullara doğru bir kayma eğilimi gözlenmektedir. İlkbahar mevsiminde, 0.001 düzeyinde anlamlı olmak üzere, son 72 yılda SPEI-12 değerleri 1990'lı yılların sonundan itibaren daha belirgin olmak üzere basit doğrusal regresyon analizine (Sen'in eğim değerine) göre -1.05 (-1.02) azalmıştır. İlkbahar mevsiminde son 72 yılda SPEI-12 aylık zaman diliminde en kurak koşullar (SPEI'ye göre şiddetli kurak sınıfa dahil) 2021 (-1.81), 2014 (-1.66) ve 2001 (-1.61) yıllarına aittir. 1951-2022 döneminde Türkiye ortalamasına göre yaz ve sonbahar mevsiminde SPEI-12 değerleri azalma eğilimi göstererek, basit doğrusal regresyon analizine (Sen'in eğim değerine) göre son 72 yılda sırasıyla -1.03 (-1.01) ile -1.05 (-1.06) olmak üzere daha kurak sınıfa doğru kaymıştır. Kuraklaşma eğilimi kış ve ilkbahar mevsimlerinde olduğu gibi 1998 yılı sonrası kuvvetlenmiştir (Tablo 2).



Şekil 6- Türkiye'de 1951-2022 yılları arasında mevsimlere göre 12 aylık Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisinin zamansal değişimi.

Figure 6- Temporal variation of 12-month Standardized Precipitation Evapotranspiration Index by seasons between 1951-2022 in Türkiye.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada 102 grid hücrenin verisi kullanılarak 1951-2022 döneminde Türkiye'de 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SPEI değerlerinin zamansal değişimi incelenmiştir. Sonuçlar SPEI değerlerinin su yılı ve tüm mevsimlerde azalma eğilimi gösterdiğini ve Türkiye'nin son 72 yılda daha kurak koşullara doğru kaydığını, meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların şiddetinin arttığını işaret etmektedir. Yapılan çalışmalar da Türkiye'de 1980'lerin sonlarından itibaren kuraklıkların oluşum sıklığının arttığını ve Türkiye'de en şiddetli ve yaygın kuraklıkların 1971-1974, 1983-1984, 1989-1990, 1996-2001, 2007-2008, 2013-2014 yıllarında yaşandığını göstermektedir (Türkeş ve Erlat, 2005; Türkeş ve Tatlı, 2009; Kurnaz 2014).

Pettitt testinin sonuçlarına göre Türkiye'de 102 grid hücre verisinin ortalaması esas alındığında, 1990'lı yılların sonundan itibaren SPEI değerlerindeki azalma eğilimi belirginleşmiştir. SPEI değerlerine göre 1950 yılından bu yana hem su yılı hem de mevsimlik ortalamalarda en şiddetli ve uzun kuraklık olayları 1998 yılı sonrası gözlenmiştir. Türkiye ortalamasına göre su yılında en şiddetli kuraklıklar sırasıyla SPEI 3, 6 ve 12 zaman ölçeklerinde 2020-2021, 2000-2001 ve SPEI-3'te 2007-2008, SPEI-6 ve SPEI-12'de 2013-2014 yıllarında gözlenmiştir. SPEI-12 esas alındığında Türkiye'de 1950 yılından bu yana en şiddetli kuraklığın yaşandığı 2020-2021 su yılında, Aralık 2020-Kasım 2021 döneminde birbirini izleyen 12 ay boyunca şiddetli kuraklık koşulları devam etmiş, aynı dönem içinde 4 ayda ise ekstrem kurak koşullara dönüşmüştür. Hidrolojik kuraklıkları

tanımlamaya yardımcı olan SPEI-12 değerlerine göre 2020-2021 su yılında gözlenen ekstrem kurak koşulların oluşmasında, Türkiye'nin 2019 yılında yaz ve sonbahar aylarında ortalamanın altında yağış alması ve 2020 yılında Ekim'den Aralık'a kadar olan döneminde yağış miktarının, 1981-2010 ortalamasının % 48 altında kalmasıdır. GRACE-FO uyduları tarafından ölçülen 11 Ocak 2021 tarihinde sığ yeraltı suyu miktarını gösteren harita, Türkiye'de çok geniş alanlarda yeraltı suyunun 1948-2010 ortalamasının % 2-5'ine düştüğünü göstermektedir (Patel, 2021). 2020-2021 su yılında gözlenen kuraklığın şiddetlenmesine yol açan bir diğer faktörde hava sıcaklıklarıdır. Yıllık ortalama sıcaklıklara ait gridli veriler, 2020 yılının 1950 yılından bu yana Türkiye'de 3. en sıcak yıl olduğunu göstermektedir (Güler ve Erlat, 2023). 1951-2022 döneminde su yılında SPEI 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde en şiddetli kuraklığın yaşandığı ikinci yıl 2000-2001'dir. SPEI-3 aylık zaman ölçeğine göre 2000 Aralık ayında başlayan Mart 2000 tarihinde, SPEI-6 göre Kasım 2000 tarihinde başlayan şiddetli kuraklık 6 ay sonra Nisan 2001'de sona ermiştir. SPEI-12 aylık zaman ölçeğinde kesintisiz 11 ay devam eden şiddetli kurak koşullar Ocak-Kasım 2001 tarihleri arasında etkili olmuştur. Palmer Kuraklık İndisine göre Türkiye'de 2001 yılının Şubat ayında Güneydoğu Torosların batısı, Sinop ve Rize ile Trabzon çevresi hariç bütün bölgelerde çok şiddetli kurak koşullar gözlenmiş, Temmuz ayında kuraklığın şiddeti daha da artmıştır (Akbaş, 2014). Türkiye ortalamasına göre son 72 yılda şiddetli kuraklığın gözlemlendiği bir diğer yıl olan 2013-2014 su yılında yağışlar uzun yıl ortalamasına göre % 6 azalmış, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Nisan aylarında aylık ortalamanın altında kalmıştır (Şimşek vd., 2015).

Türkiye'de 102 grid hücre verisinin ortalamasına göre mevsimlik SPEI değerlerinin zamansal değişimi incelendiğinde, değerlerdeki azalma eğiliminin diğer bir ifade ile daha kurak koşullara kayma eğiliminin en az olduğu mevsimin özellikle SPEI-3 ve SPEI-6 aylık zaman ölçeklerinde kış mevsimi olduğu görülmektedir. Bu mevsimde değerlerde istatistiki olarak anlamlı azalma eğiliminin görüldüğü SPEI-12 aylık zaman ölçeğinde ise 1950 yılından bu yana kış mevsiminde en şiddetli kurak koşullar 2021, 2014 ve 2009 yıllarında oluşmuştur. İlkbahar mevsiminde SPEI değerlerinde azalma eğilimi gözlenirse de bu eğilim sadece SPEI-3 ve SPEI-12 zaman ölçeklerinde anlamlıdır. Bu mevsimde 1951-2022 döneminde Türkiye ortalamasına göre SPEI-12 aylık zaman ölçeğinde sırasıyla en şiddetli kurak koşullar 2021, 2014 ve 2001 yıllarında gerçekleşmiştir. Türkiye ortalamasına göre yaz mevsiminde SPEI 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerine göre son 72 yılda istatistiki olarak anlamlı kuraklaşma eğilimi bulunmaktadır. Bu eğilimin en kuvvetli olduğu SPEI-3 aylık zaman ölçeğidir. SPEI-3'e göre 1951 yılından bu yana en kurak geçen yaz mevsimleri sırasıyla 2021, 2008 ve 2007 yıllarıdır. Sonbahar mevsiminde SPEI değerlerinde incelenen tüm zaman ölçeklerinde istatistiki olarak anlamlı kuraklaşma eğilimi mevcuttur. SPEI-6 zaman ölçeğinde bu eğilim daha kuvvetli olup, son 72 yılda sonbahar mevsiminde en kuvvetli kuraklıklar sırasıyla 2020, 2021 ve 2022 yıllarında gözlenmiştir.

SPEI yöntemi ile yapılan kuraklık analizlerinin sonuçları, Türkiye'nin özellikle son 20 yılda daha kurak koşullara doğru kayma eğiliminden sadece yüksek yağış değişkenliğinin sorumlu olmadığını, bunun yanı sıra yükselen hava sıcaklıklarına paralel olarak daha yüksek atmosferik buharlaşma oranlarının da kuraklaşma eğilimine katkı sağladığını gösteriyor. Nitekim Türkiye'de ortalama hava sıcaklıklarındaki değişim dikkate alındığında, 1950-2022 döneminde ortalama hava sıcaklarının, basit doğrusal regresyon analizine ve Sen'in eğim değerine göre sırasıyla 1.31°C ve 1.46°C arttığı görülmektedir (Güler ve Erlat, 2023). Küresel ve bölgesel ölçekte yapılan çalışmalar da sıcak dönemler (sıcak ekstremler) ile kurak dönemlerin üst üste çakıştığı "birleşik olayların" arttığını göstermektedir (Manning vd., 2019; Vogel vd., 2021). Örneğin Akdeniz havzasında sıcak dönem / SPI-3 değerine göre belirlenen kuraklıkların aynı zaman diliminde gözlemlendiği birleşik olayların sayısı, 1979-1998 dönemine oranla 1999-2018 döneminde Fas, İspanya güneydoğusu ve Türkiye'de batısında % 91.1 artış gösterdiği belirlenmiştir. Artan sayıdaki birleşik olayların ana nedeni olarak yağış eksikliğinden çok, yükselen sıcaklıklar gösterilmektedir (Vogel vd., 2021).

İklim modelleri içinde bulunduğumuz yüzyılda antropojenik küresel iklim değişikliğine bağlı olarak Türkiye'nin de içinde yer aldığı Akdeniz havzasında azalan yağış ve yükselen sıcaklıklara paralel olarak kuraklıkların artacağı ve şiddetleneceği yönündedir (Önol ve Ünal, 2014; Türkeş vd., 2020; Yeşilköy ve Şaylan, 2022). Sanayi Devrimi öncesine göre küresel ortalama sıcaklık artışının 2100 yılında 3°C'ye ulaşması sonucu kuraklıkların oluşturacağı ekonomik kayıpların günümüze oranla 5 kat daha fazla artacağı ve kuraklığa bağlı kayıplarındaki en güçlü artışın Avrupa'nın Akdeniz ve Atlantik bölgelerinde gerçekleşeceği öngörülmektedir (Cammalleri vd., 2020). Örneğin iklim modellerinin sonuçlarına göre 21. yüzyılın orta ve sonlarında Akdeniz havzasında yıllık hava sıcaklıklarındaki artışın küresel ortalamadan % 25, özellikle yaz aylarında % 40 daha fazla olması beklenmektedir (Lionello vd., 2018). Bu yüzyıl içinde küresel hava sıcaklıklarındaki 2°C'lik bir artışın ise yaz yağışlarında Türkiye ve Portekiz'de % 30'a varan bir azalmaya yol açacağı öngörülmektedir (Vautard vd., 2014). SPEI-12 ve Palmer Kuraklık Şiddet İndisine (sc-PDSI) göre, 1971 ile 2018 yılları arasında Türkiye'nin

kuzeybatısında orta ve şiddetli kuraklıkların oranı sırasıyla %17.2–30.3 iken bu değerler 2051–2099 döneminde RCP 4.5 göre % 38.3–35.3, RCP 8.5 göre ise % 47–4’e yükseleceği öngörülmektedir (Yeşilköy ve Şaylan, 2022). Türkiye’de 21. yüzyıl boyunca daha kurak koşullara doğru kayma eğilimi başta toprak nemi ve yüzey suları gibi kuraklığa duyarlı sistemler üzerindeki olumsuz etkileri arttıracak ve biyolojik çeşitliliğinin azalmasına yol açacaktır.

Çıkar Çatışması / <i>Conflict of Interest</i>	Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. <i>The authors declared no conflict of interest</i>
Finansal Destek / <i>funding conditions</i>	Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmiştir. <i>The authors declared that this study has received no financial support</i>
Yazar Katkıları/Author Contributions	Yazarlar/Authors
Çalışmanın içeriği ve tasarımı/ <i>Conception/Design of Study</i>	E. Erlat
Metodoloji/ <i>Methodology</i>	E. Erlat
Veri toplama-oluşturma-iyileştirme/ <i>Data Curation</i>	E. Erlat
Analiz/ <i>Analysis and interpretation of data</i>	E. Erlat - H. Güler
Görselleştirme/ <i>Visualization</i>	E. Erlat - H. Güler
Yazı taslağı/ <i>Writing - Original Draft</i>	E. Erlat
Yazma - İnceleme ve Düzenleme/ <i>Writing - Review & Editing</i>	E. Erlat - H. Güler
Proje yönetimi/ <i>Project administration</i>	E. Erlat - H. Güler

REFERANSLAR

- Akbaş, A. (2014). Türkiye Üzerindeki Önemli Kurak Yıllar. *Coğrafi Bilimler Dergisi* 12 (2): 101-118.
- Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., De Roo, A., Feyen, L. (2020). Global warming and drought impacts in the EU. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Chiang, F., Mazdiyasi, O., Agha Kouchak, A. (2021). Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nature Communications*, 12(1): 2754.
- Çamalan, G., Akgündüz, A.S., Ayvaci, H., Çetin, S., Arabacı, H., Coşkun, M. (2017). SPEI indisine göre Türkiye geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 5-7 Temmuz, İstanbul.
- Dabanlı, İ., Mishra, A. K., Şen, Z. (2017). Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey. *Journal of Hydrology*, 552: 779-792.
- Eriş, E., Çavuş, Y., Aksoy, H., Burgan, H. I., Aksu, H., Boyacıoğlu, H. (2020). Spatiotemporal analysis of meteorological drought over Kucuk Menderes River Basin in the Aegean Region of Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3-4): 1515-1530.
- FAO. (2017). Drought and Agriculture. <http://www.fao.org/3/i7378e/i7378e.pdf>
- Güler, H., Erlat, E. (2023). Türkiye’de 1950-2022 döneminde ortalama hava sıcaklıklarında gözlenen değişim ve eğilimler. *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(1): 1-17.
- Jamal, R., Hadi, S. J., Tombul, M. (2022). The Trends of the Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) in Turkey. *Geography and Natural Resources*, 43(1): 87-95.
- Huang, J., Ji, M., Xie, Y., Wang, S., He, Y., Ran, J. (2016). Global semi-arid climate change over last 60 years. *Climate Dynamics*, 46 (3–4): 1131–1150.
- Kurnaz, L. (2014). Drought in Turkey; İstanbul Policy Center Sabancı Üniversitesi: İstanbul, Turkey.
- Lionello, P., Scarascia, L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change* 18: 1481–1493.
- Manning, C., Widmann, M., Bevacqua, E., Van Loon, A. F., Maraun, D., Vrac, M. (2019). Increased probability of compound long-duration dry and hot events in Europe during summer (1950–2013). *Environmental Research Letters*, 14(9), 094006.
- Mishra, A. K., Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2): 202-216.
- Öno, B., Ünal, Y. S. (2014). Assessment of climate change simulations over climate zones of Turkey. *Regional Environmental Change*, 14(5): 1921–1935.

- Patel, K. (2021). Turkey Experiences Intense Drought. NASA Earth Observatory. Available online: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147811/turkey-experiences-intense-drought>.
- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2): 126-135.
- Potop, V., Boroneanț, C., Možný, M., Štěpánek, P., Skalák, P. (2014). Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, 115: 563-581.
- Sahour, H., Vazifedan, M., Alshehri, F. (2020). Aridity trends in the Middle East and adjacent areas. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3-4), 1039-1054.
- Seager, R., Osborn, T. J., Kushnir, Y., Simpson, I. R., Nakamura, J., Liu, H. (2019) Climate variability and change of Mediterranean-type climates. *Journal of Climate*, 32(10):2887-2915.
- Spinoni, J., Barbosa, P., Cherlet, M., Forzieri, G., McCormick, N., Naumann, G., Vogt, J. V., Dosio, A. (2021). How will the progressive global increase of arid areas affect population and land-use in the 21st century? *Global and Planetary Change*, 205(103597), 103597.
- Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324): 1379-1389.
- Sneyers, R. (1990). On the Statistical Analysis of Series of Observations. WMO Technical Note 43, World Meteorological Organization, Geneva.
- SPEI Global Drought Monitor (2023). <https://spei.csic.es/map/maps.html#months=1#month=5#year=2023>
- Şen, B., Topcu, S., Türkeş, M., Sen, B., Warner, J. F. (2012) Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey. *Climate Research*, 52: 175-191.
- Şimşek O., Yıldırım M., Gördebil, N. (2015). 2013-2014 tarım yılı kuraklık analizi. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı.
- Topçu, E. (2022). Appraisal of seasonal drought characteristics in Turkey during 1925-2016 with the standardized precipitation index and copula approach. *Natural Hazards*, 112: 697-723.
- Türkeş, M., Erlat, E. (2005). Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2001. *Theoretical and Applied Climatology*, 81: 45-69.
- Türkeş, M., Tatlı, H. (2009). Use of the standardized precipitation index (SPI) and a modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29: 2270-2282.
- Türkeş, M., Tatlı, H. (2010). Kuraklık ve yağış etkinliği indislerinin çölleşmenin belirlenmesi, nitelenmesi ve izlenmesindeki rolü. Çölleşme ile Mücadele Sempozyumu Tebliğler Kitabı: 245-263. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çorum.
- Türkeş, M. (2013). İklim Verileri Kullanılarak Türkiye'nin Çölleşme Haritası Dokümanı Hazırlanması Raporu. Birinci Baskı, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayını, ISBN: 978-6054610-51-8, 57p, Ankara
- Türkeş, M. (2020). Climate and drought in Turkey. (N. B. Harmancioglu, D. Altinbilek (Editör), Water Resources of Turkey, World Water Resources 2: 85-125, Springer.
- Türkeş, M., Turp, M. T., An, N., Öztürk, T., Kurnaz, M. L. (2020). Impacts of climate change on precipitation climatology and variability in Turkey. *Water Resources of Turkey*, 467-491.
- Ullah, S., You, Q., Sachindra, D. A., Nowosad, M., Ullah, W., Bhatti, A. S., Jin, Z., Ali, A. (2022). Spatiotemporal changes in global aridity in terms of multiple aridity indices: An assessment based on the CRU data. *Atmospheric Research*, 268(105998), 105998.
- Vautard, R., Gobiet, A., Sobolowski, S., Kjellström, E., Stegehuis, A., Watkiss, P., Mendlik, T., Landgren, O., Nikulin G., Teichmann, C., Jacob, D. (2014). The European climate under a 2 °C global warming. *Environmental Research Letters* 9, 034006.
- Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I. (2005). Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(5): 523-533.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I. (2010). Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23: 1696-1718.

- Vogel, J., Paton, E., Aich, V., Bronstert, A. (2021). Increasing compound warm spells and droughts in the Mediterranean Basin. *Weather and Climate Extremes*, 32, 100312.
- Yeşilköy, S., Şaylan, L. (2022). Spatial and temporal drought projections of northwestern Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 149(1-2): 1-14.
- Yihdego, Y., Vaheddoost, B., Al-Weshah, R. A. (2019). Drought indices and indicators revisited. *Arabian Journal of Geosciences*, 12: 1-12.
- WHO. (2021). Drought Overview. WHO website. <https://www.who.int/healthtopics/drought#>