

Batı Akdeniz'deki ekstrem kuraklık şartlarının SPEI yöntemiyle belirlenmesi¹

Determination of Extreme Drought Conditions in the Western Mediterranean by SPEI Method²

Barış Durmuş^{a*} İhsan Bulut^a

^aAkdeniz Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Antalya, Türkiye.

ORCID: B.D. 0000-0001-6556-493X; İ.B. 0000-0002-4873-3479

BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 14.07.2023

Kabul/Accepted: 07.09.2023

Anahtar Kelimeler:

SPEI
Batı Akdeniz
Ekstrem kuraklıklar
İklim değişikliği

Keywords:

SPEI
Western Mediterranean
Extreme droughts
Climate change

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(B. Durmuş) barisdurmusdr@gmail.com

DOI: 10.17211/tcd.1327588



Atıf/Citation:

Durmuş, B., & Bulut, İ. (2023). Batı Akdeniz'deki ekstrem kuraklık şartlarının SPEI yöntemiyle belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (84), 41-52.
<https://doi.org/10.17211/tcd.1327588>

ÖZ/ABSTRACT

Doğal ve beşeri ekosistemler açısından karmaşık etkilere sahip olan kuraklıklar, genel olarak uzun süreli yağış eksikliği şeklinde tanımlanan ve oldukça tehlikeli sonuçları olan bir afet türüdür. İklim değişikliği ile birlikte artan sıcaklık ve yağış değişkenlikleri, kuraklık olaylarının sıklığı, şiddeti ve süresini değiştirmektedir. Artan sıcaklıklar ile birlikte bir sıcak nokta haline gelen Akdeniz Havzası, bu fenomen karşısında oldukça kırılabilir hale gelmiştir. Bu çalışmada, ülkemizin Batı Akdeniz kesimi için temin edilen 1980-2019 yılları arasındaki günlük sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak, Standardlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) yardımıyla ekstrem kurak dönemler 3-6-12 aylık ölçeklerde araştırılmıştır. Hesaplamalarda yağış faktörünün yanında, sıcaklık ve buharlaşma faktörlerini de birleştiren SPEI yönteminin, ekstrem kurak dönemleri belirlemede başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; SPEI-3 ve SPEI-6 aylık zaman serilerinde 1981, 1985, 1989, 1990, 2000, 2007 ve 2008 yılları; SPEI-12 aylık zaman serilerinde ise 1990-1991, 2000-2001, 2004-2005, 2007-2008 ve 2016 yılları ortak ekstrem kurak yıllar olarak tespit edilmiştir. 3 ve 6 aylık ekstrem kuraklıkların sırasıyla en fazla temmuz ve haziran aylarında gerçekleştiği belirlenmiştir. Kuraklıkların süresi iç kesimlerde özellikle 2000'li yıllardan sonra artmıştır. Ekstrem kurak ayların en fazla tespit edildiği istasyon olan Burdur'da, 2015 ve 2018 yılları arası şiddetli şekilde kurak geçmiştir. Genel olarak, kıyı kesimlerde nemli olma eğilimi, iç kesimlerde ise kuraklaşma eğilimleri tespit edilmiştir. Özellikle iç kesimlerde tarımsal sürdürülebilirlik ve su yönetimi üzerine yapılacak çalışmalar, şiddetli kuraklık şartlarına karşı adaptasyon ve zararları azaltmak açısından oldukça önemlidir.

Droughts, which have multifaceted impacts on both natural and human ecosystems, are a category of disasters that are generally characterized by prolonged absence of precipitation and pose perilous consequences. The increasing temperature and precipitation variability resulting from climate change has changing alterations in the frequency, intensity, and duration of drought events. The Mediterranean Basin, which is experiencing increasing temperatures, has become more vulnerable to this phenomenon. In this study, extremely drought periods were examined as 3-6-12 month scales by Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), using daily temperature and precipitation data obtained for the Western Mediterranean part of Türkiye between 1980-2019. It was observed that the SPEI method, which is successful in determining extremely drought periods by integrates temperature and evaporation variables in addition to the precipitation in the calculations. Based on the results obtained; the years 1981, 1985, 1989, 1990, 2000, 2007 and 2008 in the SPEI-3 and SPEI-6 monthly time series and 1990-1991, 2000-2001, 2004-2005, 2007-2008 and 2016 in the SPEI-12 monthly time series were determined as common extremely drought years. The occurrence of extreme droughts for 3 and 6 months were found mostly in July and June respectively. The duration of droughts has increased in inland areas, especially after the 2000s. For the Burdur station, where the most extreme drought months were determined, the years between 2015 and 2018 were severely drought. Generally, there is wetness trend in coastal areas and aridification trend in inland areas. In particular, research on agricultural sustainability and water management in inland areas, is crucial for the adaptation and mitigation of severe drought conditions.

¹Bu çalışma "Antalya Bölümünde Meteorolojik Ekstremler ile Bitkisel Fenoloji-Verim Arasındaki İlişkiler ve İklim Değişikliği Algısı" adlı doktora tez çalışmasının sonuçlarından üretilmiştir.

²This study was produced from the results of the PhD thesis named "Relationships between Meteorological Extremes and Crop Phenology-Yield and Perception of Climate Change in the Antalya Region."

Extended Abstract

Introduction

Drought is a naturally occurring catastrophe that results from extended periods of inadequate rainfall, resulting in soil moisture loss and water balance corruption. Droughts have severe consequences for both natural and human ecosystems and are considered to be very hazardous disasters. They can lead to biodiversity loss, reducing agricultural production, famine, and mass mortality. Drought can be caused by human activities, not just nature, and has a wide range of identification. The formation process of droughts starts with meteorological drought due to lack of precipitation, followed by soil moisture deficit causing agricultural drought, and hydrological drought with decreased water in streams, lakes and dams. Eventually, a socio-economic drought occurs, resulting in hygiene issues, epidemics, and fatalities. Droughts have become more frequent, intense and prolonged due to regionally variable rainfall deficiencies. The Mediterranean Basin is experiencing increasing pressures and risks on natural systems, economic sectors and human health from temperatures and droughts. The severe evaporation due to rising temperatures has become a serious threat to the water reserves in the southwestern regions of Türkiye. Increases in heat waves, tropical nights and summer days, hot nights and days, warm spell durations, maximum and minimum temperatures and regional variations in precipitation have direct effects on drought events.

Data and Method

The study area which is located in the west of the Mediterranean Region in southwestern Türkiye. Daily temperature and precipitation data of 18 stations within the study area were obtained from the Turkish State Meteorological Service. Due to the methodology requirement, common date ranges (1980-2019) and complete data criteria, 8 station data were used in the regional drought analyses. The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) was used to identify extreme drought periods in the study area. The SPEI is used to identify drought types at different time scales and to analyze the severity, frequency and impact capability of drought. The SPEI which is methodologically similar to the Standardized Precipitation Index (SPI), is a method that combines temperature-evaporation variables with precipitation and has a high drought calculation capability. By replacing the monthly precipitation in the SPI with the difference between monthly precipitation and potential evapotranspiration (PET), it reveals the effect of changes in surface evaporation caused by the temperature variable. The SPEI method detects more severe drought events and a lower number of mild drought events than the SPI. Considering the impact of increasing global temperatures on evaporation, it is important to acknowledge the effectiveness of the SPEI method in drought analysis. SPEI analyzes various systems such as agriculture, ecosystems, rivers, water resources, etc. over various periods to determine the onset, duration and severity of drought conditions. Due to the aim of the study being to identify extreme drought periods in the region, only extremely drought (≤ -2.00) years/months were evaluated. The trends in the time series obtained for SPEI were tested with Mann-Kendall and Sen's trend analyses, which are commonly used in climatological and hydrological time series analysis.

Results and Discussion

Droughts caused by atmospheric fluctuations, heat waves, temperature and precipitation variability periodically start with meteorological droughts and evolve into agricultural, hydrological and socio-economic droughts in the region. Based on findings, the years 1981, 1985, 1989, 1990, 2000, 2007, and 2008 within the SPEI-3 and SPEI-6 and 1990-1991, 2000-2001, 2004-2005, 2007-2008, and 2016 within the SPEI-12 monthly temporal series were determined as extremely drought years. It was found that extremely dry periods were determined especially in summer and fall months. Additionally periodical deficiency in precipitation causes drought conditions to extend into the winter months. We determined that coastal areas such as Fethiye, Finike, Alanya and Gazipaşa have become increasingly wet. It is thought that increasing evaporation over the Mediterranean with rising temperatures and extreme precipitation makes these regions wetter. However, depending on the variability in temperature and precipitation, it is possible to experience long-term dry periods in these regions. On the contrary, a statistically significant aridification trend was found in inland areas such as Burdur and Beyşehir where agricultural activities are intensive. In regions dependent on rain-fed agriculture, droughts can lead to severe water shortages, yield decline, damage to livestock, and a rise in food prices which is characterized as socio-economic drought. In these regions with intensive agricultural irrigation usage of water resources are becoming increasingly vulnerable. In general, it is predicted that droughts experienced in the inlands can evolve into hydrological and socio-economic droughts. It is suggested that rational and scientific studies and projects be conducted by decision-makers for the protection of wetlands and water management.

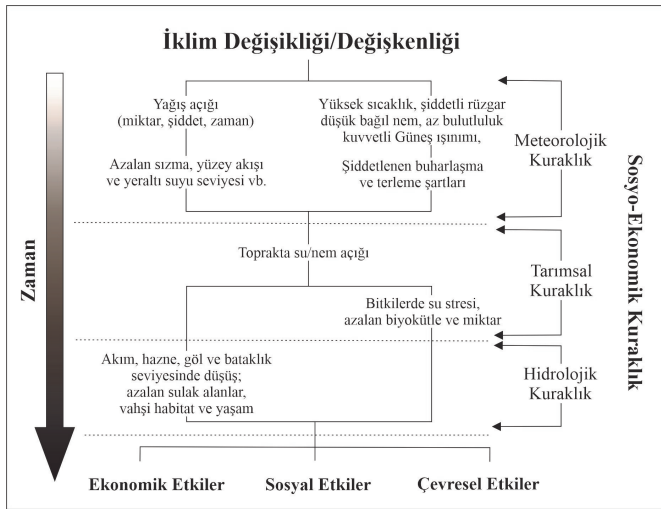
1. Giriş

Doğal ve beşeri ekosistemleri derinden etkileyen, uzun süreli yağış eksikliği sonucu toprak nemi kaybına ve su dengesinin bozulmasına sebep olan kuraklıklar (Wilhite, 2000) iklim değişikliğinin etkisi altında son yıllarda uzun süreli ve şiddetli şekilde meydana gelmektedir. Başlangıç, şiddet ve süresinin tespit edilmesi zor olan kuraklık, çok yavaş gelişen, uzun sürebilen ve gerekli önlemlerin alınmaması halinde biyoçeşitliliğin azalması, tarımsal üretimde düşüşler, yetersiz beslenme, açlık, kıtlık veya kitlesel ölümlere varan oldukça tehlikeli bir afettir. Yağış yetersizliğinin yanı sıra; yağış rejimi, sıcaklık, buharlaşma şiddeti, rüzgar, güneş ışınimleri, toprak ve topografik yapı gibi etkenler de kuraklık oluşumunda etkili olmaktadır (Şahin ve Sipahioğlu, 2003). Kuraklığın şiddeti üzerinde; meydana geldiği süre, yoğunluk ve doğal çevre şartlarının yanında, beşeri faaliyetler ve bir bölgenin su kaynakları üzerindeki talepleri de etkilidir. Genellikle doğal ve fiziksel bir olay gibi düşünülse de kuraklıklar, yoğun ve bilinçsiz insan faaliyetleri sonucunda da oluşabilen ve tanımlanması oldukça geniş bir çerçeveyi kapsamaktadır (Wilhite, 2000).

Klimatolojik açıdan kuraklıklar genel olarak; küresel atmosferik sirkülasyonlara bağlı olarak sürekli dinamik yüksek basınç kuşakları, bölgesel atmosferik dolaşimler üzerinde yüksek dağların oluşturduğu engeller, okyanus akıntıları, mutlak konuma bağlı olarak mevsimsel özellikler ve özel konuma bağlı olarak

topografik şartlar etkisinde oluşmaktadır (Türkeş, 1990). Belirtilen bu etkenlerin yanında, yağış noksanlığına neden olan atmosferik koşullar bölgesel iklim sistemlerine bağlı olduğundan kuraklık tanımları, bölgelere özgü olarak değerlendirilmelidir. Örneğin yıl boyunca yağış alan bir bölgede meydana gelebilecek kısa süreli yağış eksikliği, bölge açısından kuraklığın tanımını, şiddetini ve etkilerini farklı boyutlarda değerlendirmemizi gerektirecektir. Ayrıca bölgesel ölçekte, doğal ve sosyo-ekonomik birçok faktörün farklılık göstermesi, genelgeçer bir kuraklık değerlendirmesi yapmamızı güç kılmaktadır ve bu açıdan da kuraklık, oldukça karmaşık bir affettir.

Wilhite ve Glantz'ın (1985) yaklaşımı ile kuraklık; meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik kuraklık şeklinde genel olarak dört başlıkta sınıflandırılabilir (Şekil 1) (Wilhite, 2000). Temelde yağış yetersizliği sonucu meydana gelen kuraklıkların oluşum süreci, ilk olarak yağış açığı, yüksek sıcaklık etkisindeki şiddetli buharlaşma ve azalan yüzey akışları ile meteorolojik kuraklık şeklinde başlar; daha sonra uzun süreli yağış noksanlığından dolayı toprakta nem açığı oluşur ve bitkilerde artan su stresi ile tarımsal kuraklık meydana gelir; ardından akarsu, göl ve barajlardaki su miktarının iyice azalmasıyla hidrolojik kuraklık ve son olarak hijyen problemleri, salgın hastalıklar ve ölümler ile birlikte sosyo-ekonomik kuraklık şeklinde gerçekleşir (Wilhite, 2000; Şahin ve Sipahioğlu, 2003; Akbaş, 2014; Aksoy ve Çavuş, 2019).



Şekil 1. Kuraklığa bağlı olayların zamansal gelişimi ve kuraklık sınıfları arasındaki ilişkiler (Wilhite, 2000'den Türkçeleştirilmiştir).

Figure 1. Temporal occurrences of drought-related events and relationships between drought classifications (translated from Wilhite, 2000).

Meteorolojik ve tarımsal kuraklık, zaman ve ölçek açısından farklılıklar gösterir. Meteorolojik kuraklık, yağış yetersizliği; tarımsal kuraklık da toprak neminin azalması ile doğrudan yaşanırken; hidrolojik kuraklık, bu iki bileşen gerçekleşikten sonra yaşanır ve çok daha tehlikelidir. Diğer yandan bir bölgede yaşayan insanların arz ve taleplerine dayanan sosyo-ekonomik kuraklık tipi, süreç ve ölçek fark etmeksizin herhangi bir dönem sonucunda meydana gelebilir (Wilhite ve Glantz, 1985).

Tespiti zor olsa da kuraklığın zamansal ve mekansal gelişimi, nitelikleri ve etkisini analiz etmek için çeşitli indis ve yöntemler

geliştirilmiştir (Martonne, 1926; Thornthwaite, 1948; Palmer, 1965; Erinç, 1965; Wilhite ve Glantz, 1985; Hayes vd., 1999; Mckee vd., 1993). SPEI yöntemiyle yapılan kuraklık çalışmalarına bakıldığında genel olarak şehir bazında kalsa da son yıllarda ülkemiz özelinde de yapılmaktadır. Çamalan vd. (2021) hazırlanmış olduğu Türkiye Kuraklık Projeksiyonları Raporunda, ülkemizde 1971-2015 yılları arasında yaşanmış ve ileride yaşanması muhtemel kuraklık olayları, SPEI yöntemiyle 3 ve 12 aylık ölçeklerde çalışılmıştır. Türkiye genelinde 12 aylık kuraklık dönemleri 1973-1974; 1985; 1989-1991; 1994-1995; 1999-2001; 2005; 2007-2009; 2011 ve 2013-2014 yıllarında ortak kurak dönemler olarak yaşandığı belirtilmiştir. Çamalan vd. (2017) yaptığı bir diğer çalışmada, SPEI aşırı kurak frekansının, 2016-2040 projeksiyonunda Ege, Batı Akdeniz, İç Anadolu bölgelerinde; Batman, Elazığ ve Malatya illerinde daha yüksek olacak şekilde, tüm Türkiye'de artacağı öngörülmüştür. Çamalan vd. (2018) Ege Bölgesi için 12 aylık olarak yapmış oldukları çalışmada 1973-1975; 1984-1986; 1988-1994; 1998-2001 ve 2004-2008 yıllarında kurak dönemler yaşandığı tespit edilmiştir. Çalışmada SPI ve SPEI indis zaman dizileri incelendiğinde; SPI yönteminin belirgin sıcaklık artışı sonucu oluşan kuraklıkları tanımlayamadığı, SPEI yönteminin ise sıcaklık artışlarına bağlı artan buharlaşma bileşeni ile, küresel ısınma kaynaklı kuraklık olaylarını belirlemede daha uygun olduğu belirtilmiştir (Çamalan vd., 2018). Akdeniz Bölgesi genelinde SPEI yöntemi ile yapılan bir diğer çalışmada (Bacanlı ve Akşan, 2019); bölgedeki kuraklık ve nemlilik şartlarının genellikle normale yakın değer aralıklarında (>-1, <+1) olduğu belirlenmiştir. Bölgedeki en yüksek kuraklık frekanslarının olduğu yıllar ise 1986 yılında Antalya; 1989 yılında Hatay, Adana, Mersin, Isparta ve Burdur; 1993 yılında Osmaniye ve Kahramanmaraş illerinde tespit edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda kurak dönemleri belirleme kabiliyetleri açısından SPEI yöntemi, genellikle SPI ile karşılaştırılmıştır. Bölgesel ve zamansal açıdan farklılıklar gösterse de kurak dönemlerin belirlenmesinde, çoğunlukla SPEI yönteminin SPI'den daha hassas sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Tan vd., 2015; Tirivarombo vd., 2018; Mehr vd., 2019; Bakanoğulları, 2020; Liu vd., 2021; Lotfirad vd., 2021). Tirivarombo vd. (2018) yaptıkları çalışmada, sıcaklık ve buharlaşma faktörlerinin hesaba katılmasıyla, SPEI yönteminin kuraklıklardaki süre ve şiddetini daha iyi tespit ettiği belirtilmiştir. Aynı çalışmada sıcaklık verisinin olmadığı durumlarda SPI indisi tavsiye edilmiştir. Kuraklık olaylarının, bitki örtüsü indisleri ile karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada da (Pei vd., 2020) yine SPEI yönteminin daha uygun olduğu belirtilmiştir. SPEI, SPI ve Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI) yardımıyla kuraklığın zamansal ölçeklerdeki farklılığının analiz edildiği çalışmada (Zhao vd., 2017); PSDI'nin orta ve uzun dönemli kuraklıkların, SPEI'nin ise kısa veya uzun tüm zaman ölçeklerindeki kuraklıkların belirlenmesinde uygun olduğu belirtilmiştir.

IPCC raporunun Akdeniz Havzasına ait bölümünde (Hilmi vd., 2022), bölgesel olarak değişkenlik gösteren yağış eksiklikleri ile birlikte kuraklıkların daha sık, yoğun ve uzun süreli hale geldiği belirtilmiştir. Ayrıca Akdeniz İklim ve Çevre Değişikliği Uzmanları'nın (MedECC) (2020) raporunda ise sıcaklık ve kuraklıkların Akdeniz Havzası için doğal sistemlerde, ekonomik sektörlerde ve insan sağlığı üzerinde baskıları ve riskleri arttıracaklarını belirtilmiştir. Akdeniz Havzası, küresel ölçeğe kıyasla daha fazla ısınmaktadır (Giorgi, 2006). Sıcaklıkların artması ile buharlaşmanın

şiddetlenmesi, ülkemizin güneybatısını oluşturan bölgelerde, su rezervleri üzerinde ciddi bir tehdit haline gelmiştir. Sıcak hava dalgalarının, tropikal gece ve yaz günlerinin, sıcak gece ve günlerin, sıcak devre sürelerinin, maksimum ve minimum sıcaklıklardaki artışlar ve bölgesel olarak yağışlardaki değişkenlikler, kuraklık olayları üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Durmuş vd., 2021). Bu doğrultuda çalışmamızın amacı, 1980-2019 yılları arasında bölgede yaşanmış ekstrem kurak yılları/ayları ve bölgedeki kuraklık eğilimlerini, SPEI yöntemi ile 3-6-12 aylık ölçekler halinde belirlemektir.

2. Çalışma Sahası ve Veri

Çalışma sahası, ülkemizin güneybatısında kabaca 28°30' - 32°40' Doğu boylamları, 36°05' - 38°30' Kuzey enlemleri arasında Akdeniz Bölgesinin batısını oluşturan Antalya Bölümünü kapsamaktadır (Şekil 2). Akdeniz makro iklim bölgesinde yer alan araştırma sahası; kıyı kuşağından 1000 m'ye kadar yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı özellikler gösteren asıl Akdeniz iklimi; yüksek kesimlerde, yazları nispeten serin ve yağışlı, kışları soğuk ve kar yağışlı Akdeniz dağ iklimi ve iç kesimlerde İç Anadolu'nun karasal iklimine doğru geçiş özellikleri göstermektedir (Erinç, 1996; Atalay ve Mortan, 2007; Sarı, 2009). Bölgede yer alan Batı Toroslar, kısa mesafelerde bölgenin sıcaklık ve yağış özelliklerini değiştirebilmektedir. Çalışma sahasının 1980-2019 yılları arasındaki mevsimsel ortalama sıcaklık değerleri; kış mevsimi için 1.2 / 13.3°C, ilkbahar mevsimi için 9.9 /

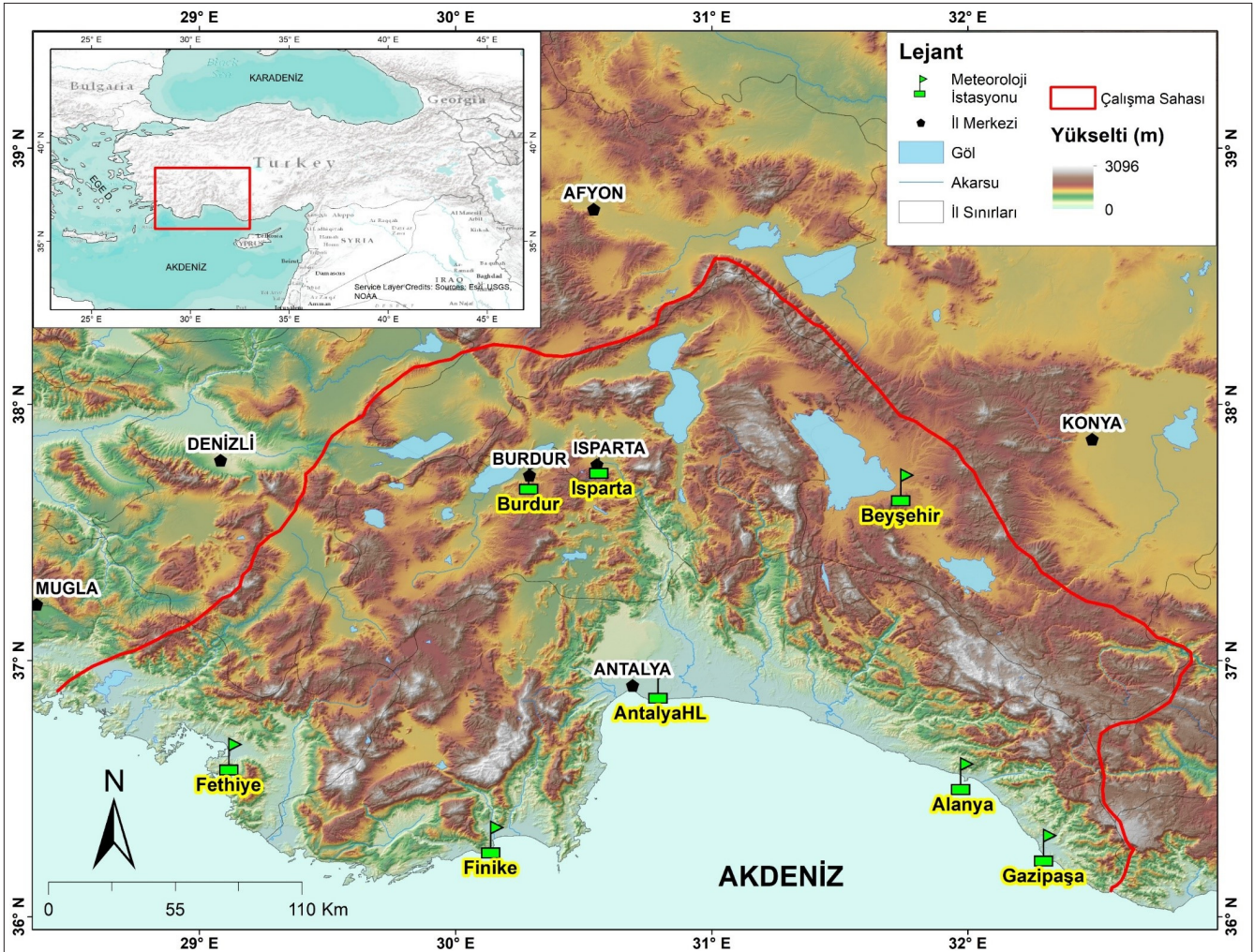
17.9°C, yaz mevsimi için 20.7 / 27.7°C, sonbahar mevsimi için 12.2 / 22.4°C arasında değişmektedir. Mevsimlik toplam ortalama yağış değerleri; kış mevsimi için 131.3 / 647.1 mm, ilkbahar mevsimi için 118.1 / 197.9 mm, yaz mevsimi için 3.1 / 65.3 mm, sonbahar mevsimi için 77.6 / 296.6 mm arasında değişmektedir. Bölgede en fazla yağış kış mevsiminde gerçekleşirken, yaz mevsiminde kuraklık hakimdir.

Çalışma sahası sınırları içerisinde yer alan 18 istasyona ait günlük sıcaklık ve yağış değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) temin edilmiştir. Kullanılan yöntem gereksinimi, ortak tarih aralıkları (1980-2019) ve eksiksiz veri kriterleri sebebiyle, bölgesel kuraklık analizlerinde 8 adet istasyon verisi kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışmada kullanılan istasyon veri setleri.

Table 1. Station data-sets used in the study.

İstasyon Adı	Sıcaklık Rasat Süresi	Yağış Rasat Süresi	Enlem	Boylam	Y. (m)
Alanya	1980-2019	1980-2019	36.550	319.803	6
Antalya Havalimanı	1980-2019	1980-2019	36.906	30.799	64
Beyşehir	1980-2019	1980-2019	37.677	31.7463	1141
Burdur	1980-2019	1980-2019	37.722	30.294	957
Fethiye	1980-2019	1980-2019	36.626	29.1239	4
Finike	1980-2019	1980-2019	36.302	30.1458	2
Gazipaşa	1980-2019	1980-2019	36.271	32.3045	21
Isparta	1980-2019	1980-2019	37.784	30.5679	997



Şekil 2. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının konumu.

Figure 2. Location of the meteorological stations used in the study.

3. Yöntem

Çalışma sahasındaki ekstrem kuraklık dönemleri belirlemek amacıyla Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) kullanılmıştır. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI); farklı zaman ölçeklerinde kuraklık tiplerini belirlemede ve kuraklığın şiddetini, frekansını ve etki kabiliyetini analiz etmek için kullanılmaktadır. Yöntemsel olarak Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) (McKee vd., 1993)'ne benzer şekilde hesaplanan SPEI, yağış faktörünün yanında sıcaklık-buharlaşma faktörlerini de birleştiren, kuraklık hesaplama kabiliyeti yüksek bir yöntemdir (Vicente-Serrano vd., 2010). SPI'deki aylık yağış miktarını, aylık yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki fark ile değiştirerek, sıcaklık faktörünün neden olduğu yüzeydeki buharlaşma değişikliklerinin etkisini ortaya koyar (Vicente-Serrano vd., 2012; Tirivarombo vd., 2018). SPEI, SPI'ye göre daha fazla sayıda ciddi kuraklık olaylarını tanımlarken, daha az sayıda hafif kuraklık olaylarını tanımlar (Li vd., 2020). Küresel sıcaklık artışları ile şiddetlenen buharlaşma şartlarını dikkate alırsak, kuraklık analizlerinde SPEI yönteminin oldukça elverişli olabileceğini belirtmemiz gerekir. SPEI; tarım, ekosistemler, nehirler, su kaynakları gibi çeşitli sistemler üzerinde kuraklık koşullarının başlangıcını, süresini ve şiddetini belirlemek için çeşitli periyotlar halinde analiz eder. Temin edilen istasyon günlük zaman serileri, R-Studio programı üzerinden aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık şeklinde düzenlenmiş ve analize hazır hale getirilmiştir.

SPEI değerlerini hesaplamadan önce, Thornthwaite (1948) iklimsel sınıflandırma yöntemindeki PET değeri elde edilir;

$$PET = 16d \left[\frac{10T}{I} \right]^a \quad (2.1)$$

burada T ilgili ayın ortalama sıcaklığı; d aşağıdaki eşitlikler için, çalışma sahasının enlemine göre Thornthwaite'in hazırladığı tablodan belirlenen düzeltme faktörüdür.

$$I = \sum_{1}^{12} i \quad (2.2)$$

$$i = \left[\frac{t}{5} \right]^{1.514} \quad (2.3)$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.492$$

bu eşitliklerde ise I yıllık; i aylık termal indeksi, a ise yıllık termal indekse bağlı bir katsayıyı ifade etmektedir.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2.4)$$

PET değeri hesabı yapıldıktan sonra ilgili ay için (i) yağış (P) ve PET değeri arasındaki fark (D) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} P_{n-1} - (PET)_{n-1} \quad (2.5)$$

Hesaplanan fark değerleri aşağıdaki eşitlikte olduğu şekilde farklı zaman ölçeklerinde toplanır; burada k zaman ölçeği (3, 6, 12 ay gibi), n ölçülen ayı ifade eder. SPEI değerini elde etmek için elde edilen D serisinin standartlaştırılması gerekmektedir. Standartlaştırma üç parametrelili bir log-lojistik olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılmaktadır;

$$f(x) = \frac{\beta}{a} \left(\frac{x-y}{a} \right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x-y}{a} \right)^{\beta} \right)^{-2} \quad (2.6)$$

$$f(x) = \left[1 + \left(\frac{a}{x-y} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (2.7)$$

burada α ölçek, β şekil ve γ orijin parametrelerini ifade eder. D serisi için olasılık dağılım fonksiyonu;

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (2.8)$$

$$P \leq 0.5 \text{ için } W \sqrt{-2 \ln(P)} \quad (2.9)$$

böylece fonksiyondan çıkan sonucun standartlaştırılmasıyla SPEI, aşağıdaki formül ile bulunur (Tirivarombo vd., 2018; Vicente-Serrano vd., 2012);

burada P , Eşitlik 2.4'te hesaplanan bir D_i değerinin aşma olasılığıdır ve $P = 1 - f(x)$ 'dir. Eğer $p > 0.5$ ise p , $(1-p)$ ile yer değiştirir ve elde edilen SPEI değerinin işareti tersine çevrilir. Eşitlik 2.8'deki sabitler; $C_0 = 2.515517$, $C_1 = 0.802853$, $C_2 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$.

Yukarıda formülize edilmiş SPEI kuraklık analizi, bu çalışmadaki her istasyon için 3, 6 ve 12 aylık ölçekler halinde uygulanmıştır. Elde edilen SPEI değerleri, SPI için sıklıkla kullanılan McKee vd. (1993) hazırladığı kuraklık sınıflandırmasına göre değerlendirilmiştir (Tablo 2). SPEI için elde edilen zaman serilerindeki eğilimler, klimatolojik ve hidrolojik zaman serisi analizlerinde sıkça kullanılan Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) ve Sen's Eğilim (Sen, 1968) analizleri ile test edilmiştir.

Tablo 2. SPEI kuraklık sınıflandırması.

Table 2. SPEI drought classification.

SPEI İndis Değeri	Nemlilik/Kuraklık Sınıfı
≥ 2.00	Aşırı Nemli
1.99 / 1.50	Çok Nemli
1.49 / 1.00	Orta Nemli
0.99 / 0.50	Hafif Nemli
0.49 / 0 / -0.49	Normal
-0.50 / -0.99	Hafif Kurak
-1.00 / -1.49	Orta Kurak
-1.50 / -1.99	Şiddetli Kurak
≤ -2.00	Aşırı Kurak

3. Bulgular ve Tartışma

Analizler sonucunda; her istasyon verisinden 3-6-12 aylık SPEI indis değerleri elde edilmiş ve tablolaştırılmıştır. Çalışmanın amacı bölgedeki ekstrem kuraklık dönemlerini belirlemek olduğundan, yalnızca aşırı kurak (≤ -2.00) yıllar/aylar değerlendirilmiştir. Fakat ilgili istasyon ve aylık indis değerlerine ait tüm sınıflandırmalar, hazırlanmış olan şekillerde yer almaktadır. Ayrıca zamansal gelişimi belirlemek amacıyla 3-6-12 aylık veri setlerinin nemlilik ve kuraklaşma eğilimleri hesaplanmıştır. Eğilimlerin istatistiksel açıdan anlamlılık değerleri $p \leq 0,05$ düzeyinde analiz edilmiştir (Tablo 3). Trend analizleri sonucunda elde edilen negatif (-) değer bölgenin kuraklaşmaya, pozitif (+) değer ise bölgenin nemli olmaya eğilimli olduğunu ifade etmektedir. SPEI 3-6-12 aylık zaman serilerine uygulanan eğilim analizi sonuçlarına bakıldığında; Alanya istasyonu 3-6 aylık serilerde nemlilik, Antalya Havalimanı istasyonu 12 aylık serilerde kuraklaşma, Beyşehir istasyonu 6-12 aylık serilerde kuraklaşma, Burdur istasyonu tüm serilerde kuraklaşma, Fethiye ve Finike istasyonları tüm serilerde nemlilik, Isparta istasyonu 6 ve 12 aylık serilerde nemlilik eğilimi tespit edilmiştir. 40 yıllık süreçte genel olarak kıyı bölgeler nemli hale gelmişken, iç kesimler (Isparta hariç) kuraklaşmaktadır.

Tablo 3. İstasyonlara ait trend analizler sonuçları ("Eğilim değeri / Anlamlılık değeri" şeklinde verilmiştir. Kalın puntolu değerler istatistiksel açıdan anlamlıdır).

Table 3. Trend analysis results of the stations (given as "Trend value / Significance value". Values in bold are statistically significant).

İstasyonlar	SPEI - 3	SPEI - 6	SPEI - 12
Alanya	0.001 / 0.009	0.001 / 0.05	0 / 0.218
Antalya HL	0.001 / 0.097	0 / 0.857	-0.001 / 0.05
Beyşehir	-0.001 / 0.073	-0.001 / 0.042	-0.001 / 0.003
Burdur	-0.002 / 0	-0.002 / 0	-0.002 / 0
Fethiye	0.002 / 0	0.002 / 0	0.002 / 0
Finike	0.002 / 0	0.002 / 0	0.002 / 0
Gazipaşa	0.001 / 0.057	0.001 / 0.111	0.001 / 0.119
Isparta	0.001 / 0.07	0.001 / 0.02	0.001 / 0.002

Alanya istasyonu SPEI analizlerine göre (Tablo 4); 3 aylık aşırı kurak dönemler 1985, 1989, 2007 ve 2008 yıl/ayları, 6 aylık aşırı kurak dönemler 1989, 1991, 2007-2008 yıl/aylarında yaşanmıştır. 12 aylık aşırı kurak dönemler de özellikle 1991 yılı, en kurak geçen yıl olarak tespit edilmiştir. Genel olarak aşırı kuraklıkların, yağışsız geçen kış veya ilkbahar ayları devamında yaşandığı; Alanya bölgesi için özellikle 1991, 2007 ve 2008 yılları, aşırı kurak yıllar olarak belirlenmiştir. SPEI zaman serilerinin (Şekil 3) trend analizi sonuçlarına göre Alanya, 3-6 aylık (anlamlı) ve 12 aylık dönemlerde (anlamsız) nemli bir bölge olma eğilimindedir (Tablo 3). Alanya'da yaşanan dönemsel kuraklıkların tüm yıla yayılmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 3. Alanya istasyonuna ait SPEI 3-6-12 zaman serileri.

Figure 3. SPEI 3-6-12 time series of Alanya station.

Tablo 4. Alanya istasyonuna ait SPEI 3-6-12 aylık aşırı kurak yıllar-aylar.

Table 4. SPEI 3-6-12 months of extremely drought years-months belonging to Alanya station.

Aşırı Kurak Yıllar - Aylar (≤ -2.00)					
3 Aylık		6 Aylık		12 Aylık	
Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI
1985-07	-2.2	1989-06	-2.0	1991-03	-2.2
1985-09	-2.0	1989-07	-2.2	1991-04	-2.0
1989-04	-2.2	1991-03	-2.0	1991-05	-2.1
1989-06	-2.1	1991-04	-2.0	1991-06	-2.1
2007-02	-2.3	2007-05	-2.1	1991-07	-2.1
2008-07	-2.2	2008-06	-2.0	1991-08	-2.1
				1991-09	-2.1



Şekil 4. Antalya Havalimanı istasyonuna ait SPEI 3-6-12 zaman serileri.

Figure 4. SPEI 3-6-12 time series of Antalya Havalimanı station.

Antalya Havalimanı istasyonu SPEI analizlerine göre (Tablo 5); 3 aylık aşırı kurak dönemler 1984-1986 arası, 2008 ve 2010 yıllarında genel olarak yaz aylarında; 6 aylık aşırı kurak dönemler 1981, 1984, 1985 yılları arası sonbahar aylarında ve 2008 yılında yaşanmıştır. 12 aylık tek aşırı kurak dönem ise 2008-2009 yılları olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5. Antalya Havalimanı istasyonuna ait SPEI 3-6-12 aylık aşırı kurak yıllar-aylar.

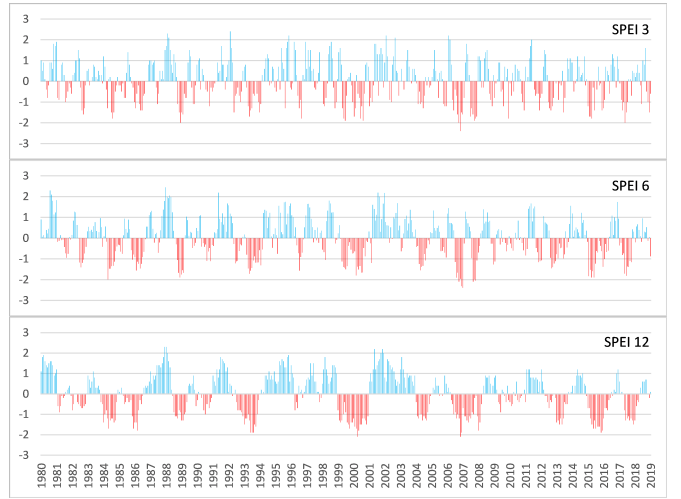
Table 5. SPEI 3-6-12 months of extremely drought years-months belonging to Antalya Havalimanı station.

Aşırı Kurak Yıllar - Aylar (≤ -2.00)					
3 Aylık		6 Aylık		12 Aylık	
Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI
1984-10	-3.2	1981-10	-2.1	2008-12	-2.6
1985-07	-2.0	1984-10	-2.3	2009-01	-2.2
1985-08	-2.0	1985-09	-2.0		
1985-09	-2.0	2008-06	-2.2		
1986-11	-2.5	2008-07	-2.5		
2008-04	-2.2	2008-11	-2.1		
2008-07	-2.0				
2010-05	-2.0				

Alanya'da olduğu gibi burada da 2008 yılı ortak aşırı kurak yıl olarak yaşanmıştır. 2008 yılında 3 aylık olarak başlayan kuraklık, tüm yıla yayılmıştır. SPEI zaman serilerinin (Şekil 4) trend analizi sonuçlarına göre Antalya Havalimanı bölgesi, 3-6 aylık dönemlerde nemli olma eğilimindeyken (anlamsız), 12 aylık dönemlerde istatistiksel olarak anlamlı şekilde kurak bir bölge olma eğilimindedir (Tablo 3).

Beyşehir istasyonu SPEI analizlerine göre (Tablo 6); 3 aylık aşırı kurak dönemler 1989, 2007 ve 2018 yıllarında ilkbahar ve yaz aylarında; 6 aylık aşırı kurak dönemler 2007 ve 2008 yılları yaz ve sonbahar aylarında yaşanmıştır. 12 aylık aşırı kurak dönemler ise 2001 ve 2007 yılları olarak tespit edilmiştir. Diğer istasyonlarda da belirlenen 2007-2008 kurak yıllar bu bölgede de şiddetli şekilde yaşanmıştır. 2007 yılında 3 aylık olarak başlayan kuraklık, tüm yıla yayılmıştır. SPEI zaman serilerinin (Şekil 5) trend analizi sonuçlarına göre Beyşehir bölgesinde, 3 aylık dönemde anlamsız, 6 ve 12 aylık dönemlerde anlamlı şekilde kuraklığın artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). Sarış ve Gedik'in (2021) SPI yöntemiyle yaptıkları kuraklık çalışmasında, Beyşehir istasyonunda aşırı kuraklık dönemi tespit edilmezken, SPEI yöntemiyle yaptığımız analizlerde 2001-03 ve 2007-10 yıl/aylarının aşırı kurak olduğu belirlenmiştir. Bu açıdan SPEI yönteminin aşırı kurak olayları tanımlamada SPI yönteminde daha hassas olmuştur.

Burdur istasyonu SPEI analizlerine göre (Tablo 7); 3 aylık aşırı kurak dönemler 1989, 2008, 2015-2017; 6 aylık aşırı kurak dönemler 2015 ve 2017 yıl/ayları arasında yaşanmıştır. Aşırı kuraklığın en fazla şekilde tespit edildiği 12 aylık dönemler yine 2016, 2017 yılları olmuştur. 2016 ve 2017 yıllarında 3 aylık olarak başlayan aşırı kuraklığın tüm yıllara yayıldığı tespit edilmiştir. SPEI zaman serilerinin (Şekil 6) trend analizi sonuçlarına göre Burdur bölgesinde, 3-6-12 aylık serilerinin tümünde anlamlı şekilde kuraklaşma tespit edilmiştir (Tablo 3). Güner Bacanlı ve Akşan'ın (2019) yaptıkları çalışmada normal kuraklık sınıfında yer alan Burdur'un 12 aylık frekansının aşırı kurak olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Beyşehir istasyonuna ait SPEI 3-6-12 zaman serileri.

Figure 5. SPEI 3-6-12 time series of Beyşehir station.

Tablo 6. Beyşehir istasyonuna ait SPEI 3-6-12 aylık aşırı kurak yıllar-aylar.

Table 6. SPEI 3-6-12 months of extremely drought years-months belonging to Beyşehir station.

Aşırı Kurak Yıllar - Aylar (≤ -2.00)					
3 Aylık		6 Aylık		12 Aylık	
Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI
1989-04	-2.0	2007-07	-2.1	2001-03	-2.1
2007-06	-2.0	2007-08	-2.0	2007-10	-2.1
2007-07	-2.4	2007-09	-2.3		
2018-04	-2.0	2007-10	-2.4		
		2008-06	-2.1		
		2008-07	-2.0		
		2008-08	-2.1		



Şekil 6. Burdur istasyonuna ait SPEI 3-6-12 zaman serileri.

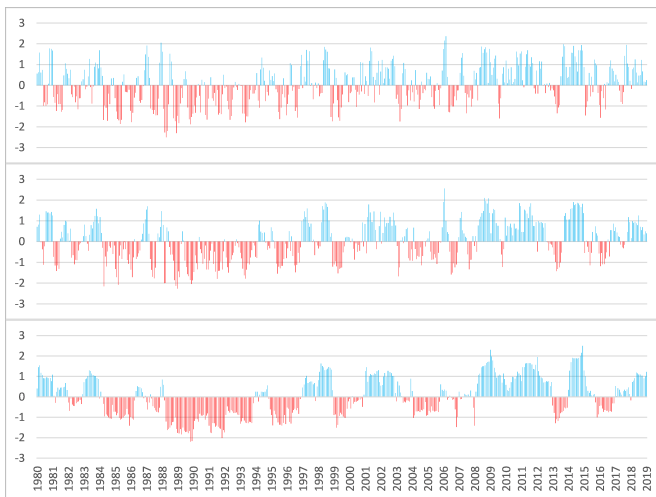
Figure 6. SPEI 3-6-12 time series of Burdur station.

Tablo 7. Burdur istasyonuna ait SPEI 3-6-12 aylık aşırı kurak yıllar-aylar.
Table 7. SPEI 3-6-12 months of extremely drought years-months belonging to Burdur station.

Aşırı Kurak Yıllar - Aylar (≤ -2.00)							
3 Aylık		6 Aylık		12 Aylık			
Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI
1989-02	-2.0	2015-12	-2.2	2016-06	-2.2	2017-05	-2.1
1989-06	-2.2	2016-01	-2.2	2016-07	-2.2	2017-06	-2.0
2008-07	-2.2	2016-02	-2.3	2016-08	-2.2	2017-07	-2.1
2015-11	-2.3	2016-03	-2.3	2016-09	-2.1	2017-08	-2.0
2015-12	-2.2	2016-04	-2.1	2016-10	-2.1	2017-09	-2.2
2016-01	-2.7	2016-11	-2.0	2016-11	-2.0	2017-10	-2.0
2017-09	-2.7	2017-02	-2.0	2017-02	-2.1	2017-11	-2.0
		2017-03	-2.2	2017-03	-2.1	2017-12	-2.0
		2017-09	-2.0	2017-04	-2.0	2018-01	-2.0

Fethiye istasyonu SPEI analizlerine göre (Tablo 8); 3 aylık aşırı kurak dönemlerde 1989 yılının yaz ve sonbahar ayları; 6 aylık aşırı kurak dönemlerde 1984, 1985, 1988 yıllarının sonbahar ayları kurak geçmiştir. 1988 yılında 3 aylık olarak başlayan aşırı kuraklık 1990 yılı sonbahar aylarına kadar yayılmıştır. 12 aylık aşırı kurak dönemler sadece 1990 ve 1992 yıllarında yaşanmıştır. SPEI zaman serilerinin (Şekil 7) trend analizi sonuçlarına göre Fethiye bölgesinde, 3-6-12 aylık zaman serilerinin tümünde anlamlı şekilde nemli olma eğilimi belirlenmiştir (Tablo 3).

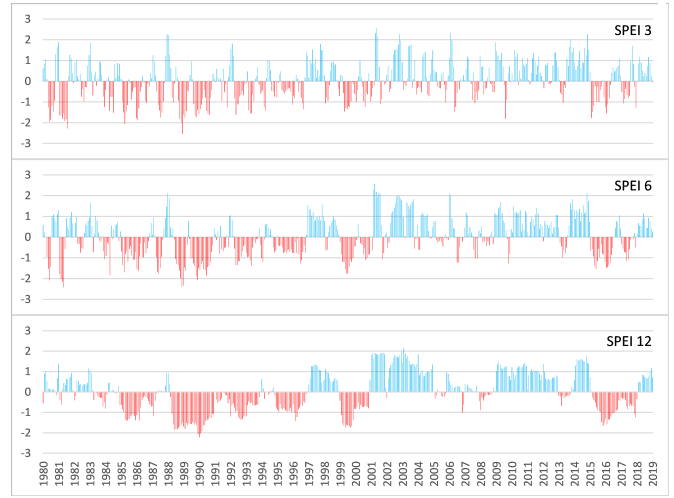
Finike istasyonu SPEI analizlerine göre (Tablo 9); 3 aylık aşırı kuraklık serisinde 1981, 1985, 1989; 6 aylık aşırı kuraklık serisinde 1980, 1981, 1989, 1990 yılları yaz ve sonbahar ayları; 12 aylık kuraklık serisinde ise 1990 ve 1991 yılları kış ayları aşırı kurak yaşanmıştır. Fethiye istasyonuna benzer şekilde, 1989 yılında 3 aylık olarak başlayan kuraklıklar, 1991 yılı kış aylarına kadar yayılmıştır. SPEI zaman serilerinin (Şekil 8) trend analizi sonuçlarına göre Finike bölgesinde, 3-6-12 aylık zaman serilerinin tümünde anlamlı şekilde nemli olma eğilimi tespit edilmiştir (Tablo 3). Durmuş vd (2021) yaptıkları çalışmada, özellikle Teke yarımadasının kıyı kesimlerinde 1 ve 5günlük ardışık maksimum



Şekil 7. Fethiye istasyonuna ait SPEI 3-6-12 zaman serileri.
Figure 7. SPEI 3-6-12 time series of Fethiye station.

Tablo 8. Fethiye istasyonuna ait SPEI 3-6-12 aylık aşırı kurak yıllar-aylar.
Table 8. SPEI 3-6-12 months of extremely drought years-months belonging to Fethiye station.

Aşırı Kurak Yıllar - Aylar (≤ -2.00)					
3 Aylık		6 Aylık		12 Aylık	
Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI
1988-07	-2.3	1984-10	-2.2	1990-10	-2.2
1988-08	-2.5	1985-09	-2.1	1990-11	-2.2
1988-09	-2.2	1988-09	-2.0	1992-10	-2.0
1989-04	-2.3	1988-10	-2.0		
		1989-06	-2.1		
		1989-07	-2.3		
		1990-06	-2.0		



Şekil 8. Finike istasyonuna ait SPEI 3-6-12 zaman serileri.
Figure 8. SPEI 3-6-12 time series of Finike station.

yağış miktarının arttığı belirtilmiştir. Bu durum, çalışmamızda tespit edilen Fethiye ve Finike bölgelerinde tespit edilen nemlilik eğilimini açıklamaktadır.

Tablo 9. Finike istasyonuna ait SPEI 3-6-12 aylık aşırı kurak yıllar-aylar.
Table 9. SPEI 3-6-12 months of extremely drought years-months belonging to Finike station.

Aşırı Kurak Yıllar - Aylar (≤ -2.00)							
3 Aylık		6 Aylık				12 Aylık	
Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI
1981-10	-2.3	1980-11	-2.1	1989-05	-2.0	1990-11	-2.1
1985-07	-2.1	1981-08	-2.0	1989-06	-2.4	1990-12	-2.2
1989-03	-2.0	1981-09	-2.1	1989-07	-2.3	1991-01	-2.0
1989-04	-2.5	1981-10	-2.4	1990-06	-2.1		



Şekil 9. Gazipaşa istasyonuna ait SPEI 3-6-12 zaman serileri.
Figure 9. SPEI 3-6-12 time series of Gazipaşa station.

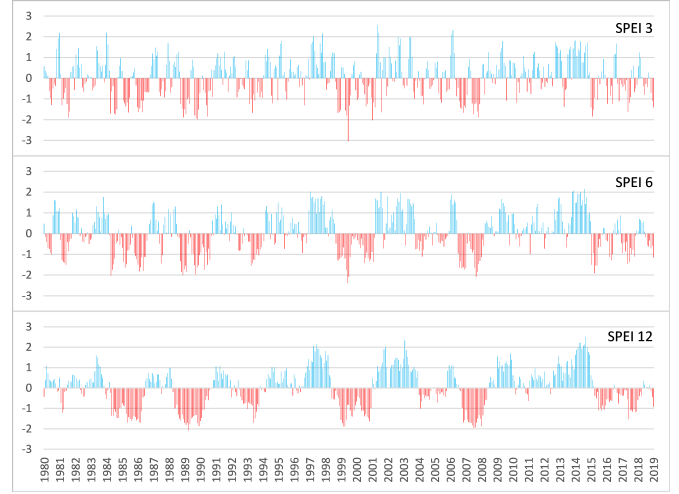
Tablo 10. Gazipaşa istasyonuna ait SPEI 3-6-12 aylık aşırı kurak yıllar-aylar.
Table 10. SPEI 3-6-12 months of extremely drought years-months belonging to Gazipaşa station.

Aşırı Kurak Yıllar - Aylar (≤ -2.00)					
3 Aylık		6 Aylık		12 Aylık	
Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI
1985-07	-2.1	1985-09	-2.0	1990-12	-2.2
1985-09	-2.2	1989-07	-2.0		
2007-02	-2.0	2008-06	-2.0		
2008-07	-2.5	2014-02	-2.0		
2008-08	-2.0	2014-03	-2.0		

Gazipaşa istasyonu SPEI analizlerine göre (Tablo 10); 3 aylık aşırı kurak dönemler 1985, 2007 ve 2008 yılları yaz ve sonbahar ayları; 6 aylık aşırı kurak dönemler 1985, 1989, 2008 yılları yaz ve sonbahar ayları ve 2014 yılı kış ve ilkbahar ayları; 12 aylık aşırı kurak geçen dönemlerden de 1990 yılı tespit edilmiştir. Bu bölgede özellikle 2007-2008 yıllarında yaşanan kurak dönemler, yıllara yayılmamıştır. Aşırı kuraklıklar genellikle yaz ve sonbahar aylarında yoğunlaşmıştır. SPEI zaman serilerinin (Şekil 9) trend analizi sonuçlarına göre Gazipaşa bölgesinde, 3-6-12 aylık zaman serilerinin tümünde anlamsız şekilde nemli olma eğilimi tespit edilmiştir (Tablo 3).

Isparta istasyonu SPEI analizlerine göre (Tablo 11); 3 aylık aşırı kuraklık serisinde 1990, 2000-2001; 6 aylık seride 1984, 1989-1990, 2000 ve 2008 yıl/ayları; 12 aylık seride ise 1990 ve 2008 yılları aşırı kurak yıllar olarak tespit edilmiştir. 1990 yılında 3 aylık olarak başlayan kuraklıklar tüm yıla yayılmış, yine benzer şekilde 2008 yılı oldukça kurak geçmiştir. SPEI zaman serilerinin (Şekil 10) trend analizi sonuçlarına göre Isparta bölgesinde, 3 aylık kuraklık zaman serisinde anlamsız, 6 ve 12 aylık serilerde ise anlamlı şekilde nemli olma durumu tespit edilmiştir (Tablo 3).

SPEI 3-6-12 aylık aşırı kuraklık analizleri sonucunda, ortak kurak yıllar belirlenmiştir (Tablo 12). SPEI-3 ve 6 aylık aşırı kuraklık indikatörleri 1981, 1985, 1989-1990, 2000 ve 2007-2008 olmak üzere aynı ortak yılları işaret etmektedir. Belirlenen yıllardaki ortak aylar açısından değerlendirdiğimizde yaz ve sonbahar ay



Şekil 9. Isparta istasyonuna ait SPEI 3-6-12 zaman serileri.
Figure 9. SPEI 3-6-12 time series of Isparta station.

Tablo 11. Isparta istasyonuna ait SPEI 3-6-12 aylık aşırı kurak yıllar-aylar.
Table 11. SPEI 3-6-12 months of extremely drought years-months belonging to Isparta station.

Aşırı Kurak Yıllar - Aylar (≤ -2.00)							
3 Aylık		6 Aylık				12 Aylık	
Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI	Yıl - Ay	SPEI
1990-03	-2.0	1984-10	-2.0	2000-02	-2.4	1990-03	-2.1
2000-01	-3.1	1989-06	-2.0	2000-03	-2.1	2008-06	-2.0
2001-08	-2.0	1990-04	-2.0	2008-06	-2.1		

ları; dönemsel yağış değişkenliği sebebiyle de kış aylarının aşırı kurak geçtiği tespit edilmiştir. Bu yıllarda yaşanan uzun süreli kuraklıkların, tarımsal faaliyetler üzerinde de etkili olduğu düşünülmektedir. SPEI-12 aylık aşırı kuraklık indikatörüne özellikle 1981, 1989, 2000, 2007-2008 ve 2016 ortak kuraklık yılları açısından öne çıkmıştır. 12 aylık ekstrem kurak ortak yılların 2000 yılından sonra yoğunlaştığı tespit edilirken; küresel ısınma ile giderek artan sıcaklık değerleri, kuraklıkların daha uzun süreli ve şiddetli yaşanmasına neden olmaktadır (MedECC, 2020). 1980'lerde meydana gelen ekstrem kuraklıklar 3 ve 6 aylık zaman ölçeğinde sınırlı kalırken, özellikle iç kesimlerde 2000'li yıllardan sonra tüm yıla yayılan ekstrem kuraklıklar yaşanmıştır. Benzer tespit, bölgedeki havzalar üzerinde SPI yöntemini kullanan Özüpekçe'nin (2021) çalışmasında da belirtilmiştir. Bu durum kuraklaşma eğilimi tespit edilen özellikle iç kesimlerdeki tarımsal üretimi ve su kaynaklarını tehdit etmektedir. Aksoy vd. (2019) çalışmalarında Eğirdir Gölü sınırlarının daraldığını; Özüpekçe (2019) çalışmasında yanlış ve plansız arazi kullanımı sebebiyle Burdur'daki sulak alanların yüksek oranda azaldığını belirtmişlerdir. Diğer yandan 2000'li yıllardan sonra ekstrem kuraklıklardaki süre ve şiddet artışı kıyı bölgeler için geçerli değildir, zira kıyı kesimlerde bir nemlilik eğilimi söz konusudur. Analizler sonucunda özellikle kıyı şeridinin nemlilik eğilimi üzerinde; ekstrem yağış değerleri ve ardışık yağışlı günlerin artması ve günlük sıcaklık farklarının azalması gibi faktörler oldukça etkilidir (Durmuş vd., 2021).

Tablo 12. Çalışma sahasında tespit edilen ekstrem kuraklık ortak yılları.

Table 12. Common extremely drought years detected in the study area.

SPEI 3 (Aşırı)	SPEI 6 (Aşırı)	SPEI 12 (Aşırı)
1981	1981	1990-1991
1985	1985	2000-2001
1989	1989-1991 arası	2004-2005
2000	2000	2007-2008
2007-2008	2007-2008	2016

SPEI 3-6-12 zaman ölçeklerinde gerçekleşmiş ekstrem kuraklık şartlarının, olay bazında aylık ve mevsimlik toplamına bakıldığında (Tablo 13); SPEI-3 ölçeğine göre kış aylarında 6, ilkbahar aylarında 9, yaz aylarında 17 ve sonbahar aylarında 9 ekstrem kuraklık olayı yaşanırken; olaylar temmuz ayında (10 olay) yoğunlaşmıştır. Özüpekçe (2021) çalışmasında topraktaki su eksikliğinin en fazla olduğu dönemin, yağış azlığı ve buharlaşmanın yoğun yaşandığı temmuz ayı olduğunu belirtmiştir. SPEI-6 ölçeğine göre kış aylarında 6, ilkbahar aylarında 10, yaz aylarında 21 ve sonbahar aylarında 17 ekstrem kuraklık olayı yaşanırken; olaylar haziran ayında (11 olay) yoğunlaşmıştır. SPEI-12 ölçeğine göre kış aylarında 8, ilkbahar aylarında 8, yaz aylarında 10 ve sonbahar aylarında 12 ekstrem kuraklık olayı yaşanırken; meydana gelen yağış eksiklikleri ve artan sıcaklıklar, tüm yıla yayılan ekstrem kuraklık olaylarının yaşanmasına neden olmaktadır.

Akbaş'ın (2014) Palmer kuraklık indisi ile ülkemiz üzerinde yaptığı çalışmada da 1990'lı yılların başı; 2001 yılında tüm Türkiye için kurak geçtiğini; 2007 yılı kış mevsimi için Antalya bölümünde ciddi bir kuraklık olmadığını belirtmiştir. Elde ettiğimiz bulgular ise, 2007 yılının son aylarından 2008 yılına yayılan bir şiddetli kuraklık döneminin yaşandığını göstermiştir. Aynı çalışmada da 2008 yılının tüm Türkiye'de kurak geçtiği belirtilmiştir. Çamalan vd. (2021) SPI ve SPEI yöntemleri ile ülke geneli için yaptıkları çalışmaya ek olarak SPEI-12 aylık için 2004 ve 2016 yıllarının da aşırı kurak geçtiği tespit edilmiştir. SPEI indikatörüne göre çalışma sahasının; sıklığı, şiddeti ve süresi artan kuraklıklara maruz kalması, küresel sıcaklıkların artması ve dönemsel sıcak hava dalgalarıyla yakından ilişkilidir (Durmuş vd., 2021).

Tablo 13. Ekstrem kurak olayların aylık ve mevsimlik toplamı.

Table 13. Monthly and seasonal totals of extreme dry events.

	Kış			İlkbahar			Yaz			Sonbahar		
	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas
SPEI-3	1	2	3	2	6	1	3	10	4	5	2	2
SPEI-6	1	1	4	5	3	2	11	7	3	7	7	3
SPEI-12	4	3	1	4	2	2	4	3	3	3	5	4

5. Sonuç

Çalışma sahasında 1980-2019 yılları arasında meydana gelmiş aşırı kurak geçen yıl ve aylar SPEI yöntemiyle belirlenmiştir. Küresel iklim değişikliği ile birlikte artan sıcaklıklar, bölgesel olarak yağış desenlerinde farklılıklara sebep olmakta; kuraklıkların sıklığı, şiddeti ve süresini etkilemektedir. Atmosferik sirkülasyonlar, sıcak hava dalgaları, sıcaklık ve yağışlardaki anomalilerin neden olduğu kuraklıklar, meteorolojik kuraklık ile başlayıp dönem dönem tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik kuraklıklara doğru evrilmektedir.

Analizler sonucunda çalışma sahasında, nemli olma ve kuraklaşma açısından bölgesel farklılıklar meydana gelmiştir. Genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı; Fethiye, Finike, Alanya ve Gazipaşa bölgelerinin giderek daha nemli hale geldiği ortaya konmuştur. İklim değişikliği ile birlikte artan sıcaklıklar ve dolayısıyla Akdeniz üzerindeki buharlaşmanın artması ve artan ekstrem yağış değerleri, SPEI yöntemine göre bölgeyi daha nemli hale getirmiştir. Fakat diğer yandan sıcaklık ve yağış değişkenliklerindeki artışlar, kuraklık olaylarının daha şiddetli ve uzun süreli dönemler şeklinde yaşanmasına sebep olabilir. Kış yağışlarındaki yağış eksiklikleri, meteorolojik kuraklıkların tarımsal kuraklığa dönüşmesine neden olabilir. Tarımsal sulamanın aksamaması için depo, sarnıç veya yağmur suyu hasadı gibi yöntemlerle zararları azaltıcı tedbirler alınması önerilmektedir.

Kıydan uzak iç kesimler, kuraklık açısından daha fazla riskli duruma gelmiştir. Özellikle Beyşehir ve Burdur gibi tarımsal faaliyetlerin yoğun şekilde yapıldığı bölgelerde, istatistiksel açıdan anlamlı şekilde bir kuraklaşma eğilimi tespit edilmiştir. Genellikle yağışa bağlı tarımın yapıldığı böyle bölgelerde kuraklık sonucu; ciddi su sıkıntıları, bitkisel gelişimin zarar görmesiyle verim düşüşü, yem bitkilerindeki rekolte düşüşü sebebiyle hayvancılığın zarar görmesi, üretim azlığı sebebiyle gıda fiyatlarında yükselme veya gıda krizleri gibi sosyo-ekonomik kuraklığa varan sonuçlar ortaya çıkabilir.

Artan sıcaklıklar ile birlikte birçok su kaynaklarının yok olduğu Göller Yöresi ve çevresi kuraklıktan aşırı şekilde etkilenmektedir. Ekstrem kuraklık dönemlerinde yüzeydeki su kaynaklarının azalmasıyla birlikte, çiftçilerin yeraltı sularını yoğun şekilde kullanması bölgedeki hidrolojik kuraklık riskini de artırmaktadır. Özellikle iç kesimlerde su yönetimi hayati önem taşımaktadır. Bu bölgelerde kuraklığa dayanıklı tarımsal ürün ve bitki desenleri tercih edilmeli, tarımsal sulama yöntemleri iyileştirilmeli ve bu konuda maddi destek sağlanmalı, yeraltı suyunun aşırı kullanımını katı yasalar ile engellenmeli ve sıkı denetimler yapılmalıdır. Diğer yandan Isparta istasyonunda anlamlı şekilde nemli olma eğilimi tespit edilirken, kış ve ilkbahar aylarındaki toplam yağışlarda azalmalar yaşanmıştır. Bölge nemli olma eğiliminde olsa da yaşanan kuraklık dönemleri, uzun dönemli olarak gerçekleşmiştir.

Uzun süreli kuraklar sebebiyle toprağın infiltrasyon kabiliyetinin azalması sonrasında meydana gelebilecek ekstrem yağışlar ile hızla akışa geçen yağmur suları, beraberinde sel ve taşkınlar sebep olabilmektedir. Bu doğrultuda meteorolojik parametreler de dikkate alınarak günlük, haftalık, aylık, mevsimlik veya yıllık uyarı sistemleri ile özellikle küçük ölçekli çiftçiler bilgilendirilmelidir. Uzun süren ve kuraklığın artış eğiliminde olduğu

bölgelerde, topraktaki nem kaybı artacağı için erozyon tehlikesine karşı, nadas uygulaması yerine münavebeli tarımsal yöntemler uygulanması ve çorak topraklar üzerinde erozyona karşı ağaçlandırma yapılması önerilmektedir.

Genel olarak iç kesimlerde yaşanan kuraklıkların, hidrolojik ve sosyo-ekonomik kuraklığa doğru evrileceği öngörülmektedir. Küresel sıcaklıklara oranla çalışma sahasının 2 kat daha fazla ısınmasını, bütüncül açıdan değerlendirirsek, kuraklığın tüm bölge için özellikle tarım sektörü üzerinde ciddi bir tehlike olduğunu belirtebiliriz. Bu doğrultuda özellikle karar vericilerin sulak alanların korunması ve su yönetimi üzerine akılcı, bilimsel çalışmalar ve projeler yapması önerilmektedir.

Çıkar Çatışması/Conflict of Interest: Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. *The authors declare that there is no conflict of interest.*

Yazar katkısı/Author contribution: Çalışma, doktora tezinden elde edilen sonuçlardan üretilmiş ve tasarımı B.D. ve İ.B. tarafından yapılmıştır. Çalışma, ilk olarak B.D. tarafından yazılmış ve İ.B. tarafından değerlendirilip, gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra son halini almıştır. *The study was produced based on the results obtained from the doctoral thesis and designed by B.D. and İ.B. The study was first written by B.D., evaluated by İ.B. and finalized after the required corrections were made.*

Kaynakça

- Akbaş, A. (2014). Türkiye üzerindeki önemli kurak yıllar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12(2). https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000155.
- Aksoy, H., & Cavus, Y. (2019). *Kuraklık*. Su Havzaları. TMMOB. https://www.researchgate.net/publication/351712052_KURAKLIK
- Aksoy, T., Sari, S., & Çabuk, A. (2019). Sulak Alanların Yönetimi Kapsamında Su İndeksinin Uzaktan Algılama İle Tespiti, *Göller Yöresi. GSI Journals Serie B: Advancements in Business and Economics*, 2(1). <https://dergipark.org.tr/tr/pub/abe/issue/44024/528568>
- Atalay, İ., & Mortan, K. (2007). *Türkiye bölgesel coğrafyası*. İnkılap Kitabevi.
- Bacanli, Ü. G., & Akşan, G. N. (2019). Drought analysis in Mediterranean Region. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(6). <https://dergipark.org.tr/en/pub/pajes/issue/50276/649994>.
- Bakanoğulları, F. (2020). SPEI ve SPI İndisleri Kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi Havzasında Kuraklık Şiddetlerinin Analizi. *Toprak Su Dergisi*, 9(1). <https://doi.org/10.21657/topraksu.566693>.
- Çamalan, G., Akgündüz, S., Ayvaci, H., Çetin, S., Arabaci, H., & Coşkun, M. (2017). *SPEI indisine göre Türkiye geneli kuraklık değişimi ve eğilim projeksiyonları*. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, Ankara.

- Çamalan, G., Akgündüz, S., Çetin, S., & Doğan, H. (2021). *Türkiye Kuraklık Projeksiyonları*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/kuraklikprojeksiyon.pdf>
- Çamalan, G., Ayvaci, H., Akgündüz, S., Çetin, S., Arabaci, H., & Coşkun, M. (2018). *Ege Bölgesi kuraklık projeksiyonları*. Türkiye Ulusal Jeodezi Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi, Ankara.
- Durmuş, B., Bulut, İ., & Gönençgil, B. (2021). Antalya Bölümünde sıcaklık ve yağış indislerinin değişim analizleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 78, 91-108. <https://doi.org/10.17211/tcd.1009270>.
- Eriñç, S. (1965). *Yağış müessiriyeti üzerine bir deneme ve yeni bir indis*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları No:41.
- Eriñç, S. (1996). *Klimatoloji ve Metodları*. Alfa Yayınları.
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33, <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>.
- Güner Bacanlı, Ü., & Akşan, G. N. (2019). Drought Analysis in Mediterranean Region. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(6), 665-671. <https://doi.org/10.5505/pajes.2019.64507>.
- Hayes, M., Svoboda, M., Wilhite, D., & Vanyarkho, O. (1999). Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of The American Meteorological Society* 80, 429-438. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2).
- Hilmi, N., Ali, E., Carnicer Cols, J., Cramer, W., Georgopoulou, E., Le Cozannet, G., & Tirado, C. (2022). *IPCC AR6 WGII Cross-Chapter Paper 4: Mediterranean Region*. EGU22-10590. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-10590>.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods*. Griffin.
- Li, L., She, D., Zheng, H., Lin, P., & Yang, Z.-L. (2020). Elucidating Diverse Drought Characteristics from Two Meteorological Drought Indices (SPI and SPEI) in China. *Journal of Hydro-meteorology*, 21(7), 1513-1530. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0290>.
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q., & Wang, J. (2021). Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80527-3>.
- Lotfirad, M., Esmaili-Gisavandani, H., & Adib, A. (2021). Drought monitoring and prediction using SPI, SPEI, and random forest model in various climates of Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 13(2), 383-406. <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.287>.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.

- <https://doi.org/10.2307/1907187>.
- Martonne, E. de. (1926). *Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité*. Gauthier-Villars.
<http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb416126391>.
- Mckee, T., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). *The Relationship Of Drought Frequency And Duration To Time Scales*.
<https://www.semanticscholar.org/paper/The-Relationship-Of-Drought-Frequency-And-Duration-Mckee-Doesken/c3f7136d6cb726b295eb34565a8270177c57f40f>.
- MedECC. (2020). *Risks Associated To Climate And Environmental Changes In The Mediterranean Region. Risks Associated to Climate and Environmental Changes in the Mediterranean Region: A Preliminary Assessment by the MedECC Network Science-Policy Interface*.
https://www.medecc.org/wp-content/uploads/2018/12/MedECC-Booklet_EN_WEB.pdf.
- Mehr, A. D., Sorman, A. U., Kahya, E., & Afshar, M. H. (2019). *Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: Case study of Ankara, Turkey*.
<https://open.metu.edu.tr/handle/11511/67361>.
- Özüpekçe, S. (2019). Temporal Change of Burdur Province Lakes Due to the Effect of Anthropogenic Pressure in the Last 43 Years (1975-2018). *International Review of Basic and Applied Sciences*, 7(11), 85-92.
- Özüpekçe, S. (2021). Batı Akdeniz havzaları ve yakın çevresinde kuraklık eğilimi ve su kaynakları ile ilişkisi. *International Journal of Geography and Geography Education*, 43, Article 43. <https://doi.org/10.32003/igge.790949>.
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological Drought. *US Department of Commerce Weather Bureau, Washington DC*, 45.
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-retention-3/palmer-1965>.
- Pei, Z., Fang, S., Wang, L., & Yang, W. (2020). Comparative Analysis of Drought Indicated by the SPI and SPEI at Various Timescales in Inner Mongolia, China. *Water*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/w12071925>.
- Sarı, S. (2009). *Batı Akdeniz Bölümü'nden İç Anadolu'ya geçiş iklimleri* [Doktora Tezi - Selçuk Üniversitesi].
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=Hf899Afsjdj-AOj39p3wzsbw&no=gwKbMhJceYVnkHSqVGNsqg>.
- Sarış, F., & Gedik, F. (2021). Konya Kapalı Havzası'nda Meteorolojik Kuraklık Analizi. *Coğrafya Dergisi*, 42.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
<https://doi.org/10.2307/2285891>.
- Şahin, C., & Sipahioğlu, Ş. (2003). *Doğal afetler ve Türkiye*. Gün-üz Eğitim ve Yayıncılık.
- Tan, C., Yang, J., & Li, M. (2015). Temporal-Spatial Variation of Drought Indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous Region, China. *Atmosphere*, 6(10).
<https://doi.org/10.3390/atmos6101399>.
- Thorntwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55.
<https://doi.org/10.2307/210739>.
- Tirivarombo, S., Osupile, D., & Eliasson, P. (2018). Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 106, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.07.001>.
- Türkeş, M. (1990). *Türkiye'de kurak bölgeler ve önemli kurak yıllar* [Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi, Deniz bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.
<https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camarero, J. J., López-Moreno, J. I., Azorin-Molina, C., Revuelto, J., Morán-Tejeda, E., & Sanchez-Lorenzo, A. (2012). Performance of Drought Indices for Ecological, Agricultural, and Hydrological Applications. *Earth Interactions*, 16(10), 1-27.
<https://doi.org/10.1175/2012EI000434.1>.
- Wilhite, D. (2000). Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. Published in *Drought: A Global Assessment*, Vol. I, edited by Donald A. Wilhite, chap. 1, pp. 3-18 (London: Routledge, 2000).
- Wilhite, D. & Glantz, M. (1985). Understanding: The Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10, 111-120.
<https://doi.org/10.1080/02508068508686328>.
- Zhao, H., Gao, G., An, W., Zou, X., Li, H., & Hou, M. (2017). Timescale differences between SC-PDSI and SPEI for drought monitoring in China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 102, 48-58.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.10.022>.