



Van Gölü Havzasında Kuraklığın Mekansal ve Zamansal Değişimi

Spatio-temporal Variability of Drought in the Lake Van Basin

Hasan SAYIN

Research Assistant, Van Yüzüncü University, Department of Geography, Van, Türkiye
Araştırma Görevlisi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Van, Türkiye
Orcid: 0000-0002-4214-7911 hasansayin@yyu.edu.tr

Nurcan AVŞIN

Asst. Prof. Dr., Van Yüzüncü Yıl University, Geography Department, Van, Türkiye
Dr. Öğr. Ü., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Van, Türkiye
Orcid: 0000-0001-5588-0672 nurcanavsin@yyu.edu.tr

Article Information/Makale Bilgisi

Cite as/Atıf: Sayın, H. and Avşin, N. (2026). Temporal and Spatial Variability of Drought in the Lake Van Basin. *Van Yüzüncü Yıl University the Journal of Social Sciences Institute*, Special Issue, 288-305.

Sayın, H. ve Avşin, N. (2025). Van Gölü Havzasında Kuraklığın Zamansal ve Mekansal Değişimi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Özel Sayı, 288-305.

Article Types / Makale Türü: Research Article/Araştırma Makalesi

Received/Geliş Tarihi: April 18, 2025/18 Nisan 2025

Accepted/Kabul Tarihi: February 4, 2026/4 Şubat 2026

Published/Yayın Tarihi: February 23, 2026/23 Şubat 2026

Pub Date Season/Yayın Sezonu: February/Şubat

Issue/Sayı: Special Issue/Özel Sayı

Pages/Sayfa: 288-305

Plagiarism/İntihal: This article has been reviewed by at least two referees and scanned via a plagiarism software./ Bu makale, en az iki hakem tarafından incelendi ve intihal içermediği teyit edildi.

Published by/Yayıncı: Van Yüzüncü Yıl University of Social Sciences Institute/Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Ethical Statement/Etik Beyan: It is declared that scientific and ethical principles have been followed while carrying out and writing this study and that all the sources used have been properly cited/ Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

Conflict of Interest/Çıkar Beyanı

There are no conflicts of interest./Bu çalışma kapsamında herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile çıkar çatışması yoktur.

Declaration of Authors' Contribution/Yazarların Katkı Oran Beyanı

These authors contributed equally to the work/Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Supporting Institution/Destekleyen Kurum: Van Yüzüncü Yıl University Directorate of Scientific Research Projects , Project Number: SDK-2023-10648/ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP), Projesi Numarası: SDK-2023-10648

Copyright & License/Telif Hakkı ve Lisans: Authors publishing with the journal retain the copyright to their work licensed under the CC BY-NC 4.0./Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır

*Bu makale, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsünde danışmanlığını Dr. Öğr. Ü. Nurcan Avşin'in yürüttüğü "Kuraklığın Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü Değişikliklerine Etkilerinin Van Gölü Havzası Örneğinde İncelenmesi" başlıklı doktora tezinin bir kısmında geliştirilerek üretilmiştir.

Öz

İklim değişikliğinin etkilerinin tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de artarak ve her geçen gün daha şiddetli bir şekilde kendini göstermeye başladığı günümüzde, kuraklık olaylarının incelenmesine yönelik çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamdan hareketle bu çalışmada Van Gölü Havzası’nda 1980-2024 yılları arasında meydana gelen kuraklık olayları analiz edilmiştir. Havzada bulunan 8 meteoroloji istasyonuna (Van Bölge, Gevaş, Özalp, Erciş, Muradiye, Başkale, Tatvan, Ahlat) ait veriler kullanılarak her istasyona ait 12 aylık standardize yağış-evapotranspirasyon indisi (SPEI) değerleri hesaplanmıştır. Bu analizlere göre 1985-1995 arası dönem de tüm havzada nemli koşullar egemen iken 2000 sonrası dönemde özellikle 2012 yılından itibaren kuraklık olaylarında belirgin bir artış yaşanmıştır. Van Bölge, Erciş, Başkale ve Muradiye istasyonlarında uzun süreli kuraklıklarda görülen artışlar bu alanda iklimsel kuraklık eğilimini göstermektedir. Havzanın doğu ve güneydoğusu (Özalp, Muradiye, Başkale) en fazla kuraklık riski taşıyan bölgelerdir. Batı bölgesi (Tatvan, Ahlat) nispeten daha dirençli görünmekle birlikte son yıllarda bu istasyonlarda da kuraklık eğilimlerinde artış görülmektedir. Bunun yanı sıra Mann-Kendall trend analizi yöntemiyle istasyonlara ait sıcaklık ve yağış verilerinin trendleri ve Sen’in Eğimi yöntemiyle de olası eğilimlerin yönleri hesaplanmıştır. Bu analizler bize havzada bulunan tüm istasyonlarda ortalama sıcaklık değerlerinde 0.05 anlamlılık düzeyinde artma eğilimi olduğunu göstermiştir. Yağış değerlerinde ise sadece Ahlat istasyonunda anlamlı azalış tespit edilmiştir. Diğer istasyonlar da yağış değerlerinde anlamlı olmayan azalışlar görülmekle birlikte bu değişimlerin genelde mevsimlik ve yıllık farklılıklardan kaynaklandığını söyleyebiliriz. Bu değerler özellikle de sıcaklıklarda yaşanan önemli artışlar havzada yaşanan kuraklıkları anlamamız açısından önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler

Kuraklık, SPEI, Mann-Kendall, Van Gölü Havzası, İklim Değişikliği

Abstract

The effects of climate change have started to show themselves increasingly and more severely in Turkey as well as all over the world. Therefore, studies on the examination of drought events are of great importance today. In this context, the aim of this study is to analyze the drought events that occurred in the Van Lake Basin between 1980-2024. Using the data of 8 meteorological stations in the basin (Van Region, Gevaş, Özalp, Erciş, Muradiye, Başkale, Tatvan, Ahlat), 3, 6 and 12-month standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI) values for each station were calculated. According to these analyzes, while humid conditions were dominant in the entire basin between 1985-1995, a significant increase in drought events was experienced in the period after 2000, especially since 2012. The increases in long-term droughts observed in the Van Region, Erciş, Başkale and Muradiye stations indicate a climatic drought trend in this area. The eastern and southeastern parts of the basin (Özalp, Muradiye, Başkale) are the regions with the highest risk of drought. Although the western part (Tatvan, Ahlat) seems to be relatively more resistant, there has been an increase in drought tendencies at these stations in recent years. In addition, the trends of temperature and precipitation data belonging to the stations were calculated with the Mann-Kendall trend analysis method and the directions of possible trends were calculated with the Sen's Slope method. These analyses showed us that there is an increasing trend in average temperature values at the 0.05 significance level at all stations in the basin. A significant decrease in precipitation values was detected only at the Ahlat station. Although insignificant decreases were observed in precipitation values at other stations, we can say that these changes are generally due to seasonal and annual differences. These values, especially the significant increases in temperatures, are important in terms of understanding the droughts experienced in the basin.

Keywords: Drought, SPEI, Mann-Kendall, Lake Van Basin, Climate Change

Giriş

Kuraklık, hidrolojik sistemin anomalilere bağlı olarak ortaya çıkan, tarım, su kaynakları, ve çevre üzerinde önemli düzeyde olumsuz etkileri olan karmaşık bir doğa olayıdır (Mishra & Singh, 2010; Wilhite & Glantz, 1985). En yalın haliyle doğal su varlığının bölgesel ölçekte, belirli bir zaman süresince uzun vadeli ortalamanın ya da normalin altında gerçekleşmesi sonucunda oluşan su açığı olarak tanımlanır (Türkeş, 2012). Aynı zamanda beklenenden veya normalden daha az yağış eksikliği nedeniyle meydana gelen, hemen hemen tüm iklim bölgelerinde görülen ve yavaş gelişen bir doğal afettir (Türkeş & Tatlı, 2009; Wilhite & Glantz, 1985). Genellikle uzun süreli yağış eksikliğine bağlı olarak yaşanan kuraklık, başlangıç zamanının ve sona ereceği sürenin net olarak belirlenememesi ayrıca çok geniş alanları etkileme potansiyelinin olmasından dolayı takip edilmesi zor bir afettir (Erlat & Güler, 2023; Vicente-Serrano vd., 2010).

Kuraklık olaylarını diğer iklim kökenli afetlerden (sel, taşkın vb.) ayıran en önemli özellikler, başlangıç ve bitiş zamanının belirsiz olması (Türkeş, 2012; Vicente-Serrano vd., 2010; Wilhite & Pulwarty, 2017), etkilerinin çok geniş coğrafi alanlara yayılması (Erlat & Güler, 2023), kümülatif bir etkiye sahip olması (Kuglitsch vd., 2010; Türkeş, 2012) ve eş zamanlı olarak birden fazla kaynağı etkilemesidir (İlgar, 2013). Kuraklık şiddet, süre ve dağılışı gibi bileşenleri olan bir olgudur (Türkeş, 2012). Kuraklığın çeşitli türleri bulunmaktadır. Tarımsal kuraklık toprağın en üstteki bir metre kadarlık kısmında etki yaratan nem eksikliğiyle ilişkiliyken, meteorolojik kuraklık esas olarak uzun süreli yağış eksikliğidir. Meteorolojik kuraklık genellikle ilk tetiklenen kuraklık türüdür. Normalin altındaki akarsu akışı, göl ve yeraltı su seviyelerinde yaşanan değişimler ise hidrolojik kuraklık olarak tanımlanmıştır. Bu farklılıklar iklimsel faktörlerin etkili olduğu kuraklıkta yağışın, evapotranspirasyonun (buharlaşma-terleme) ve akışın göreceli rollerini vurgular (Trenberth vd., 2014; Van Loon, 2015; Wilhite & Glantz, 1985). Ayrıca su kaynakları sistemlerinin su taleplerini karşılayamaması durumuna da sosyoekonomik kuraklık denir (Yihdego vd., 2019). Kuraklığın bu türü ekonomik mal olarak su arzının, oluşan kıtlık nedeniyle talebi karşılamamasıyla oluşur (Mishra & Singh, 2010; Öz vd., 2024). Kuraklık geçici bir durum olup, bir bölgede sürekli yağış ve nem açığı koşullarını iade eden ve iklimin kalıcı bir özelliği olan aridite (klimatolojik kuraklık) kavramından ayrılır (Türkeş, 2012).

Kuraklık doğal süreçlere bağlı olarak gelişmekle birlikte, aynı zamanda insan faaliyetleriyle de tetiklenen bir süreçtir (Yetmen, 2013). Çeşitli insan etkinlikleri sonucu sanayi devriminden beri atmosferde bulunan sera gazı konsantrasyonlarının sürekli artması sera etkisini kuvvetlendirmekte ve dünya ikliminin daha sıcak ve daha değişken olmasına neden olmaktadır (Türkeş, 2012). Türkiye’de ortalama sıcaklıkların uzun vadede arttığı görülmektedir (Kale & Duman, 2024; Yetmen, 2013). Artan sıcaklıklar buharlaşma miktarını arttırıp su kaynaklarında azalmaya neden olur. Bu durum sonucunda kuraklık olayları yaşanmaktadır. Ayrıca orman tahribatı ve ormansızlaşma, geleneksel sulama yöntemlerinin kullanılması, yüzey ve yeraltı sularının aşırı ve yanlış kullanımı gibi antropojenik faktörler de kuraklık tehlikesini arttıran olaylardır. Tüm faktörler ile tetiklenen kuraklık, tüm dünyada her yıl çok yüksek ekonomik zararlara neden olmaktadır (Mishra & Singh, 2010; Vicente-Serrano & López-Moreno, 2005). Küresel olarak her yıl yaklaşık 55 milyon insan kuraklıktan doğrudan etkilenmekte olup, tarım ürünleri çiftlik hayvanları için ciddi zararlar doğurmaktadır (Erlat & Güler, 2023; WHO, 2025). Türkiye’nin içinde bulunduğu Akdeniz havzası, 1970’lerin başından itibaren belirgin kuraklaşma eğilimleri göstermiş ve iklim değişikliği senaryoları 21. yy boyunca bölgede kuraklıkların sıklığının ve şiddetinin artacağını öngörmektedir (Türkeş, 2012; Türkeş & Tatlı, 2009). Bundan dolayı kuraklık olaylarının incelenmesi ve değerlendirilmesi su kaynaklarının planlanması ve yönetilmesi açısından kritik öneme taşımaktadır.

Kuraklık çalışmaları genel olarak bu afetin iklimsel sebepleri, oluşturabileceği etkiler ve bu etkilerle baş etme stratejileri, doğrudan zarar azaltma ve etkileri en aza indirmek için çeşitli yöntemleri ele alsa da literatüre bakıldığında bunların yanı sıra çoğunlukla kuraklığın oluşum sıklığı (frekans) ve şiddetini ele alan çalışmaların önemli yer tuttuğunu söyleyebiliriz (Akbaş, 2014; Byun & Wilhite, 1999; Erlat & Güler, 2023; Yihdego vd., 2019). Kuraklık başlangıcı, şiddeti ve süresini tahmin etmenin zor olduğu bir doğal afet olduğu için, bu olayı izlemek ve değerlendirmek amacıyla meteorolojik ve hidrolojik göstergelere dayanan çok sayıda bilimsel yöntem ve indis geliştirilmiştir (Erlat & Güler, 2023; Mishra & Singh, 2010; Türkeş & Tatlı, 2009). Kuraklık indisleri, iklimsel anomalilerin şiddet, coğrafi yayılışı ve frekansları açısından değerlendirilmesidir (Akbaş, 2014; Türkeş, 2012; Yihdego vd., 2019). Literatüre bakıldığında en yaygın kullanılan yöntemler Standardize Yağış İndisi (SPI) (Aydın, 2023; İlgar, 2013; Türkeş & Tatlı, 2009), Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI) (Akbaş, 2014; Türkeş vd., 2009), Standardize Yağış ve Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) (Beguería vd., 2014; Deniz Öztürk & Ünlü, 2022; Erlat & Güler, 2023; Gumus, 2023; Öz vd., 2024; Serkendiz vd., 2024; Tirivarombo vd., 2018)’dir. SPI yöntemi sadece yağış verilerine dayalıdır. Kolay hesaplanabilir olması nedeniyle meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemdir (Deniz Öztürk & Ünlü, 2022). Genel olarak indis hesaplandıktan sonra elde edilen değerler negatifse kurak dönemleri pozitifse nemli dönemleri ifade eder. SPEI ise SPI yöntemindeki eksikliği gidermek amacıyla yağış verilerinin yanı sıra potansiyel evapotranspirasyon (PET) verilerini de kullanır (Beguería vd., 2014; Vicente-Serrano & López-Moreno, 2005). İndis kuraklık koşullarının başlangıç ve bitiş zamanlarını ve

kuraklığın şiddetini belirleme avantajına sahiptir. SPEI farklı zaman ölçekleri için hesaplanabilir. Meteorolojik kuraklıkların belirlenmesi için 1-3 aylık, tarımsal kuraklığın belirlenmesi için 3-6 aylık ve hidrolojik kuraklığın belirlenmesi için ise 12 ay ve daha uzun zaman ölçeklerinde SPEI hesaplanabilir (Erlat & Güler, 2023; Vicente-Serrano & López-Moreno, 2005). PDSI ise yağış ve PET değerleri yanında faydalı (kullanılabilir) su içeriği (AWHC) (toprak nemi) gözlemlerini de hesaplama dahil eder (Akbaş, 2014; Palmer, 1965).

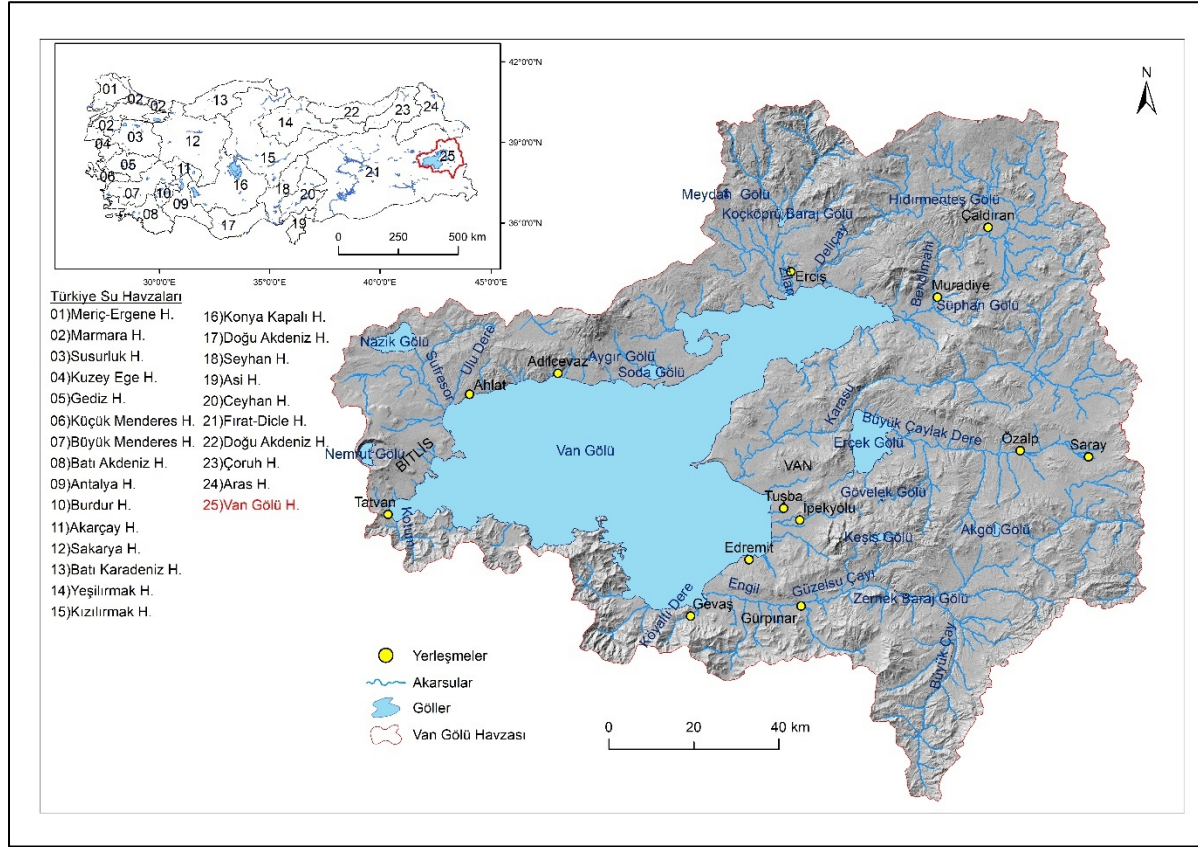
Doğu Anadolu bölgesinde bulunan Van Gölü Havzası (VGH) Türkiye'nin en önemli havzalarından biridir (Şekil 1). Sularının dışa akışı olmadığından kapalı havza özelliği gösterir. Bu tarz alanlar iklimde meydana gelebilecek olası değişimlere karşı oldukça hassastır. Örneğin yaşanan kuraklık olayları havzada bulunan göllerde negatif seviye değişikliği yaratabileceği gibi nemli dönemlerde de bu seviyelerde artışlar yaşanması gözlemlenebilir (Aydın & Doğu, 2018; Yıldız & Deniz, 2005). Türkiye'nin en büyük kapalı havzalarından biri olan Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu Bölgesi'nde kuraklığın etkileriyle karşı karşıya kalan bölgeler arasındadır. VGH, su potansiyeli açısından riskli olduğu düşünülen bir alan olduğundan çeşitli kuraklık indisi yöntemleri kullanılarak çok kere çalışılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar, havzada kuraklığın belirlenmesi, şiddetinin ve süresinin tespiti amacıyla SPI, Akarsu Kuraklık İndisi (SDI) ve SPEI gibi indislere dayalı analizlere odaklanmıştır. SPI kullanılarak yapılan çalışmada Van Gölü Havzasının tamamında kuraklıkların mevcut durumu analiz edilmiştir. Bu çalışmada havzada meydana gelen kuraklıkların genel bir değerlendirilmesi yapılmıştır (Yetmen, 2013). SPI ve SPEI indisi kullanılarak yapılmış başka bir çalışmada ise Van ilinde meydana gelen kuraklık olayları incelenmiş fakat havzanın tamamı bu çalışmada incelenmemiştir. Yapılan çalışmada kurak dönemlerinin en fazla Özalp ilçesinde görüldüğü ve SPEI metodunun SPI metoduna göre daha hassas sonuçlar çıkardığı tespit edilmiştir (Aydın, 2023). Daha hassas sonuçlar almamızı sağlayacak SPEI indisinin tüm havza için kullanılması, havza genelinde gerçekleşmiş kuraklık olaylarının zamansal ve mekansal farklılıklarını tespit etmede oldukça faydalı olacaktır. Bu konuda çalışmaların devam etmesi Van Gölü'nün korunması ve daha sürdürülebilir yönetimi için son derece önemlidir. Nitekim Van Gölü kadar büyük su toplama alanı olmayan bazı alanlarda kuraklık nedeniyle oldukça yıkıcı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Yüzey alanı olarak Van Gölü kadar büyük olmayan bazı göller hem havzada hem de Türkiye genelinde son yıllarda iklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık olayları ve beşeri müdahaleler sonucunda tamamen kurumuştur (Tekin & Deniz, 2024). En önemli su kaynağı yağışlar olan Van Gölü Havzası'nda kuraklıkları tespiti ve frekanslarının ortaya konulması hayati önem taşımaktadır.

Bu sebeplerden ötürü bu çalışmada Van Gölü Havzasında bulunan 8 meteoroloji istasyonundan (Van Bölge, Gevaş, Erciş, Özalp, Muradiye, Başkale, Tatvan, Ahlat) (Tablo 1) alınan 1980-2024 yılları arasını kapsayan verilerle havza da yaşanan kuraklık olaylarının tekrarlanma sıklıkları SPEI metoduyla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Öncelikle meteoroloji istasyonlarından elde edilen sıcaklık ve yağış değerlerinin eğilimleri tespit edilmiştir. Havzanın tamamında sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamlı pozitif eğilimler tespit edilmiştir. Yağış değerlerinde ise istatistiksel olarak anlamlı olmazsa da azalmalar meydana gelmiştir. Daha sonra hesaplanan SPEI analiz sonuçlarına göre havza genelinde kuraklık olaylarının sıklığında son yıllarda önemli artışlar tespit edilmiştir. Havzada kuraklığın genel bir resmi çekilmek istendiğinden 12 aylık SPEI değerleri (SPEI-12) göz önünde bulundurulmuştur. Böylece havzada geçmişte yaşanmış kuraklık olaylarının mekansal ve zamansal değişimi yorumlanabilmektedir. Van Gölü gibi kapalı havza göllerinde su seviyesindeki değişimler ekolojik denge açısından oldukça hassastır. Kurak dönemlerde yağış azalmaları ile birlikte artan sıcaklıklar göl seviyesinin hızlı bir şekilde düşmesine neden olur. Ayrıca tarımsal üretimde bu durumdan doğrudan etkilenen alanlar arasındadır. Kurak koşullar tarım ürünlerinin üretiminde verim kayıplarına yol açabilir. Kuraklığın bu olumsuz etkilerinin devam etmesi sosyoekonomik sıkıntılar doğurabilmektedir. Dolayısıyla havza genelinde kuraklık açısından riskli bölgelerin belirlenmesi sürdürülebilir havza yönetimi açısından son derece önemlidir.

1. Veri ve Yöntem

Bu çalışmada Türkiye'nin 25 su havzasından biri ve en önemli kapalı havzalarından olan Van Gölü Havzası'ndaki kuraklık durumunun yanı sıra ortalama sıcaklık ve yağış değerlerinin eğilimi meteorolojik veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Havzada düzenli kayıtların bulunduğu 8 meteoroloji istasyonuna (Van Bölge, Gevaş, Erciş, Özalp, Muradiye, Başkale, Tatvan, Ahlat) ait veriler kullanılmıştır (Tablo 1). Ortalama sıcaklık ve ortalama toplam yağış değerlerindeki eğilimin tespiti için Mann Kendall ve Sen'in Eğimi metotları kullanılırken kuraklık olaylarının tespiti için ise standart yağış ve evapotranspirasyon (SPEI) yöntemi kullanılmıştır. Bu tarz çalışmalarda en önemli sınırlılıklardan birisi meteoroloji istasyonlarında düzenli ölçümlerin kaydedilmemesidir. Özellikle 2000'li yıllarda ölçümlere başlayan Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları (OMGİ) öncesi dönemde bu sorunla daha sık karşılaşılırdı. Nitekim çalışma alanında bulunan Çaldıran istasyonunda da benzer sınırlılıklar karşımıza çıkmaktadır. İstasyona ait veriler istenilen zaman aralığını kapsamadığından bu istasyona ait SPEI hesaplaması yapılamamıştır. Havzanın sıcaklık değerleri bakımından en düşük değerlerinin ölçüldüğü bilinen Çaldıran istasyonuna ait veriler 2012-2024 yıllarını kapsamaktadır. Çaldıran ve çevresine ait sıcaklık ve yağış değerleri hakkında bilgi vermesi açısından

bu veriler ortalama sıcaklık ve ortalama toplam yağış haritalarına dahil edilmişse de çok kısa bir zaman aralığını kapsadığından kuraklık hesaplamalarına Çaldıran istasyonu dahil edilmemiştir.



Şekil 1: Araştırma sahasının yeri ve sınırları

Tablo 1: Meteoroloji istasyonlarına ait genel bilgiler (Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)) (Veri Aralığı:1980-2024;*düzenli veri sağlanmadığından Çaldıran istasyonu için 2012-2024 aralığındaki veriler kullanılmıştır).

İstasyon Kodu	İstasyon Adı	Enlem Değerleri	Tarih Aralığı	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Maksimum Sıcaklık (°C)	Ortalama Minimum Sıcaklık (°C)	Ortalama Toplam Yağış (mm)
17172	Van Bölge	38.46833° K	1980-2024	9.3	15.3	4.7	380
17852	Gevaş	38.2963° K	1982-2024	9.2	14.8	3.9	487
17812	Özalp	38.6501° K	1980-2024	6.3	14.1	-1.1	455
17784	Erciş	39.0197° K	1980-2024	9.3	15.6	8.3	390
17786	Muradiye	38.9946° K	1980-2024	9.2	15.8	3.3	529
17880	Başkale	38.0476° K	1980-2024	6.6	12.1	1.8	418
18238	Çaldıran*	39.1419° K	2012-2024	6.2	13.1	-0.4	347
17205	Tatvan	38.5025° K	1980-2024	9.3	14.7	4.2	761
17810	Ahlat	38.7456° K	1980-2024	9.3	14.4	4.6	492

1.1. Mann-Kendall Testi

Mann-Kendall testi parametrik olmayan bir istatistiksel yöntemdir (Hirsch vd., 1991; Kendall, 1975; Mann, 1945). Bu yöntem özellikle iklim ve hidroloji verileri gibi belirli bir zaman serisi içerisinde dağılım gösteren verilerin analizinde sıklıkla kullanılır. Bu test, verilerin belirli bir dağılımı takip etmesini gerektirmez ve özellikle uç değerlerin etkisini azaltmada etkilidir (Garba & Udokpoh, 2023). Bu analiz sonucunda elde edilen değerler negatife azalan, pozitifse artan trendin olduğunu gösterir. Bu

değerlerin anlamlılık seviyeleriye 0,05 seviyesinde değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında Mann-Kendall trend analizlerinin yapılabilmesi için R ve XLStat yazılımlarından faydalanılmıştır.

Mann-Kendall Testi (MK) hesaplanırken öncelikle aşağıdaki hipotez kurulması gerekir:

H_0 : Seride trend yoktur.

H_a : Seride trend vardır.

Bu hipotezleri test etmek için aşağıdaki test istatistiği (F) hesaplanır (1).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(X_j - X_i)}{(1)} \quad (1)$$

Bu denklemde sgn, aşağıdaki şekilde (2) tanımlanan sinyal fonksiyonudur:

$$\text{sgn} = \begin{cases} 1, & a > b \\ 0, & a = b \\ -1, & a < b \end{cases} \quad (2)$$

Daha sonra sıfır ortalamalı ve normal dağılıma sahip bir test istatistiğinin varyansının hesaplanması için denklem 3 kullanılır:

$$\text{Var}(F) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^k t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (3)$$

Burada t_i , i. Örneklemdeki örnek sayısını ifade eder. Son olarak, Z testi istatistiği aşağıdaki denklem (4) kullanılarak hesaplanır:

$$Z = \begin{cases} \frac{F-1}{\sqrt{\text{Var}(F)}}, & F > 0 \\ 0, & F = 0 \\ \frac{F+1}{\sqrt{\text{Var}(F)}}, & F < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Burada, Z istatistiğinin normal bir dağılıma uyduğu varsayılmaktadır. Belirli bir güven düzeyinde, genellikle $1-\alpha/2$ seviyesinde, Z değeri $Z_{1-\alpha/2}$ değerinden büyükse eğilim istatistiksel olarak anlamlı kabul edilir. Burada α anlamlılık düzeyini gösterir ve genellikle 0.05 (%5) ya da 0.01 (%1) olarak alınır. Eğilimin yönü (pozitif yada negatif) ise F istatistiğinin işaretiyle belirlenir. Burada tekrardan vurgulamak gerekir ki, M-K testi zaman serilerinde mevcut eğilimi belirlemek için kullanılır.

1.2. Sen'in Eğimi Metodu

Sen metodu, zamana bağlı trendi tahmin etmede sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Çoğunlukla Mann-Kendall testi ile birlikte kullanılır. Sen'in eğimi metodu trendin doğrusal olduğunun varsayılabilirdiği durumlarda kullanılır (Salmi, 2002). Yapılan trend analizi sonrasında birim zamandaki değişim elde edilir. Sonuçlar pozitifse artan, negatifse azalan yönde trendin olduğu yorumlanır (Sen, 1968). Bu yöntemler özellikle hidrometeorolojik verilerde normal dağılım varsayımını gerektirmemesi, aykırı değerlerden etkilenmemesi ve doğrusal olmayan eğilimlere dahi duyarlılığı nedeniyle sıkça tercih edilir (Garba & Udokpoh, 2023; Partal & Kahya, 2006; Salmi, 2002).

1.3. Standart Yağış ve Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)

Bu indis kuraklığın belirlenmesi amacıyla potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verilerini birlikte kullanarak hesap yapmaktadır (Vicente-Serrano vd., 2010). Bu indeksın esas amacı su kaynaklarında meydana gelen kayıpları hesaplarken potansiyel evapotranspirasyonu hesaplamaya dahil ederek buharlaşma miktarlarındaki değişimleri de analize katmaktır. SPEI, SPI'nin çok zamanlı yapısı ile PDSI'nin buharlaşmaya karşı olan duyarlılığını birleştirir (Vicente-Serrano vd., 2010). SPEI,

kuraklık koşullarının şiddetini, süresini ve başlangıç ile bitiş tarihlerini belirlemek amacıyla yağış ve sıcaklık verilerine dayalı bir dizi istatistiksel hesaplamayı içerir. SPEI hesaplaması için düzenli ve eksiksiz ölçülmüş aylık toplam yağış (P) ve aylık ortalama sıcaklık verilerine ihtiyaç duyulur. Kuraklık hesaplamasında yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerleri arasındaki fark temel alınır. Bu fark bölgenin su dengesi yaklaşımla yorumlanarak nem fazlalığı veya açığını işaret eder. SPI'dan farklı olarak sıcaklık artışlarının buharlaşma talebini arttırıcı etkisini de hesaba katarak kuraklık şiddetini değerlendirir. Bu yönüyle SPEI özellikle iklim değişikliğinin etkisini yansıtan çalışmalar için uygun bir analiz yöntemidir (Aktürk vd., 2022). Matematiksel olarak SPEI şöyle ifade edilir (5):

$$D_i = P_i - PET_i \quad (5)$$

İstenilen zaman ölçeği için ilgili dönemleri D_i değerleri toplanır (örneğin 3 aylık SPEI için son 3 ayın D değerleri toplanır). Elde edilen kümülatif D serisi, büyük mevsimlik farklılıklarından arındırılmak üzere uygun bir istatistiksel dağılıma uyarlanır. Bu dağılıma dayanarak her D değeri için kümülatif olasılık hesaplanır. Ardından bu olasılıklar standart normal dağılıma dönüştürülerek SPEI değerleri elde edilir. Bu analiz sonunda elde edilen SPEI değerleri pozitif ise yağış fazlalığı yani nemli bir dönem, negatise kurak bir dönem yaşandığını gösterir (Beguería vd., 2014; Vicente-Serrano & López-Moreno, 2005) (Tablo 2). Denklem 5'te gösterilen PET değerinin hesaplanmasında farklı formüller kullanılabilir. Bunlar arasında Thorntwaite, Hargreaves ve Penman-Monteith en yaygın olanlarıdır. Kullanılan yöntemle ilgili olarak veri gereksinimleri de değişir. Çalışmamız kapsamında günlük minimum ve maksimum sıcaklık verilerini ayrıca çalışma alanının coğrafi konumundan hesaplanan dışsal radyasyon bilgisini kullanan Hargreaves yöntemi kullanılmıştır. Görece daha düşük veri ihtiyacı duyan bu yöntem sıklıkla kullanılmaktadır (George H. Hargreaves & Zohrab A. Samani, 1985; Hargreaves, 1994; Hargreaves & Allen, 2003).

SPEI yöntemi çok ölçekli yapısıyla (1-48 ay gibi) hem kısa hem de uzun vadeli kuraklıkları tanımlayabilir. Neredeyse yalnızca iklim verilerine dayanır ve nispeten az veriyle güçlü sonuçlar verir. PET verisini dahil ettiği için yükselen sıcaklıklara paralel olarak yüksek atmosferik buharlaşma oranlarının kuraklaşma eğiliminden sorumlu olduğunu tespit edebilir (Erlat & Güler, 2023). Nitekim yapılan çalışmalar Türkiye'de kuraklık eğilimindeki artışlardan artan sıcaklıklara paralel olarak yüksek atmosferik buharlaşma oranlarının sorumlu olduğu tespit edilmiştir (Erlat & Güler, 2023). SPEI yönteminin istatistiği gücü, su dengesindeki anomalileri standart normal dağılımda ifade etmesinde yatar. Böylece dünyanın farklı bölgelerinde elde edilen sonuçlar rahatlıkla karşılaştırılabilir.

Tablo 2: SPEI değerlerine göre kuraklık sınıfları

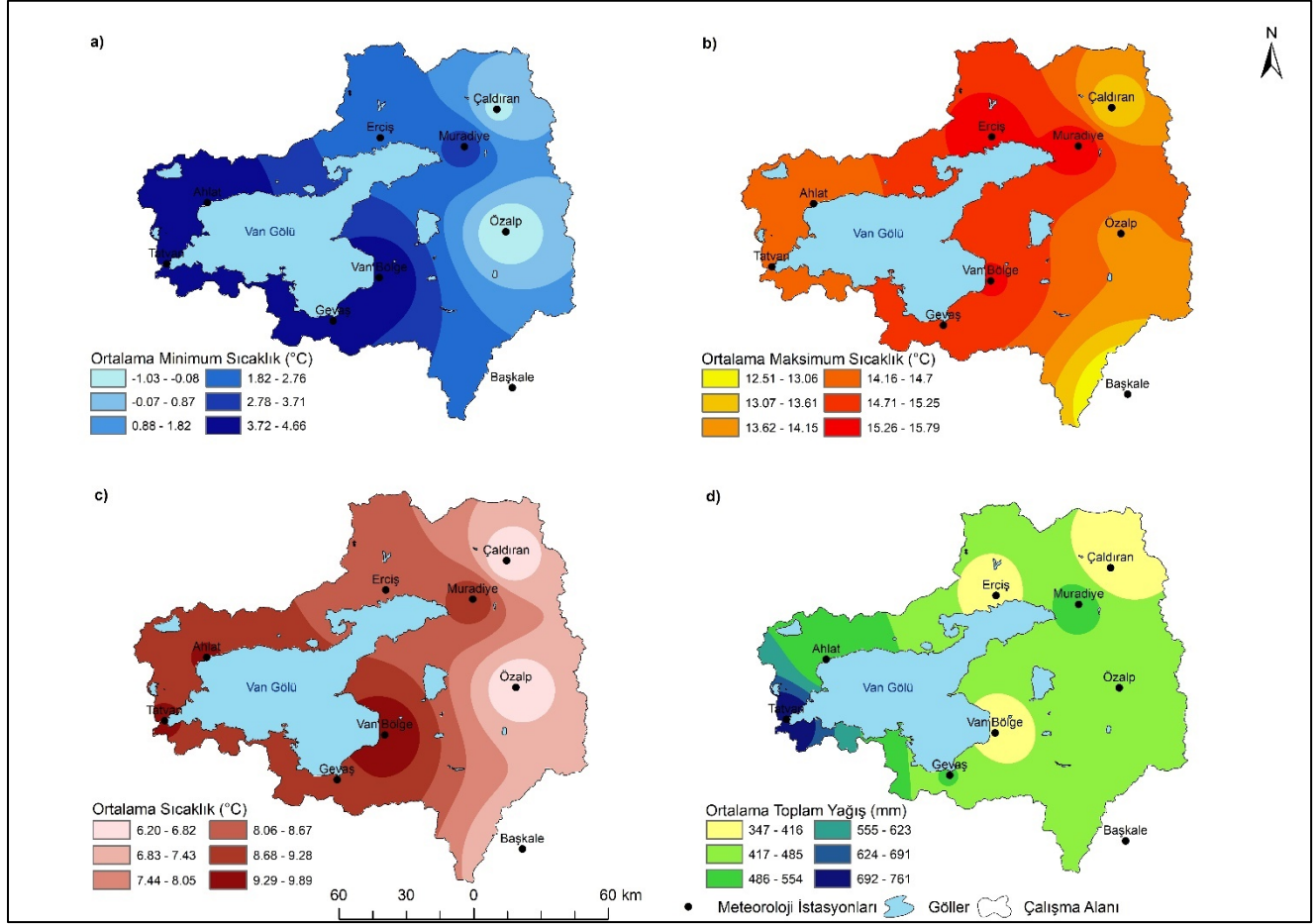
SPEI Değerleri	Durum
≤ -2.00	Aşırı kurak
-1.99 ile -1.50	Şiddetli kurak
-1.49 ile -1.00	Orta kurak
-0.99 ile -0.50	Hafif kurak
-0.49 ile +0.49	Normal
+0.50 ile +0.99	Hafif nemli
+1.00 ile +1.49	Orta nemli
+1.50 ile +1.99	Şiddetli nemli
$\geq +2.00$	Aşırı nemli

2. Bulgular

Van Gölü havzasında bulunan 8 adet meteoroloji gözlem istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama maksimum sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık ve aylık ortalama toplam yağış verilerinin uzun yıllık ortalamalarının dağılımını gösteren haritalar oluşturulmuştur. Bu haritaların oluşturulması amacıyla ArcGIS Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı kullanarak IDW enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Haritalara baktığımızda sıcaklık değerlerinde havza genelinde kıyı ve iç bölgeler arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmektedir (Şekil 2).

Van Gölü'ne yakın istasyonlarda ortalama sıcaklık değerleri daha yüksekken iç bölgelere doğru karasallığın ve ortalama yükseltinin artması gibi topografik kökenli nedenlerle sıcaklıklar azalmaktadır. En düşük sıcaklıklar havasın kuzeydoğusunda (Çaldıran ve Muradiye çevreleri) görülmektedir. Çaldıran ovası yüksek rakımı ve kapalı topografik yapısıyla ortalama sıcaklıkların oldukça azaldığı bir konumdur. Özellikle Van Gölü kıyısında bulunan istasyonlarda görece daha yüksek sıcaklık

değerleri ölçülmüştür. Gölün ıslanlaştırıcı etkisi bu bölgelerde sıcaklıkların daha fazla düşmesini engellemektedir. Ortalama sıcaklık dağılımı genel olarak rakım, göl etkisi ve enlem arklarının birleşik etkisini yansıtır. Yağış durumuna baktığımızda ise havzanın doğusu ve batısı arasında keskin biçimde değişmektedir. Havzanın doğusunda Van Bölge istasyonunda yıllık ortalama toplam 380 mm yağış görülürken, havzanın batısında yer alan Tatvan istasyonunun da bu değer 761 mm'dir. Yağışlar Tatvan ve Ahlat bölgesinde görece daha fazladır. Yağış batıdan doğuya doğru belirgin bir şekilde azalmaktadır.



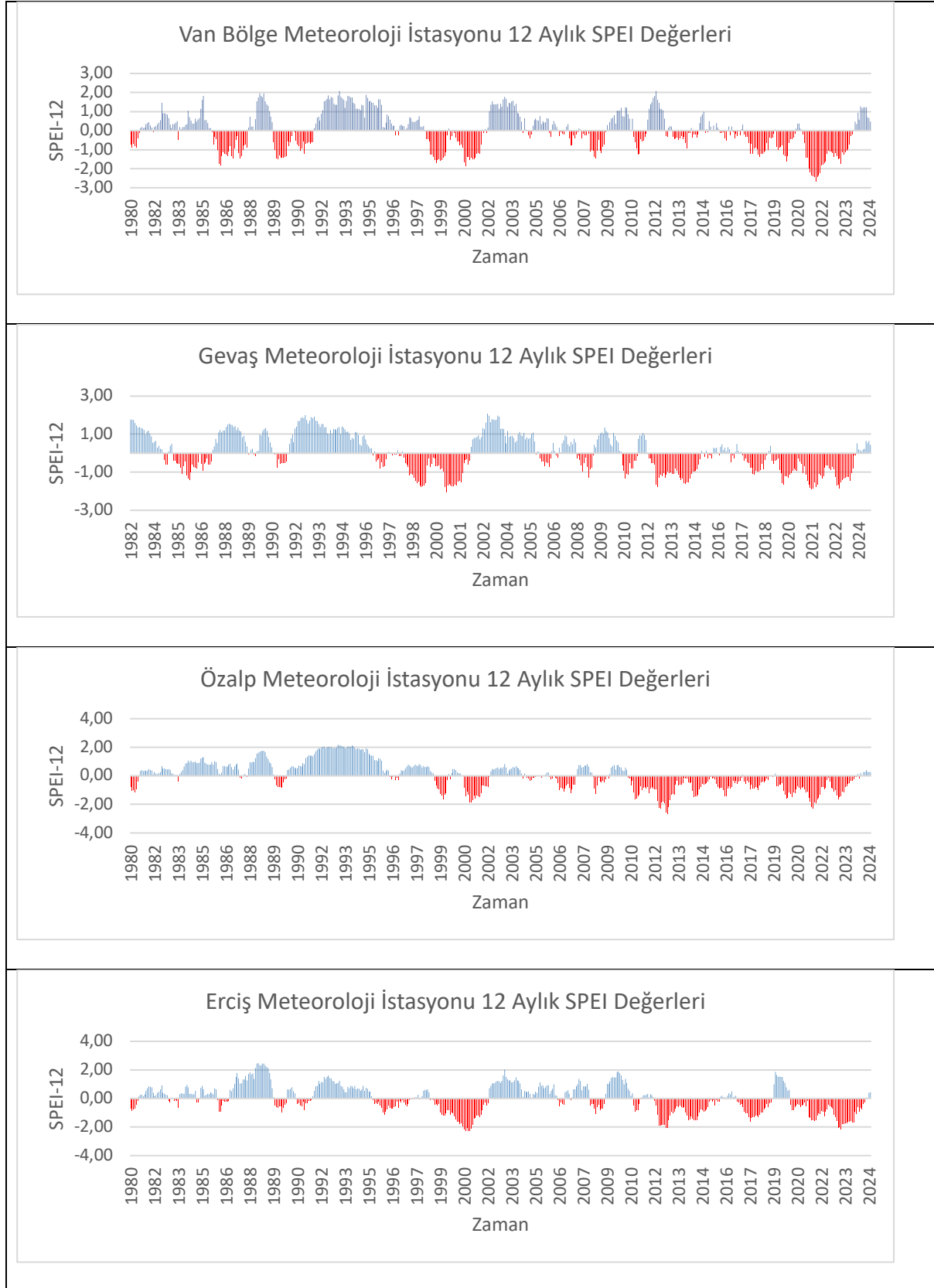
Şekil 2: a) Ortalama minimum sıcaklık b) ortalama maksimum sıcaklık c) ortalama sıcaklık d) ortalama toplam yağış (Veriler 1980-2024 aralığındadır. Çaldıran istasyonunda veri ölçümü yapılmadığından 2012-2024 arası veriler kullanılmıştır).

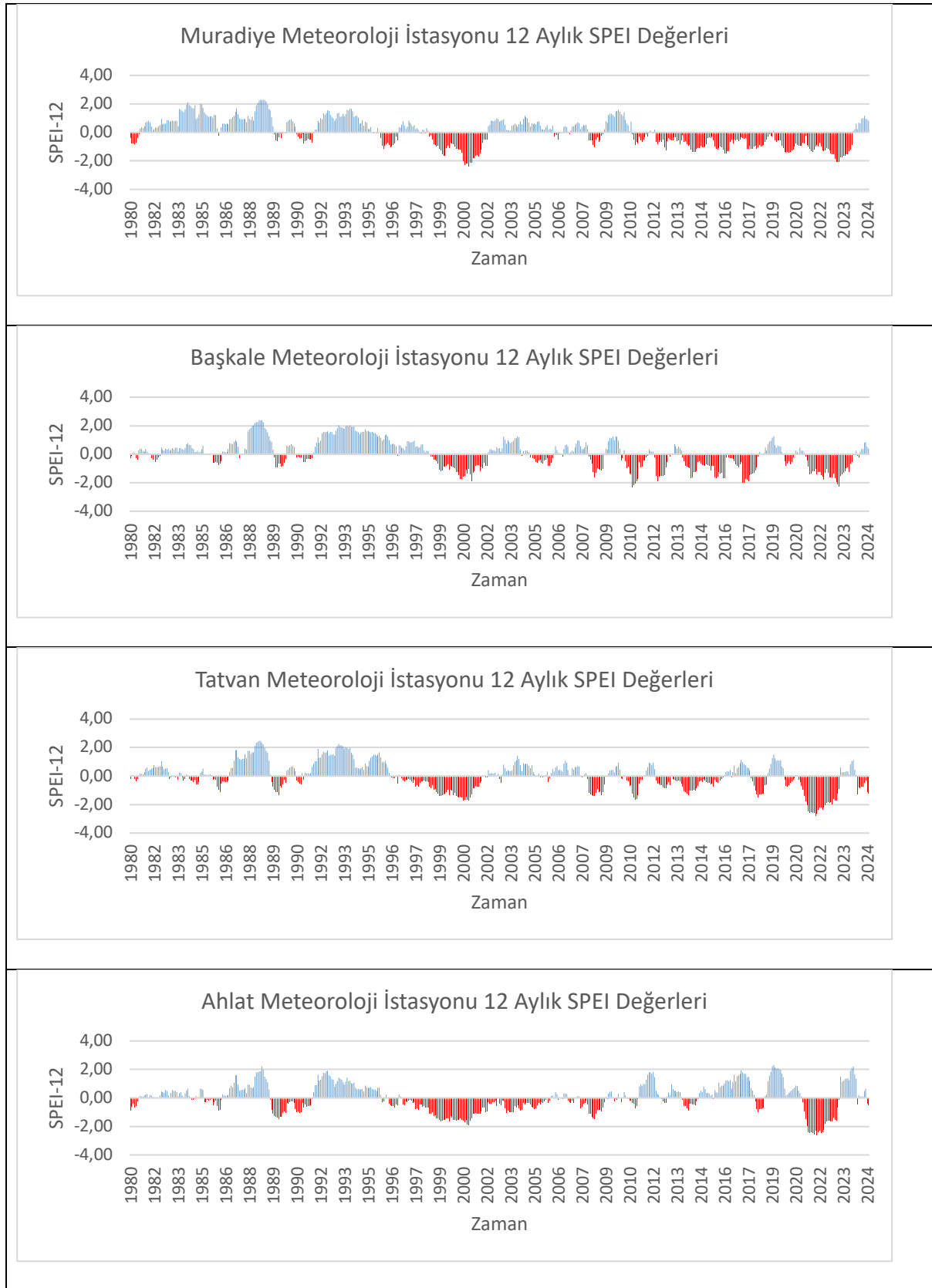
Daha sonra aynı istasyonlara ait ortalama sıcaklık ve ortalama toplam yağış verilerine Mann-Kendall trend testi uygulanmıştır (Şekil 3). Böylece uzun dönem (1980-2024) gözlem verilerinin eğilimlerin mekansal dağılımı ortaya konulmuştur. Bu analizlere göre havzada analiz edilen istasyonların tamamında sıcaklık değerlerinde 0,05 düzeyinde anlamlı artışlar tespit edilmiştir. Bu durum VGH'nın tamamında sıcaklıkların belirgin bir şekilde arttığını dolayısıyla bölgesel bir ısınma eğilimini kanıtlamaktadır. Bu eğilim bölgede buharlaşmanın artması, göl seviyelerinin düşmesi ve kuraklık riskinin artması gibi etkiler doğurmaktadır.

Yağış verilerinde ise Ahlat istasyonu hariç diğer tüm istasyonlarda anlamlı olmayan azalışlar tespit edilmiştir. Ahlat istasyonunda ise anlamlı bir azalış trendi olduğu görülmüştür (Tablo 3). Bu durum yağış azalmalarının lokal ve batı kıyılarda ağırlıklı olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Bu durum Nemrut-Süphan orografik sisteminin son yıllarda gelen nemli hava kütlelerinden daha az yağış aldığına işaret eder. Diğer bölgelerde istatistiksel olarak anlamlı olmayan azalışlar yağışların yüksek yıllık değişkenliğe sahip olduğunu gösterir. Sıcaklıklardaki sürekli artışlara karşın yağışlarda aynı eğilimin olmaması bölge de artan kuraklıkların esas nedeni olarak sıcaklık artışlarını düşünmemiz gerektiğini anlatır.

etkilediğinden yıllık düzeydeki su dengesi analizlerinde SPEI-12 daha hassas ve anlamlı sonuçlar üretmektedir. Ayrıca SPEI-12'nin tarımsal verim, su kaynaklarının planlanması ve afet yönetimi gibi uygulamalarda kullanımı yaygındır (Tirivarombo vd., 2018). Bu nedenle de çalışmada 12 aylık zaman ölçeğiyle yapılan kuraklık değerlendirilmesi literatürdeki metodolojik yaklaşımlarla uyumlu olarak seçilmiştir.

Tablo 4: Van Gölü Havzasında bulunan meteoroloji istasyonlarına ait SPEI 12 değerleri

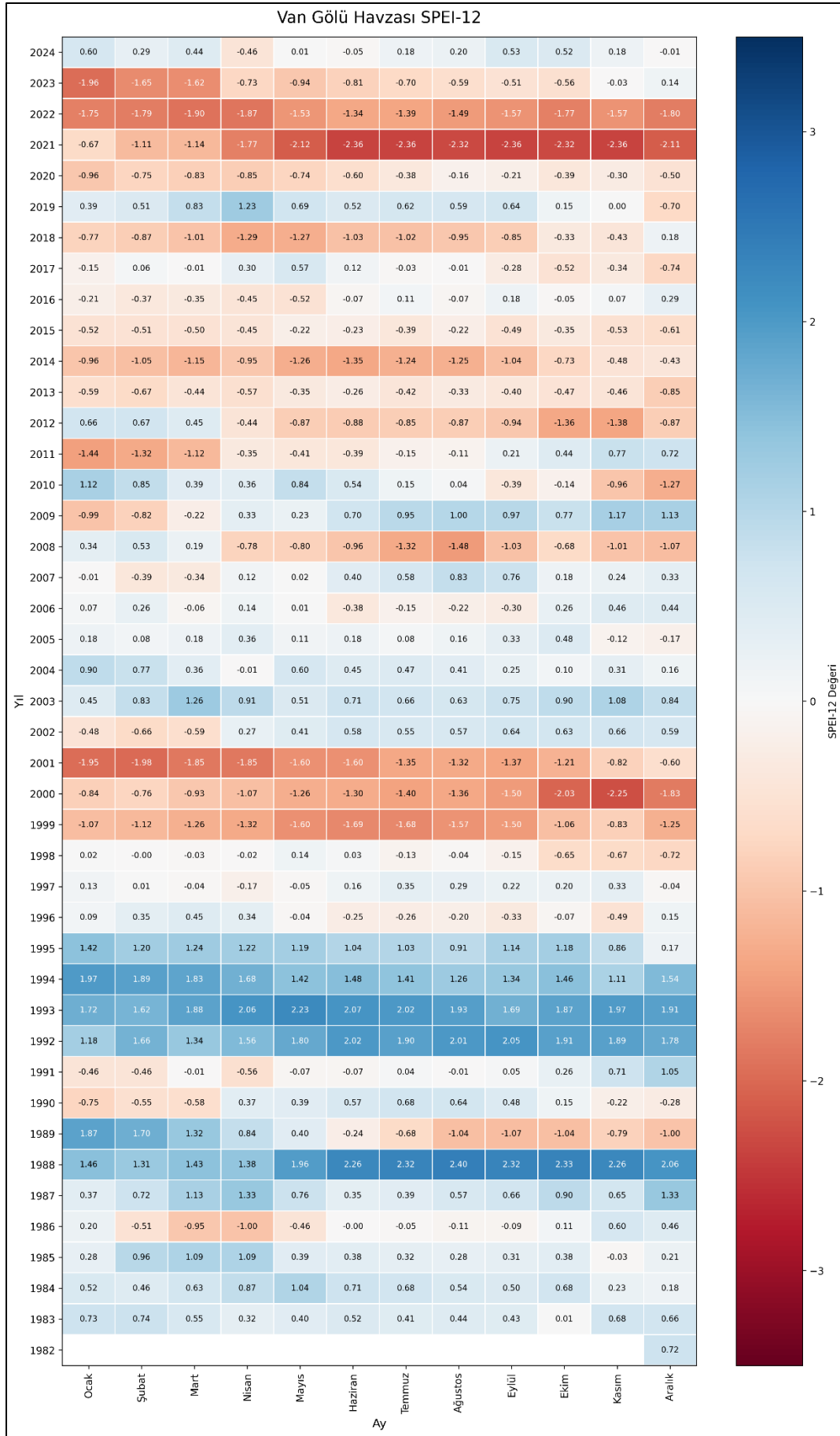




1982-1999 döneminde Van Bölge, Gevaş, Özalp, Erciş, Muradiye, Başkale, Tatvan ve Ahlat istasyonlarında genellikle nemli döneme işaret eden pozitif SPEI değerleri hakimken, 2000 sonrası dönemde kuraklık olaylarının göstergesi olan negatif değerlerde artış yaşanmıştır. Özellikle 2000'lerden sonra tüm istasyonlarda kurak dönemler şiddeti artan şekilde yaşanmıştır. Doğu Anadolu Bölgesi genelindeki gözlemlere baktığımızda benzer eğilimler görülmektedir (Çelik vd., 2018). Grafiklerde 2008, 2014, 2021 gibi yıllarda tüm istasyonlarda kuraklık olayları yoğunlaşırken, özellikle 1990lar ve 2000'lerin başında nemli periyotlar göze çarpar. 1980-99'a kıyasla 2000 sonrası dönemde kuraklıklar olaylarında artış yaşanmıştır. Teker teker baktığımızda Van Bölge istasyonunda 1980'ler de kısa süreli kuraklıklar, zaman zaman nemli dönemlerle dengelenmiş

görülmektedir. 1990-1995 döneminde ise havza geneline benzer şekilde uzun süreli nemli dönemler yaşanmıştır. 2000-2010 dalgalı ve ağırlıklı olarak kurak dönemler gözlemlenirken 2010'dan sonra kuraklık olaylarının sıklığında çok yüksek artışlar görülmektedir. Gevaş istasyonunun da 1980'lerin sonundan 2000'lerin başlarına kadar nemli bir eğilim varken 2000-2010 aralığında inişli çıkışlı ancak kurak dönemler gözlenmektedir. Ancak 2012'den itibaren uzun dönemli ve kalıcı kuraklıklar gözlemlenmektedir. Özalp istasyonu havzada kuraklıkların özellikle 2010'lardan sonra en etkili olmaya başladığı yerdir. Erciş istasyonunun da 1980-1995 arası yoğun nemli dönemler yaşanmışken 2011-2014 arası özellikle de 2014'den sonra çarpıcı kuraklık değerleri mevcuttur. Muradiye ve Başkale istasyonlarında durum Erciş istasyonu ile benzerlik göstermektedir. Havzanın batısına geçtiğimizde Tatvan istasyonunun da 1985-1996 arası güçlü nemli dönemler, 1997-2009 arası dalgalı fakat nemli dönemler ağılıkta, 2010 sonrası ise havzadaki diğer istasyonlarla benzer şekilde kuraklık hâkim durumda. 2014 sonrası ise şiddetli kuraklıkların daha fazla görülmeye başladığını söyleyebiliriz. Son olarak Ahlat istasyonunda ise 1998-2007 arası dönem uzun vadeli kurak bir döneme karşılık gelmektedir. Diğer istasyonlardan farklı olarak 2014 sonrası nemli dönemler de gözlemlenmiştir. Kuraklık durumu daha dalgalıdır (Tablo 4). Muradiye ve Özalp istasyonları 2010 sonrası sürekli artan kuraklık değerlerine sahiptir.

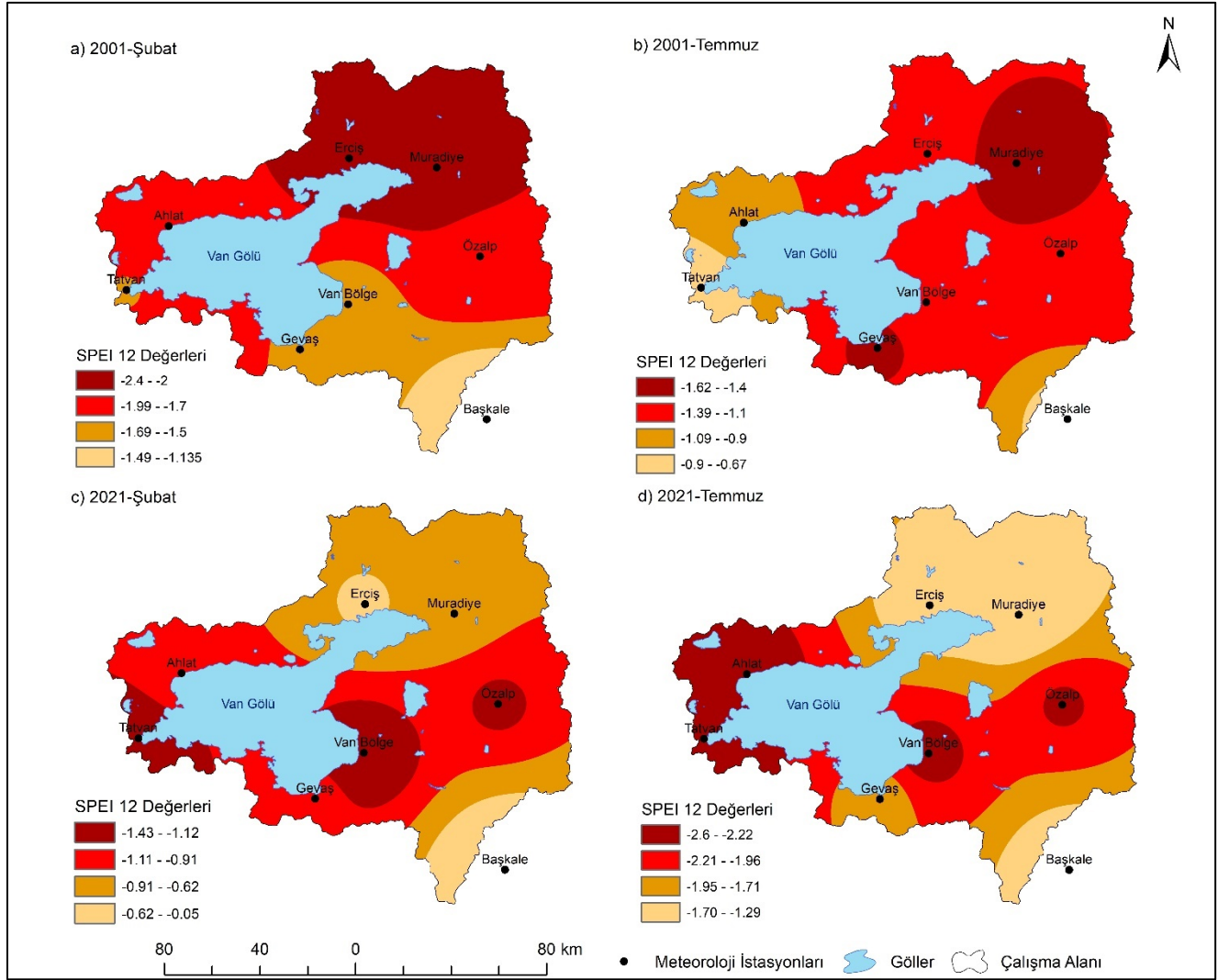
Analiz edilen SPEI-12 serileri Van Gölü Havzası'nda kuraklığın sıklığı ve şiddetinde artış eğilimini desteklemektedir. Özellikle 2000 sonrası dönemde tüm istasyonlarda negatif değerlerin sayısının arttığı, Van ili için yapılan çalışmalarda da Van'ın son yıllarda kuraklığın etkilerinin yükseldiğini belirtmektedir (Aydın, 2023; Kale & Duman, 2024). Genel olarak baktığımızda Van Bölge istasyonunun havzanın genel durumunu en iyi yansıtan istasyon olduğunu söyleyebiliriz. Havzadaki genel durumu daha iyi anlayabilmek için istasyonların meteorolojik parametrelerinin ortalamaları alınarak Van Gölü Havzasının tamamının kuraklık durumunu yansıyacak şekilde de SPEI analizi yapılmıştır (Sayın, 2026). Bu analize ait SPEI-12 değerleri ile ısı haritası oluşturulmuştur (Şekil 4). Böylece 1980-2024 arasındaki dönemde yaşanan kuraklık olayları daha net görülmektedir. Bu şekle göre 2021 yılı VGH için son 40 yılın en kurak yılıdır. Özellikle Mart-kasım ayları arasında çok yoğun kuraklık göze çarpar. Bu dönem de hesaplanan -2.2 ile -2.4 arasındaki değerler aşırı meteorolojik kuraklık ve tarımsal kuraklık koşullarına işaret eder. 2000-2001 boyunca, 2008 Temmuz-Kasım ayları arası uzun süreli kuraklıkların yaşandığı görülmektedir. 2020-2023 yılları arasındaki yıl boyunca SPEI-12 değerleri neredeyse hiç pozitif olmamıştır. Bu durum uzun süreli hidrolojik kuraklığın göstergesidir. Aynı durum 1999-2001 dönemi içinde geçerlidir. Bu uzun süreli negatif değerler özellikle toprak nemi, göl seviyesi, tarımsal verim gibi bileşenlerde kümülatif stresin birikmesine neden olur. Tam tersine 1992-1995 yılları arası açık şekilde nemli dönemlerdir. Son 10 yılda nemli periyotların sıklığı azalmaktadır.



Şekil 4: Van Gölü Havzasına ait SPEI 12 değerlerinden oluşan ısı haritası

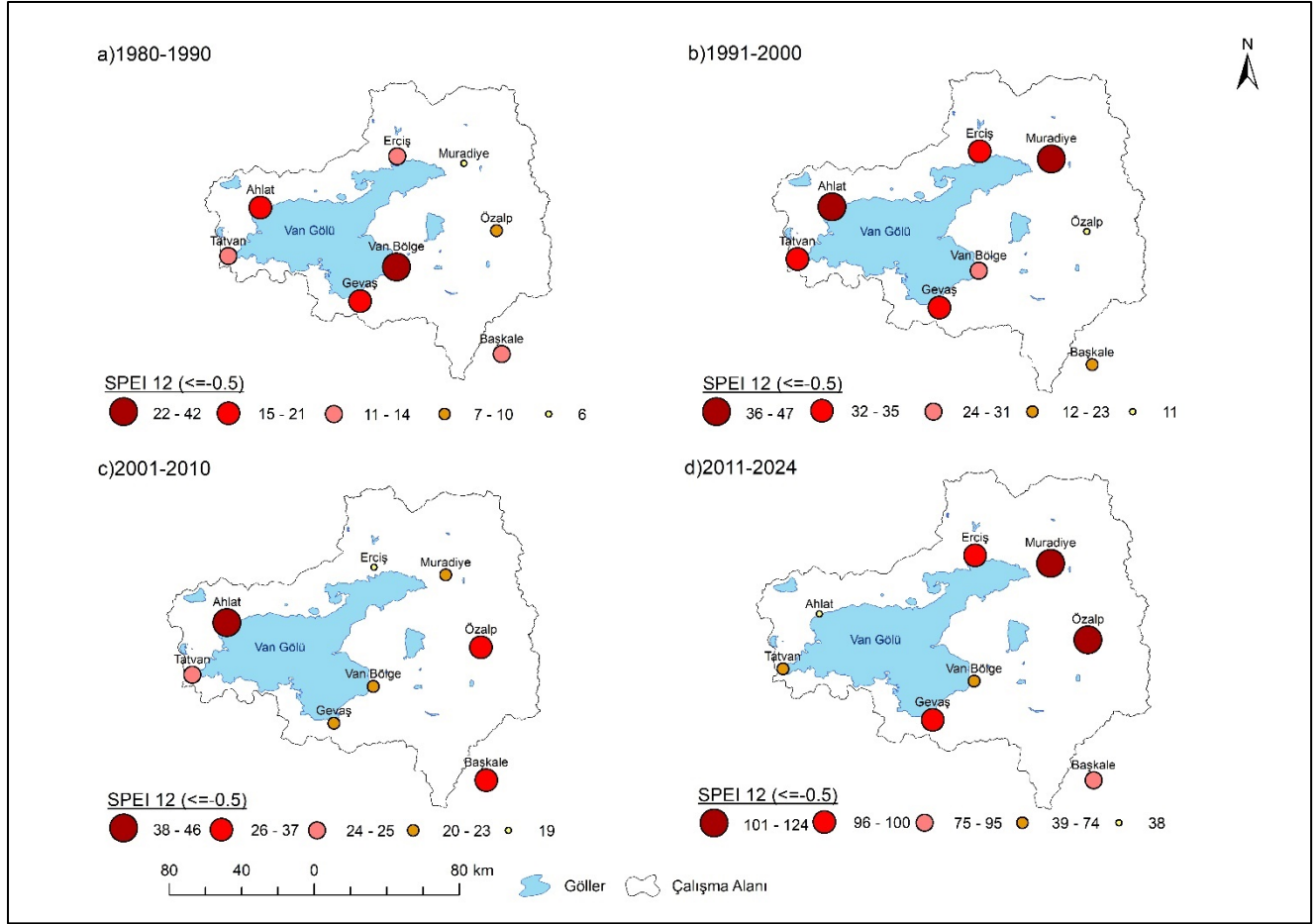
3. Tartışma

Van Gölü havzasında yer alan 8 meteoroloji istasyonuna ait meteorolojik veriler kullanılarak havzada sıcaklık ve yağış durumlarının genel eğilimleri ortaya konulduktan sonra bu istasyonlara ait kuraklık durumları standardize edilmiş yağış ve evapotranspirasyon indisi (SPEI) metoduyla analiz edilmiştir. VGH'nda son dönem analizleri, ortalama sıcaklıklarda belirgin bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Sıcaklıklarda meydana gelen değişiklikler 0,05 anlamlılık düzeyinde pozitif yöndedir. Bu durum havza da iklim değişikliği koşullarına benzer bir durum söz konusu olduğunu düşündürmektedir. Yağış değerlerinde ise istatistiksel olarak anlamlı olmayan azalmalar olmakla birlikte bu azalmaların mevsimsel ve yıllar arası yağış farklılıklarından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 5: Havzada en kurak geçen iki yıla ait (Şubat-Temmuz) SPEI 12 değerlerinin dağılışı

SPEI indisleri tüm istasyonlar için 12 aylık periyotlarda hesaplanmıştır. Genel olarak 1980-1995 dönemi tüm istasyonlar için istikrarlı ve nemli bir devre olmuştur. Ancak 2000 sonrası dönemde özellikle 2012'den sonra SPEI 12 değerleri kalıcı olarak negatif seyretmeye başlamıştır. Van Bölge, Başkale, Erciş ve Muradiye gibi istasyonlarda -2'ye yaklaşan uzun vadeli kuraklıklar, iklimsel kuraklık eğilimini gösterir. Sadece Ahlat ve kısmen Tatvan, 2020'li yıllarda geçici nemli toparlanmalar yaşamış olsa da bu iyileşmeler oldukça kırılgandır. Mekansal eğilimler havzanın doğu ve güneydoğusunun (Özalp, Muradiye, Başkale) en fazla kuraklık riski taşıyan bölgeler olduğunu göstermektedir. Batı bölgesi (Tatvan, Ahlat) nispeten daha dirençli görünse de son yıllarda bu istasyonlar da kuraklık eğiliminde etkilenmiştir. Van Bölge istasyonu havza için ortalama koşulları temsil etmekle birlikte, 2012-2022 döneminde tüm ölçeklerde şiddetli kuraklıklar gözlemlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 6: SPEI 12 değerlerinin $-0,5$ 'in altına düşme sıklığının dönemsel durumu

Dönemsel olarak incelediğimizde ise 1980-2024 yılları arasında meydana gelen kuraklık olaylarının frekanslarında oldukça ciddi artışlar görülmüştür. 1980-1990 dönemine kıyasla sonraki dönemlerde kurak ay sayısı genel olarak artış göstermiştir. 1980-1990 yılları arasında meydana gelen kuraklık olaylarının sayısı 140 iken bu sayı 1991-2000 aralığında 255, 2001-2010 aralığında 228 olarak görülmüştür. Havza genelinde ciddi kuraklıkların yaşanmaya başladığı yıl olan 2010'dan itibaren ise bu sayı 712'ye yükselmiştir. Bu ciddi artış havza genelinde kuraklık olaylarının meydana gelme sıklıklarının oldukça arttığını bize göstermektedir (Şekil 6).

Kuraklık olaylarının doğal ekosistemler üzerindeki etkilerinin yanısıra beşerî etkinlikler üzerinde de önemli olumsuz etkileri olmaktadır. Bunlardan en önemlileri tarım, hayvancılık, su kaynakları, kırsal ekonomi alanlarıdır. Bunlarla bağlantılı olarak artan kırılganlık sonucu göçler veya sosyal huzursuzlukların doğma potansiyel bulunmaktadır. Uzayan kuraklık dönemleri toprak nemini önemli ölçüde azaltarak bitki gelişimini olumsuz etkilemekte, sulama ihtiyacını artırmaktadır. Kuraklık meraların kurumasına yol açmakta, çayır ve mera verimliliğini düşürmektedir. Bu durum yem üretiminde azalmaya ve yem fiyatlarında artışa sebep olmaktadır. VGH kapalı bir havza olduğundan yağış azalması ve sıcaklık artışlarına bağlı olarak su kaynakları doğrudan etkilenmektedir. Son yıllarda azalan yağışların bir sonucu olarak Van Gölü başta olmak üzere bölgedeki baraj, göl, gölet ve akarsu seviyelerinde ciddi azalmalara neden olmuştur. Kuraklığın tarımsal üretim ve hayvancılık üzerindeki tahribatı kırsal bölgelerde geçim kaynaklarının azalmasına yol açarak kırsal alanlardan göçleri hızlandırmaktadır (Bilik, 2023; Tekin & Deniz, 2024).

Sonuç

Bu çalışma kapsamında özellikle son yıllarda etkisini ciddi bir şekilde hissettiğimiz kuraklık olaylarının Van Gölü Havzası'ndaki durumu ele alınmıştır. Van Gölü Havzası'nda yer alan 8 meteoroloji istasyonuna (Van Bölge, Gevaş, Özalp, Erciş, Muradiye, Başkale, Tatvan, Ahlat) ait meteorolojik veriler kullanılarak bu parametrelerdeki eğilimler belirlenmeye çalışılmış ve daha sonra SPEI metoduyla kuraklık analizi yapılmıştır. Havza da tüm istasyonlarda ortalama sıcaklıklarda Mann-Kendall testine göre anlamlı artışlar yaşanmıştır. Yağış değerlerinde ise dalgalanmalar olmakla birlikte Ahlat istasyonu dışında anlamlı azalış görülmemiştir.

SPEI 12 değerlerine göre ise havza genelinde genel olarak 1980-1995 arası nemli bir döneme karşılık gelirken 2010 sonrası neredeyse tüm istasyonlarda kuraklık olaylarının yaşanma sıklığında artışlar gözlemlenmiştir. Özellikle 2010 sonrası kuraklık frekansları ciddi şekilde artmıştır. Bu dönemde arka arkaya gelen kurak yıllar kuraklık sürelerinin birkaç yılı aşacak biçimde uzadığı bir tablo ortaya koymuştur. Yapılan istatistiki analizler, kurak sezonun Haziran ortasından Eylül sonuna kadar uzadığını tespit etmiştir. Verilerin alındığı ilk dönem olan 1980-1990 aralığına göre 2010'larda günümüze VGH'nda iklimin daha kurak bir nitelik kazandığını ortaya koymaktadır. Bu analizler Van Gölü Havzası'nda kuraklığın artık dönemsel değil yapısal bir sorun olarak karşımıza çıktığını göstermektedir. Kısa vadeli tarımsal şoklar, mevsimsel su eksikliği ve uzun vadeli iklimsel kuraklık olayları bir arada yaşamaktadır.

Artan kuraklık VGH'nda su yönetimini, tarımı ve ekosistemleri doğrudan etkilemektedir. Yüksek sıcaklık ve buharlaşma nedeniyle su kaynaklarında seviye azalmaları yaşanmıştır. Bu nedenle havzada sürdürülebilir su yönetimi stratejileri, kuraklığa dayanıklı su isteği az ürünlere dayalı tarım politikaları, kuraklığı önceden tahmin etmeye ve etkilerini azaltmaya yönelik bilimsel çalışmalar ve yıllık olarak kuraklığın takibi gibi uygulamalar hayati önem taşımaktadır. VGH'nda kuraklığın hem süresinde hem şiddetinde hem de dağılışında artış olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlarla paralel olarak baktığımızda Van Gölü'nün kıyı alanlarında çekilmelerin artık kilometrelerle iade edilmekte ve gölün hacminde önemli küçülmeler olduğu artık gözle görülebilmektedir. Sıcaklığın bu denli artışı Van Gölü'nde bu alansal kayıpların süreceğini bize göstermektedir. Bu gelişmeler havzada su kaynakları yönetimi açısından ciddi sorunlar doğuracaktır. Tarımsal sulama ve her türlü su kullanımı bu sorunun sonuçlarından etkilenecektir. Elde edilen bulgular ışığında VGH'nda kuraklıkla mücadele ve iklim değişikliğine uyum stratejileri acilen uygulanmalıdır. Su yönetimi politikaları yeniden gözden geçirilerek sulama suyu verimliliğinin arttıran teknolojiler yaygınlaştırılmalıdır. Tarımsal alanda kuraklığa dayanıklı ürün çeşitleri teşvik edilmelidir. VGH'ndaki sulak alanların korunması için gölü besleyen akarsular üzerindeki yapay müdahaleler sınırlandırılmalıdır. Aynı zamanda güçlü bir hidrometeorolojik izleme ağı kurulmalı, kuraklık erken uyarı sistemleri hayata geçirilmeli ve güncel kuraklık çalışmalarıyla karar destek mekanizmaları desteklenmelidir. Sonuç olarak bütüncül bir su kaynakları yönetimi ve ekosistem koruma yaklaşımı, VGH'nin sürdürülebilirliği ve iklim değişikliğine uyum kapasitesini güçlendirecektir.

Kaynakça | References

- Akbaş, A. (2014). Türkiye Üzerindeki Önemli Kurak Yıllar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12(2), 101-118.
- Aktürk, G., Zeybekoğlu, U., & Yildiz, O. (2022). Drought Investigation Using SPI and SPEI Methods: A Case Study in Kırıkkale. *Uluslararası Mühendislik Arastırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(2), 762-776. <https://doi.org/10.29137/umagd.1100886>
- Aydın, F. A., & Doğu, A. F. (2018). Göllerde Seviye Değişimleri ve Nedenleri Van Gölü Örneği. *Van YYÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*.
- Aydın, M. (2023). Van ilinin kuraklığının SPI ve SPEI yöntemlerine göre değerlendirilmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*. <https://doi.org/10.24012/dumf.1381660>
- Beguiría, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., & Latorre, B. (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: Parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3001-3023. <https://doi.org/10.1002/joc.3887>
- Bilik, M. B. (2023). Kuraklık Nedeniyle Bozulan Sosyal İlişkiler ve Göç: Van Edremit Dilkaya Köyü Örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, 6(3), 1097-1114. <https://doi.org/10.35341/afet.1278058>
- Byun, H.-R., & Wilhite, D. A. (1999). Objective Quantification of Drought Severity and Duration. *Journal of Climate*, 12(9), 2747-2756. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012%253C2747:OQODSA%253E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012%253C2747:OQODSA%253E2.0.CO;2)
- Çelik, M. A., Kopar, İ., & Bayram, H. (2018). Doğu Anadolu Bölgesinin Mevsimlik Kuraklık Analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(3), 1741-1761.
- Deniz Öztürk, Y., & Ünlü, R. (2022). Türkiye’de Yapılan Kuraklık Analiz Çalışmaları Üzerine Bir Derleme. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(2), 669-680. <https://doi.org/10.35341/afet.1124880>
- Erlat, E., & Güler, H. (2023). Türkiye’de Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisine (Spei) Göre Kuraklıkların Zamansal Değişimi (1951-2022). *Ege Coğrafya Dergisi*. <https://doi.org/10.51800/ecd.1332424>
- Garba, H., & Udokpoh, U. U. (2023). Analysis of Trend in Meteorological and Hydrological Time-series using Mann-Kendall and Sen’s Slope Estimator Statistical Test in Akwa Ibom State, Nigeria. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 1017-1035. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102748>
- George H. Hargreaves & Zohrab A. Samani. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99. <https://doi.org/10.13031/2013.26773>
- Gumus, V. (2023). Evaluating the effect of the SPI and SPEI methods on drought monitoring over Turkey. *Journal of Hydrology*, 626, 130386. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130386>
- Hargreaves, G. H. (1994). Defining and Using Reference Evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(6), 1132-1139. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1994\)120:6\(1132\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1994)120:6(1132))
- Hargreaves, G. H., & Allen, R. G. (2003). History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(1), 53-63. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2003\)129:1\(53\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:1(53))
- Hirsch, R. M., Alexander, R. B., & Smith, R. A. (1991). Selection of methods for the detection and estimation of trends in water quality. *Water Resources Research*, 27(5), 803-813. <https://doi.org/10.1029/91WR00259>
- İlgar, R. (2013). Çanakkale’de kuraklık durumu ve eğilimlerinin standartlaştırılmış yağış indisi ile belirlenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (22), 183-204.
- İrcan, M. R., & Duman, N. (2022). Van Gölü Havzası’ndaki maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (80), 39-52. <https://doi.org/10.17211/tcd.1079628>
- Kale, M. M., & Duman, N. (2024). Bendimahi Çayı (Van Gölü Kapalı Havzası) Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 34(2), 499-516. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.1458082>
- Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods*. Oxford.
- Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P. M., Zerefos, C. S., Türkeş, M., & Luterbacher, J. (2010). Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters*, 37(4), 2009GL041841. <https://doi.org/10.1029/2009GL041841>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Öz, F. Y., Özelkan, E., & Tatlı, H. (2024). Comparative analysis of SPI, SPEI, and RDI indices for assessing spatio-temporal variation of drought in Türkiye. *Earth Science Informatics*, 17(5), 4473-4505. <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01401-8>
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological Drought*. U.S. Department of Commerce.
- Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20(9), 2011-2026. <https://doi.org/10.1002/hyp.5993>
- Salmi, T. (2002). *Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen’s slope estimates: The Excel template application MAKESENS*. Finnish Meteorological Institute.

- Sayın, H. (2026). *Kuraklığın Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü Değişikliklerine Etkilerinin Van Gölü Havzası Örneğinde İncelenmesi*, [Doktora Tezi Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- 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/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Serkendiz, H., Tatlı, H., Kılıç, A., Çetin, M., & Sungur, A. (2024). Analysis of drought intensity, frequency and trends using the spei in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(4), 2997-3012. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04772-y>
- Tekin, M., & Deniz, O. (2024). İnsan Müdahalesi, İklim Değişikliği ve Toplumsal Sorunlar Sarmalında Yaşanan Çevre Felaketlerine Politik ve Ekolojik Bir Yaklaşım: Marmara Gölü (Manisa) Örneği. *Coğrafya Dergisi / Journal of Geography*, 0(49), 191-210. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2024-1534874>
- 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>
- Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17-22. <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>
- Türkeş, M. (2012). Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32. https://doi.org/10.1501/Csaum_00000000063
- Türkeş, M., Akgündüz, A. S., & DemiRörs, Z. (2009). Palmer Kuraklık İndisi'ne Göre İç Anadolu Bölgesi'nin Konya Bölümü'ndeki Kurak Dönemler ve Kuraklık Şiddeti. *Co*, 129-144. https://doi.org/10.1501/Cogbil_00000000102
- 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(15), 2270-2282. <https://doi.org/10.1002/joc.1862>
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2(4), 359-392. <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
- 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., & 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. <https://doi.org/10.5194/hess-9-523-2005>
- WHO. (2025). *Drought Overview*. WHO. https://www.who.int/health-topics/drought#tab=tab_1
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *WATER INTERNATIONAL*.
- Wilhite, D. A., & Pulwarty, R. S. (2017). Drought as Hazard: Understanding the Natural and Social Context. İçinde D. A. Wilhite & R. S. Pulwarty, *Drought and Water Crises* (2. bs, ss. 3-20). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22009-2>
- Yetmen, H. (2013). Van Gölü Havzası'nın Kuraklık Analizi. *21. yüzyılda eğitim ve toplum*, 3(5), 184-198.
- Yıldız, M. Z., & Deniz, O. (2005). *Kapalı Havza Göllerinde Seviye Değişimlerinin Kıyı Yerleşmelerine Etkisi Van Gölü Örneği*. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.
- Yihdego, Y., Vaheddoost, B., & Al-Weshah, R. A. (2019). Drought indices and indicators revisited. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3), 69. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4237-z>