



Van ilinin kuraklığının SPI ve SPEI yöntemlerine göre değerlendirilmesi

Assessment of drought in Van province according to SPI and SPEI methods

Mahsum Aydın^{1*}

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, maydin@yyu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9739-4066>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 26 Ekim 2023
Revizyon 18 Kasım 2023
Kabul 24 Aralık 2023
Online 29 Mart 2024

Anahtar Kelimeler:

Kuraklık, SPI (Standart Yağış İndeksi), SPEI (Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi), Van ili

ÖZ

Özellikle son yıllarda iklim değişikliğinin ve insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak kuraklık olayının etkisi her geçen gün artmaktadır. Bunun sonucu olarak su kaynakları, tarım ve canlılar olumsuz olarak etkilenmektedir. Bu çalışmada, Van ilinin kuraklık olayından nasıl etkilendiğini tespit edebilmek amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan Standart Yağış İndeksi (SPI) ve Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) yöntemleri kullanılarak 1,3,6,9 ve 12 aylık zaman periyotlarında kuraklık analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde SPI yöntemine göre aşırı kurak dönemlerin en çok görüldüğü bölge Erciş ilçesi olarak belirlenirken, aşırı nemli dönemlerin en çok görüldüğü bölge ise Özalp ilçesi olarak belirlenmiştir. SPEI yöntemine göre ise aşırı kurak dönemin en çok görüldüğü bölge Özalp ilçesi olurken, aşırı nemli dönemlerin en çok görüldüğü ilçeler ise özellikle uzun zaman periyotlarında Erciş ve Başkale ilçeleri olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak her iki yöntem genel olarak birbirine yakın sonuçlar verse de özellikle ekstrem kuraklık ve nemlilik olaylarının hesabında SPI yöntemine göre daha büyük değerlerin hesaplandığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kuraklık değerlendirmesi için SPI yöntemine göre hesaplanan ekstrem olayların fazla olması nedeni ile dikkatli kullanılması, SPI yöntemi yerine sıcaklığın da etkisinin göz önüne alındığı SPEI yönteminin tercih edilebileceği değerlendirilmektedir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 October 2023
Received in revised form 18 November 2023
Accepted 24 December 2023
Available online 29 March 2024

Keywords:

Drought, SPI (Standard Precipitation Index) SPEI (Standard Precipitation Evapotranspiration Index), Van Province

Doi: 10.24012/dumf.1381660

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

The effects of drought have been increasing day by day, especially in recent years, as a result of climate change and human activities. Thus, water resources, agriculture and living organisms are negatively affected. In this study, in order to determine how Van province is affected by drought, drought analysis was carried out in 1,3,6,9 and 12-month time periods by using Standard Precipitation Index (SPI) and Standard Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) methods which are widely used in the literature. When the results obtained were analyzed, according to the SPI method, Erciş district was determined as the region with the most extreme drought periods, while Özalp district was determined as the region with the most extreme wet periods. According to the SPEI method, the region with the most extreme drought periods was determined as Özalp district, while the districts with the most extreme wet periods were determined as Erciş and Başkale districts, especially in long time periods. As a result, although both methods generally give similar results, it was observed that larger values were calculated according to the SPI method, especially in the calculation of extreme drought and wet events. Based on the results obtained, it is evaluated that the extreme events calculated according to the SPI method for drought assessment should be used with caution due to the high number of extreme events calculated according to the SPI method, and the SPEI method, which also takes into account the effect of temperature, can be preferred instead of the SPI method.

Giriş

Kuraklık, yağış eksikliğinden kaynaklanan su mevcudiyetindeki azalma olarak tanımlanmakta ve dünyanın en maliyetli doğal felaketlerinden biri olarak ifade edilmektedir [1-4]. Kuraklık olayının görülme sıklığı ve şiddeti özellikle iklim değişikliğinin etkisi ile son yıllarda artış göstermektedir [5]. Kuraklığın artan etkisinin özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde etkisini daha fazla ve uzun süreli olarak hissettireceği tahmin edilmektedir [4,6]. Kuraklığın etkisinin arttığı bölgelerde ekin veriminde azalmalar, orman yangını risklerinde artış ve arazilerin çölleşmesi gibi ciddi sorunlar ortaya çıkabilmektedir [7]. Kuraklık olayının incelenmesi ve değerlendirilmesi su kaynaklarının planlanması ve yönetilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir [8]. Bu nedenle su kaynaklarının korunması ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için kuraklığın büyüklüğü, sıklığı gibi özelliklerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Ancak kuraklık karmaşık bir yapıya sahiptir, zamana ve mekâna göre değişiklik gösteren bir olay olması nedeni ile tahmin edilmesi zordur [9].

Literatürde yapılan çalışmalarda kuraklık genellikle meteorolojik, hidrolojik, tarımsal kuraklık olarak sınıflandırılmaktadır. Meteorolojik kuraklıkta yağış en önemli parametre olarak ifade edilmekte ve yağışın normal değerlerin altına düşmesi sonrasında ise kuraklık olayının yaşanacağı ifade edilmektedir [10]. Bu nedenle literatürde meteorolojik kuraklığın tahmin edilmesi için birçok kuraklık indeksi yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanı ise Standart Yağış İndeksi (SPI) yöntemidir [11]. Bu yöntemde girdi olarak sadece yağış verisi kullanılmakta ve hesaplanan değerler yardımı ile kuraklığın büyüklüğü ve sıklığı tahmin edilebilmektedir. Ancak kuraklık olayı üzerinde özellikle sıcaklığın etkisinin de büyük olduğu bilinmektedir. SPI yönteminde sadece yağışa bağlı olarak değerlendirme yapılmaktadır ancak sıcaklığın yüksek olduğu kurak bölgelerde evapotranspirasyonun başlıca su kaybı şekli olduğu düşünülecek olur ise Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) yöntemi gibi sıcaklık değerlerinin de göz önünde bulundurulduğu bir kuraklık indeksi yönteminin kullanılması kuraklık tahminlerinin daha hassas yapılabilmesine yardımcı olacaktır [12,13].

SPEI ve SPI indeksleri kullanılarak Türkiye’de ve dünyada kuraklığın belirlenmesi, kuraklık frekansı ve süresi gibi özelliklerin belirlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan bazılarında aşağıda bahsedilmiştir.

Hernandez ve Uddameri [14] tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, Güney Teksas’ın beş iklim bölgesini temsil eden altı büyük şehir merkezi için iki emisyon senaryosuna (A1B, B1) göre SPI ve SPEI indeksleri iki genel sirkülasyon modelinden (PCM, HCM) elde edilen yağış ve sıcaklık projeksiyonları ile birlikte kullanılmıştır. Her iki sirkülasyon modelinden elde edilen veriler kullanılarak kuraklık indeksi yöntemleri ile yapılan hesaplamalarda 21. Yüzyıl boyunca bölgede giderek artan bir kuraklık öngörmüştür. SPI indeksi 21. yüz yılın ilk yarısında mevcut nemli dönem sayısında daha fazla değişkenlik gösterirken, SPEI indeksinin artan sıcaklığın neden olduğu bir azalış eğilimini gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak 21. yüz yılın ikinci yarısındaki kuraklıkların nedeninin ise hem artan sıcaklıklar hem de azalan yağışlar olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık etkilerinin

ise A1B senaryosunda B1 senaryosundan daha belirgin olduğu ve etkilerin genellikle iç bölgelerde kıyı bölgelerine göre daha güçlü hissedildiği belirlenmiştir.

Bacanlı vd. [15] 2017 yılında yaptıkları çalışmada, Kuzey Ege bölgesi kuraklık analizi için bölgede seçilen 29 adet meteoroloji gözlem istasyonuna ait yağış verilerini kullanmışlardır. SPI yöntemi ve Paylaştırılmış Entropi (PE) kuraklık indeksi yöntemleri kullanılarak kuraklık analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre PE yönteminin kuraklık tespitinde SPI yöntemi gibi kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Tirivarombo vd. [13] 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada, sosyoekonomik geçim kaynaklarının çoğunun suya bağlı olduğu kuzey Zambiya’da bulunan Kafue Havzası için SPI ve SPEI indekslerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. SPEI indeksi ile yapılan hesaplamalarda SPI indeksine kıyasla şiddetli ve orta dereceli sınıflandırmalarda daha uzun süreli ve artan yoğunlukta kuraklık tespit edilmiştir. Öte yandan, SPI indeksi ile SPEI indeksine kıyasla aşırı kuraklık sınıflarında daha fazla kuraklık hesaplanmış, ancak şiddetli ve orta dereceli kuraklık sınıflandırmalarında ise daha kısa süreli ve daha az sayıda kuraklık tespit edilmiştir. Sonuç olarak sıcaklık değerlerinin kuraklığın karakterize edilmesinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür. SPI indeksinin girdi olarak sadece yağış verilerine ihtiyaç duyması nedeni ile özellikle sıcaklık verilerinin eksik olduğu durumlarda kullanılmasının uygun olduğu değerlendirilmiş ve SPI indeksinin kuraklığın belirlenmesinde daha dikkatli kullanılması gerektiği ifade edilmiştir.

Abbasi vd. [16] 2019 yılında yaptıkları çalışmada Urmiye sinoptik istasyonu için kısa, orta ve uzun vadeli zaman ölçeklerinde kuraklığın izlenmesi ve tahmini amacıyla SPI, SPEI ve gen ekspresyonu programlama modellerini kullanmışlardır. Bu amaçla 1951-2009 yılları arasındaki aylık yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak 1, 3, 6, 12, 24 ve 48 aylık zaman periyotları için SPEI hesaplanmış ve elde edilen değerler SPI yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, SPEI ve SPI’nın 3, 12 ve 48 aylık zaman periyotlarında korelasyon katsayısının sırasıyla 0.84, 0.845 ve 0.776 olarak belirlendiğini göstermiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde ise istatistiksel dönem boyunca 1959-1967 ve 1998-2009 tarihleri arasında kuraklığın görüldüğü iki uzun zaman dilimi belirlenmiştir. SPEI zaman serilerine dayalı kuraklık hesaplamalarının ardından, 1 ila 5 aylık gecikmelerle gen ekspresyonu programlama modelleri kullanılarak kuraklık tahmin edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, SPEI zaman periyodu büyütüldüğünde tahmin doğruluğu artırılmıştır, bu sayede bir aylık zaman periyodu için (SPEI1) test aşamasındaki elde edilen korelasyon katsayısı 0.215 iken 48 aylık zaman periyodunda (SPEI48) 0.984’e yükselmiştir ve modelin genel doğruluğu SPEI1’de %60.1 iken SPEI48’de %92.3’e yükselmiştir.

Bacanlı ve Akşan [17] tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada Türkiye’nin Akdeniz Bölgesi’nde bulunan 8 meteoroloji gözlem istasyonuna ait 1970-2018 yılları arası sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak her bir istasyon için 1,3,6,9 ve 12 aylık SPEI değerlerinin frekans analizleri hesaplanmıştır. Bu sayede kurak ve sulak dönemlerin dağılımlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Akdeniz

Bölgesi'nde seçilen istasyonlar için hesaplanan SPEI değerleri incelendiğinde tüm istasyonlarda hafif kuraklık sınıfı ile normale yakın kuraklık sınıfı arasında olduğu tespit edilmiştir.

Mehr ve Vaheddoost [18] 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada Türkiye'nin Ankara İli üzerindeki meteorolojik kuraklık olaylarının temel özelliklerini (süresi, şiddeti ve eğilimi) araştırmışlardır. Çalışma alanı içerisinde yer alan altı meteoroloji istasyonuna ait 46 yıllık gözlemlenen yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak 3,6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve SPEI indeksleri kullanılarak kuraklık tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen kuraklık değerlerinin eğilimlerinin belirlenmesi amacıyla Spearman sıralama korelasyon yöntemi ve Şen'in Yenilikçi Eğilim Analizi yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde SPI ve SPEI yöntemleri arasında özellikle 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde zamansal tutarsızlık olmasına rağmen, Ankara için 1971-2016 dönemleri arasında beş aşırı kuraklık olayı meydana geldiği tespit edilmiştir. Kuraklık trend sonuçları incelendiğinde ise SPEI indeksi için kuraklık olaylarında hafif bir düşüş trendi olduğu ancak SPI indeksinin aynı eğilimi göstermediği değerlendirilmiştir.

Bakanoğulları [19] tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada İstanbul Büyükçekmece içme suyu havzasında yer alan Damlıca deresi havzasına ait 1982-2006 yılları arası 25 yıllık veri seti kullanılarak kuraklığın şiddetinin ve sıklığının SPEI indeksi kullanılarak belirlenmesi ve elde edilen sonuçların ise SPI değerleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Hesaplanan yıllık SPEI ve SPI indeksi değerleri arasında determinasyon katsayısı $R^2=0.977$ olarak hesaplanmış ve istatistiki olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Bunun yanında ise aylık, mevsimlik ve 6 aylık kuraklık değerlerinde farklılıklar tespit edilmiştir. SPEI indeksi ile havzada 4 yıl orta kurak, 7 yıl hafif kurak dönem belirlenirken, SPI indeksine göre 2 yıl şiddetli kurak, 3 yıl orta kurak ve 2 yıl hafif kurak dönem tespit edilmiştir. Özellikle tarımsal üretim için SPEI indeksi ile daha hassas değerlendirmeler yapılabileceği değerlendirilmiştir.

Liu vd. [20] 2021 yılında yaptıkları çalışmada SPI ve SPEI değerlerini, 1961'den 2019'a kadar Sichuan Eyaletindeki 44 meteoroloji istasyonunun verilerine dayanarak hesaplamışlardır ve farklı zaman ve mekan ölçeklerinde kuraklık karakteristik trendlerini belirlemek için Mann-Kendall eğilim testi ve çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemlerini kullanmışlardır. Sonuç olarak SPEI kuraklık değerlerinin trendinin düz ve engebeli bölgelerde tüm zaman ölçeklerinde plato ve dağlık bölgelerdekenden daha yüksek olduğu, batıya göre daha uzun olduğu ve bu nedenle kuraklık eğilimlerinin kuzeybatıdan doğuya doğru geçiş yaptığını ifade etmişlerdir. Batı bölgesindeki kuraklık yoğunluğunun ise kademeli olarak arttığını ve kuraklık olaylarının çoğunlukla güneybatı platosunda ve merkezi dağlık bölgelerde meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Bu durumda kuraklığın meteorolojik olarak sıcak noktalar esas alınarak Sichuan havzasında yoğunlaştığı anlamına geldiği ifade edilmiştir. Çok değişkenli doğrusal regresyon yönteminin belirttiği yüksekliğin (H), Sichuan Eyaletindeki yağışın mekansal düzensizliğine neden olan ana etki faktörü olmadığı, ancak yüksekliğin (H), sıcaklığın (T), boylamın

(Lo) ve enlemin (La) yağışı birlikte belirleyebileceği ifade edilmiştir.

Aktürk vd. [21] 2022 yılında yaptıkları çalışmada Kırıkkale ili kuraklığı ve kuraklık özelliklerini değerlendirmek için SPI ve SPEI indekslerini kullanarak kuraklık analizi yapmışlardır. Bu amaçla seçilen istasyona ait 1963-2018 yılları arası bölgeye ait meteorolojik veriler kullanılmış ve 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık farklı zaman periyotları için SPI ve SPEI değerlerini hesaplamışlardır. SPEI indeksi için gerekli olan Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) değerleri Thornthwaite (T) ve Hargreaves (H) yöntemleri ile hesaplanmış ve her istasyon için iki farklı SPEI zaman serisi elde edilmiştir. 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık farklı zaman periyotları için SPI, SPEI(T) ve SPEI(H) sonuçları arasında korelasyon katsayıları belirlenmiştir, farklı zaman periyotlarındaki kuraklık indeksi değerleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde ve her indeks kendi içinde değerlendirildiğinde zaman periyodu büyüdükçe korelasyon değerinde azalma olduğu görülmüştür. Karşılaştırmalar sonucunda aynı zaman periyotları için en büyük korelasyon SPEI(T) ve SPEI(H) yöntemleri arasında 12 aylık zaman periyodu için elde edilmiştir. Ayrıca, en düşük korelasyon değeri SPI ve SPEI(H) yöntemleri arasında 1 aylık zaman periyodu için elde edilmiştir. SPEI(H) yöntemi ve SPEI(T) yöntemi arasında belirlenen korelasyon değerleri incelendiğinde, iki yöntem arasında ilişkinin daha fazla olduğu ve zaman periyodu büyüdükçe korelasyon değerlerinin arttığı görülmüştür. SPI, SPEI(T) ve SPEI(H) yöntemleri ile kıyaslandığında SPI yönteminin diğer iki yöntem ile kuvvetli ilişkisi olduğu değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı olarak seçilen Van ili ve sınırları içerisinde yer aldığı Van Gölü havzasının kuraklığının belirlenmesi için daha önce yapılan çalışmalardan bazıları ise aşağıdaki gibidir.

Yetmen [22] 2013 yılında yaptığı çalışmasında Van Gölü Havzası sınırları içerisinde yer alan Van istasyonu ve Tatvan istasyonu için 1975-2008 yılları arası kuraklık analizini SPI yöntemine göre yapmıştır. Çalışmada elde edilen 1, 3 ve 12 aylık kuraklık değerleri incelendiğinde Van Gölü havzası için kuraklık olasılığının %45 olduğu değerlendirilmiştir. Havzadaki en uzun ve şiddetli kuraklığın 1996 ile 2002 yılları arasında gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu şiddetli kurak dönem içerisinde Tatvan istasyonu ve Van istasyonu için 2000-2001 yılları arasında sırasıyla 11 ay ve 12 ay süreli kuraklık görülmüştür. Ayrıca elde edilen SPI değerleri ile Kuzey Atlantik Salınımı (KAS) arasında Ocak, Şubat ve Mart ayları için orta düzeyde negatif korelasyon belirlenmiştir.

Çelik vd. [23] 2018 yılında yaptıkları çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'nin 1967-2017 yılları arası mevsimsel kuraklığını incelemişlerdir. Mevsimlik kuraklığın değerlendirilmesi amacıyla SPI yöntemi kullanılmıştır. Bölgede toplam 14 ilin kuraklık değerlendirilmesi yapılmıştır. İklim sınıflandırması için ise Thornthwaite, Erinc, De Martonne ve Aydeniz indisleri kullanılmıştır. Çalışmada Malatya, Elazığ, Tunceli, Van ve Kars illeri için artan bir kuraklık eğilimi olduğu değerlendirilmiştir. Bingöl, Bitlis, Hakkari ve Iğdır illeri için ise nemli dönemlerde artan bir eğilim tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan iklim sınıflandırmalarına göre bazı kurak özellikteki istasyonlarda ilerleyen dönemlerde nemli, bazılarında ise tamamen kurak iklim koşullarının oluşacağı değerlendirilmiştir.

Öz [24] tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada Van Gölü havzası sınırları içerisinde yer alan 14 meteoroloji gözlem istasyonuna ait 1968-2018 yılları arası meteorolojik verileri kullanılarak kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kuraklığın belirlenmesi amacıyla Standart Yağış İndeksi (SPI), Yağış Anomali indeksi (NYİ), Normal Yağışın Yüzdesi (NYY) ve Erinç İndeksi (EI) kullanılmıştır. Kuraklık sonuçları incelendiğinde 1984, 2000 ve 2013 yılları için havza genelinde kuraklık tespit edilmiştir. Kullanılan kuraklık indeksi yöntemlerinin sonuçlarının ise birbirine benzer olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar ışığında havzanın %28'lik kısmı hafif yağışlı, %45'lik kısmı hafif kurak ve %19'luk kısmı ise orta derecede kurak olarak tespit edilmiştir. İncelenen dönemler arasında en şiddetli kuraklık ise Doğubayazıt istasyonunda 2013 yılının Ağustos ayında gerçekleşmiştir. Sonuç olarak Van Gölü Havzası için hafif ve orta kurak değerlendirilmesi yapılmıştır.

Erdem vd. [25] 2021 yılında yaptıkları çalışmada Van Gölü Havzasının 1989-2019 yılları arası kuraklığının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama tekniği kullanılarak analiz edilmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla arazi yüzey sıcaklıkları (LST) ve arazi kullanımı haritaları (LULC) Landsat-5 ve Landsat-8 uydu görüntülerinden elde edilmiştir. Kuraklık sadece CBS ve uzaktan algılama kullanılarak değil ayrıca SPI yöntemi kullanılarak da tespit edilmiştir. LST değerlerinin 1989, 1999 ve 2010 yıllarına kıyasla 2015 ve 2019 yıllarında artış gösterdiği belirlenmiştir, LULC'de ise önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür. SPI ile yapılan hesaplamalar ışığında 1991 ile 1994 yılları arasında orta, şiddetli ve aşırı yağışlı kategoride olduğu değerlendirilmiştir. Uydu ile elde edilen veriler ile SPI değerleri arasında ise yüksek düzeyde uyum olduğu tespit edilmiştir.

Özer ve Yalçın Coşkun [26] tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada Van Gölü Havzası meteorolojik kuraklığının belirlenmesi amacıyla SPI yöntemi kullanılmıştır ve ArcGIS programı yardımıyla Ters Mesafe Ağırlıklı enterpolasyon (IDW) yöntemi ile kuraklık haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen haritalar yardımıyla 2010-2019 yılları arasında değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde Havza'da 2012, 2013, 2016 ve 2019 yıllarında ciddi kuraklık görüldüğü belirlenmiştir. Havza kuraklığının sadece iklim değişikliği nedeni ile değil aynı zamanda yanlış sulama tekniklerinden, teknolojik sistem eksikliğinden ve halkın bilinçlendirilmemesinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Uygun stratejiler geliştirilmesi durumunda havza için kuraklık riskinin azaltılabileceği değerlendirilmektedir.

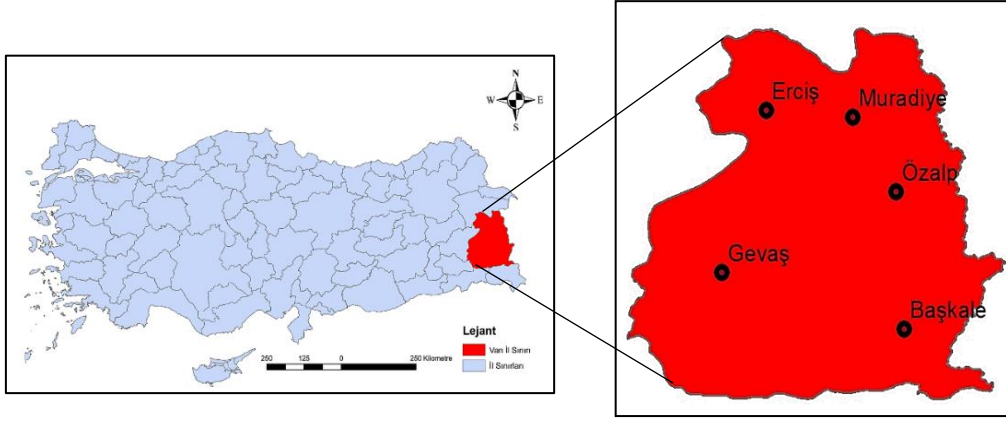
Seçilen çalışma alanının kuraklığının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle SPI yönteminin

kullanıldığı görülmektedir. Ancak yukarıda bahsedilen çalışmalardan da anlaşılacağı üzere sadece yağış verilerinin girdi olarak kullanılması nedeni ile SPI yönteminin kuraklığın tanımlanmasında daha dikkatli kullanılması gerekmektedir. Ayrıca SPI değerleri hesaplanırken normal dağılım yerine gamma dağılımının kullanılması ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği belirtilmektedir. Bu nedenle çalışmada kuraklığın daha hassas bir şekilde belirlenebilmesi amacıyla SPI değerlerinin hesaplanmasında gama dağılımı kullanılmıştır. Ayrıca kuraklığın belirlenmesi için yağış verilerinin yanında sıcaklık değerlerini de göz önünde bulundurarak hesaplama yapan SPEI indeksi literatürde yaygın olarak kullanıldığından, çalışma alanının kuraklığının belirlenmesi için SPEI yöntemi de kullanılmıştır. Ancak SPI ve SPEI yöntemleri ile elde edilen sonuçlar analiz yapılan bölge için farklı kuraklık yorumlamalarına neden olabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda kuraklığın olumsuz etkilerinin oldukça fazla hissedildiği yarı kurak iklim bölgesinde yer alan Van ilinin kuraklık analizinin SPI ve SPEI yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada Van ili sınırları içerisinde yer alan 5 adet meteoroloji gözlem istasyonuna ait 1982-2018 yılları arası yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak SPI ve SPEI indeksleri yardımı ile 1, 3, 6, 9, 12 aylık zaman periyotları için kuraklık analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelenerek SPI ve SPEI yöntemlerinin sonuçlarının Van ili için bir birleri ile uyum içinde olup olmadığının ve hangi bölgelerde farklı sonuçların elde edildiğinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca literatürde daha önce Van ili için SPI ve SPEI kuraklık indeksi yöntemlerinin karşılaştırmalı bir analizi yapılmadığı için literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı ve Yeri

Doğu Anadolu Yukarı Murat-Van bölgesinde Van Gölü kapalı havzası içerisinde yer alan Van ili 20921 km²'lik yüz ölçümüne sahiptir. Van ili 38° 30' kuzey ve 43° 22' doğu enlemleri arasında yer almaktadır. İlde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 9.5°C ve yıllık toplam yağış 392.7 mm'dir [27]. Şekil 1'de Van ili ve seçilen istasyonların coğrafi konumlarına ait bilgiler verilmiştir. Van ili sınırları içerisinde seçilen istasyonların aylık ortalama sıcaklık ve yağış verilerine ait ortalama, standart sapma ve çarpıklık gibi istatistiksel bilgiler ise Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanı ve seçilen meteoroloji gözlem istasyonlarının coğrafi konumu

Tablo 1. Seçilen istasyonlara ait istatistiksel bilgiler

İstasyon Adı	Yağış verilerine ait istatistiksel bilgiler			Sıcaklık verilerine ait istatistiksel bilgiler		
	Ortalama	St. Sapma	Çarpıklık	Ortalama	St. Sapma	Çarpıklık
Başkale	36.23	32.43	1.809	6.38	9.42	-0.005
Erciş	34.32	28.28	1.017	8.02	9.69	-0.075
Gevaş	41.93	33.89	0.936	9.03	8.83	-0.031
Muradiye	46.76	37.06	1.504	8.96	9.85	-0.028
Özalp	41.94	36.99	1.656	6.13	10.64	-0.160

Standart Yağış İndeksi

Mckee vd. tarafından [28] 1993 yılında geliştirilen SPI yöntemiyle kuraklığın zamansal ve mekânsal olarak değişkenliğinin incelenmesi amaçlanmıştır [28,29]. Standart Yağış İndeksi (SPI), ilgilenilen herhangi bir zaman ölçeğindeki yağış zaman serilerini bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna (PDF) uyarlar ve ardından ters normal dağılım fonksiyonu kullanarak elde edilen olasılıkları standart normal dağılıma dönüştürür. [30]. SPI indeksi meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bunun nedeni SPI indeksinin diğer yöntemlere kıyasla daha kolay ve herhangi bir bölgeye uygulanabilir olmasıdır [31]. Guttman tarafından [32] 1999 yılında yapılan çalışmada SPI yönteminde gözlemlenen bir yağış serisini tanımlamak için normal dağılımdan farklı bir olasılık dağılımı kullanılırsa, elde edilen değerlerin de farklı olacağı ifade edilmektedir. Angelidis vd. [31] tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, gamma olasılık dağılım fonksiyonunun log-normal ve normal dağılımlara kıyasla farklı zaman periyotlarında SPI yöntemi ile hesaplanan kuraklık değerleri için daha iyi sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada SPI'nin hesaplanmasında yağış verisine bir gamma Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (PDF) uydurularak farklı zaman periyotları için SPI değerleri hesaplanmıştır. Gamma olasılık dağılım fonksiyonu Denklem 1'de tanımlanmıştır:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

Burada α şekil parametresidir ve $\alpha > 0$ 'dır, β ölçek parametresidir ve $\beta > 0$ 'dır ve x ise yağış miktarıdır ve $x > 0$ 'dır. $\Gamma(\alpha)$ gamma fonksiyonudur ve Denklem 2'deki gibi tanımlanmaktadır:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

Thom'un [33] 1958 yılında geliştirmiş olduğu yaklaşım kullanılarak dağılımın verilere uydurulabilmesi için gerekli olan α ve β parametreleri Denklem 3'te belirtildiği şekilde tahmin edilebilir:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right), \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}, A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemde n değeri gözlem sayısını ifade etmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonunu x 'e göre entegre etmek ve α ve β parametrelerini eklemek suretiyle $G(x)$ kümülatif olasılık dağılımı Denklem 4'teki gibi elde edilir:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemde $t = x/\beta$ yazılacak olur ise Denklem 5'teki hale indirgenmiş olur

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (5)$$

Gamma dağılımı $x=0$ olan değerler için tanımlı olmadığından, veri setinde bulunabilecek olan $x=0$ değerlerinden dolayı oluşacak bu problemi giderebilmek amacıyla gamma dağılımı için kümülatif olasılık dağılım fonksiyonu Denklem 6'daki gibi modifiye edilebilir [34].

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemde q değeri sıfıra eşit olan yağış değerinin ($x=0$) olasılığını ifade etmektedir. Elde edilen

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{H(x_k)^2} \right)} \quad 0 < H(x_k) < 0.5 \text{ için} \quad (7)$$

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1 - H(x_k))^2} \right)} \quad 0.5 < H(x_k) < 1 \text{ için} \quad (8)$$

Tablo 2. SPI/SPEI değerlerine göre kuraklık sınıflandırması

SPI Değerleri	Kuraklık Sınıflandırması
2 veya daha fazlası	Aşırı Nemli
1.5-1.99	Çok Nemli
1-1.49	Orta Derece Nemli
0.99 - (-0.99)	Normale Yakın
(-1) - (-1.49)	Orta Derece Kurak
(-1.5) - (-1.99)	Çok Kurak
(-2) ve daha azı	Aşırı Kurak

Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)

SPEI indeksi Vicente-Serrano vd. tarafından [37] 2010 yılında geliştirilmiş bir kuraklık indeksi yöntemidir. Bu yöntemde kuraklığın belirlenebilmesi amacıyla Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) ve yağış verileri birlikte kullanılarak hesap yapılmaktadır [37,38]. Bu indeksin amacı su kaynaklarında meydana gelen kayıpların en önemlilerinden biri olan Evapotranspirasyon (ET) nedeni ile bölgede gerçekleşebilecek PET etkisinin dahil edilmesi için Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI) yönteminin buharlaşma miktarındaki artışa olan duyarlılığı ile SPI yönteminin çok zamanlı yapısını birleştirmektedir [37]. SPEI yöntemi girdi olarak aylık veya haftalık yağış ile PET arasındaki farkı kullanmaktadır. PET değerlerinin hesaplanmasında, genellikle veri gereksinimi olarak sadece aylık ortalama sıcaklık verisine ihtiyaç duyulan Thornthwaite yöntemi kullanılmaktadır [39]. Yağış ve PET arasındaki fark i ayı için Denklem 9 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (9)$$

Burada D_i , aylık yağış P_i ve aylık potansiyel evapotranspirasyon PET_i arasındaki farktır. Farklı zaman

kümülatif olasılık dağılım fonksiyonu $H(x)$ ortalaması sıfır ve varyansı 1 olan standart normal rastgele değişken Z 'ye dönüştürülür. Abramowitz ve Stegun [35] tarafından 1965 yılında verilen yaklaşık dönüşümler kullanılarak Z ve SPI değerleri Denklem 7 ve Denklem 8'deki gibi hesaplanır [36]. Yukarıdaki denklemlerde verilen katsayılar $c_0 = 2.515517$, $c_1 = 0.802853$, $c_2 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$ ve $d_3 = 0.001308$ 'dir. Hesaplanan SPI değerleri kullanılarak Tablo 2 yardımıyla kuraklık sınıflandırması yapılabilmektedir.

ölçekleri için su bütçesi denklemi, Denklem 10'daki gibi yazılabilir.

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1} - PET_{n-i}), \quad n \geq k \quad (10)$$

Burada k zaman ölçeğini (ay) ve n zaman serisinin uzunluğunu ifade etmektedir [40].

Vicente-Serrano vd. 2010 yılında yaptıkları çalışmada hesaplanan D serisi ile Log-logistic dağılımı arasında iyi bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Log-logistic dağılımı negatif değerleri hesaba katabildiği için hesaplamalar için uygun bir dağılımdır. Log-logistic dağılımına göre D serisinin olasılık dağılım fonksiyonu Denklem 11'deki şekilde ifade edilmektedir [37,41].

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (11)$$

Burada α, β ve γ sırasıyla ölçek, şekil ve orijin parametresidir. Log-logistic dağılımının parametrelerinin hesaplanması için en güçlü ve kolay yöntemin L-momentler yöntemi olduğu belirtilmektedir ve Denklem 12-14 yardımı ile hesaplanabilmektedir [38,42,43].

$$\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2} \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)} \quad (13)$$

$$\gamma = w_0 - \alpha\Gamma\left(\frac{1 + 1}{\beta}\right)\Gamma\left(\frac{1 - 1}{\beta}\right) \quad (14)$$

Burada $\Gamma(1 + 1/\beta)$ ifadesi $(1 + 1/\beta)$ değerinin gamma fonksiyonudur ve w_s ise s ($s=0,1,2,\dots$) mertebesinin olasılık ağırlıklı moment (PWMs) değeridir.

$$w_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{j - 0.35}{n}\right)^s D_i \quad (15)$$

Denklem 15'te n veri noktası sayısı ve j artan sırada gözlem aralığıdır. SPEI daha sonra aşağıdaki formüle göre $F(x)$ 'in standartlaştırılmış değerleri olarak hesaplanır.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (16)$$

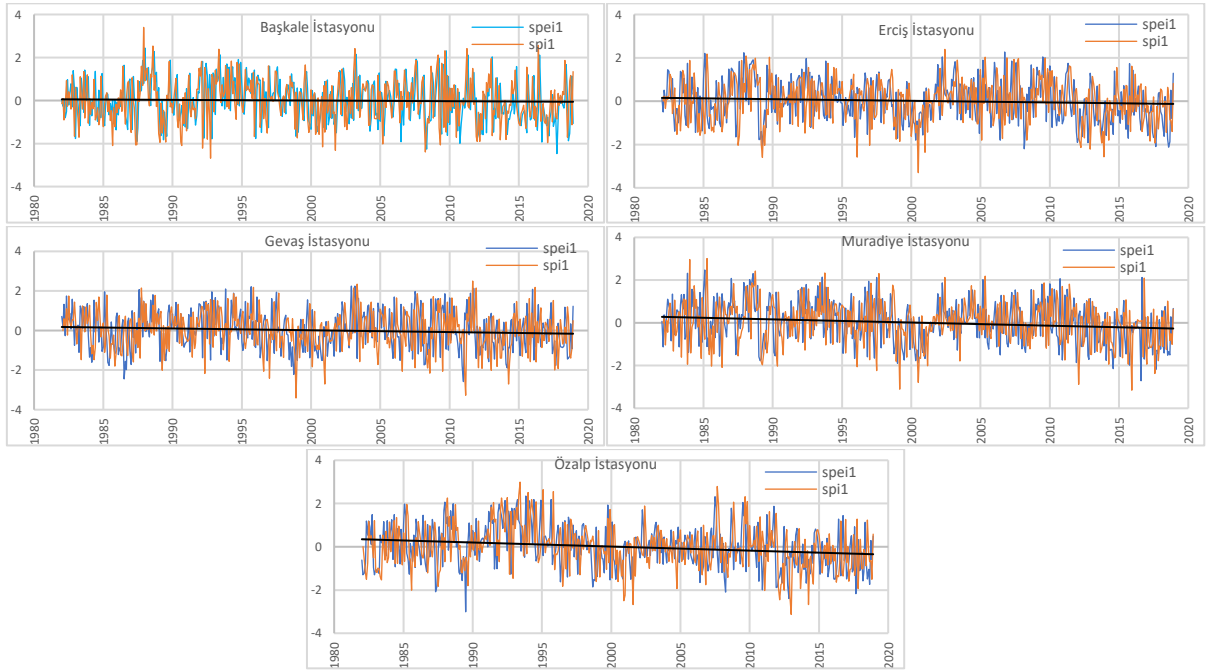
Yukarıdaki denklemdeki W değeri ise Denklem 17'de verilmiştir;

$$W = \sqrt{-2\ln(P)} \quad P \leq 0.5 \text{ için} \quad (17)$$

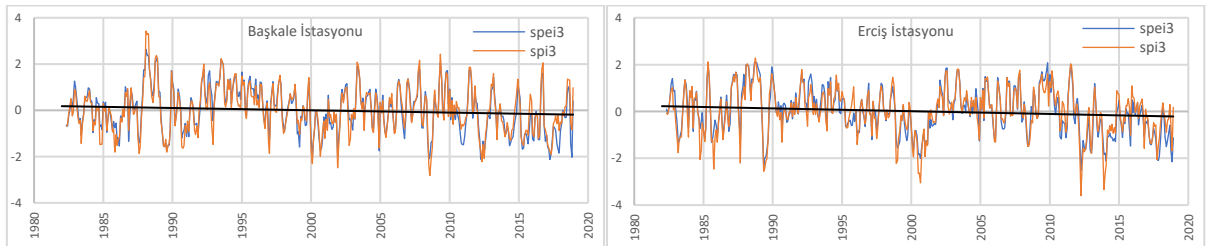
P değeri belirlenmiş bir D değerini aşma olasılığını ifade etmektedir, $P = 1 - F(x)$. Eğer $P > 0.5$ ise P değeri yerine $1 - P$ yazılır ve SPEI değerinin işareti tersine çevrilir. SPEI denkleminde kullanılan katsayılar ise $C_0 = 2.515517$, $C_1 = 0.802853$, $C_2 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$ olarak alınmaktadır [37]. Kuraklık sınıfının belirlenmesi için ise SPI bölümünde verilen Tablo 2'deki alt ve üst sınırlardan yararlanılmaktadır.

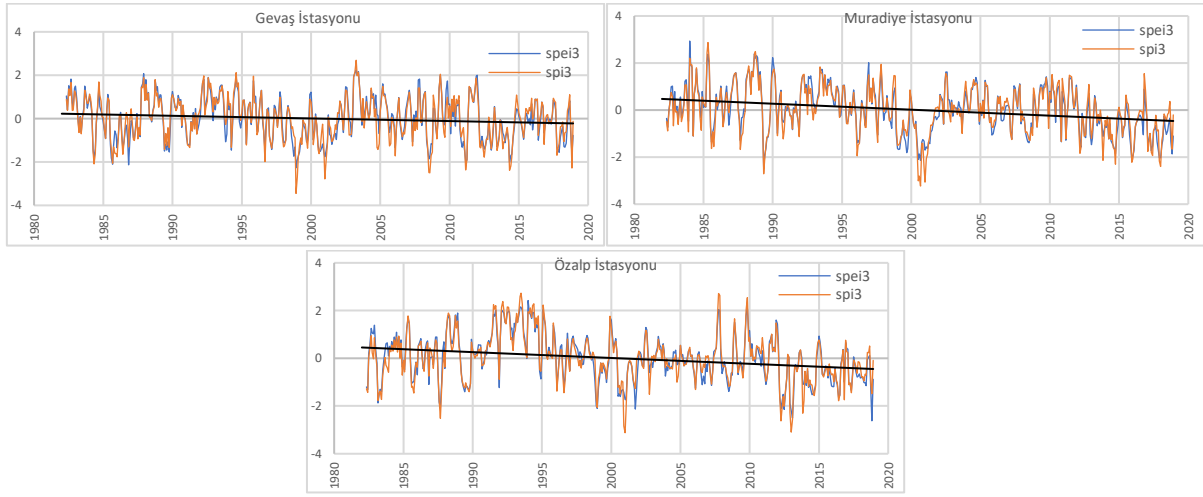
Bulgular

Van ili içerisinde yer alan 5 adet meteoroloji gözlem istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak SPI ve SPEI yöntemleri yardımıyla 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotları için kuraklık analizi ayrı ayrı yapılmıştır. SPI ve SPEI indeksleri yardımıyla hesaplanan kuraklık değerleri aşağıda verilmiştir.

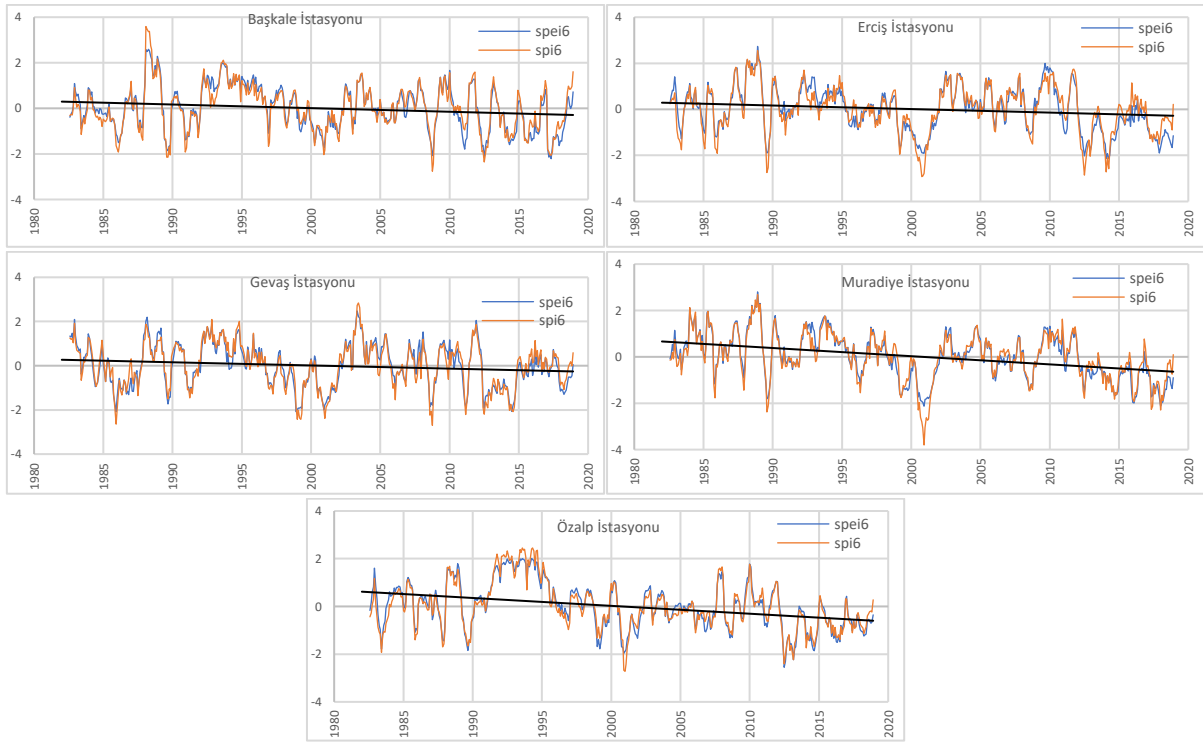


Şekil 2. Seçilen istasyonlara ait SPI-1 ve SPEI-1 değerleri

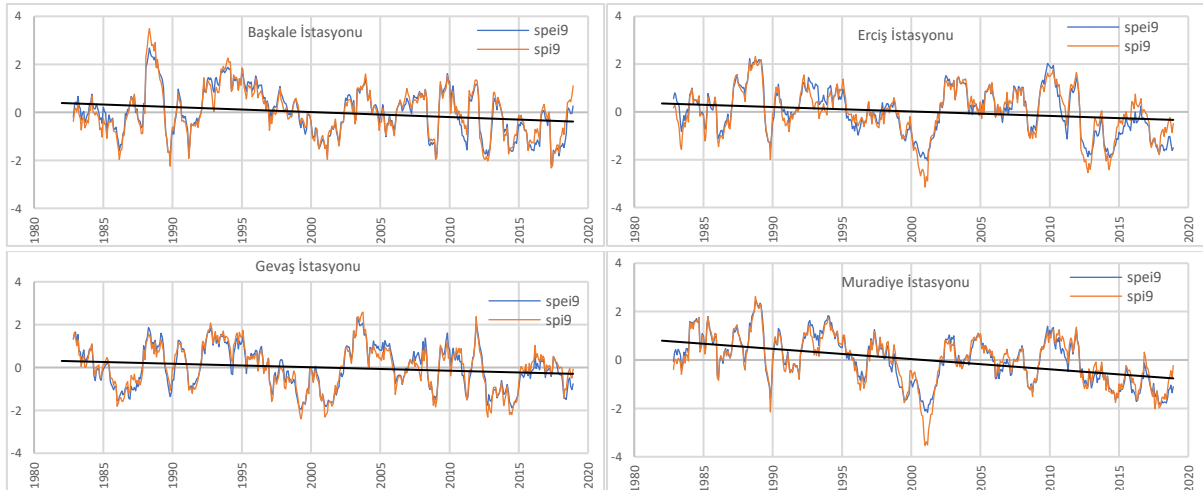


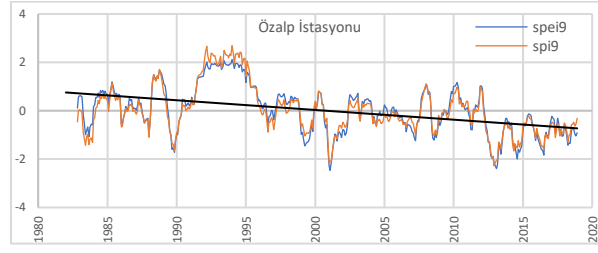


Şekil 3. Seçilen istasyonlara ait SPI-3 ve SPEI-3 değerleri

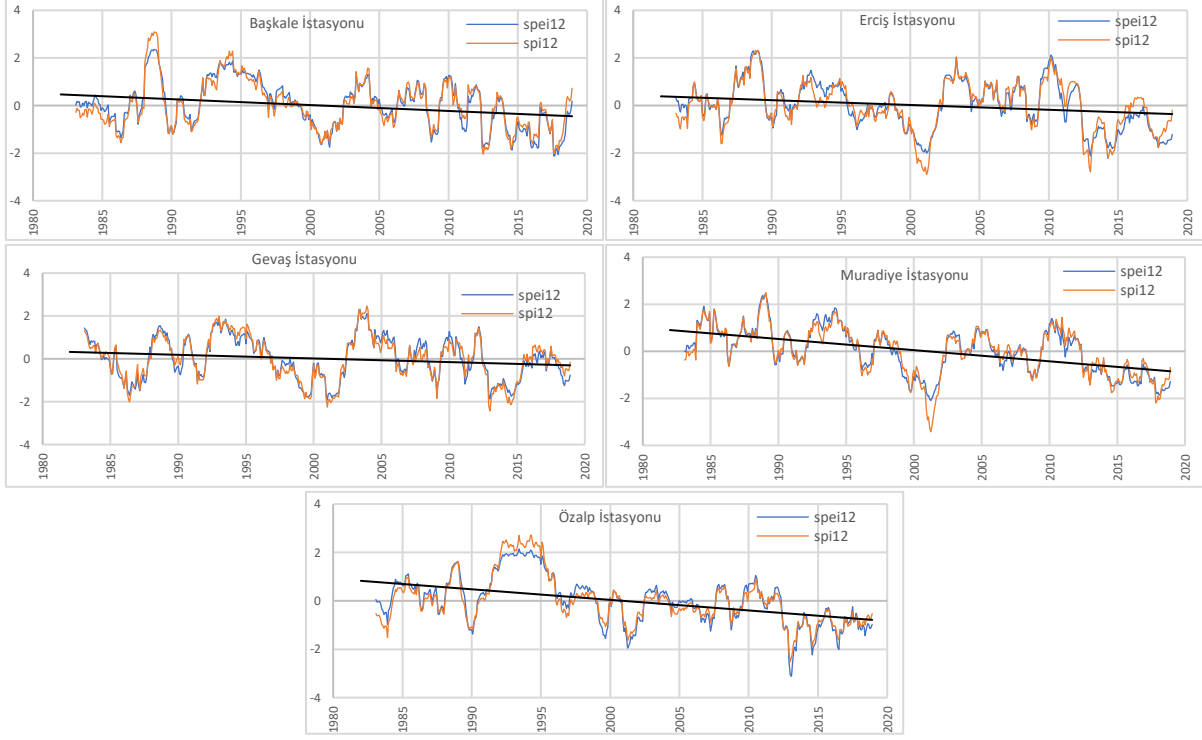


Şekil 4. Seçilen istasyonlara ait SPI-6 ve SPEI-6 değerleri





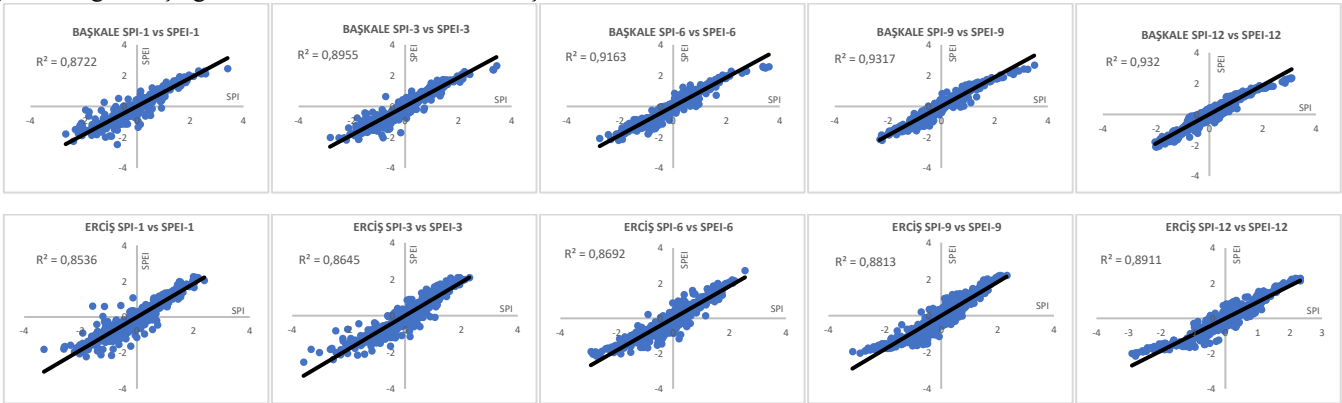
Şekil 5. Seçilen istasyonlara ait SPI-9 ve SPEI-9 değerleri

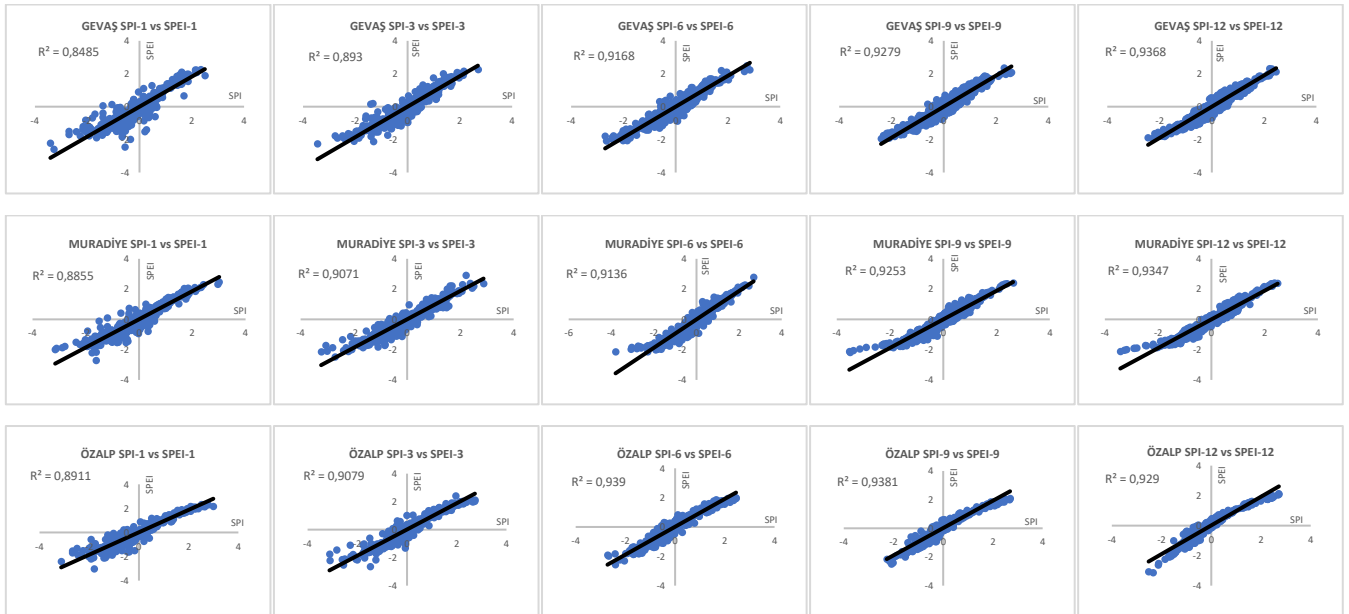


Şekil 6. Seçilen istasyonlara ait SPI-12 ve SPEI-12 değerleri

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde Van ili sınırları içerisinde seçilen istasyonlara ait kuraklık hesaplamalarında SPI ve SPEI indeksleri ile birbirine yakın değerlerin elde edildiği, ancak SPI yöntemi ile hesaplanan ekstrem değerlerin SPEI indeksi ile hesaplanan ekstrem değerlerden daha büyük olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca her iki yöntem ile hesaplanan kuraklık değerlerinin gösterildiği grafiklerde çizilen eğilim çizgileri incelenecek olur ise seçilen tüm

istasyonlar için kuraklığın artan bir trende sahip olduğu görülmektedir. Her iki yöntem ile elde edilen sonuçların birbiri ile ilişkilerinin belirlenebilmesi amacı ile 1,3,6,9 ve 12 aylık zaman periyotları için korelasyon katsayıları hesaplanmış ve şekil 7'de sunulmuştur.

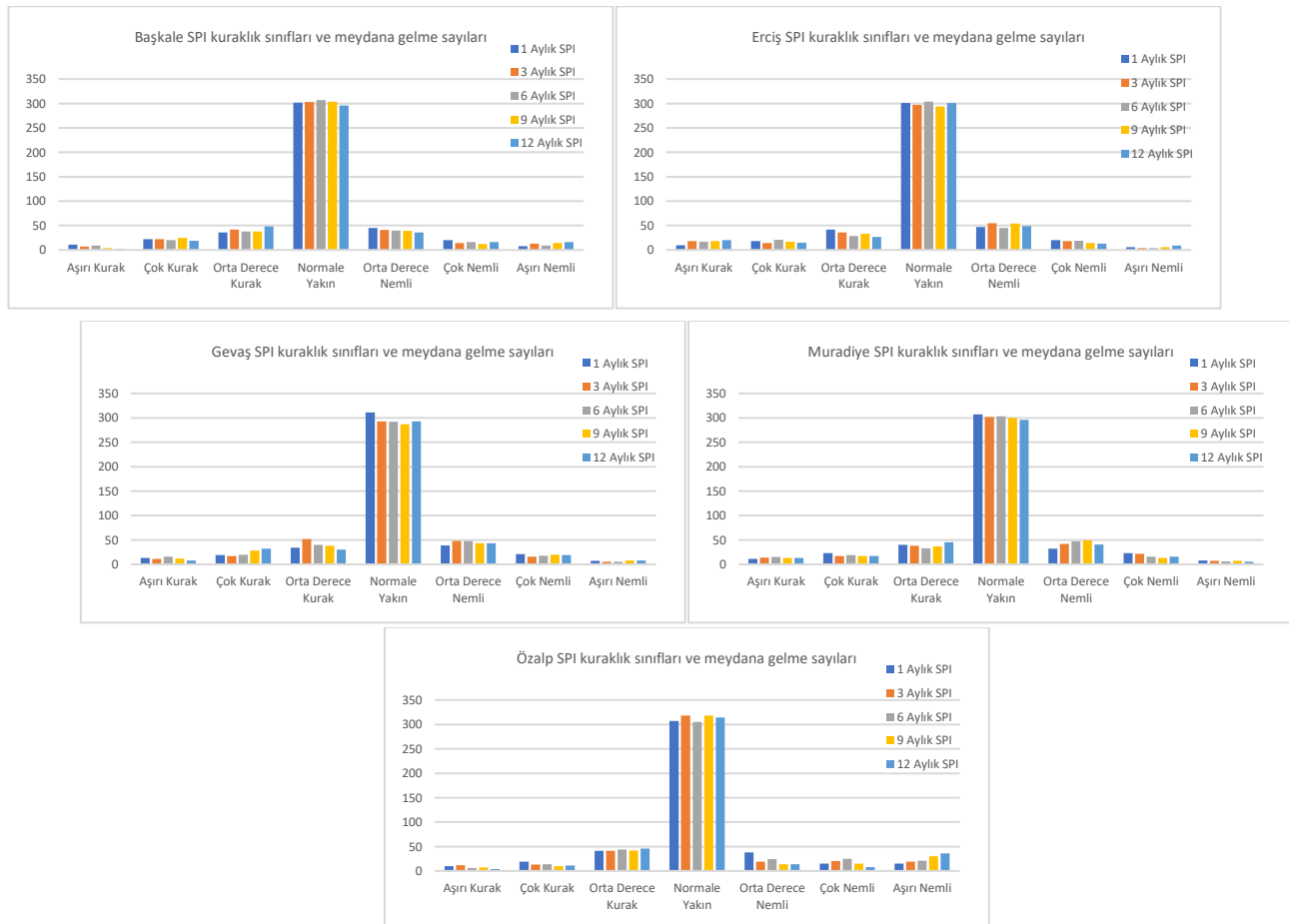




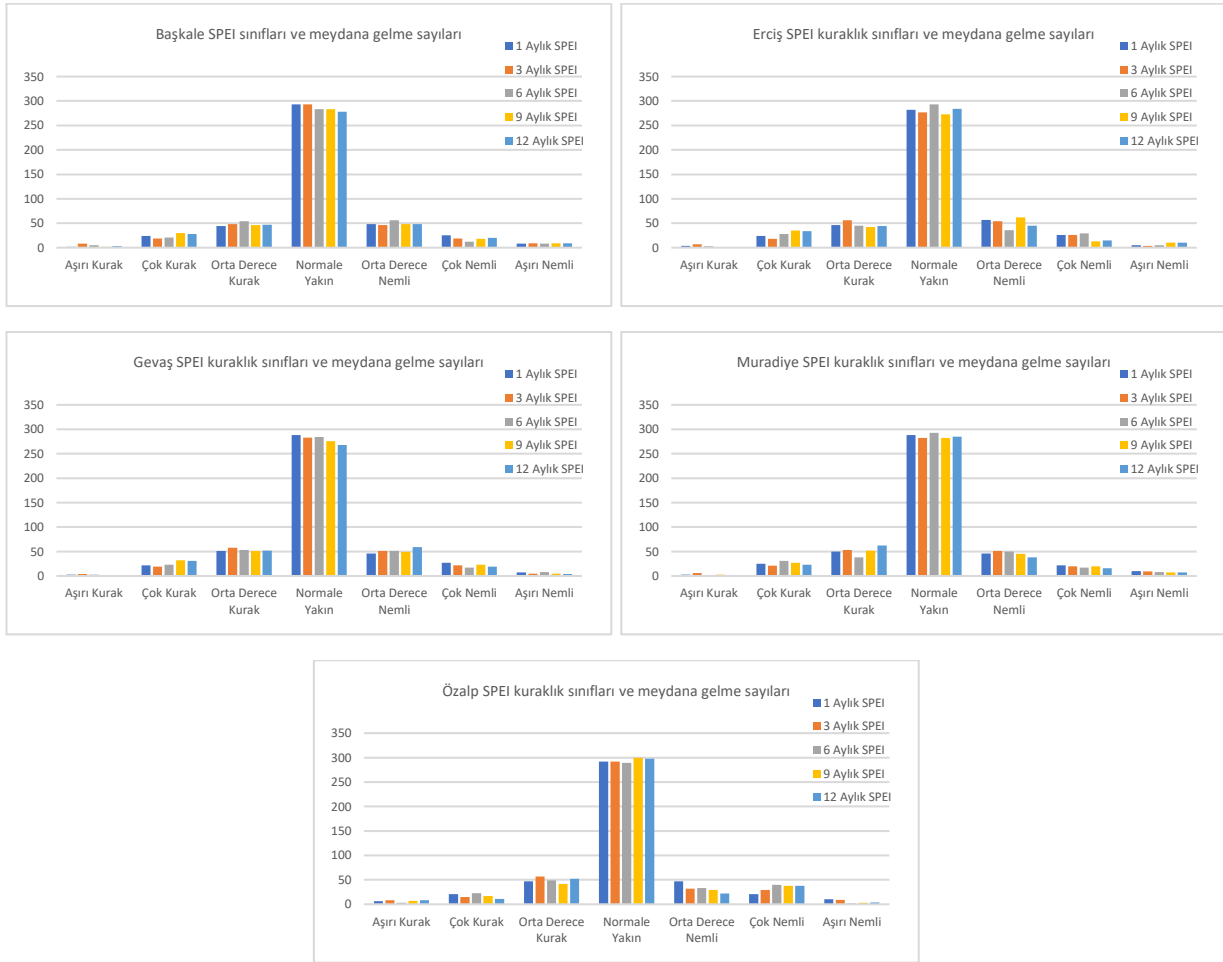
Şekil 7. Seçilen istasyonlar için hesaplanan SPI ve SPEI değerleri arasındaki korelasyon katsayıları

Şekil 7 incelendiğinde tüm zaman periyotları için SPI ile SPEI indeksleri ile hesaplanan değerler arasında seçilen tüm istasyonlarda kuvvetli bir korelasyon olduğu söylenebilir. Özellikle uzun zaman periyotlarında seçilen tüm istasyonlarda korelasyon katsayısının daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır.

SPI ve SPEI yöntemleri ile seçilen istasyonlarda 1,3,6,9 ve 12 aylık zaman periyotları için hesaplanan her bir kuraklık sınıfının meydana gelme sayıları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 8. SPI indeksine göre 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlarda seçilen istasyonlarda hesaplanan Aşırı Kurak, Çok Kurak, Orta Derece Kurak, Normal, Orta Derece Nemli, Çok Nemli, Aşırı Nemli dönem sayıları



Şekil 9. SPEI indeksine göre 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlarda seçilen istasyonlarda hesaplanan Aşırı Kurak, Çok Kurak, Orta Derece Kurak, Normal, Orta Derece Nemli, Çok Nemli, Aşırı Nemli dönem sayıları

Şekil 8 ve Şekil 9 incelendiğinde, aşırı kurak dönemlerin 9 ve 12 aylık zaman periyotlarında SPI yöntemine göre en fazla Erciş ilçesinde, SPEI yöntemine göre ise en fazla Özalp ilçesinde görüldüğü belirlenmiştir. Çok kurak dönemlerin SPI yöntemine göre özellikle 9 ve 12 aylık zaman periyotlarında en çok Gevaş istasyonunda meydana geldiği tespit edilirken, SPEI yöntemine göre ise sırasıyla Erciş Gevaş ve Başkale ilçelerinde birbirine yakın ve benzer sonuçlar hesaplandığı görülmüştür. Orta derece kurak sınıf için hesaplanan değerler incelendiğinde SPEI indeksine göre en fazla sayıda Erciş istasyonunda 9 aylık periyot için hesaplanmış, SPI yöntemine göre ise Özalp istasyonunda en az sayıda orta derecede kuraklık olayı tespit edilmiştir. Normal dönem sayıları incelendiğinde ise hem SPI hem de SPEI indeksi yöntemlerine göre tüm istasyonlarda benzer değerlerin hesaplandığı görülmektedir. Orta derece nemli dönem incelendiğinde Özalp ilçesi için her ne kadar SPEI yöntemi ile daha fazla sayıda meydana gelme durumu tespit edilmişse de her iki yönteme göre de en az meydana geldiği ilçenin Özalp ilçesi olduğu belirlenmiştir. Diğer ilçeler incelendiğinde, SPEI yöntemine göre 9 aylık zaman periyodu için Erciş ilçesi ve 12 aylık zaman periyodu için ise Gevaş ilçesinde en fazla meydana geldiği tespit edilmiştir. Diğer ilçelerde ise her iki yönteme göre benzer durum tespit edilmiştir. Çok nemli dönem SPEI yöntemine göre Özalp ilçesinde özellikle 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotlarında Erciş istasyonunda ise 6 aylık zaman periyodunda meydana gelmiştir. Diğer

istasyonlarda ise SPEI yöntemine göre hesaplanan meydana gelme sayılarının SPI yöntemine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Aşırı nemli dönem için SPI yöntemine göre en fazla Özalp ilçesinde hemen ardından ise Başkale istasyonunda en fazla sayıda görüldüğü tespit edilmiştir.

Sonuç

Bu çalışmanın amacı özellikle kuraklığın etkisinin son yıllarda arttığı Van ilinin kuraklık analizini literatürde yaygın olarak kullanılan SPI ve SPEI yöntemlerini kullanarak farklı zaman periyotları için yapmaktır. Özellikle yağış verilerinin uzun dönemde gamma dağılımı ile daha iyi ifade edilebilmesi nedeni ile SPI yöntemi ile hesaplama yapılırken gamma dağılımı kullanılmıştır. Ayrıca kuraklığın parametrelerinden biri yağış eksikliği olarak ifade edilebilir iken diğer bir parametre olarak sıcaklık da göz önüne alınması gereken bir parametre olduğundan, çalışmada sıcaklık verilerini de kullanarak hesaplama yapan SPEI yöntemi de tercih edilmiştir. SPI yöntemine göre Van ili sınırları içerisinde Erciş ilçesinde aşırı kurak ve Özalp ilçesinde ise aşırı nemli dönemlerin meydana gelme sayıları daha fazla olarak belirlenmiştir.

SPEI yöntemine göre ise Özalp ilçesinde aşırı kurak dönemin meydana gelme sayısı daha yüksek hesaplanmış, bunun yanında Başkale ve Erciş ilçelerinde ise özellikle 9 ve 12 aylık zaman dilimlerine göre aşırı nemli dönemin meydana gelme sayılarının daha fazla olduğu tespit

edilmiştir. Hesaplanan kuraklık büyüklükleri incelendiğinde SPI yöntemi ile özellikle aşırı kurak ve aşırı nemli gibi ekstrem bölgeler için hesaplanan meydana gelme sayılarının SPEI yöntemi ile hesaplanan sayılardan oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu durum da değerlendirme yapılan bölgelerin daha kurak olarak değerlendirilmesine sebep olabilmektedir. SPI ve SPEI indekslerine göre Van ili için değerlendirme yapıldığında kuraklıktan en çok etkilenen ve aşırı yağışlı dönemlerin en çok görüldüğü bölgelerin Van ili için farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle özellikle kuraklık hesaplamaları yapılırken bölgedeki kuraklığın fiziki olarak da değerlendirilmesi elde edilen sonuçların doğruluğunun teyit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca yapılan kuraklık hesaplamalarında SPI ve SPEI yöntemlerinin her ikisinden de elde edilen sonuçlar incelendiğinde çalışma alanının her iki yönüne göre de Öz [24] tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada belirtilen sonuçlara benzer şekilde orta kurak bir bölge olduğu söylenebilir. Çelik vd. [23] 2018 yılında yaptıkları çalışmada Van ili için kuraklık trendinin artan bir trendde olduğu değerlendirilmiş ve bu çalışmada sunulan kuraklık grafiklerindeki eğilim çizgileri incelendiğinde Çelik vd. [23] tarafından 2018 yılında yapılan çalışmaya benzer şekilde kuraklık değerlerinde seçilen tüm istasyonlar için tüm zaman periyotlarında artış trendi olduğu görülmektedir. Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda çalışma bölgesinde kuraklığın etkisinde ilerleyen yıllarda bir artış beklenebileceği değerlendirilmekte ve bölgede kuraklık için gerekli önlemlerin alınması, su kaynaklarının daha verimli kullanılması, daha efektif sulama tekniklerinin kullanılması, daha az su gereksinimi olan tarım ürünlerinin ekilmesinin teşvik edilmesi ve bölge halkının kuraklık hakkında bilinçlendirilmesi gibi önlemlerin alınması önerilmektedir.

Yazar Katkı Beyanı

Yazar 1 fikrin oluşturulması, tasarımın yapılması, literatür taraması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, kullanılan yöntemlerin uygulanması ve sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuştur.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- [1] D. A. Wilhite, "Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions," in *Drought: A Global Assessment*, D.A. Wilhite, Ed. London, UK, Routledge, 2012, pp. 3-18.
- [2] A. G. Koutroulis, A. E. K. Vrochidou, and I. K. Tsanis, "Spatiotemporal characteristics of meteorological drought for the Island of Crete," *J. Hydrometeorol.*, vol. 12, no. 2, pp. 206–226, April 2011. DOI: 10.1175/2010JHM1252.1.
- [3] G. Rossi, "Drought mitigation measures: A comprehensive framework," in *Drought and Drought Mitigation in Europe*, J. Voght, and F. Somma, Eds.

- Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2000, pp. 233–246.
- [4] S. Bae, S. H. Lee, S. H. Yoo, and T. Kim, "Analysis of drought intensity and trends using the modified SPEI in South Korea from 1981 to 2010," *Water*, vol. 10, no. 3, pp. 1-17, March 2018. DOI: 10.3390/w10030327.
- [5] S. S. Ojha, V. Singh, and T. Roshni, "Comparison of meteorological drought using SPI and SPEI," *Civ. Eng. J.*, vol. 7, no. 12, pp. 2130-2149, December 2021. DOI: 10.28991/cej-2021-03091783.
- [6] T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley, "IPCC, 2013: Summary for Policymakers," *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- [7] S. M. Vicente-Serrano, "Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region," *Natural Hazards*, vol. 40, pp. 173-208, January 2007. DOI: 10.1007/s11069-006-0009-7.
- [8] A. K. Mishra, V. P. Singh, "A review of drought concepts," *Journal of hydrology*, vol. 391, no: 1-2, pp. 202-216, September 2010. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.012.
- [9] M. Svoboda, D. LeComte, M. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, and S. Stephens, "The drought monitor," *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 83, no. 8, pp. 1181-1190, August 2002. DOI: 10.1175/1520-0477-83.8.1181.
- [10] V. Gümüş, A. Başak and N. Oruç, "Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklık analizi," *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 36-44, June 2016.
- [11] R. Niaz, M. M. Almazah, I. Hussain, J. D. P. Filho, N. Al-Ansari, S. Sh Sammen, "Assessing the probability of drought severity in a homogeneous region," *Complexity*, vol. 2022, pp. 1-8, January 2022. DOI: 10.1155/2022/3139870.
- [12] S. Gurrupu, A. Chipanshi, D. Sauchyn, and A. Howard, "Comparison of the SPI and SPEI on predicting drought conditions and streamflow in the Canadian prairies," in *Proceedings of the 28th Conference on Hydrology*, Atlanta, GA, USA: American Meteorological Society. February 2014, pp. 1-7.
- [13] S. Tirivarombo, D. Osupile, and P. Eliasson, "Drought monitoring and analysis: Standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI) and standardised precipitation index (SPI)," *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 106, pp. 1-10, August 2018. DOI: 10.1016/j.pce.2018.07.001.
- [14] E. A. Hernandez, and V. Uddameri, "Standardized precipitation evaporation index (SPEI)-based drought assessment in semi-arid south Texas,"

- Environmental Earth Sciences*, vol. 71, pp. 2491-2501, 2014. DOI: 10.1007/s12665-013-2897-7.
- [15] Ü. G. Bacanlı, T. Baran, and F. Dikbaş, "Applicability of apportionment entropy as a drought index," *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, vol. 23, no. 3, pp. 232-237, 2017. DOI: 10.5505/pajes.2016.80664.
- [16] A. Abbasi, K. Khalili, J. Behmanesh, and A. Shirzad, "Drought monitoring and prediction using SPEI index and gene expression programming model in the west of Urmia Lake," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 138, pp. 553-567, April 2019. DOI: 10.1007/s00704-019-02825-9.
- [17] Ü. G. Bacanlı, and G. N. Akşan, "Drought analysis in Mediterranean region," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 25, no. 6, pp. 665-671, 2019. DOI: 10.5505/pajes.2019.64507.
- [18] A. Danandeh Mehr, and B. Vaheddoost, "Identification of the trends associated with the SPI and SPEI indices across Ankara, Turkey," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 139, no. 3-4, pp. 1531-1542, 2020. DOI: 10.1007/s00704-019-03071-9.
- [19] F. Bakanoğulları, "SPEI ve SPI indeksleri kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi Havzasında kuraklık şiddetlerinin analizi," *Toprak Su Dergisi*, vol. 9, no. 1, pp. 1-10, March 2020. DOI: 10.21657/topraksu.566693.
- [20] C. Liu, C. Yang, Q. Yang, and J. Wang, "Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China," *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, pp. 1-14, January 2021. DOI: 10.1038/s41598-020-80527-3.
- [21] G. Aktürk, U. Zeybekoğlu, and O. Yıldız, "SPI ve SPEI Yöntemleri ile Kuraklık Araştırması: Kırıkkale Örneği," *International Journal of Engineering Research and Development*, vol. 14, no. 2, pp. 762-776, July 2022. DOI: 10.29137/umagd.1100886.
- [22] H. Yetmen, "Van Gölü Havzası'nın kuraklık analizi," *21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum Eğitim Bilimleri ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, vol. 2, no. 5, pp. 184-198, 2013.
- [23] M. A. Çelik, İ. Kopar, H. Bayram, "Doğu Anadolu Bölgesi'nin mevsimlik kuraklık analizi," *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 22, no. 3, pp. 1741-1761, September 2018.
- [24] A. Öz, "Farklı kuraklık indisleri kullanılarak Van gölü havzası kuraklık analizi," M.S. thesis, Dept. Civil Eng., Van Yuzuncu Yıl Univ., Van, Turrkey, 2020.
- [25] F. Erdem, R. Altun, Z. Y. Avdan, I. Atila and U. Avdan, "Drought analysis of Van Lake Basin with remote sensing and GIS technologies," *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, vol. 24, no. 3, pp. 1093-1102, December 2021.
- [26] B. Özer, Ö. Yalçın Ercoşkun, "Drought Analysis and Resilient Strategies: The Case of Lake Van Basin," *Resilience*, vol. 5, no. 2, pp. 207-230, December 2021.
- [27] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "Resmi İstatistikler," [Online] Available: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=VAN#sfB>, Accessed on July 27, 2023.
- [28] T. B. McKee, N. J. Doesken, and J. Kleist, "The relationship of drought frequency and duration to time scales," in *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, vol. 17, no. 22, pp. 179-183, 1993.
- [29] J. T. Shiau, "Effects of gamma-distribution variations on SPI-based stationary and nonstationary drought analyses," *Water Resources Management*, vol. 34, pp. 2081-2095, May 2020. DOI: 10.1007/s11269-020-02548-x.
- [30] T. Raziei. "Improving the normalization procedure of the simplified standardized precipitation index (SSPI) using Box-Cox transformation," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol:37 no:3, pp. 925-951, 2003.
- [31] P. Angelidis, F. Maris, N. Kotsovinos, and V. Hrissanthou, "Computation of drought index SPI with alternative distribution functions," *Water Resources Management*, vol. 26, pp. 2453-2473, April 2012. DOI: 10.1007/s11269-012-0026-0.
- [32] N. B. Guttman, "Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm," *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, vol. 35, no. 2, pp. 311-322, December 1999. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x.
- [33] H. C. S. Thom, "A note on the gamma distribution," *Mon Weather Rev*, vol. 86, no. 4, pp. 117-122, April 1958. DOI: 10.1175/1520-0493(1958)086<0117:ANOTGD>2.0.CO;2.
- [34] C. A. Karavitis, S. Alexandris, D. E. Tsemelis, and G. Athanasopoulos, "Application of the standardized precipitation index (SPI) in Greece," *Water*, vol. 3, no. 3, pp. 787-805, August 2011. DOI: 10.3390/w3030787.
- [35] M. Abramowitz, and I. A. Stegun, "Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables," 10th ed. Washington, USA, National Bureau of Standards, 1964.
- [36] M. A. A. Zarch, B. Sivakumar, and A. Sharma, "Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI)," *Journal of Hydrology*, vol. 526, pp. 183-195, July 2015. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.09.071.
- [37] S. M. Vicente-Serrano, S. Beguería, J. I. López-Moreno, "A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index," *Journal of Climate*, vol. 23, no. 7, pp. 1696-1718, April 2010. DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- [38] S. A. Banimahd, and D. Khalili, "Factors influencing Markov chains predictability characteristics, utilizing SPI, RDI, EDI and SPEI drought indices in different climatic zones," *Water Resources Management*, vol. 27, pp. 3911-3928, June 2013. DOI: 10.1007/s11269-013-0387-z.

- [39] C. W. Thornthwaite, "An approach toward a rational classification of climate," *Geographical Review*, vol. 38, no. 1, pp. 55-94, Jan. 1948. DOI: 10.2307/210739.
- [40] R. Wang, W. Peng, X. Liu, W. Wu, X. Chen, and S. Zhang, "Responses of water level in China's largest freshwater lake to the meteorological drought index (SPEI) in the past five decades," *Water*, vol. 10, no. 2, pp. 1-20, Feb. 2018. DOI: 10.3390/w10020137.
- [41] R. Jiang, J. Xie, H. He, J. Luo, and J. Zhu, "Use of four drought indices for evaluating drought characteristics under climate change in Shaanxi, China: 1951–2012," *Natural Hazards*, vol. 75, pp. 2885-2903, Feb. 2015. DOI: 10.1007/s11069-014-1468-x.
- [42] M. I. Ahmad, C. D. Sinclair, and A. Werritty, "Log-logistic flood frequency analysis," *Journal of Hydrology*, vol. 98, no. 3-4, pp. 205-224, August 1988. DOI: 10.1029/WR024i008p01323.
- [43] V. P. Singh, H. Guo, F. X. Yu, "Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome," *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, vol. 7, pp. 163-177, September 1993. DOI: 10.1007/BF01585596.