

Devegeçidi Baraj Gölü Meteorolojik-Hidrolojik-Tarımsal Kuraklık Analizi

Nermin Şarлак^{1,*}, Abdullah Muratoğlu², Şahnaz Tiğrek³

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya.

²Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 72000, Batman.

³İskenderun Teknik Üniversitesi, Barbaros Hayrettin Denizcilik ve Gemi Müh. Fak., Gemi İnşaatı ve Gemi Mühendisliği Bölümü, 31200, İskenderun, Hatay.

Özet

Devegeçidi barajı, Diyarbakır bölgesinde 1972 yılında ilk olarak 5800 ha araziye sulama amacıyla işletmeye açılmıştır. Baraj gölü, uzun yıllar boyunca göçmen kuşlar ve diğer bazı canlı ekosistemlerin beslenme ve üretim yeri olmuştur. Ancak baraj gölünde zaman zaman su hacminde sulama suyu ihtiyacını karşılayamayacak oranda düşüşler yaşanmış ve Dicle nehri üzerindeki diğer barajlardan su takviyesi yapılmak zorunda kalınmıştır. Bu çalışmada, Devegeçidi baraj gölündeki su seviyesinin düşme nedenleri meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kullanım açısından incelenmiştir. Bunun için barajı besleyen su kaynakları ve sulama alanının özellikleri dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında Devegeçidi barajının aylık işletim verileri istatistiksel metotlarla analiz edilmiştir. 2008-2021 yılları arasındaki aylık ortalama rezervuar hacmi, aylık toplam gelen su miktarı ve aylık toplam su sarfiyatı verileri önce Mann-Kendall trend analizi metodu ve sonrasında Bölgesel Ağırlıklı Dağılım Düzleştirme algoritması ile analiz edilmiştir. Hidrolojik kuraklık probleminin yağış verileri ile ilişkisinin ortaya çıkarılması için Standart Yağış İndisi (SPI), Palmer (PDSI) ve kendinden kalibreli Palmer (sc-PDSI) Kuraklık İndisleri uygulanmıştır. Tarımsal ürünlerin ekim alanları ve verim miktarları ise yerel TÜİK verileri ve GIS tabanlı CORINE arazi örtüsü haritaları kullanılarak incelenmiştir. Böylece baraj gölünde yaşanan kuraklık ve su sıkıntısı problemlerinin arka planındaki meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal sebepler ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler

Doğal Afetler, Kuraklık, Diyarbakır, Devegeçidi, Baraj

Meteorological-Hydrological-Agricultural Drought Analysis of Devegeçidi Reservoir

Abstract

The Devegeçidi Dam was first opened in 1972 to irrigate 5800 hectares of land in the Diyarbakır region. The reservoir has been a feeding and breeding ground for migratory birds and some other living ecosystems for many years. However, from time to time, the water volume in the reservoir decreased to a level that could not meet the irrigation water demand and water had to be supplemented from other dams on the Tigris River. In this study, the reasons for the decrease of the water level in the Devegeçidi reservoir were analyzed in terms of meteorological, hydrological and agricultural use. For this purpose, the water resources feeding the dam and the characteristics of the irrigation area were taken into consideration. Within the framework of the study, the monthly operating data of the Devegeçidi Dam were analyzed using statistical methods. The monthly average reservoir volume, monthly total water inflow and monthly total water consumption data for the years 2008-2021 were first analyzed by Mann-Kendall trend analysis method and then by Locally Weighted Scatterplot Smoothing algorithm. Standard Precipitation Index (SPI), Palmer (PDSI) and self-calibrated Palmer (sc-PDSI) drought indices were applied to reveal the relationship between hydrological drought problem and precipitation data. Areas and yields of agricultural crops were analyzed using local TurkStat data and GIS-based CORINE land cover maps. Thus, the meteorological, hydrological and agricultural causes of the drought and water shortage problems in the reservoir were revealed.

Keywords

Natural Disasters, Drought, Diyarbakır, Devegeçidi, Reservoir

1. Giriş

Doğal veya yapay göllerdeki su seviyesinin azalması veya tamamen kuruması dünyada tarih boyunca gözlemlenen bir durumdur (Alborzi vd., 2018). Göllerdeki seviye değişiminin ardında; göl havzasında yerleşim yerlerinin artması, gölü besleyen su kaynaklarının başka amaçlar için kullanılması, yağışın azalması, aşırı su kullanımı gibi sebepler bulunmaktadır. Barajların planlaması esnasında yağış verileri, su ihtiyacı (içme suyu, sanayi suyu ve tarımsal sulama) ve nüfus parametreleri 30 yıldan az olmamak kaydıyla dikkate alınarak hazne hacmine karar verilir. Barajlarda fayda-zarar analizi ise barajın ekonomik ömrünün 50 ile 75 yıl arasında değiştiği kabul edilerek yapılır. Ancak barajlar gerekli bakım onarım yapıldığı takdirde çok daha uzun yıllar kullanılabilirler (Tiğrek & Aras, 2011).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (332) 2051660 Faks: +90 (332) 2410635

Gönderim Tarihi / Received : 10/04/2023

E-posta: nsarлак@ktun.edu.tr (Şarлак N), abdullah.muratoglu@batman.edu.tr (Muratoğlu A), sahnaz.tigrek@iste.edu.tr (Tiğrek Ş)

Kabul Tarihi / Accepted : 27/11/2023

Havzadaki doğal ve/veya insan kaynaklı değişimler sonucunda baraj gölünde su hacminin azalması veya talebin planlamanın ötesinde artması sebepleriyle depolanan suyun yetmemesi gibi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Öte yandan güvenli ve yeterli su arzının cazibe merkezi oluşturması planlama çalışmalarının öngördüğünden daha fazla nüfus hareketliliğinin gerçekleşmesi sonucunda talebi artırabilmektedir (Di Baldassera vd., 2018). Bu artış içme ve kullanma suyunda yerleşim yerindeki nüfusun ve ticaret-sanayi gibi diğer aktivitelerin artması sebebiyle olurken, sulama suyuna duyulan ihtiyacın artması hem nüfus hareketliliği hem de sulanan alanların zamanla artması veya bitki desenindeki değişimlerden dolayı olabilmektedir. Ancak zaman zaman sanayi bölgelerine doğru olan göçler sebebiyle kırsal bölgelerin ıssızlaşması ve sulama sistemlerinin sahipsiz kaldığı durumlar da vardır (Swendsen & Nott, 1999).

Ülkemizde Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmış ve tarım ürünlerinin çeşitlendirilmesi, verimliliğin ve tarıma dayalı sanayinin artırılması sebepleriyle küçük, orta ve büyük ölçekli sulama projelerine önem verilmiş ve bunlar geliştirilmiştir (Tigrek & Kibaroglu, 2011). Sulama projeleri kırsalda gelir düzeyinin artmasını sağlarken ülke ekonomisine de katkıda bulunurlar. Gıda güvenliğinin sağlanmasının yanında endüstriyel ürünler sanayiye de desteklemektedir. Ancak büyük yatırımların gerektirdiği bu sistemlerin uzun yıllar kullanılabilmesinin koşullarını sağlayabilmek hem öngörülen hedeflerden sapmamayı hem beklentileri boşa çıkarmamayı hem de paranın israf edilmemesini sağlayacaktır. Sulama projeleri statik kabul edebileceğimiz depolama tesisi, kanallar, su alma yapıları gibi yapı elemanlarının yanında ana girdisi çok farklı değişkene bağlı olan su olması sebebiyle dinamik sistemlerdir. Bir sulama sisteminde bulunan baraj ve barajların yeterli suyu toplayamamasının sebepleri planlama veya işletme kaynaklı olabileceği gibi iklimsel değişimlerden dolayı da olabilmektedir. Sıcaklık, yağış ve evapotranspirasyon gibi sulama açısından önemli parametreler zaman içinde değişmekte ve bunların su kaynaklarını olumsuz yönde etkileyeceği bilinmektedir (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023). Her ne kadar iklim değişikliğinin tarım, su, toprak kaynakları ve gıda pazarları gibi sistemler üzerindeki etkileri karmaşık olsa bile gıda ve su güvenliği ile iklim değişikliği arasındaki yakın bir ilişki olduğu bilinen bir gerçektir (Türkeş, 2020). Sulu tarım gerek ülkemizde gerekse dünyada gıda kaynaklarının üretilmesinde önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple sürdürülebilir sulamanın (Velasco-Munoz vd., 2019) yolları ve metotları tartışılırken su kaynağının ve yapıların sürdürülebilirliği (Tigrek vd., 2009) ana etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan çok amaçlı yapılan ve enerji üreten barajlarda da su kullanımının her yıl yağış tahminlerine göre planlanması gerekmektedir (Yalçın & Tigrek, 2019).

Bu çalışma kapsamında, bir sulama barajı olan Devegeçidi baraj gölünde yaşanan kuraklık ve su problemlerinin arka planındaki meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal sebepler analiz edilmiştir. Sulama amacıyla yapılan bir baraj olan Devegeçidi Barajı son yıllarda zaman zaman sulama mevsimi başında yeterli suyu rezerv etmemesi sebebiyle gündeme gelmiş ve baraj gölünün kurumaması ve faaliyetlerine kısmen de olsa devam etmesi amacı ile Dicle nehir sistemi üzerindeki diğer sulama sistemlerinden su aktarımı gibi tedbirler hayata geçirilmiştir. En son DSİ yetkililerinin basına yaptıkları açıklamalarda 2022 yılında ve geçmiş yıllarda yaşanan yağış azlığı sebebiyle gerçekleşen kuraklıktan ötürü Devegeçidi Barajı'nda tarımsal sulama ihtiyacını karşılayacak kadar su depolanmadığını ve bu sebeple Devegeçidi Barajı sulaması için ihtiyaç olan suyun, Dicle Barajı'ndan takviye amacı ile pompaj yöntemiyle aktarıldığını belirtmişlerdir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2022).

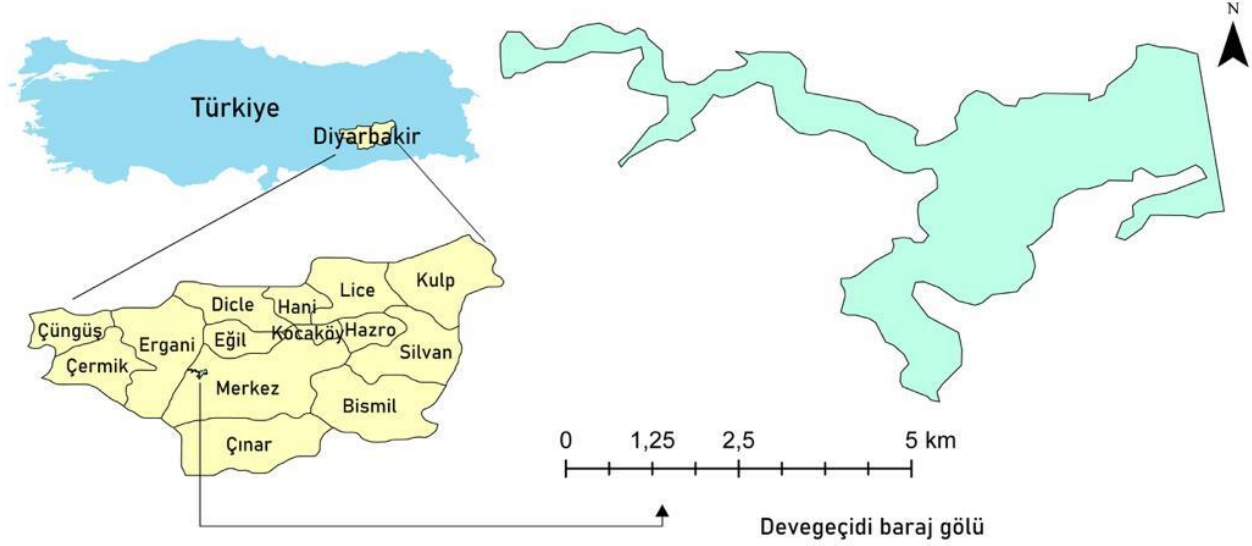
Devegeçidi barajı ile ilgili literatürde su kalitesi, balık üretimi ve sulama sistemlerini kapsayan çalışmalar (Güzel, 2005; Demir, 2008; Kaya, 2010) olmakla beraber iklim parametreleri ve bunların baraj su seviyeleri üzerindeki etkileri daha kısıtlı bir şekilde incelenmiştir (Tigrek vd., 2022). Kuraklık analizleri bazen dar bölge bazen de geniş ölçekli olarak hem ülkemizde hem de dünyada yaygın olarak çalışılmaktadır (Sırdaş & Şen, 2003; Türkeş, 2012; Turan, 2018). Öte yandan doğal göllerdeki su çekilmesi problemleri de çalışılmaktadır (Aktaş vd., 2018). Baraj göllerindeki su noksanlığı konusunda çalışmalar ise (Aktürk & Yıldız, 2018; Özalkan & Karaman, 2018; Özgün vd., 2020; Özdemir, 2021) sınırlı kalmıştır. Ancak kuraklığın gerek sulama suyu gerekse içme ve kullanma suyuna etkileri üzerinde havza bazında yapılmış çalışmalar son yıllarda artmaktadır (Yıldırım, 2002; Akçay vd., 2007; Özfidaner vd., 2018; Özfidaner & Gönen, 2021; Koç vd., 2009; Önoç & Oğuz, 1996).

2. Materyal ve Yöntem

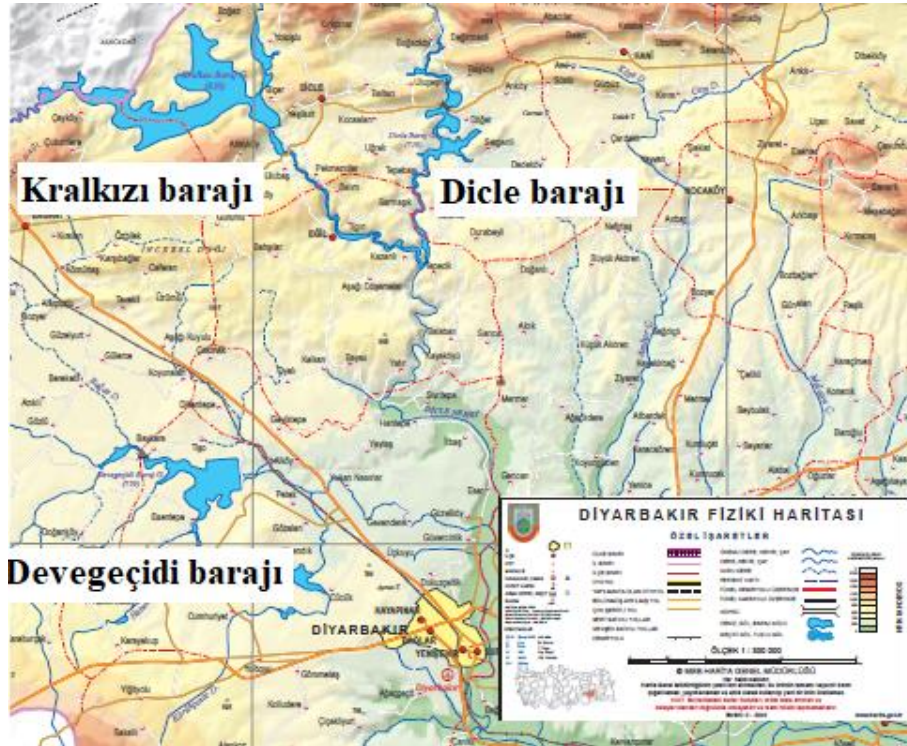
2.1 Materyal

Devegeçidi barajı, Dicle havzasına bağlı Devegeçidi akarsuyu tali havzası içerisinde yer alıp, Diyarbakır ili merkez sınırları içerisinde (Şekil 1, Şekil 2). Baraj sulama amaçlı olarak kaya topuklu toprak dolgu tipinde inşa edilmiş ve 1972 yılında işletmeye açılmıştır. Barajın aktif hacmi 211,80 hm³, maksimum işletme kodu 757 m ve minimum işletme kodu 739,50 m'dir. Baraj 12.080 ha alanın sulanması planlanarak tasarlanmıştır (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2012) halen 10.600 hektarlık alanda sulama sistemleri işletmededir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2019; GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, 2022). Sulama sistemi beton ana kanal ve kanaletlerden oluşmaktadır. Demir (2008), Devegeçidi sulama sistemini incelediği çalışmada ana kanal galeri, tünel ve açık kanal olarak toplamda 47.153 metre, yedek kanallar 12.890 m ve tersiyer kanalların uzunluğu 125.890 metre olduğunu rapor etmiştir (Demir, 2008). Baraj kıyısında sazlık ve kamışlar bulunmakta ve baraj yapımı sırasında açılan taş ocaklarının oluşturduğu oyuklarda su birikmesi sebebiyle oluşmuş küçük gölcüklerde de sazlık ve kamışların yetişmesi sebebiyle oluşan yapay sulak alanlarında su kuşları ve bazı diğer canlılar yaşamaktadır (Kılıç, 2013).

Bu çalışmada Devlet Su İşleri (DSİ) Diyarbakır şubesinden temin edilen 2008-2021 baraj aylık işletim tablo verileri ve Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Diyarbakır ve Ergani meteoroloji gözlem istasyonlarına ait 1965-2021 aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Aylık işletme tablosunda, baraja gelen su hacmi depolama hacminden toplam su sarfiyat hacimleri (sulama ve taşkın sebebiyle rezervuardan bırakılan ve buharlaşma ile kayıp olan su) çıkarılarak hesaplanmaktadır. DSİ'nin yaptığı bu hesaplama şekli ile işletme tablosunda yaz aylarında negatif su hacimleri mevcuttur. Çalışmamızda negatif değerler sıfır olarak alınmıştır.



Şekil 1: Devegeçidi barajı ve konumu



Şekil 2: Diyarbakır ili, Devegeçidi, Kralkızı ve Dicle Barajı (Harita Genel Müdürlüğü, 2022)

2.2 Yöntem

Çalışma kapsamında Devegeçidi barajının aylık işletim verileri yani aylık ortalama rezervuar hacmi (ORH), aylık toplam gelen su (TGS) miktarı ve aylık toplam su sarfiyatı (TSS) istatistiksel metotlarla analiz edilmiştir. 2008-2021 yılları arasındaki veriler önce Mann-Kendall trend analizi metodu ile, daha sonra Bölgesel Ağırlıklı Dağılım Düzleştirme (LOWESS) algoritması ile analiz edilmiştir.

Hidrolojik kuraklık probleminin yağış verileri ile ilişkisinin ortaya çıkarılması için Standart Yağış İndisi (SPI), Palmer Kuraklık İndisi (PDSI) ve kendinden kalibreli Palmer Kuraklık İndisi (sc-PDSI) uygulanmıştır. Tarımsal ürünlerin ekim alanları ve verim miktarları ise yerel Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri ve Coğrafi bilgi sistemi (GIS) tabanlı Çevresel bilginin koordinasyonu (European Environmental Agency, 2020) arazi örtüsü haritaları kullanılarak incelenmiştir. CORINE, geniş bir alanda Avrupa ve yakın bölgelerdeki arazi örtüsü ve arazi kullanım envanteri sunmaktadır. Ürün, her altı yılda bir güncellenen yeni durum ve değişim katmanlarıyla çevresel izleme, arazi kullanım planlaması, iklim değişikliği değerlendirmeleri ve acil durum yönetimi dahil olmak üzere birçok kullanıcıya hizmet vermektedir (European Environmental Agency, 2020).

Mann-Kendall Test: Mann-Kendall parametrik olmayan bir test olup verilerin ait olduğu dağılımlardan etkilenmemesi sebebiyle çarpık dağılımlara da uygulanabildiğinden dolayı sıklıkla tercih edilmektedir (Kendall, 1975). Test, veri değerlerinin kendilerinden ziyade verilerin nispi büyüklüklerini kıyaslar. Bulunan eğilimi istatistiksel olarak belirlemek için z ve p istatistik değerleri hesaplanmaktadır. İstatistik bir değer olan z için gerekli olan S değeri başlangıçta sıfır kabul edilir (eğilim yok). Göz önüne alınan veri değeri bir sonraki veri değerinden küçük ise S bir artırılır, değilse bir azaltılır. Tüm bu artış ve azalışların toplamı net S değerini verir. S değerinin pozitif değer olması artış yönünde eğilimi, negatif değer olması ise azalış yönünde eğilimi gösterir. Diğer istatistik değer olan p ise z test istatistiği ile ilişkilendirilmiş olasılık değeridir ki normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu ile belirlenir. Eğer z negatif ve olasılık önem seviyesinden (genellikle %95) büyükse azalış yönünde eğilim mevcuttur. Eğer z pozitif ve olasılık önem seviyesinden büyükse artış yönünde eğilim olduğu kabul edilir. z değeri, olasılık önem seviyesinden küçükse istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimden bahsedilmez (U.S. Army Corps of Engineers, 2004).

Bölgesel Ağırlıklı Dağılım Düzleştirme (LOWESS) Algoritması: LOWES algoritması bölgesel ağırlıklı polinom regresyonuna dayalı olarak verileri düzeltmek için Cleveland tarafından geliştirilmiştir (Cleveland, 1979). Algoritma, en küçük eğilimi dahi tespit etme özelliğine sahip olması bakımından önemlidir. Algoritmanın amacı, göz önüne alınan değişkenin ampirik dağılımının ortasını tanımlayan değerleri hesaplamaktır. Ancak çoğu veri setinde birbirini tekrar eden gözlemler bulunmadığından dağılımın orta değerlerinin iyi bir tahminini sağlamak her zaman kolay olmamaktadır. LOWESS söz konusu tahmini veri setine uyarlanmış ağırlıklı en küçük kareler regresyon çizgisinin denkleminde elde etmektedir. Algoritmanın elde edilen veri sayısının az olması durumunda da sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi belirtilmektedir (Moran, 1984).

Standart Yağış İndisi (SPI): Aylık yağış verilerinin standartlaştırılması şeklinde tanımlanan kuraklık indisi Mckee vd. (1993) tarafından önerilmiştir. İndisler yağış gözlemlerinin uzun dönem ortalamalarından olan farklarının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilmektedir (Mckee vd., 1993):

$$SYİ = \frac{P_i - P_{ort}}{\sigma} \quad (1)$$

eşitlikteki P_i her bir ay için toplam aylık yağış derinliği (mm); P_{ort} ilgili ayın ortalama yağış derinliği (mm); σ ilgili aya ait standart sapma değerini (mm) ifade eder. Negatif değerler kurak, pozitif değerler nemli olmak üzere indisler iki ana sınıfta değerlendirilmektedir. Mckee vd., (1993) aylık yağış verilerinin Normal dağılıma uymayacağı gerçeğini göz önünde bulundurarak en uygun dağılımın Gamma dağılımı olabileceğini öne sürmüşlerdir. Aylık yağışların aşılması olasılıkları Gamma toplam olasılık yoğunluk fonksiyonundan elde edildikten sonra belirlenen aşılması olasılıklarına standart normal dağılım olasılık fonksiyonundan karşılık gelen değerler standart yağış indisleri olarak bulunmaktadır.

Standart yağış indisi 1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 ay gibi farklı zaman ölçeklerinde, uygulanabilmesi sebebiyle kuraklığın kısa ve uzun dönemde izlenebilmesine imkân vermekte ve bu nedenle zamansal ve mekânsal oluşumun sınıflandırılmasında Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nün kabul ettiği ve önerdiği bir indis olma özelliği taşımaktadır (Mckee vd., 1993; Edwards & McKee, 1997; World Meteorological Organization, 2012). Üç aylık analiz kısa dönem meteorolojik, 12 aylık analiz ise yağış eksikliğinin akış, depolama haznelerindeki ve yer altı su seviyelerine etkisi nedeniyle oluşacak hidrolojik ve tarımsal kuraklık durumlarını ortaya koymak amacı ile kullanılmaktadır. SPI önerilen ve pek çok çalışmada kullanılan bir indis olmasına rağmen kuraklığın tanımlanmasında sadece yağış eksikliğinin göz önüne alınması ve analizlerde kullanılan gözlem sürelerinin değişmesi durumunda farklı sonuçlar elde edilmesi nedenleri ile sonuçların yorumlanmasında temkinli yaklaşılması gereken bir indistir. Sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi için istatistiksel analizlerde olduğu gibi en az 20-30 yıllık veri kullanılması önerilmektedir (World Meteorological Organization, 2012).

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI): Palmer, kuraklığın uzun dönem su dengesi metodu ile gözlemlenmiş nemde oluşabilecek anormal açık ile başladığını varsayımıştır. Önerdiği indis hesabında ilk kabul, toprak neminin üst bölüm ve alt bölüm olarak ikiye ayrılmış toprak grupları için hesaplanmasıdır. Tüm toprak neminin 25,4 mm'sinin (1 inç) toprağın üst kısmında bulunduğu kabul edilir. Bu durum tarla kapasitesi ile bitki solma noktası su seviyeleri arasındaki fark olarak tanımlanan ve 1 (bir) m toprak derinliğinde bulunan faydalı toprak su içeriği (AWHC, Available Water Holding Capacity) değerinin yüzey tabakada 1 inç olmak üzere iki toprak tabakası tarafından paylaşılmasını gerektirir. Toplamda tutulabilecek maksimum toprak nemi 254 mm'dir (10 inç). Yüzey tabakadaki maksimum nem kaybı toprak üstünden olan potansiyel evapotranspirasyon kadar gerçekleşebilmektedir. Toprağın alt tabakasından olan nem kaybı başlangıçta toprakta bulunan nem içeriğine yani AWHC'e bağlı olarak gerçekleşebilmektedir. Yüzey akımı bu iki toprak tabakasının tarla kapasitesine ulaşmasından sonra başlayabilmektedir. Belirtilen tüm varsayımlar altında indis hesabı nem sapması indisinin (d) elde edilmesi ile başlamaktadır (Palmer, 1965; Tatlı & Türkeş, 2011):

$$d_j = P_j - \widehat{P}_j \quad (2)$$

eşitlikteki P_j j 'inci ayın toplam yağış ve \widehat{P}_j j 'inci ayın klimatolojik koşulların oluşturduğu uygun yağış derinlikleridir. \widehat{P}_j evapotranspirasyon, toprağın teorik beslenmesi, akış ve topraktaki teorik nem kayıplarının potansiyel miktarları göz önüne alınarak türetilen eşitlikten hesaplanabilmektedir. Palmer potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin belirlenmesinde sadece aylık ortalama sıcaklık verilerine ihtiyaç duyan Thornthwaite yöntemini kullandığından ölçülen meteorolojik değişkenlerden aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verilerine gereksinim vardır. Sonuç olarak, Palmer kuraklık şiddeti indisleri (PDSI), birbirini takip eden ayların kuraklığa verdikleri katkılar da göz önüne alınarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilmektedir (Palmer, 1965):

$$PDSI_j = \frac{1}{3}Z_j + 0,897PDSI_{j-1}, \quad PDSI_{j-1} = 0 \quad (3)$$

eşitlikteki Z_j Palmer nem anomalisi indisi (Z -indis) olup nem sapmasının (d_j) ampirik bir katsayı olan ağırlık faktörü (K_j) ile çarpılmasından elde edilir. Elde edilen PDSI değerleri Palmer tarafından Amerika Birleşik Devletleri Iowa merkezinde ve Kansas'ın batısında yapılan uygulamalar neticesinde belirlenen kuraklık sınıflarına dönüştürülür. PDSI değerleri normal, kurak ve nemli olmak üzere üç farklı ana sınıfta değerlendirilmektedirler.

Kendinden kalibreli Palmer kuraklık şiddeti indisi (scPDSI): Wells vd. (2004) tarafından önerilen kendinden kalibreli Palmer kuraklık şiddeti indisinde (scPDSI), Palmer Z -indisi hesabındaki K_j ağırlık faktörü PDSI'nin %2'lik ekstrem dilimlerine göre yeniden tanımlanmış ve [-4 ve 4] aralığını aşmayan PDSI değerleri kullanılmıştır. Önerilen K_j ağırlık faktörü (Wells vd., 2004):

$$K_j = \begin{cases} \text{eğer } d < 0 & \Rightarrow K' \left(\frac{-4}{2^{ncl} \text{ yüzdelik dilim}} \right) \\ \text{eğer } d \geq 0 & \Rightarrow K' \left(\frac{4}{98^{mcl} \text{ yüzdelik dilim}} \right) \end{cases} \quad (4)$$

Önerilen K_j ağırlık faktörü ile belirlenen Z -indisi ile scPDSI değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunabilmektedir:

$$scPDSI_j = p(scPDSI_{j-1}) + qZ_j \quad (5)$$

eşitlikteki p ve q süre faktörleridir. Palmer süre faktörleri için belirlediği sabitleri önerirken scPDS indisinde süre faktörleri Palmer'in belirlediği sınıfların her biri için ayrı ayrı hesaba katılarak en küçük kareler metodu ile hesaplanmaktadır. Başka bir ifade ile scPDSI metodunda kuraklığın süre faktörü parametreleri hesap edilirken kümülatif Z değerlerinin zamana karşı davranışı PDSI metodundan farklı olarak lineer olmayan bir fonksiyonla ifade edilmiştir (Lanier, 2015).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Hidrolojik Verilerin Analizi

Çalışmada Devegeçidi barajı işletim tablosunda yer alan aylık ortalama rezervuar hacmi (ORH), aylık toplam gelen su (TGS) miktarı ve aylık toplam su sarfiyatı (TSS) verileri kullanılmıştır. 2008-2021 arası aylık verilerin eğilim karakteristikleri Mann-Kendall yöntemi ile belirlenmiş ve istatistiksel sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. Veriler yıllara göre aylık olarak incelendiğinde, ayların çoğunda Mann-Kendall testi ile istatistiksel olarak anlamlı eğilimler tespit edilememiştir. z değerinin sıfır olduğu durumlarda eğilimin yönünü belirlemek için S değerlerine bakılmıştır. ORH göz önüne alındığında ocak- haziran aylarında istatistiksel olarak çoğunda anlamlı olmasa da artış yönünde eğilimler; temmuz- aralık aylarında istatistiksel olarak çoğunlukla anlamlı olmasa da azalış yönünde eğilimler tespit edilmiştir. TSS veri setinde yıllar içinde ağustos- aralık aylarında eğilim istatistiksel olarak anlamlı olmasa da azalma yönündedir.

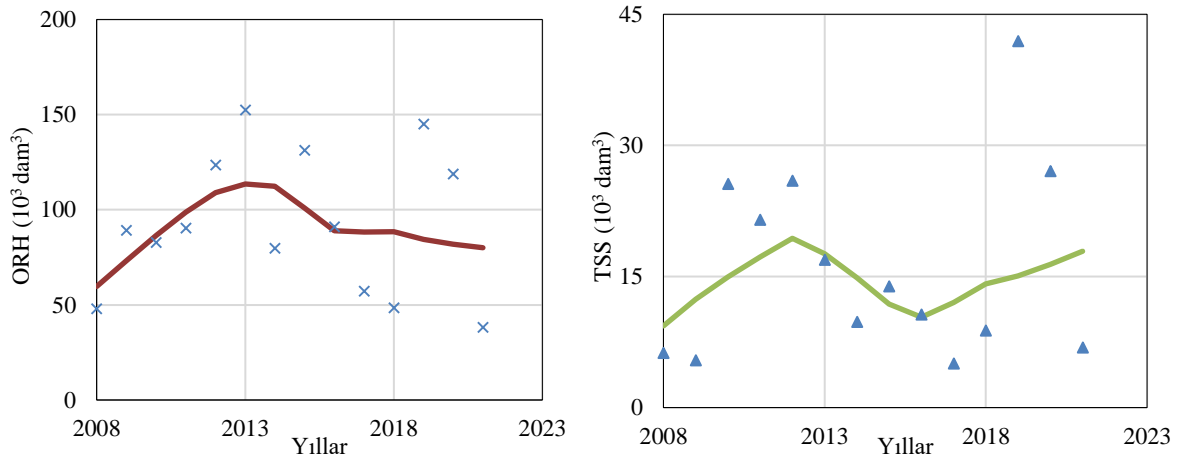
Tablo 1'e bakıldığında haziran-ağustos-eylül-ekim-kasım aylarında bazı uyuşmazlıklar olduğu görülmektedir. Haziran ayında gelen su azalış yönündeyken sarf edilen su artış yönünde bulunmuş buna mukabil istatistiksel olarak anlamlı olmasa da ortalama rezervuar hacminde artış yönünde eğilim tespit edilmiştir. Ağustos-eylül aylarında gelen ve sarf edilen su azalış eğilimdeyken ortalama rezervuar hacmi de azalış eğilimde olarak tespit edilmiştir. Ekim-kasım aylarında ise gelen su artış buna karşılık sarf edilen su azalırken ortalama rezervuar hacminde ise istatistiksel olarak anlamlı olmasa da azalış yönünde eğilim tespit edilmiştir. Bu durum farklı şekillerde açıklanabilir. Öncelikle trend analizi ile veriler bir önceki değer ile kıyaslanarak farkların toplamının işaretine göre eğilim yönüne karar verilir.

Tablo 1: 2008-2021 Mann-Kendall yöntemi istatistiksel sonuçları

	ORH			TGS			TSS		
	z	p	Eğilim	z	p	Eğilim	z	p	Eğilim
Ocak	0,06	0,96	+	-0,4	0,7	yok	-0,3	0,78	yok
Şubat	0,88	0,38	yok	0	1	+	0,33	0,74	yok
Mart	0,55	0,58	yok	0,44	0,66	yok	0,44	0,66	yok
Nisan	0,22	0,83	yok	0,66	0,51	yok	1	0,27	yok
Mayıs	0,22	0,83	yok	1	0,23	yok	0,33	0,74	yok
Haziran	0,33	0,74	yok	-2	0,07	yok	2	0,06	yok
Temmuz	0,00	1,00	-	-0,9	0,38	yok	1	0,19	yok
Ağustos	-0,55	0,58	yok	-0,5	0,62	yok	-0,9	0,38	yok
Eylül	-0,55	0,58	yok	-1	0,27	yok	-0,7	0,51	yok
Ekim	-0,38	0,70	yok	0,55	0,58	yok	-0,2	0,83	yok
Kasım	-0,77	0,44	yok	0,33	0,74	yok	-0,1	0,91	yok
Aralık	-0,33	0,74	yok	-0,4	0,66	yok	-0,3	0,74	yok

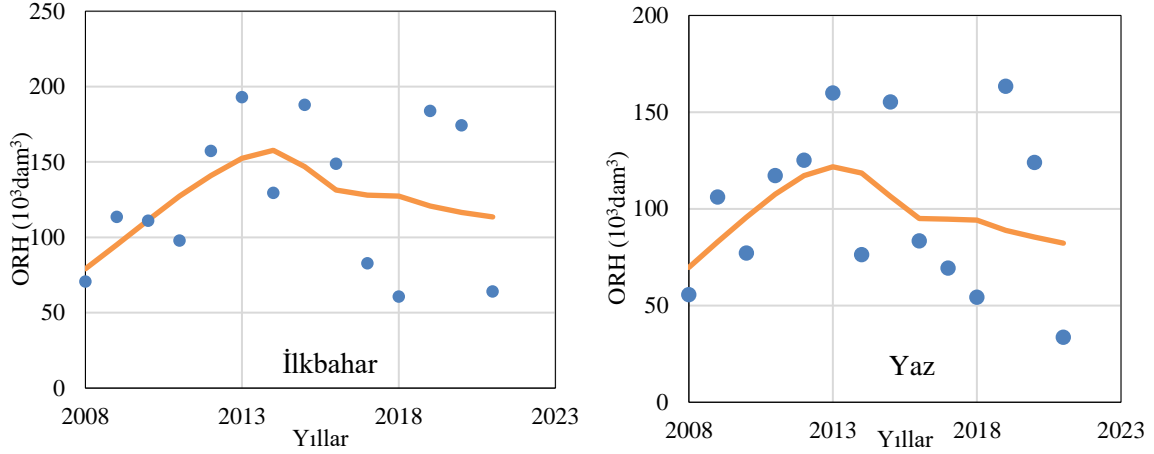
Bu açıdan bakılınca rezervuar hacminde bir birikim söz konusu olduğundan ayların yıllar bazındaki değerlendirilmesinde aylık gelen ve giden su değişimlerine hemen cevap vermesi beklenmemelidir. Öte yandan bu yıllar arasında baraj haznesine en az iki kere besleme yapılmış olması ve besleme yapılan yıllardaki rezervuar hacmindeki yükselmenin analiz sonuçlarını etkilemesidir. Bir diğer husus ise buharlaşma kayıplarının doğru tespit edilememiş olma durumudur.

Sonuç olarak Mann-Kendall yöntemiyle istatistiksel olarak anlamlı eğilimler tespit edilemediğinden z değerleri eğilim yönlerine karar vermek için kullanılmıştır. LOWESS eğrileri ise hidrolojik veri setleri eğilimlerinin görsel olarak sunulabilmesi için elde edilmiştir. ORH ve TSS bulguları Şekil 3’de sunulmuştur.



Şekil 3: ORH ve TSS yıllık veri setleri için LOWESS eğrileri

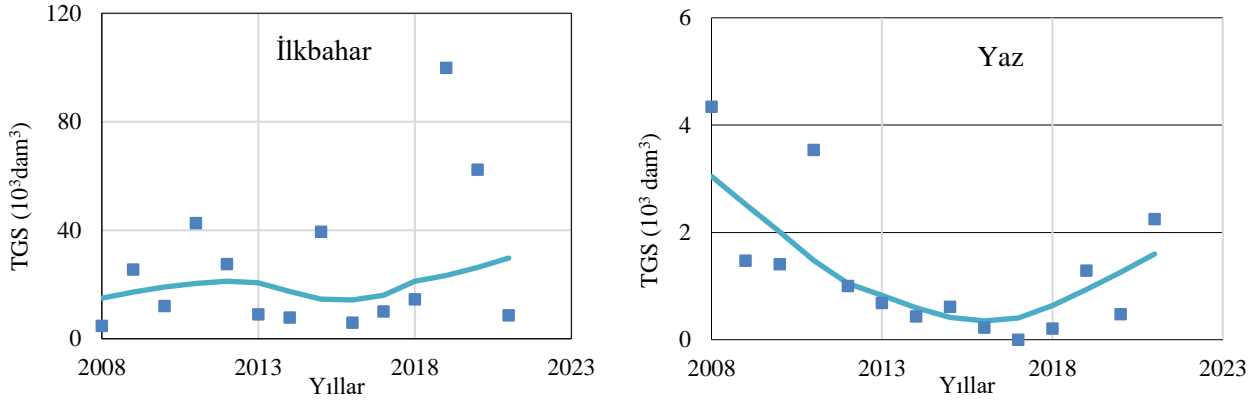
LOWESS eğrileri ile 2012-2016 yılları arası TSS hacminde azalma yönünde eğilim tespit edilmesine rağmen bu durum 2013-2016 yılları arası ORH değerlerinde artma veya değişiklik olmama yönünde değil azalma yönünde eğilim görülmesine sebep olmuştur. DSİ yetkililerinin Devegeçidi barajının beslendiğine yönelik açıklamalarının basında yer aldığı 2008 ve 2018 yıllarında aylık ortalama rezervuar hacmi verilerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. En düşük ORH değeri 2021 yılında gözlemlenmiş olup 2013-2021 ORH değerlerinde azalma yönündeki eğilim barizdir. Sıcaklığa bağlı olarak bölgedeki sulama talebi artsa da barajdan verilecek su sarfiyatı rezervuardaki su hacmine göre belirlendiği Şekil 2 LOWESS eğrilerinden görülebilmektedir. Tarımsal sulama mevsimi olarak bilinen ilkbahar ve yaz ayları mevsimsel ORH verilerindeki eğilimlerin durumu ayrıca araştırılmıştır (bkz. Şekil 4).



Şekil 4: ORH ilkbahar ve yaz mevsimsel veri setleri için LOWESS eğrileri

Şekil 4 incelendiğinde hem yaz hem de ilkbahar mevsimleri veri setinin 2014 yılında bariz bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bu durum kış ve sonbahar mevsimlerinde de gözlenmiş ancak barajın sulama amaçlı olması sebebiyle ilkbahar ve yaz mevsimleri grafikleri verilmiştir.

Ortalama rezervuar hacminde görülen azalışın nedenlerinin tespit edilebilmesi için rezervuara gelen su miktarlarındaki durum incelenmek istenmiştir. Ancak Devegeçidi baraj gölünün memba tarafına yakın akım gözlem istasyonu verilerine ulaşılamadığından aylık işletme çizelgesinde bulunan toplam gelen su (TGS) hacim verileri için LOWESS eğrileri elde edilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde TGS ilkbahar mevsimi veri setinde neredeyse bir eğilimden bahsedilemezken, yaz mevsiminde azalış yönündeki eğilim barizdir.



Şekil 5: TGS ilkbahar ve yaz mevsimsel veri setleri için LOWESS eğrileri

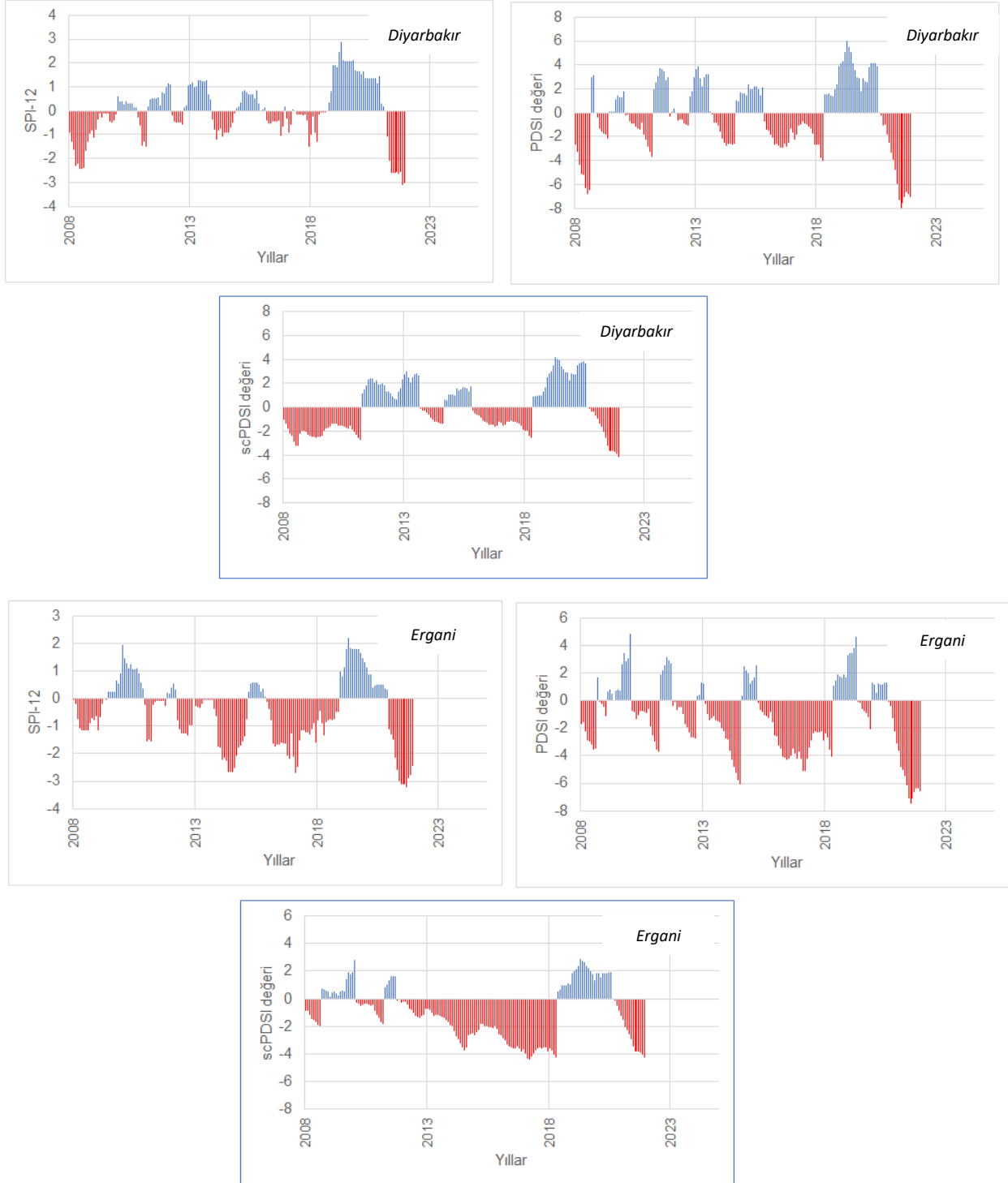
3.2 Meteorolojik Verilerin Analizi

Hidrolojik kuraklık probleminin yağış verileri ile ilişkisinin ortaya çıkarılması için Diyarbakır ve Ergani meteoroloji gözlem istasyonlarının 1965-2021 verilerine Standart Yağış İndisi (SPI), Palmer Kuraklık İndisi (PDSI) ve kendinden kalibreli Palmer Kuraklık İndisi (sc-PDSI) uygulanmıştır. Baraj işletme verilerine uyumlu olması açısından 2008-2021 değerleri Şekil 6'te sunulmuştur. [Gümüş vd. \(2021\)](#), Diyarbakır istasyonu için 1929-2016 yılları için SPI ile kuraklık analizi yaparak tarihsel kuraklığı araştırmışlardır. Söz konusu çalışmanın sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları karşılaştırıldığında örtüşen yıllarda SPI-12 değerleri uyumlu çıkmıştır. [Gümüş vd. \(2021\)](#), en yüksek kuraklık şiddetini 3.09 ile Şubat-1970 tarihinde tespit ederken, bu çalışmada en yüksek şiddet Aralık-2021 tarihinde 4,14 olarak bulunmuştur.

Şekil 3'de sunulan ORH yıllık veri setinde göreceli su azlığı tespit edilen 2008, 2017, 2018 ve 2021 yıllarında her üç kuraklık indisinin her iki istasyonda da negatif olduğu tespit edilmiştir. Bu durum barajdaki su hacminin yağıştan çok fazla etkilendiği ve meteorolojik kuraklığın çok hızlı bir şekilde hidrolojik kuraklığa sebep olabileceğinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

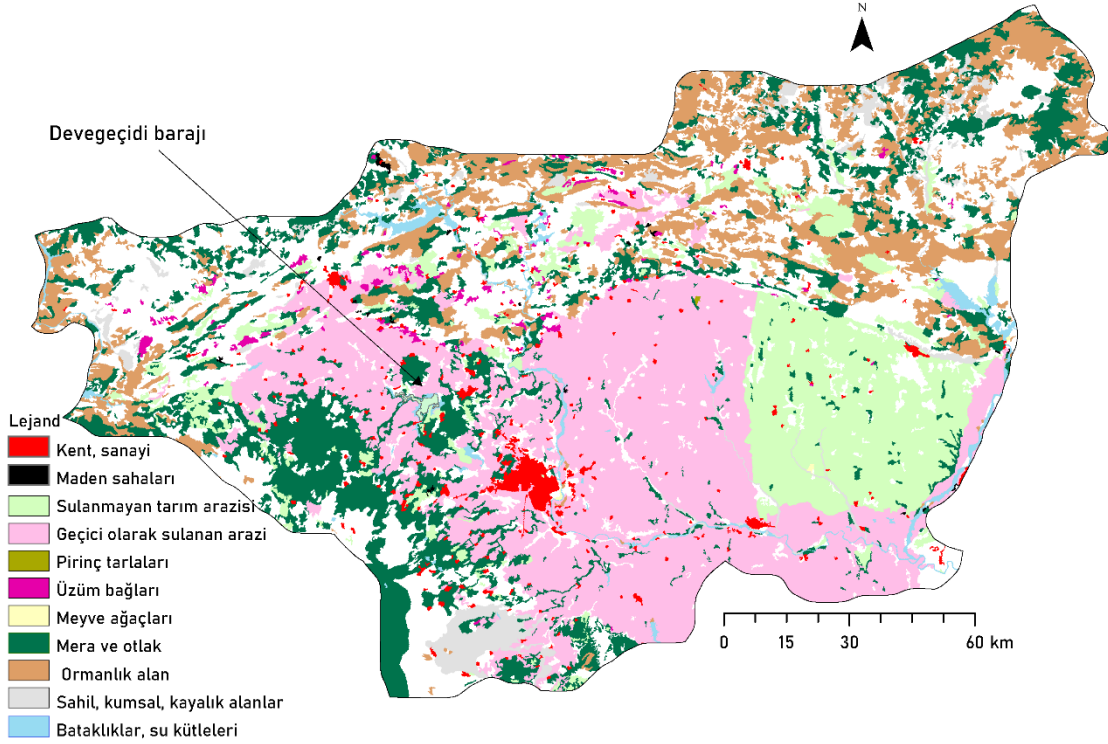
3.4 Tarımsal Verilerin Analizi

Devegeçidi planlama aşamasında bitki deseni hububat (%44,4), pancar (%6,7), pamuk (%13,3), çeltik (%22,2), sebze (%9) ve yonca (%4,4) olarak öngörülmüştür. İşletmeye açıldığı ilk yıllarda dahi bitki deseni bu öngöründen farklı gerçekleşmiştir. 1973 yılında hububat (%0,5), pamuk (%29), çeltik (%62,5), sebze (%4,5), bostan (%3,5), susam (%0,5) olmak kaydıyla 3.905 ha alan ekilmiştir.



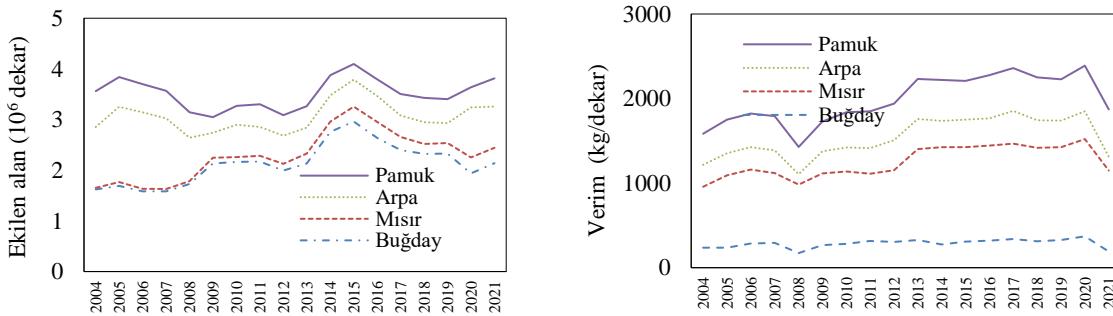
Şekil 6: 2008-2021 Diyarbakır ve Ergani meteoroloji gözlem istasyonları SPI-12, PDSI ve sc-PDSI değerleri

Pamuk ekimi ve ekili alan miktarı zaman içinde artmış, çeltik ekimi azalmıştır. 2006 yılında hububat (%13,3), pamuk (%85,9) ve sebze (%0,8) olmak üzere 5.800 ha alanda ekim yapılmıştır (Demir, 2008). Diyarbakır ili arazi örtüsü haritası Şekil 7’de verilmiştir. CORINE 2018 arazi örtüsü verilerine göre barajın memba ve mansap bölgesinde yoğun sulama bölgeleri mevcuttur. Bölgede genel olarak pamuk, arpa, mısır ve buğday ürünlerinin ekimi oldukça yoğundur.



Şekil 7: Diyarbakır ili CORINE 2018 arazi örtüsü haritası (European Environmental Agency, 2020)

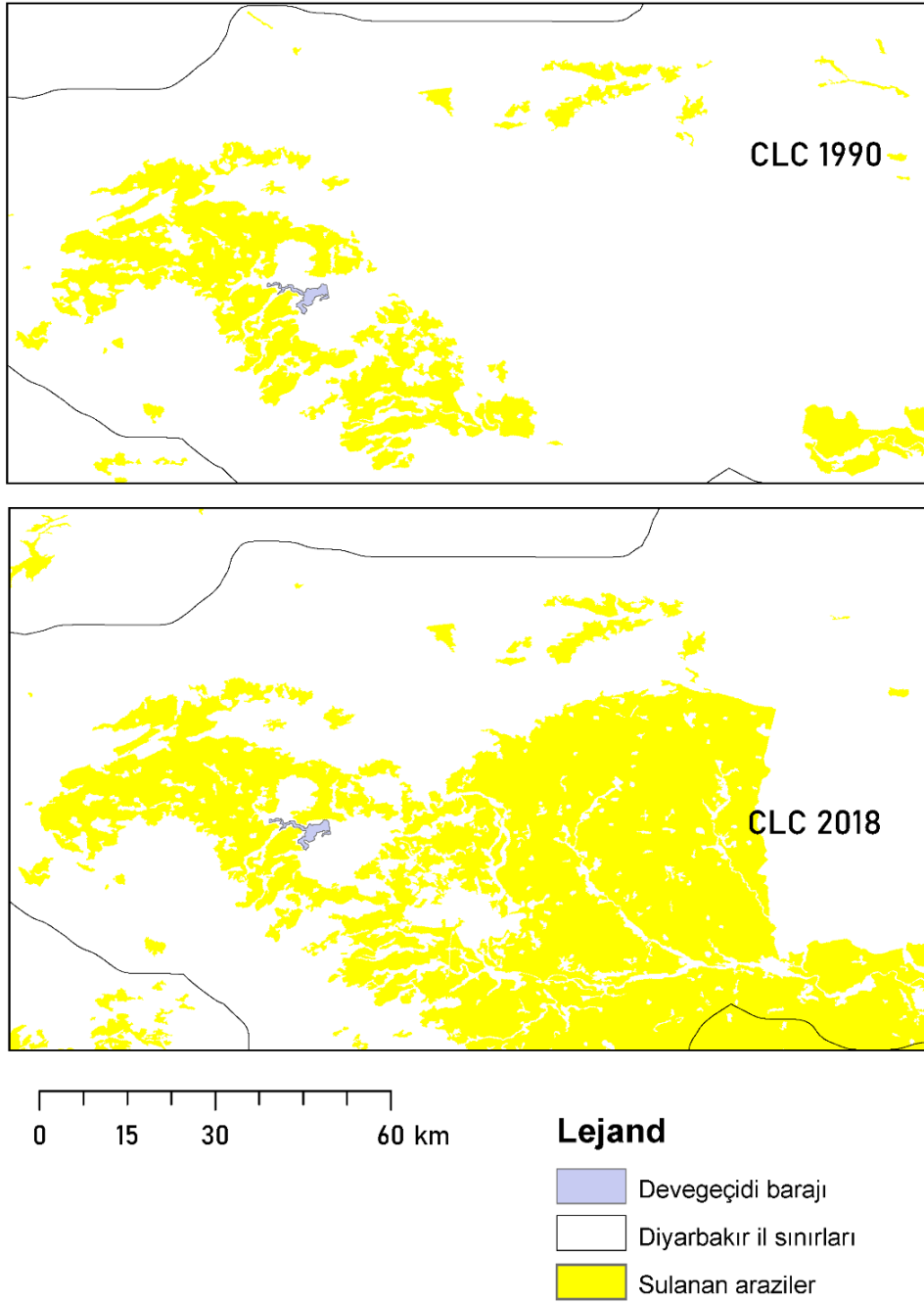
Bahsedilen tarımsal ürünlerin ekim miktarları incelendiğinde (bkz. Şekil 8) 2004 yılından 2015 yılına kadar kayda değer bir artış görülmekte, 2015'ten sonra ise bu ürünlerin ekim miktarları azalmaktadır. 2004 yılı ile kıyaslandığında özellikle mısır ve buğday ekiminde %50'ye yaklaşan bir artış söz konusudur. Şekil 2’de sunulan ORH yıllık veri setinde göreceli su azlığı tespit edilen 2008, 2017, 2018 ve 2021 yıllarında ürün ekim alanlarındaki ve verimlerdeki (2017 hariç) azalış çalışma alanı için meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığın hissedilmesinde zaman farkının neredeyse olmadığını göstermektedir. Çiftçinin ve dolayısı ile canlıların kuraklıktan etkilenmemesi için barajda su depolanmasının ve doğru işletilmesinin ne kadar önemli olduğu bir kez daha karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 8: Diyarbakır ilinde ekimi yapılan pamuk, arpa, mısır ve buğday ürünlerinin ekim alanı ve verim miktarları (Türkiye İstatistik Kurumu, 2022)

Ayrıca, GAP projesi kapsamında yapılan sulama kanalları ile bölgenin mısır üretim kapasitesinin yükselmesi dikkat çekicidir. Mısır ürünü sulama suyu gereksinimi oldukça yüksek bir ürün olarak bilinmektedir. Bu bitkinin planlama aşamasında öngörülen bitki deseninde bulunmadığına dikkat edilmelidir. Söz konusu tarımsal ürünlerin verim miktarlarının ise gerek ülkemizde gerekse dünyada tarımdaki mekanizasyon ve gübre kullanımına paralel bir şekilde arttığı görülmektedir. Şekil 8’de görselleştirilen tarımsal veriler, 2004 yılından sonrasını kapsamaktadır. Bu bağlamda Diyarbakır ilinin zemin örtüsü haritası 1990 ve 2018 yılları için Şekil 9’da karşılaştırılmıştır.

Buna göre, 1990 yılından 2018 yılına gelindiğinde sürekli sulanan tarım alanlarının kayda değer bir miktarda arttığı ve barajın mansap bölümünde sulamaya açılan alanların sıklığı artmakta görülmektedir.



Şekil 9: Devegeçidi barajı bölgesinde sulanan alanların 1990'dan 2018 yılına değişimi (European Environmental Agency, 2020)

Tarımsal sulamada verimliliği artırmadaki ana hedef daha az su ile daha fazla ürün üretmek ve birim sudan maksimum fayda elde edebilmektir. Barajlardan fazla su çekilmesinde seçilen bitki desenleri ve sulama alanlarındaki artış etkili olsa da sulama yöntemlerinin de azımsanmayacak etkileri vardır. Ülkemizde yalnızca içme sularında değil tarımsal sulamada da önemli ölçüde kayıp ve kaçaklar mevcuttur. Türkiye genelinde sulama alanlarında kullanılan sudan alınan verimin %48 olduğunu belirten çalışmalar vardır. Bu duruma gerekçe olarak ülkemizde “salma” veya “vahşi sulama” olarak ifade edilen yüzeysel sulama yöntemlerinin yaygın kullanılması gösterilmektedir. Türkiye’de kapalı sulama sistemlerinin kullanım oranı tam olarak bilinmemekle birlikte DSİ tarafından iyileştirme yapılan sulama alanlarında sulama verimliliğinin 2020 yılı itibarı ile %48,4 olduğu belirtilmektedir (STM ThinkTech Teknoloji Düşünce Merkezi, 2021). Devegeçidi barajı sulama sistemlerinin yaşlanma ve yanlış kullanım sebepleriyle hem ana kanalda hem de yedek kanallarda tahrip olduğu belirtilmiştir (Demir, 2008).

4. Sonuç

Devegeçidi barajı Diyarbakır il sınırları içinde bulunmakta olup tarımsal sulama amacı için inşa edilmiştir. Ancak, son yıllarda, baraj ciddi su tedarik problemleri ile karşılaşmış ve göl hacmi gerilemiştir. Bu çalışmada Devegeçidi baraj gölünün maruz kaldığı kuraklık problemlerinin arka planında bulunan hidrolojik, meteorolojik ve tarımsal etmenler analiz edilmiştir. 2008-2021 yılları için baraj işletim verileri Mann-Kendall testi ile analiz edilmiş ancak istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar bulunamamıştır. Bunun üzerine LOWESS eğrileri elde edilmiş ve 2012-2016 yılları arası toplam su sarfiyatı hacminde ve 2013-2021 yılları arasında ortalama rezervuar hacminde (ORH) azalma eğilimi tespit edilmiştir. Aynı zamanda toplam gelen su (TGS) değerleri yaz ve ilkbahar mevsimleri için analiz edilmiş ve veri setinde 2014 yılından itibaren azalma tespit edilmiştir. Ortalama rezervuar hacmindeki (ORH) yıllara göre değişim göz önüne alındığında 2008, 2017, 2018 ve 2021 yıllarında tespit edilen azalmalar tüm kuraklık indisleri ile uyumlu çıkmıştır.

Bölgede üretimi yapılan pamuk, arpa, mısır ve buğday gibi tarımsal ürünlerinin ekim alanı ve verim miktarlarında 2004 yılından bu yana artışların kaydedildiği gözlemlenmiştir. Bu durum, tarıma ve sulamaya açılan alanların artırıldığı anlamına gelmektedir. CORINE arazi örtüsü haritaları bu sonucu desteklemektedir. Haritalar, 1990 yılından itibaren Diyarbakır bölgesinde sulamaya açılan tarımsal alan miktarlarındaki artış gözler önüne sermektedir.

Yapılan analizler baraj gölü seviyesindeki azalmanın meteorolojik olduğu kadar tarım politikalarının bir sonucu olduğunu göstermektedir. Devegeçidi baraj örneğinde yaşanan sorun, tarımsal planlama ile su yapılarının planlanmasının birlikte yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Söz konusu durum, orta veya uzun vadeli tarımsal planlamaların hem bölgenin kendi su kaynakları hem de yakındaki diğer su yapıları gözetilerek hayata geçirilmesi anlamına gelmektedir. Bütüncül yaklaşımın ihmal edilmesi, havza bazında sürdürülebilirlik problemlerini beraberinde getireceği aşırıdır. Bu durum Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai raporunda da belirtilmiştir. Raporda Fırat-Dicle havzasında sıcaklık parametresinde artışlar ve toplam yağış parametresinde referans dönemine göre azalışlar saptandığı belirtilmiştir. Su kaynakları için yapılan çalışmada tüm senaryolar ve projeksiyon dönemlerinde en kayda değer su açığının gözlemlendiği havzalar arasında Fırat-Dicle havzası yer almaktadır. Raporda, mansaba bırakılması gereken su itibarıyla 2015'ten itibaren göz önüne alınan projeksiyon dönemi sonuna kadar su ihtiyacının havzada hiçbir şekilde sağlanamadığı ve su açığının tüm dönemler boyunca ve tüm senaryo sonuçlarına göre hissedilir bir şekilde devam ettiği sonucuna ulaşılmıştır (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016).

Sonuç olarak, 2014 yılından itibaren hissedilen kuraklığın zaman zaman düşen yağışlar ve taşınan su ile etkisi nispeten azalsa da iklim senaryoları sonuçları durumun pozitif yönde değil negatif yönde seyredeceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma gibi durum tespitlerinin kuraklık eylem planlarının gerek hazırlanma gerekse uygulanma aşamalarında katkı sunacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Akçay, S., Ul, M. A., & Gürgülü, H. (2007). Aydın yöresinde sulama yönünden kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 44(1), 137–147.
- Aktaş, S., Kalyoncuoğlu, M. Y., & Anadolu Kılıç, N. C. (2018). Eğirdir göl havzasının de martonne yöntemi ile kuraklık analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 229–238. <https://doi.org/10.21923/jesd.398521>
- Aktürk, G., & Yıldız, O. (2018). The effect of precipitation deficits on hydrological systems in the Çatalan dam basin, Turkey. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 10(2), 10–28. <https://doi.org/10.29137/umagd.441389>
- Alborzi, A., Mirchi, A., Moftakhari, H., Mallakpour, I., Alian, S., Nazemi, A., Hassanzadeh, E., Mazdiyasi, O., Ashraf, S., Madani, K., Norouzi, H., Azarderakhsh, M., Mehran, A., Sadegh, M., Castelletti, A., & AghaKouchak, A. (2018). Climate-informed environmental inflows to revive a drying lake facing meteorological and anthropogenic droughts. *Environmental Research Letters*, 13(8), Article 084010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad246>
- Cleveland, W. S. (1979). Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 74(368), 829–836. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10481038>
- Demir, N. (2006). *Diyarbakır Devegeçidi sulama şebekesinde sulama sorunları* [Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Di Baldassarre, G., Wanders, N., AghaKouchak, A., Kuil, L., Rangelcroft, S., Veldkamp, T. I. E., Garcia, M., van Oel, P. R., Breinl, K., & Van Loon, A. F. (2018). Water shortages worsened by reservoir effects. *Nature Sustainability*, 1(11), 617–622. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0159-0>
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2012). *DSİ Genel Müdürlüğü 2011 yılı faaliyet raporu*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. <https://cdnys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/759/1107/DosyaGaleri/dsi-2011-faal%C4%B1yet-raporu.pdf>
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2019). *DSİ 2018 yılı faaliyet raporu*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. <https://cdnys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/759/1107/DosyaGaleri/dsi-2018-faaliyet-raporu>
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2022, 1 Temmuz). *Dicle'den Devegeçidi'ne*. 15 Kasım 2023'de <https://dsi.gov.tr/Haber/Detay/6395> adresinden alındı.
- Edwards, D. C., & McKee, T. B. (1997). *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales* (Climatology Report No. 97-2). Colorado State University. <https://mountainscholar.org/bitstreams/66dc1ef7-ed74-4ee4-bd3b-64a1c57183f1/download>

- European Environmental Agency. (2020). *CORINE Land Cover* [Data set]. Copernicus Land Monitoring Service. <https://doi.org/10.2909/71c95a07-e296-44fc-b22b-415f42acdf0>
- GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı. (2022). *Güneydoğu Anadolu Projesi Son Durum*. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Güneydoğu Anadolu Projesi, Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı. 15 Kasım 2023'de http://www.gap.gov.tr/upload/dosyalar/pdfler/2022_GAP_SON_DURUM.pdf adresinden alındı.
- Gümüş, V., Dinsever, L. D., & Şimşek, O. (2021). Diyarbakır İstasyonunda 1929–2016 boyunca tarihsel kuraklığın yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 362–373. <https://doi.org/10.21324/dacd.884682>
- Güzel, V. (2005). *UVVIS spektrometresi ile Devegeçidi baraj suyunun analizi* [Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Harita Genel Müdürlüğü. (2022). *Diyarbakır Fiziki İl Haritası*. 15 Kasım 2023'de <https://www.harita.gov.tr/urun/diyarbakir-fiziki-il-haritasi/420> adresinden alındı.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Kaya, N. (2010). *Devegeçidi (Diyarbakır) baraj gölü'nde yaşayan Kefalin (Liza abu Heckel, 1846) bazı biyolojik özellikleri üzerine bir araştırma* [Yüksek lisans tezi, Van Yüzüncüyıl Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods* (4th ed.). Charles Griffin.
- Kılıç, A., (2013). Diyarbakır-Devegeçidi barajı kuşları. Y.K. Haspolat, N. Tekel, O. Kavak, N. Hamidi, R. Demirel, D. Şentürk Demirel, A. Akaydın, M. Tomar (Eds.), *Diyarbakır yerüstü kaynakları 2* (pp. 5–15). Uzman Matbaacılık ve Ciltleme.
- Koç, C., Dağdelen, N., Yılmaz, E., & Akçay, S. (2009). Su eksikliği çekilen havzalarda sulama suyu yönetimi üzerine bir çalışma. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(1), 9–20.
- Lanier, R. L. (2015). *An integrated drought index (IDI) incorporating physical and social aspects* [MSc thesis, The University of Southern Mississippi]. The Aquila Digital Community. https://aquila.usm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1160&context=masters_theses
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January 17-22). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California.
- Moran, G. W., (1984). *Locally weighted regression scatter plot smoothing (LOWESS): A graphical exploratory data analysis technique* [MSc thesis, Naval Postgraduate School]. Dudley Knox Library. <https://core.ac.uk/download/pdf/36712654.pdf>
- Önöz, B., & Oğuz, B. (1996). İstanbul su temini sistemi ve kuraklık analizi. *Teknik Dergi*, 7(31), 1083–1096.
- Özdemir, A. (2021). İklim değişikliğinin havza ölçeğinde akım ve sediman miktarına etkilerinin değerlendirilmesi: Yuvacık baraj gölü havzası. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 45(1), 129–154. <https://doi.org/10.24232/jmd.941528>
- Özelkan, E., & Karaman, M. (2018). Baraj Göllerindeki Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklığın Etkisinin Çok Zamanlı Uydü Görüntüleri İle Analizi: Atıkhisar Barajı (Çanakakale) Örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 1023–1037. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.443230>
- Özfidaner, M., & Gönen, E. (2021). Drought analysis for Adana province in terms of irrigation scheduling. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 34(1), 79–85. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.775891>
- Özfidaner, M., Şapolyo, D., & Topaloğlu, F. (2018). Seyhan havzası akım verilerinin hidrolojik kuraklık analizi. *Toprak Su Dergisi*, 7(1), 57–64. <https://doi.org/10.21657/topraksu.410140>
- Özgün, G., Vaheddoost, B., & Aras, E. (2020). Standart yağış indeksi (SPI) metodu kullanılarak kuraklık analizi ve Bursa Doğancı Barajı ile ilişkilendirilmesi. *Academic Perspective Procedia*, 3(2), 876–885. <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.02.23>
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological Drought* (Research Paper No. 45). U.S. Department of Commerce. https://www.droughtmanagement.info/literature/USWB_Meteorological_Drought_1965.pdf
- Sırdaş, S., & Şen, Z. (2003). Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması. *İTÜ Dergisi*, 2(2), 95–103.
- STM ThinkTech Teknoloji Düşünce Merkezi. (2021). *Su Güvenliği II: Sürdürülebilirlik ve İklim Değişikliği Bağlamında Türkiye'deki Mevcut Durum*. 15 Aralık 2023'de <https://thinktech.stm.com.tr/tr/su-guvenligi-ii-surdurulebilirlik-ve-iklim-degisikligi-baglaminda-turkiyedeki-mevcut-durum> adresinden alındı.
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*. 15 Kasım 2023'te https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%20C4%9Fi%20C5%9Fikli%20C4%9Finin%20su%20kaynaklar%20C4%B1na%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf adresinden alındı.
- Svendsen, M., & Nott, G. (1999). *Irrigation management transfer in Turkey: process and outcomes*. EDI Participatory Irrigation Management Case Studies Series. World Bank.
- Tatlı, H., & Türkes, M. (2011, 27-29 Nisan). *Palmer kuraklık şiddeti ve standartlaştırılmış yağış indislerinin Türkiye üzerinde karşılaştırılması*. 5th Atmospheric Science Symposium, İstanbul, Turkey.
- Tigrek, S., & Aras, T. (2011). *Reservoir sediment management* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11615>
- Tigrek, S., & Kibaroglu, A. (2011). Strategic role of water resources for Turkey. In A. Kibaroglu, W. Scheumann & A. Kramer (Eds.), *Turkey's Water Policy* (pp. 27–42). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19636-2_2
- Tigrek, Ş., Göbelez, Ö., & Aras, T., (2009). *Sustainable management of reservoirs and preservation of water quality*. 15 Kasım 2023'de <https://www.idaea.csic.es/meliaproject/sites/default/files/517612-MELIA-Sustainable-management-of-reservoirs-and-preservation-of-water-quality.pdf> adresinden alındı.
- Tigrek, Ş., Şarлак, N., & Muratoğlu, A. (2022, 13-14 Ekim). *Devegeçidi baraj gölü kuraklık analizi* [Bildiri Sunumu]. 11. Ulusal Hidroloji Kongresi, Gaziantep, Türkiye.
- Turan, E. S. (2018). Turkey's drought status associated with climate change. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 63–69. <https://doi.org/10.21324/dacd.357384>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). *Merkezi Dağıtım Sistemi, Biruni Veritabanı*. 15 Kasım 2023'te <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/> adresinden alındı.
- Türkes, 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_0000000063

- Türkeş, M. (2020). İklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliğine etkileri: bilimsel bir değerlendirme. *Ege Coęrafya Dergisi*, 29(1), 125–149.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2004). *Appendix D: Mann-Kendall analysis*. <https://www.statisticshowto.com/wp-content/uploads/2016/08/Mann-Kendall-Analysis-1.pdf>
- Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Batlles-de-laFuente, A., & Fidelibus, M. D. (2019). Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water*, 11(9), Article 1758. <https://doi.org/10.3390/w11091758>
- Wells, N., Goddard, S., & Hayes, M. J. (2004). A self-calibrating palmer drought severity index. *Journal of Climate*, 17(12), 2335–2351.
- World Meteorological Organization. (2012). *Standardized precipitation index user guide*. <https://library.wmo.int/records/item/39629-standardized-precipitation-index-user-guide>
- Yalcin, E., & Tigrek, S. (2017, October 11). The Tigris hydropower system operations: the need for an integrated approach. *International Journal of Water Resources Development*, 35(1), 110–125. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1369867>
- Yıldırım, Y. E. (2002). Salihli yöresinde sulama açısından kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 39(3), 113–120.