



FIRAT ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER DERGİSİ

Journal of Social Sciences

p-ISSN:1300-9702 e-ISSN: 2149-3243



BENDİMAHİ ÇAYI (VAN GÖLÜ KAPALI HAVZASI) HİDROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ

Hydrological Drought Analysis of Bendimahi Stream (Van Lake Closed Basin)

M. Murat KALE¹ ve Neşe DUMAN²

¹Doç. Dr., Çankırı Karatekin Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Çankırı, mmuratkale@gmail.com, orcid.org/ 0000-0001-6975-7069

²Doç. Dr., Çankırı Karatekin Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Çankırı, nesekduman@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-5398-8388

Araştırma Makalesi/Research Article

Makale Bilgisi

Geliş/Received:
24.03.2024

Kabul/Accepted:
20.05.2024

DOI:

10.18069/firatsbed.1458082

Anahtar Kelimeler

Bendimahi Çayı, Hidrolojik Kuraklık, SDI, Eğilim Analizi

Keywords

Bendimahi Stream, Hydrological Drought, SDI, Trend Analysis

ÖZ

Kuraklık ve yaygın etkileri çağımızın en büyük problemlerinden biridir. Kuraklığa bağlı olarak su kaynakları üzerindeki baskı her geçen gün artmaktadır. Van Gölü Kapalı Havzası, kuraklığın farklı boyutlarının güncel olarak yaşandığı sahalar arasındadır. Bu çalışmada Van Gölü'nün önemli su toplama alanlarından birini drene eden Bendimahi Çayı'ndaki hidrolojik kuraklık araştırılmıştır. Çalışma sahasındaki hidrolojik kuraklığın ve kurak yılların saptanması için Akarsu Kuraklık İndisi (SDI) kullanılmıştır. Elde edilen bulgular akım, sıcaklık ve yağış verileri ile bir arada değerlendirilerek eğilim analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede daha anlamlı sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Çalışma bulguları kırk ardışık su yılının %48,5'inde hidrolojik kuraklık gerçekleştiğini göstermektedir. Hidrolojik kurak on dokuz su yılı içinde SDI sınıf aralıklarına göre en büyük kuraklığın 2001 su yılına tarihlendiği belirlenmiştir. Akarsu akımlarında aralık, ağustos ve eylül aylarında istatistiksel açıdan anlamlı azalma eğilimleri gerçekleştiği saptanırken, SDI indislerinde anlamlı bir eğilimin varlığı tespit edilmemiştir. Yağışlarda istatistiksel açıdan anlamlı herhangi bir eğilim olmamasına karşın yaz ve kış aylarına ait sıcaklık değerlerinde istatistiksel açıdan anlamlı artış eğilimleri gerçekleştiği saptanmıştır.

ABSTRACT

Drought and its widespread impacts are one of the biggest problems of our time. The pressure on water resources due to drought is increasing day by day. The Lake Van Closed Basin is among the areas where different dimensions of drought are currently experienced. In this study, hydrological drought in Bendimahi Stream, which drains one of the important catchment areas of the Lake Van, was investigated. In this context, the Stream Drought Index (SDI) was used to determine the hydrological drought years in the area. The results were evaluated together with flow, temperature and precipitation data and trend analysis was carried out. In this way, it was aimed to reach more meaningful results. The findings of the study show that hydrological drought occurred in 48.5% of forty consecutive water years. Among the nineteen hydrologically dry water years, it was determined that the greatest drought was dated to 2001 according to SDI class intervals. While statistically significant decreasing trends in stream flows were observed in December, August and September, no significant trend was detected in SDI indices. Although there was no statistically significant trend in precipitation, there were statistically significant increasing trends in summer and winter temperature values.

Atf/Citation: Kale, M. M. ve Duman, N. (2024). Bendimahi Çayı (Van Gölü Kapalı Havzası) Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Firat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 34, 2, 499-516.

Sorumlu yazar/Corresponding author: Neşe DUMAN, nesekduman@gmail.com

1. Giriş

Kuraklık, içinde bulunduğumuz dönemde ekosistemin karşı karşıya kaldığı büyük sorunların başında yer alır (Hao ve Singh, 2015; Aydın vd., 2017; Türkeş, 2012a). Kuraklığın sıklık, büyüklük ve süresine bağlı olarak başta suya erişim olmak üzere gıda güvenliği, insan sağlığı ve suya dayalı ekonomik faaliyetler gün geçtikçe artan bir tehdit ile karşı karşıyadır (Pandey ve Bhandari, 2009). Dünya genelinde afet boyutuna ulaşan kuraklık ve kuraklığın ikincil etkilerine bağlı olarak her yıl milyarlarca Amerikan doları tutarında ekonomik kayıp gerçekleşmektedir (Pandey ve Bhandari, 2009). Giderek artan ekonomik kayıpların yanı sıra ekosistem kuraklığa bağlı olarak yeniden şekillenmekte ve biyotik üyelerin çok büyük bir kısmı yeniden şekillenen ekosisteme adapte olmaya çalışmaktadır (Ding vd., 2011).

Doğal süreçlere bağlı olarak gelişen ve aynı zamanda beşerî faaliyetlerle tetiklenen kuraklık (Wilhite ve Glantz, 1985) en yalın haliyle; doğal su mevcudiyetinin belirli bir süre boyunca bölgesel düzeyde uzun vadeli ortalamanın veya normalin altına düşmesine bağlı olarak gelişen su açığı olarak tanımlanmaktadır (Türkeş, 2012). Kuraklık hidrolojik çevrim sistemindeki yağış ve sıcaklık anomalilerinin yanı sıra antropojen faaliyetler ve bu faaliyetlerin iklim elemanları üzerindeki etkileri ile yakından ilişkili olup oldukça dinamik ve son derece karmaşık bir süreçtir (Sırdaş ve Şen, 2003; Mishra ve Singh, 2010). Dünyanın herhangi bir bölgesindeki su açığını temsil eden kuraklığın meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyoekonomik boyutları bulunmaktadır (Wilhite ve Glantz, 1985; Türkeş, 2017; İrcan ve Duman 2021). Özellikle negatif yağış ve pozitif sıcaklık anomalileri ile kendini gösteren meteorolojik kuraklığın belirli bir bölgede uzun süre devam etmesi halinde hidrolojik, tarımsal ve sosyoekonomik kuraklıklar birbirleri ile etkileşim halinde gelişim sürecine girmektedir (Wilhite ve Glantz, 1985; Nalbantis ve Tsakiris, 2009; Van Loon, 2015).

Hidrolojik kuraklık; akarsularda, göllerde, rezervuarlarda ve akiferlerde genellikle uzun süren meteorolojik kuraklık akabinde düşük su miktarının belirgin hale gelmesi olarak tanımlanmaktadır. Yer altı ve yer üstü su kaynakları, yağış ve sıcaklık anomalilerine bağlı olarak su bütçelerinde açık verebilmekte olup bu durum hidrolojik kuraklığın gelişimini tetikleyen en önemli unsurların başında gelmektedir (Nalbantis ve Tsakiris, 2009; Van Loon, 2015; Gümüş, 2017). Su kaynakları, beslenme alanlarında gerçekleşen negatif yönlü yağış veya pozitif yönlü sıcaklık anomalilerine eş zamanlı olarak tepki vermeyebilir. Su toplama alanına ait yapı, litoloji, hidroloji gibi birçok özellik ile yakından ilişkili olan bu duruma bağlı olarak yer üstü su kaynakları hidrolojik kuraklığa ait izleri yaygın olarak yer altı su kaynaklarına göre daha önce sergilemektedir (Hisdal vd., 2004).

Küresel ölçekte gerçekleştirilen hidrolojik kuraklık projeksiyonu; 21. yüzyıl boyunca Güney Amerika, Güney Afrika, Avustralya ve Akdeniz’de düşük akım rejimlerinde negatif yönlü eğilimleri işaret etmektedir (Wanders vd., 2014). 21. yüzyılda yerkürenin %40-52’sinde düşük akım rejimlerinde azalma eğilimi gerçekleşmesi beklenirken, karın hâkim olduğu iklim kuşaklarında ise düşük akım rejimlerinde görece artış gerçekleşmesi öngörülmektedir (Wanders vd., 2014). Benzer şekilde Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), Özel Raporu’nda (IPCC-SREX) iklim değişikliğinin bir sonucu olarak 21. yüzyılda kuraklığın belirli mevsimlerde ve bölgelerde yoğunlaşacağı bildirilmekte olup (Seneviratne vd., 2012) rapor artan kuraklıkla beraber su kaynaklarındaki miktarsal azalmanın Dünya genelinde tehlikeli boyutlara ulaşacağını işaret etmektedir. İçinde bulunduğumuz yüzyılda kuraklıktan etkilenecek bölgelerin alansal büyüklük ve maruz kalacakları kuraklık şiddetleri farklı projeksiyonlarda değişkenlik göstermekle birlikte (Wanders vd., 2014; Trenberth vd, 2014; Dai ve Zhao, 2017) farklı çalışmalar özellikle Akdeniz Havzası’nda hidrolojik kuraklık ve kuraklığa bağlı etkilerin önemli boyutlara ulaşacağını işaret etmektedir (Giorgi ve Lionello, 2008; Ruffault vd., 2014; Türkeş, 2020; Trambay vd., 2020).

Akdeniz Havzası’nın doğusunda yer alan Türkiye farklı sıcaklık ve yağış anomalilerine ev sahipliği yapmaktadır (Türkeş, 1999; Türkeş vd., 2009; Toros, 2012; Polat ve Sunkar, 2017; Avcı, 2023). 1975-2008 yılları arasında yağış artış eğiliminin görece egemen olduğu sonbahar ayları dışında, Türkiye’nin büyük bölümünde mevsimsel ve yıllık yağışlarda azalma eğilimi gerçekleştiği saptanmıştır (Çiçek ve Duman, 2015). Aynı dönemde Türkiye’nin kuzey kıyılarında yaz ayları dışında yağışlarda artış eğilimi görülürken, güney ve orta bölgelerinde ise azalma eğilimi tespit edilmiştir (Çiçek ve Duman, 2015). 1929-2009 yılları arasında Türkiye kuraklık deseninde, aşırı kurak bölgelerin geniş alan kapladığı belirlenmiştir (Akbaşı, 2014). Kuraklık su kaynakları üzerinde de kendini göstermekte olup, farklı araştırmacılar tarafından Türkiye’nin farklı su toplama alanlarında sınırlı sayıda gerçekleştirilen çalışmaların ortak çıktısı (Koçman, 1993; Gümüş, 2017;

konumdadır. Havzanın doğu sınırını oluşturan su bölüm çizgisi aynı zamanda Türkiye-İran kara sınırının belirli bir kısmına ev sahipliği yapmaktadır. Kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda hareket eden akarsuyun en önemli yan kolları Huni, Karasu ve Kaymaz çaylarıdır. Havzanın kuzeyindeki dağlık araziden akışa geçen sular Huni Çayı tarafından, Çaldıran Ovası'nın etrafındaki dağlık araziden akışa geçen sular ise Kaymaz ve Karasu çayları tarafından akarsuya katılır. Çaldıran Ovası çıkışında, Gündürme Boğazı girişinde oldukça yüksek debiye ulaşan akarsu Muradiye Ovası'nı geçerek Van Gölü'ne dökülmektedir (Şekil 1). Akarsu, Bendimahî Şelalesi'nin akış aşağısında menderesler çizmekte olup birçok kopmuş menderes gölünün oluşumuna neden olmuştur.

Bendimahî Çayı'nın göle döküldüğü noktada akarsuyun kendi adıyla anılan, Van Gölü'ndeki önemli deltalardan biri yer alır. Bendimahî Deltası ile akış yukarısında yer alan Bendimahî Şelalesi arasında kalan alan aynı zamanda Türkiye'nin önemli sulak alanları arasında yer almakta olup bu saha 10.06.2016 tarihinde tescil edilerek Ulusal Öneme Haiz Sulak Alan statüsüne alınmıştır (DKMP, 2023). Söz konusu sulak alan yöreye özgü endemik bir sürüngen türü olan *Darevskia bendimahiensis* için yaşam alanı oluşturur. Akım miktarındaki düşüş ve şelalede yaşanan kuruma haberleri ile sıklıkla gündeme gelen akarsu yine sahaya özgü endemik *Capoeta Cosswigi* ve *Oxynoemacheilus Ercisianus* balık türlerinin doğal yaşam alanı konumundadır (Elp vd., 2016).

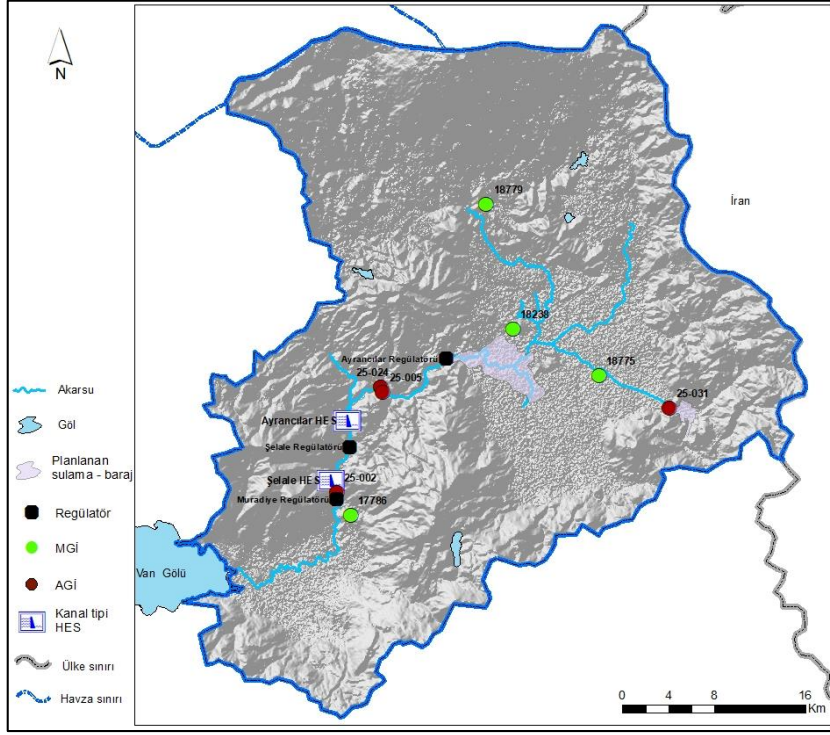
Serbest su yüzeyi dışında kalan Van Gölü Kapalı Havzası'nın yaklaşık %14'ü Bendimahî Çayı ve yan kolları tarafından drene edilmektedir. Bu bağlamda Bendimahî Havzası, Van Gölü Kapalı Havzası'nın büyük alt havzalarından biri, Bendimahî Çayı ise Van Gölü'ne su taşıyan büyük drenaj alanına sahip akarsulardan biri konumundadır.

Çalışma sahasında yer alan en yaşlı birimler Paleozoik-Mezozoik yaşlı Bitlis Masifine üye kayaçlardan (gnays, kuvarsit, mermer ve şist) oluşmaktadır (Acarlar vd., 1991). Üst Kratese yaşlı ofiyolitik seriye üye kayaçlar Bitlis Masifinin üzerinde yüzeylenmekte olup Üst Kratese-Paleosen ve Alt-Orta Eosen yaşlı volkanik kayaçlar ile Eosen-Miyosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayaçlar ofiyolitik serinin üzerinde yer almaktadır (Acarlar vd., 1991). Sahadaki en genç birimler ise Pliyosen-Kuvaterner yaşlı sedimanter örtü kayaçlarından ve alüvyondan oluşmaktadır (Acarlar vd., 1991). Saha tektonik açıdan oldukça hareketlidir. 1/250.000 ölçekli Türkiye diri fay haritası Doğubayazıt ve Başkale paftaları dikkate alındığında bölgedeki önemli aktif fayların sağ yönlü doğrultu atım karakterinde olan Erciş Fayı ve Çaldıran Fayı olduğu anlaşılır. Gündürme Boğazı'nın kuzey doğusundan geçen Çaldıran Fayı kuzeybatı-güneydoğu aksında Çaldıran Ovası'nı katetmektedir. Ovada Kaydırmaz Çayı, yer yer fay doğrultusuna paralel bir yatak içerisinde hareket etmektedir. Benzer geometriye sahip olan Erciş Fayı ise Bendimahî Deltası'nın kuzeyinden, Erciş ilçe merkezi kuzeyi ile Muradiye ilçe merkezinin güneyinde yer alan hat boyunca hareket ederek Muradiye Ovası'na doğru uzanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Van Gölü'nün önemli sulak alanları arasındaki Bendimahî Deltası'nın oluşum ve gelişimi üzerinde önemli bir rol üstlenen Bendimahî Çayı'ndaki hidrolojik kuraklığın araştırılması bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bendimahî Çayı'na ait hidrolojik kuraklık bulguları, akarsuya ait akım analizleri ve havzaya ait yağış-sıcaklık eğilimleri ile bir arada değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada gerekli olan analiz ve hesaplamalar için temelde iki farklı veri seti kullanılmıştır. Hidrolojik kuraklık ve akım analizlerinin araştırılması için hidrometrik veri seti, yağış-sıcaklık eğilimlerinin araştırılması için ise klimatolojik veri seti kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan hidrometrik veri seti akım gözlem istasyonu (AGİ), klimatolojik veri seti ise meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) rasatlarından elde edilmiştir. Temel veri setinin zaman serileri olduğu bu çalışmada, serilerin elde edilmesi için öncelikli olarak havzadaki istasyonlar tespit edilerek çalışma ön koşullarını sağlayıp sağlamadıkları sorgulanmış, hesaplama ve analizlerde ön koşulları sağlayan istasyon rasatları kullanılmıştır. Saha genelinde tespit edilen AGİ, MGİ, Hidroelektrik Santral (HES) ve regülatörlerin konumları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. AGİ, MGİ, HES ve regülâtörlerin konum haritası.

Bendimahi Çayı Havzası'nda yer alan AGİ'lere ait temel bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Hidrometrik zaman serisinin elde edileceği istasyonların tespit edilmesi için üç temel sınır koşul belirlenerek, sahada yer alan istasyonların bu sınır koşulları sağlayıp sağlamadığı öncelikli olarak sorgulanmıştır. Bu isterler; (i) istasyonun akış yukarısında, akarsu akımı üzerinde belirgin düzeyde değişiklik gerçekleşmesine neden olan beşerî bir yapı olmaması (Altın vd. 2019, Kale, 2021a), (ii) AGİ'ye ait rasat süresinin otuz yıl veya daha üzerinde bir döneme ait olması (Bayazıt, 1995; Kahya ve Kalaycı, 2004; Kale, 2021b) ve (iii) AGİ'deki rasat verilerinin sürekli olması veya olabildiğince az düzeyde kesintiye uğramış olması (Bayazıt, 1995) olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Sahada yer AGİ'lere ait temel bilgiler.

İstasyon			Rasat				
Adı	Numarası	Yükseklik (m)	Drenaj alanı (km ²)	Enlem (K)	Boylam (D)	Tipi	Aralığı
Muradiye	EİE-25002	1.685	1.664	39° 00' 00"	43° 44' 53"		1943-1965
Göndürme	EİE-25005	1.915	1.375	39° 05' 16"	43° 47' 37"	Günlük akım (m ³ /sn)	1964-2011
Göndürme	DSİ-25024	1.910	1.425	39° 05' 15"	43° 47' 37"		1976-2010
Çubuklu	DSİ-25031	2.080	102	39° 04' 37"	44° 05' 17"		1985-2010

Akarsu üzerinde inşa edilen baraj, gölet, regülâtör veya depolamalı HES benzeri antropojen yapılar akarsu akımını doğudan kontrol etmekte olup (Işık vd., 2006; Kale ve Ataoğlu, 2021) bu durum istasyon konumuna bağlı olarak, akarsu yatağında akışa geçen su miktarının doğru olarak ölçülememesine neden olmaktadır. Çalışma sahasında akımı kontrol eden ilk regülâtör Muradiye Ovası sulama projesi kapsamında Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 1972 yılında Muradiye Şelalesi'nin akış aşağısında inşa edilmiştir (Şekil 2). Akabinde Bendimahi Çayı hidroelektrik potansiyeli dikkate alınarak, akarsu üzerinde kanal tipi HES'ler planlanmış ve santraller 2011 tarihinde devreye alınmıştır. Bu kapsamda Ayrancılar regülâtörü ile Çaldıran Ovası çıkışında kontrol edilen akım, iletim yapıları ile Ayrancılar HES'ine yönlendirilmektedir. Benzer şekilde Ayrancılar HES'i akış aşağısında devreye alınan Şelale regülâtörü ile akarsu yatağındaki su tekrar regüle edilmekte ve akarsu akımı

Muradiye Şelalesi'nin yaklaşık bir kilometre mansabından Şelale HES'ine yönlendirilmektedir. Çaldıran Ovası çıkışından itibaren inşa edilen su yapıları nedeni ile Bendimahi Çayı'ndaki akarsu akımı tümüyle kontrol altına alınmış durumdadır. Bu nedenle özellikle Göndürme Boğazı'nın akış aşağısında yer alan istasyonlara ait rasat verileri regülatörler devreye girdikten sonra (i) numaralı çalışma isterini karşılamamaktadır. Sahada bulunan EİE-25002 numaralı AGİ 1.664 km² drenaj alanı ile çalışma sahasın %84'ünü temsil etmektedir. Buna karşın işletmeye alındığı 1943 yılı ile devre dışı kaldığı 1965 yılları arasında sadece iki su yılına ait rasat verisine ulaşılmıştır. Bu bağlamda istasyon (ii) numaralı çalışma isterini karşılayamamaktadır. Sahadaki bir diğer istasyon olan DSİ-25024 numaralı AGİ, 1976-2010 döneminde yirmi üç yıllık kesintili rasat verisine sahiptir. 2010 yılı sonrasında AGİ'ye ait rasat verisine ulaşamamıştır. İstasyon (ii) numaralı çalışma isterini karşılamamaktadır. EİE-25005 numaralı AGİ, 1964-2011 döneminde kırk üç yıllık rasat verisine sahip olup Ayrancı Regülatörü öncesinde, istasyondaki akımı doğudan kontrol etmekte olan bir yapının etkisinde kalmamıştır. DSİ-25031 AGİ ise konumu gereği sadece havzanın %5'ini drene etmekte olup 1985-2015 yılı arasında sadece on üç yıllık rasat verisine sahiptir. Sahadaki istasyonlar sınır koşullar ile bir arada değerlendirildikten sonra EİE-25005 Göndürme istasyonunun çalışma isterlerinin tümünü karşıladığı saptanarak, kullanılmasına karar verilmiştir. İstasyona ait 1972-2011 dönemindeki kırk su yılına ait günlük akım verisinden (m³/sn) oluşan veri seti hidrolojik kuraklık hesaplama ve akarsu akımına ait eğilim analizlerinde kullanılmıştır.

Sahada yer alan MGİ'lere ait temel bilgiler Tablo 2'de verilmiştir. Hidrometrik zaman serilerine benzer şekilde, klimatolojik zaman serisinin elde edileceği istasyonların belirlenmesi için de bazı sınır koşullar dikkate alınarak sahada yer alan istasyonların bu sınır koşulları sağlayıp sağlamadığı öncelikli olarak araştırılmıştır. Bu isterler; (i) istasyonun akarsu drenaj alanı içerisinde olması, (ii) istasyondaki ölçümlerinin klimatolojik çalışmalarda asgari süreyi temsil eden otuz yıl ve daha üzeri süreyi karşılaması (Kahya ve Kalaycı, 2004; Aydın ve Raja, 2016) ve (iii) istasyon verilerinin kesintisiz veya en az düzeyde kesintiye uğraması (Bayazit, 1995) olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Sahada yer MGİ'lere ait temel bilgiler.

İstasyon					Rasat	
Adı	Numarası	Yükseklik (m)	Enlem (K)	Boylam (D)	Tipi	Aralığı
Muradiye	17786	1.706	38° 59' 23"	43° 45' 46"		1962-2022
Çaldıran	18238	2.055	39° 08' 17"	43° 55' 28"	Aylık	2012-2022
Çaldıran Bezirhane	18775	2.019	39° 06' 06"	44° 00' 42"	toplam yağış miktarı (mm)	2015-2022
Çaldıran Aşağıyanıktaş	18779	2.188	39° 14' 09"	43° 53' 45"	ve Aylık ortalama sıcaklık (°C)	2015-2022

Bendimahi Çayı Havzası'nda Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilen dört istasyon yer almakta olup bu istasyonlar Muradiye (17786), Çaldıran (18238), Çaldıran Bezirhane köyü (18775) ve Çaldıran Aşağıyanıktaş köyü (18779) istasyonlarıdır. İstasyonların tümü (i) numaralı isteri karşılamakla birlikte sadece Muradiye MGİ (ii) numaralı isteri karşılamaktadır. Muradiye istasyonu için 1963-2011 döneminde manuel kayıt alınmış olup, 2010-2022 döneminde ise otomatik olarak (OMGI) kayıt alınmıştır. Çalışma isterleri dikkate alınarak Muradiye MGİ veri setinin çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir. İstasyona ait aylık toplam yağış miktarı (mm) ve ortalama sıcaklık (°C) değerlerinden oluşan veri seti hesaplama ve analizlerde kullanılmıştır.

Bu çalışmada hidrolojik kuraklığın araştırılması için akarsu kuraklık indisi (Streamflow Drought Index-SDI) kullanılmıştır. Akarsu kuraklık indisi, toplam akış hacmini kullanarak hidrolojik kuraklığın başlangıç ve süresinin tespiti için geliştirilmiş olan matematiksel bir yaklaşımın ürünüdür (Nalbantis ve Tsakiris, 2009). SDI, su yılı ölçeğinde birbirinden farklı dönemler için hesaplanabilmekte olup indise ait toplam akış hacmi formül 1 yardımıyla belirlenmektedir (Nalbantis ve Tsakiris, 2009).

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1, 2, \dots \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

Formülde k ; referans dönem olmak üzere, her bir döneme ait toplam akış hacmi $V_{i,k}$ 'dir. Burada i ; hidrolojik yılı, j ; hidrolojik yıla ait ayı ve $Q_{i,j}$ akımı temsil etmektedir (Kale, 2021a; Kale, 2021b).

Toplam akış hacminden itibaren, hidrolojik kuraklığı açıklayan SDI değeri, formül 2 kullanılarak elde edilmektedir (Nalbantis ve Tsakiris, 2009).

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k} \quad i = 1, 2, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

İlgili formülde, \bar{V}_k ; referans döneme ait toplam akarsu akımlarının ortalamasını, S_k ; referans döneme ait toplam akarsu akımlarının standart sapmasını ve $SDI_{i,k}$ referans dönemdeki hidrolojik aya ait akarsu kuraklık indisini temsil etmektedir (Nalbantis ve Tsakiris, 2009). Bu çalışmada hidrolojik kuraklık dört farklı referans dönem ($k = 1, 2, 3, 4$) dikkate alınarak araştırılmıştır. $k = 1$; ekim ve aralık ayları arası dönemi, $k = 2$; ekim ve mart ayları arası dönemi, $k = 3$; ekim ve haziran ayları arası dönemi ve $k = 4$ ise tüm su yılını ifade etmektedir. SDI değerleri dikkate alınarak hidrolojik kuraklık beş farklı sınıf altında incelenmektedir (Nalbantis ve Tsakiris, 2009; Altın vd., 2020; Kale, 2021b). Akarsu kuraklık indisi sınıf aralıkları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. SDI yöntemine göre hidrolojik kuraklık sınıf aralıkları.

Sınıf	Koşul	Tanımlama
Sıfır	$SDI \geq 0,0$	Kuraklık yok
Bir	$-1,0 \leq SDI < 0,0$	Hafif kurak
İki	$-1,5 \leq SDI < -1,0$	Orta derece kurak
Üç	$-2 \leq SDI < -1,5$	Şiddetli kurak
Dört	$SDI \leq -2,0$	Aşırı kurak

Bu çalışmada homojenlik aylık veri setleri üzerinden Run Testi (Swed-Eisenhart) kullanılarak sınanmıştır. Run testine ait tanımlayıcı istatistik değer formül 3 kullanılarak hesaplanmaktadır (Swed ve Eisenhart, 1943).

$$Z = \frac{1+r - \frac{2N_e N_p}{N_e + N_p}}{\sqrt{\frac{2N_e N_p (2N_e N_p - N)}{N^2 (N-1)}}} \quad (3)$$

Eşitlikte Z ; test istatistiği değeri olmak üzere N ; veri sayısı, r ; run sayısı, N_e ; medyandan küçük veri sayısını ve N_p ; medyandan büyük veri sayısını ifade etmektedir (Swed ve Eisenhart, 1943).

Bu çalışmada kullanılan veri setlerine ait tanımlayıcı istatistiksel parametre ve Run Testi Z istatistik değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Akım, sıcaklık ve yağış veri setlerinin basıklık ve çarpıklık değerleri sıfırdan farklı olup medyan ve ortalama değerleri arasında fark bulunmaktadır. Bu durum veri setlerinin Gauss fonksiyonuna uyum sağlamadığını bir başka ifade ile normallik şartını sağlamadığını göstermektedir. Run testi sonuçları ise her üç veri setinin de homojen olmadığını işaret etmektedir. Bu çalışmada kullanılmasına karar verilen veri setlerine ait tanımlayıcı istatistiksel parametre ve Run test istatistiği değerleri, literatürde hidrometrik ve klimatolojik zaman serileri kullanılarak yapılan çalışmalara (Kahya ve Kalaycı, 2004; Türkes ve Deniz, 2011; Tağil ve Alevkayalı, 2014; Tekkanat ve Sarış, 2015; Altın, Sarış ve Altın, 2020; Kale, 2021a) benzer şekilde parametrik olmayan yöntemlerin kullanılması gerektiğini göstermektedir. Parametrik olmayan testler normal dağılım özelliği sergilemeyen veri setlerinde çok daha güçlü sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Hirsch vd., 1991). Bu nedenle çalışmada gerçekleştirilen analiz ve hesaplamalarda homojenlik, normallik ve bağımsızlık şartlarının aranmak zorunda olmadığı parametrik olmayan istatistiksel yöntemlerin kullanımı tercih edilmiştir.

Tablo 4. Veri setlerine ait tanımlayıcı istatistiksel parametre ve Run Testi Z değerleri.

	Veri seti		
	Akım	Sıcaklık	Yağış
Ortalama	9,725	8,386	47,022
En küçük	1,440	-10,800	0
En büyük	59,100	25,600	286,300
Medyan	6,740	8,997	41,400
Varyans	73,788	96,921	1.487,625
Standard sapma	8,590	9,845	38,569
Çarpıklık	2,646	-0,021	1,308
Basıklık	7,599	-1,299	3,286
Run Testi Z değeri	-12,703	-22,170	-12,218

Hidrolojik ve klimatolojik veri setlerindeki eğilim analizleri için Mann-Kendall (M-K) testi kullanılmıştır. Çalışma genelindeki eğilimler %90 ($\alpha = 0,1$ ve $\pm 1,645$ kritik değer), %95 ($\alpha = 0,05$ ve $\pm 1,96$ kritik değer) ve %99 ($\alpha = 0,01$ ve $\pm 2,576$ kritik değer) güven aralıkları için araştırılmıştır. Eğilim saptanması halinde, eğilimin hangi tarihte ortaya çıktığı sorusuna cevap verebilmek için ise Mann-Kendall sıra korelasyon testi kullanılarak eğilimin başlangıç tarihi belirlenmiştir.

M-K test istatistik değeri (S) formül 4 ile hesaplanmaktadır (Hirsch vd., 1982).

$$S = \sum_{l=1}^{n-1} \sum_{j=l+1}^n \text{sgn}(x_j - x_l) \quad (4)$$

Bu formülde n ; veri kümesi uzunluğunu göstermekle birlikte, sgn ; işaret fonksiyonu, x_j ve x_l ; j ve l yıllarına ait seri değerleridir ($j > l$ koşulunu sağlamak şartıyla). İşaret fonksiyonu x_j ve x_l değerlerinin kıyaslanması formül 5 yardımıyla ve M-K test istatistiğinin varyansı ($\text{var}(S)$) ise formül 6 yardımıyla hesaplanır (Hirsch vd., 1982).

$$\text{sgn}(x_j - x_l) = \begin{cases} x_j > x_l \Rightarrow 1 \\ x_j = x_l \Rightarrow 0 \\ x_j < x_l \Rightarrow -1 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^p t_k(t_k-1)2(t_k+5)] \quad (6)$$

Burada p ; veri setindeki benzer grupların sayısını, t_k ; k uzunluğundaki bir seride benzer olan gözlem sayısını ifade etmektedir (Hirsch vd., 1982). İstatistiksel anlamda anlamlı bir eğilimin olup olmadığına karar verilmesi için kullanılan Z değeri, M-K test istatistik değerinden itibaren formül 7 kullanılarak belirlenir.

$$Z = \begin{cases} S > 0 \Rightarrow \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} \\ S = 0 \Rightarrow 0 \\ S < 0 \Rightarrow \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} \end{cases} \quad (7)$$

Veri setinde herhangi bir eğilimin olup olmadığı sorusunu yanıtlamak için istenilen anlamlılık seviyesine (α) göre tespit edilen $Z_{\alpha/2}$ değeri ve hesaplanmış olan Z değerinin karşılaştırılması yapılır. Karşılaştırma sonucunda $|Z| > Z_{\alpha/2}$ koşulunun sağlanması halinde anlamlı bir eğilimin varlığı saptanmış olur. Aksi koşulda istenilen anlamlılık düzeyinde bir eğilim olmadığı anlaşılır. Eğilimin yönüne ise S değeri ile karar verilir. Sıfırdan büyük M-K test istatistik değeri artan, sıfırdan küçük M-K test istatistik değeri ise azalan bir eğilimin göstergesidir (Hirsch vd., 1982).

M-K sıra korelasyon testi, verinin büyüklüğü (x_i) yerine verinin sırasını (y_i) dikkate alma temeline dayanmakta olup olası eğilimin yönünü ve istatistiksel momentini hesaplamaktadır (Türkeş, Sümer ve Demir, 2002). M-K sıra korelasyon test istatistik değeri ($u(t)$) formül 8 kullanılarak hesaplanır (Sneyers, 1990; Türkeş, 1996; Toros, 2012).

$$u(t) = \frac{t-E(t)}{\sqrt{var(t)}} \quad (8)$$

İlgili formülde t ; test istatistik değeri, $E(t)$; test istatistiği ortalaması ve $var(t)$; test istatistiği varyansdır (Sneyers, 1990; Türkeş 1996). t , $E(t)$ ve $var(t)$ değerleri ise sırasıyla formül 9, formül 10 ve formül 11 kullanılarak hesaplanır (Sneyers, 1990; Toros, 2012).

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (9)$$

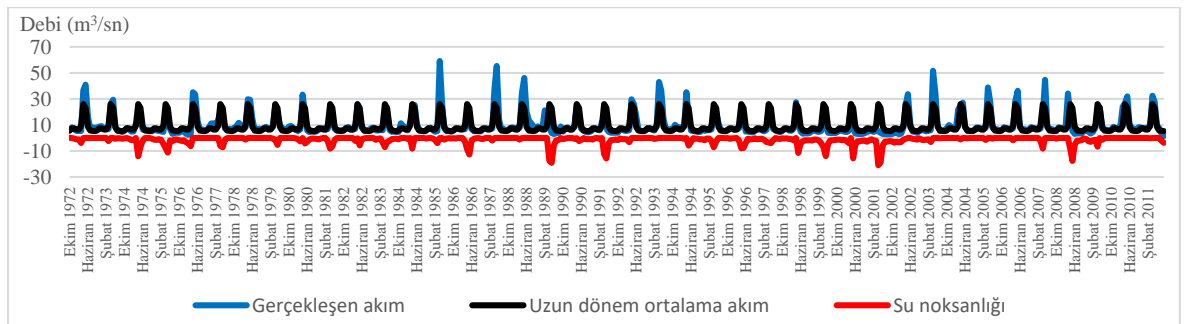
$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (10)$$

$$var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (11)$$

Sıfırdan büyük $u(t)$ değeri artan eğilimin, sıfırdan küçük $u(t)$ değerleri ise azalan bir eğilimin göstergesi olup M-K sıra korelasyon test istatistiği grafiksel olarak eğilimin yorumlanmasına olanak sağlar (Sneyers, 1990). Grafiksel olarak test istatistiği ($u(t)$) ve geriye doğru test istatistiği ($u'(t)$), eğilimin başladığı yerde birbirine yaklaşır, birbirlerini keser ve daha sonra tekrar birbirlerinden uzaklaşır. Eğilim olması halinde, grafiksel olarak $u(t)$ ve $u'(t)$ kesişim noktası eğilimin başlangıç noktasını işaret etmektedir (Sneyers, 1990). Eğer herhangi bir eğilim yoksa test istatistiği ve geriye doğru test istatistiği değerleri birbirlerine defalarca yaklaşıp uzaklaşarak yakın bir salınım geometrisi ortaya çıkarır.

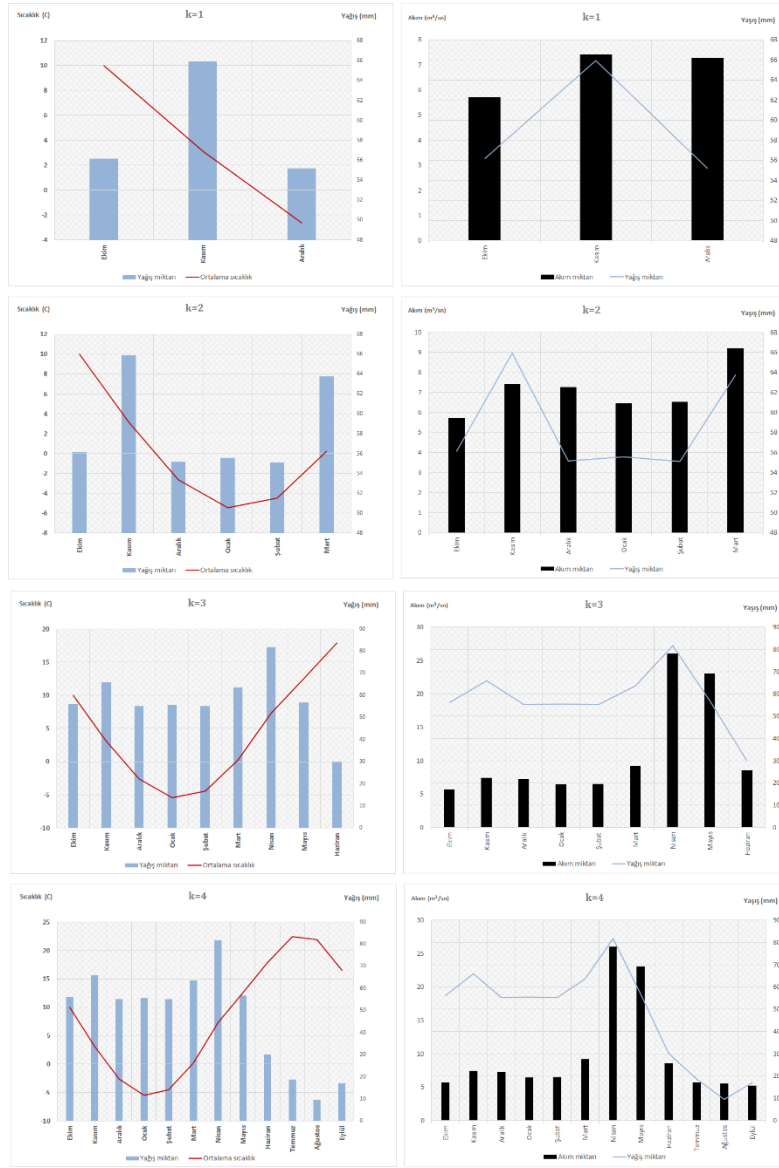
3. Bulgular

EİE-25005 Göndürme istasyonuna ait aylık ölçekte akarsu akımının zamana göre değişimini gösteren grafik Şekil 4'te verilmiştir. Göndürme AGİ uzun dönem rasat verileri analiz edildiğinde istasyondaki ortalama akım miktarının 9,72 m³/sn olduğu, istasyonda kaydedilen maksimum ve minimum akımların sırasıyla 59,10 m³/sn ile Nisan 1985 ve 1,44 m³/sn ile Eylül 2011'de gerçekleştiği belirlenmiştir. Yüksek akım değerlerinin genel olarak nisan ve mayıs aylarında gerçekleştiği saptanırken düşük akım değerlerinin ise ocak, temmuz, ağustos, eylül ve ekim aylarında gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Uzun dönem akım verilerine göre aylık ölçekte kesintisiz olarak su (akım) noksanlığı gelişen dört su yılı olduğu saptanmıştır. Tümüyle su noksanlığı tespit edilen su yılları 1975, 1999, 2000 ve 2001'e tarihlenmektedir. Buna karşın aylık ölçekte ortalama akım değerlerinin üzerinde akım kaydedilen tek bir su yılı olup, bu su yılının 2010'a tarihlendiği tespit edilmiştir (Şekil 4). 1994 su yılından itibaren başlayan su noksanlığının artan bir büyüklükle 2002 su yılına kadar devam ettiği saptanmıştır.



Şekil 4. Aylık ölçekte akım-zaman grafiği.

Bendimahi Çayı'ndaki hidrolojik kuraklığa ait izlerin araştırıldığı bu çalışmada her bir referans döneme ait sıcaklık-yağış ve akım-yağış grafikleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Referans dönemlere göre sıcaklık-yağış ve akım-yağış ve grafikleri.

Muradiye MGİ uzun dönem rasat verilerine göre yıllık yağış miktarı 565,53 mm olup maksimum ve minimum yağış miktarları sırasıyla 81,79 mm ile nisan ve 9,44 mm ile ağustos ayında kaydedilmiştir. Aynı istasyona ait aylık ortalama yağış miktarı ise 47,34 mm'dir. Ekim-mayıs dönemi yağışlı geçerken, haziran-eylül dönemi ise istasyon ortalamasına göre oldukça düşük yağış miktarı ile karakteristiktir (Şekil 5). İstasyona ait yıllık sıcaklık ortalaması 8,30°C'dır. En yüksek ortalama sıcaklık 22,48°C ile temmuz ve en düşük ortalama sıcaklık ise -5,46°C ile ocak ayına aittir. Genel olarak yaz ayları maksimum sıcaklık ve minimum yağış ile karakteristiktir olup kış aylarında sıcaklık ortalaması sıfır derecenin altına düşmektedir.

Akarsu akımlarının düşük olduğu aylar genel olarak sıcaklığın en yüksek olduğu ve yağış miktarının az olduğu aylar ile uyum göstermektedir. Akım miktarının oldukça yüksek gerçekleştiği nisan ve mayıs ayları ise genel olarak yağış miktarının pik değere ulaştığı aylar ile doğrudan açıklanamamaktadır. Benzer yağış miktarında aralık, ocak ve şubat aylarında gerçekleşen akıma göre nisan ve mayıs aylarındaki debi artışının kar erimelerine bağlı oluşan akış ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Yağış ve sıcaklık değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilen Thornthwaite İklim sınıflandırmasına göre Muradiye istasyonu C2 B'1 s2 b'2 sınıfında yer almakta olup yarı nemli 1. derece mezotermal yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanlığı olan tali iklim özellikleri sergilemektedir.

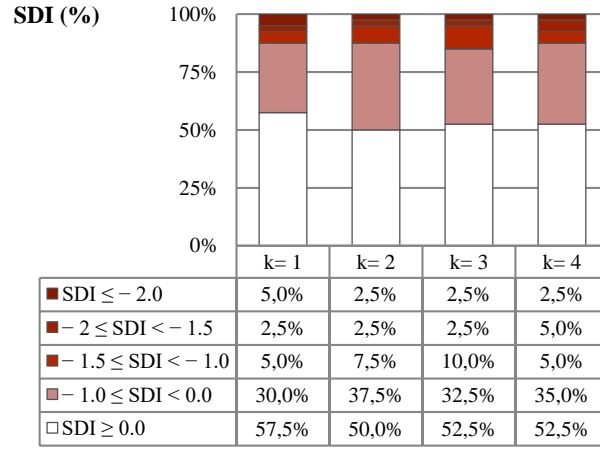
Bendimahi Çayı'ndaki Hidrolojik kuraklığa ait izlerin SDI yöntemi kullanılarak araştırıldığı bu çalışmada kırk ardışık su yılındaki dört farklı referans dönem dikkate alınarak SDI değerleri hesaplanmıştır. Göndürme AGİ için referans dönemler dikkate alınarak hesaplanan SDI (%) değerleri Şekil 6'da, su yıllarına göre SDI değerlerindeki değişim ise Şekil 7'de verilmiştir. $SDI \geq 0$ koşulunu sağlamayan hidrolojik kuraklık; $k=1$ referans dönemi için toplam rasat süresinin %42,5'ini, $k=2$ referans dönemi için toplam rasat süresinin %50'sini, diğer referans dönemler için ise toplam rasat sürelerinin %47,5'ini oluşturmaktadır (Şekil 6). Çalışma dönemi genelinde su yıllarının %47,5'inde hidrolojik kuraklık gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 6). Aylık ölçekte en az sayıda hidrolojik kurak ayın ise Ekim kasım ve aralık aylarına kümelendiği belirlenmiştir. Bu bağlamda çalışma bulguları, farklı referans dönemlerde hidrolojik kuraklık yaşanan su yıllarının varlığını net bir şekilde işaret etmektedir (Şekil 7).

$k = 1$ referans dönemi yağışların ortalama değerlerde seyrettiği, sıcaklıkların ise azalmaya başladığı ekim, kasım ve aralık aylarından oluşmaktadır. Söz konusu referans dönem, istasyonda en az sayıda hidrolojik kuraklığın tespit edildiği dönem olma özelliği taşır. $k = 1$ referans dönemde gözlem süresinin %57,5'inde hidrolojik kuraklık gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Gözlem süresinin %30'unda hafif kurak, %5'inde orta derece kurak, %2,5'inde şiddetli kurak ve %5'inde aşırı derecede kurak sınıf aralıklarında hidrolojik kuraklık gerçekleştiği saptanmıştır (Şekil 6). Söz konusu referans dönemde hidrolojik kuraklıkların genel olarak hafif kurak sınıf aralığına kümelendiği belirlenmiştir. $k = 1$ referans döneminde on yedi su yılında farklı büyüklüklerde hidrolojik kuraklık gerçekleştiği ve 1997-2003 su yılları arasında ise sürekli olarak hidrolojik kuraklık yaşandığı saptanmıştır (Şekil 7).

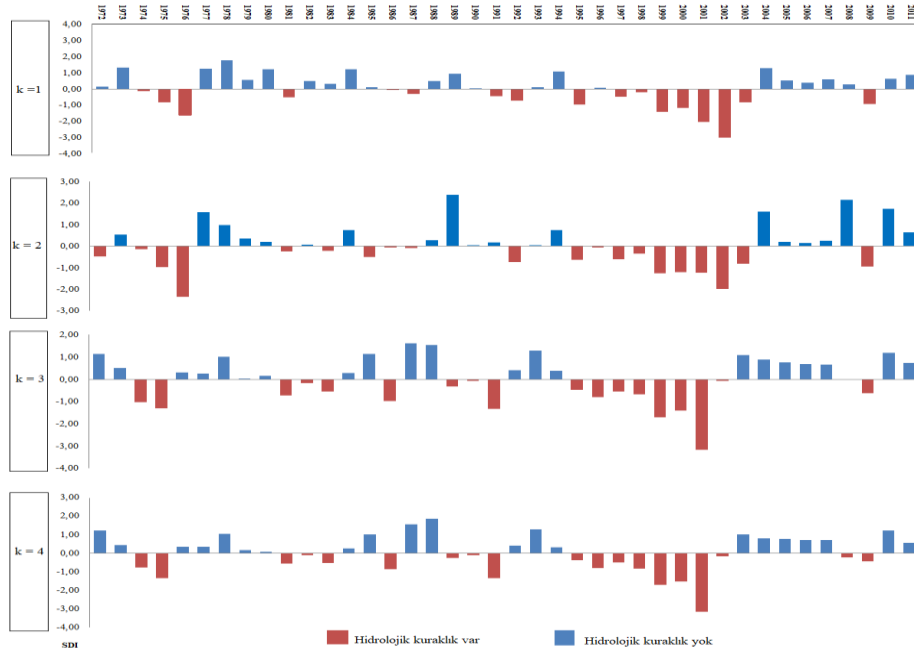
$k = 2$ referans dönemi yağışların ortalama değerlerde seyrettiği, sıcaklıkların ise dönem başında önce azalmaya başladığı ve akabinde minimum değerine ulaştığı su yılının ilk altı ayından oluşmaktadır. Söz konusu referans dönem, istasyonda en fazla hidrolojik kurak yılın tespit edildiği dönem olma özelliği taşır. $k = 2$ referans döneminde gözlem süresinin yarısında hidrolojik kuraklık gerçekleştiği tespit edilmiştir. Gözlem süresinin %37,5'inde hafif kurak, %7,5'inde orta derece kurak, %2,5'inde şiddetli kurak ve %2,5'inde ise aşırı derecede kurak sınıf aralıklarında hidrolojik kuraklık gerçekleştiği saptanmıştır (Şekil 6). $k = 2$ referans döneminde hidrolojik kuraklıkların genel olarak hafif kurak ve orta derece kurak sınıf aralıklarında kümelendiği belirlenmiştir. $k = 2$ referans dönemi boyunca, yirmi su yılında farklı büyüklüklerde hidrolojik kuraklık gerçekleştiği belirlenmiş olup 1974-1976, 1985-1987 ve 1995-2003 su yılları arasında ise kesintisiz olarak hidrolojik kuraklık yaşandığı saptanmıştır (Şekil 7).

$k = 3$ referans dönemi yağışların ortalama değerlerden maksimuma çıktığı ve akabinde azalmaya başladığı, sıcaklıkların ise minimum değerine ulaştığı ve akabinde maksimuma doğru artış sergilediği su yılının ilk dokuz ayından oluşmaktadır. $k = 3$ referans döneminde gözlem süresinin %52,5'inde hidrolojik kuraklık gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Söz konusu referans dönemde gözlem süresinin %32,5'inde hafif kurak, %10'unda orta derece kurak, %2,5 şiddetli kurak ve %2,5'inde aşırı derecede kurak sınıf aralıklarında hidrolojik kuraklık gerçekleştiği saptanmıştır (Şekil 6). $k = 3$ referans döneminde hidrolojik kuraklıkların genel olarak hafif kurak ve orta derece kurak sınıf aralıklarında kümelendiği belirlenmiştir $k = 3$ referans döneminde on dokuz su yılında farklı büyüklüklerde hidrolojik kuraklık gerçekleştiği belirlenmiş olup 1981-1983, 1989-1991 ve 1995-2002 su yılları arasında ise kesintisiz olarak hidrolojik kuraklık yaşandığı saptanmıştır (Şekil 7).

$k = 4$ referans dönemi yağış ve sıcaklık değerlerinin maksimum ve minimum düzeylerini gördüğü su yılının tümünü kapsamaktadır. İstasyonda $k = 4$ referans döneminde gözlem süresinin %52,5'inde hidrolojik kuraklık gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Söz konusu referans dönemde gözlem süresinin %35'inde hafif kurak, %5'inde orta derece kurak, %5'inde şiddetli kurak ve %2,5'inde ise aşırı derecede kurak sınıf aralıklarında hidrolojik kuraklık gerçekleştiği saptanmıştır (Şekil 6). $k = 4$ referans döneminde hidrolojik kuraklıkların genel olarak hafif kurak sınıf aralığında kümelendiği belirlenmiştir. Rasat kayıtlarının analiz edildiği kırk su yılının on dokuzunda farklı büyüklüklerde hidrolojik kuraklıklar gerçekleştiği saptanmıştır (Şekil 7). SDI değerleri dikkate alınarak en büyük hidrolojik kuraklığın 2001 su yılında gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 7). Su yılı ölçeğinde belirlenen hidrolojik kurak dönemler, su yılı ölçeğinde su noksanlığı tespit edilen yıllar ile uyum göstermektedir



Şekil 6. Referans dönemler için SDI (%) dağılımı.



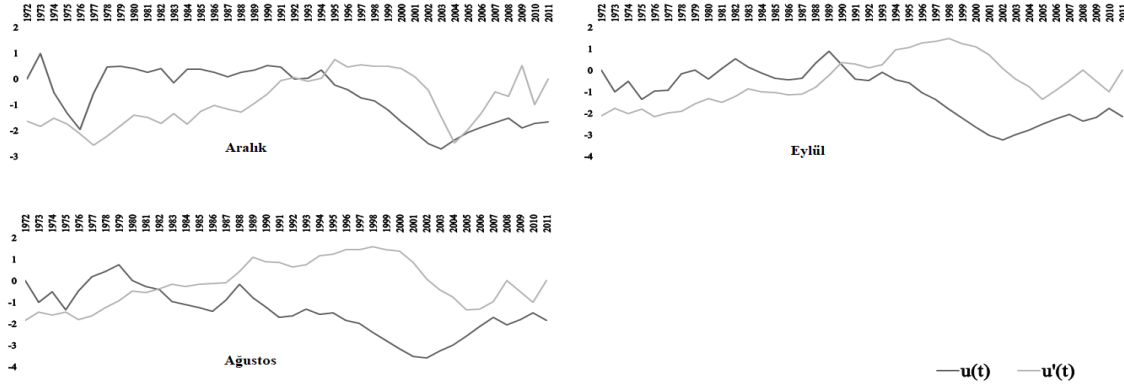
Şekil 7. Referans dönemler için su yıllarına göre SDI değerlerindeki değişim.

Göndürme istasyonuna ait uzun dönem rasat verileri (1972-2011) dikkate alınarak akım ve SDI değerleri için gerçekleştirilen eğilim analizlerine ait bulgular Tablo 5'te ve eğilim tespit edilen akım dönemlerine ait $u(t)$ - $u'(t)$ grafikleri Şekil 8'de verilmiştir.

Tablo 5. Akarsu akım ve SDI değerlerine ait eğilim analizleri.

Akım dönemi	Z	Eğilim	Yön	Başlangıç tarihi	SDI	Z	Eğilim	Yön	Başlangıç tarihi
Ekim	-0,65	Yok	---	---	k= 1	-1,29	Yok	---	---
Kasım	-0,83	Yok	---	---	k= 2	-0,16	Yok	---	---
Aralık	-1,73	Var	↓	1992	k= 3	-0,02	Yok	---	---
Ocak	-0,26	Yok	---	---	k= 4	-0,34	Yok	---	---
Şubat	0,41	Yok	---	---					
Mart	1,64	Yok	---	---					

Nisan	0,03	Yok	---	---
Mayıs	0,23	Yok	---	---
Haziran	-1,03	Yok	---	---
Temmuz	0,14	Yok	---	---
Ağustos	-1,83	Var	↓	1982
Eylül	-2,12	Var	↓	1990

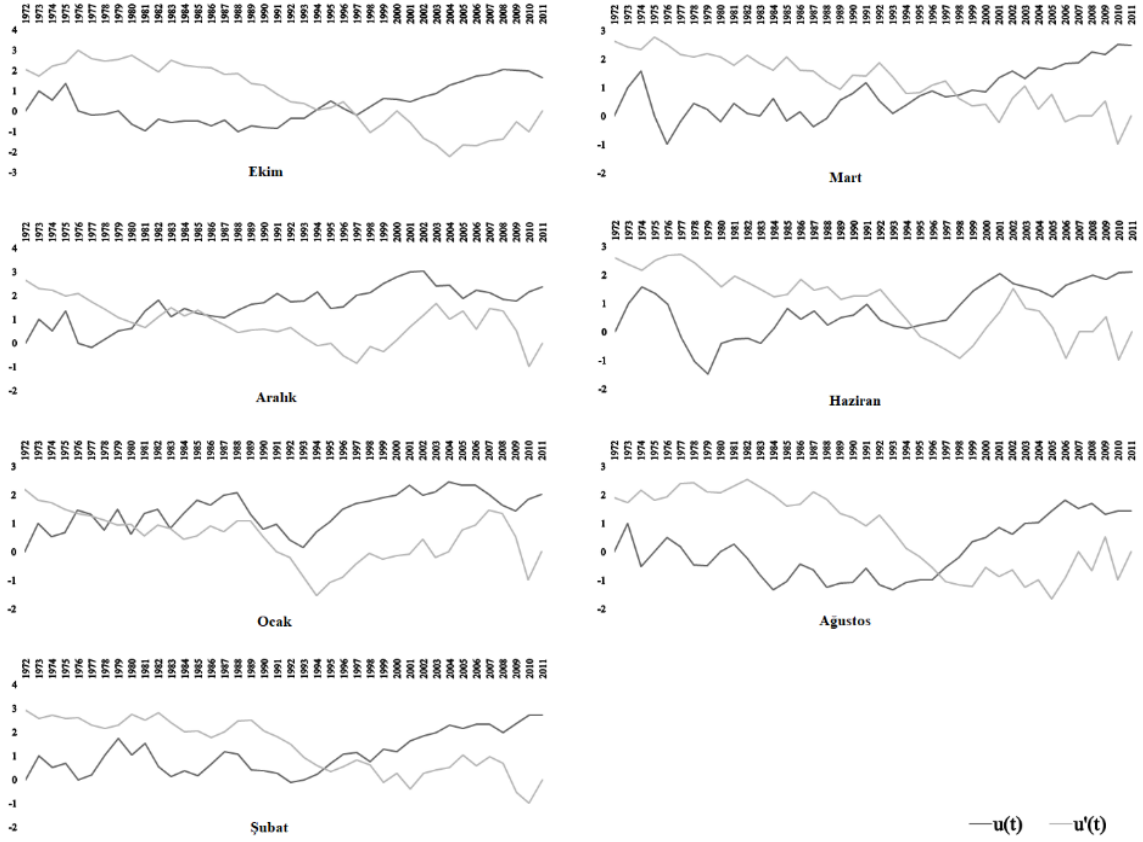


Şekil 8. M-K sıra korelasyon test istatistiği grafikleri.

Göndürme AGİ uzun dönem aylık ortalama akımları için hesaplanan M-K test istatistik değerlerine göre aralık, ağustos ve eylül aylarında anlamlı eğilimler olduğu tespit edilmiştir. Su yılındaki diğer aylara ait ortalama akım değerleri için ise %90 ve %95 güven aralıklarında herhangi bir eğilimin söz konusu olmadığı bulgusuna ulaşılmıştır. Aralık ayı M-K test istatistiği değeri -1,73 olup $\alpha = 0,1$ için anlamlı azalma eğilimi olduğu saptanmıştır. Eğilimin başlangıç tarihi ise M-K sıra korelasyon test istatistiği grafiği kullanılarak 1992 yılına tarihlenmiştir (Şekil 8). Ağustos ayı için hesaplanan M-K test istatistiği değeri -1,83 olup $\alpha = 0,1$ için anlamlı azalma eğilimi olduğu saptanmıştır. Ağustos ayına ait eğilimin başlangıç tarihi ise M-K sıra korelasyon test istatistiği grafiğinden itibaren 1982 yılı olarak belirlenmiştir (Şekil 8). Eylül ayı M-K test istatistiği değeri -2,12 olup $\alpha = 0,05$ için anlamlı azalma eğilimi olduğu saptanmıştır. Eğilimin başlangıç tarihi ise M-K sıra korelasyon test istatistiği grafiği kullanılarak 1990 yılına tarihlenmiştir (Şekil 8). SDI değerlerinde eğilim olup olmadığının araştırılması için farklı referans dönemler için hesaplanan M-K test istatistik değerleri $k = 1$ için -1,29, $k = 2$ için -0,16, $k = 3$ için -0,02 ve $k = 4$ için -0,34 olup SDI değerleri için %90 ve %95 güven aralıklarında herhangi bir eğilimin söz konusu olmadığı bulgusuna ulaşılmıştır. Söz konusu bulgu, dönem içinde farklı yıllarda varlığı tespit edilen hidrolojik kuraklığın uzun dönemli bir eğilim sergilemediğini göstermektedir.

Muradiye istasyonuna ait uzun dönem rasat verileri (1972-2011) dikkate alınarak yağış ve sıcaklık değerleri için gerçekleştirilen eğilim analizlerine ait bulgular Tablo 6'da ve eğilim tespit edilen aylara ait $u(t)-u'(t)$ grafikleri Şekil 9'da verilmiştir.

Muradiye istasyonuna ait uzun dönem yağış verileri kullanılarak hesaplanan M-K test istatistik değerlerinden itibaren aylık yağış miktarlarında anlamlı ($\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,05$ ve $\alpha = 0,01$) bir eğilim olmadığı tespit edilmiştir. Buna karşın aynı istasyona ait sıcaklık veri seti için hesaplanan M-K test istatistik değerleri ekim ($\alpha = 0,1$), aralık ($\alpha = 0,05$), ocak ($\alpha = 0,05$), şubat ($\alpha = 0,01$), mart ($\alpha = 0,05$), haziran ($\alpha = 0,05$) ve ağustos ($\alpha = 0,1$) aylarında istatistiksel açıdan anlamlı eğilimler olduğu bulgusunu sunmaktadır. Söz konusu aylar için hesaplanan M-K test istatistik değerleri sırasıyla 1,84, 2,48, 2,09, 2,81, 2,54, 2,35 ve 1,66'dır. Tüm Z değerleri pozitif yönlüdür. Bu bulgu, ilgili aylara ait ortalama sıcaklıkların artış eğilimi sergilediğini göstermesi açısından önemlidir. Artış eğilimi tespit edilen aylar için eğilimin başlangıç tarihi ise $u(t)-u'(t)$ grafikleri kullanılarak ekim, aralık, ocak, şubat, mart, haziran ve ağustos ayları için sırasıyla; 1994, 1980, 1976, 1994, 1998, 1995 ve 1996 yıllarına tarihlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Sıcaklık eğilimlerine ait M-K sıra korelasyon test istatistiği grafikleri.

Tablo 6. Yağış ve sıcaklık değerlerine ait eğilim analizleri.

Yağış	Z	Eğilim	Yön	Başlangıç tarihi	Sıcaklık	Z	Eğilim	Yön	Başlangıç tarihi
Ekim	0,20	Yok	---	---	Ekim	1,84	Var	↑	1994
Kasım	-0,41	Yok	---	---	Kasım	1,25	Yok	---	---
Aralık	0,13	Yok	---	---	Aralık	2,48	Var	↑	1980
Ocak	-1,27	Yok	---	---	Ocak	2,09	Var	↑	1976
Şubat	-0,51	Yok	---	---	Şubat	2,81	Var	↑	1994
Mart	0,91	Yok	---	---	Mart	2,54	Var	↑	1998
Nisan	0,01	Yok	---	---	Nisan	1,20	Yok	---	---
Mayıs	-0,37	Yok	---	---	Mayıs	1,64	Yok	---	---
Haziran	-0,31	Yok	---	---	Haziran	2,35	Var	↑	1995
Temmuz	1,31	Yok	---	---	Temmuz	1,46	Yok	---	---
Ağustos	0,67	Yok	---	---	Ağustos	1,66	Var	↑	1996
Eylül	1,56	Yok	---	---	Eylül	0,92	Yok	---	---

4. Sonuç ve Değerlendirme

Elektrik enerjisi üretimi için inşa edilen regülatör ve HES'lerden önceki dönemi kapsayan Bendimahi Çayı'ndaki hidrolojik kuraklığın araştırıldığı bu çalışmaya ait temel bulgular, akarsuda on dokuz su yılında farklı sınıf aralıklarında hidrolojik kuraklık gerçekleştiğini net bir şekilde göstermektedir. Akarsudaki

hidrolojik kuraklıklar sırasıyla; 1974-1975, 1981-1983, 1986, 1989-1991, 1995-2002 ve 2008-2009 su yıllarında gerçekleşmiştir. Kırk ardışık su yılının %47,5'inde gerçekleşen hidrolojik kuraklık en büyük değerine 2001 yılında ulaşmıştır. Çalışma dönemi boyunca karşılaşılan en uzun hidrolojik kurak dönem sekiz su yılından oluşmakta olup, 1995-2002 yılları arasında gerçekleşmiştir. Su yılının tamamı ve farklı referans dönemler için SDI değerleri üzerinden gerçekleştirilen eğilim analizleri, anlamlı herhangi bir eğilimi işaret etmemektedir. Bir başka ifadeyle akarsuda varlığı tespit edilen hidrolojik kurak yıllar arasında bir dönüm (kırılma) noktasından itibaren başlayan istatistiksel açıdan anlamlı artış veya azalış yönelimi bulunmamaktadır. Bendimahi Çayı akımları nisan ve mayıs aylarında yüksek debi ile karakteristikken temmuz, ağustos, eylül ve ekim aylarında ise düşük debi ile karakteristiktir. Akım ve yağış verileri bir arada değerlendirildiğinde; ortalamanın üzerinde yağışlı olan mart ve nisan aylarının akarsu akımına doğrudan etkisi olduğu anlaşılır. Aynı zamanda akarsu yatağı baz bir akıma sahiptir. Yağışların son derece düşük olduğu dönemlerde bile 5 m³/sn ile 7 m³/sn aralığında değişkenlik gösteren baz akım kaynağının, kar yağışları kökenli yüzeysel akış ve yer altı suyun yer yer akarsuyu beslemesine bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir.

Uzun dönem akım verileri kullanılarak aylık ölçekte gerçekleştirilen eğilim analizleri; aralık, ağustos ve eylül aylarında negatif yönlü eğilimlerin gerçekleştiğini göstermektedir. Özellikle akarsu akımında eylül ayında %95 güven aralığında istatistiksel açıdan yüksek anlamlılıkta azalma eğilimi gerçekleştiği tespit edilmiştir. Buna karşın, uzun dönem aylık yağış miktarlarında ise aynı aylarda herhangi bir azalma eğilimi tespit edilmemiştir. Aylık ölçekteki yağış miktarının tersine ortalama sıcaklıklarda artış eğilimi gerçekleştiği belirlenmiştir. Uzun dönem sıcaklık değerlerine ait aralık ve ağustos aylarındaki eğilimler akım verilerine ait eğilimler ile uyumludur. Kış aylarında sıcaklık değerlerinde gerçekleşen pozitif yönlü artış, kar yağış miktarındaki ve karla örtülü gün sayısındaki azalmayı işaret etmektedir. Bu durum Topuz (2023) ve Topuz ve Karabulut (2021) çalışma bulguları ile uyumludur. Azalan kar yağışlarının özellikle yer altı suyu beslenimini olumsuz yönde etkileyeceği öngörülmektedir. Benzer şekilde yaz aylarında gerçekleşen sıcaklık artışı ise terleme ve buharlaşmayı pozitif yönlü tetikleyerek akışa geçen su miktarını azaltacaktır. Bu bağlamda özellikle eylül ayı akarsu akımlarındaki azalmanın; sıcaklık değerinde kaydedilen artış eğilimine bağlı gelişen yağış rejimindeki değişiklik ve saha genelinde gerçekleşen yüksek miktardaki terleme ile buharlaşmaya bağlı olduğu düşünülmektedir.

Gerek Van Gölü Kapalı Havzası genelinde gerekse Bendimahi Çayı Havzası özelinde antropojenik etkilerden uzak, uzun dönem rasat verisine sahip akım gözlem istasyonu sayısı son derece azdır. Söz konusu yetersizlik bu çalışmanın sınır koşullarının belirlenmesindeki en büyük rollerden birini üstlenmiştir. Su kaynaklarını doğru bir şekilde yönetebilmek kuşkusuz doğal ortam özelliklerine vakıf olmaktan geçer. Bu bağlamda havza ölçeğinde, su kaynaklarına ait uzun dönem veri setlerine sahip olmak oldukça önemlidir. Bendimahi Çayı su toplama alanındaki akım gözlem ağının geliştirilmesi gerekmekte olup gerek araştırmacıların gerekse karar vericilerin doğru planlama yapılabilmesi açısından bu noksanlığın giderilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bendimahi Çayı, Van Gölü'nün en büyük tatlı su kaynakları arasında olup aynı zamanda birçok endemik canlıya ev sahipliği yapmaktadır. Gerek Van Gölü gerekse Bendimahi sulak alanları için akarsu tarafından taşınan su oldukça kıymetlidir. Benzer şekilde sahaya özgü ekosistemin endemik üyeleri için akarsu yatağındaki su miktarı ve sahadaki sulak alanların varlığı kuşkusuz büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma bulgularının açık bir şekilde gösterdiği hidrolojik kurak yılların sayı ve süresinin yakın ve orta vadede artma olasılığına karşı su kaynakları yönetiminde söz sahibi olan karar vericilerin bu çalışma çıktılarından istifade etmeleri ve Bendimahi Çayı odaklı projelerde akarsudaki hidrolojik kuraklığı dikkate almaları tavsiye olunur.

Kaynaklar

- AA, (2023, Temmuz). *Muradiye Şelalesi'nin debisi sıcak hava ve buharlaşma nedeniyle düştü* [Basın bülteni]. Erişim adresi: <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/muradiye-selalesinin-debisi-sicak-hava-ve-buharlasma-nedeniyle-dustu/2951060>.
- Akbaş, A. (2014). Türkiye üzerindeki önemli kurak yıllar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12(2), 101-118.
- Altın, T. B., Sarış, F., ve Altın, B. N. (2020). Determination of drought intensity in Seyhan and Ceyhan River Basins, Turkey, by hydrological drought analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1), 95–107. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02957-y>.
- Avcı, V. (2023). Cizre'de (Şırnak) aylık ve yıllık ortalama sıcaklıkların eğilim analizi (1963-2021). *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 33(3), 1045-1061. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.1313488>
- Aydın, O. ve Raja, B. N. (2016). Yağışın Mekânsal Dağılımında Deterministik ve Stokastik Yöntemler: Mauritius örneği, Doğu Afrika. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 14 (1), 1-14.

- Aydın, O., Ünalı, Ü. E., Duman, N., Çiçek, İ., ve Türkoğlu, N. (2017). Türkiye’de su kıtlığının mekânsal ölçekte değeriendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (68), 11-18.
- Bayazıt, M. (1995). Hidroloji. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Çiçek, İ., ve Duman, N. (2015). Seasonal and annual precipitation trends in Turkey. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 10(2), 77-84.
- Dai, A., ve Zhao, T. (2017). Uncertainties in historical changes and future projections of drought. Part I: estimates of historical drought changes. *Climatic Change*, 144, 519-533.
- Dikici, M. (2019). Asi Havzası’nda (Türkiye) kuraklık analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 22-40.
- Ding, Y., Hayes, M. J., ve Widhalm, M. (2011). Measuring economic impacts of drought: a review and discussion. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 20(4), 434-446.
- Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü (DKMP, 2023). *Korunan alanlar listesi*. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/DKMP/Belgeler/Korunan%20Alanlar%20Listesi/SA-WEB-09012023.pdf>
- Elp, M., Atıcı, A. A., Şen, F., ve Duyar, H. A. (2016). Van Gölü Havzası balıkları ve yayılım bölgeleri. *YYÜ Tar Bil Derg*, 26(4), 563-568.
- Erdem, F., Atun, R., Avdan, Z. Y., Atila, I., ve Avdan, U. (2021). Drought analysis of Van Lake Basin with remote sensing and GIS technologies. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 1093-1102.
- Erginyürek, M. (2018). *Van Gölü Kapalı Havzasında yağış-akım analizleri ve göl seviye değışimi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- Hao, Z., ve Singh, V. P. (2015). Drought characterization from a multivariate perspective: A review. *Journal of Hydrology*, 527, 668-678.
- Giorgi, F., ve Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2-3), 90-104.
- Gümüş, V. (2017). Akım kuraklık indeksi ile Asi Havzası’nın hidrolojik kuraklık analizi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5(1), 65-73.
- Gümüş, V., Yıldız, M. S., ve Şimşek, O. (2018). Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi: Murat Nehri-Palu Örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 297-301.
- Hirsch, R.M., Alexander, R.B., ve Smith, R.A. (1981). Selection of methods for the detection and estimation of trends in water quality, *Water Resources Res.*, 27, 803-814.
- Hisdal, H., Tallaksen, L. M., Gauster, T., Bloomfield, J. P., Parry, S., Prudhomme, C., ve Wanders, N. (2024). Hydrological drought characteristics. In *Hydrological Drought*, 157-231, Elsevier.
- Hürriyet, (2019, Eylül). *Bendimahi Çayı kuruyor! İnci kefalinin yaşamı tehlike altında* [Basın bülteni]. Erişim adresi: <https://www.hurriyet.com.tr/seyahat/bendimahi-cayi-kuruyor-inci-kefalinin-yasami-tehlike-altinda-41332983>
- Işık, S., Sasal, M., ve Doğan, E. (2006). Investigation on downstream effects of dams in the Sakarya River. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(3), 401-408.
- İrcan, M. R. ve Duman, N. (2021). Standartlaştırılmış yağış indisi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa ili kuraklık analizi. *Coğrafya Dergisi*, (42), 1-18.
- İrcan, M. R., ve Duman, N. (2022). Van Gölü Havzası’ndaki maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (80), 39-52.
- Kahya, E., ve Kalaycı, S. (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289(1-4), 128-144.
- Kale, M. M. (2021a). Akarçay Kapalı Havzası için hidrolojik kuraklık analizi. *Coğrafya Dergisi*, (42), 165-180. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2021-892360>.
- Kale, M. M. (2021b). Manavgat Çayı kuraklık analizi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 30(1), 107-123.
- Kale, M. M. ve Ataoğlu, M. (2021). The effects of dams on river channel morphology: a case study at the historical Çarşamba Bridge on the Yeşilırmak River in northern Turkey. *Environmental Earth Sciences*. 80:624. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09935-6>
- Koçman, A. (1993). Türkiye’de yağış yetersizliğine bağlı kuraklık sorunu. *Ege Coğrafya Dergisi*, 7(1).
- Mishra, A. K. ve Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Nalbantis, I. ve Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), 881-897.
- Pandey, S., ve Bhandari, H. (2009). Drought: economic costs and research implications. In *Drought frontiers in rice: crop improvement for increased rainfed production*. 3-17.
- Polat, P., ve Sunkar, M. (2017). Rize’nin iklim özellikleri ve Rize çevresinde uzun dönem sıcaklık ve yağış verilerinin trend analizleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 27(1), 1-24.

- <https://doi.org/10.18069/firatsbed.346684>
- Ruffault, J., Martin-StPaul, N. K., Duffet, C., Goge, F., ve Mouillot, F. (2014). Projecting future drought in Mediterranean forests: bias correction of climate models matters. *Theoretical and Applied Climatology*, 117, 113-122.
- Seneviratne, S. I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C. M., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C., ve Zhang, X.: (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, Chap. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 109-230, Cambridge University Press, Cambridge: UK.
- Sneyers, R. (1990). On the statistical analysis of series of observations World Meteorological Organization Technical Note 43. World Meteorological Organization: Geneva.
- Sırdaş, S. ve Şen, Z. (2003). Meteorolojik kuraklık modellenmesi ve Türkiye uygulaması. *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, 2(2), 95-103.
- Swed F. S., ve Eisenhart C. (1943). Tables for testing randomness of grouping in a sequence of alternatives, *Annals of Mathematical Statistics*, 14, 66-87.
- Acarlar, M., Bilgin, A.Z., Elibol, E., Erkan, T., Gedik, İ., Güner, E., Hakyemez, Y., Şen, A.M., Uğuz, M.F., ve Umut, M., (1991). Van Gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüt Dairesi Yayını, Rapor, Ankara.
- Tağıl, Ş. ve Alevkayalı, Ç. (2014). Eğirdir gölüne kuzeyden dökülen akarsularda akım trendi ve yağış ilişkisi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(32), 211-229.
- Tekkanat, İ. ve Sarış, F. (2015). Porsuk Çayı Havzası'nda akarsu akımlarında gözlenen uzun dönemli eğilimler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 64, 69-83.
- Toros, H. (2012). Spatio-temporal Precipitation Change Assessments over Turkey. *International Journal of Climatology*, 32(9),1310-1325.
- Topuz, M. (2023). İl Merkezi Meteoroloji İstasyon Verilerine Göre Doğu Anadolu Bölgesi'nde Maksimum Kar Yüksekliğinin Eğilim Analizi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 28(49), 74-81.
- Topuz, M., ve Karabulut, M. (2021). Doğu Anadolu Bölgesinde kar örtülü gün ve kar yağışlı günler sayısının eğilim analizi (1970-2020). *Doğu Coğrafya Dergisi*, 26(46), 1-24.
- Trambly, Y., Koutroulis, A., Samaniego, L., Vicente-Serrano, S. M., Volaire, F., Boone, A., ... ve Polcher, J. (2020). Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios. *Earth-Science Reviews*, 210, 103348.
- Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., ve Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought, *Nature Climate Change*, 4(1), 17-22.
- Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16(9), 1057-1076.
- Türkeş, M. (2012a). Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.
- Türkeş, M. (2012b). Kuraklık, çölleşme ve Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi, Çevre Özel Sayısı*, 20, 7-56.
- Türkeş, M. (2017). Türkiye'nin iklimsel değişkenlik ve sosyo-ekolojik göstergeler açısından kuraklıktan etkilenebilirlik ve risk çözümlemesi. *Ege coğrafya dergisi*, 26(2), 47-70.
- Türkeş, M. (1999). Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23(5), 363-380.
- Türkes, M. (2020). Climate and drought in Turkey. In: Harmancioglu, N., Altinbilek, D. (eds) *Water Resources of Turkey*. World Water Resources, vol 2., 85-125, Springer: Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11729-0_4
- Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Demir, İ. (2002). Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999, *International Journal of Climatology*, 22(8), 947-977.
- Türkeş, M., Koç, T., ve Sarış, F. (2009). Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(8), 1056-1074.
- Türkeş, M. ve Deniz, Z. A. (2011). Climatology of South Marmara Division (North West Anatolia) and observed variations and trends. *Journal of Human Sciences*, 8(1), 1579-1600.
- Wanders, N., Wada, Y., ve Van Lanen, H. A. J. (2014). Global hydrological droughts in the 21st century under a changing hydrological regime. *Earth Syst Dyna Discuss*, 5, 649-681.
- Wilhite, D. A. ve Glantz, M. H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10(3):111-120.
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 359-

392.

Yetmen, H. (2013). Van Gölü Havzası'nın kuraklık analizi. *21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum Eğitim Bilimleri ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(5), 184-198.

Etik, Beyan ve Açıklamalar

1. Etik Kurul izni ile ilgili;

Bu çalışmanın yazar/yazarları, Etik Kurul İznine gerek olmadığını beyan etmektedir.

2. Bu çalışmanın yazar/yazarları, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uydıklarını kabul etmektedir.

3. Bu çalışmanın yazar/yazarları kullanmış oldukları resim, şekil, fotoğraf ve benzeri belgelerin kullanımında tüm sorumlulukları kabul etmektedir.

4. Bu çalışmanın benzerlik raporu bulunmaktadır.
