

Kuraklığın Almus (Tokat-Türkiye) Baraj Gölü Elektrik Üretim Miktarına Etkisi

Yasemin BALKA ÇAĞLAK^{*1}, Murat TÜRKES², Tamer ÖZLÜ³

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, Samsun, Türkiye.

²Boğaziçi Üniversitesi, İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama Merkezi, İstanbul, Türkiye.

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun, Türkiye.

Anahtar Kelimeler

Kuraklık
Hidroelektrik enerji
Standartlaştırılmış Yağış
Buharlaştırma İndisi (SPEI)
Standartlaştırılmış Yağış
İndisi (SPI)
Almus Baraj Gölü

Araştırma Makalesi

Geliş: 01.05.2024
Kabul: 27.06.2024
Yayınlanma: 29.06.2024



Özet

Kuraklık, bir bölgede yağış eksikliği yaşanması durumudur. Bu çalışma, Tokat'ta kuraklığın uzun dönemli etkilerini ve son yıllarda yaşanan kuraklık olaylarının hidroelektrik enerji üretimine olan etkisini incelemektedir. Kuraklığın tarım ve enerji gibi birçok alana olumsuz etkilerini tespit edilmek için SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndisi) ve SPEI (Standartlaştırılmış Yağış ve Evapotranspirasyon İndisi) kullanılmıştır. Kuraklık şiddetini analiz etmek için Almus meteoroloji istasyonu verileri ele alınmıştır. Almus Baraj Gölündeki 2002-2020 yılları arasındaki yıllık enerji üretim verileri, kuraklığın hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. İstasyon verileri ve enerji üretim miktarları arasında yapılan korelasyon analizinde 0,89 uyum saptanmıştır. 1981-2022 yağış verileriyle yapılan SPI ve SPEI analizlerine göre, önemli kuraklık dönemleri tespit edilmiştir. Uzun yıllara dayanan altı aylık periyotlarda olağanüstü kurak değerler üç kez -3 ve altında kaydedilmiştir. Buna göre, Almus Baraj Gölünde elektrik üretim miktarları, kuraklık şiddetiyle doğru orantılı olarak azalmaktadır. Özellikle 2014 yılında elektrik üretimi en büyük düşüşü yaşamıştır. Benzer şekilde, 2007 yılında da önceki yıla göre kuraklık yaşanmış ve elektrik üretimi %33,05 azalmıştır. 2017 yılında ise üretim, bir önceki yıla göre %37,30 düşmüştür. 2020 yılı kuraklığı, sonraki aylarda yağışların olması ve önceki yıllardan kalan bütçenin pozitif etkisiyle, üretim miktarı önceki yıllar kadar sert düşürmemiştir. Sonuç olarak, kuraklık insan faaliyetleri ve sektörler üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta ve düzenli takibi ile sektörel etkilerin kayıt altına alınması gerekmektedir.

The Effect of Drought on the Electricity Production of Almus (Tokat-Türkiye) Dam Lake

Keywords

Drought
Hydroelectric power
Standardized Precipitation
Evaporation Index (SPEI)
Standardized Precipitation
Index (SPI)
Almus Dam Lake

Research Article

Received: 01.05.2024
Accepted: 27.06.2024
Published: 29.06.2024

Abstract

Drought is the lack of rainfall in a region. This study examines the long-term effects of drought in Tokat and the impact of recent drought events on hydroelectric power generation. SPI (Standardized Precipitation Index) and SPEI (Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index) were used to determine the negative impacts of drought on many areas, such as agriculture and energy. Almus meteorological station data were used to analyze drought severity. Annual energy production data from Almus Dam Lake between 2002 and 2020 were used to assess the impact of drought on hydroelectric power generation. The correlation analysis between the station data and energy production amounts showed 0.89 agreement. According to SPI and SPEI analyses with 1981–2022 precipitation data, significant drought periods were identified. In the six-month periods over many years, exceptionally dry values were recorded three times at -3 and below. Accordingly, the amount of electricity generated in Almus Dam Lake decreases in direct proportion to the severity of the drought. Especially in 2014, electricity generation experienced the biggest decline. Similarly, in 2007, there was a drought compared to the previous year, and electricity generation decreased by 33.05%. In 2017, generation fell by 37.30% compared to the previous year. The drought in 2020 reduced the amount of generation due to precipitation in the following months and the positive impact of the budget left over from previous years. As a result, drought has negative impacts on human activities and sectors, and regular monitoring and recording of sectoral impacts is required.

*Sorumlu Yazar

(*1) Dr. Öğrencisi, balkayasemin@gmail.com ORCID ID 0000-0001-9403-5471
(2) Prof. Dr., murat.turkes57@gmail.com ORCID ID 0000-0002-9637-4044
(3) Dr. Öğr. Üyesi, tamero@omu.edu.tr ORCID ID 0000-0002-8847-7967

Kaynak Göster (APA)

Atf/Citation: Balka Çağlak, Y., Türkeş, M. & Özlü, T. (2024). Kuraklığın Almus (Tokat-Türkiye) Baraj Gölü elektrik üretim miktarına etkisi. *Journal of Anatolian Geography*, 1(1), 62-69.

1. Giriş

Günümüzde iklim değişikliğine bağlı olarak doğal afetlerin yaşanma sıklığı artmıştır. Bu durum tüm Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de artış göstermektedir. Doğal afetler içerisinde atmosferik ve klimatolojik kökenli afetler iklim değişikliğinin etkilerini yansıtmaktadır. Sıcak hava dalgaları ve aşırı sıcaklıklar, kısa süreli ani yağışlar, fırtınalar, dolu yağışları ve kuraklık gibi afetler atmosferik ve klimatolojik kökenli afetleri oluşturur. Kuraklık bir yerdeki yağışların ortalamadan/ortancadan sapsması veya az olması durumu olarak tanımlanabilir. Kuraklık afetinin diğer afetlerden farklı bir yönü ise etkisi bakımından yavaş gelişme gösteren bir afet olmasıdır. Bundan dolayı bertaraf edilmesi de diğer afet türlerine göre daha uzun ve zordur. Kuraklığın inceleme alanlarına ve araştırmacıların bakış açılarına göre birçok farklı türü vardır (Belal vd., 2014; Dinç vd., 2016; Bakanoğulları, 2020). Bir yerdeki beklenen yağışların az düşmesi veya hiç düşmemesine meteorolojik kuraklık denirken, meteorolojik kuraklığın ilerleyerek su kaynaklarına etki etmeye başlamasına hidrolojik kuraklık, tarım ürünlerinin gelişme göstermek için toprak içerisinde yeterli miktarda nem ve su bulamaması durumuna ise tarımsal kuraklık denilmektedir (Özgün vd., 2020). Tarımsal kuraklığın ilerleyip geri dönülmesi güç noktaya gelmesine ise sosyoekonomik kuraklık ya da kıtlık terimleri kullanılır. Kuraklık afetinin etkileri birçok sektörde yaşanmaktadır. Bundan dolayı birçok disiplinin çalışmalarına konu olmaktadır. Kuraklığın ekosistem ile ilişkisini, kuraklığın tarımsal üretim ve ürün deseni ile ilişkisini ve kuraklığın enerji üretimi ile olan ilişkisini ele alan birçok araştırma bulunmaktadır (Uğurlu & Örcen, 2007). Nüfus artışı ve beraberinde teknolojinin ilerlemesi her geçen gün enerji ihtiyacını da artırmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için termik ve nükleer santrallerin yanı sıra çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynakları da kullanılmaktadır. Türkiye’de enerji üretiminde ilk sıralarda fosil yakıtlar gelmektedir. Fakat son yıllarda çevre dostu bakış açısıyla enerji üretiminde yenilenebilir kaynaklar olan hidroelektrik, rüzgâr gücü ve dalga gücü gibi enerji kaynaklarından da yararlanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ise Türkiye’de tercih edilenlerden biri hidroelektriktir. Genç oluşumlu (3. ve 4. Jeolojik zaman) bir ülke olması nedeniyle eğim ve engebe fazla ve akarsular denge profiline ulaşmamıştır. Bu durum hidroelektrik potansiyelinin fazla olmasını sağlamıştır. Bundan dolayı Türkiye’nin birçok akarsuyunun üzerinde barajlar inşa edilmiştir. Hidroelektrik gücü ise diğer enerji kaynaklarından farklı olarak iklim koşullarına yakından bağlıdır. Hatta baraj ve çevresinin dışında akarsuyun havzası içerisinde baraj gölünü besleyecek akarsu kollarının iklimsel koşulları önem arz etmektedir. Buradaki iklimsel koşullardan en önemlisi yağış koşullarıdır. Yağışların artması veya azalması elektrik üretimini doğrudan etkilemektedir. Bundan dolayıdır ki kuraklık afeti ile hidroelektrik enerji arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Hava sıcaklıklarının artmasına bağlı olarak buharlaşma şiddetinin artması ve beraberinde yağışların azalması kuraklık afetini meydana getirmektedir. Bu durum sonucunda ise hidroelektrik üretiminde düşüşler yaşanmasına sebep olmaktadır. Dünya’da hidroelektrik enerji üretimi ile kuraklık arasında ilişki tespit eden çalışmalar bulunmaktadır. Cuatrecasas ve ark. (2022) yaptıkları

çalışmada SPI (Standardized Precipitation Index- Standartlaştırılmış Yağış İndisi), SPEI (Standardized Precipitation and Evaporation Index- Standartlaştırılmış Yağış ve Buharlaşma İndisi) ve SSFEI (Standardized Streamflow Index – Standartlaştırılmış Akış İndisi) indislerini kullanarak Brezilya’nın güneydoğu bölgesinde etkili olan kuraklıklardan dolayı bölgedeki baraj göllerinden elde edilen elektrik üretim miktarlarının azaldığını ifade etmektedir. Zhao ve ark. (2023) Çin’de yaptıkları çalışmada RCP 2.6 ve 8.5 iklim senaryolarını kullanarak gelecekte etkili olacak sıcaklık artışı ve kuraklığın hidroelektrik enerji üretimini ciddi oranda azaltacağını ve enerji talebini karşılamakta zorluk yaşanacağını ifade etmiştir. Yine Çin’de yapılan başka bir çalışmada Wan ve ark. (2021) küresel ölçekte bir model geliştirerek hidroelektrik enerji üretiminin kuraklıktan etkilenme durumu incelemiş ve yapılan çalışmada geliştirdikleri modele göre kuraklığın hidroelektrik enerji üretimi üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Mlynski ve ark. (2024) Polonya’da yaptıkları çalışmada meteorolojik kuraklığın hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki etkisini SPI indisi kullanarak analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda meteorolojik kuraklık ile hidroelektrik enerji üretimi arasında uyum olduğu bulunmuştur.

Dünya’nın gündeminde olan ve birçok sektörü etkileyen iklim değişikliği bir orta kuşak ülkesi olan Türkiye’de de yağışlarda azalmalar ve dengesizlikler şeklinde görülmektedir. Bu durum ciddi bir kuraklık probleminin yaşanmasına yol açmaktadır. Türkeş (2008) atmosferde sera gazı birikimine bağlı olarak yüzey sıcaklıklarında 2100 yıllarına doğru 2,5 °C – 4,5 °C artışlar yaşanacağını belirtmiştir. Öztürk ve ark. (2011) 21. yüzyılın ikinci yarısından sonra Türkiye’de ortalama hava sıcaklıklarının 3-7°C arasında artacağını, yağış miktarlarının ise -0,8mm/gün ile 1,2mm/gün arasında değişebileceğini ortaya koymuşlardır. Çelik ve ark. (2018) Doğu Anadolu Bölgesi için 1967 – 2017 yılları arasındaki (50 yıllık) verileri kullanarak kuraklık analizleri yaptıkları çalışmada kuraklık eğiliminde artışların yaşandığını ve bu durumun kış mevsiminde daha çok yaşandığını belirtmişlerdir. Dabanlı (2019) Türkiye’nin kuraklık afetini incelemiş ve birçok ilin orta riski sınıfına girdiğini tespit etmiş, bunlar arasında da en yüksek kuraklık riskinin Konya’da olduğunu ifade etmiştir. Calda ve ark. (2020) kuraklık ile orman yangınları ilişkisini Antalya, Çanakkale ve Muğla illeri için incelemişler ve orman yangınları ile kurak dönemler arasında tutarlı ilişkiler tespit etmişlerdir. Akarsu havzaları ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Gümüş (2017) Ası Havzasındaki kuraklığın zamansal değişimini incelemiş ve en şiddetli kuraklıkların 2000’li yıllardan itibaren başladığını ifade etmiştir. Duvar ve ark. (2021) Sakarya Havzası’ndaki meteorolojik kuraklığın uzaysal-zamansal değişimini incelemişler ve yağışlarda %5 ile %10 arasında düşüşleri belirtmişlerdir. Türkiye’de kuraklık çalışmalarında daha çok geçmişten geleceğe kuraklığın zamansal ve mekansal değişimlerini incelemişlerdir. Kuraklık afetinin hidroelektrik üretimi ilişkisini ele alan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Bu sebeple kuraklığın hidroelektrik enerjisi üretimi üzerindeki etkilerini konu alan bilimsel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada Tokat iline bağlı Almus ilçesi sınırlarında bulunan ve Yeşilirmak Nehri üzerinde kurulan Almus Baraj

Gözü Hidroelektrik Santralinin elektrik üretim miktarı ile kuraklık ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Almus Baraj Gözü Hidroelektrik Santrali 28.562 konutunun elektrik ihtiyacını karşılayabilecek kapasiteye sahip ve yörenin önemli enerji üretimini sağlamaktadır. Çalışmada Dünya’da yaygın kullanıma sahip Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış ve Buharlaşma İndisi (SPEI) kullanılmış ve kuraklık olaylarının hidroelektrik enerji üretimine etkisinin açıklanması hedeflenmiştir. SPI ve SPEI indisleri kullanılarak önce kuraklık analizi yapılmış daha sonra ise kuraklığın hidroelektrik enerji üretimi ile korelasyonu incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma sahası olarak Karadeniz Bölgesi’nin Orta Karadeniz Bölümü’nde yer alan Tokat ilinin Almus ilçesindeki Almus Baraj Gözü Hidroelektrik Santrali seçilmiştir. Almus Baraj Gözü Hidroelektrik Santrali yörenin önemli enerji üretimini sağlamaktadır. Baraj gölü Yeşilirmak Nehri’nin önemli kollarından olan Tozanlı Çayı üzerinde kurulmuştur. Almus Baraj Gölünün kurulduğu saha 500 m ile 1000 m arasında yer almaktadır (Şekil 1). Baraj Gölünün kuruluş yeri seçiminde Kuzey Anadolu Fay Zonuna (KAFZ) bağlı ayrılma (splay) fayı olan Almus Fay Zonu (AFZ) belirleyici olmuştur (Bozkurt & Koçyiğit, 1995). AFZ’nin ayrılma hareketi ile oluşan sahada Tozanlı Çayının önünün setlerle kapatılması sonucu Almus Baraj Gölünün su biriktirme alanı oluşmuştur.

Çalışmada Almus Baraj Gölünün elektrik üretimi ile kuraklık ilişkisini değerlendirmek için 18145 ulusal kodlu Almus meteoroloji istasyonunun 1981-2022 yılları arası aylık toplam yağış miktarı (mm), aylık ortalama maksimum sıcaklık (°C) ve aylık ortalama minimum sıcaklık (°C) verileri kullanılmıştır. Kurak koşullar Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış ve Buharlaşma İndisi (SPEI) kullanılarak analiz edilmiştir. Bu indisler Dünya çapında yaygın kullanılan kuraklık indisleridir.

Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) McKee ve ark. (1993) tarafından geliştirilmiş bir indistir. Aylık toplam yağış verisi kullanılarak hesaplanmaktadır. Olağanüstü kuraktan olağanüstü nemliliğe kadar 8 sınıf aralığında değerler almaktadır. -2 olağanüstü kuraklığı ifade ederken, +2 olağanüstü nemliliği ifade etmektedir (Tablo 1). SPI belirlenen bir zaman dilimi içinde, yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir (Denklem 1).

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}_i}{S} \quad (1)$$

Denklem 1. SPI indisinin formülü.

Standartlaştırılmış Yağış ve Buharlaşma İndisi (SPEI) Vicente-Serrano ve ark. (2010) tarafından geliştirilmiş bir indistir. Kuraklık hesaplanırken yağışın yanı sıra buharlaşmanın da etkili olduğunu ifade etmektedir. Bundan dolayı sahanın ortalama maksimum ve minimum sıcaklık değerlerini de hesaplamaya dahil etmektedir. SPEI, yağış ve (Potansiyel Evapotranspirasyon) PET arasındaki aylık farkı kullanır. Bu, SPEI’yi elde etmek için farklı zaman ölçeklerinde hesaplanan basit bir iklimsel su dengesini (Thornthwaite, 1948) temsil eder.

İlk adım olarak PET hesaplanmaktadır. PET’i hesaplamak için sadece aylık ortalama sıcaklık verilerine ihtiyaç duyulan en basit yaklaşım olan Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile aylık PET (mm) değerleri şu şekilde elde edilir (Denklem 2);

$$PET = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m \quad (2)$$

Denklem 2. PET değerlerinin hesaplanma formülü.

Burada T aylık ortalama sıcaklıktır (°C); I ısı indeksidir ve 12 aylık indeks değeri i’nin toplamı olarak hesaplanır ve ortalama aylık sıcaklıktan türetilir (Denklem 3).

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (3)$$

Denklem 3. Aylık ısı indeksi formülü.

m, ısı indisine (I) bağlı bir katsayıdır: $m = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.492$; K ise enlem ve ayın bir fonksiyonu olarak hesaplanan bir düzeltme katsayısıdır.

Daha sonra PET değeriyle i ayı için yağış (P) ile PET arasındaki fark hesaplanır (Denklem 4).

$$D_i = P_i - PET_i \quad (4)$$

Denklem 4. SPEI indisinin formülü.

Bu analiz edilen aydaki su fazlası veya açığının basit bir ölçümünü sağlar. Hesaplanan D_i değerleri, SPI ile aynı prosedür izlenerek farklı zaman ölçeklerinde toplanır (Vicente-Serrano vd., 2010).

Kuraklık koşullarının sınıflandırmasında ise SPI indis ile aynı aralıklar kullanılmaktadır (Tablo 1). Elde edilen SPI ve SPEI değerleri ile elektrik üretim miktarı arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek için istatistiksel yöntemlerden Pearson korelasyon katsayısı ve Spearman’s rho Korelasyon Katsayısı kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkinin var olup olmadığı veya ilişkinin gücü ve yönünün belirlenmesinde korelasyon analizleri kullanılır. Korelasyon katsayısının değeri -1 ile +1 arasında bulunmaktadır. Sıfıra yaklaştıkça ilişkinin kuvveti zayıflamaktadır (Çubukçu, 2019).

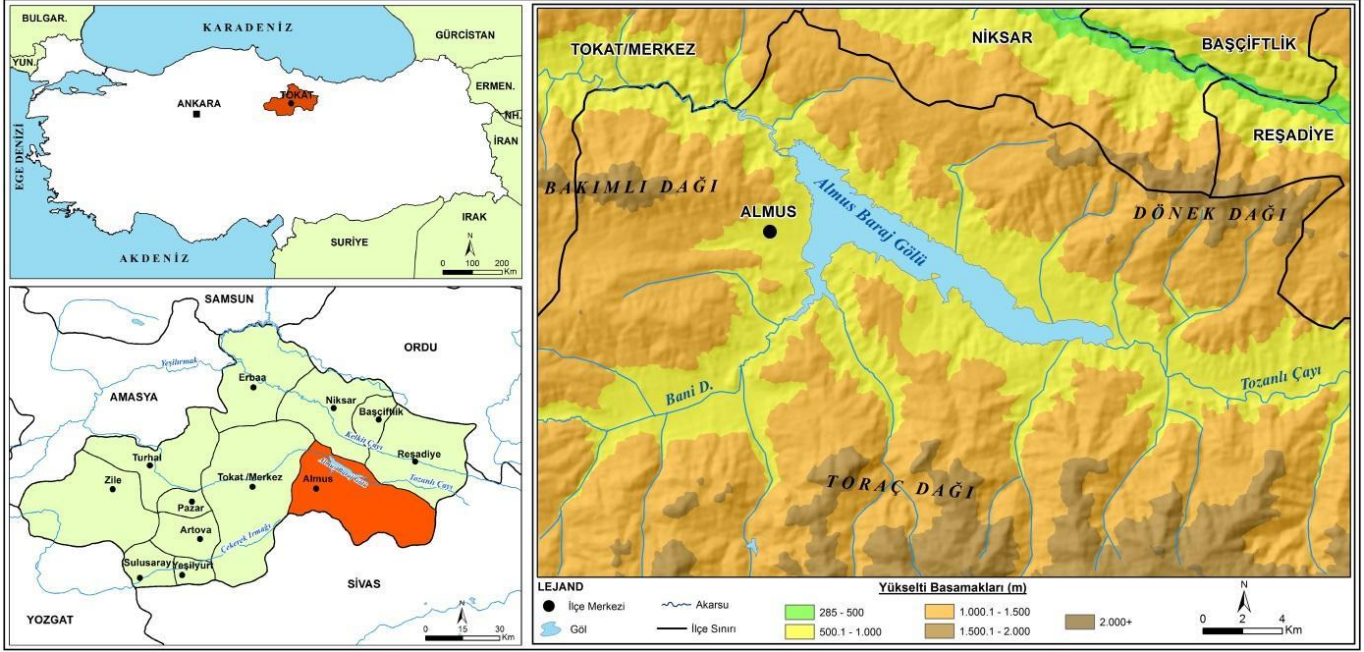
3. Bulgular

Kuraklık koşulları 1, 3, 6, 9, 12, 18 ve 24 aylık periyotlar halinde incelenmektedir.

3.1. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) Kuraklık Analizi

Çalışma sahasının SPI indisine göre kuraklık koşulları 1981-2022 yılları arası SPI-6 kuraklık analizi sonuçlarına göre; 1983, 1984, 1994, 2013, 2014, 2020, 2021 ve 2022 yılları içerisinde ekstrem kurak koşullar yaşanmıştır. 2003, 2006 ve 2011 yıllarında ise olağanüstü nemlilik etkili olmuştur. 1981 – 2022 yılları arasında SPI-6 aylık analizlere

göre; 173 hafif nemli, 162 hafif kurak, 60 orta nemli, 30 orta kurak, 25 şiddetli nemli, 24 şiddetli kurak ve 22 ekstrem kuraklık etkili olmuştur. Ekstrem nemlilik görülmemiştir. Toplamda ise kurak koşullar 238 defa etkili olurken, nemlilik 258 defa yaşanmıştır (Tablo 2). Ayrıca 2022 yılında etkili olan kuraklığın şiddeti (-6.4) diğer yıllardan çok daha fazla olup, olağanüstü kuraklık olarak değerlendirilmektedir. 2022 yılındaki kuraklığın şiddeti nedeniyle yılın nemli ayları dahi şiddetli kurak sınıfında yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil SEQ Şekil * ARABIC 1. Almus Baraj Gölünün lokasyon haritası.

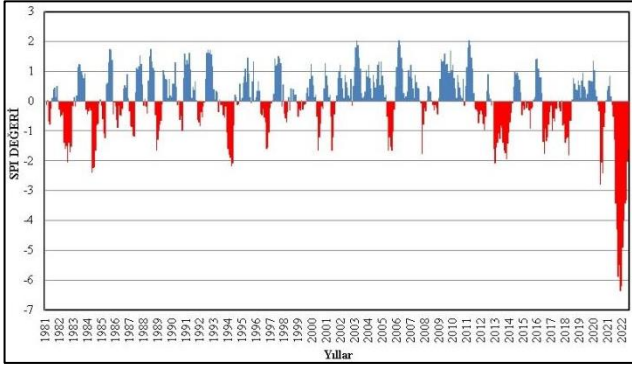
Tablo 1. SPI ve SPEI indislerinin sınıf aralıkları (McKee vd., 1993; Vicente-Serrano vd., 2010).

SPI ve SPEI değerleri	Kuraklık sınıfı
2,00 veya daha fazla	Ekstrem (olağanüstü) nemli
1,5 – 1,99	Şiddetli nemli
1,00–1,49	Orta nemli
0,0–0,99	Hafif nemli
0,0 – (-0,99)	Hafif kurak
(-1,00) – (-1,49)	Orta kurak
(-1,5) – (-1,99)	Şiddetli kurak
(-2,00) veya daha az	Ekstrem (olağanüstü) kurak

3,0	2,0	1,0	11,0	16,0	5,0	3,0	0
2,0	2,0	2,0	13,0	15,0	5,0	2,0	0
1,0	3,0	3,0	11,0	16,0	5,0	2,0	0
2,0	3,0	0,0	15,0	15,0	4,0	2,0	0
1,0	2,0	3,0	15,0	12,0	7,0	1,0	0
2,0	1,0	3,0	16,0	10,0	10,0	0,0	0
1,0	2,0	3,0	14,0	16,0	3,0	3,0	0
1,0	1,0	3,0	17,0	15,0	2,0	0,0	0
2,0	1,0	4,0	12,0	16,0	3,0	4,0	0
3,0	0,0	3,0	16,0	13,0	4,0	3,0	0
2,0	4,0	1,0	13,0	12,0	7,0	3,0	0
2,0	3,0	4,0	9,0	17,0	5,0	2,0	0
22,0	24,0	30,0	162,0	173,0	60,0	25,0	0

Tablo 2. 1981 – 2022 yılları arası Almus (Tokat) ilçesinin SPI-6 aylık analizleri.

E	Ş						E																				
k	i						k																				
s	d						s																				
t	d						t																				
r	e	O	H	H	O	Ş	r																				
e	t	r	f	f	r	i	e																				
m	l	t	k	ne	a	d	m																				
k	i	a	ku	m	n	e	n																				
u	k	k	ra	r	u	u	k	ra	ne	m	li	a	r	r	ra	ra	m	li	li	k	a	a	k	k	li	li	li
r	u	u	k	ra	ne	m	li																				
a	r	r	ra	ra	m	li	li																				
k	a	a	k	k	li	li	li																				

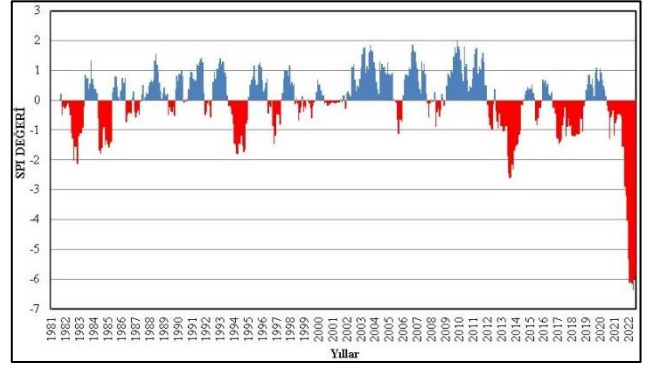


Şekil 2. Almus meteoroloji istasyonuna ait SPI-6 aylık kuraklık analizi (1981–2022).

SPI-12 aylık kuraklık analizleri yığılmalı olarak 12 ayın etkisini göstermektedir. Almus meteoroloji istasyonunun 1981- 2022 yılları arası SPI-12 aylık kuraklık analizi sonuçlarına göre; 178 hafif nemli, 159 hafif kurak, 58 orta nemli, 34 orta kurak, 25 şiddetli kurak, 21 şiddetli nemli, 17 defa ekstrem kuraklık görülmüştür. Ekstrem nemlilik kaydedilmemiştir. Toplamda ise kurak koşullar 235 defa etkili olurken, nemli koşullar 257 defa etkili olmuştur (Tablo 3). 1983, 2013, 2014 ve 2022 yılları içerisinde ise olağanüstü kuraklık etkili olmuştur. 1994, 2001, 2013, 2014, 2018, 2021 ve 2022 yılları içerisinde etkili olan kuraklığın şiddetinden dolayı tüm değerler dahi kuraktır. 2010 yılında ise olağanüstü ekstrem nemlilik etkili olmuştur. 2022’de etkili olan olağanüstü kuraklığın değeri -6,4’tür. 2022 yılında etkili olan kuraklığın şiddetinin fazla olmasından dolayı nemlilik görülmemiştir. Bu yıl içerisindeki en hafif değer -1,5’tir. Bu değer şiddetli kurak sınıf aralığında yer almaktadır (Şekil 3).

Tablo 3. 1981 – 2022 yılları arası Almus (Tokat) ilçesinin SPI-12 aylık analizleri.

E	Ş	O			O	Ş	E
kt	idd	rt	Ha	Ha	rt	idd	kt
st	de	ta	fif	fif	ta	de	st
rem	et	ak	ku	ne	ak	et	rem
ku	lik	ku	ra	mli	ku	li	ne
ra	ur	ra	ku		ra	ne	mli
ak	ak	ak	ra		ku	mli	em
			k		ra	li	li
2,0	3,0	1,0	18,0	10,0	5,0	2,0	0
1,0	3,0	2,0	15,0	13,0	3,0	4,0	0
2,0	2,0	1,0	15,0	12,0	6,0	3,0	0
3,0	2,0	0,0	13,0	17,0	3,0	2,0	0
1,0	1,0	4,0	15,0	13,0	6,0	1,0	0
1,0	2,0	5,0	10,0	16,0	6,0	1,0	0
1,0	4,0	3,0	9,0	20,0	2,0	2,0	0
1,0	2,0	5,0	9,0	21,0	1,0	2,0	0
1,0	1,0	5,0	8,0	22,0	2,0	2,0	0
1,0	1,0	3,0	16,0	14,0	5,0	1,0	0
1,0	3,0	2,0	15,0	9,0	10,0	1,0	0
2,0	1,0	3,0	16,0	11,0	9,0	0,0	0
17	25,0	34,0	159,0	178,0	58,0	21,0	0



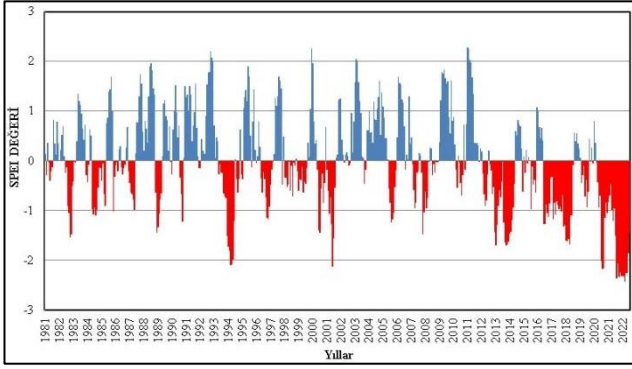
Şekil 3. Almus meteoroloji istasyonuna ait SPI-12 aylık kuraklık analizi (1981–2022).

3.2. Standartlaştırılmış Yağış ve Buharlaşma İndisi (SPEI) Kuraklık Analizi

Yağış değerlerinin yanı sıra PET (Potansiyel Evapotranspirasyon) değerlerinin de hesaplama katıldığı bu yeni kuraklık indisini kullanılarak 1981-2022 yılları arasının kuraklık analizleri hazırlanmıştır. SPEI-6 aylık kuraklık analizi sonuçlarına göre; 187 hafif kurak, 139 hafif nemli, 45 orta kurak, 46 orta nemli, 32 şiddetli nemli, 21 şiddetli kurak, 17 ekstrem kurak ve 5 defa ekstrem nemlilik kaydedilmiştir. Toplamda ise kuraklık 270 defa etkili olurken, nemlilik 222 defa etkili olmuştur (Tablo 4). Ayrıca 1994, 2001, 2020, 2021 ve 2022 yılları içerisinde olağanüstü kuraklık etkili olurken, 1988, 1993, 2000, 2003 ve 2011 yılları içerisinde ise olağanüstü nemlilik görülmüştür (Şekil 4).

Tablo 4. 1981 – 2022 yılları arası Almus (Tokat) ilçesinin SPEI-6 aylık analizleri.

E	Ş	O			O	Ş	E
kt	idd	rt	Ha	Ha	rt	idd	kt
st	de	ta	fif	fif	ta	de	st
rem	et	ak	ku	ne	ak	et	rem
ku	lik	ku	ra	mli	ku	li	ne
ra	ur	ra	ku		ra	mli	mli
ak	ak	ak	ra		ku	li	em
2,0	0,0	3,0	19,0	10,0	3,0	4,0	0,0
2,0	1,0	5,0	14,0	12,0	2,0	5,0	0,0
1,0	2,0	5,0	13,0	13,0	3,0	3,0	1,0
1,0	3,0	3,0	14,0	13,0	4,0	2,0	1,0
1,0	3,0	4,0	15,0	12,0	3,0	1,0	1,0
1,0	4,0	1,0	17,0	11,0	5,0	1,0	1,0
1,0	2,0	5,0	15,0	13,0	3,0	1,0	1,0
2,0	1,0	2,0	17,0	13,0	3,0	2,0	0,0
2,0	1,0	2,0	17,0	13,0	1,0	5,0	0,0
2,0	0,0	5,0	14,0	10,0	9,0	2,0	0,0
1,0	1,0	6,0	16,0	9,0	6,0	3,0	0,0
1,0	3,0	4,0	16,0	10,0	4,0	3,0	0,0
17,0	21,0	45,0	187,0	139,0	46,0	32,0	5,0



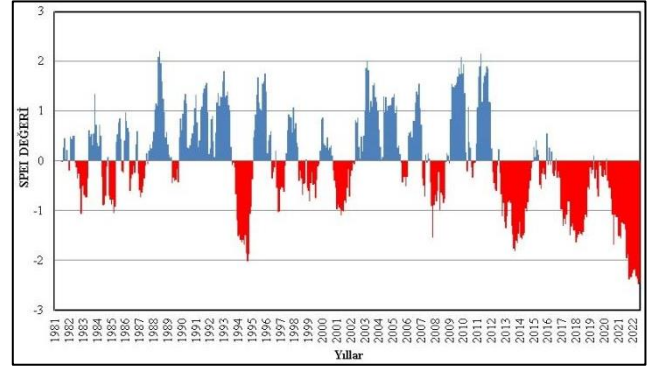
Şekil 4. Almus meteoroloji istasyonuna ait SPEI-6 aylık kuraklık analizi (1981–2022).

1981-2022 yılları arası SPEI-12 aylık kuraklık analizi sonuçlarına göre; 177 hafif kurak, 130 hafif nemli, 63 orta nemli, 44 orta kurak, 31 şiddetli nemli, 30 şiddetli kurak, 12 ekstrem kurak ve 4 ekstrem nemlilik etkili olmuştur. Toplamda ise kurak koşullar 263 defa etkili olurken, nemli koşullar 228 defa etki göstermiştir (Tablo 5). 1995 ve 2022 yılları içerisinde olağanüstü ekstrem kuraklık etkili olurken, 1988, 2003, 2010 ve 2011 yılları içerisinde olağanüstü nemli nemlilik etkili olmuştur. 2013, 2014, 2018, 2021 ve 2022 yılları içerisinde kurak koşulların etkisinin fazla olmasından dolayı bu yıllar içerisindeki nemli değerler bulunmamaktadır. 2013, 2014, 2018, 2021 ve 2022 yıllarında tüm değerler kuraklık sınıfları içerisinde yer almaktadır. 2022 yılı içerisinde olağanüstü ve şiddetli kuraklık etkili olmuştur (Şekil 5).

Tablo 5. 1981 – 2022 yılları arası Almus (Tokat) ilçesinin SPEI-12 aylık analizleri.

Ekstrem kurak	Şiddetli kurak	Orta kurak	Hafif kurak	Hafif nemli	Orta nemli	Şiddetli nemli	Ekstrem nemli
1,0	3,0	2,0	19,0	7,0	5,0	4,0	0,0
1,0	3,0	2,0	18,0	8,0	5,0	4,0	0,0
1,0	2,0	4,0	18,0	7,0	5,0	4,0	0,0
1,0	2,0	5,0	14,0	10,0	6,0	2,0	1,0
1,0	1,0	6,0	13,0	11,0	6,0	3,0	0,0
1,0	3,0	4,0	14,0	11,0	6,0	2,0	0,0
1,0	4,0	2,0	12,0	15,0	5,0	2,0	0,0
1,0	4,0	2,0	14,0	13,0	4,0	2,0	0,0
1,0	2,0	4,0	12,0	15,0	4,0	2,0	1,0
1,0	2,0	5,0	13,0	10,0	8,0	1,0	1,0
1,0	2,0	4,0	16,0	10,0	4,0	3,0	1,0
1,0	2,0	4,0	14,0	13,0	5,0	2,0	0,0

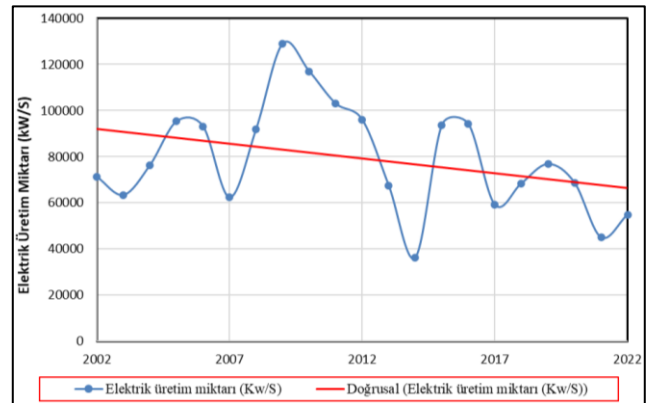
12,0	30,0	44,0	177,0	130,0	63,0	31,0	4,0
------	------	------	-------	-------	------	------	-----



Şekil 5. Almus meteoroloji istasyonuna ait SPEI-12 aylık kuraklık analizi (1981–2022).

3.3. Hidroelektrik enerji üretimi ve kuraklık ilişkisi

Almus Baraj Gölü Hidroelektrik Santrali (Almus HES) 1966 yılında kurulmuştur. Fakat üretim miktarı verileri düzenli ve sistematik olarak 2002 yılından itibaren tutulmaya başlanmıştır. Bundan dolayı çalışmada 2002 yılından 2022 yılına kadar (21 yıllık) veriler üzerinden analiz edilmiştir. 2002 – 2022 yılları arası Almus HES'in yıllık ortalama hidroelektrik enerji üretim miktarı 79203 kW/s'tir. Hidroelektrik enerji üretimi en fazla 2009 yılında 129000 kW/s, en az ise 2014 yılında 36291 kW/s'tir. Enerji üretim miktarları yıldan yıla dalgalanma göstermektedir. 2007 yılında yağışlarda meydana gelen azalmadan dolayı kuraklığın etkisine bağlı olarak elektrik üretim miktarı düşmüştür. 2007 yılından 2012 yılına kadar üretim miktarlarında artış gözlenmiştir. 2012 yılında ise elektrik üretiminde tekrar düşüş yaşanmıştır (Şekil 6; Tablo 6).



Şekil 6. Almus Baraj Gölü Hidroelektrik Santralinin yıllık elektrik üretim miktarları.

Tablo 6. Almus Baraj Gölü Hidroelektrik Santralinin yıllara göre elektrik üretim miktarları.

Yıllar	Elektrik üretim miktarı (kW/S)	Yıllar	Elektrik üretim miktarı (kW/S)
2002	71180	2013	67396
2003	63381	2014	36291

2004	76390	2015	93704
2005	95333	2016	94239
2006	93086	2017	59083
2007	62319	2018	68449
2008	92000	2019	76805
2009	129000	2020	68727
2010	117000	2021	44996
2011	103000	2022	54896
2012	96000	Ortalama	79203

Kaynak: Almus Baraj Gölü Hidroelektrik Santrali Müdürlüğü, 2023.

Kuraklığın hidroelektrik enerji üretim tutarına olan etkisini değerlendirebilmek için, Almus Baraj Gölü Hidroelektrik Santrali'nin 2002-2022 döneminde elde edilen yıllık enerji üretim değerleri ile SPI-6, SPI-12, SPEI-6 ve SPEI-12 kuraklık indislerinin değerleri kullanıldı. Kuraklık indis değerleri ile yıllık enerji üretim miktarları arasındaki ilişki istatistiksel yöntemlerden Pearson korelasyon katsayısı ve Spearman's rho korelasyon katsayısı ile analiz edildi. Analizler sonucunda hidroelektrik enerji üretim miktarları ile kuraklık indis değerleri arasında pozitif yönlü ilişki tespit edilmiştir. Bu ilişki Pearson korelasyon katsayısına göre; SPI-6'da 0,412 ($p>0,05$), SPI-12'de 0,444 ($p>0,05$), SPEI-6'da 0,624 ($p>0,01$) ve SPEI-12'de 0,612 ($p>0,01$) düzeylerinde ilişki belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre hidroelektrik enerji üretim miktarları ile SPI indisleri arasında orta düzeyde pozitif yönlü ilişki ve SPEI indisleri arasında ise pozitif yönlü yüksek ilişki görülmüştür. Belirlenen ilişkinin anlamlılık düzeyinin SPI indislerinde 0,05 düzeyinde ve SPEI indislerinde 0,01 düzeyinde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 7).

Spearman's rho korelasyon katsayısı analizi sonucu göre; SPI-6'da 0,501, SPI-12'de 0,442, SPEI-6'da 0,636 ve SPEI-12'de 0,591 düzeylerinde pozitif yönlü yüksek ilişki belirlenmiştir. Belirlenen ilişkinin anlamlılık düzeyi tüm indislerde 0,01 düzeyindedir (Tablo 7).

Tablo 7. Elektrik enerji üretimi ile kuraklık ilişkisi.

Korelasyon katsayıları	SPI-6	SPI-12	SPEI-6	SPEI-12
Pearson Korelasyon Katsayısı	0,421*	0,444*	0,624**	0,612**
Spearman's rho Korelasyon Katsayısı	0,501*	0,442*	0,636**	0,591**

* Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır (2 yönlü).

** Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2 yönlü).

4. Sonuç ve Tartışma

Çalışmada kuraklık ile hidroelektrik enerji üretimi arasında ilişki olduğu saptanmıştır. Üretim miktarının en fazla düştüğü yıl 2014 yılıdır. 2009 yılında ise üretim miktarı diğer tüm yıllardan fazla olmuştur. Dünya'da ve Türkiye'de

kuraklık ve iklim değişikliği ile ilgili yapılmış birçok çalışma yer almıştır. Türkiye'de yapılan çalışmalar daha çok kuraklığın akarsu havzaları üzerindeki salt etkisini tespit etmiştir. Örneğin Gümüş (2017) yılındaki çalışmasında Asi havzasında kuraklığın etkisini incelemiş ve kuraklığın 2000'li yılların başından itibaren arttığını tespit etmiştir. Duvar ve ark. (2021) yılındaki çalışmasında Sakarya havzasındaki kuraklığın havza üzerine etkilerini incelemiş ve kurak koşulların Sakarya Havzasında 2020-2098 yılları arasında artacağı tespit etmiştir. Dünya'da ise Zhao ve ark. (2023) yılındaki çalışmasında Çin'de etkili olan kuraklıkların ülkedeki hidroelektrik santrallerindeki üretimi düşürdüğünü ve gelecek dönemde de artan sıcaklıklar ve kuraklığın enerji üretimini olumsuz etkileyeceğini tespit etmiştir. Wan ve ark. (2021) yılında yaptığı çalışmada küresel ölçekte geliştirdikleri modellerin kuraklığın arttığını tespit ederek hidroelektrik enerji üretimini düşürdüğünü göstermektedir. Yapılan çalışmanın sonuçlarının literatürdeki çalışmalarda kuraklığın artacağı yönündeki tespit ile benzerlik göstermektedir. Dünya ölçeğinde yapılan kuraklık ve enerji üretimi ilişkisini inceleyen çalışmaların sonuçlarıyla benzer sonuçlar elde edilirken, Türkiye ölçeğinde hidroelektrik enerji üretimi ve kuraklık ilişkisini ele alan benzer çalışmanın bulunmaması yönüyle çalışma özgün bir değere sahiptir.

Kuraklık insan faaliyetleri ve sektörler üzerinde olumsuz etkilere sahiptir ve kuraklığın düzenli olarak takip edilerek sektörlerimize göre etkilerinin kayıt altına alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, kuraklık insan sistemleri/etkinlikleri ile doğal sistemler/ekosistemler üzerinde olumsuz etkilere sahiptir ve kuraklığın düzenli olarak izlenerek sektörlerimize ve doğal sistemlere olan etkilerinin kayıt altına alınması önemlidir. Sektör bazlı olarak coğrafi bilgi sistemleri tabanlı kuraklık izleme ve takip sistemlerinin kurulması önemlidir. Çünkü kuraklık yavaş gelişen ve etkisi hemen fark edilmeyen uzun süreli bir klimatolojik olay (afet)dir. Olasılıkla gelecek 20 yıllık dönemde, Türkiye'de su hazne ve akiferlerinde biriken suyun akılcı/dikkatli ve etkili/verimli kullanımı ile neden sonuç ilişkilerini de dikkate alan bütüncül bir kuraklık risk yönetimi sistemi (ölçme + izleme + değerlendirme + belirleme + analiz + değerlendirme + planlama + erken uyarı + strateji hazırlama, vb.) yaklaşımıyla yüzey suyu ve yeraltı suyu kaynaklarının yönetimi, su yöneticilerinin ve uzmanlarının su varlığını optimize etmekle görevli oldukları başlıca stratejiler arasında yer almalıdır. Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında, yakın-orta dönemde Türkiye'de artan nüfusun ve yüksek kentleşme oranlarının da katkısıyla su yetersizliğinin ve krizin başlayacağı, buna bağlı olarak da genel bir su sıkıntısı yaşanabileceği söylenebilir. Bu nedenle, kuraklık ya da su ile ilgili kriz yönetimlerinin yerine, risk temelli kuraklık ya da bütünleşik su-kuraklık yönetimi ve planlama politikalarının geliştirilmesi zorunludur.

Bilgilendirme/Teşekkür

Çalışmanın metodolojik çerçevesine katkıda bulunan hakemlerimize, çalışmanın yazım kısmındaki önemli katkılarından dolayı yazım editörümüze teşekkür ederiz.

Araştırmacıların katkı oranı

Yasemin Balka Çağlak: Literatür taraması, Arazi çalışması, Modelleme, Analiz, Makale yazımı; **Murat**

Türkeş: Düzenleme, Analiz, Makale yazımı; **Tamer Özlü:** Makale yazımı, Düzenleme.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Bakanoğulları, F. (2020). Kırsal havzalarda kuraklığın iki yöntem (SPEI ve SPI) kullanılarak belirlenmesi: Kumdere Havzası örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(1), 146-156. <https://doi.org/10.30910/turkjans.680037>.
- Belal, A.A., El-Ramady, H.R., Mohamed, E.S. & Saleh, A.M. (2014). Drought risk assessment using remote sensing and GIS techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 35–53. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0707-2>.
- Bozkurt, E. & Koçyigit, A. (1995). Almus Fault Zone: Its age, total ofset and relation to the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Journal of Earth Science*, 4(2), 93-104.
- Calda, B., An, N., Turp, M.T. & Kurnaz, M.L. (2020). İklim değişikliğinin Akdeniz Havzasındaki orman yangınlarına etkisi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 32(1), 15-32.
- Cuartas, L.A., Cunha, A.P.M.D.A., Alves, J.A., Parra, L.M.P., Deusdará-Leal, K., Costa, L.C.O., Molina, R.D., Amore, D., Broedel, E., Seluchi, M.E. & Marengo, J.A. (2022). Recent hydrological droughts in Brazil and their impact on hydropower generation. *Water*, 14(4), 601. <https://doi.org/10.3390/w14040601>.
- Çelik, M.A., Kopar, İ. & Bayram, H. (2018). Doğu Anadolu Bölgesi'nin mevsimlik kuraklık analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(3), 1741-1761.
- Çubukçu, K.M. (2019). *Basic statistics and spatial statistics in planning and geography* (2nd Edition). Nobel Publishing.
- Dabanlı, İ. (2019). Kuraklık riskinin bulanık mantık yardımıyla Türkiye genelinde değerlendirilmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 359-372.
- Diñç, N., Aydınşakir, K., Işık, M. & Büyüктаş, D. (2016). Standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI) yöntemi ile Antalya ili kuraklık analizi. *Derim*, 33(2), 279-298. Doi:10.16882/Derim.2016.267912.
- Duvan, A., Aktürk, G. & Yıldız, O. (2021). Meteorolojik kuraklığın zamansal ve alansal özelliklerine iklim değişikliğinin etkisi, Sakarya örneği. *Mühendislik Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2), 207-217.
- Gümüş, V. (2017). Akım kuraklık indeksi ile Asi Havzasının hidrolojik kuraklık analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(1), 65-73.

- Hoşgören, M.Y. (2011). *Jeomorfolojinin ana çizgileri I*. Çantay Kitabevi.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In 8th Conference on Applied Climatology*, (pp. 179-184). American Meteorological Society.
- Młyński, D., Książek, L. & Bogdał, A. (2024). Meteorological drought effect for Central Europe's hydropower potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191, 114175. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114175>.
- 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. <http://dx.doi.org/10.33793/acperpro.03.02.23>
- Öztürk, T., Türkeş, M. & Kurnaz, M. L. (2011). RegCM4. 3.5 iklim modeli benzetimleri kullanılarak Türkiye'nin gelecek hava sıcaklığı ve yağış klimatolojilerindeki değişikliklerin çözülmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 20(1), 17-27.
- Türkeş, M. (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 26-37.
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94.
- Uğurlu, Ö. & Örcen, İ. (2007). Türkiye’de küresel ısınmanın enerji kaynakları üzerine etkisi. *EMO Enerji Toplumsal Haber ve Araştırma Dergisi*, (3), 17-19.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. & Lopez-Moreno, J.I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Wan, W., Zhao, J., Popat, E., Herbert, C. & Döll, P. (2021). Analyzing the impact of streamflow drought on hydroelectricity production: A global-scale study. *Water Resources Research*, 57(4), 1-25. <https://doi.org/10.1029/2020WR028087>
- Zhao, X., Huang, G., Li, Y. & Lu, C. (2023). Responses of hydroelectricity generation to streamflow drought under climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 174, 113141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113141>

