

Atf İçin: Nacar S, Şan M, Kankal M, Okkan U, 2022. Farklı İklim Değişikliği Senaryoları için Doğu Karadeniz Bölgesindeki Meteorolojik Kuraklıkların Eğilim Analizi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2): 843-856.

To Cite: Nacar S, Şan M, Kankal M, Okkan U, 2022. Trend Analysis of Meteorological Droughts for Different Climate Change Scenarios in Eastern Black Sea Region. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(2): 843-856.

Farklı İklim Değişikliği Senaryoları için Doğu Karadeniz Bölgesindeki Meteorolojik Kuraklıkların Eğilim Analizi

Sinan NACAR¹, Murat ŞAN^{2*}, Murat KANKAL³, Umut OKKAN⁴

ÖZET: Kuraklık diğer doğal afetlerden farklı olarak gelişimi daha uzun zaman alan ve etkileri daha uzun süre devam eden bir afettir. Meydana gelmesi muhtemel bir kuraklığın önceden belirlenmesi, kuraklığın olumsuz etkilerinin daha etkili bir şekilde azaltılmasını mümkün kılmaktadır. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) farklı iklim koşullarına sahip, farklı zaman dilimleri ve bölgeler arasındaki kuraklıkları tanımlamak için en sık kullanılan kuraklık indeksidir. Bu çalışmanın amacı almış olduğu yağış miktarı bakımından Türkiye'nin en önemli hidrolojik havzalarından biri olan Doğu Karadeniz Havzası'nın (DKH) geçmiş ve gelecek dönem kuraklık analizini SYİ parametresi ile gerçekleştirmek ve bu parametrenin eğilimini belirlemektir. Bu kapsamda DKH içinde ve çevresinde yer alan 12 meteoroloji istasyonundan ölçülmüş olan 1981-2010 dönemi aylık toplam yağış verileri kullanılarak SYİ değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca CMIP5 arşivinde yer alan GFDL-ESM-2M genel dolaşım modelinin iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) senaryolar altındaki bölgesel ölçeğe indirgenmiş olan 2021-2050 dönemi çıktılarına da aynı işlemler uygulanmıştır. Meteorolojik kuraklığın eğilim analizleri için 1 ve 3 aylık SYİ değerleri üzerinde Yenilikçi Eğilim Analizi yöntemi kullanılarak üç farklı grupta ve %95 güven düzeyinde tekdüze olarak eğilim analizi gerçekleştirilmiştir. Gözlem değerlerinde ve RCP senaryolarında istasyonların yaklaşık %25'inde şiddetli yağışlarda ve şiddetli kuraklıklarda artış görülmüştür. Ancak SYİ değerlerinde geçmiş dönem periyodunda Akçaabat istasyonu (azalan eğilim) hariç tekdüze anlamlı artan eğilim görülürken gelecek dönem periyodunda her iki senaryo için azalan yönde eğilim görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğu karadeniz havzası, iklim değişikliği, kuraklık analizi, standartlaştırılmış yağış indeksi, yenilikçi eğilim analizi

Trend Analysis of Meteorological Droughts for Different Climate Change Scenarios in Eastern Black Sea Region

ABSTRACT: Unlike other natural disasters, drought takes longer to develop and its effects last longer. With this feature, monitoring a possible drought makes it possible to reduce the negative effects of drought more effectively. The Standardized Precipitation Index (SPI) is one of the few drought indexes proposed by researchers to describe droughts between different climatic conditions on different time periods and regions. This study aims to perform the past and future drought analysis of the Eastern Black Sea Basin (EBSB), which is one of the most important hydrological basins in terms of precipitation amount of Turkey, with SPI. In this context, SPI values were calculated using the monthly total precipitation data for the 1981-2010 period, which were measured from 12 meteorological stations in and around the EBSB. In addition, the same processes were applied to the 2021-2050 period outputs of the GFDL-ESM-2M general circulation model in the CMIP5 archive, which was downscaled to regional scale under optimistic (RCP4.5) and pessimistic (RCP8.5) scenarios. For trend analysis of meteorological drought, trend analysis was carried out in three different groups and 95% confidence interval, using Innovative Trend Analysis method on 1- and 3- monthly SPI values. In the observation values and RCP scenarios, about 25% of the stations saw an increase in severe wet class and in severe drought class. However, in the historical period, except for the Akçaabat station (decreasing trend), significant monotonic increasing trends were observed in the SPI values, while a decreasing trend was observed in the next period for both scenarios.

Keywords: Eastern black sea basin, climate change, drought analysis, standardized precipitation index, innovative trend analysis

¹ Sinan NACAR ([Orcid ID: 0000-0003-2497-5032](https://orcid.org/0000-0003-2497-5032)) Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 60150, Tokat, Türkiye, sinan.nacar@gop.edu.tr

^{2*} Murat ŞAN ([Orcid ID: 0000-0001-7006-8340](https://orcid.org/0000-0001-7006-8340)) Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane, Türkiye, muratsan@gumushane.edu.tr

³ Murat KANKAL ([Orcid ID: 0000-0003-0897-4742](https://orcid.org/0000-0003-0897-4742)) Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye, mkankal@uludag.edu.tr

⁴ Umut OKKAN ([Orcid ID: 0000-0003-1284-3825](https://orcid.org/0000-0003-1284-3825)) Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 10145, Balıkesir, Türkiye, umutokkan@balikesir.edu.tr

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Murat ŞAN, e-mail: muratsan@gumushane.edu.tr

Bu çalışma Sinan NACAR'ın Doktora tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), altıncı değerlendirme raporunda (AR6) insan etkilerinin atmosferi, okyanusları ve toprağı ısıttığı vurgulanmaktadır. Özellikle son yıllarda insan etkileri nedeniyle atmosferde, okyanusta, kriyosferde ve biyosferde yaygın ve hızlı değişimler meydana gelmiştir. Bu raporda son 40 yıldaki her on yıllık dönemin, 1850 yılından beri kendisinden önceki on yıldan daha sıcak olduğu ifade edilmiştir. AR6'ya göre 1850–1900'dan 2010–2019'a kadar insan kaynaklı toplam küresel yüzey sıcaklığı artışının olası aralığı 0,8 °C ila 1,3°C olarak ve en iyi tahminle 1,07°C olarak belirlenmiştir. Ayrıca kara üzerindeki küresel ortalama yağış miktarının 1950'lerden bugüne kadar artan bir eğilim gösterdiği ve bu artış eğiliminin 1980'lerden sonra daha da arttığı ifade edilmektedir (IPCC, 2021). İklim değişikliği etkilerinin dünyanın hemen hemen bütün bölgelerinde birçok aşırı hava ve iklim olaylarını tetiklediği ve bu etkiler sonucunda sıcak hava dalgaları, yoğun yağışlar, kuraklıklar ve tropik siklonlar gibi aşırı hava olaylarının görülme sıklığı ve şiddetinin artış gösterdiği IPCC raporunda ve birçok uluslararası çalışmada vurgulanmıştır (Wu ve ark, 2012; Kron ve ark, 2019; Haltas ve ark, 2021; IPCC, 2021).

IPCC özellikle 21. yüzyıl için kuraklıkların olası yoğunlaşması konusunda karar vericileri ve yöneticileri uyarmıştır. Kuraklık yavaş başlayan ve ilerleyen hidrometeorolojik bir olay olması dolayısıyla izlenmesi ve analizi büyük bir önem taşımaktadır (Dikici, 2019). Son yıllarda dünyanın çeşitli bölgeleri için kuraklık olayları kapsamlı bir şekilde ele alınmakta ve kuraklık analizleri gerçekleştirilmektedir (Caloiero ve ark, 2018). Bu kapsamda Lloyd-Hughes and Saunders (2002) Orta Avrupa'daki bazı büyük ölçekli kuraklıkları, Minetti ve ark. (2010) ve Feng (2011) Güney ve Kuzey Amerika'da bölgesel kuraklığı, Fang ve ark. (2013) ve Hua ve ark. (2013) Asya'da mekansal ve zamansal kuraklık değişkenliğini, Caloiero ve ark. (2018) Avrupa ve Akdeniz Havzası'nda kuraklık analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Kuraklık analizlerinin gerçekleştirilmesinde en sık kullanılan yöntem kuraklık indeksleridir. Kuraklık indeksleri iklim anomalilerinin farklı kullanıcılara iletilmesi, kuraklık hakkında daha detaylı ve anlaşılır bilgiler sunması ve farklı kuraklık türlerinin (meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık) izlenmesi ve değerlendirilmesi için kullanılan yararlı araçlardır (Caloiero ve ark, 2018). Kuraklığın belirlenmesini ve ölçülmesini sağlamak amacıyla literatürde farklı değişkenler kullanılarak hesaplanan çok sayıda kuraklık indeksi yer almaktadır. Bu indekslere Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi, Keşif Kuraklık İndeksi, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi, Yüzey Suyu Temini İndeksi, Akarsu Kuraklık İndeksi, Yağış Anomali İndeksi, Standartlaştırılmış Akış İndeksi örnek olarak verilebilir (Palmer, 1965; Van Rooy, 1965; Shafer ve Dezman, 1982; McKee ve ark, 1993; McKee ve ark, 1995; Tsakiris ve ark, 2007; Shukla ve Wood, 2008; Nalbantis ve Tsakiris, 2009; Vicente-Serrano ve ark, 2010;). Kullanılan bu indekslerden SYİ, McKee ve ark. (1993) tarafından kuraklığı tanımlamak ve izlemek amacıyla geliştirilmiştir. SYİ, yağışın belirli bir zamanda ortalamadan çıkarılıp standart sapmaya bölünmesi ile elde edilen değerdir. SYİ ile herhangi bir bölgede belirli bir zaman ölçeğinde kurak veya nemli olaylardaki anormallikler belirlenebilmektedir (Pamuk ve ark. 2004). SYİ, ekonomik faaliyetleri, insan yaşamını ve çevreyi etkileyen, su kaynaklarının mevcudiyeti ve ekosistemlerin taşıma kapasitesinin azalmasına neden olan, ortalamanın altında geçici yağış olarak tanımlanan meteorolojik kuraklığı analiz etmek için en çok kullanılan indekstir (Tabari ve ark, 2012; Bayissa ve ark, 2015).

Kuraklığın mevcut veriler üzerine incelenmesi çalışılan havzanın geçmiş dönem kuraklıkları hakkında bilgi sağlaması açısından oldukça önemlidir. Ancak iklim değişikliği etkileri ile belirli senaryolar altında aynı havzada gelecek dönemlerde meydana gelebilecek olası kuraklıkların analizi

havza için su kaynaklarının korunması, tarım ve hayvancılık, sürdürülebilir çevre, enerji ve ülke ekonomisi gibi konularda hayati öneme sahiptir. Bu tür analizlerin gerçekleştirilebilmesi için havzada yer alan ve verileri kuraklık analizlerinde kullanılan meteoroloji istasyonlarının gelecek dönem iklim verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecek dönem iklim verilerini elde etmeye yönelik çalışmalar incelendiğinde iklim modelleme çalışmalarının ön plana çıktığı görülmektedir (Demir ve ark, 2013; Demircan ve ark, 2014). Bu kapsamda sıklıkla kullanılan yaklaşım ise genel dolaşım modelleri (GDM) çıktılarının kullanılması yaklaşımıdır. GDM çıktıları kullanılarak gelecek dönem verilerinin farklı senaryolar altında üretilmesi ve üretilen bu verilerin diğer yaklaşımlara kıyasla daha güvenilir olması iklim modelleme çalışmalarında sıklıkla kullanılmasını sağlamıştır (Wilby ve Harris, 2006; Nacar ve ark, 2021). GDM çıktıları sahip oldukları düşük çözünürlükler nedeniyle bölgesel iklimi temsil edememektedir. Bu nedenle kaba çözünürlüğe sahip olan GDM'lerin çözünürlüğünün arttırılması amacıyla ölçeklerinin indirgenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda dinamik ve istatistiksel ölçek indirgeme yaklaşımları geliştirilmiştir (Tripathi ve ark, 2006). Bunlardan istatistiksel ölçek indirgeme yaklaşımı dinamik ölçek indirgemeye kıyasla daha sık kullanılmaktadır. Yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde istatistiksel ölçek indirgeme yöntemlerinin tercih edilmesinin nedenleri arasında kullanım, uygulama ve performanslarını test etme kolaylığı, ihtiyaç duyulan bilgisayar gücü kapasitesinin ve modellemede kullanılan değişken sayısının az olması gibi avantajların yer aldığı görülmektedir (Okkan ve Fistikoglu, 2014; Okkan ve ark, 2014; Okkan 2015; Okkan ve Inan, 2015a; Okkan ve Inan, 2015b; Okkan ve Karakan 2016; Okkan ve Kirdemir; 2016; Okkan ve Kirdemir; 2018; Nacar ve ark, 2019; Hamlet ve ark. 2020; Nacar ve ark, 2021).

Bu çalışma kapsamında senaryo çalışmaları için 5. İklim Modeli Karşılaştırma Projesi (CMIP5) arşivinde yer alan GFDL-ESM-2M (GFDL) modeline ait veriler kullanılmıştır. Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP) senaryolarından iyimser ve kötümser senaryoyu temsil eden RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında çalıştırılan GFDL modelinin Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE) istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi uygulanarak bölgesel ölçeğe indirgenmiş aylık toplam yağış çıktıları kullanılarak kuraklık analizleri gerçekleştirilmiştir. Kuraklık analizlerinde literatürde belirli bir bölgenin kuraklığının incelenmesi çalışmalarında sıklıkla rastlanan SYİ indeksi kullanılmıştır. SYİ Doğu Karadeniz Havzası (DKH) içerisinde ve yakın çevresinde yer alan 12 istasyon için hem 1971-2010 dönemi gözlem verileri için hem de RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktıları olan gelecek 2021-2050 dönemi için hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca hesaplanan SYİ'lerin eğilim analizleri de düşük, orta ve yüksek değerlerin eğilimlerini grafiksel olarak incelemeye olanak tanıyan ve Şen (2012) tarafından geliştirilen Yenilikçi Eğilim Analizi (YEA) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylelikle hem geçmiş hem de gelecek dönem için olası kuraklık analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca iyimser ve kötümser senaryolar altındaki olası eğilimleri geçmiş dönem eğilimleri ile karşılaştırılmıştır.

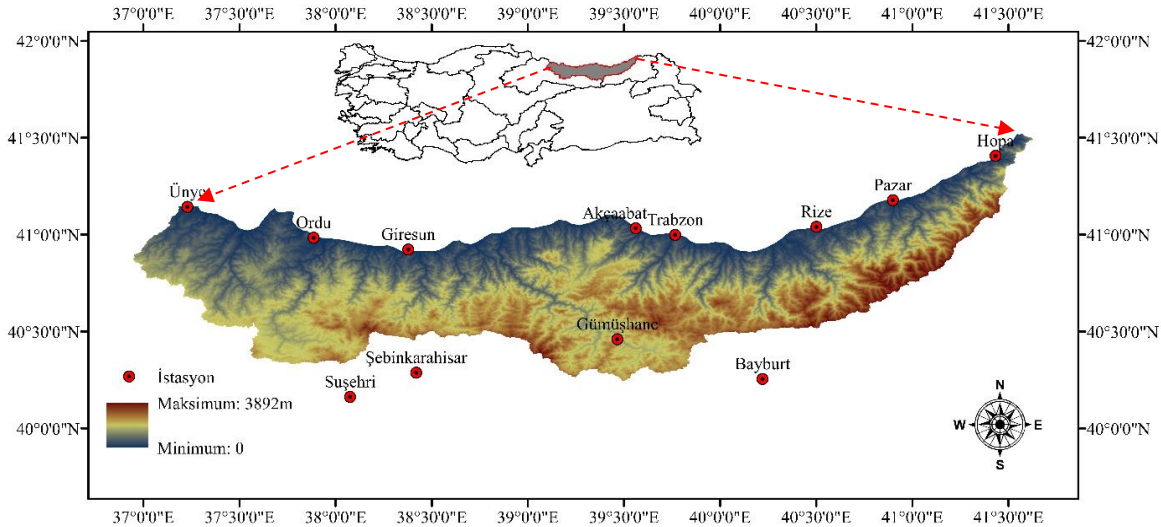
MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

DKH coğrafi bakımdan 40° 15' – 41° 34' kuzey enlemleri ile 36° 43' – 41° 35' doğu boylamları arasında yer alan Türkiye'nin kuzey sahilinde yer almaktadır. Türkiye'deki 25 hidrolojik havzadan biri olan havza batıda Çoruh Havzası ve kuzeyde Karadeniz ile çevrelenmektedir. DKH'nin toplam yağış alanı 22.844 km², yıllık ortalama akışı ise 566,23 m³/s'dir. Doğu Karadeniz Havzası'nın yıllık ortalama yağış yüksekliği 1198 mm'dir. Rize ili civarında yıllık toplam yağış yüksekliği değeri 2300 mm'lere ulaşmaktadır ve bu değer Türkiye ortalamasının yaklaşık 3.7 katına karşılık gelmektedir (Haltas ve ark, 2021). Doğu Karadeniz Havza'sı sahip olduğu bu değerlerle Türkiye'nin en fazla yağış alan hidrolojik havzası durumundadır. DKH almış olduğu önemli miktardaki yağış ve arazi yapısının ve eğiminin fazla

olması nedenleri ile sıklıkla taşkınlara ve heyelanlara maruz kalmaktadır (Nacar ve ark, 2021; Haltas ve ark, 2021). Bu taşkınların sayısında ve şiddetinde iklim değişikliği etkileri ile son yıllarda artış görülmektedir. Özellikle son yıllarda meydana gelen taşkınlarda onlarca kişi hayatını kaybetmiş ve milyonlarca liralık maddi kayıplar oluşmuştur (Haltas ve ark, 2021). Yıllık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde, 1970-2016 yılları arasında 249 istasyon verisi kullanılarak belirlenen Türkiye yıllık ortalama sıcaklık değeri olan 13,1 °C değerinden yaklaşık 1 °C fazla olduğu görülmektedir.

İklim değişikliği çalışmalarında 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 dönemlerine ait veriler; bilim adamları, ulusal iklim hizmetleri ile uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından uluslararası, ulusal ve bölgesel temelli iklim izleme, iklim eğilimleri, iklim değişikliği ve iklim modelleme çalışmalarında iklim normalleri olarak kullanılmaktadır (Demircan ve ark, 2014). Çalışma kapsamında Doğu Karadeniz Havzası sınırları içerisinde ve çevresinde yer alan 12 istasyona ait veriler kullanılmıştır. Bu veriler en güncel referans dönem olan 1981-2010 dönemine ait 30 yıllık veriyi içeren aylık toplam yağış değerlerinden oluşmaktadır. İstasyonların havzadaki konumları Şekil 1’de sayısal yükseklik haritası üzerine işlenerek verilmiştir. Bu istasyonlardan 1981-2010 döneminde ölçülmüş olan yağış verilerine ait temel istatistikler Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kuraklık analizlerinde verileri kullanılan meteoroloji istasyonlarının sayısal yükseklik haritası üzerindeki dağılımı

Çalışma kapsamında ayrıca istatistiksel ölçek indirgeme modeli kullanılarak bölgesel ölçeğe indirgenmiş olan GFDL modeline ait RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo verileri kullanılmıştır (Nacar, 2020). Bu veriler Nacar (2020) doktora tez çalışmasından elde edilmiştir. Verilerin elde edilmesi için kullanılan ÇDURE tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme prosedürüne ve istasyon özelinde gerçekleştirilmiş olan modelleme çalışmaları detaylarına Nacar (2020) çalışmasından erişilebilir.

Çizelge 1. 1981-2010 ve 2021-2050 dönemleri istasyonlardan ölçülen ve RCP senaryo çıktılarının aylık toplam yağış verilerine ait temel istatistikler

İstasyon	Veri seti	Dönem	Minimum (mm)	Ortalama (mm)	Maksimum (mm)	Standart sapma (mm)
Akçaabat	Gözlem	1980-2010	0.0	61.3	204.0	42.4
	RCP4.5	2021-2050	4.6	60.1	300.0	42.0
	RCP8.5	2021-2050	4.7	61.1	360.5	43.2
Bayburt	Gözlem	1980-2010	0.0	38.2	145.3	27.2
	RCP4.5	2021-2050	0.0	36.5	170.3	25.2
	RCP8.5	2021-2050	0.0	40.7	160.1	28.6
Giresun	Gözlem	1980-2010	0.2	107.2	521.6	65.3
	RCP4.5	2021-2050	0.0	94.8	393.1	63.8
	RCP8.5	2021-2050	0.0	95.8	478.0	63.4
Gümüşhane	Gözlem	1980-2010	0.0	39.2	141.9	28.1
	RCP4.5	2021-2050	0.0	34.4	150.9	27.2
	RCP8.5	2021-2050	0.0	33.9	184.4	28.8
Hopa	Gözlem	1980-2010	9.3	188.1	607.5	110.2
	RCP4.5	2021-2050	19.7	170.2	461.8	94.7
	RCP8.5	2021-2050	18.6	173.0	670.6	99.0
Ordu	Gözlem	1980-2010	2.3	87.4	251.0	51.4
	RCP4.5	2021-2050	5.9	84.2	344.1	50.4
	RCP8.5	2021-2050	5.0	87.4	402.1	51.2
Pazar	Gözlem	1980-2010	15.3	175.1	703.2	107.1
	RCP4.5	2021-2050	0.0	150.6	454.8	97.4
	RCP8.5	2021-2050	0.0	141.1	603.3	96.5
Rize	Gözlem	1980-2010	8.2	189.0	516.6	105.8
	RCP4.5	2021-2050	0.0	175.4	489.1	98.6
	RCP8.5	2021-2050	0.0	177.5	553.9	94.6
Suşehri	Gözlem	1980-2010	0.2	36.4	162.2	27.5
	RCP4.5	2021-2050	0.0	34.9	182.6	26.0
	RCP8.5	2021-2050	0.0	36.4	155.9	28.0
Şebinkarahisar	Gözlem	1980-2010	0.0	49.1	187.0	35.7
	RCP4.5	2021-2050	0.0	45.0	221.4	35.2
	RCP8.5	2021-2050	0.0	45.7	224.9	37.2
Trabzon	Gözlem	1980-2010	0.0	70.5	226.1	44.7
	RCP4.5	2021-2050	0.1	68.0	288.6	42.9
	RCP8.5	2021-2050	0.1	69.4	260.7	43.5
Ünye	Gözlem	1980-2010	1.6	97.5	298.7	59.1
	RCP4.5	2021-2050	0.0	89.5	276.2	54.2
	RCP8.5	2021-2050	0.0	91.7	299.8	56.2

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ)

SYİ (McKee ve ark, 1993; Guttman, 1999) sadece yağış değerlerini kullanması, herhangi bir mekân ve zaman üzerinde uygulanmasını sağlayan standartlaşma içermesi gibi avantajları nedeniyle araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. SYİ, aylık toplam yağış verilerinin uygun kümülatif olasılık dağılıma uydurulması ve ardından standart ters normal olasılık dağılıma (ortalaması 0 ve varyansı 1) dönüştürülmesi ile hesaplanır. Kısa süreli (meteorolojik) kuraklıkların izlenmesi, uzun süreli (tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik) kuraklıkların habercisi olmasının yanında bölgenin su temini ve tatlı su ekosistemini etkilemesi nedeniyle (Şen, 2015) bu çalışmada kısa süreli kuraklıklar incelenmiştir. Literatürde kısa süreli (1-3 ay) SYİ hesaplarında iki parametrelili Gamma dağılımının kullanılması önerilmektedir (Stagge ve ark, 2015). Bununla birlikte Dünya meteoroloji örgütü, Avrupa acil yönetim servisi ve ülkemizde Meteoroloji Genel Müdürlüğü SYİ değerlerini hesaplarken Gamma dağılımını dikkate almaktadır (WMO, 2012; EDO, 2020; MGM, 2021). Ayrıca Türkiye genelini kapsayan çalışmalarda da (Türkeş ve Tatlı, 2009; Sen ve ark., 2012; Dabanlı, 2017) gamma dağılımı sıklıkla kullanılmakta ve kabul görmektedir. Bu nedenle yağış verileri her ay için ayrı ayrı iki parametrelili Gamma dağılımına uydurularak kullanılmıştır. Analizler için açık kaynak kodlu R yazılım dili ile oluşturulmuş “SCI” paketi (Gudmundsson ve Stagge, 2016) kullanılmıştır. SYİ'nin detaylı hesaplama

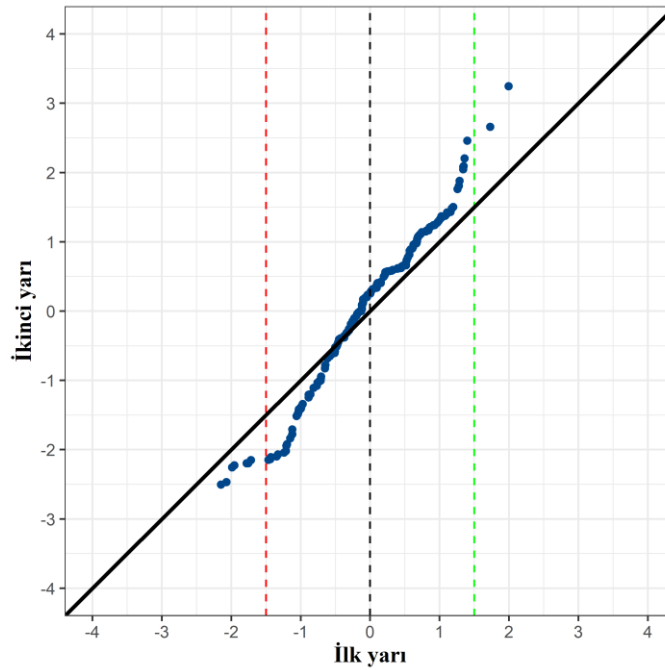
prosedürüne McKee ve ark. (1993) ve Guttman (1999) çalışmalarından ulaşılabilir. SYİ değerlerine göre kuraklık sınıflandırması Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. SYİ kuraklık Sınıflandırılması

SYİ Değerleri	Kuraklık Sınıfı	SYİ Değerleri	Kuraklık Sınıfı
2.0 < SYİ	Aşırı yağışlı	-2.0 > SYİ	Aşırı kurak
1.5 < SYİ ≤ 2.0	Şiddetli yağışlı	-1.5 > SYİ ≥ -2.0	Şiddetli kurak
1.0 < SYİ ≤ 1.5	Orta yağışlı	-1.0 > SYİ ≥ -1.5	Orta kurak
0 < SYİ ≤ 1.0	Hafif yağışlı	0 > SYİ ≥ -1.0	Hafif kurak

Yenilikçi Eğilim Analizi (YEA)

YEA yöntemi, düşük, orta ve yüksek değerlerin eğilimlerini grafiksel olarak incelemek için Şen (2012) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde zaman serisi iki eşit parçaya bölünür, parçalar kendi içinde küçükten büyüğe doğru sıralanır ardından dağılım grafiğinde ilk parça yatay eksene, ikinci parça dikey eksene karşılıklı olarak yerleştirilir (Şekil 2). 1:1 (45°) doğrusunun üst bölümünde kalan noktalar artan, alt bölümünde kalan noktalar ise azalan eğilimi göstermektedir. Bu çalışmada SYİ şiddetli yağışlı, normal yağışlı-kurak ve şiddetli kurak şeklinde üç grupta incelenmiştir. Çizelge 2’deki kuraklık sınıflandırmasına göre, şiddetli kurak sınırı için eşik değer olarak -1.5, şiddetli yağış sınırı için ise 1.5 değeri belirlenmiştir. Bu sınırlar SYİ’nin ilk yarıya göre ikinci yarıdaki değişimleri gözlemlemek amacıyla Şekil 2’de ilk yarı üzerinde sırasıyla kırmızı ve yeşil kesikli çizgileri ile gösterilmiştir.



Şekil 2. SYİ için YEA grafiksel gösterimi

Şen (2012) tarafından geliştirilen bir grafik eğilim yöntemi olan YEA yöntemini tekdüze eğilimleri nicel olarak değerlendirmek için Şen (2017) tarafından istatistiksel anlamlılık testi önerilmiştir. YEA anlamlılık testi yönteminde hidrometeorolojik zaman serisi iki eşit parçaya bölünür ve aritmetik ortalamaları (y_1 ve y_2) ayrı ayrı hesaplanır. Eğilimin eğimi ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E(s) = \frac{2}{n} [E(\bar{y}_2) - E(\bar{y}_1)] \quad (1)$$

$$\sigma_s^2 = \frac{8}{n^2} [E(\bar{y}_2^2) - E(\bar{y}_2\bar{y}_1)] \quad (2)$$

$$\rho_{\bar{y}_2\bar{y}_1} = \frac{E(\bar{y}_2\bar{y}_1) - E(\bar{y}_2)E(\bar{y}_1)}{\sigma_{\bar{y}_2}\sigma_{\bar{y}_1}} \quad (3)$$

$$\sigma_S^2 = \frac{8}{n^2} \frac{\sigma^2}{n} (1 - \rho_{\bar{y}_2 \bar{y}_1}) \quad (4)$$

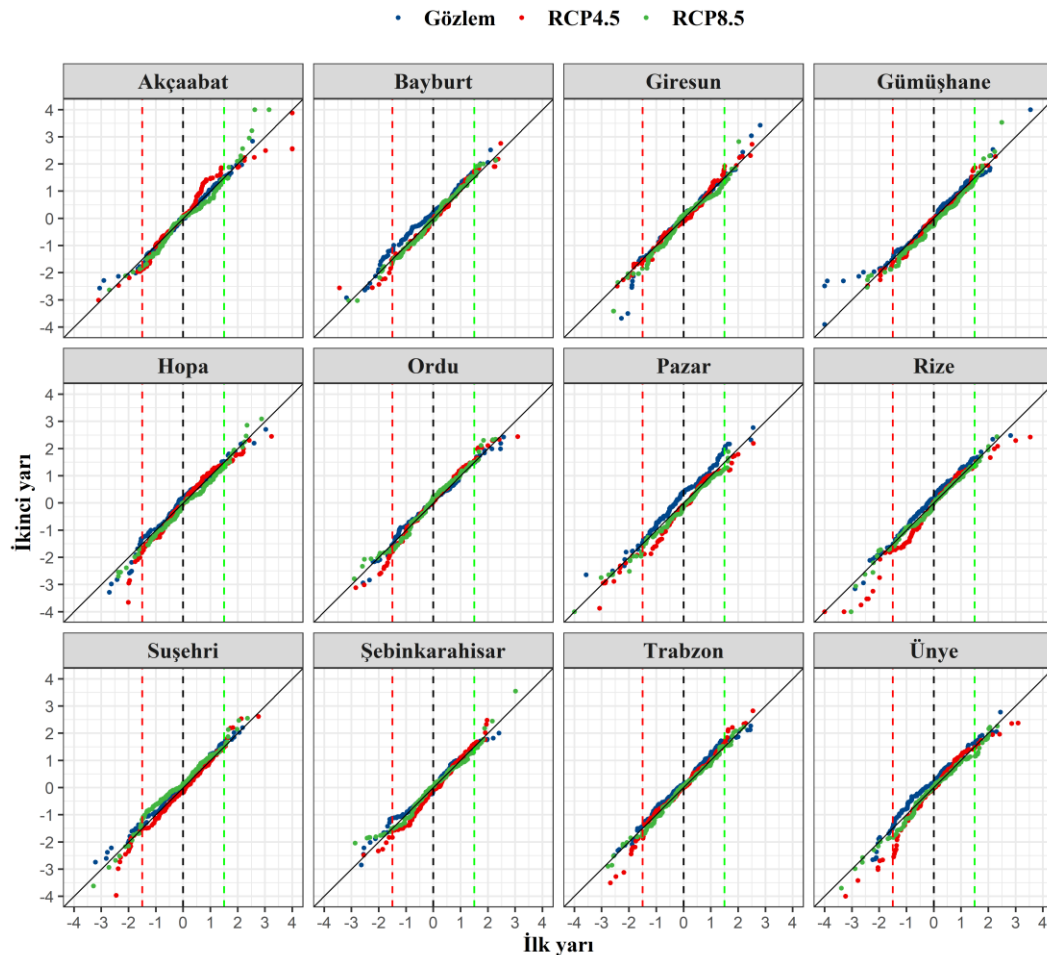
$$\sigma_S^2 = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \sigma \sqrt{(1 - \rho_{\bar{y}_2 \bar{y}_1})} \quad (5)$$

Bu denklemlerde $E(s)$ eğimin birinciden momentini, n veri uzunluğunu, ρ iki parça arasındaki çapraz korelasyon katsayısını, σ tüm verinin standart sapmasını, σ_s^2 trend eğiminin varyansını ve σ_s eğimin standart sapmasını ifade etmektedir. Trend eğiminin güven aralığı (GA) şu şekilde hesaplanır:

$$GA_{(1-\alpha)} = 0 \pm s_{cri} \sigma_s \quad (6)$$

s_{cri} , belirli bir güven düzeyinde standart normal dağılımdan elde edilen z değerini ifade etmektedir. Eğilimin eğimi üst güven sınırını aşarsa artan, alt limitini aşarsa azalan bir eğilim olduğu kabul edilir. Bu koşullar karşılanmazsa, belirli bir güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimin olmadığı kabul edilir. Bu çalışmada YEA anlamlılık testi %95 güven düzeyinde gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 3. SYI_1 için YEA grafikleri

1 ve 3 aylık kısa süreli meteorolojik kuraklıkları incelemek için havza sınırları içerisinde ve çevresinde yer alan 12 meteoroloji istasyonundan elde edilen aylık toplam yağış verilerine ve RCP senaryoları altında çalıştırılan GFDL modeline ait aylık toplam yağış verilerine SYİ ayrı ayrı uygulanmıştır.

Ardından üç farklı grupta incelenmek amacı ile YEA kullanılmış (Şekil 3 ve 4) ve tekdüze eğilimi incelemek için anlamlılık testi %95 düzeyinde gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3 ve 4). 1 aylık SYİ eğilim analiz grafiği Şekil 3'te verilmiştir.

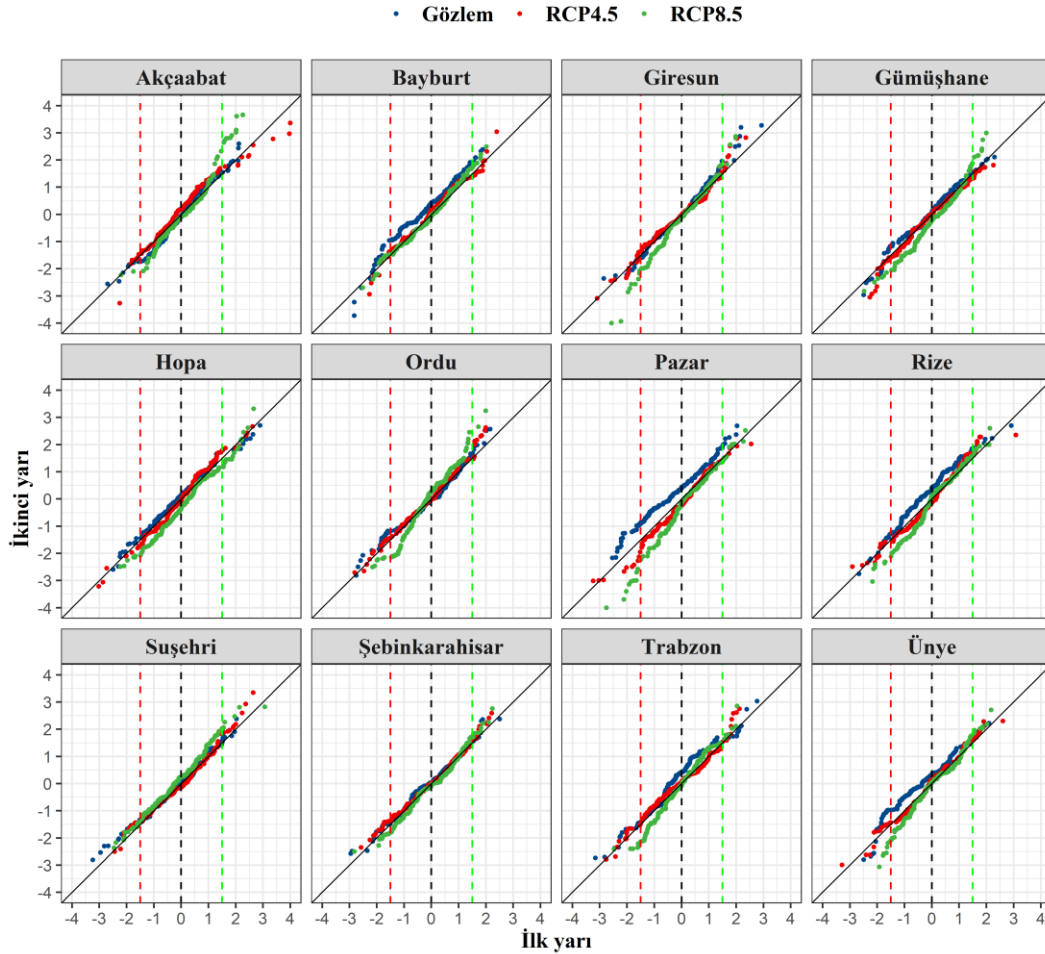
Şekil 3'teki çoğunlukla istasyonlardaki normal kuraklık ve normal yağışlı bölgede kalan SYİ_1 değerlerinde ciddi eğilim görülmemektedir. Ancak şiddetli yağışlı ($SYİ > 1.5$) durumlar değerlendirildiğinde gözlem periyodunda Bayburt, Giresun ve Pazar istasyonlarında artış eğilimi, Ordu ve Trabzon istasyonlarında azalış eğilimi görülmektedir. RCP4.5 senaryosunda şiddetli yağışlı bölgesinde Akçaabat, Hopa, Pazar, Rize ve Ünye istasyonlarında önemli azalış eğilimi görülürken, Şebinkarahisar ve Trabzon istasyonlarında önemli artış eğilimi görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda şiddetli yağış bölgesinde Akçaabat, Gümüşhane, Ordu ve Suşehri istasyonlarında önemli artış eğilimi görülmüş ancak diğer istasyonlarda önemli bir eğilim görülmemiştir. Şiddetli kurak ($SYİ < -1.5$) durumlar incelendiğinde gözlem periyodunda SYİ değerlerinde Akçaabat, Gümüşhane ve Suşehri istasyonlarında artış (azalan kuraklık) eğilimi varken Giresun, Hopa, Ordu ve Ünye istasyonlarında azalan (artan kuraklık) eğilim görülmektedir. RCP4.5 senaryosunda şiddetli kurak durumlar için RCP4.5 senaryosunda Hopa, Ordu, Rize, Suşehri, Şebinkarahisar, Trabzon ve Ünye istasyonlarında SYİ değerlerinde azalış eğilimi (artan kuraklık) görülürken diğer istasyonlarda önemli bir eğilim görülmemektedir. RCP8.5 senaryosunda şiddetli kurak durum için Hopa, Rize ve Suşehri istasyonlarında SYİ değerlerinde azalış (kuraklık artışı) eğilimi görülürken Şebinkarahisar istasyonunda SYİ değerinde artış eğilimi görülmekte ancak diğer istasyonlarda önemli bir eğilim görülmemektedir. SYİ_1 için tekdüze eğilimleri %95 güven düzeyinde YEA sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

1 aylık SYİ değerlerinde gözlem periyodunda Giresun, RCP4.5 senaryosunda Trabzon, RCP8.5 senaryosunda Şebinkarahisar istasyonlarında herhangi anlamlı tekdüze bir eğilim görülmemektedir (Çizelge 3). Gözlem periyodunda Akçaabat istasyonunda SYİ değerlerinde azalış, diğer istasyonlarda ise anlamlı artış görülmektedir. Ordu istasyonu (tüm durumlar için artış eğilimi) hariç, RCP senaryolarında gözlem periyodunun aksine çoğunlukla SYİ değerlerinde azalış eğilimi görülmektedir. 3 aylık SYİ değerlerinin YEA sonuç grafikleri Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. SYİ_1 için YEA %95 güven düzeyinde eğilim sonuçları

Veri seti	Gözlem			RCP4.5			RCP8.5		
	GA (±)	Eğim	Eğilim	GA (±)	Eğim	Eğilim	GA (±)	Eğim	Eğilim
Akçaabat	0.00006	-0.00013	▼	0.00014	0.00020	▲	0.00010	-0.00039	▼
Bayburt	0.00006	0.00125	▲	0.00008	-0.00017	▼	0.00005	-0.00006	▼
Giresun	0.00010	0.00004	0	0.00007	-0.00019	▼	0.00009	-0.00055	▼
Gümüşhane	0.00011	0.00039	▲	0.00006	-0.00056	▼	0.00008	-0.00099	▼
Hopa	0.00008	0.00030	▲	0.00011	-0.00041	▼	0.00005	-0.00090	▼
Ordu	0.00006	0.00019	▲	0.00007	0.00014	▲	0.00007	0.00027	▲
Pazar	0.00007	0.00138	▲	0.00009	-0.00061	▼	0.00005	-0.00066	▼
Rize	0.00005	0.00095	▲	0.00012	-0.00061	▼	0.00006	-0.00026	▼
Suşehri	0.00005	0.00054	▲	0.00007	-0.00046	▼	0.00008	0.00100	▲
Şebinkarahisar	0.00007	0.00024	▲	0.00005	-0.00063	▼	0.00008	-0.00004	0
Trabzon	0.00006	0.00081	▲	0.00007	0.00002	0	0.00005	-0.00016	▼
Ünye	0.00008	0.00114	▲	0.00011	-0.00038	▼	0.00007	-0.00037	▼

▲: artış eğilimi, ▼: azalış eğilimi, 0: eğilim yok



Şekil 4. SYİ₃ için YEA grafikleri

3 aylık SYİ şiddetli yağışlı değerleri için gözlem periyodunda Bayburt, Giresun, Ordu ve Pazar istasyon değerlerinde önemli artış eğilimi görülürken diğer istasyonlarda önemli bir eğilim görülmemektedir. RCP4.5 senaryosunda şiddetli yağış grubunda Giresun ve Ordu önemli artış eğilimi Akçaabat, Gümüşhane azalış eğilimi görülmektedir ancak diğer istasyonlarda önemli bir eğilim görülmemektedir. RCP8.5 senaryosunda şiddetli yağış grubunda Akçaabat, Bayburt, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Şebinkarahisar ve Ünye istasyonlarında önemli artış eğilimleri görülürken diğer istasyonlarda herhangi bir eğilim görülmemektedir.

Normal yağışlı-kurak grubunda kalan SYİ değerlerinde Bayburt, Pazar, Rize, Trabzon ve Rize istasyonlarında gözlem periyodunda artış eğilimi söz konusu iken diğer istasyonlarda önemli bir değişiklik görülmemiştir. RCP4.5 senaryosunda herhangi bir istasyonda önemli bir eğilim belirlenmezken RCP8.5 senaryosunda çoğunlukla eğilim olduğu görülmektedir. SYİ değerleri RCP8.5 senaryosunda normal kurak-yağışlı grubunda Akçaabat, Ordu istasyonunda azalış ve artış görülmesi bir denge durumu olabileceğinin göstergesi olarak düşünülmektedir. Ayrıca Gümüşhane, Hopa, Pazar, Rize, Trabzon ve Ünye istasyonlarında azalış eğilimlerinin olması şiddetli kuraklığa doğru bir eğilim olabileceğinin göstergesi olarak düşünülmektedir. Şiddetli kurak grupta Pazar ve Suşehri istasyonları (artış eğilimi) hariç gözlem periyodunda herhangi bir önemli eğilim görülmemektedir. RCP4.5 senaryosunda şiddetli kurak grupta SYİ değerlerinde Gümüşhane istasyonundaki azalış eğilimi haricinde herhangi bir istasyonda ciddi eğilim görülmemektedir. RCP8.5 senaryosunda şiddetli kurak grupta Giresun, Pazar, Rize, Ünye istasyonlarında SYİ değerlerinde önemli azalış eğilimi (kuraklık artış)

görüldükçe, diğer istasyonlarda ciddi bir eğilim görülmemektedir. 3 aylık SYİ değerlerindeki %95 güven düzeyinde YEA tekdüze eğilim sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. SYİ_3 için YEA %95 güven düzeyinde eğilim sonuçları

Veri seti	Gözlem			RCP4.5			RCP8.5		
	GA (±)	Eğim	Eğilim	GA (±)	Eğim	Eğilim	GA (±)	Eğim	Eğilim
Akçaabat	0.00007	-0.00020	▼	0.00011	0.00058	▲	0.00013	-0.00034	▼
Bayburt	0.00009	0.00205	▲	0.00007	0.00035	▲	0.00006	0.00001	0
Giresun	0.00007	0.00023	▲	0.00009	0.00001	0	0.00007	-0.00082	▼
Gümüşhane	0.00007	0.00053	▲	0.00007	-0.00042	▼	0.00008	-0.00137	▼
Hopa	0.00005	0.00054	▲	0.00007	0.00000	0	0.00006	-0.00172	▼
Ordu	0.00008	0.00024	▲	0.00007	0.00051	▲	0.00008	0.00048	▲
Pazar	0.00006	0.00259	▲	0.00007	-0.00078	▼	0.00008	-0.00169	▼
Rize	0.00007	0.00190	▲	0.00009	-0.00010	▼	0.00008	-0.00074	▼
Suşehri	0.00006	0.00033	▲	0.00008	0.00007	0	0.00006	0.00126	▲
Şebinkarahisar	0.00005	0.00036	▲	0.00005	0.00020	▲	0.00007	-0.00043	▼
Trabzon	0.00010	0.00163	▲	0.00008	0.00033	▲	0.00007	-0.00029	▼
Ünye	0.00010	0.00175	▲	0.00007	0.00012	▲	0.00008	-0.00065	▼

▲: artış eğilimi, ▼: azalış eğilimi, 0: eğilim yok

3 aylık meteorolojik kuraklık eğilim analizi sonuçlarına göre gözlem periyodunda Akçaabat istasyonunda azalış eğilim görülürken diğer istasyonlarda artan eğilim görülmüştür (Çizelge 4). Ancak gözlem periyodunda görülen eğilimler, RCP senaryolarında bazı istasyonlarda tam tersi eğilimlere dönüşmüştür. RCP8.5 senaryosundaki SYİ değerlerindeki eğilim Ordu (artış), Suşehri (artış) ve Bayburt (değişim yok) istasyonları hariç diğer istasyonlarda azalış yönünde görülmektedir. 1 aylık SYİ değerlerinde de benzer durumlar söz konusudur.

Gözlem ve geleceğe yönelik GFDL GDM modelinin RCP senaryoları genellikle farklı eğilim göstermiştir. Bununla birlikte gözlem ve RCP senaryolarında SYİ değerlerinde şiddetli yağış grubunda artış ve şiddetli kurak grubunda azalış eğilimine sahip istasyonlar havzadaki istasyonların yaklaşık %25'ni kapsamaktadır. Yani genel olarak havza için şiddetli yağışlarda veya şiddetli kuraklıklarda önemli eğilim belirlenmemiştir. Partal ve Yavuz (2020) tarafından yapılan ve 1960-2015 periyodunda Doğu Karadeniz havzasını kapsayan 1 aylık SYİ değerlerinin yıl içindeki altı farklı kuraklık grubu içerisindeki sayıların eğilimlerini inceleyen çalışmada havza için genel anlamlı eğilim bulunamamıştır. Partal ve Yavuz (2020) tarafından yapılan çalışma ve mevcut çalışma değerlendirme kriterleri, dönem ve eğilim yöntemi farklılığından kaynaklı benzer sonuçlar taşımamaktadır. Bununla birlikte mevcut çalışmanın gözlem periyodunda SYİ değerlerinde genellikle tekdüze anlamlı artan eğilim görülmüştür. Ancak Çeribaşı ve Doğan (2015) tarafından yapılan çalışmada 1979-2012 yılları arasında yıllık ortalama yağışlarda Rize (artış) ve Pazar (artış) istasyonları hariç tekdüze anlamlı eğilim bulunamamıştır. Çeribaşı (2019) tarafından bu çalışma ile dokuz adet ortak istasyonda 1964-2012 dönemi için yıllık ortalama yağışlarda eğilim analizi sonuçlarına göre Rize, Ünye ve Pazar istasyonlarında anlamlı artış eğilimleri haricinde bir eğilim gözlenmemiştir. Çeribaşı ve Doğan (2015) ve Çeribaşı (2019) çalışmalarında artan anlamlı eğilim gösteren ortak Rize ve Pazar istasyonlarındaki yağış artışı farklı periyodlar olsa da mevcut çalışmadaki SYİ değerlerinde benzer sonuçlar taşımaktadır. Bu çalışmalarda eğilim göstermeyip mevcut çalışmada eğilim gösteren ortak istasyonlardaki bu farklılıkların nedenleri arasında farklı periyodun, farklı kriterlerin ve yöntemlerin kullanılmış olması gösterilebilir. Gelecek dönem RCP senaryoları incelendiğinde ise SYİ değerleri çoğunlukla tekdüze anlamlı azalan yönde eğilim göstermektedir. Bu durum yakın gelecekte kısa süreli meteorolojik kuraklıkların, RCP senaryoları ve GFDL modeli dikkate alındığında beklenenin aksine artabileceğini göstermektedir. Demircan ve ark. (2017) tarafından CMIP 5 kapsamında dinamik ölçek indirgeme yöntemi ile Türkiye'nin geleceğe yönelik mevsimsel yağış ve sıcaklık değişimlerini inceleyen çalışmada, GFDL modeli dikkate alındığında Doğu Karadeniz

bölgesinde kış mevsiminde önemsiz değişim, yaz ve sonbahar mevsimlerinde önemli azalan değişim olabileceği ortaya konulmuştur. Bağçacı ve ark. (2021) tarafından yapılan ve bölgeyi temsil ettiği düşünülen 4 GDM dikkate alınarak geleceğe yönelik senaryolardaki Türkiye'nin aylık ortalama yağış ve sıcaklık değişimlerini inceleyen çalışmada, GFDL model çıktıları göz önüne alındığında Karadeniz bölgesinde yıllık, yaz ve sonbahar dönemlerinde yakın gelecekte anlamlı değişim olmasa da yağışların azalabileceği ifade edilmiştir. Demircan ve ark. (2017) ve Bağçacı ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışma sonuçları ile bu çalışma sonuçlarının, model ölçeklerinin farklı olmasına rağmen benzer olduğu gözlenmiştir. Ancak bu çalışmada istasyon ölçeğinde inceleme yapıldığından her bir istasyonun temsil ettiği bölge için detaylı inceleme yapmak mümkündür.

SONUÇ

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Havzası'nda ve çevresindeki 12 meteorolojik istasyondan ölçülmüş geçmiş dönem (1981-2010) aylık toplam yağış verileri ve gelecek dönem (2021-2050) CMIP5 arşivinde yer alan GFDL-ESM-2M (GFDL) genel dolaşım modelinin (GDM) RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında bölgesel ölçeğe indirgenmiş olası aylık toplam yağış verileri üzerinde 1 ve 3 aylık meteorolojik kuraklık analizleri gerçekleştirilmiştir. Meteorolojik kuraklık analizi hesaplamaları Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) kullanılarak yapılmıştır. Ardından geçmiş ve olası gelecek dönem SYİ değerlerinin eğilimleri Yenilikçi Eğilim Analizi kullanılarak üç farklı grupta (Şiddetli yağışlı, Normal yağışlı-kurak ve Şiddetli kurak) ve %95 güven düzeyinde tekdüze eğilimleri incelenmiştir.

Çalışma sonucunda 1 aylık SYİ şiddetli guruplarda gözlem periyodunda ve RCP4.5 senaryosunda istasyonların yaklaşık %50'inde, RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık %30'unda önemli artan veya azalan eğilim görülmüştür. 3 aylık SYİ şiddetli durumlarda geçmiş dönem periyodu ve RCP4.5 senaryosunda istasyonların yaklaşık %30'unda, RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık %65'inde önemli artan veya azalan eğilim görülmüştür. Bununla birlikte SYİ değerlerinde tekdüze anlamlı eğilimler, geçmiş dönem periyodunda Akçaabat istasyonu (azalış) hariç diğer istasyonların tamamında artış yönünde olduğu belirlenmiştir. Havzadaki sadece Ordu istasyonunda hem gözlem hem de RCP senaryolarında SYİ değerlerinde tekdüze anlamlı artış eğilimi görülmüştür. Ancak kısa süreli SYİ değerleri RCP senaryolarında gözlem periyodunun aksine çoğunlukla tekdüze anlamlı eğilim azalış yönündedir. Bu durum havzada beklenenin aksine yakın gelecekte meteorolojik kuraklıklarda artış eğilimi olabileceği sonucunu ortaya koymaktadır. Ayrıca RCP senaryo çıktılarındaki SYİ eğilimlerinin farklı yönlerde olması havzadaki belirsizliğin gelecek dönemlerde daha da büyük olabileceğinin göstergesi durumundadır. Bunun yanında gözlem ve senaryo dönemlerinde farklı eğilimler olması GCM modelinden ve RCP senaryolarından da kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada CMIP5 arşivinde yer alan GFDL modeline ait RCP senaryo çıktıları kullanılmıştır. Farklı GDM'lere ait RCP senaryo çıktıları kullanılarak havza için daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

Bağçacı SÇ, Yucel I, Duzenli E, Yilmaz MT, 2021. Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey. Atmospheric Research, 256: 105576.

- Bayissa, YA, Moges SA, Xuan Y, Van Andel SJ, Maskey S, Solomatine DP, Griensven A, Van Tadesse T, 2015. Spatio-temporal assessment of meteorological drought under the influence of varying record length: The case of Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Hydrological Sciences Journal*, 60: 1927–1942.
- Caloiero T, Veltri S, Caloiero P, Frustaci F, 2018. Drought analysis in Europe and in the Mediterranean basin using the standardized precipitation index. *Water*, 10(8): 1043.
- Çeribaşı G, Doğan E, 2015. Karadeniz ve Sakarya Havzalarında Yıllık Ortalama Yağışların Trend Analizi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 7(1): 1-7.
- Çeribaşı, G, 2019. Şen Yöntemi ve Trend Yöntemleri Kullanılarak Doğu Karadeniz Havzasının Yağış Verilerinin Analiz Edilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(1): 254-264.
- Dabanlı, İ. (2017). Türkiye’de İklim Değişikliğinin Yağış-Sıcaklığa Etkisi ve Kuraklık Analizi: Akarçay Örneği. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi (Basılmış).
- Demir Ö, Atay H, Eskiöğlü O, Tuvan A, Demircan M, Akçakaya A, 2013. RCP4.5 Senaryosuna göre Türkiye’de sıcaklık ve yağış projeksiyonları, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, 3-5 Haziran 2013, İstanbul-Türkiye
- Demircan M, Demir Ö, Atay H, Eskiöğlü O, Yazıcı B, Gürkan H, Tuvan A, Akçakaya A, 2014. Türkiye’de yeni senaryolara göre iklim değişikliği projeksiyonları, TÜCAUM VIII. Coğrafya Sempozyumu, 23-24 Ekim 2014, Ankara-Türkiye
- Demircan M, Gürkan H, Eskiöğlü O, Arabacı H, Coşkun M, 2017. Climate change projections for Turkey: three models and two scenarios. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 1(1): 22-43.
- Dikici M, 2019. Ası Havzası’nda (Türkiye) kuraklık analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1): 22-40.
- EDO, 2020. European drought observator indicator factsheet. https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_spi.pdf (Erişim Tarihi: 01.01.2022).
- Fang K, Gou X, Chen F, Davi N, Liu C, 2013. Spatiotemporal drought variability for central and eastern Asia over the past seven centuries derived from tree-ring based reconstructions. *Quaternary International*, 283: 107–116.
- Feng S, Hu Q, Oglesby RJ, 2011. Influence of Atlantic sea surface temperatures on persistent drought in North America. *Climate Dynamics*, 37: 569–586.
- Gudmundsson L, Stagge JH, 2016. SCI: Standardized Climate Indices such as SPI, SRI or SPEI R package version 1.0-2. <https://cran.r-project.org/web/packages/SCI/SCI.pdf> (Erişim Tarihi: 01.01.2022).
- Guttman NB, 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 35: 311–322.
- Haltas I, Yildirim E, Oztas F, Demir I, 2021. A comprehensive flood event specification and inventory: 1930–2020 Turkey case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56: 102086.
- Hamlet AF, Byun K, Robeson SM, Widhalm M, Baldwin M, 2020, Impacts of climate change on the state of Indiana: ensemble future projections based on statistical downscaling. *Climatic Change*, 163(4): 1881-1895.
- Hua T, Wang XM, Zhang CX, Lang LL, 2013. Temporal and spatial variations in the Palmer Drought Severity Index over the past four centuries in arid, semiarid, and semihumid East Asia. *Chinese Science Bulletin* 58: 4143–4152.
- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, et al.]. Cambridge, United Kingdom.
- Kron W, Eichner J, Kundzewicz ZW, 2019. Reduction of flood risk in Europe–Reflections from a reinsurance perspective. *Journal of Hydrology*, 576: 197-209.
- Lloyd-Hughes B, Saunders MA, 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(13):1571-1592.
- McKee TB, Doesken, NJ, Kleist, J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Boston, pp. 179–183.

- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J, 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology, Dallas-USA, 15–20 January 1995, pp. 233–236.
- MGM, 2021. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://mgm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 01.01.2022)
- Minetti JL, Vargas WM, Poblete AG, de la Zerda LR, Acuña LR, 2010. Regional droughts in southern South America. *Theoretical and Applied Climatology*, 102: 403–415.
- Nacar S, Kankal M, Okkan U, 2019. Statistical Downscaling of Monthly Mean Air Temperature Using NCEP/NCAR Re-analysis Data: A Case Study for the Eastern Black Sea Basin. In 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies, September 19-21, 2019, Bayburt-Turkey.
- Nacar S, 2020. İklim Değişikliğinin Doğu Karadeniz Havzası Sıcaklık ve Yağış Parametreleri Üzerindeki Olası Etkilerinin İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Nacar S, Kankal M, Okkan U, 2021. EraInterim Re-analiz Verileri Kullanılarak İstatistiksel Ölçek İndirgeme Yöntemi ile Doğu Karadeniz Havzası Aylık Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Tahmin Edilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1): 136-148.
- Nalbantis I, Tsakiris G, 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23: 881–897.
- Okkan U, Karakan E, 2016, İklim değişikliğinin ikizcetepeler barajı akımlarına etkilerinin modellenmesi: 2015-2030 projeksiyonu. *Teknik Dergi*, 27(2): 7379-7401.
- Okkan U, 2015. Assessing the effects of climate change on monthly precipitation: proposing of a downscaling strategy through a case study in Turkey. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(4): 1150-1156.
- Okkan U, Fistikoglu O, 2014. Evaluating climate change effects on runoff by statistical downscaling and hydrological model GR2M. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(1): 343-361.
- Okkan U, Inan G 2015a. Statistical downscaling of monthly reservoir inflows for Kemer watershed in Turkey: use of machine learning methods, multiple GCMs and emission scenarios. *International Journal of Climatology*, 35(11): 3274-3295.
- Okkan U, Inan G, 2015b. Bayesian learning and relevance vector machines approach for downscaling of monthly precipitation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(4): 04014051.
- Okkan U, Kirdemir U, 2016. Downscaling of monthly precipitation using CMIP5 climate models operated under RCPs. *Meteorological Applications*, 23(3): 514-528.
- Okkan, U, Kirdemir, U, 2018. Investigation of the behavior of an agricultural-operated dam reservoir under RCP scenarios of AR5-IPCC. *Water Resources Management*, 32(8): 2847-2866.
- Okkan U, Serbes ZA, Samui P, 2014. Relevance vector machines approach for long-term flow prediction. *Neural Computing and Applications*, 25(6): 1393-1405.
- Palmer WC, 1965. Meteorological drought. *US Weather Bur.* 1965, 45:1–58.
- Pamuk G, Özgürel M, Topçuoğlu K, 2004. Standart yağış indisi (SPI) ile Ege bölgesinde kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(1).
- Partal T, Yavuz E, 2020. Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz Bölgesinde kuraklık indisleri üzerine trend analizi uygulanması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2): 851-861.
- Sen B, Topcu S, Türkeş M, Sen B, Warner JF, 2012. Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey. *Climate Research*, 52(1), 175–191.
- Şen Z, 2012. Innovative Trend Analysis Methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17: 1042–1046.
- Şen Z, 2015. *Applied Drought Modeling, Prediction, and Mitigation*. Elsevier, pp. 1–41, Boston-USA
- Şen Z, 2017. Innovative trend significance test and applications. *Theoretical and Applied Climatology*, 127: 939–947.
- Shafer BA, Dezman LE, 1982. Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. In Proceedings of the 50th Annual Western Snow Conference, Reno, NV, USA, April 19–23, 164–175.
- Shukla S, Wood AW, 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, 35(2).

- Stagge, JH, Tallaksen LM, Gudmundsson L, Van Loon AF, Stahl K, 2015. Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35: 4027–4040.
- Tabari H, Abghari H, Hosseinzadeh Talaei P, 2012. Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semi-arid regions of Iran. *Hydrological Processes*, 26: 3351–3361.
- Tripathi S, Srinivas VV, Nanjundiah RS, 2006. Downscaling of precipitation for climate change scenarios: a support vector machine approach, *Journal of Hydrology*, 330(3-4): 621-640.
- Tsakiris G, Pangalounad D, Vangelis H, 2017. A regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). *Water Resources Management*, 21: 821–833.
- Türkeş M, Tatlı H, 2009. Use of the standardized precipitation index (spi) and a modified spi for shaping the drought probabilities over turkey. *International Journal of Climatology*, 29(15): 2270–2282.
- Van Rooy MP, 1965. A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14: 43–48.
- Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI, 2010. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index-SPEI. *Journal of Climate*, 23: 1696–1718.
- Wilby RL, Harris I, 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2).
- WMO, 2012. Standardized precipitation index user guide. World Meteorological Organization. http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO_1090_EN.pdf (Erişim Tarihi: 01.01.2022)
- Wu H, Adler RF, Hong Y, Tian Y, Policelli F, 2012. Evaluation of global flood detection using satellite-based rainfall and a hydrologic model. *Journal of Hydrometeorology*, 13(4): 1268-1284.