

Doğu Karadeniz Havzası Lokal Meteorolojik Değişkenleri İçin Bir Ölçek İndirgeme Uygulaması ve Senaryo Esaslı Öngörüler

Sinan NACAR¹
Murat KANKAL²
Umut OKKAN³

ÖZ

İklim değişikliği konusu çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri nedeniyle dünya çapında tartışılan en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. İklim değişikliği etkisinin büyüklüğünün belirlenmesi ve olası uyum çalışmaları için en önemli iklim değişkenlerinden olan sıcaklık ve yağışın, gelecek dönemlerdeki değişimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla genel dolaşım modellerinin (GDM) kaba çözünürlüklü senaryo çıktıları kullanılmaktadır. Bu çıktıların düşük çözünürlüğe sahip olması bölgesel ölçekteki iklim değişikliği etkilerinin belirlenmesinde doğrudan kullanımlarını kısıtlamaktadır. Bölgesel ölçekteki değişimlerin belirlenebilmesi için GDM çıktılarının uygun bir ölçeğe indirgenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin en önemli hidrolojik havzalarından biri olan Doğu Karadeniz Havzası'nda (DKH) iklim değişikliğinin aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık değişkenleri üzerindeki olası etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla GFDL-ESM2M GDM modelinin iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) senaryolarına ait düşük çözünürlüklü çıktıları Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE) ve klasik regresyon analizi yöntemleri kullanılarak bölgesel ölçeğe indirgenmiştir. Yöntemlerin ölçek indirgeme başarılarının karşılaştırılabilmesi için çeşitli performans istatistikleri kullanılmış ve en yüksek performansı veren yöntem bu istatistiklere göre seçilmiştir. Çalışma kapsamında DKH içinde ve çevresinde yer alan 12 adet meteoroloji istasyonuna ait gelecek dönem (2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerleri en iyi performans gösteren ÇDURE tabanlı modeller kullanılarak iki farklı senaryo için elde edilmiştir. Elde edilen senaryo verilerine ayrıca Mann-Kendall eğilim analizi uygulanmıştır. Sonuçlar DKH'nın karasal iklim karakteristiğine sahip güney bölümünde

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 11 Mart 2021 günü ulaşmıştır. 8 Eylül 2022 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Ocak 2023 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/10.18400/tekderg.895112>

1 Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tokat
sinan.nacar@gop.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-2497-5032>

2 Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa
mkankal@uludag.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-0897-4742>

3 Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir
umutokkan@balikesir.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-1284-3825>

(Bayburt, Gümüşhane, Suşehri ve Şebinkarahisar istasyonları) gelecek dönem 2021-2050 periyodunda sıcaklık değerlerinde RCP4.5 senaryosuna göre ortalama 1,0 °C, RCP8.5'e göre ise ortalama 1,5 °C artış beklendiğini göstermektedir. Bunun yanında Rize, Pazar ve Hopa istasyonlarının yer aldığı kıyı şeridinde sıcaklık değerlerinde 2,5 °C'ye varan artışlar öngörülmektedir. Uzun süreli yağış ortalaması değerlerinde ise havza genelinde her iki senaryoya göre düşüş beklenmektedir. 2051-2080 ve 2081-2100 dönemlerinde ise sıcaklık ve yağış değerlerinde beklenen değişimlerin 2021-2050 dönemine kıyasla daha fazla olacağı öngörülmektedir. Eğilim analizi sonuçlarına göre sıcaklık ve yağış için RCP4.5 senaryosuna göre gelecek dönemlerde %5 anlamlılık düzeyinde herhangi bir eğilim beklenmezken RCP8.5 senaryosuna göre sıcaklık için artış, yağış için düşüş eğilimleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri, Doğu Karadeniz Havzası, GFDL-ESM2M, iklim değişikliği, ölçek indirgeme, eğilim analizi.

ABSTRACT

A Downscaling Application for Local Meteorological Variables of Eastern Black Sea Basin and Scenario Based Predictions

Climate change has become one of the most important problems discussed around the world due to its environmental, economic and social impacts. In order to determine the magnitude of the impact of climate change and possible adaptation studies, it is necessary to determine the changes in the future periods of temperature and precipitation being the most important variables of the climate. For this purpose, scenario outputs of general circulation models (GCM) with coarse spatial resolution are used. The low resolution of these outputs limits their direct use in determining the effects of climate change on a local scale. Therefore, GCM outputs should be downscaled into finer scale. The aim of this study is to determine the possible effects of climate change on precipitation and temperature values of Eastern Black Sea Basin (EBSB), which is one of the most important hydrological basin in Turkey. For this purpose, the coarse resolution outputs of the GFDL-ESM2M model under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios were reduced to local scale using the multivariate adaptive regression splines (MARS) and classical regression analysis (CRA) methods. Various performance statistics were used to compare the downscaling capabilities of MARS and CRA based models, and the method with the highest performance was determined according to these statistics. Within the scope of the study, the monthly average temperature and total precipitation values for the next period (2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) of 12 meteorology stations located in and around the basin were produced by using MARS-based models that give the best performance values. Mann-Kendall trend analysis was also applied to the scenario data obtained. According to the results, it is expected that the temperature values in the southern part of the basin with terrestrial climate characteristics (Bayburt, Gümüşhane, Suşehri ve Şebinkarahisar stations) will increase by an average of 1 °C according to the RCP4.5 scenario and 1.5 °C according to the RCP8.5 scenario in the period 2021-2050. In addition, temperature increases of up to 2.5 °C are foreseen on the coastline of the basin where the Pazar, Rize and Hopa stations are located. According to the outputs of both scenarios, is expected in long-term precipitation average values in almost all of the basin. In the periods of 2051-2080 and 2081-2100, it is foreseen that the increases and decreases in temperature and precipitation values will be more than the 2021-2050 period.

According to the results of the trend analysis, the RCP4.5 scenario for temperature and precipitation, no trend is expected in the future, while according to the RCP8.5 scenario, an increase trend for temperature and a decrease trend for precipitation have been determined.

Keywords: Multivariate adaptive regression splines, Eastern Black Sea Basin, GFDL-ESM2M, climate change, downscaling, trend analysis.

1. GİRİŞ

Son yıllarda meydana gelen nüfusa bağlı endüstriyel aktivitelerdeki artış ve ekosistemin bilinçsiz bir şekilde kullanılması ve tahrip edilmesi sera gazı salınımlarının yükselmesine neden olmuştur [1, 2]. Bu yükselme mevcut sera etkisini daha da artırarak küresel ısınmayı şiddetlendirmiş ve yeryüzündeki iklim karakteristiklerinin hızlı ve şiddetli bir biçimde değişmesine yol açmıştır [3]. Yaşanan değişimlerin nedenlerini ve sonuçlarını kapsamlı bir şekilde araştırmak amacıyla, 1988 yılında kurulan Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından farklı dönemlerde Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelleri (IPCC) gerçekleştirilmiştir. IPCC'nin 2013 yılında yayınlamış olduğu raporda iklim sisteminde meydana gelen değişimlerin %100 insan etkisi ile meydana geldiği kesin bir dille vurgulanmıştır [4]. Ayrıca 2018 yılında yayınlamış olan IPCC raporunda, iklim sisteminde son birkaç on yılda meydana gelen değişikliklerin gelecek dönemlerde en az birkaç on yıl etkisini sürdüreceğini ve bu durumun doğal döngüde çok ciddi bozulmalara neden olacağı ifade edilmektedir [5]. Bunun yanında iklim değişikliği etkilerinin incelenmesi üzerine yapılan çalışmaların birçoğu iklim değişikliğinin ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişimini önemli ölçüde etkilediğini ve ekosistemde geri dönüşmez bir bozulmaya neden olduğunu açıkça göstermektedir [6]. Ouhamdouch ve Bahir [7] yapmış oldukları çalışmada iklim sisteminde meydana gelen değişimler sonucu son otuz yılda küresel anlamda meydana gelen sıcaklık artışı, 1850 yılından bu güne kadar geçen sürede meydana gelen en yüksek artış olduğunu ifade etmişlerdir. Trenberth [8] ise yer kürede meydana gelen her 1 °C'lik sıcaklık artışının atmosferin su tutma kapasitesini yaklaşık olarak %7 oranında artıracakını ve bu durumun ise yağış miktarını etkileyeceğini ortaya koymuştur. Bugüne kadar yapılmış olan iklim değişikliği etkilerinin incelendiği çalışmalar, bu etkilerin farklı şiddetlerde olsa da dünyanın bütün bölgelerinde hissedileceğini ortaya koymuştur [9-13]. Türkiye meydana gelmesi muhtemel bu iklim değişikliği etkilerini Akdeniz İklim Kuşağı'nda yer alması sebebiyle çok daha belirgin bir şekilde hissedilen ve gelecekte de hissedecek olan bir ülke durumundadır. Ayrıca Türkiye'nin farklı bölgeleri için yapılan tüm iklim değişikliği etki çalışmaları, Türkiye'nin hemen her bölgesinin beklenen değişikliklerden çok ciddi bir biçimde etkileneceğini açıkça ortaya koymaktadır [14-16]. İklim değişikliği sonucunda meydana gelecek bu değişimlerin etkilerini ötelemek ve bu etkilerin oluşturacağı sonuçlara uyum sağlayabilmek için bu konunun tüm yönlerinin bilinmesi ve tüm bölgeler için gerekli çalışmaların yapılmış olması gerekmektedir [17, 89].

Doğu Karadeniz Havzası (DKH) Türkiye'nin yıl boyunca yağış alan önemli hidrolojik havzalarından biridir. Havzada özellikle ilkbahar aylarında meydana gelen şiddetli yağışlar ve havaların ısınmasıyla yüksek kesimlerindeki kar erimesi sonucu sık sık taşkınlar meydana gelmiş ve bu taşkınlar sonucu büyük ölçekli ekonomik zararların yanında birçok can kaybı yaşanmıştır [18]. Ayrıca DKH sahip olduğu coğrafi özellikler nedeniyle birçok nehir tipi hidroelektrik santrali içerisinde barındırmaktadır. Bir bölgenin iklimini tayin etmede

kullanılan ve hidrolojik çevrimin en önemli değişkenleri olan sıcaklık ve yağış değerlerinin DKH için iklim değişikliği etkisi altında gelecek dönemlerde nasıl değişeceğinin bilinmesi havzada gelecekte yaşanması muhtemel aşırı hava olayları sonucunda oluşacak doğal afetlerin önceden tahmin edilmesi bakımından çok önemlidir. İklim değişikliğinin gelecek dönemlerde hidrolojik çevrimin en önemli değişkenleri olan sıcaklık ve yağış üzerindeki etkilerinin belirlenmesi tüm doğal ve sosyo-ekonomik sistemlerin suya bağlı olmasından dolayı hayati bir öneme sahiptir [19]. Gelecek dönemlere ait iklimin ve iklim değişkenlerinin belirlenmesinde genellikle üç yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar, geçmiş iklim verilerinden gelecekteki iklimin istatistiksel bir yaklaşımla yansıtılması, sentetik iklim senaryolarının kullanılması ve genel dolaşım modelleri (GDM) çıktılarının kullanılması yaklaşımlarıdır. Bu yaklaşımlardan iklim değişikliği çalışmalarında en yaygın kullanılanı GDM çıktılarının kullanılmasıdır [10]. GDM çıktıları kullanılarak üretilen senaryolar diğerleri ile kıyaslandığında çok daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu durum GDM senaryolarının araştırmacılar tarafından tercih edilmesine sebep olmuştur [20]. GDM'ler küresel anlamdaki iklim değişkenlerinin durumunun görülmesini sağlarken, sahip oldukları düşük çözünürlük nedeniyle bölgesel ölçekteki iklim değişikliğinin çevresel ve hidrolojik parametreler üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde kullanılması hatalara neden olabilmektedir [21-23]. Bu nedenle GDM'lere ait kaba çözünürlüklü çıktılar bölgesel ölçüğe indirgenmesi gerekmektedir [24, 25]. Ölçek indirgeme yöntemleri genel olarak istatistiksel ve dinamik ölçek indirgeme yöntemleri olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır [7]. Dinamik ölçek indirgeme yönteminde bölgesel iklim modelleri kullanılarak ortalama 200 km çözünürlüğündeki GDM çıktıları 3 km çözünürlüğe kadar düşürebilmektedir. Ancak dinamik ölçek indirgeme yöntemleri kullanımı uzun zaman alan, işlem gücü yüksek bilgisayarlar ve konusunda uzman personel gerektiren yöntemlerdir. İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemi ise GDM çıktılarında yer alan kaba çözünürlüklü atmosferik değişkenler ile gözlem verileri arasındaki istatistiksel ilişkileri kullanan ölçek indirgeme yöntemleridir [26]. İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri dinamik ölçek indirgeme yöntemlerine kıyasla kullanımı daha kolay, çok fazla veri gerektirmeyen ve farklı bölgelere kolaylıkla uyarlanabilen yöntemlerdir [27]. Dinamik ve istatistiksel ölçek indirgeme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları hakkında daha detaylı bilgilere Feng [28] ve Bermudez vd. [29] tarafından yapılan çalışmalarından ulaşılabılır. Literatürde geçmişten günümüze kadar kaba çözünürlüklü GDM çıktıları bölgesel ölçüğe indirgemek amacıyla Türkiye [72, 73] ve dünyanın farklı bölgeleri için çoklu lineer regresyon [30], korelasyon analizi [31], istatistiksel ölçek indirgeme modeli [19], yapay sinir ağları yöntemi [2], tekrarlayan sinir ağları yöntemi [32], evrişimli sinir ağları yöntemi [33] ve ampirik istatistiksel ölçek indirgeme [34] gibi birçok istatistiksel ölçek indirgeme modelleri kurulmuş ve uygulanmıştır. Bu çalışmada istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi olarak mühendislik problemlerinin çözümünde hızlı ve yüksek performans değerleri vermesi nedeniyle son yıllarda kullanımına sıklıkla rastlanan çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) yöntemi kullanılmıştır [35-39]. Ayrıca ÇDURE yönteminin performansını değerlendirmek için biri doğrusal diğeri doğrusal olmayan (eksponansiyel) iki fonksiyon içeren klasik regresyon analizi (KRA) uygulanarak istasyon tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modelleri kurulmuştur. GDM çıktıının bölgesel ölçüğe indirgenmesinde üç farklı yaklaşım vardır. Bu yaklaşımlar bağımsız değişkenlerin (I) GDM çıktılarından, (II) yeniden analiz veri setlerinden ve (III) kaba ölçekli gözlem verilerinden seçilmesi yaklaşımlarıdır [73, 91]. Bu çalışma kapsamında ölçek indirgeme modellerinin kurulduğu çalışmalarda da sıklıkla kullanılan ERA-Interim yeniden analiz veri seti kullanılmıştır [25, 41, 42]. Yeniden analiz veri setleri geçmiş dönemlerden günümüze küresel atmosfer

analizlerini içeren ve ülkelerin ulusal arşivleri, meteoroloji gözlem istasyonları, gemi ve uçak gözlemleri, uydu verileri ve hava tahmin modelleri kullanılarak spektral istatistiksel interpolasyon yöntemi ile hazırlanan veri setleridir [40].

Bu çalışmanın amacı iklim değişikliğinin Doğu Karadeniz Havzasındaki sıcaklık ve yağış değişkenleri üzerindeki olası etkilerini incelemektir. Bu amaçla havzada ve yakın çevresinde yer alan 12 meteoroloji istasyonu için ÇDURE ve KRA yöntemleri ile ERA-Interim yeniden analiz veri setinde yer alan atmosferik değişkenler kullanılarak istatistiksel ölçek indirgeme modelleri kurulmuştur. Kurulan modeller arasından en yüksek performansa sahip olanları ile küresel ölçekli GFDL-ESM2M modelinin iyimser ve kötümser senaryoyu temsil eden temsili konsantrasyon rotaları (RCP4.5 ve RCP8.5) senaryo çıktıları istasyon ölçeğine indirgenmiş ve yanlılıkları kantil delta haritalama yöntemi ile düzeltilerek gelecek dönemler için değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca gelecek dönem senaryo verilerine ait eğilimler Mann-Kendall yöntemi ile incelenmiştir. Bu çalışma ile istatistiksel ölçek indirgeme yöntemlerinin sıcaklık ve yağış değişkenlerinin bölgesel ölçeğe indirgenmesindeki performansları belirlenmiştir. Bunun yanında havza içerisinde ve çevresinde belirlenen meteoroloji istasyonları için gelecek dönem verileri noktasal olarak elde edilmiş ve bu değişkenlerin geçmiş döneme kıyasla olası değişim miktarları incelenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI, KULLANILAN VERİLER VE YÖNTEMLER

2.1. Çalışma Alanı

Türkiye 25 adet büyük ölçekli hidrolojik havzaya ayrılmıştır [43]. Çalışma bölgesi olan DKH Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer almaktadır ve doğuda Yeşilirmak, batıda Çoruh havzalarıyla, kuzeyde ise Karadeniz ile çevrelenmiştir. Havza coğrafi bakımdan 40°15'–41°34' kuzey enlemleri ile 36°43'–41°35' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Kuzeyde Karadeniz, doğuda Kaçkar Dağları, güneyde Yamanlı, Soğanlı, Kemer, Iğdır Dağları, batıda Çarşamba Ovası'nın doğusuna kadar uzanan bu havza Türkiye'nin alansal olarak %2,92'sini teşkil etmektedir [44]. Toplam yağış alanı 22.844 km² olan DKH'nın yıllık ortalama yağış yüksekliği 1.198 mm; yıllık ortalama akışı 566,23 m³/s ve akış katsayısı 0,62'dir [45]. DKH Türkiye'nin en fazla yağış alan havzasıdır. Hopa, Pazar ve Rize civarına düşen yağış miktarı Türkiye yıllık toplam yağış ortalamasının yaklaşık dört katına ulaşmaktadır [44]. Havzanın yıllık ortalama sıcaklık değeri ise 1970-2016 yılları arasında 249 istasyon verisi kullanılarak belirlenen Türkiye yıllık ortalama sıcaklık değerinden (13,1 °C) yaklaşık 1 °C fazladır. Havza sınırları içerisinde irili ufaklı pek çok akarsu yer almaktadır (Şekil 1) [85]. Güney-kuzey doğrultusunda uzanan bu akarsular, sularını birbirilerinden bağımsız olarak Karadeniz'e boşaltırlar. DHK'da bulunan akarsular güneyde yer alan dağların doruklarındaki kar ve havzaya her mevsim düşen yağış ile beslendiklerinden yıl boyu kurumazlar.

Havzanın sahip olduğu coğrafi özellikler nedeniyle yamaçlardan hızla inen akarsular özellikle sağanaklardan sonra bölgede taşkınlara neden olmaktadır. DKH'da 1955-2005 yılları arasında meydana gelen 51 büyük taşkın olayında 258 kişi yaşamını kaybetmiş ve 500 milyon dolarlık ekonomik kayıp yaşanmıştır. Havzada meydana gelen taşkınlardan çoğu Haziran-Ağustos aylarında meydana gelmiştir [18, 46]. Ayrıca ülkemizde, 2018 yılı içerisinde toplam 871 meteorolojik karakterli doğa kaynaklı afet rapor edilmiştir. Uzun yıllar dağılımına bakıldığında 2018 yılı içerisinde meydana gelen meteorolojik afet sayısı 1940-2018 periyodu içerisindeki en yüksek değer olmuştur. 2018 yılında meydana gelen

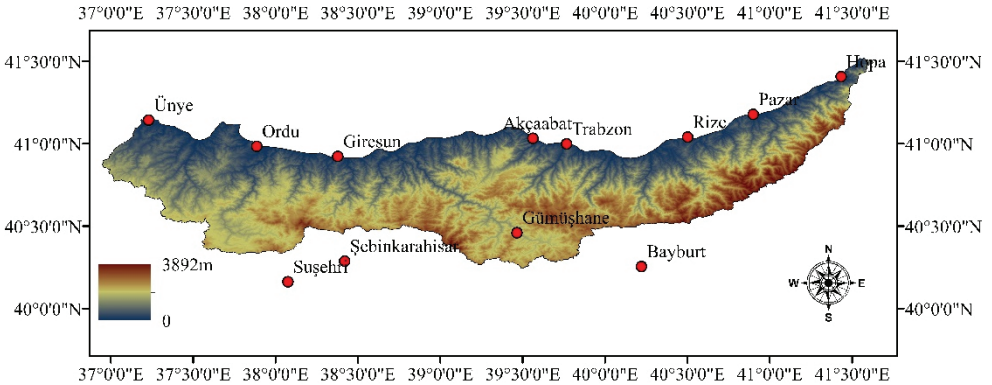
meteorolojik afet sayısının yaklaşık %38'i taşkın olayı olarak kayıtlara geçmiştir. Bu taşkınların en fazla görüldüğü bölge ise Karadeniz Bölgesi olmuştur. Sadece 2018 yılı içerisinde bölgede 72 taşkın olayı gerçekleşmiştir [47].



Şekil 1 - Doğu Karadeniz Havzası akarsuları

2.2. Meteorolojik Veriler

Çalışma kapsamında havza içerisinde ve çevresinde yer alan meteoroloji istasyonları belirlenmiş ve veriler Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Havzada bulunan bütün meteoroloji istasyonları incelenmiş ve eksik verisi bulunan istasyonlar çalışma kapsamına alınmamıştır. Yapılan incelemeler sonucunda havza içerisinde ve yakın çevresinde yer alan, en az 30 yıllık gözlem verisine sahip olan 12 adet meteoroloji istasyonu belirlenmiştir (Şekil 2). İstasyonlardan 1981-2010 döneminde ölçülen aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değişkenlerine ait temel istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2 - Çalışma kapsamında verileri kullanılan meteoroloji istasyonlarının konumları ve sayısal yükseklik haritası

Çizelge 1 - Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarından ölçülen sıcaklık ve yağış değişkenlerine ait temel istatistikler

| Değişken | Sıcaklık (°C) | | | | Yağış (mm) | | | |
|----------------|---------------|----------|----------|------------|------------|----------|----------|-------------|
| | Minimum | Ortalama | Maksimum | Std. Sapma | Minimum | Ortalama | Maksimum | Std. Sapma. |
| Trabzon | 3,8 | 14,7 | 27,0 | 6,1 | 0,0 | 70,5 | 226,1 | 44,7 |
| Akçaabat | 3,1 | 14,4 | 26,3 | 6,2 | 0,0 | 61,3 | 204,0 | 42,4 |
| Rize | 3,1 | 14,3 | 27,0 | 6,3 | 8,2 | 189,0 | 516,6 | 105,8 |
| Pazar | 2,1 | 13,4 | 24,7 | 6,0 | 15,3 | 175,1 | 703,2 | 107,1 |
| Giresun | 3,5 | 14,5 | 27,0 | 6,0 | 0,2 | 107,2 | 521,6 | 65,3 |
| Şebinkarahisar | -7,2 | 9,2 | 24,6 | 8,1 | 0,0 | 49,1 | 187,0 | 35,7 |
| Ordu | 3,0 | 14,4 | 26,7 | 6,3 | 2,3 | 87,4 | 251,0 | 51,4 |
| Ünye | 3,2 | 14,3 | 26,9 | 6,2 | 1,6 | 97,5 | 298,7 | 59,1 |
| Gümüşhane | -6,2 | 9,5 | 24,2 | 8,0 | 0,0 | 39,2 | 141,9 | 28,1 |
| Hopa | 2,0 | 14,4 | 28,3 | 6,1 | 9,3 | 188,1 | 607,5 | 110,2 |
| Bayburt | -11,7 | 6,9 | 22,5 | 9,0 | 0,0 | 38,2 | 145,3 | 27,2 |
| Suşehri | -7,8 | 10,0 | 24,8 | 8,1 | 0,2 | 36,4 | 162,2 | 27,5 |

Çizelge incelendiğinde en düşük aylık ortalama sıcaklık Bayburt istasyonu için -11,7 °C, en yüksek aylık ortalama sıcaklık ise Hopa istasyonu için 28,3 °C olarak belirlenmiştir. En yüksek aylık toplam yağışın havza içerisindeki en büyük değeri 703,2 mm olarak Pazar istasyonunda en düşük değeri ise 141,9 mm ile Gümüşhane istasyonunda ölçülmüştür. En yüksek standart sapma (Std. Sapma) değeri sıcaklık değişkeni için 9,0 °C ile Bayburt istasyonundan, yağış değişkeni için ise 110,2 mm ile Hopa istasyonundan elde edilmiştir.

2.3. ERA-Interim Yeniden Analiz Verileri

Kaba çözünürlüklü GDM senaryo çıktılarının yerel ölçekte noktasal sıcaklık ve yağışlara dönüştürülebilmesi için bölgesel atmosferik değişkenler ile meteoroloji istasyonlarından ölçülmüş olan sıcaklık ve yağış değişkenleri arasında istatistiksel ilişkilerin kurulması önerilmektedir [26, 48, 49]. İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemi olarak isimlendirilen bu tür ilişkilerin kurulabilmesi için meteoroloji uyduları, küresel kara gözlem ağı ölçümleri, uydulu ölçümleri ve radiosonde vb. birçok veri tabanında yer alan verilerin asimilasyonu ile oluşturulan yeniden analiz verilerinden yararlanılmaktadır [50]. Çalışma kapsamında istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin kurulmasında ERA-Interim yeniden analiz veri seti kullanılmıştır. ERA-Interim yeniden analiz veri seti 1 Ocak 1979 tarihinden 31 Ağustos 2019 tarihine kadar olan dönem için hazırlanmış atmosferik değişkenlere ait verileri içermektedir. Bu veri seti yatayda 0,75°x0,75° çözünürlüğe sahip, düşeyde ise yüzeyden 0,1 hPa basınç seviyesine kadar 60 seviyede atmosferik değişkenleri içermektedir [51, 52]. ERA-Interim yeniden analiz veri takımlarının oluşturulması ve içerdiği değişkenler ile ilgili daha detaylı bilgiler için Berrisford vd. [53] tarafından yapılan çalışma incelenebilir.

2.4. Genel Dolaşım Modelleri (GDM) ve RCP Senaryoları

1970'li yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ve bu teknolojinin bilimsel çalışmalarda kullanılmasının yaygınlaşmasıyla birlikte iklim modelleme çalışmaları başlamıştır. İlk modelleme çalışmalarında iklim sadece gözlem verilerine bağlı kalınarak modellenmiştir. Bu modeller boyutsuz ya da bir boyutlu enerji dengesi kullanılarak oluşturulmuştur. Gelişmiş iklim modelleri ise ilk iklim modellerine kıyasla daha gerçekçi, hesaplama maliyeti yüksek ve çok daha fazla bağımsız değişken ve ilişkiyi içerecek şekilde oluşturulmuştur. Son yıllardaki bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte en gelişmiş ve karmaşık iklim modelleri olan GDM'ler geliştirilmiştir [54, 55]. GDM'ler bilgisayar gücüne bağlı olarak ortalama 200 km'lik sayısal ağ aralıklarına sahip olarak üretilmiştir. Küresel iklim ve hava olayları bu büyüklükteki sayısal ağ aralıklarına sahip verilere bağlı olarak belirlenebilir de bu veriler bölgesel ölçekli model sonuçlarıyla karşılaştırıldıklarında orografik, topografik, yüzey ve arazi örtüsü özelliklerinin zenginliği ve çeşitliliği gibi konularda ciddi bazı sınırlamaları olduklarından gerçekçi sonuçlar verememektedir. Bu çalışmada Türkiye için daha önce Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından dinamik ölçek indirgeme yöntemi kullanılarak yapılan projede [56] de kullanılan, CMIP5 arşivinden seçilmiş GFDL-ESM2M (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) modeline ait çıktılar kullanılmıştır. Geçmişte kullanılan iklim modellerinde öncelikle sosyo-ekonomik senaryolar belirlenmiş ve bu senaryolar sonucunda oluşacak ekonomik gelişmelere bağlı olarak emisyon salınımlarına göre senaryolar oluşturulmuştur. Daha sonra bu emisyonların neden olacağı ışınımsal zorlamalar hesaplanmış ve iklim modellerine girdi olarak verilmiştir. Ancak daha sonra IPCC'de bu senaryolar ile ilgili yeni kararlar alınmış ve senaryolar yeniden belirlenmiştir. Yeni oluşturulan senaryolar temsili konsantrasyon rotaları (RCP) olarak adlandırılmış ve geçmiş çalışmalar incelenerek ışınımsal zorlama seviyeleri ve rotaları için dört adet RCP tipi tanımlanmıştır. Bunlar ışınımsal zorlama değerleri en küçükten en büyüğe sırası ile RCP3-PD (RCP2.6), RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 senaryolarıdır. Senaryolar içerisinde RCP2.6 senaryosu mevcut durumda gerçekleşmesi mümkün olmayan, hali hazırda sınır değerleri aşılmış olan bir senaryo olduğu için dikkate alınmamıştır. Kalan senaryolar arasında ise en iyimser senaryoyu RCP4.5, aşırı durumu ise RCP8.5 temsil etmektedir [2, 54, 57]. Bu doğrultuda çalışmada GFDL-ESM2M modeline ait iyimser senaryoyu temsil eden RCP4.5 ve kötümser senaryoyu temsil eden RCP8.5 senaryo verileri kullanılmıştır.

2.5. Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE) Yöntemi

Pek çok bilim dalında ortak olan problem birçok bağımsız değişkenin bir fonksiyon yardımıyla bir bağımlı değişkeni doğru bir şekilde modellenmesidir. ÇDURE Friedman [58] tarafından geliştirilen, çok boyutlu verilerin modellenmesinde kullanılabilen bir regresyon analizi yöntemidir [59]. Bu yöntemin en önemli avantajı aralarında doğrusal ilişki bulunmayan bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi basit eşitlikler ile açıklayabilmesidir [60]. Bu yöntemde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında herhangi bir ilişki varsayımı yapılmamaktadır. ÇDURE yöntemi ürettiği temel fonksiyonlar yardımıyla değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyulmaktadır. Böylece bağımsız değişkenlerin farklı aralıklarına karşılık gelen temel fonksiyonlar yardımıyla esnek bir regresyon modeli kurulmaktadır [61, 62]. ÇDURE yönteminde analiz sonucunda elde edilen temel eşitlik aşağıdaki gibidir;

$$Y = \beta_0 + \sum_{k=1}^K a_k \beta_k(X_t) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Bu eşitlikte k düğüm sayısını, K : temel fonksiyon sayısını, X : bağımsız değişkeni, a_k : k . temel fonksiyonun kat sayısı, β_0 : modeldeki sabit terim, $\beta_k(X_t)$: t . bağımsız değişken için k . temel fonksiyonu ifade etmektedir. Eşitlikte geçen temel fonksiyon ifadesi ise aşağıda verilen eşitlik ile tanımlanır;

$$B_m(x) = \prod_{t=1}^{L_m} [S_{1,m}(x_{v(1,m)} - k_{1,m})] \quad (2)$$

Burada; L_m : etkileşim derecesini, $S_{1,m}$: $\varepsilon[\pm 1]$, $x_{v(1,m)}$: bağımsız değişken değerini ve $k_{1,m}$: düğüm değerini göstermektedir. Regresyon yöntemlerinde genellikle regresyon eşitlikleri girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi tek bir fonksiyon kullanarak açıklamaya çalışırlar. Ancak ÇDURE yönteminde parçalı polinomik bir fonksiyon kullanılmaktadır. Bu sayede veri setinde yer alan tüm değerler görülebilir. ÇDURE yöntemi ile oluşturulan eşitlik parçalı temel fonksiyonların düğüm noktalarında birleştirilmesi ile oluşturulur. Temel fonksiyonlardaki sabitler en küçük kareler yöntemi ile belirlenir. Genel denklemde kullanılan bu temel fonksiyonlar analizi yapılacak olan veri setinin dağılımına daha uygun olduğu için tek fonksiyona kıyasla daha fazla esneklik sağlamaktadır. ÇDURE bu özelliği sayesinde her veri tipine yüksek derecede uyum sağlayabilir ve düğüm noktalarını ve derecelerini otomatik olarak seçen bir algoritma oluşturur [61]. ÇDURE yönteminde istenilen model çıktıları elde edilene kadar birbirini takip eden iki aşamalı bir süreç vardır. Bu süreçlerin ilkinde modele tanımlanan en fazla temel fonksiyon sayısına göre eşitlikler oluşturularak modelin karmaşıklığı maksimum seviyeye çıkarılır. İkinci süreçte ise oluşturulan bu karmaşık model modele etkisi en düşük olan parametreler ve karşılıklı ilişkileri budanarak hata kareler toplamı en uygun olan model elde edilir [62, 63]. ÇDURE yöntemi hakkında daha detaylı bilgilere ulaşmak için Kisi ve Parmar [60], Özfalcı [61], Nacar vd. [62] ve Ünal [63] tarafından yapılan çalışmalar incelenebilir.

2.6. Yanlılık Düzeltme Yöntemi

Kaba çözünürlüklü GDM'lerin bölgesel ölçeğe indirgenmesinde istatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bölgesel hidro-meteorolojik değişkenlerin ileriye yönelik verilerinin üretilmesinde kullanılan bu iklim modelleri bünyesinde barındırdıkları yanlılıklar nedeniyle istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin tahmin performanslarını etkilemektedir. Ölçeği düşürülen verilerin gerçeği daha iyi yansıtabilmesi için bu yanlılığın giderilmesi gerekmektedir [64]. Ölçeği indirgenen verilerdeki yanlılıklar, yanlılık düzeltme yöntemleri ile giderilebilmektedir. Yanlılık düzeltme yöntemlerinin sistematik hataların giderilmesinde kullanışlı olmaları, onların iklim değişikliği etki çalışmalarında sıklıkla kullanılmalarını sağlamıştır. Yanlılık düzeltme yöntemleri incelenen değişkene ait verilerin çeşitli dağılım momentlerine uygulanmasıyla birlikte [65, 66], değişkenin uyum gösterdiği dağılım yapısı da esas alınarak yapılmaktadır [67, 68]. Kırdemir ve Okkan [64] yanlılık düzeltme yöntemleri üzerine yapmış oldukları çalışmada dağılım tabanlı yanlılık düzeltme yöntemlerinin diğer yöntemlere kıyasla daha

doğru sonuçlar ürettiğini ifade etmişlerdir. Dağılım tabanlı yanlışlık düzeltme yöntemleri genel olarak GCM dağılımlarının gözlenmiş dağılımların üzerine haritalanması esasına dayanmaktadır. Bu bilgiler ışığında bu çalışma kapsamında kantil delta haritalama (KDH) yanlışlık düzeltme yöntemi kullanılmıştır. KDH yöntemi Cannon vd. [69] tarafından önerilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde rölatif değişimler dikkate alınarak modellenmiş verilerdeki yanlışlıkların düzeltilmesi yoluna gidilmiştir. Yanlılık düzeltme yöntemleri ile ilgili daha detaylı bilgilere Kırdemir ve Okkan [64] çalışmasından ulaşılabilir. KDH ile düzeltilmiş değerler aşağıdaki eşitlik yardımıyla elde edilmektedir.

$$y_{cor}(t) = F^{-1}(F(y_{mod}(t), \theta_{mod}), \theta_{obs}) \left(\frac{y_{mod}(t)}{F^{-1}(F(y_{mod}(t), \theta_{mod}), \theta_{REF})} \right) \quad (3)$$

Burada, $y_{cor}(t)$ t zamanındaki düzeltilmiş değişken değerini, $y_{mod}(t)$ t anındaki kombine edilmiş iklim modelinden elde edilen referans dönem senaryosu veya 8.5 senaryosuna ait değişken değerini, θ_{REF} , θ_{obs} ve θ_{mod} ifadeleri ise sırasıyla benzeştirilmiş referans dönem senaryo verilerinden ve gözlenmiş verilerden elde edilmiş dağılım parametrelerini, modellenmiş geçmiş veya gelecek döneme ait verinin dağılım parametrelerini, $F(\cdot)$ ve $F^{-1}(\cdot)$ ise sırasıyla referans dönem senaryo verileri dağılımına ait kümülatif olasılık fonksiyonunu ve gözlenmiş verilere ait ters kümülatif olasılık fonksiyonunu temsil etmektedirler [64]. Çalışma kapsamında yağışlar için Gamma-2, ortalama sıcaklıklar için Normal dağılım uygunluğu altında KDH yöntemi her bir ay için ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

2.7. Mann-Kendall Eğilim Analizi

Mann ve Kendall [79,80] tarafından sunulan yöntemin test istatistiği şu şekilde hesaplanır;

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (4)$$

Eşitlikte yer alan n veri uzunluğunu, x_i ve x_j i ve j anındaki veri değerini ifade etmektedir.

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & ; x_j > x_i \\ 0 & ; x_j = x_i \\ -1 & ; x_j < x_i \end{cases} \quad (5)$$

Eğer $n > 10$ ise S'nin varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Var(S) = [n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)]/18 \quad (6)$$

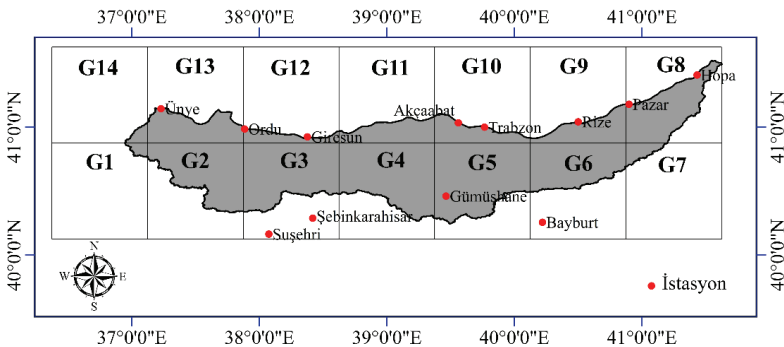
Bu eşitlikte yer alan p bağlı grupların sayısını temsil etmektedir. Bu zaman serilerinde eşit veri olduğu anlamına gelmekte t_i ise bir verinin kaç kez tekrarlandığını göstermektedir. Son olarak Z değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

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

Burada hesaplanan Z değerleri farklı anlamlılık düzeyleri için (%90, %95, %99) standart değerlerle karşılaştırılır. Eğer hesaplanan Z değeri standart z değerinden büyük ise (H_0) hipotezi reddedilir. Yani istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim olduğu anlamına gelir. Aksi takdirde (H_0) hipotezi kabul edilir ve bu da anlamlı bir eğilimin olmadığı anlamına gelir. Eğer anlamlı bir eğilim varsa bu durumda S değeri pozitif ise artan negatif ise azalan bir eğilim söz konusu demektir [79, 80-82, 90].

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında öncelikle istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin kurulmasında kullanılacak olan atmosferik değişkenleri içeren ERA-Interim yeniden analiz veri takımının DKH'yı temsil eden sayısal ağ merkezleri belirlenmiştir (Şekil 3). Ölçek indirgeme modellerinde kullanılacak olan değişkenlerin seçimi ölçeği indirgenecek olan değişkene ve araştırılan bölgeye göre değişiklik göstermekle birlikte araştırmacıların üzerinde durduğu önemle bir konudur [72, 77, 78]. Yeniden analiz veri setlerinde çok fazla değişken olmakla birlikte bu değişkenlerden modellerde çok fazla sayıda kullanılmasının her zaman model performansını arttırmadığı ifade edilmektedir [26]. Bu çalışmada kullanılan değişkenler (Çizelge 2) daha önce Türkiye'nin farklı havzaları için yapılmış olan iklim değişikliği etki çalışmalarında da sıklıkla kullanılan değişkenlerden seçilmiştir [14, 16, 25, 57]. Ayrıca çalışılan havza Köppen iklim sınıflandırmasına göre okyanusal iklim ve dönencealtı iklimi sınıfında yer almaktadır. Bu tarz denizel iklimlerde yağış değişkeni geo-potansiyel yüksekliklerden ve deniz seviyesi basınçlarından etkilenebilmektedir [83, 84]. Bu bakımdan da bağımsız değişkenlerinin farklı basınç seviyelerindeki olası varyasyonlarının temel



Şekil 3 - DKH'yı temsil eden ERA-Interim yeniden analiz veri seti sayısal ağ merkezleri

bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini vurgulamak adına 200, 500 ve 850 hPa seviyelerindeki değerlerde çalışmaya dâhil edilmiştir. Bunların yanı sıra çalışma kapsamında kullanılacak olan bağımsız değişkenlerin belirlenmesinde seçilen değişkenlerin GFDL-ESM2M modelinde ve ERA-Interim yeniden analiz veri setinde ortak bulunuyor olmasına da dikkat edilmiştir. Aksi halde ERA-Interim veri seti kullanılarak kurulacak olan modellere GDM verilerinin girdi olarak verilmesi söz konusu olamayacaktır.

Çizelge 2 - ERA-Interim yeniden analiz veri setinde ve GFDL-ESM2M modelinde ortak bulunan atmosferik değişkenler

| Basınç Seviyesi | 200 hPa | | 500 hPa | | | 850 hPa | | | Yüzey | | | |
|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Atmosferik Değişkenler | <i>air</i> (°C) | <i>hgt</i> (m) | <i>air</i> (°C) | <i>hgt</i> (m) | <i>rhum</i> (%) | <i>air</i> (°C) | <i>hgt</i> (m) | <i>rhum</i> (%) | <i>air</i> (°C) | <i>press</i> (mb) | <i>slp</i> (mb) | <i>prate</i> (kg/m ²) |

Çizelge 2’de listelenen atmosferik değişkenler satırında yer alan *air*: hava sıcaklığını, *hgt*: jeopotansiyel yüksekliği, *rhum*: rölatif nemi, *press*: yüzey basıncını, *slp*: deniz seviyesi basıncını, *prate*: yağışı temsil etmektedir. DKH’yı temsil eden 14 sayısal ağ merkezi için (Şekil 3) düzenlenmiş olan atmosferik değişkenlere ait veriler havzanın kuzey ve güney bölgesi için iki gruba ayrılmıştır. Kuzey bölümünde yer alan yedi sayısal ağ (G8-14) merkezindeki 12 atmosferik değişkenin ortalamaları alınarak kuzeyde bulunan sekiz istasyon, güneyinde yer alanların (G1-G7) ortalamaları alınarak da karasal iklimi temsil eden diğer dört istasyon için istatistiksel ölçek indirgeme modelleri kurulmuştur. İstatistiksel ölçek indirgeme modellerinin kurulması için veriler eğitim ve test kısımlarına ayrılmıştır. Verilerin %80’i (1981-2004) modellerin eğitiminde geriye kalan %20’lik kısmı ise (2005-2010) modellerin test aşamasında kullanılmıştır. Her bir istasyon için sıcaklık ve yağış değişkenlerini elde etmek amacıyla her bir yöntemde iki tane olmak üzere toplamda altı tane istatistiksel ölçek indirgeme modeli kurulmuştur. Wilby vd. [70] çalışmalarında verilere standardizasyon işleminin uygulanmasının model çıktılarındaki yanlılığı azalttığını ifade etmişlerdir. Bu nedenle veriler ölçek indirgeme modelinde kullanılmadan önce standardize edilmiştir. Standardizasyon işlemi sonucunda ortalaması 0, standart sapması 1 olan veri setleri elde edilmiştir. Modelleme işlemi tamamlandıktan sonra ters standardizasyon işlemi uygulanarak verilerin eski boyutuna dönmesi sağlanmıştır. Ayrıca GDM gelecek dönem RCP senaryo çıktıları da referans dönem senaryo verileri kullanılarak standardize edilmiştir. GDM verileri ölçek indirgeme modellerinin yeni girdileri olarak verilmeden önce ERA-Interim veri setinde olduğu gibi havzanın kuzey ve güneyi için düzenleme yapılmıştır. GDM’nin DKH’yi temsil eden altı sayısal ağ merkezi için düzenlenmiş olan atmosferik değişkenlere ait veriler havzanın kuzey ve güney bölgesi için iki gruba ayrılmıştır. Kuzey bölümünde yer alan üç sayısal ağ merkezindeki 12 atmosferik değişkenin ortalamaları kuzeyde bulunan sekiz istasyon, güneyinde yer alan üç sayısal ağ merkezindeki değişkenlerin ortalamaları karasal iklimi temsil eden diğer dört istasyon için istatistiksel ölçek indirgeme modellerine girdi olarak verilmiştir. Böylece ERA-Interim atmosferik değişkenleri kullanılarak kurulan ölçek indirgeme modellerine GDM atmosferik değişkenleri girdi olarak verilerek DKH için referans dönem ve gelecek dönem RCP senaryo çıktıları elde edilmiştir [25]. Verilerin eğitim ve test veri takımlarına ayrılmasından ve standardizasyon süreçlerinden sonra ilk olarak ÇDURE tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi kullanılarak istasyon özelinde gözlem değerlerine en yakın tahmin sonuçlarına sahip modeller belirlenmiştir. Daha sonra iki farklı

regresyon fonksiyonu kullanılarak (Eşitlik 8 ve 9) KRA yöntemi uygulanmıştır. KRA yönteminin uygulandığı bu eşitliklerden biri lineer fonksiyon (KRA_LF) diğeri ise ekspanansiyel fonksiyondur (KRA_EF). KRA yöntemi bu eşitliklerde yer alan değişkenlere (x_i) ait gözlem değerine en yakın tahmin sonuçlarını verecek en uygun katsayıların (w_i) belirlenmesini sağlamıştır.

$$y_{lineer} = w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots + w_nx_n \quad (8)$$

$$y_{ekspanansiyel} = w_0 + \exp(w_1 + w_2x_1 + w_3x_2 + w_4x_3 + w_5x_4 + \dots + w_{n+1}x_n) \quad (9)$$

Sıcaklık ve yağış değişkenleri için kurulmuş olan ÇDURE ve KRA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin performanslarının değerlendirilebilmesi ve karşılaştırılabilmesi için ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK), saçılım indeksi (SI), ortalama mutlak hata (OMH), ve Nash-Sutcliffe (NS) performans istatistikleri kullanılmıştır. OKHK, SI, OMH ve NS istatistikleri aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2} \quad (10)$$

$$SI = \frac{OKHK}{Q_{g,t}} \quad (11)$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Q_{g,t} - Q_{m,t}| \quad (12)$$

$$NS = 1 - \frac{\left[\sum_{t=1}^n (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2 \right]}{\left[\sum_{t=1}^n (Q_{g,t} - \bar{Q}_{g,t})^2 \right]} \quad (13)$$

Eşitliklerde yer alan $Q_{g,t}$ gözlem değerini, $Q_{m,t}$ model çıktısını, $\bar{Q}_{g,t}$ gözlem değerlerinin ortalamasını ve n veri sayısını temsil etmektedir. Moriasi vd. [71] yapmış oldukları çalışmada NS istatistiği için model performansının yeterlilik düzeyini belirleyen bir çizelge vermişlerdir (Çizelge 3). Modelleme çalışmalarına ait performans istatistiklerinin karşılaştırılmasında bu çizelge kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 3 - Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı için belirlenen performans aralıkları

| Performans | Çok iyi | İyi | Yeterli | Yetersiz |
|------------|-----------|--------------|--------------|----------|
| NS | 0,75<NS<1 | 0,65<NS<0,75 | 0,50<NS<0,65 | NS<0,50 |

4. BULGULAR VE İRDELEME

İstasyon özelinde sıcaklık ve yağış değişkenleri için ERA-Interim yeniden analiz veri takımında yer alan atmosferik değişkenler kullanılarak kurulmuş olan ÇDURE ve KRA tabanlı ölçek indirgeme modellerinin eğitim ve test veri takımlarına ait performans istatistikleri sırasıyla Çizelge 4 ve Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 4 - Sıcaklık değişkeni ölçek indirgeme modellerine ait performans istatistikleri

| Değişken/Veri takımı | | Sıcaklık/Eğitim | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-----------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Yöntem | ÇDURE | KRA_EF | | | | KRA_LF | | | | | | | |
| İstasyon/Performans | OKHK | SI | OMH | NS | OKHK | SI | OMH | NS | OKHK | SI | OMH | NS | |
| Akçaabat | 0,440 | 0,031 | 0,345 | 0,995 | 0,462 | 0,033 | 0,365 | 0,994 | 0,457 | 0,032 | 0,361 | 0,994 | |
| Bayburt | 0,723 | 0,108 | 0,538 | 0,994 | 0,803 | 0,120 | 0,604 | 0,992 | 0,786 | 0,118 | 0,588 | 0,992 | |
| Giresun | 0,474 | 0,033 | 0,367 | 0,994 | 0,468 | 0,033 | 0,374 | 0,994 | 0,465 | 0,032 | 0,372 | 0,994 | |
| Gümüşhane | 0,503 | 0,054 | 0,407 | 0,996 | 0,520 | 0,055 | 0,420 | 0,996 | 0,505 | 0,054 | 0,408 | 0,996 | |
| Hopa | 0,768 | 0,054 | 0,565 | 0,983 | 0,793 | 0,056 | 0,592 | 0,982 | 0,795 | 0,056 | 0,594 | 0,982 | |
| Ordu | 0,384 | 0,027 | 0,307 | 0,996 | 0,441 | 0,031 | 0,351 | 0,995 | 0,440 | 0,031 | 0,354 | 0,995 | |
| Pazar | 0,446 | 0,034 | 0,346 | 0,994 | 0,450 | 0,034 | 0,349 | 0,994 | 0,450 | 0,034 | 0,352 | 0,994 | |
| Rize | 0,389 | 0,028 | 0,308 | 0,996 | 0,406 | 0,029 | 0,317 | 0,996 | 0,402 | 0,028 | 0,317 | 0,996 | |
| Suşehri | 0,518 | 0,053 | 0,391 | 0,996 | 0,578 | 0,059 | 0,432 | 0,995 | 0,560 | 0,057 | 0,416 | 0,995 | |
| Şebinkarahisar | 0,555 | 0,062 | 0,433 | 0,995 | 0,569 | 0,063 | 0,445 | 0,995 | 0,556 | 0,062 | 0,433 | 0,995 | |
| Trabzon | 0,426 | 0,029 | 0,334 | 0,995 | 0,479 | 0,033 | 0,377 | 0,994 | 0,478 | 0,033 | 0,378 | 0,994 | |
| Ünye | 0,427 | 0,030 | 0,335 | 0,995 | 0,484 | 0,034 | 0,392 | 0,994 | 0,484 | 0,034 | 0,391 | 0,994 | |
| Değişken/Veri takımı | | Sıcaklık/Test | | | | | | | | | | | |
| Yöntem | ÇDURE | KRA_EF | | | | KRA_LF | | | | | | | |
| İstasyon/Performans | OKHK | SI | OMH | NS | OKHK | SI | OMH | NS | OKHK | SI | OMH | NS | |
| Akçaabat | 0,571 | 0,037 | 0,470 | 0,992 | 0,679 | 0,045 | 0,561 | 0,988 | 0,668 | 0,044 | 0,546 | 0,989 | |
| Bayburt | 0,760 | 0,099 | 0,600 | 0,993 | 0,844 | 0,110 | 0,685 | 0,992 | 0,825 | 0,108 | 0,678 | 0,992 | |
| Giresun | 0,877 | 0,058 | 0,628 | 0,979 | 0,917 | 0,061 | 0,628 | 0,977 | 0,912 | 0,060 | 0,616 | 0,978 | |
| Gümüşhane | 0,591 | 0,058 | 0,461 | 0,995 | 0,584 | 0,057 | 0,465 | 0,995 | 0,579 | 0,057 | 0,460 | 0,995 | |
| Hopa | 1,210 | 0,080 | 0,894 | 0,967 | 1,193 | 0,079 | 0,886 | 0,967 | 1,197 | 0,079 | 0,886 | 0,967 | |
| Ordu | 0,533 | 0,035 | 0,443 | 0,993 | 0,544 | 0,036 | 0,458 | 0,993 | 0,532 | 0,035 | 0,447 | 0,993 | |
| Pazar | 0,498 | 0,035 | 0,400 | 0,993 | 0,531 | 0,038 | 0,443 | 0,993 | 0,525 | 0,037 | 0,433 | 0,993 | |
| Rize | 0,452 | 0,030 | 0,371 | 0,995 | 0,480 | 0,032 | 0,387 | 0,995 | 0,466 | 0,031 | 0,386 | 0,995 | |
| Suşehri | 0,602 | 0,056 | 0,476 | 0,995 | 0,652 | 0,060 | 0,514 | 0,994 | 0,633 | 0,059 | 0,498 | 0,994 | |
| Şebinkarahisar | 0,591 | 0,058 | 0,456 | 0,995 | 0,577 | 0,057 | 0,431 | 0,995 | 0,562 | 0,055 | 0,423 | 0,995 | |
| Trabzon | 0,436 | 0,028 | 0,350 | 0,995 | 0,461 | 0,030 | 0,372 | 0,995 | 0,449 | 0,029 | 0,362 | 0,995 | |
| Ünye | 0,630 | 0,042 | 0,495 | 0,990 | 0,650 | 0,043 | 0,530 | 0,990 | 0,646 | 0,043 | 0,523 | 0,990 | |

Çizelge 4'te verilen performans istatistikleri incelendiğinde sıcaklık değişkeni için kurulan modellerde NS değeri eğitim ve test veri takımı için tüm istasyonlarda ve her üç yöntem için de 0,967 üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca eğitim ve test veri takımları için hesaplanan performans istatistiklerine göre yöntemler arasında çok önemli farklar bulunmamakla birlikte en yüksek performansa sahip yöntemin ÇDURE olduğu görülmektedir. Hesaplanan NS değerleri Moriasi vd. [71] çalışmalarında vermiş olduğu (Çizelge 3) aralıklara göre değerlendirildiğinde tüm yöntemlerle kurulan tüm modellerin her iki veri takımında da çok iyi sınıfta yer aldığı görülmektedir. Eğitim veri takımı için en düşük ve en yüksek OKHK değerleri ÇDURE yöntemi için sırasıyla 0,384 ve 0,768 olarak Ordu ve Hopa istasyonlarına ait modellerden, SI değerleri ise sırasıyla 0,027 ile 0,108 olarak Ordu ve Bayburt istasyonlarına ait modellerden elde edilmiştir. Test veri takımı için ise en düşük ve en yüksek RMSE değerleri sırasıyla 0,436 ve 1,210 olarak Trabzon ve Hopa istasyonları için, SI

değerleri ise sırasıyla 0,028 ile 0,099 olarak Trabzon ve Bayburt istasyonları için kurulan modellerden elde edilmiştir.

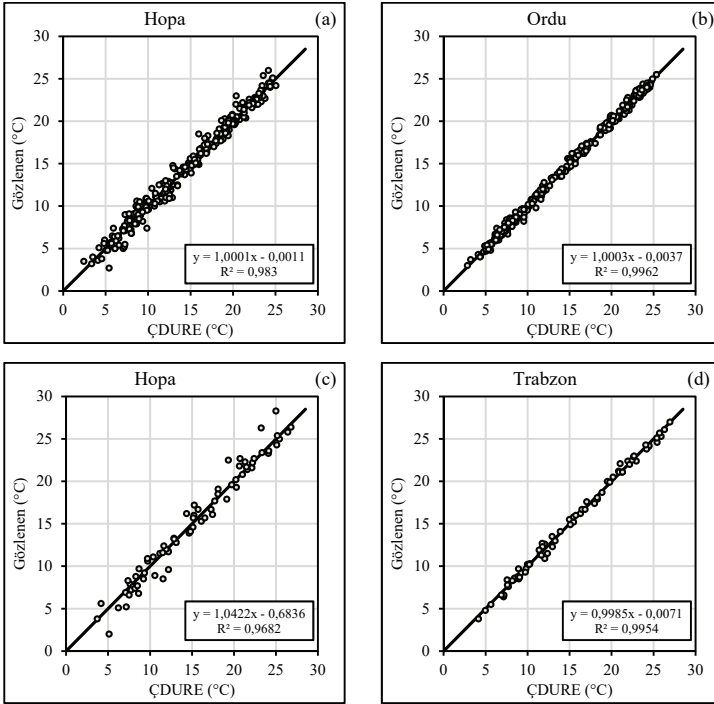
Çizelge 5 - Yağış değişkeni ölçek indirgeme modellerine ait performans istatistikleri

| Değişken/Veri takımı | | Yağış/Eğitim | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------|--------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--|
| Yöntem | ÇDURE | | | | KRA_EF | | | | KRA_LF | | | | |
| İstasyon/Performans | OKHK | SI | OMH | NS | OKHK | SI | OMH | NS | OKHK | SI | OMH | NS | |
| Akçaabat | 28,186 | 0,457 | 21,845 | 0,568 | 27,879 | 0,452 | 21,814 | 0,578 | 28,748 | 0,466 | 22,831 | 0,551 | |
| Bayburt | 16,633 | 0,446 | 12,929 | 0,619 | 18,286 | 0,490 | 13,927 | 0,539 | 18,773 | 0,504 | 14,448 | 0,514 | |
| Giresun | 37,542 | 0,353 | 28,100 | 0,609 | 38,239 | 0,360 | 27,933 | 0,595 | 38,283 | 0,360 | 28,149 | 0,594 | |
| Gümüşhane | 15,641 | 0,411 | 12,227 | 0,671 | 17,993 | 0,473 | 13,663 | 0,564 | 18,239 | 0,479 | 14,085 | 0,552 | |
| Hopa | 64,816 | 0,346 | 48,092 | 0,639 | 67,464 | 0,360 | 50,225 | 0,609 | 67,784 | 0,362 | 50,576 | 0,605 | |
| Ordu | 31,777 | 0,367 | 24,026 | 0,609 | 31,090 | 0,359 | 23,665 | 0,626 | 31,112 | 0,359 | 23,709 | 0,626 | |
| Pazar | 64,879 | 0,376 | 47,180 | 0,628 | 63,614 | 0,369 | 46,294 | 0,642 | 64,354 | 0,373 | 47,428 | 0,634 | |
| Rize | 61,446 | 0,330 | 47,728 | 0,656 | 63,685 | 0,342 | 48,405 | 0,631 | 63,869 | 0,343 | 48,555 | 0,629 | |
| Suşehri | 16,706 | 0,461 | 12,232 | 0,641 | 17,997 | 0,497 | 13,560 | 0,583 | 18,498 | 0,511 | 14,069 | 0,560 | |
| Şebinkarahisar | 20,041 | 0,407 | 15,042 | 0,698 | 21,366 | 0,434 | 16,271 | 0,657 | 21,788 | 0,443 | 16,794 | 0,643 | |
| Trabzon | 30,784 | 0,434 | 22,954 | 0,513 | 29,964 | 0,423 | 22,830 | 0,539 | 30,037 | 0,424 | 22,948 | 0,536 | |
| Ünye | 37,314 | 0,391 | 27,224 | 0,588 | 37,588 | 0,394 | 27,698 | 0,582 | 37,594 | 0,394 | 27,717 | 0,582 | |

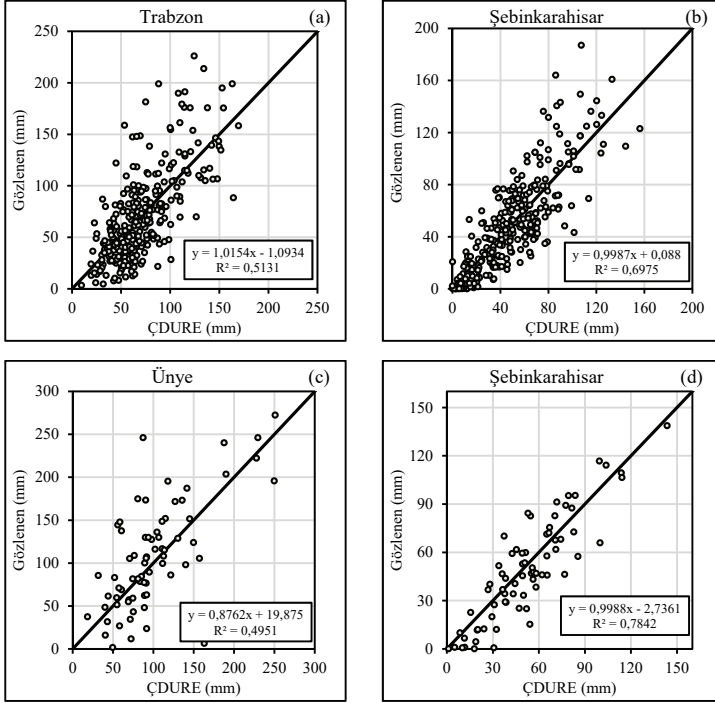
| Değişken/Veri takımı | | Yağış/Test | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------|------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--|
| Yöntem | ÇDURE | | | | KRA_EF | | | | KRA_LF | | | | |
| İstasyon/Performans | OKHK | SI | OMH | NS | OKHK | SI | OMH | NS | OKHK | SI | OMH | NS | |
| Akçaabat | 24,966 | 0,419 | 19,952 | 0,621 | 22,992 | 0,386 | 18,371 | 0,678 | 24,743 | 0,415 | 20,511 | 0,627 | |
| Bayburt | 19,260 | 0,458 | 14,539 | 0,529 | 21,088 | 0,501 | 15,841 | 0,435 | 22,248 | 0,529 | 16,847 | 0,371 | |
| Giresun | 58,500 | 0,528 | 35,174 | 0,501 | 59,261 | 0,535 | 35,928 | 0,488 | 59,428 | 0,536 | 36,413 | 0,485 | |
| Gümüşhane | 18,474 | 0,423 | 14,443 | 0,642 | 20,127 | 0,461 | 16,007 | 0,575 | 20,565 | 0,471 | 16,273 | 0,556 | |
| Hopa | 67,295 | 0,352 | 51,411 | 0,680 | 69,850 | 0,365 | 54,302 | 0,655 | 72,031 | 0,376 | 55,644 | 0,634 | |
| Ordu | 32,019 | 0,355 | 25,338 | 0,641 | 31,908 | 0,354 | 24,764 | 0,643 | 32,301 | 0,358 | 25,088 | 0,634 | |
| Pazar | 58,227 | 0,314 | 48,100 | 0,717 | 58,456 | 0,315 | 47,339 | 0,714 | 57,991 | 0,312 | 47,508 | 0,719 | |
| Rize | 62,511 | 0,313 | 50,159 | 0,671 | 61,088 | 0,306 | 48,203 | 0,686 | 61,498 | 0,308 | 48,879 | 0,681 | |
| Suşehri | 16,198 | 0,434 | 12,998 | 0,609 | 19,069 | 0,511 | 14,919 | 0,458 | 19,215 | 0,515 | 15,176 | 0,450 | |
| Şebinkarahisar | 15,172 | 0,311 | 12,398 | 0,777 | 20,229 | 0,415 | 16,120 | 0,603 | 20,880 | 0,429 | 16,799 | 0,577 | |
| Trabzon | 26,438 | 0,382 | 20,488 | 0,682 | 27,127 | 0,392 | 22,594 | 0,665 | 27,608 | 0,399 | 22,908 | 0,653 | |
| Ünye | 45,177 | 0,427 | 32,419 | 0,470 | 47,813 | 0,452 | 35,241 | 0,406 | 47,779 | 0,451 | 35,180 | 0,407 | |

Çizelge 5'te verilen ve yağış değişkeni için kurulan modellerde hesaplanan performans değerleri incelendiğinde eğitim veri takımına ait ÇDURE yöntemi NS değerlerinin 8 istasyonda KRA_EF ve KRA_LF yöntemlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca geri kalan 4 istasyonda en yüksek NS değerleri de KRA_EF yöntemine ait modellerden elde edilmiştir. Yöntemler arasında bir karşılaştırma yapılacak olduğunda ÇDURE tabanlı modellerin KRA tabanlı modellere kıyasla daha yüksek performans değerleri verdiği sonucuna ulaşılmaktadır. ÇDURE modellerine ait NS değerinin eğitim veri takımı için 0,513 ile 0,698 arasında, test veri takımı için ise 0,470 ile 0,777 arasında olduğu görülmektedir.

Eğitim veri takımı, ÇDURE yöntemi için hesaplanan NS değerleri değerlendirildiğinde Gümüşhane, Rize ve Şebinkarahisar istasyonları için kurulan modeller iyi sınıfta yer alırken diğer istasyonlar için kurulan modeller yeterli sınıfta yer almıştır. Benzer bir değerlendirme test veri takımı için yapıldığında Hopa, Pazar, Rize, Şebinkarahisar ve Trabzon istasyonları için kurulan modellerin iyi sınıfta, Akçaabat, Bayburt, Giresun, Gümüşhane, Ordu ve Suşehri istasyonları için kurulan modellerin ise yeterli sınıfta olduğu görülmüştür. Bunun yanında Ünye istasyonu için kurulan modelin yetersiz sınıfta yer aldığı ortaya çıkmıştır. Eğitim veri takımı için en düşük ve en yüksek NS değerleri sırasıyla Trabzon ve Şebinkarahisar istasyonları için, test veri takımı için ise sırasıyla Ünye ve Şebinkarahisar istasyonları için, en düşük ve en yüksek OKHK değerleri sırasıyla 15,641 ve 64,879 olarak Gümüşhane ve Pazar istasyonlarına, SI değerleri ise sırasıyla 0,330 ile 0,461 olarak Rize ve Suşehri istasyonlarına ait modellerden elde edilmiştir. Test veri takımı için ise en düşük ve en yüksek OKHK değerleri sırasıyla 15,172 ve 67,295 olarak Şebinkarahisar ve Hopa istasyonları için, SI değerleri ise sırasıyla 0,311 ile 0,528 olarak Şebinkarahisar ve Giresun istasyonları için kurulan modellerden elde edilmiştir. En düşük ve en yüksek OMH değerleri eğitim veri takımı için sırasıyla 12,227 ve 48,092 değerleri ile Gümüşhane ve Hopa istasyonlarına, test veri takımı için ise sırasıyla 12,398 ve 51,411 değerleri ile Şebinkarahisar ve Hopa istasyonlarına ait modellerden elde edilmiştir. Sıcaklık ve yağış değişkeni için eğitim ve test veri takımlarında en düşük ve en yüksek NS değerlerini veren ÇDURE tabanlı modellere ait saçılım grafikleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4 - Sıcaklık değişkeni ÇDURE yöntemi için en düşük ve en yüksek NS değerlerine sahip istasyonların eğitim (a, b) ve test (c, d) veri takımlarına ait saçılım grafikleri.



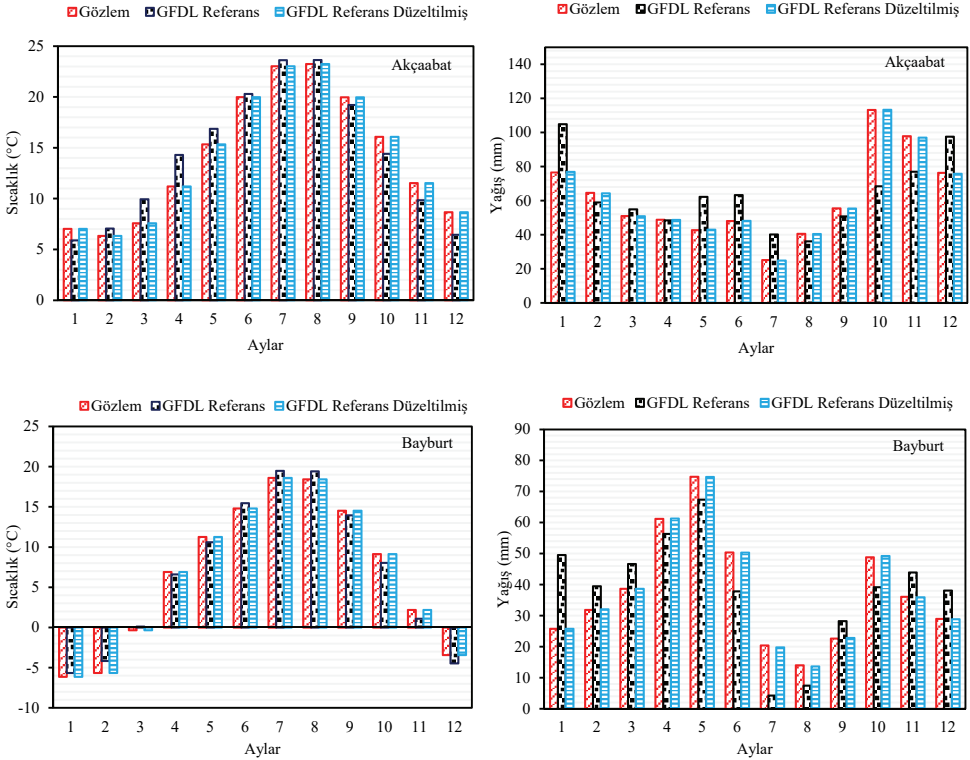
Şekil 5 - Yağış değişkeni ÇDURE yöntemi için en düşük ve en yüksek NS değerlerine sahip istasyonların eğitim (a, b) ve test (c, d) veri takımlarına ait saçılım grafikleri

Sıcaklık değişkeni için kurulan modellerin iki veri takımı için tüm istasyonlarda, yağış değişkeninde ise eğitim veri takımı için istasyonların tamamında test veri takımı için ise 11 istasyonda yeterli sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak ÇDURE yöntemi kullanılarak geliştirilen modellerin diğer iki yöntem kullanılarak geliştirilen modellerden daha iyi ve GDM senaryo çıktılarında kullanılması için yeterli doğrulukta olduğu ortaya çıkmıştır.

Her bir istasyona ait sıcaklık ve yağış değişkenleri için en iyi modeller belirlendikten sonra, senaryo verilerini elde etmek için bu modellere GDM referans dönem ve gelecek dönem RCP senaryo verilerinde yer alan atmosferik değişkenler girdi olarak verilmiştir. Modellerden elde edilen çıktılara KDH yanlılık düzeltme işlemi uygulanmış ve düzeltilmiş referans dönem ve gelecek dönem RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo verileri üretilmiştir. İstasyon sayısının fazla olması nedeniyle çalışma kapsamında örnek olması bakımından sadece kuzeyde yer alan Akçaabat ve güneyde yer alan Bayburt istasyonları için 1981-2005 referans dönemi gözlem, GFDL yanlılığı düzeltilmiş ve GFDL yanlılığı düzeltilmemiş çıktılarının karşılaştırılması sıcaklık ve yağış değişkenleri için Şekil 6'da verilmiştir.

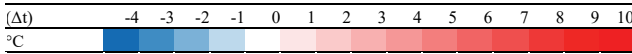
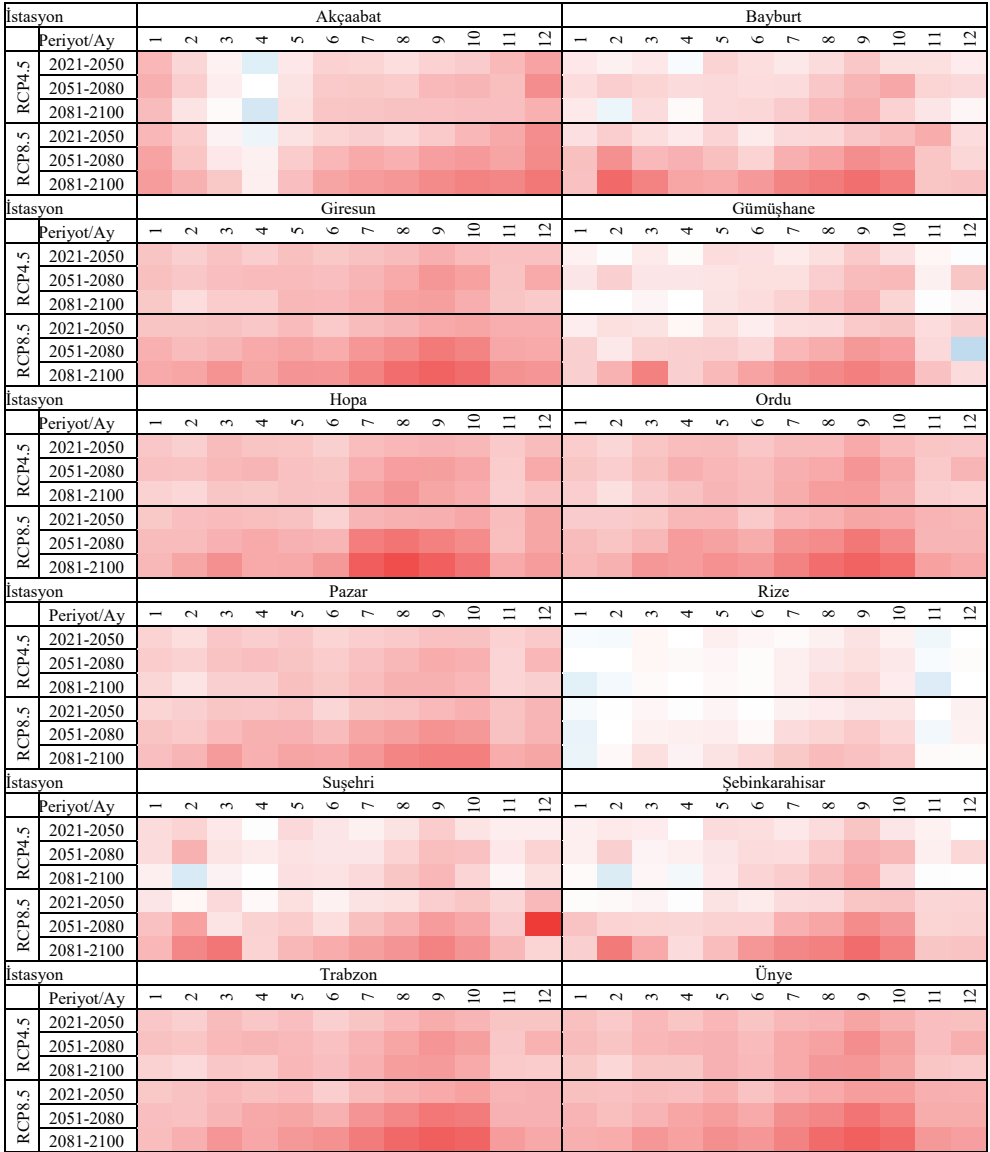
Şekil 6 incelendiğinde yanlılık düzeltme süreçlerinden sonra GDM referans dönem içi yanlılık giderilmiş ve hem sıcaklık, hem de yağış değişkeni için gözlem verileri ile GDM verileri aylık ortalamaları tüm aylar için birbirine yaklaşmıştır. Benzer yanlılık düzeltme süreçleri gelecek dönem RCP senaryo verilerine de uygulanmıştır. Daha sonra gelecek

dönem senaryo verileri üç dönem (2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) için referans dönem verileri ile karşılaştırılmış ve olası gelecek dönem verileri ile referans dönem arasındaki değişim miktarları belirlenmiştir. Gelecek iki dönem için bir bölgenin ikliminin tayin edilmesinde kullanılan 30 yıllık veriler dikkate alınmıştır. Son dönem ise yüzyıl sonuna kadar yapılmış ve değerlendirme 20 yıllık veriler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık değişkeni RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktılarının gelecek dönemlerde referans dönemine göre aylık değişim miktarları Şekil 7’de verilmiştir.



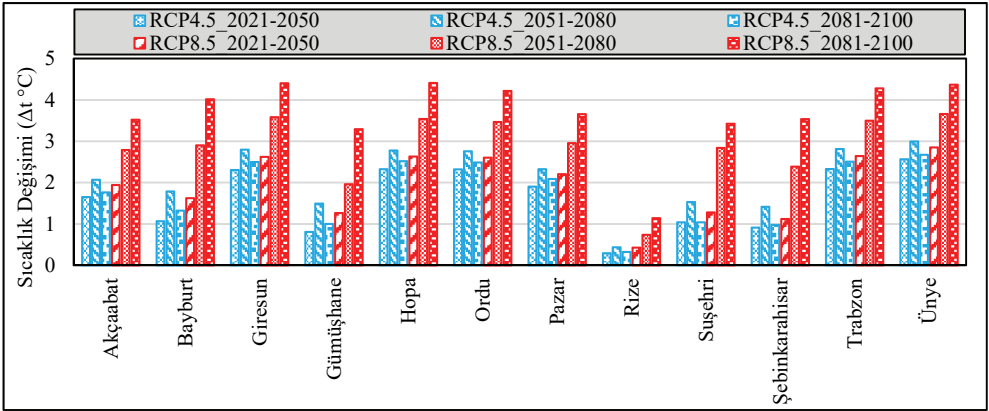
Şekil 6 - Akçaabat ve Bayburt istasyonları (1981-2005) dönemi gözlem ve GFDL genel dolaşım modeli referans ve yanlılığı düzeltilmiş referans senaryosu karşılaştırması

Şekil 6 incelendiğinde tüm istasyonlarda yaz aylarında sıcaklık artışlarının olması ve bu artışların bazı istasyonlarda 10 °C düzeyinde olması öngörülmektedir. Bunun yanında kış aylarında neredeyse havzanın tamamında sıcaklıklarda artışlar beklenmektedir. Ayrıca bu sıcaklık artışlarının yüzyıl sonlarına doğru daha da fazlaşacağı tahmin edilmektedir. RCP8.5 senaryo çıktılarına göre meydana gelmesi öngörülen sıcaklık artışları beklenildiği gibi RCP4.5 senaryosundan daha fazla çıkmıştır. En az değişim beklenen istasyon Rize istasyonu olurken, bu istasyonda ilkbahar aylarında sıcaklıklarda referans döneme göre düşüşlerin yaşanması öngörülmektedir. En fazla düşüşün ise 4 °C ile Gümüşhane istasyonunda olması beklenmektedir. Havzada hemen hemen bütün aylarda öngörülen



Şekil 7 - Gelecek dönem (2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait aylık ortalama sıcaklık değerlerinin referans dönem (1981-2005) senaryosuna göre değişimleri (Δt).

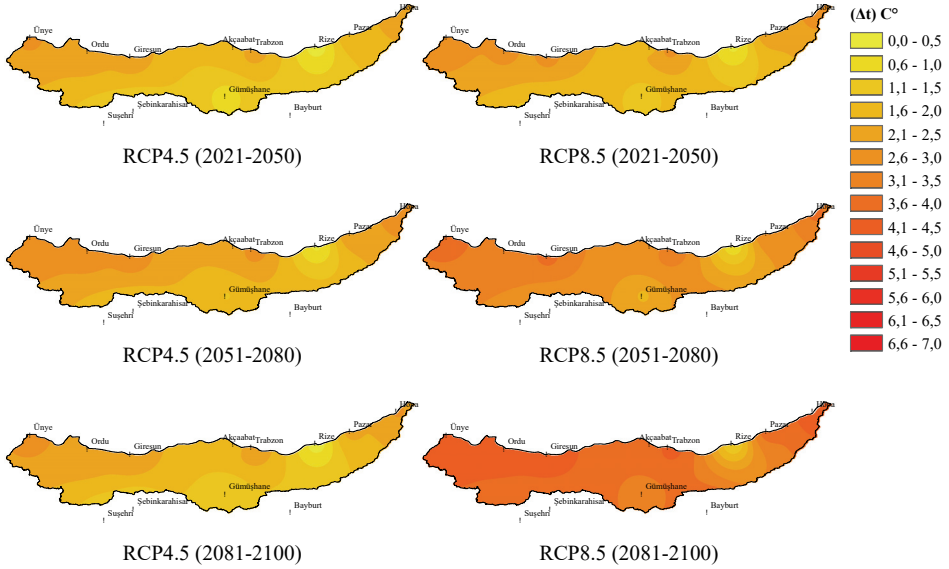
sıcaklık artışlarının buharlaşmayı arttıracığı düşünülmektedir. Bu sıcaklık artışlarının değerlendirilmesinde IPCC [5]'nin yayınlamış olduğu (1,5 °C) rapor yol gösterici olmaktadır. Rapora göre yüzyıl sonlarına kadar meydana gelecek 1,5 °C'lik sıcaklık artışının tatlı su kaynaklarını tehlikeye atacağı, Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası gibi hassas havzalarda su kıtlığı riskini artıracığı ve kuraklık sorunlarının yaşanmasına neden olacağı vurgulanmaktadır. Bunlara bağlı olarak tarımsal faaliyetlerin tehlikeye gireceği ifade edilmektedir. Sıcaklık artışının 2 °C olması durumunda yağış rejimlerinin bozulacağı, daha şiddetli yağışların oluşacağı ve orman yangınlarının artacağı öngörülmektedir. Sıcaklık artışının 3 °C olması durumunda ise kuraklık etkilerinin şiddetini arttırabileceği, yeraltı su kaynaklarında ciddi azalmalar hatta deniz ekosisteminin çökebileceği ifade edilmektedir. Bu bilgiler ışığında DKH'da yukarıda öngörülen sıcaklık artışlarının havzada çok ciddi sorunlara neden olabileceği düşünülmektedir. Havzada yer alan istasyonların gelecek uzun dönem ortalama sıcaklıklarındaki öngörülen değişimler Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8 - RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait gelecek dönem (2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin referans dönem senaryosuna (1981-2005) göre değişim (Δt).

Uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklıklarda en fazla artış Giresun, Hopa ve Ünye istasyonlarında en az artış ise Rize istasyonunda öngörülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre yüzyıl sonlarında sıcaklık artış hızında bir önceki döneme göre düşüş beklenirken, RCP8.5 senaryosunda böyle bir durum söz konusu değildir. Havza geneline bakılacak olursa kötümser senaryoya göre 4 °C'yi aşan sıcaklık artışlarının beklendiği görülmektedir. Sıcaklık değişimlerinin havzanın geneline dağılımını görmek amacıyla sıcaklık değişim haritaları oluşturulmuştur (Şekil 9).

Haritalar incelendiğinde RCP8.5 senaryosunun RCP4.5 senaryosuna göre havza genelinde daha yüksek sıcaklıklar öngördüğü görülmektedir. Sıcaklıklardaki artışın RCP8.5 senaryosuna göre yüzyıl sonlarında en yüksek seviyelere çıkacağı sonucuna ulaşılmaktadır. RCP4.5 senaryosuna göre ise 2051-2080 döneminin en sıcak dönem olması beklenmektedir.

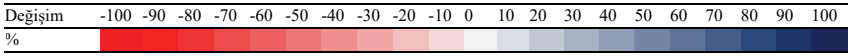
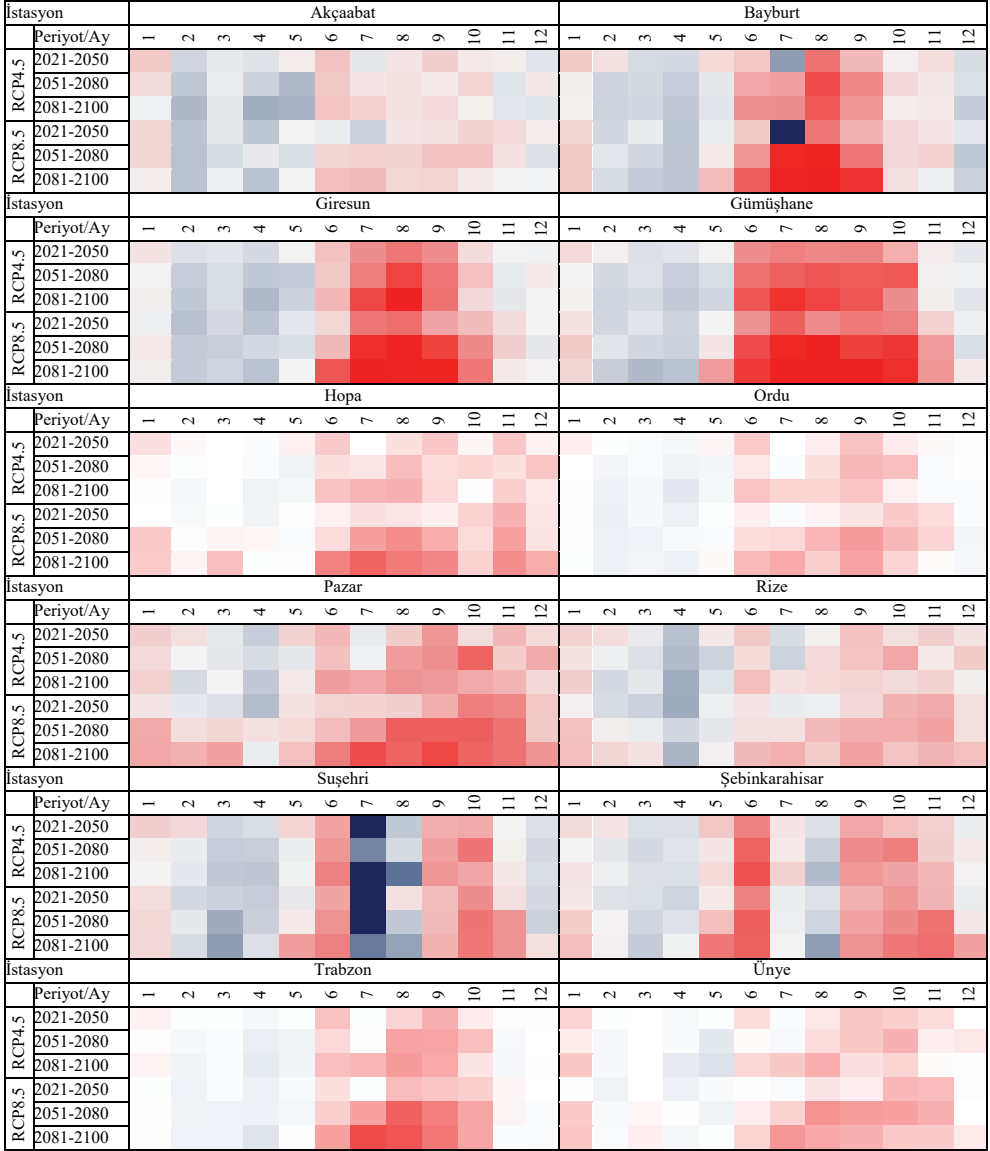


Şekil 9 - Gelecek dönem RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktılarının referans dönem senaryosuna göre değişimlerinin havzadaki dağılımı

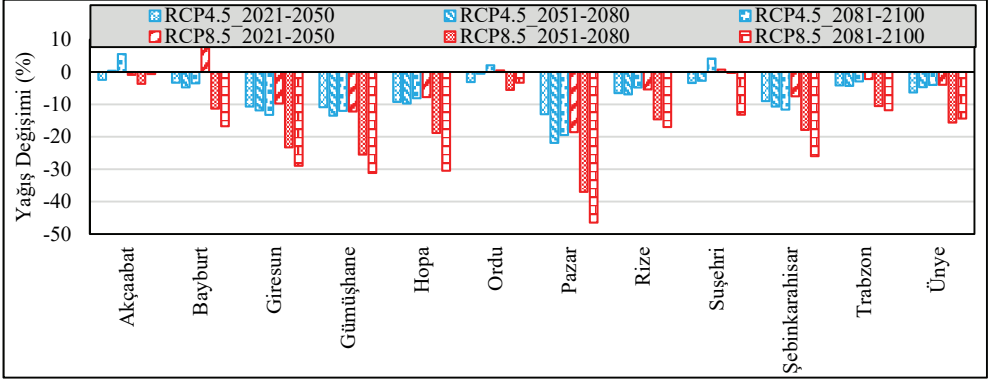
Yağış değişkeninin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktılarının gelecek dönemlerde referans dönemine göre aylık değişim miktarları Şekil 10'da verilmiştir. Hesaplanan bu değişim miktarlarına göre yaz aylarında neredeyse havzanın tamamında yağışlarda %100'e varan düşüş beklenmektedir. Yaz aylarındaki düşüş özellikle Bayburt, Giresun ve Gümüşhane istasyonlarında ortaya çıkmaktadır. Gümüşhane ve Bayburt istasyonları karasal iklim karakteristiğine sahip bölgede bulunmaktadır ve yaz aylarında çok düşük miktarda yağış almaktadır. Bu nedenle bu bölgede yaz aylarında beklenen yağış miktarındaki yüzdesel düşüş değeri büyük bir öneme sahip değildir. Aynı şekilde Susehri istasyonunda yaz aylarında beklenen %100'lük artış durumu bu bölgenin yaz ayında çok fazla yağış almamasından dolayı göreceli olarak düşük öneme sahiptir. Bunun yanında Giresun, Hopa ve Pazar istasyonlarındaki yaz aylarında beklenen %100 oranındaki düşüş miktarı, bu istasyonların temsil ettiği bölgelerin yıl boyunca yağış almasından dolayı havza için önemlidir. Bunun yanında ilkbahar aylarında havzanın neredeyse tamamında yağışlarda artış beklenmektedir.

Havzanın özellikle ilkbahar ve yaz aylarında aldığı şiddetli yağışlar sonucunda taşkınlara maruz kaldığı göz önüne alınacak olursa %50'lere varan bu artışların havzanın gelecek dönemlerde de taşkınlarla karşı karşıya kalabileceğini göstermektedir. Özellikle havzada en fazla yağış değerlerinin kaydedildiği Hopa, Pazar ve Rize istasyonlarında gelecek dönemlerde ilkbahar aylarında öngörülen artışlar bu istasyonların temsil ettiği bölgeler için risk teşkil edeceği düşünülmektedir. RCP4.5 senaryo çıktılarına göre havzanın tamamında RCP8.5 senaryosuna kıyasla daha az değişim öngörülmektedir. Gelecek dönem ortalama yıllık toplam yağış miktarındaki değişimler Şekil 11'de verilmiştir.

Doğu Karadeniz Havzası Lokal Meteorolojik Değişkenleri İçin Bir Ölçek



Şekil 10 - Gelecek dönem (2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait aylık toplam yağış değerlerinin referans dönem (1981-2005) senaryosuna göre değişimleri (%).

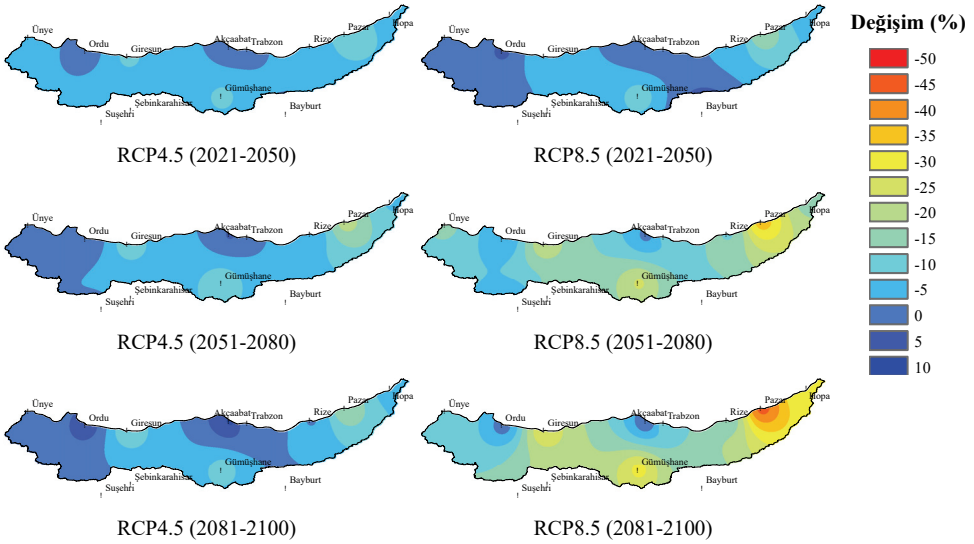


Şekil 11 - RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait gelecek dönem (2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) yıllık toplam yağış değerlerinin referans dönem senaryosuna (1981-2005) göre değişim (%).

Yıllık toplam yağış miktarında en fazla düşüş Pazar istasyonunda beklenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre Pazar istasyonunda yüzyıl sonlarında %20'lere varan düşüş beklenirken RCP8.5 senaryosuna göre bu oran %40 seviyesindedir. En az değişim beklenen istasyonlar ise Akcaabat, Ordu ve Suşehri istasyonlarıdır. Bu istasyonlardaki değişim miktarları %10 civarındadır.

Yıllık toplam yağış miktarındaki değişimin havzadaki dağılımını gösteren değişim haritaları Şekil 12'de verilmiştir. Bu haritalarda da görüldüğü üzere RCP8.5 senaryosuna göre orta dönem ve yüzyıl sonlarına denk gelen dönemde yıllık ortalama yağış değerlerinde havza genelinde ortalama %20 oranında düşüş beklenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ise havza genelinde %10'a varan düşüş öngörülmektedir. Yağış değişkeni için oluşturulan haritalar incelendiğinde havza genelinde gelecek dönemlerde yıllık ortalama toplam yağış miktarlarında %50'lere varan düşüşler beklenmektedir. En fazla düşüşün RCP8.5 senaryosuna göre ve yüzyılın son döneminde olması öngörülmektedir. Bunun yanında düşüşün her iki senaryo için de her geçen dönem daha artması beklenmektedir. Bu duruma göre bahar aylarında beklenen artış, diğer mevsimlerde beklenen düşüşten daha azdır. MGM [76] tarafından yapılan projede ve daha sonra Gürkan vd. [74] tarafından yapılmış olan çalışmada da GFDL-ESM2M modeli kullanılarak Türkiye için sıcaklık ve yağış projeksiyonları 20 km çözünürlükte, 1971-2000 referans periyoduna göre 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 yılları için üretilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen çıktılara göre; yıllık ortalama sıcaklıkta RCP4.5 senaryosuna göre ortalama 1,5°C, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama 2,5 °C artış ön görülmüştür. Ayrıca yağış miktarlarında RCP4.5 senaryosuna göre ortalama olarak 10-15 mm/yıl, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama olarak 105-110 mm/yıl civarında azalışlar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda sıcaklık ve yağış ortalamalarındaki değişikliklerin ülkemizin çok çeşitli coğrafik özelliklere sahip olması nedeniyle bölgesel, havza ve il bazında farklılıklar göstereceğini ifade etmişlerdir.

Doğu Karadeniz Havzası Lokal Meteorolojik Değişkenleri İçin Bir Ölçek



Şekil 12 - Doğu Karadeniz Havzası'ndaki meteoroloji istasyonlarında gelecek dönem (2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait aylık toplam yağış değerlerinin referans dönem (1981-2005) senaryosuna göre değişimleri (%).

Turp vd. [75] tarafından yapılan bir başka çalışmada GFDL-ESM2M modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo verileri Türkiye ve çevresi için dinamik ölçek indirgeme ile 50 km çözünürlükte üretilmiştir. Turp vd. tarafından yapılan çalışmadan elde edilen çıktılar her ne kadar bu çalışmadan elde edilen çıktılara göre düşük çözünürlükte olsa da DKH için sıcaklık artışları ve yağışlarda düşüşler öngörmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen verilerin uzun yıllık ortalamaları üzerinden yapılan değerlendirmelerde yukarıdaki çalışmalarla benzerlikler taşıdığı görülmüştür. Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından yapılan ve dinamik ölçek küçültme yönteminin kullanıldığı bir çalışmada [54] gelecek dönem yağış ve sıcaklık değerleri HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 GDM'leri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında incelenmiştir. Çalışma sonucunda Doğu Karadeniz Havzası için iklim projeksiyonlarından elde edilen sonuçlara göre projeksiyon dönemi boyunca sıcaklıkların artması bu havzada görülen iklim değişikliği etkisi sonucunda ise yağışların da pozitif anomali sergilemesinin beklendiği ifade edilmiştir. Demircan vd. [86] tarafından yapılan bir çalışmada ise HadGEM2-ES modeline ait RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktıları dinamik ölçek indirgeme ile bölgesel ölçeğe indirgenmiştir. Projeksiyonlardan elde edilen sonuçlara göre 2013-2099'un ilk ve son dönemlerinde RCP4.5 senaryosuna göre sıcaklık artışlarının 3 °C ile 5 °C arasında artışlar ve RCP8.5'e göre ülke genelinde 6 °C'ye ulaşan artışların olabileceği öngörülmüştür. Yağış değerlerinde ise her iki senaryoya göre yüzyıl sonuna kadar kış mevsiminde ülke genelinde yağış artışı olacağı öngörülmektedir. Sıcaklık artışları da dikkate alındığında bu yağışların cinsinin kar ve donan yağış şeklinde olamayacağı dolayısıyla da kış mevsimindeki bu yağış artışının diğer mevsimlere su bütçesi açısından bir katkı sağlamayacağını ifade etmişlerdir. İlkbahar ve yaz yağışlarında ülkenin batı ve kuzey kıyı kesimleri ile kuzeydoğusu hariç ülke genelinde bir düşüş öngörülmektedir. Sonbahar yağışlarında ülke genelinde ve bütün dönemlerde bir azalış olacağı

öngörülmektedir. Bu çalışma ile Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın [54] çalışmasından özellikle yağış değişkeni için farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Bu durumun ölçek indirgeme yöntemi ve GDM modellerinin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gelecek üç dönem (2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo verilerinin eğilimleri Mann-Kendall eğilim analizi uygulanarak %5 anlamlılık düzeyi için incelenmiştir. Eğilim analizi yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış değerleri kullanılarak yapılmıştır. Uygulanan eğilim analizi sonuçları sıcaklık ve yağış değişkenleri için sırasıyla Çizelge 6 ve Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelge 6 incelendiğinde RCP4.5 senaryosuna göre gelecek üç dönem için de istasyonların hiç birinde %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı herhangi bir eğilim gözlenmediği görülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise 2021-2050 döneminde Giresun istasyonunda, 2051-2080 döneminde Bayburt, Gümüşhane, Rize, Suşehri ve Şebinkarahisar istasyonları dışındaki istasyonlarda ve 2081-2100 döneminde Bayburt, Hopa, Rize ve Suşehri istasyonları dışındaki istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimi söz konusudur. Z değerlerinin RCP4.5 (2081-2020) dönemi dışındaki durumlarda genellikle pozitif olması, sıcaklık değerlerinde artışın devam ettiğini göstermektedir. Ancak bu değerler RCP8.5 (2051-2080) ve RCP8.5 2081-2100 dönemi dışında istatistik olarak anlamlı çıkmamıştır. Ayrıca sıcaklıkların RCP 4.5'te yüzyıl sonunda istatistik olarak anlamlı olmayan azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Çizelge 6 - Yıllık ortalama sıcaklık verilerine ait Mann-Kendall eğilim analizi sonuçları

| Senaryo/Dönem | RCP4.5 (2021-2050) | | | | RCP4.5 (2051-2080) | | | | RCP4.5 (2081-2100) | | | |
|----------------|--------------------|-------|----------------|--------------|--------------------|-------|----------------|--------------|--------------------|-------|----------------|--------------|
| | S | Z | H ₀ | Eğilim | S | Z | H ₀ | Eğilim | S | Z | H ₀ | Eğilim |
| Akçaabat | 7 | 0,11 | Kabul | Yok | -23 | -0,39 | Kabul | Yok | -22 | -0,68 | Kabul | Yok |
| Bayburt | -25 | -0,43 | Kabul | Yok | -29 | -0,50 | Kabul | Yok | -26 | -0,81 | Kabul | Yok |
| Giresun | 43 | 0,75 | Kabul | Yok | 9 | 0,14 | Kabul | Yok | -26 | -0,81 | Kabul | Yok |
| Gümüşhane | 67 | 1,18 | Kabul | Yok | 43 | 0,75 | Kabul | Yok | -36 | -1,14 | Kabul | Yok |
| Hopa | 17 | 0,29 | Kabul | Yok | 27 | 0,46 | Kabul | Yok | -20 | -0,62 | Kabul | Yok |
| Ordu | 9 | 0,14 | Kabul | Yok | -9 | -0,14 | Kabul | Yok | -24 | -0,75 | Kabul | Yok |
| Pazar | 37 | 0,64 | Kabul | Yok | 5 | 0,07 | Kabul | Yok | -18 | -0,55 | Kabul | Yok |
| Rize | -5 | -0,07 | Kabul | Yok | -15 | -0,25 | Kabul | Yok | -46 | -1,46 | Kabul | Yok |
| Suşehri | 59 | 1,03 | Kabul | Yok | 53 | 0,93 | Kabul | Yok | -38 | -1,20 | Kabul | Yok |
| Şebinkarahisar | 23 | 0,39 | Kabul | Yok | 17 | 0,29 | Kabul | Yok | -44 | -1,40 | Kabul | Yok |
| Trabzon | 15 | 0,25 | Kabul | Yok | 19 | 0,32 | Kabul | Yok | -28 | -0,88 | Kabul | Yok |
| Ünye | 1 | 0,00 | Kabul | Yok | -15 | -0,25 | Kabul | Yok | -20 | -0,62 | Kabul | Yok |
| Senaryo/Dönem | RCP8.5 (2021-2050) | | | | RCP8.5 (2051-2080) | | | | RCP8.5 (2081-2100) | | | |
| | S | Z | H ₀ | Eğilim | S | Z | H ₀ | Eğilim | S | Z | H ₀ | Eğilim |
| Akçaabat | 95 | 1,68 | Kabul | Yok | 119 | 2,11 | Red | Artış | 90 | 2,89 | Red | Artış |
| Bayburt | -15 | -0,25 | Kabul | Yok | 95 | 1,68 | Kabul | Yok | 60 | 1,91 | Kabul | Yok |
| Giresun | 117 | 2,07 | Red | Artış | 141 | 2,50 | Red | Artış | 96 | 3,08 | Red | Artış |
| Gümüşhane | 55 | 0,96 | Kabul | Yok | 93 | 1,64 | Kabul | Yok | 32 | 1,01 | Kabul | Yok |
| Hopa | 109 | 1,93 | Kabul | Yok | 127 | 2,25 | Red | Artış | 100 | 3,21 | Red | Artış |
| Ordu | 89 | 1,57 | Kabul | Yok | 139 | 2,46 | Red | Artış | 88 | 2,82 | Red | Artış |
| Pazar | 107 | 1,89 | Kabul | Yok | 123 | 2,18 | Red | Artış | 96 | 3,08 | Red | Artış |
| Rize | -5 | -0,07 | Kabul | Yok | 67 | 1,18 | Kabul | Yok | 60 | 1,91 | Kabul | Yok |
| Suşehri | 63 | 1,11 | Kabul | Yok | 53 | 0,93 | Kabul | Yok | -16 | -0,49 | Kabul | Yok |
| Şebinkarahisar | -21 | -0,36 | Kabul | Yok | 57 | 1,00 | Kabul | Yok | 90 | 2,89 | Red | Artış |
| Trabzon | 75 | 1,32 | Kabul | Yok | 129 | 2,28 | Red | Artış | 96 | 3,08 | Red | Artış |
| Ünye | 75 | 1,32 | Kabul | Yok | 113 | 2,00 | Red | Artış | 86 | 2,76 | Red | Artış |

Çizelge 7 - Yıllık toplam yağış verilerine ait Mann-Kendall eğilim analizi sonuçları

| Senaryo/Dönem | RCP4.5 (2021-2050) | | | | RCP4.5 (2051-2080) | | | | RCP4.5 (2081-2100) | | | |
|----------------|--------------------|-------|----------------|---------------|--------------------|-------|----------------|--------|--------------------|-------|----------------|---------------|
| | S | Z | H ₀ | Eğilim | S | Z | H ₀ | Eğilim | S | Z | H ₀ | Eğilim |
| Akçaabat | 43 | 0,75 | Kabul | Yok | 63 | 1,11 | Kabul | Yok | 52 | 1,65 | Kabul | Yok |
| Bayburt | -11 | -0,18 | Kabul | Yok | -33 | -0,57 | Kabul | Yok | 10 | 0,29 | Kabul | Yok |
| Giresun | -41 | -0,71 | Kabul | Yok | 29 | 0,50 | Kabul | Yok | 40 | 1,27 | Kabul | Yok |
| Gümüşhane | -37 | -0,64 | Kabul | Yok | 55 | 0,96 | Kabul | Yok | -4 | -0,10 | Kabul | Yok |
| Hopa | 9 | 0,14 | Kabul | Yok | 1 | 0,00 | Kabul | Yok | 36 | 1,14 | Kabul | Yok |
| Ordu | 43 | 0,75 | Kabul | Yok | 19 | 0,32 | Kabul | Yok | 24 | 0,75 | Kabul | Yok |
| Pazar | -35 | -0,61 | Kabul | Yok | 9 | 0,14 | Kabul | Yok | 28 | 0,88 | Kabul | Yok |
| Rize | -5 | -0,07 | Kabul | Yok | 25 | 0,43 | Kabul | Yok | 20 | 0,62 | Kabul | Yok |
| Suşehri | 25 | 0,43 | Kabul | Yok | 71 | 1,25 | Kabul | Yok | 10 | 0,29 | Kabul | Yok |
| Şebinkarahisar | -37 | -0,64 | Kabul | Yok | 25 | 0,43 | Kabul | Yok | 8 | 0,23 | Kabul | Yok |
| Trabzon | 29 | 0,50 | Kabul | Yok | 27 | 0,46 | Kabul | Yok | 46 | 1,46 | Kabul | Yok |
| Ünye | 9 | 0,14 | Kabul | Yok | 17 | 0,29 | Kabul | Yok | 20 | 0,62 | Kabul | Yok |
| Senaryo/Dönem | RCP8.5 (2021-2050) | | | | RCP8.5 (2051-2080) | | | | RCP8.5 (2081-2100) | | | |
| | S | Z | H ₀ | Eğilim | S | Z | H ₀ | Eğilim | S | Z | H ₀ | Eğilim |
| Akçaabat | -19 | -0,32 | Kabul | Yok | -25 | -0,43 | Kabul | Yok | -26 | -0,81 | Kabul | Yok |
| Bayburt | 37 | 0,64 | Kabul | Yok | -65 | -1,14 | Kabul | Yok | -22 | -0,68 | Kabul | Yok |
| Giresun | -73 | -1,28 | Kabul | Yok | -85 | -1,50 | Kabul | Yok | -76 | -2,43 | Red | <i>Azalış</i> |
| Gümüşhane | -51 | -0,89 | Kabul | Yok | -109 | -1,93 | Kabul | Yok | -50 | -1,59 | Kabul | Yok |
| Hopa | -127 | -2,25 | Red | <i>Azalış</i> | -89 | -1,57 | Kabul | Yok | -92 | -2,95 | Red | <i>Azalış</i> |
| Ordu | 21 | 0,36 | Kabul | Yok | -31 | -0,54 | Kabul | Yok | -50 | -1,59 | Kabul | Yok |
| Pazar | -91 | -1,61 | Kabul | Yok | -83 | -1,46 | Kabul | Yok | -98 | -3,15 | Red | <i>Azalış</i> |
| Rize | -41 | -0,71 | Kabul | Yok | -79 | -1,39 | Kabul | Yok | -78 | -2,50 | Red | <i>Azalış</i> |
| Suşehri | 77 | 1,36 | Kabul | Yok | -37 | -0,64 | Kabul | Yok | -34 | -1,07 | Kabul | Yok |
| Şebinkarahisar | -19 | -0,32 | Kabul | Yok | -51 | -0,89 | Kabul | Yok | -48 | -1,52 | Kabul | Yok |
| Trabzon | -27 | -0,46 | Kabul | Yok | -21 | -0,36 | Kabul | Yok | -58 | -1,85 | Kabul | Yok |
| Ünye | -47 | -0,82 | Kabul | Yok | -89 | -1,57 | Kabul | Yok | -28 | -0,88 | Kabul | Yok |

Yağış değişkeni için hazırlanmış olan Çizelge 7 incelendiğinde yine RCP4.5 senaryosu için gelecek dönemlerin ve istasyonların hiçbirinde herhangi bir eğilime rastlanmamıştır. Bunun yanında, RCP8.5 senaryosuna göre 2021-2050 döneminde Hopa istasyonunda azalış eğilimi görülürken diğer istasyonlarda herhangi bir eğilim belirlenmemiştir. 2051-2080 döneminde herhangi bir istasyonda herhangi bir eğilim söz konusu olmazken 2081-2100 döneminde Giresun, Hopa, Pazar ve Rize istasyonlarında azalış eğilimi gözlenmiştir. Ayrıca her üç dönem içinde %5 anlamlılık düzeyi için istatistiksel olarak anlamlı olmasa da azalma eğiliminin neredeyse istasyonların tamamında devam ettiği görülmektedir. Ancak Karahan vd. [87] tarafından Mann-Kendal yöntemi kullanılarak yapılan bir çalışmada Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan meteoroloji istasyonlarından elde edilen yağış şiddeti değerlerinde gözlem süresinin ikinci yarısında genellikle bir artış eğiliminin bulunduğu ve özellikle Trabzon ve Artvin illerinin yağış şiddetlerinde bu artma eğiliminin belirgin olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca Zeybekoğlu ve Karahan [88] tarafından yapılan bir başka çalışmada da Trabzon ve Artvin illerinin kısa ve orta süreli yağış şiddetlerinde belirgin bir artış eğiliminin bulunduğu vurgulanmaktadır. Gelecek dönem aylık toplam yağış verilerine uygulanan eğilim analiz sonuçları ile meteoroloji istasyonlarından elde edilen gözlenmiş yağış şiddeti verilerine uygulanan eğilim analizi sonuçlarında farklılıklar olduğu belirlenmiştir. İklim değişikliği etkileri ile sıcaklıklarda meydana gelebilecek 1 °C'lik artışların ortalama yağış değerlerini %1-3 oranında, aşırı yağışları ise %7 oranında etkilemektedir [92]. Doğu

Karadeniz Havzası'nda olduğu gibi, iklim değişikliği ortalama yağış ve aşırı yağış değerlerini farklı derecede etkileyebilmektedir. Taşkınların sıklıkla yaşandığı havzada iklim değişikliğinin taşkınlar üzerine etkisinin net bir şekilde belirlenmesinin ancak farklı GMD çıktılarından elde edilecek standart süreli yağış şiddeti verilerinin değişiminin incelenmesi ile mümkün olacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada iklim değişikliğinin Doğu Karadeniz Havzası sıcaklık ve yağış değişkenleri üzerindeki olası etkileri incelenmiştir. Bunun için havza içerisinde ve yakın çevresinde yer alan 12 adet meteoroloji istasyonu belirlenmiştir. Belirlenen meteoroloji istasyonları için 2021-2100 yılı yağış ve sıcaklık verileri GFDL-ESM2M GDM modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktıları bölgesel ölçeğe indirgenerek üretilmiştir. GDM modelinin kaba çözünürlüklü atmosferik değişkenlerini bölgesel ölçeğe indirgemek için çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca ÇDURE yönteminin performanslarının karşılaştırılması amacı ile klasik regresyon analizi (KRA) tabanlı modeller kurulmuştur. Ölçek indirgeme modellerinin kurulmasında ERA-Interim yeniden analiz veri setinde bulunan atmosferik değişkenler kullanılmıştır. En yüksek performans değerlerini veren yöntemle ait modeller kullanılarak GDM modellerine ait RCP senaryo çıktıları 2021-2050, 2051-2080 ve 2081-2100 dönemleri olmak üzere üç dönem için ayrı ayrı incelenmiştir. Ayrıca gelecek üç dönem için üretilmiş olan veriler Mann-Kendall eğilim analizi uygulanmış ve %5 anlamlılık düzeyindeki eğilimleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- ÇDURE yönteminin KRA_LF ve KRA_EF'ye kıyasla hem sıcaklık hem de yağış değişkeni için genel olarak daha yüksek performans değerleri verdiği belirlenmiştir.
- ÇDURE yönteminin ERA-Interim yeniden analiz veri takımında yer alan atmosferik değişkenleri kullanarak sıcaklık ve yağış değişkenlerinin bölgesel ölçeğe indirgenmesinde yeterli performans verdiği görülmüştür. Sıcaklık değişkeni için hesaplanan NS değerlerinin eğitim ve test veri takımı için tüm istasyonlarda 0,967 değerinin üzerinde olduğu, yağış değişkeni için ise eğitim veri takımında 0,513 ile 0,698 arasında, test veri takımında ise 0,470 ile 0,777 arasında olduğu ortaya çıkmıştır.
- Havzanın genelinde sıcaklık değerlerinde artışların yaşanacağı, bu artışların özellikle yaz aylarında etkisini daha da arttıracığı öngörülmüştür. RCP8.5 senaryo çıktılarına göre yaz ayları için öngörülen sıcaklık artışları havzanın güneyinde bulunan istasyonlarda 10 °C'lere varmaktadır.
- Yakın gelecek olarak ifade edilen 2021-2050 döneminde yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde havza genelinde iyimser senaryoya göre yaklaşık 1,5 °C, kötümser senaryoya göre ise yaklaşık 2 °C'lik artış öngörülmektedir. Yüzyıl sonlarında ise bu değerlerin sırasıyla yaklaşık 2 °C ve 4 °C olması beklenmektedir.
- Aylık toplam yağış değerlerinde ilkbahar aylarında %50'lere varan artışlar beklenirken, yaz aylarında özellikle havzanın güney kesiminde %100'e varan düşüş öngörülmektedir.
- Yıllık ortalama toplam yağış değerlerinde havzanın genelinde RCP4.5 senaryosuna göre

yüzyıl boyunca ortalama -%10 ile %10 arasında bir değişim beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre yakın gelecekte çok fazla değişim beklenmemekle beraber orta vadede %30, uzun vadede ise %50'lere varan düşüş öngörülmektedir.

- RCP8.5 senaryo çıktılarından elde edilen sonuçlara göre sıcaklık ve yağış değerlerinde öngörülen artış ve düşüş değerleri RCP4.5 senaryo çıktılarına göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.
- Gelecek dönemlerde RCP4.5 senaryosuna göre genel olarak artış eğilimi olmasına karşın bu eğilim %5 anlamlılık düzeyine istatistiksel olarak anlamlı değildir. RCP8.5 senaryosuna göre ise sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamlı artış, yağışlarda ise azalış eğilimi öngörülmektedir.

Havzada gelecek dönemde artan sıcaklıklarla beraber yağış değerlerinde özellikle ilkbahar ve yaz aylarında öngörülen artışların havzanın özellikle kıyı kesiminde taşkın riskini arttıracak, havzanın güney bölümünde ise yaz aylarında öngörülen sıcaklık artışlarının son dönemlerde bu mevsimde yaşanan kuraklığı daha da arttıracakı düşünülmektedir. Bunun yanında havzada yer alan, ülke ekonomisine önemli katkısı olan ve aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik santrallerinin havzada uzun vadede öngörülen sıcaklık artışından ve yağış miktarındaki düşüşten olumsuz etkilenebileceği düşünülmektedir. Doğu Karadeniz Havzası'nda yukarıda bahsedilen değerlendirmelerin daha detaylı yapılabilmesi için havzada özellikle yakın gelecek için günlük verilerle daha fazla model çıktısı ile değerlendirilmesi, ayrıca havzada yer alan akarsularda kurulacak uygun yağış akış modelleri ile elde edilecek akım değerlerinin iklim değişikliği etkisi altında nasıl değişeceğinin irdelenmesi önerilmektedir. Bu çalışma kapsamında geleceğe yönelik verilerin GFDL-ESM2M GDM modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktıları kullanılarak 2021-2100 aralığı gibi uzun bir süre için elde edildiği ve güvenilirliğinin tartışmaya açık olduğu unutulmamalıdır.

Teşekkür

Kıymetli vakitlerini ayırarak çalışmayı değerlendiren, görüş ve önerileri ile çalışmaya değer katan hakemlere ve modelleme çalışmalarında kullanılan verilerin temininde desteklerini esirgemeyen Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Al-Mukhtar, M., Qasim, M., Future predictions of precipitation and temperature in Iraq using the statistical downscaling model. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(2), 25, 1-16, 2019.
- [2] Nourani V., Razzaghzadeh Z., Baghanam A.H., Molajou A., ANN-based statistical downscaling of climatic parameters using decision tree predictor screening method. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 1729-1746, 2019.

- [3] Smith, J. B., Schneider, S. H., Oppenheimer, M., Yohe, G. W., Hare, W., Mastrandrea, M. D., Patwardhan, A., Burton, I. Morlot, J. C., Magadza, C. H. D., Füssel, H. M., Pittock, A. B., Rahman, A., Suarez, A., Ypersele, J. P., Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)“reasons for concern”. Proceedings of the national Academy of Sciences, 106(11), 4133-4137, 2009.
- [4] IPCC Climate change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change In: Stocker T. F., Qin D., Plattner G. K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M., (eds) Cambridge university press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, 2013.
- [5] IPCC Summary for policymakers 2018. In: Masson-Delmotte V, et al, editors. Global warming of 1.5°C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 32 pp, 2018.
- [6] Osses D.A., Casanueva A., Figueroa C.R., Uribe J.M., Peneque M., Climate change projection of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Climate Dynamics*, 54, 4309-4330, 2020.
- [7] Ouhamdouch, S., Bahir, M., Climate change impact on future rainfall and temperature in semi-arid areas (Essaouira Basin, Morocco). *Environmental Processes*, 4(4), 975-990, 2017.
- [8] Trenberth, K. E., Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47, 123-138, 2011.
- [9] Bergström, S., Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G., Pettersson, A., Rummukainen, M., Climate change impacts on runoff in Sweden assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modelling. *Climate Research*, 16(2), 101-112, 2001.
- [10] Chu, J. T., Xia, J., Xu, C. Y., Singh, V. P., Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1-2), 149-161, 2010.
- [11] Goyal, M. K., Ojha, C. S. P., Downscaling of surface temperature for lake catchment in an arid region in India using linear multiple regression and neural networks. *International Journal of Climatology*, 32(4), 552-566, 2012.
- [12] Duhan, D., Pandey, A. Statistical downscaling of temperature using three techniques in the Tons River basin in Central India. *Theoretical and Applied Climatology*, 121(3-4), 605-622, 2015.
- [13] Kouhestani, S., Eslamian, S. S., Abedi-Koupai, J., Besalatpour, A. A., Projection of climate change impacts on precipitation using soft-computing techniques: A case study in Zayandeh-rud Basin, Iran. *Global and Planetary Change*, 144, 158-170, 2016.

- [14] Okkan, U., Fistikoglu, O., Evaluating climate change effects on runoff by statistical downscaling and hydrological model GR2M. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(1-2), 343-361, 2014.
- [15] Yilmaz, A. G., The effects of climate change on historical and future extreme rainfall in Antalya, Turkey, *Hydrological Sciences Journal*, 60, 12, 2148-2162, 2015.
- [16] Serbes, Z. A., Yıldırım, T. Ö., Mengü, G. P., Akkuzu, E., Aşık, Ş., Okkan, U., Temperature and precipitation projections under AR4 scenarios: The case of küçük menderes basin, Turkey. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(1), 44-51, 2019.
- [17] Yilmaz, A. G., Imteaz, M. A., Climate change and water resources in Turkey: a review. *International Journal of Water*, 8(3), 299-313, 2014.
- [18] Yüksek, Ö., Kankal, M., Üçüncü, O., Assessment of big floods in the Eastern Black Sea Basin of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(1), 797-814, 2013.
- [19] Mekonnen, D.F., Disse, M., Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22: 2391–2408, 2018.
- [20] Wilby, R. L., Harris, I., A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2), 1-10, 2006.
- [21] Wilby, R. L., Hay, L. E., Gutowski Jr, W. J., Arritt, R. W., Takle, E. S., Pan, Z., Leavesley G. H., Martyn P. C., Hydrological responses to dynamically and statistically downscaled climate model output. *Geophysical Research Letters*, 27(8), 1199-1202, 2000.
- [22] Hay, L. E., Wilby, R. L., Leavesley, G. H., A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 36(2), 387-397, 2000.
- [23] Wilby, R. L., Dawson, C. W., Barrow, E. M., SDSM-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145-157, 2002.
- [24] Mora, D. E., Campozano, L., Cisneros, F., Wyseure, G., Willems, P., Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(2), 631-648, 2014.
- [25] Okkan, U., Kirdemir, U. Downscaling of monthly precipitation using CMIP5 climate models operated under RCPs. *Meteorological Applications*, 23(3), 514-528, 2016.
- [26] Fistikoglu, O., Okkan, U., Statistical downscaling of monthly precipitation using NCEP/NCAR reanalysis data for Tahtali River Basin in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(2), 157-164, 2011.

- [27] Timbal, B., Dufour, A., McAvaney, B., An estimate of future climate change for western France using a statistical downscaling technique. *Climate Dynamics*, 20(7-8), 807-823, 2003.
- [28] Feng, K. O. N. G., Characteristics and Comparison of Different Downscaling Methods in Global Climate Model. *Meteorological & Environmental Research*, 11(1), 40-44, 2020.
- [29] Bermudez, M., Cea, L., Van Uytven, E., Willems, P., Farfán, J. F., Puertas, J., A robust method to update local river inundation maps using global climate model output and weather typing based statistical downscaling. *Water Resources Management*, 34(14), 4345-4362, 2020.
- [30] Klein, W. H., Objective specification of monthly mean surface temperature from mean 700 mb heights in winter. *Monthly Weather Review*, 111(4), 674-691, 1983.
- [31] Landman, W. A., Mason, S. J., Tyson, P. D., Tennant, W. J., Statistical downscaling of GCM simulations to streamflow. *Journal of Hydrology*, 252(1-4), 221-236, 2001.
- [32] Wang, Q., Huang, J., Liu, R., Men, C., Guo, L., Miao, Y., Jiao, L., Wang, Y., Shoaib, M., Xia, X., Sequence-based statistical downscaling and its application to hydrologic simulations based on machine learning and big data. *Journal of Hydrology*, 586, 124875, 2020.
- [33] Sun, L., Lan, Y., Statistical downscaling of daily temperature and precipitation over China using deep learning neural models: Localization and comparison with other methods. *International Journal of Climatology*, 41, 1128-1147, 2020.
- [34] Sulca, J., Vuille, M., Timm, O. E., Dong, B., Zubieta, R., Empirical-Statistical Downscaling of Austral Summer Precipitation over South America, with a Focus on the Central Peruvian Andes and the Equatorial Amazon Basin. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 60(1), 65-85, 2021.
- [35] Adnan, R. M., Liang, Z., Heddam, S., Zounemat-Kermani, M., Kisi, O., Li, B., Least square support vector machine and multivariate adaptive regression splines for streamflow prediction in mountainous basin using hydro-meteorological data as inputs. *Journal of Hydrology*, 586, 124371, 2020.
- [36] Wang, L., Wu, C., Gu, X., Liu, H., Mei, G., Zhang, W., Probabilistic stability analysis of earth dam slope under transient seepage using multivariate adaptive regression splines. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79(6), 2763-2775, 2020.
- [37] Akin, M., Eyduran, S. P., Eyduran, E., Reed, B. M., Analysis of macro nutrient related growth responses using multivariate adaptive regression splines. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 140(3), 661-670, 2020.
- [38] Nacar, S., Mete, B., Bayram, A., Estimation of daily dissolved oxygen concentration for river water quality using conventional regression analysis, multivariate adaptive regression splines, and TreeNet techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(12), 1-21, 2020.

- [39] Nacar, S., Bayram, A., Baki, O. T., Kankal, M., Aras, E., Spatial forecasting of dissolved oxygen concentration in the Eastern Black Sea Basin, Turkey. *Water*, 12(4), 1041, 2020.
- [40] Okkan U., İnan G., Gediz Havzası'nda gözlenen ve re-analiz veri setlerinden elde edilen yağış ve sıcaklık verilerine ait eğilimlerin 1980-2010 referans iklim dönemi için karşılaştırılması. *DSİ Teknik Bülteni*, 119, 10-26, 2015.
- [41] Wu, J., Zhang, P., Zha, J., Zhao, D., Lu, W., Evaluating the long-term changes in temperature over the low-latitude plateau in China using a statistical downscaling method. *Climate Dynamics*, 52(7), 4269-4292, 2019.
- [42] Mutz, S. G., Scherrer, S., Muceniece, I., Ehlers, T. A., Twenty-first century regional temperature response in Chile based on empirical-statistical downscaling. *Climate Dynamics*, 1-14, 2021.
- [43] Çıtakoğlu, H., Demir, V., Haktanır, T., L Momentler Yöntemiyle Karadeniz'e Dökülen Akarsulara Ait Yıllık Anlık Maksimum Akım Değerlerinin Bölgesel Frekans Analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 6, Sayı 2, 571-580, 2017.
- [44] Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSİB), Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi Doğu Karadeniz Havzası, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, 2013.
- [45] Erkek, C. ve Ağırallıoğlu, N., Su Kaynakları Mühendisliği, Altıncı Baskı, Beta Basım, İstanbul, 2010.
- [46] Çınaklı, M., Doğu Karadeniz Bölümü'nde Meydana Gelen Taşkınlar, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [47] Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Meteorolojik Afetler, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 2018.
- [48] Anandhi, A., Srinivas, V. V., Nanjundiah, R. S., Nagesh Kumar, D., Downscaling precipitation to river basin in India for IPCC SRES scenarios using support vector machine. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 28(3), 401-420, 2008.
- [49] Okkan, U., 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, 2015.
- [50] Okkan, U., Karakan, E., İklim Değişikliğinin İkizcetepeler Barajı Akımlarına Etkilerinin Modellenmesi: 2015-2030 Projeksiyonu. *Teknik Dergi*, 27(2), 7379-7401, 2016.
- [51] Berrisford, P., Kallberg, P., Kobayashi, S., Dee, D., Uppala, S., Simmons, A. J., Polii P., Sato, H., Atmospheric conservation properties in ERA-Interim. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(659), 1381-1399, 2011.

- [52] Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Holm E.V., Isaksen L., Kallberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J. N., Vitart F., The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system, *Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society*, 137(656), 553-597, 2011.
- [53] Berrisford P., Dee D.P.K.F., Fielding K., Fuentes M., Kallberg P., Kobayashi S., Uppala S., The ERA-interim archive, ERA report series, (1), 1-16, 2009.
- [54] Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSİB), Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planı. Su yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetim Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2015.
- [55] Demircan, M., Gürkan, H., Eskiöğlü, O., Arabacı, H., Coşkun, M., Climate change projections for Turkey: three models and two scenarios, *Türkiye Su Bilimi ve Yönetimi Dergisi*, 1(1), 22-43, 2017.
- [56] Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSİB), İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi projesi Proje Nihai Raporu, 2016.
- [57] Okkan, U., Kirdemir, U., Investigation of the behavior of an agricultural-operated dam reservoir under RCP scenarios of AR5-IPCC. *Water Resources Management*, 32(8), 2847-2866, 2018.
- [58] Friedman J.H., Multivariate adaptive regression splines, *The Annals of Statistics*, 19(1), 1-67, 1991.
- [59] Friedman, J. H., Roosen, C. B. An introduction to multivariate adaptive regression splines. *Statistical Methods in Medical Research*, 4(3), 197-217, 1995.
- [60] Kisi O., Parmar K.S., Application of least square support vector machine and multivariate adaptive regression spline models in long term prediction of river water pollution, *Journal of Hydrology*, 534, 104-112, 2016.
- [61] Özfalçı Y., Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon kesitleri: Mars, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [62] Nacar S., Kankal M., Hınıs M.A., Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) ile Günlük Akarsu Akımlarının Tahmini-Haldizen Deresi Örneği, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 38-47, 2018.
- [63] Ünal B., Çok değişkenli uyarlamalı regresyon uzanımları, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [64] Kirdemir, U., Okkan, U., Farklı yanlılık düzeltme yöntemlerinin istatistiksel ölçüğe indirgenmiş yağış projeksiyonlarına uygulanması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 868-881, 2019.

- [65] Schmidli, J., Frei, C., Vidale, P. L., Downscaling from GCM precipitation: a benchmark for dynamical and statistical downscaling methods. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(5), 679-689, 2006.
- [66] Lenderink, G., Buishand, A., Van Deursen, W., Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(3), 1145-1159, 2007.
- [67] Ines, A. V., Hansen, J. W., Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138(1-4), 44-53, 2006.
- [68] Jakob Themeßl, M., Gobiet, A., Leuprecht, A., Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. *International Journal of Climatology*, 31(10), 1530-1544, 2011.
- [69] Cannon, A. J., Sobie, S. R., Murdock, T. Q., Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes?. *Journal of Climate*, 28(17), 6938-6959, 2015.
- [70] Wilby, R. L., Charles, S. P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., Mearns, L. O., Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, available from the DDC of IPCC TGCIA, 27, 2004.
- [71] Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., Veith, T. L., Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900, 2007.
- [72] Tatli, H., Nüzhet Dalfes, H., Sibel Menteş, Ş., A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(2), 161-180, 2004.
- [73] Tatli, H., Dalfes, H. N., Menteş, Ş. S., Surface air temperature variability over turkey and its connection to large-scale upper air circulation via multivariate techniques. *International Journal of Climatology*, 25(3), 331-350, 2005.
- [74] Gürkan, H., Arabacı, H., Demircan, M., Eskioğlu, O., Şensoy, S., Yazıcı, B., GFDL-ESM2M modeli temelinde RCP4. 5 ve RCP8. 5 senaryolarına göre Türkiye İçin sıcaklık ve yağış projeksiyonları. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 14(2), 77-88, 2016.
- [75] Turp, M. T., Öztürk, T., Türkeş, M., Kurnaz, M. L., RegCM4. 3.5 bölgesel iklim modelini kullanarak Türkiye ve çevresi bölgelerin yakın gelecekteki hava sıcaklığı ve yağış klimatolojileri için öngörülen değişikliklerin incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(1), 1-24, 2014.
- [76] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Yen senaryolarla Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara, 2015.
- [77] Mahdavi, M., Sharifi, F., Bihamta, M. R., Methodology for selecting the best predictor for climate change impact assessment in Karkheh basin, Iran. *Journal of Environmental Science & Engineering*, 51(4), 249-256, 2009.

- [78] Chan, S. C., Kendon, E. J., Roberts, N., Blenkinsop, S., Fowler, H. J., Large-scale predictors for extreme hourly precipitation events in convection-permitting climate simulations. *Journal of Climate*, 31(6), 2115-2131, 2018.
- [79] Mann, H. B., Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259, 1945.
- [80] Kendall M. G., Rank correlation methods. Oxford University Press, New York, 1975.
- [81] Akçay, F., Kankal, M., Şan, M., Innovative approaches to the trend assessment of streamflows in the eastern Black Sea basin, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 67(2), 222-247, 2022.
- [82] Şan, M., Akçay, F., Linh, N. T. T., Kankal, M., Pham, Q. B., Innovative and polygonal trend analyses applications for rainfall data in Vietnam. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(3), 809-822, 2021.
- [83] Xoplaki, E., González-Rouco, J. F., Luterbacher, J., Wanner, H., Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. *Climate Dynamics*, 23(1), 63-78, 2004.
- [84] Maheras, P., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Vafiadis, M., Patrikas, I., Flocas, H. On the relationships between circulation types and changes in rainfall variability in Greece. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(13), 1695-1712, 2004.
- [85] Anılan, T., Yüksek, Ö., Kankal, M., Doğu Karadeniz Havzası'nın L-Momentlere Dayalı Taşkın Frekans Analizi. *Teknik Dergi*, 27(2), 7403-7427, 2016.
- [86] Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Yazıcı, B., Gürkan, H., Tuvan, A., Akçakaya, A., Türkiye'de Yeni Senaryolara Göre İklim Değişikliği Projeksiyonları. TÜCAUM-VIII. Coğrafya Sempozyumu, 23-24, 2014.
- [87] Karahan, H., Bahar, E., Zeybekoğlu U., Standart Süreli Maksimum Yağış Şiddetleri için Trend Analizi: Doğu Karadeniz Bölgesi için Bir Uygulama, 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, Bildiriler kitabı, 227-238, Kasım 2015, Trabzon, 2015.
- [88] Zeybekoğlu, U., Karahan, H., Standart süreli yağış şiddetlerinin eğilim analizi yöntemleriyle incelenmesi . Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(6) , 974-1004, 2018.
- [89] Dikici, M., Aksel, M., Evaluation of two vegetation indices (NDVI and VCI) Over Asi Basin in Turkey. *Teknik Dergi*, 32(4), 2020.
- [90] Şen, K., Aksu, H., İstanbul için standart süreli gözlenen en büyük yağışların eğilimleri. *Teknik Dergi*, 32(1), 1-2, 2021.
- [91] Alramlawi, K., Fıstıkoğlu, O., Estimation of Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves from Large Scale Atmospheric Dataset by Statistical Downscaling. *Teknik Dergi*, 33(1), 2022.
- [92] Gao, C., Booij, M. J., Xu, Y. P., Impacts of climate change on characteristics of daily-scale rainfall events based on nine selected GCMs under four CMIP5 RCP scenarios in Qu River basin, east China. *International journal of climatology*, 40(2), 887-907, 2020.

