



Sivas ilinin iklim değişikliği projeksiyonları Climate change projections of Sivas province

Sefa Furkan Selçuk^{1,*}, Meltem Sarıoğlu Cebeci², Orhan Cerit³, Burcu Çirci Selçuk⁴,
Bünyamin Karagözoğlu⁵

^{1,2,3,5} Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye
⁴ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

Öz

Antropojenik nedenlerden kaynaklanan iklim değişikliği çağımızın en büyük küresel çevre sorunlarından biridir. İklim değişikliği ile küresel çapta mücadele için küresel iklim modelleri ile iklim değişikliği projeksiyonları oluşturulmuştur. Bu model çıktıları küresel ve kıtasal ölçekte yeterli olsa da yerel ölçekte iklim değişikliğine karşı alınacak önlemler için yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada GFDL-ESM2M küresel iklim modeli veri setine Climate Change Toolkit (CCT) yazılımı ile istatistiksel ölçek küçültme uygulanarak RCP senaryoları için yağış, minimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık parametrelerinin değişim projeksiyonları oluşturulmuştur. Elde edilen ortalama değişim oranlarına ters mesafe ağırlıklı interpolasyon yöntemi uygulanmış, yakın gelecek dönem (2022-2050), orta gelecek dönem (2050-2075) ve uzak gelecek dönem (2075-2100) mekânsal dağılım haritaları oluşturularak Sivas ilinde gelişmesi olası değişimler değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda ilde, farklı senaryolarda %8,5 - 37 oranlarında maksimum sıcaklık artışları, %10-171 oranlarında minimum sıcaklık artışları ve %0 - 26 oranlarında yağış azalması yaşanacağı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: İklim değişikliği, Sivas, Ölçek küçültme, RCP

1 Giriş

İnsanların yaptığı seçimler nedeniyle olumsuz etkileri giderek daha belirgin bir şekilde artan küresel iklim değişikliği, günümüzde ve gelecekte insan yaşamını ve çevreyi olumsuz etkileyen en ciddi sorunlardan biri olmaya devam edecektir. “İklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde onlarca yıl veya daha uzun süren değişiklikler” olarak tanımlanan iklim değişikliği, özellikle mekânsal ve zamansal yağış dağılımı ve yoğunluğunda, ayrıca minimum ve maksimum sıcaklıklarda değişimlere neden olarak, seller ve kuraklıklar gibi aşırı iklim olaylarının sıklığı ve yoğunluğunda önemli değişimlere neden olmaktadır [1-4]. Bu gibi aşırı değişimler insanların yaşam konforunu olumsuz etkilediği gibi çevre ve ekosisteme de geri dönüşü olmayacak önemli zararlar vermektedir.

Küresel yüzey sıcaklıkları giderek artan bir eğilim göstermekte olup, yağış modellerinin değişkenliği hem alan

Abstract

Climate change caused by anthropogenic causes is one of the biggest global environmental problems of our time. Global climate models and climate change projections have been created to combat climate change on a global scale. Although the outputs of this model are sufficient on a global and continental scale, they are insufficient for measures to be taken against climate change on a local scale. In this study, statistical downscaling of the GFDL-ESM2M global climate model dataset with the Climate Change Toolkit (CCT) software was applied to create change projections of precipitation, minimum temperature and maximum temperature parameters for RCP scenarios. Inverse distance weighted interpolation method was applied to the average change rates obtained, and possible changes in Sivas province were evaluated by creating spatial distribution maps for the near future (2022-2050), mid-future period (2050-2075) and far future (2075-2100). As a result of the study, it has been predicted that the province will experience maximum temperature increases of 8.5 - 37%, minimum temperature increases of 10-171% and a decrease of precipitation of 0 - 26% in different scenarios.

Keywords: Climate change, Sivas, Downscaling, RCP

hem de zaman açısından dinamiktir. Hükümetler arası iklim değişikliği panelinin (IPCC) raporuna göre küresel ortalama sıcaklık değerleri 1900-2010 döneminde 0,9°C'lik bir artış göstermiştir [5]. CMIP5'e (IPCC beşinci değerlendirme raporu) dayanarak IPCC, iklim değişikliği projeksiyonu için RCP (Temsili Konsantrasyon Rotaları) senaryoları tanımlamıştır. Bu senaryolar ile insan faaliyetleri sonrasında yeryüzünün maruz kalabileceği ısınmsal zorlama seviyeleri ve zorlama sonucunda iklim sisteminde oluşacak muhtemel değişimler belirlenmiştir. Bu kapsamda RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 ve RCP 8.5 olmak üzere dört farklı senaryo belirlenmiştir. Senaryolarda RCP ifadesinden sonra gelen rakamlar, W/m² biriminde belirlenen ısınmsal zorlama seviyelerini ifade etmektedir. Bu senaryolara göre küresel ortalama yüzey sıcaklığının, 1986'dan 2005'e kadar olan 30 yıllık temel verilere kıyasla 2100 yılına kadar düşük ve yüksek emisyon senaryolarında sırasıyla 1°C ve 4°C'nin üzerinde artacağı tahmin edilmektedir. Artan sıcaklıklar ve

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: sefaturkan.selcuk@gmail.com (S.F. Selçuk)
Geliş / Received: 22.03.2022 Kabul / Accepted: 27.05.2022 Yayınlanma / Published: 18.07.2022
doi: 10.28948/ngumuh.1091466

yağış şekillerindeki değişiklikler bölgesel su dengesi ve hidrolojik rejimleri önemli ölçüde etkileyecektir [6]. Küresel ısınma eğilimleri tüm dünyada görülse de 40° ve 70° kuzey enlemleri arasında daha uzun süreli ısınma eğilimleri görüleceği tahmin edilmektedir [7]. CMIP5'e göre ise Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası'nda 21. yüzyıl sonlarına doğru sıcaklık artışları ile birlikte yağış miktarlarında önemli ölçüde azalmalar beklenmektedir [8]. Spesifik olarak, gelişmekte olan ülkeler, ekonomilerinde tarımın baskınlığı ve zayıf altyapı nedeniyle iklim değişikliğine karşı gelişmiş ülkelere göre daha savunmasızdır. Dolayısıyla bu bölgelerde yerel ölçekte iklim değişikliği projeksiyonları üretmek ve olası senaryolara karşı önlem almak oldukça önemlidir [9].

Küresel iklim modelleri (GCM), büyük ölçekli iklim özelliklerini ve gelecekteki emisyon senaryoları altında iklimin potansiyel gelişimini tanımlamak için tasarlanmış en güvenilir araçlardır [10]. Bu modeller küresel ve kıtasal ölçekte iklim değişkenlerini simüle etmek için makul düzeyde iyi performans göstermelerine rağmen bölgesel iklimi koşullandırabilecek küçük ölçekli süreçleri temsil etme konusunda hâlâ büyük eksiklikler göstermektedir [10-14]. GCM model çıktılarını yerel ölçeklere uyarlamak için genellikle ölçek küçültme teknikleri kullanılmaktadır [15]. Yüksek çözünürlüklü projeksiyonlar elde etmek için yaygın olarak dinamik ölçek küçültme ve istatistiksel ölçek küçültme olmak üzere iki temel ölçek küçültme tekniği kullanılmaktadır [16]. Dinamik ölçek küçültme, bir GCM grid yapısı içine ilgili alan üzerinde daha ince ölçekli bir grid yapısı yerleştirilerek uygulanmaktadır [17, 18]. Dinamik ölçek küçültme tekniğinin iklim değişikliği çalışmalarında kullanımını kısıtlayan en büyük dezavantajı karmaşık tasarımı ve yüksek hesaplama maliyetidir [16,18]. Ölçek küçüldükçe hesaplama maliyeti artmaktadır. Ayrıca çalışma bölgesini genişletmek veya değişiklik yapmak konusunda esnek değildir, tüm çalışmanın yenilenmesini gerektirebilir [19]. İstatistiksel küçültme yöntemleri ise büyük ölçekli atmosferik değişkenler ve yerel iklim arasındaki istatistiksel ilişkiler aracılığıyla yerel ölçekte iklim bilgisi üretir [20]. İstatistiksel ölçek küçültme yöntemlerinin yüksek hesaplama verimliliği vardır. En önemli dezavantajı ise model parametrelerinin değişmediği kabulüdür [21]. Bu iki teknik arasındaki karşılaştırmalı çalışmalar, her iki tekniğin de bölgesel iklim özelliklerini temsil etmek için kullanılabilirliğini göstermektedir [18, 22, 23].

Türkiye'de ölçek küçültme ile iklim değişikliği projeksiyonlarının oluşturulduğu geniş ölçekli çalışmalardan biri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılan "Yeni senaryolar ile Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği" çalışmasıdır. Çalışmada HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M modellerine RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli kullanılarak dinamik ölçek küçültme uygulanarak RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sıcaklık ve yağış parametrelerine ait projeksiyonlar oluşturulmuştur. HadGEM2-ES modeli ile alınan sonuçlara göre; sıcaklıkların 2016-2099 periyodunda RCP4.5 senaryosuna göre 2,5°C, RCP8.5 senaryosuna göre ise ortalama 3,6°C artması beklenmektedir. Bu değerler MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M modelleriyle alınan sonuçlarda; RCP4.5

senaryosunda 1,5°C ve RCP8.5 senaryosunda 2,5°C olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonuçları su havzaları için ortalama değerler ve Türkiye için genel haritalar olarak verilmiştir [24].

Bu çalışmada, hesaplama verimliliği ve maliyet göz önünde bulundurularak istatistiksel ölçek küçültme tekniği tercih edilmiştir. Çalışma, yerel ölçekte ve ayrıntılı iklim verileri oluşturarak Sivas ili iklim değişikliği projeksiyonlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında yağış, maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık parametrelerini içeren bir GCM veri setine CCT yazılımı yardımı ile ölçek küçültme ve hata düzeltme işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen küçük ölçekli veriler referans dönem (1950-2000), yakın gelecek dönem (2022-2050), orta gelecek dönem (2050-2075) ve uzak gelecek dönem (2075-2100) olarak sınıflandırılmıştır. Her dönem için mekânsal dağılım haritaları oluşturularak Sivas ilinde olası iklim değişikliğinin boyutları incelenmiştir.

2 Materyal ve metot

2.1 Çalışma alanı

Sivas ili 28 488 km²'lik yüz ölçümü ile Türkiye'nin en büyük ikinci ilidir. İç Anadolu bölgesinde bulunan il, Erzincan, Yozgat, Malatya, Kahramanmaraş, Ordu, Tokat, Giresun ve Kayseri illeri ile komşudur. 35°50' ve 38°14' doğu meridyenleri ile 38°42' ve 40°16' kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. İlin genel olarak topografik yapısına bakıldığında ülkemiz topografyası ile paralel olarak batıdan doğuya doğru bir yükseklik artışı mevcuttur. Deniz seviyesinden yüksekliği 1250 – 2280 m aralığındadır. Birçok Anadolu ili gibi karasal iklimin görüldüğü ilde yaz mevsimleri kurak ve sıcak, kış mevsimleri ise soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Türkiye'nin en soğuk illerinden biri olan Sivas'ta 1970 - 2018 yılları arasında karla kaplı gün sayısının ortalama 17,5 – 35,3 gün olduğu belirtilmiştir. Çalışma alanı bitki örtüsü açısından değerlendirilecek olur ise bozkır vejetasyonunun hâkim olduğu bölgede doğal bitki örtüsü dâhilinde gözlemlenen türler genellikle boyları 20 – 25 cm'yi geçmeyen kısa ömürlü bitkilerden oluşmaktadır. Bozkır vejetasyonu ilkbahar yağışları ile canlanan ve yağışın az olduğu yaz mevsiminde ise kuru bir görünüme bürünen bitki türlerinden oluşmaktadır. Aynı zamanda bölgede yüksek kesimlerde görülen orman vejetasyonu için iklimin önemli bir rol oynadığını söylemek mümkündür [25-27].

2.2 Veri ve yöntem

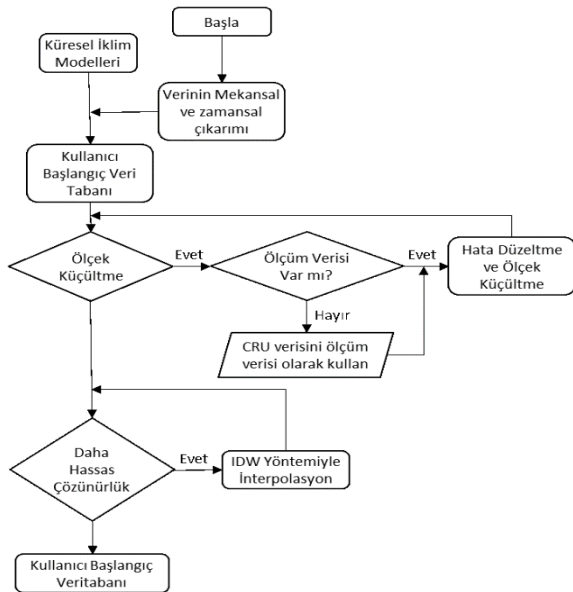
Küresel iklim modelleri, iklim değişikliği çalışmalarında iklim verileri elde etme ve gelecek koşulların tahmin edilmesinde kullanılacak en güvenilir araçlardır. GCM'ler küresel ve kıtasal ölçekte iklim değişkenlerini simüle etmek için makul düzeyde iyi performans gösterirler. Ancak bölgesel veya yerel analizlerde küçük ölçekli çalışmalarda yetersiz kalmaktadır. Çalışma kapsamında GFDL-ESM2M küresel iklim modeli veri setine CCT yazılımı ile istatistiksel ölçek küçültme ve hata düzeltme uygulanmıştır.

GFDL-ESM2M modeli, Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesine (NOAA) bağlı çalışan Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı (GDFL) tarafından insan

eylemleri de dahil olmak üzere Dünya'nın biyojeokimyasal döngülerinin iklim sistemi ile nasıl etkileşime girdiği üzerine çalışmalar yapmak için geliştirilmiş bir dünya sistem modelidir (ESM). GFDL'nin fiziksel iklim modelleri, bir okyanus sirkülasyon modeli ve atmosferik sirkülasyon modelinin birleşimine dayanmaktadır. Model, karbon döngüsü de dahil olmak üzere etkileşimli biyojeokimyayı, atmosferik bileşenleri (aerosoller, bulut fiziği ve yağış gibi), karasal ekoloji bileşenlerini (yağış, buharlaşma, yüzeyel su kaynakları ve dinamik karbon depoları gibi) ve okyanus bileşenlerini (deniz buzu dinamikleri, su akışları, dalga süreçleri ve deniz ekolojisi gibi) içermektedir [28].

Beşinci birleştirilmiş model karşılaştırma projesinde (CMIP5) kullanılan ve gösterdiği ortalama sıcaklık değerleriyle ülkemiz ortalama sıcaklık değerlerini en iyi temsil eden modellerden biri GFDL-ESM2M'dir [24]. Ayrıca çalışmada kullanılan CCT yazılımının içerdiği beş veri setinden biridir. Bu iki avantaj göz önünde bulundurulurken, çalışmada GFDL-ESM2M modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

CCT yazılımının ölçek küçültme modülü ölçek küçültme için yerel ölçüm verilerine ihtiyaç duyar. Yerel ölçüm verilerinin bulunmadığı veya yeterli görülmediği durumlarda ise içeriğinde bulunan CRU veri setini ölçüm verisi yerine kullanmaktadır (Şekil 1). Modül, basit ve en yaygın kullanılan istatistiksel ölçek küçültme yöntemini olan istatistiksel önyargı düzeltme yöntemini kullanmaktadır [29]. Yöntemde ölçüm verisi tanımlanan istasyona en yakın küresel iklim modeli gridine ön yargı düzeltme uygulanarak veri bu istasyona aktarılmaktadır. Farklı klimatolojik çalışmalarda, bu yöntemin tatmin edici olduğu rapor edilmiştir [30-32].



Şekil 1. CCT proses akım şeması [29].

Yazılım sıcaklık verilerine aylık periyotlar için Denklem 1'e göre düzeltme faktörü uygulamaktadır [29].

$$T_{düzelttilmiş_{ij}} = T_{GCM_{ij}} + (\bar{T}_{Referans_{jk}} - \bar{T}_{GCM_{jk}}) \quad (1)$$

Denklem 1'de T sıcaklığı, \bar{T} uzun dönem ortalama sıcaklığı ve i,j,k sırasıyla gün, ay ve yılı sembolize etmektedir.

Yazılım yağış verileri için ise Denklem 2'deki çarpımsal düzeltme faktörünü kullanmaktadır [29].

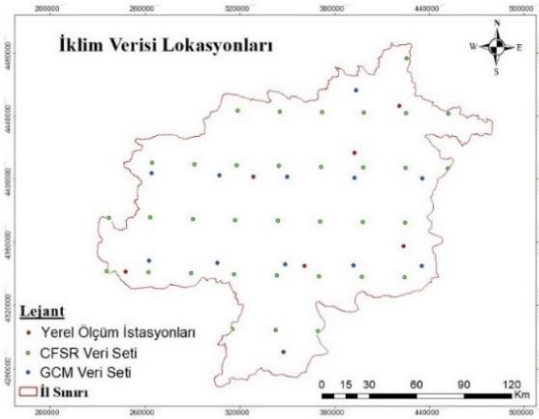
$$P_{düzelttilmiş_{ij}} = P_{GCM_{ij}} * \frac{\bar{P}_{Referans_{jk}}}{\bar{P}_{GCM_{jk}}} \quad (2)$$

Denklem 2'de P yağışı, \bar{P} uzun dönem ortalama yağışı ve i,j,k sırasıyla gün, ay ve yılı sembolize etmektedir.

Sivas ilinde yeterli süredir (>20 yıl) ölçüm yapan 6 ölçüm istasyonu tespit edilmiş olmasına rağmen sayı olarak yeterli görülmemiştir. CCT yazılımı ölçek küçültme uygularken alternatif olarak kullandığı CRU veri seti ise 0.5° ölçeğindedir [29]. Daha önce, İstanbul ve çevresinin hidrolojik modellenmesi için yapılmış bir çalışmada, CCT yazılımı ile ölçek küçültme yapılmış ve Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) veri setinin CRU veri setine ve yerel ölçüm verilerine göre daha iyi sonuç verdiği rapor edilmiştir [33]. Çalışma alanında bulunan yerel ölçüm verilerinin yetersizliği ve CRU veri setinin ölçeğinin büyük olması nedeniyle istatistiksel ölçek küçültme çalışmalarında sıklıkla ve başarıyla kullanılan 0.25° ölçeğine sahip CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) veri setinin kullanılmasına karar verilmiştir [3, 9, 18, 34-36].

CFSR veri seti, NCEP (The National Centers for Environmental Prediction) tarafından geliştirilmiş üçüncü nesil bir yeniden analiz ürünüdür. Küresel, yüksek çözünürlüklü ve birleştirilmiş bir atmosfer-okyanus-kara yüzeyi-deniz buzu sistemi olarak tasarlanmış ve yürütülmüştür. Küresel kara yüzeyi modeli 4 toprak seviyesine ve küresel deniz buzu modeli 3 seviyeye sahiptir. CFSR atmosferik modeli, karbondioksit (CO₂) gözlemlenen değişikliklerle birlikte aerosollerdeki, diğer eser gazlardaki ve güneş enerjisindeki değişimleri de içermektedir [37]. Veri setinden, 1979-2014 zaman periyodunda, 0.25° grid çözünürlüğünde ve günlük zaman ölçeğinde maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, yağış, rüzgâr, nem ve radyasyon parametrelerine ait veriler temin edilebilmektedir [38].

0.5° ölçeğe sahip GFDL-ESM2M modeli veri seti 0.25° ölçeğine küçültülmüş ve il sınırları içerisinde 12 noktadan temin edilen veriler 34 noktaya çıkarılmıştır. Çalışmada kullanılan veri setlerinin grid yapıları Şekil 2'de verilmiştir. Daha sonra veri seti, referans dönem (1950-2000), yakın dönem (2022-2050), orta dönem (2050-2075) ve uzak dönem (2075-2100) olarak sınıflandırılmıştır. Her dönem ve veri bulunan her lokasyon için yıllık ortalama yağış, maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık değerleri hesaplanmış ve gelecek dönemlerde gerçekleşeceği tahmin edilen yüzde değişimler hesaplanmıştır. Coğrafi bilgi sistemi yazılımı ile ters mesafe ağırlıklı (IDW) tekniğini kullanarak interpolasyon uygulanmış ve verilerin mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuştur.

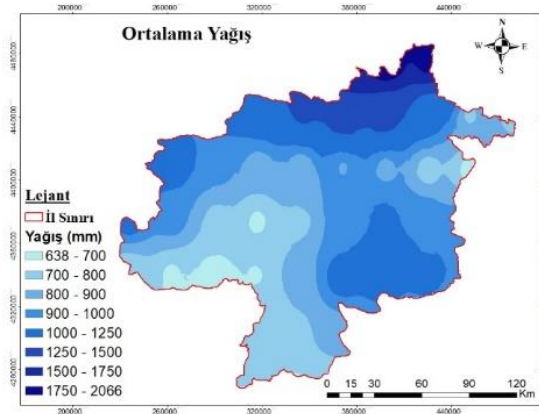


Şekil 2. Çalışma alanında iklim verisi temin edilen lokasyonlar [29, 38, 39].

3 Bulgular

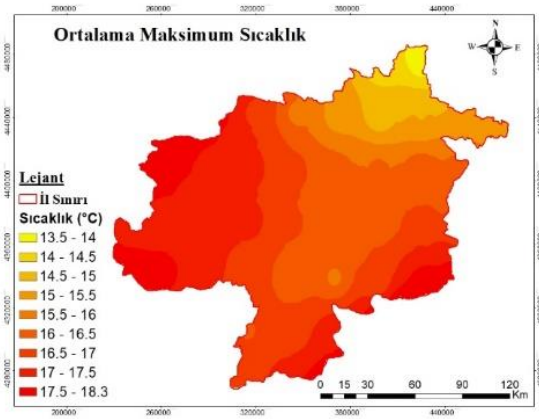
3.1 Referans dönem

Referans dönem için hazırlanmış ortalama yağış verilerinin mekânsal dağılım haritası incelendiğinde ilin sadece kuzey bölümünde küçük bir kısmın yıllık ortalama 1500 mm'den fazla yağış aldığı görülmektedir (Şekil 3). İlin geneli ise yıllık ortalama 1000 mm'den daha az yağış almıştır. Yağış parametresinin mekânsal dağılımı incelendiğinde ilinde kuzeyde güneye doğru inildikçe yağışta ciddi azalmalar olduğu görülmektedir. Özellikle güney sınırlarına yaklaştığında yağış miktarının ortalama 700 mm'ye kadar düştüğü ve kuzey uçların aldığı yağış miktarının yarısından daha az yağış aldığı dikkat çekmektedir.



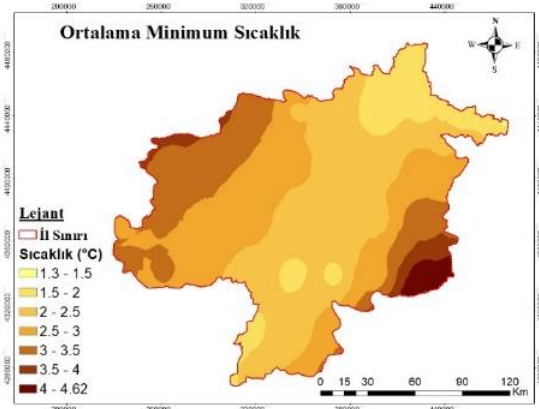
Şekil 3. Referans dönem mekânsal ortalama yağış dağılım haritası

Ortalama maksimum sıcaklık verilerinin mekânsal dağılım haritası incelendiğinde ise ilin en çok yağış alan kuzey uçlarında 13,5 – 15,5°C sıcaklıklar olduğu görülmektedir (Şekil 4). İlin orta bölümlerinden güneye doğu ve batı bölümlerine gidildikçe ortalama maksimum sıcaklıkların arttığı dikkat çekmektedir. İlin önemli bir kısmında sıcaklıklar 16 °C'yi geçmezken özellikle batı bölümünde büyük bir bölgede ortalama maksimum sıcaklıklar 17 – 18,3 °C aralığında görülmektedir.



Şekil 4. Referans dönem mekânsal ortalama maksimum sıcaklık dağılım haritası

Referans dönemde ortalama minimum sıcaklık parametresinin mekânsal dağılım haritası incelendiğinde ortalama maksimum sıcaklık parametresinin dağılımına benzer bir desen olduğu görülmektedir (Şekil 5). İlin kuzey ucundan güney ucuna bir koridor şeklinde oldukça büyük bir alanda 1,3 – 2 °C ortalama minimum sıcaklıklar görülmekte doğu ve batıya ilerledikçe ortalama minimum sıcaklığın 4 °C'ye kadar çıktığı ve doğu ve batı uçlarda göz ardı edilebilir küçük bir alanda ise 4 – 4,6 °C sıcaklık olduğu görülmektedir.

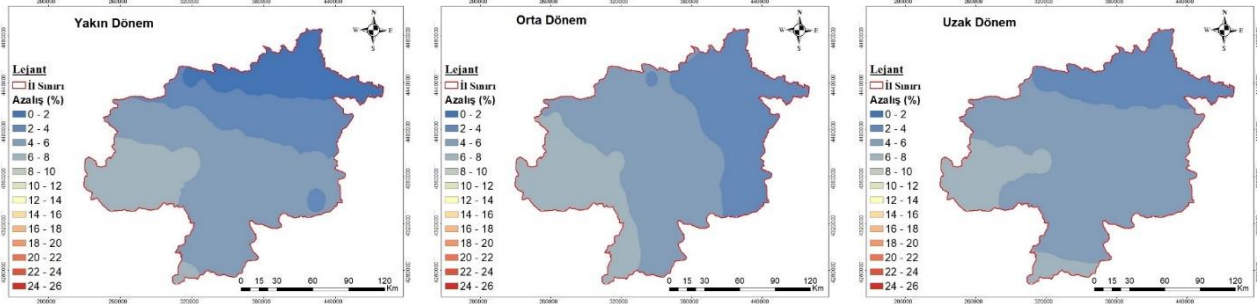


Şekil 5. Referans dönem mekânsal ortalama minimum sıcaklık dağılım haritası

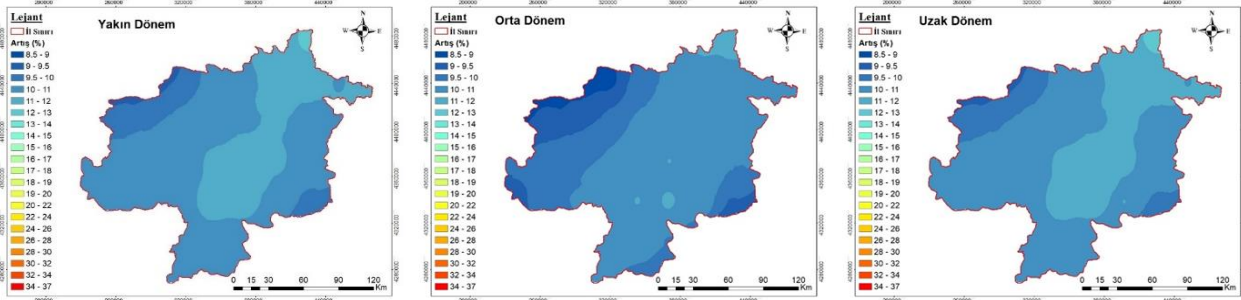
3.2 RCP 2.6 senaryosuna göre iklim parametrelerinde oluşacak değişimler

IPCC'nin yayınladığı en iyimser senaryo olan RCP 2.6'da 2100 yılına kadar ısınmsal zorlama seviyesinin 3,0 W/m²'ye ulaşmadan artışın durması ve 2,6 W/m²'ye kadar düşmesi beklenmektedir [8].

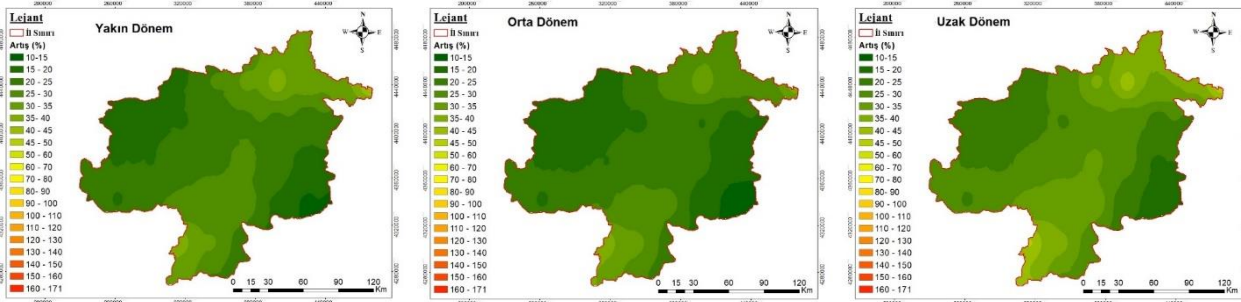
Şekil 6'da bu senaryo ile yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş yağış azalış oranlarının mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Referans döneme göre yakın dönemde ilin en çok yağış alan kuzey bölgelerinde % 0 – 2 oranında bir yağış azalması beklenirken güneye inildikçe bu oran kademe kademe artarak % 6 – 8 düzeyine çıkmaktadır.



Şekil 6. RCP 2.6 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama yağış azalma oranları haritası.



Şekil 7. RCP 2.6 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama maksimum sıcaklık artış oranları haritası.



Şekil 8. RCP 2.6 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama minimum sıcaklık artış oranları haritası.

Orta dönemde yıllık ortalama yağış değişimleri incelendiğinde il genelinde azalma oranlarının arttığı ve % 2'nin altında bir azalma beklenmediği görülmektedir. Uzak dönemde ise % 2 – 4 ve % 6 – 8 oranlarında azalma beklenen alanların azaldığı ve % 4 – 6 oranında azalma beklenen alanların önemli bir ölçüde arttığı görülmektedir. RCP 2.6 senaryosuna göre genel olarak Sivas ilinde iklim değişikliğinin az yağış alan bölgeleri daha çok etkileyeceği söylenebilir.

Şekil 7'de RCP 2.6 senaryosu ile yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş maksimum sıcaklık artış oranlarının mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Haritalara göre yakın dönemde ilde % 10 – 11 ve % 11 – 12 artışların beklendiği bölgelerin, ilin çok büyük bir bölümünü kapladığı görülmektedir. Orta bölümünde ise kuzeyden güneye uzanan bir alanda % 11 – 12 artış beklendiği ve bu bölgeden doğu ve batıya ilerlendikçe oranın azaldığı görülmektedir. Referans dönemle kıyaslandığında maksimum sıcaklıkların yüksek olduğu bölgelerde düşük bölgelere kıyasla daha düşük oranda artış olacağı öngörülmektedir. Orta dönem haritası incelendiğinde, yakın

dönemde % 11 – 12 yükselme beklenen bölgelerde oranların % 10 – 11'e düştüğü ve ilin batı bölümlerine gidildikçe bu oranların % 8,5 – 9'lara düştüğü görülmektedir. Uzak dönemde ise orta dönemde görülen tüm olumlu ve olumsuz değişikliklerin eski haline döndüğü ve yakın dönemle neredeyse birebir aynı desende bir harita elde edildiği görülmektedir.

Şekil 8'de RCP 2.6 senaryosu için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş minimum sıcaklık artış oranlarının mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Yakın dönemde ilin orta bölümünden kuzey ve güneye gidildikçe % 20 – 25 artış oranlarından % 35 – 40 seviyelerine çıkan bir değişim deseni görülmektedir. İlin doğu ve batı bölümlerinde ise bu oran % 10 – 15 ve % 15 – 20 seviyelerine düşmektedir. Orta dönem haritası incelendiğinde ise yağıştaki durumun aksine yakın döneme kıyasla iklim değişikliğinin etkilerinin azaldığı görülmektedir. İlin genelinde bir iyileşme görülse de orta bölgede büyük bir alanda oranların düşmesi daha fazla dikkat çekmektedir. Uzak dönemde ise RCP 2.6 senaryosunun genel tanımının aksine yakın ve orta döneme

kıyasla daha fazla artış olacağı öngörülmektedir. Bu dönemde ilin orta bölümlerinde % 25 – 30 olarak öngörülen artış, kuzey ve güneye gidildikçe % 35 – 40'lara çıkmakta, batı ve doğuya gidildikçe % 15 – 20 seviyesine düşmektedir. Referans dönem haritasıyla birlikte inceleme yapıldığında ilin daha sıcak bölgelerinde artışın soğuk bölgelere kıyasla daha az olacağı söylenebilir.

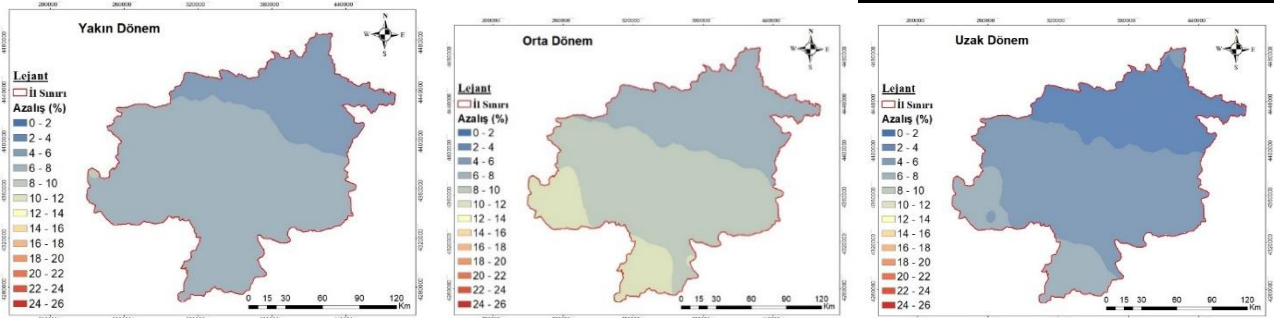
3.3 RCP 4.5 senaryosuna göre iklim parametrelerinde oluşacak değişimler

Bir dengede tutma senaryosu olan RCP 4.5'e göre 2100-2150 yılları arasında ışımsal zorlama seviyesi $4,5 \text{ w/m}^2$ 'ye ulaşacak ve bu değerle dengede tutulacaktır. Bu senaryonun hedefleri RCP 2.6'ya göre daha ulaşılabilir olduğu için gerçekleşmesi daha muhtemeldir ve literatürde üzerine en çok çalışma yapılan senaryodur [8].

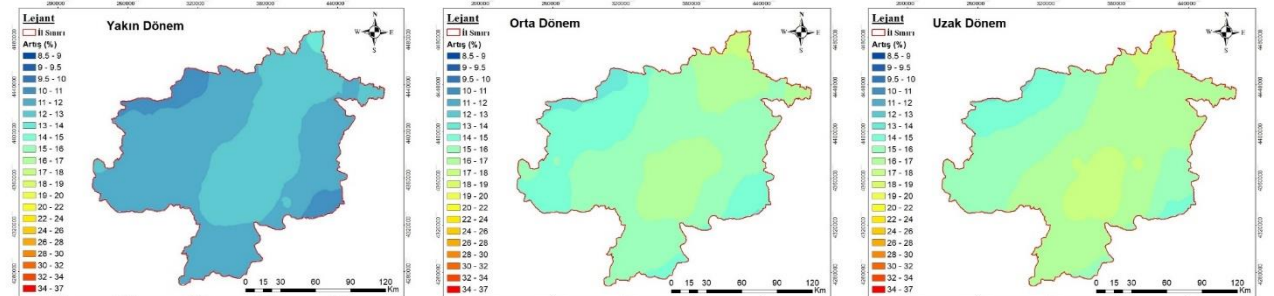
Şekil 9'da bu senaryo ile yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş yüzde yağış azalış verilerinin mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. RCP 4.5'e göre, yakın dönemde ilin kuzey bölgesinde % 4 – 6 yağış azalması beklenirken geriye kalan daha büyük kısmında ise % 6 – 8 azalma beklenmektedir. Orta dönemde ise tahminler bir kademe daha kötüleşmekte ve kuzey bölümde % 6 – 8 oranlarında azalma beklenmektedir. İlin güneyinde ve batısında küçük birer alanda % 10 – 12 ve geriye kalan büyük bir alanda ise % 8 – 10 azalma beklenmektedir. Uzak dönemde ise yağış azalma oranları yakın döneme göre dahi iyi bir hal alacaktır. Uzak dönemde ilin kuzeyinde % 2 – 4

oranında, güneyinde ve batısında ise küçük birer alanda % 6 – 8 oranında ve geriye kalan büyük bir alanda da % 5 – 6 oranında azalma beklenmektedir.

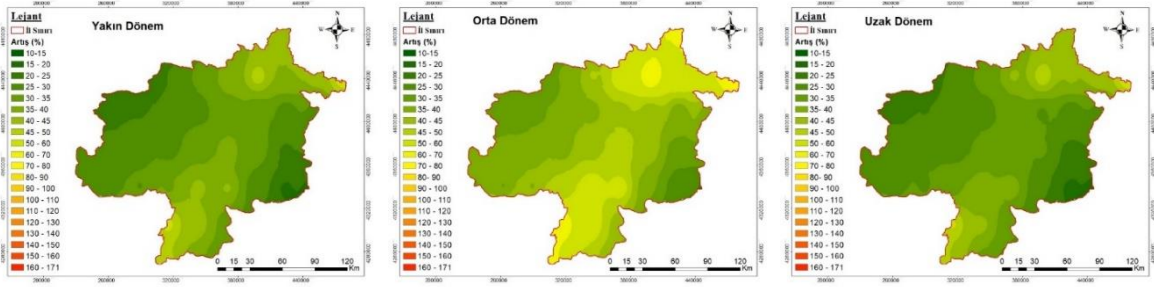
Şekil 10'da RCP 4.5 senaryosu ile yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş maksimum sıcaklık artış verilerinin mekânsal dağılım haritaları sunulmuştur. Yakın dönemde ilin orta bölümünde kuzeyden güneye uzanan bir alanda % 12 – 13 maksimum sıcaklık artışı beklenmektedir. İlin geri kalan bölümünde çoğunlukla % 11 – 12 artış beklenirken çok küçük bir alanda ise % 10 – 11 oranında artış beklenmektedir. Orta dönemde ilin orta ve kuzey bölgelerinde iki alanda % 16 – 17, doğu ve batı bölümünde % 14 – 15 ve geri kalan alanların büyük bir bölümünde de % 15 – 16 oranlarında artış olması beklenmektedir. Oldukça küçük bir alanda ise % 13 – 14 ve % 17 – 18 oranlarında artış olacağı öngörülmektedir. Model sonuçlarına göre uzak dönemde orta dönem için oluşturulan harita ile benzer bölgelerde 1 kademe daha fazla artış oranları beklenmekte olup ilin genelinde maksimum sıcaklık ortalamalarının % 14 – 18 oranlarında artacağı öngörülmektedir. RCP 4.5 senaryosunda, yağış parametresinin aksine maksimum sıcaklıklarda, yakın dönemden uzak döneme sürekli olumsuz yönde ilerleyen bir tablo karşımıza çıkmaktadır.



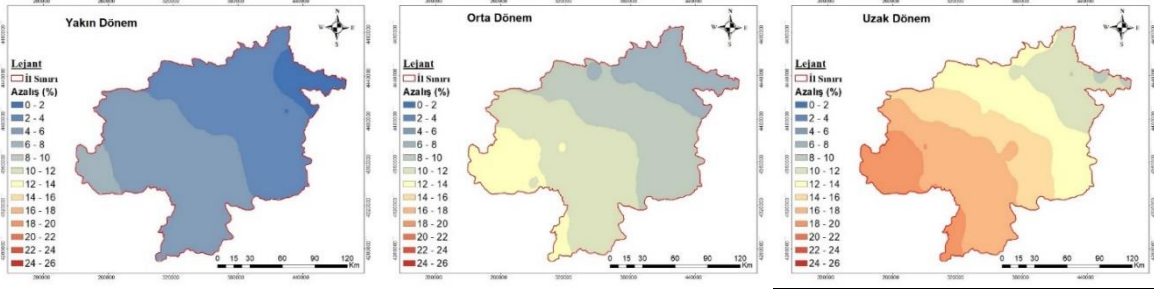
Şekil 9. RCP 4.5 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama yağış azalma oranları haritası.



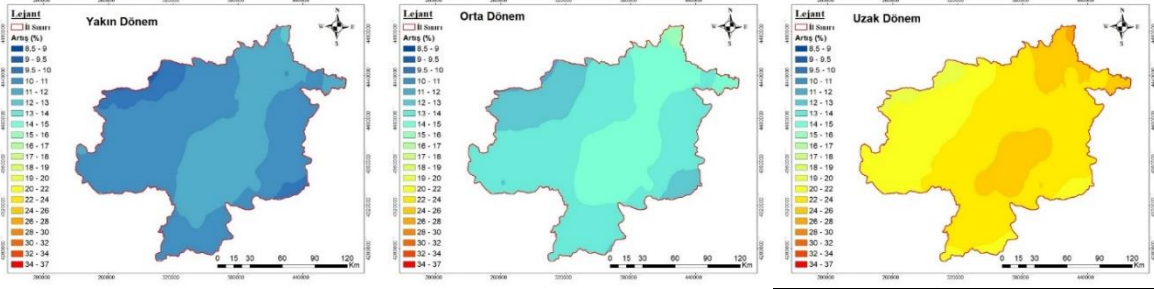
Şekil 10. RCP 4.5 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama maksimum sıcaklık artış oranları haritası.



Şekil 11. RCP 4.5 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama minimum sıcaklık artış oranları haritası.



Şekil 12. RCP 6.0 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama yağış azalma oranları haritası.



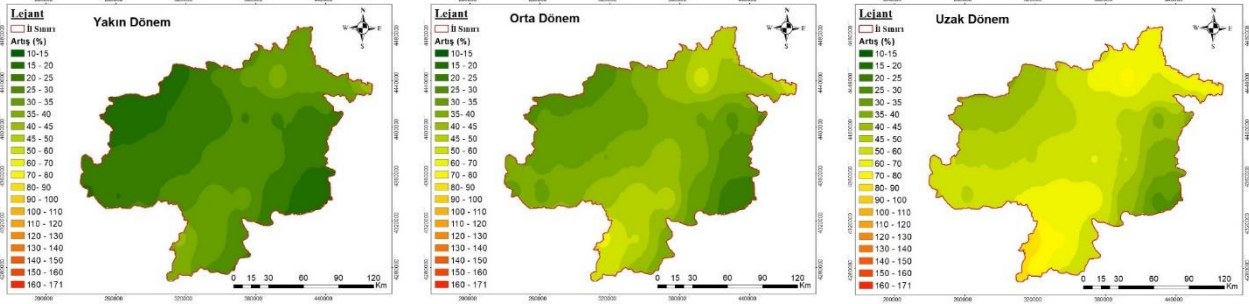
Şekil 13. RCP 6.0 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama maksimum sıcaklık artış oranları haritası.

Şekil 11’de RCP 4.5 senaryosu ile yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş yüzde minimum sıcaklık artış verilerinin mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Yakın dönemde çalışılan alanın orta bölgelerinde % 30 – 35 olan artış oranları kuzey ve güneye gidildikçe % 45 – 50 seviyelerine çıkmaktadır. İlin doğu ve batı bölümlerinde ise bu oranlar % 20 – 25 civarına düşmektedir. Orta dönem haritası incelendiğinde ise orta bölgelerde % 40 – 45 artışlar beklendiği, kuzey ve güney bölgelerde bu beklentinin % 60 – 65’ e kadar çıktığı görülmektedir. Doğu ve batı bölgelerine doğru bu beklentinin kademe kademe % 25 – 30’ a kadar düştüğü görülmektedir. Uzak dönemde ise orta döneme kıyasla daha olumlu bir tablo karşımıza çıkmaktadır. Uzak dönem için yakın dönem haritasının desen ve oranlarına oldukça benzer bir dağılım elde edilmiştir. Bu haritaya göre yakın dönemden farklı olarak alanın orta bölgelerinde % 30 – 35 artış beklenen alanların daha fazla olduğu görülmektedir.

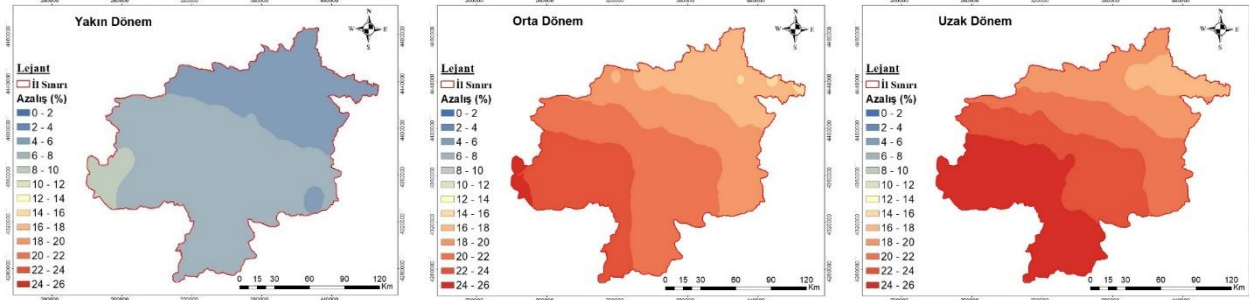
3.4 RCP 6.0 senaryosuna göre iklim parametrelerinde oluşacak değişimler

RCP 6.0 senaryosu, iklim değişikliği sorununa zamanında çözüm bulunulmadığı ancak geç de olsa sorunun kontrol altına alındığı bir senaryodur. Senaryoda ışınimsal zorlamanın 2100 yılına kadar sürekli artacağı ve 2100’den sonra yaklaşık $6w/m^2$ civarında sabitleneceği varsayılmaktadır [8].

Şekil 12’de bu senaryo ile yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş yüzde yağış azalış verilerinin mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Yakın dönemde ilde 2 farklı oranda yağış azalma beklentisi hâkimdir. Bunlardan doğu kısımda kalan alanda % 2 – 4 batı kısımda kalan ise % 4 – 6 azalma beklenmektedir. Bu alanlar haricinde ilin doğu ucunda % 0 – 2 batı ucunda ise % 6 – 8 azalma beklenen iki küçük alan bulunmaktadır. Orta dönemde ise kuzey doğudan güney batıya doğru artan oranlarda yağış azalması beklendiği görülmektedir. Kuzey doğu bölgesinde % 6 – 8 olan azalma oranları kademe kademe % 12 – 14’e kadar çıkmaktadır. Uzak dönem için oluşturulan haritada ise orta döneme göre iklim değişikliği etkilerinin önemli derecede artacağı görülmektedir. Uzak dönemde ilin kuzey doğu bölgesinde % 10 – 12 yağış azalması beklenirken güney doğuya inildikçe bu oran % 18 – 20’ye ulaşmaktadır.



Şekil 14. RCP 6.0 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama minimum sıcaklık artış oranları haritası.



Şekil 15. RCP 8.5 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama yağış azalma oranları haritası.

Şekil 13'te RCP 6.0 senaryosu ile yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş maksimum sıcaklık artış oranlarının mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Yakın dönem haritası, RCP 4.5 senaryosu için oluşturulan haritayla benzer desenlere sahiptir ancak daha düşük artış oranları görülmektedir. İlin orta bölümünde kuzeyden güneye uzanan bir alanda % 11 – 12 maksimum sıcaklık artışı beklenmektedir. İlin geri kalanında genel olarak % 10 – 11 oranında artma beklenirken, doğu ve batı bölümünde küçük birer alanda % 9.5 – 10 artma beklenmektedir. Orta dönemde de benzer desenlerde daha yüksek oranlara sahip bir mekânsal dağılım haritası elde edilmiştir. İlin orta bölümündeki alanda % 14 – 15 ve geri kalan büyük alanda % 13 – 14 oranında artma beklenmektedir. Orta dönem haritasında doğu ve batı bölgelerinde bulunan alanlarda % 12 – 13 artış beklenmekte ve yakın döneme göre kapladıkları etki alanının büyüdüğü görülmektedir. Uzak dönemde ise iklim değişikliği etkilerinin katlanarak arttığı görülmektedir. Bu dönemde ilin orta ve kuzey bölgesinde iki alanda % 24 – 26, batı bölgesinde büyük bir alanda % 20 – 22 ve geri kalan büyük alanda % 22 – 24 oranlarında artış beklenmektedir.

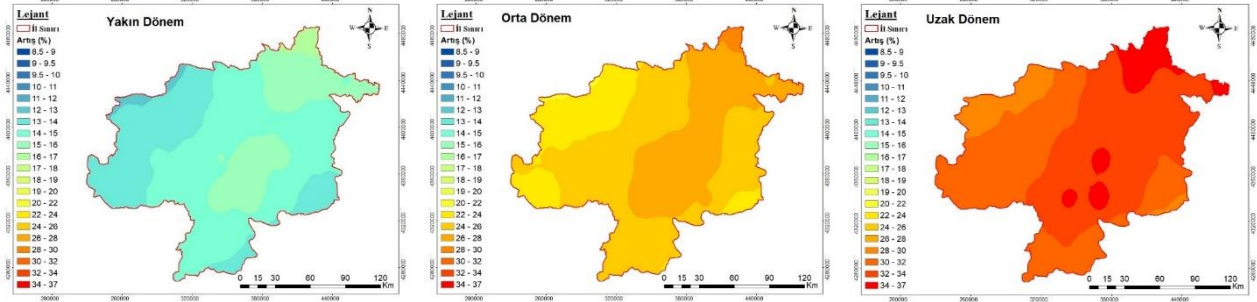
Şekil 14'de RCP 6.0 senaryosu ile yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş minimum sıcaklık artış oranlarının mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Yakın dönemde ilin orta bölgesinde bulunan alanda % 25 – 30 oranında artış beklenmektedir. Bu bölgeden doğu ve batıya ilerlendikçe bu oranlar % 15 – 20'ye kadar düşmekte, kuzey ve güney uçlara ilerlendikçe % 35 – 40'a çıkmaktadır. Orta dönemde bu oranlar yükselerek orta bölgede % 35 – 40'a, doğu ve batı bölgelerde % 25 – 30'a, kuzey ve güney uçlarda % 50 – 55'e çıkmıştır. Uzak dönem haritası incelendiğinde ise iklim değişikliğinin minimum sıcaklık parametresi üzerindeki etkisini oldukça artıracaktır.

görülmektedir. Bu dönemde orta bölgede % 50 – 55 oranında artış beklenirken bu oran kuzey bölgelerde % 70 – 75'e güney bölgede % 80 – 85'e çıkmakta, batı bölgesinde % 40 – 45 doğu bölgesinde ise % 25 – 30'a kadar düşmektedir.

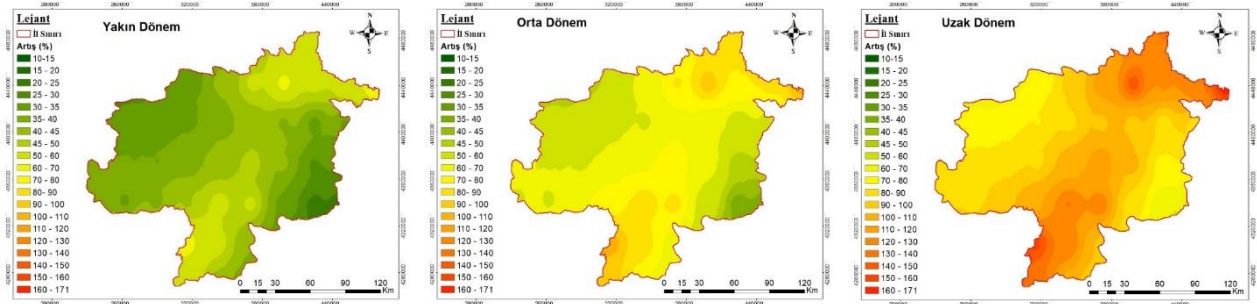
3.5 RCP 8.5 senaryosuna göre iklim parametrelerinde oluşacak değişimler

RCP 8.5 senaryosu, IPCC tarafından sunulmuş en olumsuz senaryodur. İklim değişikliğinin olası etkileri göz önünde bulundurulursa bir felaket senaryosu olarak da değerlendirilebilir. Senaryoda ısınmsal zorlamanın 2100 yılına kadar sürekli artacağı ve 2200'den sonra yaklaşık 8.5w/m² civarında sabitleneceği varsayılmaktadır [8].

Şekil 15'te bu senaryo için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönemlerde beklenen yıllık ortalama yağış miktarlarındaki azalma oranlarının mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Yakın dönemde ilin kuzey bölgesinde % 4 – 6 güneyinde ise % 6 – 8 oranında azalma beklenen iki büyük alan bulunmaktadır. Bunun haricinde doğu bölgesinde % 4 – 6 batı bölgesinde ise % 8 – 10 azalma beklenen iki küçük alan bulunmaktadır. Bu senaryoda yakın dönem haritası, gerek oran gerekse desen bakımından RCP 4.5 senaryosunun haritasıyla oldukça benzerlik göstermektedir. Orta dönem haritası incelendiğinde ise iklim değişikliği etkilerinin katlanarak artacağı görülmektedir. Kuzey doğu bölgesinde % 16 – 18 seviyesine çıkan oranlar güney batıya ilerlendikçe % 24 – 26 seviyelerine çıkmaktadır. Uzak dönemde ise ilin alması beklenen yağış miktarları daha da düşmektedir. Bu dönemde ilin alacağı yağış skalası orta döneme göre değişmeyecek ancak yüksek azalma oranlarının olduğu alanlar genişleyerek ili daha fazla etkisi altına alacaktır. İlde en fazla alanda etkili olan skalanın % 24 – 26 olacağı görülmektedir.



Şekil 16. RCP 8.5 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama maksimum sıcaklık artış oranları haritası.



Şekil 17. RCP 8.5 için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem ortalama minimum sıcaklık artış oranları haritası.

Şekil 16'da RCP 6.0 senaryosu ile yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş maksimum sıcaklık artış oranlarının mekânsal dağılım haritaları sunulmuştur. Yakın dönemde ilde %12'den %17'ye uzanan bir skalada maksimum sıcaklık değerlerinin artması beklenmektedir. Yüksek oranlarda değişimler daha çok ilin kuzey ve orta bölgelerinde beklenirken güneydoğu ve kuzeybatı bölgelerine doğru bu oranların düştüğü görülmektedir. Senaryoda beklenen ışınımsal zorlama seviyesinin artmasıyla birlikte orta dönemde iklim değişikliği etkilerinin de artması beklenmektedir. Orta dönemde %23'ten %30'a kadar artan bir oranda maksimum sıcaklık artışları beklenmektedir. Orta dönemde sıcaklık oranlarının artacağı ancak harita deseninde önemli bir değişim olmayacağı görülmektedir. Uzak dönemde ise orta döneme göre daha yüksek değişim oranlarına sahip ancak benzer desende değişim haritası elde edilmiştir. Bu dönemde %28'den %37'ye kadar çıkan bir aralıkta sıcaklık artışları beklenmektedir.

Şekil 17'de RCP 8.5 senaryosu için yakın dönem, orta dönem ve uzak dönem için oluşturulmuş minimum sıcaklık artış oranlarının mekânsal dağılım haritaları verilmiştir. Bu senaryo için oluşturulmuş minimum sıcaklık değişim haritalarının desenleri, diğer senaryolar için oluşturulan haritalarla benzerlik göstermektedir. Bütün dönemlerde ilin orta bölgesinden doğu ve batıya gidildikçe değişim oranları düşmekte, kuzey ve güney uçlara gidildikçe değişim oranları artmaktadır. Yakın dönemde %20'den %70'e kadar değişen oranda minimum sıcaklık değerlerinin artması beklenmektedir. Orta dönemde bu skala %35'ten başlayıp %110'a çıkmaktadır. Uzak dönemde ise beklenen en düşük

değişim oranı %65'e, en yüksek değişim oranı ise %171'e kadar çıkmıştır.

4 Sonuç ve tartışma

Bu çalışmada bir küresel model veri setine istatistiksel ölçek küçültme uygulanarak Sivas ili için RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 ve RCP 8.5 senaryolarına göre iklim değişikliği projeksiyonları elde edilmiştir. Elde edilen veriler referans dönem, yakın dönem ve uzak dönem olarak sınıflandırılarak her dönem için ortalama yıllık yağış, ortalama maksimum sıcaklık ve ortalama minimum sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere coğrafi bilgi sistemi yazılımı aracılığıyla interpolasyon uygulanarak mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuş ve değerlendirme bu haritalar üzerinden yapılmıştır.

Çalışmada elde edilen bulgulara göre; değerlendirme yapılan tüm senaryolarda ilin alacağı ortalama yıllık yağışın düşeceği görülmüştür. Referans dönemde yıllık ortalama 638 – 2066 mm aralığında yağış dağılımı olan ilde, RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 ve RCP 8.5 senaryolarının gerçekleşmesi durumunda sırasıyla %0 – 8, %4 – 12, %0 – 20 ve %4 – 26 oranlarında yağış azalması yaşanacağı öngörülmüştür. Yağış azalma oranlarının mekânsal dağılımlarına bakıldığında genel olarak, referans dönemde az yağış alan bölgelerde yüksek oranda, çok yağış alan bölgelerde ise düşük oranda azalma olacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla Sivas'ta iklim değişikliği etkilerinin az yağış alan bölgelerde daha şiddetli görüleceği söylenebilir.

İklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi çalışmalarında en önemli parametrelerden biri maksimum sıcaklık parametresidir. Sivas'ta referans dönemde 13,5-18,3°C aralığında ortalama maksimum sıcaklık dağılımı

olduğu görülmüştür. İlin en fazla yağış alan kuzey bölgesi aynı zamanda en düşük maksimum sıcaklıkların görüldüğü bölgedir. Projeksiyon oluşturulan tüm senaryolarda maksimum sıcaklıklarda artış olacağı görülmüştür. RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 ve RCP 8.5 senaryolarında sırasıyla %8,5 – 12, %10 – 18, %9,5 – 24 ve %12 – 37 oranlarında artışlar yaşanacağı öngörülmüştür. Sivas'ta, referans dönemde düşük maksimum sıcaklıkların görüldüğü alanlarda yüksek oranlarda değişim olacağı, yüksek sıcaklıkların görüldüğü bölgelerde ise düşük oranlarda değişim yaşanacağı yargısına varılmıştır.

Çalışma kapsamında değerlendirme yapılmış olan son parametre ortalama minimum sıcaklık parametresidir. Referans dönem için oluşturulmuş mekânsal dağılım haritasında 1,3 – 4,6 °C aralığında ortalama minimum sıcaklık dağılımı olmuştur. Maksimum sıcaklıklarda olduğu gibi minimum sıcaklıklarda da tüm senaryolarda artış olacağı hesaplanmıştır. RCP 2.6 senaryosunda %10 – 40, RCP 4.5 senaryosunda %20 – 65, RCP 6.0 senaryosunda %15 – 85 ve RCP 8.5 senaryosunda %20 – 171 oranlarında artışlar olacağı öngörüsü oluşturulmuştur. Maksimum sıcaklık parametresi için bahsedilen “Sivas'ta referans dönemde düşük maksimum sıcaklıkların görüldüğü alanlarda yüksek oranlarda değişim olacağı, yüksek sıcaklıkların görüldüğü bölgelerde ise düşük oranlarda değişim yaşanacağı” yargısı minimum sıcaklık parametresi için de geçerlidir.

Sıcaklıkların yükselmesi ve yağışların azalmasıyla hem toprağın niteliği değişebilmekte hem de yüzey sularında kayıplar yaşanmaktadır. Dolayısıyla iklim değişikliğinin etkileri gıda üretiminde miktar ve kalite düşmesi olarak kendini göstermektedir [40]. Bu durum Sivas'ta kırsal kalkınma için de önemli bir sorun oluşturmaktadır. Yeraltı suları bu durum karşısında güvence olabilecek stratejik nitelikte su kaynaklarıdır. Ancak çalışma alanında yıllık yağışların azalması bu kaynağı da olumsuz etkilemektedir.

Abiyotik stres kaynağı olan yüksek sıcaklık ve kuraklık, bitkilerin vejetatif ve generatif gelişim aşamalarını etkileyerek verim üzerinde aditif ve sinerjistik bir olumsuzluğa neden olmaktadır [41-43]. Sivas'ta iklim değişikliği senaryolarında yağış azalmalarının yüksek oranda olacağı bölgelerle maksimum sıcaklık artışının yüksek olacağı bölgelerin çakışmıyor olması bu bağlamda olumlu bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sivas ilinde tarımsal faaliyetlerde önemli bir yeri olan buğday yetiştiriciliği, ilin tarım alanlarının yaklaşık %24'nü kaplamaktadır [44]. Buğday bitkisinde optimum sıcaklık değerinin 1°C üzerine çıktığında 16,2 – 57 kg/da verim kaybı yaşanabilmekte, 2 – 5 °C' lik bir artışta ise yıkıcı kayıplar yaşanabilmektedir [43, 45]. RCP senaryolarına göre uzak dönemde 1,6 – 5,5 °C arasında maksimum sıcaklık artışları beklenmektedir. Dolayısıyla Sivas'ta sıcaklık artışları, tarım sektöründe önlem alınması gereken bir sorun oluşturacaktır.

Sonuç olarak iklim değişikliğinin Sivas ilinde biyoçeşitliliğin azalması, ekolojik bozulmalar, tarımsal verim ve kalitenin düşmesi, temiz su kaynaklarına erişimin zorlaşması gibi birçok soruna yol açması muhtemeldir. İklim parametrelerinde tahmin edilen değişikliklerin spesifik türler

üzerinde olası etkilerinin araştırılması ve bu etkilerin azaltılması için önlem alınması önem taşımaktadır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (Turnitin): %9

Kaynaklar

- [1] M.T. Turp, T. Öztürk, M. Türkeş ve M.L. Kurnaz, 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.
- [2] H. Gürkan, H. Arabacı, M. Demircan, O. Eskioğlu, S. Şensoy ve B. Yazıcı, 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. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000174.
- [3] B. Timbal, E. Fernandez and Z. Li, Generalization of a statistical downscaling model to provide local climate change projections for Australia. Environmental Modelling & Software, 24, 341–358, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.07.007>.
- [4] A. Aygün ve S. E. Torlak, Denizli İli'nin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığının incelenmesi. NÖHÜ Müh. Bilim. Derg., 9(1), 648- 664, 2020. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.629809>.
- [5] D. P. Van Vuuren, J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey and J. F. Lamarque, The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change, 109, 5-31, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.
- [6] T. Bolch, A. Kulkarni, A. Kääb, C. Huggel, F. Paul, J. Cogley and M. Scheel, The state and fate of Himalayan glaciers, Science, 336 (6079), 310–314, 2012. <https://doi.org/10.1126/science.1215828>.
- [7] Y. Kızılelma, M. A. Çelik ve M. Karabulut, İç Anadolu Bölgesinde sıcaklık ve yağışların trend analizi. Türk Coğrafya Dergisi, 64, 1-10, 2015. <https://doi.org/10.17211/tcd.90494>.
- [8] IPCC, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, New York, USA, 2013.
- [9] P. Blanco-Gómez, P. Jimeno-Sáez, J. Senent-Aparicio and Julio Pérez-Sánchez, Impact of Climate Change on Water Balance Components and Droughts in the Guajoyo River Basin (El Salvador). Water, 11, 2360, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11112360>.
- [10] G. A. Meehl, C. Covey, T. L. Delworth, M. Latif, B. McAveney, J. F. B. Mitchell and K. E. Taylor, The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research. Bulletin of the American Meteorological Society, 88, 1383–1394, 2007. <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-9-1383>.

- [11] M. L. Bettolli and O. C. Penalba, Synoptic sea level pressure patterns-daily rainfall relationship over the Argentine Pampas in a multi-model simulation. *Meteorological Applications*, 21, 376–383, 2014. <https://doi.org/10.1002/met.1349>.
- [12] R. Maenza, E. A. AgostaScarel and M. L. Bettolli, Climate change and precipitation variability over the western “Pampas” in Argentina. *International Journal of Climatology*, 37, 445–463, 2017. <https://doi.org/10.1002/joc.5014>.
- [13] G. Silvestri and C. Vera, Evaluation of the WCRP-CMIP3 model simulations in the La Plata Basin. *Meteorological Applications*, 15, 497–502, 2008. <https://doi.org/10.1002/met.98>.
- [14] S. Ghosh and P. P. Mujumdar, Statistical downscaling of GCM simulations to streamflow using relevance vector machine. *Advances in Water Resources*, 31, 132–146, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2007.07.005>.
- [15] S. Spak, T. Holloway, B. Lynn and R. Goldberg, A comparison of statistical and dynamical downscaling for surface temperature in North America. *Journal of Geophysical Research*, 112, 1-10, 2007. <https://doi.org/10.1029/2005JD006712>.
- [16] S.D. Tumbo, E. Mpeti, M. Tadross, F.C. Kahimba, B.P. Mbillinyi and H.F. Mahoo, Application of self-organizing maps technique in downscaling GCMs climate change projections for Same, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 608–617, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.023>.
- [17] P. D. Jones, J. M. Murphy and M. Noguer, Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model, I: assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries. *Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society*, 121, 1413–1449, 1995. <https://doi.org/10.1002/qj.49712152610>.
- [18] V. K. Singh and D. Kumar, Downscaling daily precipitation over the Upper Shivnath basin: A comparison of three statistical downscaling techniques. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(1), 1676-1688, 2020. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.901.185>.
- [19] R. G. Crane and B. C. Hewitson, Doubled CO2 precipitation changes for the Susquehanna Basin: down-scaling from the genesis general circulation model. *International Journal of Climatology*, 18, 65-76, 1998. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)10970088\(199801\)18:1<65::AID-JOC222>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)10970088(199801)18:1<65::AID-JOC222>3.0.CO;2-9).
- [20] C. G. Menéndez, M. de Castro, J.-P. Boulanger, A. D’Onofrio, E. Sanchez, A. A. Sörensson, J. Blazquez, A. Elizalde, D. Jacob, H. Le Treut, Z. X. Li, M. N. Núñez, N. Pessacq, S. Pfeiffer, M. Rojas, A. Rolla, P. Samuelsson, S. A. Solman and C. Teichmann, Downscaling extreme month-long anomalies in southern South America. *Climatic Change*, 98, 379–403, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9739-3>.
- [21] H. Tath, New statistical downscaling methods and application for Turkey. Ph.D. Thesis, İstanbul Technical University, Turkey, 2004.
- [22] R. Huth, J. Miksovsky, P. Stepanek, M. Belda, A. Farda, Z. Chladova and P. Pišoft, Comparative validation of statistical and dynamical downscaling models on a dense grid in central Europe: Temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 120, 533–553, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1190-3>.
- [23] R. L. Wilby, S. P. Charles, E. Zorita, B. Timbal, P. Whetton, C. G. Menéndez, M. de Castro, J.-P. Boulanger, A. D’Onofrio, E. Sanchez, A. A. Sörensson, ... and C. Teichmann, Downscaling extreme month-long anomalies in southern South America. *Climatic Change*, 98, 379–403, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9739-3>.
- [24] Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Matbaası Ankara, Türkiye, 2015.
- [25] B. Cırci Selçuk ve M. A. Irmak, A study on the adequacy and requirement of urban active green areas in Sivas. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(02), 2209-2220, 2022.
- [26] B. Çirci Selçuk, Sivas kenti açık ve yeşil alanlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2019.
- [27] Harita Genel Müdürlüğü, Türkiye mülki idare bölümleri haritası. <https://www.harita.gov.tr/urun/turkiye-mulk-idare-bolumleri-haritasi/189>, Erişim 11.03.2022.
- [28] Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Earth System Models. <https://www.gfdl.noaa.gov/earth-system-model/>, Erişim 25.04.2022.
- [29] A. S. Vaghefi, N. Abbaspour, B. Kamali and K. C. Abbaspour, A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions – Case study: California-Baja California Peninsula. *Environmental Modelling and Software*, 96, 181-198, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.033>.
- [30] Z.E. Asong, M.N. Khaliq and H.S. Wheeler, Multisite multivariate modeling of daily precipitation and temperature in the Canadian Prairie Provinces using generalized linear models. *Climate Dynamics*, 47 (9), 2901-2921, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3004-z>.
- [31] A. Dosio and P. Paruolo, Bias correction of the ENSEMBLES high-resolution climate change projections for use by impact models: evaluation on the present climate. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 116 (22), 2011. <https://doi.org/10.1029/2011JD015934>.
- [32] S. Hagemann, C. Chen, J.O. Haerter, J. Heinke, D. Gerten and C. Piani, Impact of a statistical bias correction on the projected hydrological changes obtained from three GCMs and two hydrology models. *Journal of Hydrometeorology*, 12 (4), 556-578, 2011. <https://doi.org/10.1175/2011JHM1336.1>.

- [33] G. Cüceloğlu, İklim değişikliğinin İstanbul'un yüzeysel su kaynaklarına etkisi ve kuraklık dirençli bütünleşik su yönetimi. Doktora Tezi, İTÜ Fenbilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2019.
- [34] G. Z. Ndhlovu and Y. E. Woyessa, Use of gridded climate data for hydrological modelling in the Zambezi River Basin, Southern Africa. *Journal of Hydrology*, 602, 126749, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126749>.
- [35] P. Anuchaivong, D. Sukawat and A. Luadsong, Statistical Downscaling for Rainfall Forecasts Using Modified Constructed Analog Method in Thailand. *The Scientific World Journal*, 2017, 24, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1075868>.
- [36] N. Farahnaz, A. A. Kuntoro and M. S. B. Kusuma, Statistical Downscaling for the Projection of the Keetch Byram Drought Index in the Barito Basin. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 10(2), 873-879, 2020. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.2.10102>.
- [37] SWAT, CFSR Global Weather Data for SWAT 1979-2014, <https://swat.tamu.edu/data/cfsr>, Erişim 25.04.2022.
- [38] S. Saha, S. Moorthi, H.L. Pan, X. Wu, J. Wang, S. Nadiga, P. Tripp, R. Kistler, J. Woollen, D. Behringer, et al., The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(8), 1015-1057, 2010. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>.
- [39] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İstasyon Bilgileri Veritabanı. <https://mgm.gov.tr/kurumsal/istasyonlarimi.z.aspx>, Erişim 11.03.2022.
- [40] E. S. Turan, Türkiye'nin İklim Değişikliğine Bağlı Kuraklık Durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 63-69, 2018. <https://doi.org/10.213247/dacd.357384>.
- [41] B. Grigorova, I. Vaseva, K. Demirevska and U. Feller, Combined drought and heat stress in wheat: Changes in some heat shock proteins. *Biologia plantarum*, 55, 105-111, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0014-x>.
- [42] A.D. Sharma and P. Kaur, Combined effect of drought stress and heat shock on cyclophilin protein expression in *Triticum aestivum*. *General and Applied Plant Physiology*, 35(1-2), 88-92, 2009.
- [43] Ç. Sayılğan, Küresel Sıcaklık Artışının Buğdayda Beklenen Etkileri ve Yüksek Sıcaklığa Toleranslılığın Fizyolojik Göstergeleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3): 439-447, 2016.
- [44] T. Karaköy, Sivas Atlası. K. Ş. Kavak (Ed.), SVS Yayınları, 329-349.
- [45] J.W. White and M.P. Reynolds, A Physiological Perspective on Modeling Temperature Response in Wheat and Maize Crops. *Modeling Temperature Response in Wheat and Maize*, Proceedings of a Workshop, pp. 8-17, El Batán, Mexico, 23-25 April 2001.

