




Received: 15 May 2023 | Revised: 10 October 2023 | Accepted: 17 October 2023


TÜRKİYE'DE MAKSİMUM-MİNİMUM SICAKLIK ORTALAMALARI VE YAĞIŞ TUTARININ GOOGLE EARTH ENGINE İLE 2005-2040 DÖNEMİ MODELLEMESİ

Modeling of Maximum-Minimum Temperature Averages and Precipitation Amount in Turkey for the Period 2005-2040 with Google Earth Engine


Mücahit COŞKUN¹ 
mcoskun@karabuk.edu.tr

Hüseyin ŞAHİNER² 
hsahiner@sinop.edu.tr

Onur CANBULAT³ 
onurcanbulat25@gmail.com

Ahmet ÖZTÜRK^{3*} 
ahmetozturk2371@gmail.com

Enes TAŞOĞLU⁴ 
etasoglu@ohu.edu.tr

Ferhat TOPRAK³ 
tprak27@gmail.com

¹ Karabük Üniv. Edebiyat Fak. Coğrafya Bl. Karabük-Türkiye

² Sinop Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fak. Sinop-Türkiye

³ Karabük Üniv. Lisansüstü Eğitim Enst. Karabük-Türkiye

⁴ Niğde Ömer Halisdemir Üniv. Coğrafya Bl. Niğde-Türkiye

Abstract

Global climate change, which has been increasing its impact in recent years, has become a problem that humanity must take precautions and increase its adaptation efforts. The most prominent indicators of the differences in climatic parameters are heat waves that last longer, forest fires, droughts, heavy rainfall, floods and landslides that increase in frequency with heat waves. Although climate change has different consequences in different parts of the world, the Mediterranean Basin, in which Turkey is located, is one of the areas expected to be most affected by these changes. The aim of this study is to provide future projections on Turkey's temperature and precipitation climate variables and to determine the possible differentiations. Models developed by scientific organizations and emission scenarios applied are important methods for predicting possible future changes. In the study, multiple model averages of the models and scenarios included in the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) project were used. The emission scenarios included in the analysis are RCP4.5 and RCP8.5. The analyses of the study were carried out with Google Earth Engine cloud operating system and mapped with ArcGIS 10.4 program. As a result of the analysis, Turkey will face warmer days in the period 2005-2040 compared to today's averages. The upward trend in maximum temperature averages is stronger. The climatic conditions observed on the Mediterranean coasts will expand their sphere of influence towards the Aegean and Marmara regions in the coming years. Eastern Anatolia will experience stronger increases in minimum temperature averages. Precipitation will decrease in the Mediterranean-Aegean coasts and inland regions, and partially increase in the Eastern Black Sea coasts. In general, there is no positive or negative trend when the average precipitation of the whole area of Turkey is taken into consideration.

Keywords: CMIP5, climate modeling, Google Earth Engine, climate change.

Öz

Son yıllarda etkisini giderek artıran küresel iklim değişikliği, artık insanlığın önlem alması ve uyum çabalarını artırması gereken bir problem haline gelmiştir. Daha uzun süre maruz kalınan sıcak hava dalgaları, sıcak hava dalgaları ile birlikte sıklığı giderek artan orman yangınları, kuraklık, şiddetli yağışlar, sel ve heyelan olayları iklimsel parametrelerdeki farklılaşmaların en belirgin göstergeleridir. İklim değişikliğinin Dünya'nın farklı alanlarında farklı sonuçları ortaya çıksa da, Türkiye'nin içinde bulunduğu Akdeniz Havzası bu değişikliklerden en fazla etkilenmesi beklenen sahalarındandır. Türkiye'nin sıcaklık ve yağış iklim değişkenleri üzerine gelecek öngörüsü sunmak ve olası farklılaşmaları belirlemek çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bilimsel kuruluşlar tarafından geliştirilen modeller ve uygulanan emisyon senaryoları, gelecekte yaşanabilecek olası değişikliklerin tahmini için önemli metotlardır. Araştırmada Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) projesi kapsamında yer alan modellere ve senaryolara ait çoklu model ortalaması kullanılmıştır. Analizlere dahil edilen emisyon senaryoları RCP4.5 ve RCP8.5'tir. Çalışmaya ait analizler Google Earth Engine bulut işletim sistemi ile gerçekleştirilmiş ve ArcGIS 10.4 programı ile haritalanmıştır. Yapılan analizler sonucunda 2005-2040 döneminde Türkiye, bugünkü ortalamalara göre daha sıcak günler ile karşı karşıya kalacaktır. Maksimum sıcaklık ortalamalarındaki artış trendi daha kuvvetlidir. Akdeniz kıyılarındaki görülen iklim şartları ilerleyen yıllarda etki sahasını Ege ve Marmara bölgelerine doğru genişletecektir. Doğu Anadolu Bölgesi'nde minimum sıcaklık ortalamalarında daha kuvvetli artışlar yaşanacaktır. Yağış miktarlarında Akdeniz-Ege kıyıları ve iç bölgelerde azalma, Doğu Karadeniz kıyılarında kısmen artışlar görülecektir. Genel olarak bütün Türkiye arazisinin ortalama yağışı dikkate alındığında, pozitif ya da negatif yönde bir eğilim mevcut değildir.

Anahtar Kelimeler: CMIP5, iklim modellemesi, Google Earth Engine, iklim değişikliği.

1. GİRİŞ

İklim, ülkelerin ayrıcalıkları arasında yer alan en önemli fiziki coğrafya özelliğidir. Yer şekilleri, su durumu ve potansiyeli, toprak tipleri, bitki ve hayvan tür çeşitliliği yanında nüfus, yerleşme, tarım, sanayi, turizm, ulaşım, enerji, sağlık, yapılaşma gibi pek çok sosyal ya da ekonomik etkinlikler iklimin etkisi ve kontrolü altında cereyan etmektedir (Coşkun, 2022). İklim bütün mekanizmalarıyla bir sistemdir. Doğal ortamı oluşturan parçaların etkileşimi sonucunda ortaya çıkan iklim sisteminde meydana gelecek olası değişimler, canlı yaşamı ve ekosistemler üzerinde geri döndürülemez etkilere sahiptir. Atmosfer, hidrosfer, kriyosfer ve litosferin Dünya'nın enerji bütçesine ve birbirlerinde meydana gelen değişimlere verdiği tepkiler sonucunda iklim karakteri şekillenir (Mansouri Daneshvar vd., 2019; Kozun vd., 2022). Antropojenik etki ise artan nüfus ve sanayi faaliyetleri sonucunda, bu sistemin göz ardı edilemez bir parçası haline gelmiştir (Alexeeff vd., 2018; Eyring vd., 2019; Daloz vd., 2022; Kemp vd., 2022).

Gezeğenin oluşumundan günümüze, sürekli değişim gösteren iklim şartları sebebiyle sıcaklık ortalamalarının bugünkü değerlerin çok üstüne çıktığı ya da altına indiği dönemler yaşanmıştır. (Johnson vd., 2019; Singh vd., 2019; Van Leeuwen vd., 2019). Kretase, Paleosen-Eosen termal maksimumu ya da buzul devirleri bu süreçlerin yaşandığı önemli zaman dilimleridir (Anderson vd., 2018; Badino vd., 2018; Martin vd., 2020; Xiao vd., 2020). İklim değişikliği, iklim elemanlarına ait ortalamaların geri dönülmez şekilde farklılaşması anlamına gelmektedir.

İklim şartlarını Dünya'nın enerji bütçesi şekillendirmekte, güneşten gelen kısa dalga boylu ve yansıyan uzun dalga boylu ışınım arasındaki fark sıcaklık ortalamalarını belirlemektedir (Liang vd., 2019). Sıcaklık diğer iklimsel parametrelere etki ederek atmosfer olaylarına yön verirken ekvatorla fazla veren enerji bütçesi, okyanus akıntıları ve rüzgarlarla sıcaklığın kutup bölgelerine doğru dağıtılması sonucunda küresel olarak dengelenir (Meyssignac vd., 2019; Rosenthal vd., 2017; Taylor vd., 2018). Atmosferde bulunan bazı gazlar, sahip oldukları kimyasal özellikler sebebiyle ısıyı tutarak doğal sera etkisi oluşturmaktadır. Dünya'nın sıcaklık ortalamasını canlı yaşamı için uygun bir değer aralığında tutan su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), ozon (O₃), diazot monoksit (N₂O) önemli sera gazlarıdır. (Maria vd., 2020; Lamb vd., 2021). Atmosferde antropojenik kaynaklı bir sera gazı artışı, ışımsal zorlamaya, ısının daha fazla tutulmasına ve dolayısıyla sıcaklık ortalamalarının artışına sebep olacaktır (Manabe, 2019). Bir gazın sera gazı olarak değerlendirilmesi sahip olduğu atom sayısı, bu atomların titreşim yapıları ve yarılanma ömürleri ile ilgilidir. Bir gaz ne kadar fazla atomdan oluşuyorsa o kadar fazla titreşim sayısı ve şekline sahiptir. Bu durum da ilgili gazın sera etkisi özelliğini artırmaktadır (Kelm, 1999; Muir, 1999; Crowley ve Berner, 2001; Hungate vd., 2003; Montzka vd., 2011).

Ülkelerin teknolojik olarak gelişimi ve sanayi faaliyetleri, her geçen gün atmosferdeki CO₂ seviyesini artırmaktadır. Geçmiş jeolojik zamanlarda da önemli doğa olaylarına bağlı olarak artış ve azalışlar yaşayan CO₂ miktarı, son dönemlerde 400 ppm'ın üzerine çıkarak daha önce görülmemiş bir seviyeye ulaşmıştır (Bala, 2013; Kivi ve Heikkinen, 2016). CO₂'nin atmosferde yüksek oranda bulunması sera etkisini kuvvetlendirerek daha fazla ısının atmosferde hapsolmesine sebep olur (Stips vd., 2016). Atmosferde biriken ısı yok edilemez. Termodinamiğin birinci yasasına göre ancak şekil değiştirebilir. Bu durum da enerjinin doğal ortamlar arasında yüksek enerjili alandan, düşük enerji alanına doğru transferi anlamına gelmektedir. Örneğin yüksek oranda ısınan okyanus suları, bu enerjiyi gizil ısı olarak atmosfere gönderecektir. Isınma şiddetine bağlı olarak enerji transferi de artar. Sonuçta daha şiddetli hava olaylarının meydana gelmesi olası bir durum olur (Field vd., 2007; Sandén ve Karlström, 2007).

Bir yüzeyin absorbe yeteneği, mevcut sıcaklığı ve yaydığı ışınım arasında bağlantı vardır. Stefan-Boltzman kuramına göre cisim, mutlak sıcaklığının (kelvin cinsinden) dördüncü kuvveti oranında ışınım yayma gücüne sahiptir. Cismin sıcaklığını iki katına çıkarmak, yaydığı ışınımın on altı kat daha fazla olacağı anlamına gelir. Tüm bu denklemlerin sonucunda, Dünya'nın genelinde ya da herhangi bir doğal ortamın sıcaklığında yaşanacak bir santigrat derecelik sıcaklık artışının etkisi düşünülen kadar az olmayacaktır (Shallcross ve Harrison, 2007; Hoffmann, 2009).

Atmosfer olaylarının uzun süreli tahmini, sistemin bileşenlerinin çokluğu ve kaotik yapısı sebebiyle bilim insanlarını her zaman daha fazla araştırma yapmaya itmiştir. 1997 yılında kabul edilen Kyoto Protokolü ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında 2016 yılında yürürlüğe giren Paris Anlaşması, bilim insanlarının ortaya koyduğu olası iklim değişikliği senaryolarını ve alınacak önlemleri kapsayan önemli metinlerdir (Böhringer, 2003; Gao vd., 2017). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli

(IPCC), Birleşmiş Milletler’e bağlı Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından 1988 yılında kurulan bir araştırma kuruluşudur. Bilim insanlarının çalışmalarına bağlı olarak üretilen senaryolar ve bu senaryolar sonucunda meydana gelecek olası değişimler hakkında raporlar hazırlayarak karar vericileri bilgilendirmektedir. IPCC’nin hazırladığı beş değerlendirme raporunun ortak çıktısı, sera gazı salımlarının artarak devam ettiği ve bu durumun sıcaklık ortalamaları üzerinde yukarı yönlü bir baskı oluşturduğu şeklindedir. Paris Anlaşması küresel sıcaklık ortalamalarındaki artışın 2°C, IPCC ise 1.5°C ile sınırlandırılması gerektiğini savunmaktadır (Seo, 2017; Pedersen vd., 2021). Bu sıcaklık artışı sınırlamalarında dahi, Dünya’nın birçok yerinde küresel anlamda değişikliklerin meydana geleceği öngörülmektedir. İlerleyen zamanlarda yaşanılacağı tahmin edilen değişimler şu şekilde sıralanabilir: Yükselen sıcaklıklar doğal ortamlar arasındaki etkileşimi artırarak şiddetli hava olaylarının ve doğal afetlerin yaşanmasına sebep olabilir. Orman yangınları, kuraklık, sel, heyelan, fırtınalar daha fazla yaşanabilir ve tarımsal üretimde aksaklıklar meydana gelebilir. Kara ve deniz buzullarının hızla erimesi, okyanus döngülerinden akarsu havzalarına kadar geniş alanda etkiye sahiptir. Buzulların erimesi aynı zamanda en önemli tatlı su kaynaklarının yok olması anlamına gelir. Özellikle dağ buzullarının hızlı erimesi hem sel, heyelan gibi doğal afetleri tetikleyebilir hem de içme ve sulama suyunda sıkıntılar yaşanmasına sebep olabilir. Ayrıca buzul erimelerine bağlı olarak deniz seviyelerinin yükselmesi sonucunda, adalar ve düşük yükseltiyeye sahip sahil kuşakları yaşamsal risk altına girebilir. Kıyı ovalarındaki üretim ve yaşam alanları azalabilir, mercan resifleri, mangrov ormanları gibi habitatlar zamanla yok olabilir. Değişen iklim şartları, hayvanların yaşam alanlarının etkileyerek bu canlıların Dünya üzerindeki dağılışını yeniden şekillendirebilir. Böylece insanoglu yaşadığı alanda daha önce karşılaşmadığı yeni hastalıklarla tanışabilir. Adaptasyon ve göç yeteneği sınırlı olan canlılar ise nesillerinin tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalabilir.

Kutuplara yakın alanlardaki permafrost sahalarında meydana gelecek erime, atmosferdeki CH₄ seviyesini artıracak için sera etkisi daha da kuvvetlenebilir. Sıcaklığı artan okyanus suları asitlenerek atmosferden daha az karbondioksidi absorbe edeceğinden küresel iklimde ısınma eğilimi güçlenebilir. IPCC’nin emisyon salımlarına bağlı farklı RCP (Representative Concentration Pathways) senaryoları olsa da (Jubb vd., 2013), genel olarak sıcaklık artışının yüksek enlemlerde daha fazla olacağı, Akdeniz havzasının, güney ve orta Avrupa’nın, güney ve kuzey Afrika’nın, batı ve orta Asya’nın, kuzey Amerika’nın doğusunun daha fazla ısınacağı dile getirilmektedir. Tropikal sahalarda yüksek sıcaklıklara sahip gün sayısında artışlar olacağı öngörülmektedir. Gezegenin bazı alanlarında ise yağış tutarları artabilir. Kuzeydoğu Amerika, Avrupa ve Asya’nın kuzeyi, Tibet, Çin, Japonya, İzlanda, Grönland, Kanada’nın batısı ve doğusu, Alaska bu sahalara örnek olarak verilebilir. İklimsel parametrelerde yaşanan dalgalanmaların, ekonomisi tarıma dayalı ülkeleri daha derinden etkilemesi muhtemeldir.

Türkiye, Akdeniz havzasında yer aldığı için küresel iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek ülkeler arasında gösterilmektedir. Sıcaklık ortalamalarındaki artışın ülke genelinde hissedilmesi; Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz ve Ege kıyılarının daha kurak zaman dilimleri yaşanması öngörüler arasındadır. Yağışların ülkenin büyük bölümünde azalması ve daha değişken hale gelmesi, kısa sürede şiddetli yağışlar görülmesi, Doğu Karadeniz kıyıları, Doğu Marmara, iç ve doğu kesimlerdeki bazı yüksek alanlarda yağış miktarlarının artması, ekstrem olayların ve doğal afetlerin daha sık yaşanması, yağış dağılımlarının dengesizleşmesi, sıcak ve kurak zaman dilimlerinin artması iklim elemanlarına ait diğer öngörülerdir (Tayanç vd., 2009; Demircan vd., 2017). İklim parametrelerinde daha sık yaşanmaya başlayan anomaliler, sıcaklık artışları ve kuraklıkların şiddetlenmesi Akdeniz havzasında daha sık orman yangınlarının yaşanmasına sebep olacaktır (Türkeş ve Tolunay, 2023). CMIP5 ve CMIP6 projelerine ait yapılan araştırmalarda Türkiye’nin de içinde bulunduğu Akdeniz havzası, iklim değişikliğine karşı hassas alanlardan biri olarak değerlendirilmekte (sıcak nokta), ülke genelinin yaz mevsiminde daha fazla ısınması ve sonbaharda %40’a varan daha kurak şartların yaşanması öngörülmektedir (Bağçacı vd., 2021). Akarsu havzaları ve su kaynakları da yaşanacak değişimlerden önemli ölçüde etkilenecek diğer alanlardır (Gorguner vd., 2019). Akdeniz Bölgesi’nde sıcaklık artışları 1-3.1°C arasında yaşanacak ve yağış miktarlarındaki azalış kıyı kesimlerde daha fazla olacaktır. Yüksek rakımlı alanlarda sıcaklık artışları diğer sahalara göre daha belirgindir (Seker ve Gumus, 2022). RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryolarına göre 2020-2050 döneminde ortalama sıcaklıklarda 0.4°C-4°C arasında artışlar olacaktır. Yağış tutarlarında ise tüm mevsimlerde özellikle Akdeniz ikliminin egemen olduğu sahalarda azalışların olması öngörülmektedir (Turp vd., 2014). Havza genelinde ortalama sıcaklıklar en çok yaz, en az ise kış mevsiminde artacak; yağış miktarları ise tüm dönemlerde azalacaktır. Yüksek sıcaklıklar ve şiddetli yağışların görülme sıklığı ve yoğunluğundaki artışlar ilerleyen yıllara ait öngörüler arasındadır (Öztürk vd., 2015).

Bu çalışmanın amacı, sıcaklık ve yağış parametrelerinde yaşanmış ve 2005-2040 dönemi için yaşanması muhtemel değişimleri ülke genelinde ortaya koymaktır. Araştırma kapsamında maksimum, minimum sıcaklık değerleri ve yağış tutarlarındaki değişimler incelenmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Günümüzde Kullanılan Modeller ve Emisyon Senaryoları

Olası iklim değişikliklerini öngörmek ve uyum sağlamak için IPCC gibi önemli kuruluşların önderliğinde bir araya gelen bilim insanları, farklı modeller ve senaryolar ortaya koymaktadır. Geçmişte yaşanan iklim değişiklikleri, iklimi oluşturan ögeler ve bunlar arasındaki etkileşimler, doğal ve beşeri zorlamalar dikkate alınarak modeller oluşturulmuştur. Ekonomik faaliyetlerin yol açtığı sera gazları, emisyonlar, aerosoller, artan enerji tüketimi, tarımsal faaliyetler, nüfus, arazi kullanım özellikleri oluşturulan senaryolar için önemli parametrelerdir. İlk olarak National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) tarafından geliştirilen küresel iklim modelleri (Global Climate Models-GCM, (Carbonbrief, 2023; NOAA, 2023) teknolojiye bağlı olarak yıllar geçtikçe hem sayıca artmış hem de modele eklenen girdiler çoğalmıştır. Önceleri atmosfer özellikleri modellerdeki tek girdiyi oluştururken; zamanla buzullar, aerosoller, bitki örtüsü, karbon döngüsü, arazi özellikleri, atmosferin kimyasal yapısı modellere dahil edilmiştir. Akışkan hareketleri (hava-su) ve enerji transferlerinin birlikte kullanıldığı modellerdir. Atmosfer ve okyanus hesaplamalar için yatay-dikey gridlere ayrılmaktadır. Üç boyutlu çözümlüğe sahiptirler. Yatay çözünürlük (mekansal), enlem-boylam veya km birimiyle ifade edilirken; dikey çözünürlük katmanlarla temsil edilir. Oluşturulan ilk küresel iklim modellerinde yaklaşık 700 km olan mekansal çözünürlük zamanla geliştirilerek 1990'larda 500, 2000'li yılların başlarında ise 100 km'lere kadar ulaşmıştır. Zamansal çözünürlük ise modelde kullanılan veri kayıt sıklığından oluşmaktadır. Günümüzde modellerinde veri kayıt sıklığı günlük değerlere kadar ulaşmıştır. The Educational Global Climate Model (EdGCM), Climate Model 2 (CM2), Hadley Center Coupled Model (Had CM3), Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5-6) küresel; Regional Climate Model 4 (RegCM4) ise bölgesel modellerden bazılarıdır. GCM'ler kabaca 1-2,5° yatay çözünürlüğe sahiptir ve iklim projeksiyonlarında tüm Dünya için çalıştırılacak şekilde tasarlanmıştır. Bölgesel iklim modelleri (RCM) ise, GCM sonuçlarını daha iyi ölçeklendirmek için istatistiksel ve dinamik ölçek küçültme yöntemleri kullanır. RCM çözünürlükleri 20-60 km arasında değişmektedir. Bölgesel modeller, küresel modeller tarafından elde edilen bilgilerin belirli bir alana uygulanması anlamına gelir. Küresel model ve büyük ölçekli değişikliklerin bölgesel düzeyde nasıl bir etkiye sahip olduğunu anlamamızı sağlar. RCM'lerde küresel ölçekli iklim tahmin ediciler ile yerel ölçekli tahmin ediciler arasındaki ampirik ilişkiler kullanılmaktadır. İlk modellerde girdiler 'Sıralı Yaklaşım' anlayışı benimsenerek modele dahil edilmiştir. Sosyo-ekonomik şartlar, onların oluşturacağı emisyon salımları ve bu salımlara göre emisyon senaryolarının oluşturulması gerçekleştirilen süreçlerdir. Süreç, emisyonların atmosferde meydana getireceği zorlamaların girdi olarak modele dahil edilmesiyle devam eder. Model, bu girdilere bağlı olarak olası iklimsel değişiklikleri tahmin etmektedir (Akçakaya vd., 2013). Sıralı Yaklaşım, aşamalı bir yapıdan oluştuğu için senaryoların oluşturulması ve model sonuçlarının elde edilmesi arasında zaman kaybına neden olmaktadır. Günümüzde senaryolar oluşturulurken 'Paralel Yaklaşım' metodu kullanılmaktadır. Zaman kaybını en aza indirmek için geliştirilen bu yaklaşımda, sosyo-ekonomik girdiler ve emisyon senaryoları modele eş zamanlı olarak dahil edilmektedir. 'Sıralı Yaklaşım', RCP senaryolarından önceki dönemde kullanılmıştır. IPCC küresel iklim değişikliği ile ilgili yaptığı çalışmalar sonucunda senaryolar üretmek hükümetleri bilgilendirmektedir. Bugüne kadar 6 değerlendirme raporu yayınlanmıştır (Tablo 1). 6. Değerlendirme raporu ile, RCP senaryolarının yerine kullanılmaya başlanan Shared Socioeconomic Pathways (SSP) senaryolarına göre gelecek projeksiyonları oluşturulmaktadır. RCP'lere benzer şekilde farklı emisyon salımlarını dikkate alan SSP senaryoları, 2081-2100 dönemi için küresel ölçekte 1-5.7 °C arasında bir ısınma aralığı oluşacağını öngörmektedir.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) tarafından geliştirilen küresel iklim modelleri (Global Climate Models-GCM, (Carbonbrief, 2023; NOAA, 2023) teknolojiye bağlı olarak yıllar geçtikçe hem sayıca artmış hem de modele eklenen girdiler çoğalmıştır. Önceleri atmosfer özellikleri modellerdeki tek girdiyi oluştururken; zamanla buzullar, aerosoller, bitki örtüsü, karbon döngüsü, arazi özellikleri, atmosferin kimyasal yapısı modellere dahil edilmiştir. Akışkan hareketleri (hava-su) ve enerji transferlerinin birlikte kullanıldığı modellerdir. Atmosfer ve okyanus hesaplamalar için yatay-dikey gridlere ayrılmaktadır. Üç boyutlu çözümlüğe sahiptirler. Yatay çözünürlük (mekansal), enlem-boylam veya km birimiyle ifade edilirken; dikey çözünürlük katmanlarla temsil edilir. Oluşturulan ilk küresel iklim

modellerinde yaklaşık 700 km olan mekansal çözünürlük zamanla geliştirilerek 1990’larda 500, 2000’li yılların başlarında ise 100 km’lere kadar ulaşmıştır. Zamansal çözünürlük ise modelde kullanılan veri kayıt sıklığından oluşmaktadır. Günümüzde modellerinde veri kayıt sıklığı günlük değerlere kadar ulaşmıştır. The Educational Global Climate Model (EdGCM), Climate Model 2 (CM2), Hadley Center Coupled Model (Had CM3), Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5-6) küresel; Regional Climate Model 4 (RegCM4) ise bölgesel modellerden bazılarıdır. GCM’ler kabaca 1-2,5° yatay çözünürlüğe sahiptir ve iklim projeksiyonlarında tüm Dünya için çalıştırılacak şekilde tasarlanmıştır. Bölgesel iklim modelleri (RCM) ise, GCM sonuçlarını daha iyi ölçeklendirmek için istatistiksel ve dinamik ölçek küçültme yöntemleri kullanır. RCM çözünürlükleri 20-60 km arasında değişmektedir. Bölgesel modeller, küresel modeller tarafından elde edilen bilgilerin belirli bir alana uygulanması anlamına gelir. Küresel model ve büyük ölçekli değişikliklerin bölgesel düzeyde nasıl bir etkiye sahip olduğunu anlamamızı sağlar. RCM’lerde küresel ölçekli iklim tahmin ediciler ile yerel ölçekli tahmin ediciler arasındaki ampirik ilişkiler kullanılmaktadır. İlk modellerde girdiler ‘Sıralı Yaklaşım’ anlayışı benimsenerek modele dahil edilmiştir. Sosyo-ekonomik şartlar, onların oluşturacağı emisyon salımları ve bu salımlara göre emisyon senaryolarının oluşturulması gerçekleştirilen süreçlerdir. Süreç, emisyonların atmosferde meydana getireceği zorlamaların girdi olarak modele dahil edilmesiyle devam eder. Model, bu girdilere bağlı olarak olası iklimsel değişiklikleri tahmin etmektedir (Akçakaya vd., 2013). Sıralı Yaklaşım, aşamalı bir yapıdan oluştuğu için senaryoların oluşturulması ve model sonuçlarının elde edilmesi arasında zaman kaybına neden olmaktadır. Günümüzde senaryolar oluşturulurken ‘Paralel Yaklaşım’ metodu kullanılmaktadır. Zaman kaybını en aza indirmek için geliştirilen bu yaklaşımda, sosyo-ekonomik girdiler ve emisyon senaryoları modele eş zamanlı olarak dahil edilmektedir. ‘Sıralı Yaklaşım’, RCP senaryolarından önceki dönemde kullanılmıştır. IPCC küresel iklim değişikliği ile ilgili yaptığı çalışmalar sonucunda senaryolar üretmek hükümetleri bilgilendirmektedir. Bugüne kadar 6 değerlendirme raporu yayınlanmıştır (Tablo 1). 6. Değerlendirme raporu ile, RCP senaryolarının yerine kullanılmaya başlanan Shared Socioeconomic Pathways (SSP) senaryolarına göre gelecek projeksiyonları oluşturulmaktadır. RCP’lere benzer şekilde farklı emisyon salımlarını dikkate alan SSP senaryoları, 2081-2100 dönemi için küresel ölçekte 1-5.7 °C arasında bir ısınma aralığı oluşacağını öngörmektedir.

Tablo 1- IPCC Değerlendirme Raporları (MGM, 2022a; IPCC, 2023).

Table 1- IPCC Assessment Reports (MGM, 2022a; IPCC, 2023).

Senaryo	Yayınlanma Yılı	IPCC Değerlendirme Raporu
SA90	1990	1. ve 2. Değerlendirme Raporu (FAR, SAR)
IS92a-f	1992	3. Değerlendirme Raporu (TAR)
SRES A-B	2000	3. ve 4. Değerlendirme Raporu (TAR, AR4)
RCPs	2007	5. Değerlendirme Raporu (AR5)
SSP	2023	6. Değerlendirme Sentez Raporu (AR6)

Emisyon senaryoları küresel iklim modelleri aracılığıyla uygulanarak, gelecekte yaşanacak olası iklimsel değişimler tahmin edilmektedir. RCP2.6 en düşük ısınımsal zorlama seviyesine sahip senaryodur. Gerçekleşmesi için uluslararası iş birliğinin güçlü şekilde yürütülmesi gerekmektedir. RCP4.5 denge senaryosu olarak adlandırılmaktadır. Bilim insanlarının daha olası bulunduğu bir senaryodur ve bu nedenle araştırmalarda daha fazla kullanılmaktadır. Fosil yakıtların rezerv özelliklerini dikkate alır. CO₂ emisyonlarının 2045’ten itibaren azalmaya başlamasını, 2100 yılında ise 2050 seviyesinin yarısına düşmesini öngörmektedir. RCP6 gerçekleşmesi olası ikinci denge senaryosudur. 2075’e kadar artış gösterecek olan emisyonların bu tarihten itibaren azalacağı öngörüsüne dayanır. RCP8.5 ise en yüksek emisyon miktarı ve ısınımsal zorlamaya sahip senaryodur. RCP8.5’e göre emisyon artışları 2100’e kadar devam edecektir. Fosil yakıtlara aşırı bağımlılığın ve ekonomik büyüme çabalarının artarak devam edeceği yüksek emisyonları ifade eden en kötü senaryodur. (Tablo 2). Aşırı nüfus, yüksek enerji ihtiyacı ve emisyon salımı gibi ihtimaller göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Senaryoya göre küresel sıcaklıklar 2100’e kadar 4.9°C artacaktır. Orta denge rotası olan RCP4.5’e göre ise bu tarihe kadar görülecek sıcaklık artışı 2.4°C’dir.

Paris İklim Anlaşması’nın (2°C) ve IPCC’nin (1.5°C) sınırlandırılmasını istediği sıcaklık artışlarında bile iklimlerde önemli değişiklikler yaşanması muhtemeldir. Yüksek enlemlerde daha fazla yaşanacak olan sıcaklık artışları, kuraklıklar, hidrolojik döngünün hızlanmasına bağlı olarak yaşanacak ani yağışlar ve buna bağlı olarak görülecek sel olayları, tarımsal üretimde dalgalanmalar, Akdeniz havzasının da içinde bulunduğu

enlemlerde görülecek güçlü ısınma eğilimi, tropikal bölgede olağanüstü sıcak günlerin sayısında artış senaryolarının ortak çıktılarınıdır. Türkiye de küresel iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek alanlar arasında yer almaktadır. Bütün emisyon senaryolarında, ortalama sıcaklıklarda 2°C ve üzeri bir artışın yaşanacağı, ülke genelinde ortalama yağış tutarlarının azalacağı öngörülmektedir. Doğu Karadeniz, Doğu Marmara, iç bölgelerdeki bazı engebeli alanlarda ve farklı mevsimlerde yağışlar artsa da; düşen yağışların şiddetinin arttığı ve dengesizleştiği zaman dilimleri modellerin ortak çıktılarıdır. Türkiye’de kuraklığın daha fazla hissedildiği ve yağış belirsizliklerinin yaşandığı yılların görülmesi olasıdır (Önol vd., 2014; Gürkan vd., 2016; Sen vd., 2017).

Tablo 2- Emisyon Senaryolarına Göre Öngörü Değerleri (MGM, 2022b).

Table 2- Forecast Values by Emission Scenarios (MGM, 2022b).

Senaryolar	Işınımsal Zorlama	Değere Ulaşma Yılı	Değişim	Toplam Konsantrasyon (CO ₂ eşdeğer)	Emisyonlar (KYOTO protokolü sera gazları)
RCP 8.5	8.5 W/m ²	2100’de	Yükselme	~1370 ppm (2100’de)	2100’e kadar artış devam ediyor
RCP 6.0	>~6.0 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~850 ppm (2100’de)	Yüzyılım son çeyreğinde düşüş
RCP 4.5	~4.5 W/m ²	2100 öncesi	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~650 ppm (2100’de)	Yüzyılım ortalarından itibaren düşüş
RCP3-PD / RCP2.6	~3.0 W/m ²	2100 öncesi	3.0 W/m ² ’e ulaşmadan zirve ve düşüş	Zirve ~490 ppm ve düşüş (2100’de)	Yüzyılım ilk çeyreğinde düşüş

2.2. Veri Seti ve Araştırmada Kullanılan Model Bilgileri

Araştırmaya ait analizler, Google Earth Engine (GEE) platformu üzerinden gerçekleştirilmiş, kartografik materyalin hazırlanmasında ise ArcMap 10.4 programı kullanılmıştır. ArcMap, ESRI (Environmental Systems Research Institute) tarafından 1999 yılında piyasaya sürülen ArcGIS Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılım ailesinin bir parçasıdır. ArcGIS Desktop bünyesinde ArcGlobe, ArcScene ve ArcCatalog gibi programlar ile birlikte çalıştırılan ArcMap, coğrafi verileri görüntülemek, düzenlemek ve analiz etmek için kullanılmaktadır (ESRI, 2023). ArcMap programı araştırmada, öncelikle tematik haritalamalar amacıyla kullanılmıştır. Bununla birlikte, ArcMap’in eklenti arşivini ifade eden ArcToolbox’da bulunan *Spatial Analysis Tools/ Zonal (Mekansal Analiz Araçları/ Bölgesel) eklentisi içerisindeki Zonal Statistics (Bölgesel İstatistikler)* aracıyla, sıcaklık ve yağış verilerinin analizi yapılan her dönem için Türkiye ölçeğinde ortalamaları hesaplanmıştır. *Zonal Statistics*, seçilen bölge sınırları içerisindeki raster verilerle ilgili çeşitli istatistiksel işlemi (maksimum, minimum, ortalama, medyan, standart sapma vd.) gerçekleştirmeye imkân tanır. Araştırma kapsamında, GEE ortamından elde edilen raster formatında dönemsel analiz sonuçları ve vektör formatlı Türkiye arazisi, *Zonal Statistics* analiz ortamına dahil edilmiştir. Sonuçta sıcaklık ve yağış parametrelerine ait dönemsel ortalamalar ve trend bulguları elde edilmiştir.

Google Earth Engine (GEE), Google tarafından 2010 yılında piyasaya sürülen, farklı araştırma alanlarıyla ilgili veri çeşitliliğine sahip, bir bulut işletim sistemidir. Veri kütüphanesinde iklim, bitki örtüsü, toprak özellikleri, arazi kullanım, nüfus, su kütleleri gibi daha birçok farklı alanda veri setlerini barındırır (Tamiminia vd., 2020a; UN, 2022). Bünyesinde Landsat, MODIS, National Oceanographic, Atmospheric Very High Resolution Radiometer, Sentinel (1, 2, 3), Advanced Land Observing Satellite (ALOS) gibi büyük veri kümeleri bulunur (Tamiminia vd., 2020b). GEE, petabayt ölçeğindeki bu büyük veri kümelerinin yanı sıra kullanıcılara gelişmiş algoritmalar da sunmaktadır (Mutanga ve Kumar, 2019). Özelleştirilebilen bu algoritmalar sayesinde kullanıcılar büyük veri kümelerinde istediği analizi daha hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirebilmektedir (Kumar ve Mutanga, 2018). Özellikle arazi kullanımı (Huang vd., 2017), toprak (Padarian vd., 2015), sulak alan (Alonso vd., 2016), ormancılık (Chen vd., 2017), iklim (Hao vd., 2019), tarım (Xiong vd., 2017) gibi çeşitli alanlardaki bilimsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılmakta ve tercih edilmektedir (Gorelick vd., 2017; Zhao vd., 2021). Araştırmacılar bulut işletim sistemi üzerinden, JavaScript programlama dili ile istenilen analiz türü için kodlar oluşturabilmekte; küresel ölçekte raster ve vektör verilerle kullanılan uydu ve veri türüne göre uzun zaman aralıklarını kapsayan analizler yapabilmektedir.

GEE veri kataloğunda yer alan NEX-GDDP/ NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections veri seti araştırmanın ana kaynağını oluşturmaktadır (NASA, 2022). 2022 yılında GEE veri kütüphanesine dahil edilmiştir. Bu veri kaynağı sayesinde 1950 yılından 2100 yılına kadar günlük ortalama maksimum-minimum sıcaklıklar ve yağış değerleri modellenenmektedir. Veriler, Climate Analytics Group ve NASA Ames Research Center tarafından NASA Earth Exchange kullanılarak hazırlanmıştır. Yağış değerleri $\text{kg}/(\text{m}^2/\text{s})$ birimi ile ifade edilir. Araştırmada, data kataloğundaki orijinal kullanımı değiştirmemek adına görsel ve açıklamalarda $\text{kg}/(\text{m}^2/\text{s})$ birimi tercih edilmiştir. Birim, saniyede m^2 'ye düşen yağışın kilogram cinsinden değeridir. Ancak isteyen araştırmacı ilgili miktarı, bir yılı oluşturan saniye sayısı ile çarparak (31.557.926) mm cinsinden yıllık toplam ortalama yağış tutarına ulaşabilir. Çünkü m^2 'deki 1 mm'lik seviye yükselişi, 1 kg yağış anlamına gelmektedir. NEX-GDDP veri kataloğundaki değerler yanlışlık düzeltilmesi yapılmış verilerdir (Thrasher vd., 2012).

NEX-GDDP, Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Faz 5 (CMIP5) kapsamında yürütülen Genel Sirkülasyon Modeli çalışmalarından türetilen iklim senaryolarını kapsar. Veriler 27×36 km mekansal çözünürlüğe sahiptir (NASA, 2022). NEX-GDDP veri setinde; CMIP5 projesi kapsamında yer alan 'ACCESS1-0', 'bcc-csm1-1', 'BNU-ESM', 'CanESM2', 'CCSM4', 'CESM1-BGC', 'CNRM-CM5', 'CSIRO-Mk3-6-0', 'GFDL-CM3', 'GFDL-ESM2G', 'GFDL-ESM2M', 'inmcm4', 'IPSL-CM5A-LR', 'IPSL-CM5A-MR', 'MIROC-ESM', 'MIROC-ESM-CHEM', 'MIROC5', 'MPI-ESM-LR', 'MPI-ESM-MR', 'MRI-CGCM3', 'NorESM1-M' küresel iklim modelleri bulunmaktadır. IPCC'nin beşinci değerlendirme raporunu desteklemek için geliştirilmiştir. CMIP5, 1950 yılından günümüze iklim parametrelerine ait simülasyonları ve 2100 yılı ötesi için hazırlanan projeksiyonları içerir. Birleştirilmiş bir model olması sebebiyle hem geleneksel atmosfer-okyanus iklim modellerini hem de dünya sistem modellerini bünyesinde barındırır. Her iki model tipinin de karşılaştırılmasına imkan tanır (Taylor vd., 2012). Uzun vadeli projeksiyonların yanı sıra CMIP5, modelin tahmin becerisinin sınanması adına son on yıla ve 2035 yılına kadar olan geleceğe odaklanan yeni bir yakın vadeli simülasyon paketi içerir.

RCP'ler atmosferik bileşimin gelecekteki değişimini ve olası etkilerini tahmin etmek için oluşturulmuşlardır (Moss vd., 2010). Dört farklı bütünsel değerlendirme modelince meydana getirildikleri için, emisyonlar ve konsantrasyonlar arasındaki ilişkilerin iklimsel sonuçlarının yorumlanmasında bazı tutarsızlıklara sahiptir. Her model yakın geçmiş için farklı tarihsel verileri kullanır. Bu durum senaryoların gelecekteki iklim etkilerinin değerlendirilmesinde olumsuzluklar meydana getirir. Tarihsel kayıtlardaki belirsizlikler, insan faaliyetlerinin oluşturacağı emisyon miktarının doğası gereği tahmininin güç oluşu bu duruma sebep olan bazı faktörlerdir. Geçmiş tarihlerden geleceğe uzanan bir iklim modelinde, daha doğru bir geçiş ve programlama için emisyonların uyumlaştırılması (harmonization) aşaması gerekmektedir. Ayrıca konsantrasyonların ve karbon döngüsünün tetikleyeceği geri besleme mekanizmalarının etkisi de göz ardı edilmemelidir. Çünkü referans noktaları birbirine uymayan ve atmosferik süreci etkileyebilecek bazı parametrelerin göz ardı edildiği senaryolar, analizleri sonucunda ayrıntılı bir belirsizlik ortaya koymaktadır (Meinshausen vd., 2011). Bu durum da senaryoların güvenilirliği üzerindeki tartışmaları artırmaktadır. Araştırmanın analiz bölümünde kullanılan CMIP5 projesi, RCP4.5 ve RCP8.5 emisyon senaryoları için yakın zamanlı (2000-2005) bir uyumlamayı (harmonization) ve entegrasyonu içermektedir. Uyumlama işlemi emisyon senaryoları için referans alınan tarih aralığını (2000-2005) kapsar. Her modelin yakın geçmiş ve sonrasında gelecek yıllara ait iklim projeksiyonlarının oluşturulmasında kullandıkları senaryolar farklı tarih aralıklarından oluştuğu için senaryolarda kullanılan tarih aralığı eşitlenmiştir (2000-2005). Yani harmonizasyon, modellerde kullanılan tarihsel veri aralığının emisyonlar için eşitlenmesi (referans noktası belirleme) anlamına gelmektedir. RCP senaryolarının gelecekteki en iyi konsantrasyon tahminini elde etmek için, hem iklim hem de karbon döngüsü modellerinin medyan karşılığı kullanılır (Meehl vd., 2005; Meinshausen vd., 2011). Model geriye dönük çalıştırılır ve gelecek yıllara ait projeksiyonlar oluşturur. Araştırmada model aracılığıyla 1960-2000, 2000-2005 dönemlerine ait günlük ortalama maksimum-minimum sıcaklıklar simüle edilmiş ve 2005-2040 dönemi projeksiyonu oluşturulmuştur. Analizler sonucunda ortaya konulan veriler, NEX-GDDP veri setinde bulunan küresel iklim modellerinin ve emisyon senaryolarının dönem ortalamalarından oluşmaktadır. Modeller 2100 yılına kadar projeksiyonlar üretebilmektedir. Ancak uzun vadede yapılacak tahminlerin değişkenliği daha olasıdır. Çünkü teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni yaklaşımların ve uygulamaların ortaya çıkması kuvvetle muhtemeldir. Günümüzde kullanılmaya başlayan SSP'ler değişkenliği gösteren önemli gelişmelerdendir.

3. BULGULAR

1960-2000, 2000-2005 ve 2005-2040 dönemlerine ait model çıktıları, sıcaklık değerlerinde pozitif bir eğilimin kuvvetlenerek devam ettiğini göstermektedir (Tablo 3). Minimum ve maksimum sıcaklık ortalamalarında en düşük ve en yüksek değer aralıkları, dikkate alınan her üç dönem de birbirine çok yakındır. Minimum sıcaklık ortalamalarında yaklaşık 21 °C, maksimum sıcaklık ortalamalarında ise 20 °C'lik bir dip-zirve aralığı vardır. Ancak değerler dip ve zirve değer olarak pozitif yönde bir trend eğilimindedir. 1960-2000 döneminde -6.1 °C olan minimum ortalama en düşük sıcaklık değeri 2000-2005 döneminde -5.3 °C'ye, 2005-2040 döneminde ise -3.9 °C'ye yükselmektedir. 1960-2000 döneminden 2000-2005 dönemine 0.8 °C olarak gerçekleşen dip değer artışının, 2000-2005 döneminden 2005-2040 dönemine kadar 1.4 °C olacağı öngörülmektedir. Benzer şekilde minimum sıcaklıkların en yüksek değeri 1960-2000, 2000-2005, 2005-2040 dönemlerinde sırasıyla 15, 15.7, 17 °C'dir. Burada da zirve değer artışlarının 0.7 °C ve 1.3 °C olduğu görülür. 2005-2040 döneminin, 1960-2000 dönemine göre yaklaşık iki kat daha fazla artış değerine sahip olması, trendinin kuvvetli olduğunu göstermektedir.

Maksimum sıcaklık ortalamaları dikkate alındığında 1960-2000, 2000-2005, 2005-2040 dönemlerine ait en düşük ortalama değerler 5.7 °C, 6.4 °C ve 8 °C'dir. 2000-2005 dönemi 0.7 °C, 2005-2040 dönemi ise 1.6 °C artışa sahiptir. En yüksek maksimum ortalama değerler dönemlere göre sırasıyla 26 °C, 26.8 °C ve 28.5 °C'dir. 2000-2005 döneminde 0.8 °C, 2005-2040 döneminde ise 1.7 °C artış öngörülmektedir.

Yıllara ait minimum ve maksimum sıcaklık ortalamalarındaki artışlar karşılaştırıldığında, 2005-2040 döneminin 1960-2000 aralığına göre daha kuvvetli bir trende sahip olduğu göze çarpar. Artış yaklaşık iki kat daha fazladır. Ayrıca minimum ve maksimum ortalamalar kendi aralarında değerlendirildiğinde dip değerlerde benzerken (0.7 °C ve 0.8 °C), zirve değer artışında maksimum ortalama artışı daha fazladır (1.3 °C ve 1.7 °C). Model çıktılarına göre Türkiye'de, ilerleyen zaman dilimlerinde daha az düşük sıcaklıkların ve daha fazla yüksek sıcaklıkların görülme ihtimali yüksektir. Bu durumun başta orman yangınları ve kuraklık olmak üzere birçok doğal afeti ve tarımsal faaliyetleri etkilemesi olasıdır.

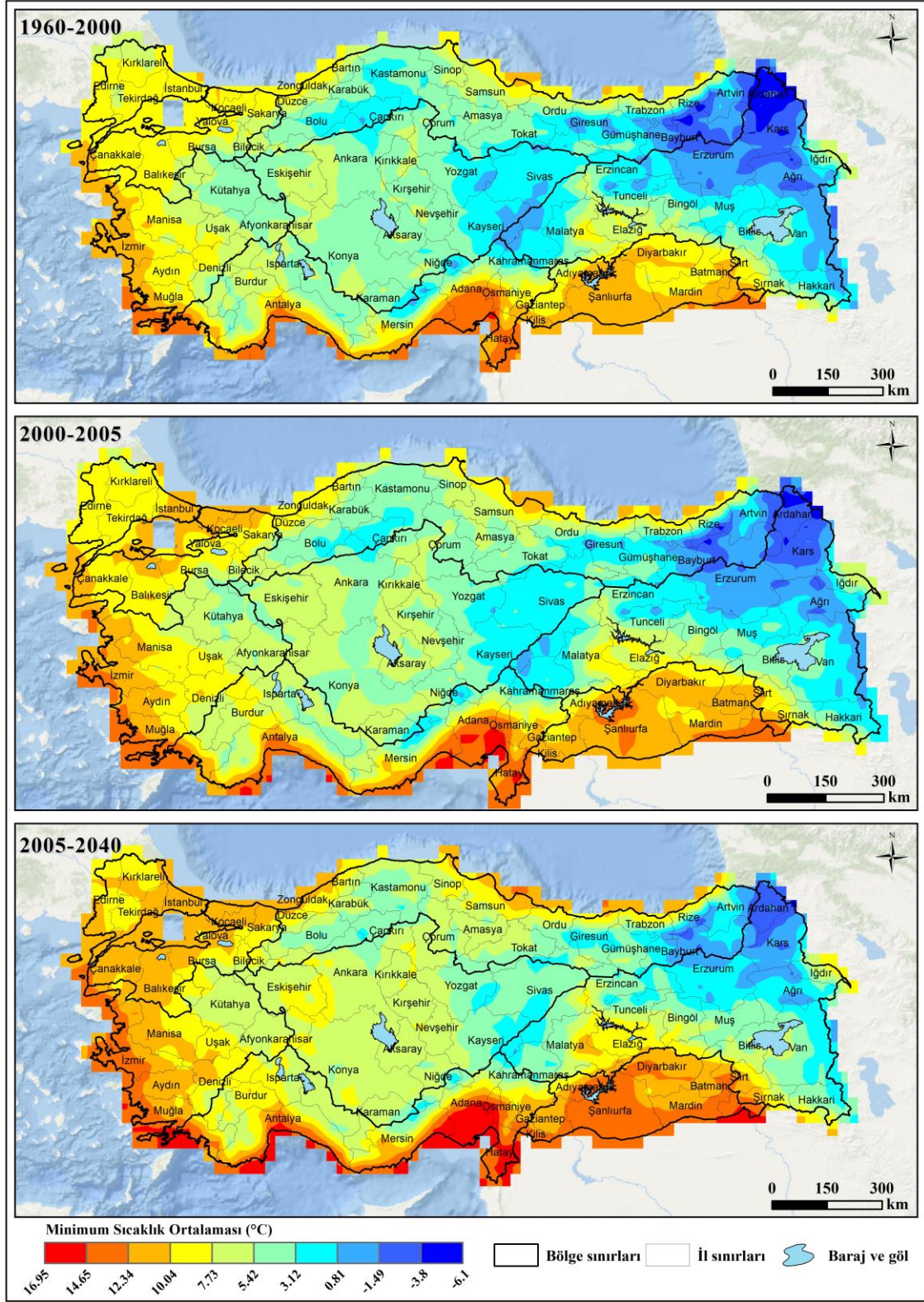
Yağış tutarları dikkate alındığında en düşük değer 1960-2000, 2000-2005, 2005-2040 dönemlerinde sırasıyla 0.000008497, 0.000008164, 0.000008043 (kg/(m²s)'dir. Düşük değerlerdeki bu azalış trendi Türkiye'de, yağış tutarı az olan sahalarda ilerleyen yıllarda daha da az yağışların görüleceği anlamına gelmektedir. En yüksek yağış tutarları ise belirtilen yıllarda 0.000047687, 0.000045217 ve 0.000046759 (kg/(m²s)'dir. 1960-2000 döneminde azalan en yüksek yağış değeri, 2005-2040 yılları arasında artış eğilimindedir. Bu yönelim ise en fazla yağış düşen alanlarda (Doğu Karadeniz gibi), 2040 yılına doğru yağış miktarlarının artacağını göstermektedir.

Tablo 3- İklim Parametrelerine ait Model Çıktısı Değerleri.

Table 3- Model Output Values of Climate Parameters.

İklim Parametreleri	1960-2000	2000-2005	2005-2040
Minimum Sıcaklık Ort. En Düşük Değer (°C)	-6.1	-5.3	-3.9
Minimum Sıcaklık Ort. En Yüksek Değer (°C)	15	15.7	17
Maksimum Sıcaklık Ort. En Düşük Değer (°C)	5.7	6.4	8
Maksimum Sıcaklık Ort. En Yüksek Değer (°C)	26	26.8	28.5
Yağış Tutarı En Düşük Değer (kg/(m ² s)	0.000008497	0.000008164	0.000008043
Yağış Tutarı En Yüksek Değer (kg/(m ² s)	0.000047687	0.000045217	0.000046759

İklim parametrelerine ait alansal dağılışı gösteren model haritaları incelendiğinde, sıcaklık değerlerindeki artış ve buna paralel olarak en yüksek sıcaklıklara sahip alanların giderek genişlediği görülmektedir. Minimum sıcaklıklarda en düşük ortalamalara sahip doğu illerinde (Ardahan, Kars, Erzurum, Ağrı gibi), 1960-2000 döneminden 2005-2040 dönemine doğru değerlerin yükseldiği ve düşük sıcaklıkların görüldüğü alanların daraldığı dikkat çeker (Şekil 1). Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Batman'ın bulunduğu alan ve Akdeniz kıyılarında sıcaklık artışı daha kuvvetlidir. Ege bölgesi kıyılarının, 2005-2040 döneminde Akdeniz kıyılarına benzer sıcaklık özellikleri göstermesi öngörülmektedir. Ayrıca 2005-2040 döneminde (minimum değerler için) yüksek sıcaklıkların görüldüğü alan bölgenin iç kesimlerine doğru genişleyecektir.



Şekil 1- Minimum sıcaklık ortalamalarına ait 1960-2000, 2000-2005 ve 2005-2040 dönemleri model çıktıları.
Figure 1- Model outputs of minimum temperature averages for 1960-2000, 2000-2005 and 2005-2040 periods.

İç Anadolu’da yükseltinin fazla olduğu Kayseri-Sivas çevresi, Batı ve Orta Karadeniz sahil kuşağı minimum ortalama sıcaklık artışından etkilenecek diğer sahalarken; Marmara Bölgesi’nde bu artış daha kuvvetli hissedilecektir.

Maksimum sıcaklık ortalamalarında 2005-2040 yılları arasında gerçekleşmesi tahmin edilen artışın en kuvvetli şekilde Şanlıurfa ve Mardin'in güneyinde, Adana'da (Çukurova), Mersin'den Muğla'ya kadar uzanan sahil kuşağında hissedilmesi muhtemeldir (Şekil 2). Kıyı Ege Bölümü, Marmara Bölgesi ve Doğu Karadeniz maksimum sıcaklık ortalamalarındaki artıştan önemli derecede etkilenecek diğer sahalardır. Güney Marmara'da Bursa, Balıkesir ve Çanakkale çevresi Asıl Ege Bölümü'ndeki sıcaklık artışlarına paralel bir özellik göstermektedir. 2005-2040 döneminde, maksimum sıcaklık ortalamalarının sahada 21.5-24 °C civarında olacağı öngörülmektedir. Doğu Karadeniz'in iç kesimindeki dağlık alanlar, Doğu Anadolu Bölgesi, Batı Karadeniz, Orta Torosların bulunduğu kuşak, Hakkari ve Van çevresi; 2005-2040 dönemi öngörüsünde de en düşük maksimum sıcaklık ortalamalarına sahip olmasına rağmen, sıcaklık artışından önemli derecede etkileneceği düşünülmektedir.

Yağış tutarlarına ait model çıktılarında dikkat çeken en belirgin özellik, İç Anadolu Bölgesi'nde en az yağış alan sahanın genişlemesidir (Şekil 3). Batı-doğu yönünde Eskişehir-Yozgat hattından, güneyde Karaman'a kadar uzanan alanda 1960-2000 döneminden 2005-2040 dönemine doğru kuraklığın etkisinin artması öngörülmektedir. Tüm Türkiye arazisinin 1960-2000, 2000-2005, 2005-2040 dönemlerine ait yağış ortalamaları sırasıyla 0.000017 kg/(m²s), 0.000016 kg/(m²s), 0.000016 kg/(m²s)'dir. Geçen yıllarda yağış ortalamalarında kuvvetli bir artış ya da azalış trendi görülmezken; yağış tutarlarındaki en düşük değer sürekli azalmaktadır. Bu durum da kurak şartları yaşayan alanların daha da kurak bir zaman dilimine doğru ilerlediğini göstermektedir. En yüksek yağış tutarı 1960-2000'den 2000-2005 dönemine doğru önce azalırken, 2005-2040 arasında tekrar artmaktadır. Ancak bu artış sonucunda yine de 1960-2000 periyodunun en yüksek yağış tutarına ulaşmamaktadır. İç Anadolu'nun dışında Akdeniz kıyı kuşağı, kıyı Ege, Bingöl'den Şırnak'a doğru KB-GD yönünde uzanan hat, Van-Hakkari arasında kalan bölge, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin güneyi 1960'tan 2040 yılına doğru daha az yağış alması muhtemel sahalardır.

Doğu Karadeniz'de Rize ve Artvin çevresi ise 2005-2040 döneminde yağış tutarlarının az da olsa artacağı alanların başında gelmektedir. Ayrıca Batı Karadeniz, Marmara Denizi çevresi (özellikle Doğu Marmara), Ege Bölgesi'nde Muğla çevresi, Akdeniz Bölgesi'nde Nur Dağları, Gümüşhane-Bayburt-Erzurum hattı yağış tutarlarındaki azalma ve tutarsızlıklardan daha az etkilenecek sahalardır.

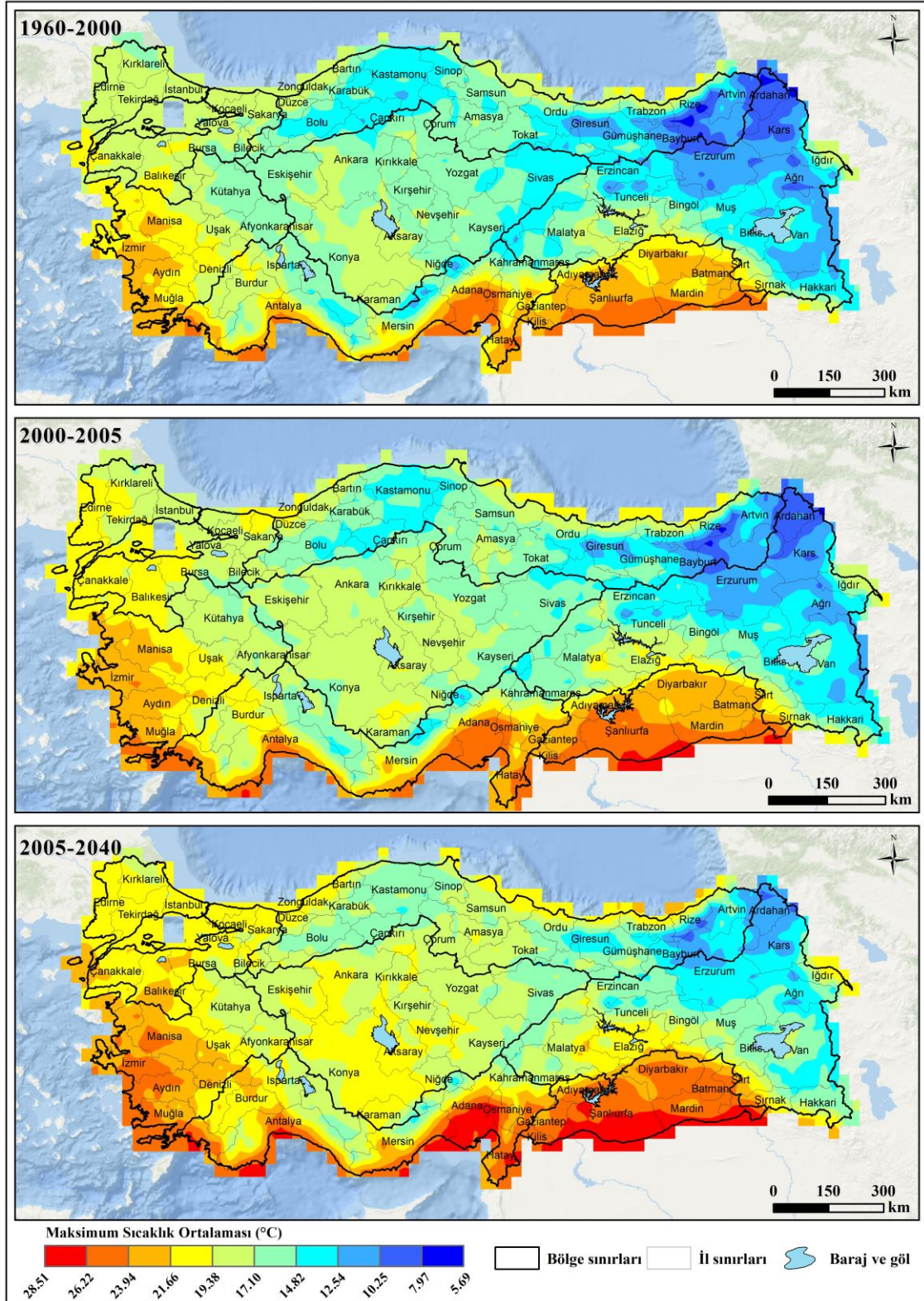
Maksimum ve minimum sıcaklık ortalamaları için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan veriler ve 2005-2040 dönemi modelleme sonuçları karşılaştırıldığında; maksimum sıcaklıklarda, günümüz ortalamaları ve model çıktıları arasındaki fark daha belirgindir. Maksimum sıcaklık ortalamalarında en az yaklaşık 1 °C fark olmakla birlikte, bu fark aynı il içerisinde 2 °C'nin üzerine çıkmaktadır (Tablo 4). Her bölgeyi temsilen örnek bir il seçilmiştir. Model sonuçlarına göre güneyde ve kıyı Ege'de yer alan illerin (Şanlıurfa, Adana, İzmir) maksimum sıcaklık ortalamalarındaki artışlardan daha fazla etkileneceği öngörülmektedir.

Minimum sıcaklık ortalamalarında ise güncel değerlerle model sonuçları arasındaki fark maksimum ortalamalara göre nispeten daha az olmakla birlikte, Doğu Anadolu'da yer alan Erzurum sahip olduğu değerlerle dikkat çekmektedir. Bu durum da model sonuçlarına göre minimum sıcaklıklarda yaşanacak en büyük artışın doğu illerinde olacağını göstermektedir.

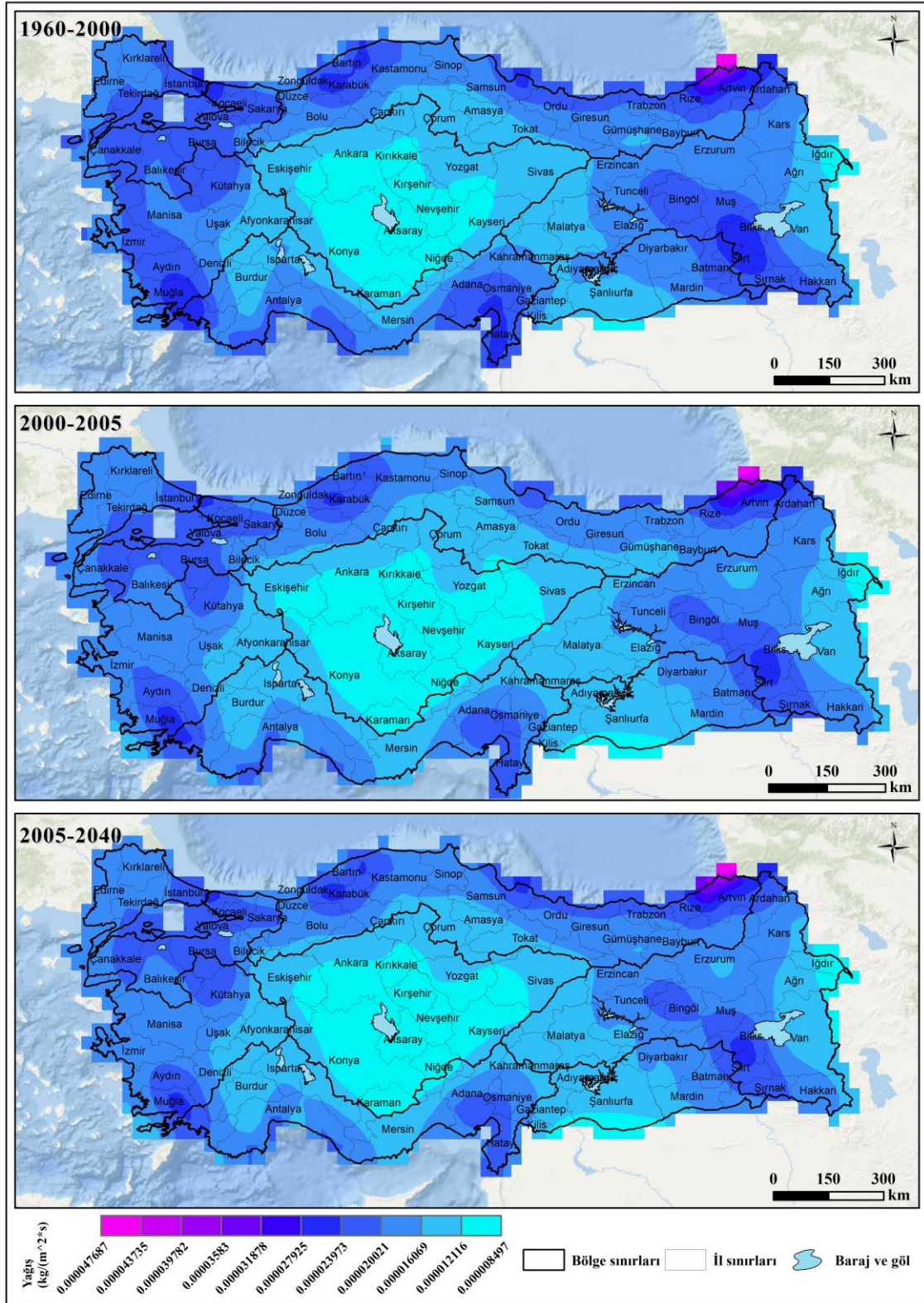
Tablo 4- Maksimum ve Minimum Sıcaklık Ortalamalarına ait Günümüz Ortalama Değerleri ve 2005-2040 Dönemi Modelleme Sonuçları (MGM, 2022c).

Table 4- Current Average Values of Maximum and Minimum Temperature Averages and Modeling Results for the Period 2005-2040 (MGM, 2022c).

İl	Maksimum Sıcaklık Ortalaması (°C)		Minimum Sıcaklık Ortalaması (°C)	
	Günümüz Ortalaması (MGM)	2005-2040 Modelleme Çıktısı	Günümüz Ortalaması (MGM)	2005-2040 Modelleme Çıktısı
Adana	25.4	26.2-28.5 Aralığı	13.9	14.6-16.9 Aralığı
İzmir	22.7	23.9-26.2 Aralığı	13.6	12.3-14.6 Aralığı
İstanbul	18.4	19.3-21.6 Aralığı	10.8	10.4-12.3 Aralığı
Samsun	18.3	19.3-21.6 Aralığı	11.1	10.4-12.3 Aralığı
Ankara	17.9	19.3-21.6 Aralığı	6.3	5.4-7.7 Aralığı
Erzurum	12	12.5-14.8 Aralığı	-0.5	0.8-3.1 Aralığı
Şanlıurfa	24.4	26.2-28.5 Aralığı	12.7	12.3-14.6 Aralığı



Şekil 2- Maksimum sıcaklık ortalamalarına ait 1960-2000, 2000-2005 ve 2005-2040 dönemleri model çıktıları.
Figure 2- Model outputs of maximum temperature averages for the periods 1960-2000, 2000-2005 and 2005-2040.



Şekil 3- Yağış tutarına ait 1960-2000, 2000-2005 ve 2005-2040 yılı model çıktıları.

Figure 3- Model outputs of precipitation amount for 1960-2000, 2000-2005 and 2005-2040.

4. SONUÇ

Araştırmada Türkiye için 1960-2000, 2000-2005 ve 2005-2040 dönemlerine ait maksimum, minimum sıcaklık ortalamaları ve yağış tutarları simüle edilmiş ve modellenmiştir. Model çıktıları 2005-2040 döneminin bugünkü ortalamalara göre; düşük sıcaklıkların daha az yaşandığı, sıcaklık ortalamalarında artışların görüldüğü ve ekstrem sıcaklıkların sıklığının arttığı bir zaman dilimi olacağını öngörmektedir. Sıcaklıklarda görülen yukarı yönlü bir trendin dışında maksimum sıcaklıklarda artış daha belirgindir. Dönemsel olarak değerlendirildiğinde, 1960-2000 ve 2000-2005 dönemlerinde sıcaklık artışlarının nispeten daha yumuşak olduğu söylenebilir. Dip ve zirve değerlerde artış her iki sıcaklık grubunda da bu yıllar arasında yaklaşık 0.7-0.8 °C’dir. Ancak 2005-2040 dönemindeki artış, 1960-2000 yılları arasının yaklaşık iki katıdır. Minimum sıcaklık ortalamalarına ait dip ve zirve değer artışları yaklaşık 1.3-1.4 °C; maksimum sıcaklık artışları ise 1.6-1.7 °C’dir. Bu durum yüksek sıcaklıkların daha fazla yaşanacağı anlamına gelmektedir. Artış, 2005-2040 dönemi model çıktıları ile günümüz maksimum ve minimum sıcaklık ortalamaları karşılaştırıldığında da açıkça görülmektedir. Maksimum sıcaklık ortalamalarında model çıktıları, MGM verilerine göre 1-3 °C daha yüksek değerlere sahiptir. Minimum sıcaklıklarda ise bu fark daha azdır. Akdeniz, Ege kıyıları ve Güneydoğu Anadolu maksimum sıcaklık ortalamaları karşılaştırmasında en fazla farka sahip alanlardır. Minimum sıcaklık ortalaması karşılaştırmasında ise Erzurum ili ve haritalarda bölge geneli artış tutarı ile dikkat çekmektedir. 2005-2040 dönemi model sonuçlarına göre Doğu Anadolu Bölgesi, minimum sıcaklık ortalaması artışlarından en fazla etkilenecek alanlar arasındadır.

Sıcaklıkların alansal dağılışında ise yüksek sıcaklıklara sahip alanların giderek genişlediği görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz ve Ege kıyılarında daha yüksek sıcaklıklar öngörülürken, düşük sıcaklıklara sahip alanlar büyük ölçüde daralmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi başta olmak üzere iç kesimler daha sıcak şartlara sahip olurken güney ve batı bölgelerinde uç sıcaklıkların artacağı tahmin edilmektedir. Güney Ege’de Akdeniz Bölgesi’ne yakın sıcaklık özelliklerinin görülmesi, İç Ege ve Marmara Bölgesi’nin sıcaklık artışından fazlaca etkilenmesi muhtemeldir.

Model çıktılarına ait yağış tutarları dikkate alındığında 1960-2000 döneminden 2005-2040 dönemine doğru minimum değerlerdeki azalış, kurak sahaların etki alanını genişleteceği anlamına gelmektedir. Maksimum yağış tutarlarında 1960-2000 döneminden 2000-2005’e doğru azalma ve 2005-2040 yılları arasında ise tekrar artış öngörülmektedir. Ancak artış 1960-2000 periyodunun maksimum yağış tutarlarına ulaşmamaktadır. Tüm Türkiye’nin yağış ortalaması düşünüldüğünde, artma ya da azalma yönünde belirgin bir trend mevcut değildir. 2005-2040 yılları arasında kurak sahalarda kuraklığın şiddetinin, nemli alanlarda ise yağışın miktarının artması öngörülmektedir. Özellikle İç Anadolu Bölgesi’nde az yağış alan kurak sahanın, 2005-2040 döneminde daha da genişlemesi olasıdır. Akdeniz ve Ege kıyıları, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu’nun yüksek kesimleri, Van ve Hakkâri çevresi yağış miktarlarında azalmaların görülebileceği alanlardandır. Tüm ülkede yüksek dağlık alanlar sıcaklık ortalamalarındaki artışa eşlik ederken, belirli oranda yağış alsalar dahi yağış miktarındaki azalmalardan etkilenmektedir. Doğu Karadeniz bölümü kısmen de olsa yağış miktarlarındaki değişimlerden olumlu yönde etkilenecektir. 2005-2040 periyodunda en yağışlı alanların bugünkü şartlara paralel olarak Doğu-Batı Karadeniz, Menteşe Yöresi, Doğu Marmara, Nur Dağları ve Doğu Anadolu Bölgesi’ndeki yükseltisi fazla dağlık alanlar olacağı öngörülmektedir.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye’nin içinde bulunduğu saha, küresel iklim değişikliğinden en fazla etkileneceği düşünülen bölgelerdendir. Tropikal günlerin sayısında artışların yaşanması, çoğu alanda yağış tutarlarında azalma, kış sıcaklıklarının yükselmesi, kısa sürede yaşanacak kuvvetli yağışlar ve daha kurak şartların egemen olduğu zaman dilimleri geleceğe yönelik öngörülerdir. Araştırmacılar, farklı yöntemlerle oluşturulmuş modeller ve geliştirilen senaryolar ile bu öngörülerini ortaya koymaktadır. Modeller elbette bilimsel çalışmaların son ürünüdür ancak bu çalışmada olduğu gibi 40 yıllık periyotlarda sıcaklık artışlarının ikiye katlanması, 2100 yılı ve sonrası için insanlık adına çok zorlu bir süreç ortaya koymaktadır. Atmosfer olaylarının kaotik yapısı ve iklim bileşenlerinin sayıca fazla oluşu gelecekteki değişimleri tahmin etmenin önündeki en büyük engellerdir. Ayrıca yaşanacak teknolojik gelişmelerle birlikte daha ılımlı bir artış sürecinin görülmesi muhtemeldir. Aksi takdirde Paris İklim Anlaşması’nın ve IPCC’nin öne sürdüğü sıcaklıklardaki artışın en fazla 2 °C ve 1.5 °C’de sınırlandırılması hedeflerinin gerçekleştirilmesi pek mümkün görünmemektedir. Türkiye için, bu araştırmada dahi 2005-2040 dönemi itibarıyla neredeyse bu artış değerlerine ulaşılmaktadır.

Literatürde yer alan benzer çalışmalar incelendiğinde, modellenen yıl aralıklarına göre bazı ortak özellikler ve farklılıklar mevcuttur. Bağçacı vd. (2021), 'Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey' adlı araştırmalarında CMIP6 ve CMIP5 projelerine ait modellerin sonuçlarını Türkiye özelinde karşılaştırmışlardır. Türkiye'nin de içinde yer aldığı Akdeniz havzası iklim değişimlerinden en fazla etkilenecek sıcak noktalardan biri olarak değerlendirilmektedir. Değişimlere karşı savunmasız alanlardandır. Havzaya ait şiddetli ısınma ve kuruma yaşanacağı, yağışların azalacağı dile getirilmektedir. Daha yüksek yaz sıcaklıkları ve ülke genelinde sıcaklık ortalamalarında artışlar yaşanacaktır. Makalenin bu çıktıları yapılan araştırma sonuçları ile örtüşmektedir. Ayrıca CMIP6'ya ait model sonuçlarının CMIP5 çıktılarına göre hem alınan genel iklim sinyalleri hem de özellikle yağış doğruluk istatistikleri açısından daha güvenilir verilere sahip olduğu dile getirilmektedir. Gorguner vd. (2019), CMIP5 projeksiyonlarını (RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına bağlı olarak) kullanarak iklim değişikliğinin Gediz Havzası'nın hidroklimatolojisi üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri çalışmalarında, ortalama sıcaklık artışlarına ve tarımsal sulama şartlarındaki güçleşmeye vurgu yapmaktadırlar. İklimsel parametrelerdeki değişimler, havzada ilerleyen yıllarda su varlıkları üzerinde önemli ölçüde tehdit oluşturacaktır. Seker ve Gumus (2022), CMIP6 projesi çoklu model topluluğu kullanarak Akdeniz Bölgesi'nde 2021-2100 dönemi sıcaklık ve yağış projeksiyonları oluşturmuşlardır. Araştırmada SSP2-4.5, SSP5-8.5 emisyon senaryoları kullanılmıştır. Bölge genelinde yağışlar SSP2-4.5'a göre %15, SSP5-8.5 senaryosuna göre ise %20 oranında azalacaktır. Sıcaklık artışları ise yine SSP2-4.5 için 1-2.2°C, SSP5-8.5 için ise 1.8-3.1°C arasında gerçekleşecektir. Yağış azalışlarının kıyı kesimlerde daha fazla hissedileceği, sıcaklık artışlarının ise yüksek alanlarda daha belirgin olacağı araştırmanın diğer sonuçlarından biridir. Türkeş ve Tolunay (2023), küresel iklim değişikliğinin orman yangınları üzerindeki etkilerini incelediği çalışmalarında, yaşanan emisyon salımlarının iklim elemanları üzerinde daha şiddetli anomalilerin oluşmasına sebep olduğunu dile getirmektedirler. Sıcaklık artışları ve daha kurak şartlar tüm Dünya'da olduğu gibi özellikle Akdeniz havzasında daha fazla yangınların yaşanmasına sebep olacaktır.

Sen vd. (2017), 'Türkiye'de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri' adlı çalışmalarında ECHAM5 modeli ve A2 senaryo simülasyonunu kullanarak 2070-2099 dönemi için yağış ve sıcaklık değişimlerini ortaya koymuşlardır. Çalışma nüfusun büyük ölçüde toplandığı Akdeniz, Ege ve Marmara kıyıları için daha az sıcaklık artışı ve daha fazla yağış azalışı öngörmektedir. Belirtilen sahalar ise genel olarak Türkiye'de iklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklık artışlarından en fazla etkilenebilecek alanlardır. Yağışlardaki azalış vurgusu ise yapılan çalışma ile paraleldir. Aynı çalışma içerisinde belirtilen Akdeniz iklimi şartlarının kıyı kuşağı boyunca kuzeye doğru ilerlemesi, Doğu Karadeniz'in kuraklık şartlarından daha az etkilenecek olması benzer çıktılar arasında yer almaktadır. Gürkan vd. (2016), 'ESM2M Modeli Temelinde RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Türkiye İçin Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları' adlı çalışmalarında sıcaklık şartlarında genel olarak RCP4.5 senaryosuna göre 1.5 °C, RCP8.5'e göre ise 2.5 °C artış olacağı, yağışların ise azalacağı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca Türkiye'nin sahip olduğu coğrafi şartların çeşitliliği sebebiyle bu değişimlerin yöreden yöreye farklılık gösterebileceğini dile getirmişlerdir. Sıcaklık ortalamalarındaki artış trendi ve miktarı yapılan çalışma ile uyumludur. Ancak bu çalışma tüm Türkiye dikkate alındığında, yağış eğilimlerinin analiz edilen bütün dönemler için hemen hemen benzer olduğu ve kuvvetli bir trendin olmadığı sonucunu ortaya koymaktadır. Bu durum yapılan araştırmanın yukarıda bahsedilen çalışma ile farklı yönünü ortaya koyarken, yağışın kısmen arttığı (Doğu Karadeniz) ve azaldığı (İç Anadolu Bölgesi, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Ege kıyıları gibi) alanlar açısından benzerlik göstermektedir. Öztürk vd., (2015), Akdeniz havzasında gelecek yıllarda (2070-2100) yaşanması muhtemel iklimsel değişimleri inceledikleri araştırmalarında; sıcaklık ortalamalarındaki genel artışın dışında yaz mevsiminde artışların ve değişkenliğin daha belirgin olacağı, şiddetli yağış ve yüksek sıcaklık olaylarının daha sık yaşanacağı, yağış tutarlarının havzanın her yerinde ve her mevsimde azalacağı üzerinde durmaktadırlar. Benzer şekilde Turp vd., (2014), Türkiye ve çevresinde yakın gelecekte (2020-2050) sıcaklık ve yağış özelliklerinde öngörülen değişiklikleri inceledikleri çalışmalarında, sıcaklık artışlarının sıcak mevsimlerde daha belirgin olacağını, yağış azalışlarının Akdeniz iklim bölgelerinde tüm mevsimlerde görüleceğini dile getirmişlerdir.

Araştırmalarda kullanılan model-senaryo ve hedeflenen yıl aralıklarına göre ufak farklılıklar olsa da her model daha kurak şartlara doğru ilerlendiğini göstermektedir. Bu bilimsel sonuçlar ışığında, ülke olarak küresel iklim değişikliği ile ilgili uyum çalışmalarına hız verilmesi gerekir.

Çıkar Çatışması / <i>Conflict of Interest</i>	Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. <i>The authors declared no conflict of interest</i>
Finansal Destek / <i>Funding conditions</i>	Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmiştir. <i>The authors declared that this study has received no financial support</i>
Yazar Katkıları/Author Contributions	Yazarlar/Authors
Çalışmanın içeriği ve tasarımı/ <i>Conception/Design of Study</i>	O. Canbulat – M. Coşkun – H. Şahiner
Metodoloji / <i>Methodology</i>	A. Öztürk – E. Taşoğlu – F. Toprak
Veri toplama-oluşturma-iyileştirme / <i>Data Curation</i>	O. Canbulat
Analiz/ <i>Analysis and interpretation of data</i>	A. Öztürk – O. Canbulat
Görselleştirme / <i>Visualization</i>	A. Öztürk – E. Taşoğlu
Yazı taslağı / <i>Writing - Original Draft</i>	O. Canbulat – A. Öztürk
Yazma - İnceleme ve Düzenleme / <i>Writing - Review & Editing</i>	M. Coşkun – H. Şahiner
Proje yönetimi / <i>Project administration</i>	O. Canbulat – F. Toprak

REFERANSLAR

- Akçakaya, A., Atay, H., ve Demir, Ö. (2013). İklim Değişikliği Senaryolarında Yeni Dönem: Paralel Yaklaşım ve Temsili Konsantrasyon Rotaları. *6th Atmospheric Science Symposium - ATMOS. 3 - 5 Haziran 2013, İstanbul*. İstanbul.
- Alexeeff, S. E., Nychka, D., Sain, S. R., ve Tebaldi, C. (2018). Emulating mean patterns and variability of temperature across and within scenarios in anthropogenic climate change experiments. *Climatic Change*, 146(3–4), 319–333. <https://doi.org/10.1007/S10584-016-1809-8/FIGURES/3>
- Alonso, A., Muñoz-Carpena, R., Kennedy, R. E., ve Murcia, C. (2016). Wetland landscape spatio-temporal degradation dynamics using the new google earth engine cloud-based platform: Opportunities for non-specialists in remote sensing. *Transactions of the ASABE*, 59(5), 1333–1344. <https://doi.org/10.13031/trans.59.11608>
- Anderson, L. S., Flowers, G. E., Jarosch, A. H., Aðalgeirsdóttir, G. T., Geirsdóttir, Á., Miller, G. H., ... Pálsson, F. (2018). Holocene glacier and climate variations in Vestfirðir, Iceland, from the modeling of Drangajökull ice cap. *Quaternary Science Reviews*, 190, 39–56. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2018.04.024>
- Badino, F., Ravazzi, C., Vallè, F., Pini, R., Aceti, A., Brunetti, M., ... Orombelli, G. (2018). 8800 years of high-altitude vegetation and climate history at the Rutor Glacier forefield, Italian Alps. Evidence of middle Holocene timberline rise and glacier contraction. *Quaternary Science Reviews*, 185, 41–68. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2018.01.022>
- Bağçacı, S. Ç., Yucel, I., Duzenli, E., ve Yılmaz, M. T. (2021). Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey. *Atmospheric Research*, 256, 105576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105576>
- Bala, G. (2013). Digesting 400 ppm for global mean CO 2 concentration Conserving the endangered Mahseers (Tor spp .) of India : the positive role of recreational fisheries. *Current Science*, 104(11), 1471.
- Böhringer, C. (2003). The Kyoto Protocol: A Review and Perspectives. *Oxford Review of Economic Policy*, 19(3), 451–466. <https://doi.org/10.1093/OXREP/19.3.451>
- Carbonbrief. (2023). Timeline History of Climate Modelling. 4 Nisan 2023 tarihinde adresinden erişildi <https://www.carbonbrief.org/timeline-history-climate-modelling/>
- Chen, B., Xiao, X., Li, X., Pan, L., Doughty, R., Ma, J., ... Giri, C. (2017). A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 131, 104–120. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.011>
- Coşkun, M. (2022). İklim değişimleri, küresel ısınma ve Türkiye. S. Doğanay ile M. Alım (Editör). Türkiye'nin Fiziki Coğrafyası içinde (ss. 322-351). Ankara: Pegem Akademi.
- Crowley, T. J., ve Berner, R. A. (2001). CO2 and Climate Change. *Science*, 292(5518), 870–872. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1061664>
- Daloz, A. S., Schwingshackl, C., Mooney, P., Strada, S., Rechid, D., Davin, E. L., ... Lund, M. T. (2022). Land-atmosphere interactions in sub-polar and alpine climates in the CORDEX flagship pilot study Land Use and

- Climate Across Scales (LUCAS) models-Part 1: Evaluation of the snow-albedo effect. *Cryosphere*, 16(6), 2403–2419. <https://doi.org/10.5194/TC-16-2403-2022>
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Arabacı, H., ve Coşkun, M. (2017). Climate Change Projections for Turkey: Three Models and Two Scenarios. *Türkiye Su Bilimi ve Yönetimi Dergisi*, 1(1), 22–43. <https://doi.org/10.31807/TJWSM.297183>
- ESRI (2023) What is ArcMap? 8 Mart 2023 tarihinde <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm> adresinden erişildi.
- Eyring, V., Cox, P. M., Flato, G. M., Gleckler, P. J., Abramowitz, G., Caldwell, P., ... Williamson, M. S. (2019). Taking climate model evaluation to the next level. *Nature Climate Change* 2019 9:2, 9(2), 102–110. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0355-y>
- Field, C. B., Lobell, D. B., Peters, H. A., ve Chiariello, N. R. (2007). Feedbacks of Terrestrial Ecosystems to Climate Change*. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.053006.141119>, 32, 1–29. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ENERGY.32.053006.141119>
- Gao, Y., Gao, X., ve Zhang, X. (2017). The 2 °C Global Temperature Target and the Evolution of the Long-Term Goal of Addressing Climate Change—From the United Nations Framework Convention on Climate Change to the Paris Agreement. *Engineering*, 3(2), 272–278. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.01.022>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., ve Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Gorguner, M., Kavvas, M. L., ve Ishida, K. (2019). Assessing the impacts of future climate change on the hydroclimatology of the Gediz Basin in Turkey by using dynamically downscaled CMIP5 projections. *Science of The Total Environment*, 648, 481–499. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.167>
- Gürkan, H., Arabacı, H., Mesut, D., Osman, E., Şensoy, S., ve Yazıcı, B. (2016). GFDL-ESM2M Modeli Temelinde RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Türkiye İçin Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 14(2), 77–88.
- Hao, B., Ma, M., Li, S., Li, Q., Hao, D., Huang, J., ... Han, X. (2019). Land use change and climate variation in the three gorges reservoir catchment from 2000 to 2015 based on the google earth engine. *Sensors (Switzerland)*, 19(9). <https://doi.org/10.3390/s19092118>
- Hoffmann, D. (2009). Black Body. *Compendium of Quantum Physics*, 36–39. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70626-7_13
- Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., ... Zhu, Z. (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 202, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.02.021>
- Hungate, B. A., Dukes, J. S., Shaw, M. R., Luo, Y., ve Field, C. B. (2003). Nitrogen and Climate Change. *Science*, 302(5650), 1512–1513. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1091390/SUPPL_FILE/HUNGATE.SOM.PDF
- IPCC. (2023). IPCC AR6 Sentez Raporu. Tarihinde adresinden erişildi <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- Johnson, R. J., Sánchez-Lozada, L. G., Newman, L. S., Lanaspá, M. A., Diaz, H. F., Lemery, J., ... Roncal-Jimenez, C. A. (2019). Climate Change and the Kidney. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 74(3), 38–44. <https://doi.org/10.1159/000500344>
- Jubb, I., Canadell, P., ve Dix, M. (2013). *Representative Concentration Pathways*. Australian Government, Department of the Environment.
- Kelm, M. (1999). Nitric oxide metabolism and breakdown. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1411(2–3), 273–289. [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(99\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(99)00020-1)
- Kemp, L., Xu, C., Depledge, J., Ebi, K. L., Gibbins, G., Kohler, T. A., ... Lenton, T. M. (2022). Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(34), e2108146119. https://doi.org/10.1073/PNAS.2108146119/SUPPL_FILE/PNAS.2108146119.SAPP.PDF
- Kivi, R., ve Heikkinen, P. (2016). Fourier transform spectrometer measurements of column CO₂ at Sodankylä, Finland. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 5(2), 271–279. <https://doi.org/10.5194/GI-5-271-2016>

- Kozun, Y. S., Kazeev, K. S., ve Kolesnikov, S. I. (2022). Climate Effect on the Enzymatic Activity of Northern Caucasian Forest Soils. *Contemporary Problems of Ecology*, 15(7), 759–764. <https://doi.org/10.1134/S1995425522070162>
- Kumar, L., ve Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., ... Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABEE4E>
- Liang, S., Wang, D., He, T., ve Yu, Y. (2019). Remote sensing of earth's energy budget: synthesis and review. <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1597189>, 12(7), 737–780. <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1597189>
- Manabe, S. (2019). Role of greenhouse gas in climate change. *New pub: Stockholm uni Press*, 71(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/16000870.2019.1620078>
- Mansouri Daneshvar, M. R., Ebrahimi, M., ve Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research 2019 8:1*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/S40068-019-0135-3>
- Maria, C., Góis, J., ve Leitão, A. (2020). Challenges and perspectives of greenhouse gases emissions from municipal solid waste management in Angola. *Energy Reports*, 6, 364–369. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2019.08.074>
- Martin, C., Ménot, G., Thouveny, N., Peyron, O., Andrieu-Ponel, V., Montade, V., ... Bard, E. (2020). Early Holocene Thermal Maximum recorded by branched tetraethers and pollen in Western Europe (Massif Central, France). *Quaternary Science Reviews*, 228, 106109. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2019.106109>
- Meehl, G. A., Covey, C., McAvaney, B., Latif, M., ve Stouffer, R. J. (2005). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(1), 89–93. <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-1-89>
- Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J.-F., ... van Vuuren, D. P. P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109(1), 213. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>
- Meysignac, B., Boyer, T., Zhao, Z., Hakuba, M. Z., Landerer, F. W., Stammer, D., ... Zilberman, N. (2019). Measuring global ocean heat content to estimate the earth energy imbalance. *Frontiers in Marine Science*, 6(JUL), 432. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2019.00432/BIBTEX>
- MGM (2022a). IPCC İklim Değişikliği Senaryoları ve Tarihsel Gelişimi. 16 Ekim 2022 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=senaryolar> adresinden erişildi.
- MGM (2022b). Küresel İklim Modellemesi. 16 Ekim 2022 tarihinde, <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=kuresel> adresinden erişildi.
- MGM (2022c). İllere Ait Mevsim Normalleri (1991-2020). 30 Aralık 2022 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m> adresinden erişildi.
- Montzka, S. A., Dlugokencky, E. J., ve Butler, J. H. (2011). Non-CO2 greenhouse gases and climate change. *Nature*, 476(7358), 43–50. <https://doi.org/10.1038/nature10322>
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., ... Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Muir, J. (1999). Nitrogen oxides (NOx), Why and How They are Controlled. *EPA*.
- Mutanga, O., ve Kumar, L. (2019). Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing*, C. 11. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- NASA (2022, Kasım 4) *NEX-GDDP: NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections*. Kasım 4, 2022 tarihinde https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_NEX-GDDP#bands adresinden erişildi.
- NOAA. (2023). The First Climate Model. 4 Nisan 2023 tarihinde adresinden erişildi https://celebrating200years.noaa.gov/breakthroughs/climate_model/welcome.html#vision

- Önol, B., Bozkurt, D., Turuncoglu, U. U., Sen, O. L., ve Dalfes, H. N. (2014). Evaluation of the twenty-first century RCM simulations driven by multiple GCMs over the Eastern Mediterranean–Black Sea region. *Climate Dynamics*, 42(7), 1949–1965. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1966-7>
- Öztürk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M., ve Kurnaz, M. L. (2015). Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology*, 35(14), 4276–4292. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.4285>
- Padarian, J., Minasny, B., ve McBratney, A. B. (2015). Using Google’s cloud-based platform for digital soil mapping. *Computers and Geosciences*, 83, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.06.023>
- Pedersen, J. S. T., Duarte Santos, F., van Vuuren, D., Gupta, J., Encarnaçao Coelho, R., Aparicio, B. A., ve Swart, R. (2021). An assessment of the performance of scenarios against historical global emissions for IPCC reports. *Global Environmental Change*, 66, 102199. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2020.102199>
- Rosenthal, Y., Kalansky, J., Morley, A., ve Linsley, B. (2017). A paleo-perspective on ocean heat content: Lessons from the Holocene and Common Era. *Quaternary Science Reviews*, 155, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2016.10.017>
- Sandén, B. A., ve Karlström, M. (2007). Positive and negative feedback in consequential life-cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 15(15), 1469–1481. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2006.03.005>
- Seker, M., ve Gumus, V. (2022). Projection of temperature and precipitation in the Mediterranean region through multi-model ensemble from CMIP6. *Atmospheric Research*, 280, 106440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106440>
- Sen, O., Bozkurt, D., Göktürk, O. M., Dündar, B., Altürk, B., Üniversitesi, S., ... Enstitüsü, B. (2017). *Türkiye’de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri*.
- Seo, S. N. (2017). Beyond the Paris Agreement: Climate change policy negotiations and future directions. *Regional Science Policy & Practice*, 9(2), 121–140. <https://doi.org/10.1111/RSP3.12090>
- Shallcross, D. E., ve Harrison, T. G. (2007). Climate change made simple. *Physics Education*, 42(6), 592. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/42/6/005>
- Singh, J., Schädler, M., Demetrio, W., Brown, G. G., ve Eisenhauer, N. (2019). Climate change effects on earthworms - a review. *Soil organisms*, 91(3), 114. <https://doi.org/10.25674/SO91ISS3PP114>
- Stips, A., MacIas, D., Coughlan, C., Garcia-Gorritz, E., ve Liang, X. S. (2016). On the causal structure between CO2 and global temperature. *Scientific Reports 2016 6:1*, 6(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep21691>
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., ve Brisco, B. (2020a). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164(January), 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., ve Brisco, B. (2020b). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Tayanç, M., İm, U., Doğruel, M., ve Karaca, M. (2009). Climate change in Turkey for the last half century. *Climatic Change*, 94(3–4), 483–502. <https://doi.org/10.1007/S10584-008-9511-0/METRICS>
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., ve Meehl, G. A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- Taylor, P. C., Hegyi, B. M., Boeke, R. C., ve Boisvert, L. N. (2018). On the Increasing Importance of Air-Sea Exchanges in a Thawing Arctic: A Review. *Atmosphere*, 9(2), 41. <https://doi.org/10.3390/ATMOS9020041>
- Thrasher, B., Maurer, E. P., McKellar, C., ve Duffy, P. B. (2012). Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3309–3314. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3309-2012>
- Türkeş, M., ve Tolunay, D. (2023). *İklim Değişikliği ve Orman Yangınları*.
- Turp, M. T., Türkeş, M., Kurnaz, M. L., ve Öztürk, T. (2014). RegCM4.3.5 Bölgesel İklim Modelini Kullanarak Türkiye ve Çevresi Bölgelerin Yakın Gelecekteki Hava Sıcaklığı ve Yağış Klimatolojileri İçin Öngörülen Değişikliklerin İncelenmesi. *Aegean Geographical Journal*, 23(1), 1–24.
- UN. (2022). United Nations Office for Outer Space Affairs UN-SPIDER Knowledge Portal. 07 Aralık 2021 tarihinde, <https://www.un-spider.org/links-and-resources/gis-rs-software/google-earth-engine-google> adresinden erişildi

- Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., ... Ollat, N. (2019). An Update on the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations. *Agronomy 2019*, Vol. 9, Page 514, 9(9), 514. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY9090514>
- Xiao, X., Yao, A., Hillman, A., Shen, J., ve Haberle, S. G. (2020). Vegetation, climate and human impact since 20 ka in central Yunnan Province based on high-resolution pollen and charcoal records from Dianchi, southwestern China. *Quaternary Science Reviews*, 236, 106297. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2020.106297>
- Xiong, J., Thenkabail, P. S., Tilton, J. C., Gumma, M. K., Teluguntla, P., Oliphant, A., ... Gorelick, N. (2017). Nominal 30-m cropland extent map of continental Africa by integrating pixel-based and object-based algorithms using Sentinel-2 and Landsat-8 data on google earth engine. *Remote Sensing*, 9(10), 1–27. <https://doi.org/10.3390/rs9101065>
- Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., ve Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of google earth and google earth engine. *Remote Sensing*, 13(18), 1–21. <https://doi.org/10.3390/rs13183778>

