



## RegCM4.3.5 BÖLGESEL İKLİM MODELİNİ KULLANARAK TÜRKİYE VE ÇEVRESİ BÖLGELERİN YAKIN GELECEKTEKİ HAVA SICAKLIĞI VE YAĞIŞ KLİMATOLOJİLERİ İÇİN ÖNGÖRÜLEN DEĞİŞİKLİKLERİN İNCELENMESİ

*Investigation of Projected Changes for Near Future Air Temperature and Precipitation Climatology of Turkey and Surrounding Regions by Using the Regional Climate Model RegCM4.3.5*

M. Tufan TURP<sup>1</sup>, Tuğba ÖZTÜRK<sup>2,4</sup>, Murat TÜRKES<sup>3,\*</sup>, M. Levent KURNAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, Bilimleri Çevre Bölümü 34342, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Boğaziçi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü 34342, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü Bağlantılı Ankara

<sup>4</sup>Fizik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Işık Üniversitesi, 34980, İstanbul, Türkiye

### Abstract

In this study, projected future changes for the period of 2020 – 2050 in mean air temperature and precipitation climatology and year-to-year variability with respect to the control period of 1970 – 2000 were investigated for the domain of Turkey via regional climate model simulations. In order to investigate the projected changes in near future climate conditions, Regional Climate Model (RegCM4.3.5) of ICTP (International Centre for Theoretical Physics) was driven by three different global climate models. HadGEM2 global climate model of the Met Office Hadley Centre, MPI-ESM-MR global climate model of the Max Planck Institute for Meteorology, GFDL-ESM2M global climate model of the National Oceanic and Atmospheric Administration Geophysical Fluid Dynamics Laboratory were dynamically downscaled to 50 km for Turkey and its surrounding region. The projections were performed based on the RCP4.5 and the RCP8.5 emission scenarios of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). According to the model results, there will be an increase between 0.5 °C and 4 °C in mean air temperatures of Turkey for the period of 2020 – 2050 with respect to the period of 1970 – 2000. This warming will be more severe in warm seasons than cold seasons. Precipitation decreases varying from approximately 0.4 mm/day to 1.2 mm/day in precipitation climatology of Turkey are expected to occur in all seasons particularly over the southern and western regions of the country dominated by the Mediterranean climate, according to the regional climate model results.

**Keywords:** Turkey, climate change, emission scenarios, regional climate model simulation, future climate projections.

\* İletişim yazarı: M. Türkeş, comu.muratturkes@gmail.com

## Öz

Bu çalışmada 1970 – 2000 referans dönemi iklimine göre 2020 – 2050 dönemi için Türkiye'nin ortalama hava sıcaklığı ve yağış klimatolojilerinde öngörülen değişiklikler, bölgesel iklim modeli benzetimleri kullanılarak araştırıldı. Yakın gelecekteki iklim koşullarında öngörülen değişimleri incelemek için Uluslararası Teorik Fizik Merkezi'ne ait olan RegCM4.3.5 isimli bölgesel iklim modeli üç farklı küresel modelden yararlanılarak koşullandı. Max Planck Meteoroloji Enstitüsü'ne ait MPI-ESM-MR, Met Office Hadley Merkezi'ne ait HadGEM2 ve Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi Jeofiziksel Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı'na ait GFDL-ESM2M modelleri Türkiye ve çevresi için dinamik olarak 50 km'ye alt ölçeklendirildi. Öngörüler, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryolarına göre gerçekleştirildi. Model sonuçlarına göre, Türkiye'de ortalama hava sıcaklıklarında 1970 – 2000 dönemine göre 2020 – 2050 döneminde 0.5 °C ile 4 °C arasında değişen artışlar olacaktır. Bu artış, sıcak mevsimlerde soğuk mevsimlere göre daha fazla olacaktır. Türkiye'nin yağış klimatolojisinde ise, bölgesel iklim modeli sonuçlarına göre, özellikle ülkenin Akdeniz ikliminin egemen olduğu batı ve güney bölgelerinde ve tüm mevsimlerde, yaklaşık 0.4 mm/gün ile 1.2 mm/gün arasında değişen belirgin yağış azalışlarının oluşması beklenir.

**Anahtar kelimeler:** *Türkiye, iklim değişikliği, salım senaryoları, bölgesel iklim modeli benzetimi, gelecek iklim kestirimi.*

## 1. Giriş

İlk olarak 19.yüzyılın ilk yarısında Fransız bilim insanı Jean-Baptiste Fourier tarafından ortaya konulan sera etkisi kavramı, aynı yüzyılın sonlarında İsveçli bilim insanı Svante Arrhenius'un atmosferdeki karbondioksit (CO<sub>2</sub>) tutarı ile sıcaklık arasındaki anlamlı ilişkiyi gözler önüne seren çalışmasıyla güçlenmiştir. Sanayi Devrimi ile birlikte küresel ölçekte kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların kullanımındaki artışın neticesinde, atmosferdeki CO<sub>2</sub> tutarında gerçekleşen önemli artış eğilimi, Yerküre'nin ortalama yüzey sıcaklığında yükselmeye ve buna bağlı olarak dünyanın farklı yerlerinde farklı biçimde gözlemlenen iklim değişikliğine neden olmaktadır. 1979 yılında dünyanın en önemli çevre sorunu olarak görülen fosil yakıt kullanımına bağlı karbondioksit salımı (Nature, 1979), o yıldan günümüze artan bir şiddetle önemini korumuş ve 21. yüzyılın da en önemli çevresel tehdidi olmuştur. İklim değişikliği ve küresel ısınma ise, günümüzde sadece bir çevresel risk olmaktan çıkmış; sağlık, tarım, orman, su kaynakları, kıyı alanları ve diğer doğal alanlar da dahil olmak üzere birçok farklı yerde etkisini göstererek, yalnız insanlık için değil tüm canlı türleri için farklı türde ciddi kayıplara mal olan yıkımların ana sebebi olmuştur. Sera gazları içerisinde en önemlisi olan karbondioksitin atmosferdeki tutarı Sanayi

Devrimi dönemindeki 280 ppm (milyonda parçacık) değerinden hızla artan bir ivmeyle günümüzde 400 ppm seviyelerine kadar ulaşmıştır ve hızla artma eğilimindedir.

İklim değişikliği, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (BMİDÇS) “karşılaştırılabilir bir zaman döneminde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik” olarak tanımlanır (UNEP/WMO 1995'e göre Türkeş 2008'ten). En güncel bilimsel, teknik ve sosyoekonomik bilgileri, çok sayıda bilim insanının katılımıyla, düzenli aralıklarla değerlendirerek raporlar halinde yayımlayan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC), 2013 yılı sonunda açıkladığı AR-5 Birinci Çalışma Grubu Raporu'nda (IPCC, 2013), iklim sisteminin şüphe götürmeyecek şekilde ısındığı; 20. yüzyılın ortalarından bu yana ortalama yüzey sıcaklıklarında gözlenen artışın yarısından fazlasının insan kaynaklı sera gazı salımlarındaki artıştan ve yine insan kaynaklı diğer zorlamalardan kaynaklandığının çok çok mümkün olduğu (en az % 95 güvenilirlik düzeyinde) ve bu bulgunun, 2007 yılında yayımlanan IPCC Dördüncü Değerlendirme Raporu'na (AR-4) göre daha güçlü ve somut kanıtlara dayandığı belirtilmektedir. Bir başka deyişle son rapor, AR-4 ile

karşılaştırıldığında, insanın iklim üzerindeki tüm etkilerini dikkate almış ve insan etkisinin kantlarını AR-4'e göre artırarak, 20'nci yüzyılın ortalarından beri gözlenen ısınmanın ana nedeninin çok yüksek olasılıkla insan olduğunu açık bir biçimde vurgulamıştır (Türkeş, 2013a).

IPCC AR-5'e göre, iklim sistemimizdeki ısınma kesindir ve 1950'li yıllardan itibaren uzun yıllarca emsali görülmemiş iklimsel değişiklikler gözlemlenmektedir. Bu dönem boyunca atmosfer ve okyanus ısınmış, kar ve buz tutarları azalmış, deniz seviyesi yükselmiş ve sera gazlarının konsantrasyonu artmıştır. Kuzey Yarım Küre'de 1983 – 2012 yılları arasındaki 30 yıllık dönem muhtemelen son 1400 yılın en sıcak 30 yıllık dönemi olmuştur. Küresel ortalama yüzey sıcaklığı 1901 – 2012 yılları arasında 0.89 °C artış göstermiştir ve neredeyse yerkürenin tamamı ısınmıştır. Ayrıca 1950'li yıllardan beri aşırı iklim olaylarında da değişiklikler gözlemlenmiştir. Örneğin; küresel ölçekte soğuk gün ve gecelerin sayısında azalma görülürken sıcak gün ve gece sayılarında artış görülmektedir. Avrupa, Asya ve Avrupa'nın birçok bölgesinde sıcak hava dalgalarının görülme sıklığı artmış, şiddetli yağmur olaylarının gerçekleşme sayısı fazlaşmış ve özellikle Kuzey Amerika ve Avrupa'da kuvvetli yağışların sıklığı veya yoğunluğu artmıştır. Okyanuslar ısınmaktadır ve küresel ortalama deniz seviyesi 1901 ila 2010 yılları arasında 19 cm yükselmiştir. Son 20 yılda Grönland ve Antarktik buz örtüsü kütle kaybı yaşamış, bütün dünyada buzullar küçülmüştür. Atmosferdeki karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) gazlarının oranları en az son 800,000 yılda hiç görülmemiş biçimde yüksek seviyelere ulaşmıştır. Sera gazları 1951 – 2010 yılları arasında küresel ortalama yüzey sıcaklıklarının artışına 0.5 °C ila 1.3 °C arasında bir katkıda bulunmuştur. Birincil olarak fosil yakıt kullanımından ve ikincil olarak da net arazi kullanımı değişikliğinden kaynaklanan karbondioksit salımları, sanayi öncesi döneme göre %40 oranında artmıştır. Bunun yanı sıra, insan kaynaklı karbondioksit salımının %30'u okyanuslar tarafından emilerek okyanuslarda asitleşmeye neden olmuştur (IPCC, 2013; Türkeş, 2013a).

Tüm bu bilgiler ışığında iklim değişikliğinin klimatolojik, hidrolojik, biyolojik ve sosyal afetlere doğrudan ve dolaylı bağlantıları göz önüne alındığında, gelecekteki iklim koşullarını öngörerek olası iklim koşulları hakkında bilgi veren çalışmalar hayati önem kazanmaktadır. Çok sayıda değişken, döngü, süreç ve etkileşimi bir arada barındırdığından oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan iklim sistemi, bu bağlamda modelleme açısından da oldukça geniş ve zor bir problemdir. Bu problemin zorluğunu artıran bir diğer etmen de, insanoğlunun davranışlarının gelecek açısından kestirilmesinin güç ve karmaşık olmasıdır. Bu yüzden, iklim değişikliği alanında yapılan çalışmalarda insanoğlunun olası davranış biçimleri açısından değişik senaryolar dikkate alınarak çalışmaların güvenilirliği artırılmaktadır.

IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporu'na göre iklim sistemi üzerindeki insan etkisi aşıkardır ve sera gazı salımlarının devam etmesi daha fazla ısınmaya sebep verecektir ve iklim değişikliğinin tüm bileşenlerinde değişikliğe neden olacaktır. Bu sebeple iklim değişikliğinin kısıtlanması sera gazı salımlarının azımsanmayacak seviyede ve sürekli olarak azaltılmasını gerektirmektedir (IPCC 2013, Türkeş, 2012, 2013a).

IPCC'nin son raporunda kullandığı yeni senaryo setlerine (Temsili Konsantrasyon Yolu –RCP) (Van Vuuren ve ark., 2011, Meinshausen ve ark., 2011) göre, iklimde gerçekleşmesi beklenen değişiklikler, bu senaryolar arasındaki farklılıkların da hesaba katılmasıyla büyüklük ve desenler açısından Dördüncü Değerlendirme Raporu ile benzeşmektedir (IPCC, 2013; Türkeş, 2013a). Son rapora göre, küresel yüzey sıcaklığında RCP2.6 senaryosu dışındaki diğer senaryo setleri (RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5) açısından bu yüzyılın sonuna kadar 1850 – 1900 dönemine kıyasla olasılıkla 1.5 °C'yi aşan bir artış öngörülmektedir. Sadece RCP6.0 ve RCP8.5 senaryoları dikkate alındığında 21. yüzyılın sonuna kadar olasılıkla 2 °C'yi aşan bir ısınma beklenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre ise daha yüksek olasılıkla 2 °C'yi aşmayacaktır. Küresel ısınma, RCP2.6 dışındaki tüm senaryolara dayanarak yapılan öngöründe 2100 yılı sonrasında da devam edecektir. Isınma, yıllar arası değişkenlikten on yıllık değişkenliğe kadar değişkenlikler sergilemeyi sürdürecektir ve bölgesel

türdeşlik göstermeyecektir. Söz konusu rapora göre 2016 – 2035 dönemindeki küresel ortalama yüzey sıcaklığı artışı, 1986 – 2005 dönemine göre olasılıkla 0.3 – 0.7 °C aralığında olacaktır. Doğal içsel değişkenlik açısından, mevsimlik ortalama ve yıllık ortalama sıcaklıklarında gerçekleşen kısa süreli artışların, yüksek güvenilirlikle orta enlemlerdeki kıyasla tropikal ve subtropikal kuşaklarda daha yüksek olması öngörülmektedir.

Genelde Türkiye'nin batı ve güney kesimlerinde etkin olan yazı kurak subtropikal Akdeniz ikliminin en belirgin özelliği, hem mevsimselliğin hem de yıllar arası (yıldan yıla ve daha uzun dönemli) değişkenliğin çok fazla olmasıdır (Türkeş, 2010). Yazı kurak subtropikal Akdeniz iklimine ait bu özellik, sık seyreden uzun dönemli kuraklıklarla ve kısa dönemli şiddetli yağışlarla açıklanmaktadır (Tatlı ve Türkeş, 2011). Büyük Akdeniz iklimi, Türkiye'nin yanı sıra Akdeniz havzasına komşu olan Portekiz, İspanya, kuzeybatı Afrika kıyıları, Fransa, İtalya, Yunanistan, Lübnan ve İsrail'de de hakim iklimdir (Türkeş ve ark., 2011). Akdeniz Havzası için hem gözlem verilerine hem de çeşitli sera gazı salım senaryolarına dayalı küresel ve bölgesel iklim modelleri benzeştirilerek yapılan iklim değişimi ve değişkenliği ile ilgili yapılan çalışmalar, Akdeniz Havzası'nın gelecekte iklim değişikliğinden olumsuz etkileneceğini göstermektedir (ör. IPCC, 2013; Önel ve Semazzi, 2009; Trigo ve ark., 2006; Öztürk ve ark., 2013; Sen ve ark., 2012; Türkeş, 2012, 2013b; Türkeş ve ark., 2011, vb.).

Bu nedenle, bu çalışmada, RegCM4.3.5 bölgesel iklim modeli; MPI-ESM-MR, HadGEM2 ve GFDL-ESM2M küresel iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryolarının çıktılarından yararlanılarak ve dinamik alt ölçeklendirme yoluyla 50 km çözünürlükte koşularak Doğu Akdeniz Havzası, Türkiye ve çevresinde 1970 – 2000 dönemine göre gelecek 2020 – 2050 döneminde olasılıkla gerçekleşecek ortalama hava sıcaklığı ve yağış değişikliklerinin ortaya konulması amaçlandı. Yapılan bu çalışma, Türkiye ve çevresi için iki farklı gelecek senaryosunu dikkate alarak üç farklı küresel model çıktısını kullanması açısından da bir ilk olma özelliğini taşımaktadır.

## 2. Veri ve Metodoloji

Bu çalışma RegCM4.3.5 olarak adlandırılan bölgesel iklim modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. RegCM4.3.5 Abdus Salam Uluslararası Teorik Fizik Merkezi (The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics) tarafından yazılmış hidrostatik bir bölgesel iklim modelidir. RegCM4.3.5 bölgesel iklim modelinin dinamik yapısı, Pennsylvania Devlet Üniversitesi'nin Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi'nin (National Center for Atmospheric Research (NCAR) of the Pennsylvania State University) MM5 (Grell ve ark., 1994) adı verilen orta ölçekli modelinin hidrostatik versiyonunu içermektedir. Yüzeyle ilgili işlemler için BATS1E (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme) (Dickinson ve ark., 1993) modeli kullanılmakta ve aynı şekilde Community Land Model (CLM)'in 3.5 versiyonu da seçenek olarak kodun dinamik yapısında yer almaktadır. RegCM4.3.5 bölgesel iklim modelinde ışınımsal transfer NCAR Community Climate Model, sürüm CCM3 (Kiehl, 1996) radyasyon paketi kullanılarak modellenmiştir. Güneş ışınımı transferi δ-Eddington (Kiehl, 1996) yaklaşımı ile modellenmiştir. Modelin bulut ışınımı kısmi bulutluluk tutarı, bulutun sıvı su içeriği ve etkin damlacık yarıçapı olmak üzere üç parametre kullanılmaktadır. Modelde yerel olmayan difüzyon kavramına dayalı Holtslag ve ark. (1990) tarafından geliştirilen gezegensel sınır tabakası şeması (planetary boundary layer-PBL scheme) kullanılmaktadır. Modelin konvektif yağış düzenleri değiştirilmiş-Kuo şeması (Anthes, 1977), Grell şeması (Grell, 1993) ve MIT-Emanuel şeması (Emanuel, 1991, 1999) olmak üzere üç şemadan biri seçilerek hesaplanır. Bu bölgesel iklim modeli sistemi son on beş yıldır (Giorgi ve Shields, 1999, Giorgi ve Anyah, 2012) iklim değişikliği çalışmaları uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada RegCM4.3.5 bölgesel iklim modeli; MPI-ESM-MR, HadGEM2 ve GFDL-ESM2M küresel iklim modeli çıktıları kullanılarak 50 km çözünürlükte koşulmuştur. MPI-ESM-MR Almanya'daki Max Planck Meteoroloji Enstitüsü (Giorgetta ve ark., 2013), HadGEM2 İngiltere'deki Met Office Hadley Merkezi (Collins ve ark., 2008) ve GFDL-ESM2M (Dunne ve ark., 2012, 2013)

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi Jeofiziksel Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı tarafından geliştirilen genel dolaşım modelleridir.

Gelecek öngörülere için küresel modellerin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktıları bölgesel iklim modeli için veri kaynağı olarak kullanıldı. Burada RCP4.5 senaryosu bir denge senaryosu olup, sera gazı salımlarına yönelik alınacak stratejik ve teknolojik önlemlerle 2100 yılına kadar toplam ışımsal zorlamanın 4.5 W/m<sup>2</sup> değerine ulaşacağını ve daha sonrasında bu değerde kararlılık göstereceğini tasvir eder (Van Vuuren ve ark., 2011, Meinshausen ve ark., 2011, Clarke ve ark., 2007, Smith ve Wigley, 2006, Wise ve ark., 2009). Bir diğer senaryo olan RCP8.5 ise sera gazı salımlarında sürekli bir artışı baz alarak ışımsal zorlamanın 2100 yılı itibarıyla 8.5 W/m<sup>2</sup> değerine ulaşacağını karakterize eder (Riahi ve ark., 2007, Van Vuuren ve ark., 2011, Meinshausen ve ark., 2011).

### 3. Çözümleme Sonuçları

#### 3.1 Model Sonuçlarının Gözlem Verileri ile Karşılaştırılması

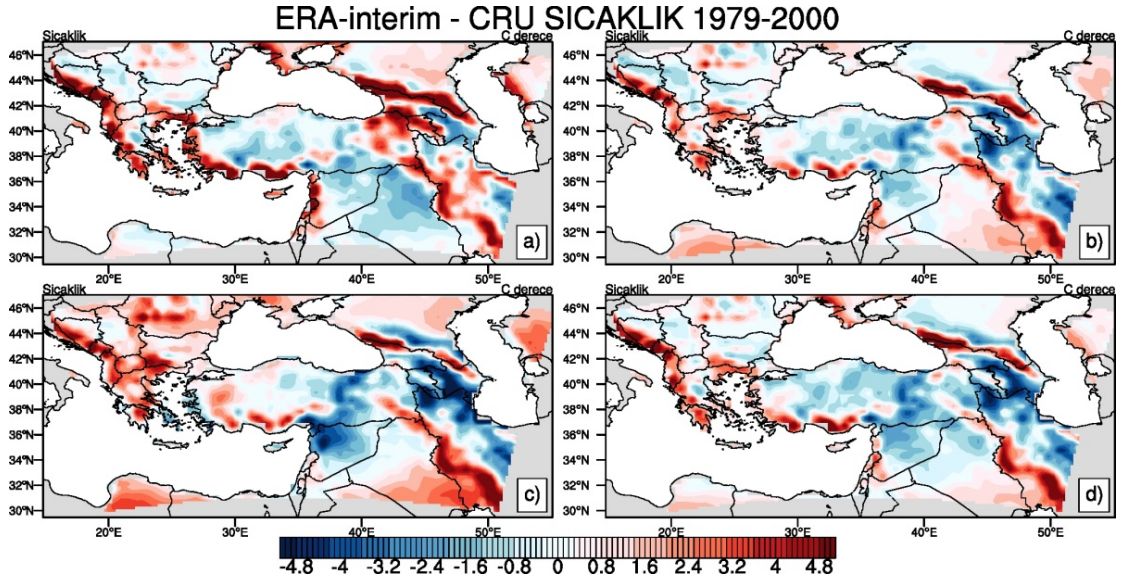
Türkiye'nin yakın gelecekteki (2020 – 2050 dönemi) ikliminin günümüz (1970 – 2000 dönemi) iklimine göre nasıl değişeceğini öngörmek adına MPI-ESM-MR, HadGEM2 ve GFDL-ESM2M küresel iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo setleri ile koşularak elde edilen çıktıları RegCM4.3.5 bölgesel iklim modelinde kullanılarak ortalama hava sıcaklığı ve toplam yağış haritaları mevsimsel olarak oluşturuldu. Analize ilk olarak RegCM4.3.5'in performansı sınanarak başlandı. Bu amaçla, öncelikle Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi'ne (ECMWF) ait ERA-Interim (Dee ve ark., 2011) gözlem veri seti bölgesel iklim modeline girdi olarak verilerek elde edilen benzetim sonuçları, İngiltere'deki East Anglia Üniversitesi'nin İklimsel Araştırma Birimi'ne (CRU) ait istasyon veri seti ile 1979 – 2000 dönemi için karşılaştırıldı. Daha sonra ise her bir modelin 1970 – 2000 dönemine ait çıktısı kullanılarak elde edilen sonuçlar yine aynı döneme ait CRU veri seti ile kıyaslandı. Böylece bölgesel

iklim modeli RegCM4.3.5'in performansı her bir değişken için 1970 – 2000 dönemine ait gözlemsel klimatolojik CRU veri seti ile denetlenerek doğrulandı ve model bölgeyi en iyi benzeştiren parametreler ile çalıştırıldı. Bölgesel iklim modeli, konvektif (sinoptik ölçekli dinamik ya da konvektif kararsızlığa bağlı yükselici hava hareketlerinin oluşturduğu) bulut ve yağış oluşum düzenekleri için (bkz. Türkeş, 2010) Grell (Fritsch-Chappell) şeması kullanılarak koşuldu.

#### 3.1.1 Hava sıcaklıklarının karşılaştırılması

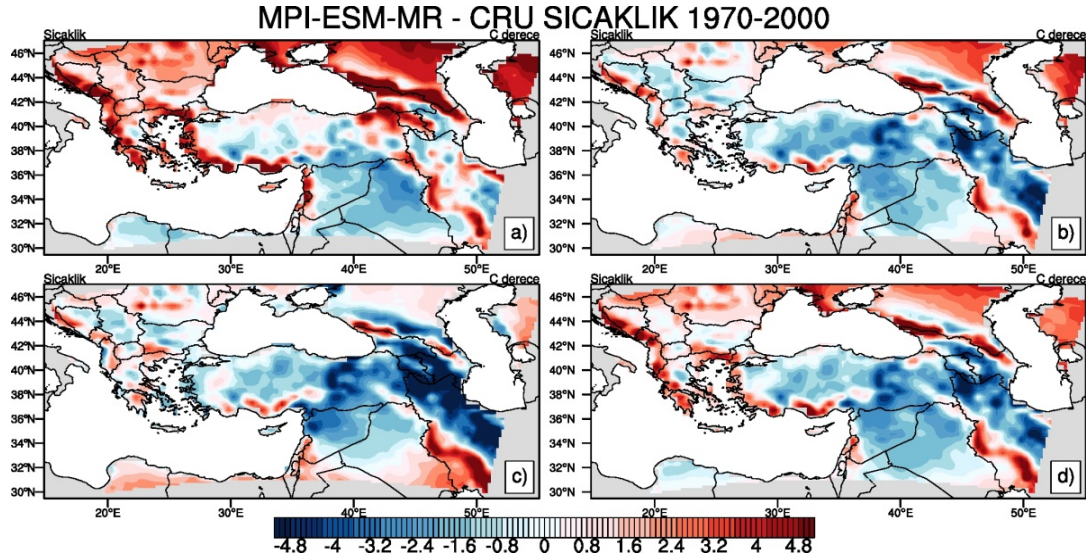
Buna göre ERA-Interim veri seti kullanılarak oluşturulan çıktıların sıcaklık değerleri için iç bölgelerde CRU veri seti çıktıları ile uyumlu olduğu, kıyı kesimleri ve topografyası yüksek olan kesimlerde ise özellikle kış mevsiminde pozitif yönde farklı sonuçlar verdiği görüldü (Şekil 1). Özellikle Kafkas bölgesindeki farklılığın yüksek topografya dolayısıyla meteorolojik ve klimatolojik istasyonların çoğunlukla yüksek bölgelere değil de vadilere yerleştirilmiş olmasından kaynaklandığını söyleyebiliriz. Bu bölgeler dışında bölgesel iklim modelinin performansı iyi kabul edilebilecek düzeydedir.

Benzer şekilde bu kez MPI-ESM-MR, HadGEM2 ve GFDL-ESM2M küresel model çıktılarından faydalanılarak 1970 – 2000 dönemi için elde edilen bölgesel iklim modeli çıktıları CRU veri seti çıktıları ile karşılaştıracak olursak, her üç benzetim için de pozitif ve negatif yönde bazı farklılıklar söz konusudur (Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4). Özellikle Kafkaslar bölgesinde, kış mevsimi hava sıcaklıklarının (Şekil 2a, Şekil 3a, Şekil 4a) tüm benzetimler için pozitif yönde bir fark gösterdiği, bu farkın MPI-ESM-MR temelli model çıktısında (Şekil 2a) daha belirgin olduğu açıktır. Bu durum, ilgili bölgenin topografik yapısının yüksek ve dağlık olması ile ilişkili bir hata olarak yorumlanabilir. Benzer şekilde, tüm modellerde doğu ve güneydoğu bölgelerine bakıldığında ise model sonuçlarının negatif yönde farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 4'te bariz bir şekilde görüldüğü üzere bu negatif farklılık GFDL-ESM2M çıktısı ile yapılan benzetimde özellikle ilkbahar, kış ve sonbahar mevsimleri için fazlaca belirgindir (Şekil 4).



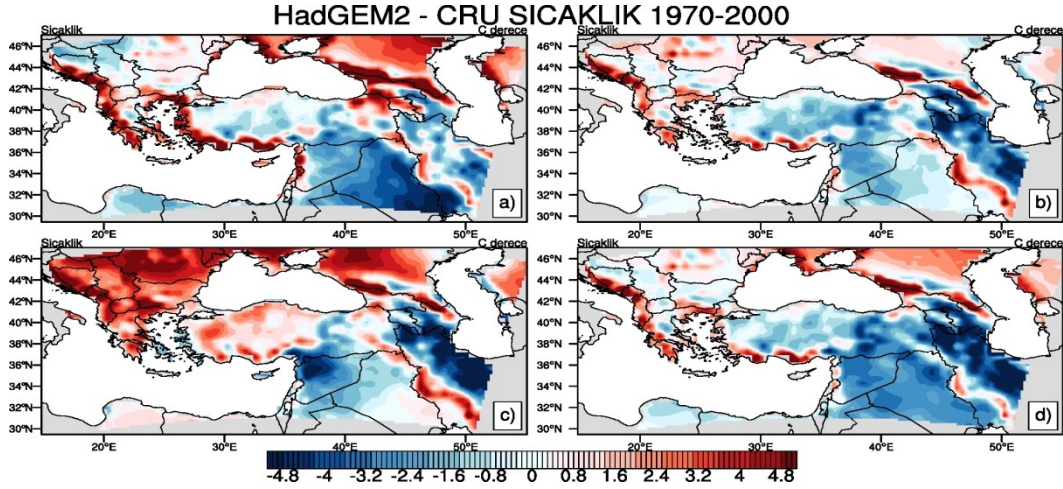
Şekil 1. Türkiye ve yakın çevresi için ERA-interim küresel veri seti çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1979 - 2000 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için benzeştirilmiş ortalama hava sıcaklığı değerlerinin CRU gözlemsel sıcaklık veri seti karşılaştırılması.

Figure 1. Comparison of simulated air temperatures of the RegCM4.3.5 regional climate model, which is run by the ERA-interim dataset, with the CRU observational temperature dataset over Turkey and its nearby surroundings for the period 1979 - 2000: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



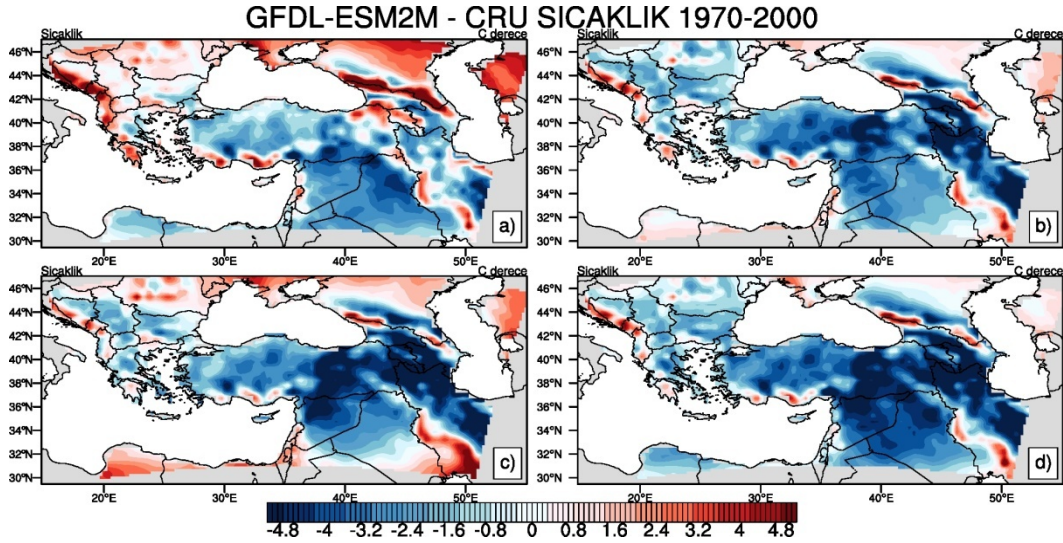
Şekil 2. Türkiye ve yakın çevresi için küresel iklim modeli MPI-ESM-MR çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için benzeştirilmiş ortalama hava sıcaklığı değerlerinin CRU gözlemsel sıcaklık veri seti karşılaştırılması.

Figure 2. Comparison of simulated air temperatures of the MPI-ESM-MR regional climate model, which is run by the MPI-ESM-MR dataset, with the CRU observational temperature dataset over Turkey and its nearby surroundings for the period 1970 - 2000: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



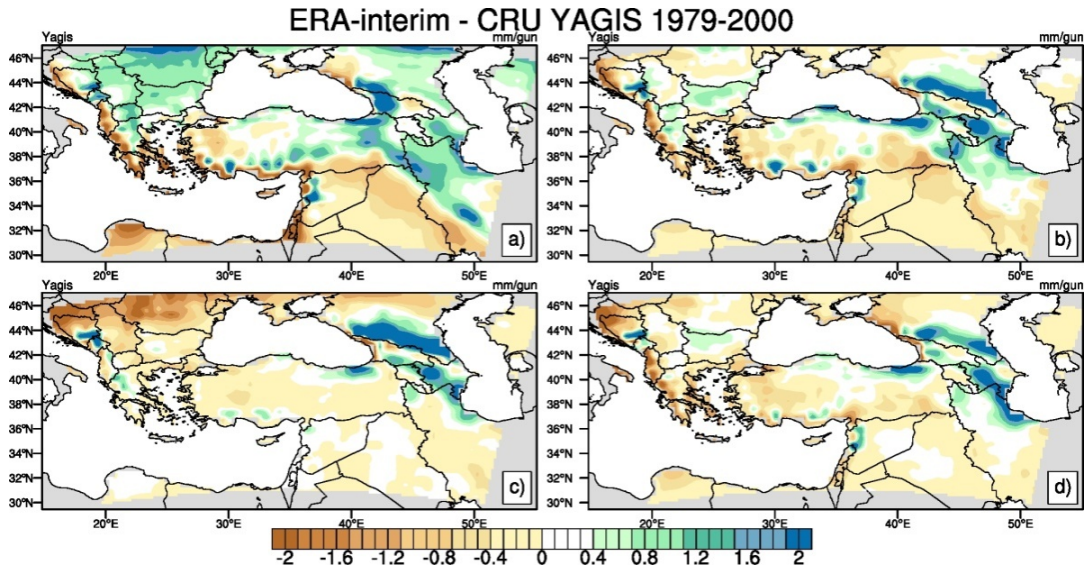
Şekil 3. Türkiye ve yakın çevresi için küresel iklim modeli HadGEM2 çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için benzeştirilmiş ortalama hava sıcaklığı değerlerinin CRU gözlemsel sıcaklık veri seti karşılaştırılması.

Figure 3. Comparison of simulated air temperatures of the RegCM4.3.5 regional climate model, which is run by the HadGEM2 dataset, with the CRU observational temperature dataset over Turkey and its nearby surroundings for the period 1970 - 2000: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



Şekil 4. Türkiye ve yakın çevresi için küresel iklim modeli MPI-ESM-MR çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için benzeştirilmiş ortalama hava sıcaklığı değerlerinin CRU gözlemsel sıcaklık veri seti karşılaştırılması.

Figure 4. Comparison of simulated air temperatures of the RegCM4.3.5 regional climate model, which is run by the MPI-ESM-MR dataset, with the CRU observational temperature dataset over Turkey and its nearby surroundings for the period 1970 - 2000: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



Şekil 5. ERA-interim küresel veri seti çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1979 - 2000 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için benzeştirilen ortalama yağış tutarlarının, CRU gözlemsel yağış veri seti ile Türkiye ve yakın çevresi üzerinde karşılaştırılması.

Figure 5. Comparison of simulated average precipitation amounts of the RegCM4.3.5 regional climate model, which is forced by the ERA-interim dataset, with the CRU observational precipitation dataset over Turkey and its nearby surroundings for the period 1979 - 2000: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.

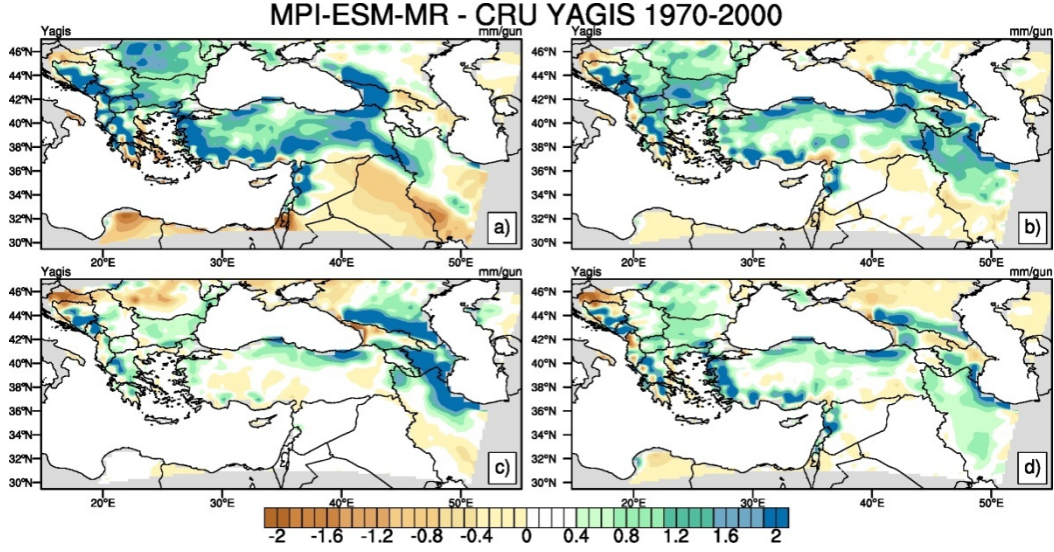
Sözü edilen bölgelerin dışında, diğer iç bölgelerde ise, farklı küresel iklim model çıktıları kullanılarak elde edilen bölgesel iklim modeli çıktılarının -2.0 ila +2.0 derece arasında değişen sıcaklık farkları ile geçmiş periyod için ortalama hava sıcaklığı kestirimlerinin kabul edilebilir bir düzeyde olduğu söylenebilir. Çalışmada kullanılan üç değişik küresel iklim modeli sonuçlarına göre, HADGEM2 küresel iklim modeli kullanılarak elde edilen çıktıların performansının daha iyi olduğu anlaşılır.

### 3.1.2. Yağış tutarlarının karşılaştırılması

Yağış rejiminde ise özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi ve Kafkaslar için ERA-Interim veri seti ile elde edilen sonuçların CRU veri seti çıktılarına göre biraz yüksek olduğu belirlendi (Şekil 5). Yine yüksek bölgelerde ERA-Interim çıktıları kullanılarak elde edilen bölgesel iklim modeli sonuçlarının CRU veri setine göre daha fazla yağış kestirimi gerçekleştirdiği görüldü. Ayrıca kış yağışlarında Balkanlar'da ERA-Interim ile elde edilen sonuçların CRU'ya göre daha yüksek çıktığı, Kuzey Mezopotamya için ise daha düşük çıktığı dikkat çekmektedir.

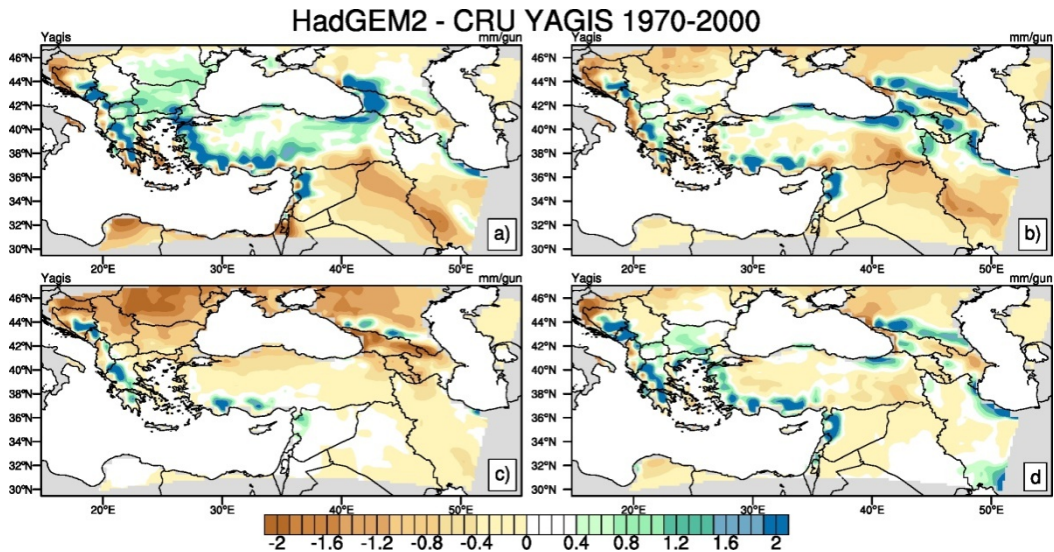
Bölgesel iklim modeli kullanılarak günümüz dönemi için elde edilen toplam yağış sonuçları incelendiğinde, MPI-ESM-MR küresel model temelli benzetim sonuçlarının gözlem değerlerinden biraz fazla olduğu görülmektedir (Şekil 6). Özellikle Türkiye'nin kıyı şeritlerindeki bu fazlalık (yaklaşık 2 mm/gün) kış ve ilkbahar mevsimlerinde daha keskinlik kazanırken, yaz ve sonbahar mevsimleri için özellikle iç bölgelerde hatanın sıfır ve sıfıra yakın olduğu açıktır. HadGEM2 küresel model çıktısı kullanılarak çalıştırılan bölgesel model sonuçlarına bakılırsa da yine Türkiye'nin kıyı kesimlerinde kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde toplam yağışın çok az fazla öngörü edildiği, ancak yaz için model çıktısının negatif yönde değerler verdiği sonucu görülmektedir (Şekil 7). Yine bu benzetimde de iç bölgelerde hata payının sıfır ve sıfıra yakın olduğu vurgusu yapılabilir. Son olarak, toplam yağış değerlerine GFDL-ESM2M küresel modeli temel alınarak yapılan benzetim açısından bakılırsa dört





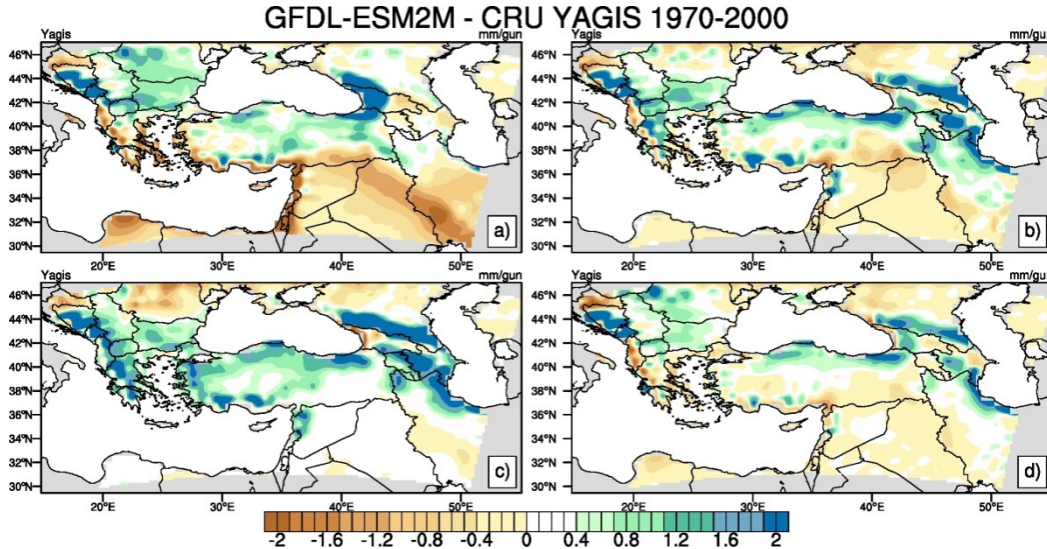
Şekil 6. Küresel iklim modeli MPI-ESM-MR çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için benzeştirilen ortalama yağış tutarlarının, CRU gözlemsel yağış veri seti ile Türkiye ve yakın çevresi üzerinde karşılaştırılması.

Figure 6. Comparison of simulated average precipitation amounts of the RegCM4.3.5 regional climate model, which is forced by the MPI-ESM-MR dataset, with the CRU observational precipitation dataset over Turkey and its nearby surroundings for the period 1970 - 2000: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



Şekil 7. Küresel iklim modeli HadGEM2 çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için benzeştirilen ortalama yağış tutarlarının, CRU gözlemsel yağış veri seti ile Türkiye ve yakın çevresi üzerinde karşılaştırılması.

Figure 7. Comparison of simulated average precipitation amounts of the RegCM4.3.5 regional climate model, which is forced by the HadGEM2 dataset, with the CRU observational precipitation dataset over Turkey and its nearby surroundings for the period 1970 - 2000: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



Şekil 8. Küresel iklim modeli GFDL-ESM2M çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için benzeştirilen ortalama yağış tutarlarının, CRU gözlemsel yağış veri seti ile Türkiye ve yakın çevresi üzerinde karşılaştırılması.

Figure 8. Comparison of simulated average precipitation amounts of the RegCM4.3.5 regional climate model, which is forced by the GFDL-ESM2M dataset, with the CRU observational precipitation dataset over Turkey and its nearby surroundings for the period 1970 - 2000: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.

mevsim için de yine ağırlıklı olarak kıyı bölgelerinde pozitif yönde bir öngörü farkı söz konusudur (Şekil 8). Her üç benzetimden elde edilen sonuçların yine sıcaklık değerlerinde olduğu gibi Kafkasya civarında yağışları biraz fazla öngörü ettiği dikkat çekmektedir. Üç farklı benzetim sonuçlarında her ne kadar bazı hatalar gözlemlense de, MPI-ESM-MR küresel model çıktısının girdi verisi olarak kullanıldığı RegCM4.3.5 bölgesel model sonucunun kış ve ilkbahar mevsimleri için toplam yağış tutarında günde 2 mm'ye varan fazla öngörüsü olduğu, bunun dışındaki diğer benzetim sonuçlarının hata paylarının toplam yağış açısından daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılabilir.

### 3.2. 2020 – 2050 Dönemi İçin Hava Sıcaklığı Kestirimleri

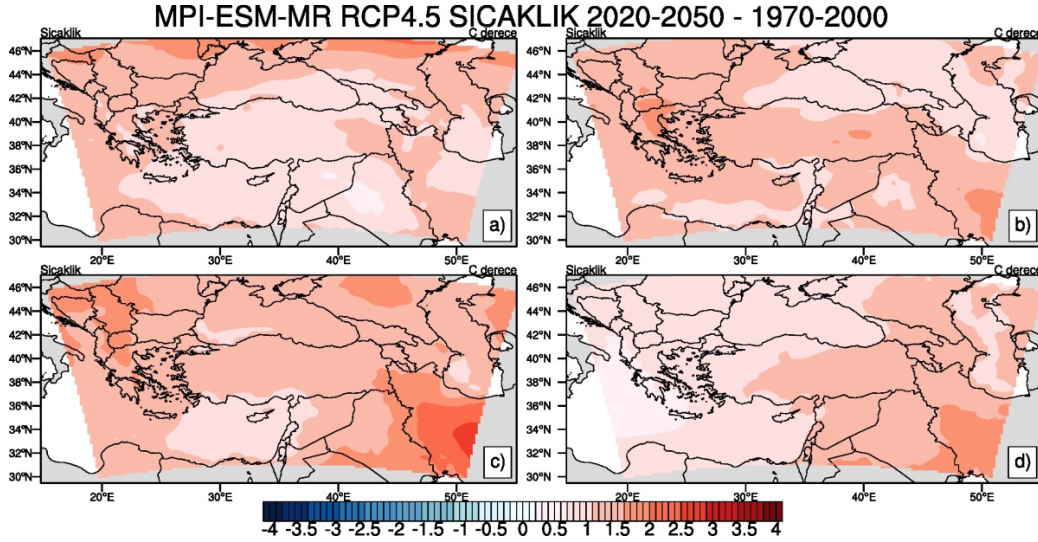
RegCM4.3.5 bölgesel modelini günümüz için sınadıktan sonra, aynı şekilde iki farklı senaryo açısından (RCP4.5 ve RCP8.5) 2020 – 2050 periyodu için gözlemlenmesi beklenen değişiklikler incelendi.

#### 3.2.1. RCP4.5 senaryosu MPI-ESM-MR küresel iklim modeli sonuçları

İlk olarak kullanılan MPI-ESM-MR küresel iklim modeli ve RCP4.5 salım senaryosuna göre hava sıcaklığı değerleri incelendiğinde, Türkiye'nin genelinde 2020 – 2050 yılları arasında yaz mevsimi hava sıcaklıklarının 1970 – 2000 klimatolojisine göre 1.5 °C dolaylarında artması beklenmektedir. Ortalama hava sıcaklıklarındaki artışlar, kış mevsimi için 1 °C civarında seyrederken, ilkbahar ve sonbahar mevsiminde bu artışlar bölgesel olarak bazı değişiklikler gösterse de yine 1 ila 1.5 °C arasındadır (Şekil 9). Burada özellikle doğu ve güneydoğu bölgelerindeki artış her mevsim için dikkat çekicidir.

#### 3.2.2. RCP4.5 senaryosu HadGEM2 küresel iklim modeli sonuçları

İkinci olarak kullanılan HadGEM2 küresel iklim modeli ve RCP4.5 salım senaryosuna göre Türkiye'de 2020 – 2050 dönemi için yaz mevsiminde kestirimi yapılan hava sıcaklıklarının 1970 – 2000 klimatolojisine göre 2.5 – 4 °C



Şekil 9. Küresel iklim modeli MPI-ESM-MR'nin RCP4.5 salım senaryosu çıktılarını kullanarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişikliklerinin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 9. Geographical distribution patterns of changes in projected mean air temperatures over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model MPI-ESM-MR with RCP4.5 emission scenario for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.

arasında değişen bir değerde artması beklenmektedir. Kış mevsimi için, ortalama hava sıcaklıklarındaki artışın 1 ila 2.5 °C arasında olduğu, bahar mevsimlerinde ise doğuya gidildikçe artarak 3 °C'ye varan artışların olacağı beklenmektedir (Şekil 10).

### 3.2.3. RCP4.5 senaryosu GFDL-ESM2M küresel iklim modeli sonuçları

Son olarak kullanılan GFDL-ESM2M küresel iklim modeli ve RCP4.5 salım senaryosuna göre Türkiye'de 2020 - 2050 dönemi için yaz mevsimi hava sıcaklığının 1970 - 2000 değerlerine göre diğer üç mevsime göre belirgin bir şekilde artacağı beklenmektedir. Dört mevsim içinde beklenen sıcaklık artışı kış mevsiminde 0.5 - 1 °C arasında değişirken; sonbaharda 1 - 1.5 °C, yazın 1.5 - 2.5 °C ve sonbaharda 1.5 - 2 °C arasında değişen artışlar beklenmektedir (Şekil 11).

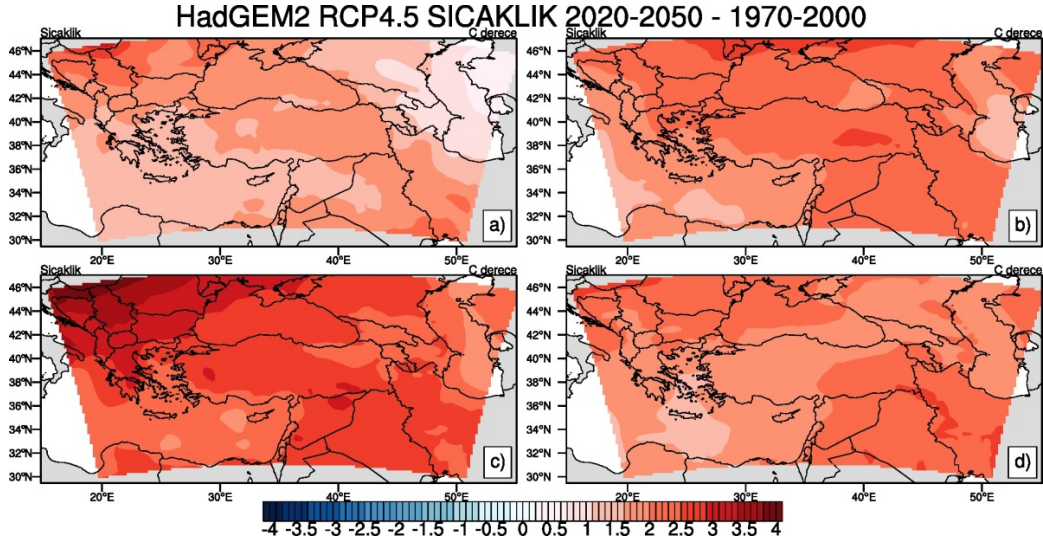
### 3.2.4. RCP8.5 senaryosu MPI-ESM-MR küresel iklim modeli sonuçları

RCP4.5 senaryosu dikkate alınarak yapılan modelleme sonuçlarından sonra mevsimsel

haritalar bu kez RCP8.5 senaryo setlerine göre uyarlandı. Buna göre MPI-ESM-MR modeli çıktısı dikkate alınarak yapılan benzetimde 2020 - 2050 dönemindeki yaz hava sıcaklıklarında beklenen artışın diğer mevsimlere oranla daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 12). Kış mevsiminde ülke genelinde yaklaşık 1 °C'lik sıcaklık artışı beklenirken, sonbahar mevsiminde doğu ve güneydoğu kesimlerinde 2 °C'ye varan bir sıcaklık artışı öngörülmektedir.

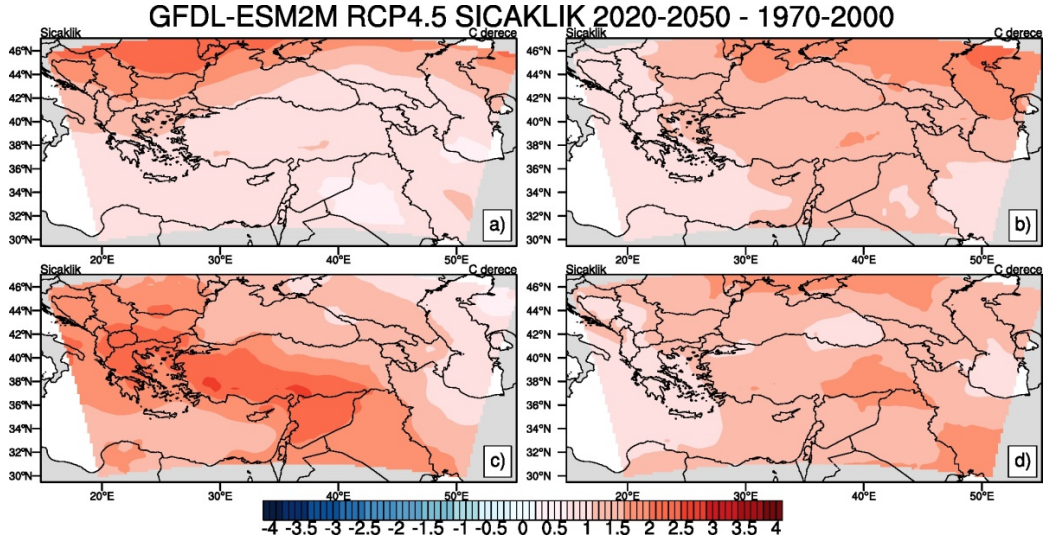
### 3.2.5. RCP8.5 senaryosu HadGEM2 küresel iklim modeli sonuçları

HadGEM2 iklim modeli ve RCP8.5 salım senaryosu kullanılarak yapılan benzetime dayalı gelecek kestirimleri ise diğer iki benzetime oranla çok daha yüksek sıcaklık artışları öngörmektedir (Şekil 13). Bu benzetime göre 2020 - 2050 yaz sıcaklık ortalamasının 1970 - 2000 yazından hemen hemen 4 °C'ye varan değerinde daha yüksek olması beklenmektedir.



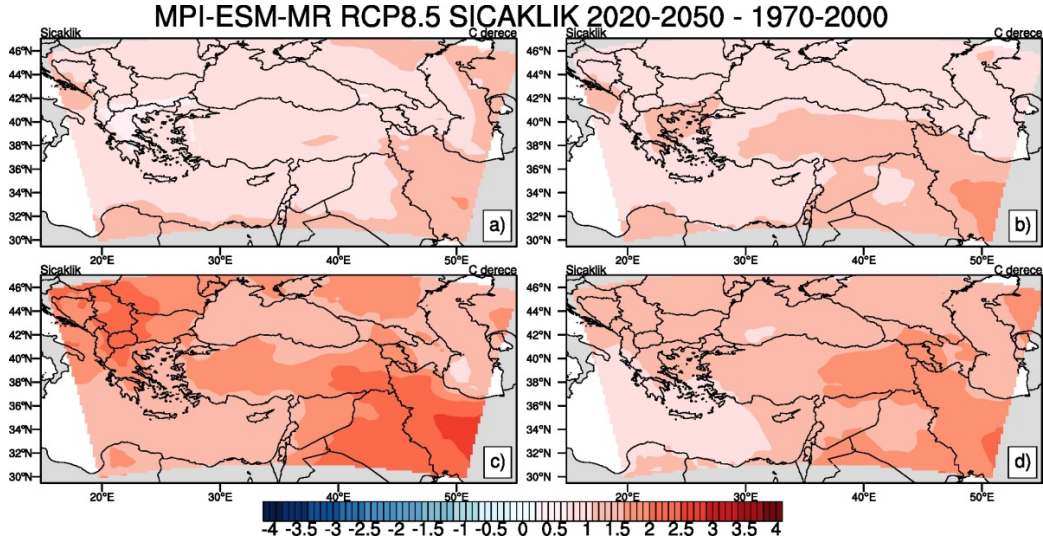
Şekil 10. Küresel iklim modeli HadGEM2'nin **RCP4.5 salm senaryosu** çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için **kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişikliklerinin** Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

*Figure 10. Geographical distribution patterns of **changes in projected mean air temperatures** over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model HadGEM2 with **RCP4.5 emission scenario** for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.*



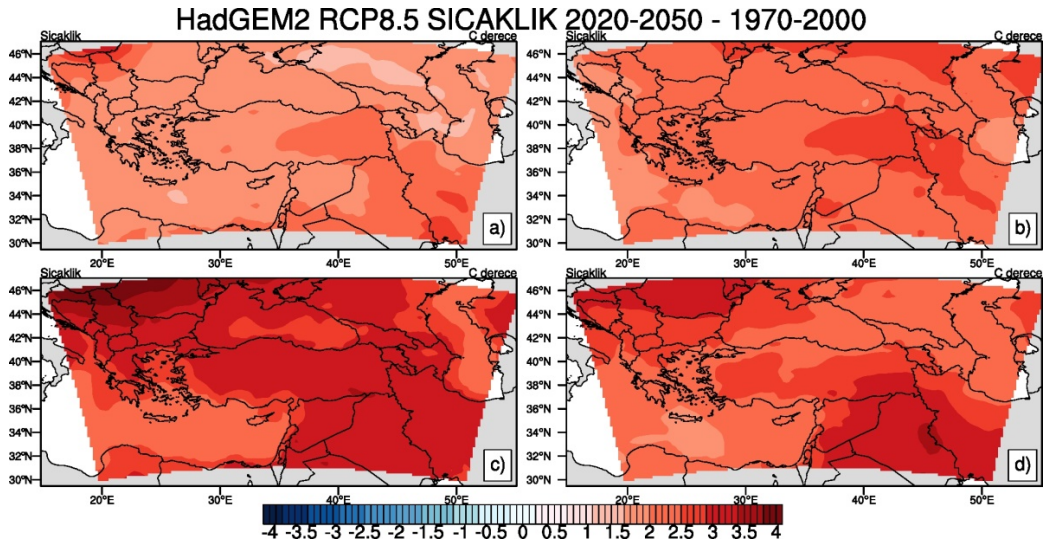
Şekil 11. Küresel iklim modeli GFDL-ESM2M'nin **RCP4.5 salm senaryosu** çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için **kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişikliklerinin** Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

*Figure 11. Geographical distribution patterns of **changes in projected mean air temperatures** over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model GFDL-ESM2M with **RCP4.5 emission scenario** for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.*



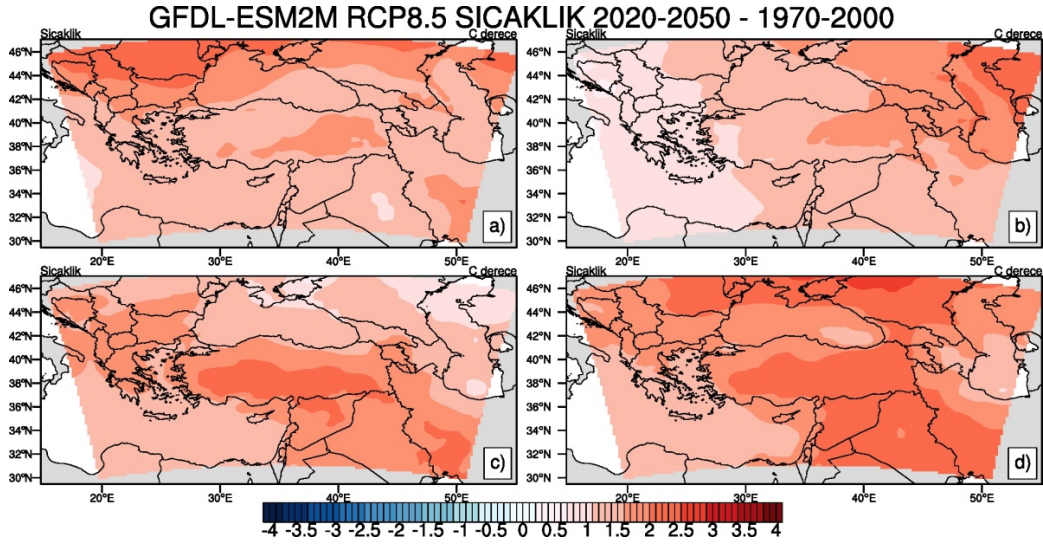
Şekil 12. Küresel iklim modeli MPI-ESM-MR'nin RCP8.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişikliklerinin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 12. Geographical distribution patterns of changes in projected mean air temperatures over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model MPI-ESM-MR with RCP8.5 emission scenario for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



Şekil 13. Küresel iklim modeli HadGEM2'nin RCP8.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişikliklerinin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 13. Geographical distribution patterns of changes in projected mean air temperatures over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model HadGEM2 with RCP8.5 emission scenario for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



Şekil 14. Küresel iklim modeli GFDL-ESM2M'nin RCP8.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişikliklerinin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 14. Geographical distribution patterns of changes in projected mean air temperatures over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model GFDL-ESM2M with RCP8.5 emission scenario for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons

### 3.2.6. RCP8.5 senaryosu GFDL-ESM2M küresel iklim modeli sonuçları

GFDL-ESM2M modelinin RCP8.5 senaryo çıktısı kullanılarak yapılan benzetime göre ise 2020 - 2050 yaz ve ilkbahar mevsimlerinde görülmesi beklenen sıcaklık artışının kış ve ilkbahara kıyasla biraz daha fazladır (Şekil 14). Özellikle Türkiye'nin güney kesimlerinde 2020 - 2050 yaz sıcaklığının 1970 - 2000 yazına göre 2 - 2.5 °C daha yüksek olacağı dikkat çekmektedir. Bir başka dikkat çekici nokta da, 2020 - 2050 ilkbaharında Türkiye'nin Ege Bölgesi ile güneybatı bölümünün sıcaklık artışından diğer bölgelere göre daha az etkileneneğidir.

### 3.2.7. İklim modeli benzetimi gelecek hava sıcaklığı öngörülerinin değerlendirilmesi

Hava sıcaklıklarındaki değişiklikler, salım senaryoları üzerinden değerlendirildiğinde RCP8.5 senaryo seti ile elde edilen tüm model sonuçlarının RCP4.5 senaryo seti ile elde edilen model sonuçları ile karşılaştırıldığında, bu senaryonun dört mevsim için de daha yüksek sıcaklık artışı öngördüğü anlaşılır. Modeller arası bir

karşılaştırma yapıldığında ise, HadGEM2 küresel model temelli kestirimlerin, diğer iki model temelli kestirimlere göre daha yüksek sıcaklık artışı öngördüğü ve MPI-ESM-MR ile GFDL-ESM2M temel alınarak elde edilen kestirimlerin dört mevsim için de birbirine benzer değişiklikler öngördüğü anlaşılır.

Mevsimsel karşılaştırmalar yapılırsa, kış sıcaklık öngörülerinde HadGEM2 ve GFDL-ESM2M küresel modellerinin RCP8.5 salım senaryosu temelli çıktıları kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının, RCP4.5 temelli çıktıların kullanılmasıyla yapılan benzetim sonuçlarına göre özellikle Türkiye'nin güneydoğu ve doğu bölgeleri için daha yüksek sıcaklık artışı öngördüğü sonucuna ulaşılır. Bu sonucun tersine, aynı bölgeler için MPI-ESM-MR küresel modelinin RCP8.5 salım senaryosu temel alınarak yapılan benzetim öngörülerinin ise, RCP4.5 salım senaryosu temelli benzetim öngörülerine oranla daha az bir sıcaklık artışı öngördüğü görülür. Doğuya gidildikçe hava sıcaklıklarında beklenen artışın yükselmesi bahar mevsimleri için bütün modellerde fark edilmektedir. Yaz sıcaklıklarında öngörülen artışın ise genel olarak tüm

benzetimlerde kıyı Ege ve Akdeniz bölgelerinde diğer bölgelere oranla daha az olduğu, özellikle iç kısımlara gidildikçe sıcaklık artışının daha etkin olduğu görülmektedir. HadGEM2 küresel model temelli sonuçlarda yaz mevsimindeki hava sıcaklıklarında beklenen artışın Balkanlar üzerindeki yüksekliği de dikkat çekicidir.

### 3.3 2020 – 2050 Dönemi İçin Yağış Kestirimleri

RegCM4.3.5 bölgesel modelinin iki farklı senaryo açısından (RCP4.5 ve RCP8.5) 2020 – 2050 periyodu için ortalama hava sıcaklığı benzetimleri çözümlendikten sonra, benzer bir yol izlenerek gelecekte yağış rejiminde gerçekleşmesi beklenen değişiklikler incelendi.

#### 3.3.1. RCP4.5 senaryosu MPI-ESM-MR küresel iklim modeli sonuçları

Çalışmada kullanılan üç küresel iklim modelinden biri olan MPI-ESM-MR'nin RCP4.5 senaryosu dikkate alınarak yapılan benzetimlerin toplam yağış kestirimleri incelendiğinde, Türkiye'nin geneline 2020 – 2050 yılları arasında 1970 – 2000 yıllarına nispeten daha az tutarda yağış düşeceği sonucuna varılmaktadır (Şekil 15). Genel olarak 0.4 mm/gün dolaylarında yağış azalması öngören MPI-ESM-MR ile yapılan benzetim sonuçlarının kış mevsimi yağışları için Akdeniz ve Ege bölgelerinde günde -2 mm'ye kadar bir azalma öngördüğü çok net biçimde görülmektedir. Burada bir başka dikkat çekici kısım da sonbahar yağışlarında komşu ülkelerden Suriye ve Irak'ın büyük bir kısmı da dahil olmak üzere Anadolu'nun doğu ve güneydoğu bölgelerinin yanı sıra Orta Anadolu'dan İç Batı Anadolu'ya uzanan kesimde yağış rejiminde değişiklik beklenmemesidir (Şekil 15d).

#### 3.3.2. RCP4.5 senaryosu HadGEM2 küresel iklim modeli sonuçları

Aynı senaryo (RCP4.5) ve dönem (2020 – 2050) için HadGEM2 küresel iklim modelinden yararlanılarak yapılan bölgesel benzetimde ise yine genel olarak bir yağış azalması beklediği görülmektedir (Şekil 16). 0.4 – 0.8 mm/gün civarında beklenen yağışlardaki azalmanın özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerinde tüm bölge

için daha tutarlı bir dağılım gösterdiği ve bölgesel farklılıkların pek ön plana çıkmadığı sonucuna varılabilir. Burada yalnızca ilkbahar mevsiminde neredeyse bütün bölgeye hakim olan azalış beklentisinin aksine Kafkaslar üzerinde 0.8 mm/gün'e varan bir yağış artışı söz konusudur (Şekil 16b). İlkbahar – yaz mevsimlerindeki bu benzerliğin kış ve sonbahar mevsimlerinde de farklı şekilde söz konusu olduğu görülebilir. İlkbahar ve yaz mevsimleri için Türkiye'nin ortasından doğusuna doğru yağışlardaki azalış beklentisinin, batıya gidildikçe azaldığını, neredeyse değişiklik beklenmediğini ve hatta Ege ile Akdeniz kıyıları boyunca bir artış beklentisinin öngörüldüğü dikkat çekmektedir. 0.8 – 1.2 mm/gün aralığında değişen bu yağış artışı beklentisi, kış mevsiminde Balkan Yarımadası'nın batısı için de geçerlidir.

#### 3.3.3. RCP4.5 senaryosu GFDL-ESM2M küresel iklim modeli sonuçları

GFDL-ESM2M modelinin RCP4.5 senaryo çıktıları temel alınarak yapılan benzetim sonuçlarına göre, hemen tüm bölgede yağışlarda ortalama 0.4 ila 0.8 mm/gün değerleri arasında değişen tutarlarda bir azalma olması beklenir (Şekil 17). Genelde dört mevsim için de bölgesel dağılım olarak çok benzer olan bu tutarlı azalış öngörülerinin, özellikle yaz yağışlarında Ege ve Akdeniz bölgeleri ile Balkanlar üzerinde daha belirgin hale geldiği açıktır (Şekil 17c).

#### 3.3.4. RCP8.5 senaryosu MPI-ESM-MR küresel iklim modeli sonuçları

MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin RCP8.5 senaryo sonuçları dikkate alınarak yapılan benzetimlerin toplam yağış kestirimleri incelendiğinde ise, Türkiye'nin geneline 2020 – 2050 yılları arasında 1970 – 2000 yıllarına oranla kısmen daha az yağış düşeceği sonucu elde edilir (Şekil 18). Yaz yağışlarında Türkiye ve çevresine hakim bir şekilde yaklaşık 0.8 mm/gün'e varan yağış azalması öngörüsünün, ilkbahar mevsimi için Karadeniz ve çevresinde zayıfladığını ve sonbahar mevsiminde Türkiye için Ege Bölgesi'nin bir bölümünde zayıf bir artış beklentisi ile birlikte Kuzeydoğu Anadolu, Orta Anadolu'nun kuzeydoğusundan Orta Karadeniz Bölgesi'ne

doğru uzanan bölüm ile Orta Toroslar dışında önemli bir değişiklik olmayabileceği görülür. Kış yağışlarında ise, Ege ve Akdeniz kıyıları boyunca öngörülen azalma beklentisinin, Doğu Karadeniz ve Kafkaslara doğru yağış artışı beklentisine dönüştüğü görülür.

### 3.3.5. RCP8.5 senaryosu HadGEM2 küresel iklim modeli sonuçları

RCP8.5 senaryosuna göre HadGEM2 küresel iklim modeli temel alınarak yapılan benzetim sonuçlarına bakıldığında, 2020 – 2050 dönemi kış yağışlarında Ege ve Akdeniz kıyıları, Kuzey Kıbrıs, Kafkaslar ve Balkan Yarımadası'nın batı kıyısı boyunca 1970 – 2000 dönemi kış yağışlarına göre ortalama 0.8 mm/gün değerinde artış beklenirken, doğuya doğru gidildikçe aynı miktarda bir azalış öngörülür (Şekil 19a). Kış mevsimi için bazı bölgelerde öngörülen artış beklentisi, ilkbahar mevsimi için Batı Balkanlar ve Kafkaslar için durumunu korumasına karşın, bu kez Ege ve Akdeniz bölgelerini de içine alacak şekilde güneye inildikçe bu öngörü bir yağış azalması beklentisine dönüşür (Şekil 19b). Yaz yağışlarında bazı kesimleri hariç Orta Karadeniz Bölümü'nden başlayan, Kuzeybatı ve Batı Anadolu bölgelerini de içine alan geniş bir alanda herhangi bir belirgin değişiklik öngörülmezken (Şekil 19c); sonbahar yağışlarında, Karadeniz, Balkanlar, Akdeniz, Kıbrıs Adası ve Kuzey Mezopotamya dahil geniş bir alanda yaklaşık 0.4 – 1.2 mm/gün tutarında azalış olacağı öngörülür (Şekil 19d).

### 3.3.6. RCP8.5 senaryosu GFDL-ESM-2M küresel iklim modeli sonuçları

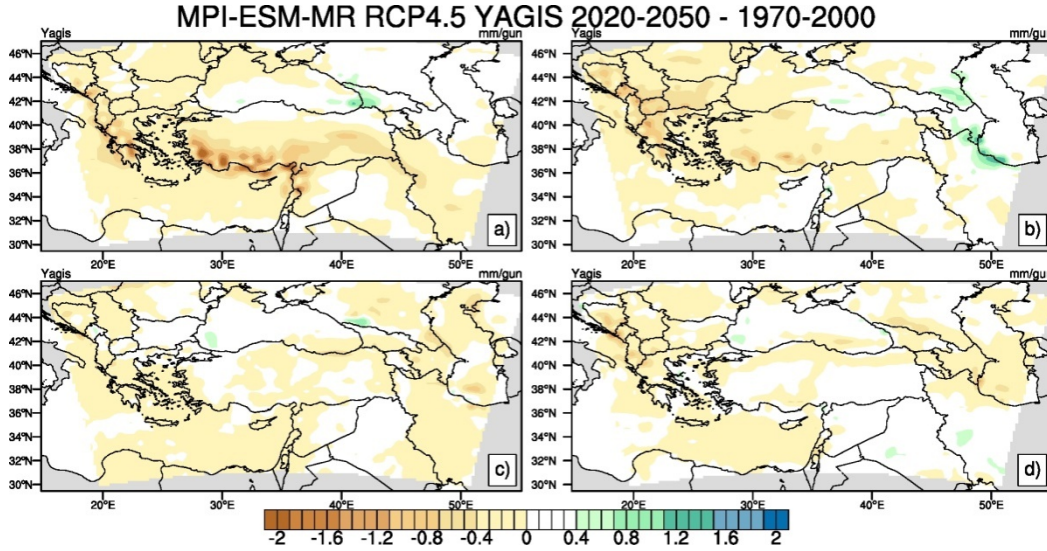
2020 – 2050 gelecek döneminde yağış desenlerinde 1970 – 2000 dönemine göre gerçekleşmesi beklenen değişikliklerin kestirimi için yapılan son benzetim çalışmasında ise, RCP8.5 emisyon senaryosunun GFDL-ESM-2M küresel iklim modeli çıktılarından yararlanıldı. Bu veri seti ile yapılan bölgesel modelleme sonucunda, özellikle yaz ve sonbahar yağışlarında Doğu Akdeniz Havzası, Türkiye ve çevresine egemen olacak belirgin bir azalma (kuraklaşma) beklenmektedir (Şekil 20c, Şekil20d). Bu azalış beklentisinin sonbahar mevsiminde daha baskın olduğu görülür. Kış yağışlarında, Türkiye'nin

genel olarak yazı kurak ve kışı yağışlı Akdeniz ikliminin egemen olduğu güneybatısı ve güneyinde 2 mm/gün'e kadar ulaşan önemli bir azalma öngörülürken, Batı ve Orta Karadeniz bölümlerinde yaklaşık 0-0.6 mm/gün, Doğu Karadeniz ve Kuzeydoğu Anadolu bölümlerinde ise yaklaşık 1.0 – 1.6 mm/gün tutarları arasında değişen yağış artışları gerçekleşebilecektir (Şekil 20a). İlkbahar yağışlarında beklenen değişim, özellikle Orta ve Doğu Karadeniz bölümlerinde zayıf bir artış, Akdeniz Bölgesi ile genel olarak Doğu Marmara ve Batı Karadeniz bölümleri ile karasal İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde görece belirgin bir azalış olarak belirebilecektir (Şekil 20b).

### 3.3.7. İklim modeli benzetimi gelecek yağış tutarı öngörülerinin değerlendirilmesi

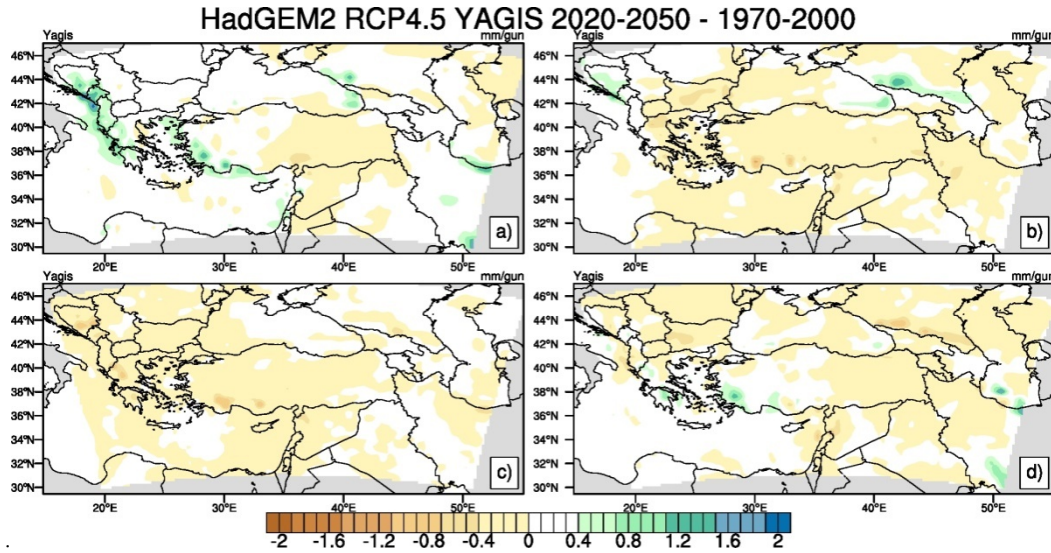
Yağış tutarlarındaki değişiklikler, salım senaryoları üzerinden değerlendirildiğinde, her iki salım senaryosu ile elde edilen sonuçların değişiklik tutarları açısından çok keskin farklılıklar göstermediği, ama buna karşılık modeller içerisinde bölgesel ve mevsimsel olarak daha net farklılaşmaların olduğu söylenebilir. Örneğin; kış yağışlarında MPI-ESM-MR küresel modelinin RCP4.5 salım senaryosu ile elde edilen sonuçlarında, Türkiye'nin Akdeniz ikliminin görüldüğü güneybatısı ve güneyi için öngörülen önemli yağış azalmasına karşın, aynı modelin RCP8.5 salım senaryosu ile elde edilen sonuçlarında zayıflama görülür. Ayrıca, aynı modelin RCP4.5 salım senaryosu temel alınarak yapılan bölgesel modelleme sonuçlarında, günümüzde her mevsim yağışlı nemli ılıman bir ikliminin egemen olduğu Karadeniz kıyı kuşağının gelecek yağış rejiminde önemli bir değişiklik öngörülmemesine karşın, RCP8.5 salım senaryosu ile elde edilen sonuçlarda Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kuşağı boyunca belirgin bir yağış artışı öngörülmektedir. Benzer şekilde, GFDL-ESM2M küresel modelinin sonuçlarından yararlanılarak elde edilen benzetim sonuçlarında, RCP4.5 salım senaryosu kapsamında Doğu Karadeniz Bölümü için yağış tutarında değişiklik beklenmezken, RCP8.5 salım senaryosuna göre yaklaşık 0.8 mm/gün azalma beklenir. Yaz yağışlarındaki





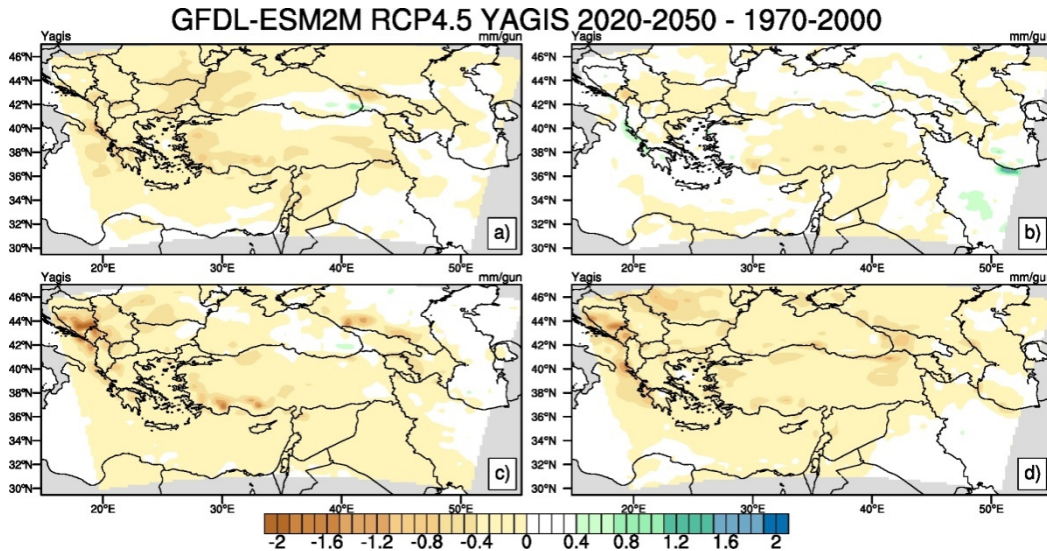
Şekil 15. Küresel iklim modeli MPI-ESM-MR'nin RCP4.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen **toplam yağış tutarlarındaki değişikliklerinin** Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 15. Geographical distribution patterns of **changes in projected total precipitation amounts** over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model MPI-ESM-MR with **RCP4.5 emission scenario** for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons



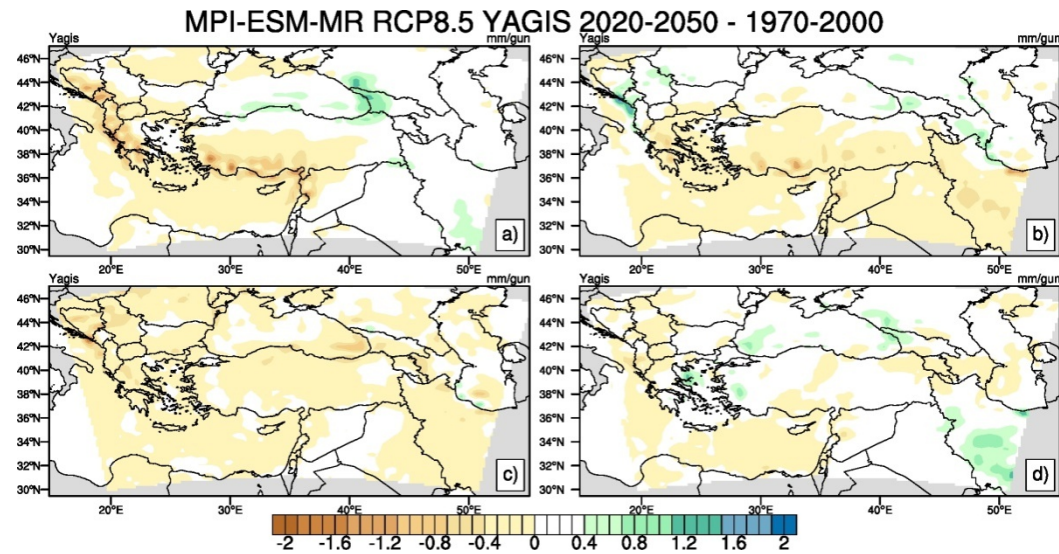
Şekil 16. Küresel iklim modeli HadGEM2'nin RCP4.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen **toplam yağış tutarlarındaki değişikliklerinin** Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 16. Geographical distribution patterns of **changes in projected total precipitation amounts** over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model HadGEM2 with **RCP4.5 emission scenario** for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



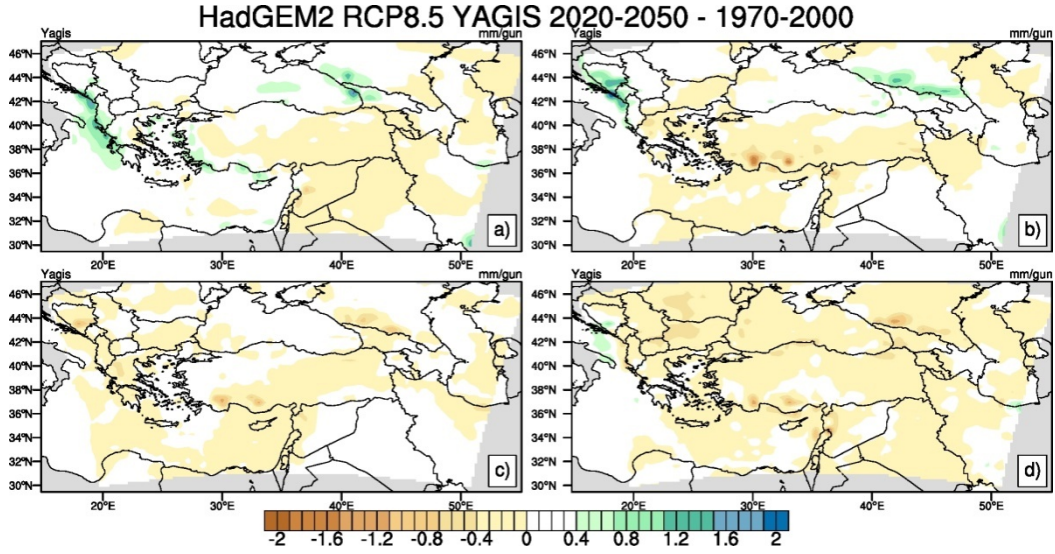
Şekil 17. Küresel iklim modeli GFDL-ESM2M'nin RCP4.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen **toplam yağış tutarlarındaki değişikliklerinin** Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 17. Geographical distribution patterns of **changes in projected total precipitation amounts** over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model GFDL-ESM2M with **RCP4.5 emission scenario** for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



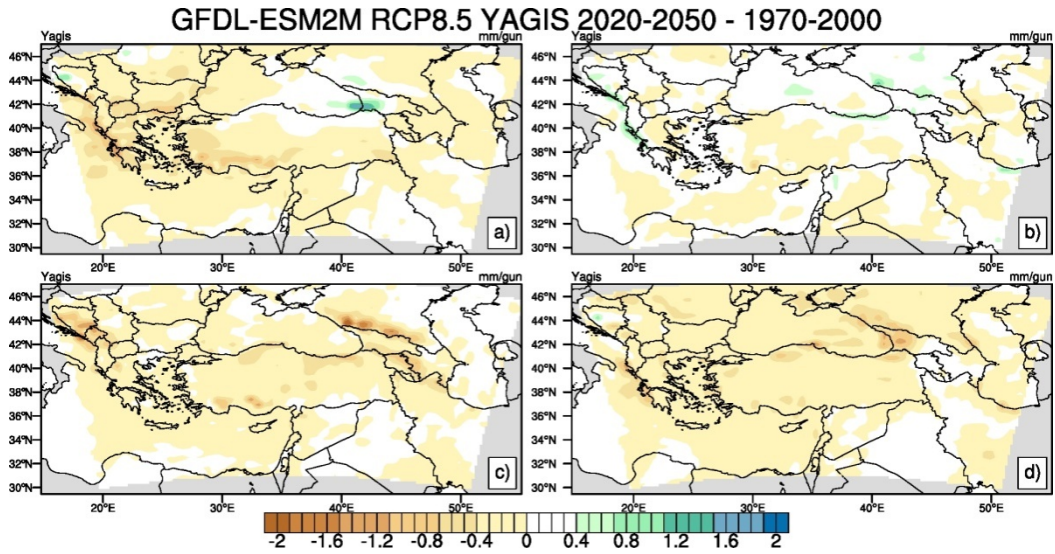
Şekil 18. Küresel iklim modeli MPI-ESM-MR'nin RCP8.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen **toplam yağış tutarlarındaki değişikliklerinin** Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 18. Geographical distribution patterns of **changes in projected total precipitation amounts** over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model MPI-ESM-MR with **RCP8.5 emission scenario** for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



Şekil 19. Küresel iklim modeli HadGEM2'nin RCP8.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen **toplam yağış tutarlarındaki değişikliklerinin** Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 19. Geographical distribution patterns of **changes in projected total precipitation amounts** over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model HadGEM2 with **RCP8.5 emission scenario** for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.



Şekil 20. Küresel iklim modeli GFDL-ESM2M'nin RCP8.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak koşulan bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5'in 1970 - 2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2020 - 2050 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen **toplam yağış tutarlarındaki değişikliklerinin** Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 20. Geographical distribution patterns of **changes in projected total precipitation amounts** over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM4.3.5, which is forced by the global climate model GFDL-ESM2M with **RCP8.5 emission scenario** for the climatology of 2020 - 2050 future period with respect to the climatology of 1970 - 2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.

değişikliğe bakıldığında, her üç modelin iki farklı salım senaryo çıktıları kullanılarak elde edilen öngörülerinde Akdeniz ikliminin egemen olduğu Batı ve Orta Toroslar bölümlerindeki yağış azalması tutarlılık gösterir. Model sonuçları sonbahar yağışları için beklenen değişiklikler açısından değerlendirilirse, GFDL-ESM2M küresel iklim modeli temel alınarak yapılan benzetim sonuçlarının hem RCP4.5 hem de RCP8.5 salım senaryoları açısından benzer oranda azalma öngördüğü, diğer iki model sonuçlarının ise farklı salım senaryolarındaki bölgesel değişikliklerinin daha belirgin olduğu görülür.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada RegCM4.3.5 bölgesel iklim modeli kullanılarak MPI-ESM-MR, HadGEM2 ve GFDL-ESM2M küresel iklim modellerinin iki farklı salım senaryosu çıktıları alt ölçeklendirme yöntemi ile 50 km çözünürlükte koşuldu. IPCC'nin yeni senaryo setlerinden RCP4.5 ve RCP8.5'e dayanarak, Türkiye ve yakın bölgesinin 1970 – 2000 dönemi klimatolojisine göre 2020 – 2050 gelecek döneminde ortalama hava sıcaklığı ve toplam yağış değerlerinde öngörülen olası değişiklikler incelendi. Çalışmanın sonucunda, Türkiye'de 21'nci yüzyılın ilk yarısında ortalama hava sıcaklıklarının 0.5 °C ile 4 °C arasında artacağı beklenmektedir. Sıcak mevsimlerde daha fazla olması beklenen hava sıcaklıklarındaki artış oranının ülkenin genel olarak yazı kurak ve sıcak subtropikal Akdeniz ikliminin egemen olduğu batısından karasal iklimin egemen olduğu doğusuna gidildikçe kuvvetleneceği açıkça görülür. Sıcaklıklarda beklenen bu artışın Türkiye'nin yanı sıra Balkanlar, Kafkaslar, Kıbrıs ve Kuzey Mezopotamya bölgelerinde de hakim olacağı çok nettir ve bu durum Türkiye ve çevresinin gelecekte sıcaklık artışından ciddi biçimde etkileneceğini gösterir.

Model sonuçlarına göre, Türkiye'deki yağış tutarlarında beklenen azalmanın, genel olarak -0.4 mm/gün ile -1.2 mm/gün arasında olabileceği belirlendi. Kestirilen yağış tutarlarının coğrafi desenleri incelendiğinde, genel olarak yazı kurak Akdeniz yağış rejiminin egemen olduğu güney ve kış mevsimi dışında- batı bölgelerinin yıl boyunca daha az yağış alacağı görülür. Bu durum da bize,

zaten yağışın mevsimlik ve yıllararası değişkenliğinin yüksek ve kuraklık olasılıklarının da görece yüksek olduğu bu bölgelerin, gelecekte kuraklığa daha fazla eğilimli olacağını gösterir. Ayrıca her mevsim yağışlı nemli ılıman bir iklimle nitelenen Karadeniz Bölgesi'nin en nemli ılıman hatta okyanusal bir ikliminin görüldüğü Doğu Karadeniz bölümünün, günümüz iklimine göre gelecekte daha çok yağış alacağı öngörülür. Bunun yanında, Balkanlar üzerinde beklenen yaz yağışlarındaki azalma da bütün benzetim sonuçlarında tutarlılık göstererek, sıcaklık öngörülerine kıyasla model ve senaryo değişkenliğine bağlı olarak daha fazla bölgesel ve mevsimsel değişiklik gösteren yağış değişimi açısından dikkat çekicidir.

Farklı model çıktılarına göre elde edilen bulgular değişiklik göstermesine karşın, bütün model çıktılarının sonuçları, Türkiye'nin büyük bir bölümünün yakın gelecekte günümüz klimatolojisine göre daha sıcak ve daha kurak bir iklim ile karşı karşıya kalacağını ve Türkiye'nin gelecek iklim değişikliği sonuçlarından çok etkilenecek bölgeler arasında bulunduğunu gösterir. Sıcaklık artışı ile birlikte yaşanacak olan kuraklık olayları, Türkiye'nin bugünkü yarıkurak, kurakça-yarınemli ve nemlice-yarınemli bölgeleri ile kuraklık/nemlilik sınıfı ne olursa olsun Akdeniz ikliminin egemen olduğu bölgelerinin, iklim değişikliğine ve olası sonuçlarına karşı çok açık ve etkilenebilirliğinin yüksek olduğunu ortaya koyan önemli indikatörlerdir.

Bunlara ek olarak, genelde beklenen olası sıcaklık artışı ve yağış azalmasının yanı sıra, bölgesel ve mevsimsel olarak yağış artışlarının da söz konusu olabileceği göz ardı edilmemelidir. Örneğin; HadGEM2 küresel iklim modelinin RCP4.5 salım senaryosu temel alındığında elde edilen benzetim sonuçları, kış ve sonbahar yağış tutarlarında Türkiye'nin güneybatısında artış öngörür. Beklenen bu artış, aynı modelin RCP8.5 temelli çıktıları alınarak elde edilen benzetim sonuçlarında kış mevsimi için de gözlenir. MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin RCP8.5 salım senaryosu temel alınarak yapılan benzetim sonuçlarına göre ise, Doğu Karadeniz ve Kuzeydoğu Anadolu bölümlerindeki kış yağışlarında artışlar

gerçekleşebilir. Buna göre, farklı senaryo ve model sonuçlarının da gösterdiği gibi, Türkiye’de gelecekte bazı mevsimlerde günümüze göre daha yağışlı ve yağışların özellikle topografyanın da etkisiyle çoğunlukla sağanak ve gökgürültülü sağanak yağışlar şeklinde gerçekleşebileceği; ülkenin güneybatı Anadolu, Doğu Karadeniz ve Kuzeydoğu Anadolu bölümlerinin de, sel ve taşkınlar ile bunlara bağlı olarak etki ve sıklıkları artabilecek olan kütle hareketlerinden ve arazi bozulumundan daha fazla etkilenebileceği beklenmelidir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu’nun 7392 No.lu projesince desteklendi. Ayrıca yazarlardan biri (MLK) kısmen Mercator-İPM Araştırma Burs Programı tarafından desteklenmektedir.

## Referanslar

- Anthes, R.A. 1977. ‘A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model’. *Monthly Weather Review* **105**, 270–286.
- Clarke, L., J. Edmonds, H. Jacoby, H. Pitcher, J. Reilly, R. Richels. 2007. ‘Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations’. Sub-report 2.1A of Synthesis and Assessment Product 2.1 by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Department of Energy, Office of Biological & Environmental Research, Washington, 7 DC., USA, 154 pp.
- Collins, W.J., N. Bellouin, M. Doutriaux-Boucher, N. Gedney, T. Hinton, C. D. Jones, S. Liddicoat, G. Martin, F. O'Connor, J. Rae, C. Senior, I. Totterdell, S. Woodward, T. Reichler, J. Kim. 2008. ‘Evaluation of the HadGEM2 model’. Met Office Hadley Centre Technical Note no. HCTN 74.
- Dee, D. P., with 35 co-authors. 2011. ‘The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system’. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, **137**, 553-597.
- Detlef P. van Vuuren, Jae Edmonds, Mikiko Kainuma, Keywan Riahi, Allison Thomson, Kathy Hibbard, George C. Hurtt, Tom Kram, Volker Krey, Jean-Francois Lamarque, Toshihiko Masui, Malte Meinshausen, Nebojsa Nakicenovic, Steven J. Smith, Steven K. Rose. 2011. ‘The representative concentration pathways: an overview’, *Climatic Change* **109**:5–31, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z.
- Dickinson, R.E., Henderson-Sellers, A., Kennedy, P.J. 1993. ‘Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) version 1e as coupled to the near community climate model’. Technical Note 3871STR, 72 pp., National Center for Atmospheric Research.
- Dunne, John P., and Coauthors. 2012. ‘GFDL’s ESM2 Global Coupled Climate–Carbon Earth System Models. Part I: Physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics’. *J. Climate*, **25**, 6646–6665, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00560.1>.
- Dunne, John P., and Coauthors. 2013. ‘GFDL’s ESM2 Global Coupled Climate–Carbon Earth System Models. Part II: Carbon System Formulation and Baseline Simulation Characteristics’. *J. Climate*, **26**, 2247–2267, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00150.1>.
- Emanuel, K.A. 1991. ‘A scheme for representing cumulus convection in large-scale models’. *Journal of the Atmospheric Sciences* **48**, 2313–2335.
- Emanuel, K.A., Zivkovic-Rothman, M. 1999. ‘Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models’. *Journal of the Atmospheric Sciences* **56**, 1766–1782.
- Giorgetta, M. A., et al. 2013. ‘Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5’. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **5**, 572–597, doi:10.1002/jame.20038.
- Giorgi, F., Shields, C. 1999. ‘Tests of precipitation parameterizations available in the latest version of the NCAR regional climate model (RegCM) over the continental United States’. *Journal of Geophysical Research* **104**, 6353–6375.
- Giorgi, F., Anyah, R. O. 2012. ‘The road towards RegCM4’. *Climate Research* **32**, 3-6.
- Grell, G. 1993. ‘Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations’. *Monthly Weather Review* **121**, 764–787.

- Grell, G.A., Dudhia, J., Stauffer, D.R. 1994. 'Description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)'. Technical Report TN-398+STR, NCAR, Boulder, Colorado, pp. 121.
- Holtzlag, A.A.M., de Bruijn, E.I.F, Pan, H.L. 1990. 'A high resolution air mass transformation model for shortrange weather forecasting'. *Monthly Weather Review* **118**, 1561–1575.
- IPCC. 2013. 'Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change' [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, 1535 pp.
- Kiehl, J.T., Hack, J.J., Bonan, G.B., Boville, B.A., Breigleb, B.P., Williamson, D., Rasch, P. 1996. 'Description of the near community climate model (ccm3)'. Technical Report NCAR/TN-420+STR, National Center for Atmospheric Research.
- Meinshausen M, SJ Smith, KV Calvin, JS Daniel, MLT Kainuma, J-F Lamarque, K Matsumoto, S Montzka, S Raper, K Riahi, AM Thomson, GJM Velders, and DP van Vuuren. 2011. 'The RCP Greenhouse Gas Concentrations and Their Extensions from 1765 to 2300'. *Climatic Change*, **109**: 213-241. DOI: 10.1007/s10584-011-0156-z.
- Nature. 1979. 'Costs and Benefits of Carbon dioxide', Vol. 279.
- Önol, B., Semazzi, F.H.M. 2009. 'Regionalization of climate change simulations over the Eastern Mediterranean'. *Journal of Climate* **22**, 1944-1960.
- Trigo, R., Xoplaki, E., Zorita, E., Luterbacher, J., Krichak, S., Alpert, P., Jacobeit, J., Saenz, J., Fernandez, J., Gonzalez-Rouco, F., Garcia-Herrera, R., Rodo, X., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Türkeş, M., Gimeno, L., Ribera, P., Brunet, M., Trigo, I., Crepon, M., Mariotti, A. 2006. 'Relations between variability in the Mediterranean region and mid-latitude variability'. In: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R. (Eds.) Chapter 3 of Mediterranean Climate Variability, p.179-226. Elsevier Developments in Earth & Environmental Sciences 4: Amsterdam.
- Ozturk, T., Altinsoy, H., Türkeş, M. and Kurnaz M. L. 2012. 'Simulation of temperature and precipitation climatology for central Asia CORDEX domain by using RegCM 4.0'. *Climate Research* **52**, 63–76.
- Ozturk, T., Türkeş, M. and Kurnaz, M. L. 2013. 'Projected changes in air temperature and precipitation climatology in Turkey by using RegCM 4.3'. In: Proceedings of European Geosciences Union General Assembly 2013, 07 – 12 April 2013: Vienna.
- Riahi, K., Gruebler, A. and Nakicenovic N. 2007. 'Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization'. *Technological Forecasting and Social Change* **74**, 7, 887-935.
- Sen, B., Topcu, S., Türkeş, M., Sen, B. and Warner, J. F. 2012. 'Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey'. *Climate Research* **52**, 175–191.
- Smith, S.J. and T.M.L. Wigley. 2006. 'Multi-Gas Forcing Stabilization with the MiniCAM'. *Energy Journal* (Special Issue #3) pp 373-391.
- Tatlı, H. ve Türkeş, M. 2011. 'Türkiye'nin kurak ve nemli koşullarının model çıktı istatistiği (MOS) ile incelenmesi'. In: *5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book*, s.219-229, 27-29 April 2011: İstanbul.
- Türkeş, M. 2008. 'İklim Değişikliği ve Küresel Isınma Olgusu: Bilimsel Değerlendirme.' İçinde: *Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü: İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi* (yay. haz. E. Karakaya), s.21-57. Bağlam Yayınları No. 308: İstanbul.

- Türkeş, M. 2010. *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi - Yayın No. 63, Fiziki Coğrafya Serisi No. 1, ISBN: 978-605-5863-39-6, 650 + XXII sayfa, İstanbul.
- Türkeş, M. 2012. 'Küresel İklim Değişikliği ve Çölleşme'. İçinde: *Günümüz Dünya Sorunları – Disiplinlerarası Bir Yaklaşım* (ed. N. Özgen), s.1-42. Eğiten Kitap: Ankara.
- Türkeş, M. 2013a. 'IPCC İklim Değişikliği 2013: Fiziksel Bilim Temeli Politikacılar İçin Özet Raporundaki Yeni Bulgu ve Sonuçların Bilimsel Bir Değerlendirmesi'. İçinde: *İklim Değişikliğinde Son Gelişmeler: IPCC 2013 Raporu*, s.8-18, Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi (IPM): İstanbul.
- Türkeş, M. 2013b. 'Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme'. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 5 (1). (Baskıda).
- Türkeş, M., Kurnaz, M. L., Öztürk, T. and Altınsoy, H. 2011. 'Climate changes versus 'security and peace' in the Mediterranean macro climate region: are they correlated?'. In: *Proceedings of International Human Security Conference on Human Security: New Challenges, New Perspectives*, p.625-639, CPRS Turkey, 27-28 October 2011: İstanbul.
- UNEP/WMO. 1995. 'United Nations Framework Convention on Climate Change.' UNEP/WMO Information Unit on Climate Change and Climate Change Secretariat, Geneva.
- Wise, MA, KV Calvin, AM Thomson, LE Clarke, B Bond-Lamberty, RD Sands, SJ Smith, AC Janetos, JA Edmonds. 2009. 'Implications of Limiting CO2 Concentrations for Land Use and Energy'. *Science*. 324:1183-1186.