



Ege Coğrafya Dergisi, 20/1(2011), 17-27, İzmir
Aegean Geographical Journal, 20/1 (2011), 17-27, İzmir—TURKEY
2014 yılında yayımlanmıştır.(Published in 2014)

RegCM4.3.5 İKLİM MODELİ BENZETİMLERİ KULLANILARAK TÜRKİYE'NİN GELECEK HAVA SICAKLIĞI VE YAĞIŞ KLİMATOLOJİLERİNDEKİ DEĞİŞİKLİKLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

*Analysing Projected Changes in Future Air Temperature and Precipitation Climatology of
Turkey by Using RegCM4.3.5 Climate Simulations*

Tuğba ÖZTÜRK³ & Murat TÜRKES^{2*} & M. Levent KURNAZ¹

¹ Boğaziçi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 34342, İstanbul

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü Bağlantılı, Ankara

³ Işık Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 34980, İstanbul

Abstract

In this work, future changes for the period of 2070-2100 in mean air temperature and precipitation climatology of Turkey with respect to present climate (1971 to 2000) were projected by using regional climate model simulations. Regional Climate Model (RegCM4.3.5) of International Centre for Theoretical Physics (ICTP) was used for projections of future and present climate conditions. HadGEM2 (Hadley Global Environment Model 2) global climate model of Met Office Hadley Centre was downscaled for Turkey and its surrounding region. In this study, RCP4.5 and RCP8.5 emission scenarios were studied in order to investigate future changes of some climate variables in Turkey. According to the model results, there will be an increase of between 3 °C and 7 °C in mean air temperatures of Turkey. This warming will be more severe in warm seasons than cold seasons. Changes varying from -0.8 mm/day to 1.2 mm/day in precipitation climatology of Turkey are expected according to the regional climate model results.

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

Öz

Bu çalışmada 1970-2000 dönemi günümüz iklimine göre 2070-2100 dönemi için Türkiye'nin ortalama hava sıcaklığı ve yağış klimatolojilerindeki değişiklikler, bölgesel iklim modeli simülasyonları (benzetim) kullanılarak öngörüldü. Günümüz ve gelecek iklim koşullarının model kestirimlerinin yapılması için, International Centre for Theoretical Physics (ICTP) bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5 kullanıldı. Met Office Hadley Merkezi'nin HadGEM2 küresel iklim modeli, Türkiye ve

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

çevresi için alt ölçeklendirme yöntemi ile çalışıldı. Gelecekte Türkiye'nin iklim değişkenlerinde oluşacak değişimleri incelemek için, küresel iklim modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryoları çıktıları kullanıldı. Model çıktılarına göre, Türkiye'de ortalama hava sıcaklıklarında 3 °C ile 7 °C arasında değişen artışlar olacaktır. Sıcaklık artışı, sıcak mevsimlerde soğuk mevsimlere göre daha fazla olacaktır. Bölgesel iklim modeli sonuçlarına göre, Türkiye'nin yağış klimatolojisinde ise, -0.8 mm/gün ile 1.2 mm/gün arasında değişen değişimler beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Türkiye, iklim değişikliği, salım senaryoları, bölgesel iklim modeli, gelecek projeksiyonları.

1. Giriş

Birleşmiş Milletler, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından iklim değişikliğinin yol açtığı sorunları değerlendirmek, gelecekle ilgili kestirimleri yapmak ve oluşabilecek riskleri belirlemek için Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. Bu panelde, çeşitli iklim senaryolarına göre bu yüz yılda küresel sıcaklığın nasıl değişeceği incelenmektedir. Bu panelin vardığı temel sonuçlara göre (IPCC, 2013), iklim değişikliği, etkileri gelecek yıllarda daha da belirginleşmesi öngörülen küresel ölçekte ciddi bir sorun olarak görülmektedir. Sanayi devriminden bu yana artan enerji ihtiyacı petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtların daha çok kullanılmasına neden olmuştur. Bu yakıtların kullanılmasıyla atmosferde biriken sera gazları artmış, özellikle karbondioksit oranında önemli bir artış gerçekleşerek, üç yüzyıldan kısa bir sürede milyon hacimde 280 molekül ya da parçacıktan (280 ppmv) milyonda 400 parçacığa (400 ppmv) yükselmiştir. Bunun sonucunda küresel sıcaklıkta yaklaşık olarak 0.9 °C artış gerçekleşti. Bu artış eğiliminin yarattığı ve gelecekte çoğalması beklenen olası sorunlar nedeniyle, iklim değişikliği son yıllarda uluslararası gündemin üst sıralarında yer almaktadır.

İklim değişikliği yeryüzündeki canlı yaşamını tehdit eden en büyük tehlikelerden biridir. Bu konuda yapılacak her çalışma gelecekteki iklim koşulları hakkında bilgi vereceğinden, çok önemli ve yaşamsaldır. Birçok alt sistemi, etmen, süreç, parametre ve değişkeni içeren iklim sistemi, karmaşık bir sistem olduğu için iklimi modellemek de bir o kadar büyük ve zor bir problemdir. Bununla birlikte, gelecekte insan toplumlarının da nasıl davranacağı ya da davranması gerektiği

konusu, modellerin öngörmesi gereken en önemli parametrelerden biridir. Bu yüzden, iklim değişikliği çalışmalarında gelecekte insanın nasıl davranacağı ile ilgili farklı senaryoların incelenmesi çalışmaların güvenilirliğini arttırmaktadır.

İnsan kaynaklı sera gazlarının sürmekte olan salımları, daha fazla ısınmaya ve iklim sisteminin tüm bileşenlerindeki değişikliklere neden olacağı için, iklim değişikliğinin sınırlandırılması, sera gazı salımlarının önemli oranda ve sürekli azaltılmasını gerektirecektir (Türkeş, 2012, 2013a). Yeni IPCC senaryolarına (Temsili Konsantrasyon Yolu – RCP) dayanılarak öngörülen iklim değişikliği, senaryo farklılıkları hesaba katıldıktan sonra, hem desenler hem de büyüklük açısından bir önceki IPCC raporundakilere (AR4) benzemektedir (IPCC, 2013; Türkeş, 2013a). Buna göre, küresel yüzey sıcaklığı değişikliği, 21'nci yüzyılın sonuna kadar, biri (RCP2.6) dışında tüm yeni IPCC senaryolarına (RCP'ler) dayanarak 1850 – 1900 dönemine göre olasılıkla 1.5 °C'yi ve iki yeni senaryoya (RCP6.0 ve RCP8.5) göre olasılıkla 2 °C'yi aşacak; RCP4.5 senaryosuna göreyse, daha yüksek olasılıkla 2 °C'yi aşmayacaktır. Küresel ısınma, bir senaryo (RCP2.6) dışında tüm yeni IPCC RCP senaryolarına dayanarak 2100 yılı sonrasında da sürecektir. Isınma, yıllararası değişkenlikten on yıllık değişkenliklere kadar çeşitli değişkenlikler sergilemeyi sürdürecektir ve bölgesel olarak türdeş olmayacaktır. 1986 – 2005 dönemine göre 2016 – 2035 dönemindeki küresel ortalama yüzey sıcaklığı artışı, olasılıkla 0.3 – 0.7 °C aralığında olacaktır. Doğal içsel değişkenliğe göreyse, mevsimlik ortalama ve yıllık ortalama sıcaklıklardaki kısa süreli artışların, yüksek güvenilirlikle tropikal ve subtropikal kuşaklarda orta enlemlerden daha yüksek olması beklenmektedir.

Türkiye'nin genel olarak batı ve güney bölgelerinde etkili olan yazı kurak subtropikal Akdeniz ikliminin en belirgin özelliği, hem mevsimselliğin hem de yıllararası (yıldan yıla ve daha uzun dönemli) değişkenliğin çok yüksek olmasıdır (Türkeş, 2010). Bu özellik de, sık oluşan uzun dönemli kuraklıklarla ve kısa dönemli şiddetli yağışlarla açıklanır (Tatlı ve Türkeş, 2011). Büyük Akdeniz iklimi, Türkiye ile birlikte, Akdeniz havzasına komşu Portekiz, İspanya, kuzeybatı Afrika kıyıları, Fransa, İtalya, Yunanistan, Lübnan ve İsrail'de egemen iklimdir (Türkeş ve ark., 2011). Akdeniz Havzası için hem gözlenen verilere dayalı hem de çeşitli sera gazı salım senaryolarına dayalı küresel ve bölgesel iklim modelleri benzeştirilerek yapılan iklim değişikliği ve değişkenliği çalışmalarının sonuçları, Akdeniz Havzasının gelecekte iklim değişikliğinden olumsuz etkileneceğini gösterir (ör. IPCC, 2013; Önoğlu ve Semazzi, 2009; Trigo ve ark., 2006; Öztürk ve ark., 2013; Sen ve ark., 2012; Türkeş, 2012, 2013b; Türkeş ve ark., 2011, vb.). Bu yüzden, bu çalışmada, RegCM4.3.5 bölgesel iklim modeli HadGEM2 küresel iklim modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak ve 50 km çözünürlükte koşularak, Türkiye ve çevresinde 1970-2000 dönemine göre gelecek 2070-2100 döneminde olasılıkla gerçekleşecek ortalama hava sıcaklığı ve yağış değişikliklerinin ortaya konulması amaçlandı.

2. Veri ve Metodoloji

Bu çalışma RegCM4.3.5 bölgesel iklim modeli kullanılarak gerçekleştirildi. RegCM4.3.5, Abdus Salam Uluslararası Teorik Fizik Merkezi (The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics) tarafından yazılmış hidrostatik bir bölgesel iklim modelidir. RegCM bölgesel iklim modelinin dinamik yapısı, Pennsylvania State University'nin Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi'nin (National Center for Atmospheric Research (NCAR) of the Pennsylvania State University) orta ölçekli MM5 modelinin (Grell ve ark., 1994) hidrostatik versiyonunu içerir. Yüzeyle ilgili işlemler için BATS1E (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme) (Dickinson ve ark., 1993) modeli kullanılır. Ayrıca, Community Land Model (CLM) 3.5 sürümü de bir seçenek olarak

bu çalışmada RegCM4.3.5 bölgesel iklim modelinde ısınım transferi NCAR Community Climate Model, version CCM3 (Kiehl ve ark., 1996) radyasyon paketi kullanılarak modellenmiştir. Güneş ışınımı transferi δ -Eddington (Kiehl ve ark., 1996) yaklaşımı ile modellenmiştir. Modelin bulut ışınımı kısmında, bulutluluk tutarı, bulutun sıvı su içeriği ve etkin damlacık yarıçapı olmak üzere üç parametre kullanılır. Modelde yerel olmayan difüzyon kavramına dayalı Holtslag ve ark. (1990)'nce geliştirilen gezegensel sınır tabakası şeması (Planetary Boundary Layer-PBL Scheme) kullanılır. Modelin konvektif yağış düzenekleri (Modified-Kuo Scheme, Athens, 1977), Grell scheme (Grell, 1993) ve MIT-Emanuel Scheme (Emanuel, 1991, Emanuel ve Zivkovic-Rothman, 1999) olmak üzere üç şemadan biri seçilerek hesaplanır. Bu bölgesel iklim modeli sistemi, yaklaşık son on beş yıldır (Giorgi ve Shields, 1999, Giorgi ve Anyah, 2012) iklim değişikliği çalışmaları uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Bölgesel iklim modeline veri girişi için kullanılan küresel iklim modeli, İngiltere HadGEM2 Met Office Hadley Merkezi tarafından CMIP5 yüz yıllık benzetimler için kullanılan birleştirilmiş bir Yeryüzü Sistem modelidir. HadGEM2 Met Office'in UM (Unified Model) 6.6 versiyonundan geliştirilmiş bir konfigürasyondur. Bu model, hem iklim araştırmaları hem de hava tahminleri amacıyla birçok kurum tarafından kullanılmaktadır. HadGEM2-ES iklim modeli N96 ve L38 yatay ve dikey çözünürlükte atmosfer ve bir derecelik yatay çözünürlük ve 40 dikey seviyede okyanus bileşenlerini içerir. Yer sistemi bileşeni kara ve okyanustaki karbon döngüsü ve troposferdeki kimyasal bileşenleri içerir. Karasal bitki örtüsü ve karbon 5 farklı bitki örtüsünün (geniş yapraklı ağaç, ibrelili ya da iğne yapraklı ağaç, C3 çayır/bozkır/savan, C4 çayır/bozkır/savan, çalı) karbon dengesi ve içeriğini benzeştiren küresel bir dinamik bitki örtüsü modeli olan TRIFFID ile tanımlanır.

Bu çalışmada HadGEM2 (Hadley Global Environment Model 2) küresel iklim modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryoları, bölgesel

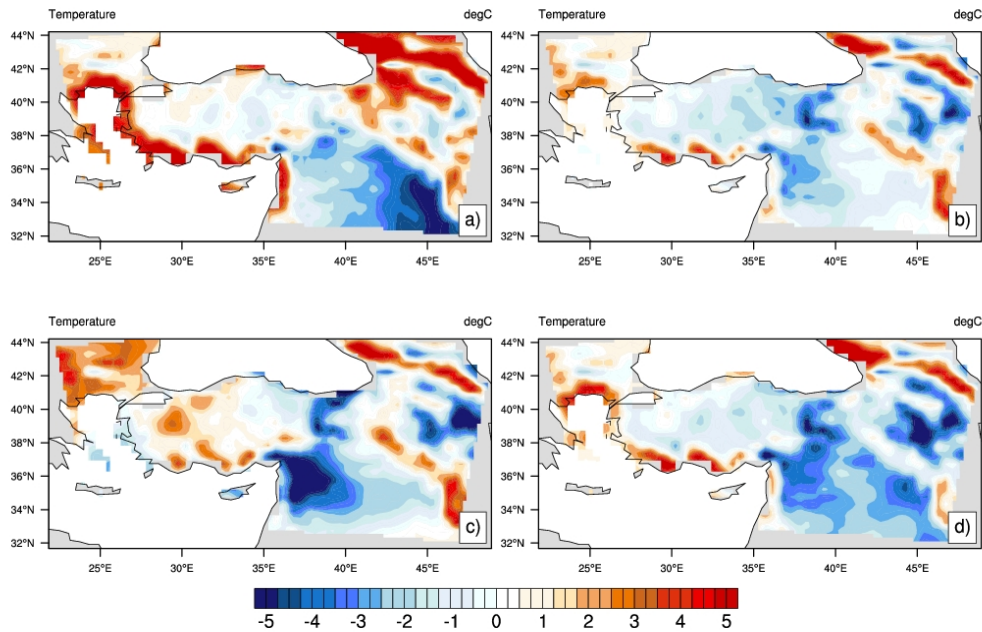
iklim modeline veri girişi olarak kullanıldı. RCP8.5 salım senaryosunda, 2100 yılında ışınimsal zorlamanın 8.5 W/m^2 , RCP4.5 salım senaryosunda ise 4.5 W/m^2 olacağı öngörülmektedir. Bölgesel iklim modeli, konvektif yağış düzenleri için Grell ve Fritsch-Chappell şeması kullanılarak koşuldu. Çalışmadaki sonuç çıktılar, küresel iklim modelinin RCP8.5 ve RCP4.5 salım senaryoları çıktıları kullanılarak, RegCM4.3.5 bölgesel iklim modeli, dinamik alt ölçeklendirme yoluyla 50 km çözünürlükte elde edildi.

3. Çözümleme Sonuçları

Türkiye'nin gelecek 2070-2100 dönemi ikliminin geçmişe (1970-2000) göre nasıl değişeceğini görmek için, HadGEM2 küresel iklim modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryo çıktıları kullanılarak, ortalama hava sıcaklığı ve toplam

yağış haritaları her mevsim için çizildi. Bölgesel iklim modelinin performansı 1970-2000 dönemi ya da klimatolojisi için gözlem verilerine dayalı Climate Research Unit (CRU) veri seti ile kontrol edilerek, bölgeyi en iyi benzeştiren parametreler ile koşuldu. Hava sıcaklığı verilerini incelediğimizde, özellikle kış mevsiminde belirgin olmak üzere her mevsimde Kafkaslar üzerinde pozitif yönde sıcaklık farkı görmekteyiz (Şekil 1). Bu durum, söz konusu bölgenin topografyasının yüksek ve dağlık olmasından kaynaklanan bir hata olarak değerlendirilebilir. Öte yandan, bölgenin güneydoğusunda özellikle yaz mevsimi için negatif yönde bir sıcaklık farkı görülür. Bunların dışında, diğer bölgelerdeyse, bölgesel iklim modelinin -1.5 ila 1.5 derece arasında değişen sıcaklık farkları ile geçmiş periyod için ortalama hava sıcaklığı kestirimlerinin kabul edilebilir bir düzeyde olduğu söylenebilir.

HadGEM2-CRU 1970-2000



Şekil 1. Küresel iklim modeli HadGEM2 çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM'in 1970-2000 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için benzeştirilen ortalama hava sıcaklığı değerlerinin CRU (Climate Research Unit) gözlemsel sıcaklık veri seti ile Türkiye ve yakın çevresi üzerinde karşılaştırılması.

Figure 1. Comparison of simulated air temperatures of the RegCM regional climate model, which is forced by the HadGEM2 dataset, with the Climate Research Unit (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.

Bölgesel iklim modelinin toplam yağış kestirimlerini incelediğimizde, kıyı kuşağında modelin toplam yağışı özellikle kış mevsimi için fazla tahmin ettiği görülür (Şekil 2). Diğer bölgelerde hatanın sıfıra yakın olduğunu ve böylece modelin toplam yağış parametresi için daha iyi performans gösterdiğini söyleyebiliriz.

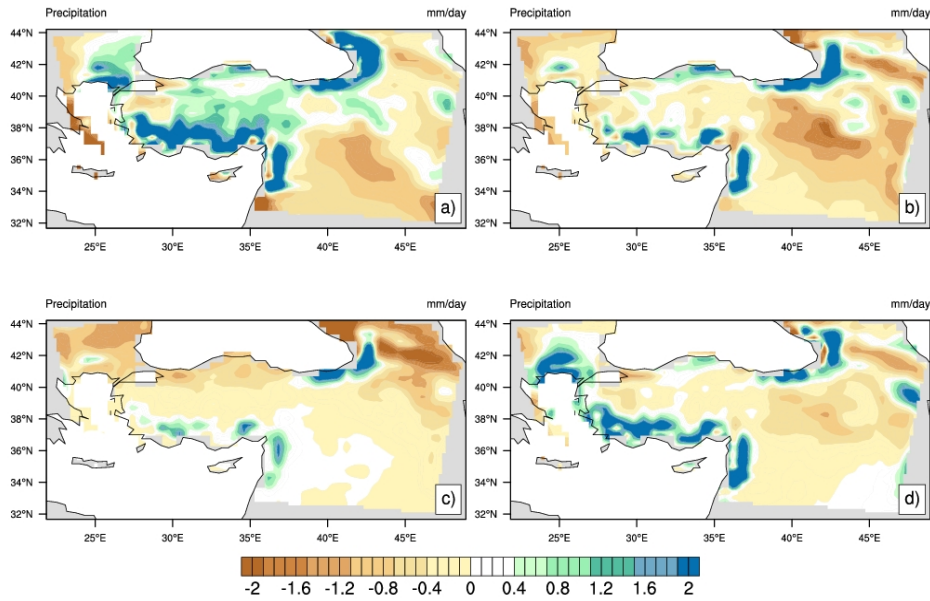
Kullanılan HadGEM2 iklim modeli ve RCP4.5 salım senaryosuna göre, Türkiye’de 2070-2100 yılları arasında yaz mevsimi hava sıcaklıklarının 1970-2000 klimatolojisine göre 4-6.5 °C arasında artması beklenmektedir. Ortalama hava sıcaklıklarındaki artışlar, kış mevsimi için 3.5 °C dolaylarında seyrederken, ilkbahar ve sonbahar mevsiminde bu artışlar 4-4.5 °C’ye kadar çıkar (Şekil 3).

Kullanılan HadGEM2 iklim modeli ve RCP8.5 salım senaryosuna göre, Türkiye’de 2070-2100 yılları arasında yaz mevsiminde kestirimi yapılan

hava sıcaklıklarının 1970-2000 klimatolojisine göre 5.5-7 °C arasında değişen bir değerde artması beklenmektedir. Kış mevsimi için, ortalama hava sıcaklıklarındaki artışının 4.5 °C dolayında olduğu, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri için ise, doğuya gidildikçe artarak 5-7 °C arasında olduğu görülmektedir (Şekil 4).

Toplam yağış kestirimlerini incelediğimizde, HadGEM2 iklim modeli ve RCP4.5 salım senaryosu kullanılarak yapılan benzeştirmede, Türkiye’de 2070-2100 yılları arasında 1970-2000 dönemi klimatolojisine göre yağış değişiminin kış mevsimi için ülkenin güneyinde 2 mm/gün kadar azalması (negatif sapma), tersine kuzeydoğusunda ise 1.6 mm/gün artması (pozitif sapma) beklenmektedir. Buna karşın, yaz mevsiminde yağışların negatif yönde çok az değişeceği, ilkbahar ve sonbaharda ise kış mevsimindeki eğilimin daha zayıf süreceği görülür (Şekil 5).

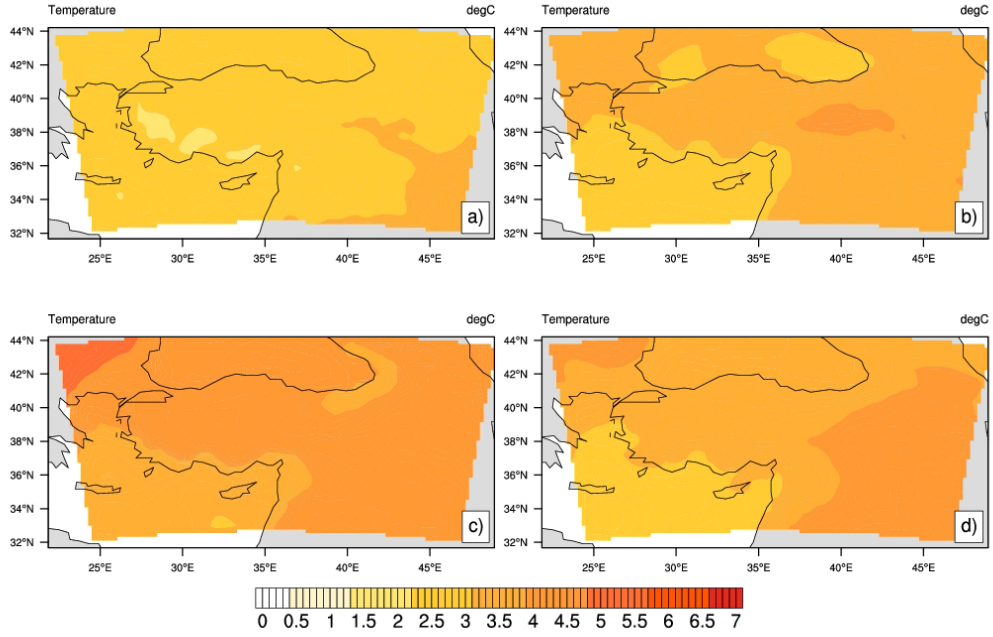
HadGEM2-CRU 1970-2000



Şekil 2. Küresel iklim modeli HadGEM2 çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM’in 1970-2000 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için benzeştirilen ortalama yağış tutarlarının, CRU (Climate Research Unit) gözlemsel yağış veri seti ile Türkiye ve yakın çevresi üzerinde karşılaştırılması.

Figure 2. Comparison of simulated average precipitation amounts of the RegCM regional climate model, which is forced by the HadGEM2 dataset, with the Climate Research Unit's (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.

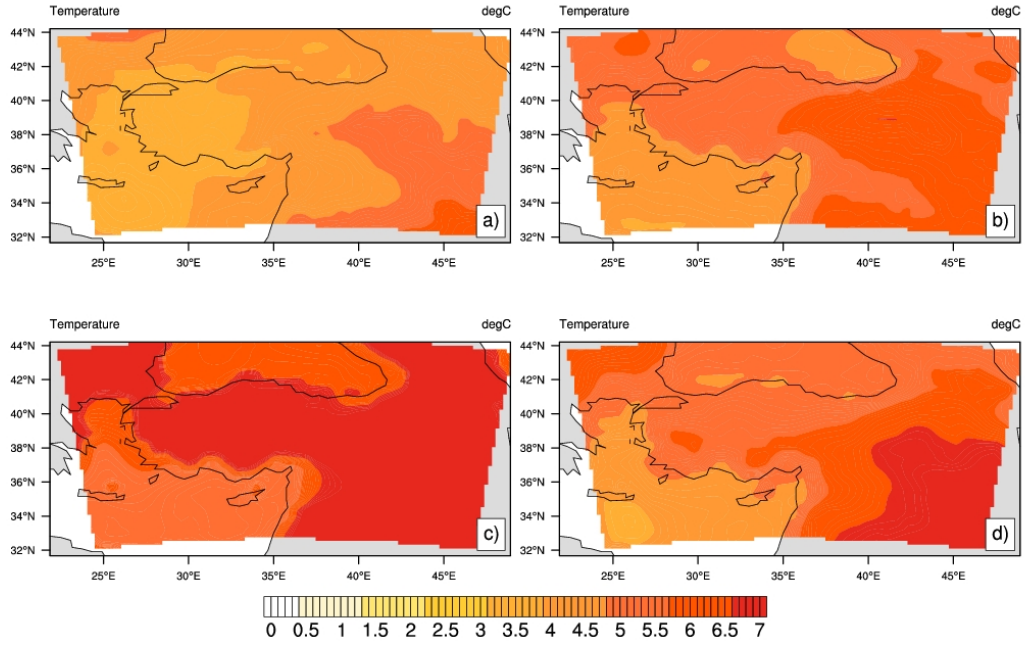
HadGEM2 RCP4.5 2070-2100 - 1970-2000



Şekil 3. Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP4.5 salın senaryosu çıktılarını kullanarak bölgesel iklim modeli RegCM'in 1970-2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2070-2100 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişikliklerin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 3. Geographical distribution patterns of changes in projected mean air temperatures over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM, which is forced by the global climate model HadGEM2 with RCP4.5 emission scenario for the climatology of 2070–2100 future period with respect to the climatology of 1970–2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.

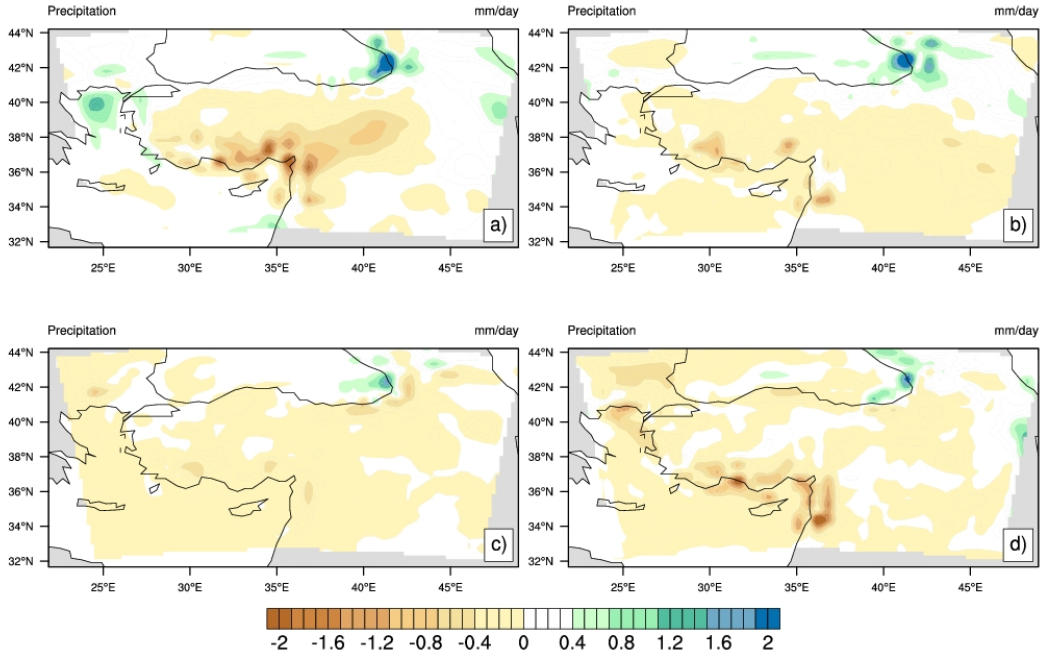
HadGEM2 RCP8.5 2070-2100 - 1970-2000



Şekil 4. Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP8.5 salm senaryosu çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM'in 1970-2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2070-2100 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişikliklerin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 4. Geographical distribution patterns of changes in projected mean air temperatures over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM, which is forced by the global climate model HadGEM2 with RCP8.5 emission scenario for the climatology of 2070–2100 future period with respect to the climatology of 1970–2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.

HadGEM2 RCP4.5 2070-2100 - 1970-2000



Şekil 5. Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP4.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM'in 1970-2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2070-2100 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen **toplam yağış tutarlarındaki** değişikliklerin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 5. Geographical distribution patterns of changes in projected total precipitation amounts over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM, which is forced by the global climate model HadGEM2 with RCP4.5 emission scenario for the climatology of 2070–2100 future period with respect to the climatology of 1970–2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.

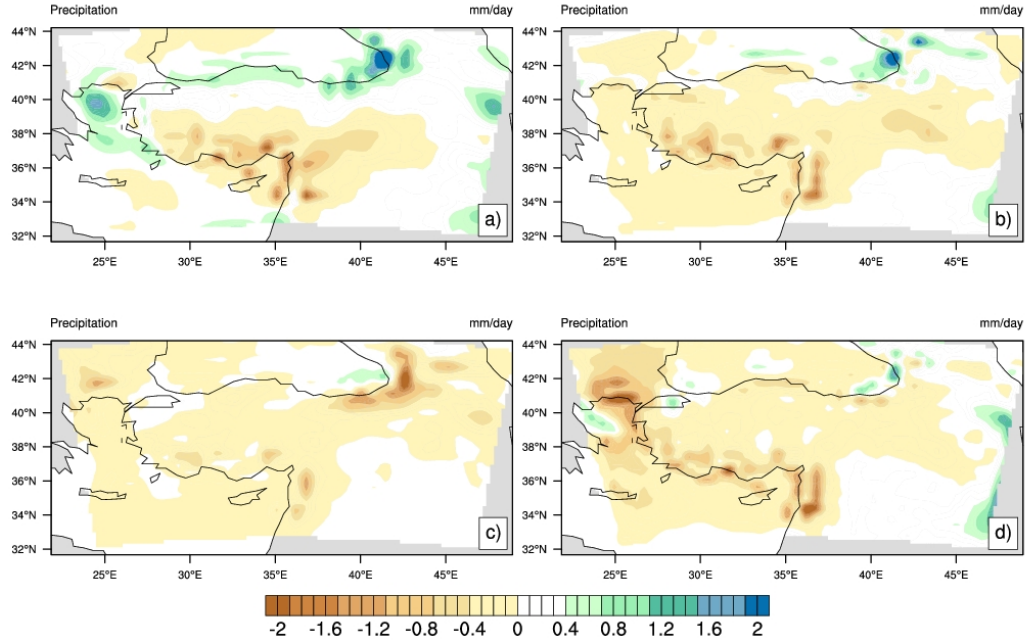
HadGEM2 iklim modeli ve RCP8.5 salım senaryosu kullanılarak yapılan benzeştirmeye dayalı gelecek kestirimleri, RCP4.5 salım senaryosu çıktılarındaki eğilimin hemen aynısını gösterir. Öte yandan, bölgenin güneyinde toplam yağışlarda azalma beklenirken, kuzeydoğusunda yağışların artması beklenir (Şekil 6).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada RegCM4.3.5 bölgesel iklim modeli kullanılarak, HadGEM2 küresel iklim modelinin 2 farklı salım senaryosu çıktıları alt ölçeklendirme yolu ile 50 km çözünürlükte koşuldu. RCP4.5 ve

RCP8.5 salım senaryosu setine dayanarak, Türkiye ve bölgesinin 1970-2000 dönemi günümüz klimatolojisine göre 2070-2100 gelecek dönemde ortalama hava sıcaklığı ve yağış tutarlarında beklenen olası değişiklikler incelendi. Çalışmanın sonucunda, Türkiye'de 21'nci yüzyılın ikinci yarısından sonra ortalama hava sıcaklıklarının 3 °C ile 7 °C arasında artabileceği belirlendi. Hava sıcaklıklarındaki artışın, sıcak mevsimlerde daha fazla olduğu ve artış oranının ülkenin genel olarak subtropikal Akdeniz ikliminin egemen olduğu batısından karasal iklimin egemen olduğu doğusuna gidildikçe kuvvetlendiği açıkça görülür.

HadGEM2 RCP8.5 2070-2100 - 1970-2000



Şekil 6. Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP8.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM'in 1970-2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2070-2100 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen **toplam yağış tutarlarındaki** değişikliklerin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri.

Figure 6. Geographical distribution patterns of changes in **projected total precipitation amounts** over Turkey and its nearby surroundings from the regional climate model RegCM, which is forced by the global climate model HadGEM2 with RCP8.5 emission scenario for the climatology of 2070–2100 future period with respect to the climatology of 1970–2000 reference period: (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn seasons.

Benzeştirilen bölgesel iklim değişikliği sonucunda, Türkiye'deki yağış tutarlarının -0.8 mm/gün ile 1.2 mm/gün arasında değişebileceği 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 (kuraklaşma) görülür. Öte yandan, genel olarak yağış rejimi düzenli (her mevsim yağışlı) nemli ılıman bir orta enlem ikliminin egemen olduğu Karadeniz Bölgesi'nin (özellikle Doğu Karadeniz Bölümü) kış ve ilkbahar mevsimlerinde ve gerçek Akdeniz iklimine göre daha serin ve kuzeyli dolaşıma ve hava sistemlerine daha açık olan Ege Denizi'nin kuzey bölümünün (Kuzey Ege) kış mevsiminde günümüze göre daha çok yağış alacağı beklenir. Model sonuçlarına göre, öngörülen değişiklikler,

senaryoya göre değişmemekle birlikte yılın soğuk döneminde daha kuvvetli olabilecektir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, Türkiye'nin genel olarak artan hava sıcaklıkları ve azalan yağış tutarları nedeniyle, iklim değişikliğinden çok fazla etkileneceğini göstermektedir. Türkiye'nin Akdeniz kıyı kuşağı ve Toroslar dışında- genel olarak bugünkü iklim koşulları altında zaten az yağışlı, çok sıcak ve kuru bir sıcak dönemin (ilkbahar sonundan sonbahar ortasına kadar etkili olan yaz kuraklığı) yaşandığı, mevsimlik ve yıllararası yağış değişkenliğinin, dolayısıyla kuraklık olasılıklarının da yüksek olduğu güney ve orta-güney bölgeleri, gelecekte daha sıcak ve kuru bir iklime sahip olacaktır. Tüm bu sonuçlar ayrıca, Türkiye'nin gelecek insan kaynaklı iklim değişikliğine ve olası sonuçlarına karşı çok açık ve

etkilenebilirlik düzeyinin çok yüksek olduğunu da açık bir biçimde ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonunun 7362 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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., Altınsoy, H., Türkeş, M., 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., 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.
- Sen, B., Topcu, S., Türkeş, M., Sen, B., Warner, J. F., 2012. 'Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey'. *Climate Research* **52**, 175–191.
- Tatlı, H., 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., 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., 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.