

## GFDL-ESM2M Modeli Temelinde RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Türkiye İçin Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları

*Temperature and precipitation projections based on GFDL-ESM2M using RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for Turkey*

Hüdaverdi Gürkan<sup>\*1</sup>, Hüseyin Arabacı<sup>1</sup>, Mesut Demircan<sup>1</sup>, Osman Eskioğlu<sup>1</sup>, Serhat Şensoy<sup>1</sup>, Başak Yazıcı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara.

**Öz:** Senaryo, gelecekteki bazı olayları resmeden hikâyelerdir. Senaryo geleceğin tahmini değil, olması muhtemel alternatif durumların tanımlanmasıdır. Bunun yanında, emisyon senaryoları, iklim değişikliği çalışmalarının en önemli bileşenlerinden birini teşkil etmektedir. İklim geniş bölgelerde çok uzun zaman içinde gerçekleşen ortalama hava koşullarıdır. İklim değişikliği ise “nedeni ne olursa olsun iklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun süre boyunca gerçekleşen değişiklikler” biçiminde tanımlanmaktadır. IPCC raporlarında da belirtildiği üzere Türkiye, iklim değişikliğine karşı en hassas bölgelerden biri olan Doğu Akdeniz havzasında yer almaktadır. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek, sektörel bazda iklim değişikliğine uyum ve mücadele faaliyetlerini desteklemek amacıyla havza, bölge ve il düzeyinde sıcaklık ve yağış projeksiyonları geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'ne bağlı Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı (GFDL-Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) tarafından geliştirilen GFDL-ESM2M küresel dolaşım modelinin çıktıları kullanılmıştır. Çalışmada tercih edilen RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda oldukça fazla tercih edilen senaryolardır. Düşük çözünürlükte olan küresel model datalarından daha yüksek çözünürlüklü parametreler elde etmek amacıyla RegCM4.3.4 Bölgesel İklim Modeli ile Nesting (İç içe simülasyonlar) yöntemiyle dinamik ölçek küçültme yapılarak 130x180 grid matrisinde 20 km çözünürlükte, 1971-2000 referans periyoduna göre 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 yılları için sıcaklık ve yağış projeksiyonları üretilmiştir. Projeksiyon sonuçlarına göre; yıllık ortalama sıcaklıkta RCP4.5 senaryosuna göre ortalama 1,5°C, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama 2,5°C artış ön görülmektedir. Yağış miktarlarında RCP4.5 senaryosuna göre ortalama olarak 10-15 mm/yıl, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama olarak 105-110 mm/yıl civarında azalışlar öngörülmektedir. Sıcaklık ve yağış ortalamalarındaki değişiklikler ülkemizin çok çeşitli coğrafik özelliklere sahip olması nedeniyle bölgesel, havza ve il bazında farklılıklar göstermektedir. Sıcaklık artışı açısından en hassas havza olarak Fırat-Dicle havzası, yıllık ortalama yağış değişimi açısından ise Akdeniz Bölgesi içerisinde yer alan havzaların en hassas yöreler olması ön görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İklim değişikliği, IPCC, GFDL-ESM2M, RegCM4.3.4, RCPs.

**Abstract:** Scenario is a story that depicts some events in future. Scenario is not a forecast or a prediction of future, it is description of the possible alternative cases. Additionally, the emission scenario is one of the most important components of climate change studies. Climate is the average weather conditions that occur in a wide area in a very long time. Climate change refers to a change in the state of the climate that can be identified by

---

\* İletişim yazarı: Hüdaverdi Gürkan, e-posta: hgurkan@mgm.gov.tr

Makale Geliş Tarihi: 01.11.2016

Makale Basıma Uygun Tarihi: 05.12.2016

*changes in the mean and/or the variability of its properties and that persists for an extended period, typically decades or longer. Turkey is located in the eastern Mediterranean basin, one of the most vulnerable regions to climate change as stated in the IPCC report. Basin-based, regional-based and provincial-based temperature and precipitation projections were developed for minimizing the negative effects of climate change adaptation and to support activities to combat climate change on a sectoral basis. In this study, GFDL-ESM2M global circulation model outputs, developed by the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory connected to the National Oceanic and Atmospheric Administration in United States, were used. Selected scenarios (RCP4.5 and RCP8.5) of this study were the most preferred scenarios in the IPCC 5th Assessment Report. In order to obtain high-resolution climatic parameters from the low-resolution global model data, nesting method (Nested simulations) were used with Regional Climate Model RegCM4.3.4, then temperature and precipitation projections were produced for 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 periods, relative to the 1971-2000 reference period with 20 km resolution in 130x180 grid matrix. According to results; the increase that is expected in annual mean temperature is 1,5°C based on RCP4.5, and 2,5°C based on RCP8.5. In the amount of precipitation, an average decrease of 10-15 mm/year and 105-110 mm/year is expected based on RCP4.5 and RCP8.5 respectively. Changes in mean temperature and precipitation show some differences on regional, watershed, and provincial level due to various geographical features of our country. Fırat-Dicle basin draws attention as the most sensitive basin in terms of temperature increase. In terms of average annual precipitation change, it is expected that basins, located in Mediterranean Region, will be the most sensitive regions.*

**Keywords:** Climate Change, IPCC, GFDL-ESM2M, RegCM4.3.4, RCPs.

## 1. Giriş

İklim geniş bölgelerde çok uzun zaman içinde gerçekleşen ortalama hava koşullarıdır. İklim aynı zamanda ekstrem hava olaylarını da içerirken; bir bölgenin hava olayları bakımından karakterini ve bitki örtüsünü de tayin eder. İklim değişikliği ise “nedeni ne olursa olsun iklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun süre boyunca gerçekleşen değişiklikler” biçiminde tanımlanmaktadır (UNFCC, 1994; Akçakaya vd., 2015). Sanayi devriminden bu yana iklimde insan kaynaklı büyük değişiklikler görülmeye başlanmıştır. Bunun en önemli etmenleri olarak sanayi devrimiyle birlikte yoğun olarak kullanılmaya başlayan fosil yakıtlar, hızlı kentleşme, hızlı nüfus artışıyla birlikte arazi kullanım yapısında gerçekleşen değişiklikler, orman alanlarının yok edilmesi gibi etmenler kabul edilmektedir. Tüm bu olumsuz etmenler atmosferdeki sera gazı oranında hızlı bir artışa ve buna bağlı olarak da küresel olarak ısınmaya yol açmaktadır.

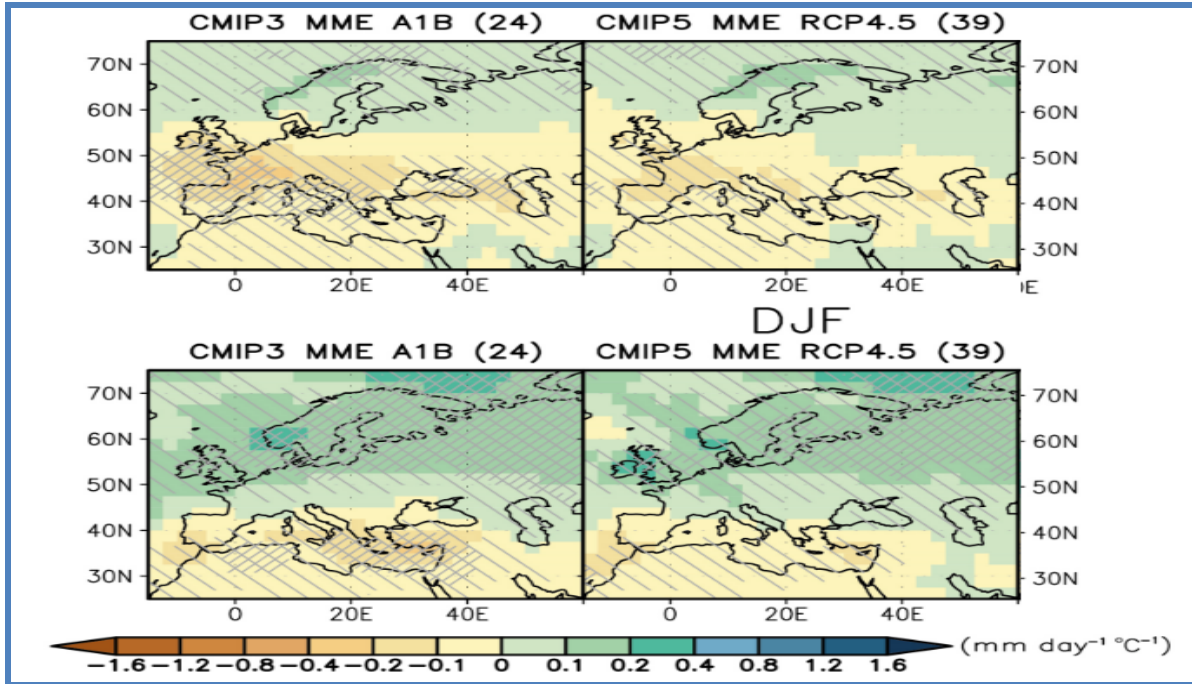
İklimde meydana gelen değişiklikler insanoğlu ve tüm canlıların yaşamını doğrudan etkilemektedir. Gelecekte görülmesi muhtemel iklimin tahmin edilmesinde en önemli çalışma iklimin modellenmesidir (MGM, 2013 ; Demir, Ö., vd., 2013 ; Demircan, M., vd., 2014a; Demircan, M., vd., 2014b). Sanayi devrimiyle beraber insan faaliyetleri nedeniyle küresel olarak iklimde meydana gelen değişiklikleri önleyebilmek, azaltabilmek ve iklim değişikliği ile küresel manada çalışmalarını koordine edilmek adına 1988 yılında Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. IPCC günümüzde iklim değişikliği ile ilgili çalışmalarını koordine eden en önemli kuruluşlardan biridir. IPCC'nin en önemli çalışma konularından bir tanesi geleceğe yönelik muhtemel alternatif durumların ortaya konması çalışmalarınıdır. Yani geleceğe yönelik muhtemel senaryoları oluşturma çalışmalarının yürütülmesini koordine etmektedir. Senaryo, gelecekteki bazı olayları resmeden hikâyelerdir (Gregory ve Duran, 2001). Senaryo geleceğin tahmini değil, olması muhtemel alternatif durumların tanımlanmasıdır (IPCC, 2000).

İklim değişikliği çalışmalarını bünyesindeki senaryo geliştirme sürecinde sera gazları konsantrasyonlarının gelecekteki potansiyel miktarlarını ortaya koyabilmek için emisyon senaryoları oluşturulmuştur. Bu bağlamda, emisyon senaryoları, sera gazları ve aerosoller gibi yer yüzünün radyasyon dengesini bozan maddelerin gelecekte atmosferdeki konsantrasyonlarının tahmin edilmesidir (Moss vd., 2010). Bunun yanında, emisyon senaryoları, iklim değişikliği çalışmalarının en önemli bileşenlerinden birini teşkil etmektedir.

IPCC 25. Oturumuna kadar iklim değişikliği ile ilgili senaryoların oluşturulma işlerini koordine etmekteydi. Fakat 25. Oturumunda (IPCC, 2006) IPCC'nin senaryo geliştirme çalışmalarına koordine etmek yerine senaryo geliştirme çalışmalarının kolaylaştırma misyonunu üstlenmesine ve geliştirilecek yeni emisyon senaryolarının geliştirme işlerini araştırma camiasının yürütmesine karar verilmiştir.

IPCC'nin 25. Oturumunda alınan kararlar doğrultusunda, 2007 yılında yapılan IPCC Uzmanlar Toplantısı'nda yeni senaryolar ile ilgili bir dizi kararlar alınmış ve senaryoların ana hatları yeniden belirlenmiştir. Bu yeni yaklaşımla geliştirilen yeni konsantrasyon senaryoları Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP: Representative Concentration Pathways) olarak adlandırılmıştır. Aynı toplantıda belirlenen özellikler bakımından ve ışınımsal zorlama seviyeleri ve rotaları için 4 adet RCP tipi tanımlanmıştır. Bunlar ışınımsal zorlama değerleri en küçükten en büyüğe sırası ile RCP3-PD(RCP2.6), RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5'dir.

IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda göre Akdeniz havzasında ve Avrupa'da sıcaklıkların 21. Yüzyıl boyunca da artmaya devam edeceği belirtilmiştir (IPCC, 2013). Şekil 1'e göre hem CMIP3 kapsamında A1B senaryoları ile yapılan hem de CMIP5 kapsamında RCP4.5 senaryoları ile yapılan 2080-2099 dönemi yaz ve kış mevsimleri yağış anomalileri projeksiyonlarına göre Türkiye'nin büyük bir bölümünde yağışlarda azalışlar öngörülmektedir. Yaz mevsimi projeksiyonlarında Türkiye'nin tamamında azalışlar, kış mevsiminde ise Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerinde artışlar öngörülmüştür (IPCC, 2013)

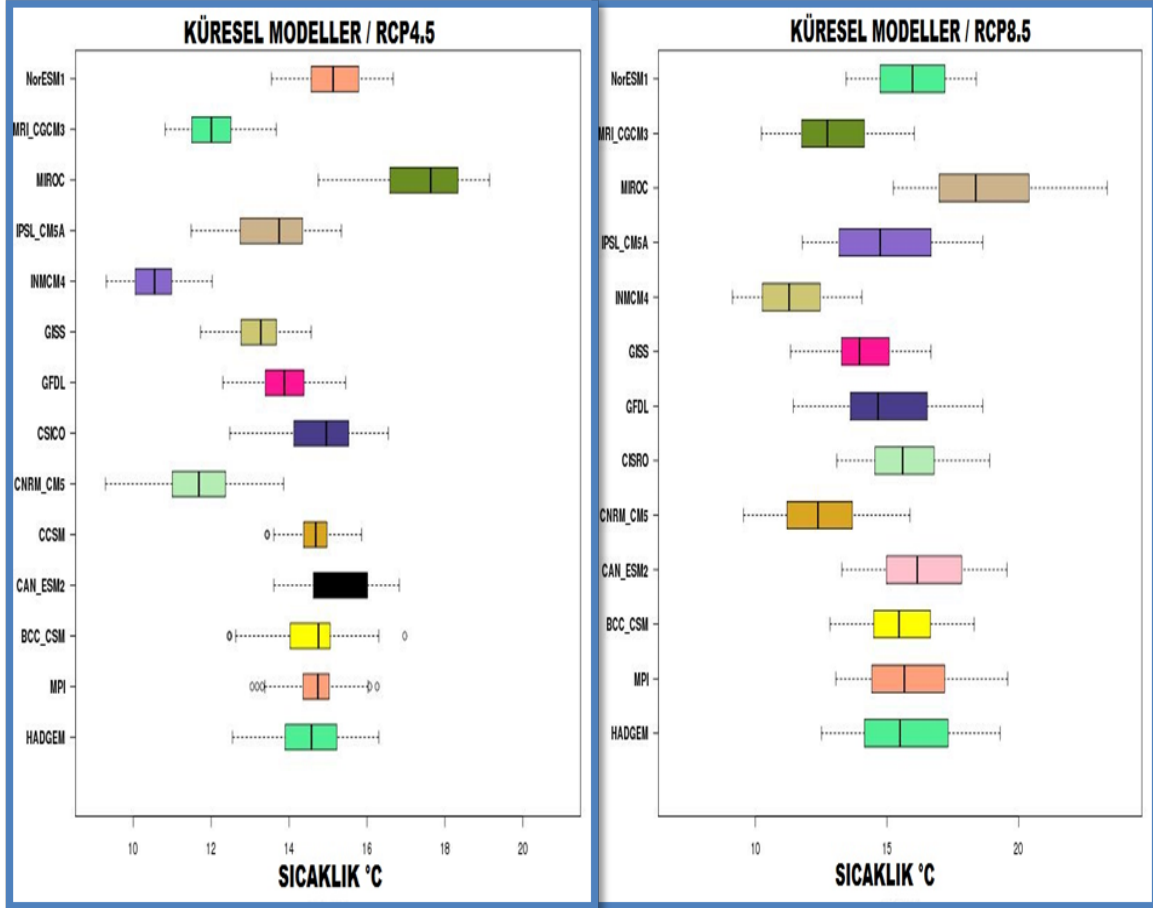


Şekil 1. Avrupa ve Akdeniz havzası için 2080-2099 dönemi yağış anomalileri. Yaz mevsimi (haziran-ağustos) (üst), kış mevsimi (aralık-şubat) (alt). CMIP3 24 küresel iklim model ile A1B senaryosu (sol), CMIP5 39 Küresel model ile RCP4.5 senaryosu (sağ).

## 2. Materyal ve Yöntem

IPCC raporlarında da belirtildiği üzere ülkemiz, iklim değişikliğine karşı en hassas bölgelerden biri olan Doğu Akdeniz havzasında yer almaktadır. IPCC'nin kararlaştırdığı yeni nesil senaryolar belirlenmesinden sonra küresel ölçekte, düşük çözünürlüklü iklim modelleri geliştirilmiştir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek, sektörel bazda iklim değişikliğine uyum ve

mücadele faaliyetlerini desteklemek amacıyla havza, bölge ve il düzeyinde sıcaklık ve yağış projeksiyonları geliştirilmiştir (Gürkan vd., 2015) Bu çalışmada Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP5) kapsamında da tercih edilen küresel iklim modellerinin ülkemiz coğrafyası için oluşturduğu ortalama sıcaklık değerleri karşılaştırılmış ve ülkemiz ortalamasına en yakın sonuçlar üreten modeller tercih edilmiştir (Şekil 2).



**Şekil 2.** Küresel modellerin RCP4.5 senaryosu (sol) ve RCP8.5 senaryosuna (sağ) göre Türkiye için gösterdikleri ortalama sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada, Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'ne bağlı Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı (GFDL-Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) tarafından geliştirilen GFDL-ESM2M küresel dolaşım modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları temelinde elde edilen çıktıları kullanılmıştır. GFDL, madde döngüleri (karbon, su vb.) ile insan aktivitelerinin iklim sistemleri üzerine etkileşimini bir arada incelemek için geliştirilmiştir. Model, birleştirilmiş atmosfer ve okyanus sirkülasyonunun yanı sıra atmosfer kimyasını da (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>4</sub>, aerosol vb.) içermektedir. Ayrıca model bitki biyolojisi ve bitki yüzey kullanımı, yüzey fiziği ve hidrolojisi, okyanus ekolojisi ve biyojeokimyası, okyanus sirkülasyonu ve deniz buzulları bileşenleri konfigürasyonları ile geliştirilmiştir. Modelin arazi bileşeni, yağış ve buharlaşma, akarsu, göl, ırmak, ve yüzeysel akışının yanı sıra dinamik karbon ve diğer elementlerin birikimlerinin simülasyonunu oluşturabilmek için karasal ekoloji bileşenini de içermektedir (Akçakaya vd., 2015).

Çalışmada IPCC'nin geliştirdiği yeni nesil senaryo ailesinden küresel ölçekte de en çok tercih edilen senaryolar olan RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları tercih edilmiştir. RCP8.5 muhtemel en yüksek ışınimsal zorlama ve konsantrasyon rotasıdır. RCP8.5 diğer senaryolara göre daha yüksek sera gazı emisyonları ifade etmekte dolayısıyla da RCP'lerin üst sınırını belirtmektedir (Fisher vd., 2007; IPCC, 2008; Riahi vd., 2011). RCP8.5 senaryosuna göre 2100 yılında radyatif zorlamanın  $8.5 \text{ W/m}^2$ 'ye, eşdeğer  $\text{CO}_2$  konsantrasyonlarının ise 1370 ppm dolayına ulaşması varsayılmaktadır. RCP4.5 ise orta bir dengede tutma rotası olup bu senaryoya göre radyatif zorlama değerinin 2100 yılında  $4.5 \text{ W/m}^2$ 'ye, eşdeğer  $\text{CO}_2$  konsantrasyonlarının ise 650 ppm dolayına ulaşması varsayılmaktadır (Thomson vd., 2011). Bu senaryonun diğer senaryolara göre iki avantajı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi yüksek rota ile arasındaki farktan dolayı çok iyi sinyal elde edilebilmesi, ikincisi ise literatürde bu rota ile ilgili çok sayıda yayımlanmış çalışmanın bulunmasıdır. IPCC 5. Değerlendirme Raporunda (AR5) yayınlanan küresel iklim projeksiyonlarında RCP2.6 ile 32, RCP4.5 ile 42, RCP6.0 senaryosu ile 25, RCP8.5 senaryosu ile 39 farklı küresel model çalışması yapılmıştır. Küresel ölçekte en fazla tercih edilen senaryolar RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları olmuştur (IPCC, 2013).

Küresel iklim modellerinin düşük çözünürlüklü verilerinden ülkemizi içine alan bölgeyi kapsayan daha yüksek çözünürlüklü bölgesel iklim projeksiyonları oluşturabilmek için bölgesel iklim modellerinin kullanılması gerekmektedir. Çalışmamızda Bölgesel İklim Model Sistemi (Regional Climate Model System - RegCM) olarak tanımlanan, Amerikan Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi (NCAR) tarafından geliştirilmiş bölgesel iklim modeli kullanılmıştır. RegCM, Uluslararası Abdüsselam Teorik Fizik Merkezi'nin (ICTP) Yer Sistem Fiziği Bölümü (ESP) tarafından bölgesel iklim modeli olarak uyarlanmış ve geliştirilmesi halen devam etmektedir (Elguindi vd., 2011).

Düşük çözünürlükte olan küresel model datalarından daha yüksek çözünürlüklü iklimsel parametreler elde etmek amacıyla RegCM4.3.4 Bölgesel İklim Modeli ve Nesting (İç içe simülasyonlar) yöntemiyle dinamik ölçek küçültme yapılarak  $130 \times 180$  grid matrisinde 20 km çözünürlükte, 1971-2000 referans periyoduna göre 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 yılları için sıcaklık ve yağış projeksiyonları üretilmiştir. Projeksiyonlarda daha sağlıklı sonuç elde edebilmek için ~210 km çözünürlüklü verilerden önce 50 km çözünürlüklü projeksiyon daha sonra da 50 km çözünürlüklü verilerden 20 km çözünürlüklü projeksiyonlar elde edilmiştir.

Geleceğe yönelik en uygun projeksiyonlar elde edebilmek için küresel veri setinden RegCM4.3.4 ile referans dönemi (1971-2000) için üretilen veriler dünyaca kabul görmüş küresel çapta gridlenmiş gözlem verilerine sahip olan CRU (Climate Research Unit/ East Anglia University-İngiltere) ve UDEL'e (University of Delaware-Amerika) ait gözlem verileri ile karşılaştırma yapılarak parametrisasyon yapılmıştır. Bölgesel iklim modeliyle (RCM) referans döneminde CRU ve UDEL verilerine uygun sonuçlar veren projeksiyonlar üretebilmek için sıcaklık ve yağış parametreleri kıyaslanarak yirmiden fazla parametrisasyon işlemi gerçekleştirmiş olup gözlem datalarına yakın çıktılar üretilmeye çalışılmıştır (Çizelge 1.).

**Çizelge 1.** 1971-2000 referans periyodu mevsimlik ortalama sıcaklıklarının ve günlük yağış verilerinin gözlem verileri ile karşılaştırılması ( Türkiye/GFDL-ESM2M / RegCM4.3.4 )

MEVSİMLER	SICAKLIK(°C)			YAĞIŞ (mm/gün)		
	RCM	CRU	UDEL	RCM	CRU	UDEL
KIŞ	<u>0,949</u>	0,561	-0,076	<u>1,728</u>	2,126	2,353
İLKBAHAR	<u>6,996</u>	9,712	9,309	<u>2,240</u>	1,973	2,098
YAZ	<u>17,343</u>	20,859	20,7	<u>1,769</u>	0,685	0,742
SONBAHAR	<u>8,404</u>	12,48	11,961	<u>1,206</u>	1,332	1,454
ORTALAMA	<u>7,956</u>	10,906	10,474	<u>1,736</u>	1,530	1,664

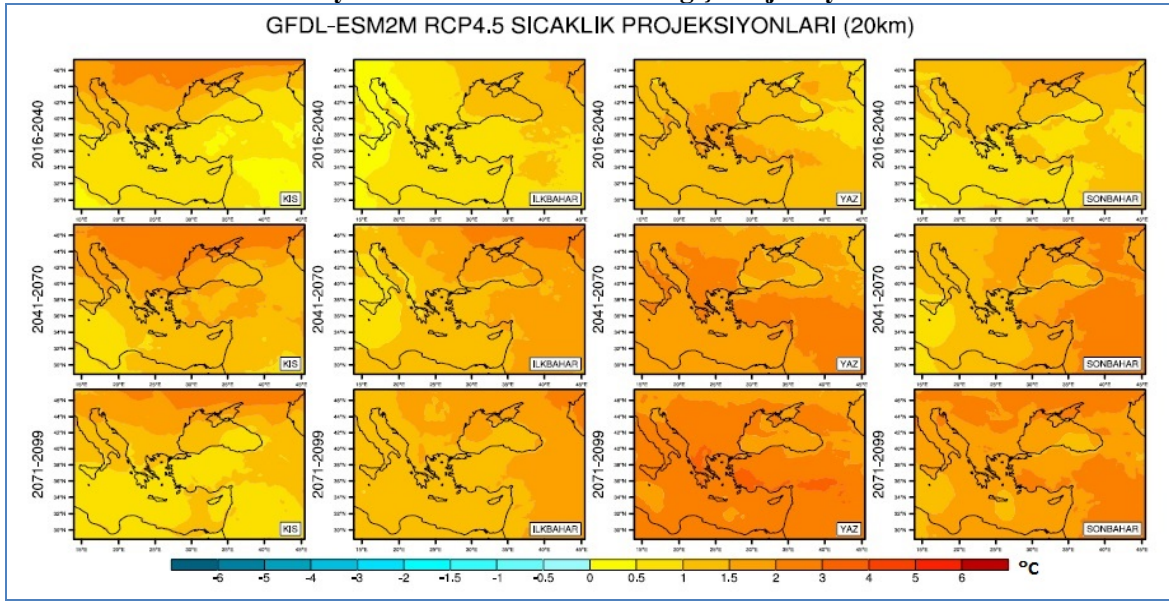


### 3. Bulgular

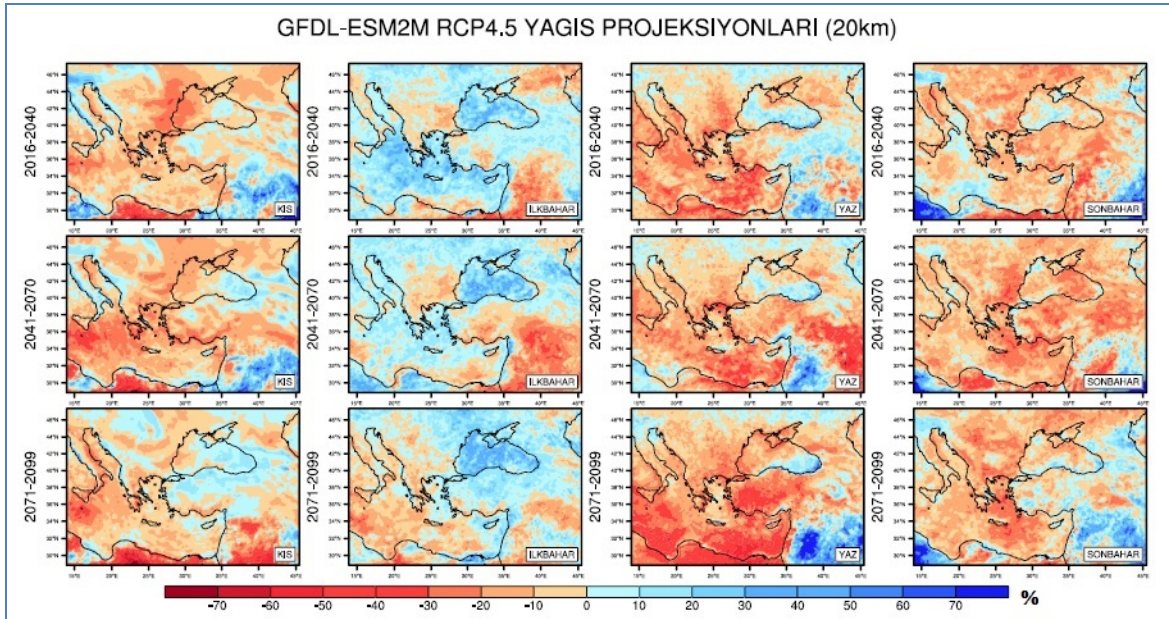
Ülkemizin de içinde bulunduğu coğrafya için, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna göre, GFDL-ESM2M küresel model verileri RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli kullanılarak dinamik ölçek küçültme yöntemiyle 1971-2000 referans periyotlu ve 2016-2099 gelecek dönemi için projeksiyonlar üretilmiştir.

Elde edilen 20 km çözünürlüklü bölgesel iklim modeli datalarından sıcaklık ve yağış parametrelerinin mevsimsel olarak 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 periyotları için projeksiyon çıktılarının görüntülenmesi yapılmıştır.

#### 3.1. RCP4.5 Senaryosuna Göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları



Şekil 3. RCP4.5'e göre RegCM4 Bölgesel Modeli 20 km sıcaklık projeksiyonları (GFDL-ESM2M/RF:1971-2000)



Şekil 4. RCP4.5'e göre RegCM4 Bölgesel Modeli 20 km yağış projeksiyonları (GFDL-ESM2M/RF:1971-2000)

GFDL-ESM2M küresel iklim modeli verilerinden RCP4.5 senaryosuna göre RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli dinamik ölçek küçültme yöntemiyle 20 km çözünürlükte sıcaklık ve yağış projeksiyonlarına göre;

#### 2016-2040 Periyodu

Isınmanın genellikle  $0,5^{\circ}\text{C}$ - $1,5^{\circ}\text{C}$  arasında olacağı, yaz mevsiminde Ege ve Akdeniz Bölgelerinde  $1,5^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde bir artışın olacağı dikkat çekmektedir.

Yağışlarda ise ilkbaharda Güneydoğu Anadolu, Göller Yöresi ve Marmara Bölgesi dışında kalan tüm yurttan yaklaşık %10 civarında artışlar, sonbaharda hemen hemen tüm yurttan %20'leri aşan oranlarda azalışlar ön görülmektedir. Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaz mevsimi yağışlarında artış ön görülürken, ülkemiz için oldukça önemli olan kış mevsiminde ülkenin büyük bir kısmında yağışlarda azalış ön görülmektedir.

#### 2041-2070 Periyodu

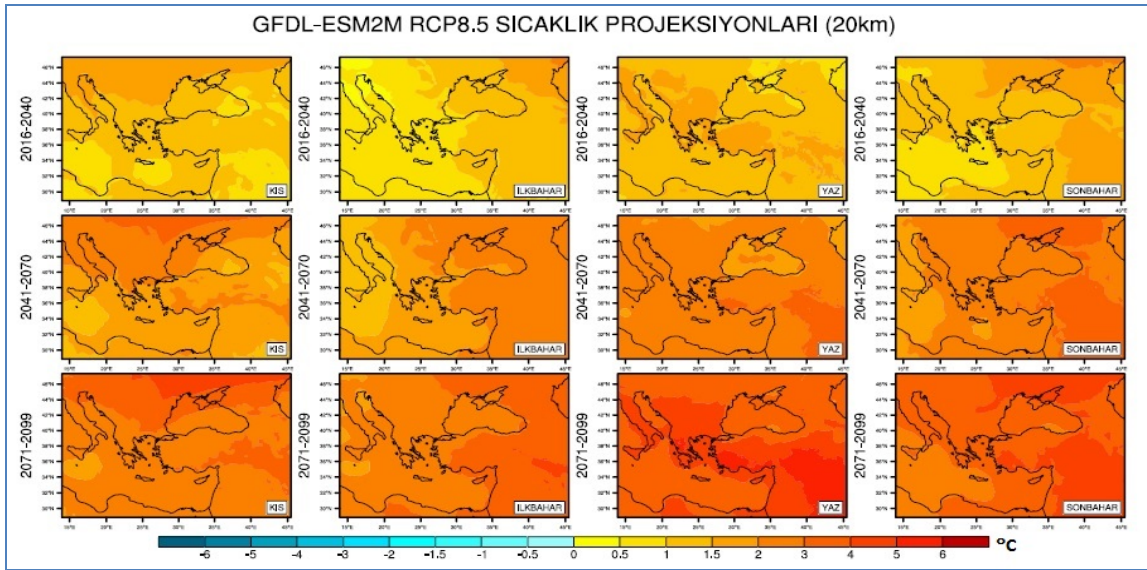
Isınmanın genellikle  $1,5^{\circ}\text{C}$ - $2,5^{\circ}\text{C}$  arasında olacağı, sonbahar mevsiminde Güneydoğu Anadolu Bölgesinde  $2,5^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde bir artışın olacağı öngörülmektedir.

Yağış projeksiyonlarına göre; yaz ve sonbahar mevsiminde hemen hemen tüm yurdun oldukça kurak bir dönem geçireceği, kış mevsiminde yurdun kuzey bölgelerinde yer yer artış görülürken ülkemizin büyük kısmında özellikle Akdeniz bölgesinde %30'lara varan oranda azalış, ilkbahar mevsiminde ise iç bölgelerde özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesindeki azalışların olacağı dikkat çekmektedir.

#### 2071-2099 Periyodu

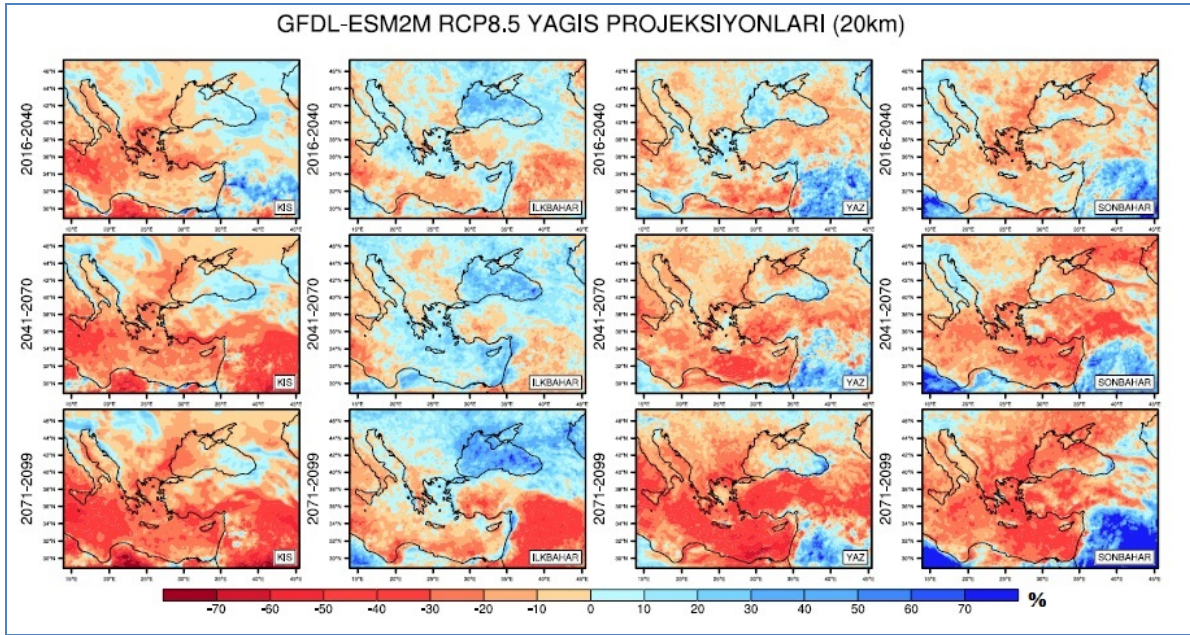
Isınmanın yaz mevsiminde ülkemizin büyük bölümünde  $3^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde olacağı ön görülmektedir. Yağışlarda ilkbahar mevsiminde yurdun büyük kısmında %10 civarında artışlar ön görülürken, özellikle Akdeniz Bölgesinde tüm mevsimlerde %30'lara varan oranda azalış eğiliminin olacağı dikkat çekmektedir.

### 3.2. RCP8.5 Senaryosuna Göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları



Şekil 5. RCP8.5'e göre RegCM4 Bölgesel Modeli 20 km sıcaklık projeksiyonları (GFDL-ESM2M/RF:1971-2000)





Şekil 6. RCP8.5'e göre RegCM4 Bölgesel Modeli 20 km yağış projeksiyonları (GFDL-ESM2M/RF:1971-2000)

GFDL-ESM2M küresel iklim modeli verilerinden RCP8.5 senaryosuna göre RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli dinamik ölçek küçültme yöntemiyle 20 km çözünürlükte sıcaklık ve yağış projeksiyonlarına göre;

#### 2016-2040 Periyodu

Isınmanın genellikle  $1^{\circ}\text{C}$ - $1,5^{\circ}\text{C}$  arasında olacağı, yaz mevsiminde yurdun batısında sonbaharda ise yurdun doğusunda  $1,5^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde bir artışın olacağı beklenmektedir. Yağış projeksiyonlarına göre; genel olarak Karadeniz Bölgesi'nde kış ve ilkbahar mevsiminde, Kuzey Ege'de de yaz yağışlarında bir artış öngörülmürken yurdun geri kalanında azalışlar, özellikle de Akdeniz Bölgesi'nde kış mevsiminde %30'ların üzerinde azalışların olacağı öngörülmektedir.

#### 2041-2070 Periyodu

Isınmanın genel olarak  $2^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkacağı, yaz mevsiminde Güney Ege, Batı Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, sonbahar mevsiminde de yurdun doğu kesimlerinde  $3^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkacağı dikkat çekmektedir.

Yağış projeksiyon sonuçlarına göre; kış mevsiminde sadece Karadeniz Bölgesi'nde bir artış görülürken yurdun geri kalanında özellikle de Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde %50'lere varan oranlarda azalışların olacağı ön görülmektedir. İlkbaharda Kıyı Ege, Marmara, Karadeniz, Doğu Anadolu'nun kuzeyi ile Akdeniz Bölgesi'nin doğusunda artışların olacağı göze çarpmaktadır. Yaz mevsiminde Çukurova yöresi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin bir kısmı hariç tüm yurttan azalış, sonbaharda mevsiminde de hemen hemen tüm yurttan azalış görülürken bu azalışın özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde %50'nin üzerinde olacağı öngörülmektedir.

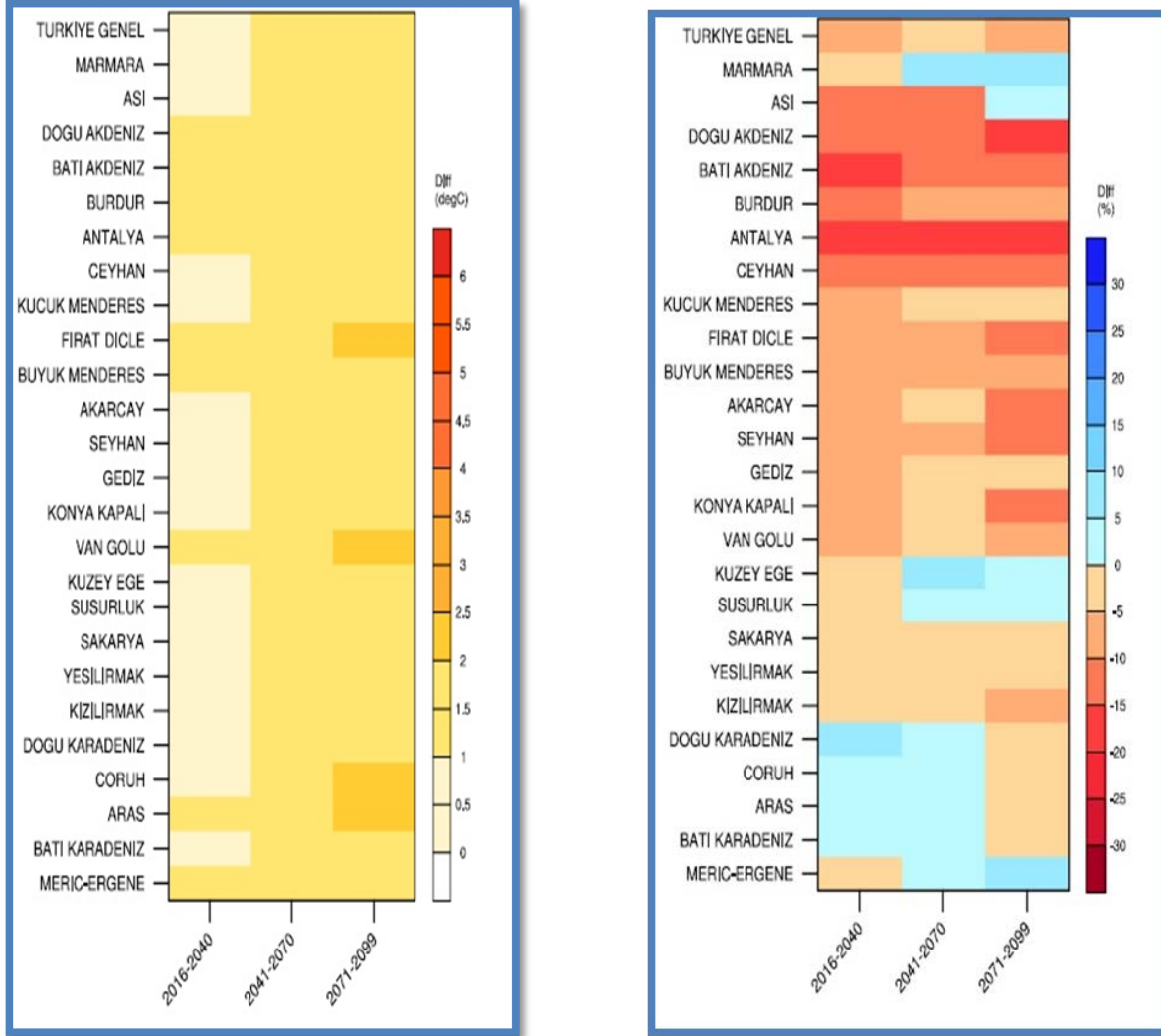
#### 2071-2099 Periyodu

Yüzyılın son çeyreğinde ısınmanın özellikle yaz mevsiminde Ege Bölgesi, Akdeniz kıyıları ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde  $5^{\circ}\text{C}$ 'nin de üzerine çıkacağı ön görülmektedir. Yağış projeksiyonlarına göre; periyot boyunca tüm yurttan ciddi azalışlar ön görülmektedir. Özellikle yurdun



güney bölgelerinde kış ve ilkbahar aylarında %50-%60'lara varan oranlarda, yaz mevsiminde ise hemen hemen tüm yurttan %50'lere varan oranlarda azalışlar olacağı ön görülmektedir.

### 3.3. RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Havza Bazlı Projeksiyonlar

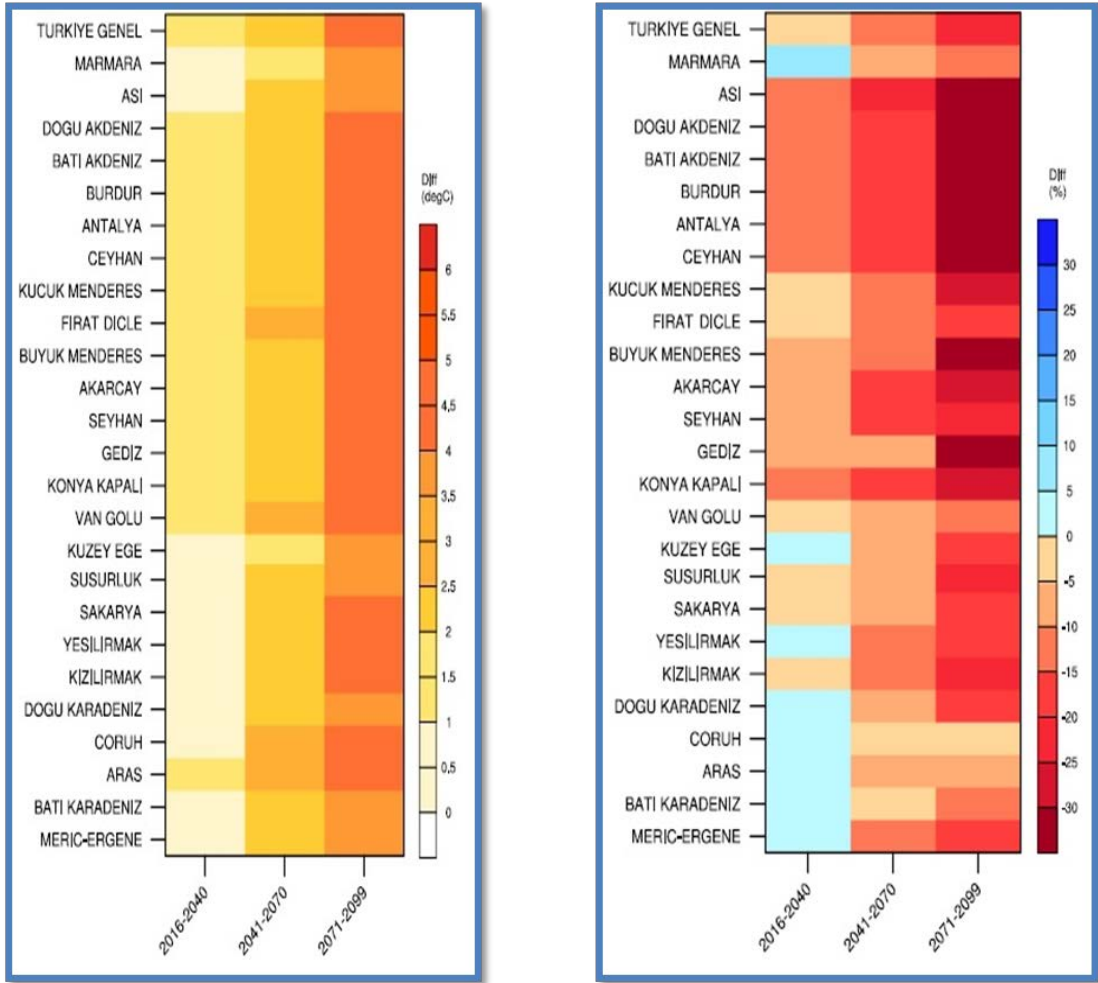


Şekil 7. 2016-2099 havza sıcaklık ve yağışlarının referans periyottan farkları (RCP4.5:GFDL-ESM2M/RegCM4.3.4/RF:1971-2000)

RCP4.5 senaryosuna göre;

Ortalama sıcaklıkların tüm havzalarda artış eğiliminde olacağı öngörülmektedir. Artışın ilk periyotta genel olarak  $0,5^{\circ}\text{C}$ - $1^{\circ}\text{C}$  civarında olacağı, 2041-2070 ve 2071-2099 periyotlarında ise  $1,5^{\circ}\text{C}$ - $2^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkacağı öngörülmektedir.

Yağış projeksiyonları incelendiğinde Türkiye genelinde tüm periyotlarda toplam yağışlarda azalma ön görülürken, ilk periyotta 4, (Asi, Seyhan, Van Gölü, Aras) son periyotta da 6 havzada (Van Gölü, Yeşilirmak, Doğu Karadeniz, Çoruh, Aras, Batı Karadeniz) %5-%10 arasında artış öngörülmektedir. İkinci periyotta tüm havzalarda azalış öngörülmektedir. En fazla azalışın ise ikinci periyotta Batı Akdeniz, Antalya ve Fırat-Dicle havzalarında olacağı dikkat çekmektedir.



Şekil 8. 2016-2099 havza sıcaklık ve yağışlarının referans periyottan farkları (RCP8.5:GFDL-ESM2M/RegCM4.3.4/RF:1971-2000)

RCP8.5 senaryosuna göre;

Ortalama sıcaklıkların tüm havzalarda artış eğiliminde olacağı öngörülmektedir. Artış ilk periyotta genel olarak 1°C-1,5°C civarındayken, 2041-2070 periyodunda 2°C-2,5°C'ye, 2071-2099 periyodunda ise 3,5°C'nin de üzerine çıkacağı öngörülmektedir. En fazla artış 2071-2099 periyodunda 4°C-4,5°C ile Fırat-Dicle havzasındadır.

Yağış projeksiyonları incelendiğinde Türkiye genelinde tüm periyotlarda toplam yağışlarda azalma ön görülmektedir. Asi, Doğu Karadeniz ve Çoruh havzalarında ilk iki periyotta, Van gölü ve Aras havzalarında da sadece ilk periyotta artış öngörülmektedir. En fazla azalışın Batı Akdeniz, Burdur ve Antalya havzalarında ve % 30'ların üzerinde bir oranda olması öngörülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren iklim değişikliğinin etkileri daha fazla hissedilmeye başlanmıştır. IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporu'na (AR5) göre ortalama sıcaklıklardaki artış ve enerji dağılımındaki düzensizliğin artmasına bağlı olarak ekstrem hava olaylarının şiddetinde ve frekansında, sıcak ve soğuk hava dalgalarının sayılarında ve şiddetinde, nemli ve kurak periyotlar ile

nemli ve kurak alanlar arasındaki farklarda artışlar yaşandığı bildirilmiştir (IPCC, 2013; Akçakaya vd., 2013). Ülkemiz iklim değişiklikleri açısından hassas bir coğrafyada yer almaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü olarak iklim değişikliklerinin ülkemiz ve bölgesi için gelecek dönem olası etkilerini inceleyebilmek amacıyla küresel iklim modelleri kullanarak iklim projeksiyonları geliştirilmiştir. Çalışmada tercih edilen küresel iklim modellerinden biri de GFDL-ESM2M'dir. Düşük çözünürlüklü küresel iklim modeli çıktılarında ülkemiz için yüksek çözünürlüklü projeksiyonlar geliştirilmiştir.

Düşük çözünürlükte olan (~220 km) küresel model (GFDL-ESM2M) verilerinden daha yüksek çözünürlüklü iklimsel parametreler elde etmek amacıyla RegCM4.3.4 Bölgesel İklim Modeli ve Nesting (İç içe simülasyonlar) yöntemiyle dinamik ölçek küçültme yapılarak 130x180 grid matrisinde 20 km çözünürlükte, 1971-2000 referans periyoduna göre 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 yılları için sıcaklık ve yağış projeksiyonları üretilmiştir.

Elde edilen projeksiyon sonuçlarına genel olarak baktığımızda, her iki senaryoya (RCP4.5 ve RCP8.5) göre de tüm periyot (2016-2099) boyunca sıcaklıklarda artışlar beklenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre periyot boyunca ortalama olarak 1,5°C artış beklenirken RCP8.5 senaryosuna göre artış miktarının ortalama olarak 2,5°C'ye ulaşması ön görülmektedir.

Yağış parametresi için projeksiyon sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde ise tüm periyot boyunca toplam yağış miktarlarındaki azalma eğilimi ile birlikte yağış miktarlarındaki düzensizlikler de dikkat çekmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre periyot boyunca Türkiye genelinde yağışlarda yıllık ortalama olarak 10-15 mm/yıl civarında bir azalış öngörülmüşken, RCP8.5 senaryosuna göre ise periyot boyunca ortalama 105-110 mm/yıl civarında bir azalış ön görülmektedir.

Önol vd. (2014) tarafından üç farklı küresel iklim modeli (ECHAM5, CCSM3, HadCM3) ve A2, A1F1 ve B1 senaryoları ve RegCM3 Bölgesel İklim Modeli kullanılarak ülkemizi de içine alan bölge için 2099 yılına kadar için yapılan sıcaklık ve yağış projeksiyonlarında 2071-2099 periyodunda Türkiye için özellikle kış mevsimi yağışlarında %10-%60'lara varan oranlarda azalışlar öngörülmüştür.

İngiltere Meteoroloji Ofisi (Met Office) tarafından Türkiye için yayınlanan raporunda CMIP3 bünyesinde A1B senaryosu ile yapılan iklim projeksiyonlarına göre gelecek dönemlerde Türkiye'nin kuzey bölgelerinde 2,5-3°C iç ve güneybatı bölgelerde 3-3,5°C doğu bölgelerde ise 3,5-4°C civarında sıcaklık artışları öngörülmektedir. Yağış projeksiyonlarına göre ise Türkiye'nin güney bölgelerinde %20'nin üzerinde, kuzey bölgelerinde ise %0-10 oranında azalışlar öngörülmektedir (Met Office, 2011).

Altınsoy vd. (2011) tarafından yapılan iklim projeksiyonlarına göre bütün Akdeniz havzası ve çevresi ülkelerin gelecekte iklim değişikliğinin sonuçlarından en çok ve olumsuz düzeyde etkilenecek bölgeler arasında yer alacağı anlaşılmaktadır. Sıcaklık artışının yanı sıra, bölgenin gitgide daha da kuraklaşacağı, daha sıcak ve daha kurak koşulların yaşanacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla, Akdeniz havzası ve Türkiye'yi içine alan bu geniş bölge, gelecek insan kaynaklı iklim değişikliğine ve olası sonuçlarına karşı çok savunmasız ve açıktır.

IPCC raporlarında da belirtildiği üzere ülkemiz, iklim değişikliğine karşı en hassas bölgelerden biri olan Doğu Akdeniz havzasında yer almaktadır. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek, sektörel bazda iklim değişikliğine uyum ve mücadele faaliyetlerini desteklemek amacıyla "Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları" adlı bir proje ile havza, bölge ve il düzeyinde sıcaklık ve yağış projeksiyonları geliştirilmiştir. Proje kapsamında üretilen projeksiyon verileri iklim değişikliği ile ilgili uyum, önleme ve mücadele konusunda planlama yapan tüm kurum ve kuruluşlar için kaynak sağlamaktadır. Kurum ve kuruluşların geleceğe yönelik çalışmalarında "Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları" verilerini kullanmaları daha sağlıklı plan ve programlama yapmalarına olanak sağlayacaktır.

**Referanslar**

- Akçakaya, A.; Eskioğlu, O.; Atay, H.; Demir, Ö. (2013) Yeni Senaryolar İle Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları-TR2013-CC. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayını, 67s., Ankara.
- Akçakaya, A.; Sümer, U.M.; Demircan, M.; Demir, Ö.; Atay, H.; Eskioğlu, O.; Gürkan, H.; Yazıcı, B.; Kocatürk, A.; Şensoy S.; Bölük, E.; Arabacı, H.; Açar, Y.; Ekici, M.; Yağan, S.; Çukurçayır, F. (2015) Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği-TR2015-CC. Meteoroloji Genel Müdürlüğü yayını, 149 s., Ankara.
- Altınsoy, H.; Öztürk, T.; Türkes, M.; Kurnaz, M.L. (2011) “Küresel iklim modeli kullanılarak Akdeniz Havzası’nın gelecek hava sıcaklığı ve yağış değişikliklerinin kestirilmesi”, In: Proceedings of the National Geographical Congress with International Participation (CD-R), ISBN 978-975-6686-04-1, 7-10 Sep. 2011, Türk Coğrafya Kurumu, İstanbul Üniversitesi.
- Demir Ö.; Atay, H.; Eskioğlu O.; Tuvan, A.; Demircan M.; Akçakaya, A. (2013) “RCP4.5 Senaryosuna Göre Türkiye’de Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları”, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2013 3 - 5 Haziran 2013, İstanbul, <http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/rcp-45.pdf>
- Demircan, M.; Demir, Ö.; Atay, H.; Eskioğlu, O.; Tuvan, A. Akçakaya, A. (2014a) “Climate Change Projections for Turkey with New Scenarios”, The Climate Change and Climate Dynamics Conference-2014 – CCCD2014, İstanbul, Türkiye.
- Demircan M.; Demir Ö.; Atay, H.; Eskioğlu O.; Yazıcı, B.; Gürkan, H.; Tuvan, A.; Akçakaya, A. (2014b) “Türkiye’de Yeni Senaryolara Göre İklim Değişikliği Projeksiyonları”, TÜCAUM - VIII. Coğrafya Sempozyumu, Ankara.
- Elguindi, N.; Bi, X.; Giorgi, F.; Nagarajan, B.; Pal, J.; Solmon, F.; Rauscher, S.; Zakey, A.; Giuliani, G. (2011) “Regional Climatic Model RegCM User Manual Version 4.1”, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Italy.
- Fisher, B.; Nakicenovic, N.; Alfsen, K.; Corfee, M.J.; De la Chesnaye, F.; Hourcade, J.C.; Jiang, K.; Kainuma, M.; La Rovere, E.; Matysek, A.; Rana, A.; Riahi, K.; Richels, R.; Rose, S.; Van Vuuren, DP.; Warren, R. (2007) “Issues related to mitigation in the long-term context”, In: Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Gregory, W.L., Duran, A. (2001) Scenarios and Acceptance of Forecasts. Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners, Edited by J. Scott Armstrong. Springer Science-Business Media, inc. New York.
- Gürkan., H.; Demir,Ö.; Atay, H.; Eskioğlu, O.; Demircan, M.; Yazıcı, B.; Kocatürk, A.; Akçakaya, A. (2015) “MPI-ESM-MR Modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları”, VII. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 28-30 Nisan 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, <http://www.atmosfer.itu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/05/Cilt2.rar>
- Met Office (2011) Climate: Observations, projections and impacts (Turkey), Met Office, United Kingdom.
- Moss, R.H.; Edmonds, J.A.; Hibbard, K.A.; Manning, M.R.; Rose, S.K.; Vuuren, D.P.; Carter, T.R.; Emori, S.; Kainuma, M.; Kram, T.; Meehl, G.A.; Mitchell, J.F.B.; Nakicenovic, N.; Riahi, K.; Smith, S.J.; Stouffer, R.J.; Thomson, A.M.; Weyant, J.P.; Wilbanks, T.J. (2010) “The Next Generation Of Scenarios For Climate Change Research and Assesment”, Nature, 2010 : Vol 463j1 1 February 2010jdoi:10.1038/nature08823.
- IPCC (2000) Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, England.
- IPCC (2006) Report of The 25<sup>th</sup> Session of the IPCC, Port Louis, Mauritius.
- IPCC (2008) Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies, IPCC Expert Meeting Report on New Scenarios, Noordwijkerhout, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2013) Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, England. [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_ALL\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf)
- Riahi, K.; Rao, S.; Krey, V.; Cho, C.; Chirkov, V.; Fischer, G.; Kindermann, G.; Nakicenovic, N.; Rafaj, P. (2011) “RCP 8.5 - A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions” Climatic Change (2011) 109: 33. doi:10.1007/s10584-011-0149-y.
- Thomson, A.M.; Calvin, K.V.; Smith, S.J.; Kyle, G.P.; Volke, A.; Patel, P.; Arias, S.D.; Lamberty, B.B.; Wise, M.A.; Clarke, L.E.; Edmonds, J.A. (2011) “RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100”, Climatic Change (2011) 109: 77. doi:10.1007/s10584-011-0151-4.
- Önol, B.; Bozkurt, D.; Turunçoğlu, U.U.; Şen, Ö.L.; Dalfes, H.N. (2014) “Evaluation of the twenty-first century RCM simulations driven by multiple GCMs over the Eastern Mediterranean–Black Sea region”, Climate Dynamics (2014) 42:1949–1965 DOI 10.1007/s00382-013-1966-7.
- UNFCC (1994) İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi.