



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE UYUM EYLEMİNİN
GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ
TR2017 ESOP MI A3 06**

İklım Projeksiyonlarının Analizleri ve Değerlendirilmesi

Bu Proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmekte ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından uygulanmaktadır. Proje'nin yararlanıcısı Çevre, Şehircilik ve İklım DeđerliŐikliđi Bakanlığı'dır. Avrupa Birliği ve Dış İliŐkiler Genel Müdürlüğü, bu Proje'nin SözleŐme Makamıdır.

Hazırlayan: Ceren Ballı Gzen ve Ferat Çağlar

Kaynakça Bilgisi: İklıme Uyum Projesi (2022) *İklım Projeksiyonlarının Analizleri ve Değerlendirilmesi*

https://iklimeuyum.org/dokumanlar/İklım_Projeksiyonlarının_Analizleri_Ve_Degerlendirilmesi

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı

Türkiye



**T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI**



**Çevre ve İklım
Eylemi Sektör
Operasyonel Programı**



İklıme Uyum





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Bu yayın Avrupa Birliğinin maddi desteğiyle hazırlanmıştır. İçerik tamamıyla Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Türkiye lke Ofisi sorumluluğu altındadır, herhangi bir Şekilde Avrupa Birliğinin görüşlerini yansıtma zorunda değildir.



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



ii



iklime uyum





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vi |
| TABLolar LİSTESİ | x |
| KISALTMALAR | xii |
| YÖNETİCİ ÖZETİ | 1 |
| 1 Giriş | 3 |
| 2 İklim Projeksiyonları | 4 |
| 2.1 Küresel Sirkülasyon Modelleri (GCM)..... | 4 |
| 2.2 İklim Senaryoları | 6 |
| 3 Türkiye’de Çalışılan İklim Projeksiyonları | 8 |
| 3.1 İklim Projeksiyonları | 8 |
| 3.1.1 HadGEM2-ES | 9 |
| 3.1.2 MPI-ESM-MR..... | 9 |
| 3.1.3 CNRM-CM5.1 | 9 |
| 3.1.4 GFDL-ESM2M | 10 |
| 3.2 Bölgesel İklim Modeli- RegCM4.3 | 10 |
| 3.3 Referans Dönemi Analizleri..... | 12 |
| 3.3.1 10 km Çözünürlüklü İklim Projeksiyonları | 12 |
| 3.3.2 20 km Çözünürlüklü İklim Projeksiyonları | 13 |
| 4 Küresel İklim Projeksiyonları Analizleri..... | 15 |
| 4.1 Türkiye’nin Projeksiyon Dönemi Analizleri..... | 16 |
| 4.1.1 Ortalama Sıcaklık..... | 16 |
| 4.1.2 Toplam Yağış..... | 18 |
| 4.2 Coğrafi Bölgelerin Projeksiyon Dönemi Analizleri | 19 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| | |
|---|----|
| 4.2.1 Ortalama Sıcaklık..... | 21 |
| 4.2.2 Toplam Yağış..... | 24 |
| 5 Bölgesel İklim Projeksiyonları Analizleri | 28 |
| 5.1 Referans Dönemi Analizleri..... | 31 |
| 5.1.1 Ortalama Sıcaklık..... | 31 |
| 5.1.2 Toplam Yağış..... | 33 |
| 5.2 Yanlılık Analizleri..... | 35 |
| 5.2.1 Ortalama Sıcaklık..... | 36 |
| 5.2.2 Toplam Yağış..... | 41 |
| 5.3 Projeksiyon Dönemi Analizleri..... | 45 |
| 5.3.1 Ortalama Sıcaklık..... | 45 |
| 5.3.2 Toplam Yağış..... | 53 |
| 6 Modellerin Performans Değerlendirmeleri | 62 |
| 6.1 Ortalama Sıcaklık..... | 62 |
| 6.1.1 Ortalama Yanlılık | 62 |
| 6.1.2 Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (HKOK)..... | 65 |
| 6.1.3 Korelasyon..... | 67 |
| 6.1.4 Taylor Metrikleri | 67 |
| 6.2 Toplam Yağış..... | 69 |
| 6.2.1 Bağıl Hata..... | 69 |
| 6.2.2 Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (HKOK)..... | 71 |
| 6.2.3 Korelasyon..... | 73 |
| 6.2.4 Taylor Metrikleri | 73 |
| 7 Sonuçlar ve Tartışma..... | 75 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| | | |
|---|---------------------------|----|
| 8 | Genel Değerlendirme | 78 |
| 9 | Kaynakça | 80 |



**T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI**



*Çevre ve İlim
Eylemi Sektör
Operasyonel Programı*



iklime uyum





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1 Yer Sistem Modellerinin Zamanla Gelişimi (IPCC, 2018) | 4 |
| Şekil 1.2 RCP Senaryoları ve Işınımsal Zorlama (Radiative Forcing) Eğilimleri (van Vuuren et al., 2011) | 7 |
| Şekil 2.1 Bölgesel Model Çalışma Alanları ve Topoğrafya | 11 |
| Şekil 3.1 Türkiye Üzerindeki CMIP5 Ensemble Model Gridlerin Gösterimi | 15 |
| Şekil 3.2 Türkiye Üzerindeki CMIP5 Ensemble Model Gridlerin Ağırlıkları..... | 16 |
| Şekil 3.3 Türkiye için RCP4.5 Senaryosu İklim Modelleri Sıcaklık Projeksiyonları | 17 |
| Şekil 3.4 Türkiye için RCP8.5 Senaryosu İklim Modelleri Sıcaklık Projeksiyonları | 17 |
| Şekil 3.5 Türkiye için RCP4.5 Senaryosu İklim Modelleri Yağış Projeksiyonları | 19 |
| Şekil 3.6 Türkiye için RCP8.5 Senaryosu İklim Modelleri Yağış Projeksiyonları | 19 |
| Şekil 3.7 Türkiye’nin Coğrafi Bölgeleri Üzerindeki CMIP5 Ensemble Model Gridlerin Gösterimi | 20 |
| Şekil 3.8 Coğrafi Bölgeler Üzerindeki CMIP5 Ensemble Model Gridlerin Ağırlıkları..... | 21 |
| Şekil 3.9 Yedi Coğrafi Bölge için RCP4.5 senaryosu (sol) ile RCP8.5 Senaryosu (sağ) İklim Modelleri Sıcaklık Projeksiyonları | 23 |
| Şekil 3.10 Coğrafi Bölgelerin CMIP5 Ensemble Ortalamaları RCP4.5 senaryosu (sol) ile RCP8.5 Senaryosu (sağ) Sıcaklık Projeksiyonları | 24 |
| Şekil 3.11 Yedi Coğrafi Bölge için RCP4.5 senaryosu (sol) ile RCP8.5 Senaryosu (sağ) İklim Modelleri Yağış Projeksiyonları..... | 26 |
| Şekil 3.12 Coğrafi Bölgelerin CMIP5 Ensemble Ortalamaları RCP4.5 senaryosu (sol) ile RCP8.5 Senaryosu (sağ) Yağış Projeksiyonları..... | 27 |
| Şekil 4.1 WorldClim2.1 Yıllık Ortalama Sıcaklık Verisinin 5 dakika, 10 km ve 20 km Çözünürlükteki Gösterimleri..... | 29 |
| Şekil 4.2 WorldClim2.1 Toplam Yağış Verisinin 5 dakika, 10 km ve 20 km Çözünürlükteki Gösterimleri | 30 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| | |
|--|----|
| Şekil 4.3 1971-2000 Referans Dönemi CRU ve WorldClim Sıcaklık Ortalamaları (a) Bölgesel İklim Modellerinin 10 km ve 20 km Referans Dönemi Sıcaklık Ortalamaları (b)... | 32 |
| Şekil 4.4 1971-2000 Referans Dönemi Gözlem ve Modellerin Mevsimsel Ortalama Sıcaklık Değişimleri..... | 33 |
| Şekil 4.5 1971-2000 Referans Dönemi CRU ve WorldClim Toplam Yağış Ortalamaları (a) Bölgesel İklim Modellerinin 10 km ve 20 km Referans Dönemi Toplam Yağış Ortalamaları (b) | 34 |
| Şekil 4.6 1971-2000 Referans Dönemi Gözlem ve Modellerin Mevsimsel Toplam Yağış Değişimleri..... | 35 |
| Şekil 4.7 HadGEM2-ES Modeli 10 km (sol) ve 20 km (sağ) Gözleme göre Sıcaklık Farkı Dağılımı | 37 |
| Şekil 4.8 MPI-ESM-MR Modeli 10 km (sol) ve 20 km (sağ) Gözleme göre Sıcaklık Farkı Dağılımı | 38 |
| Şekil 4.9 CNRM-CM5 Modeli 10 km (sol) ve GFDL-ESM2M Modeli 20 km (sağ) Gözleme göre Sıcaklık Farkı Dağılımı..... | 39 |
| Şekil 4.10 1971-2000 Referans Dönemi Sıcaklık Ortalamaları: Gözlem (a) 10 km ve 20 km Model Sonuçları (b) 10 km ve 20 km Düzeltilmiş Model Sonuçları (c)..... | 40 |
| Şekil 4.11 HadGEM2-ES Modeli 10 km (sol) ve 20 km (sağ) Yağış Düzeltme Katsayıları Dağılımı | 41 |
| Şekil 4.12 MPI-ESM-MR Modeli 10 km (sol) ve 20 km (sağ) Yağış Düzeltme Katsayıları Dağılımı | 42 |
| Şekil 4.13 CNRM-CM5 Modeli 10 km (sol) ve GFDL-ESM2M Modeli 20 km (sağ) Yağış Düzeltme Katsayıları Dağılımı | 43 |
| Şekil 4.14 1971-2000 Referans Dönemi Toplam Yağış Ortalamaları: Gözlem (a) 10 km ve 20 km Model Sonuçları (b) 10 km ve 20 km Düzeltilmiş Model Sonuçları (c) | 44 |
| Şekil 4.15 Küresel Modellerin Ortalama Sıcaklık Değişimleri: Referans Dönemi Sıcaklık Ortalaması (a), RCP4.5 Ortalama Sıcaklık Değişimleri (b), RCP8.5 Ortalama Sıcaklık Değişimleri (c) | 46 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| | |
|--|----|
| Şekil 4.16 Bölgesel Modellerin Ortalama Sıcaklık Değişimleri: Referans Dönemi Sıcaklık Ortalaması (a), RCP4.5 Ortalama Sıcaklık Değişimleri (b)..... | 47 |
| Şekil 4.17 Bölgesel Modellerin Ortalama Sıcaklık Değişimleri: Referans Dönemi Sıcaklık Ortalaması (a), RCP8.5 Ortalama Sıcaklık Değişimleri (b)..... | 48 |
| Şekil 4.18 Küresel ve Bölgesel Modellere göre RCP4.5 Senaryosu için Sıcaklık Değişimi .. | 49 |
| Şekil 4.19 Küresel ve Bölgesel Modellere göre RCP8.5 Senaryosu için Sıcaklık Değişimi .. | 51 |
| Şekil 4.20 Küresel Modellerin Yağış Değişimleri: Referans Dönemi Toplam Yağış Ortalaması (a), RCP4.5 Toplam Yağış Değişimleri (b), RCP8.5 Toplam Yağış Değişimleri (c) | 54 |
| Şekil 4.21 Bölgesel Modellerin Toplam Yağış Değişimleri: Referans Dönemi Toplam Yağış Ortalaması (a), RCP4.5 Toplam Yağış Değişimleri (b)..... | 55 |
| Şekil 4.22 Bölgesel Modellerin Toplam Yağış Değişimleri: Referans Dönemi Toplam Yağış Ortalaması (a), RCP8.5 Toplam Yağış Değişimleri (b)..... | 56 |
| Şekil 4.23 Küresel ve Bölgesel Modellere göre RCP4.5 Senaryosu için Yağış Değişimi | 57 |
| Şekil 4.24 Küresel ve Bölgesel Modellere göre RCP8.5 Senaryosu için Yağış Değişimi | 59 |
| Şekil 5.1 Bölgesel İklim Modellerinin Gözleme göre Yıllık Ortalama Sıcaklık Farkı Dağılımı | 62 |
| Şekil 5.2 Bölgesel İklim Modellerin Gözleme göre Mevsimlik Ortalama Sıcaklık Farkı Dağılımı | 64 |
| Şekil 5.3 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Ortalama Sıcaklıklarının Gözlemlerden Farklarının Karelerinin Ortalamasının Karekökü | 66 |
| Şekil 5.4 Bölgesel İklim Modellerinin Mevsimlere göre Aylık Ortalama Sıcaklıklarının Gözlemlerden Farklarının Karelerinin Ortalamasının Karekökü..... | 66 |
| Şekil 5.5 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Ortalama Sıcaklıklarının Gözlemlerle Korelasyonu (Spearman) | 67 |
| Şekil 5.6 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Ortalama Sıcaklıkları için Taylor Diyagramı | 68 |
| Şekil 5.7 Bölgesel İklim Modellerinin Gözleme göre Yüzdesele Yıllık Toplam Yağış Farkı Dağılımı | 69 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| | |
|---|----|
| Şekil 5.8 Bölgesel İklim Modellerinin Gözleme göre Yüzdesele Mevsimlik Toplam Yağış Farkı Dağılımı | 70 |
| Şekil 5.9 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Toplam Yağışlarının Gözlemlerden Farklarının Karelerinin Ortalamasının Karekökü | 72 |
| Şekil 5.10 Bölgesel İklim Modelleri Mevsimlik Toplam Yağışlarının Gözlemlerden Farklarının Karelerinin Ortalamasının Karekökü | 72 |
| Şekil 5.11 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Toplam Yağışlarının Gözlemlerle Korelasyonu (Spearman) | 73 |
| Şekil 5.12 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Toplam Yağışları için Taylor Diyagramı..... | 74 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

TABLÖLAR LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 1.1 Küresel Sirkülasyon Modelleri (GCM)..... | 5 |
| Tablo 1.2 IPCC AR5 RCP İklim Senaryoları (IPCC, 2017) | 7 |
| Tablo 2.1 Çalışmalarda Kullanılan Modeller ve Özellikleri | 9 |
| Tablo 2.2 Seçilen Çalışma Alanları | 11 |
| Tablo 2.3 Referans Dönemi Mevsimlik ve Yıllık Ortalama Sıcaklık Değerleri (°C) | 12 |
| Tablo 2.4 Referans Dönemi Mevsimlik ve Yıllık Günlük Yağış Değerleri (mm/gün) | 13 |
| Tablo 2.5 Referans Dönemi Mevsimlik ve Yıllık Ortalama Sıcaklık Değerleri (°C) | 14 |
| Tablo 2.6 Referans Dönemi Mevsimlik ve Yıllık Günlük Yağış Değerleri (mm/gün) | 14 |
| Tablo 3.1 CMIP5 Arşivindeki Küresel İklim Modelleri..... | 15 |
| Tablo 4.1 1971-2000 Referans Dönemi Bölgesel İklim Modelleri ve Düzeltilmiş Sonuçları için Ortalama Sıcaklık Değerimleri..... | 40 |
| Tablo 4.2 1971-2000 Referans Dönemi Bölgesel İklim Modelleri ve Düzeltilmiş Sonuçları için Toplam Yağış Değerimleri..... | 45 |
| Tablo 4.3 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin RCP4.5 Senaryosu Ortalama Sıcaklık Değerimleri..... | 49 |
| Tablo 4.4 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin Coğrafi Bölgelere göre RCP4.5 Senaryosu Ortalama Sıcaklık Değerimleri..... | 50 |
| Tablo 4.5 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin RCP8.5 Senaryosu Ortalama Sıcaklık Değerimleri..... | 51 |
| Tablo 4.6 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin Coğrafi Bölgelere göre RCP8.5 Senaryosu Ortalama Sıcaklık Değerimleri..... | 52 |
| Tablo 4.7 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin RCP4.5 Senaryosu Toplam Yağış Değerimleri..... | 57 |
| Tablo 4.8 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin Coğrafi Bölgelere göre RCP4.5 Senaryosu Toplam Yağış Değerimleri..... | 58 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| | |
|---|----|
| Tablo 4.9 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin RCP8.5 Senaryosu Toplam Yağış Değişimleri..... | 59 |
| Tablo 4.10 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin Coğrafi Bölgelere göre RCP8.5 Senaryosu Toplam Yağış Değişimleri..... | 60 |
| Tablo 5.1 Bölgesel İklim Modellerinin Türkiye Geneli ve Coğrafi Bölgelere göre Mevsimlik Ortalama Sıcaklık Değişimleri..... | 64 |
| Tablo 5.2 Bölgesel İklim Modelleri Ortalama Sıcaklıkları için Hesaplanan Taylor Metrikleri . | 68 |
| Tablo 5.3 Bölgesel İklim Modellerinin Türkiye Geneli ve Coğrafi Bölgelere göre Mevsimlik Toplam Yağış Değişimleri..... | 70 |
| Tablo 5.4 Bölgesel İklim Modelleri Toplam Yağışları için Hesaplanan Taylor Metrikleri | 74 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

KISALTMALAR

| | |
|------------|---|
| AR5 | Fifth Assessment Report (5. Değerlendirme Raporu) |
| CMIP5 | Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (Kuple Model Karşılaştırma Projesi Faz 5) |
| CNRM-CM5.1 | Centre National de Recherches Météorologiques Model Version 5 (Fransa Ulusal Meteoroloji Araştırma Merkezi İklim Modeli 5.1 Versiyon) |
| CRU | Climatic Research Unit (İklim Araştırma Birimi) |
| GCM | Global Circulation Model (Küresel Sirkülasyon Modeli) |
| GFDL-ESM2M | Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Earth System Model (Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı Yer Sistem Modeli) |
| HadGEM2 | Hadley Centre Global Environment Model Version 2 (Hadley Merkez Küresel Çevre Modeli 2.Versiyon) |
| ICTP | International Centre for Theoretical Physics (Uluslararası Teorik Fizik Merkezi) |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) |
| KMNI | Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (Koninklijk Hollanda Meteoroloji Enstitüsü) |
| MGM | Meteoroloji Genel Müdürlüğü |
| MPI-ESM | Max Planck Meteorology Institute Earth System Model (Max Plank Meteoroloji Enstitüsü Yer Sistem Modeli) |
| PRISM | Parameter Elevation Relationships on Independent Slopes Model (Parametre Yükseklik İlişkisi Bağımsız Eğim Modeli) |
| RCP | Representative Concentration Pathways (Temsili Konsantrasyon Rotaları) |
| RegCM | Regional Climate Model (Bölgesel İklim Modeli) |
| SYGM | Su Yönetimi Genel Müdürlüğü |
| UDEL | University of Delaware |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

YÖNETİCİ ÖZETİ

Her hazırladığı rapor kapsamında iklim sistemini etkileyen bileşenleri daha detaylı ve yüksek çözünürlükte işleyen ve sera gazlarındaki artışın iklime, insanlığa ve ekolojik dengeye zarar verecek şekilde değişeceği hususunda hemfikir sonuçlar ortaya koyan IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli); insan kaynaklı iklim değişikliğinin araştırılması ve boyutlarının ortaya konması amacıyla 1988’den beri çalışmalarını yürütmektedir. Mevcut dönem ve gelecekteki iklim değişkenliğini çalışmak için halen daha geliştirilmeye devam edilen Küresel Sirkülasyon veya İklim Modelleri (GCM) uluslararası alanda ortak çalışmalar yürütebilmek ve karşılaştırmaların daha sağlıklı ve kolay yapılabilmesi amacıyla IPCC tarafından belirlenen iklim senaryoları temel alınarak çalışılmaktadır.

IPCC’nin tüm raporlarında artan emisyonların sıcaklıklarda artışa neden olacağı vurgulanmış ve şimdiki modellerle kıyaslandığında çok daha kaba çözünürlükte ve daha az süreci işleyen modellerin dahi gerçekleşmiş değişimleri makul bir ölçüde ortaya koyduğu görülmüştür. Bu nedenle, iklim değişikliğinin araştırılması ve buna yönelik modelleme çalışmalarının yapılması ile bu değişimin saptanması oldukça önem kazanmıştır. Türkiye’nin geçmiş ve gelecek iklim değişkenliğini incelemek, uyum ve azaltım çalışmalarına yön vermek amacıyla devlet kurumları tarafından gerek kendi imkanları ile gerek projeler üreterek hazırlanan iklim projeksiyonları bu çalışma kapsamında karşılaştırma yapılarak incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından elde edilen iklim projeksiyonları analiz edilmiştir. Her iki kurum da tüm Türkiye’yi kapsayacak şekilde, CMIP5 arşivinden seçilmiş üçer küresel modelin çıktıları ve biri daha çevreci teknolojiler ve azalan nüfus artışını, diğeri ise insanlığın halihazırdaki uygulamalarını sürdürmesi kabullerini barındıran 2 iklim senaryosu (RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryoları) ile RegCM4.3 bölgesel iklim modeli çalıştırılmıştır.

2015 yılında çalışmalarını tamamlayan MGM, HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M küresel iklim modellerini RegCM bölgesel iklim modeli ile önce 50 km’ye, sonra 50 km’den 20 km çözünürlüğe; 2016 yılında çalışmalarını tamamlayan SYGM ise HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 küresel iklim modellerini önce 50 km’ye ve daha sonra 50 km’den 10 km çözünürlüğe ölçek küçülterek çalışmıştır. Modellerin Türkiye iklimini benzeştirme yeteneklerini sınamak için 1971-2000 referans dönemi için ürettikleri yağış ve sıcaklık değerlerinin uzun yıllar aylık ortalama/toplam değerleri hesaplanmış ve gözlemlerle kıyaslanmıştır. Daha sonra 2021-2100 projeksiyon dönemi ile RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryoları 1971-2000 referans dönemine göre kıyaslanarak projeksiyon dönemi değişimleri yıllık olarak analiz edilmiştir. Gözlem verisi olarak bu periyot için uzun yıllar ortalama değerleri barındıran WorldClim2.1 verisi kullanılmıştır.

Referans dönemi için sıcaklık ve yağış parametrelerinin yıllık ve mevsimlik ortalamaları Türkiye geneli ve Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesi için değerlendirilmiş, gözlemlere göre ortalama





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

yanlılıkları tespit edilmiş, ayrıca HKOK ve korelasyon gibi istatistiksel çalışmalar ile Taylor metrikleri analiz edilmiş ve modellerin performansları değerlendirilmiştir. Modellerin performansları değerlendirildiğinde, yapılan birçok ölçek kltme çalışmasında olduğu gibi sıcaklık ve yağış parametrelerinin ölçek küçüldükçe bölgeleri daha iyi temsil ettiği, ancak modellerin yanlılığının arttığı ve daha soğuk ve daha ıslak sonuçlar ürettiği, özellikle rakımın yüksek olduğu bölgelerde ise bu durumun daha da çarpıcı hale geldiği görülmüştür.

Yüksek öznrlkl modellerin yanlılık değerleri yüksek olsa da mevsimsel döngüyü daha iyi temsil ettiği ve mekânsal tutarlılığının da daha yüksek olduğu görülmüştür. Yanlılık değerlerine rağmen modellerin patern korelasyonları incelendiğinde 10 km çözünürlük modellerin 20 km çözünürlüklü modellere göre mekânsal değerliği daha iyi açıkladığı görülmüştür. Yapılan analizler doğrultusunda, MPI-ESM-MR 10 km modelinin negatif yanlılığa rağmen sıcaklığı temsil etme açısından en başarılı model olduğu değerlendirilmiştir. Sıcaklık parametresinde olduğu gibi yağış parametresinde de yüksek çözünürlüklü modellerin daha büyük pozitif yanlılık değerlerine rağmen mekânsal olarak daha tutarlı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Genel olarak, MPI-ESM-MR küresel iklim modeli ile zorlanan 10 km öznrlkl RegCM4 modeli referans dönemi için belirtilen modeller içinde Türkiye iklimini en iyi temsil eden model olarak belirlenmiştir. Ancak modellerin daha kısa zaman ölçeğindeki salınımları da ortaya koyabilmesi beklenmektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

1 GİRİŞ

Bilim, insan kaynaklı iklim değişimini anlamak ve gelecekteki etkilerini ortaya koyabilmek için pek çok veri ve araç ortaya koysa da bu veri araçlar hala belirsizlikler içermektedir. Sanayi devrimiyle başlayan hızlı nüfus artışı, fosil yakıt temelli enerji üretimine geçilmesi iklimin değişimine neden olan en belirgin gaz olan karbondioksit seviyelerinde de ciddi artışlara neden olmuştur. Bunun yaratabileceği sonuçlara dair ilk nicel çalışmalardan biri İsveçli bilim insanı Svante August Arrhenius tarafından 1896 yapılmış ve karbondioksit seviyesinin iki katına çıkması durumunda küresel ortalama yüzey sıcaklığının 4 derece; dört katına çıkması durumunda ise 8 derece artacağını öngörmüştür. Çalışmalarını daha sonraki yıllarda güncelleyen Arrhenius günümüzdekine daha yakın sonuçlar elde etmiştir (Lapenis, 1998). İnsan kaynaklı iklim değişimi ile ilgili farkındalık çok erken gelse bile bunun yaygınlaşması ve kamuoyunda tartışılan bir problem haline gelmesi yıllar almıştır. Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli (IPCC) ancak 1988 yılında kurulmuştur. Bu durum kısmen bilgisayarların hesaplama kapasitesindeki artış, kısmen de insanların bilimin ortaya koyduğu sonuçlardaki belirsizliğin olabileceğini anlayamamasından kaynaklanmıştır.

CMIP5’de (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) daha güncel çalışmalar karbondioksit seviyesi iki katına çıktığında küresel sıcaklık artışının 1,5 ila 4,5°C civarında olacağı ve bunun 2050-2100 yılları arasında gerçekleşebileceğini öngörmektedir. Yer sistem modelleri ile iklim değişiminin incelendiği CMIP’in 6. fazında ise iklimin karbondioksit seviyelerine duyarlılığının 1,8-5,6°C bandında olduğunu göstermektedir (Zelinka, ve diğerleri, 2020).

Her ne kadar artan salınımların genel dolaşıma etkileri belli bir ölçüde çözülebilse de iklim değişimi sinyalinin yerel ölçekte ne mertebede olacağını kestirmek daha da güçtür. Bu soruya cevap verebilmek için istatistik veya dinamik ölçek küçültme yaklaşımları uygulanır. İstatistik ölçek küçültme yaklaşımlarının engeli iklim değişiminin istatistik model oluşturulurken kullanılan aralığın çok dışında sonuçlara varabilmesidir. Dinamik ölçek küçültme tekniğinde ise tüm dünya yerine belirli bir alan başlangıç ve sınır koşullarında küresel modeller kullanılarak hesaplanır. Bu yöntemin getirdiği önemli dezavantaj ise yüksek hesaplama gereksinimidir.

Türkiye’de iklim değişimini model kullanarak incelemek amacıyla bugüne değin pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin; (Önol & Semazzi, 2006); (Önol & Semazzi, 2009); (İSKİ, 2010); (Bozkurt D. , Turuncoglu, Şen, Önol, & Dalfez, 2012); (Bozkurt & Sen, Precipitation in the Anatolian Peninsula: sensitivity to increased SSTs in the surrounding seas., 2011); (ÇŞB & UNDP, 2013); (Şen & diğ., 2013); (Kurnaz, 2014); (Önol & Unal, 2014) bu çalışmalar arasında yer almaktadır.





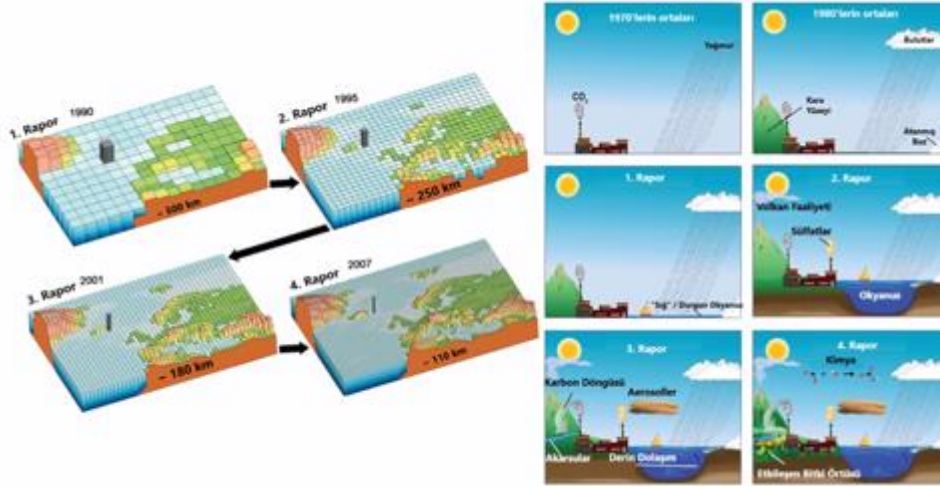
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

2 İKLİM PROJEKSİYONLARI

Dünya’nın yeryüzünde ölçülen sıcaklığı ortalama 14°C iken, uydu gözlemleriyle hesaplanan sıcaklığı ise -19°C’dir. Aradaki bu 33°C’lik fark ise sera gazı olarak adlandırılan karbondioksit, metan, nitröz oksit, florokarbonlar ve su buharı gazlarının absorbe ettiği uzun dalga boylu ışımdan kaynaklanmaktadır. Dünya’yı daha yaşanabilir kılan bu mekanizma sanayi devrimi ve sonrasında artan sera gazı emisyonları nedeniyle insan aktivitelerinin devamını riske eden boyutlara ulaşmıştır.

İnsan kaynaklı iklim değişikliğinin araştırılması ve boyutlarının ortaya konması amacıyla kurulan IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli), günümüze kadar iklim değişikliği ve buna bağlı olarak zarar azaltma ve uyum çalışmalarını öneren beş rapor yayınlamıştır. IPCC’nin Beşinci Değerlendirme Raporu (AR5) 2013 yılında yayınlanmış olup, Altıncı Değerlendirme Raporu ise hazırlanma aşamasındadır. Her rapor kapsamında yapılan çalışmalarda iklim sistemini etkileyen bileşenler daha detaylı ve yüksek çözünürlükte işlenmiş; ancak, sera gazlarındaki artışın iklime, insanlığa ve ekolojik dengeye zarar verecek şekilde değişeceği hususunda hemfikir sonuçlar ortaya koymuştur. Rapor çalışmalarında kullanılan yer sistem modellerinin gelişimi Şekil 2.1 ile verilmiştir.



Şekil 2.1 Yer Sistem Modellerinin Zamanla Gelişimi (IPCC, 2018)

2.1 Küresel Sirkülasyon Modelleri (GCM)

Küresel sirkülasyon modelleri, dinamik bitki örtüsü, okyanus biyolojisi ve atmosfer kimyası süreçlerini içerirken, fiziksel iklim ile etkileşimde bulunan biyokimyasal süreçleri de temsil etmekte ve dolayısıyla insan kaynaklı sera gazı emisyonları ile ilişkili olan zorlama ile etkileşir (Flato, 2011). Yapılan çalışmaların artırılması ile günümüzde küresel iklim modellerinin fiziksel bileşenlerinin değerlendirilmesi de her geçen gün daha da kapsamlı hale gelmektedir. Küresel modellerin ile iklim değişkenliği, insan faaliyetleri ve gelecekteki iklim değişikliğinin olası azaltma eylemleri üzerinde etkili rolleri olabilmektedir. AR5’in tabanını oluşturan CMIP5





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

arşivindeki modeller, geliştirildiği merkezler ve bulunduğu ülkelerin listesi aşağıda sunulmuştur.

Tablo 2.1 Küresel Sirkülasyon Modelleri (GCM)

| Model | Merkez | şehir | Ülke |
|--|---------------------------------|---|------------|
| BCC-CSM | BCC | Beijing | Çin |
| CanAM4, CanCM4, CanESM2 | CCCma | Victoria | Kanada |
| CMCC-CESM, CMCC-CM, CMCC-CMS | CMCC | Lecce, Bologna, Capua, Milan, Venice, Benevento | İtalya |
| CNRM-CM5 | CNRM-CERFACS | CNRM Toulouse | Fransa |
| CNRM-CM5-2 | CNRM-CERFACS | CNRM Toulouse | Fransa |
| CFSv2-2011 | COLA-NCEP | NOAA | ABD |
| ACCESS1.0, ACCESS1.3 | CSIRO-BOM | Melbourne | Avustralya |
| CSIRO-Mk3.6.0 | CSIRO-QCCCE | Melbourne | Avustralya |
| EC-EARTH | EC-EARTH | Avrupa | Avrupa |
| FIO-ESM | FIO | Beijing | Çin |
| BNU-ESM | GCESS | Beijing | Çin |
| INM-CM4 | INM | Moskova | Rusya |
| IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR, IPSL-CM5B-LR | IPSL | Paris | Fransa |
| LASG-CESM, LASG-IAP | FGOALSg2 FGOALS-gl FGOALS-s2 | Tsinghua | Çin |
| MIROC-ESM | MIROC | Tokyo | Japonya |
| HadCM3 HadCM3Q HadGEM2-A HadGEM2-CC HadGEM2-ES | MOHC | Exeter | İngiltere |
| MPI-ESM-LR MPI-ESM-MR MPI-ESM-P | MPI-M | Hamburg | Almanya |
| GISS-E2-H GISS-E2-H-CC GISS-E2-R GISS-E2-R-CC | NASA-GISS | New York | ABD |
| NASA GMAO | GEOS-5 | New York | ABD |
| NorESM1-M | NCC | Bergen | Norveç |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| Model | Merkez | Şehir | Ülke |
|--------------------|--------------|-----------|------|
| NorESM1-ME | | | |
| HadGEM2-AO | NIMR/KMA | Seoul | Kore |
| GFDL-CM2.1 | NOAA-GFDL | Princeton | ABD |
| GFDL-CM3 | | | |
| GFDL-ESM2G | | | |
| GFDL-ESM2M | | | |
| GFDL-HIRAM-C180 | | | |
| GFDL-HIRAM-C360 | | | |
| CESM1(BGC) | NSF-DOE-NCAR | Boulder | ABD |
| CESM1(CAM5) | | | |
| CESM1(CAM5.1, FV2) | | | |
| CESM1(FASTCHEM) | | | |

2.2 İklim Senaryoları

İklim çalışmalarında senaryolar, insan aktivitelerinin gaz emisyonları üzerindeki etkisinden yola çıkarak iklim değişikliğinin üzerindeki etkilerini belirleme amacıyla üretilmektedir. Nüfus değişimi, ekonomik büyüme, teknolojik ilerleme gibi gelecekte nasıl bir değişim olacağı öngörülemeyen durumlar için oluşturulan senaryolar ve projeksiyonlar kullanılarak, bu değişimlerin iklim ve buna bağlı sosyo-ekonomik değişimler üzerindeki tesirini analiz etmeye çalışılmaktadır. Projeksiyonlar, geleceği tahmin etmekten ziyade belirli kabuller durumunda meydana gelecek olası alternatifleri önceden kestirilmesini amaçlamaktadır.

IPCC 5. Değerlendirme Raporu (AR5) hazırlıklarında ve kapsamında RCP (Representative Concentration Pathways – Temsili Konsantrasyon Rotaları) adı verilen iklim senaryoları araştırmaları gerçekleştirilmiş ve sunulmuştur. Bu çalışma sonucunda farklı kabullerin toplam kümülatif ışınımsal zorlama (radiative forcing) değerleri karşılaştırılarak 4 adet RCP senaryosu türetilmiştir. Işınımsal zorlama, dünyanın artan sera gazı emisyonları etkisiyle absorbe ettiği ilave enerji olarak tanımlanıp birimi watt/m²'dir (enerji/alan). Işınımsal Zorlama, günümüz ile sanayi öncesi dönemdeki atmosfere giren ve uzaya geri yansıyan enerji dengesindeki fark olarak tanımlanmakta olup ışınımsal zorlama arttıkça küresel sıcaklık da artmaktadır. Işınımsal zorlama değerlerini esas alan temsili konsantrasyon rotaları, sera gazı konsantrasyonunun ve yüzey kullanımı değerşimleri de dahil insan kaynaklı kirlilik değerlerinin yere ve zamana göre değerşen gezinteleridir (SEI, 2017). Yukarıda bahsedildiği gibi 4 adet RCP senaryosu AR5 raporu kapsamında kabul edilmiş olup bu senaryoların esas ayırım noktası farklı ışınımsal zorlama değerleri olup bu 4 senaryoya ait bilgiler Tablo 2.2 üzerinde; senaryolara göre Işınımsal Zorlama eğilimleri ise Şekil 2.2 üzerinde verilmiştir.



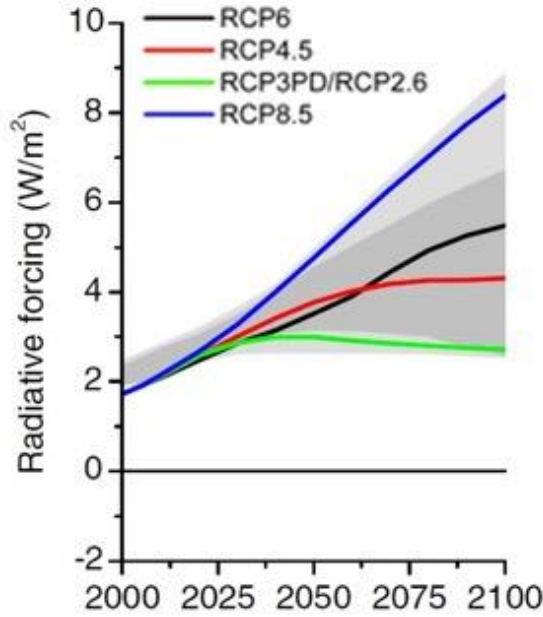


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Tablo 2.2 IPCC AR5 RCP İklim Senaryoları (IPCC, 2017)

| Senaryo | Açıklama | Entegre Değerlendirme Modeli | Entegre Değerlendirme Modeli Referansı |
|---------|---|------------------------------|---|
| RCP8.5 | Işınımsal Zorlama'nın devamlı artarak 2100 üzerinde 8.5 W/m ² olması ve artışın devam etmesi senaryosu (En Karamsar) | MESSAGE | (Riahi, 2007) (Rao, 2006) |
| RCP6 | Işınımsal Zorlama'nın artan eğilimi göstermesi ancak 2100 üzerinde 6 W/m ² değerini aşmadan stabilize olması senaryosu | AIM | (Fujino, 2006) (Hijioka, 2008) |
| RCP4.5 | Işınımsal Zorlama'nın artan eğilimi göstermesi ancak 2100 üzerinde 4.5 W/m ² değerini aşmadan stabilize olması senaryosu | GCAM (MiniCAM) | (Smith, 2006) (Clarke, 2007) (Wise, 2009) |
| RCP2.6 | Işınımsal Zorlama'nın 2100 öncesi ~3 W/m ² üzerinde pik yapması ve sonra azalma eğilimine girmesi senaryosu (En İyimser) | IMAGE | (van Vuuren, 2006) (van Vuuren, 2007) |



Şekil 2.2 RCP Senaryoları ve Işınımsal Zorlama (Radiative Forcing) Eğilimleri (van Vuuren et al., 2011)

Şekilde de görüldüğü üzere Işınımsal Zorlama (Radiative Forcing) değerleri RCP senaryoları 8.5'den 2.6'ya doğru gittikçe küçülmekte olup senaryolar arası iyimserlik seviyesi de bu anlamda kritiklik azaldıkça artmaktadır. Bu senaryolara ait kabuller aşağıda verilmiştir (SEI, 2017). IPCC'nin tüm raporlarında artan emisyonların sıcaklıklarda artışa neden olacağı vurgulanmış ve şimdiki modellerle kıyaslandığında çok daha kaba çözümlükte ve daha az süreci işleyen modellerin dahi gerçekleşmiş değişimleri makul bir ölçüde ortaya koyduğu görülmüştür.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

3 TÜRKİYE’DE ÇALIŞILAN İKLİM PROJEKSİYONLARI

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Haziran 2016 tarihli “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi” kapsamında, tüm Türkiye’yi kapsayacak şekilde, CMIP5 arşivinden seçilmiş üç küresel modelin çıktıları (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1) ve biri insanlığın halihazırdaki uygulamalarını sürdürmesi, diğeri ise daha çevreci teknolojiler ve azalan nüfus artışı kabullerini barındıran 2 iklim senaryosu (RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryoları) ile RegCM4.3 bölgesel iklim modeli çalıştırılmıştır.

Model simülasyonları aracılığı ile toplam 11 hidrometeorolojik değişken ve ekstrem durumları temsil eden 17 iklim indisine ait projeksiyonlar Türkiye sınırlarının tamamını kapsayacak şekilde oluşturulmuş, incelenen parametrelerin 1971-2000 yılı simülasyonları olarak kabul edilen referans dönemine göre 2100 yılına kadar farkları aylık bazda hesaplanmıştır (SYGM, 2016).

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 2011 yılında Türkiye’de ilk kez bir kamu kurumunun kendi imkanları ile "Türkiye İklim Projeksiyonları" çalışması başlatılmış olup, ilk rapor 2013 yılında, ikinci rapor ise 2015 yılında yayınlanarak ilgili tüm sektörlerin kullanıma sunulmuştur. Çalışma, CMIP5 projesi kapsamındaki 3 Küresel İklim Modelinin (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M) RCP4.5 ile RCP8.5 senaryolarına ait küresel veri setleri ICTP merkezinden indirilmiş ve RegCM4.3.4 bölgesel iklim modelinde kullanılarak Türkiye ve bölgesini kapsayacak genişlikte bir coğrafya için gerçekleştirilmiştir (MGM, 2013); (Akçakaya, ve diğeri, 2015)).

Model simülasyonları aracılığı ile toplam 8 meteorolojik parametre için veri tabanları ve analiz ürünleri oluşturulmuştur. Ayrıca il bazlı 12 iklim indisi üretilmiştir. İklim projeksiyonları 1971-2000 periyodu referans dönem 2013-2099 periyodu gelecek dönem olarak ele alınarak hazırlanmıştır.

Her iki kuruma ait iklim projeksiyon verileri kamu kurumları, üniversiteler ve özel sektör tarafından yapılan iklim projeksiyonları çalışmalarına katkı sağlamaktadır.

3.1 İklim Projeksiyonları

Her iki kurum tarafından yürütölmüş olan çalışmalarda kullanılmak üzere CMIP5 arşivinden seçilen yer sistem modeller, çözünürlükler, emisyon salım senaryoları ve periyotlara ait detaylar karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır. Çalışmalar kapsamında seçilen yer sistem modellerinin özellikleri ise devamında sunulmuştur.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Tablo 3.1 Çalışmalarda Kullanılan Modeller ve Özellikleri

| Çalışmalar | Yer Sistem Modelleri | Kullanılan Bölgesel İklim Modeli | Küresel Model Çözünürlüğü | Bölgesel Model Çözünürlüğü | Seçilen Senaryolar | Referans Dönemi Periyodu | Projeksiyon Dönemi Periyodu | | |
|------------|----------------------|----------------------------------|---------------------------|---|------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|-----------|
| SYGM | HadGEM2 – ES | RegCM4.3 | 112,5 km | Dış Alan: 50 km İç Alan: 10 km | RCP4.5 ve RCP8.5 | 1971- 2000 | 2015-2100 | | |
| | MPI-ESM-MR | | 210 km | | | | | | |
| | CNRM-CM5.1 | | 155 km | | | | | | |
| MGM | HadGEM2 – ES | | 112,5 km | Tüm Domain: 50 ve 20 km | | | RCP4.5 ve RCP8.5 | 1971- 2000 | 2013-2099 |
| | MPI-ESM-MR | | 210 km | | | | | | |
| | GFDL-ESM2M | | 220 km | | | | | | |

3.1.1 HadGEM2-ES

HadGEM2 (Hadley Centre Global Environment Model version 2), İngiltere Meteoroloji Servisi’ne bağlı bir enstitü olan Hadley Centre tarafından geliştirilen 2. nesil bir yer sistem modelidir (Met Office, 2017). Atmosferik, hidrolojik ve oşinografik, biyokimyasal süreçleri hesaplayan çeşitli HadGEM sürümleri mevcut olup bu modeller aynı fiziksel altyapıya sahip olup her model tipinde kendi içinde farklı detay seviyeleri bulunmaktadır. Bu modeller, opsiyonel daha iyi stratosfer modellemesi sağlayan dikey atmosferik genişlemesi içeren bütünleşik atmosfer-okyanus konfigürasyonuna ve dinamik bitki örtüsü, okyanus biyolojisi ve atmosfer kimyası içeren bir yüzey sistemi konfigürasyonuna sahiptir (Collins, 2011).

3.1.2 MPI-ESM-MR

MPI-ESM (Max-Planck-Institute Earth System Model) modeli Almanya Max Planck Enstitüsü tarafından geliştirilen atmosfer, yüzey ve okyanus alt modüllerden oluşan bütünleşik bir yer sistem modelidir (MPI, 2017). MPI-ESM modeli bünyesinde, tümleşik olarak çalışan atmosferik ECHAM6 modeli (Stevens vd., 2013) ve MPIOM (Jungclaus, 2013) okyanus modeli, yer ve bitki örtüsü alt sistem modeli JSBACH (Reick, 2013) (Schneck, 2013), okyanus biyo-jeokimya modeli HAMMOCC5 (Ilyina, 2013) ve modüllerin tümleşik çalışmasını sağlayan OASIS modülü (Valcke, 2015) bulunmaktadır.

3.1.3 CNRM-CM5.1

CNRM-CM5.1, CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques – Fransa Ulusal Meteorolojik Araştırma Merkezi) ve CERFACS (Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée –Avrupa Araştırma ve İleri Eğitim Merkezi - Fransa) işbirliğiyle geliştirilen yer sistem modelidir (CNRM, 2017). CNRM-CM5.1 model bileşenleri ARPEGE-Climat atmosfer modeli (Déqué M., 1994); NEMO okyanus modeli (Madec, 2016); yer yüzey şeması ISBA ve buna bağlı SURFEX ara yüzü (Le Moigne, 2012); ve deniz buz modeli GELATO (Salas-Méla,





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

2002), yüzey akış modeli TRIP (Oki, 1998) ve modüllerin entegre çalışmasını sağlayan OASIS modülüdür (Valcke, 2015).

3.1.4 GFDL-ESM2M

GFDL-ESM2M (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Earth System Model) modeli Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'ne bağlı Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı tarafından geliştirilen küresel bir yer sistem modelidir. GFDL dünyadaki madde döngüleri (karbon, su vb.) ile insan aktivitelerinin iklim sistemleri üzerine etkileşimini bir arada inceleyen birleştirilmiş bir küresel iklim modelidir (GFDL, 2020).

3.2 Bölgesel İklim Modeli- RegCM4.3

Küresel iklim modellerinin tamamlayıcısı olan bölgesel iklim modelleri, dünyanın pek çok bölgesi için kullanılmaktadır. Bu modeller, küresel iklim analizlerine veya simülasyonlarına yerel etkileşimleri dahil ederek ayrıntılı iklim süreçlerini ortaya koyarlar. Son 20 yılda, bölgesel iklim modelleri üzerinde yapılan araştırmalarda önemli ilerlemeler elde edilmiş, hesaplama olanaklarının artmasıyla daha yüksek çözünürlükte daha uzun simülasyonlar mümkün hale gelmiştir (Rajib & Rahman, 2012).

Bir bölgesel model genellikle yer kürenin belirli bir alanını daha yüksek çözünürlükte hesaplar. Böylece yüksek çözünürlüklü sınırlı alan bölgesel iklim modeli ile ülke ölçeğinde projeksiyonlar üretilebilir. RegCM, esnek, taşınabilir ve kullanımı kolay olup, paleoiklim ve gelecek iklim simülasyonu için, yaklaşık 10 km (hidrostatik sınırı) kadar olan çözünürlük ile dünyanın pek çok bölgesi için uygulanmaktadır. Arazinin düz olduğu bölgelerde iklim modellerinin çözünürlüğü çok sorun yaratmaz, ancak Türkiye gibi karmaşık topoğrafyanın hâkim olduğu bölgelerde çözünürlük son derece önem kazanır.

Her iki kurum tarafından yürütölmüş olan çalışmalarda ICTP (International Centre for Theoretical Physics) tarafından geliştirilmesi halen sürdürölen bölgesel iklim modeli RegCM4.3 modeli kullanılmıştır. Bir bölgesel alan modelinin uygulanmasında en önemli hususlardan biri, bölgenin meteorolojik parametrelerini başarılı bir şekilde temsil edecek uygun bir alanın (domain) belirlenmesidir. Çalışma alanlarının seçiminde her iki çalışmada da ölkemizi etkileyen hava kütleleri gelişimini en uygun şekilde yansıtan iki aşamalı ölçek küçöltme yöntemi tercih edilmiştir. Bunun için bölge koşulları özelinde daha yüksek başarı kabiliyetine ulaşabilmek amacıyla her iki çalışmada da tüm çalışma alanı ilk aşamada Küresel Model çözünürlüğünden 50 km çözünürlüğe ölçek küçöltölmüştür. İkinci aşamada ise SYGM tarafından iki farklı alan üzerinde 50 km'den 10 km'ye, MGM tarafından ise aynı alan üzerinde 50 km'den 20 km çözünürlüğe ölçek küçöltölmüştür. Her iki kurum tarafından için seçilen çalışma alanlarının yer aldığı enlem ve boylam bilgileri Tablo 3.2 ile gösterilmiştir. SYGM ve MGM tarafından yürütölen çalışmalarda modeller için seçilen çalışma alanları aşağıda Şekil 3.1 ile verilmiştir.



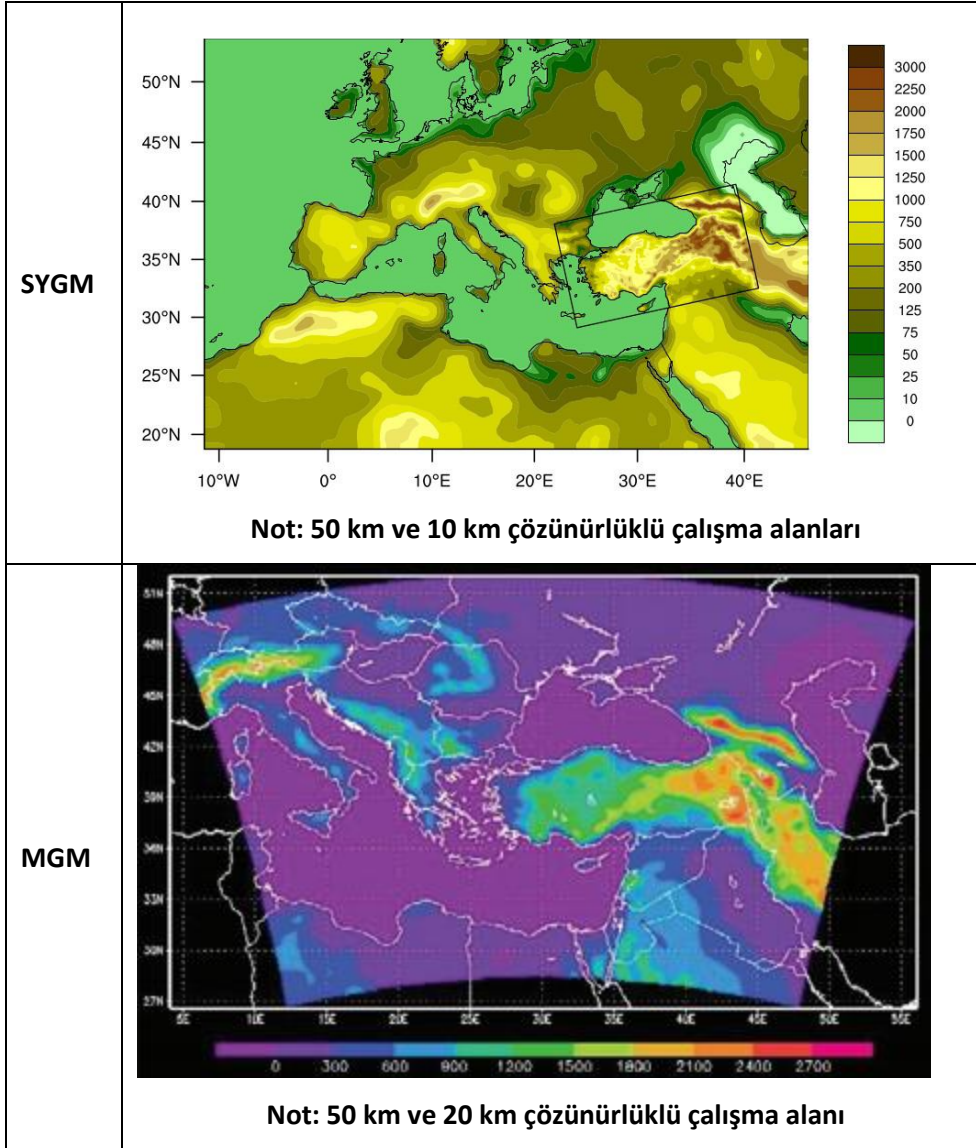


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Tablo 3.2 Seçilen Çalışma Alanları

| Çalışmalar | Dış Alan | | İç Alan | |
|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | Kuzey Enlemleri | Doğu Boyamları | Kuzey Enlemleri | Doğu Boyamları |
| SYGM | 18°N - 53°N | 9°W- 48°E | 30°N - 42°N | 20°E- 42°E |
| MGM | 27°N - 51°N | 5°E- 55°E | 27°N - 51°N | 5°E- 55°E |



Şekil 3.1 Bölgesel Model Çalışma Alanları ve Topoğrafya



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

3.3 Referans Dönemi Analizleri

İklim değişikliği projeksiyonlarının doğrulanması, çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak referans yıllarına ait sonuçların meteorolojik gözlemler ile karşılaştırılması yoluyla yapılmaktadır. Bu çalışmalarda noktasal istasyon gözlemleri ve model gridlerine interpolate edilmiş gözlemler kullanılmaktadır.

HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-5.1 ve GFDL-ESM2M küresel iklim modelleriyle kuple edilen RegCM4.3 bölgesel iklim modelinin Türkiye genelinde 1971-2000 referans dönemi iklimi benzeşim yeteneği analiz edilmiştir. Buna göre, SYGM tarafından yürütölen çalışmada model simölasyonlarının başarıları 10 km çözünürlükteki grid noktalarına PRISM (Parameter-elevation Relationships on Independent Slopes Model-Parametre Yükseklik İlişkisi Bağımsız Eğim Modeli) yöntemi ile interpolate edilmiş (taşınmış) gözlem verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. MGM tarafından yürütölen çalışmada ise dünyaca kabul gören küresel gözlem veri setleri (CRU ve UDEL) kullanılarak kıyaslama yapılmıştır.

3.3.1 10 km Çözünürlüklü İklim Projeksiyonları

SYGM tarafından referans dönemine ait Türkiye genelinde meydana gelen ortalama sıcaklık ve toplam yağış gözlemleri ile aynı döneme ait HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 model sonuçları yıllık ve mevsimlik olarak analiz edilmiş ve modellerin başarımları belirlenmiştir. Sonuç olarak, küresel model çıktılarıyla koşturulan bölgesel iklim modelinin referans dönemi sonuçlarının yanlılık analizleri doğrultusunda, modelin gözlemlere göre daha soğuk bir durum önerdiği görölmektedir. Bu durum seçilen üç küresel iklim modeli özelliklerinden ve RegCM4.3 modelinin soğuk yanlı bir model olmasından da kaynaklanmaktadır (Rajib & Rahman, 2012). 1971-2000 referans dönemi boyunca Türkiye genelinde yıllık sıcaklık ortalaması 12,0°C iken her üç model sırası ile HadGEM2-ES 9,0°C; MPI-ESM-MR 9,0°C ve CNRM-CM5.1 8,0°C olarak öngörölmüştür.

Ortalama sıcaklık için mevsimsel olarak gözlem ve model sonuçları karşılaştırıldığında model sonuçları bakımından en düşük tahmin CNRM-CM5.1 ile meydana gelirken en yakın tahmin sonuçlarının MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES modelleri için gerçekleştirildiği görölmektedir.

Tablo 3.3 Referans Dönemi Mevsimlik ve Yıllık Ortalama Sıcaklık Değerleri (°C)

| Sıcaklık | Kış | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Yıllık |
|------------|------|----------|------|----------|--------|
| Gözlem | 1,0 | 10,0 | 22,0 | 13,0 | 12,0 |
| HadGEM2-ES | -0,8 | 6,6 | 20,6 | 9,6 | 9,0 |
| MPI-ESM-MR | -0,1 | 7,0 | 19,0 | 10,0 | 9,0 |
| CNRM-CM5.1 | -1,3 | 6,0 | 18,0 | 9,0 | 8,0 |

Her üç küresel iklim modeline dayalı yağış tahminleri gözlem değerlerinin üzerindedir. Türkiye genelinde yıl boyunca toplam yağış 1,56 mm/gün olarak ölçölürken MPI-ESM-MR modeli 2,52 mm/gün; HadGEM2-ES modeli 2,60 mm/gün olarak hesaplamaktadır. CNRM-CM5.1 model





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

sonuçları ise yıllık 3,01 mm/gün ile gözlemlere en uzak değerleri vermektedir. Bu sonuçlara göre gözlem değerlerine en yakın model sonuçları MPI-ESM-MR ve bunu takiben de HadGEM2-ES modeli ile elde edilmiştir. MPI-ESM-MR modeli iklim modelleri içerisinde yıllık toplam yağış tahmininde en az hata barındıran sonuçlar vermektedir.

Değerlendirme sonuçlarına göre küresel model çıktılarıyla koşturulan bölgesel iklim modelinin referans dönemi sonuçlarının yanlılık analizleri doğrultusunda modelin gözlemlere göre daha yağışlı bir durum önerdiği görülmektedir. Türkiye üzerinde gridlenmiş verilerin yıllık toplamının 1971-2000 yılları ortalaması 570 mm iken HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 sırasıyla 575 mm, 586 mm ve 604 mm olmaktadır.

Tablo 3.4 Referans Dönemi Mevsimlik ve Yıllık Günlük Yağış Değerleri (mm/gün)

| Yağış | | Kış | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Yıllık |
|-----------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Gözlem | | 2,24 | 1,93 | 0,67 | 1,47 | 1,56 |
| Yanlılık Düzeltmesi Öncesi | HadGEM2-ES | 4,24 | 3,12 | 0,51 | 2,64 | 2,6 |
| | MPI-ESM-MR | 4,12 | 3,18 | 0,82 | 2,08 | 2,52 |
| | CNRM-CM5.1 | 4,09 | 3,74 | 1,39 | 2,96 | 3,01 |
| Yanlılık Düzeltmesi Sonrası | HadGEM2-ES | 2,36 | 1,94 | 0,57 | 1,51 | 1,58 |
| | MPI-ESM-MR | 2,38 | 1,96 | 0,68 | 1,49 | 1,61 |
| | CNRM-CM5.1 | 2,34 | 2,01 | 0,77 | 1,57 | 1,65 |

Sonuç olarak referans dönemi içerisinde HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 küresel model çıktılarıyla koşturulan RegCM4.3 bölgesel iklim model sonuçlarının Türkiye genelinde gözlenen toplam yağışlara (mm/gün) göre daha yağışlı bir durum önerdiği görülmektedir. Bu durum ortalama değer yanlılık düzeltmesi yöntemiyle azaltılmıştır. Gözlem değerlerine en yakın tahminleri HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR küresel iklim modellerinin sağladığı görülmüştür.

Yanlılık düzeltmesi ile modellerdeki sistematik hatalar büyük ölçüde giderilebilmekle birlikte model yanlılığından kaynaklı süreçler düzeltilmesi çok zor sonuçlara neden olabilmektedir. Örneğin kış ve bahar mevsimlerindeki negatif yanlılıklar modelde olması gerekenden çok daha fazla kar depolanmasına neden olmakta, kar erimelerinde gecikmeler meydana gelmekte ve sonuç olarak akış rejiminde kaymalara sebep olmaktadır. Yüzey akışları zemin neminde farklılıklara yol açıp bu durum sıcaklıklarda ve buharlaşmaya bağlı soğuma nedeniyle tekrar gözlemlere göre düşük kalmasına sebep olmaktadır.

3.3.2 20 km Çözünürlüklü İklim Projeksiyonları

MGM tarafından referans dönemine ait Türkiye genelinde meydana gelen ortalama sıcaklık ve toplam yağış gözlemleri ile aynı döneme ait HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M model sonuçları yıllık ve mevsimlik olarak analiz edilmiş ve modellerin başarımları belirlenmiştir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Küresel model çıktılarıyla koşturulan bölgesel iklim modelinin referans dönemi sonuçlarının yanlılık analizleri doğrultusunda, modelin bu çalışmada da gözlemlere göre daha soğuk bir durum önerdiği görülmektedir. 1971-2000 referans dönemi boyunca Türkiye genelinde CRU için yıllık sıcaklık ortalaması 10,9°C iken her üç model sırası ile HadGEM2-ES 10,0°C; MPI-ESM-MR 10,0°C ve GFDL-ESM2M 8,0°C olarak öngörülmüştür. SYGM tarafından elde edilen model sonuçlarında da olduğu gibi ortalama sıcaklık için mevsimsel olarak gözlem ve model sonuçları karşılaştırıldığında en düşük tahmin GFDL-ESM2M ile meydana gelirken; gözlemlere en yakın tahmin sonuçlarının MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES modelleri için gerçekleştirildiği görülmektedir.

Tablo 3.5 Referans Dönemi Mevsimlik ve Yıllık Ortalama Sıcaklık Değerleri (°C)

| Sıcaklık | Kış | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Yıllık |
|---------------|------|----------|------|----------|--------|
| Gözlem (CRU) | 0,6 | 9,7 | 20,9 | 12,5 | 10,9 |
| Gözlem (UDEL) | -0,1 | 9,3 | 20,7 | 12,0 | 10,5 |
| HadGEM2-ES | 0,4 | 8,3 | 20,8 | 10,4 | 10,0 |
| MPI-ESM-MR | 0,5 | 8,6 | 19,6 | 11,0 | 10,0 |
| GFDL-ESM2M | -0,9 | 7,0 | 17,3 | 8,4 | 8,0 |

Türkiye genelinde yıl boyunca toplam yağış CRU’ya göre 1,53 mm/gün olarak belirlenmiş iken, MPI-ESM-MR modeli 1,53 mm/gün; GFDL-ESM2M modeli 1,74; HadGEM2-ES modeli ise 1,89 mm/gün ile gözlemlere en uzak değerleri vermektedir. Bu sonuçlara göre gözlem değerlerine en yakın model sonuçları MPI-ESM-MR ve bunu takiben de GFDL-ESM2M modeli ile elde edilmiştir. SYGM tarafından elde edilen model sonuçlarında da olduğu gibi MPI-ESM-MR modeli iklim modelleri içerisinde yıllık toplam yağış tahmininde en az hata barındıran sonuçlar vermektedir.

Değerlendirme sonuçlarına göre küresel model çıktılarıyla koşturulan bölgesel iklim modelinin referans dönemi sonuçlarının yanlılık analizleri doğrultusunda MPI-ESM-MR hariç modelin gözlemlere göre daha yağışlı bir durum önerdiği görülmektedir. Türkiye üzerinde gridlenmiş verilerin yıllık toplamalarının 1971-2000 yılları ortalaması CRU’ya göre yaklaşık 558 mm iken HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M sırasıyla 688 mm, 559 mm ve 634 mm olmaktadır.

Tablo 3.6 Referans Dönemi Mevsimlik ve Yıllık Günlük Yağış Değerleri (mm/gün)

| Yağış | Kış | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Yıllık |
|---------------|------|----------|------|----------|--------|
| Gözlem (CRU) | 2,13 | 1,97 | 0,69 | 1,33 | 1,53 |
| Gözlem (UDEL) | 2,35 | 2,10 | 0,74 | 1,45 | 1,66 |
| HadGEM2-ES | 2,16 | 2,62 | 0,95 | 1,83 | 1,89 |
| MPI-ESM-MR | 2,52 | 1,92 | 0,42 | 1,28 | 1,53 |
| GFDL-ESM2M | 1,73 | 2,24 | 1,77 | 1,21 | 1,74 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

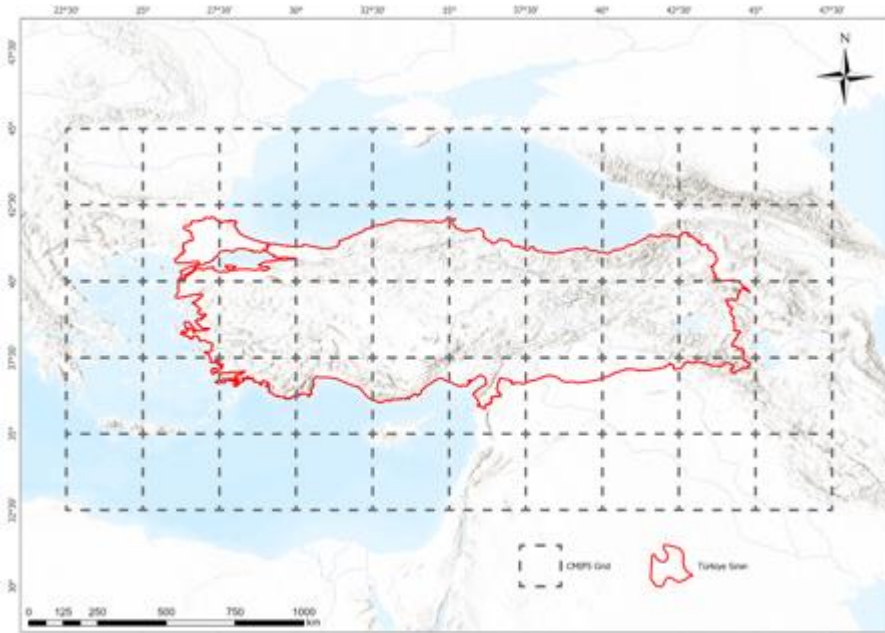
4 KÜRESEL İKLİM PROJEKSİYONLARI ANALİZLERİ

Her iki kurum tarafından seçilen CMIP5 arşivindeki HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5 ve GFDL-ESM2M küresel iklim model sonuçlarının 1971-2100 periyodu için hem kendi aralarında hem de küresel iklim modellerinin ortalaması ile karşılaştırılması yapılmıştır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosu için koşturulan küresel modellerin ortalama sıcaklık ve toplam yağış sonuçları Türkiye ölçeğinde Koninklijk Hollanda Meteoroloji Enstitüsü (KMNI) sunucusundan indirilmiştir. KMNI sunucusunda farklı mekânsal çözünürlüklerdeki küresel iklim modellerinin sıcaklık ve yağış alanları birbiriyle daha kolay mukayese edilebilmesi için 2,5’lik gridlere interpolate edilmiştir. Bu kapsamda indirilen model sonuçlarına ait detaylar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 4.1 CMIP5 Arşivindeki Küresel İklim Modelleri

| Emisyon Salım Senaryoları | Ortalama Sıcaklık | Toplam Yağış |
|---------------------------|-------------------|--------------|
| RCP4.5 | 42 model | 42 model |
| RCP8.5 | 39 model | 39 model |

2,5’lik çözünürlükteki küresel iklim modelleri ile daha yüksek çözünürlükte (10 ve 20 km gibi) koşturulan RegCM model sonuçları arasında bölgenin klimatolojik temsili ile mekânsal sapmalar ve topografyanın daha kaba temsil edilmesi gibi nedenlerle farklılıklar olması beklenmektedir. Yapılan çalışmalarda Türkiye’nin tamamını temsil etmesi için seçilen gridler Şekil 4.1 ile verilmiştir. Harita üzerindeki gridler 2,5’lik çözünürlüğe denk gelmektedir.



Şekil 4.1 Türkiye Üzerindeki CMIP5 Ensemble Model Gridlerin Gösterimi

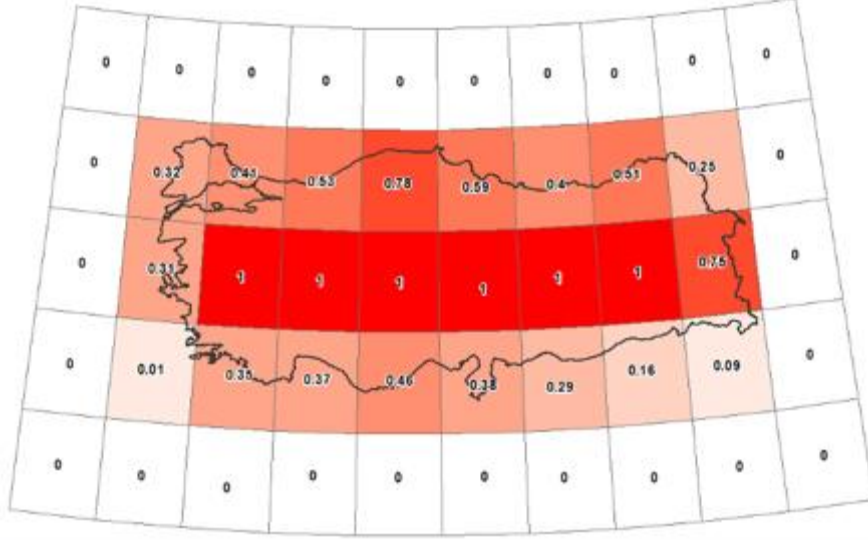




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Türkiye sınırlarının dışında kalan kara ve deniz alanlarının üzerine düşen gridler maskelenerek sınırlar içerisinde kalan gridler ağırlıklandırılmıştır. Sıcaklık ve yağış projeksiyonlarının alansal ortalamaları alınırken hesaplanan bu ağırlıklar kullanılmıştır. Türkiye üzerindeki CMIP5 gridlerinin ağırlıkları aşağıdaki harita ile sunulmuştur.



Şekil 4.2 Türkiye Üzerindeki CMIP5 Ensemble Model Gridlerin Ağırlıkları

4.1 Türkiye’nin Projeksiyon Dönemi Analizleri

4.1.1 Ortalama Sıcaklık

Türkiye için sıcaklık projeksiyonları CMIP5 arşivindeki küresel iklim modellerinden RCP4.5 için 42, RCP8.5 senaryosu için ise 39 model kurumlar tarafından koşturulan 4 modelin (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5 ve GFDL-ESM2M) sonuçlarının bir demeti olarak verilmiştir.

Farklı fiziksel parametrizasyon, çözünürlük ve zorlamalarla koşturulan modeller farklı sonuçlar üretmektedir. Zamanla belirsizliğin ve modellerin ürettiği hataların kümülatif artışı sonucunda 2100’lere varıldığında modellerin ortaya koyduğu koşullarda önemli ayrışmalar görülmektedir. Referans döneminde benzer salınımlar gösteren modeller 2005 sonrası RCP senaryolarının devreye girmesiyle farklı ışınımsal zorlamalar sonucu farklı sıcaklık değerleri önerir. 2030’lu yıllardan sonra RCP senaryolarındaki karbondioksit konsantrasyon seviyesi değişimlerindeki ayrışmaya paralel olarak model sonuçlarının da hızlı bir farklılaşmaya gittiği görülmektedir. RCP4.5 senaryosu CO₂ konsantrasyonlarının 2100’e doğru 560 ppm seviyelerinde stabilize olacağını varsayarken RCP8.5 senaryosu 2030’lardan sonra CO₂ konsantrasyonlarının hızlı yükselişe devam ederek 2100’lere gelindiğine 1000 ppm seviyelerine varacağını kabul etmektedir. Küresel ve bölgesel iklim modellerinin öne sürdüğü sıcaklık değişimleri de bu doğrultuda ve doğrudan ilişkilidir.

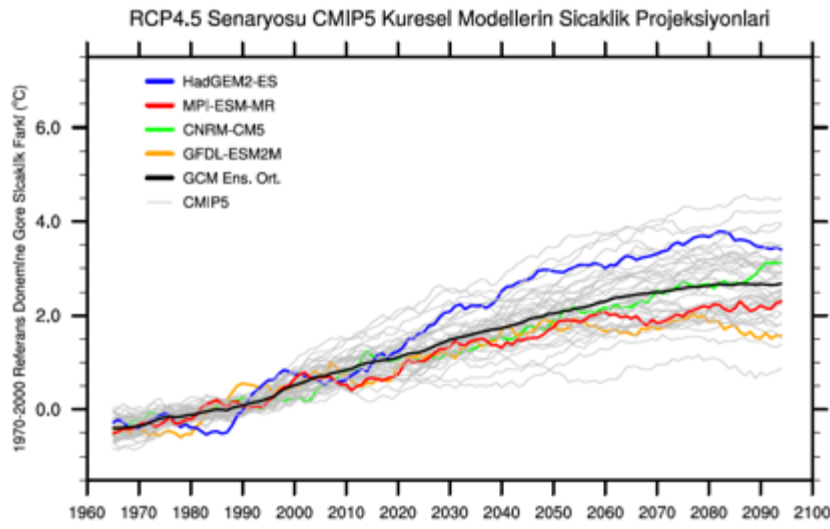




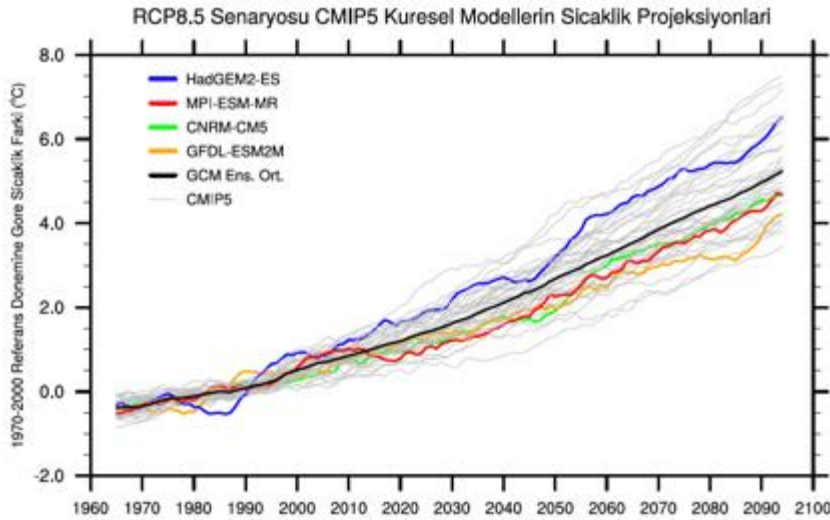
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Seçilen modeller grafiklerde renkli gösterilirken algıyı kolaylaştırmak için diğer küresel model sonuçları gri tonlarda gösterilmiştir. Her iki senaryoya ait model sonuçları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 ile sunulmuştur. RCP4.5 senaryosu güdümünde koşturulan modeller 2100'lere doğru azalan bir artışla ortalamada yaklaşık 3°C'lik bir sıcaklık artışı gösterirken RCP8.5 senaryosu güdümünde koşturulan modellerin 2100'lere doğru ivmelenerek artan bir grafikte 5,5°C'lik bir yükseliş ortaya koyduğu görülmektedir. En büyük artış HadGEM2-ES küresel modelinde görülürken onu sırasıyla CNRM-CM5, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M modelleri takip etmektedir. Seçilen modeller RCP4.5 senaryosu için 1,5-3,5 °C bir artış ortaya koyarken RCP8.5 senaryosu için 4,0-6,5 °C bandında bir artış ortaya koyarlar.



Şekil 4.3 Türkiye için RCP4.5 Senaryosu İklim Modelleri Sıcaklık Projeksiyonları



Şekil 4.4 Türkiye için RCP8.5 Senaryosu İklim Modelleri Sıcaklık Projeksiyonları





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

4.1.2 Toplam Yağış

Türkiye için yağış projeksiyonları CMIP5 arşivindeki küresel iklim modellerinden RCP4.5 için 42, RCP8.5 senaryosu için ise 39 model kurumlar tarafından koşturulan 4 modelin (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5 ve GFDL-ESM2M) sonuçlarının bir demeti olarak verilmiştir.

Karbondioksit salımındaki artışa bağlı olarak gerçekleşen sıcaklık artışı ile birlikte gelecek dönem yağış projeksiyonları azalma öngörmektedir. Artan sıcaklığın buharlaşmayı da arttırmasıyla Dünya'nın su çevrimini hızlandıracağı öngörülmektedir. Hızlanan su döngüsü bazı bölgelerde yağışlarda artışa neden olurken yüksek buharlaşma değerleri de bazı bölgelerde kuraklığa neden olacaktır.

Sıcaklık, buharlaşma ve gizli ısı akılarındaki yükselmenin fırtına oluşumlarında da artışa neden olması beklenirken ve bu durum fırtına yolu üzerindeki bölgelerde sel riskinin, fırtına rotalarından uzak bölgelerde ise kuraklık riskinin artışına neden olması beklenmektedir. Sıcaklık artışının termal kuşaklar üzerinde baskı yaratması sonucu değişen küresel sirkülasyon paternleri fırtına rotalarındaki değişimin en önemli nedenlerindedir. Bu durum yağış projeksiyonlarında görülen değişimin sıcaklıklardaki gibi düzenli bir artış yerine artan ya da azalan salınımlar şeklinde ortaya çıkmasına neden olur. Aynı durum modellerin belirli bir bölgede yağış rejimi ve deseninde farklı sonuçlar önermesine de neden olur.

CMIP5 arşivinden temin edilen küresel model çıktıları ve seçilen küresel modellerin yağış projeksiyonları RCP senaryolarına göre gruplanmıştır. Modellerin ortaya koyduğu yağış değişimleri RCP4.5 senaryosu için Şekil 4.5, RCP8.5 senaryosu için Şekil 4.6 ile 1971-2000 dönemine göre yüzde (%) değişimleri olarak verilmiştir.

Küresel model sonuçları incelendiğinde 2100'lere gelindiğinde ortalamalarda RCP4.5 senaryosu için %5, RCP8.5 senaryosu için ise %15 civarında yağış noksanlığı öngörülmektedir. Ancak yağışlarda artış ya da ortalamadan çok daha fazla azalma öneren modeller de mevcuttur. Kurumlar tarafından seçilen modeller incelendiğinde genel olarak bir azalış eğilimi görülmekle birlikte pozitif anomalinin mevcut olduğu dönemler de vardır.

MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M küresel iklim modelleri dört model içinde en kurak koşullara işaret ederken HadGEM2-ES küresel iklim modellerinin ortalamasına daha yakın şartlar ortaya koyar. CNRM-CM5 modeli günümüz koşullarına benzer yağış miktarı önerirken aynı modelin RCP8.5 senaryosunda 2100'lere doğru yüzyılın ortasından itibaren daha yağışlı bir iklim ortaya koymaktadır.

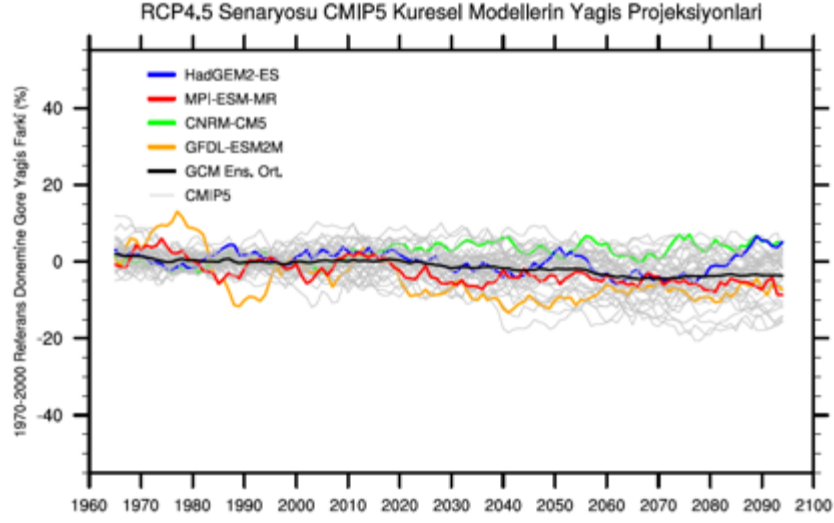
Sonuç itibarı ile; yapılan değerlendirme neticesinde MPI-ESM-MR modelinin patern ve büyüklük olarak yağış ve sıcaklıklarda diğer modellere nazaran gözlemlerle çok daha uyumlu iklim koşulları ortaya koyduğu görülmüştür.



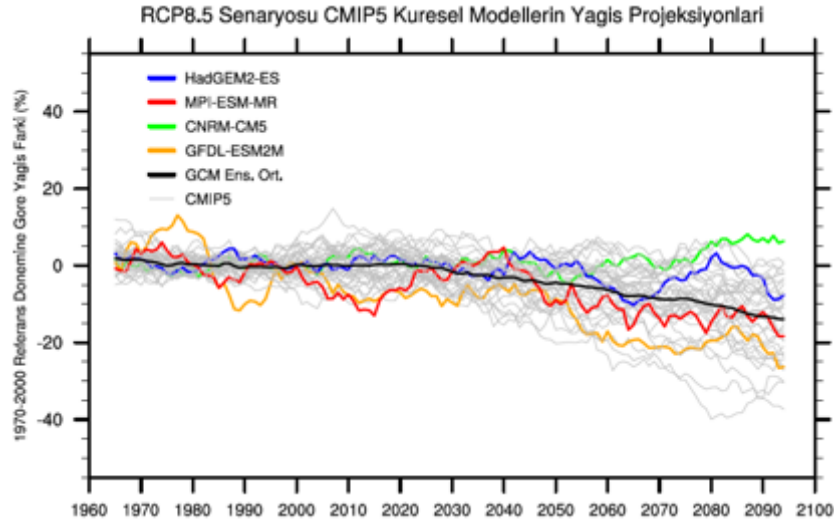


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 4.5 Türkiye için RCP4.5 Senaryosu İklim Modelleri Yağış Projeksiyonları



Şekil 4.6 Türkiye için RCP8.5 Senaryosu İklim Modelleri Yağış Projeksiyonları

4.2 Coğrafi Bölgelerin Projeksiyon Dönemi Analizleri

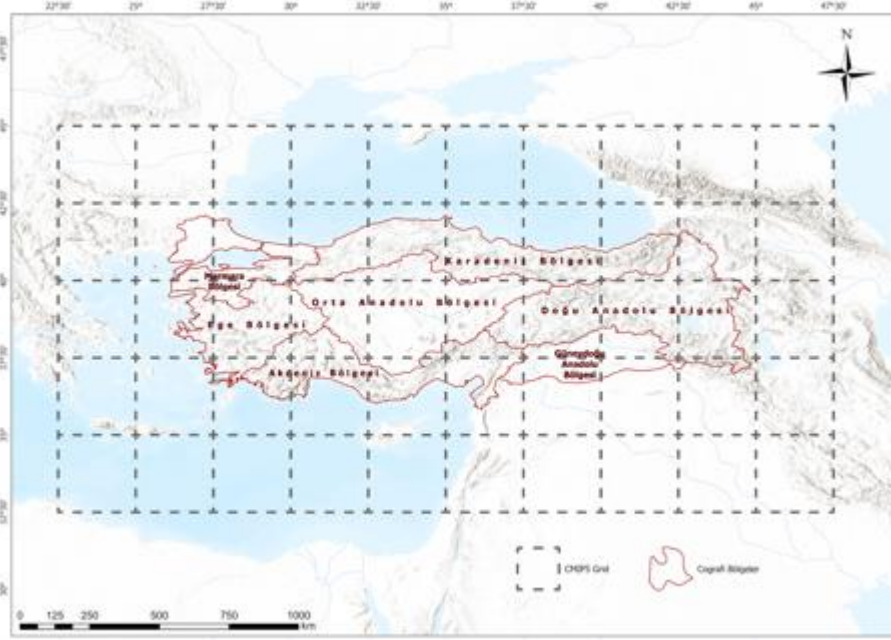
Türkiye ölçeğinde KMNI sunucusundan indirilen 2,5°’lik gridlere sahip küresel iklim modelleri, Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesi için ayrı ayrı analiz edilmiş, sonuçları görselleştirilmiştir. Ülkenin tamamını ve yedi coğrafi bölgeyi temsil eden gridler Şekil 4.7 ile verilmiştir.





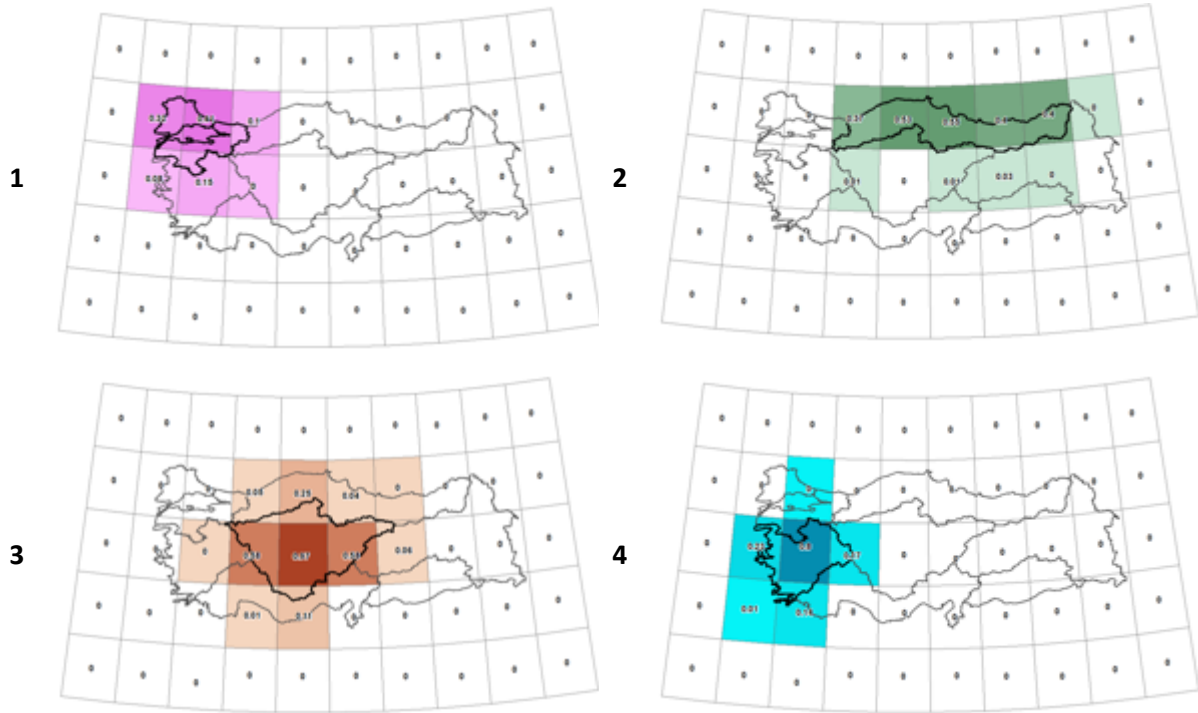
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 4.7 Türkiye’nin Coğrafi Bölgeleri Üzerindeki CMIP5 Ensemble Model Gridlerin Gösterimi

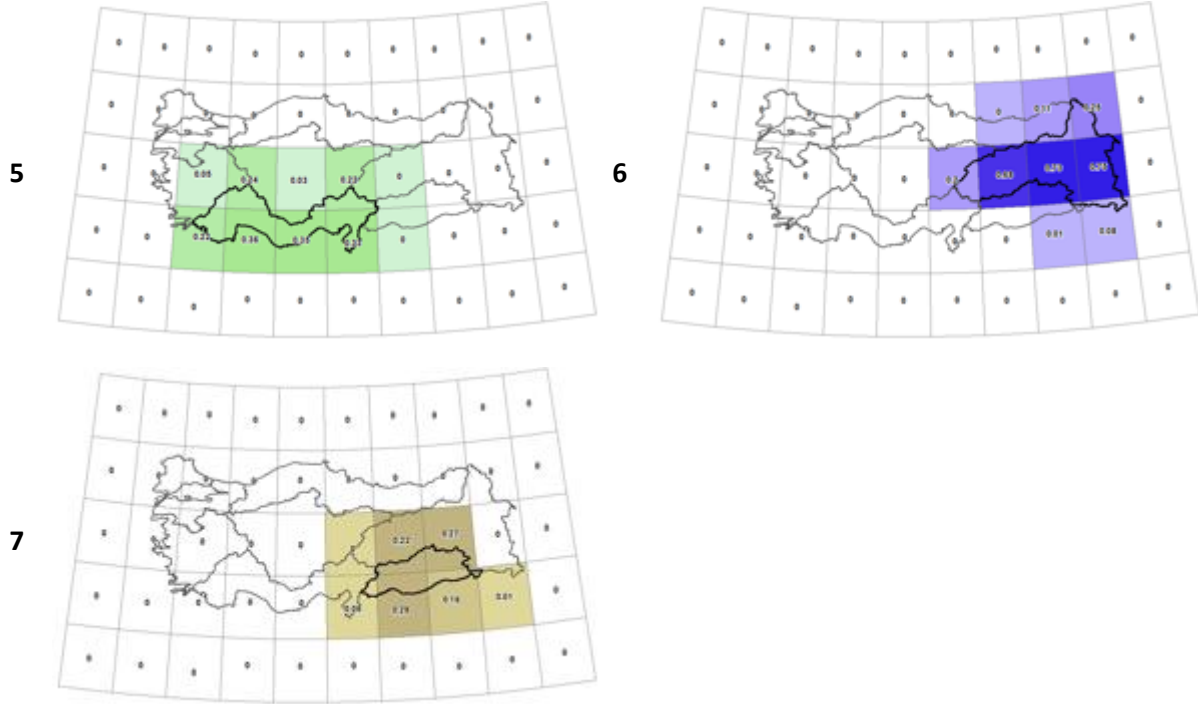
Her coğrafi bölge için kendi sınırlarının içinde kalan gridler ağırlıklandırılarak maskelenmiştir. Sıcaklık ve yağış projeksiyonlarının alansal ortalamaları alınırken hesaplanan bu ağırlıklar kullanılmıştır. Bölgeler üzerindeki CMIP5 gridlerinin ağırlıkları aşağıda sunulmuştur.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 4.8 Coğrafi Bölgeler Üzerindeki CMIP5 Ensemble Model Gridlerin Ağırlıkları

(1: Marmara Bölgesi, 2: Karadeniz Bölgesi, 3: İç Anadolu Bölgesi, 4: Ege Bölgesi, 5: Akdeniz Bölgesi, 6: Doğu Anadolu Bölgesi, 7: Güneydoğu Anadolu Bölgesi)

4.2.1 Ortalama Sıcaklık

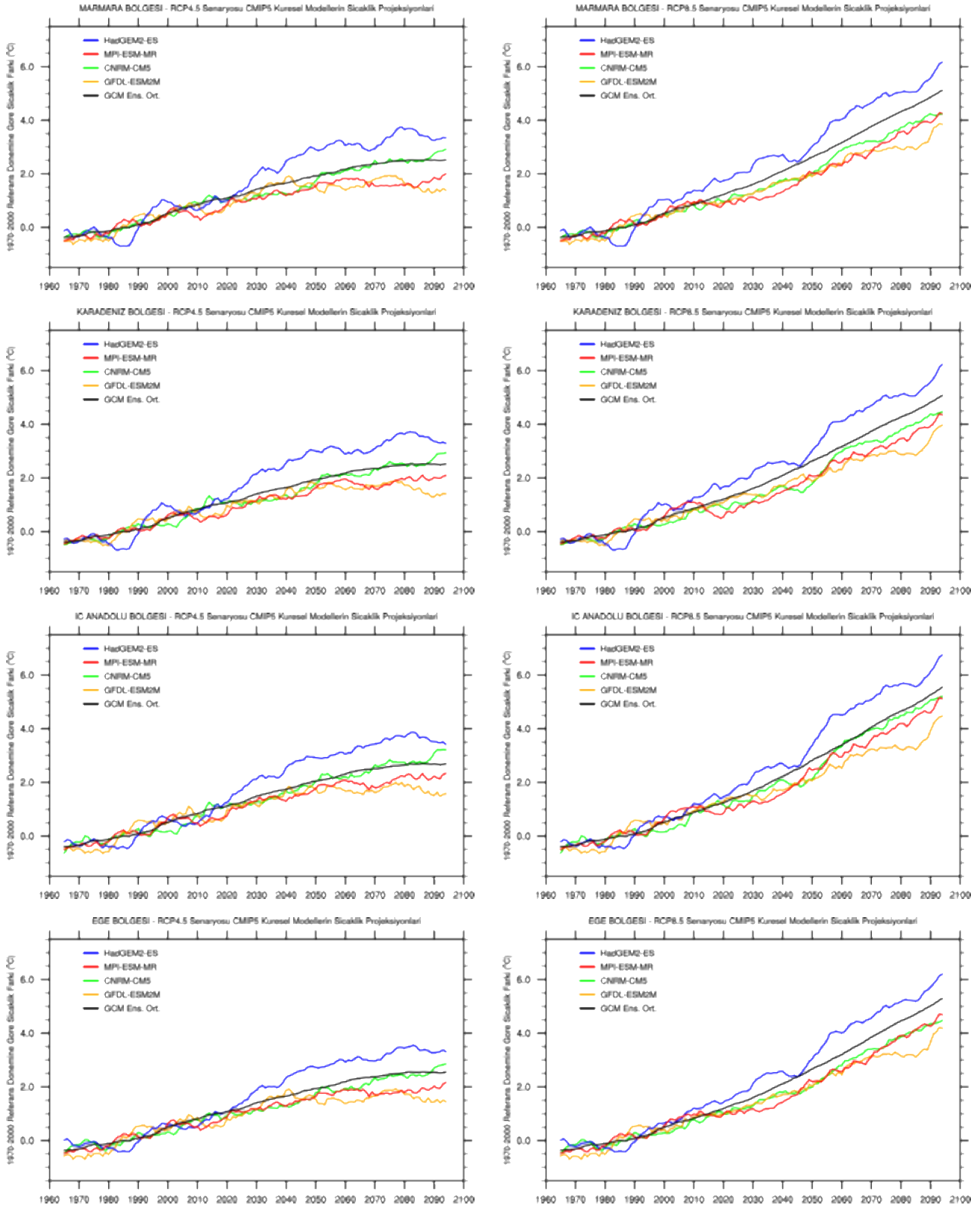
Türkiye için CMIP5 arşivinden alınan HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5 ve GFDL-ESM2M modellerine ait sıcaklık projeksiyonları ve küresel modellerin ensemble ortalaması yedi coğrafi bölge için çalışılmıştır. Bölgeler için her iki senaryoya ait model sonuçları Şekil 4.9 ile sunulmuştur. Küresel model sonuçlarının ensemble ortalamaları incelendiğinde, RCP4.5 senaryosu güdümünde koşturulan modeller 2100'lere doğru azalan bir artışla ortalama yaklaşık 2,5-3°C'lik bir sıcaklık artışı gösterirken, RCP8.5 senaryosu güdümünde koşturulan modellerin 2100'lere doğru ivmelenecek artan bir grafikte 5,5-6°C'lik bir yükseliş ortaya koyduğu görülmektedir.

Seçilen modeller arasında HadGEM2-ES küresel modellerin ensemble ortalamasının üzerinde bir sıcaklık artışı verirken, GFDL-ESM2M'in en az sıcaklık artışı öngören model olduğu görülmektedir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



Çevre ve İlim Eylem Sektör Operasyonel Programı



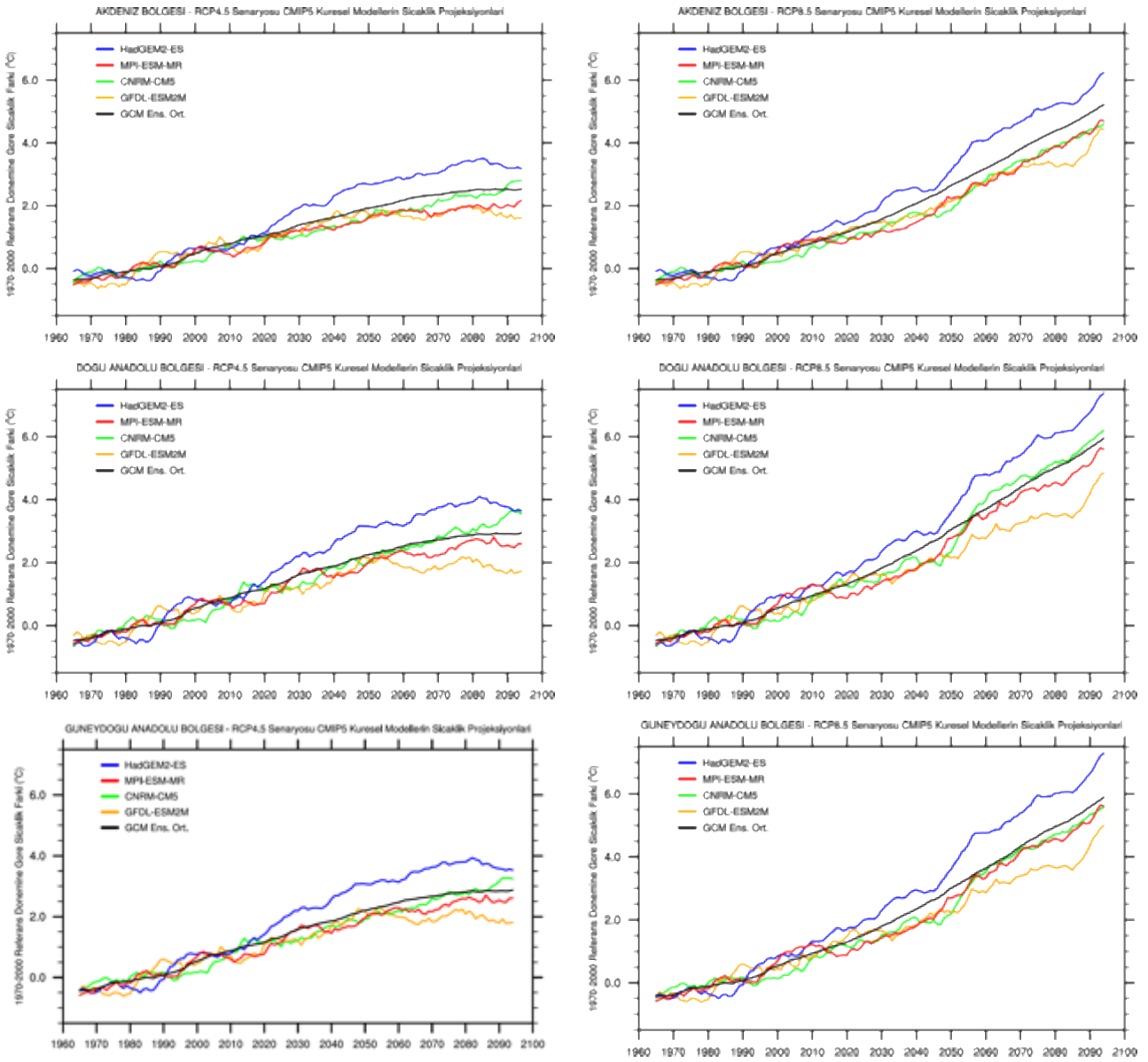
iklime uyum





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 4.9 Yedi Coğrafi Bölge için RCP4.5 senaryosu (sol) ile RCP8.5 Senaryosu (sağ) iklim Modelleri Sıcaklık Projeksiyonları

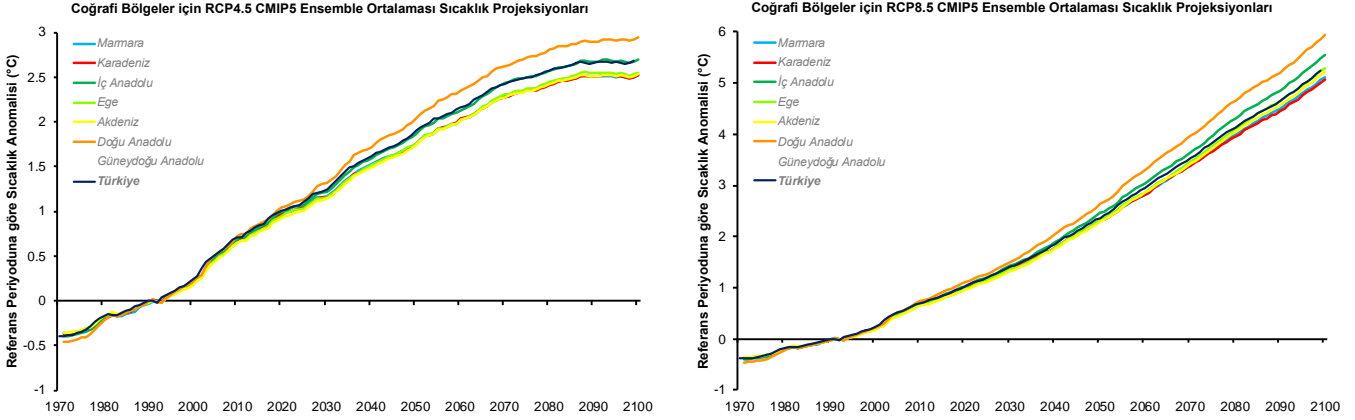
Her iki senaryo için coğrafi bölgelerin yüzyıl sonuna doğru sıcaklık değişimi Şekil 4.10 ile verilmiştir. Buna göre bölgelerin durumu incelendiğinde, her iki senaryo için de en fazla sıcaklık artışının Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde olduğu görülmektedir. Bu artışlar RCP4.5 senaryosu için yaklaşık 2,9°C'leri gösterirken, RCP8.5 senaryosu için ise yaklaşık 5,9°C'leri bulmaktadır. Bu bölgeleri İç Anadolu Bölgesi RCP4.5 için 2,7°C, RCP8.5 için ise 5,5°C olarak takip etmektedir. Daha sonra sırasıyla Ege, Akdeniz, Marmara ve Karadeniz Bölgeleri takip etmektedir. Türkiye ortalaması RCP4.5 için İç Anadolu Bölgesi ile paralel giderken, RCP8.5 için ise Ege Bölgesi ile paralellik göstermektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 4.10 Coğrafi Bölgelerin CMIP5 Ensemble Ortalamaları RCP4.5 senaryosu (sol) ile RCP8.5 Senaryosu (sağ) Sıcaklık Projeksiyonları

4.2.2 Toplam Yağış

Türkiye için CMIP5 arşivinden alınan HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5 ve GFDL-ESM2M modellerine ait yağış projeksiyonları ve küresel modellerin ortalaması yedi coğrafi bölge için çalışılmıştır. Bölgeler için her iki senaryoya ait model sonuçları Şekil 4.11 ile sunulmuştur.

Küresel model sonuçlarının ensemble ortalamaları incelendiğinde, 2100'lere doğru RCP4.5 senaryosu için %0 ila %10; RCP8.5 senaryosu için ise %6 ila %25 civarında yağış noksanlığı öngörülmektedir. Kurumlar tarafından seçilen modeller incelendiğinde özellikle RCP8.5 senaryosu için genel olarak bir azalış eğilimi görülmekle birlikte; RCP4.5 senaryosunda pozitif anomalinin mevcut olduğu dönemlerin de olduğu görülmektedir.

Seçilen modeller arasında CNRM-CM5 ve HadGEM2-ES genellikle küresel modellerin ortalamasının üzerinde bir yağış değişimi verirken; GFDL-ESM2M ve MPI-ESM-MR modellerinin daha kurak koşullara işaret ettiği görülmektedir.

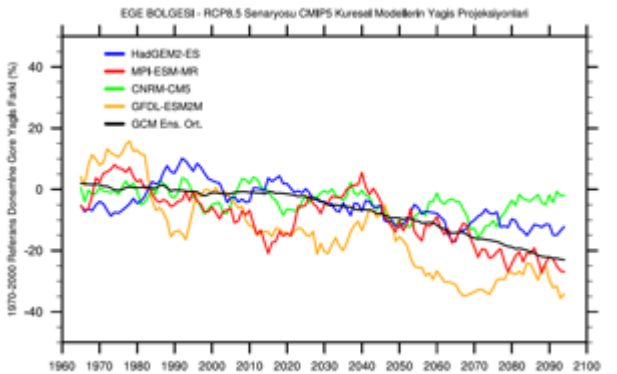
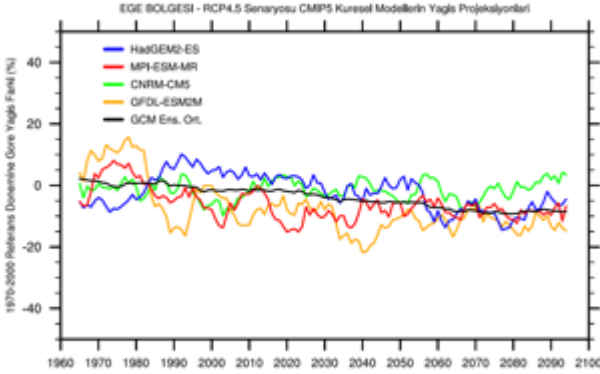
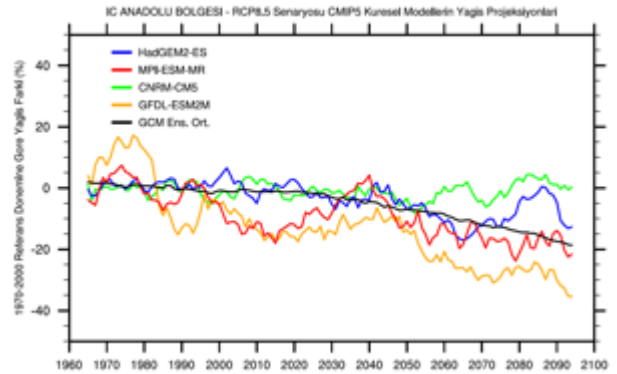
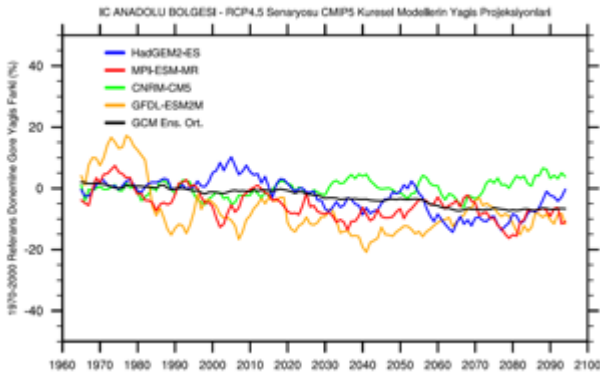
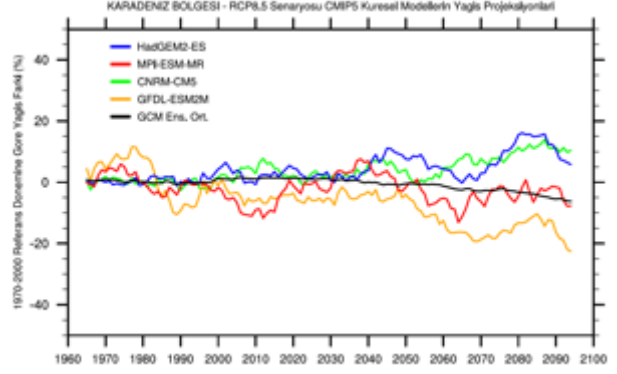
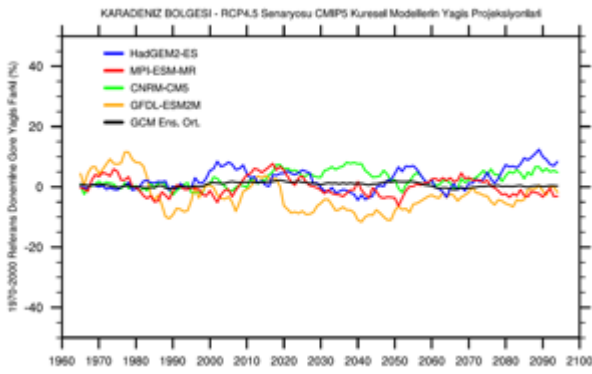
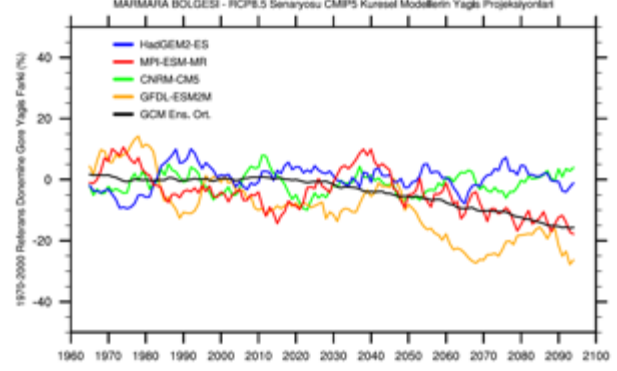
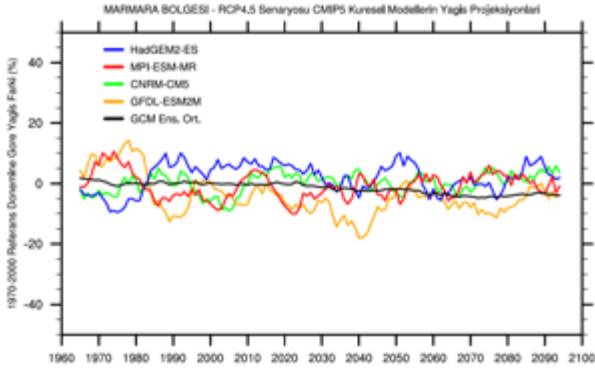
Tüm model sonuçlarının yağış projeksiyonları değerlendirildiğinde ise Türkiye için CMIP5 ensemble ortalamalarına en yakın modelin MPI-ESM-MR olduğu ve Türkiye'nin coğrafi bölgeleri için de diğer modellere nazaran çok daha uyumlu iklim koşulları ortaya koyduğu görülmüştür.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



Çevre ve İlim Eylem Sektör Operasyonel Programı



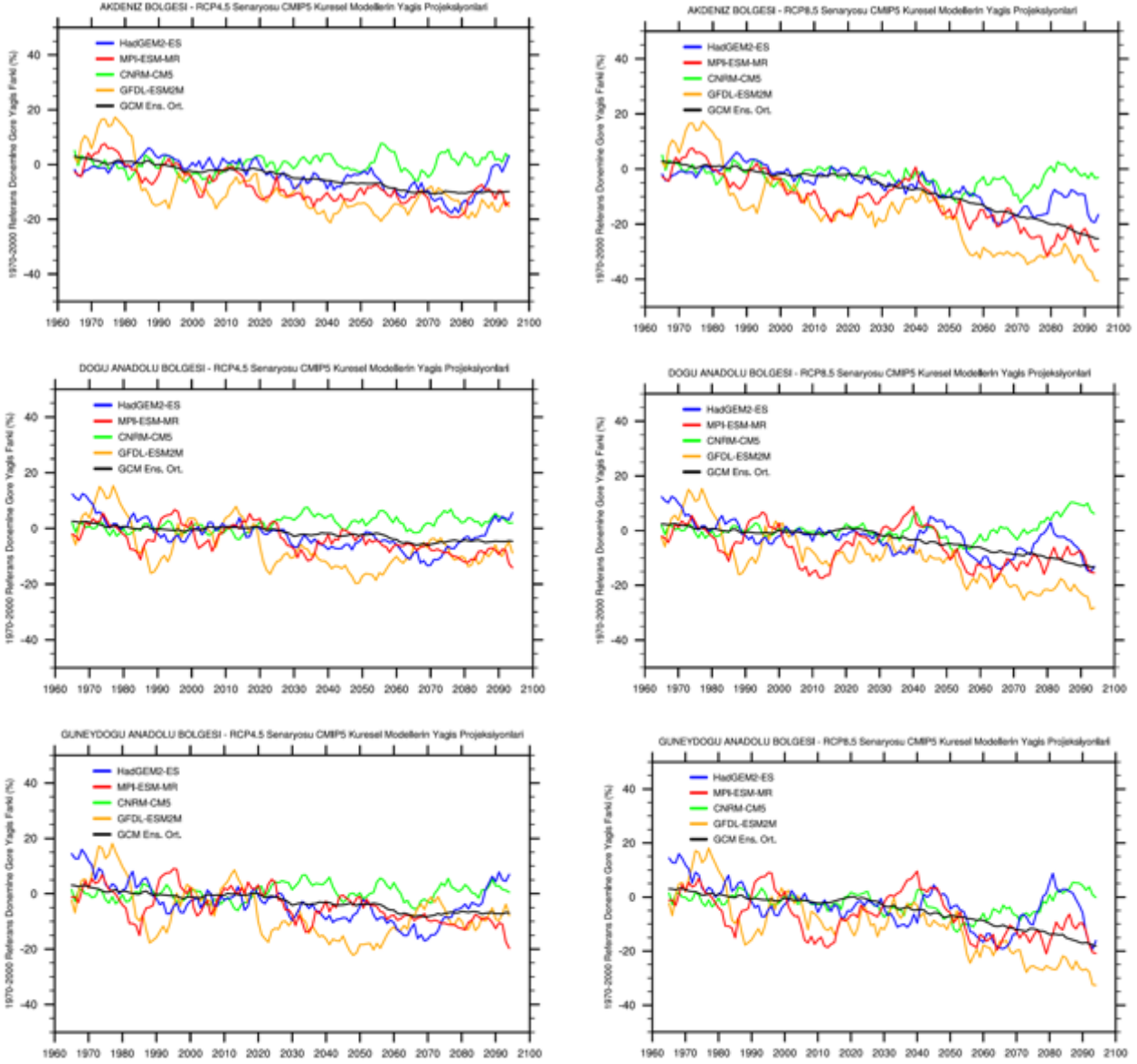
iklime uyum





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 4.11 Yedi Coğrafi Bölge için RCP4.5 senaryosu (sol) ile RCP8.5 Senaryosu (sağ) İklim Modelleri Yağış Projeksiyonları

Her iki senaryo için Coğrafi Bölgelerin yüzyıl sonuna doğru yağış değişimi Şekil 4.12 ile verilmiştir. Buna göre bölgelerin durumu incelendiğinde, RCP4.5 senaryosu için en fazla yağış noksanlığının Akdeniz ve Ege Bölgeleri’nde daha sonra ise İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri’nde olduğu görülmektedir. Devamında Doğu Anadolu ve Marmara Bölgeleri takip etmektedir. Karadeniz Bölgesi’nde iyimser senaryoda yağış değerlerinin yüzyıl ortasına kadar yaklaşık %3'lere varan bir artış, yüzyıl sonuna doğru ise referans dönemi civarında olacağı öngörülmektedir. Türkiye’nin genel değişimi iyimser senaryoda Marmara Bölgesi ile paralel gitmektedir.

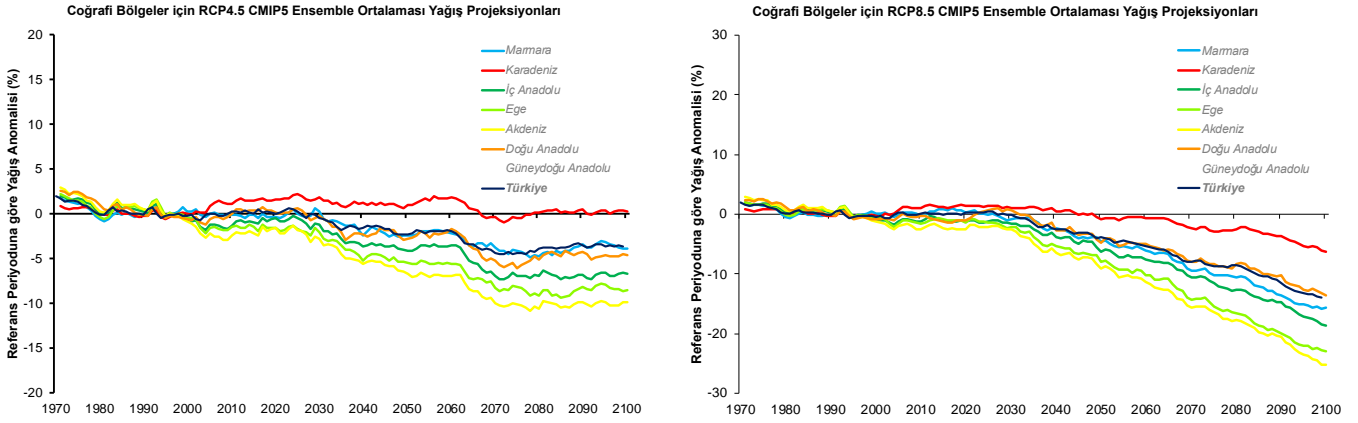




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

RCP8.5 senaryosunda ise yağış noksanlığı yine en çok Akdeniz ve Ege Bölgeleri’nde, daha sonra ise sırasıyla İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu, Marmara ve Doğu Anadolu Bölgeleri’nde olduğu görülmektedir. Karadeniz Bölgesi’nde ise yüzyıl sonlarına doğru %5'lere varan bir azalmanın olacağı beklenmektedir. Türkiye’nin genel değişimi kötümser senaryoda Doğu Anadolu Bölgesi ile paralel gitmektedir.



Şekil 4.12 Coğrafi Bölgelerin CMIP5 Ensemble Ortalamaları RCP4.5 senaryosu (sol) ile RCP8.5 Senaryosu (sağ) Yağış Projeksiyonları



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

5 BÖLGESEL İKLİM PROJEKSİYONLARI ANALİZLERİ

Geçtiğimiz yüzyılda küresel ve bölgesel iklimler değişti ve gelecek yüzyıllarda da değişmesi beklenmektedir (IPCC, 2013). Bu iklimsel değişimi araştırmak ve anlamak için bir dizi iklim modelleme aracı geliştirilmiş ve benimsenmiştir (Gao, Xu, & Chen, 2015), (Gao, ve diğerleri, 2017), (Jiang, Wu, Li, & Shu, 2019). Her ne kadar küresel çevrimdeki değişimi doğru ifade etse de küresel sirkülasyon (iklim) modelleri (GCM'ler) bölgesel ölçekteki değişimleri kaba çözünürlükleri nedeniyle çok iyi tanımlayamazlar. Bu nedenle, bölge veya havza ölçekli değişimleri daha iyi araştırabilmek için bölgesel iklim modelleri kullanılmaktadır.

Türkiye iklimini ve gelecekteki değişimini araştırmak ve öngörüler yapabilmek için kurumlar ve üniversiteler tarafından çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında iklim değişikliği alanında çalışmalar yürüten kurumların ürettiği model sonuçlarını derleyerek, Türkiye iklimini temsil etme yeteneklerini değerlendirmek için kıyaslamaktır. Kıyaslanacak modellerden üçü Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün (SYGM) İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi kapsamında üretilmiştir (SYGM, 2016). Kıyaslanacak diğer üç model ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün araştırmacıları tarafından üretilmiştir (MGM, 2013), (Akçakaya, ve diğerleri, 2015)).

Değerlendirilen sonuçların tamamı CMIP5 kapsamında üretilen yer sistem modelleri ile farklı çözünürlükte çalıştırılan RegCM4 bölgesel iklim modeli çıktılarıdır.

RegCM4 iklim modeli birçok iklim elementi için sonuçlar üretmektedir, ancak rapor kapsamında etkisi en yüksek iklim elementlerinden yağış ve sıcaklık değerlendirilmiştir. MGM iklim modelini 20 km çözünürlükte kurgularken SYGM ise 10 km çözünürlük tercih etmiştir. Hidrostatik olmayan RegCM4 modeli için bu seçilebilecek en yüksek çözünürlüktür. SYGM bölgesel iklim modeline girdi olarak HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerini tercih ederken, MGM ise HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M modellerini tercih etmiştir. Bu çalışma benzer konfigürasyonda model sonuçlarını kıyaslaması açısından da önem arz etmektedir.

Modellerin Türkiye iklimini benzeştirme yeteneklerini sınamak için 1971-2000 referans dönemi için ürettikleri yağış ve sıcaklık değerlerinin uzun yıllar aylık ortalama/toplam değerleri hesaplanmış ve gözlemlerle kıyaslanmıştır. Daha sonra 2021-2100 projeksiyon dönemi ile RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryoları 1971-2000 referans dönemine göre kıyaslanarak projeksiyon dönemi değişimleri analiz edilmiştir.

Gözlem verisi olarak bu periyot için uzun yıllar ortalama değerleri barındıran WorldClim2.1 verisi seçilmiştir. WorldClim2.1 oluşturulurken rakım, denize uzaklık gibi iklim üzerinde belirleyici etkenler dikkate alınmış, istasyon ve uydu gözlemleri girdi olarak kullanılmıştır (Fick & Hijmans, 2017). Yer gözlemlerine ilave olarak, alansallaştırma için bu yardımcı parametrelerin kullanılması istasyon ağının seyrek ve uzamsal değişkenliğin yüksek olduğu yerlerde gerçekçi sonuçlar üretebilmek için oldukça faydalıdır.

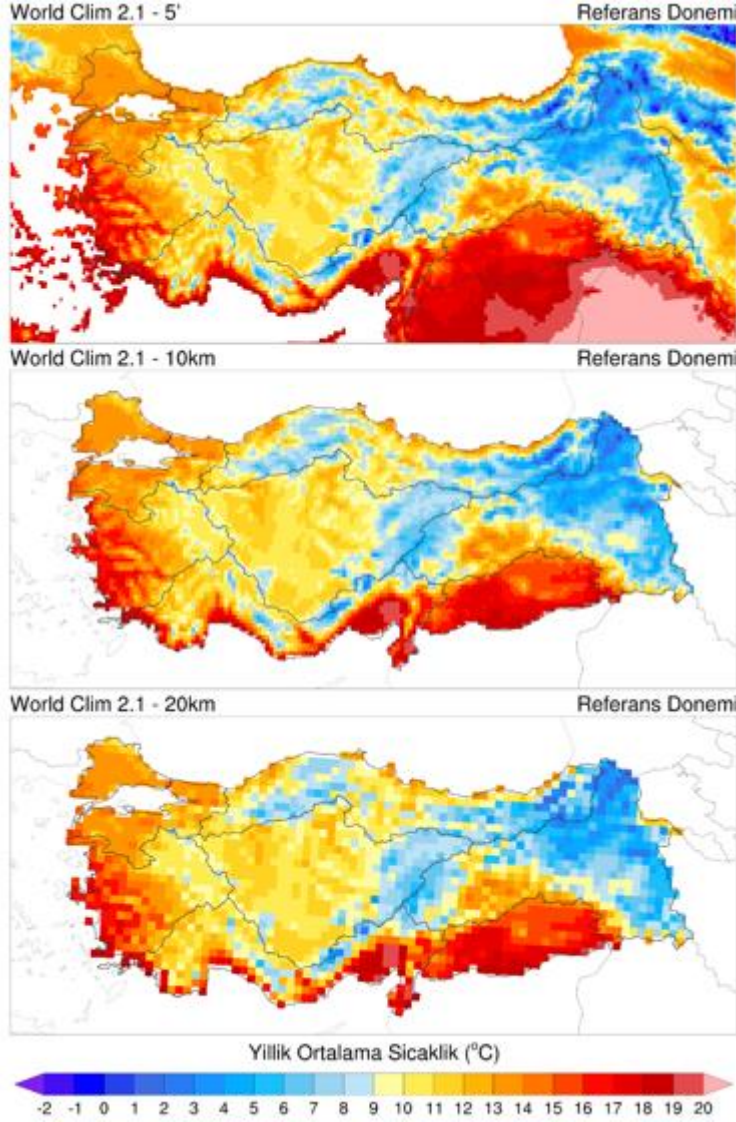




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Gözlem verisini farklı çözünürlükteki model verileriyle kıyaslayabilmek için açık kaynak kodlu Earth System Modelling Framework (ESMF) regrid paketi NCAR Command Language (NCL) yazılımı uyarlamasıyla kullanılmıştır (NCAR, 2019). Verinin seçilen modellerin çözünürlüğünde yeniden örneklenmiş hali sıcaklık için Şekil 5.1, yağış için ise Şekil 5.2 ile verilmiştir.

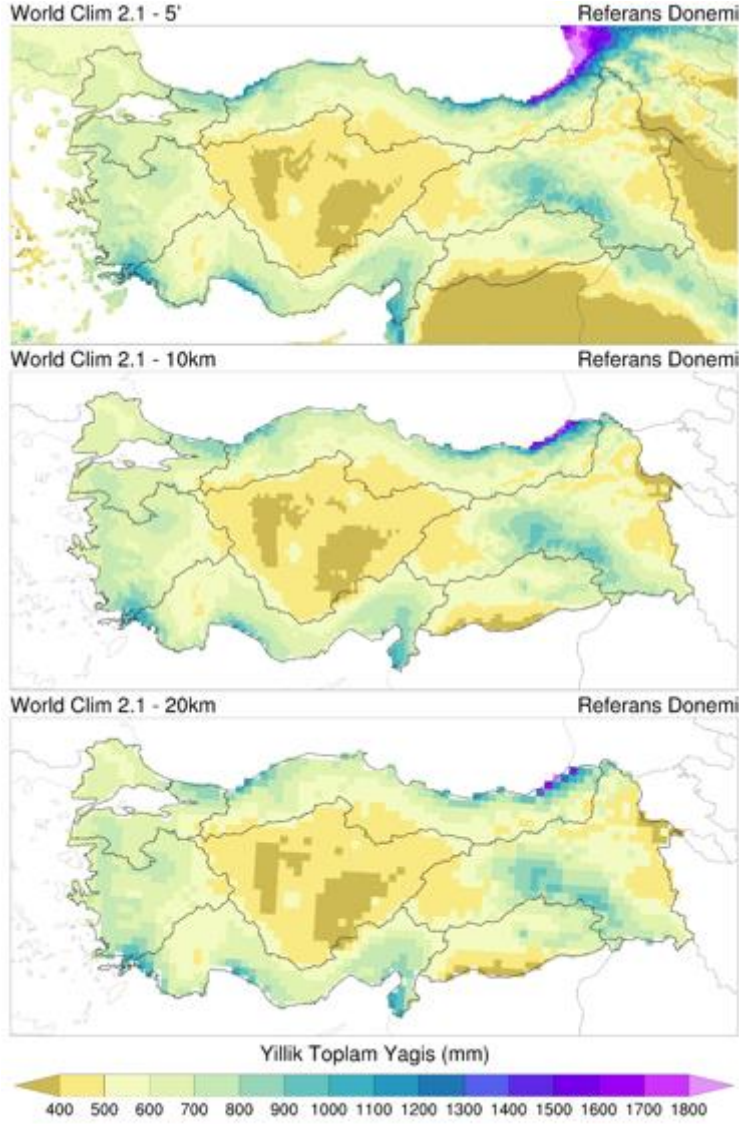


Şekil 5.1 WorldClim2.1 Yıllık Ortalama Sıcaklık Verisinin 5 dakika, 10 km ve 20 km Çözünürlükteki Gösterimleri



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 5.2 WorldClim2.1 Toplam Yağış Verisinin 5 dakika, 10 km ve 20 km Çözünürlükteki Gösterimleri

Bu veri daha sonra sübjektif doğrulama için haritalanmış buna ek olarak ortalama yanlışlık, bağıl hata, hata karelerinin ortalamasının karekökü, korelasyon ve Taylor metrikleriyle analiz edilmiştir. Taylor metrikleri çok sayıda modelin kolayca birbiriyle kıyaslanabilmesi için geliştirilmiş ve model sonuçlarının mekânsal dağılımının uyumu ve normalize standart sapmaları kıyaslayan bir yöntemdir (Baker & Taylor, 2016). Analizler yıllık ve mevsimlik ortalama/toplam değerler kullanılarak yapılmıştır.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

5.1 Referans Dönemi Analizleri

5.1.1 Ortalama Sıcaklık

Kurumlar tarafından çalışılan küresel ve bölgesel modeller, gridlenmiş gözlem verileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar için aylık ölçekte verileri olan yaklaşık 50 km çözünürlükte gridlenmiş CRU veri seti ile yaklaşık 9 km çözünürlükteki WorldClim versiyon 2.1 veri seti kullanılmıştır. Analiz edilen gözlem verileri ile bölgesel iklim modellerine ait sıcaklık ortalamaları Şekil 5.3 ile sunulmuştur.

1971-2000 referans dönemi Türkiye sıcaklık ortalaması CRU’ya göre yaklaşık 10,9°C iken WorldClim’e göre ise 10,8°C’dir. Çözünürlükleri farklı da olsa her iki veri setinin de değerleri birbirine oldukça yakındır. Her iki gözlem veri setine ait haritalar incelendiğinde genel olarak sıcaklık paterninin benzer olduğu görülmektedir. Buna göre, 1971-2000 referans dönemi için ortalama sıcaklıklar Marmara Bölgesi’nde 13-14°C civarı, Ege ve Akdeniz Bölgeleri’nin özellikle kıyı kesimlerinde ortalamanın üzerinde ve 17°C civarında, Güneydoğu Bölgesi’nde ise daha yüksek ve 19°C, Karadeniz Bölgesi kıyı kesimlerinde Türkiye geneli ortalama sıcaklığının biraz üzerinde 12-13°C civarı, iç kesimlerde genel olarak ortalama sıcaklığın altında 9-10°C ve Doğu Anadolu Bölgesi civarında ise ortalamadan daha düşük ve hatta 7°C’den -1°C’lere kadar düştüğü olduğu görülmektedir. Her iki çözünürlükteki modellere ait haritalar incelendiğinde ise bölgesel iklim modeli RegCM’in gözlemlere göre daha soğuk yanlı sonuçlar ürettiği, rakımın yüksek olduğu bölgelerde ise bu durumun daha da çarpıcı hale geldiği görülmektedir. Bununla birlikte modellerdeki sıcaklıklar, Marmara, Ege ve Akdeniz kıyıları ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde ortalamanın üzerinde, iç kesimler ile Doğu Anadolu Bölgesi’nde ortalamanın daha altında olduğu tespit edilmiştir.

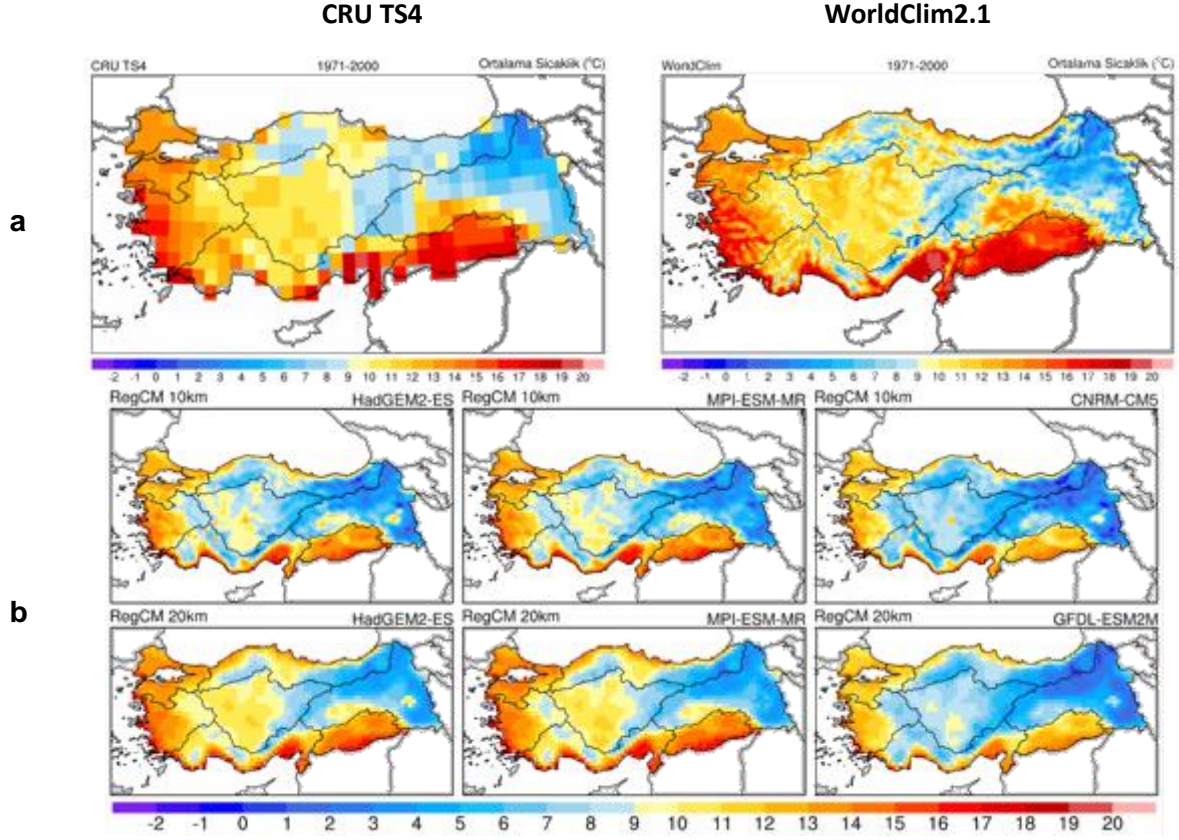
HadGEM ve MPI modellerine ait her iki çözünürlükteki sonuçlar karşılaştırıldığında, çözünürlük yükseldikçe RegCM modelinin iç ve doğu kesimlerde gözlemlere göre daha soğuk yanlı sonuçlar ürettiği görülmektedir. Her ne kadar farklı model ve çözünürlükte olsa da CNRM ve GFDL modellerinin de benzer sonuçlar gösterdiği görülmektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



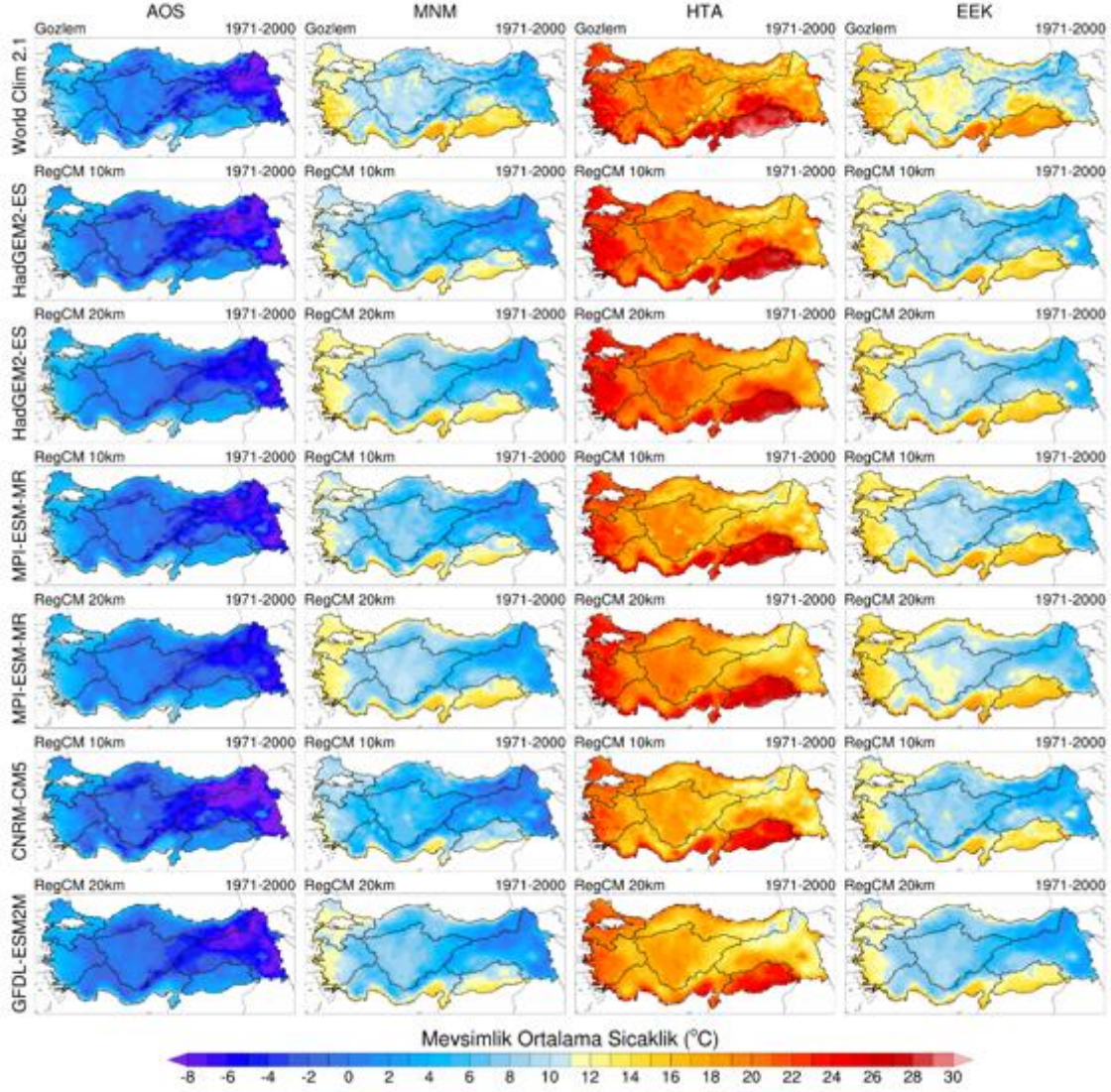
Şekil 5.3 1971-2000 Referans Dönemi CRU ve WorldClim Sıcaklık Ortalamaları (a) Bölgesel İklim Modellerinin 10 km ve 20 km Referans Dönemi Sıcaklık Ortalamaları (b)

Gözlemlerin ve modellerin mevsimlere göre ortalama sıcaklık değişimleri ise Şekil 5.4 ile verilmiştir. Model ve gözlem arasındaki farklar mevsimlik değerlerin verildiği haritalarda da yıllık ortalama sıcaklıklara benzerdir. Bu farkların mekânsal ve mevsimsel değişimlerine ilerleyen bölümde yer verilecektir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 5.4 1971-2000 Referans Dönemi Gözlem ve Modellerin Mevsimsel Ortalama Sıcaklık Değişimleri

5.1.2 Toplam Yağış

Analiz edilen gözlem verileri ile bölgesel iklim modellerine ait toplam yağış ortalamaları Şekil 5.5 ile sunulmuştur. 1971-2000 referans dönemi için Türkiye toplam yağış ortalamaları CRU’ya göre 561,3 mm iken, WorldClim’e göre ise 595,2 mm olarak belirlenmiştir. Her ne kadar sıcaklık verisinde gözlemlerin çözünürlük farkı ciddi bir değişiklik göstermese de toplam yağış ortalamasında yaklaşık 34 mm farklılık görülmektedir.

Her iki gözlem veri setine ait haritalar üzerinde toplam yağış dağılımı incelendiğinde genel olarak yağış paterninin birbirine benzer olduğu görülmektedir. Buna göre, 1971-2000 referans dönemi için yağışların Batı ve Doğu Karadeniz kıyı kesimlerinde 900 ila 1200 mm’leri bulduğu, Akdeniz kıyı kesimleri ile Doğu Anadolu Bölgesi’nin dağlık kesimlerinde de Türkiye ortalamasının üzerinde ve 900 mm’lere ulaştığı, Ege Bölgesi’nde 700 mm’ler civarında,



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



Çevre ve İlim
Eylemi Sektör
Operasyonel Programı



iklime uyum

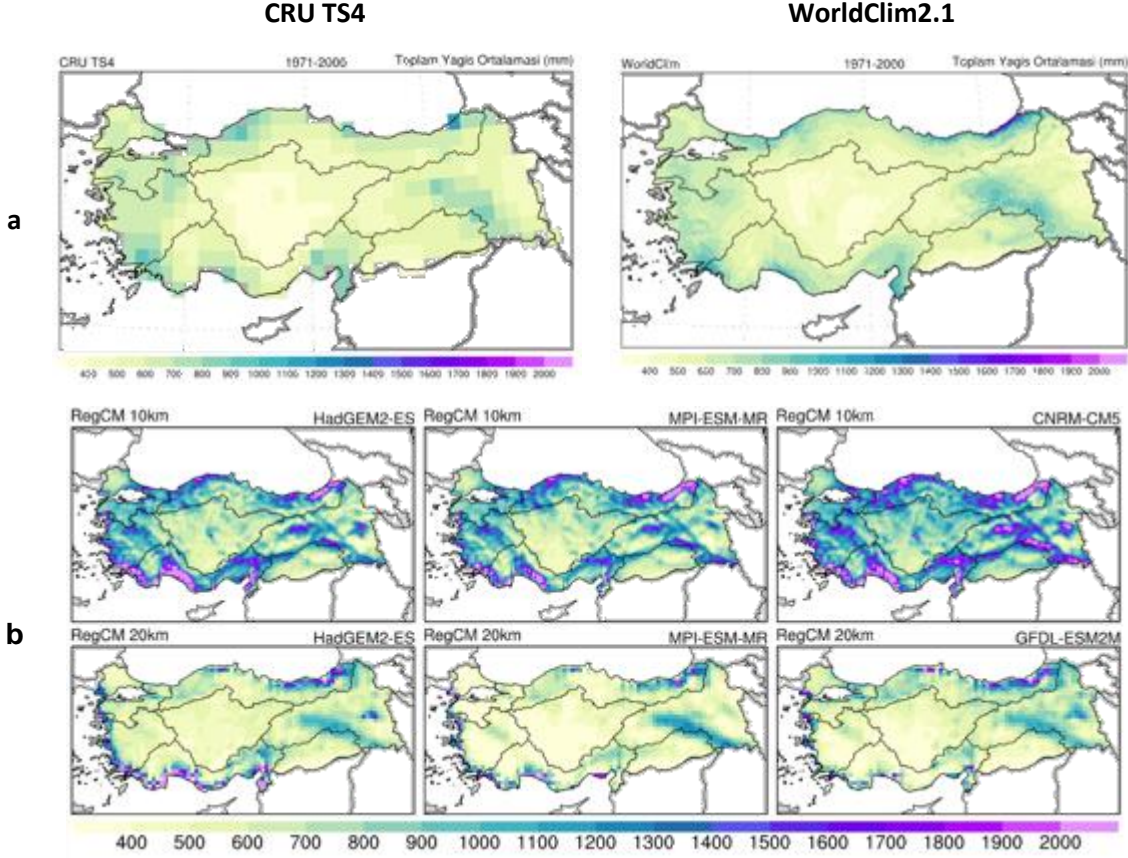




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Marmara Bölgesi’nde Türkiye ortalamasına yakın 500-600 mm civarında ve iç kesimlerde ise ortalamanın altında ve 300-400 mm civarında olduğu görülmektedir.



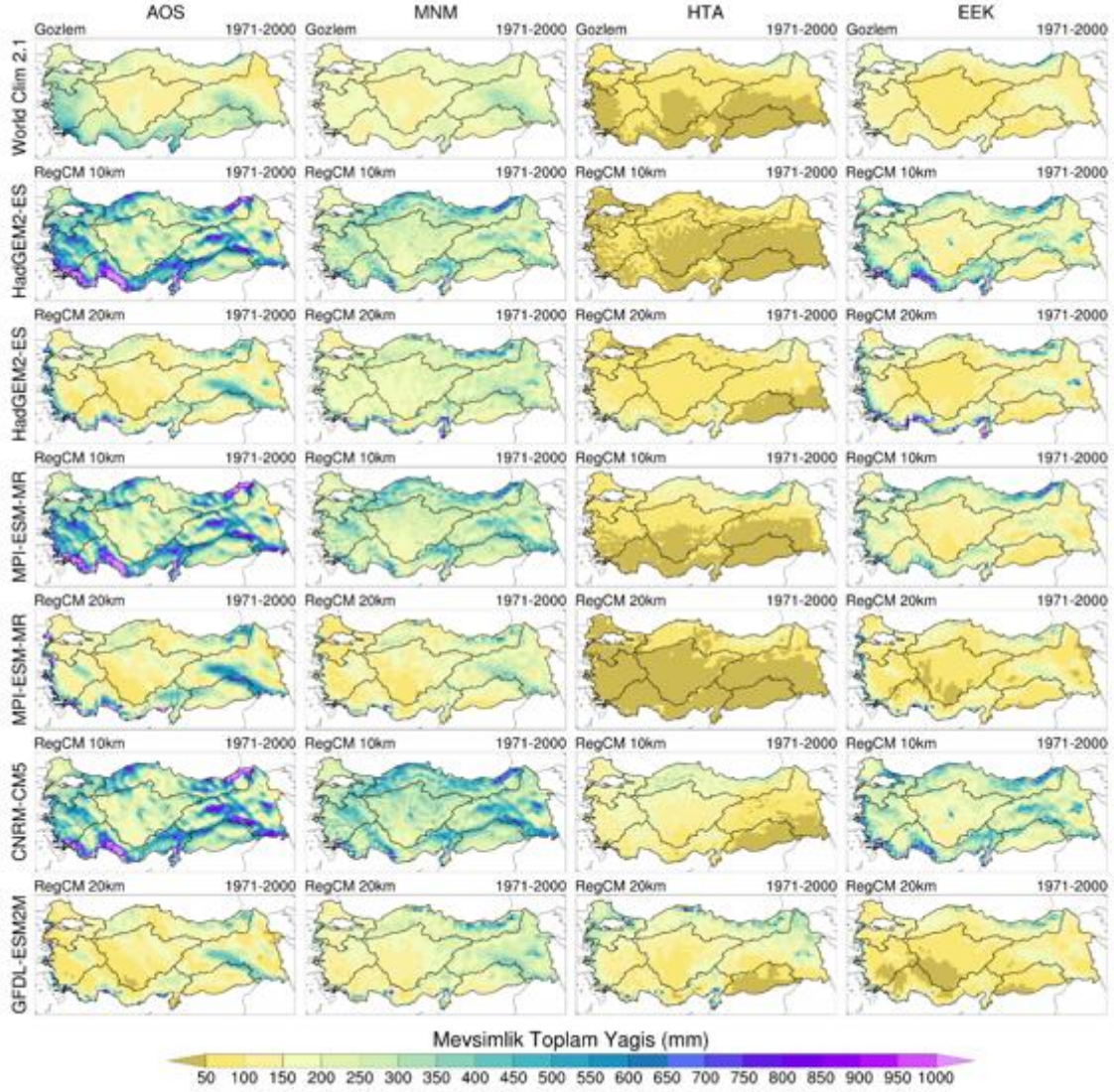
Şekil 5.5 1971-2000 Referans Dönemi CRU ve WorldClim Toplam Yağış Ortalamaları (a) Bölgesel İklim Modellerinin 10 km ve 20 km Referans Dönemi Toplam Yağış Ortalamaları (b)

Gözlemlerin ve modellerin mevsimlere göre toplam yağış değişimleri ise Şekil 5.6 ile verilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında yağıştaki mekânsal değişkenliğin büyük ölçüde benzeştirildiği ancak yağış miktarında önemli farklar olduğu görülmektedir. Bölgesel iklim modeli sonuçlarının dağılımı incelendiğinde 10 ve 20 km çözünürlüklü modellerin kendi içinde daha çok benzeştiği görülebilir. Türkiye’nin batı kesimlerinde 20 km çözünürlüklü modeller kıyı hattı boyunca gözleme göre daha fazla yağış üretirken iç kesimlerde ise daha düşük yağış miktarı önerdikleri görülmüştür. Orta enlemlerde sinoptik ölçekli sistemlerin batıdan doğuya doğru hareket ettiği göz önüne alınırsa, nem akısının modeldeki daha kaba topografya tarafından engellendiği düşünülmektedir. Benzer şekilde 10 km çözünürlüklü modellerde de batıya yönelen yamaçlardaki yağış miktarı aksi yöndekilere göre daha fazladır.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 5.6 1971-2000 Referans Dönemi Gözlem ve Modellerin Mevsimsel Toplam Yağış Değişimleri

5.2 Yanlılık Analizleri

Modeller, sınırlı çözünürlüklere (yersel ve zamansal), uygulanan istatistik yöntemlere, fiziksel ve termodinamik süreçlerdeki basitleştirmelere ve iklim sistemindeki belirsizliklere bağlı olarak sistematik hatalar barındırmaktadır. Bu hatalar modellerin yanlılığı olarak adlandırılır. Bölgesel iklim modelleri genellikle bölgesel ve mevsimsel farklılıklar gösterir ve model sonuçlarının yanlılıkları buna göre değişebilir. Model sonuçlarına çalışmalarda kullanılmadan önce yanlılık düzeltmesi yapılması oldukça önemlidir. Sonuçlara yanlılık düzeltmesi gözlem verileri kullanılarak yapılır. Modellerdeki yanlılığın düzeltmesindeki başarı ölçümlerin kalitesi, doğruluğu ve temsiliyeti ile doğru orantılıdır. İklim modelleri, aynı periyottaki gözlemlerin istatistiksel özellikleri dikkate alınarak düzeltilmektedir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Ballı, 2014 tarafından bölgesel iklim modeli RegCM ile 10 km çözünürlükte Türkiye iklimini günümüz koşulları için simüle edilerek yağış parametresi üretilmiştir ve model sonuçlarındaki yanlılığı düzeltmek için ortalama değerleri ve verilerin dağılım fonksiyonlarını dikkate alan 6 farklı yaklaşım kullanmıştır. Mevsimsel ve yıllık bazda yapılan analizlerin sonucunda, Türkiye için en iyi yaklaşım aylık bazda uygulanan ortalama değer (Mean Value, MV) düzeltme olduğu belirlenmiştir (Ballı, 2014). Bu nedenle bu projede yanlılık düzeltmesi olarak yağış parametresi için aylık ortalama değer düzeltme yöntemi kullanılmıştır.

Ortalama değer düzeltme yöntemine göre önce düzeltme katsayıları (Correction Factor - CF) hesaplanmıştır. Yanlılık düzeltmesi için gözlem verisi olarak gridlenmiş WorldClim 2.1 veri seti kullanılmıştır. Her iki çözünürlükte çalıştırılan modellerin sıcaklık ve yağış sonuçlarının WorldClim gözlem veri setine göre olan yanlılık katsayıları hesaplanmış, her mevsimi temsilen bir ay seçilerek haritalar hazırlanmıştır. Haritalarda kış mevsimi için Ocak, ilkbahar mevsimi için Nisan, yaz mevsimi için Temmuz ve sonbahar mevsimi için ise Ekim ayı seçilmiştir. Hazırlanan haritalar aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

Yapılan birçok ölçek küçültme çalışmasında olduğu gibi sıcaklık ve yağış parametrelerinin ölçek küçüldükçe bölgeleri daha iyi temsil ettiği, ancak modellerin yanlılığının arttığı ve daha soğuk ve daha ıslak sonuçlar ürettiği görülmüştür (Shi, Wang, & Gao, 2017), (Sinha, ve diğerleri, 2015), (Gu, Yu, Peltier, & Wang, 2020), (Önol B. , Effects of coastal topography on climate: high-resolution simulation with a regional climate model, 2012), (Önol & Semazzi, 2009), (Önol & Ünal, 2014) (Bozkurt D. , Turuncoglu, Sen, Önol, & Dalfes, 2012).

5.2.1 Ortalama Sıcaklık

Sıcaklık parametresi için 10 km ve 20 km çözünürlükteki HadGEM modeli düzeltme katsayıları Şekil 5.7 ile verilmiştir. Haritalar genel olarak incelendiğinde, referans dönemi için çözünürlük yükseldikçe yani 20 km'den 10 km'ye doğru HadGEM modelinin daha soğuk sonuçlar ürettiği görülmüştür. Bu nedenle 10 km'lik model sonuçları için düzeltme katsayılarının negatif yani mavi renklerde olduğu görülmüştür. 20 km'lik model sonuçlarının kıyı kesimlerde daha sıcak yani kırmızı renklerde olduğu belirlenmiştir.

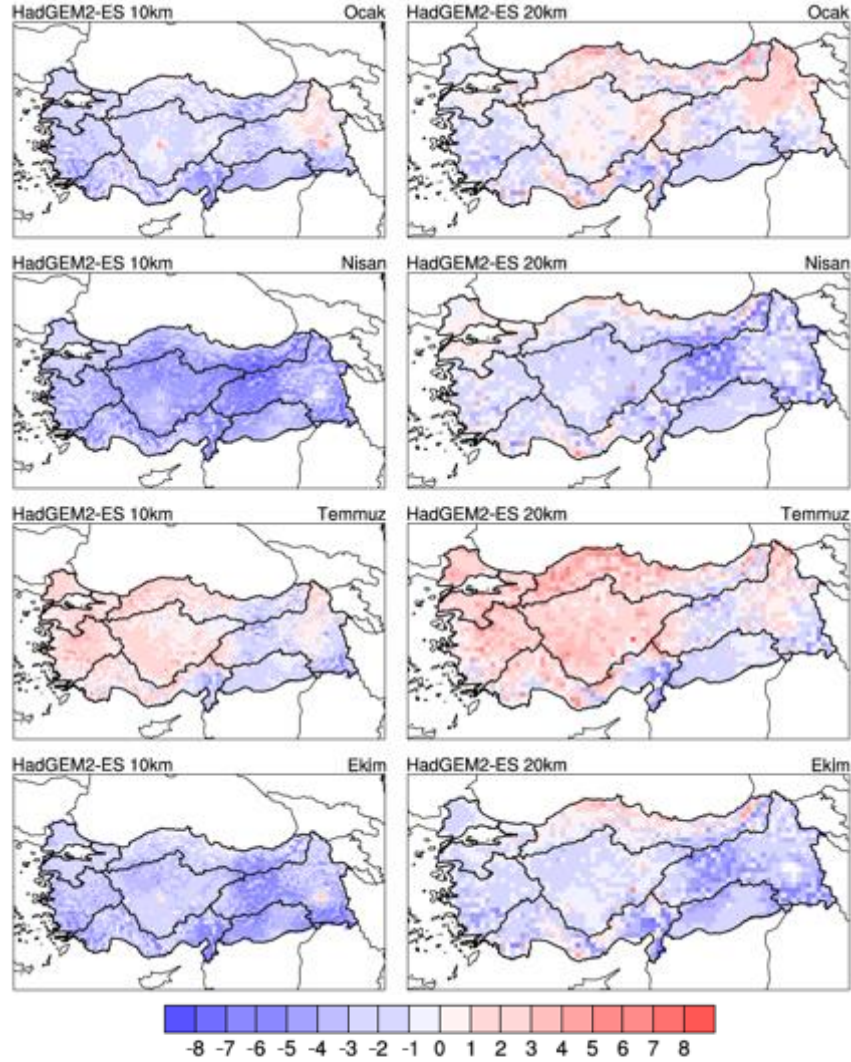
Genel olarak her iki çözünürlük için de ilkbahar ve sonbahar aylarında modelin daha soğuk yanlı olduğu, yaz aylarında Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu'nun dağlık kesimleri hariç daha sıcak yanlı olduğu görülmüştür. Kış aylarında ise ülke genelinde yaklaşık -2 ila -4°C soğuk, Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğusunda ise 2 °C'yi bulan sıcak yanlılık olduğu görülmüştür. Model her iki çözünürlükte de özellikle yaz aylarını daha sıcak simüle etmiştir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



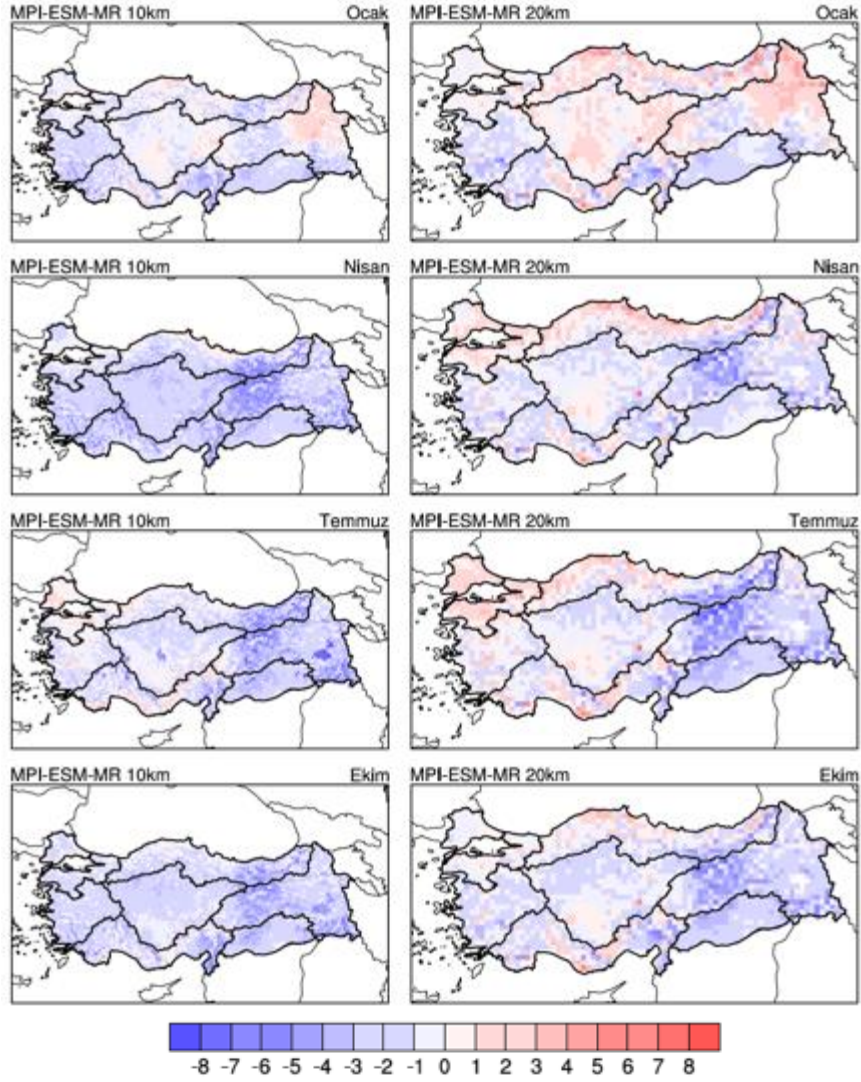
Şekil 5.7 HadGEM2-ES Modeli 10 km (sol) ve 20 km (sağ) Gözleme göre Sıcaklık Farkı Dağılımı

10 km ve 20 km çözünürlükteki MPI modeli için düzeltme katsayıları Şekil 5.8 ile verilmiştir. Genel olarak, referans dönemi için MPI modeli de çözünürlük yükseldikçe daha soğuk, fakat HadGEM modeline göre daha ılık olduğu görülmüştür. Yine model her iki çözünürlük için dağlık kesimleri daha soğuk, kıyı kesimleri ise daha sıcak tahmin etmiştir. MPI modeli yüksek çözünürlükte ilkbahar ve sonbahar aylarını daha soğuk, düşük çözünürlükte daha sıcak simüle etmiştir. Düşük çözünürlükte ise model kış aylarında daha sıcak sonuçlar üretmiştir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



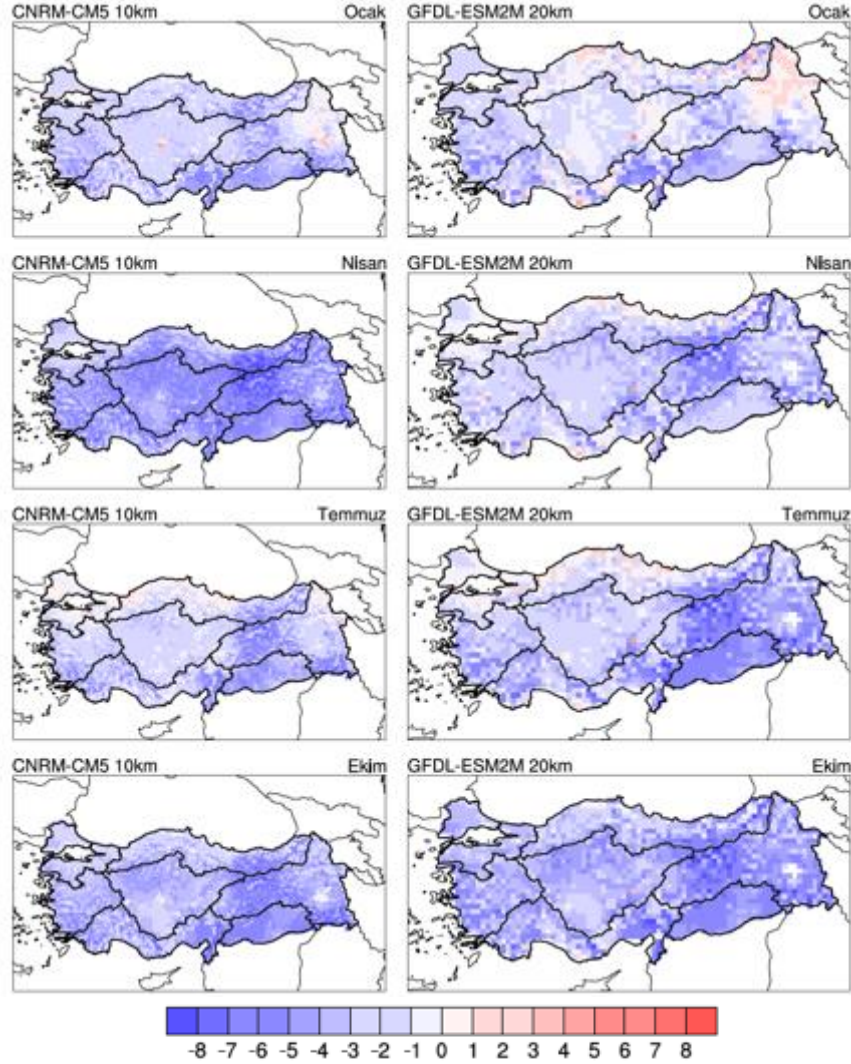
Şekil 5.8 MPI-ESM-MR Modeli 10 km (sol) ve 20 km (sağ) Gözleme göre Sıcaklık Farkı Dağılımı

10 km çözünürlükteki CNRM ile 20 km çözünürlükteki GFDL modeli için düzeltme katsayıları Şekil 5.9 ile verilmiştir. Referans dönemi için yüksek çözünürlükte en soğuk tahminleri CNRM modeli üretmiştir. Özellikle ilkbahar aylarındaki soğuk yanlılık oldukça yüksektir. Yine aynı şekilde düşük çözünürlükteki sonuçlar kendi arasında analiz edildiğinde, referans dönemi için en soğuk modelin GFDL olduğu söylenebilir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



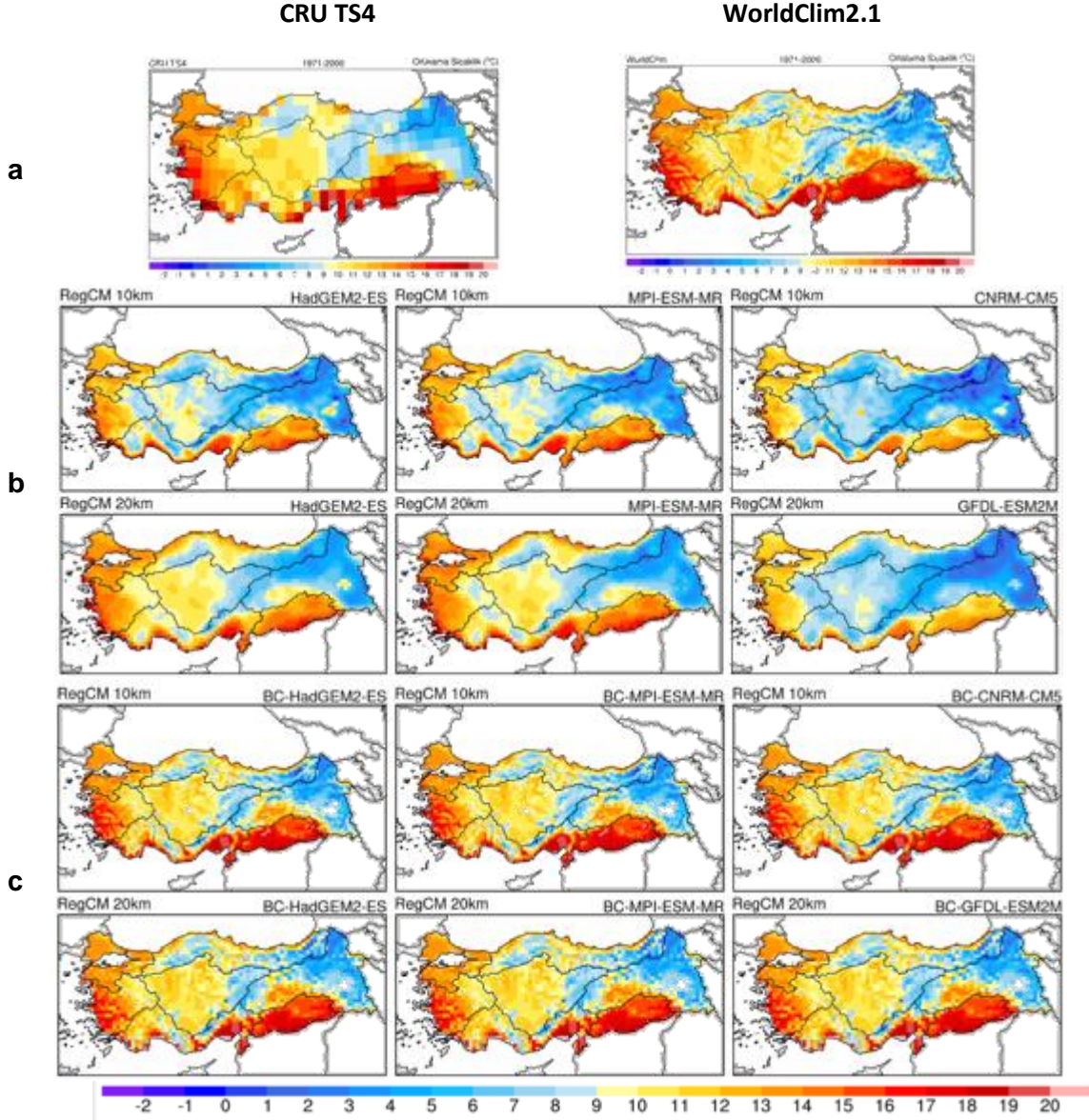
Şekil 5.9 CNRM-CM5 Modeli 10 km (sol) ve GFDL-ESM2M Modeli 20 km (sağ) Gözleme göre Sıcaklık Farkı Dağılımı

Model sonuçları değerlendirildiğinde, çözünürlük yükseldikçe modellerin daha soğuk yanlılığa sahip olduğu fakat sıcaklığın alansal dağılımını daha iyi bir şekilde temsil ettiği görülmektedir (Gu, Yu, Peltier, & Wang, 2020). 1971-2000 referans dönemi için 10 km ve 20 km çözünürlükteki bölgesel iklim modellerine ait ortalama sıcaklıkların WorldClim2.1 veri seti kullanılarak yanlılığı düzeltilmiş olup, model sonuçları ve düzeltilmiş sıcaklık ortalamaları Şekil 5.10 ve sayısal değerleri Tablo 5.1 ile verilmiştir. 1971-2000 referans dönemi için gözlem ortalaması 10,8°C olarak belirlenmiştir. 10 km çözünürlükte gözlem ortalamalarına en yakın model 9°C ile MPI ve HadGEM modelleri iken; 20 km'de ise 10°C ile MPI ve HadGEM modelleridir. GFDL'in referans dönemi sıcaklığı ise 8°C'dir. Yanlılık düzeltmesi yapılmış model sonuçları incelendiğinde modellerin referans dönemi sıcaklık ortalamalarının gözlemlerin ortalamalarına oldukça yaklaştığı görülmektedir. Yanlılık düzeltmesi ile 10 km model sonuçlarına ait sıcaklık ortalamaları 10,8°C'ye, 20 km'lik sonuçlar ise 10,7°C'ye getirilmiştir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 5.10 1971-2000 Referans Dönemi Sıcaklık Ortalamaları: Gözlem (a) 10 km ve 20 km Model Sonuçları (b) 10 km ve 20 km Düzeltilmiş Model Sonuçları (c)

Tablo 5.1 1971-2000 Referans Dönemi Bölgesel İklim Modelleri ve Düzeltilmiş Sonuçları için Ortalama Sıcaklık Değişimleri

| MODEL | Periyot | Gözlem | 10 km | | | 20 km | | |
|----------|-----------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5.1 | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| MODEL | 1971-2000 | 10.8°C | 8.9 | 9.0 | 7.6 | 9.8 | 9.7 | 7.7 |
| BC-MODEL | | | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.7 |



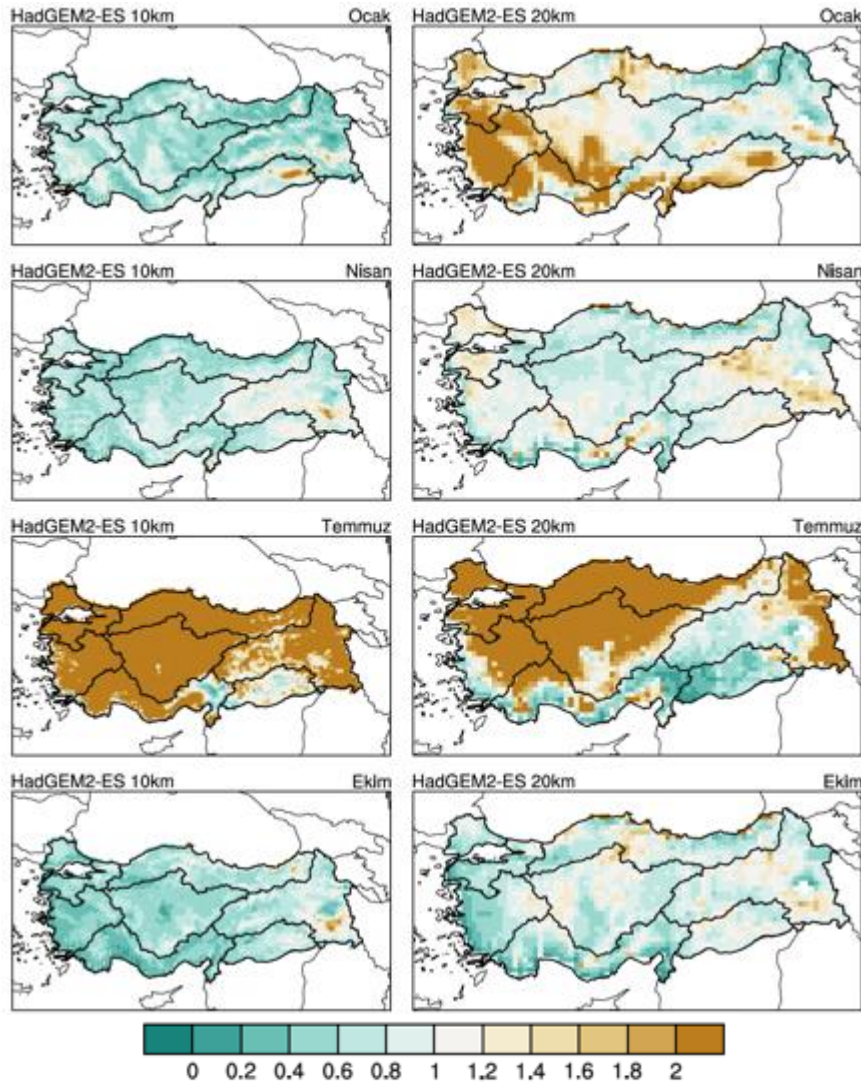


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

5.2.2 Toplam Yağış

Yağış parametresi için 10 km ve 20 km çözünürlükteki HadGEM modeli düzeltme katsayıları Şekil 5.11 ile verilmiştir. Haritalar genel olarak incelendiğinde, HadGEM modelinin yüksek çözünürlükte yaz aylarını, düşük çözünürlükte ise yaz ve kış aylarını daha kuru önerdiği görülmektedir. Yaz aylarının genel olarak daha kuru olması ve HadGEM modelinin de yazın daha düşük yağışlar tahmin etmesi düzeltme katsayılarının değerlerini oldukça yükseltmiştir. Yüksek çözünürlükte HadGEM modeli sonbahar, kış ve ilkbahar aylarında dağlık kesimler hariç ıslak sonuçlar üretmiştir.



Şekil 5.11 HadGEM2-ES Modeli 10 km (sol) ve 20 km (sağ) Yağış Düzeltme Katsayıları Dağılımı

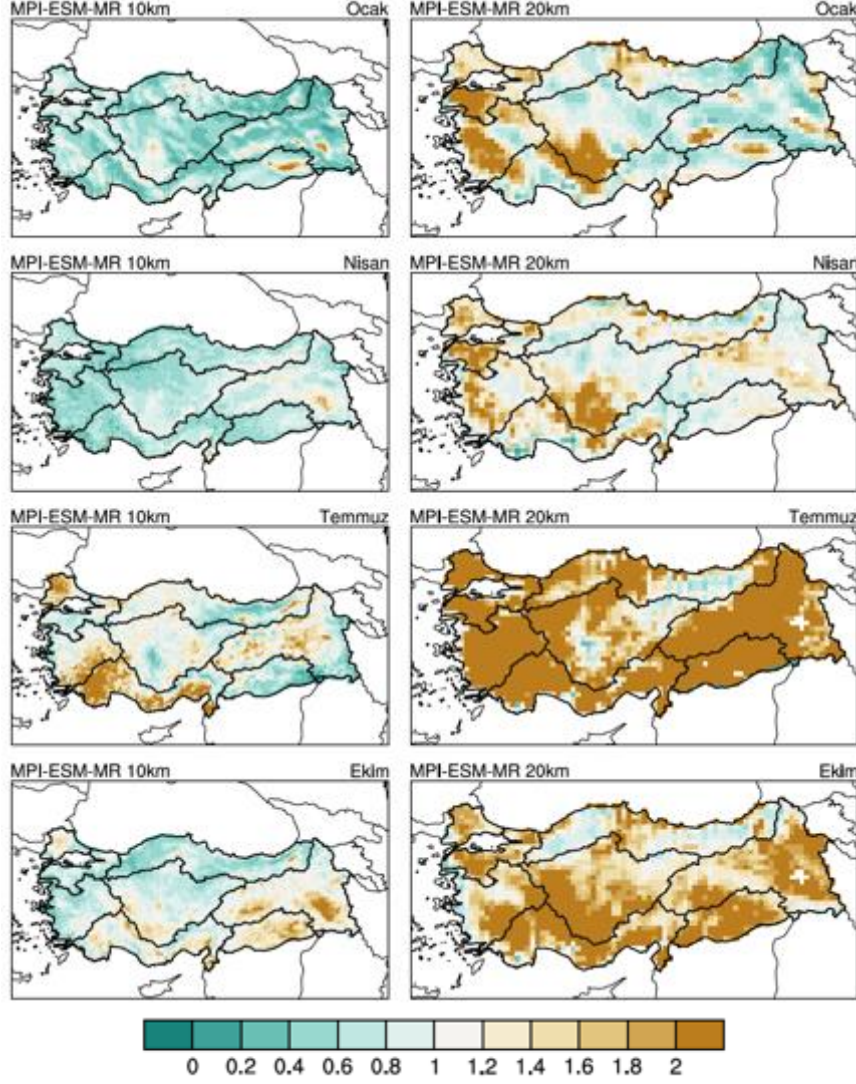
10 km ve 20 km çözünürlükteki MPI modeli için düzeltme katsayıları Şekil 5.12 ile verilmiştir. Genel olarak MPI modeli için de yaz ayları hariç düşük çözünürlükteki model sonuçlarının yüksek çözünürlüğe göre daha kurak olduğu görülmektedir. Yüksek çözünürlükte kış ve ilkbahar ayları daha ıslak, sonbahar ayları nispeten daha kuraktır. Düşük çözünürlükte ise yaz



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

ve sonbahar ayları kış ve ilkbahara göre daha kurak olarak tahmin edilmiştir. MPI modelinin de genel olarak çözünürlük yükseldikçe daha ıslak sonuçlar verdiği görülmektedir.



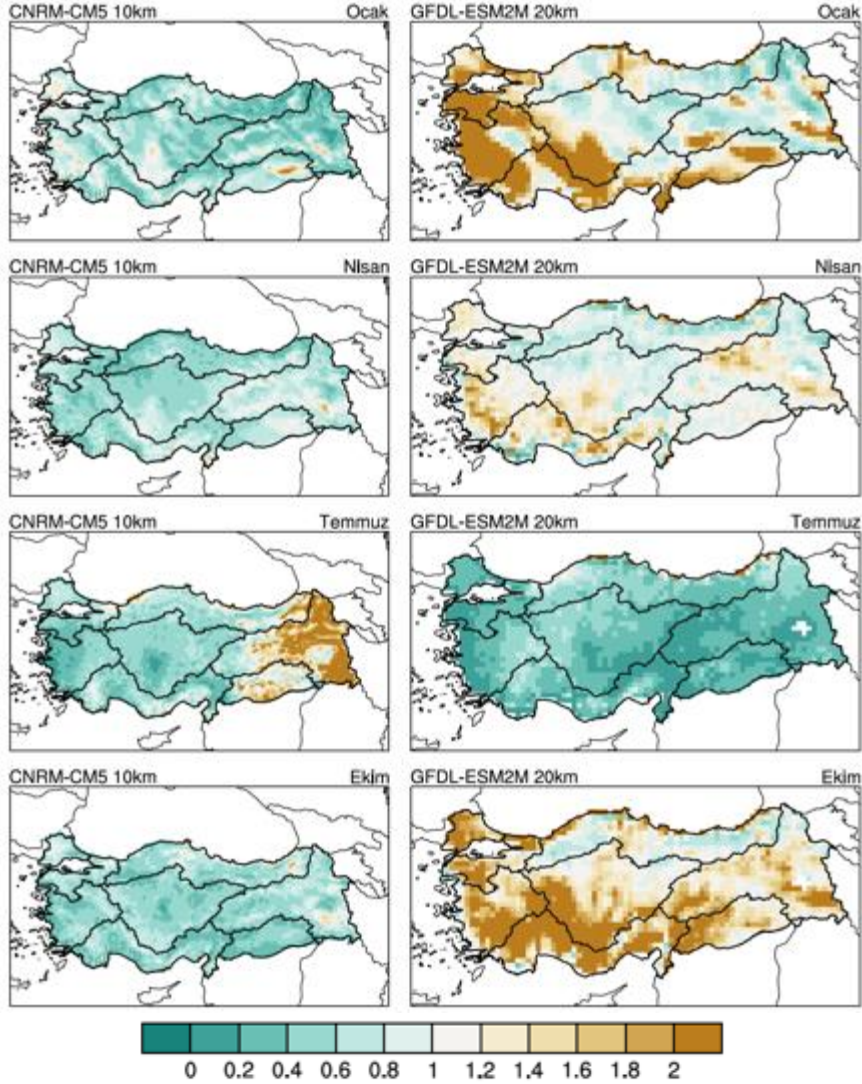
Şekil 5.12 MPI-ESM-MR Modeli 10 km (sol) ve 20 km (sağ) Yağış Düzeltme Katsayıları Dağılımı

10 km çözünürlükteki CNRM ile 20 çözünürlükteki GFDL modeli için düzeltme katsayıları Şekil 5.13 ile verilmiştir. Referans dönemi için CNRM modeli diğer yüksek çözünürlüklü modellere göre oldukça ıslak sonuçlar vermektedir. Model, yüksek çözünürlükteki MPI modelinde olduğu gibi kış aylarında yüksek kesimlerde kuru yanlıdır. Yaz aylarında Türkiye’nin doğusu ve batı Karadeniz kıyıları kuru, diğer bölgeler ise oldukça ıslaktır. Düşük çözünürlükteki GFDL modeli tüm yağış simülasyonları içerisinde en ıslak yaz mevsimi öneren modeldir. Buna karşın GFDL modeli sonbahar ve kış aylarını daha kurak simüle etmiştir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



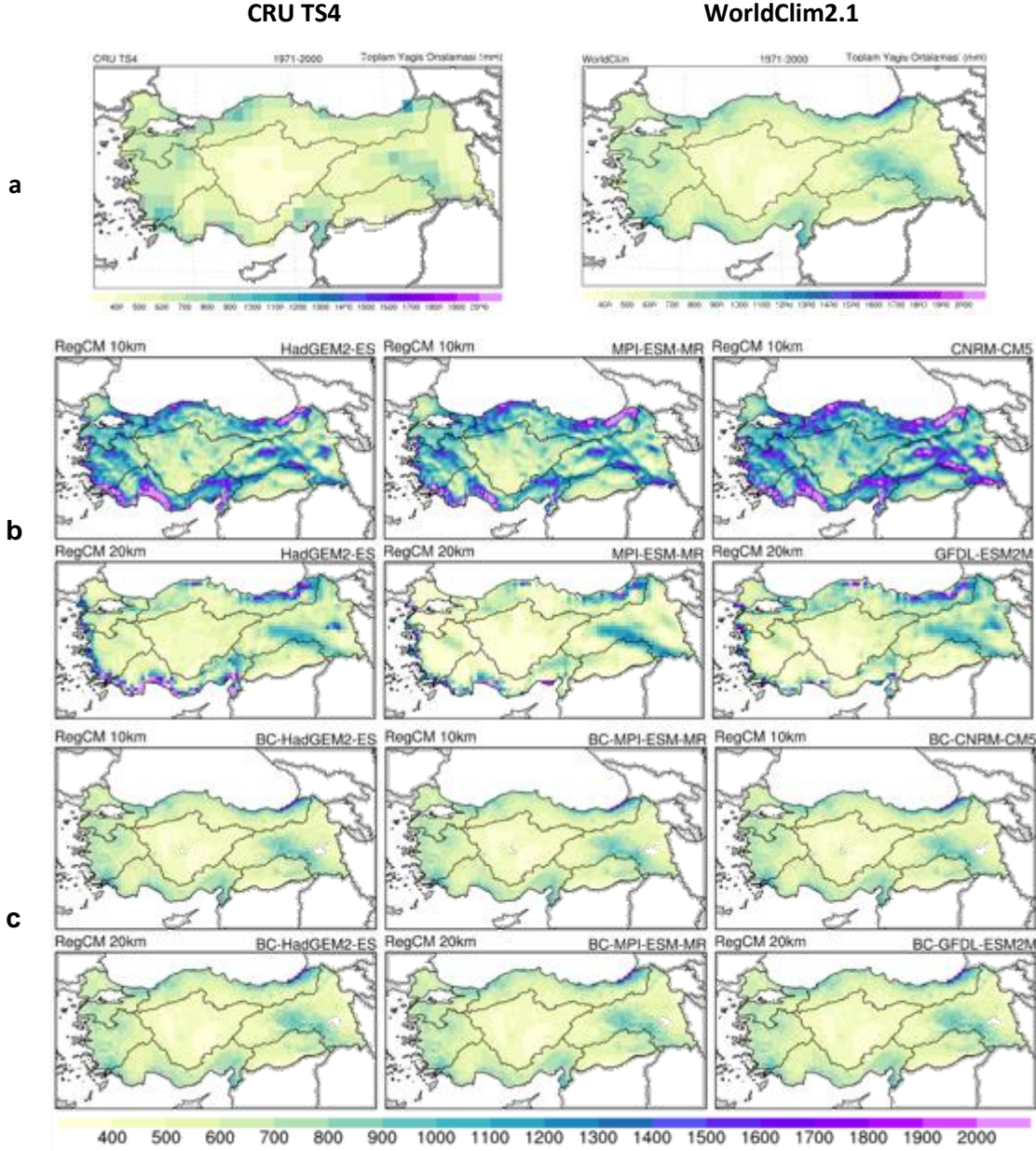
Şekil 5.13 CNRM-CM5 Modeli 10 km (sol) ve GFDL-ESM2M Modeli 20 km (sağ) Yağış Düzeltme Katsayıları Dağılımı

Model sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, çözünürlük yükseldikçe modellerin daha gözlemlere göre daha ıslak yanlılığa sahip olduğu fakat yağışın alansal dağılımını daha iyi temsil ettiği görülmektedir (Gu, Yu, Peltier, & Wang, 2020) ve (Sinha, ve diğerleri, 2015). 1971-2000 referans dönemi için 10 km ve 20 km çözünürlükteki bölgesel iklim modellerine ait toplam yağışların WorldClim2.1 veri seti kullanılarak yanlılığı düzeltilmiş olup, model sonuçları ve düzeltilmiş toplam yağış ortalamaları Şekil 5.14 ve sayısal değerleri Tablo 5.2 ile verilmiştir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 5.14 1971-2000 Referans Dönemi Toplam Yağış Ortalamaları: Gözlem (a) 10 km ve 20 km Model Sonuçları (b) 10 km ve 20 km Düzeltilmiş Model Sonuçları (c)

1971-2000 referans dönemi için toplam yağışın gözlem ortalaması 595,2 mm olarak belirlenmiştir. Referans döneminin model sonuçları değerlendirildiğinde, düşük çözünürlükte gözlemlere en yakın modellerin 560,8 mm ile MPI ve 635,6 mm ile GFDL modeli olduğu görülmüştür. HadGEM’in referans dönemi toplam yağışı ise 679,2 mm’dir. Referans döneminde yüksek çözünürlük için ise 922,3 mm ile MPI, 949,2 mm ile HadGEM modelleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Yanlılık düzeltmesi yapılmış model sonuçları incelendiğinde modellerin referans dönemi toplam yağış ortalamalarının gözlemlerin ortalamalarına oldukça yaklaştığı görülmektedir. Yanlılık düzeltmesi ile 10 km model sonuçlarına ait toplam yağış ortalamaları 591,6 mm, 20 km’lik sonuçlar ise 591,8 mm’ye getirilmiştir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Tablo 5.2 1971-2000 Referans Dönemi Bölgesel İklim Modelleri ve Düzeltilmiş Sonuçları için Toplam Yağış Değişimleri

| | Periyot | Gözlem | 10 km | | | 20 km | | |
|----------|-----------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5.1 | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| MODEL | 1971-2000 | 595.2 mm | 949.2 | 922.3 | 1105.4 | 679.2 | 560.8 | 635.6 |
| BC-MODEL | | | 591.6 | 591.6 | 591.6 | 591.8 | 591.8 | 591.8 |

5.3 Projeksiyon Dönemi Analizleri

Her iki kurumun çalışmaları için seçilen yaklaşık 250 km çözünürlükteki küresel modellerin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre sonuçları değerlendirilmiş, referans dönemine göre farkları alınarak yani anomalileri hesaplanarak 2021-2100 projeksiyon dönemi 20'şer yıllık periyotlar halinde sıcaklık ve yağış parametreleri için analiz edilmiş, ayrıca gözlemlerin ortalama değerleri ile kıyaslanmıştır.

5.3.1 Ortalama Sıcaklık

Önceki bölümlerde sunulan CRU gözlem verileri ile küresel modellerin sıcaklık değişimleri haritalanarak Şekil 5.15 ile sunulmuştur. Daha önce belirtildiği gibi, 1971-2000 referans dönemi sıcaklık ortalaması CRU'ya göre yaklaşık 10,9°C'dir.

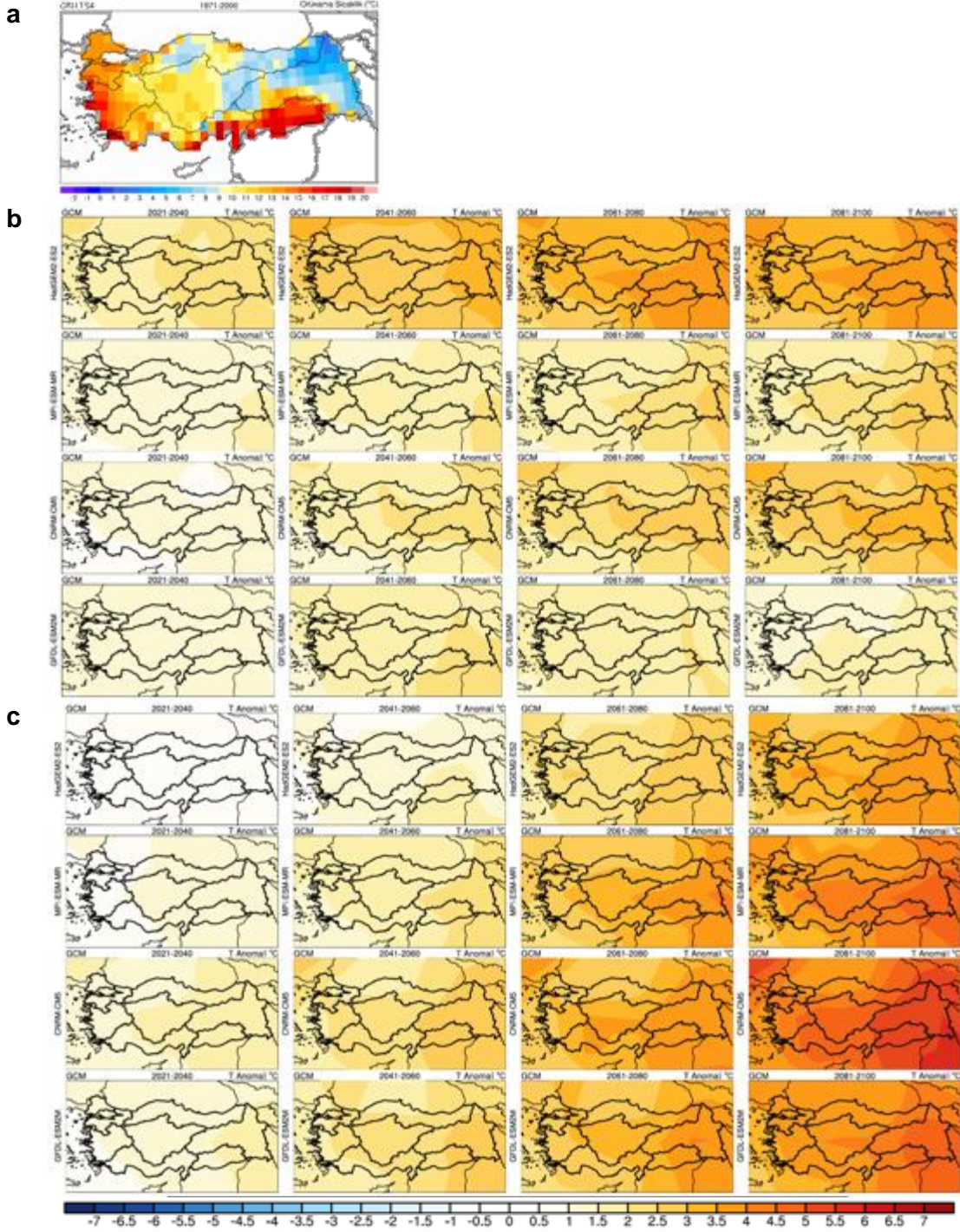
Projeksiyon dönemi için RCP4.5 senaryosuna göre küresel model sonuçları incelendiğinde, 2100 yılına doğru Türkiye için en sıcak değerleri HadGEM modeli verirken, bu modeli CNRM modeli takip etmektedir. MPI ve GFDL küresel modelleri daha düşük değişimlere işaret etmektedir. HadGEM2-ES küresel modeli RCP4.5 senaryosu için yüzyılın sonuna doğru referans dönemine göre 4-4,5°C'lik bir artış öngörürken, MPI-ESM-MR 2-2,5°C, CNRM-CM5 3-3,5°C ve GFDL-ESM2M modeli ise 1-1,5°C'lik artışlar öngörmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise, 2060'a kadar en düşük sıcaklık artışını HadGEM verirken, en yüksek artışı CNRM vermektedir. 2100 yılına doğru HadGEM daha düşük olmak üzere diğer üç model yüksek değişimler öngörmektedir. 2021-2040 döneminde referans döneme göre yaklaşık 1-1,5°C civarında artışlar öngörülürken, 2060'lardan itibaren tüm modeller 4,5°C'lere ulaşan ciddi bir ısınma göstermektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 5.15 Küresel Modellerin Ortalama Sıcaklık Değişimleri: Referans Dönemi Sıcaklık Ortalaması (a), RCP4.5 Ortalama Sıcaklık Değişimleri (b), RCP8.5 Ortalama Sıcaklık Değişimleri (c)

Bölgesel iklim modelleri RCP4.5 senaryosu sıcaklık ortalaması değişimleri haritalanarak Şekil 5.16 ile sunulmuştur. 1971-2000 referans dönemi Türkiye sıcaklık ortalaması WorldClim'e göre yaklaşık 10,8°C olarak hesaplanmıştır.

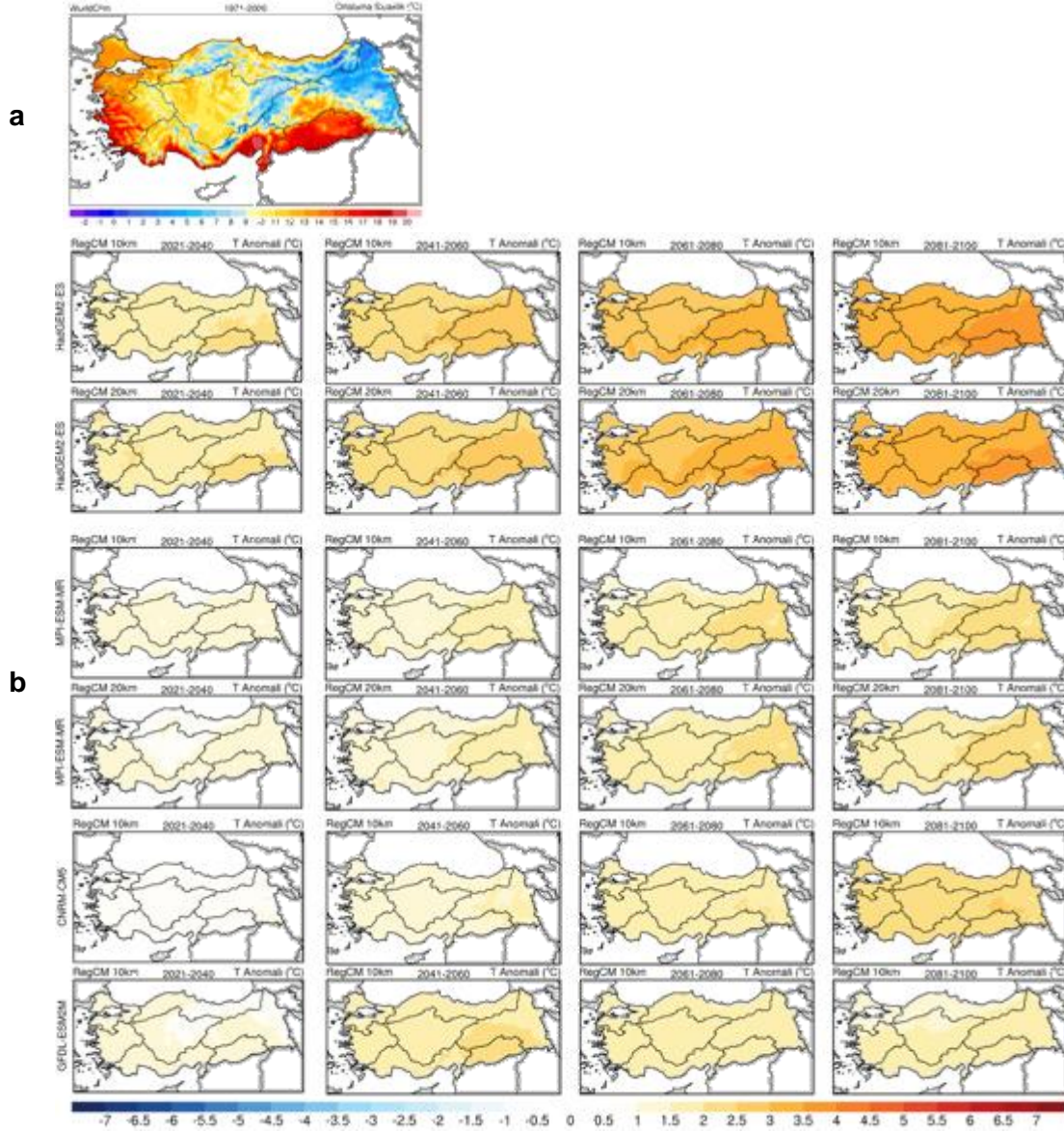




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Projeksiyon dönemi, RCP4.5 senaryosuna göre bölgesel model sonuçları incelendiğinde, en fazla sıcaklık artışını HadGEM modeli vermiştir. HadGEM 2060'lara doğru 2,5-3°C artış önerirken, 2100'e doğru 3,5-4°C artış göstermektedir. MPI ve GFDL modellerinin her iki çözünürlük için elde edilen sonuçları 2100'e doğru 1,5-2°C'lik artış öngörürken, CNRM değerleri yüzyıl sonuna kadar 2°C'yi biraz geçmektedir.



Şekil 5.16 Bölgesel Modellerin Ortalama Sıcaklık Değişimleri: Referans Dönemi Sıcaklık Ortalaması (a), RCP4.5 Ortalama Sıcaklık Değişimleri (b)

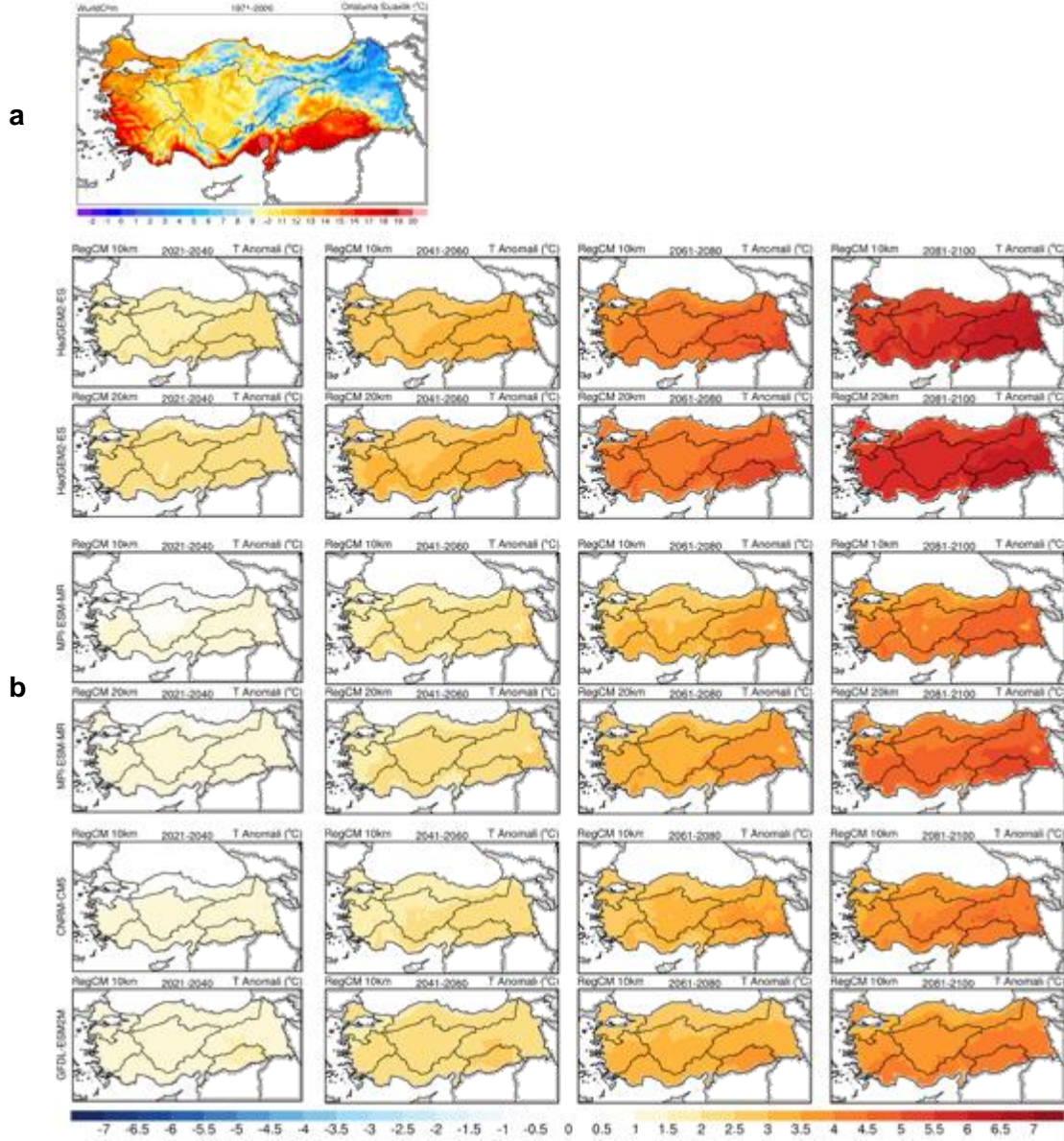
Bölgesel iklim modelleri RCP8.5 senaryosu sıcaklık ortalaması değişimleri haritalanarak Şekil 5.17 ile sunulmuştur. 1971-2000 referans dönemine göre projeksiyon dönemi değişimlerine bakıldığında, RCP8.5 senaryosu için, en fazla sıcaklık artışını yine HadGEM modeli vermiştir. HadGEM modeli yüzyıl sonuna doğru yaklaşık 6°C'yi bulan bir artış öngörmektedir. Bununla birlikte MPI 4,5°C iken, CNRM ve GFDL modelleri de yaklaşık 4°C civarı bir artış belirtmektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 5.17 Bölgesel Modellerin Ortalama Sıcaklık Değişimleri: Referans Dönemi Sıcaklık Ortalaması (a), RCP8.5 Ortalama Sıcaklık Değişimleri (b)

Küresel iklim modelleri ile kurumlar tarafından üretilen bölgesel iklim modelleri sonuçlarının karşılaştırması RCP4.5 senaryosu için Şekil 5.18 ve RCP8.5 senaryosu için ise Şekil 5.19 ile verilmiştir. Şekilde seçilen küresel iklim modelleri ve ortalaması (GCM Ens. Ort.) kalın çizgi, 20 km çözünürlükteki bölgesel iklim modelleri kalın kesikli ve 10 km çözünürlükteki iklim modelleri ise ince kesikli olarak gösterilmiştir.

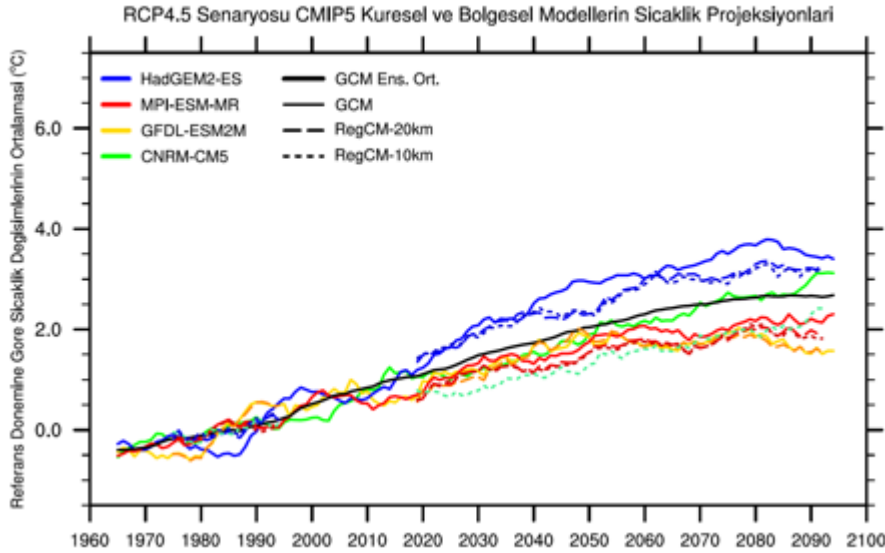
RCP4.5 senaryosu sonuçları incelendiğinde, GCM ortalaması 2100'e doğru 3°C'ye varan bir artış öngörmektedir. HadGEM modelinin haritalarda da görüldüğü gibi en yüksek sıcaklık artışını önerdiği ve küresel iklim modellerinin ortalamasının da üstünde bir değişim gösterdiği görülmektedir. CNRM modelinin GCM ortalamalarında seyrettiği, MPI ve GFDL modellerinin ise ortalamaya göre daha soğuk sonuçlar ürettiği görülmektedir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Tablo 5.3 ile verilen 10 km’lik sonuçlar değerlendirildiğinde referans dönemi sıcaklıkların daha düşük olduğu tespit edilmiş, çözünürlük arttıkça model daha soğuk yanlı sonuçlar üretmiştir. Projeksiyon dönemindeki değişimleri incelendiğinde, HadGEM son 20 yılda 3,2°C, MPI 1,8°C ve GFDL ise 1,6°C sıcaklık artışı önermiştir. Son 20 yıllık periyotta MPI ve HadGEM modellerinin sıcaklık artışı 20 km’lik sonuçlara oldukça yakındır.



Şekil 5.18 Küresel ve Bölgesel Modellere göre RCP4.5 Senaryosu için Sıcaklık Değişimi

Tablo 5.3 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin RCP4.5 Senaryosu Ortalama Sıcaklık Değişimleri

| Periyot | Gözlem | 10 km | | | 20 km | | |
|-----------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5.1 | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| 1971-2000 | 10.8°C | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.7 |
| 2021-2040 | | 1.9 | 1.1 | 0.8 | 1.9 | 1.1 | 1.1 |
| 2041-2060 | | 2.4 | 1.4 | 1.4 | 2.4 | 1.5 | 1.8 |
| 2061-2080 | | 2.9 | 1.7 | 1.8 | 3 | 1.8 | 1.7 |
| 2081-2100 | | 3.2 | 1.8 | 2.2 | 3.3 | 2 | 1.6 |

Yanılığ düzeltilmiş bölgesel iklim modellerinin Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesi için referans dönemi sıcaklık ortalamaları ve RCP4.5 senaryosuna göre projeksiyon dönemindeki öngörülen ortalama sıcaklık değişimleri Tablo 5.4 ile verilmiştir. Buna göre, RCP4.5 senaryosuna göre her iki çözünürlük için de yüzyıl sonuna doğru en fazla sıcaklık artışını İç Anadolu, Ege, Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri vermektedir. Bu değişimler yüksek çözünürlük için 3,5°C’yi bulurken, düşük çözünürlük için 3,7°C’leri bulmaktadır. Modeller arasında en fazla artışı HadGEM2-ES modeli verirken, en az artışı GFDL-ESM2M vermektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Tablo 5.4 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin Coğrafi Bölgelere göre RCP4.5 Senaryosu Ortalama Sıcaklık Değişimleri

| Bölge | Periyot | 10 km | | | 20 km | | |
|---------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5.1 | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| Marmara Bölgesi | 1971-2000 | 13.1°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.9 | 1.0 | 0.6 | 1.9 | 1.0 | 1.1 |
| | 2041-2060 | 2.3 | 1.2 | 1.2 | 2.2 | 1.3 | 1.5 |
| | 2061-2080 | 2.7 | 1.4 | 1.6 | 2.8 | 1.5 | 1.6 |
| | 2081-2100 | 3.0 | 1.5 | 2.0 | 3.2 | 1.6 | 1.3 |
| Karadeniz Bölgesi | 1971-2000 | 8.9°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.8 | 1.0 | 0.6 | 1.9 | 1.0 | 1.0 |
| | 2041-2060 | 2.4 | 1.3 | 1.3 | 2.4 | 1.4 | 1.7 |
| | 2061-2080 | 2.8 | 1.6 | 1.7 | 2.8 | 1.7 | 1.6 |
| | 2081-2100 | 3.0 | 1.8 | 2.1 | 3.2 | 1.9 | 1.4 |
| İç Anadolu Bölgesi | 1971-2000 | 10.0°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.9 | 1.1 | 0.7 | 1.9 | 1.0 | 1.0 |
| | 2041-2060 | 2.4 | 1.3 | 1.4 | 2.4 | 1.5 | 1.8 |
| | 2061-2080 | 2.9 | 1.7 | 1.7 | 3.0 | 1.7 | 1.7 |
| | 2081-2100 | 3.2 | 1.9 | 2.2 | 3.3 | 1.9 | 1.6 |
| Ege Bölgesi | 1971-2000 | 13.4°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.9 | 1.1 | 0.7 | 1.9 | 1.1 | 1.2 |
| | 2041-2060 | 2.3 | 1.4 | 1.2 | 2.3 | 1.4 | 1.7 |
| | 2061-2080 | 2.8 | 1.6 | 1.6 | 2.9 | 1.6 | 1.8 |
| | 2081-2100 | 3.1 | 1.7 | 2.1 | 3.3 | 1.8 | 1.6 |
| Akdeniz Bölgesi | 1971-2000 | 12.8°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.9 | 1.2 | 0.9 | 1.9 | 1.1 | 1.2 |
| | 2041-2060 | 2.4 | 1.4 | 1.3 | 2.4 | 1.4 | 1.9 |
| | 2061-2080 | 3.0 | 1.8 | 1.7 | 3.0 | 1.7 | 1.8 |
| | 2081-2100 | 3.3 | 1.8 | 2.2 | 3.3 | 1.9 | 1.8 |
| Doğu Anadolu Bölgesi | 1971-2000 | 7.9°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 2.0 | 1.2 | 0.9 | 1.9 | 1.2 | 1.0 |
| | 2041-2060 | 2.7 | 1.7 | 1.5 | 2.6 | 1.7 | 2.0 |
| | 2061-2080 | 3.3 | 2.1 | 1.9 | 3.3 | 2.1 | 1.8 |
| | 2081-2100 | 3.5 | 2.2 | 2.4 | 3.5 | 2.2 | 1.8 |
| Güneydoğu Anadolu Bölgesi | 1971-2000 | 16.3°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 2.0 | 1.2 | 0.9 | 2.1 | 1.2 | 1.2 |
| | 2041-2060 | 2.8 | 1.6 | 1.5 | 2.8 | 1.6 | 2.2 |
| | 2061-2080 | 3.3 | 2.1 | 1.9 | 3.5 | 2.1 | 1.9 |
| | 2081-2100 | 3.5 | 2.1 | 2.4 | 3.7 | 2.2 | 1.9 |



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



50



iklime uyum

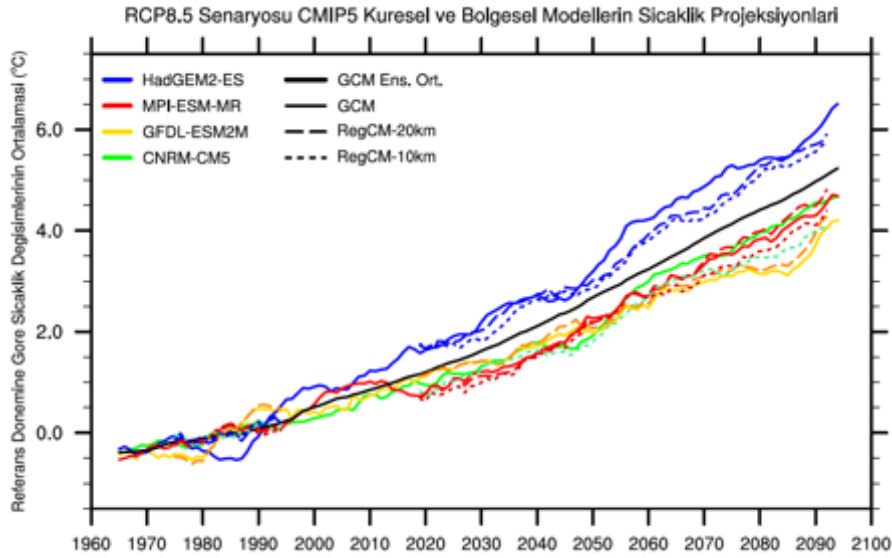




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

RCP8.5 senaryosu sonuçlarına bakıldığında ise, GCM ortalaması 2100'e doğru 6,5°C'ye varan bir artış göstermektedir. HadGEM modeli yine en yüksek sıcaklık değişimleri gösterirken, CNRM modeli MPI model sonuçlarına yaklaşmıştır. GFDL modeli ise en soğuk tahmin yapan model olmuştur. Tablo 5.5 incelendiğinde, her iki çözünürlükte de HadGEM modeli en yüksek değişimleri vermiştir. Bunun sonucunda HadGEM modelinin daha sıcak yanlı bir model olduğu görülmektedir. Son 20 yılda MPI modelinin 20 km çözünürlükteki model sonuçlarına göre 4,6°C, 10 km çözünürlükteki model sonuçlarına göre ise 4,2°C'lik bir artış beklenmektedir.



Şekil 5.19 Küresel ve Bölgesel Modellere göre RCP8.5 Senaryosu için Sıcaklık Değişimi

Tablo 5.5 Düzeltmiş Bölgesel İklim Modellerinin RCP8.5 Senaryosu Ortalama Sıcaklık Değişimleri

| Periyot | Gözlem | 10 km | | | 20 km | | |
|-----------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5.1 | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| 1971-2000 | 10.8°C | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.7 |
| 2021-2040 | | 2 | 1 | 1.2 | 2.1 | 1.1 | 1.4 |
| 2041-2060 | | 3 | 2.1 | 1.9 | 3.1 | 2.1 | 2.2 |
| 2061-2080 | | 4.4 | 3.1 | 3.1 | 4.5 | 3.4 | 3.1 |
| 2081-2100 | | 5.6 | 4.2 | 3.9 | 5.7 | 4.6 | 3.9 |

Yanlılığı düzeltilmiş bölgesel iklim modellerinin RCP8.5 senaryosuna göre yedi coğrafi bölge için projeksiyon dönemindeki öngörülen ortalama sıcaklık değişimleri Tablo 5.6 ile verilmiştir. Buna göre, RCP8.5 senaryosunda da her iki çözünürlük için de yüzyıl sonuna doğru en fazla sıcaklık artışını İç Anadolu, Ege, Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri vermektedir. Bu değişimler yüksek çözünürlük için 6,0°C'yi bulurken, düşük çözünürlük için





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

6,3°C'leri bulmaktadır. Modeller arasında en fazla artışı HadGEM2-ES modeli verirken, en az artışı GFDL-ESM2M vermektedir.

Tablo 5.6 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin Coğrafi Bölgelere göre RCP8.5 Senaryosu Ortalama Sıcaklık Değişimleri

| Bölge | Periyot | 10 km | | | 20 km | | |
|---------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5.1 | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| Marmara Bölgesi | 1971-2000 | 13.1°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.9 | 0.9 | 1.6 | 2.0 | 1.0 | 1.2 |
| | 2041-2060 | 2.6 | 1.6 | 2.3 | 2.8 | 1.7 | 2.0 |
| | 2061-2080 | 3.9 | 2.5 | 3.3 | 4.1 | 2.9 | 2.7 |
| | 2081-2100 | 5.0 | 3.4 | 4.1 | 5.3 | 4.0 | 3.4 |
| Karadeniz Bölgesi | 1971-2000 | 8.9°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.9 | 0.9 | 0.8 | 2.0 | 1.0 | 1.3 |
| | 2041-2060 | 2.8 | 1.9 | 1.6 | 3.0 | 2.0 | 2.1 |
| | 2061-2080 | 4.1 | 2.8 | 2.7 | 4.3 | 3.1 | 2.8 |
| | 2081-2100 | 5.3 | 3.8 | 3.4 | 5.5 | 4.3 | 3.5 |
| İç Anadolu Bölgesi | 1971-2000 | 10.0°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.9 | 1.0 | 1.1 | 2.1 | 1.1 | 1.4 |
| | 2041-2060 | 2.9 | 2.1 | 1.8 | 3.0 | 2.1 | 2.2 |
| | 2061-2080 | 4.3 | 3.0 | 3.0 | 4.4 | 3.3 | 3.0 |
| | 2081-2100 | 5.5 | 4.1 | 3.8 | 5.7 | 4.6 | 3.8 |
| Ege Bölgesi | 1971-2000 | 13.4°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.9 | 1.0 | 1.6 | 2.1 | 1.1 | 1.3 |
| | 2041-2060 | 2.8 | 1.8 | 2.2 | 3.0 | 1.9 | 2.1 |
| | 2061-2080 | 4.0 | 2.9 | 3.3 | 4.3 | 3.2 | 3.1 |
| | 2081-2100 | 5.3 | 4.0 | 4.1 | 5.7 | 4.5 | 3.8 |
| Akdeniz Bölgesi | 1971-2000 | 12.8°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 2.0 | 1.1 | 1.8 | 2.1 | 1.1 | 1.4 |
| | 2041-2060 | 3.0 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 2.1 | 2.3 |
| | 2061-2080 | 4.3 | 3.1 | 3.5 | 4.4 | 3.3 | 3.3 |
| | 2081-2100 | 5.5 | 4.2 | 4.4 | 5.7 | 4.6 | 4.0 |
| Doğu Anadolu Bölgesi | 1971-2000 | 7.9°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 2.1 | 1.2 | 0.8 | 2.2 | 1.3 | 1.4 |
| | 2041-2060 | 3.3 | 2.3 | 1.5 | 3.3 | 2.4 | 2.4 |
| | 2061-2080 | 4.9 | 3.6 | 2.9 | 4.8 | 3.7 | 3.2 |
| | 2081-2100 | 6.1 | 4.6 | 3.7 | 6.0 | 4.9 | 4.1 |
| Güneydoğu Anadolu Bölgesi | 1971-2000 | 16.3°C | | | | | |
| | 2021-2040 | 2.1 | 1.2 | 1.5 | 2.3 | 1.4 | 1.5 |
| | 2041-2060 | 3.4 | 2.2 | 2.2 | 3.5 | 2.4 | 2.5 |
| | 2061-2080 | 4.9 | 3.6 | 3.5 | 5.1 | 3.9 | 3.6 |
| | 2081-2100 | 6.0 | 4.7 | 4.4 | 6.3 | 5.1 | 4.4 |



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

5.3.2 Toplam Yağış

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre 2021-2100 projeksiyon dönemi için analiz edilen yağış değişimleri 20'şer yıllık periyotlar halinde Şekil 5.20 ile sunulmuştur. Daha önce de belirtildiği gibi 1971-2000 referans dönemi toplam yağış ortalaması CRU'ya göre 561,3 mm'dir. RCP4.5 senaryosuna göre küresel model sonuçları incelendiğinde, 2100 yılına doğru Türkiye için en ıslak değerleri CNRM modeli verirken, en kurak koşulları GFDL göstermektedir. GFDL'den sonra sırasıyla MPI ve HadGEM modelleri de yüzyılın sonuna doğru kurak sonuçlar önermektedir.

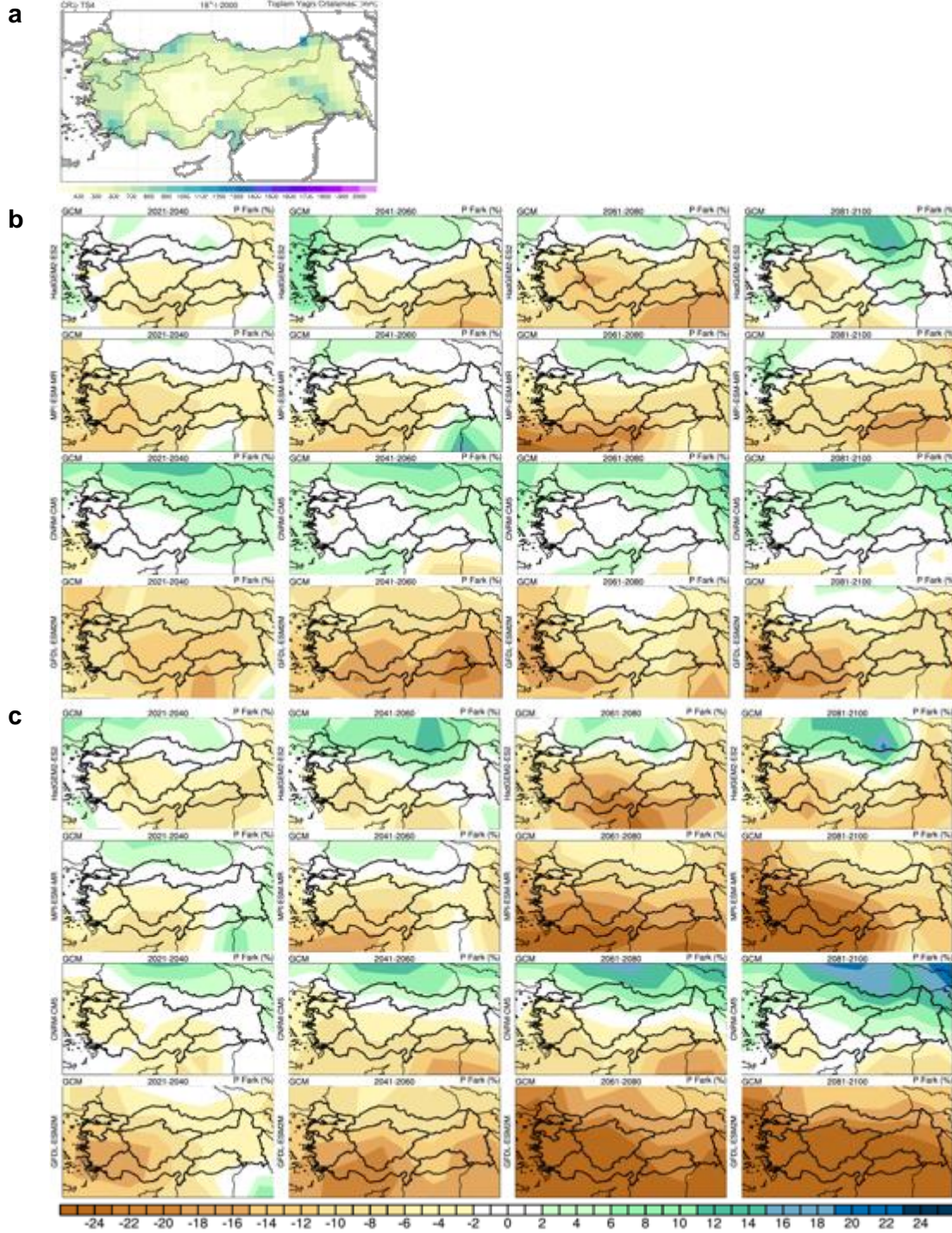
CNRM küresel modeli RCP4.5 senaryosu için yaklaşık 2021-2100 periyodunun genelinde özellikle Karadeniz ve Doğu Anadolu'nun kuzey bölgelerinde yaklaşık %8-10'ları bulan yağış artışı öngörmektedir. Buna karşın GFDL ile tüm periyotlar boyunca %20'leri aşan kuraklıklara işaret etmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise yine en kurak model GFDL, en ıslak model ise CNRM'dir. MPI modeli 2040'lardan itibaren önce Akdeniz Bölgesi'nden başlayarak yüzyıl sonuna kadar tüm Türkiye'yi etkisine alan kurak koşullar öngörmektedir. HadGEM modeli ise 2060'lardan itibaren yine Akdeniz'den başlayarak 2100'lere doğru kuzeye kadar düşük yağışlar önermektedir. GFDL modelinin tüm periyotları ile MPI modelinin son iki periyodu %20'leri aşan yağış noksanlığı göstermektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 5.20 Küresel Modellerin Yağış Değişimleri: Referans Dönemi Toplam Yağış Ortalaması (a), RCP4.5 Toplam Yağış Değişimleri (b), RCP8.5 Toplam Yağış Değişimleri (c)

Bölgesel iklim modelleri RCP4.5 senaryosu toplam yağış ortalaması değişimleri haritalanarak Şekil 5.21 ile sunulmuştur. RCP4.5 senaryosuna göre bölgesel model sonuçları incelendiğinde, 2100'e doğru HadGEM modelinin 20 km'lik sonuçları Karadeniz ve Ege Bölgeleri kıyı kesimleri ile Marmara Bölgesi'nde yağış artışı, 10 km'lik sonuçları ise 2061-2080 dönemi hariç yağış noksanlığı öngörmüştür. Her iki çözünürlük için de iç ve güney kesimler kurak sonuçlar

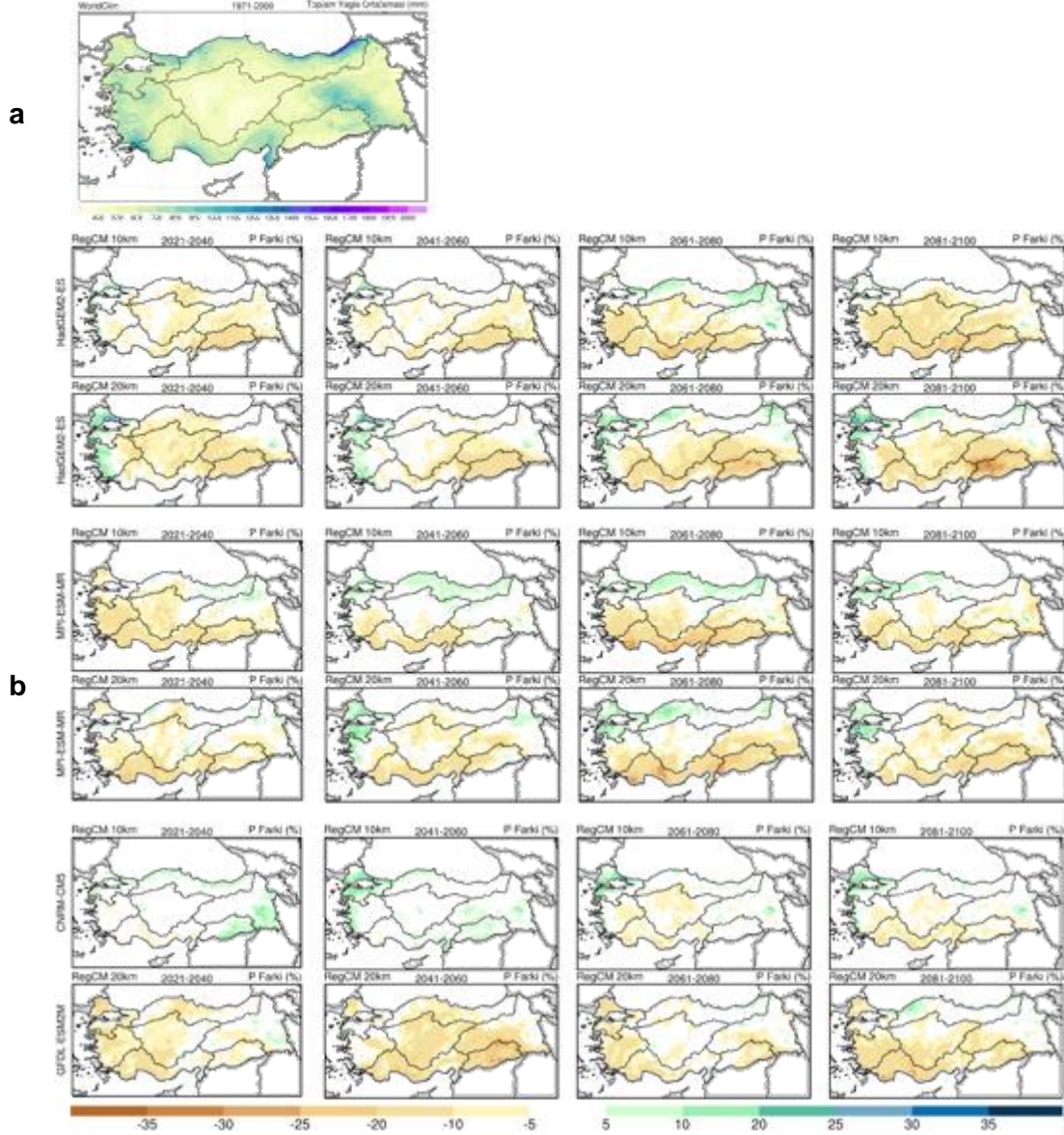




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

vermiştir. MPI modeli her iki çözünürlük için de 2040'tan sonra Marmara Bölgesi ve Karadeniz kıyılarında artış ve diğer kesimlerde ise azalma öngörmektedir. CNRM modeli 2060'a kadar Türkiye genelinde artış, 2100'e doğru ise iç ve güney kesimlerde azalma öngörmekte olup, GFDL ise hemen hemen tüm periyotlarda kuraklığa işaret etmektedir.



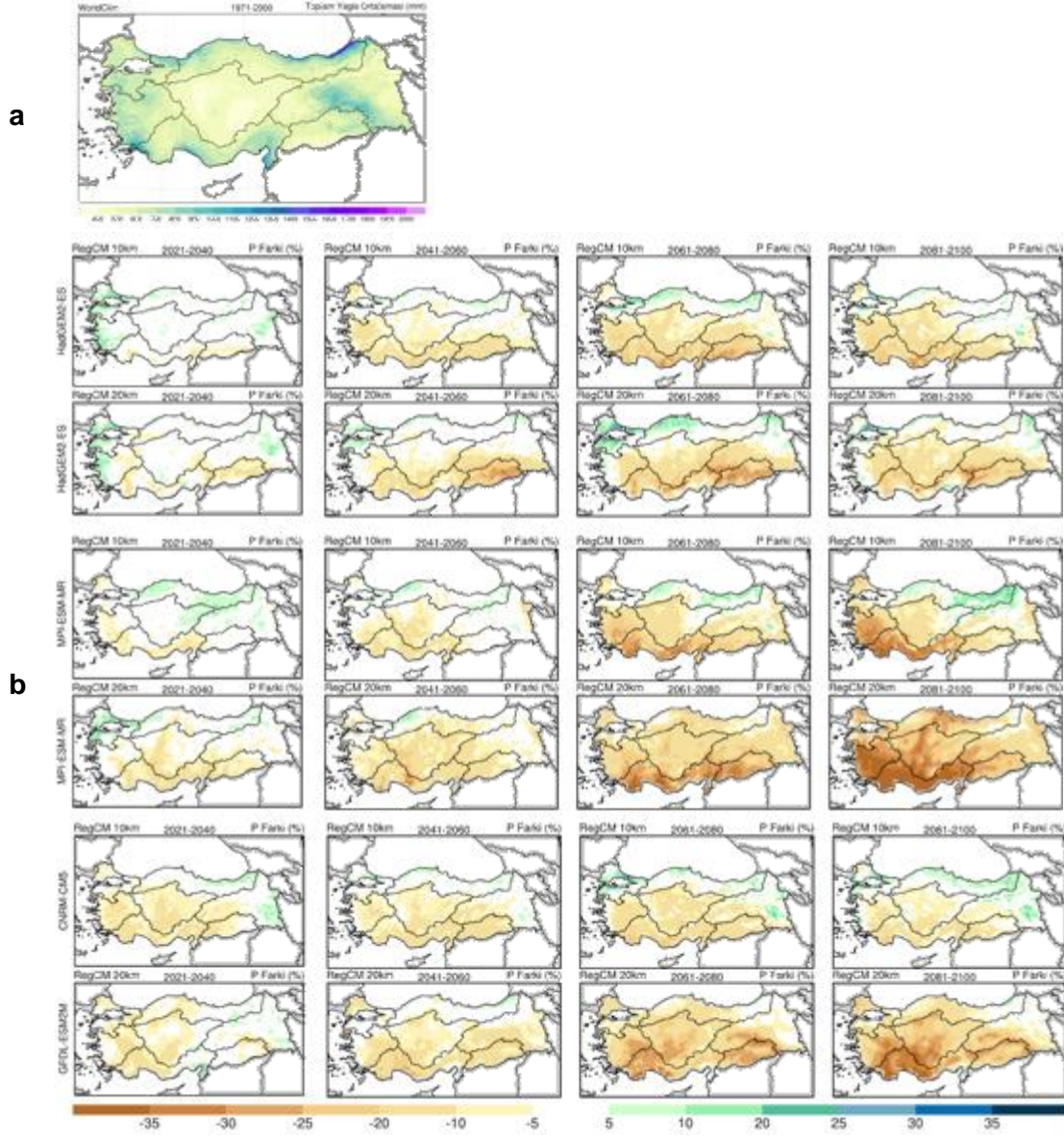
Şekil 5.21 Bölgesel Modellerin Toplam Yağış Değişimleri: Referans Dönemi Toplam Yağış Ortalaması (a), RCP4.5 Toplam Yağış Değişimleri (b)

Bölgesel iklim modelleri RCP8.5 senaryosu toplam yağış ortalamasının değişimleri haritalanarak Şekil 5.22 ile sunulmuştur. RCP8.5 senaryosuna göre bölgesel model sonuçları incelendiğinde, 2100'e doğru özellikle son iki periyotta en fazla yağış noksanlığı öngören model MPI ve GFDL'dir. Referans dönemi model sonuçlarında da olduğu gibi 10 km sonuçları 20 km'ye nazaran daha az kurak sonuçlar vermiş, bu durum da bölgesel iklim modelinin çözünürlük yükseldikçe daha ıslak yanlı olması ile belirtilmiştir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 5.22 Bölgesel Modellerin Toplam Yağış Değişimleri: Referans Dönemi Toplam Yağış Ortalaması (a), RCP8.5 Toplam Yağış Değişimleri (b)

Küresel iklim modelleri ile kurumlar tarafından üretilen bölgesel iklim modelleri sonuçlarının karşılaştırması Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 ile verilmiştir. Şekilde daha önce de belirtildiği gibi seçilen küresel iklim modelleri ve ortalaması (GCM Ens. Ort.) kalın çizgi, 20 km çözünürlükteki bölgesel iklim modelleri kalın kesikli ve 10 km çözünürlükteki iklim modelleri ise ince kesikli olarak gösterilmiştir.

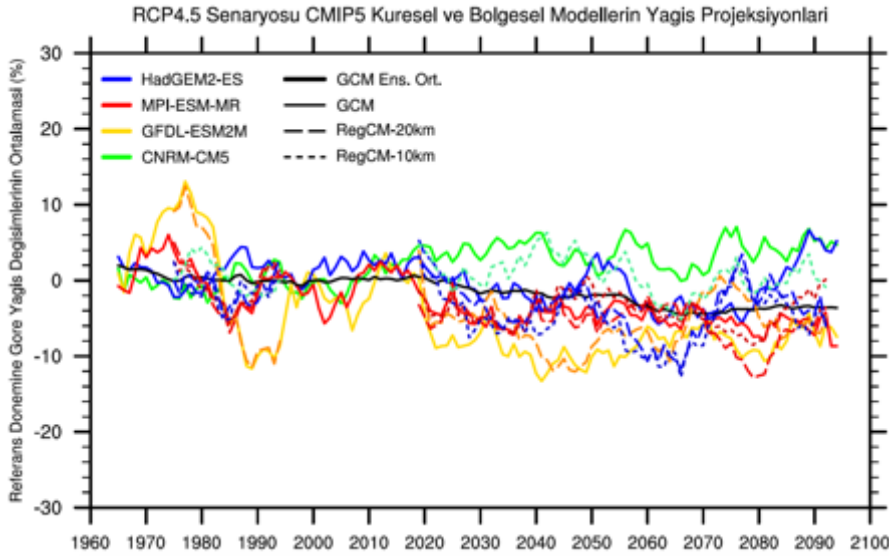
RCP4.5 senaryosu sonuçları incelendiğinde, GCM ortalaması 2100’e doğru %5'lere varan bir azalma öngörmektedir. Projeksiyon döneminde haritalarda da görüldüğü gibi en küresel model ortalamalarının da üzerinde en fazla yağış artışını CNRM modeli, yine küresel model ortalamalarının altında en fazla yağış noksanlığını CNRM modeli önermektedir. MPI modelinin özellikle yüksek çözünürlükteki sonuçları küresel model ortalamalarını en iyi takip eden model



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

olarak tespit edilmiştir. Tablo 5.7 ile dönemlere göre yağış değişimlerinin sayısal değerleri verilmiştir. Çözünürlük yükseldikçe yağışlarda pozitif yanlılık görülmektedir. Projeksiyon dönemindeki toplam yağış değişimleri incelendiğinde, grafiklerde de görüldüğü gibi düşük çözünürlükteki model sonuçları daha fazla yağış noksanlığına işaret etmektedir. Buna göre son 20 yılda 10 km çözünürlük için HadGEM %6, MPI %3 ve CNRM ise %2'lere varan bir azalma öngörürken, 20 km çözünürlük için HadGEM %5, MPI ve GFDL %6'lara varan bir azalma vermektedir.



Şekil 5.23 Küresel ve Bölgesel Modellere göre RCP4.5 Senaryosu için Yağış Değişimi

Tablo 5.7 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin RCP4.5 Senaryosu Toplam Yağış Değişimleri

| Periyot | Gözlem | 10 km | | | 20 km | | |
|-----------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5.1 | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| 1971-2000 | 595.2 mm | 591.6 | 591.6 | 591.6 | 591.8 | 591.8 | 591.8 |
| 2021-2040 | | -4.6% | -5.4% | 1.0% | -3.7% | -4.8% | -5.5% |
| 2041-2060 | | -5.1% | -1.4% | 2.8% | -2.7% | -4.2% | -9.0% |
| 2061-2080 | | -5.0% | -5.6% | -1.2% | -5.2% | -6.2% | -4.4% |
| 2081-2100 | | -6.4% | -2.7% | -1.5% | -5.3% | -6.2% | -5.5% |

Yanlılığı düzeltilmiş bölgesel iklim modellerinin Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi için referans dönemi toplam yağış ortalamaları ve RCP4.5 senaryosuna göre projeksiyon dönemindeki öngörülen ortalama toplam yağış değişimleri Tablo 5.8 ile verilmiştir. Genel olarak sonuçlar değerlendirildiğinde, MPI ve HadGEM modelleri hemen hemen tüm bölge ve periyotlarda benzer yağış paterni, fakat farklı değişim oranları göstermiştir. GFDL modeli ise genellikle tüm bölgelerde yağışlarda azalma öngörmüştür. RCP4.5 senaryosuna göre 10 km çözünürlükteki model sonuçları yüzyıl sonuna kadar Marmara ve Karadeniz Bölgeleri için yağışta artışlar, diğer





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

bölgelerde ise azalışlar görülmektedir. Marmara Bölgesi'nde MPI ve CNRM modelleri %7,5 ve HadGEM modeli ise %2,5 artış; Karadeniz Bölgesi'nde ise, MPI %3,3, CNRM %2 ve HadGEM ise yaklaşık %1 artış öngörmektedir. 20 km çözünürlükteki sonuçlar incelendiğinde ise, yüzyıl sonuna kadar MPI ve HadGEM modelleri Marmara Bölgesi'nde yaklaşık %5'i bulan yağış artışı, Karadeniz Bölgesi'nde ise HadGEM ve CNRM modelleri %1'i bulan yağış artışı, MPI modeli ise %3'ü bulan yağış eksikliği önermektedir. HadGEM modeli tüm diğer bölgelerde hemen hemen en fazla yağış eksikliğini öneren model olmuştur. Buna göre, İç Anadolu ve Ege Bölgeleri'nde %8; özellikle Türkiye'nin güneyinde yer alan Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde ise %20'leri bulan bir azalma göstermektedir.

Tablo 5.8 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin Coğrafi Bölgelere göre RCP4.5 Senaryosu Toplam Yağış Değişimleri

| Bölge | Periyot | 10 km | | | 20 km | | |
|----------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5.1 | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| Marmara Bölgesi | 1971-2000 | 664.2 mm | | | | | |
| | 2021-2040 | 2.0% | -4.4% | 3.5% | 2.4% | 0.9% | -8.1% |
| | 2041-2060 | 0.6% | 4.9% | 10.0% | 8.5% | 6.9% | -1.6% |
| | 2061-2080 | 2.2% | 3.3% | 7.7% | 3.1% | 5.6% | -7.9% |
| | 2081-2100 | 2.4% | 7.4% | 7.5% | 3.3% | 4.6% | -2.5% |
| Karadeniz Bölgesi | 1971-2000 | 650.7 mm | | | | | |
| | 2021-2040 | -2.8% | 0.9% | 3.4% | -4.0% | 0.7% | -4.4% |
| | 2041-2060 | -2.7% | 4.8% | 2.3% | -2.4% | -1.4% | -4.5% |
| | 2061-2080 | 3.6% | 5.5% | 0.0% | 1.7% | 3.5% | 0.1% |
| | 2081-2100 | 0.7% | 3.3% | 2.0% | 0.8% | -2.7% | 0.9% |
| İç Anadolu Bölgesi | 1971-2000 | 435.2 mm | | | | | |
| | 2021-2040 | -5.4% | -6.0% | -0.7% | -8.6% | -3.9% | -5.3% |
| | 2041-2060 | -4.6% | -0.2% | 0.8% | -4.3% | -5.2% | -10.9% |
| | 2061-2080 | -5.4% | -4.8% | -4.2% | -7.2% | -3.4% | -1.7% |
| | 2081-2100 | -8.3% | -1.4% | -2.9% | -7.6% | -5.6% | -6.6% |
| Ege Bölgesi | 1971-2000 | 669.2 mm | | | | | |
| | 2021-2040 | -1.0% | -10.4% | -1.6% | 1.5% | -6.3% | -8.5% |
| | 2041-2060 | -4.8% | -4.8% | 2.4% | 2.7% | -0.5% | -5.3% |
| | 2061-2080 | -10.7% | -10.0% | -1.9% | -2.5% | -5.3% | -8.9% |
| | 2081-2100 | -8.2% | -4.5% | -1.6% | -1.7% | -2.4% | -11.3% |
| Akdeniz Bölgesi | 1971-2000 | 660.9 mm | | | | | |
| | 2021-2040 | -6.3% | -11.8% | -3.0% | -4.0% | -12.2% | -6.8% |
| | 2041-2060 | -5.6% | -10.7% | 1.5% | -4.1% | -13.1% | -11.5% |
| | 2061-2080 | -14.1% | -19.0% | -4.3% | -12.0% | -18.5% | -5.5% |
| | 2081-2100 | -14.6% | -11.6% | -8.0% | -10.5% | -12.6% | -13.0% |
| Doğu Anadolu Bölgesi | 1971-2000 | 609.4 mm | | | | | |
| | 2021-2040 | -6.1% | -2.5% | 2.8% | -5.1% | -3.1% | -1.8% |
| | 2041-2060 | -7.2% | -1.0% | 3.2% | -4.9% | -3.7% | -9.1% |
| | 2061-2080 | -1.1% | -4.8% | -0.8% | -5.9% | -7.5% | -3.1% |
| | 2081-2100 | -4.3% | -4.3% | -1.2% | -7.6% | -7.0% | -2.8% |





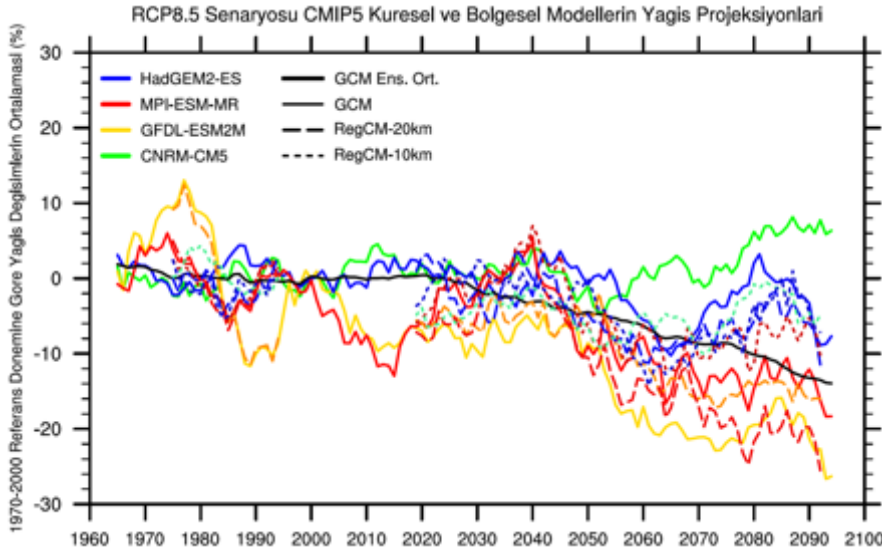
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| Güneydoğu Anadolu Bölgesi | 1971-2000 | 566.3 mm | | | | | |
|---------------------------|-----------|----------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 2021-2040 | -14.3% | -10.1% | 3.9% | -14.8% | -7.9% | -5.6% |
| 2041-2060 | -13.3% | -3.4% | 4.2% | -14.6% | -6.8% | -21.6% | |
| 2061-2080 | -11.6% | -15.6% | -0.6% | -18.6% | -16.0% | -7.9% | |
| 2081-2100 | -11.8% | -6.4% | -3.8% | -22.2% | -14.9% | -9.6% | |

RCP8.5 senaryosu sonuçları incelendiğinde ise, GCM ortalaması 2100'e doğru %15'lere varan bir azalmaya işaret etmektedir. CNRM modeli diğer modellere göre en ıslak sonuçları verirken, GFDL modeli ise en kurak koşulları önermektedir. 10 km çözünürlükte koşturulan MPI modeli küresel iklim modellerinin ensemble ortalamalarını daha iyi takip etmektedir.

Tablo 5.9 ile RCP8.5 senaryosu için dönemlere göre yağış değişimlerinin sayısal değerleri verilmiştir. Tabloya göre RCP4.5 senaryosunda da olduğu gibi çözünürlük yükseldikçe yağışlarda pozitif yanlılık görülmektedir ve yağış noksanlıkları düşük çözünürlükte daha fazladır. Projeksiyon dönemindeki toplam yağış değişimleri incelendiğinde, son 20 yılda 10 km çözünürlük için HadGEM %6, MPI %9 ve CNRM ise %3'e varan bir azalma öngörürken, 20 km çözünürlük için HadGEM %8, MPI %23 ve GFDL %16'lara varan bir azalma vermektedir.



Şekil 5.24 Küresel ve Bölgesel Modellere göre RCP8.5 Senaryosu için Yağış Değişimi

Tablo 5.9 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin RCP8.5 Senaryosu Toplam Yağış Değişimleri

| Periyot | Gözlem | 10 km | | | 20 km | | |
|-----------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5.1 | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| 1971-2000 | 595.2 mm | 591.6 | 591.6 | 591.6 | 591.8 | 591.8 | 591.8 |
| 2021-2040 | | 1.6% | -0.5% | -4.8% | -0.8% | -3.0% | -3.5% |
| 2041-2060 | | -4.8% | -2.1% | -5.6% | -5.7% | -8.4% | -7.6% |
| 2061-2080 | | -9.8% | -10.1% | -6.2% | -7.0% | -17.8% | -14.7% |
| 2081-2100 | | -5.5% | -8.7% | -3.2% | -8.1% | -23.3% | -15.6% |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Yanlılığı düzeltilmiş bölgesel iklim modellerinin yedi coğrafi bölge için referans dönemi toplam yağış ortalamaları ve RCP8.5 senaryosuna göre projeksiyon dönemindeki öngörülen ortalama toplam yağış değişimleri Tablo 5.10 ile verilmiştir.

Model sonuçları değerlendirildiğinde, genellikle tüm bölgeler için tüm modeller yağışlarda azalma öngörmektedir. Düşük çözünürlüklü model sonuçları yağışta daha fazla azalmaya işaret etmektedir. Bu duruma istisna olarak, HadGEM modeli her iki çözünürlük için Marmara Bölgesi'nde artış, Karadeniz Bölgesi'nde yüksek çözünürlükte artış ve düşük çözünürlükte azalış vermektedir. MPI modeli yüksek çözünürlükte Karadeniz Bölgesi için tüm dönemlerde artış ve Marmara Bölgesi için de ilk iki periyotta çok az da olsa bir artış önermektedir. HadGEM modeli Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde 2021-2040 periyodu için artış, MPI modeli yüksek çözünürlükte Doğu Anadolu Bölgesi için 2021-2040 ve 2041-2060 periyotları için artış göstermektedir.

RCP8.5 senaryosuna göre 10 km çözünürlükteki model sonuçları yüzyıl sonuna doğru toplam yağışta Doğu Anadolu Bölgesi'nde %4, İç Anadolu Bölgesi'nde %8, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde %11, Ege Bölgesi'nde %22 ve Akdeniz Bölgesi'nde ise %26'lara varan bir azalma; Karadeniz Bölgesi'nde ise %8'lere varan bir artma vermektedir. 20 km çözünürlükteki sonuçlara bakıldığında ise, daha önce belirtildiği gibi azalma oranları 10 km'ye göre genellikle daha yüksektir. Buna göre, Karadeniz Bölgesi'nde %15, Doğu Anadolu Bölgesi'nde %16, Marmara ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde yaklaşık %23, İç Anadolu Bölgesi'nde %24, Ege Bölgesi'nde %32 ve Akdeniz Bölgesi'nde ise %37'lere varan bir yağış eksikliği göstermektedir.

Tablo 5.10 Düzeltilmiş Bölgesel İklim Modellerinin Coğrafi Bölgelere göre RCP8.5 Senaryosu Toplam Yağış Değişimleri

| Bölge | Periyot | 10 km | | | 20 km | | |
|--------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5.1 | HADGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| Marmara Bölgesi | 1971-2000 | 664.2 mm | | | | | |
| | 2021-2040 | 7.3% | 0.1% | -3.8% | 2.6% | 6.7% | -6.8% |
| | 2041-2060 | -1.0% | 1.1% | 0.2% | 3.5% | -1.5% | -3.7% |
| | 2061-2080 | 3.1% | -3.5% | 7.0% | 9.5% | -8.5% | -10.1% |
| | 2081-2100 | 2.8% | -7.6% | 3.8% | -0.2% | -22.5% | -10.0% |
| Karadeniz Bölgesi | 1971-2000 | 650.7 mm | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.8% | 4.5% | 1.2% | -0.9% | 1.3% | -0.5% |
| | 2041-2060 | 2.0% | 3.1% | 1.2% | 0.2% | -3.7% | 0.4% |
| | 2061-2080 | 3.6% | 4.2% | 1.7% | 0.9% | -8.8% | -6.5% |
| | 2081-2100 | 1.8% | 7.6% | 3.9% | -2.5% | -14.6% | -5.9% |
| İç Anadolu Bölgesi | 1971-2000 | 435.2 mm | | | | | |
| | 2021-2040 | 1.8% | 0.7% | -8.1% | -1.6% | -5.2% | -5.0% |
| | 2041-2060 | -4.5% | -5.0% | -7.6% | -5.2% | -11.5% | -7.4% |
| | 2061-2080 | -10.2% | -10.0% | -10.1% | -10.2% | -17.1% | -17.9% |
| | 2081-2100 | -7.0% | -8.2% | -6.4% | -10.9% | -24.3% | -21.1% |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| | 1971-2000 | 669.2 mm | | | | | |
|--|----------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Ege Bölgesi | 2021-2040 | 6.2% | -4.8% | -8.5% | 1.8% | -3.0% |
| | 2041-2060 | -8.5% | -5.1% | -6.5% | -2.7% | -8.5% | -8.0% |
| | 2061-2080 | -13.6% | -19.5% | -9.3% | -5.7% | -19.2% | -19.2% |
| | 2081-2100 | -10.9% | -22.0% | -5.8% | -8.5% | -31.9% | -21.8% |
| | 1971-2000 | 660.9 mm | | | | | |
| | Akdeniz Bölgesi | 2021-2040 | -1.0% | -7.1% | -9.9% | -3.3% | -10.4% |
| | 2041-2060 | -10.9% | -10.3% | -11.4% | -11.6% | -16.4% | -13.7% |
| | 2061-2080 | -20.9% | -24.2% | -15.1% | -15.7% | -28.9% | -20.7% |
| | 2081-2100 | -16.4% | -25.7% | -10.8% | -13.3% | -37.2% | -25.3% |
| | 1971-2000 | 609.4 mm | | | | | |
| | Doğu Anadolu Bölgesi | 2021-2040 | 1.0% | 1.5% | -1.6% | 0.5% | -2.0% |
| | 2041-2060 | -2.7% | 1.1% | -4.8% | -6.4% | -6.2% | -8.6% |
| | 2061-2080 | -9.9% | -8.7% | -4.2% | -8.9% | -15.6% | -11.3% |
| | 2081-2100 | 0.3% | -4.0% | -0.7% | -7.3% | -16.4% | -10.7% |
| | 1971-2000 | 566.3 mm | | | | | |
| | Güneydoğu Anadolu Bölgesi | 2021-2040 | -4.8% | -1.2% | -7.5% | -8.2% | -7.2% |
| | 2041-2060 | -11.6% | -0.9% | -14.3% | -22.3% | -9.5% | -15.6% |
| | 2061-2080 | -23.5% | -17.9% | -13.8% | -23.8% | -25.2% | -26.3% |
| | 2081-2100 | -7.9% | -11.0% | -8.6% | -20.0% | -23.2% | -23.4% |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

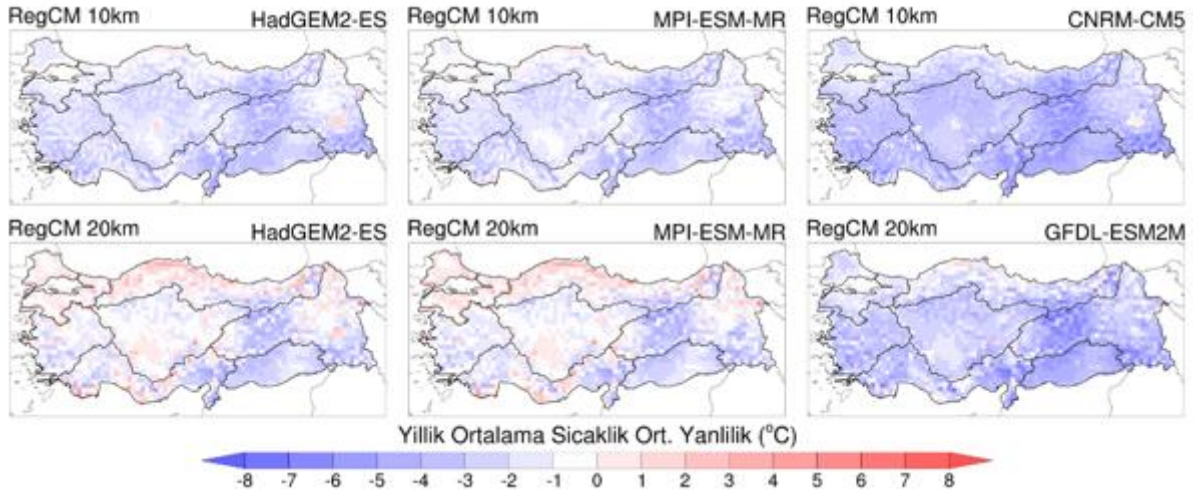
6 MODELLERİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİ

6.1 Ortalama Sıcaklık

6.1.1 Ortalama Yanlılık

Bölgesel iklim modellerinin yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin gözlemlerden farkı Şekil 6.1 ile verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, yıllık ortalama sıcaklıklar bölgesel iklim modeli tarafından gözleme göre daha düşük tahmin edilmiştir. Yüksek çözünürlüklü modeller Türkiye ölçeğinde yaklaşık 2°C daha soğuk yıllık ortalama sıcaklıklar önerirken bu fark CNRM modeli için -3,2°C’dir. 20 km çözünürlüklü MPI-ESM-MR ve HadGEM2-ES modelleri Türkiye’yi 1°C daha soğuk tanımlamışken GFDL kuplesi -3,1°C gözlem değerinin altındadır.

20 km çözünürlüklü modellerde GFDL-ESM2M haricinde fark -1°C civarındadır. GFDL-ESM2M modelinde değerler gözleme göre -3,1°C daha düşüktür. En büyük farklar Doğu Karadeniz’in iç kısımları ile Güneydoğu Toroslar arasında kalan bölgededir. Burada 5°C’yi aşan mevsimlik farklar bulunmaktadır.



Şekil 6.1 Bölgesel İklim Modellerinin Gözleme göre Yıllık Ortalama Sıcaklık Farkı Dağılımı

Bölgesel iklim modeli mevsimlik ortalama sıcaklık değerlerinin gözlemlerden farkı Şekil 6.2 ile verilmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, hataların dağılımı kış aylarında yıllık sonuçlardakine benzerdir. Ancak farklar daha düşüktür. CNRM-CM5 modeli -2,6°C farkla en soğuk sonuçları üretmiştir. Yüksek çözünürlüklü modeller yine daha soğuk sonuçlar verirken 20 km çözünürlüklü MPI-ESM-MR modeli Türkiye genelinde -0,6°C farkla en yakın sonuçları üretmiştir ancak hataların dağılımı homojen değildir. 10 km çözünürlüklü MPI modeli alansal olarak daha tutarlı fakat daha soğuk bir iklim ortaya koymaktadır, gözlemlerle farkı Türkiye için ortalama -1,8°C’dir. GFDL 20 km çözünürlük modeller içerisinde -2°C farkla en soğuk model olmuştur. Doğu Anadolu Bölgesi’nin kuzey kısımlarında modeller gözlemlere göre yaklaşık 2°C daha yüksek sonuçlar önermektedir. Akdeniz Bölgesi’nin batı kısımları, Çukurova



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

ve Nur Dağları'nın batı yamaçları, Hakkâri ve Şırnak dolayları negatif farkların arttığı kısımlardır.

İlkbahar mevsiminde hataların dağılımı kış mevsimine benzer niteliktedir ancak tüm modellerin kış mevsimine göre hatalarını $\sim 1^{\circ}\text{C}$ arttırdığı görülmektedir. Doğu Karadeniz Dağları ve Güneydoğu Toroslar arasında kalan bölge diğer mevsimlerdeki benzer şekilde daha soğuk sonuçların görüldüğü alandır.

10 km çözünürlüklü modeller içinde MPI ortalamada $-2,4^{\circ}\text{C}$ fark ile gözleme en yakın sonuçları verirken CNRM de farklar -4°C 'ye ulaşmaktadır. HadGEM modeli diğer mevsimlerden farklı olarak pozitif yanlılıklar ortaya koymaktadır. Orta Karadeniz, İç Anadolu ve Marmara'da yaklaşık 2,5 derece pozitif yanlılık bulunmaktadır.

Yaz aylarında HadGEM iklim modeli Marmara, Orta Karadeniz ve İç Anadolu'da pozitif yanlılık ortaya koymaktadır. Belirtilen bölgelerde pozitif yanlılık yer yer 3°C 'yi aşmaktadır. MPI modellerinde bir farklılaşma göze çarpmaktadır, 20 km çözünürlüklü model 10 km çözünürlüklü konfigürasyona göre Batı Karadeniz ve Marmara'da $1-2^{\circ}\text{C}$ daha sıcaktır.

Sonbahar aylarında yaz aylarındaki pozitif ayrışmanın aksine daha soğuk sonuçlar ortaya çıkmıştır. Hataların dağılımının benzer olması onların sistematik olduğunu ve yanlılık düzeltmesiyle gerçekçi sonuçlara ulaşabileceğini göstermektedir. Geçiş mevsimlerinde model başarımının düştüğü görülmektedir.

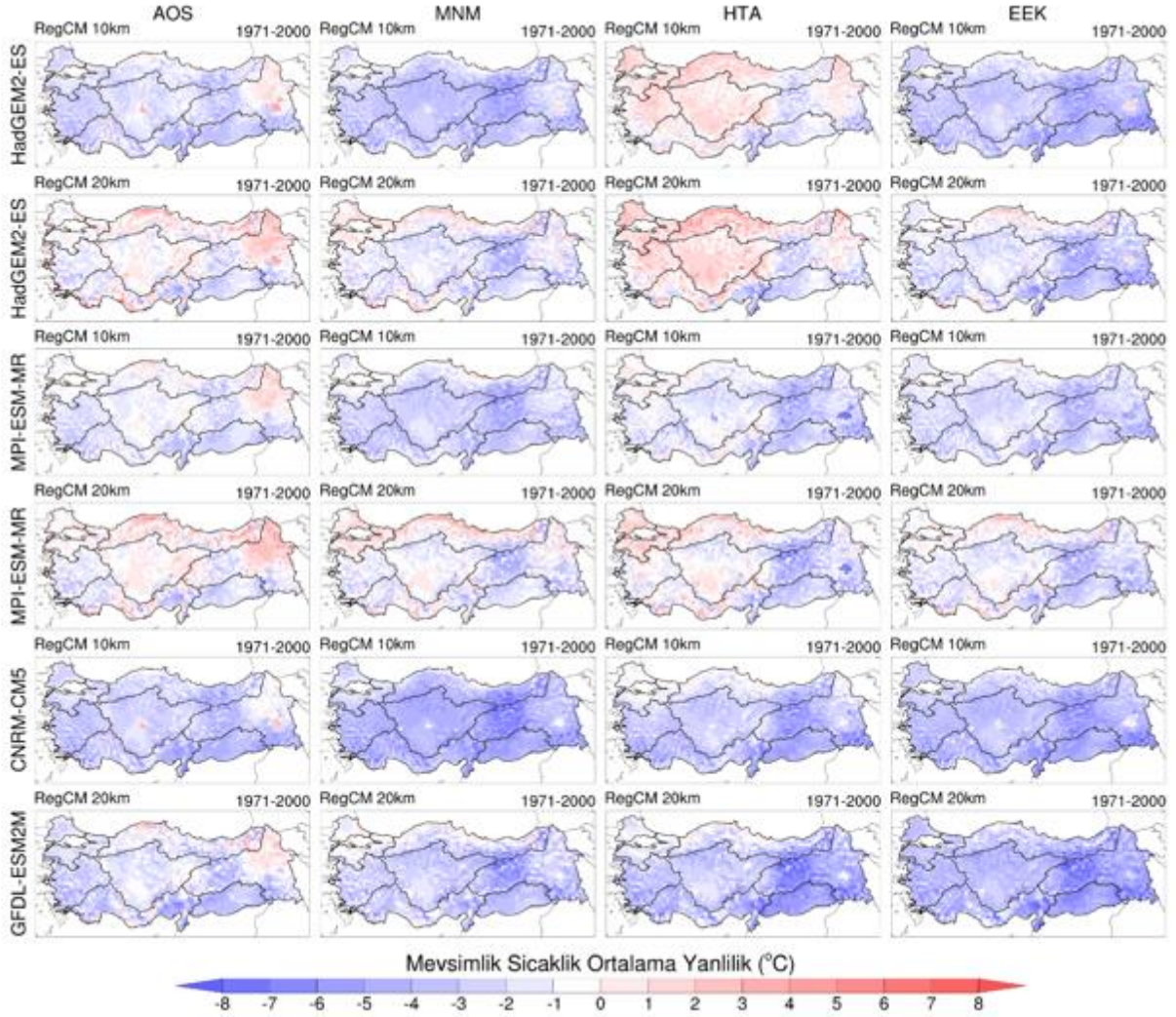
Çözünürlük arttıkça ilerleyen bölümlerde yağışların da iklim modelleri tarafından daha fazla üretildiği görülecektir. Çalışma alanı konfigürasyonu ve başlangıç sınır koşulları benzer modellerin çözünürlük etkisiyle farklı sonuçlar vermesi artan yağışlar paralel artan buharlaşma terleme süreçlerine harcanan enerjiyle açıklanabilir. Farklar coğrafi, dönemsel ve model bazında Tablo 6.1 ile verilmiştir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 6.2 Bölgesel İklim Modellerin Gözleme göre Mevsimlik Ortalama Sıcaklık Farkı Dağılımı

Tablo 6.1 Bölgesel İklim Modellerinin Türkiye Geneli ve Coğrafi Bölgelere göre Mevsimlik Ortalama Sıcaklık Değişimleri

| Bölge | Dönem | 10 km | | | 20 km | | |
|-----------------|--------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|
| | | HadGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5 | HadGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| Türkiye | YILLIK | -1.9 | -1.8 | -3.2 | -1 | -1.1 | -3.1 |
| | AOŞ | -1.8 | -1.1 | -2.6 | -0.7 | -0.6 | -2 |
| | MNM | -2.9 | -2.4 | -4 | -1.4 | -1.1 | -2.7 |
| | HTA | 0 | -1.7 | -2.8 | 0.1 | -1.1 | -3.5 |
| | EEK | -3 | -2.1 | -3.5 | -2.1 | -1.5 | -4.1 |
| Marmara Bölgesi | YILLIK | -1 | -0.7 | -1.8 | -1.1 | -1.2 | -3.2 |
| | AOŞ | -1.6 | -0.5 | -1.9 | -1 | -1.4 | -2.8 |
| | MNM | -1.5 | -0.8 | -2.1 | -1.2 | -1.4 | -2.6 |
| | HTA | 1 | -0.2 | -0.9 | -0.1 | -0.7 | -3.7 |
| | EEK | -2.1 | -1.2 | -2.4 | -1.9 | -1.4 | -3.9 |



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Karadeniz Bölgesi | YILLIK | -1.6 | -1.5 | -2.7 | -1.5 | -1.3 | -3.4 |
| | AOŞ | -1.6 | -0.8 | -2.3 | -1.1 | -1.2 | -2.7 |
| | MNM | -2.7 | -2 | -3.7 | -1.2 | -1.1 | -2.7 |
| | HTA | 0.4 | -1.7 | -1.9 | -1.2 | -1.2 | -3.9 |
| | EEK | -2.4 | -1.7 | -2.9 | -2.4 | -1.6 | -4.2 |
| İç Anadolu Bölgesi | YILLIK | -1.7 | -1.7 | -3.1 | -0.6 | -0.7 | -2.6 |
| | AOŞ | -1.6 | -0.8 | -2.3 | -0.4 | -0.2 | -1.6 |
| | MNM | -3.3 | -2.6 | -4.3 | -1.4 | -0.9 | -2.6 |
| | HTA | 0.6 | -1.4 | -2.6 | 0.9 | -0.5 | -2.8 |
| | EEK | -2.7 | -1.9 | -3.3 | -1.6 | -1.1 | -3.6 |
| Ege Bölgesi | YILLIK | -1.9 | -1.8 | -3.3 | -0.3 | -0.4 | -2.4 |
| | AOŞ | -2.4 | -1.7 | -2.9 | -0.6 | -0.6 | -2.1 |
| | MNM | -2.8 | -2.4 | -3.9 | -0.6 | -0.4 | -1.8 |
| | HTA | 0.5 | -1.2 | -2.9 | 1.2 | 0.2 | -2.4 |
| | EEK | -2.9 | -1.9 | -3.5 | -1.4 | -0.9 | -3.4 |
| Akdeniz Bölgesi | YILLIK | -2.2 | -2 | -3.6 | -0.1 | -0.2 | -2.1 |
| | AOŞ | -2.3 | -1.7 | -3 | 0 | 0.3 | -1.2 |
| | MNM | -2.9 | -2.6 | -4.1 | -0.8 | -0.2 | -2 |
| | HTA | -0.5 | -1.5 | -3.4 | 1.3 | -0.1 | -1.9 |
| | EEK | -3.2 | -2.1 | -3.8 | -1 | -0.6 | -3.1 |
| Doğu Anadolu Bölgesi | YILLIK | -2.2 | -2.3 | -3.6 | -2.1 | -2.1 | -4.1 |
| | AOŞ | -1.3 | -0.7 | -2.3 | -1.3 | -1.2 | -2.6 |
| | MNM | -3.1 | -2.9 | -4.5 | -2.2 | -2 | -3.6 |
| | HTA | -0.7 | -2.8 | -3.5 | -1.3 | -2.7 | -5 |
| | EEK | -3.7 | -2.8 | -4.2 | -3.4 | -2.7 | -5.2 |
| Güneydoğu Anadolu Bölgesi | YILLIK | -2.8 | -2.6 | -4.4 | -1.9 | -2.1 | -4.1 |
| | AOŞ | -2.8 | -2.2 | -3.8 | -0.4 | -0.2 | -1.8 |
| | MNM | -3 | -2.8 | -4.7 | -2.5 | -2.3 | -4 |
| | HTA | -1.4 | -2.6 | -4.4 | -1.2 | -3.2 | -5.2 |
| | EEK | -4 | -2.6 | -4.6 | -3.4 | -2.8 | -5.5 |

6.1.2 Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (HKOK)

Ortalama yanlılık analizinde pozitif ve negatif hatalar birbirini nötrleyebileceğinden hataların mutlak değerini görmek için hata karelerinin ortalamasının karekökü analizleri yapılmıştır. Yıllık ve mevsimlik sonuçlar Şekil 6.3 ve Şekil 6.4 ile haritalanmıştır.

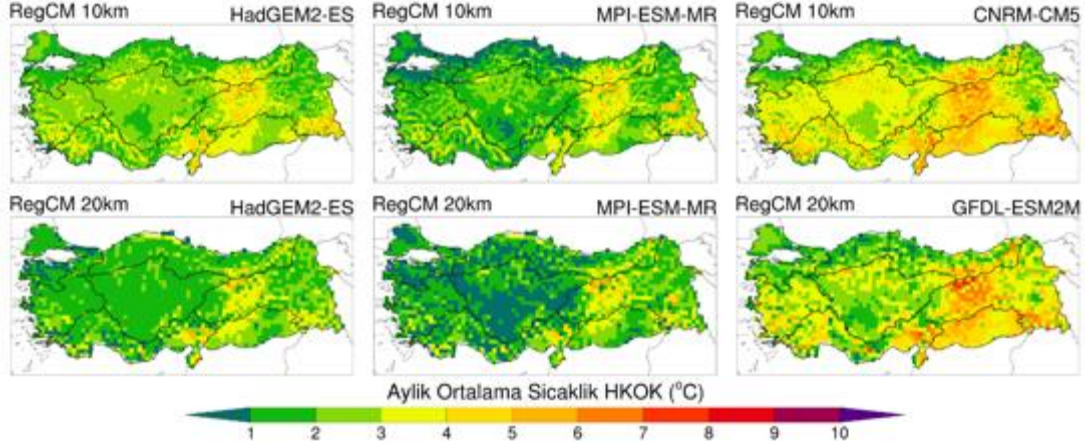
HKOK değerlerine göre modellerin başarımı test edildiğinde MPI-ESM-MR modelinin en düşük hataya sahip olduğu görülmektedir. 20 km’lik bölgesel iklim modeli ise 10 km çözünürlüklü konfigürasyonlu modele göre daha da düşük hata üretmiştir. CNRM-CM5 ve GFDL-ESM2M modellerinde hatalar çok daha büyüktür. 20 km’lik HadGEM ve MPI modellerinde hataların mevsimlere göre fazla değişkenlik göstermiyor oluşu da modellerin iklimi temsil yeteneğinin daha yüksek olduğuna işaret etmektedir.



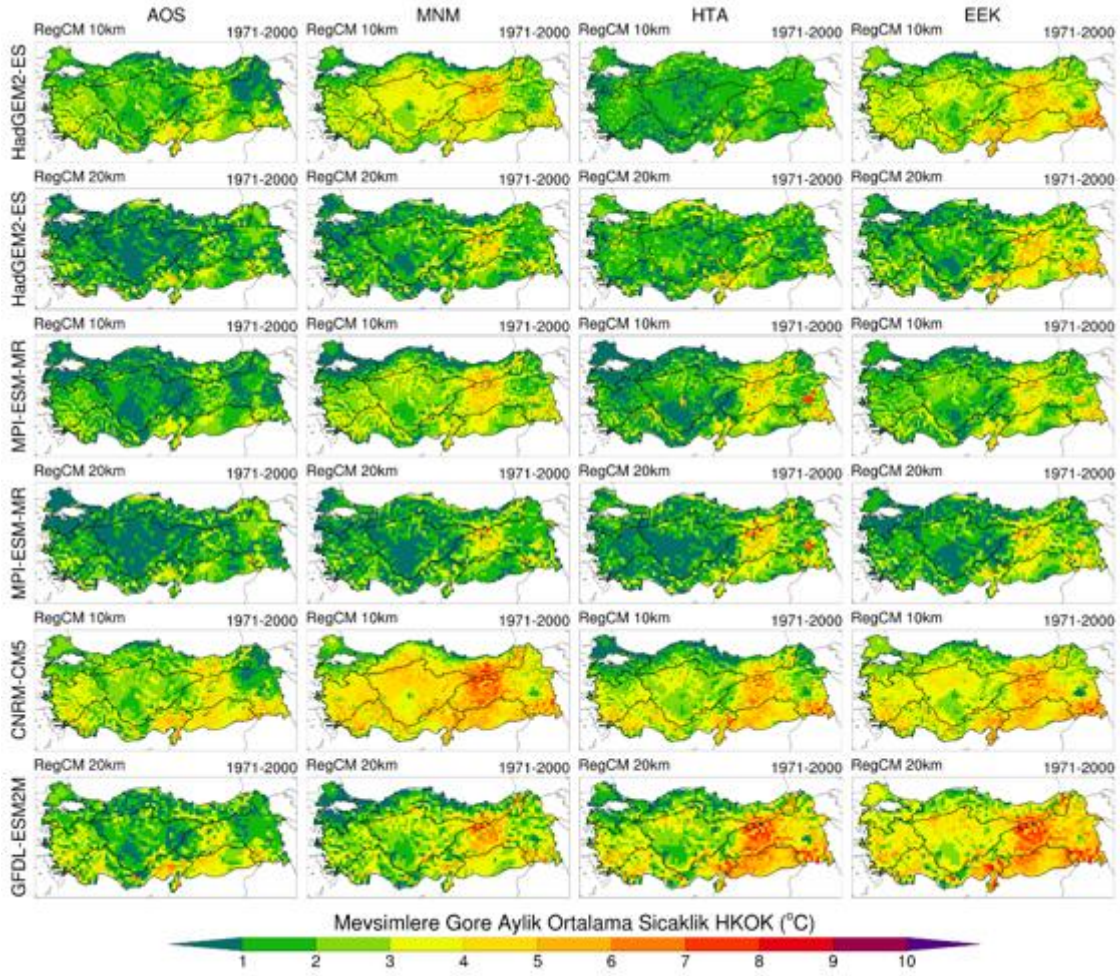


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 6.3 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Ortalama Sıcaklıklarının Gözlemlerden Farklarının Karelerinin Ortalamasının Karekökü



Şekil 6.4 Bölgesel İklim Modellerinin Mevsimlere göre Aylık Ortalama Sıcaklıklarının Gözlemlerden Farklarının Karelerinin Ortalamasının Karekökü

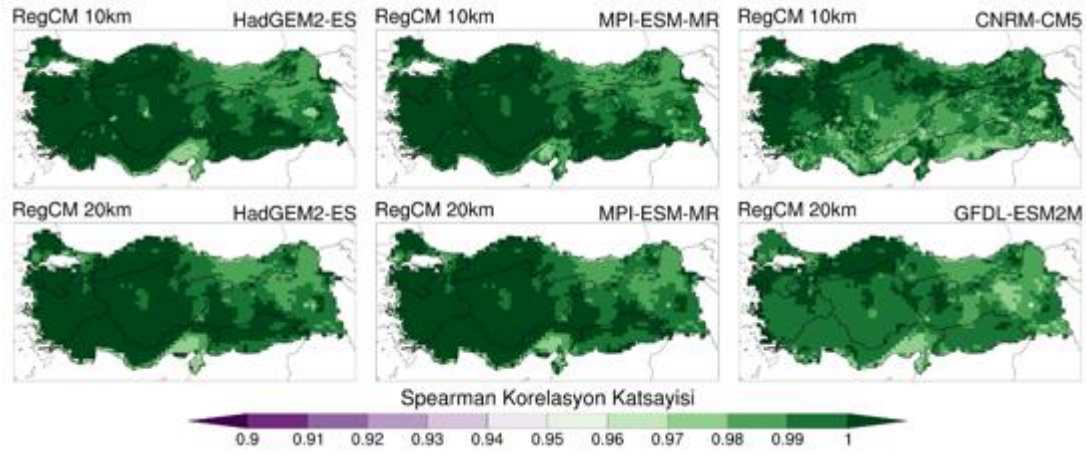


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

6.1.3 Korelasyon

Mevsimsel salınımları inceleyebilmek için her bir grid noktasına ait uzun yıllar ortalama aylık değerlerin model ve gözlem arasındaki korelasyonları Spearman metoduyla hesaplanmıştır. Spearman metodunda değerin kendisi yerine sıralaması kullanılır, Pearson metodundakinin aksine normal dağılıma uyması beklenmez bu nedenle analizler bu metotla yapılmıştır. MPI modeli en yüksek skorları üretmiştir. Tüm modellerin sıcaklık parametresi için yıl içi salınımı benzeştirdiği görölmektedir. Sonuçlar Şekil 6.5 ile verilmiştir. Sıcaklığın mevsimsel değişimlerinin modeller tarafından oldukça iyi benzeştirildiği görölmektedir tüm modellerde 1’e yakın sonuçlar görölmektedir. Çukurova, Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz başarımın nispeten düşük olduğu bölgelerdir.



Şekil 6.5 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Ortalama Sıcaklıklarının Gözlemlerle Korelasyonu (Spearman)

6.1.4 Taylor Metrikleri

Ortalama sıcaklık için hesaplanan Taylor metrikleri Tablo 6.2, buna göre hazırlanan Taylor diyagramı ise Şekil 6.6 ile sunulmuştur. Değerler birbirine çok yakın olduğundan olağan Taylor diyagramı farkları görsel olarak ayırıştırmayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle değerler tablo olarak verilmiştir. Yanlılık değerlerine rağmen modellerin patern korelasyonları incelendiğinde 10 km çözünürlük modellerin 20 km çözünürlüklü modellere göre mekânsal değişkenliği daha iyi açıkladığı görölmüştür. Bu analizler ışığında MPI-ESM-MR 10 km modelinin negatif yanlılığa rağmen sıcaklığı temsil etme açısından en başarılı model olduğu değerlendirilmiştir.

Yıllık ortalama sıcaklıkların Taylor diyagramında korelasyon değerleri saat yönünde artarken, normalize standart sapmalar x ve y eksenlerinde 1 değerine en yakın sonuçlar tercih edilir. X ekseninde 1 değerinin y = 0 noktasıyla kesiştiği yer mükemmel sonuç olarak değerlendirilir.

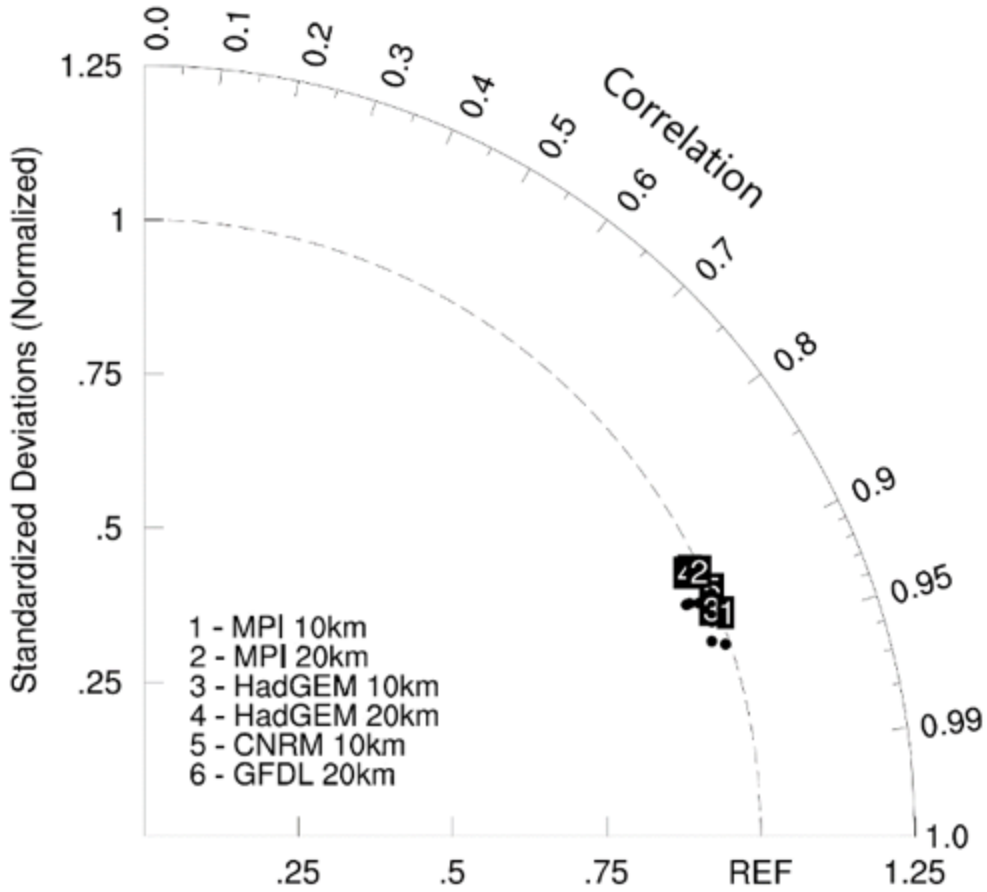


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Tablo 6.2 Bölgesel İklim Modelleri Ortalama Sıcaklıkları için Hesaplanan Taylor Metrikleri

| Model | Patern Korelasyonu | | | | | Standart Sapma (Normalize) | | | | | |
|-------|--------------------|------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | Yıllık | AOŞ | MNM | HTA | EEK | Yıllık | AOŞ | MNM | HTA | EEK | |
| 10 km | HadGEM2-ES | 0.95 | 0.95 | 0.94 | 0.92 | 0.93 | 0.98 | 0.94 | 1.06 | 0.9 | 1 |
| | MPI-ESM-MR | 0.95 | 0.96 | 0.94 | 0.92 | 0.94 | 1 | 0.93 | 1.04 | 1 | 1.01 |
| | CNRM-CM5 | 0.93 | 0.95 | 0.93 | 0.91 | 0.93 | 0.99 | 0.96 | 1.06 | 0.9 | 0.99 |
| 20 km | HadGEM2-ES | 0.91 | 0.93 | 0.9 | 0.87 | 0.89 | 0.94 | 0.92 | 1.03 | 0.82 | 0.99 |
| | MPI-ESM-MR | 0.91 | 0.93 | 0.9 | 0.87 | 0.9 | 0.96 | 0.88 | 1 | 0.96 | 0.98 |
| | GFDL-ESM2M | 0.91 | 0.94 | 0.9 | 0.86 | 0.9 | 0.95 | 0.85 | 1.03 | 0.9 | 0.96 |



Şekil 6.6 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Ortalama Sıcaklıkları için Taylor Diyagramı



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

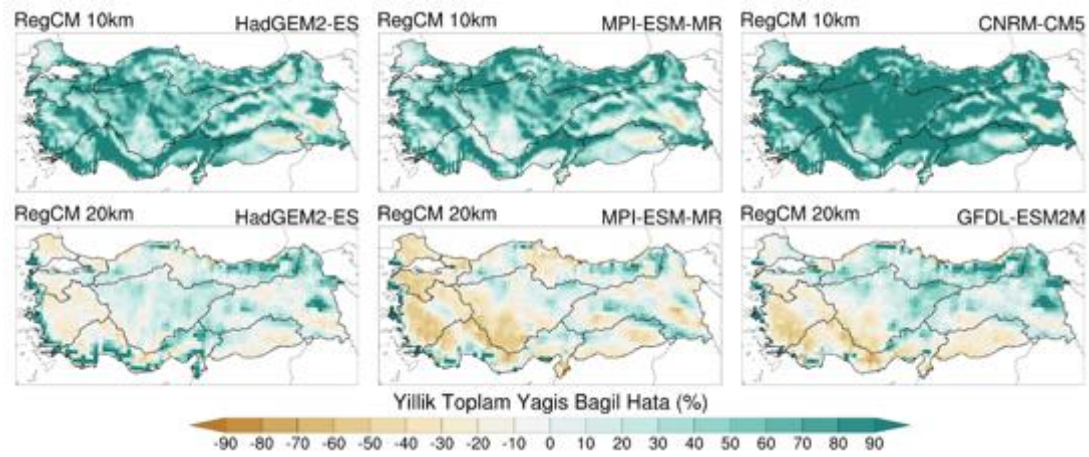
Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

6.2 Toplam Yağış

6.2.1 Bağıl Hata

Yağış değişkeni için model sonuçları ve gözlemler kıyaslanırken farklılıklar daha anlamlı olacağı için yüzde (%) olarak ifade edilmiştir. Yıllık ve mevsimlik analizler Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 ile harita olarak verilmiştir. Türkiye geneli ve coğrafi bölgeler bazında yanlılık değerleri ise Tablo 6.3 ile sunulmuştur.

Yağış değerlendirmelerinde farklar mutlak olarak değil bağıl olarak verilmiştir. Mutlak değerler bu parametre için yeterince açıklayıcı değildir. Örneğin İç Anadolu Bölgesi için 100 mm fark yıllık toplam yağışın neredeyse dörtte biri iken Doğu Karadeniz için bu fark %10 dolaylarındadır. 10 km çözünürlüklü model konfigürasyonunda yaz ayları haricinde pozitif yanlılık görülürken, 20 km çözünürlüklü konfigürasyonda hem negatif hem de pozitif yanlılıklar mevcuttur. MPI-ESM-MR RegCM 10 km kuplesinde yanlılıkların uzamsal dağılımının da mevsimsel olarak da daha tutarlı olduğu tespit edilmiştir.

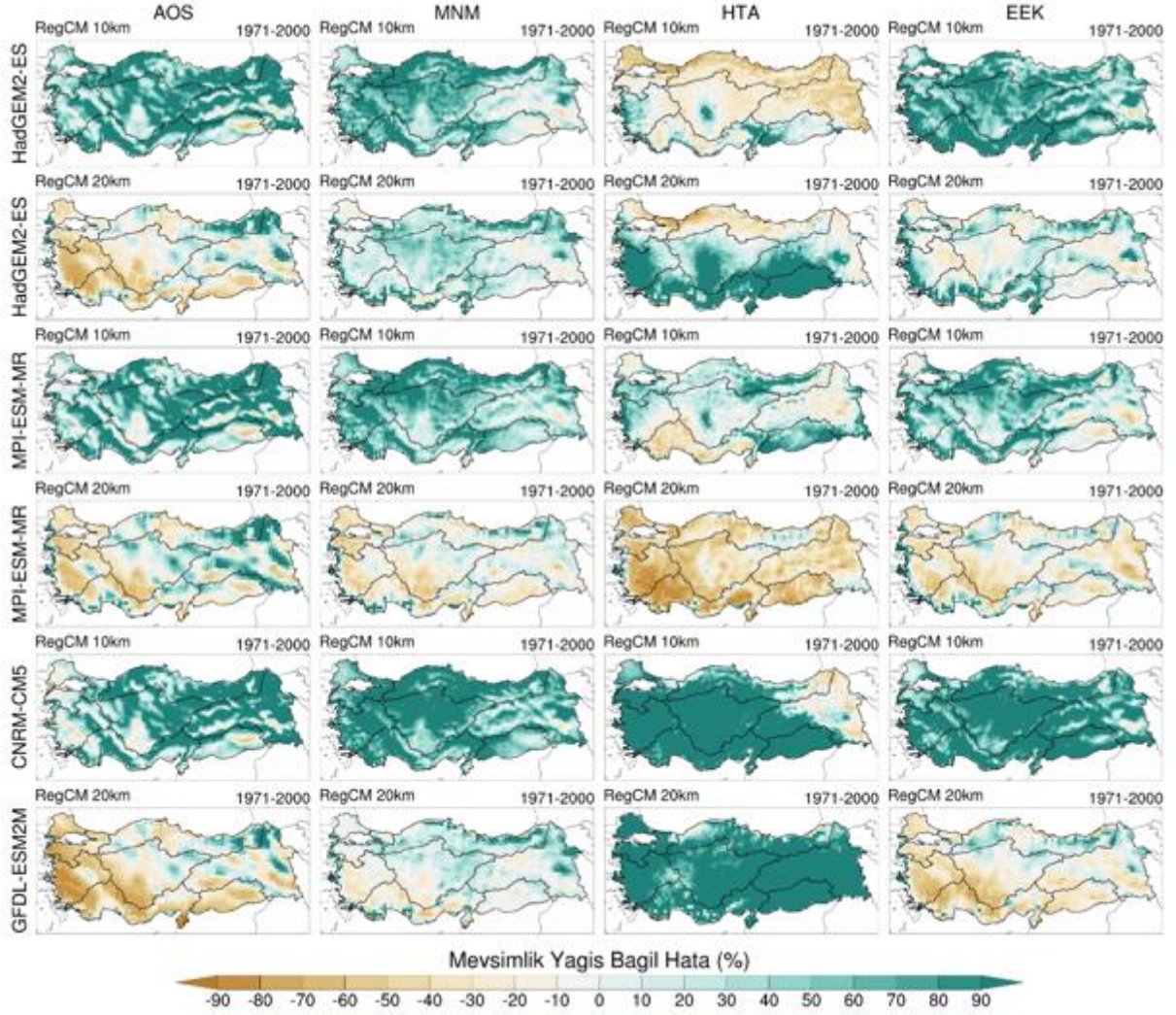


Şekil 6.7 Bölgesel İklim Modellerinin Gözleme göre Yüzdesel Yıllık Toplam Yağış Farkı Dağılımı



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 6.8 Bölgesel İklim Modellerinin Gözleme göre Yüzdese Mevsimlik Toplam Yağış Farkı Dağılımı

Tablo 6.3 Bölgesel İklim Modellerinin Türkiye Geneli ve Coğrafi Bölgelere göre Mevsimlik Toplam Yağış Değişimleri

| Bölge | Dönem | 10 km | | | 20 km | | |
|-----------------|--------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|
| | | HadGEM2-ES | MPI-ESM-MR | CNRM-CM5 | HadGEM2-ES | MPI-ESM-MR | GFDL-ESM2M |
| Türkiye | YILLIK | 59.5 | 55.1 | 86.0 | 10.3 | -7.7 | 1.6 |
| | AOŞ | 74.8 | 69.9 | 71.3 | -16.9 | 0.3 | -31.4 |
| | MNM | 53.2 | 56.8 | 84.2 | 22.6 | -7.7 | 6.1 |
| | HTA | -26.4 | 17.2 | 96.9 | 42 | -33.7 | 138.6 |
| | EEK | 85.5 | 46.2 | 108.1 | 23.1 | -8.5 | -17 |
| Marmara Bölgesi | YILLIK | 48.7 | 41.4 | 59.2 | 14.7 | -17.8 | -22.5 |
| | AOŞ | 52.1 | 30.4 | 24 | -53.1 | -26.1 | -75.3 |
| | MNM | 66.6 | 67.8 | 86.8 | 36.4 | -12.3 | -7.2 |
| | HTA | -40.2 | 18.1 | 99.8 | 92.5 | -37.6 | 123.6 |
| | EEK | 68.2 | 43.5 | 66.3 | 57.6 | -1.5 | -27 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

| Bölge | YILLIK | 61.0 | 78.4 | 99.4 | 28.0 | -4.6 | -16.9 |
|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | | AOŞ | 79 | 81.5 | 93.3 | -31.9 | -0.5 |
| Karadeniz Bölgesi | MNM | 79.8 | 81.2 | 105.2 | 36.1 | -6.7 | -4.1 |
| | HTA | -79.4 | 59.3 | 98.2 | 106.4 | -29.9 | 125.5 |
| | EEK | 69.7 | 78.2 | 102 | 82.5 | 3.3 | -30.4 |
| | YILLIK | 57.8 | 52.6 | 97.8 | 13.9 | -13.3 | 3.3 |
| İç Anadolu Bölgesi | AOŞ | 71.8 | 64.9 | 68.9 | -20.7 | -3.3 | -31.1 |
| | MNM | 58.4 | 55.2 | 90.5 | 31.5 | -10.6 | 5.2 |
| | HTA | -15.9 | 16.6 | 158.4 | 64.5 | -40.5 | 136.4 |
| | EEK | 78.9 | 49.3 | 122.8 | 10.1 | -18.1 | -24.4 |
| Ege Bölgesi | YILLIK | 64.5 | 57.5 | 79.2 | -2.1 | -22.3 | -8.9 |
| | AOŞ | 51.5 | 49 | 27.4 | -33.5 | -22.4 | -46.1 |
| | MNM | 73.7 | 77.6 | 103.3 | 20.1 | -16.8 | 0.8 |
| | HTA | 13.2 | 25.6 | 228.4 | 69 | -60.8 | 264.5 |
| Akdeniz Bölgesi | EEK | 101 | 63.2 | 117.7 | 18.7 | -15.4 | -29.6 |
| | YILLIK | 102.0 | 65.5 | 102.4 | 6.4 | -6.0 | 16.6 |
| | AOŞ | 96.6 | 79.2 | 69.2 | -0.8 | 0.7 | -7.2 |
| | MNM | 79.5 | 63 | 98.2 | 33 | 0.2 | 20.9 |
| Doğu Anadolu Bölgesi | HTA | 13.3 | -16.5 | 187.2 | -62.5 | -81.2 | 201.8 |
| | EEK | 175.4 | 65.3 | 156.3 | 10.3 | -4.7 | 3.1 |
| | YILLIK | 41.9 | 45.3 | 78.5 | 7.9 | -0.7 | 5.0 |
| | AOŞ | 86.1 | 94.5 | 112.3 | -3.5 | 19.4 | -25 |
| Güneydoğu Anadolu Bölgesi | MNM | 17.4 | 32.5 | 57.2 | 8.9 | -7.5 | 9.1 |
| | HTA | -39.6 | 4.5 | 14.7 | 36.8 | -13.9 | 124.2 |
| | EEK | 59.4 | 16.8 | 97 | 9 | -11.3 | -15.3 |
| | YILLIK | 31.8 | 26.8 | 64.4 | 7.8 | 6.1 | 19.6 |
| Güneydoğu Anadolu Bölgesi | AOŞ | 27.2 | 25.9 | 37.6 | 6.5 | 25.3 | 1 |
| | MNM | 17 | 37.6 | 58.5 | 2.4 | -4.5 | 4.1 |
| | HTA | 22.2 | 66.1 | 266.2 | 154 | -120.2 | 1034.9 |
| | EEK | 73.8 | 3.6 | 125.5 | 6.3 | -10.4 | -7.9 |

6.2.2 Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (HKOK)

Ortalama yanlılık analizinde pozitif ne negatif hatalar birbirini nötrleyebileceğinden hataların mutlak değerini görmek için hata karelerinin ortalamasının karekökü analizleri yapılmıştır. Yıllık ve mevsimlik haritalar Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 ile verilmiştir. Yağış miktarının mevsimsel ve mekânsal değişimlerine göre hatalarında arttığı görülmektedir. Genel olarak kıyı kesimler ve yüksek bölgelere hatalar büyümektedir. Gerçek dünyanın basitleştirilmiş bir ifadesi olan modellerde yanlılıklar ve sistematik hatalar olması kaçınılmaz olmakla birlikte modellerden beklenti hataların olabildiğince homojen olması ve mekânsal dağılımında önemli farklar olmamasıdır.

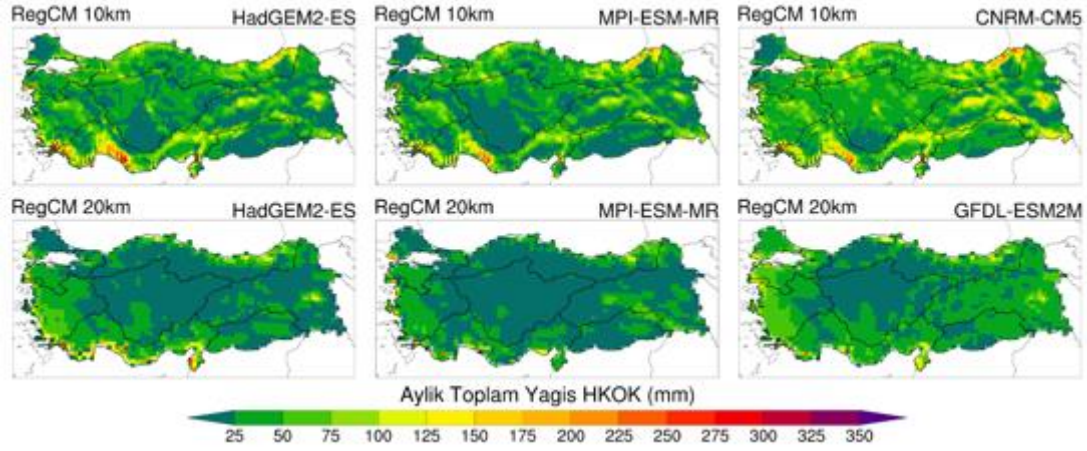
HKOK değerlerine göre modellerin başarımı test edildiğinde 20 km'lik bölgesel iklim modelleri 10 km çözünürlüklü konfigürasyonlu modele göre daha da düşük hata üretmiştir. MPI modeli ile çalıştırılan versiyonun hataları ise en düşüktür. Modellerin hata miktarı en yüksek kıs mevsiminde en düşük yaz mevsimindedir.



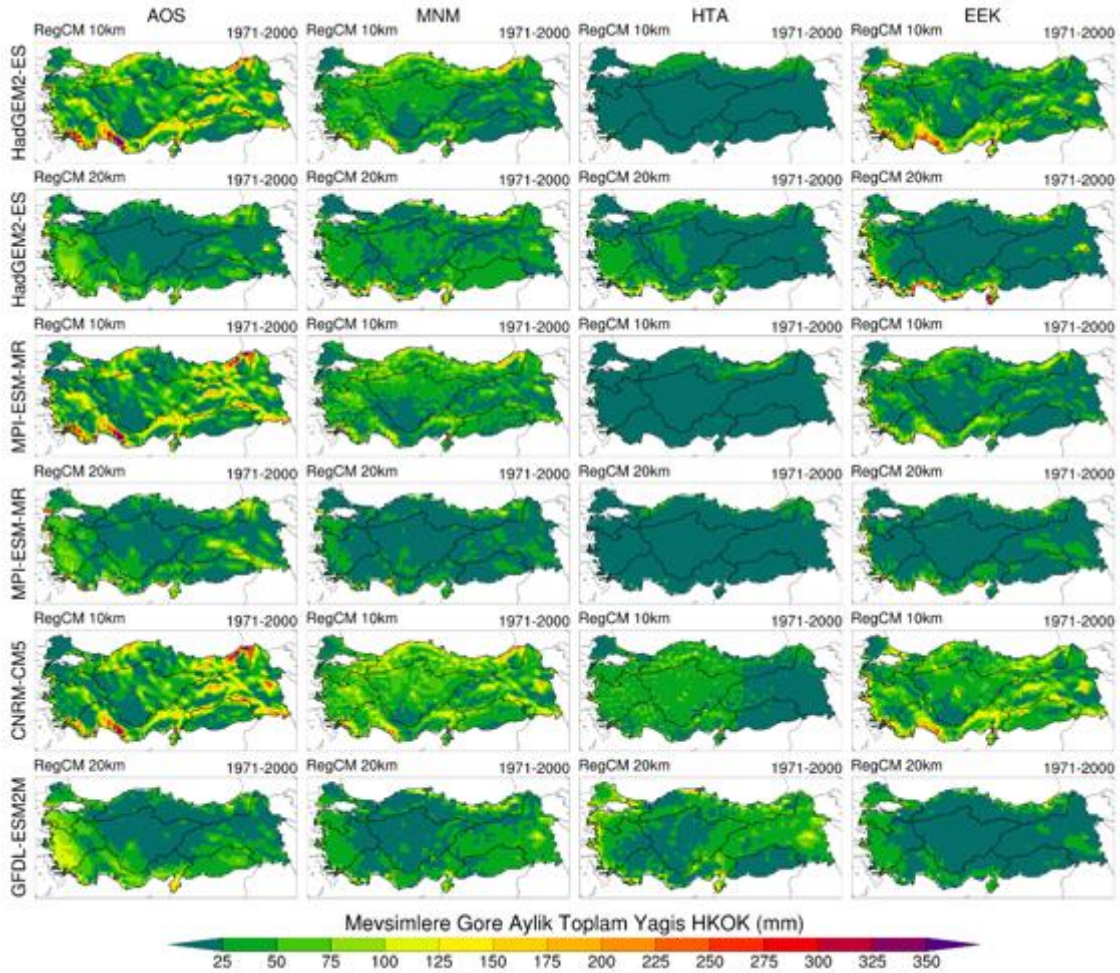


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 6.9 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Toplam Yağışlarının Gözlemlerden Farklarının Karelerinin Ortalamasının Karekökü



Şekil 6.10 Bölgesel İklim Modelleri Mevsimlik Toplam Yağışlarının Gözlemlerden Farklarının Karelerinin Ortalamasının Karekökü



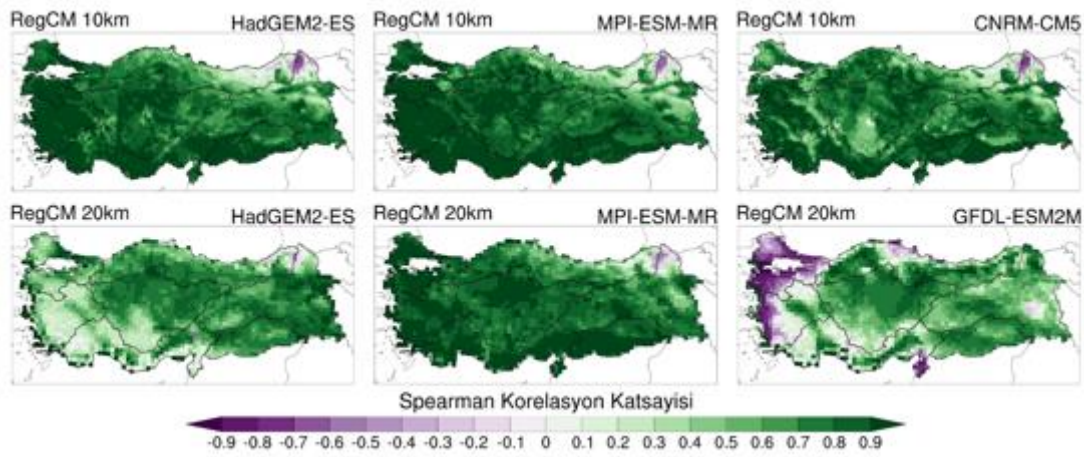
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

6.2.3 Korelasyon

Yağış rejiminin modeller tarafından gerçekçi bir şekilde temsil edilip edilmediğini görebilmek için her bir grid noktasına ait uzun yıllar ortalama aylık toplam yağış değerlerin model ve gözlem arasındaki korelasyonları Spearman metoduyla hesaplanmıştır. Spearman metoduna göre sonuçlar Şekil 6.11 ile verilmiştir.

MPI modeli genel olarak en yüksek skorları üretmiştir. 20 km çözünürlüklü HagGEM ve GFDL modelleri Türkiye’nin batı kısımlarında zayıf skorlar üretmiştir. Türkiye’nin kuzeydoğusundaki düşük skorlar gözlem ağının seyrek ve arazinin karmaşık olduğu bir yerde olduğundan gözlem verisindeki bir soruna işaret ediyor olabilir. Yüksek yanlılık değerlerine rağmen yağış rejiminin yüksek çözünürlüklü modeller tarafından daha gerçekçi bir şekilde benzeştirildiği görülmektedir.



Şekil 6.11 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Toplam Yağışlarının Gözlemlerle Korelasyonu (Spearman)

6.2.4 Taylor Metrikleri

Sıcaklık parametresinde olduğu gibi yağış parametresinde de yüksek çözünürlüklü modellerin mekânsal değişkenliği daha iyi açıkladığını ortaya koymaktadır. Karmaşık arazi yapısı gravite dalgaları, yağış gölgesi, fön rüzgarları gibi yerel ancak bölge iklimi açısından belirleyici fenomenler ortaya çıkartabilmektedir. Yüksek çözünürlüklü modellerin daha büyük pozitif yanlılık değerlerine rağmen mekânsal olarak daha tutarlı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Toplam yağış için hesaplanan Taylor metrikleri Tablo 6.4, buna göre hazırlanan Taylor diyagramı ise Şekil 6.12 ile sunulmuştur.

Taylor diyagramında korelasyon değerleri saat yönünde artarken, normalize standart sapmalar x ve y eksenlerinde 1 değerine en yakın sonuçlar tercih edilir. X ekseninde 1 değerinin y = 0 noktasıyla kesiştiği yer mükemmel sonuç olarak değerlendirilir.

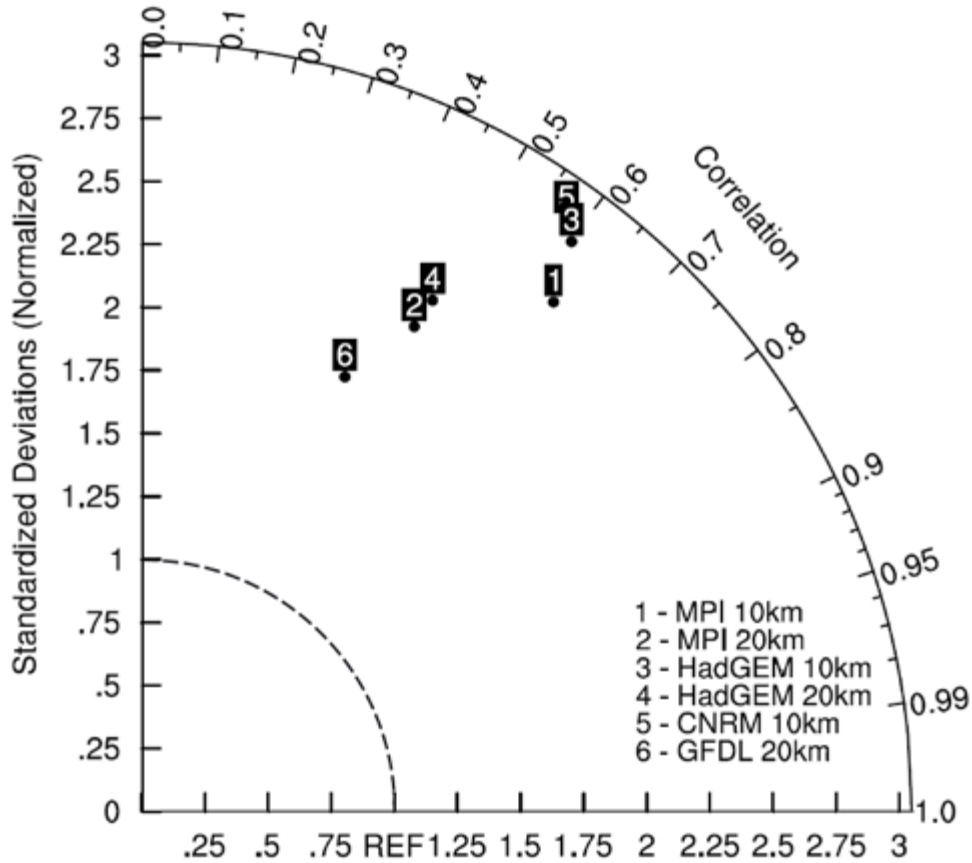


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Tablo 6.4 Bölgesel İklim Modelleri Toplam Yağışları için Hesaplanan Taylor Metrikleri

| Model | | Patern Korelasyonu | | | | | Standart Sapma (Normalize) | | | | |
|-------|------------|--------------------|------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|------|
| | | Yıllık | AOŞ | MNM | HTA | EEK | Yıllık | AOŞ | MNM | HTA | EEK |
| 10 km | HadGEM2-ES | 0.6 | 0.63 | 0.3 | 0.7 | 0.53 | 2.84 | 2.38 | 2.26 | 0.59 | 2.82 |
| | MPI-ESM-MR | 0.63 | 0.57 | 0.46 | 0.84 | 0.67 | 2.61 | 2.32 | 2.19 | 1.37 | 2.07 |
| | CNRM-CM5 | 0.58 | 0.51 | 0.47 | 0.51 | 0.53 | 2.9 | 2.25 | 2.68 | 1.44 | 2.53 |
| 20 km | HadGEM2-ES | 0.52 | 0.52 | 0.56 | 0.78 | 0.51 | 2.25 | 1.97 | 2.02 | 0.77 | 1.77 |
| | MPI-ESM-MR | 0.52 | 0.5 | 0.35 | 0.27 | 0.46 | 2.37 | 1.41 | 2.21 | 1.13 | 2.89 |
| | GFDL-ESM2M | 0.45 | 0.32 | 0.53 | 0.53 | 0.55 | 1.94 | 1.22 | 2 | 2.12 | 1.43 |



Şekil 6.12 Bölgesel İklim Modelleri Yıllık Toplam Yağışları için Taylor Diyagramı



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

7 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu raporun amacı iklim değişikliği alanında çalışmalar yürüten kurumların HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1 ve GFDL-ESM2M küresel iklim modellerini RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile kuple edilmiş 10 km ve 20 km çözünürlüklü model sonuçlarını derleyerek, Türkiye iklimini temsil etme yeteneklerini değerlendirmek için kıyaslamaktır.

Çalışma kapsamında öncelikle küresel iklim modellerinin Türkiye üzerindeki sıcaklık ve toplam yağış ortalamaları değerlendirilmiş, gözlemlerle karşılaştırılmıştır. 2021-2100 projeksiyon dönemi değişimleri 1971-2000 referans dönemine göre analiz edilmiş, sonuçlar Türkiye geneli ve yedi coğrafi bölge özelinde paylaşılmıştır.

Proje sonuçları değerlendirildiğinde, Türkiye’nin gözlemlere göre 1971-2000 referans dönemi sıcaklık ortalaması yaklaşık 10,8°C’dir. Aynı dönemde toplam yağış ortalaması ise 570 mm civarındadır.

Projeksiyon döneminde küresel iklim modellerinin ensemble ortalamalarına bakıldığında, Türkiye genelinde RCP4.5 senaryosu güdümünde koşturulan modellerin 2100’lere doğru azalan bir artışla ortalama yaklaşık 3°C’lik bir sıcaklık artışı gösterirken; RCP8.5 senaryosu güdümünde koşturulan modellerin 2100’lere doğru ivmelenecek artan bir eğimle 5,5°C’lik bir yükseliş ortaya koyduğu görülmektedir.

Coğrafi bölgelerin durumu incelendiğinde, her iki senaryo için de en fazla sıcaklık artışının Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri’nde olduğu görülmektedir. Bu artışlar RCP4.5 senaryosu için yaklaşık 2,9°C’leri gösterirken, RCP8.5 senaryosu için ise yaklaşık 5,9°C’leri bulmaktadır. Bu bölgeleri İç Anadolu Bölgesi RCP4.5 için 2,7°C, RCP8.5 için ise 5,5°C olarak takip etmektedir. Daha sonra sırasıyla Ege, Akdeniz, Marmara ve Karadeniz Bölgeleri takip etmektedir. Türkiye ortalaması RCP4.5 için İç Anadolu Bölgesi ile paralel giderken, RCP8.5 için ise Ege Bölgesi ile paralellik göstermektedir.

Projeksiyon döneminde küresel iklim modellerinin yağış parametresi için ensemble ortalamalarına bakıldığında, Türkiye genelinde 2100’lere gelindiğinde ortalamalarda RCP4.5 senaryosu için %5, RCP8.5 senaryosu için ise %15 civarında yağış noksanlığı öngörülmektedir.

Coğrafi bölgelerin durumu incelendiğinde, RCP4.5 senaryosu için en fazla yağış noksanlığının Akdeniz ve Ege Bölgeleri’nde daha sonra ise İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri’nde olduğu görülmektedir. Devamında Doğu Anadolu ve Marmara Bölgeleri takip etmektedir. Karadeniz Bölgesi’nde iyimser senaryoda yağış değerlerinin yüzyıl ortasına kadar yaklaşık %3’lere varan bir artış, yüzyıl sonuna doğru ise referans dönemi civarında olacağı öngörülmektedir. Türkiye’nin genel değişimi iyimser senaryoda Marmara Bölgesi ile paralel gitmektedir. RCP8.5 senaryosunda ise yağış noksanlığı yine en çok Akdeniz ve Ege Bölgeleri’nde, daha sonra ise sırasıyla İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu, Marmara ve Doğu Anadolu Bölgeleri’nde olduğu görülmektedir. Karadeniz Bölgesi’nde ise yüzyıl sonlarına doğru





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

%5’lere varan bir azalmanın olacağı beklenmektedir. Türkiye’nin genel değişimi kötümser senaryoda Doğu Anadolu Bölgesi ile paralel gitmektedir.

Rapor kapsamında modeller, mevsimsel salınımlar ve iklim örüntüsünü benzeştirme özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Yüksek çözünürlüklü modellerin yanlılık değerleri yüksek olsa da mevsimsel döngüyü daha iyi temsil ettiği ve mekânsal tutarlılığının yani iklim örüntüsünün daha gerçekçi olduğu görülmüştür.

Referans dönemi için modellerin yanlılıklarına bakıldığında, çözünürlük yükseldikçe HadGEM modelinin daha soğuk sonuçlar ürettiği görülmüştür. Aynı şekilde MPI modelinin de çözünürlük yükseldikçe daha soğuk, fakat HadGEM modeline göre daha ılık olduğu görülmüştür. MPI modeli her iki çözünürlük için dağlık kesimleri daha soğuk, kıyı kesimleri ise daha sıcak tahmin etmiştir. 10 km çözünürlükte ilkbahar ve sonbahar aylarını daha soğuk, 20 km çözünürlükte ise daha sıcak simüle etmiştir. Düşük çözünürlükte model kış aylarında daha sıcak sonuçlar üretmiştir. Referans dönemi için yüksek çözünürlükte en soğuk tahminleri CNRM modeli üretmiştir. Özellikle ilkbahar aylarındaki soğuk yanlılık oldukça yüksektir. Yine aynı şekilde düşük çözünürlükteki sonuçlar kendi arasında analiz edildiğinde, referans dönemi için en soğuk modelin GFDL olduğu söylenebilir.

Yağış simülasyonlarının yanlılığı değerlendirildiğinde, HadGEM modelinin yüksek çözünürlükte yaz aylarını, düşük çözünürlükte ise yaz ve kış aylarını daha kuru önerdiği görülmektedir. Yaz aylarının genel olarak daha kuru olması ve HadGEM modelinin de yazın daha düşük yağışlar tahmin etmesi düzeltme katsayılarının değerlerini oldukça yükseltmiştir. Yüksek çözünürlükte HadGEM modeli sonbahar, kış ve ilkbahar aylarında dağlık kesimler hariç ıslak sonuçlar üretmiştir. Genel olarak MPI modeli için de yaz ayları hariç düşük çözünürlükteki model sonuçlarının yüksek çözünürlüğe göre daha kurak olduğu görülmektedir. Yüksek çözünürlükte kış ve ilkbahar ayları daha ıslak, sonbahar ayları nispeten daha kuraktır. Düşük çözünürlükte ise yaz ve sonbahar ayları kış ve ilkbahara göre daha kurak olarak tahmin edilmiştir. MPI modelinin de genel olarak çözünürlük yükseldikçe daha ıslak sonuçlar verdiği görülmektedir. Referans dönemi için CNRM modeli diğer yüksek çözünürlüklü modellere göre oldukça ıslak sonuçlar vermektedir. Model, yüksek çözünürlükteki MPI modelinde olduğu gibi kış aylarında yüksek kesimlerde kuru yanlıdır. Yaz aylarında Türkiye’nin doğusu ve batı Karadeniz kıyıları kuru, diğer bölgeler ise oldukça ıslaktır. Düşük çözünürlükteki GFDL modeli tüm yağış simülasyonları içerisinde en ıslak yaz mevsimi öneren modeldir. Buna karşın GFDL modeli sonbahar ve kış aylarını daha kurak simüle etmiştir.

Yanlılığı düzeltilmiş bölgesel iklim modellerinin RCP4.5 senaryosu projeksiyon döneminde referans dönemine göre öngörülen ortalama sıcaklık değişimlerine bakıldığında, yüksek çözünürlük (10 km) için 3,5°C, düşük çözünürlük (20 km) için 3,7°C’leri bulmaktadır. Modeller arasında en fazla artışı HadGEM2-ES modeli verirken, en az artışı GFDL-ESM2M vermektedir. RCP8.5 senaryosu sonuçlarına bakıldığında ise, HadGEM modeli yine en yüksek sıcaklık değişimleri gösterirken, CNRM modeli MPI model sonuçlarına yaklaşmıştır. Bunun sonucunda HadGEM modelinin daha sıcak yanlı bir model olduğu görülmektedir. GFDL modeli ise en





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

soğuk tahmin yapan model olmuştur. Son 20 yılda MPI modelinin 20 km çözünürlükteki model sonuçlarına göre 4,6°C, 10 km çözünürlükteki model sonuçlarına göre ise 4,2°C'lik bir artış beklenmektedir.

Yanlılığı düzeltilmiş bölgesel iklim modellerinin RCP4.5 senaryosu projeksiyon döneminde referans dönemine göre öngörülen toplam yağış değişimlerine bakıldığında ise, MPI ve HadGEM modelleri hemen hemen tüm bölge ve periyotlarda benzer yağış paterni, fakat farklı değişim oranları göstermiştir. GFDL modeli ise genellikle tüm bölgelerde yağışlarda azalma öngörmüştür. RCP8.5 senaryosu sonuçları incelendiğinde ise, GCM ortalaması 2100'e doğru %15'lere varan bir azalmaya işaret etmektedir. CNRM modeli diğer modellere göre en ıslak sonuçları verirken, GFDL modeli ise en kurak koşulları önermektedir. 10 km çözünürlükte koşturulan MPI modeli küresel iklim modellerinin ensemble ortalamalarını daha iyi takip etmektedir.

Sonuç olarak, yanlılık değerlerine rağmen modellerin patern korelasyonları incelendiğinde 10 km çözünürlük modellerin 20 km çözünürlüklü modellere göre mekânsal değişkenliği daha iyi açıkladığı görülmüştür. MPI-ESM-MR yer sistem modeli ile zorlanan 10 km çözünürlüklü RegCM4 modeli referans dönemi için belirtilen modeller içinde Türkiye iklimini en iyi temsil eden model olarak belirlenmiştir. MPI-ESM-MR modelinin negatif yanlılığa rağmen sıcaklığı temsil etme açısından ve büyük pozitif yanlılık değerlerine rağmen yağışı temsil etme açısından mekânsal olarak daha tutarlı sonuçlar ortaya koyduğu için en başarılı model olarak değerlendirilmiştir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

8 GENEL DEĞERLENDİRME

Bölgesel iklim modelleri gerçek dünyanın basitleştirilmiş bir temsilini ortaya koydukları için gözlemler aralarında farklar olması doğaldır. Bu farklar çalışılan alanın daha kaba çözünürlükte temsil edilmesi, hesaplanan süreçlerdeki basitleştirmeler, grid boyutlarından küçük ölçekteki olayların çözümüne dair kullanılan istatistik/ampirik yöntemler bu farkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

İklim modellerinin doğrulanması için kullanılan gözlem verilerinin ölçüm sıklığı, ölçüm istasyonlarının dağılımının sık ve bölgeyi iyi temsil edecek noktalarda konumlanması oldukça önem kazanmaktadır. Meteoroloji gözlem istasyonlarının gerek yüksek seviyelere kurulumu ve ölçümlerin takibinin zor olması, gerek modeller ile karşılaştırma yapabilecek kadar ölçüm ağının sık olmaması grid düzeyinde veriye sahip iklim modellerini doğrulama çalışmalarında belirli zorluklar çıkarmaktadır. Gözlem verileri çeşitli interpolasyon yöntemleri ile alansallaştırılsa dahi ekstrapolasyon yapılamadığı için yüksek rakımlar, özellikle dağlık alanlar üzerindeki doğrulamalarda kayıplar yaşanabilmektedir. Bu nedenle yine gözlem verileri kullanılarak çeşitli kurumlar tarafından üretilen yüksek çözünürlükteki grid bazlı gözlem verileri bu çalışmada da olduğu gibi ölçek küçültme tekniklerinin kalibrasyonu ve değerlendirilmesi için oldukça popüler hale gelmiştir (Quadrelli, Pavan, & Molteni, 2001), (Jacob, 2007), (Schmidli, ve diğerleri, 2007), (Hertig & Jacobeit, 2008). Sonuç olarak gridli gözlem verileri istasyon ölçümleri olmasa dahi gözlemlere en uygun ürünler olarak iklim modellerini doğrulamak için kullanılabilen olup, başarılı sonuçlar yakalanabilmektedir.

Bölgesel iklim modeli çıktıları genel olarak daha soğuk ve daha nemli bir iklim ortaya koyarlar, ancak bu durum sonuçlardan da görülebileceği gibi çalışılan bölgeye göre değişkenlik gösterebilir. Yağış parametresi için yağış şiddeti düşük ama yağışlı gün sayısı fazla; sıcaklığın ise uç değerlerinin temsil edilememesi gibi hatalı benzeştirilmesidir (Ines & Hansen, 2006).

Etki/risk değerlendirme çalışmalarında yanlılıkların giderilmesi/azaltılması özellikle düşük olasılıklı, ancak yüksek etkili olayların çalışılmasında önemlidir. Yanlılık düzeltme yöntemleri bu hususta hesaplama maliyet etkin bir çözüm olarak öne çıkmaktadır, ancak uygulanırken aşırı uydurmadan kaçınılması ve noktasal gözlemlerin daha geniş bir alanı temsil eden gridlerden daha yüksek varyansa sahip olacağı göz önünde bulundurulmalıdır (Stocker, Dahe, Plattner, & Tignor, 2015). Aşırı uydurmaların oraya çıkarabileceği en önemli problem gözlem döneminde iyi temsil sağlarken, gelecek tahminlerindeki trendleri değiştirmesidir (Pierce, Cayan, Maurer, Abatzoglou, & Hegewisch, 2015).

İklim modellerindeki yanlılıkların giderilmesi/azaltılması için birçok metot geliştirilmiş ve uygulanmıştır (Chen, Brissette, & Leconte, 2011), (Chen, Brissette, Poulin, & Leconte, 2011), (Johnson & Sharma, 2011). Bu metotlardan öne çıkanlar lineer ölçekleme, kantil haritalama, yerel şiddet ölçeklendirme, üstel dönüşümdür. Parametrik olmayan kantil haritalama metodu verinin sadece ortalaması değil standart sapma, dağılım gibi istatistiksel özelliklerinin de yakalamasını sağladığından popüler ve başarılı bir metot olarak değerlendirilmektedir





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

(Gudmundsson, Bremnes, Haugen, & Engen-Skaugen, 2012), (Fang, Yang, Chen, & Zammit, 2015). Bu metodun güçlüğü ise model sonuçlarıyla aynı gridlere örneklenmiş günlük zaman serilerine ihtiyaç duymasındır. Euro-CORDEX çalışma alanında yapılmış bir başka çalışma ise farklı metotlarla yanlılık düzeltmesi yapılmış günlük yağış çıktılarında iklim indislerini hesaplamış ve farklı metotların farklı indislerde başarımlarını değiştirdiğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada frekans düzeltmesi yapan metotlarda yüksek yağışlı gün sayısına sahip modellerin kullanılmasının, düşük yağışlı gün sayısına sahip modellere göre avantajlı olduğu; istatistik yöntemlerin yağışlı gün sayısını azaltabileceği ancak yağışlı gün uyduramayacağını belirtmiştir (Casanueva, et al., 2016).

Modellerin daha kısa zaman ölçeğindeki salınımları da ortaya koyabilmesi beklenmektedir. Bunun için ortalamalardan ziyade belli eşiklerin aşılma sıklığı, belirli eşiklerin altında veya üzerindeki değerleri içeren periyotları da makul bir ölçüde benzeştirebilmeleri gerekmektedir. TR21 bölgesinde iklim değişikliğinin etkilerinin irdelendiği çalışmada model sonuçlarının tropik geceler, donlu günler, bitki büyüme sezonu gibi sıcaklıkla ilgili daha düşük zaman ölçeğinde gerçekleşen salınımları ve eşikleri makul bir biçimde ortaya koyduğu, ancak yağışla ilgili ekstrem yağışlı günler, ardışık kurak günler, ardışık yağışlı günler gibi indislerin aylık ortalama katsayılar yöntemiyle düzeltilmiş RegCM4 10 km çözünürlüklü model tarafından temsil edilemediği görülmüştür. (Çağlar, ve diğerleri, 2019)

Etki değerlendirme çalışmalarına altlık teşkil edecek günlük zaman serilerinin oluşturulması için öne çıkan birkaç yanlılık düzeltme metodu test edilip çalışmalara devam edilecektir. İklim projeksiyonlarına yanlılık düzeltmesi yapılırken mevsimlik ve hatta aylık bazda düzeltme yapılması, sonuçlara pozitif katkı sunacağı değerlendirilmektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

9 KAYNAKÇA

- IPCC. (2018, 08 05). *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*. Intergovernmental Panel on Climate Change: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch1s1-5-1.html adresinden alındı
- SYGM. (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Proje Nihai Raporu*. Ankara: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Met Office. (2017, 08 10). *Met Office climate prediction model: HadGEM2 family*. UK Meteorological Office: <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2> adresinden alındı
- Collins, W. J.-B. (2011). Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2. *Geoscientific Model Development*, 4, 1051-1075.
- The HadGEM2 Development Team. (2011). The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development*, 4, 723-754.
- IPCC AR5. (2013). *Fifth Assessment Report AR5*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- MPI. (2017, 06 06). *Max-Planck-Institut für Meteorologie*. MPI: <https://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm/> adresinden alındı
- Stevens vd. (2013). Atmospheric component of the MPI-M Earth system model: ECHAM6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 146–172.
- Jungclaus, J. H. (2013). Characteristics of the ocean simulations in MPIOM, the ocean component of the MPI-Earth System Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*.
- Reick, C. H. (2013). The representation of natural and anthropogenic land cover change in MPI-ESM. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 1–24.
- Schneck, R. C. (2013). The land contribution to natural CO2 variability on time scales of centuries. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 354–365.
- Ilyina, T. K.-R.-R. (2013). Global ocean biogeochemistry model HAMOCC: Model architecture and performance as component of the MPI-Earth System Model in different CMIP5 experimental realizations. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Valcke, S. C. (2015, 6). *OASIS3-MCT User Guide*. Toulouse France: CERFACS, CNRS. Oasis Coupler: <https://portal.enes.org/oasis> adresinden alındı
- Giorgetta, M. A. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 572–597.
- CNRM. (2017, 06 06). *CNRM-CM5 (IPCC)*. National Centre for Meteorological Research: <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article126> adresinden alındı
- Déqué M., D. C. (1994). The ARPEGE-IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modelling. *Climate Dynamics*, 10:249-266.
- Madec, G. (2016). *NEMO Ocean Engine*. Guyancourt France: l’Institut Pierre-Simon Laplace.
- Le Moigne, P. (2012). *Surfex Scientific Documentation*. Toulouse, France: CNRM/GAME.
- Salas-Mélia, D. (2002). A global coupled sea ice-ocean model. *Ocean Modelling*, 4, 137-172.
- Oki, T. S. (1998). Design of Total Runoff Integrating Pathways (TRIP) - A global river channel network. *Earth Interactions*, 2.
- Rajib, M., & Rahman, M. (2012). A Comprehensive Modeling Study on Regional Climate Model (RCM) Application-Regional Warming Projections in Monthly Resolutions Under IPCC A1B Scenario. *Atmosphere*, 557-572.
- Anthes, & diğ. (1989). Anthes, R.A.; Kuo, Ying-Hwa; Hsie, Eirh-Yu; Low-Nam, S.; Bettge, T.W. Estimation Of Skill And Uncertainty İn Regional Numerical Models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 763-806.
- Seth, A., & Giorgi, F. (1998). The Effects of Domain Choice on Summer Precipitation Simulation and Sensitivity in a Regional Climate Model. *Journal of Climate*, 2698-2712.
- Giorgi; diğ. (1993a). Giorgi.F; Marinucci, M.R; Bates, G. T. Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part I: Boundary Layer and Radiative Transfer Processes. *Mon.Wea.Rev.*, 2795-2813.
- Giorgi, & diğ. (1993b). Giorgi.F; Marinucci, M.R.; Bates, G. T. Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part II: Convective Processes And Assimilation Of Lateral Boundary Conditions. *Mon.Wea.Rev.*, 2795-2832.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Dickinson, & diğ. (1993). Dickinson, R. E.; Henderson-Sellers, A.; Kennedy, P. Biosphere– Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to The NCAR Community Climate Model. *NCAR Tech. Note NCAR/ TN-3871STR*, 72.
- Holtslag, & diğ. (1990). Holtslag, A. A. M.; DeBruiFjn, E. I. F.; Pan, H.L A High Resolution Air Mass Transformation Model for Short-Range Weather Forecasting. *Monthly Weather Review*, 1561-1575.
- Kiehl, & diğ. (1996). Kiehl, J.T.; Hack, J.J.; Bonan, G.B.; Boville, B.A.; Briegleb, B.P.; Williamson, D.L.; Rasch, P.J Description of The NCAR Community Climate Model (CCM3).
- Grell, G. (1993). Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. *Mon.Wea.Rev.*, 764-787.
- Taylor, K. (2011). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research Vol. 106*, 7183-7192.
- Besselaar, v. d., & diğ. (2011). van den Besselaar, E.J.M.; Haylock, M.R.; van der Schrier, G.; Klein Tank, A.M.G. A European Daily High-Resolution Observational Gridded Data Set of Sea Level Pressure. *Journal Geophysical Research*.
- Daly; diğ. (2008). Daly, C.; Halbleib, M.; Smith, J.I.; Gibson, W. P.; Doggett, M. K.; Taylor, G. H.; Curtis, J.; Pasteris, P. P. Physiographically Sensitive Mapping of Climatological Temperature and Precipitation Across The Conterminous United States. *Journal of Climatology*.
- SEI. (2017, 06 06). *Stockholm Enviroment Institute*. A guide to Representative Concentration Pathways: <https://www.sei-international.org/mediamanager/documents/A-guide-to-RCPs.pdf> adresinden alındı
- IPCC. (1990). *Emissions scenarios from the response strategies working group of the intergovernmental panel on climate change, Appendix 1*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Leggett, J. W. (1992). *Emissions Scenarios for IPCC: an update. In Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Nakicenovic, N. e. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Climatic Change. (2011). *A special issue on the RCPs*. Netherlands: Springer.
- IPCC. (2017, 06 06). *Representative Concentration Pathways (RCPs)*. IPCC Data Distribution Centre: http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html adresinden alındı
- Riahi, K. G. (2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*, 74, 7, 887-935.
- Rao, S. a. (2006). The role of non-CO2 greenhouse gases in climate change mitigation: Long-term scenarios for the 21st century. *Multigas mitigation and climate policy. The Energy Journal*, 3 (Special Issue), 177–200.
- Fujino, J. R. (2006). Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using AIM global model. Multigas Mitigation and Climate Policy. *The Energy Journal*, 3 (Special Issue).
- Hijioka, Y. Y. (2008). Global GHG emissions scenarios under GHG concentration stabilization targets. *Journal of Global Environmental Engineering*, 13, 97-108.
- Smith, S. J. (2006). Multi-Gas Forcing Stabilization with the MiniCAM. *The Energy Journal*, (Special Issue #3) pp 373-391.
- Clarke, L. J. (2007). *Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations. Sub-report 2.1A of Synthesis and Assessment Product 2.1*. Washington DC, USA: U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Department of Energy, Office of Biological & Environmental Research.
- Wise, M. A.-L. (2009). Implications of Limiting CO2 Concentrations for Land Use and Energy. *Science*, 324, 1183-1186.
- van Vuuren, e. a. (2006). Long-term multi-gas scenarios to stabilise radiative forcing — Exploring costs and benefits within an integrated assessment framework. Multigas mitigation and climate policy. *The Energy Journal*. 3 (Special Issue), 201–234.
- van Vuuren, e. a. (2007). tabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change*, 81: 119.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- van Vuuren et al. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109: 5-31.
- IPCC. (2013). *Intergovernmental Panel on Climate Change AR5-Fifth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press.
- NOAA. (2018, 08 10). *Earth System Research Laboratory - Global Monitoring Division*. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> adresinden alındı
- GFDL. (2020). *GFDL-ESM2M*. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory: <https://www.gfdl.noaa.gov/esms-cmip5-faqs/> adresinden alındı
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. New York: Cambridge University Press.
- Gao, Y., Xu, J., & Chen, D. (2015). Evaluation of WRF mesoscale climate simulations over the Tibetan Plateau during 1979–2011. *J Clim* 28, 2823–2841.
- Gao, Y., Xiao, L., Chen, D., Chen, F., Xu, J., & Xu, Y. (2017). Quantification of the relative role of land-surface processes and large-scale forcing in dynamic downscaling over the Tibetan Plateau. *Clim Dyn* 48, 1705–1721.
- Jiang, X., Wu, Y., Li, Y., & Shu, J. (2019). Simulation of interannual variability of summer rainfall over the Tibetan Plateau by the Weather Research and Forecasting model. *Int J Climatol* 39, 756–767.
- Ballı, C. (2014). *Bias Correction of Precipitation Simulated by Regional Climate Model with Different Configurations over Turkey*. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Shi, Y., Wang, G., & Gao, X. (2017). Role of resolution in regional climate change projections over China. *Clim Dyn* 51, 2375–2396.
- Sinha, P., Tiwari, P. R., Kar, S. C., Mohanty, U. C., Raju, P. V., Dey, S., & Shekhar, M. S. (2015). Sensitivity Studies of Convective Schemes and Model Resolutions in Simulations of Wintertime Circulation and Precipitation over the Western Himalayas . *Pure Appl Geophys* 172.
- Gu, H., Yu, Z., Peltier, W. R., & Wang, X. (2020). Sensitivity studies and comprehensive evaluation of RegCM4.6.1 high-resolution climate simulations over the Tibetan Plateau. *Clim Dyn*.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Önol, B. (2012). Effects of coastal topography on climate: high-resolution simulation with a regional climate model. *Climate Research*, 159-174.
- Önol, B., & Semazzi, F. (2009). Regionalization of Climate Change Simulations over the Eastern Mediterranean. *J. Climate*, 1944-1961.
- Önol, B., & Ünal, Y. S. (2014). Assessment of climate change simulations over climate zones of Turkey. *Regional Environmental Change*, 1921-1935.
- Bozkurt, D., Turuncoglu, U., Sen, O., Onol, B., & Dalfes, H. (2012). Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean–Black Sea region: evaluation of the reference period. *Clim Dyn*, 207-225.
- SYGM. (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı.
http://iklim.ormansu.gov.tr/ckfinder/userfiles/files/%C4%B0klim_Nihai_Rapor_%20%C4%B0klim%20Projeksiyonlar%C4%B1_Ek_2_REV_nihai.pdf adresinden alındı
- Demircan, M., Gürkan, H., Eksioğlu, O., Arabacı, H., & Coskun, M. (2017). Climate Change Projections for Turkey: Three Models and Two Scenarios. *Turkish Journal of Water Science & Management*, 1(1), 22-44.
https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/44_Climate%20Change%20Projections%20for%20Turkey.pdf adresinden alındı
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315.
<https://doi.org/10.1002/joc.5086> adresinden alındı
- Baker, N. C., & Taylor, P. C. (2016). A Framework for Evaluating Climate Model Performance Metrics. *Journal of Climate*, 29(5), 1773-1782. doi:10.1175/JCLI-D-15-0114.1
- MGM. (2013). *Yeni Senaryolarla Türkiye için İklim Değişikliği Projeksiyonları*. Ankara: TR2013-CC.
- Akçakaya, A., Sümer, U., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., . . . Çukurçayır, F. (2015). *Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği*. Ankara: TR2015-CC.
- Ines, A. V., & Hansen, J. W. (2006). Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138(1-4), 44-53. doi:10.1016/j.agrformet.2006.03.009





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Stocker, T. F., Dahe, Q., Plattner, G.-K., & Tignor, M. (2015, September). *IPCC Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies*. São José dos Campos: IPCC.
- Pierce, D. W., Cayan, D. R., Maurer, E. P., Abatzoglou, J. T., & Hegewisch, K. C. (2015). Improved Bias Correction Techniques for Hydrological Simulations of Climate Change. *J. Hydrometeor.*, 16(6), 2421-2442. doi:10.1175/JHM-D-14-0236.1
- Chen, J., Brissette, F. P., & Leconte, R. (2011). Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. *Journal of Hydrology*, 401(3-4), 90-202. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.02.020
- Chen, J., Brissette, F. P., Poulin, A., & Leconte, R. (2011). Overall uncertainty study of the hydrological impacts of climate change for a Canadian watershed. *Water Resources Research*, 47(12), W12509. doi:10.1029/2011WR010602
- Johnson, F., & Sharma, A. (2011). Accounting for interannual variability: A comparison of options for water resources climate change impact assessments Accounting for interannual variability: A comparison of options for water resources climate change impact assessments. *Water Resources Research*, 47(4), W04508. doi:10.1029/2010WR009272
- Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E., & Engen-Skaugen, T. (2012). Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3383-3390. doi:10.5194/hess-16-3383-2012
- Fang, G. H., Yang, J., Chen, Y. N., & Zammit, C. (2015). Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(6), 2547-2559. doi:10.5194/hess-19-2547-2015
- Casanueva, A., Kotlarski, S., Herrera, S., Fernandez, J., Gutierrez, J. M., Boberg, F., . . . Vautard, R. (2016). Daily precipitation statistics in a EURO-CORDEX RCM ensemble: Added value of raw and bias-corrected high-resolution simulation. *Climate Dynamics*, 47(3-4), 719–737. doi:10.1007/s00382-015-2865-x
- Lapenis, A. G. (1998). Arrhenius and the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 79(23), 271-271.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Zelinka, M. D., Timothy, M. A., Daniel, M. T., Stephen, P.-C., Peter, C. M., Paulo, C., . . . Karl, T. E. (2020). Causes of Higher Climate Sensitivity in CMIP6 Models. *Geophysical Research Letters*, 47(1), e2019GL085782. doi:10.1029/2019GL085782
- Önol, B., & Semazzi, F. (2006). Regional Impact of Climate Change on Water Resources over Eastern Mediterranean: Euphrates Tigris Basin. *86th AMS Annual Meeting, the 18th Conference on Climate Variability and Change*. Atlanta, GA.
- Önol, B., & Semazzi, F. (2009). Regionalization of climate change simulations over the eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, 22, 1944-57.
- İSKİ. (2010). *İklim Değişikliğinin İstanbul ve Türkiye Su Kaynakları Geleceğine Tesirleri Projesi Nihai Raporu*.
- Bozkurt, D., Turuncoglu, U., Şen, O., Önol, B., & Dalfez, H. (2012). Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean–Black Sea region: evaluation of the reference period. *Climate Dynamics* 39:1-2, 207-225.
- Bozkurt, D., & Sen, O. (2011). Precipitation in the Anatolian Peninsula: sensitivity to increased SSTs in the surrounding seas. *Climate Dynamics* 36, 3-4, 711-726.
- Şen, & diğ. (2013). Şen, Ö.L.; Bozkurt, D.; Göktürk, O.M.; Dündar, B.; Altürk, B. Türkiye'de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. *3.Ulusal Taşkın Sempozyumu*.
- Kurnaz, L. (2014). *Kuraklık ve Türkiye. IPM-Mercator Politika Notu. Sabancı Üniversitesi*.
- Önol, B., & Unal, Y. (2014). Assessment of climate change simulations over climate zones of Turkey. *Regional Environmental Change* 14, 1921-1935.
- ÇŞB, & UNDP. (2013). *Beşinci Ulusal Bildirim Raporu, Türkiye İklim Değişikliği 5.Bildirimi*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP).
- Çağlar, F., Hanedar, A., Yıldırım, I., Görgün, E., Özdemir, A. D., Altürk, B., & Albut, S. (2019). TR21 Bölgesi'nde Ekstrem İklim Olaylarının Mevcut Durumu ve Gelecek Projeksiyonları. F. Konukcu, S. Albut, & B. Altürk (Dü) içinde, *TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri* (s. 23-45). Tekirdağ. http://iklimdegisikligi.tekirdag.bel.tr/file/iklim_degisikligi_kitabi.pdf adresinden alındı
- NCAR. (2019). The NCAR Command Language (Version 6.6.2) [Yazılım]. Boulder, Colorado: UCAR/NCAR/CISL/TDD. doi:<http://dx.doi.org/10.5065/D6WD3XH5>





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Quadrelli, R., Pavan, V., & Molteni, F. (2001). Wintertime variability of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies.
- Jacob, D. v. (2007). An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Clim. Change*.
- Hertig, E., & Jacobeit, J. (2008). Downscaling future climate change: temperature scenarios for the Mediterranean area. *Glob. Planet. Change* 63, 127-31.
- Schmidli, J., Goodess, C. M., Frei, C., Haylock, M. R., Hundecha, Y., Ribalaygua, J., & Schmith, T. (2007). 7 Statistical and dynamical downscaling of precipitation: an evaluation and comparison of scenarios for the European alps. *J Geophys. Res.* 112.

