İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKDENİZ ÜZERİNDE 21. YÜZYIL İKLİM SİMÜLASYONLARININ İKİ AYRI YÜZEY MODELİYLE KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE ACAR

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

OCAK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKDENİZ ÜZERİNDE 21. YÜZYIL İKLİM SİMÜLASYONLARININ İKİ AYRI YÜZEY MODELİYLE KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE ACAR
511111010

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Barış Önol

OCAK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511111010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **MERVE ACAR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"AKDENİZ ÜZERİNDE 21. YÜZYIL İKLİM SİMÜLASYONLARININ İKİ AYRI YÜZEY MODELİYLE KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Barış ÖNOL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Yurdanur S. ÜNAL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Ömer L. ŞEN İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **16 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **22 Ocak 2014**

ÖNSÖZ

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği AnaBilim Dalı, Atmosfer Bilimleri yüksek lisans bitirme projesidir. Bu projede, Akdeniz üzerinde bölgesel iklim modeli kullanılarak yapılan 21. yüzyıl iklim simulasyonları iki ayrı yüzey modeliyle karşılaştırılmıştır. Çalışmamım her aşamasında yoğun emeği olan ve bana olan sonsuz desteğini hep hissettiğim Doç. Dr. Barış Önol'a, sorularımda her zaman yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Ufuk Utku Turunçoğlu'na, ayrıca bana hep destek olan Prof. Dr. Yurdanur Ünal'a, Fulden Batıbeniz'e ve her zaman yanımda olduğunu hissettiğim, destekleriyle bana güç veren aileme ve Barış Açar'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2014

Merve Acar
Meteoroloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ 1
1.1 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 3
1.1.1 IPCC 1. değerlendirme raporu 3
1.1.2 IPCC 2. değerlendirme raporu 4
1.1.3 IPCC 3. değerlendirme raporu 4
1.1.4 IPCC 4. değerlendirme raporu 4
1.1.5 IPCC 5. değerlendirme raporu 5
1.2 Birleşik Model Karşılaştırma Projesi (CMIP) 6
1.2.1 Birleşik model karşılaştırma projesi v5 (CMIP5) 6
1.3 Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs) 8
1.4 Literatür Araştırması 10
2. VERİ VE METODOLOJİ 21
2.1 Bölgesel İklim Modeli (RegCM) 21
2.1.1 Model fiziği radyatif transfer şeması 23
2.1.2 Arazi yüzey modelleri 23
2.1.3 Biyosfer-Atmosfer transfer şeması (BATS) 24
2.1.4 Topluluk arazi modeli (CLM) 25
2.1.4.1 CLM modeli yüzey çeşitliliği ve veri yapısı 26
2.1.4.2 Biyojeofiziksel süreçler 26
2.1.4.3 Hidrolojik döngü 27
2.1.4.4 Biyojeokimyasal süreçler 28
2.1.4.5 Antropojenik süreçler 29
2.2 Veri Seti ve Deney Dizaynı 30
2.2.1 Hadley merkez küresel çevre modelinin 2. versiyonu (HadGEM2) 30
2.2.2 Deney dizaynı 32
2.2.3 Cordex 33
2.2.3.1 Med-CORDEX 34
3. ANALİZ 35
3.1 Model Sonuçları Sıcaklık Analizi 35
3.2 Model Sonuçları Yağış Analizi 49
3.3 Model Sonuçları Rüzgar Analizi 56
3.4 RCP8.5 Senaryoları Analizi 58
3.4.1 RCP8.5 sıcaklık analizi 58
3.4.2 RCP8.5 Yağış analizi 70
3.5 Model Sonuçları Bölgesel Analizi 82
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 93
KAYNAKLAR 97
ÖZGEÇMİŞ 103

KISALTMALAR

BATS : Biyosfer - Atmosfer Transfer Modeli
CCM : Topluluk İklim Modeli
CLM : Topluluk Arazi Modeli
CMIP : Birleşik Model Karşılaştırma Projesi
CORDEX : Koordine Edilmiş Bölgesel Ölçek Küçültme Deneyi
CRU : İklim Araştırma Birimi
ECMWF : Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi
GDM : Genel Dolaşım Modeli
HADGEM : Hadley Merkez Küresel Çevre Modeli
IAM : Entegre Değerlendirme Modeli
IPCC : Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
NCAR : Amerikan Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi
RCP : Temsili Konsantrasyon Rotaları
REGCM : Bölgesel İklim Modeli
SRES : Özel Rapor Emisyon Senaryoları
WBCB : Birleşik Modelleme Çalışma Grubu
WCRP : Dünya İklim Araştırma Programı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : CMIP5 Dönem Entegrasyonları 7
Çizelge 1.2 : CMIP5 Senaryoları ve Karakteristlikleri 9
Çizelge 2.1 : Güncel HadGEM2 Konfigürasyonları 31

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Radiatif zorlama bileşenlerinin radiatif zorlama değerleri 3
Şekil 1.2 : CMIP5 Çekirdek, 1. ve 2. Aşama Grupları 7
Şekil 1.3 : RCP senaryoları yıllara göre radiatif değer değişimleri 10
Şekil 1.4 : RCP senaryoları yüzey sıcaklığı değişimi (2016-2100). 11
Şekil 1.5 : RCP senaryoları yüzey sıcaklığı değişimi (2181-2230). 12
Şekil 1.6 : A2 senaryosu mevsimsel sıcaklık değişimi 14
Şekil 1.7 : A2 senaryosu mevsimsel yağış değişimi 14
Şekil 1.8 : Aylara göre sıcaklık ve yağış ortalamaları 15
Şekil 1.9 : Türkiye Bölge'leri mevsimsel sıcaklık ve yağış değişimleri 16
Şekil 1.10 : Bölgelere göre sıcaklık değişimi frekans dağılımı 17
Şekil 1.11 : Bölgelere göre yağış değişimi frekans dağılımı 18
Şekil 1.12 : Model sonuçları mevsimsel sıcaklık analizleri 19
Şekil 1.13 : Model sonuçları mevsimsel yağış analizleri 20
Şekil 2.1 : Atmosfer- Arazi yüzey modeli etkileşimi 24
Şekil 2.2 : Biyojeofiziksel süreçler şeması 27
Şekil 2.3 : Hidrolojik süreçler şeması 28
Şekil 2.4 : Biojeokimyasal süreçler şeması 29
Şekil 2.5 : CORDEX model alanları 33
Şekil 2.6 : Med-CORDEX model alanı 34
Şekil 2.7 : Model arazi yüzey kategorisi 34
Şekil 3.1 : CRU, BATS, BATS-CRU mevsimsel sıcaklık farkları 36
Şekil 3.2 : CRU, CLM, CLM-CRU mevsimsel sıcaklık farkları 37
Şekil 3.3 : Türkiye üzerinde CRU, BATS ve CLM mevsimsel sıcaklık 38
Şekil 3.4 : CRU, RF.BATS ve BATS-CRU mevsimsel sıcaklık farkları 39
Şekil 3.5 : CRU, RF.CLM ve CLM-CRU mevsimsel sıcaklık farkları 40
Şekil 3.6 : Türkiye üzerinde CRU, RF.BATS ve RF.CLM mevsimsel sıcaklık 41
Şekil 3.7 : CRU, BATS ve BATS-CRU mevsimsel maksimum sıcaklık farkları 42
Şekil 3.8 : CRU, CLMve CLM-CRU mevsimsel maksimum sıcaklık farkları 43
Şekil 3.9 : CRU, RF.BATS ve RF.BATS-CRU mevsimsel maksimum sıcaklık farkları 44
Şekil 3.10 : CRU, RF.CLM ve RF-CRU maksimum sıcaklık farkları mevsimsel ortalamaları 45
Şekil 3.11 : CRU, BATS ve BATS-CRU mevsimsel minimum sıcaklık farkları 46
Şekil 3.12 : CRU, CLM ve CLM-CRU mevsimsel minimum sıcaklık farkları 47
Şekil 3.13 : CRU, RF.BATS ve BATS-CRU mevsimlere göre minimum sıcaklık farkları 48
Şekil 3.14 : CRU, RF.CLM ve CLM-CRU mevsimlere göre minimum sıcaklık farkları 49
Şekil 3.15 : CRU, BATS ve BATS-CRU mevsimsel yağış farkları 50
Şekil 3.16 : CRU, CLM ve CLM-CRU mevsimsel yağış farkları 51
Şekil 3.17 : Türkiye üzerinde CLM, BATS ve CRU yağışları karşılaştırılması 52

Şekil 3.18 : CRU, RF.BATS ve RF-CRU mevsimsel yağış miktarları.....53
Şekil 3.19 : CRU, RF.CLM ve RF-CRU mevsimsel yağış miktarları 54
Şekil 3.20 : Türkiye üzerinde RF. CLM, RF.BATS ve CRU yağışları karşılaştırılması 55
Şekil 3.21 : Era-Interim, BATS ve BATS-ERAINT modelleri rüzgar hız ve yönleri.....57
Şekil 3.22 : Era-Interim, CLM ve CLM-ERAINT modelleri rüzgar hız ve yönleri. .57
Şekil 3.23 : I. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.....59
Şekil 3.24 : I. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.....59
Şekil 3.25 : II. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.....60
Şekil 3.26 : II. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.....61
Şekil 3.27 : II. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.....62
Şekil 3.28 : III. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.....63
Şekil 3.29 : I. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.....64
Şekil 3.30 : I. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri 65
Şekil 3.31 : II. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.....66
Şekil 3.32 : II. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.....67
Şekil 3.33 : III. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.....68
Şekil 3.34 : III. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.....69
Şekil 3.35 : I. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri 71
Şekil 3.36 : I. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri 71
Şekil 3.37 : II. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri 72
Şekil 3.38 : II. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri 73
Şekil 3.39 : III. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri 74
Şekil 3.40 : III. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri 75
Şekil 3.41 : I. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri.....76
Şekil 3.42 : I. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri.....77
Şekil 3.43 : II. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri.....78

Şekil 3.44 : II. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri 79
Şekil 3.45 : III. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri 80
Şekil 3.46 : III. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri 81
Şekil 3.47 : BATS ve CLM yağış çıktılarınınTürkiye üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%). 83
Şekil 3.48 : BATS ve CLM RF yağış çıktılarınınTürkiye üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%). 83
Şekil 3.49 : BATS ve CLM yağış çıktılarının Balkan Bölgesi üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%). 84
Şekil 3.50 : BATS ve CLM RF yağış çıktılarının Balkan Bölgesi üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%). 85
Şekil 3.51 : BATS ve CLM RF yağış çıktılarının Balkan Bölgesi üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%). 86
Şekil 3.52 : BATS ve CLM yağış çıktılarının ALP Bölgesi üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%). 87
Şekil 3.53 : Türkiye üzerinde BATS ve CLM yağış çıktılarının topoğrafyayla olan kış ayları mevsimsel farkları histogramı 88
Şekil 3.54 : Türkiye üzerinde BATS ve CLM yağış çıktılarının topoğrafyayla olan ilkbahar ayları mevsimsel farkları histogramı 89
Şekil 3.55 : Türkiye üzerinde BATS ve CLM RCP senaryoları I.periyot yağış 90
Şekil 3.56 : Türkiye üzerinde BATS ve CLM RCP senaryoları II. periyot yağış çıktılarının topoğrafyayla olan kış ve ilkbahar ayları mevsimsel farkları 91
Şekil 3.57 : Türkiye üzerinde BATS ve CLM RCP senaryoları III. periyot yağış çıktılarının topoğrafyayla olan kış ve ilkbahar ayları mevsimsel farkları 92

AKDENİZ ÜZERİNDE 21. YÜZYIL İKLİM SİMÜLASYONLARININ İKİ AYRI YÜZEY MODELİYLE KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

ÖZET

Hava durumu ve daha uzun zaman ölçeğinde iklim değişikliğini tahmin etmenin tek yolu bilgisayar modellerini kullanmaktır. Atmosferin kompleks yapısına ve altında yatan fizik yasalarına uygun matematiksel eşitlikleri çözen modeller sayesinde hava ve iklimi tahmin etmek giderek kolaylaşmıştır. Bu çalışmada Akdeniz üzerinde 21. yy iklim simulasyonları iki ayrı yüzey modeliyle karşılaştırılmıştır. BATS ve CLM modelleri arazi yüzey modelleridir. BATS modeli Bölgesel İklim Modelinin arazi modellerinden biri olup, bu modelde bitki örtüsü ve toprak nemi arasındaki ilişkiyi momentum, enerji ve su buharı dengelerini kullanırken, bir diğer yüzey modeli olan CLM ise karbon döngüsü, bitki örtüsü dinamiği ve nehir akışını içeren yüzey modelidir. RegCM4 modeliyle yapılmış bu çalışmada Seçilen bölge, Dünya İklim Araştırma Programının (WCRP)' ın Koordine Edilmiş Bölgesel "Downscaling" Deneyi'nin Akdeniz Bölgesi için olan konfigurasyonu kullanılmıştır (Med-CORDEX).

Yapılan simulasyonlarda RegCM4 modeli tarafından 50 km'lik yatay çözünürlük, düşeyde ise 18 seviye ile kullanılmıştır. Model 120×82 grid matrisindedir. Kümülüs parametrizasyonu olarak Grell (1993), radiatif transfer fiziği için CCM3 (Kiehl vd., 1996), arazi modeli için hem BATS (Dickinson vd., 1993) ve CLM (Steiner vd., 2009), konvektif şeması ise Arakawa ve Schubert (1974) seçilmiştir. Model için sağlanan deniz yüzeyi sıcaklığı verileri ise (SST) Uluslararası Teorik Fizik Merkezinin (ICTP) 'in deniz yüzeyi sıcaklıklarıdır. İki farklı yüzey modelleri ile koşturulan kontrol simulasyonları 1989-2009 yılları arasında yapılmıştır. Modelde başlangıç ve sınır koşulları için ECMWF'in $1.5x1.5^0$ çözünürüğündeki ERA-Interim veri seti kullanılmıştır.

21 yy. Iklim simülasyonları ise CMIP5 projesi kapsamında oluşturulan RCP senaryolarından RCP8.5 senaryosu kullanılarak yapılmıştır. CMIP5 RCP, gelecek simulasyonları için ise öncelikle yapılan referans simülasyonlar, HadGEM-ES modellerinin referans dönem verileri, gelecek simülasyonlar için ise RCP8.5 çıktıları kullanılmıştır. HadGEM2-ES modelleri Atmosfer-Okyanus Küresel İklim Modeli ile birleşik model olup, atmosferik yatay çözünürlük 1.875^0 x 1.25^0 , düşeyde ise 38 seviyeden oluşur. Okyanus yatay çözünürlüğü 1^0 olup, ekvatorda ise bu çözünürlük 1/3 oranında artmaktadır, düşeyde ise 40 seviye vardır. Model zaman adımı, kara ve atmosferde 30 dakika, okyanus da ise 1 saattir. CMIP5 RCP, gelecek simulasyonları için ise öncelikle yapılan referans simülasyonlar, HadGEM-ES tarihsel verileri 1970-2000 arası kullanılarak, modele başlangıç koşulları olarak verilmiştir. Referans periyodları BATS ve CLM modelleri tarafından koşturulan model çıktıları ayrı ayrı incelenmiştir. Referans simülasyonları da CRU veri setiyle karşılaştırılmış, modellerin bu periyottaki taraflılığı görülmüştür. Gelecek simülasyonları ise HadGEM2 modelinin RCP8.5 çıktıları kullanılarak koşturulmuştur. RCP8.5 çıktıları 3 farklı 30 yıllık periyotlarda (2011:2040), (2041:2070), (2070:2100) ayrı ayrı

incelenmiştir ve referans simülasyonlarından ola farklara bakılarak 2100 yılına kadar radiatif zorlama baz alınarak hangi bölgeler de ne kadar farkların oluştuğu incelenmiştir.

Bu karşılaştırmaları iki farklı şekilde ayırırsak, ERAINT sıcaklık sonuçlarının BATS modelinde Kış aylarında Türkiye üzerinde özellikle, Türkiyenin Ege Bölgesi ve kıyılarında model gözleme göre -2 ila -3^{0}C daha soğuk değerler üretirken, CLM modeli, BATS modeline göre hemen hemen tüm aylarda gözleme ve BATS modeline göre daha soğuktur. Bu sıcaklık farklarının benzerleri Referans dönem simülasyon BATS, CLM çıktılarında da görülmektedir. Bu karşılaştırılmalarda en çok dikkat çeken ilkbahar aylarında görülen BATS modelinin Balkan, Karpatlar ve Kuzeydeki ciddi sıcaklık farklılıklarıdır. Maksimum sıcaklıklarda en büyük farklar Yaz aylarında görülmektedir. CLM çıktıları BATS modeline göre 2 metredeki sıcaklıklarda daha soğuk değerler ürettiği görülmüştü, aynı farklılıklar maksimum sıcaklık değerlerinde de görülmektedir. Toplam yağışa bakıldığında ise kış aylarında model alanı içinde çoğu yerde gözlem verilerinden daha fazla yağış üretilmiştir. Bu farklar 50 ila 100 mm arasında değişirken, CLM modelinin yağış çıktısı BATS modeline nazaran daha az, gözleme göre daha yakın değerler ürettiği gözlenmiştir.

HadGEM2 RCP8.5 çıktıları kullanılarak yapılan gelecek simülasyonlar karşılaştırılmalarında ise, 2011:2040 periyotlarından 1970-2000 Referans simülasyonları çıkarıldıktan sonra görülen BATS sıcaklık farklarında, kış ayları sıcaklıklarında Türkiye üzerinde 1 ile 1.5^{0}C civarında sıcaklıklar artış görülmekteyken, CLM modeli çıktılarında ise özellikle ilkbahar aylarında sıcaklık artışları Türkiye üzerinde BATS modeline göre biraz daha farklılık gösterirken bu artış 2.5 ve 3.5^{0}C'leri bulmaktadır. 2070:2100 yıları son 30 yıllık periyotda ise durum, BATS çıktılarının referans simülasyonlardan olan farkları diğer periyotlara nazaran bu zaman aralığındaki sıcaklık artışlarının son derece yüksek olması açısından önemli olduğunu gösterir. Yağış sonuçlarına bakıldığında ise farkların oldukça dramatik olduğu görülmektedir. Her iki model sonuçlarında da özellikle yazın ve sonbahar yağışlarında Avrupanın İspanya,Portekiz ve Türkiyenin batı kesimlerinde ciddi yağış azalışları kuraklık sorununu gündeme getirmektedir.

COMPARISION OF 21ST CENTURY CLIMATE SIMULATIONS DRIVEN BY TWO DIFFERENT SURFACE MODEL OVER THE MEDITERRANEAN REGION

SUMMARY

The only way to predict the day-to-day weather and changes to the climate over longer timescales is to use computer models. These models solve complex mathematical equations that are based on well established physical laws that define the behaviour of the weather and climate. This models give us more reliable results. In this study, all the simulations are performed by Regional Climate Model (RegCM version 4) developed by The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP). The 21st century climate simulations are produced by two different land surface schemes with RegCM4 over Mediterranean Sea. Main focus of this study is to compare the differences between the simulations driven by Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) and Community Land Model (CLM). These land surface schemes are important for computing the atmosphere-land surface processes. BATS model solves vegetation and soil moisture by using momentum, water and energy balance on surface. On the other hand, CLM model is included carbon cycles, dynamical vegetation and river routine types. Model domain is specialized for the World Climate Research Programme's (WCRP) Coordinated Regional Downscaling experiment configuration, which is used for the Mediterranean region (MedCORDEX).

All the simulations are performed with a 50-km resolution horizontally. Vertical resolutions include 18 sigma levels. The model domain has a 120x82 grid cell. Grell is used for the cumulus parametrizations and Arakawa-Schubert scheme is selected for convective closure scheme. CCM3 is main scheme is used for the radiative transfer scheme. Sea surface temperature data's are used also. Additionally, land surface models (BATS and CLM) are applied for the RegCM4 simulations, driven by European Centre for Medium-Range Weather Forecasts data set (ERA-Interim re-analysis) for the period of 1989–2010, to test the sensitivity of the surface conditions. CMIP5 RCP8.5 scenario have been applied for the 21st century simulations and HadGEM2-ES simulations are used for initial and boundary conditions to produce reference and future simulations of regional climate model. The HadGEM2 family of climate models represents the second generation of HadGEM configurations with additional functionality including a well-resolved stratosphere and Earth System components. HadGEM2 data sets have a horizontal resolution of 1.25 degrees of latitude by 1.875 degrees of longitude, which produces a global grid of 192 x 145 grid cells. Simulations are driven with HadGEM2-ES reference period which includes 1971-2000 and for future CMIP5 RCP simulations are driven between 2011-2040, 2040-2071 and 2071-2100 by CMIP5 RCP8.5. BATS and CLM simulations output examined seperately and detaily in this thesis. Moreover, model outputs temperature and precipitation values are compared in detail over the Mediterranean region to investigate the areas where the major differences and

changes are risen. Not only their values are compared but also CLM and BATS performance is discussed.
Reference simulations are compared with Climate Research Data Unit (CRU) data set to test model performance and their biases. Future simulations are driven by HadGEM2-ES RCP8.5 data and their outputs also investigated detaily. 2011-2040,2041-2070 and 2070-2100 periods are observed seperately and also their anomalies which is ssubtract by referance periods are also discussed in this thesis.
If we separete this solutions by two, simulations driven by ERA-Interim indicate that the surface temperature results for BATS simulation during the winter over Turkey, particularly, Aegean Region and Turkey coastal areas are colder than observed data. BATS solutions approximately -2°C colder than ERA-Interim. However, CLM simulation for almost all months are colder than BATS results. The maximum difference between the CLM and BATS simulations is found during the summer months, since the BATS simulation have warm bias but the CLM simulation still have cold bias. Same differences are also examined in maximum surface temperature. The precipitation simulation for BATS shows that the model overestimates the precipitation almost all over regions. CLM also overestimates the results but it is not as high as corresponding the BATS simulation.
When we subtract first period of this work which is included 2011-2040 BATS and CLM RCP8.5 future data's from reference period (1970-2000), average temperature differences are seen by results. Our investigation's show that, BATS average temperature results in winter are more warmer than referance period with a 1-1.5°C.
Additonaly, CLM outputs are usually same with BATS results but some periods and regions CLM is warmer especially in spring. 2-3°C are warmer over Turkey from referance period in spring. Second period of this work, includes 2040-2070, differences are becoming more dramatical. Because of warming climate, BATS especially summer and spring months are warmer about 4-5°C more. Moreover, anomalies are reached 5°C at Turkey's east region. CLM results are parallel of this results. It is also warmer and is increasing more in Turkey's east regions also. Third and last period of this work (2070-2100) results are reached more critical level than the previous periods. Increasing temperatures affect all over the domain. Almost, all region's average temperature's from model domain is increasing. Though, summer, winter, spring and autumn's temperature averages are increasing with a more than 4°C. In summer, Turkey's east and Spain are facing more warming and the results which is 6-8°C are more dramatical than the other regions.
Precipitation results are also dramatical too. All evaluations are calculated same procedure with temperature. Results are shown that, more dry climate will should be happened in future. In first period of this work, precipitations are increasing by 100 mm in Alpine Region and North Italy, on the other hand, in Turkey and also Mediterrean coast and Turkey's GAP Region's precipitations are decreasing by 100 mm range. In autumn months, Spain and Portugal coast's precipitations are decreasing too. Second period of this work shows us that Turkey's south rain regime becoming change. CLM results mostly in spring, Adriatic and North Italy and Alpines precipitations are decreasing by 100mm, same season Mediterrean and South Region of Turkey are facing this decreasing too.
If we look the snow water thickness results, all dramatic changes in future are also same for this parameter. When we see the results, it is obvious that Spring and winter snow's regimes will should be changing and decreasing ofcourse. In Alpine region, Russian and South Region of Turkey which are more higher region, snow thickness should be with a 50-150 mm decreasing in this regions. Between 2070-2100 periods,

decreasing with 300 mm are seen in Alpine regions and Turkey's east higher regions. Also CLM and BATS results are similar with each others and they both decreasing all periods in winter and spring months.

1. GİRİŞ

İklim sistemi kaotik, kompleks, interaktif sistem olup, atmosfer, kara yüzeyi, okyanus, buz, kar yüzeyi ve yaşayan canlıları kapsar. İklim sisteminin atmosferik bileşenleri bir bölgenin iklimini karakterize eder. Geniş bir bölge içinde ve uzun yıllar boyunca değişmeyen ortalama hava koşullarına iklim denir. Bölgenin enlemi, konumu ve baskın rüzgar profili o bölgenin iklimini etkileyen temel faktörlerdir (Desonie, 2008). Bir yerin, bir bölgenin iklimi o yerin yükseltisine, topografyasına, fiziki özelliklerine ve denizlere olan uzaklığına da bağlıdır.

Yeryüzü sürekli değişmekte ve beraberinde iklimi de değiştirmektedir. İklim değişikliğinin ana sebebi; iklim ve atmosferin enerji kaynağı olan Güneş'ten yeryüzüne gelen ve yeryüzünden atmosfere yayılan net enerji dengesinin değişime uğramasıdır. Yeryüzünün enerji dengesini değiştirebilecek üç temel sebep vardır. Bunlardan ilki, gelen solar radyasyon miktarının değişmesidir ve bu da yeryüzünün yörüngesini değiştirmekle mümkündür. İkinci olarak, yansıtılan solar radyasyonun değişmesidir, örnek olarak bulut kapalılığı, albedo verilebilir. Son olarak da yeryüzünden atmosfere yayınlanan uzun dalga boylu radyasyon miktarındaki değişimlerdir.

Güneşten yayılan kısa dalga boylu radyasyonun bir kısmı atmosfer tarafından tekrar uzaya yansıtılırken bir kısmı da bulutlar ve büyük çoğunluğu yeryüzeyi, okyanus ve buzullar tarafından absorblanır. Yeryüzeyi tarafından absorblanan kısa dalga boylu radyasyon daha sonra uzun dalga boylu radyasyon yayar. Atmosfere yayılan bu uzun dalga boylu radyasyonun bir bölümüde sera gazları tarafından tutulur ve yeryüzeyinin ve atmosferin ısınmasına yol açar. Dolayısıyla enerji dengesini değiştiren faktörlerden büyük çoğunluğu sera gazları olarak nitelendirilen (CO, H_2O, CO2, CH_4, N_2O, O_3) gazların atmosferdeki antropojenik ve doğal kaynaklı konsantrosyonunun artması olarak gösterilir.

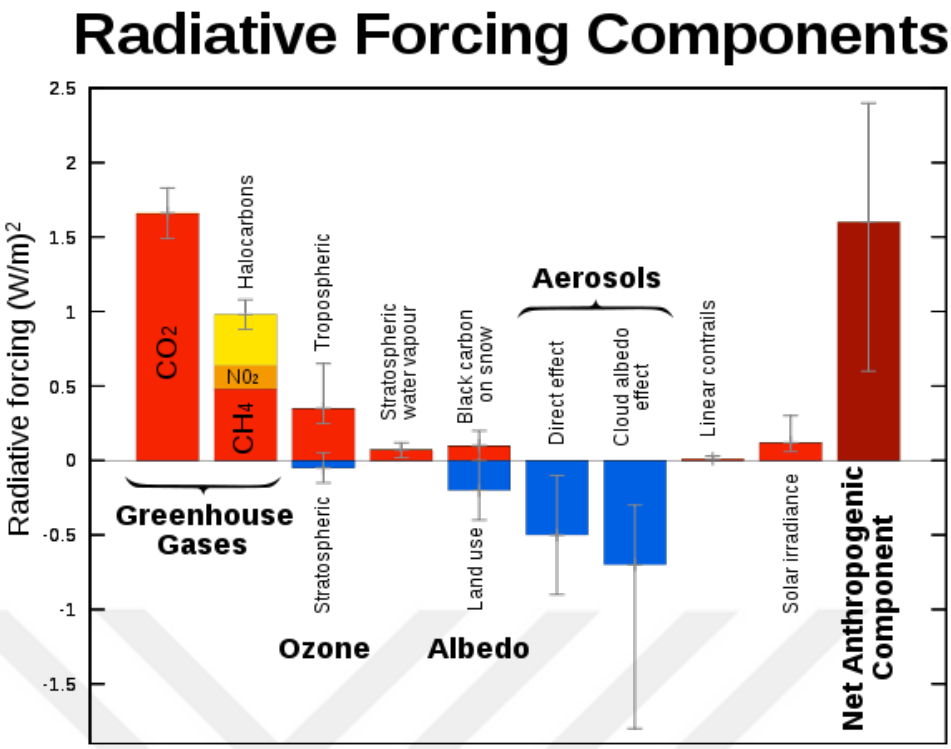
IPCC' in 1990 yılındaki ilk raporunda sera gazlarından kaynaklanan ısınmaya "radiatif zorlama" olarak adlandırılmış olup, doğal ve antropojenik faktörlerinin bu

radiatif zorlamaya sebep olduğu belirtilmiştir (IPCC, 1. Report, 1990). Radiatif zorlamayı, doğrudan ve dolaylı radiatif zorlama şeklinde ayırabiliriz. Dolaylı radiatif zorlanmaya örnek verecek olursak, NO_x ve CO gazlarının kimyasal reaksiyona girmeleri sonucu, temel sera gazlarının konsantrosyunu etkilemektedir. Troposferik ozonun oluşumu bu gazların kimyasal reaksiyona girmeleri sonucu dolaylı yollardan oluşan radiatif zorlamaya örnek olarak gösterilir. İnsan aktiviteleri ve doğal faktörlerde direkt radiatif zorlamaya sebep olmaktadır.

Sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyon miktarları doğrudan olarak radiatif zorlamayı etkilemektedir. Şekil 1.1 radiatif zorlama bileşenlerini ve bu bileşenlerin atmosferdeki zorlama oranları görülmektedir. Sanayi Devriminden günümüze kadar olan dönemde, CO_2 miktarındaki büyük artış (280.10^{-6} m'dan 356.10^{-6} m) radiatif zorlamaya 1.56 Wm^{-2} değerle en büyük katkı yapan sera gazlarından biridir. CH_4 miktarındaki artış ise 0.7 'den 1.7. 10^{-6} m olup radiatif zorlamaya olan katkısı 0.5 Wm^{-2}. Diğer önemli sera gazlarından N_2O miktarındaki artış ise radiatif zorlamaya 1.1 Wm^{-2} katkı sağlamaktadır. CFCs ve halokarbonların konsantrasyon artışı ise sanayi devriminden bugünlere kadar radiatif zorlamaya 0.3 Wm^{-2} civarında katkıda bulunmuştur (IPCC 1.Raporu,1990). Sera gazlarına ek olarakda troposferik ozon ve aerosol miktarındaki artış da radiatif zorlamaya önemli ölçüde sebep olmaktadır.

Yeryüzünün radyasyon dengesindeki, giderek artan sera gazları salınımı ve aerosole bağlı olarak meydana gelen en küçük değişiklik, sadece atmosferik ve okyanus sıcaklıklarını değiştirmemekte aynı zamanda hava paternlerinin konumunu, şiddetini ve sirkulasyonunu da ciddi derecede etkilemektedir. Dolayısıyla radiatif zorlamanın insan kaynaklı etkilerini azaltmak son derece önemlidir ve bunun önemini belirtmek ve şiddeti hakkında bilgi sahibi olmak iklim bilimcilerin son dönemde büyük ilgisini çekmiştir.

İklim senaryoları sadece gelecek hakkında alternatif bir vizyon vermemekle beraber, gelecek de hangi tehlikelerin beklenildiği, ve hangi alanlarda sıkıntıların ortaya çıkabileceği, dolayısıyla ne gibi önlemlerin alınması gerektiği açısından da çok önemlidir.



Şekil 1.1 : Radiatif zorlama bileşenlerinin radiatif zorlama değerleri.

1.1 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, iklim değişikliğinin değerlendirilmesi ve analiz edilmesi için önde gelen uluslararası organdır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından 1988 yılında kurulmuş olan IPCC, aynı yıl Birleşmiş Milletler Genel Kurulunda onayını almıştır. Panelin temel esaslarından biri Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Konvansiyonu'nun (BMİDÇK) uygulanmasıyle ilgili konularda özel, kapsamlı raporlar yayımlamaktır. (IPCC, 2004). IPCC 4 adet ana değerlendirme raporu yayınlamıştır.

1.1.1 IPCC 1. değerlendirme raporu

IPCC panelinin yayımladığı raporlardan ilki 1990 yılındadır. Bu raporda, atmosferdeki antropojenik kaynaklı sera gazlarının artışının önemli ölçüde iklimi değiştirdiği vurgulanmıştır ve bunun sonucunda da yeryüzünün ortalama sıcaklığında artış gözlenmektedir. Yapılan çalışmalarda da, küresel ortalama sıcaklığın her 10 yılda 0.3°C artacağı da saptanmıştır (IPCC 1. Değerlendirme Raporu, 1990).

1.1.2 IPCC 2. değerlendirme raporu

İkinci değerlendirme raporundan önce 1992 yılında tamamlayıcı bir rapor hazırlanmıştır. Hemen akabinde de 1996 yılında IPCC'nin ikinci raporu yayımlanmıştır. Bu rapora göre, birinci rapora ilaven sera gazı konsantrasyonun artışının devam ettiği, antropojenik kaynaklı sera gazlarının salınımın ve aerosol miktarındaki artışın radiatif zorlamaya yaptığı katkısı tespit edilmiştir. Diğer bir çarpıcı sonuçlardan biri de 100 yıllık periyotta hava sıcaklığı ortalama olarak 0.3°C ila 0.6°C oranında artmıştır. İlk olarak ikinci raporda gelecek simulasyonlarının tutarlılığı test edilmiş olup, bu konuda daha fazla güvenilir sonuçlar elde edileceği ve modellere uygulanacağı bildirilmektedir. (IPCC 2. Değerlendirme Raporu, 1995).

1.1.3 IPCC 3. değerlendirme raporu

Panelin üçüncü önemli raporu 2001 yılında yayımlanmıştır. Bu raporda da, birinci ve ikinci değerlendirme raporlarındaki sera gazları artışının vurgulandığı, ve 20 yy.'dan itibaren kaynaklı ısınma %60'dan yüksek bir olasılıkla antropojenik kaynaklı olduğuda değerlendirilmiştir. Beklenen iklim değişiminden sosyoekonomik ve çevresel etkileri oldukça fazla olmakla beraber, ekosistem ve canlı türleri oldukça etkileceklerdir (IPCC, 3.Değerlendirme Raporu,2001).

1.1.4 IPCC 4. değerlendirme raporu

IPCC panelinin yayımladığı dördüncü rapor ise 2007 yılında yayımlanmıştır. Raporda, gelecek simulasyonların sonuçları değerlendirilmiş olup, IPCC 'in Özel Rapor Emisyon Senaryoları (SRES, 2000) adlı senaryo kullanılmıştır. SRES senaryoları 4 farklı A1, A2, B1 ve B2 olarak gruba ayrılmıştır.

- A1 senaryosu, gelecekte hızlı ekonomik büyümeyi ve bununla beraber orta yüzyıla kadar küresel populasyonda maximum seviyeye geçiş ve ardından giderek azalan populasyonu tanımlar. A1 senaryosu kendi içinde teknoloji temel alınarak üç ana gruba ayrılır. A1FI fosil yoğunluklu enerji kaynaklarını, A1T fosil olmayan enerji kaynaklarını ve A1B senaryosu ise kaynaklar arasında dengeye dayalı senaryodan oluşur.
- A2 senaryosu ise heterojen bir dünyadan bahseder. Bölgeler arasında doğurganlığın arttığı böylece sürekli artan bir popülasyonu esas alır. Ekonomik kalkınmanın bölgesel merkezli olduğu ve teknolojik

değişikliklerinde diğer senaryolara göre daha yavaş ilerlediği senaryo biçimidir.

- B1 senaryosu, A1 senaryosunda olduğu gibi küresel bir dünyada gittikçe artan populasyon ve orta yüzyılda en yüksek seviyeye ulaştıktan sonra, populasyonun azalması üzerine kuruludur. Fakat farklı olarak hızlı gelişen ekonomi yapısını esas alır.
- B2 senaryosu ise orta dereceli bir populasyondan ve ekonomik büyümeyi esas alır. Ekonomi, sosyal ve çevresel sürdürebilirlik konularına lokal çözümleri tanımlar. Gittikçe artan bir populasyon fakat A2 senaryosundaki artıştan daha az bir ivmeyle, orta seviye ekonomik ve teknolojik gelişmeden bahseder.

SRES senaryolarının yanı sıra 4. Değerlendirme Raporunda aynı zamanda antropojenik kaynaklı ısınmanın giderek arttığı vurgulanmış ve bu artışın küresel ölçekte fiziksel ve biolojik sistemi nasıl etkilediği hakkında da durulmuştur. Varılan diğer sonuşlar ise, geçmiş yüzyıl içinde ortalama sıcaklık 0.74°C artmıştır. SRES senaryolarının sonuçlarında da arktik bölgelerdeki ısınmanın küresel artışın çok daha fazla olduğu belirtilmiştir. Okyanusların ısınması deniz seviyesinin yükselmesine sebep olmaktadır ve Grönland ve Arktik bölgelerdeki buzul tabakasının giderek azalması da 1993-2003 yılları arasındaki deniz seviyesinin artışı sonucu olmaktadır. Deniz suyu sıcaklıklarındaki artış birçok bölgede kasırgaların ve hortumların sayısını ve şiddetinide arttırmıştır (IPCC 4. Değerlendirme Raporu).

1.1.5 IPCC 5. değerlendirme raporu

IPCC 5. Değerlendirme raporunun çalışma grubu raporlarıyla ve sentez raporuyla beraber 2013/2014 yılında tamamlanacaktır. 5. Değerlendirme raporunun ilk çalışma grubunun raporlarının sonuçlarına göre; 1850 yılından beri yeryüzü gittikçe ciddi oranlarda ısınmaktadır ve kuzey yarımkürede son 1400 yıldır, en sıcak 30 yılın 1983-2012 yılları olduğu belirtilmiştir. 1951 ve 2010 yılları arasında gözlemlenen ısınmanın yaklaşık olarak 0.6°C ile 0.7°C arasında olduğu 20 yy. ortalarından itibaren gözlemlenen ısınmanın ciddi oranda insan etkisinin dominant olduğu saptanmıştır. Ek olarak 5. raporun gelecek simulasyonları Birleşik Model Karşılaştırma Projesi (CMIP5, Coupled Model Intercomparision Project) kapsamında

iklim modellerine dayanılarak yapılmaktadır. (IPCC, 5. Değerlendirme Raporu, Grup Çalışması 1,2013).

1.2 Birleşik Model Karşılaştırma Projesi (CMIP)

Dünya İklim Araştırma Programının (WCRP) Birleşik Modelleme Çalışma Grubunun (WGCM) kapsamında atmosfer-okyanus genel sirkulasyon modellerinin sonuçlarını incelenmesini amaçlayan ve 1995 yılında başlatılan projedir. CMIP projesinin genel amacı ise model çıktılarını kullanıp, diğer modellerle olan farklılıklarını irdeleyip, farklılıkların nerelerden kaynaklandığı anlamaya yönelik projedir.

CMIP projesinin ilk projesi olan CMIP1 projesi, birleşik genel sirkulasyon modelleri kontrol simulasyonlarının çıktılarını değerlendirmiştir fakat CO_2 ve diğer iklim zorlamaların sabit kaldığı projedir. CMIP2 projesinde ise atmosferik CO_2 yıllık artış oranını %1 kabul ederek 1997 yılında eklenmiştir (Covey, 2003). Daha sonralarda da iklim zorlamaların katkısı eklenmiş olup, CMIP3 2007, CMIP4 2009 ve son olarak da CMIP5 2013 yılı sonlarında çıkmıştır.

1.2.1 Birleşik model karşılaştırma projesi v5 (CMIP5)

2008 yılında Dünya genelinden 20 Dünya İklim Araştırma Programı'nın Birleşik Modelleme Çalışma Grupları iklim modelleri deneyleri gerçekleştirmeye başladılar.

Bu deneyler aynı zamanda CMIP5 projesinide içermekteydi. Bu deneylerin amacı, geçmiş ve gelecek iklim farklılıklarını anlamaya yönelik gerçekleştirilen iklim simulasyonlarındaki tutarsızlıkları belirlemekti (Meehl,2011).

CMIP5, modellerin yakın geçmişi simule ederken gerçeğe nekadar yakın olduğunu, sonuçların nekadar tutarlı, güvenilir olduğunu hesaplar. Aynı zamanda 2 farklı zaman ölçeğinde; yakın gelecek adı altında yaklaşık 2035 e kadar, uzun dönemde ise 2100 ve ötesinin de hesaplandığı gelecek simulasyonları için projeksiyon sağlar. Diğer önemli katkılarından biri de model projeksiyondaki farklılıkların altında yatan sebepleri anlamada yardımcı olmakla beraber, bazı önemli geridönüşüm mekanizmalarının da anlaşılmasını içerir, örnek olarak karbon döngüsü ve bulut geridönüşüm mekanızması verilebilir (Taylor K. vd., 2011). Çizelge 1.1 ile

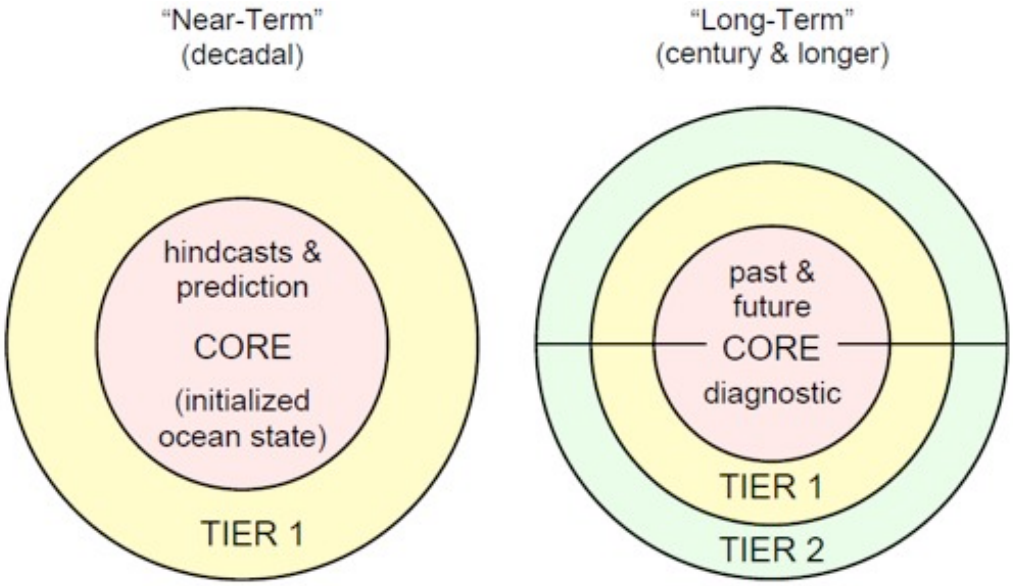
görüldüğü gibi, CMIP5 projesi 50 den fazla iklim modeli kullanarak iki farklı zaman dilimine ayrılarak incelenmiştir.

Çizelge 1.1 : CMIP5 Dönem Entegrasyonları.

Uzun Dönem Entegrasyonları	Yakın Dönem Entegrasyonları
100 yıllık	10-30 yıllık

Uzun dönem yapılan simulasyonların başlangıcı, genellikle sanayileşmenin öncesine uzanır ve bu simülasyonlar atmosfer-okyanus küresel iklim modelleriyle bazen de, birleşik karbon döngü modelleriyle yapılmıştır. Yakın dönem simulasyonlardan bazılarıda okyanus ve buzulların gözlemlenmeye başladığı zamanı başlangıç noktası olarak alınmıştır (Taylor K. vd., 2011).

Şekil 1.2 ile CMIP5 çalışmalarının şematik görünümünü gösterilmektedir. CMIP5 çalışmalarında oldukça fazla simülasyonlar olduğu için, her iki zaman ölçeği esas alınarak, CMIP5 deneyleri 3 ana grupta toplanmıştır. Bunlar "Çekirdek", "1.Aşama" ve "2.Aşama" gruplarıdır. Çekirdek deneyleri çoklu-model verilerinin analizini anlamak açısından tüm gruplar tarafından yapılması gerekmektedir. 1.Aşama ise iklim model zorlamalarını değişik açılardan incelerken 2.Aşama daha detaylı bir inceleme yapar (Taylor K. vd., 2011).



Şekil 1.2 : CMIP5 Çekirdek, 1. ve 2. Aşama Grupları.

1.3 Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs)

Gelecek iklim simulasyonları, altında yatan iklim zorlamaları, IPCC'in en önemli çalışma konularından biri olmuştur. 2006 yılında yapılan Birleşik Modelleme Çalışma Grubu (WGCM), Dünya Sisteminin Analiz, Entegrasyon ve Modellemesi (AIMES) ve Entegre Modelleme Değerlendirme Konsorsiyumu (Integrated Assessment Modeling Consortium)'nun ortak çalışmaları sonucu daha koordineli ve daha tutarlı yeni bir senaryo çalışmalarına başlanmışdır. Gelecek iklim için 2006 yılında başlayıp 2300'lü yıllarda son bulan, biri azaltılmamış, diğer üçü farklı sevihyelerde azaltım hesaplamaları olan 4 emisyon senaryoları üretilmiştir (Meinshaussen vd., 2011). Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs) adı verilen bu senaryolar nüfusun artışı, teknolojinin ve ekonomik artışla beraber emisyon miktarının artışı da eklenerek düzenlenmiştir. RCPsler'in altında yatan temel amaç, gelecekte atmosferik karışımın hangi aralıkta nekadar artacağı, nasıl değişeceği hakkında olası senaryolar ve detaylı bilgiler üretmektir (Moss vd., 2010). RCP senaryoları Birleşmiş Milletler Çerçeve Sözleşmesi İklim Değişikliği (UNFCCC), uluslararası organizasyonlar tarafından kullanıyor olup, RCPs başlıca araştırma topluluğunun başında ise Entegre Değerlendirme Modelleme (IAM), Etki, Adaptasyon ve Hassasiyet (IAV) ve İklim Modelleme (CM) toplulukları gelmektedir. Farklı çalışma gruplarının olması, RCPs senaryolarının gelişimi ve yeni aplikasyonların oluşması ve olabilecek sorunlar hakkında verimli tartışmaların olması açısından oldukça yararlıdır. (IPCC Uzman Raporu, 2007).

RCPs senaryoları çoklu-gaz emisyon senaryolarıdır. SRES senaryolarından farklı olarak, RCP senaryoları daha büyük radiatif zorlama değerleri kullanmaktadırlar. (Fujino vd., 2006; Smith and Wigley 2006; Clarke vd., 2007; Riahi vd., 2007; van Vuuren vd., 2007; Hijioka vd., 2008; Wise vd., 2009). RCP başlangıç değerleri ve 2100'e kadar ekonomik aktiviteye, enerji kaynaklarına, sosyo-ekonomik faktörler baz alınarak tahmin edilmiş emisyon değerlerinden oluşmaktadır.

RCP senaryoları yakın dönem ve uzun dönem senaryoları olarak ikiye ayrılmaktadır. Yakın dönem senaryoları 2035'e kadar olan zaman dilimini kapsarken, uzun dönem senaryolar ise 2100'e kadar olan periyodu kapsamaktadır. Kısa dönem ve uzun dönem senaryoları arasındaki farklılıklar önemlidir. Kısa dönem senaryolarındaki temel hedef, emisyonların hava kalitesine olan etkisini anlayabilmek, trendler ve

ekstrem durumlar için bilgi sağlamak ve IAV topluluğu için önemli bilgiler sağlamaktır. Uzun dönem senaryolarındaki hedef ise, jeofiziksel ve biyokimyasal değişimlerin altında yatan temel riskleri anlayabilmek, adaptasyon, kalkınma açısından uzun dönemdeki bazı belirsizlikleri kaldırmaya yönelik adaptasyon stratejileri yaratmaktır.

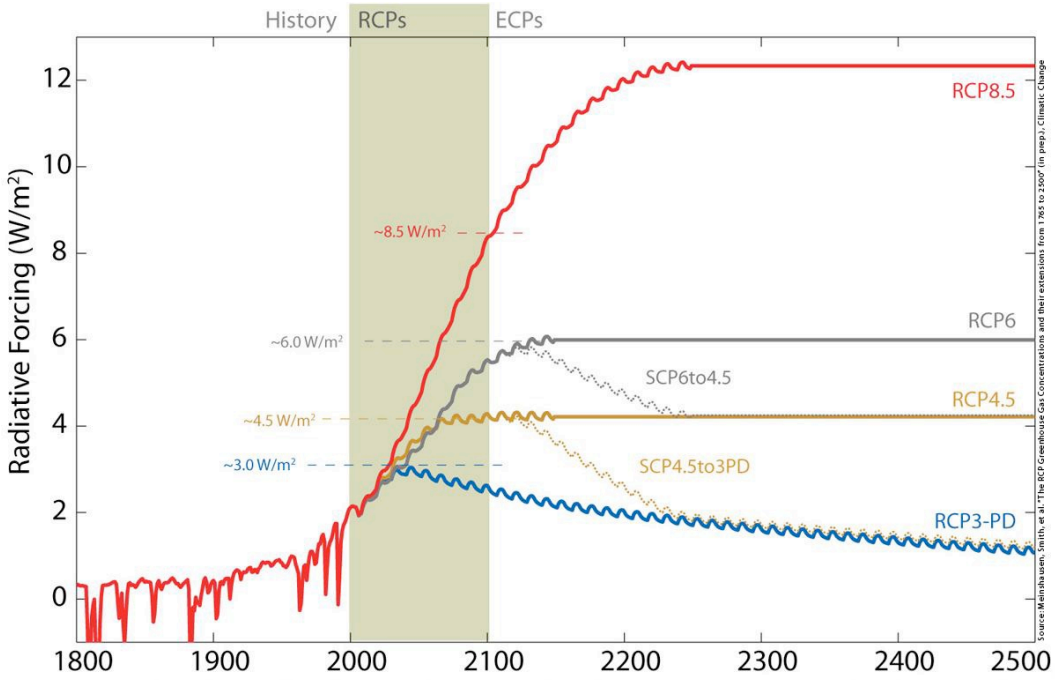
RCP senaryoları 4 farklı IAMs modellerinden oluşmaktadır. Fakat bu farklılık, emisyon ve konsantrasyon ilişkisindeki bazı tutarsızlıkların olması sebebiyle senaryoların iklimsel sonuçların yorumlanmasında güçlük çıkabilmektedir (Meinshaussen vd., 2011). IAM emisyonları RCP sera gazları konsantrasyon değerlerini üretirler. Bu üretimde referans sera gazları konsantrasyonu, 2000-2005 emisyon seviyelerindeki emisyon miktarları ve en iyi tahminli sera gazları konsantrasyon değerlerini içerir. IAM modelleri RCP verilerini oluştururken emisyon ve konsantrasyon verileri elde ederler, fakat bu emisyon değerlerini elde ederken her birinde farklı referans yıllarını baz alarak kullanırlar. RCP senaryoları 4 farklı senaryolardan oluşmaktadır. Çizelge 1.2 ile gösterildiği gibi, 4 RCP senaryoları, 2100'e kadar 2.6'dan 8.5 Wm^{-2} zorlama değerlerine sahip olarak karakterize edilirler. (Van Vuuren vd., 2011).

Çizelge 1.2 : CMIP5 Senaryoları ve Karakteristlikleri.

CMIP5 Senaryoları	Karakteristlikleri
RCP8.5	En yüksek radiatif değere sahip olduğu ve bu radiatif zorlamanın 2100'e kadar>8.5Wm^2 2250'de 12 Wm^{-2} yi bularak stabil hale gelir.
RCP6.0	Dengelenmiş, 2100 den sonra 6 Wm^{-2} 'de stabil hale gelir.
RCP4.5	Dengelenmiş, 2100 den sonra 4.5 Wm^{-2} 'de stabil hale gelir.
RCP2.6	2100'den itiibaren radiatif zorlamanın 3 Wm^{-2} 'e gelmesi daha sonra 2.6 Wm^{-2} azalarak dengelenmesi.

Şekil 1.3 RCP senaryolarının yıllara göre radiatif değişimlerini göstermektedir. IPCC'in 5. Değerlendirme raporunda ele alınan bu dört senaryo ve radiatif zorlanma değerleri ve bu zorlanmaların yıllara göre olan değişimleri incelendiğinde, 2100

yılına doğru radiatif değerler, tüm senaryolarda temsil ettikleri radiatif değerlerlerine ulaşmaktadır. RCP6.0, RCP4.5 senaryoları 2100 yılından sonra, sabit oranda ilerlemektedir. RCP2.6 senaryosu ise şekilde görüldüğü gibi, 2100 yılından sonra radiatif değerini azalan eğilimi göstermekte, RCP8.5 senaryosu ise, 2100 yılından sonra artış göstermektedir.

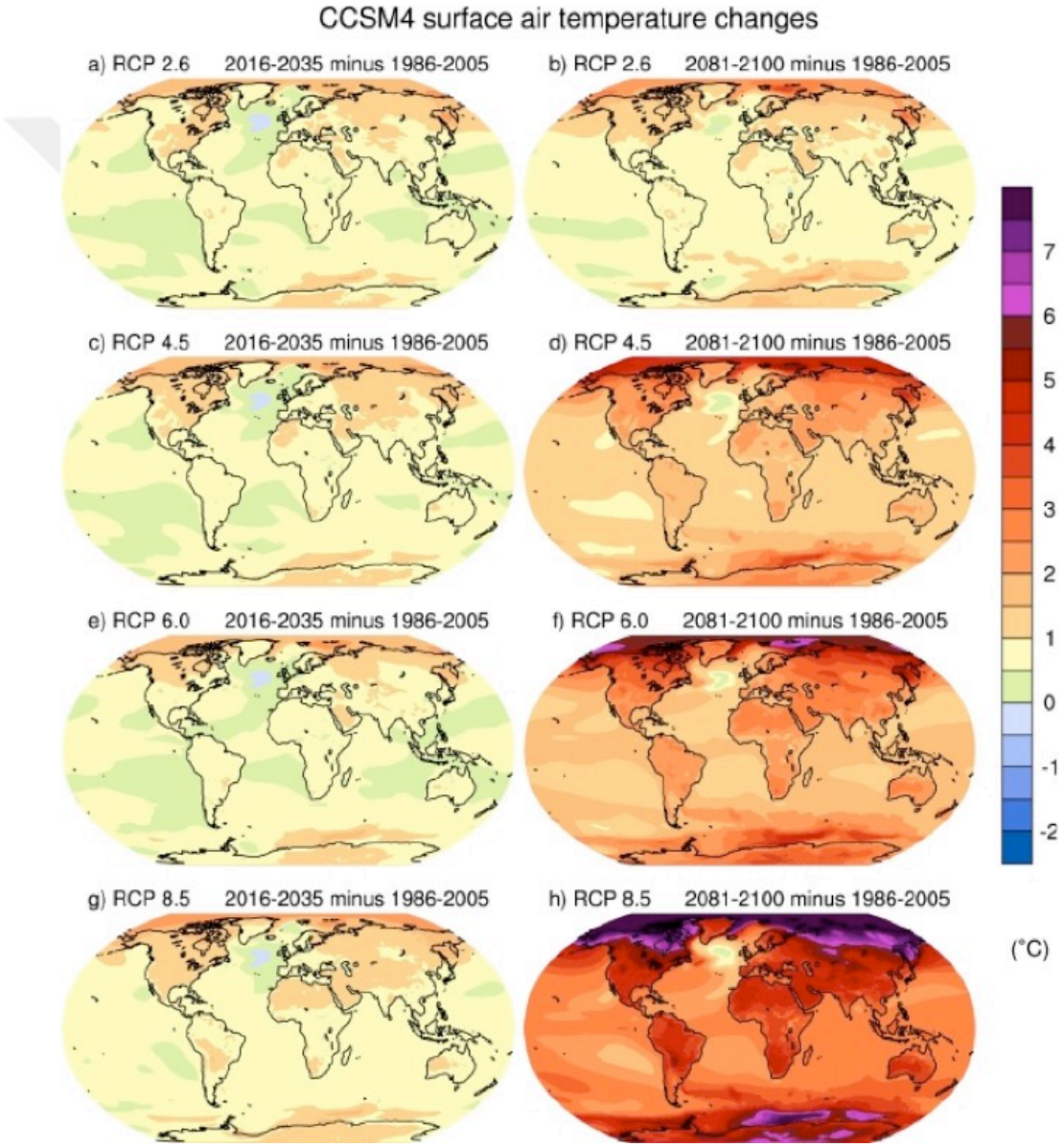


Şekil 1.3 : RCP senaryoları yıllara göre radiatif değer değişimleri.

1.4 Literatür Araştırması

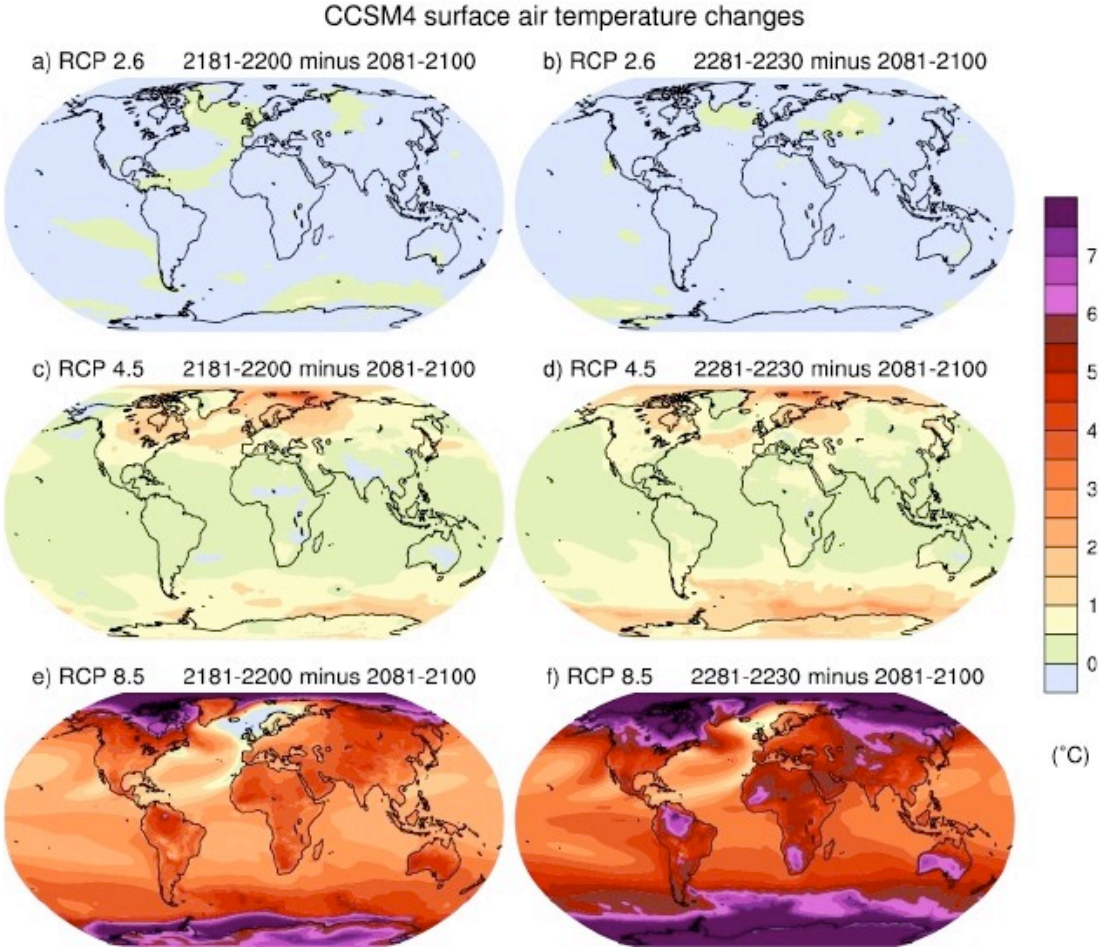
Gelecek iklim senaryoları, IPCC ve birçok iklim topluluğu tarafından benimsenmiş, çok önemli konulardan biridir. Dünyada iklim modelleme alanında birçok bilimsel açıklama ve çalışmalar vardır. İklim senaryoları da oldukça önemli olup, gelecekte oluşabilecek durumlara karşı sadece adaptasyon stratejileri çıkarmaya yarar sağlamadığı gibi, aynı zamanda olabilecek durumlara karşı risk alanlarını ve risk noktalarını belirlemek açısında da önemli olmuştur. İnsanlardan kaynaklanan radiatif zorlamanın arttığı ve gittikçede bu salınımın artacağı bir durumda, insan ve biyolojik hayatın ne derece etkilenebileceği hakkında bilgi sahibi olmak son derece önemlidir. CMIP ve RCP senaryoları kullanılarak yapılan çalışmalardan Meehl ve diğ. (2011) yaptığı deney CCSM4 modeli kullanılarak CMIP5 deneylerinin RCP senaryolarıyla olan sıcaklık anomaliler incelenmiştir. Aynı zamanda 4 farklı RCP senaryolarının Dünya üzerindeki yüzey sıcaklığı değişimlerin 1986:2005 Referans dönemiyle

2016:2035, 2081:2100, 2181:2200, 2281:2230 gelecek dönemler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda yakın dönemdeki ısınmaların farklı senaryolar olmasına ragmen sonuçların benzerlik gösterdiği görülmüştür, fakat 2081:2100 yılları arasındaki fazla ısınmanın ise hangi senaryonun rol aldığına gore farklılık göstermiştir. Kısacası kullanılan senaryonun gidişatı uzak gelecekteki sıcaklık miktarlarını oldukça değiştirmiştir. RCP2.6 2100 den sonraki simulasyon sonuçlarında soğuma gözlemlenmiş, RCP 8.5 da ise 2300'e kadar devam eden oldukça yüksek ısınmalar farkedilmiştir



Şekil 1.4 : RCP senaryoları yüzey sıcaklığı değişimi (2016-2100).

CMIP5 ve RCP senaryoları kullanarak yapılan çalışmalardan biri Şekil 1.5 ile gösterilen, Cattiaux ve diğ. (2013)'de yaptığı bir çalışmada CMIP5 projesi kapsamında 33 küresel model birlikte çalıştırılarak RCP8.5 senaryosu kullanılarak Avrupa sıcaklıklarına değişkenliklerine bakılmıştır. Bu çalışmada 1979-2008 yılları senaryolar için referans periyodları olmuş olup, gelecek içinde 2070-2099 yılları için simule edilmiştir. CMIP5 modeli kışın daha soğuk değerler simule etmişken, orta Avrupa için ise yazın sıcaklıklarda "overestimate" gözlenmiştir.



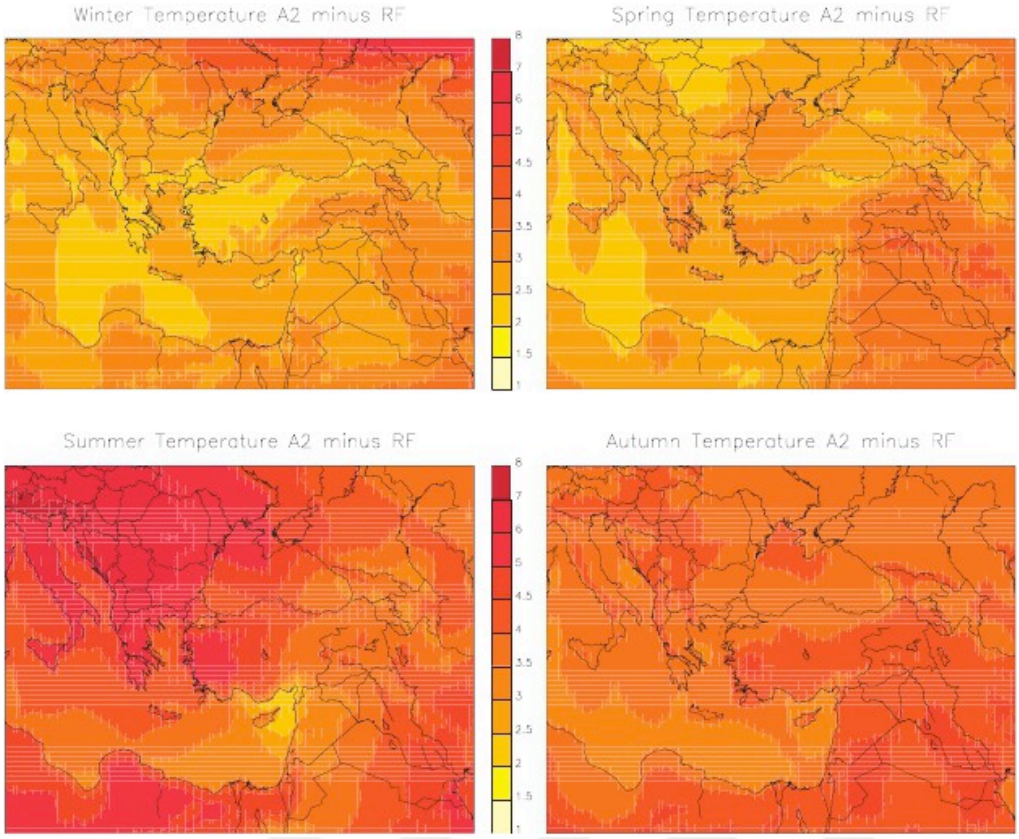
Şekil 1.5 : RCP senaryoları yüzey sıcaklığı değişimi (2181-2230).

Bir diğer CMIP Sillmann ve diğ., (2013)'de yaptığı çoklu-model çalışmasında ise CMIP5 ve CMIP3 modelleri kullanılarak extreme iklim indisleri simule edilmiştir. 27-tane indis kullanılarak yapılan çalışmada 13 CMIP3 ve 31 CMIP5 model çalıştırılmıştır. Yapılan karşılaştırılmalarda sıcaklık indis değerlerinde CMIP3 ve CMIP5 modellerin sonuçları arasında benzerlikler görülmüş olup, fakat CMIP3 model daha fazla değerler simule ettiği de saptanmıştır. Yağış için elde edilen sonuç ise aralarında benzerlikler olduğu fakat CMIP5 daha yoğun yağışla beraber daha az

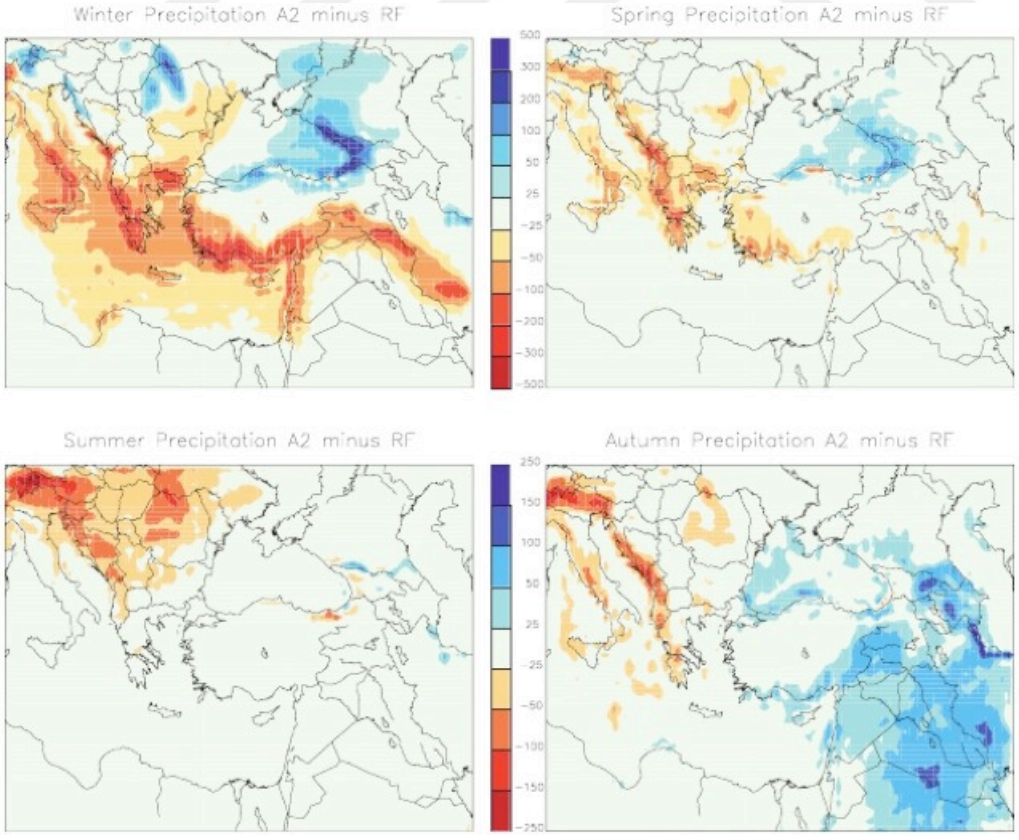
yağışlı gün sayısı CMIP3'e gore çıkarmıştır. Aynı çalışmanın ikinci raporunda ise iklim indisleri 1981-2000 referansı alınarak gelecek iklim için karşılaştırmalar yapılmıştır. Model sonuçları gridlenmiş gözlem indis setleri olan HadEX2 ile karşılaştırılmıştır. Günlük minimum sıcaklıkların günlük maximum sıcaklıklara gore daha iyi sonuç verdiği, extrem yağışların genellikle toplam yağıştan daha hızlı arttığı gözlemlenmiştir. Avustralya, Orta Amerika, Güney Afrika ve Akdeniz Bölgesi için ise kuru günlerin arttığı, bununla beraber yağışlı günlerin azaldığı ve bununda gelecekte kurak ortamın habercisi olduğu belirtilmiştir.

Bir diğer gelecek iklim simulasyonları çalışması ise Önol ve diğ.,(2008) Doğu Akdeniz Bölgesi üzerinde gelecekte küresel ısınmanın bu bölgenin ikliminde nasıl rol alacağı araştırılmıştır. Bu çalışmada Bölgesel İklim Modeli Versiyon 3 (RegCM3) çalıştırılmış, NASA-fvGCM modelinin çıktıları isede referans dönem ve gelecek dönem simulasyonlar için RegCM3 modeline başlangıç ve sınır tabaka koşullarının oluşmasında kullanılmıştır. Başlangıç koşulları referans dönemi 30 yıllık setlerden oluşmuş olup 1961-90 yıllarını kapsar. Gelecek simulasyon için ise 2071-2100 yılları arasındadır. Gelecek simulasyon için kullanılan senaryo IPCC SRES A2 senaryosudur. Model konfigürasyonlarında 30 km çözünürlükte, radyasyon fiziği için CCM3, yeryüzü modeli olarak BATS (Dickinson vd., 1993) kullanılmıştır. Gözlem verisi ise 0.5x0.5° CRU veri setiyle, Ulusal İklim Veri Merkezinin GCN ve GHCN verisi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise iki kısımda incelenmiştir. Günümüz simulasyonları (1961-90) CRU veri setiyle karşılaştırılmış, CRU veri setiyle tutarlı değerler elde edilmiştir. Şekil 1.6 ile görüldüğü gibi, yıllık ortalama sıcaklıklarda model CRU'ya nazaran 2°C daha sıcak değerler elde etmiş. FvGCM model sonuçlarında CRU'la karşılaştırıldığında ise 1°C sıcak taraflılığı çıkmış.

Yağış sonuçları ise Şekil 1.7 ile gösterilmiştir. Genelde CRU sonuçlarıyla tutarlı olup, kışın ve özellikle ilkbahar aylarında model Karadeniz kıyılarında, Türkiye'nin güneybatı kıyılarında fazla yağış tahmin etmiştir. A2 senaryolarına göre modellenen simulasyon sonuçlarında ise yüzey sıcaklıklarında Doğu Akdeniz bölgesinde kışın 2-5°C, ilkbahar da 2-4°C, yazın 2-8°C, sonbaharda da 3-5°C ısınma gözlenmiştir. Sonuçlara göre en dramatik sonuçlar Balkan Bölgesinde çıkmış olup, 8°C yüksekliğinde ısınmadan bahsedilmektedir. Türkiye'nin batı kesimlerinde sıcaklık extremlerinin 6°C ulaştığı da tespit edilmiştir.



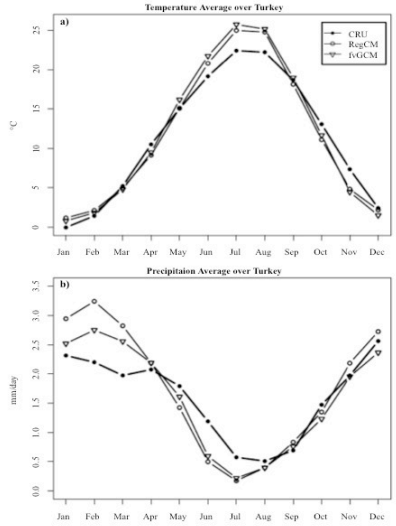
Şekil 1.6 : A2 senaryosu mevsimsel sıcaklık değişimi.



Şekil 1.7 : A2 senaryosu mevsimsel yağış değişimi.

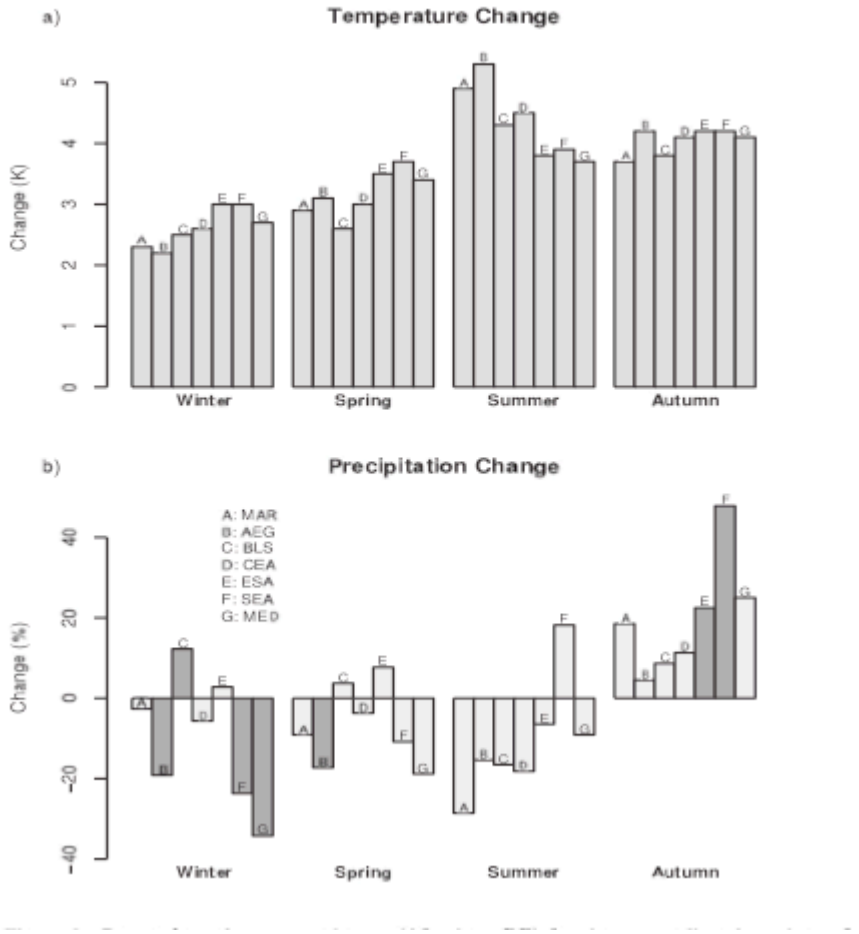
Yaz ayı sıcaklıklarında fvGCM ve RegCM'in sonuçlarının benzerlik görüldüğü, aralarındaki farkın da Kuzey İtalya, Balkan Bölgesi ve Türkiyenin batısında 1°C farklılıklar çıkmıştır. Yağış değerleri ise özellikle Karpat dağlarında, Karadenizin doğusunda, Kaçkar dağlarında %10'dan %50'ye varan önemli artışlar gözlenmiştir.

RegCM3 modeli ile yapılan gelecek simulasyon çalışmalarından bir diğeri ise Önol vd., (2011) 'yaptığı çalışmada iklim değişikliği senaryoları Türkiye üzerinde simule edilmiştir. Bu çalışmada Türkiye yedi bölgeye ayrılarak bu bölgedeki sıcaklık ve yağış değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada RegCM3 çalıştırılmış, NASA-fvGCM modelinin çıktıları isede günümüz dönem ve gelecek dönem simulasyonlar için RegCM3 modeline başlangıç ve sınır tabaka koşullarının oluşmasında kullanılmıştır. Başlangıç koşulları referans dönemi 30 yıllık setlerden oluşmuş olup 1961-90 yıllarını kapsar. Gelecek simulasyon için ise 2071-2100 yılları arasındadır. RegCM modeli Referans hemde SRES A2 gelecek simulasyonları için kullanılmıştır. Model hazırlıkları 30 km çözünürlükte, Cumulus parametrizasyonu Grell (1993), geniş ölçekteki yağışların hesaplanması için SUBEX parametresi (Pal vd., 2000), ve Biosfer-Atmosfer Transfer Modeli BATS (Dickinson vd., 1993) atmosfer bileşeni için kullanılmıştır. Gözlem verileri ise, 0.5 x 0.5° çözünürlüğündeki CRU veri seti ve Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri kullanılmıştır. Şekil 1.8 aylara göre sıcaklık ve yağış ortalamalarını göstermektedir. Günümüz simulasyonların da ise sıcaklıklarda yaz aylarında hemen hemen her bölgede 1°C civarında farklılıklar, diğer mevsimlerde ise 1 ve 3°C civarında model gözlem verilerine göre daha soğuk değerler üretmiştir.



Şekil 1.8 : Aylara göre sıcaklık ve yağış ortalamaları.

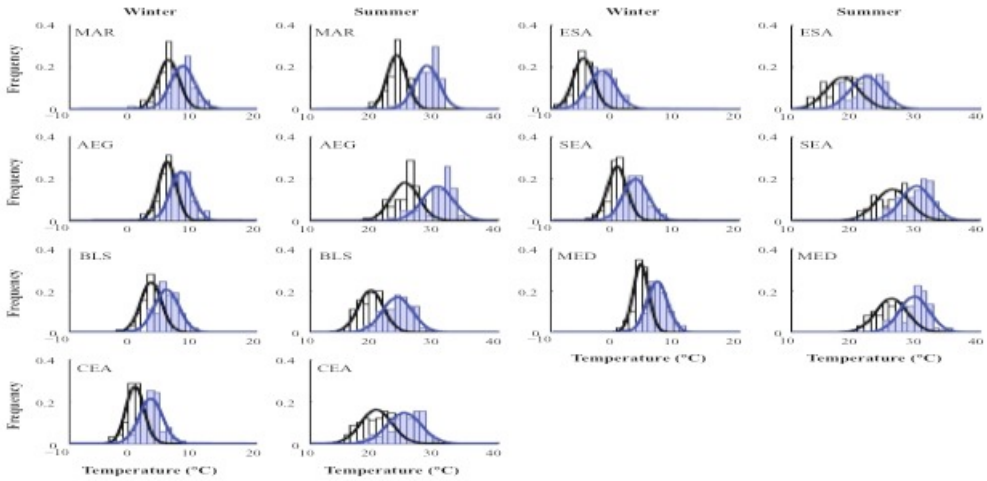
Şekil 1.9 ile gösterilen haritada, Türkiye Cumhuriyeti Bölgelerine ait mevsimsel sıcaklık ve yağış değişimlerini göstermektedir. Marmara Bölgesinde kış ve ilkbahar mevsimlerinde sıcaklık farklılıklarının 1°C 'nin altında olduğu görülürken, yazın 2°C daha sıcak ve sonbahar aylarında ise 2°C daha soğuk değerler elde edilmiştir. Kış ve ilkbahar mevsimindeki düşük farkların sebebinin topoğrafya yüksekliğinin az olmasından kaynaklandığı üzerinde de durulmuştur.



Şekil 1.9 : Türkiye Bölge'leri mevsimsel sıcaklık ve yağış değişimleri.

Akdeniz ve Karadeniz Bölgelerinde ise bu bölgelerinin ikisininde dik kıyı topoğrafyası olmasından dolayı, model yüksekliğinin Akdeniz Bölgesi için 755 m çıkarken, ortalama istasyon yüksekliği 137 m, Karadeniz Bölgesi içinde model yüksekliğinin 679 m, istasyon yüksekliğinin 110 m çıkması yukarıdaki şekilde açıklanabilir. Özellikle Karadeniz Bölgesinde tüm mevsimlerde negatif model taraflılığı vardır. SRES A2 senaryolarına göre koşturulan model sonuçlarında ise, genel olarak bakıcak olursak Türkiye üzerinde 2 ile 5°C aralığında ısınma

hesaplanmıştır. Bölgesel sonuçlarda ise, Marmara ve Ege Bölgesinde yaz aylarında sıcaklıkların 5°C civarında artacağı, kış aylarında ise bu bölgelerde ısınmanın 2°C civarında olacağı görülmüştür. Marmara ve Ege Bölgesi yaz aylarında Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinden 1°C daha fazla ısınma gözlenirken, kışın ise tam tersi şekilde 1°C daha az ısınma beklenmektedir. Yağış sonuçları ise sıcaklıklara nazaran daha dramatik olduğu söylenmiştir. En önemli değişikliklerin kış aylarında Akdeniz Bölgesinde sonbahar aylarında ise Güneydoğu Anadolu Bölgesinde olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Akdeniz Bölgesi kış ayları yağışların %34 civarında bir azalma göstereceği, Ege Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ise kış ayları yağışlarında %20 ve %25 azalma beklenilirken, Karadeniz Bölgesinde ise %18 oranında artış gösteren sonuçlar ortaya çıkmıştır. Önol vd.,(2012)' de yaptığı bir diğer çalışmada Şekil 1.10 ile gösterilmektedir. İklim değişikliği senaryoları Türkiye üzerinde bir önceki çalışmada olduğu gibi simule edilmiştir. Bir önceki çalışmaya ek olarak bu çalışmada, bölgesel farklılıklar gelecek ve günümüz simulasyonlarında daha ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Türkiye yedi bölgeye ayrılarak bu bölgedeki sıcaklık ve yağış değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada RegCM3 çalıştırılmış, NASA-fvGCM modelinin çıktıları isede günümüz dönem ve gelecek dönem simulasyonlar için RegCM3 modeline başlangıç ve sınır tabaka koşullarının oluşmasında kullanılmıştır. Başlangıç koşulları referans dönemi 30 yıllık setlerden oluşmuş olup 1961-90 yıllarını kapsar.

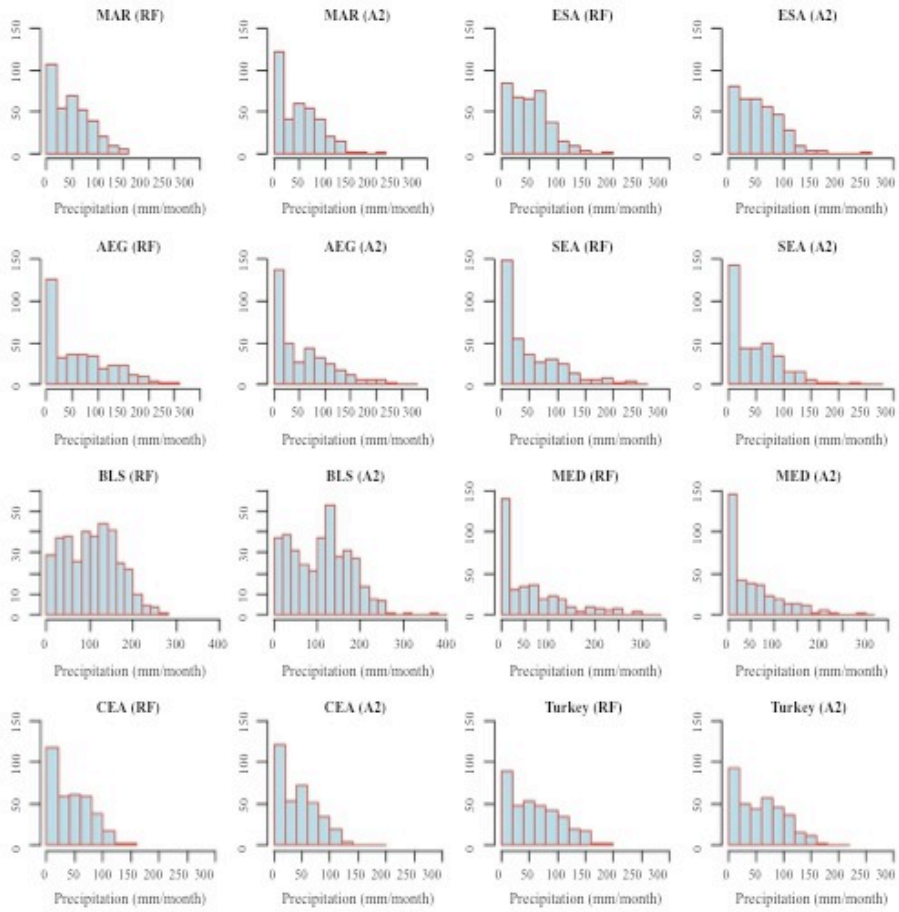


Şekil 1.10 : Bölgelere göre sıcaklık değişimi frekans dağılımı.

Gelecek simulasyon için ise 2071-2100 yılları arasındadır. RegCM modeli Referans hemde SRES A2 gelecek simulasyonları için kullanılmıştır. Model hazırlıkları 30 km çözünürlükte, Cumulus parametrizasyonu Grell (1993), geniş ölçekteki yağışların

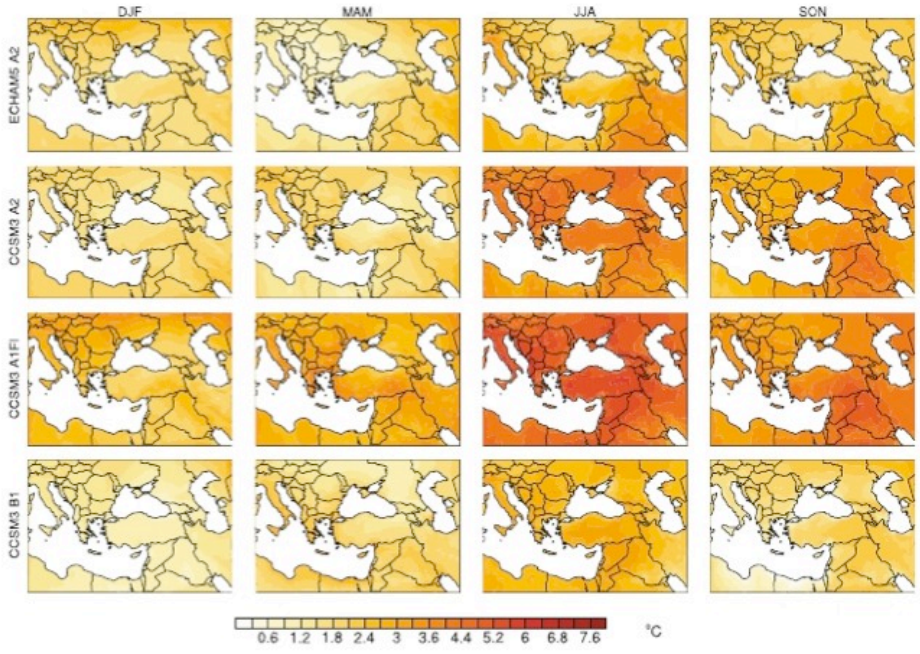
hesaplanması için SUBEX parametresi (Pal vd.,2000), ve Biosfer-Atmosfer Transfer Modeli BATS (Dickinson vd., 1993) atmosfer bileşeni için kullanılmıştır. Gözlem verileri ise, 0.5 x 0.5° çözünürlüğündeki CRU veri seti ve Türkiye Devlet Meteoroloji İşlerinin verileri kullanılmıştır. Marmara ve Ege Bölgesi yaz aylarında Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinden 1°C daha fazla ısınma gözlenirken, kışın ise tam tersi şekilde 1°C daha az ısınma beklenmektedir.

Yağış sonuçları ise Şekil 1.11 ile görüldüğü gibi, sıcaklıklara nazaran daha dramatik olduğu söylenmiştir. En önemli değişikliklerin kış aylarında Akdeniz Bölgesinde sonbahar aylarında ise Güneydoğu Anadolu Bölgesinde olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Akdeniz Bölgesi kış ayları yağışların %34 civarında bir azalma göstereceği, Ege Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ise kış ayları yağışlarında %20 ve %25 azalma beklenilirken, Karadeniz Bölgesinde ise %18 oranında artış gösteren sonuçlar ortaya çıkmıştır.



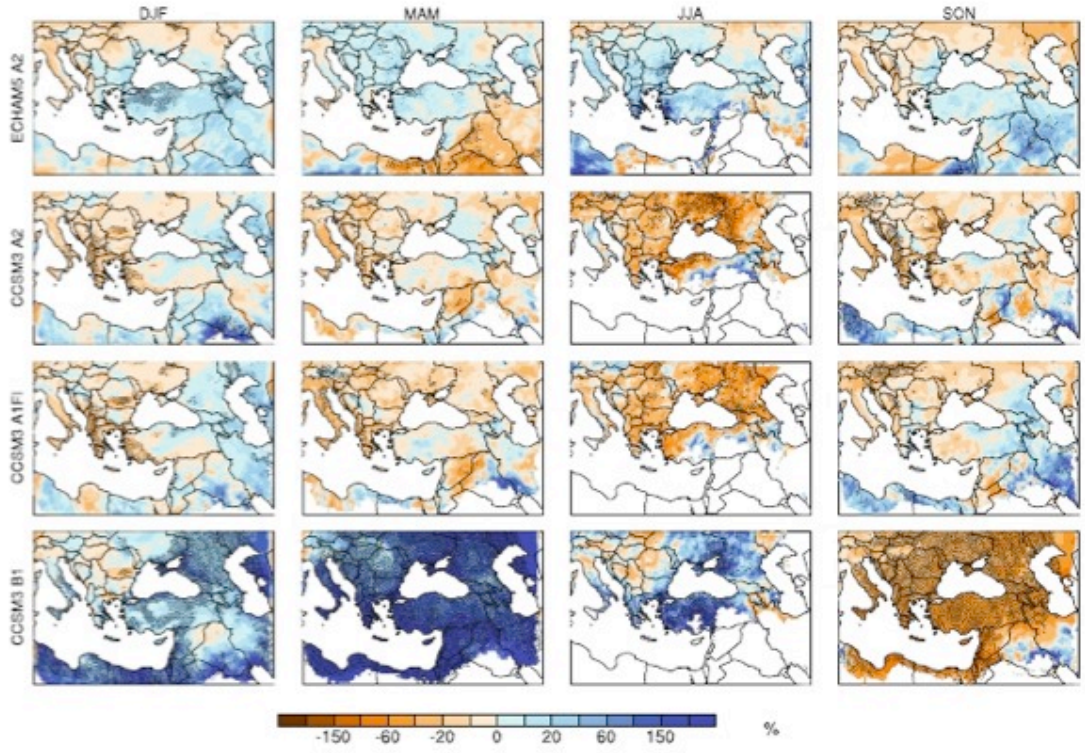
Şekil 1.11 : Bölgelere göre yağış değişimi frekans dağılımı.

Türkiye'nin Karadeniz ve Akdeniz Bölgesi üzerinde yapılan çalışmalardan bir diğeri ise 21. yy. RegCM simulasyonlarının birden fazla GCM lerle koşturulduğu çalışmadır (Önol vd., 2013). Bu çalışmada 3 farklı GCM modelleriyle; MPI-ECHAM5 (Roeckner vd., 2003), NCAR-CCSM3 (Collins vd., 2006) ve HadCM3 (Gordon vd., 2000) ve RegCM3 modeli çalıştırılmıştır. İklim projeksiyonları için SRES A2, A1FI ve B1 senaryoları kullanılmıştır. Referans yılı olarak 1961-1990 alınmıştır. RegCM modeli 27 km çözünürlükte çalıştırılmış ve düşeyde 18 sigma seviyesi kullanılmıştır. Şekil 1.12 ile gösterilen bu çalışmada CCSM3 ile yapılan model simulasyonunda B2, A1 ve A1FI senaryoları baz alınmıştır, ECHAM5 ile ise A2 senaryosu baz alınıp 2001-2099 yılları arası çalıştırılmıştır , son olarak da HadCM3 ise A2 senaryoya göre koşturulmuş olup 2070- 2099 arası çalıştırılmıştır. CCSM3-A2 ve CCSM3-A1 model sonuçları yaz ayları sıcalık için 2°C'den fazla farklılıklar ortaya çıkmıştır. ECHAM5-A2 senaryosu ile Akdeniz-Karadeniz Bökgesinde diğer modellere göre her mevsimde daha zayıf ölçümlerin olduğu görülmüştür. Çalışmanın diğer bir sonuçlarından biri ise gelecekte kış ile yaz arasında oldukça ciddi farklılıklar olduğudur. 2071-2099 yılları arasında kış sıcaklıklarının 3°C kadar artacağı fakat yaz sıcaklıklarının çok daha fazla artacağı söylenmektedir. Simulasyon sonuçlarında her 30 yılda sıcaklıkların 2°C giderek artacağı görülmüştür.



Şekil 1.12 : Model sonuçları mevsimsel sıcaklık analizleri.

Yağış miktarlarında ise Şekil 1.13 ile görüldüğü gibi, 2011-2040 yılları arasında yağış miktarında artış gözlemlenmiştir. Yağış miktarlarında oldukça dramatik bir düşüş yaz aylarında meydana geleceğide ayrıca diğer çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da desteklenmiştir.



Şekil 1.13 : Model sonuçları mevsimsel yağış analizleri.

Tezin 2. kısmında RegCM4 ile yapılmış Med-CORDEX alanı üzerinde 50 km çözünürlükte gerçekleştirilen referans dönem ve gelecek simulasyonlar anlatılacaktır. Referans dönem olarak 1971-2000 yılları arası alınmış olup, gelecek simulasyonlar içinde CMIP5 RCP8.5 senaryosu kullanılarak 2040-2071 ve 2071-2100 iki farklı zaman aralığında da model koşturulacak, sıcaklık ve yağış sonuçların gelecek iklimin Med-CORDEX ve Türkiye üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde anlatılacaktır. 2. bölümde Bölgesel İklim Modeli (RegCM4) ve parametrizasyonları hakkında kısa bir bilgi verilmektedir. Daha sonra model deney dizaynı hakkında bilgi verip, model sonuçlarının karşılaştırılması, ve gelecek simulasyonlar için öneriler bulunmaktadır.

2. VERİ VE METODOLOJİ

Bu çalışmada Bölgesel İklim Modelinin 4. Versiyonu olan RegCM4 modeli kullanılmıştır. Yapılan simulasyonlarda Akdeniz üzerinde iki farkli arazi yüzey modellerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Başlangıç ve sınır koşulları için Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezinin (ECMWF) ERA-Interim verisi 1989–2009 yılları arası CLM 3.5 ve BATS modelleri için ayrı ayrı koşturulmuştur. Gelecek senaryolar (2011-2100) ve kullanılan referans periyodu 1970-2000 için başlangıç koşulları ise İngilterenin Hadley Merkezinin IPCC 5. Raporunda öne sürülen Hadley Merkez Küresel Çevre Modelinin 2. Versiyonu (HadGEM2) iki farklı yüzey modeliyle ayrı ayrı koşturulmuştur. Akdeniz Bölgesi Koordine edilmiş Bölgesel Ölçek Küçültme "Downscaling" Deneyi (Med-COREX) alanı için hazırlanılan HadGEM2 modelinin referans verileri referans simulasyonu için, RCP8.5 çıktıları ise gelecek senaryolar için koşturulmuştur. Bu bölümde kullanılan modeller ve veri ve deney dizaynı açıklanmıştır.

2.1 Bölgesel İklim Modeli (RegCM)

Sınırlı Alan Modellerinin bölgesel çalışmalarda kullanılması fikri, 1989'da Dickinson ile arkadaşları ve 1990'da Giorgi tarafından çıkmıştır. Buradaki ana fikir tek yönlü yuvalanmaydı ki bu da küresel dolaşım modellerinin yüksek çözünürlükteki sınırlı alan modeli simulasyonlarına başlangıç ve zamanla değişen meteorolojik yanal sınır koşulları sağlaması ve bunların da yuvalanmış sınırlı alan modelleri içinde yerel etkilerini görebilmek için kullanılmasıdır. Sınırlı alan modelleri önceleri birkaç gün için çalıştırılmaktaydı. Sonraları, Bates ve diğerleri (1989) ve Giorgi (1990) yuvalanmış sınırlı alan modelini ilk kez bir aylık bir süre boyunca çalıştırdılar. Daha sonraki yıllarda ise bu modellerin birkaç yıl boyunca çalıştırılması başarıldı (Giorgi ve Mearns ,1999). Günümüzde dünyanın her yerinden bir çok laboratuar ve oldukça fazla sayıda üniversitelerle, diğer akademik enstitüler bölgesel iklim modellerini kurmuş, geliştirmiş ve geliştirmeyede devam etmektedirler (Giorgi, 2006).

Bölgesel İklim Modelinin (RegCM) arkasında yatan method dinamik ölçek küçültmedir. Ölçek küçültme yöntemiyle, gözlemlerden veya düşük çözünürlükteki numerik simulasyonlardan bölgesel ya da lokal ayrıntılar yakalanır (Rummukainen, 2010). Ölçek küçültme methodunda, sınırlı alan modelleri bir alan boyunca entegre edilir ve seçilen bölge için istenilen başlangıç ve yanal sınır koşulları kullanılır. Ölçek küçültme methodunun sonucu ise, mezo-ölçek model simulasyonların bir toplamı olarak görülebilir ki bunlar seçilen bölgenin yüksek çözünürlükteki detaylarıyla tutarlıdır (Hahmann ve diğ., 2007). Yuvalama tekniğiyle, Bölgesel İklim Model simulasyonları Genel Dolaşım Modellerinin geniş ölçek sirkulasyonuna tam modife olma eğilimi göstermezler, çoğunlukla bölgesel detay eklerler. Bu sebepledir ki bölgesel iklim modeli yuvalama tekniği ölçek küçültme methodu olarak bilinir. Bu aynı zamanda, Genel dolaşım modellerindeki hataları bölgesel iklim modellerinin düzeltemediği anlamına da gelir (Giorgi ve diğ, 1998). Sonuç olarak, bölgesel iklim simulasyonları yapılmadan önce bölgesel iklim modelinde kullanacağımız geniş ölçekteki alanları iyi hesaplamak gerekir.

Bölgesel iklim deneyleri yapılmadan önce etki alanının büyüklüğü ve buna bağlı olarak bölgenin konumu iyi seçilmelidir. Çünkü etki alanı Bölgesel İklim Modelinin kendi sirkulasyonunu başlatmasını sağlamalıdır ve o bölgeyi etkileyen, tüm zorlayıcı mekanizmaları içine almalıdır. Ayrıca ek olarak etki alanının sınır koşullarını ayarlamak da oldukça önemlidir (Giorgi, 2006). Örneğin, etki alanının sınır koşulları o bölgeyi etkileyen temel dağ sistemlerini içine almayacak şekilde kurulmamalıdır. Yanal sınır koşullarının konumu modelin duyarlılığını da etkileyebilir ve bu durum model sonuçlarına da yansır(Seth ve Giorgi, 1998). Dolayısıyla yanal sınır koşullarını konumlandıracak en iyi yer, seçilen etki alanından olabildiğince uzak olan konumdur.

Modelin dinamik bileşenleri, Amerikan Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi (NCAR) çıkışlı Orta Ölçek Model 4 (MM4) modeline dayanır. Bunlar sıkıştırılabilir, hidrostatik denge ile grid nokta modeli ve düşey sigma σ-koordinatlarıdır. Modelin 4 farklı harita projeksiyonu vardır. Bunlardan Lambert orta enlemler için, Polar Stereografi yüksek enlemler için, Normal Mercator alçak enlemler için ayrıca ekstra seçenekler için de Rotated Mercator bulunmaktadır (RegCM, 2010).

2.1.1 Model fiziği radyatif transfer şeması

İklim çalışmalarında ilk olarak değiştirilen fiziksel parametrizasyonlardan biri de radyatif transfer fiziğidir (Dickinson 1989, Giorgi 1990). Birinci nesil Bölgesel İklim Modelinde (RegCM) radyatif transfer için Topluluk İklim Modeli (NCAR CCM) kullanılmıştır. Radyatif Transfer modeli, atmosfer ısınma oranlarının ve yüzey akıları için güneşten gelen kısa dalga boyu ve yeryüzeyinden yayınlanan uzun dalga boylu radyasyonların hesaplanmasını, bulutlu ve açık gökyüzü şartları olarak ayırmaktadır (Önol, 2001). Daha sonra modelin fiziğinde meydana gelen gelişmelerle beraber ikinci nesil Bölgesel İklim Modeli (RegCM2), radyasyon hesaplamalarında CCM2 modelinin radyatif transfer paketi (Briegleb, 1992) kullanılmıştır. Son yıllarda da yeni fiziksel gelişmeler RegCM modeli için kullanılmıştır. CCM2 radyatif transfer paketi yerine CCM3 (Kiehl ve diğ., 1996) kullanılmıştır. CCM2 de sadece O_2, H_2O, O_3, CO_2 gazları yutucu etki sağlarken yeni modelde NO_2, CH_4, CFC_s gibi sera gazları, atmosferik aerosoller ve bulut buzu da bunlara eklenmiştir.

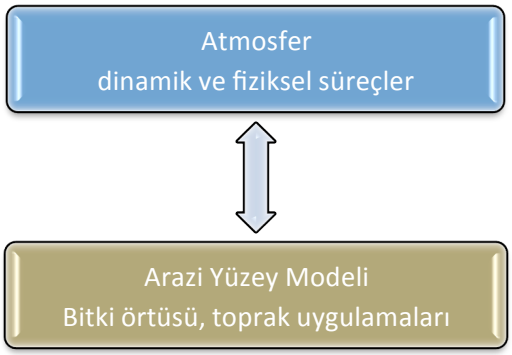
Bölgesel İklim Modelinin 4. Versiyonu (RegCM4), NCAR Topluluk İklim Modeli Versiyon 3 (CCM3) radyasyon şemasını kullanır. Kısaca O_2, H_2O, O_3, CO_2 etkilerini açıklayan CCM3 modelindeki solar bileşen, Briegleb'in sunduğu Eddington yaklaşımını takip eder. Bu yaklaşım 0.2'den 5 μm'ye kadar olan 18 spektral aralık içermektedir. Güneşten gelen radyasyonun radyatif transferi CCM2'de Eddington yaklaşımı ve bulut radyasyonuna bağlı olan 3 bulut parametresi (parçalı bulut kapalılığı,bulut sıvı su içeriği ve bulut damlası çapı) ile açıklanmıştır. Bulut sıvı su içeriği ve bulut damlası yarıçapı ile ifade edilen bulut damlacığının optik özellikleri (optik radyasyon azalma derinliği, saçılma albedosu, ve asimetri parametresi) sayesinde bulut saçılma ve absorbsiyon parametrizasyonları Slingoyu (1989) takip eder.

CCM3 modelinde daha önceki bu yapı aynen korunmuş sadece bunlara sera gazları (NO, CH,CFC's), atmosferik aerosoller ve bulut buzu eklenmiştir. Bu sayede model içindeki radyatif transfer işlemi gerçeğe biraz daha yakın hale gelmiş, bu durum da sonuçlara olumlu katkı sağlamıstır.

2.1.2 Arazi yüzey modelleri

Arazi Yüzey Modelleri toprak-atmosfer arayüzünde gerçekleşen su ve enerji akılarının değişimini simüle etmek için tasarlanmış modellerdir. Şekil 2.1 ile

gösterilmektedir. Arazi yüzey modelleri, atmosfer arazi arayüzünde gerçekleşen radyasyon, enerji, su, akış, karbon değişimi, toprak nemi, kar örtüsü, toprak ısı kapasitesi/sıcaklığı profili gibi temel süreçleri hesaplar.



Şekil 2.1 : Atmosfer- Arazi yüzey modeli etkileşimi.

2.1.3 Biyosfer-Atmosfer transfer şeması (BATS)

BATS, bitki örtüsünün rolünü ve toprak neminin yüzey ve atmosfer arasındaki etkileşimini incelemek için momentum, enerji ve su buharı dengelerini kullanan bir yüzey paketidir (Dickinson, 1993). Modelin bitki örtüsü tabakası, kar tabakası, 10 cm kalınlığında yüzey toprak tabakası ya da 1-2 metre kalınlığında kök tabakası ve 3 metre kalınlığında üçüncü derin toprak tabakası vardır. Toprak tabakası sıcaklığı için prognostik denklemler, Deradof'un (1978) genelleştirilmiş 'force-restore' metodu kullanılarak çözülür.

Toprak su hesaplamaları, toprak tabakasının su içeriğini tahmin edebilen denklemler içerir. Bu denklemler yağış, kar erimesi, evapotranspirasyon, yüzey akışı, kök tabakasının altındaki sızma ve toprak tabakaları arasında yer değiştiren yayılgan suyu hesaba katar. Topraktaki su hareketinin formülasyonu, sonuçları birebir uyan yüksek çözünürlüklü toprak modelinden elde edilir (Dickinson, 1984) ve yüzey akışı oranı toprak suyunun doygunluğu ve yağış oranı fonksiyonu ile tanımlanır.

Yüzeydeki hissedilir ısı, su buharı ve momentum akıları, yüzey-tabaka benzerliği teorisine dayanan standart yüzey gerilmesi katsayısı formülasyonu kullanılarak hesaplanır. Gerilme katsayısı, yüzey pürüzlülük uzunluğu ve yüzey tabakadaki atmosferik kararlılığa bağlıdır. Yüzeyden olan evapotranspirasyon oranı toprak suyunun uygunluğuna bağlıdır. Biyosfer-Atmosfer Transfer şemasının (BATS) 20 çeşit bitki örtüsü tipi vardır; toprak dokusu iri taneliden (kum), orta taneli (balçık) ve

ince taneliye (kil) kadar çeşitlenir ve albedo hesaplamaları için koyudan açığa faklı toprak renkleri içerir (Dickinson, 1986).

RegCM'in son versiyonunda mozaik-tipi yaklaşım kullanılarak topoğrafyanın ve arazi örtüsünün alt gridlerdeki çeşitliliğini artırmak için BATS'a yeni değişiklikler yapılmıştır (Giorgi, 2003). Bu değişiklik geniş model grid hücresi için küçük ölçekli düzenli bir alt grid yüzeyi sağlar. Meteorolojik değişkenler seviye farklarına göre geniş ölçekten küçük ölçeğe aktarılırlar. Daha sonra her alt grid hücresi için BATS hesaplamaları yeniden yapılır ve yüzey akıları atmosfer modeline girdi oluşturmak için geniş ölçek hücresinde yeniden toplanır. Bu parametrizasyon dağlık bölgelerdeki yüzey su döngüsünün sunumunda gözle görülür bir gelişme sağladı (Giorgi 2003).

2.1.4 Topluluk arazi modeli (CLM)

Topluluk Arazi Modeli (CLM) Topluluk Yeryüzü Sistem Model (CESM) ve Topluluk Atmosfer Modeli (CAM) için kullanılan arazi modelidir. CLM modeli ilk olarak topluluk arazi modelini birleştiren olarak tanımlanmış olup, biojeofizik ve Atmosferik Araştırma Ulusal Merkezin (NCAR) Kara Yüzey Modelini (NCAR LSM, Bonan 1996) geliştirmeye odaklı karbon döngüsünü, bitki örtüsü dinamiğini ve nehir akışınıda içeren arazi modeli olarak tanıtılmıştır.

CLM modeli ilk versiyonu CLM (2000), CLM2.0 (2002), CLM 3.0 (2004), CLM 3.5 (2007) ve son olarak model kapasitesi geliştirilmiş, yüzey ve atmosferik zorlama veri setlerinde iyileştirme, ve arazi yüzey süreçlerini daha iyi tanımlayabilmek için geliştirilen ve halen gelişmekte olan son güncel versiyonu ise CLM4.5 'dur. Modeller bir önceki versiyonlarına göre bir çok modifikasyonlar temel alınarak bunların başında bitki örtüsü parametrizasyonu, albedo, biojeofizik parametrizasyonlar, su döngüsü, yeni toprak şeması ve bir önceki versiyondaki model çıktılarındaki hatalar iyileştirilerek geliştirilmiştir. Bu projede kullanılan CLM3.5 modeli ise bir önceki versiyonuna göre özellikle su döngüsü çözümleme açısından daha farklıdır. Yapılan değişimler temel olarak Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometre ürününün (MODIS)'in yeni yüzey veri seti kullanılmış olup (Lawrence vd., 2007), geliştirilmiş kanopi entegrasyon şeması (Thornton and Zimmermann 2006), kanopi ölçeklendirme (Lawrence vd., 2007), su yüksekliğini hesaplamak için kullanılan yeraltı suyu modeli (Niu vd., 2007), donmuş toprak şeması (Niu ve Yang, 2006) 'dır.

CLM modeli ekolojik iklimi formalize eder ve biçimlendirir. Ekolojik iklim disiplinlerarası çerçeve olup doğal ve insan hayatının ve bitki örtüsünün iklimi nasıl etkilediğini anlanmasını sağlar. Aynı zamanda fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri zamansal ve alansal ölçeklerde incelemeler yapar. Ana teması olarak karasal ekosistem, enerji döngüsü, hidroloji döngüsü, kimyasal elementler, iklimi anlamak için önemli faktörlerdir.

2.1.4.1 CLM modeli yüzey çeşitliliği ve veri yapısı

Yüzey modeli 5 ana grid hücreli arazi örtüsü yapısıyla temsil edilir. Her bir grid hücresi buzul, göl, ıslakarazi, kentsel ve bitki örtülü olarak arazi birimleri olarak karakterize edilir. Bitki örtülü grid hücreleri kendi aralarında da bitki çeşitliliğine göre bölgelere ayrılırlar ve bu bitkilerinde her birine göre yaprak ve kök bölgesi indeksleri ve gölgelenme yüksekliği vardır ve buda bitki fonksiyonel tipi (PFT) olarak adlandırılır. Bu arazi birimleri kendi aralarında da ayrılabilirler, örneğin bitki örtüsü birimi doğal ve yapay olarak (tahıl,ekin) gibi ayrılabilir, bir diğer örnek de kentsel birim ise şehir merkezi, sanayi bölgesi şeklinde kentteki yoğunluklara ve karaktere göre bölümlenebilir. PFT' ler ise bitki örtülerinin fonksiyonel karakteristliklerine göre biofiziksel ve biokimyasal farklılıklarını belirlerler. Her bir arazi örtüsünün kendine ait enerji ve su döngüsü ayrı hesaplanır. (Oleson K.W. v.d., 2010).

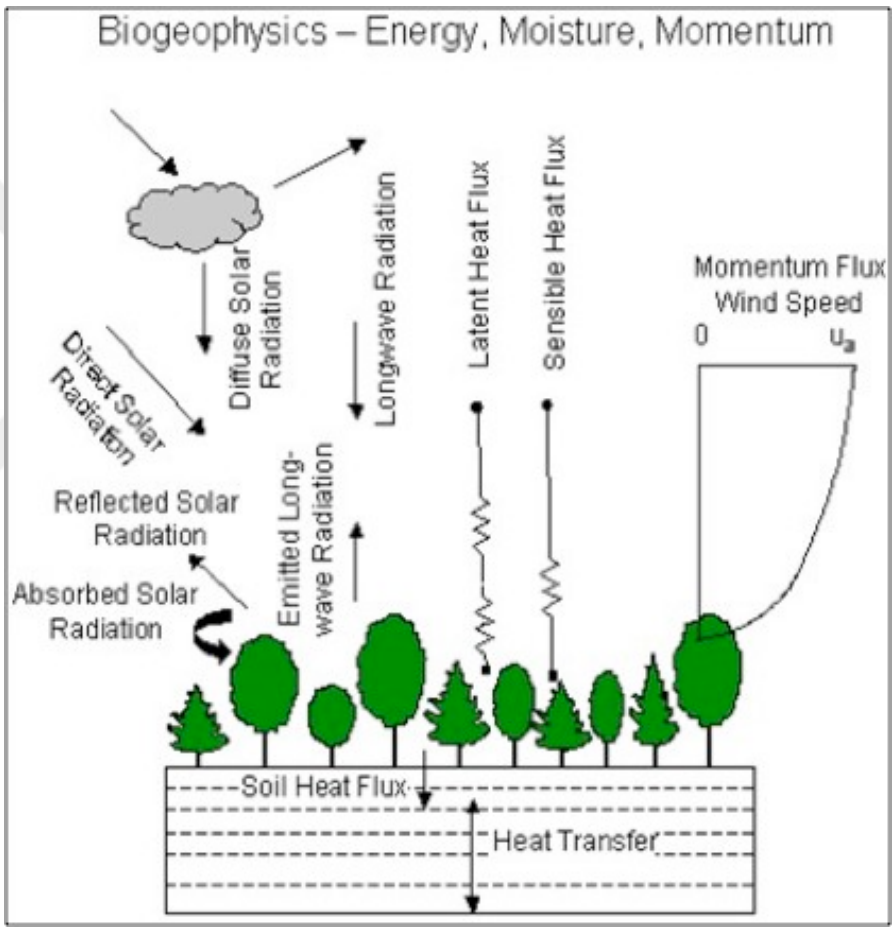
2.1.4.2 Biyojeofiziksel süreçler

Biyojeofizik atmosferin ani enerji, su ve momentum değişimleriyle ilgilidir. Biojeofizik, mikrometeoroloji, gölge fizyolojisi, toprak fiziği, radiatif transfer ve hidrolojiyle ilgilidir. Bu süreçler her bir grid hücresi arazi birimleri tarafından bağımsız bir şekilde hesaplanır (Oleson K.W. v.d., 2010).

Bu süreçler Şekil 2.2 ile gösterilmektedir ve aşağıdaki maddeleri kapsamaktadır.

- Bitki örtüsü kompozisyonu, yapısı ve fenoloji
- Solar radyasyonun absorbsiyonu, yansıması ve taşınımı
- Uzun dalga boylu radyasyonun absoebsiyonu ve emisyonu
- Momentum, hissedilir ve gizli ısı akıları
- Toprak kar ısı transferi, faz değişimi
- Kar hidrolojisi (kar örtüsü, erime, kar tabakalarındaki su transferi)

- Toprak hidrolojisi, yüzey akışı, infiltrasyon, süzülme, sütun içindeki su taşınımları
- Göl sıcaklıkları ve akılar
- Toz taşınımı ve akılar
- Nehirlerden okyanuslara akış
- Volatile Organik Bileşikler (VOCs)
- Karbon-Nitrojen Döngüsü
- Dinamik Arazi Örtüsü Değişimi
- Dinamik küresel bitki örtüsü



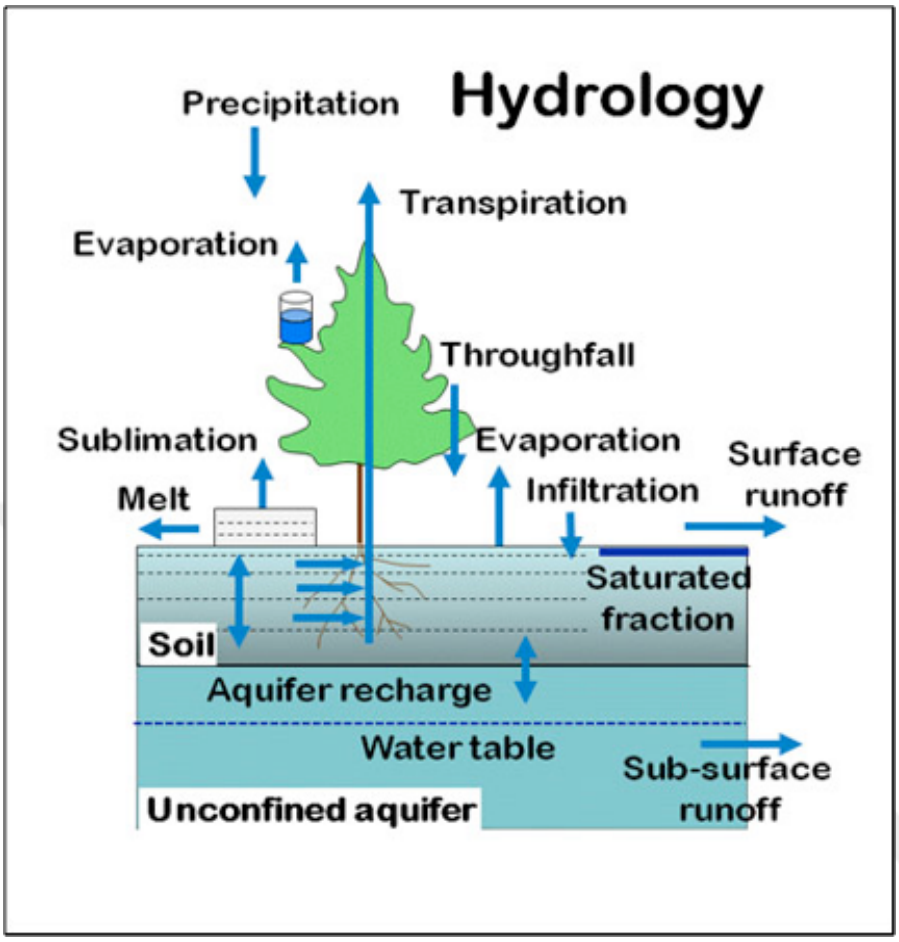
Şekil 2.2 : Biyojeofiziksel süreçler şeması.

2.1.4.3 Hidrolojik döngü

Arazi üzerinde hidrolojik döngü, bitki yaprakları ve odun tarafından suyun kesmesi, infiltrasyon, akış, toprak suyu ve karı içerir. Bu elemanlar direkt olarak biojeofizikle alakalıdır ve sıcaklığı yağışı ve akışı doğrudan etkileyen olaylardır.

Yüzeydeki toplam akış Nehir Transfer Modeli ile (RTM) okyanusa doğru yönlendirilir. RTM modeli hidrolojik uygulamalar için CLM ile birleştirilmiş olup

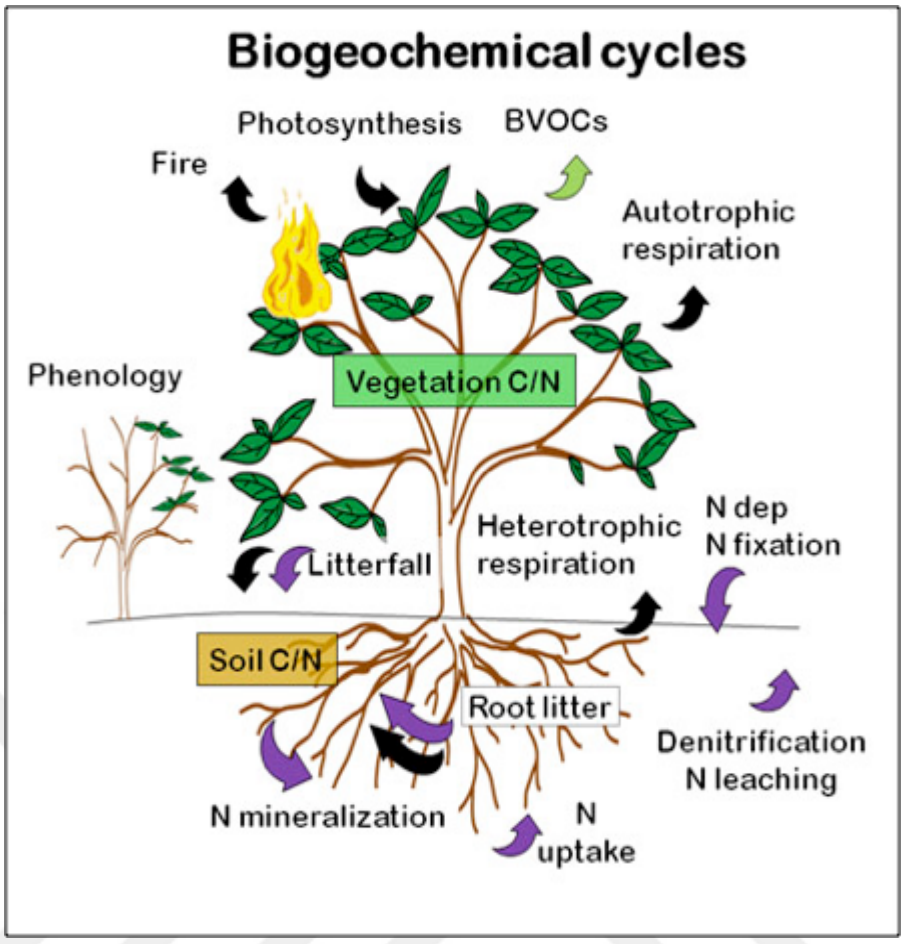
aynı zamanda Topluluk Yeryüzü Sistemi Modeli içinde kara-okyanus-deniz buzu-atmosfer birleşimini de geliştirir. Hidrolojik döngü Şekil 2.3 ile gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Hidrolojik süreçler şeması.

2.1.4.4 Biyojeokimyasal süreçler

Biyojeokimya ise atmosferdeki kimyasal bileşenlerin ani değişimleri ile ilgilidir. Bitki ve toprak sistemi arasındaki gerçekleşen karbon ve nitrojen döngüsü ve bu döngülerin birbirleriyle olan ilişkilerini kapsar. Model prognostik olup bitki örtüsündeki, toprak organik maddesinde ve çöplerdeki tüm karbon ve azot durum değişkenlerine göre kontrol edilir. Karbon döngüsü iklim, arazi örtüsü, kullanımı, yangın, atmosferik CO_2 kullanımına göre kontrol edilir. Bu döngü Şekil 2.4 ile gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Biojeokimyasal süreçler şeması.

2.1.4.5 Antropojenik süreçler

CLM, arazi yüzeyindeki insan aktiviteleri etkileşimini ve arazi örtüsü, arazi kullanımı, tarımsal aktiviteler ve kentselleşmeyi barındıran iklimi ve beraberindeki çift yönlü ilişkiyi bir çok açıdan değerlendirilmesini ve anlaşılmasını sağlar. CLM modeli tarafından tanımlanan kentsel çevre, "kentsel kanyon" konsepti baz alınarak simüle edilir ve iklim değişikliğinin kentsel enerji dengesini nasıl değiştirdiğini ve olası kentsel planlaşma ve ısınmayı azaltmak için geliştirilen stratejilerinde çalışılmasına izin verir.

CLM modelinin kentsel kanyon sistemi, çatılardan, gölge alan ve güneş gören duvarlardan ve kanyon zemininden oluşur. Kanyon zemini ise geçirgen ve geçirmez olarak ikiye bölümlenmiştir. Geçirgen kısma örnek olarak konut çimleri, parklar verilebilirken, diğer kısımda ise yollar, otoparklar ve kaldırımlar örnek olarak verilebilir. Her bir yüzeyde meydana gelen ısı ve nem akıları kentsel vadideki havayı

temsil eden hava kütlesi boyunca birbirleriyle etkileşim içindedirler. Bu hava kütlesi içinde spesifik nem, rüzgar ve sıcaklık tahmin edilir. Daha sonra bu kentsel kanopi sıcaklığı model içindeki kırsal alanlarla karşılaştırılarak ısı adası karakteristlikleri belirlenir.

2.2 Veri Seti ve Deney Dizaynı

2.2.1 Hadley merkez küresel çevre modelinin 2. versiyonu (HadGEM2)

Meteoroloji Ofisi Hadley Merkezi mevsimlik, on yıllık ve yüzyıllık iklim tahminlerine uygun olarak Meteoroloji Ofisi Birleşik Model için konfigurasyonlar geliştirmiştir. HadGEM modeli versiyonlarını içeren süreçler Çizelge 2.1 ile gösterilmektedir.

Met. Ofis Hadley Merkezi tarafından sürdürülen yüzyıllık iklim simülasyonları, IPCC'in İklim Değişikliği Değerlendirme Raporlarında yer almıştır. IPCC 2. Raporunun içerdiği Hadley Merkez Birleşik Modeli (HadCM2), Birleşik Modelleme sistemi adı altında gerçekleştiren ilk birleşik Met. Ofis Hadley Merkez modelidir. IPCC 3. Raporda bahsedilen HadCM3 modeli ise Birleşik Model (HadCM2)'in 3.versiyonudur. HadCM3 modeli IPCC 'in 3. ve 4. Değerlendirme Raporunda kullanıldığı gibi 5. Raporada katkıda bulunmuştur. IPCC 4. Değerlendirme Raporunda kullanılan Hadley Merkez Küresel Çevre Modeli Versiyon 1 (HadGEM1) ise birleşik iklim modellerinin yeni jenerasyonuda ilk olup, non-hidrostatik, sıkıştırılabilir, derin atmosfer formulasyonu ile beraber yarı Lagrangian zaman entegrasyon şemasınıda birleştirir.

CMIP5 tarafından yapılan yeni deneyler, bir öncekilerden farklı olarak asıl hedef yüzyıllık çalışmalarda kalmamış, birleşik karbon döngüsünü içeren modellerin (Yeryüzü Sistem Modelleri gibi (ESM)) emisyon simulasyonlarının da incelenmesi, temel hedeflerin başında yer almıştır (Jones C.D., v.d., 2011). Dolayısıyla bu yüzyıllık simülasyonlar, Met Ofisinin Hadley Merkezinin Küresel Çevre Modelinin-Yeryüzü Sistem modeli tarafından (HadGEM2) uygulanmıştır. IPCC 5. Değerlendirme Raporunda kullanılan HadGEM2 modeli HadGEM konfigürasyonlarının, ikinci jenerasyonu olup, diğer versiyona ek olarak düşeyde iyi çözümlenmiş stratosfer ve yeryüzü sistem bileşenleriyle beraberinde dinamik bitki örtüsü, okyanus biyolojisi, atmosfer kimyasını içerir. HadGEM2 fiziksel modeli, HadGEM1 modelinde karşılaşılan sistematik hataları iyileştirdiğini görülmüştür.

Temel olarak bu hatalar, Kuzey Yarım Kürede karasal sıcaklık biasları ve tropikal deniz yüzeyi sıcaklıklarında meydana gelen farklılıklardır. HadGEM2'nin bu hataları düzeltmek için geliştirilmesi, biyokimyasal iklim geri beslemelerini tanımlayan Yeryüzü Sistem konfigurasyonları açısından oldukça önemlidir (Martin G. M. v.d., 2011).

HadGEM2-ES modelleri Atmosfer-Okyanus Küresel İklim Modeli ile birleşik model olup, atmosferik yatay çözünürlük 1.875° x 1.25° , düşeyde ise 38 seviyeden oluşur. Okyanus yatay çözünürlüğü 1° olup, ekvatorda ise bu çözünürlük 1/3 oranında artmaktadır, düşeyde ise 40 seviye vardır. Model zaman adımı, kara ve atmosferde 30 dakika, okyanus da ise 1 saattir. HadGEM2 modeli aynı zamanda kara-okyanus karbon döngüsü ve dinamik bitki örtüsünüde göz önünde bulundurmaktadır. Model bunların yanısıra, troposferik kimya şeması da içermektedir ve bu şema atmosferik kompozisyonun değişimini ve atmosferik aerosollerle olan etkileşimini simüle etmesi açısında da oldukça önemlidir.

Çizelge 2.1 : Güncel HadGEM2 Konfigürasyonları.

Konfigürasyon	İçerdiği Süreçler
HadGEM2-A	Troposfer, Arazi Yüzey ve Hidroloji, Aerosols
HadGEM2-0	Okyanus ve deniz buzu
HadGEM2-AO	Troposfer, Arazi Yüzey ve Hidroloji, Aerosols, Okyanus ve Deniz Buzu
HadGEM2-CC	Troposfer, Arazi Yüzey&Hidroloji, Aerosols, Okyanus ve Deniz Buzu, Karasal Karbon Döngüsü, Okyanus Biyojeokimyası
HadGEM2-CCS	Troposfer, Arazi Yüzey&Hidroloji, Aerosols, Okyanus ve Deniz Buzu, Karasal Karbon Döngüsü, Okyanus Biyojeokimyası, Stratosfer
HadGEM2-ES	Troposfer, Arazi Yüzey&Hidroloji, Aerosols, Okyanus ve Deniz Buzu, Karasal Karbon Döngüsü, Okyanus Biyojeokimyası, Kimya

Bu projede kullanılan HadGEM2-ES modelinin tarihsel simülasyon çıktıları, referans simülasyonlar (1970-2000) için sera gazları, aerosoller ve atmosferik doğal zorlamaları (güneş ve volkanik değişiklikler) içeren, iklim zorlama faktörlerinin tarihsel kayıtları kullanılarak simüle edilmiştir. Gelecek simülasyonlar için ise HadGEM2-ES RCP8.5 senaryosu başlangıç koşulu için 2100'e kadar olan zaman aralığında kullanılmıştır.

2.2.2 Deney dizaynı

Bu çalışmada, Akdeniz üzerinde 21. Yüzyıl iklim simülasyonları iki ayrı yüzey modeliyle karşılaştırılmıştır. Seçilen bölge, Dünya İklim Araştırma Programının (WCRP)' ın Koordine Edilmiş Bölgesel "Downscaling" Deneyi'nin Akdeniz Bölgesi için olan konfigurasyonu kullanılmıştır (Med-CORDEX). Yapılan simulasyonlar, RegCM4 modeli tarafından 50 km yatay çözünürlük, düşeyde ise 18 seviye kullanılmıştır. Model 120×82 grid matrisindedir. Kümülüs parametrizasyonu olarak Grell (1993), radiatif transfer fiziği için CCM3 (Kiehl vd., 1996), arazi modeli için hem BATS (Dickinson vd., 1993) ve CLM (Steiner vd., 2009), konvektif şeması ise Arakawa ve Schubert (1974) kullanılmıştır. Model topoğrafyasının oluşturulması sırasında, Amerika Birleşik Devletlerinin Jeolojik Araştırma (USGS) Yeryüzü Kaynakları Gözlem ve Bilim Merkezi'nin (EROS) 30 dakikalık 'GTOPO30_10MIN.dat' verisi kullanılmıştır. Model için sağlanan deniz yüzeyi sıcaklığı verileri ise (SST) Uluslararası Teorik Fizik Merkezinin (ICTP) 'in deniz yüzeyi sıcaklıkları verisi kullanılmıştır. İki farklı yüzey modelleri ile koşturulan kontrol simulasyonları 1989-2009 yılları arasında yapılmıştır. Modelde başlangıç ve sınır koşulları için ECMWF'in 1.5x1.5° çözünürüğündeki ERA-Interim veri seti kullanılmıştır. Kontrol simülasyonların tutarlılığı ise İngiltere İklim Araştırma Biriminin (CRU) 0.5x0.5° çözünürlüğündeki istasyon verileriyle karşılaştırılarak test edilmiştir.

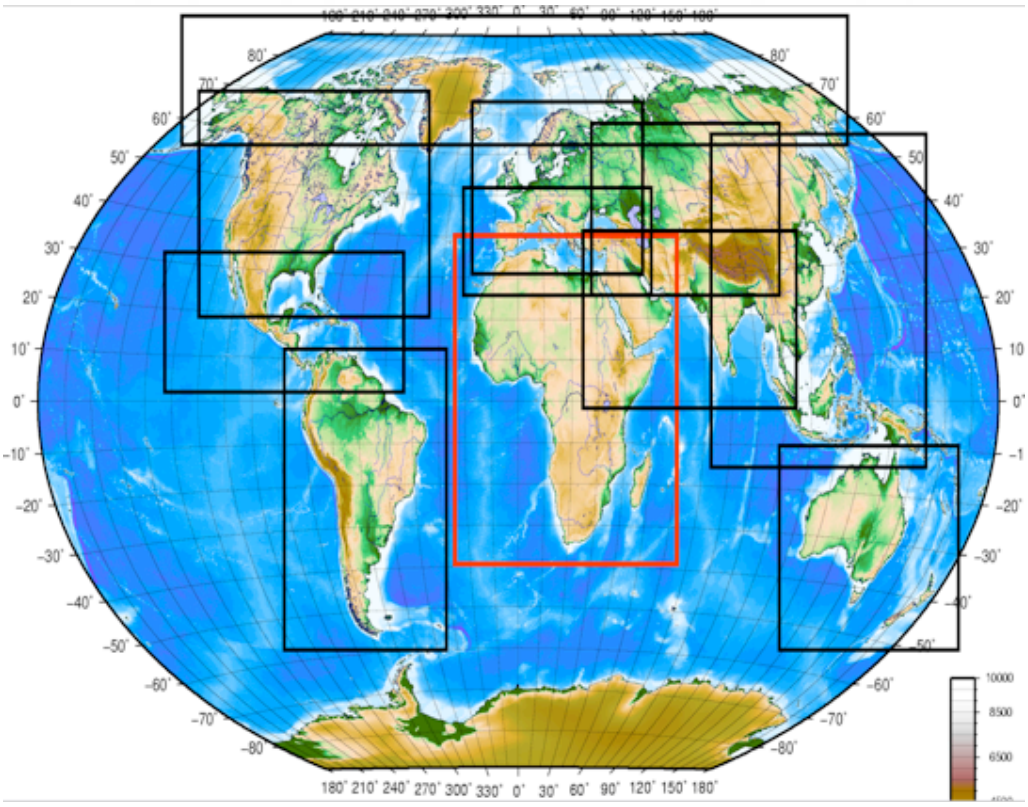
CMIP5 RCP, gelecek simulasyonları için ise öncelikle yapılan referans simülasyonlar, HadGEM-ES tarihsel verileri 1970-2000 arası kullanılarak, modele başlangıç koşulları olarak verilmiştir. Model fizik parametrizasyonu bu simulasyonlarda da değiştirilmemiş, model 50km yatay çözünürlüğe, 18 sigma düşey seviyesine sahiptir. Referans periyodları BATS ve CLM modelleri tarafından koşturulan model çıktıları ayrı ayrı incelenmiştir. Referans simülasyonları da CRU veri setiyle karşılaştırılmış, modellerin bu periyottaki taraflılığı görülmüştür. Gelecek

simülasyonları ise HadGEM2 modelinin RCP8.5 çıktıları kullanılarak koşturulmuştur. RCP8.5 çıktıları 3 farklı 30 yıllık periyotlarda (2011:2040), (2041:2070), (2070:2100) ayrı ayrı incelenmiştir ve referans simülasyonlarından ola farklara bakılarak 2100 yılına kadar radiatif zorlama baz alınarak hangi bölgelerde nekadar farkların oluştuğu incelenmiştir.

2.2.3 Cordex

Koordine edilmiş Bölgesel "Downscaling" Deneyi (CORDEX), Dünya İklim Araştırma Programının (WRCP) bir projesidir. Bölgesel iklim değişikliği sonucunda adaptasyon ve etkilerinin belirlenmesi açısından bölgesel koordinasyon sağlayan projedir. CORDEX projesi çoklu sayıda dinamik modellerden oluşan gruplardan oluşur. CORDEX projelerinde 50 km yatay çözünürlük alınmaktadır ve birçok kara yüzeyin hakkında bilgiler ve simulasyonlar çıkaran ve 12 farklı bölgesi olan projedir ve Şekil 2.5 ile gösterilmektedir.

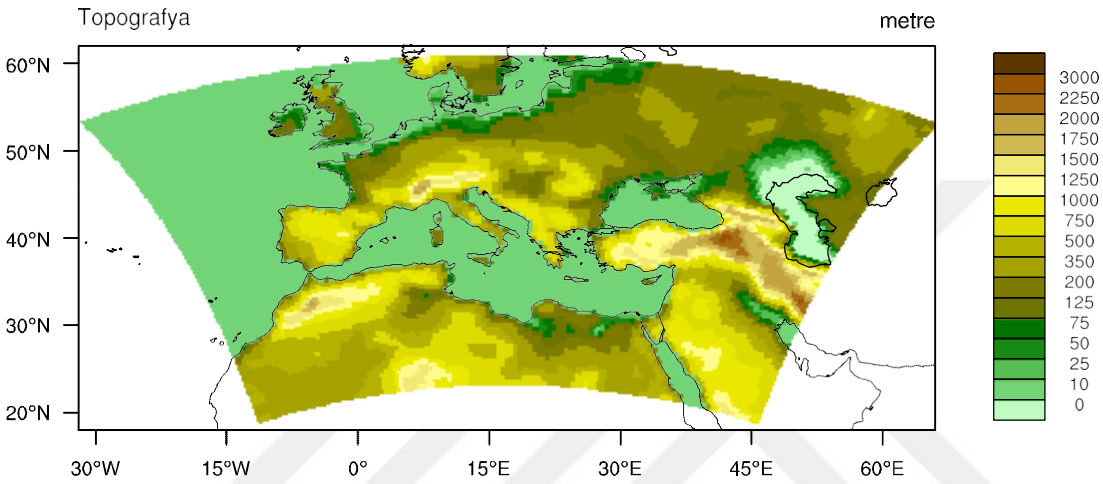
Cordex çekirdek simulasyonlarında sınır koşulları için ERA-Interim verisi kullanılmaktadır. Gelecek simulasyonları ise RCP45. Ve RCP8.5 senaryoları ile 2005-2100 yılları arasında yapılmaktadır.



Şekil 2.5 : CORDEX model alanları.

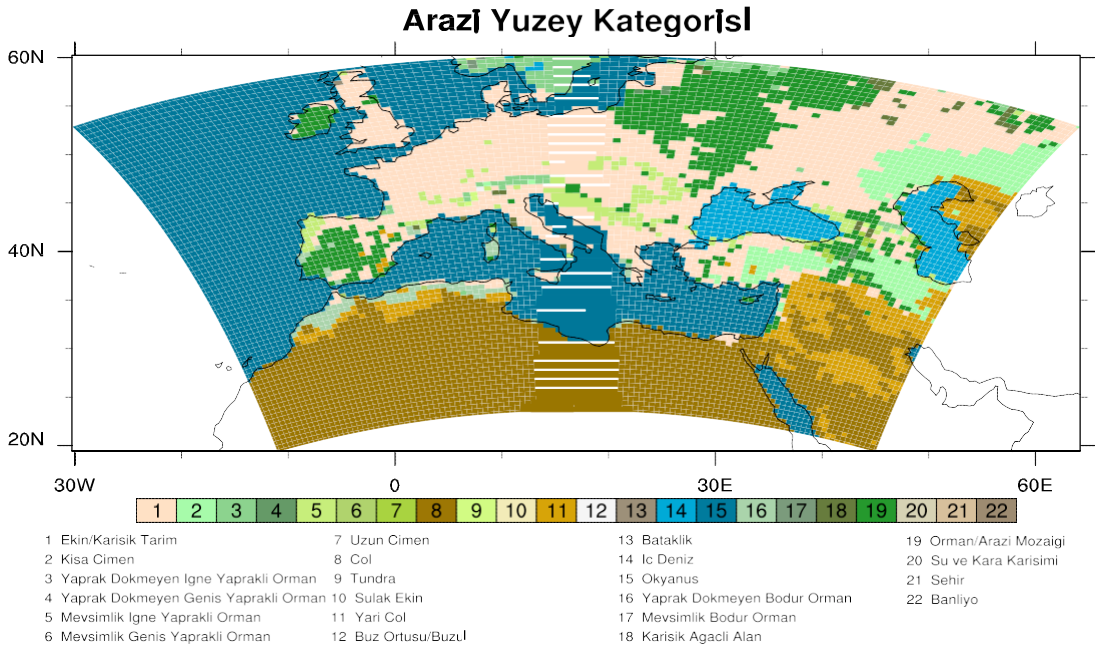
2.2.3.1 Med-CORDEX

Med-CORDEX (Mediterrean CORDEX) projesi ise Akdeniz bölgesel iklim sisteminin fiziksel süreçlerini, trend değişkenliğini anlamamız için çoklu model sonuçlarıyla yaklaşılan bir sistemdir (Somot S., 2009). Med-CORDEX Şekil 2.6 ile ifade edilen, bölgesinin seçilmesinin nedenleri arasında bölgesel karakteristliklerin fazla olduğu, sıcak bir bölge olduğu ve hava-deniz-hidroloji arasındaki birleşimleri anlamak açısından da bu bölgeye ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 2.6 : Med-CORDEX model alanı.

Modelde kullanılan arazi yüzey kategorisi ise Şekil 2.7 ile gösterilmektedir. Model arazisi 22 farklı kategoriden oluşmaktadır.



Şekil 2.7 : Model arazi yüzey kategorisi.

3. ANALİZ

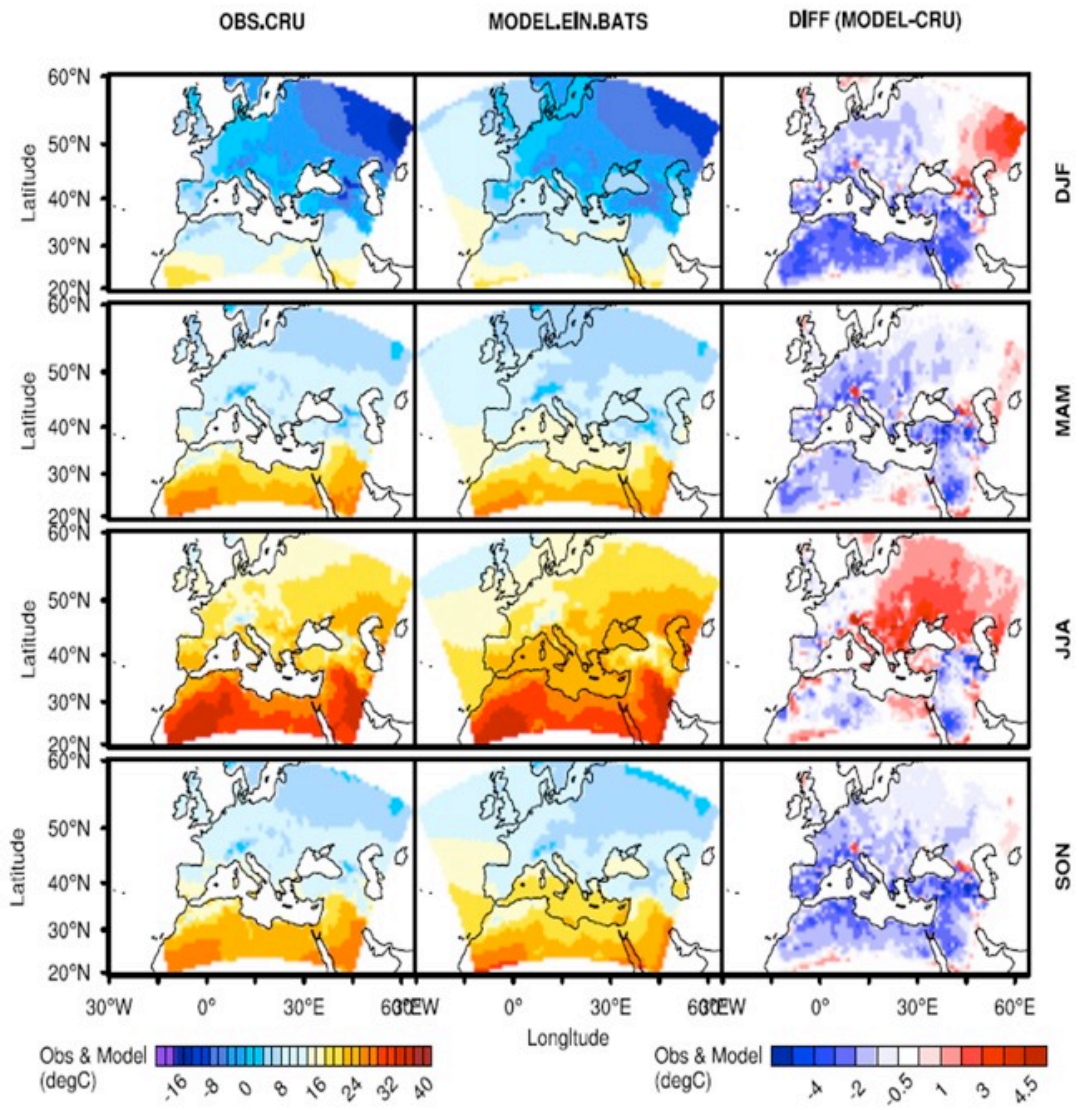
3.1 Model Sonuçları Sıcaklık Analizi

Bu bölümde ERA-Interim verisi ile 1989-2009 yılları arası koşturulan RegCM4 modelinin iki ayrı yüzey modeli olan CLM ve BATS sıcaklık, maximum sıcaklık ve minimum sıcaklık çıktıları CRU veri setiyle karşılaştırılmıştır. HadGEM2 referans girdileriyle 1970-2000 yılları arası koşturulan CLM ve BATS Referans simulasyonları çıktıları ise aynı parametrelerde CRU veri setiyle karşılaştırılmıştır.

RegCM4 modelinin çıktılarından "tas" değişkeni 2 metredeki hava sıcaklığını temsil etmektedir. 1989-2009 yılları arası aylık ortalaması alınan tas değişkeni, CRU veri setinin aylık ortalamaları alınmış tmp (2 metre'deki hava sıcaklığı) değişkeni ile mevsimlere göre karşılaştırılmıştır.

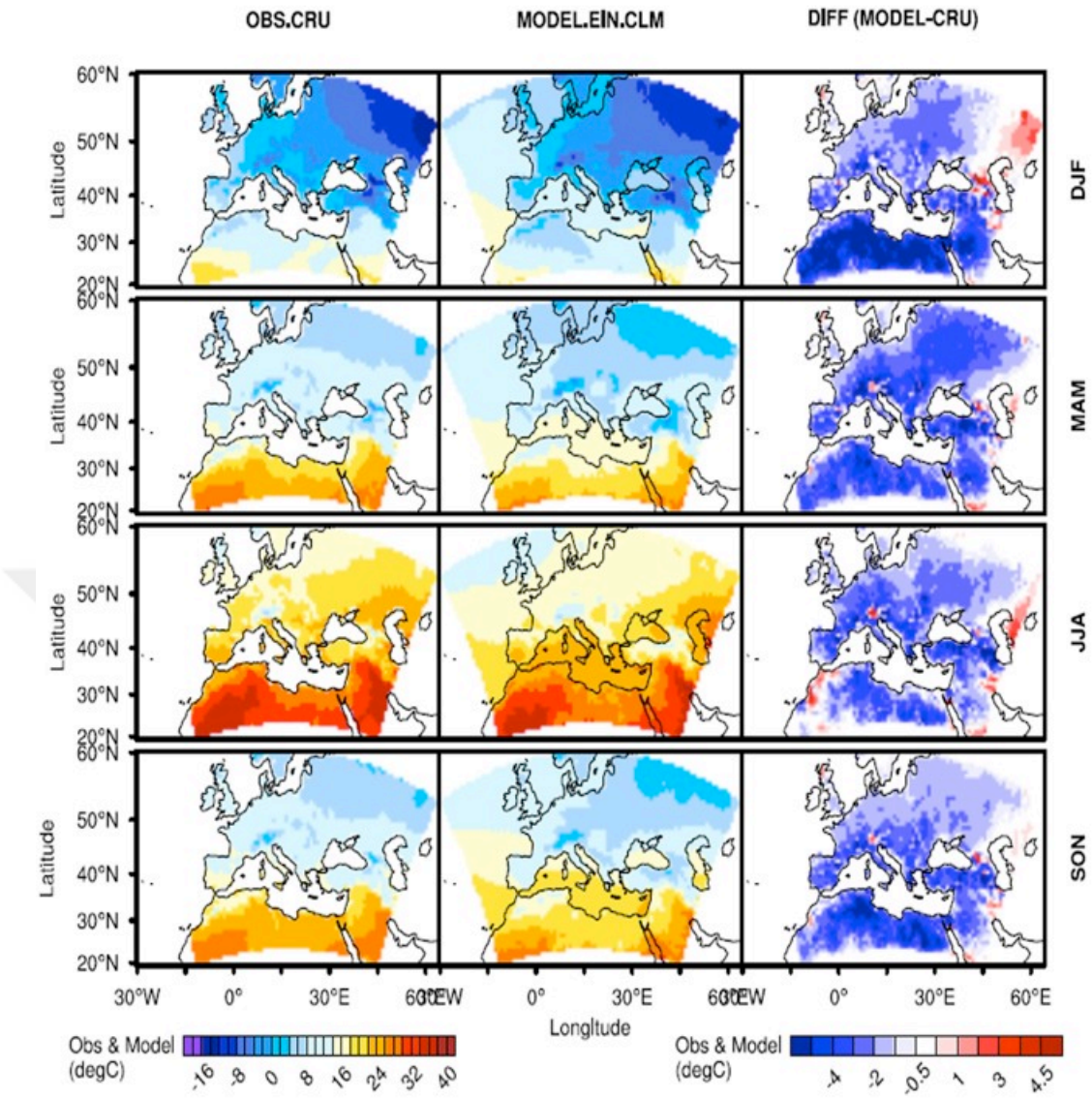
BATS ve CLM çıktıları Kış, İlkbahar, Yaz, Sonbahar olarak 4 ayrı mevsimde karşılaştırılarak model performansları test edilmiştir. Model çıktılarından "tmax" ve "tmin" değişkenleri ise sırasıyla maksimum ve minimum sıcaklıkları gösterir. Ortalamaları alınan bu değişkenler CRU veri setinin aylık ortalamaları alınmış "tmn" ve "tmx" değişkeniyle karşılaştırılmıştır. Maksimum ve minimum sıcaklık analizleri, CLM ve BATS modelleri için ayrı ayrı incelenmiş olup, modelden olan farklılıklarına bakılmıştır.

Şekil 3.1 ile gösterilen haritada RegCM4 modeli BATS yüzey modeli ile 1989-2009 yılları arası konfigür edilen model çıktıları CRU sıcaklık verisi ile mevsimsel olarak aylık ortalamaları alınmış farklar karşılaştırılmıştır. Kış aylarında Türkiye üzerinde özellikle, Türkiyenin Ege Bölgesi ve kıyılarında model gözleme göre -2 ila -3°C daha soğuk değerler üretirken, Kafkaslar Bölgesinde 2-3°C civarında model daha yüksek sıcaklık verileri üretmiştir. Yaz Aylarında ise Balkanlar, Adriyatik, ve Karpatlardan itibaren farkedilen ve 2-4°C arasında değişen farklılıklar vardır. Yaz aylarında bu bölgelerde modelin gözlemlerden daha sıcak olduğu, Türkiye'nin birçok bölgesinde görülmekle beraber, en çok Marmara ve Ege Bölgesi'nde görüldüğü söylenebilir. Bahar aylarında ise en çok farklılıkların yurdun doğu bölgelerinde görüldüğü ve 2-4 °C arasında değiştiği yorumu yapılabilir.



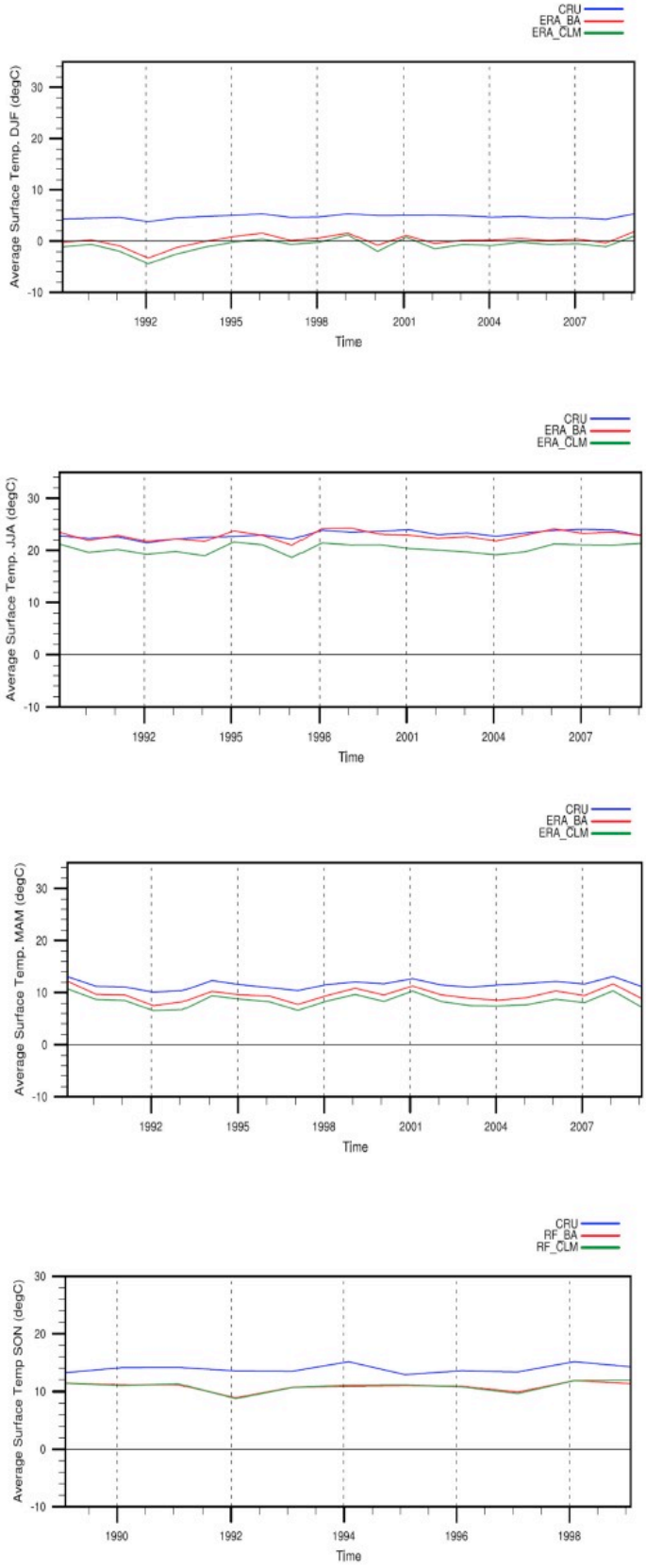
Şekil 3.1 : CRU, BATS, BATS-CRU mevsimsel sıcaklık farkları.

Şekil 3.2 ise RegCM4 modeli CLM yüzey modeli ile 1989-2009 yılları arası konfigür edilen model çıktıları CRU sıcaklık verisi ile mevsimsel olarak aylık ortalamaları alınmış farklar karşılaştırılmıştır. CLM modeli BATS modeline göre hemen hemen tüm aylarda gözleme ve BATS modeline göre daha soğuktur. Kışın Kafkaslar bölgesi dışında hemen hemen bütün yerlerde -2 ila -4°C daha soğuk sıcaklık değerleri görünürken, Kafkaslar Bölgesinde 1 ila 3°C daha sıcak değerler vardır. Doğu Alp Bölgesinde ise kışın hariç diğer mevsimlerde 1-2°C arasında değişen sıcaklık farklılıkları vardır. İlkbahar mevsiminde Türkiye üzerinde üretilen daha soğuk sıcaklık değerleri diğer mevsimlere göre daha fazladır ve bu değerler 3 ila 4°C arasında değişmektedir.



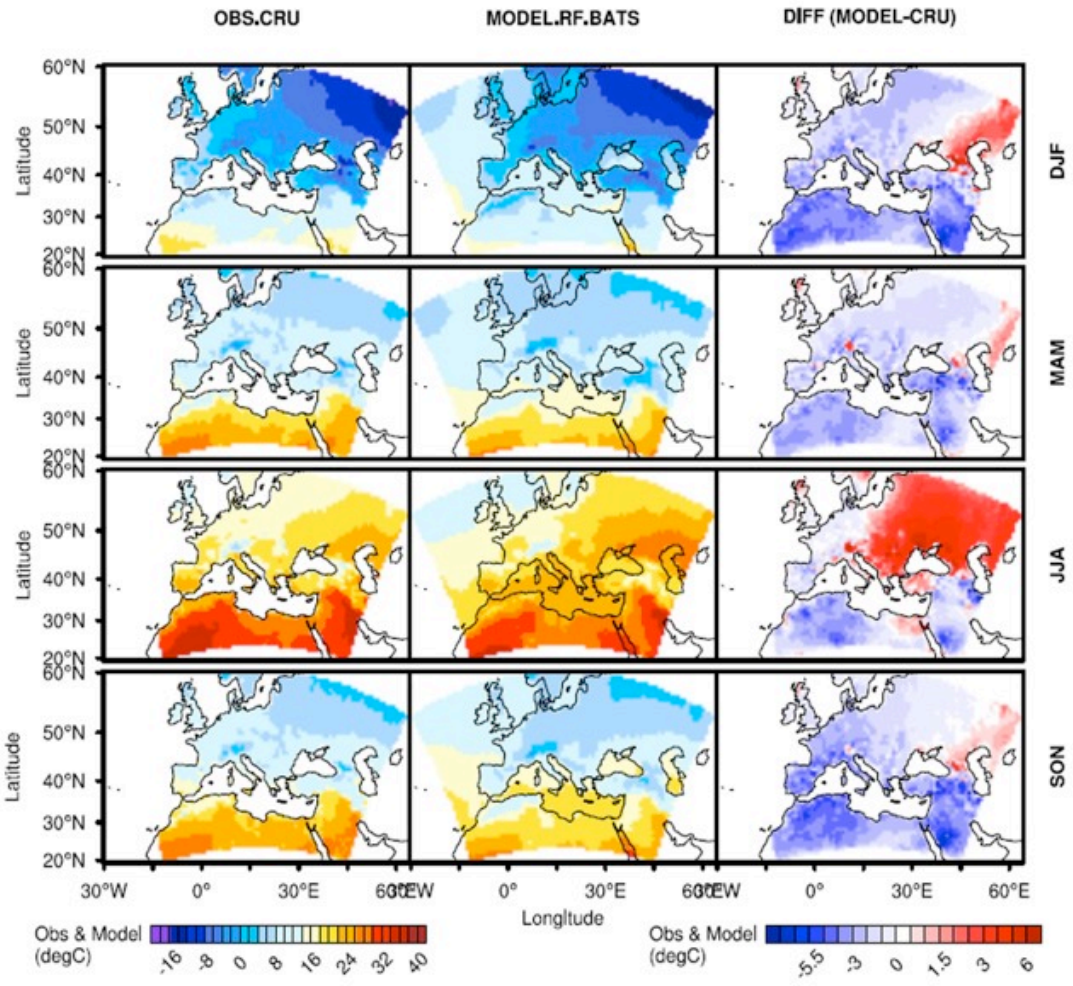
Şekil 3.2 : CRU, CLM, CLM-CRU mevsimsel sıcaklık farkları.

Şekil 3.3 ise 1989-2009 yılları arası ortalamaları alınmış sıcaklık verilerinin Türkiye üzerinde CRU, CLM ve BATS modelleriyle olan mevsimsel karşılaştırmaları göstermektedir. Yıllara ait mevsimsel sıcaklık ortalamaları BATS ve CLM modelleri arasında çok fark olmadığı görülmektedir. Kış aylarında CLM ve BATS modellerinin yıllara göre salınımı benzerlik gösterirken, CRU'dan daha soğuk değerlerin üretildiğide saptanmıştır. Kış aylarında 1992 yılında BATS ve CLM sıcaklık değerleri -2 ile -3°C civarındadır, aynı yılda gözlem verisinin sıcaklık değeri ise 2 ila 3°C arasındadır. Yaz aylarında ise BATS ve CRU değerlerinin 20 ile 24°C arasında birbiriyle uyumlu olduğu görülürken, CLM modeli mevsimsel farklarda da görüldüğü gibi daha soğuk değerler üretmiştir.



Şekil 3.3 : Türkiye üzerinde CRU, BATS ve CLM mevsimsel sıcaklık ortalamaları.

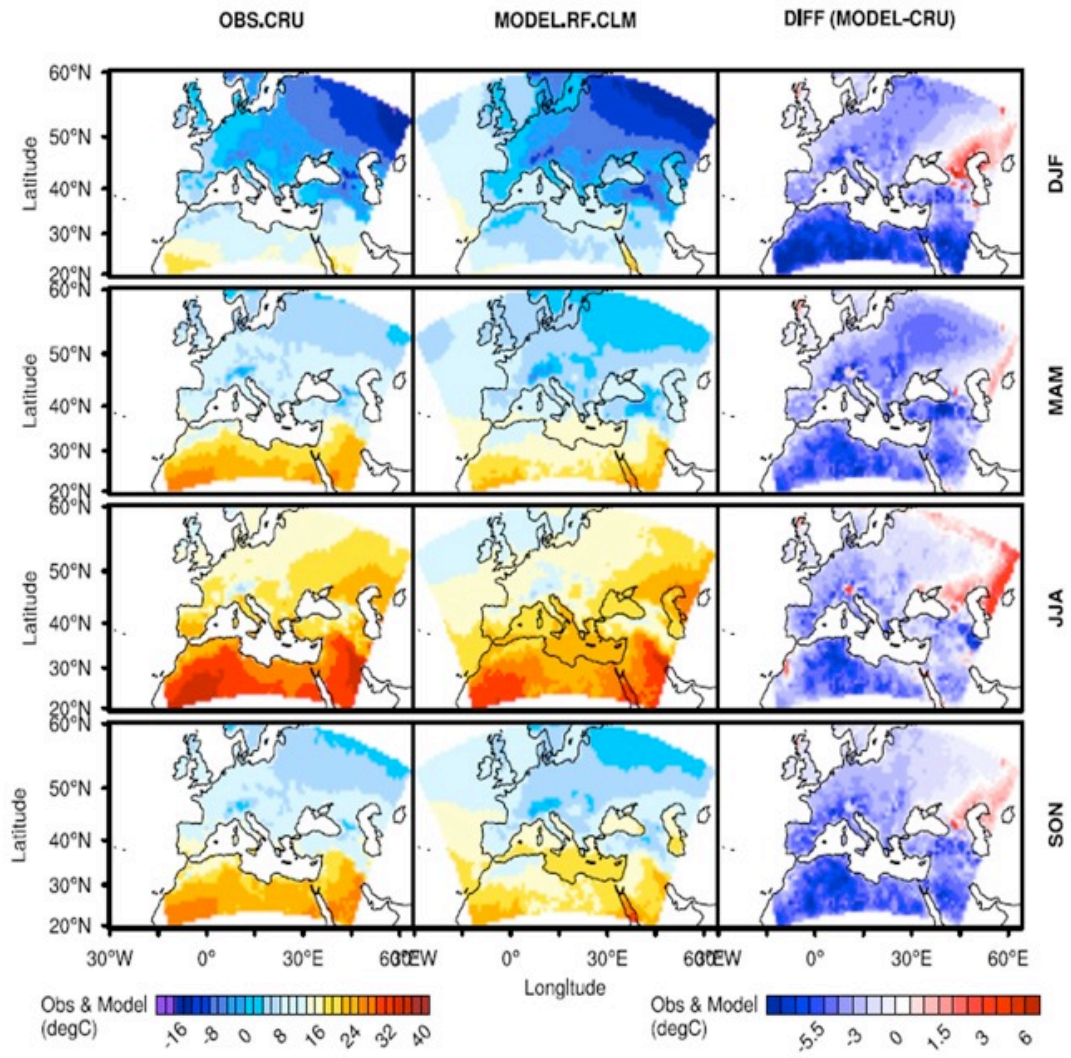
HadGEM2 Referans çıktılarıyla koşturulan RF simülasyonları ise 1970 ve 2000 yılları arası incelenmiş ve mevsimsel sıcaklık ortalamaları Şekil 3.4 ile görüldüğü gibi BATS modeli gözlem verisi CRU ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılmada en çok dikkat çeken ilkbahar aylarında görülen modelin Balkan, Karpatlar ve Kuzeydeki ciddi sıcaklık farklılıklarıdır. Bu mevsimde bu bölgelerde 3 ila 5°C RF modeli gözleme göre daha sıcak değerler üretmiştir. Türkiye üzerinde model genel olarak tüm mevsimlerde daha soğuktur ve bu değer -2 ila -4°C seyretmektedir, fakat İlkbahar aylarındaki sıcak farklılıklar Türkiyenin Batı Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgesinin batı kıyılarında da 1-2°C civarında daha sıcak olduğu görülmüştür.



Şekil 3.4 : CRU, RF.BATS ve BATS-CRU mevsimsel sıcaklık farkları.

Referans simülasyonlarının CLM sıcaklık çıktıları ise Şekil 3.5 ile görselleştirilmiştir. CLM sonuçları Era-Interim sonnuçlarında olduğu gibi genel

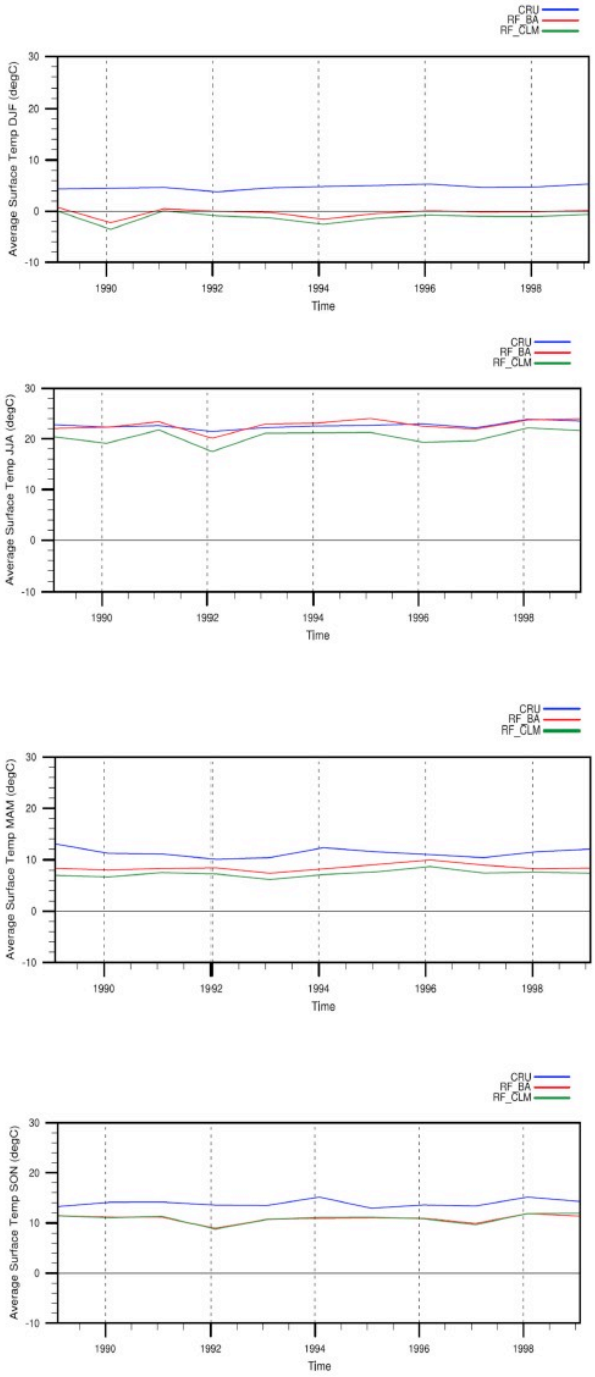
olarak daha soğuk değerler üretmiştir. İlkbahar aylarında Türkiyenin doğusu ve Doğu Karadeniz kıyılarında fark -4 ila -6.5°C arasında değişmektedir bu oran aynı şekilde kışın ve ilkbahar aylarında Alplerde de görülmektedir. Bu farklar, diğer mevsimlerde bu bölgede -1 ila -3.5°C civarındadır. Kışın Kafkaslarda ise 1.5 ila 3°C daha sıcak değerler görülmektedir.



Şekil 3.5 : CRU, RF.CLM ve CLM-CRU mevsimsel sıcaklık farkları.

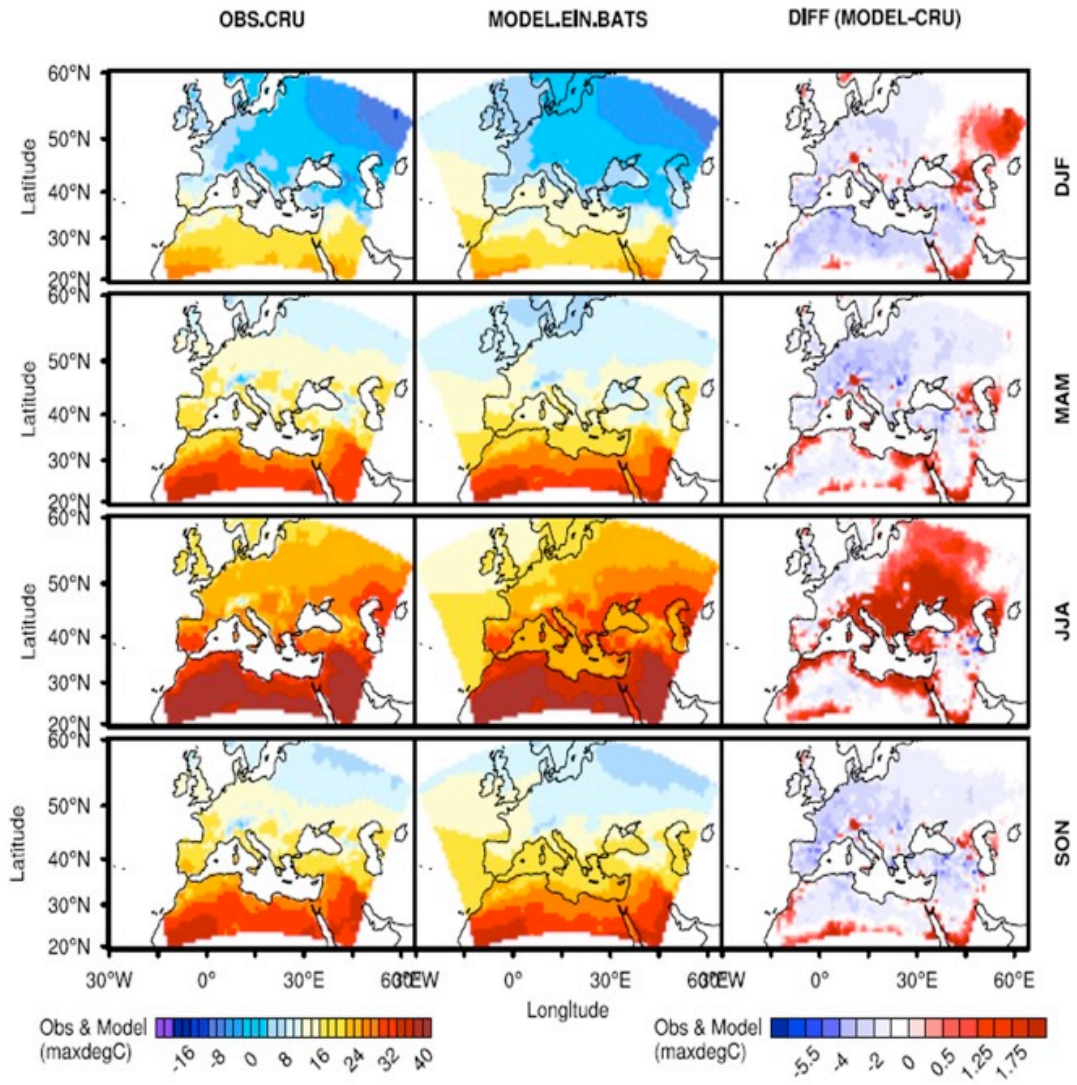
Türkiye için mevsimsel sıcaklık ortalaması alınmış Referans simülasyonlarının BATS, CLM ve CRU veri setiyle 1970-2000 yılları arası farkları Şekil 3.6 da bakılmıştır. Kış aylarında CLM ve BATS model sıcaklık verileri arasında çok fark olmamasına rağmen, iki yüzey modelinin CRU ile arasında farklar vardır. Kış aylarında her iki yüzey modelide CRU'ya nazaran tüm yıllarda daha soğuktur ve bu

değer en yüksek 1990 yılında -4°C civarındadır. Yaz aylarında ise BATS ve CRU sıcaklık değerleri 1996-2000 yılları arası birbirlerine oldukça yakındırlar. CLM ise BATS'a ve CRU'ya göre daha soğuk olduğu görülmektedir. Sıcaklıkların BATS modelinde en yüksek 25°C'lere olduğu zamanda, CLM 21°C ve CRU'da 22°C civarındadır.



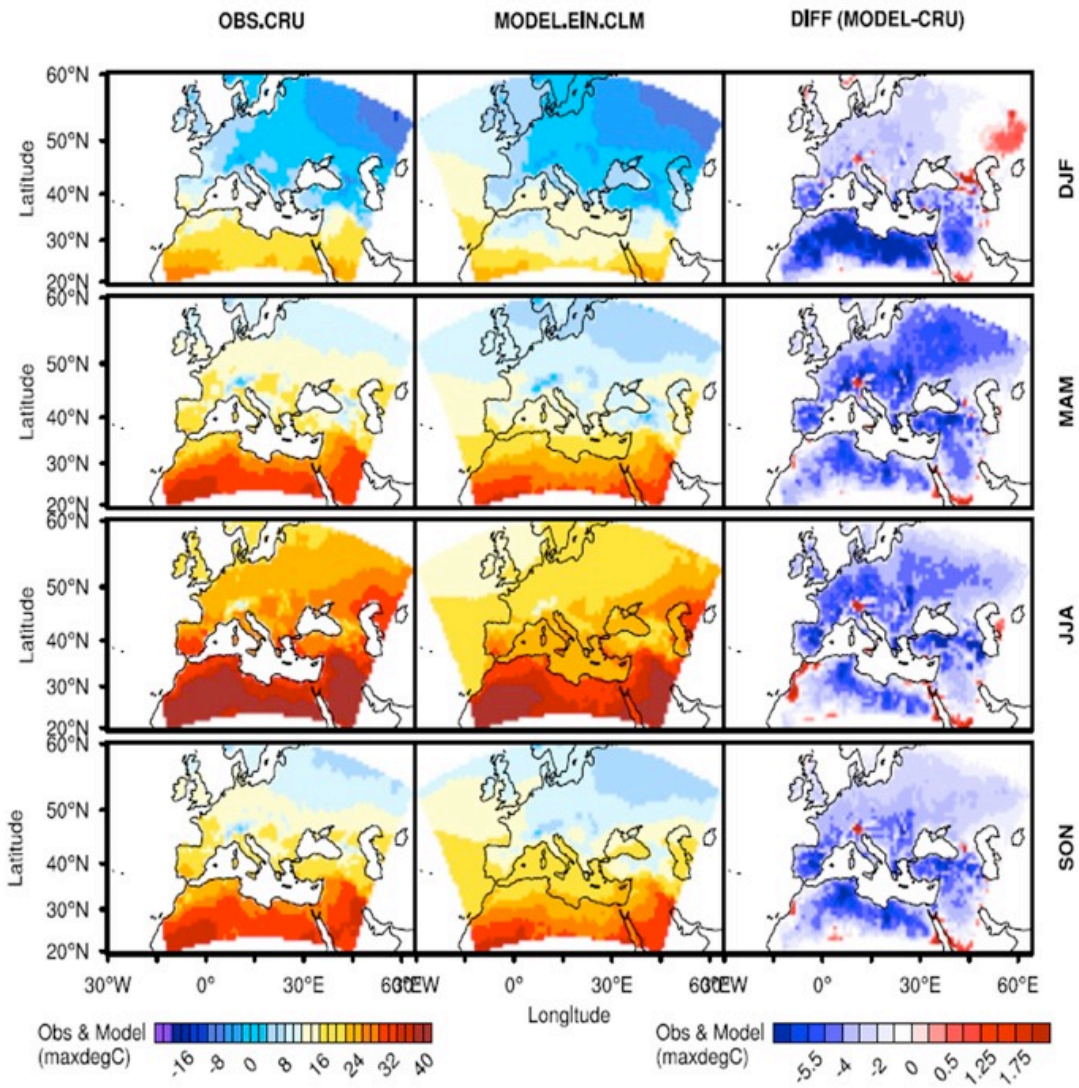
Şekil 3.6 : Türkiye üzerinde CRU, RF.BATS ve RF.CLM mevsimsel sıcaklık ortalamaları.

Maksimum sıcaklık verileri ise Şekil 3.7 ile gösterilen haritada BATS ve gözlem verisi olan CRU veri setinden mevsimsel farkları alınarak karşılaştırılmıştır. Maksimum sıcaklıklarda en büyük farkların yaz aylarında görüldüğü söylenebilir. Bu mevsimde Alpler, İtalya, Balkanlar, Karpatlar, Türkiyenin Batısı ve model alanının kuzeyinde 1 ila 2°C model gözleme göre daha sıcaktır. Maksimum sıcaklıklarda gözlemden farklılıklar kış, ilkbahar ve sonbahar aylarında genelde model alanı içinde çoğu bölgelerde -1 ila -2°C arasındadır. Bahar aylarında ise Türkiye genelinde modelin daha soğuk olduğu söylenebilir. Özellikle Doğu Anadolu Bölgesi ve Doğu Karadeniz Bölgelerinde anomalilerin -2°C 'lere ulaştığı gözlenmektedir.



Şekil 3.7 : CRU, BATS ve BATS-CRU mevsimsel maksimum sıcaklık farkları.

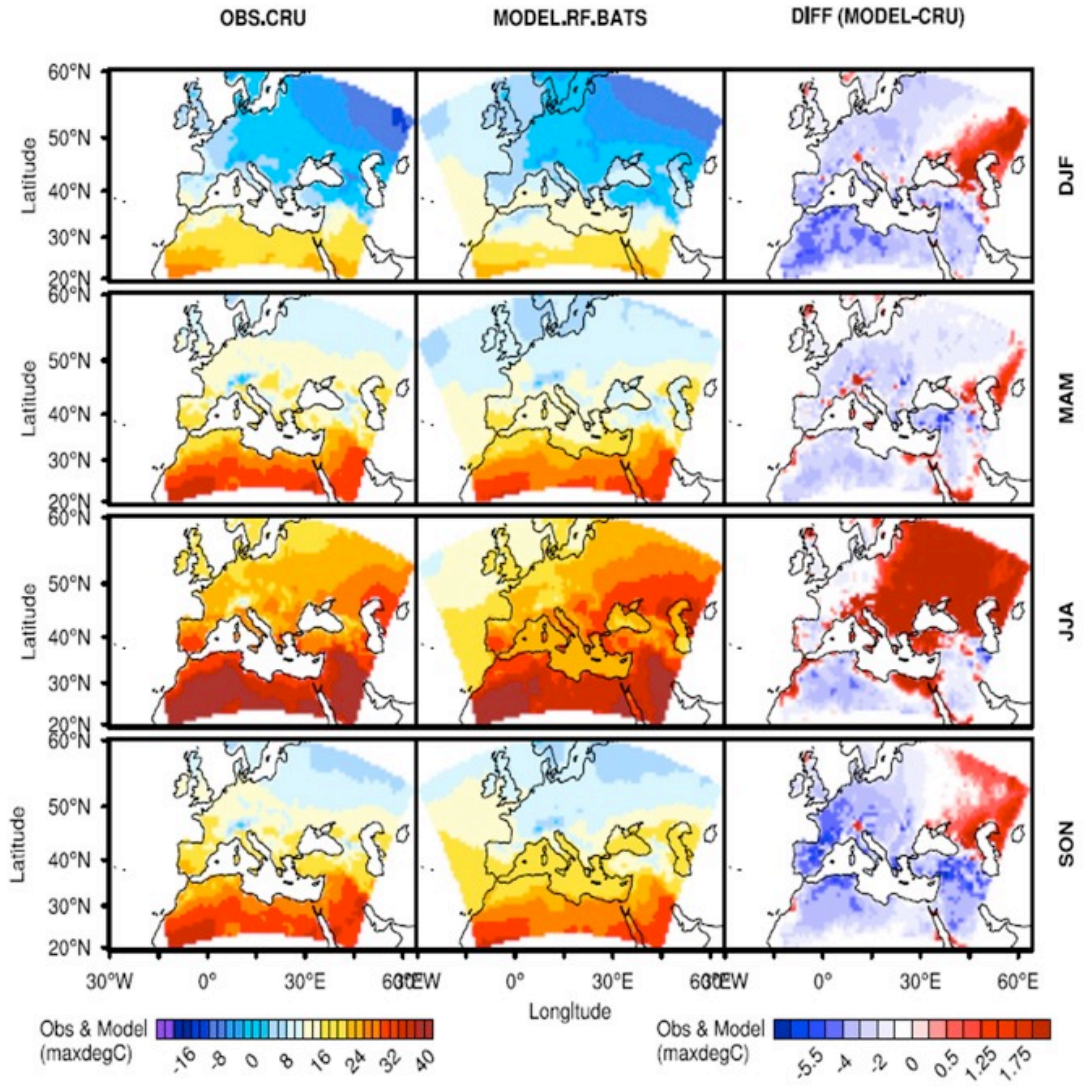
CLM Maksimum sıcaklıklar farkları Şekil 3.8 ile gösterilmiştir. CLM çıktıları BATS modeline göre 2 metredeki sıcaklıklarda daha soğuk değerler ürettiği görülmüştü, aynı farklılıklar maksimum sıcaklık değerlerinde de görülmektedir. İlkbahar ve yaz aylarında Karadeniz Bölgesi kıyılarında ve Doğu Anadolu Bölgesinde maksimum sıcaklık farkları -5.5°C'leri bulmaktadır. İlkbahar aylarında sadece Türkiye değil,model alanının hemen hemen her yerinde Balkanlar, Karpatlar ve Rusya'da 5 ila 5.5°C arasında model daha soğuktur. Doğu Alp Bölgesi, İtalyanın kuzeyinde ise her mevsimde 0.5 ila 1.5°C model daha sıcak görülmektedir.



Şekil 3.8 : CRU, CLMve CLM-CRU mevsimsel maksimum sıcaklık farkları.

Referans simülasyonlarının, BATS ve CLM maksimum sıcaklıkları karşılaştırıldığında ise, Şekil 3.9 incelendiğinde ise, yaz aylarında BATS modeli

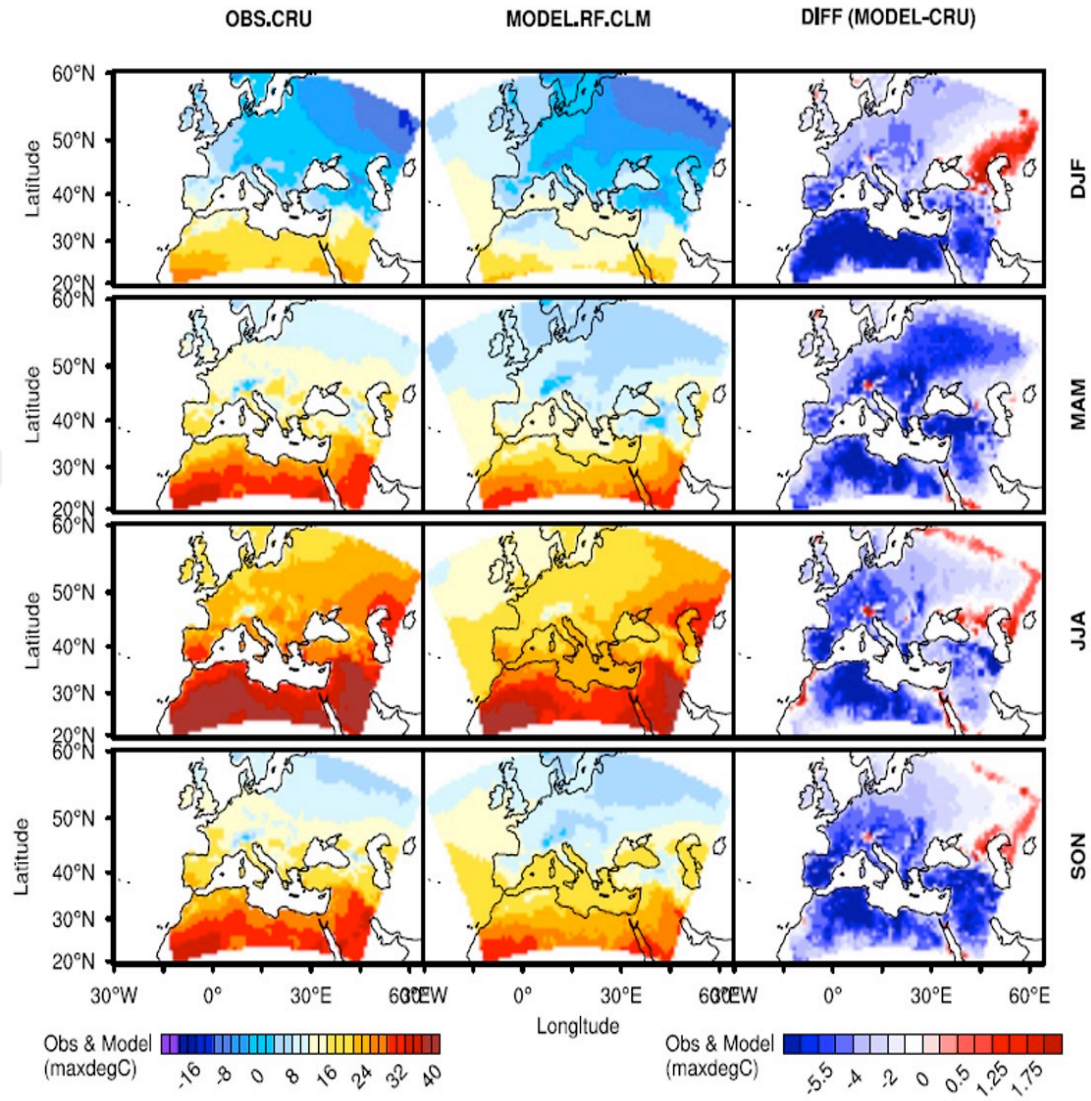
gözleme göre, Balkanlar, Karpatlar, Alpler, Kuzey İtalya ve Kafkaslarda +2°C daha sıcak değerler üretmiştir. Bu aylarda, Türkiyenin batı kesimiyle, doğu kesimi arasında da +2°C ile -2°C farklar bulunmaktadır. Kış aylarında ise maksimum sıcaklık farklarının hemen hemen çoğu yerde -2 ve -3°C olduğu görülürken, Kafkaslar bu aylarda +1.5°C daha sıcaktır.



Şekil 3.9 : CRU, RF.BATS ve RF.BATS-CRU mevsimsel maksimum sıcaklık farkları.

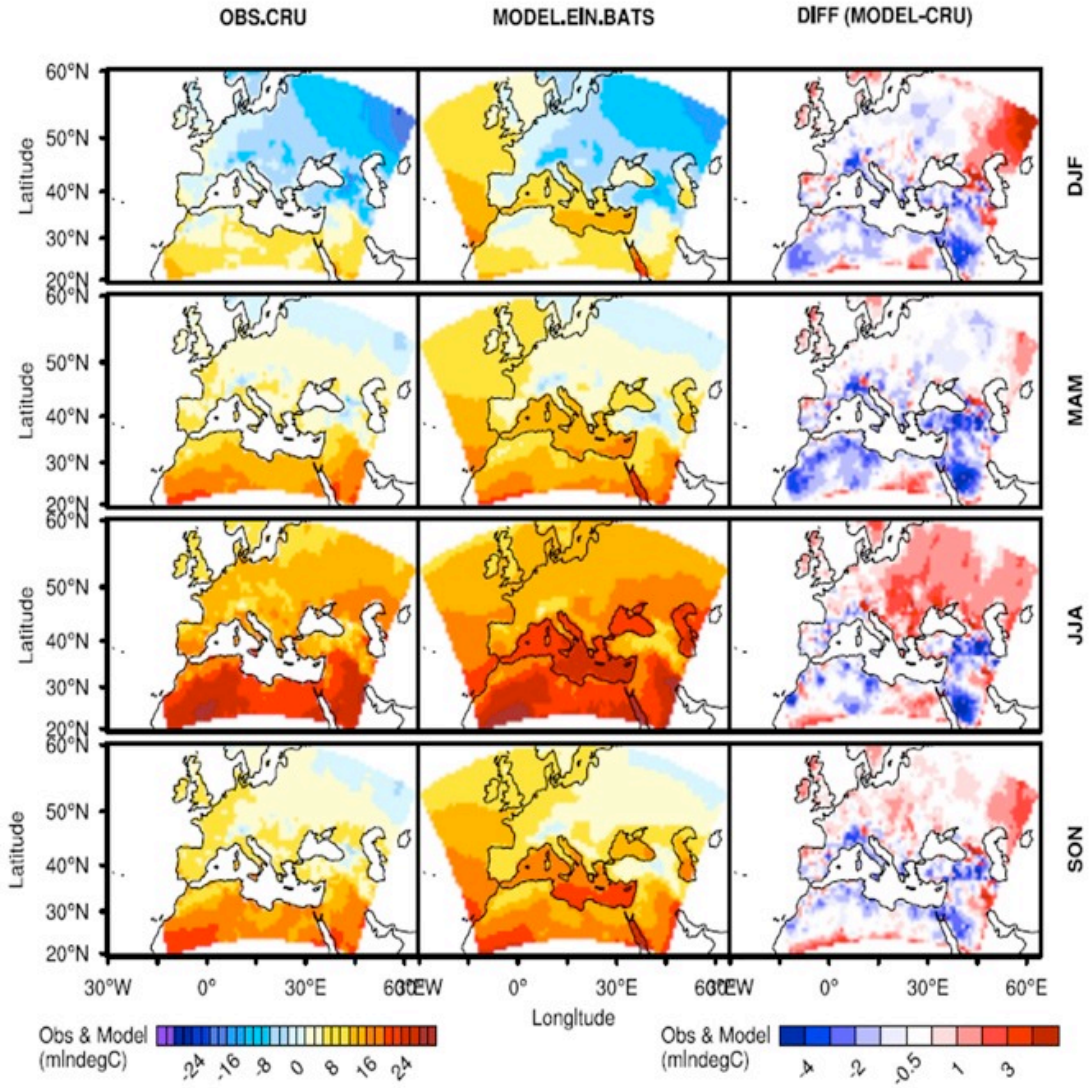
Şekil 3.10 ile gösterilen haritada, Referans simülasyonu CLM maksimum sıcaklık sonuçlarına bakılacak olursak, tüm mevsimlerde model alanının çoğunda gözlem verilerine kıyasla sıcaklık değerleri daha düşüktür. Özellikle, ilkbahar mevsiminde ciddi soğuk oranda farklılıklar görülmektedir. Bu mevsimde Türkiye, Balkanlar ve Karpatlar gözlem verilerine göre 5 ila 6°C daha soğuktur. Bunlara ek olarak, Kış aylarında Kafkaslarda maksimum sıcaklıklar gözlem verilerine kıyasla 1-1.5°C daha

sıcaktır. Türkiyenin Doğu Anadolu Bölgesi bahar mevsimlerinde gözleme göre 5 ila 6°C daha soğuktur.



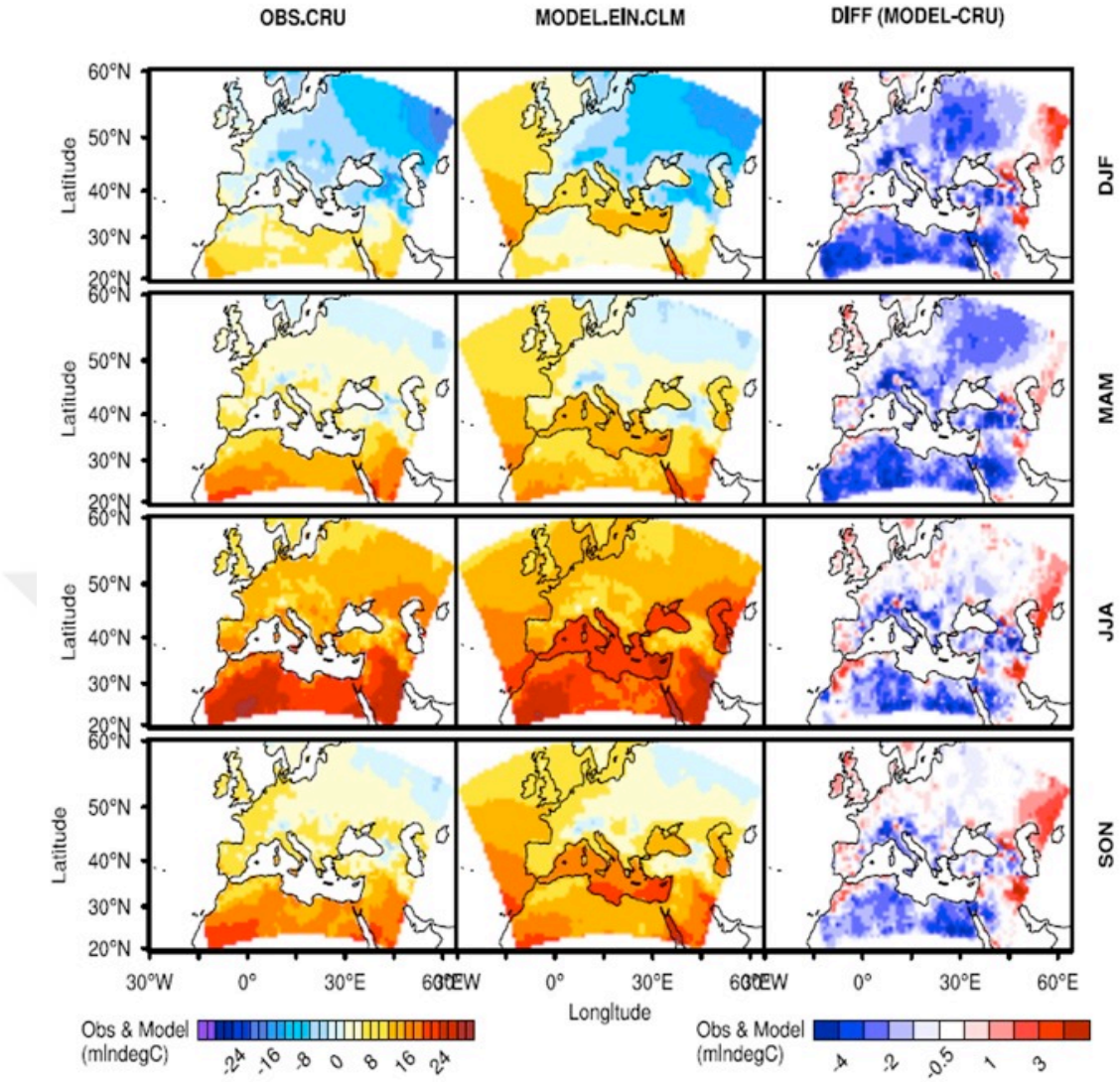
Şekil 3.10 : CRU, RF.CLM ve RF-CRU maksimum sıcaklık farkları mevsimsel ortalamaları.

Aylık ortalamaları alınmış Mimimum sıcaklık farkları ise Şekil 3.11 ile gösterilen Era-Interim simülasyonlarının, BATS çıktılarının gözlem verisiyle karşılaştırılmıştır. Minimum sıcaklık ortalamaları mevsimsel olarak incelendiğinde, model-gözlem farklarının maksimum sıcaklıklara nazaran daha az olduğu görülmüştür. Kış ve İlkbahar aylarında Alplerde 3°C civarında daha soğuk değerler görülmektedir.. Yaz aylarında minimum sıcaklıklar CRU'ya göre Balkanlar, Karpatlar ve Adriyatik bölgesinde 1 ile 3°C daha fazladır. İlkbahar aylarında ise Türkiye üzerinde özellikle Doğu Anadolu Bölgesinde -4°C' yi bulan minimum sıcaklık farkları tespit edilmiştir.



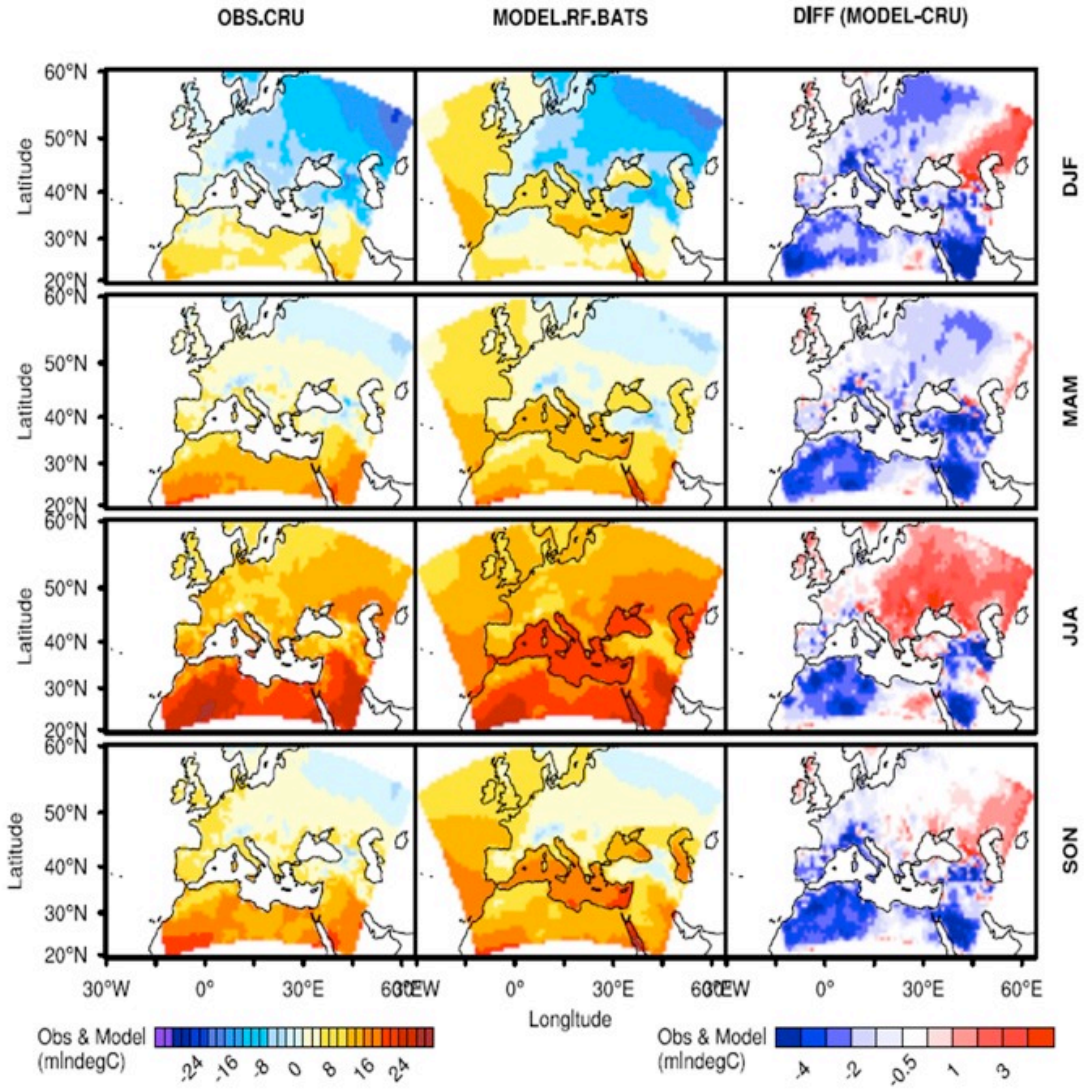
Şekil 3.11 : CRU, BATS ve BATS-CRU mevsimsel minimum sıcaklık farkları.

Şekil 3.12 ile gösterilen haritada ise, CLM minimum sıcaklık farkları mevsimsel olarak karşılaştırılmıştır. Bu farklılıkların maksimum sıcaklıklarına nazaran daha azdır. Türkiye, Balkanlar ve Alplerde kışın ve ilkbahar aylarında minimum sıcaklık farkları -2 ile -4°C'dir. Türkiyenin Doğu Anadolu Bölgesi ve Alplerde yükseltinin fazla olduğu yerlerde ise bu farklar -4°C civarıdadır. Yaz ve Sonbahar Aylarında farkların -2°C ile +2°C arasında değiştiği görülmüştür.



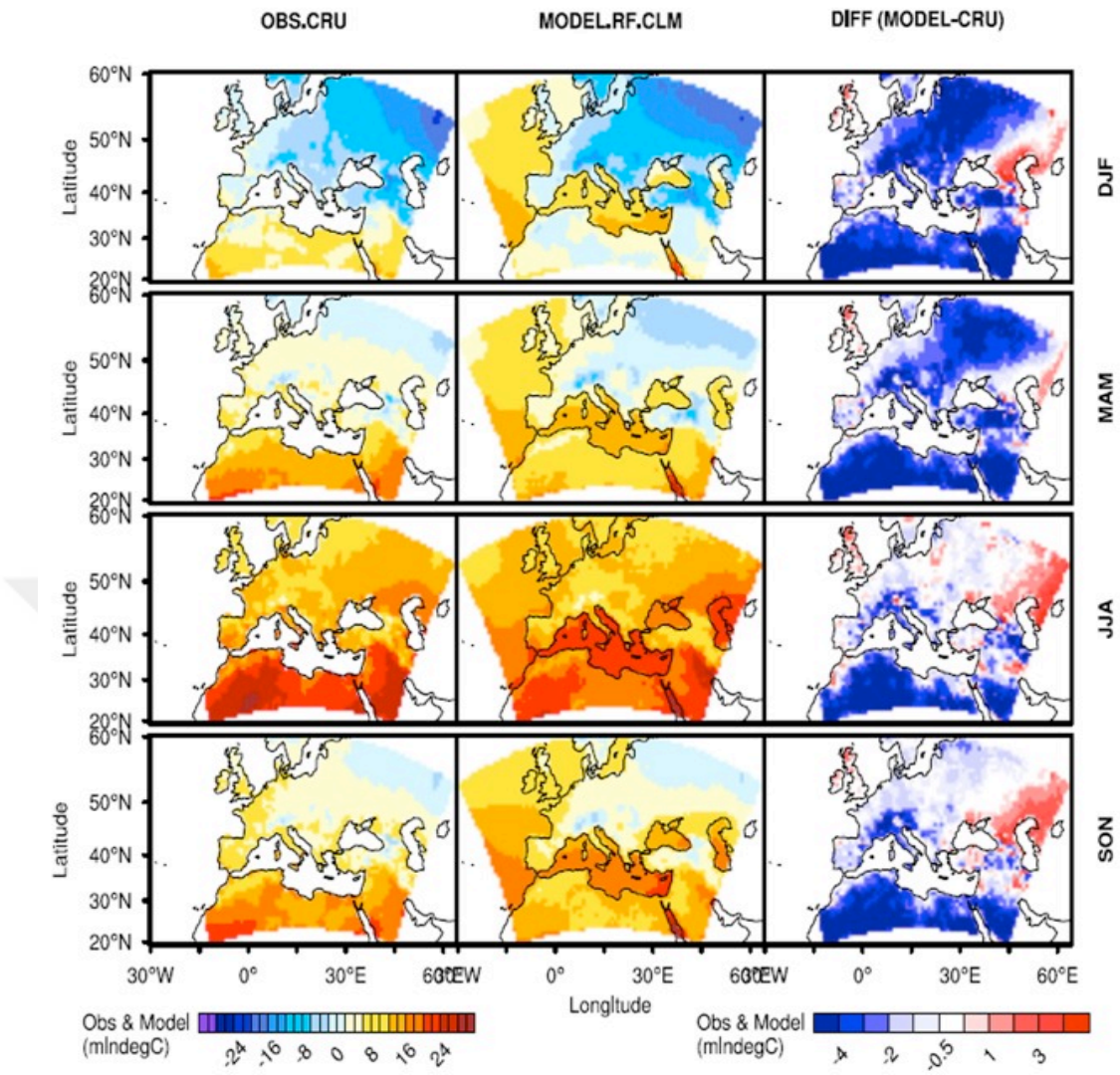
Şekil 3.12 : CRU, CLM ve CLM-CRU mevsimsel minimum sıcaklık farkları.

Referans simülasyonu BATS minimum sıcaklık sonuçlarına Şekil 3.13 ile bakıcak olursak, özellikle Mart, Nisan ve Mayıs aylarında model referansı gözlem verilerine göre daha soğuk değerler üretmiştir. Türkiyenin Doğu Anadolu Bölgesi'nde bu mevsimde -4 ve -5°C'lere varan farklılıklar görülmüştür. Kış aylarında ise minimum sıcaklıklarda Alplerde ve Kuzey İtalyada model, gözleme göre 4 ve 5°C daha soğuk değerler üretmiştir. Bunların yanısıra minimum sıcaklıklardaki bu soğuk farklılıklar yaz aylarında Karpatlar, Balkanlar ve Rusyada 2 ile 4°C gözleme kıyasla yerini pozitif anomalilere bırakmıştır. Model referansı Türkiye'nin batısını yaz aylarında daha sıcak simüle ederken, bu durum bu mevsimde doğusunda tam tersi olarak görülmektedir.



Şekil 3.13 : CRU, RF.BATS ve BATS-CRU mevsimlere göre minimum sıcaklık farkları.

Şekil 3.14 ise minimum sıcaklık Referans simülasyolarının CLM modeli çıktıları gözlemle karşılaştırılmıştır. Minimum sıcaklıklarda farklılıklar kış ve ilkbahar aylarında oldukça fazladır. Kış aylarında Alpler, Balkan, Karpatlar bölgesi minimum sıcaklıkları CRU'ya göre 4°C'den daha fazla değerlerde soğuktur. Türkiyenin Güneydoğu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesinde de farklılıkların -4°C civarındadır. Yaz aylarında bu bölgelerde farklılıklar -0.5 ile -1°C arasındadır. Yaz aylarında ise Türkiyenin Batı Bölgesi ve Alpler hariç orta Avrupa minimum sıcaklık farkları -0.5 ile -1°C civarındadır.



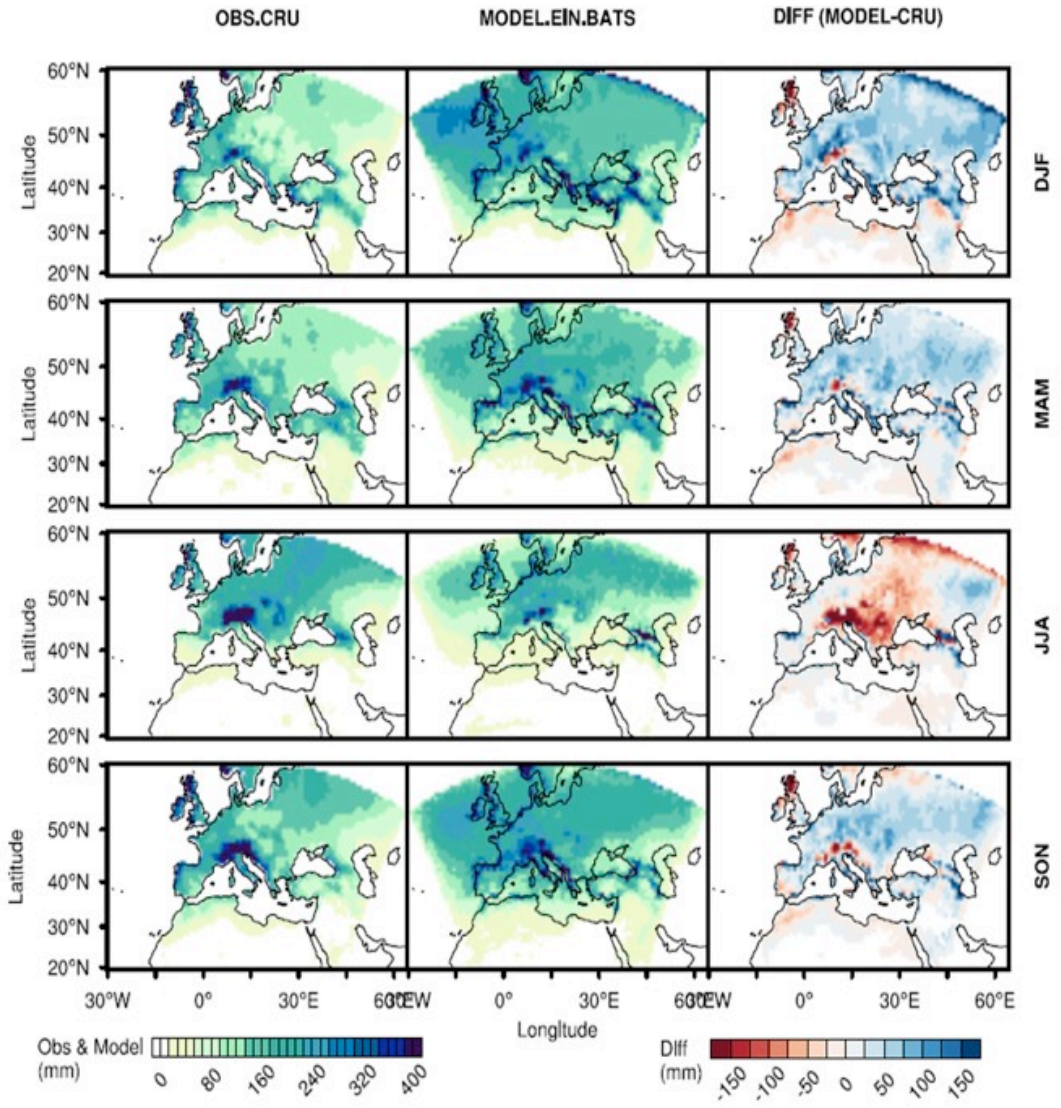
Şekil 3.14 : CRU, RF.CLM ve CLM-CRU mevsimlere göre minimum sıcaklık farkları.

3.2 Model Sonuçları Yağış Analizi

Bu bölümde ERA-Interim verisi ile 1989-2009 yılları arası koşturulan RegCM4 modelinin iki ayrı yüzey modeli olan CLM ve BATS yağış çıktıları CRU veri setiyle karşılaştırılmıştır. HadGEM2 referans girdileriyle 1970-2000 yılları arası koşturulan CLM ve BATS Referans simulasyonları çıktıları ise aynı parametrede CRU veri setiyle karşılaştırılmıştır. RegCM4 modelinin çıktılarından "pr" değişkeni toplam yağışı göstermektedir. 1989-2009 yılları arası aylık ortalaması alınan pr değişkeni, CRU veri setinin aylık ortalamaları alınmış tpr (toplam yağış) değişkeni ile mevsimlere göre karşılaştırılmıştır. BATS ve CLM çıktıları Kış, İlkbahar, Yaz,

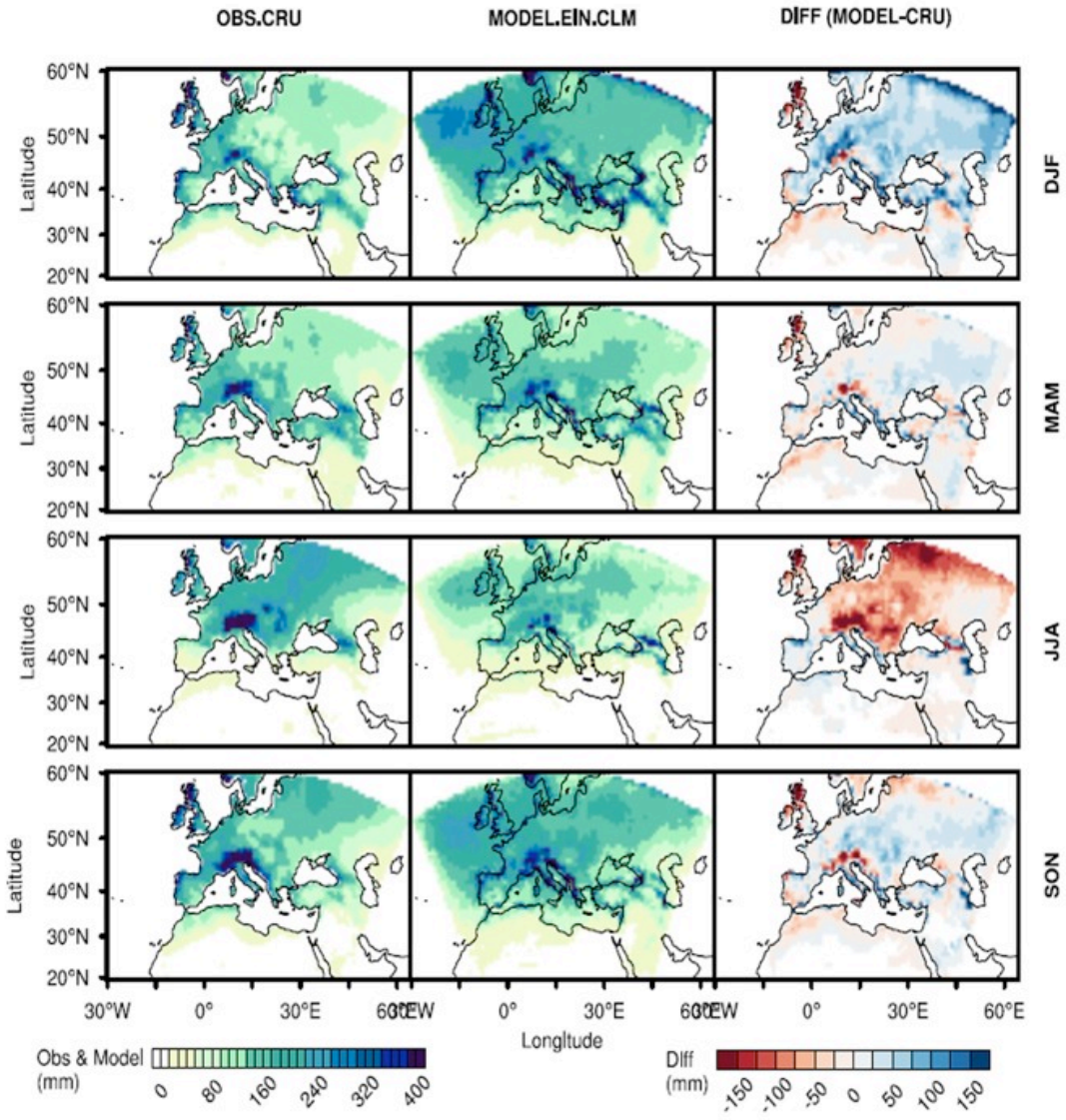
Sonbahar olarak 4 ayrı mevsimde karşılaştırılarak model performansları test edilmiştir.

Şekil 3.15 ile Gözlem yağış verisi (CRU), RegCM4-BATS modeli yağış çıktısı ve Modelin Cru'dan farkı gösterilmiştir. 1989-2009 yılları arası bakılan mevsimsel toplam yağış kış aylarında model alanı içinde çoğu yerde gözlem verilerinden daha fazla yağış üretmiştir. Bu fazlalık Türkiye'nin çoğu bölgesinde, Balkanlarda, Karpatlar ve Kuzey Avrupada 50 ile 100 mm arasındadır. Yaz Aylarında ise özellikle Alpler ve Balkanlarda model gözleme göre 100-150 mm civarında daha az üretmiştir. Sonbahar aylarında ise Alplerde model, gözleme göre 100mm civarında daha az sıcaklık değerlerine sahiptir.



Şekil 3.15 : CRU, BATS ve BATS-CRU mevsimsel yağış farkları.

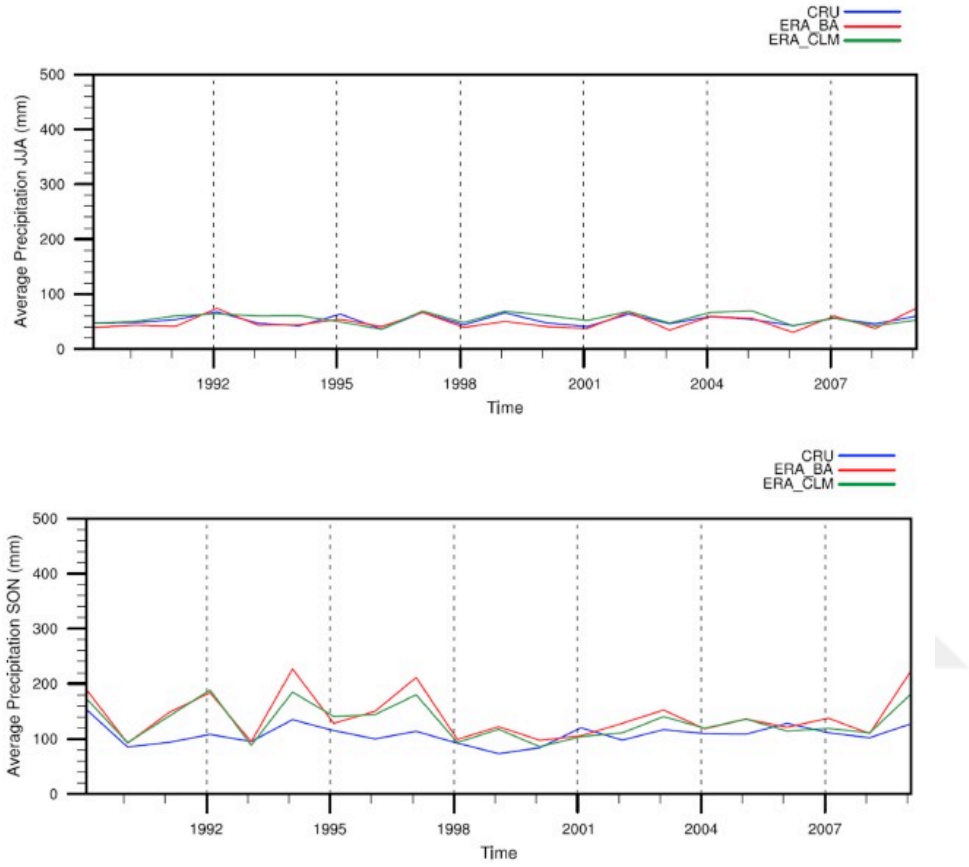
Şekil 3.16 ile gösterilen haritada, CLM modelinin yağış çıktısı BATS modeline nazaran daha az, gözleme göre daha yakın değerler ürettiği gözlenmiştir. Kış aylarında Türkiye ve Balkanlarda model, gözleme nazaran daha fazla yağış üretmiştir ve bu miktarda 50mm ile 100mm arasında değişmektedir. Kış aylarında ise Balkanlar, Karpatlar ve Alplerde model çıktıları kış aylarında daha çok yağış üretirken, bu aylarda bu bölgelerde 75mm -125 mm daha az yağış üretmektedir.



Şekil 3.16 : CRU, CLM ve CLM-CRU mevsimsel yağış farkları.

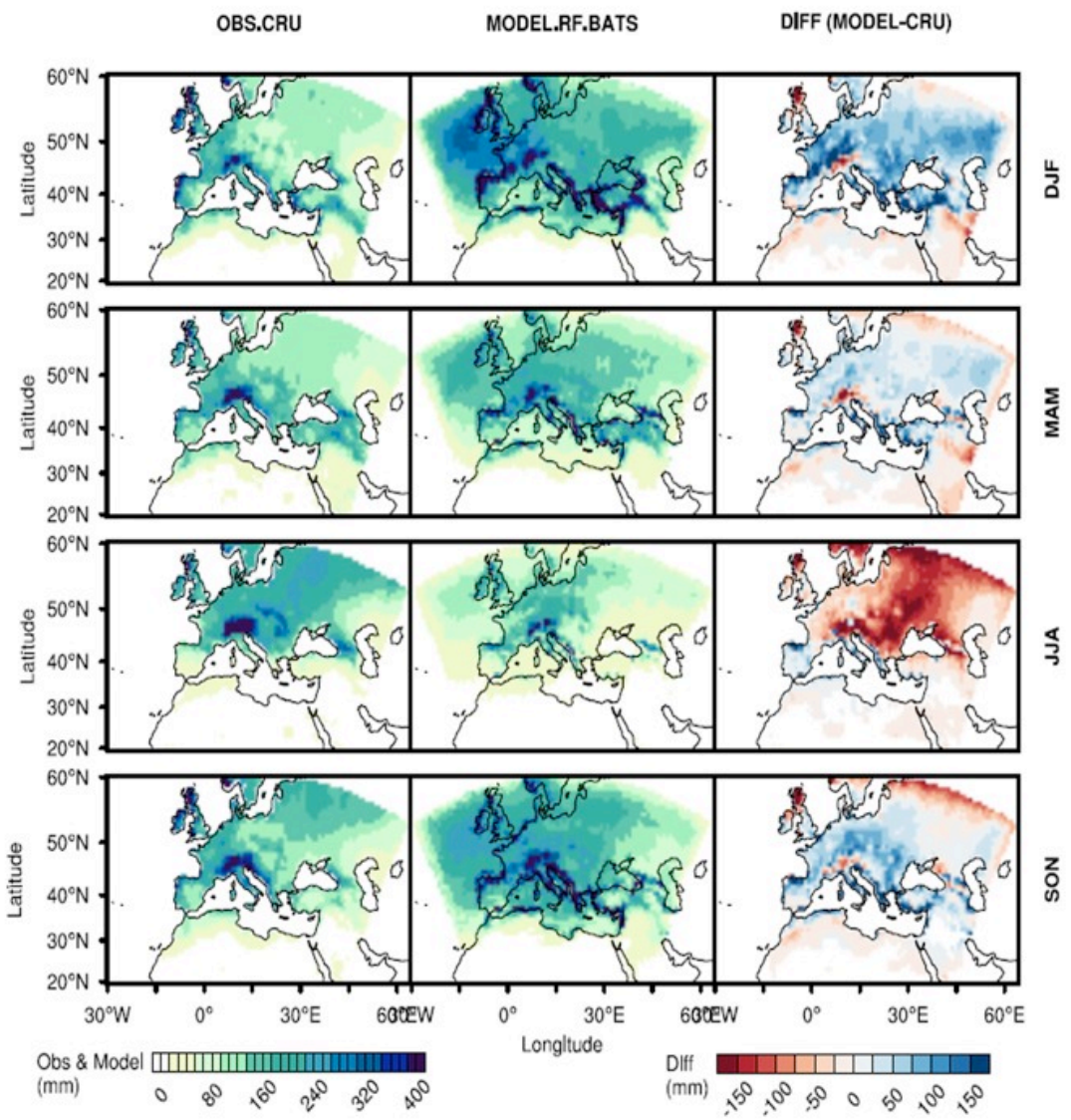
Şekil 3.17 ile 1989-2009 yılları arası toplam yağış verilerinin Türkiye üzerinde CRU, CLM ve BATS modelleriyle olan mevsimsel karşılaştırmaları gösterilmektedir. Yıllara ait mevsimsel karşılaştırmalarda Kış, İlkbahar ve Sonbahar Aylarında farklılıkların olduğu görülmektedir. Kış aylarında 1989 -2009 yılları arası BATS ve CLM 2001 yılından itibaren aynı paterni gösteriyor olsada, CLM çoğu zaman

adımlarında BATS modelinden daha az yağış verileri üretmektedir. 2004 yılında BATS ve CLM 350 mm civarında toplam yağış gösterirken, aynı yıl CRU verisi 150 - 200 mm civarındadır. Yaz aylarında yağışın az olması model hatalarınında az olduğunu gösterir, bu mevsimde CLM ve BATS, CRU verileriyle genelde aynı paterni yakalamıştır.



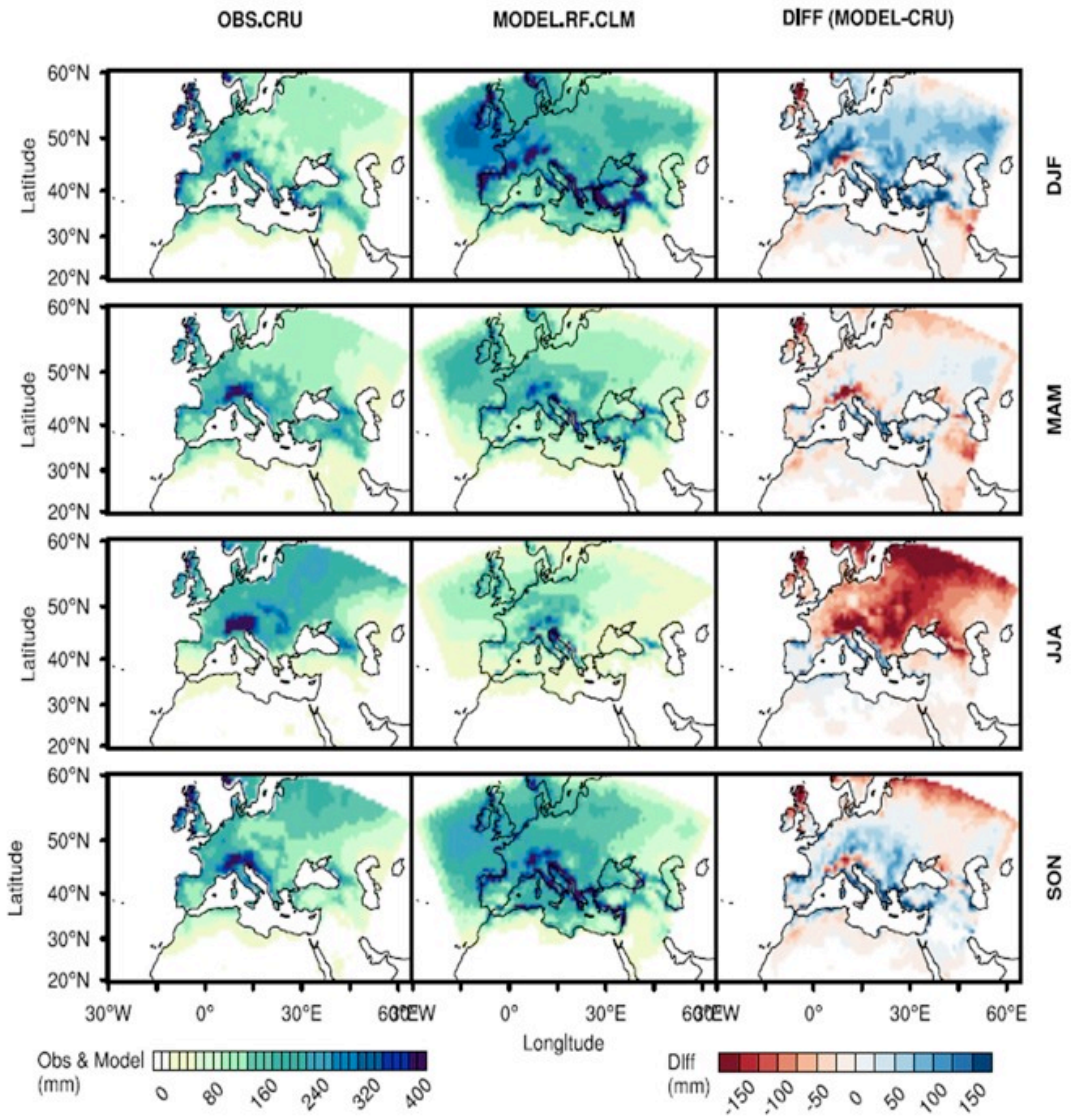
Şekil 3.17 : Türkiye üzerinde CLM, BATS ve CRU yağışları karşılaştırılması.

Referans simülasyonlarının BATS modeli yağış verilerinin gözlemden olan farkları Şekil 3.18 ile gösterilmektedir. Modelin yağış farklılıkların dolayısıyla taraflılığının belirgin olduğu aylar genelde kış ve yaz aylarıdır. Türkiye'nin Akdeniz kıyıları, Güney Doğu Anadolu ve Ege kıyılarında 100 - 150 mm civarında kış aylarında daha fazla yağış üretilmiştir. Yaz aylarında ise, Balkanlar, Alpler ve Karpatlar bölgesinde yağış gözleme göre 150mm 'ye kadar daha az yağış üretmiştir. Bahar aylarında ise Türkiye üzerinde model genel olarak daha fazla yağış üretirken, sonbahar aylarındaki pozitif anomalilerin daha fazla olduğunu söylemek mümkündür. Bunlara ek olarak Referans dönemin CRU veri setiyle olan farkının en çok kış aylarında görüldüğünü söylemek mümkündür.



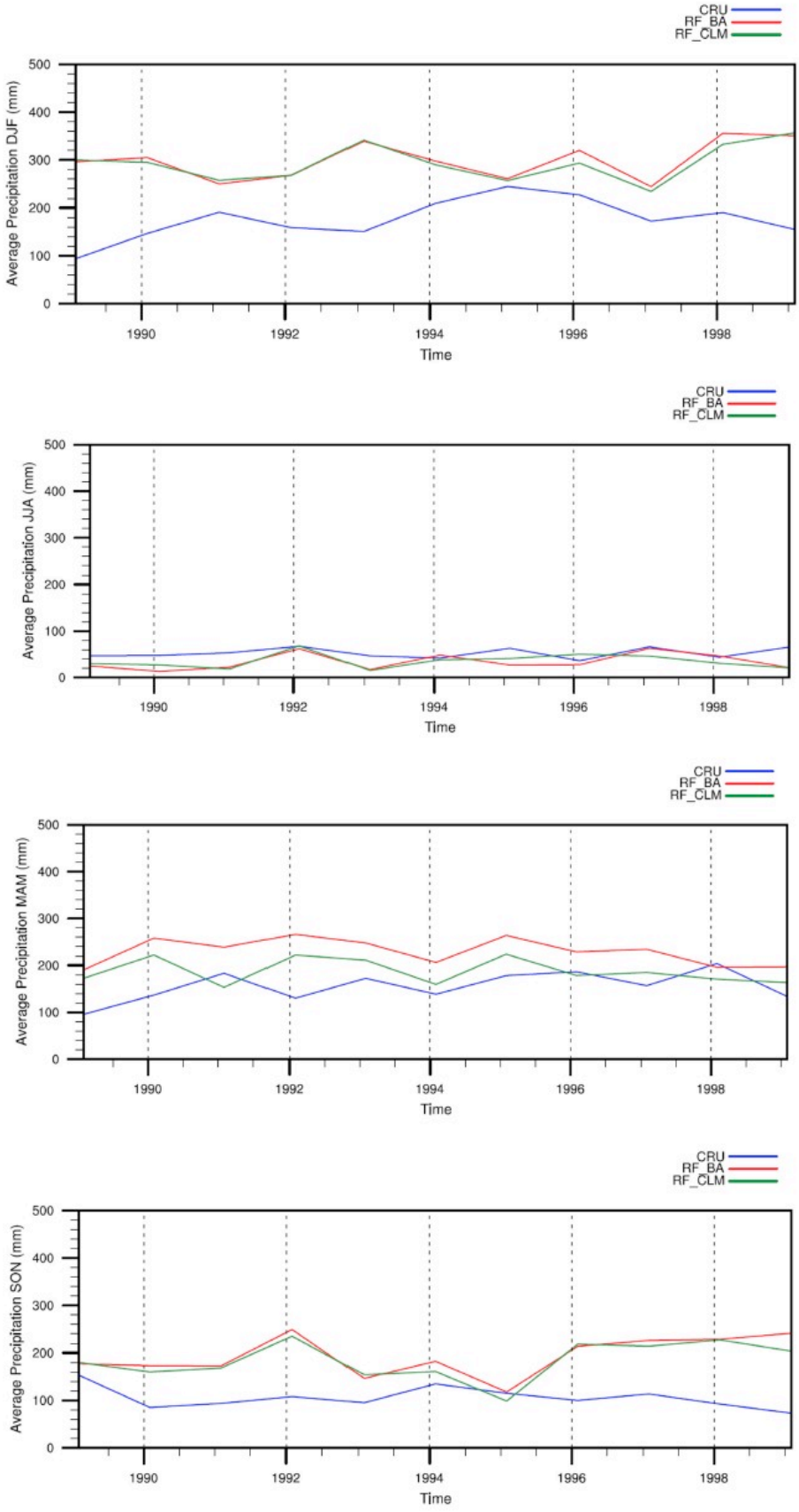
Şekil 3.18 : CRU, RF.BATS ve RF-CRU mevsimsel yağış miktarları.

Şekil 3.19 ise Referans simülasyonlarından CLM çıktıları karşılaştırılmıştır. CLM farkları BATS farklarına göre daha az olmasıyla beraber, kış ve yaz aylarında belirgin yağış farklılıkları CLM modelinde de gözlenmiştir. Akdeniz kıyıları ve Türkiyenin Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde model 100-150 mm arası daha fazla yağış göstermiştir. Yaz aylarında ise bu bölgelerde gözleme göre farklar 0 ile 50 mm arası daha azken, Balkanlar, Alpler ve Karpatlarda bu oranlar 150 mm'yi bulan daha az yağış verileri üretilmiştir.



Şekil 3.19 : CRU, RF.CLM ve RF-CRU mevsimsel yağış miktarları.

Şekil 3.20 1970-2000 yılları arası toplam yağış verilerinin Türkiye üzerinde CRU, CLM ve BATS modelleriyle olan mevsimsel karşılaştırmaları göstermektedir. Yıllara ait mevsimsel karşılaştırmalarda Kış, İlkbahar ve Sonbahar Aylarında farklılıkların olduğu görülmektedir. Kış aylarında görülen farklar oldukça belirgindir. Türkiye üzerinde 1970 – 2000 yılları arasında BATS ve CLM modelleri birbirlerine yakın yağış verisi üretirken, CRU ile olan farkları en yüksek 200 mm'leri bulurken, en az da 20-25 mm civarındadır. CLM modeli bütün mevsimlerde çoğu zaman adımlarında BATS'dan daha az yağış verisi üretmiştir. Yaz mevsimlerinde ise patern oldukça birbirine benzemektedir, özellikle 1992 yılında ortalamalar birbirine oldukça yakındır.



Şekil 3.20 : Türkiye üzerinde RF. CLM, RF.BATS ve CRU yağışları karşılaştırılması.

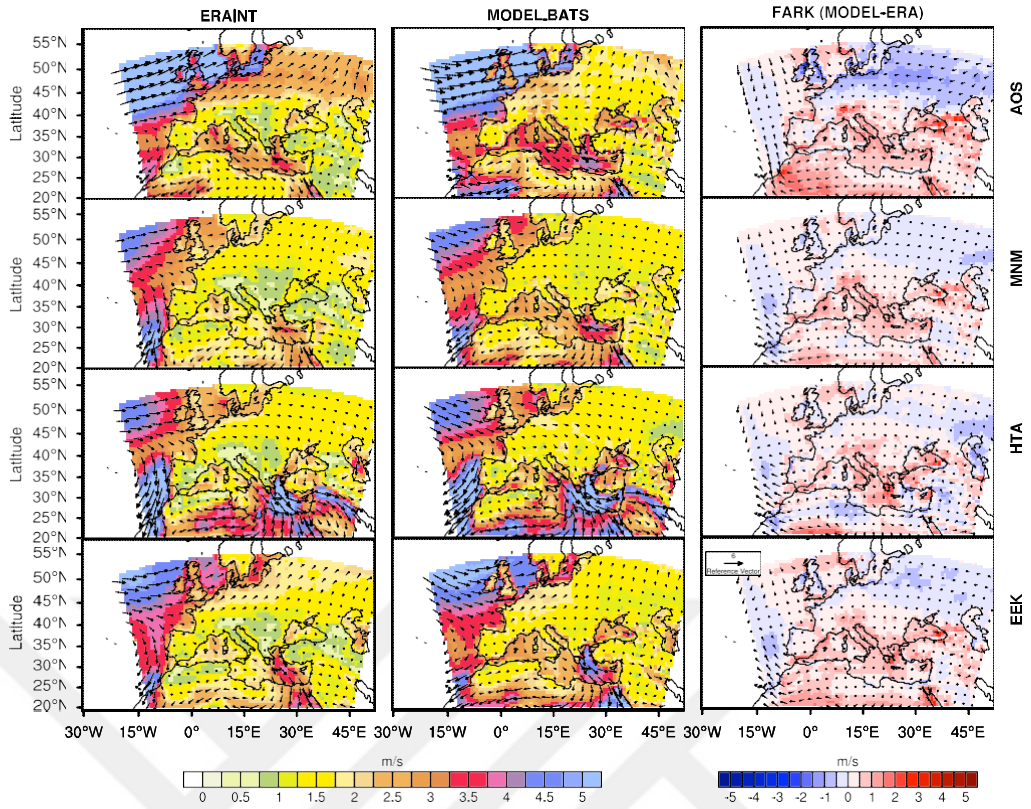
3.3 Model Sonuçları Rüzgar Analizi

Bu bölümde ERA-Interim verisi ile 1989-2009 yılları arası koşturulan RegCM4 modelinin iki ayrı yüzey modeli olan CLM ve BATS rüzgar analizi yapılmıştır. U ve V yönündeki vektörleri ve bunların hızları Era-Interim rüzgar verileriyle karşılaştırılmıştır.

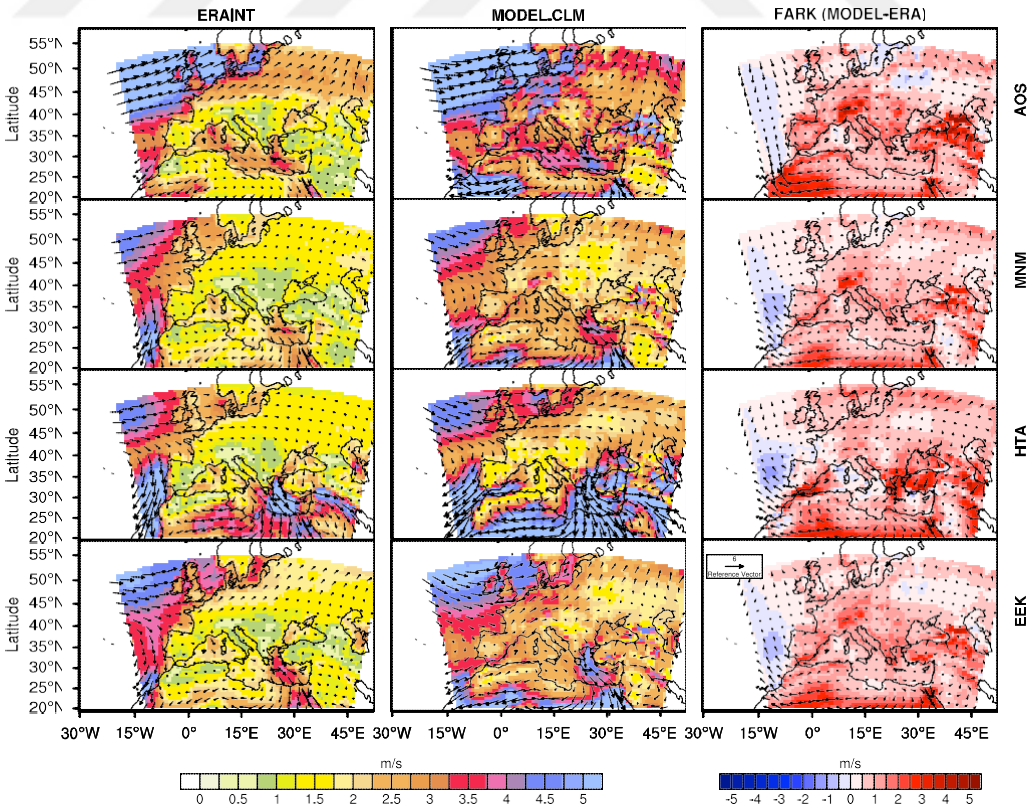
RegCM4 modelinin "uas" ve "vas" sırasıyla 10 metredeki batılı ve güneyli rüzgar bileşenlerini temsil etmektedir. 1989-2009 yılları arası ortalamaları alınmış bu değişkenler, Era-Interimin "u" ve "v" değişkenlerini içeren 10 metredeki aylık veri setleriyle karşılaştırılmıştır. BATS ve CLM çıktıları Kış, İlkbahar, Yaz, Sonbahar olarak 4 ayrı mevsimde karşılaştırılarak, model performansları test edilmiştir. Rüzgar hızları u ve v yönündeki rüzgarların bileşkesi alınarak hesaplanmış olup, rüzgarlar belli oranlarda sıkılaştırılarak görselleştirilmiştir.

Şekil 3.21 ile gösterilen haritada, BATS modelinin rüzgar verileriyle ERA-Interim rüzgar verileriyle karşılaştırılmıştır. BATS modelinin 10 metredeki rüzgarları hemen hemen tüm mevsimlerde ERA-Interim verisi ile kıyasladığımızda hemen hemen tüm bölgelerde rüzgar paternini yakalamıştır. Rüzgar hızlarındaki farklar kış aylarında Türkiyenin Karadeniz kıyılarında 1 m/s'yi bulmaktadır. Kış aylarında rüzgar şiddetlerinde özellikle yükseltinin olduğu bölgelerde pozitif anomaliler görülürken, yaz aylarında ise yurdun doğusunda 1-2 m/s'lere varan negatif anomaliler görülmektedir. Buna ek olarak, yaz aylarında ki rüzgar hızlarındaki değişim Türkiye üzerinde Ege kıyılarında 1 -1.25 m/s civarındadır.

CLM modelinin ERA-Interimle olan rüzgar farkları Şekil 3.22 ile verilen haritada görülmektedir. CLM modelide rüzgar paternlerini ERA-Interim ile kıyasladığımızda, BATS modeli gibi iyi ölçüde yakaladığını söylemek mümkündür. CLM modeli sonıuçlarına baktığımızda, BATS modeli sonuçlarına nazaran, özellikle Türkiye'de hemen hemen tüm mevsimlerde pozitif anomalilerin yani modelin rüzgar şiddetinin daha yüksek değerleri gösterdiğini ve bu farkların 2-3 m/s mertebelerinde değiştiğini söyleyebiliriz. Yaz aylarında rüzgar hızlarında ve yönlerinde farklılıklar görülmektedir. Özellikle bu farkların, Türkiye'nin Batı kıyıları ve Balkanlarda görülmektedir. Rüzgar hızlarında ise yaz aylarında 2 ve 3 m/s arasında farklar görülmektedir.



Şekil 3.21 : Era-Interim, BATS ve BATS-ERAINT modelleri rüzgar hız ve yönleri.



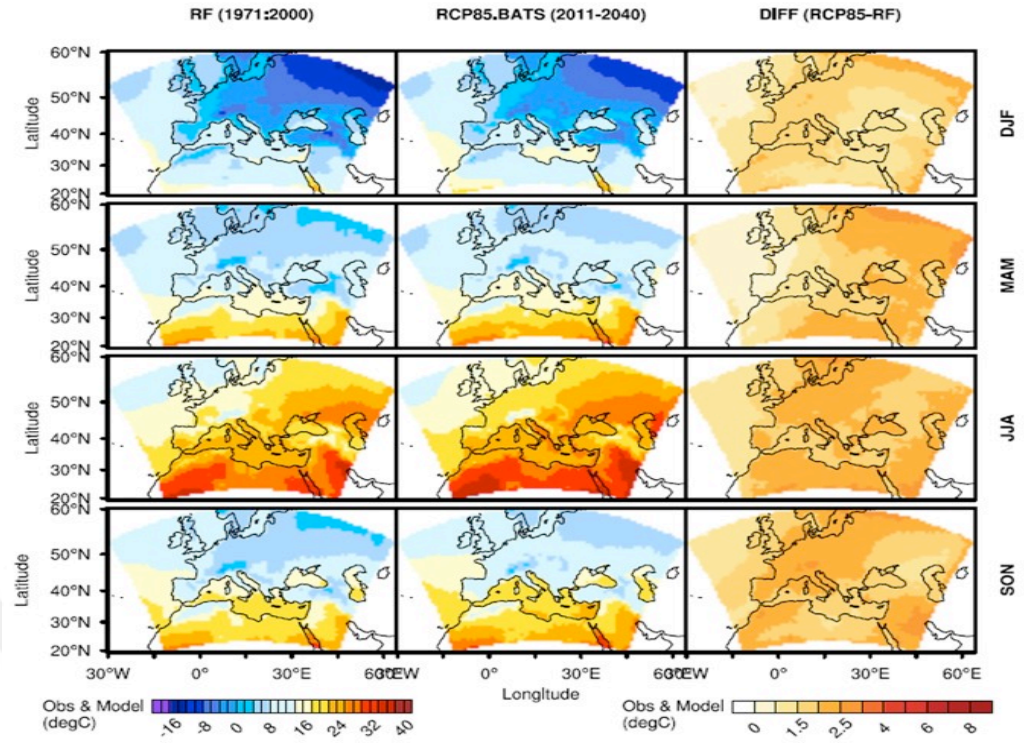
Şekil 3.22 : Era-Interim, CLM ve CLM-ERAINT modelleri rüzgar hız ve yönleri.

3.4 RCP8.5 Senaryoları Analizi

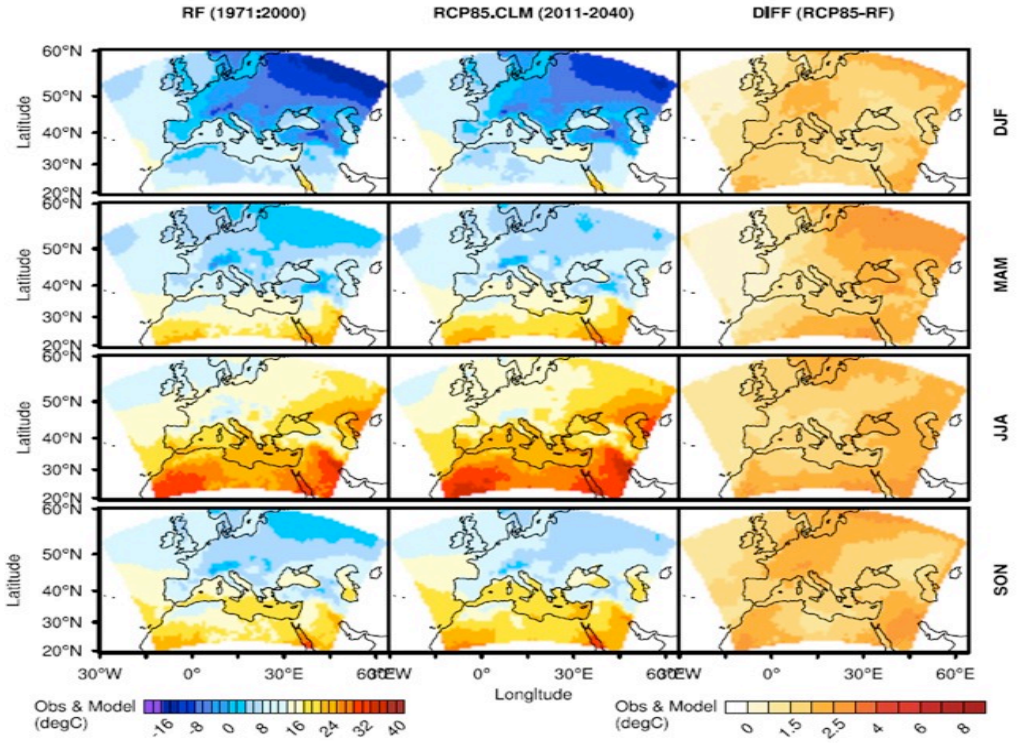
3.4.1 RCP8.5 sıcaklık analizi

HadGEM2 RCP8.5 çıktıları kullanılarak koşturulan RegCM4 modeli üç farklı 30 yıllık periyotlarda ayrı ayrı incelenmiştir. Bu periyotlardan ilki 2011:2040, ikincisi 2041:2070 ve sonuncusuda 2070:2100 yılları arasındadır. Yapılan 30 yıllık simülsyonlar BATS ve CLM için ayrı ayrı konfigü edilmiş ve kullanılmıştır. Bu periyotların BATS ve CLM sıcaklık çıktıları referans periyodundan (1971:2000) çıkarılarak senaryoların uzun yıllarda olası farklılıkları belirlenmiştir. RegCM4 modelinin çıktılarından "tas" değişkeni 2 metredeki hava sıcaklığıdır. BATS ve CLM çıktıları Kış, İlkbahar, Yaz, Sonbahar olarak 4 ayrı mevsimde referansdan olan farkları hesaplanarak bu bölümde görselleştirilmiştir. Bunların yanı sıra maksimum ve minimum sıcaklık çıktılarıda, referanslardan olan farklarına bakılarak görselleştirilmiştir.

Şekil 3.23 ile gösterilen referans simülasyonları, RCP8.5 senaryolarından ilk periyodunu ve RCP senaryosunun referansdan olan farkları görülmektedir. 2011:2040 periyotlarından 1971-2000 Referans simülasyonları çıkarıldıktan sonra görülen BATS sıcaklık anomalilerinde, kış ayları sıcaklıklarında Türkiye üzerinde 1 ile 1.5°C civarında sıcaklıklar artış gösterirken, bu bölgede ilkbahar aylarında bu artış 2.5-3°C bulmaktadır. Yaz aylarındaki artışın da 1-2°C arasında gerçekleşeceğini söylemek mümkündür. Balkanlar ve Avrupada ise yaz ve sonbahar aylarında sıcaklık artış 2.5 - 3°C' leri bulmaktadır. İlk periyotda gözlemlenen bu artışların Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde hissedileceği söylenebilir. RCP8.5 senaryolarından ilk periyodu ve RCP senaryosunun referansdan olan farklarının CLM model çıktıları Şekil 3.24 ile görülmektedir. CLM sonuçları BATS modeli sonuçlarıyla kıyaslandığında, özellikle ilkbahar ve yaz aylarındaki farklılıklar öne çıkmaktadır. Yaz aylarında CLM modeli BATS sonuçlarına göre daha fazla sıcaklık artışı simüle ederken, ilkbahar aylarında daha az olacağı söylenebilir. İlkbahar aylarında sıcaklık artışları Türkiye üzerinde BATS modeline göre biraz daha farklılık gösterirken bu artış 2.5 ve 3.5°C'leri bulmaktadır. Kafkaslar ve Rusyada ilkbahar mevsiminde 4°C'lere ulaşmaktadır. Kış aylarında Alpler ve Alplerin kuzeyi en çok artışın görüldüğü alanlardan biridir. Bu bölgelerde sıcaklık artışları 2.5-3°C civarındadır.

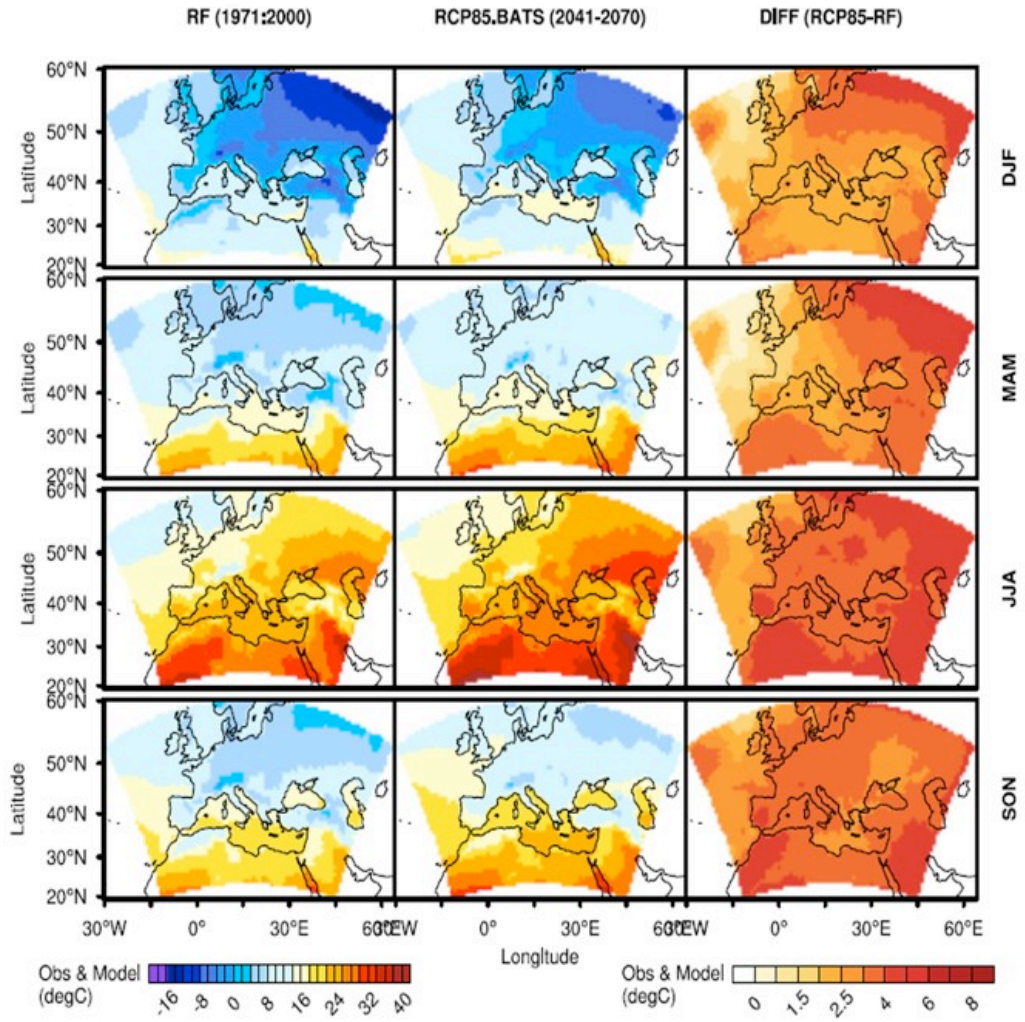


Şekil 3.23 : I. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.



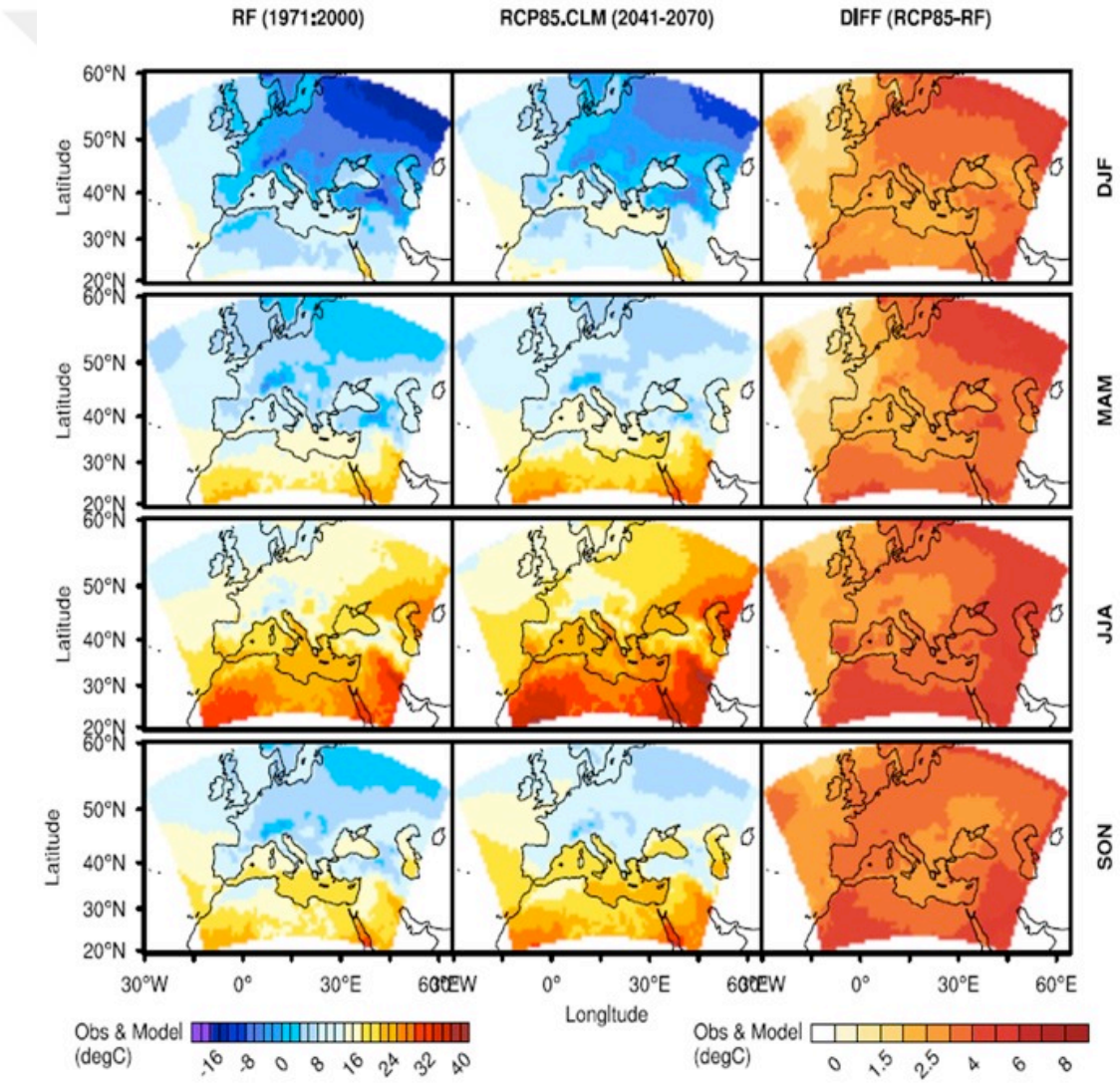
Şekil 3.24 : I. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.

Şekil 3.25 ile verilen haritada, RCP8.5 senaryolarından ikinci periyodu olan 2041-2070 yılları arasını ve bu dönemin 1971-2000 referanslardan olan sıcaklık farkları görselleştirilmiştir. BATS modelinin 2041:2070 yıllarından referansdan olan farklarının sonuçlarına baktığımızda, sıcaklıkların ciddi artış göstereceği yorumu yapılabilir. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında Türkiye üzerinde 4-5°C civarında artan sıcaklıklar görülürken, bu değerler yaz aylarında Doğu Anadolu ve Kafkaslar Bölgesinde 5°C civarındadır. Kış sıcaklıkları 2-3°C artış gösterirken, yaz aylarında sadece Türkiye üzerinde değil, bu sıcaklık farkları Avrupanın batısı ve İspanyada'da 5°C 'leri bulmaktadır. RCP8.5 senaryosuna göre 2041-2070 yılları arasında sıcaklık artışlarından en çok etkilenecek bölgeler arasında Türkiye'nin güneyi ve doğusunun yer alacağı söylenebilir.



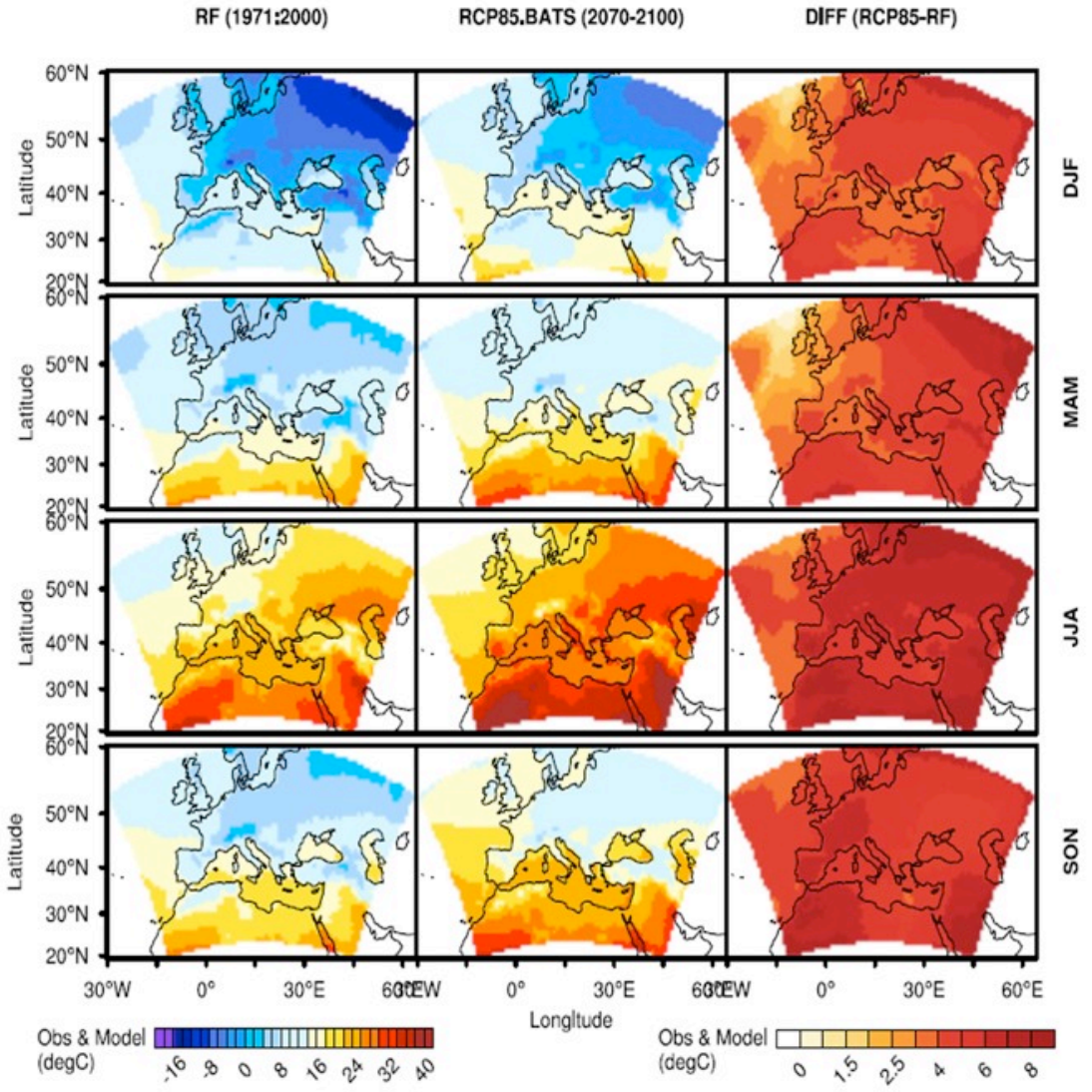
Şekil 3.25 : II. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.

RCP85 senaryosu ile koşturulan CLM modeli ikinci periyot 2041-2070 sıcaklık çıktıları Şekil 3.26 ile verilen haritada karşılaştırılmıştır. CLM modeli kış aylarında Karpatlar ve Türkiyenin doğusunda 4-5°C civarında artış gösterirken, bu artış ilkbahar aylarında özellikle Türkiye'nin birçok bölgesinde görülmektedir. CLM modeli sonuçlarının BATS modeli sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği fakat kış aylarında CLM sıcaklık sonuçlarının daha fazla olacağı yorumu yapılabilir. Modelin yaz sıcaklıklarında ise Doğu Anadolu Bölgesindeki 5°C'lik artış, Alpler ve İspanya üzerinde de görülmektedir. İlkbahar mevsiminde Kafkaslar ve Rusyada sıcaklık artışları 5°C'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Sonbahar aylarında ise sıcaklık artışlarının en fazla görüleceği bölgeler model alanının güneyinde görülmektedir.



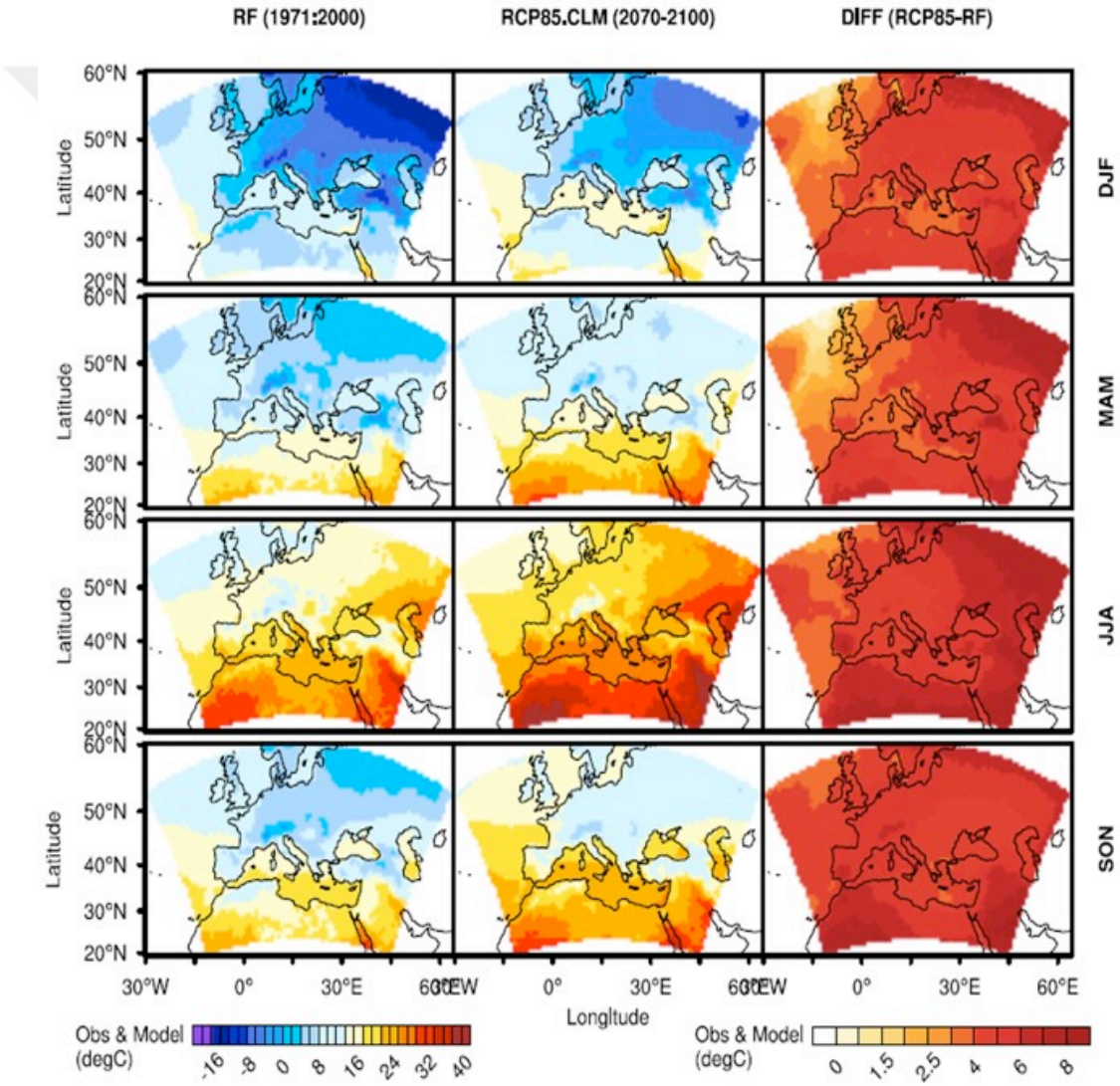
Şekil 3.26 : II. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.

RCP senaryolarından sonuncu periyot (2070:2100) BATS çıktılarının referans simülasyonlardan olan farkları Şekil 3.27 ile görülmektedir. Diğer periyotlara nazaran bu zaman aralığındaki sıcaklık artışlarının son derece yüksek olması önemlidir. Tüm mevsimlerde sıcaklık artışlarının 4°C'nin üzerinde olduğu net bir şekilde görülmektedir. Özellikle yaz aylarında ise Türkiye ve Avrupanın büyük çoğunluğundaki sicaklık artışı 7 ve 8°C'leri bulmaktadır. İlkbahar aylarında Orta Avrupadaki sıcaklık artışı bu periyotlarda 3-5°C arasındayken, yaz aylarında bu artış 6-8°C'leri bulmaktadır. Sonbaharda ise İtalyanın kuzeyi ve İspanyaya doğru Avrupaya nazaran daha yüksek sıcaklıklarda ısınma olduğu görülmektedir.



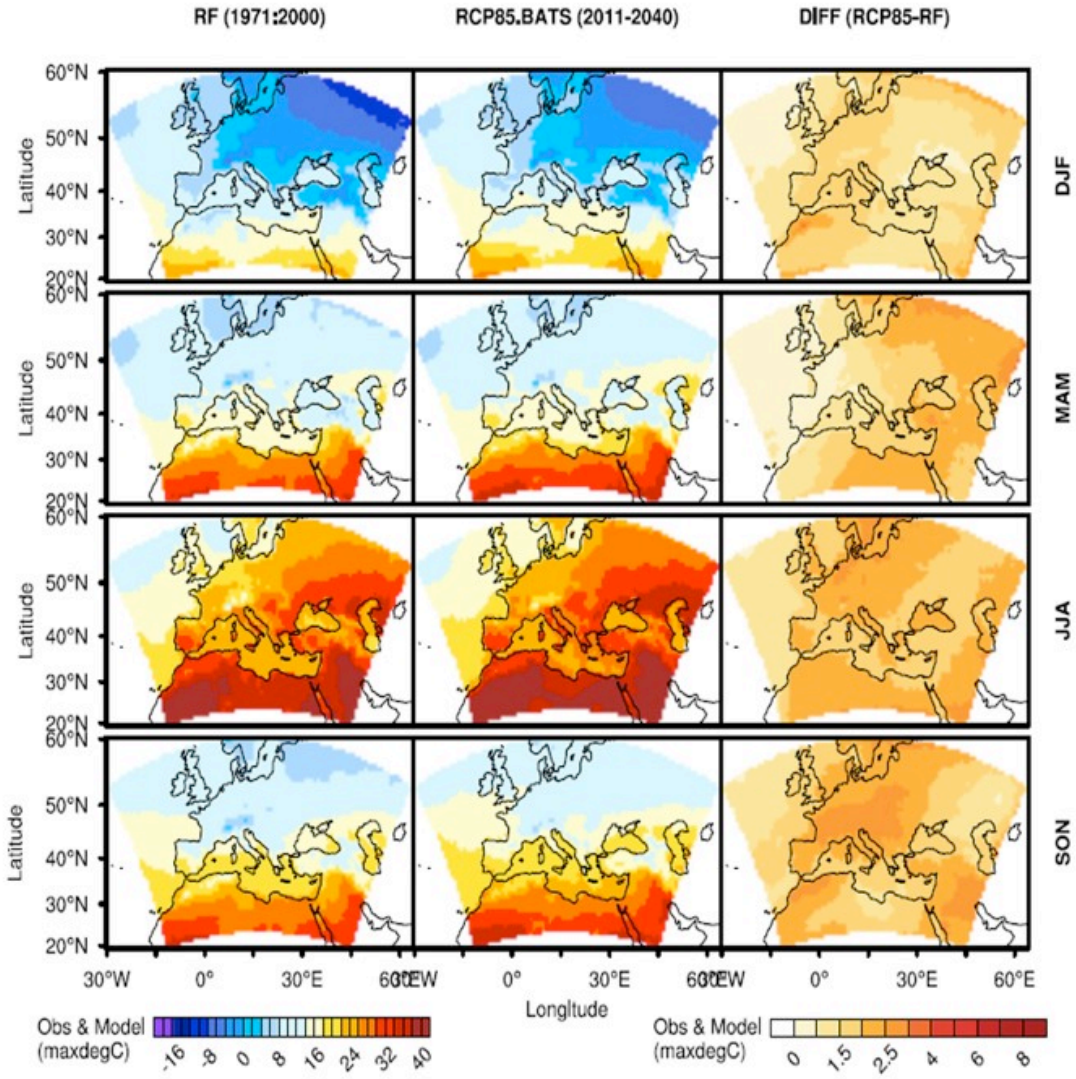
Şekil 3.27 : II. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.

Şekil 3.28 ise son periyottaki 2070-2100 CLM sıcaklık çıktılarının referansdan olan farklarını göstermektedir. Burada görülen en net artışın yaz aylarında görüleceği söylenebilir. Yaz aylarında özellikle, artışların Türkiye'nin doğusu, Kafkaslar, İspanya da görüldüğü ve 6-8°C leri bulduğu, aynı bölgelerde kışın ve ilkbahar aylarında da 5-7°C' leri bulacağı yorumunu yapmak mümkündür. RCP8.5 Kış sıcaklıklarında sonuçların, diğer aylarla benzer olduğu ve sıcaklıkların gitgide artarak 5-6°C'leri bulacağı söylenebilir. İlkbahar aylarında Orta Avrupada görülen 2 ila 4°C arasında artan sıcaklıkların diğer mevsimlerde daha yüksek değerler aldığı da görülmektedir.



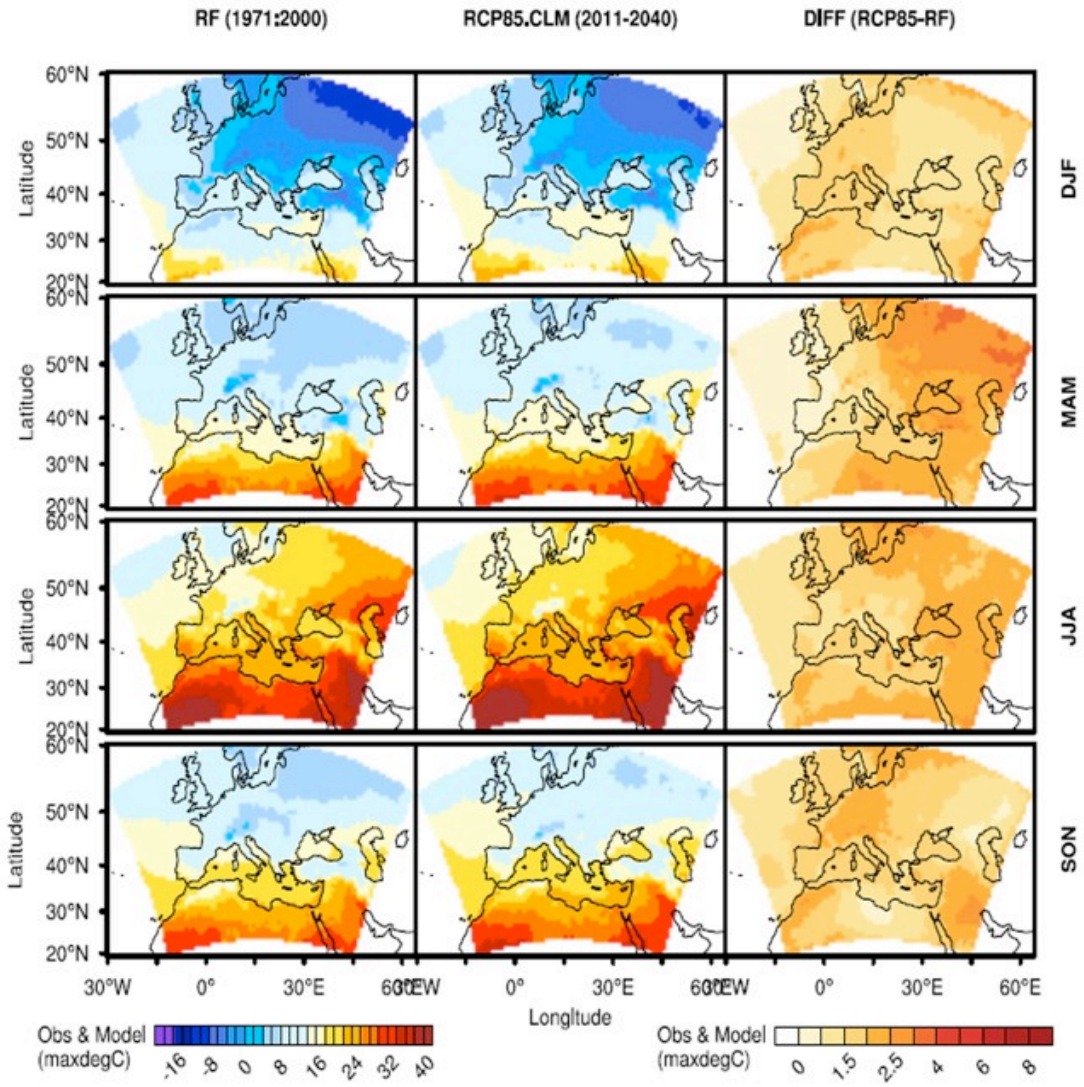
Şekil 3.28 : III. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre sıcaklık değerleri.

Şekil 3.29 ile gösterilen haritada, 2011-2040 yılları arası referans ve BATS model çıktılarının maksimum sıcaklık değişkenleri ve bunların farkları karşılaştırılmıştır. İlk periyot da yapılan bu karşılaştırma, BATS modelinin 1971-2000 yıllarını içeren referans simülasyonlarından olan farklarına bakılarak incelenmiştir. Bu şekilde, maksimum sıcaklıklarda Türkiye üzerinde en çok ilkbahar mevsiminde 2.5-3°C civarında artış görülmüştür. Yazın ve sonbahar aylarında ise İtalya, Alpler ve Orta Avrupada sıcaklık artışları 3°C'leri bulmaktadır. Yaz sıcaklıkların ve kış ayları sıcaklık artışlarının benzerlik gösterdiği ve Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde 1.5 ile 2°C arasında değişeceği yorumunu yapmak mümkündür.



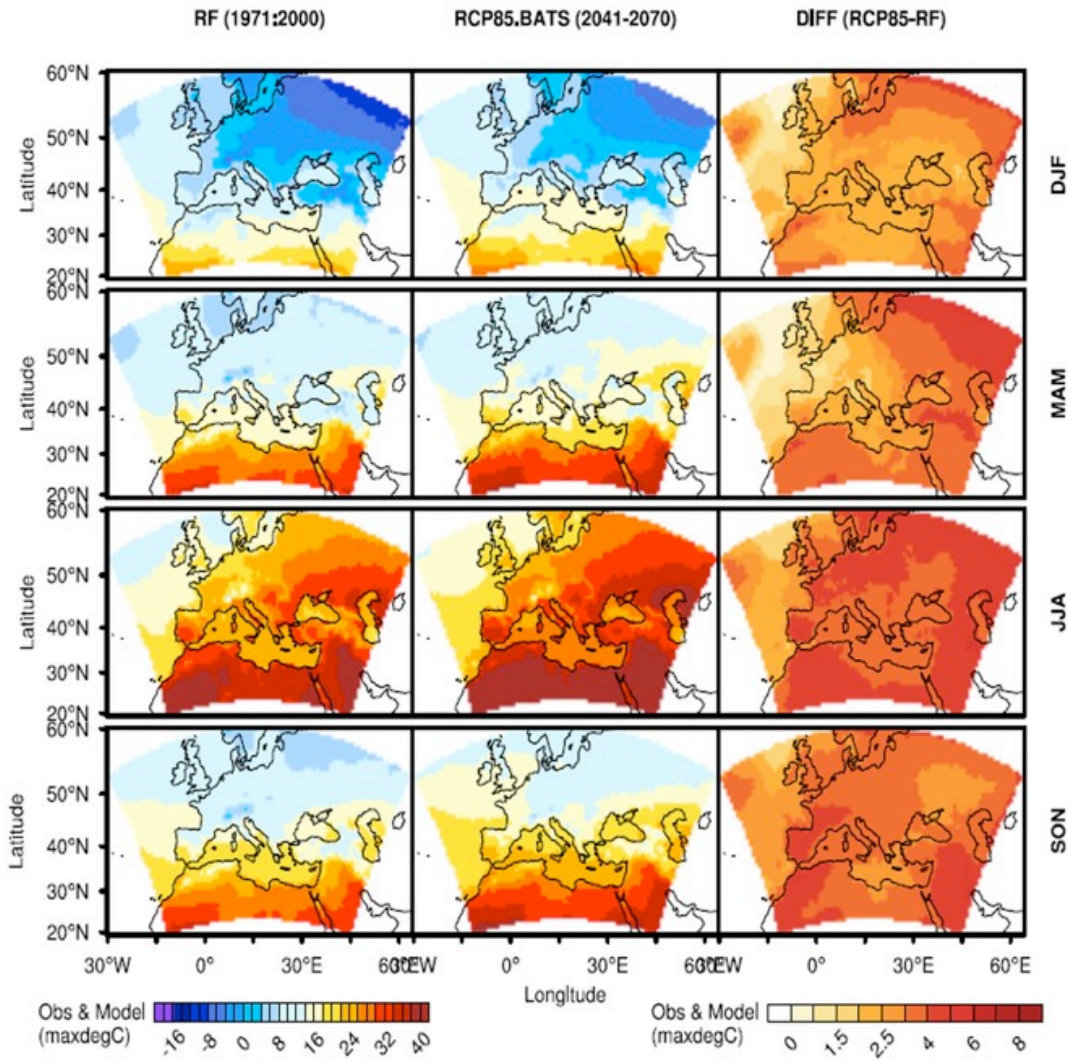
Şekil 3.29 : I. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.

Şekil 3.30 ile verilen haritada, CLM 2011-2040 yılları arası ilk periyot maksimum sıcaklık değerleri 1971-2000 yılları arasını kapsayan referans simülasyonundan farkları alınarak karşılaştırılmıştır. Bu farkların, İlkbahar ve Yaz aylarında daha çok artış gösterdiği görülmektedir. İlkbahar aylarında Türkiye üzerinde artışlar 2.5-4°C civarındayken, Alpler ve Orta Avrupada daha az bir sıcaklık artışları görülmektedir. Yazın ise Kafkaslar ve Doğu Anadolu Bölgesi üzerinde sıcaklık artışları 3°C'leri bulmaktadır. Kış ve sonbahar aylarındaki artışın paralellik gösterdiği görülürken, bu artışın en fazla 1-3°C arasında olacağı beklenmektedir. CLM sonuçlarının da BATS sonuçlarına benzerlik gösterdiği fakat Türkiye için sıcaklık artışlarının özellikle ilkbahar aylarında CLM için daha fazla olduğu görülmektedir.



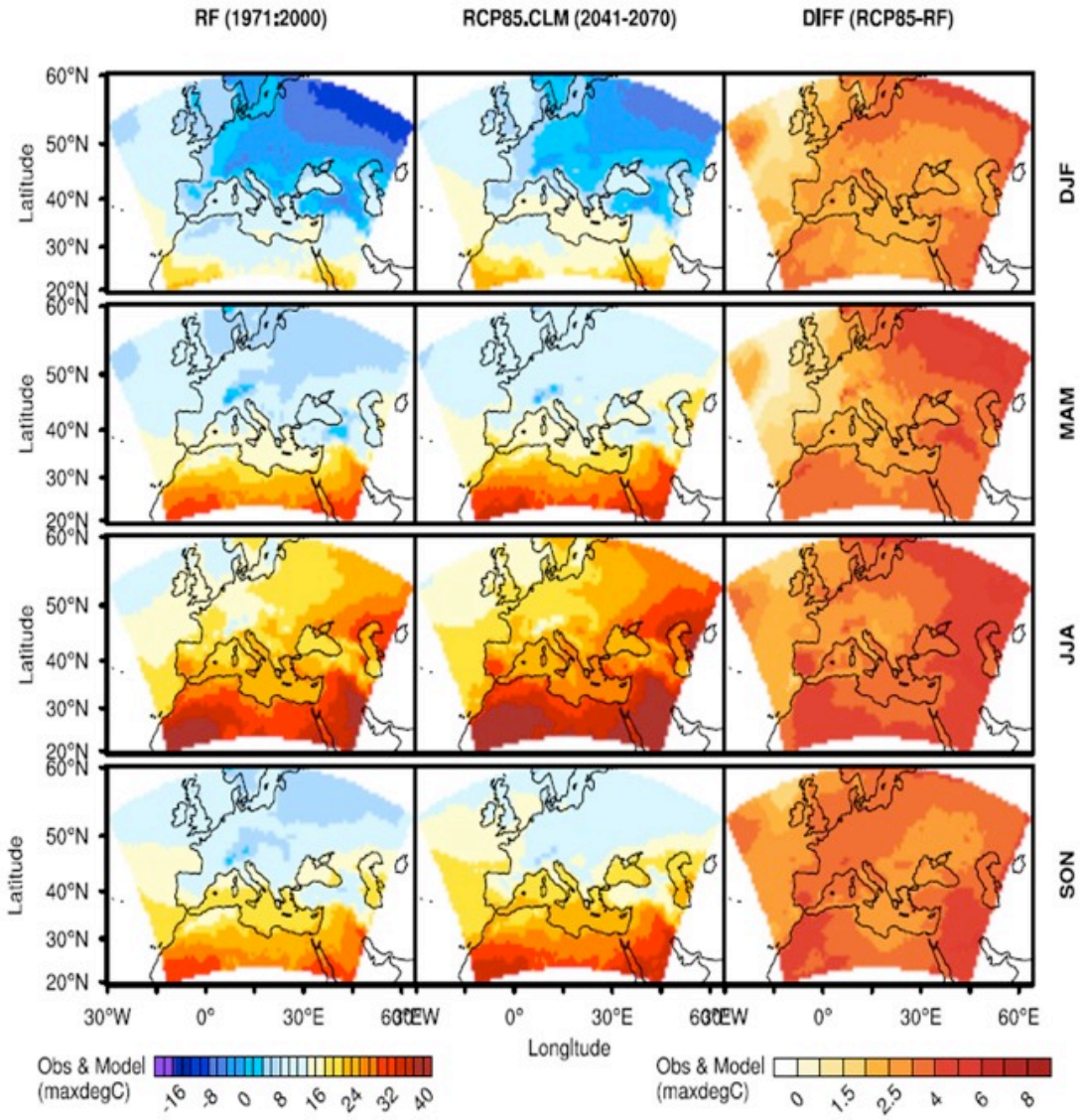
Şekil 3.30 : I. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.

BATS modelinin maksimum sıcaklık değerleri ikinci periyot olan 2041-2070 yılları arasında referansdan olan farkları Şekil 3.31 ile gösterilmiştir. Bu periyotda maksimum değerlerin özellikle ilkbahar ve yaz aylarında model alanının hemen hemen her bölgesinde arttığı görülmektedir. Türkiye, Karpatlar ve Orta Avrupa üzerinde kış aylarında sıcaklık farklarının 3-4°C arasında değiştiği, aynı bölgelerde sıcaklık farklarının yaz aylarında 4-6°C arasında değiştiği görülmektedir. İlkbahar ve sonbahar aylarındaki sıcaklık artışları yaz aylarındaki artışlara benzemektedir. Bu mevsimlerde maksimum sıcaklıkların kış aylarına göre 1-2°C daha fazla artış göstereceği ve böylece ortalama sıcaklıklara yansıyacağı söylenebilir. Bu sıcaklık artışlarından en çok etkilenen bölgelerin yurdun güneyinde olacağı yorumu yapılabilir.



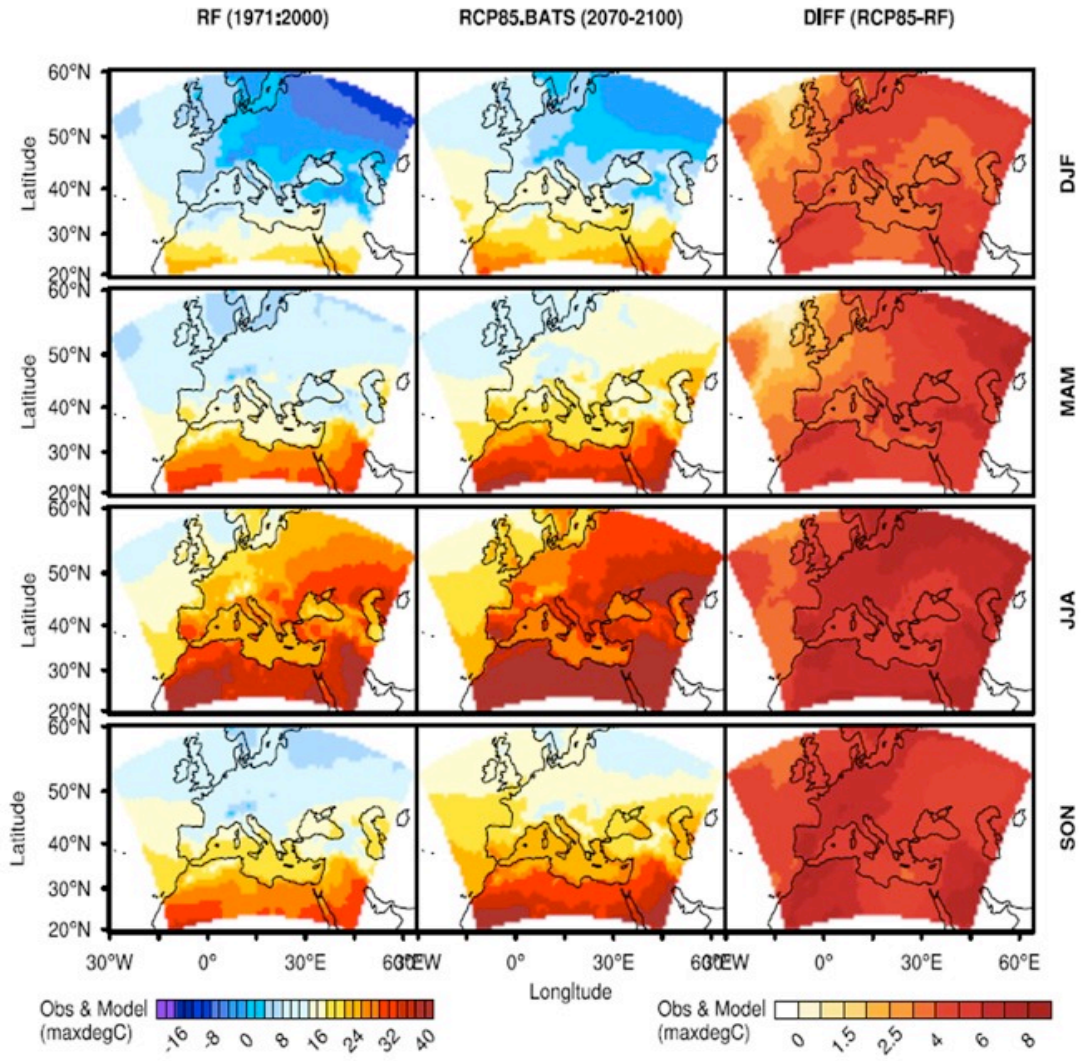
Şekil 3.31 : II. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.

Maksimum sıcaklıkların CLM ile RF ile ikinci periyot olan 2041-2070 yılları arası karşılaştırılması ise Şekil 3.32 ile gösterilmektedir. Maksimum sıcaklıkların ilk periyotta olduğu gibi ikinci periyotda da yaz ve ilkbahar aylarında artış gösterdiği görülmektedir. İlkbaharda Doğu Anadolu Bölgesi ve Doğu Karadeniz Bölgesi üzerinde sıcaklık farkları 4-6°C arasındadır. Yazın ise bu farklılıklar, şiddetini giderek arttırmakta ve Türkiyenin iç kesimlerinde de görülmeye başlanmıştır. Kış aylarında ise Avrupa ve Türkiye üzerinde sıcaklık farkları 2.5-4°C arasındadır. Yaz ve sonbahar aylarında İspanya ve Portekiz'de de sıcaklıkların diğer ülkerelere nazaran daha fazla olacağı beklenmektedir. Kıyı kesimlerde ise sıcaklıklar tüm mevsimlerde artış göstermektedir.



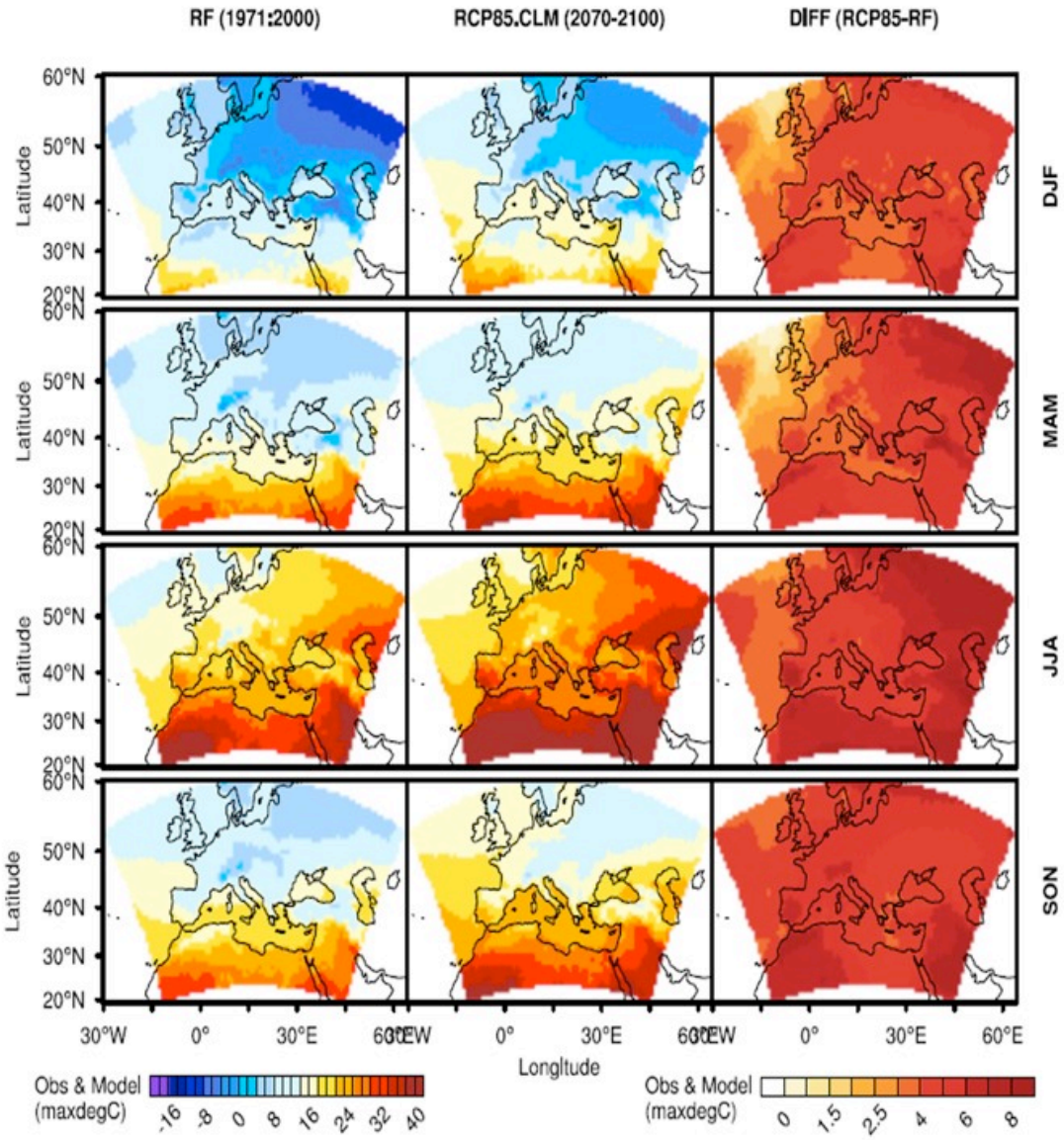
Şekil 3.32 : II. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.

Şekil 3.33 ile verilen haritada, BATS modeli maksimum sıcaklık verileri 2070-2100 yılları arası olan üçüncü periyot simülasyonları, referans simülasyonları ve bunların farkları gösterilmiştir. Bu farklılıklar özellikle yazın, ilkbahar ve sonbahar aylarında oldukça ciddi gözükmektedir. Yazın ve sonbahar aylarında hemen hemen her bölgede sıcaklık farklarının 6-8°C arasında olduğu, kışın ise, bu farklılıkların Türkiye üzerinde 6°C 'leri bulurken Orta Avrupa ve Karpatlar bölgesinde 4-6°C arasındadır. Yurdun doğusunda ve güneyinde sıcaklık artışlarının ciddi ölçüde artması beklenirken, bu artışlar Avrupa içinde oldukça ciddi rakamlara ulaşmaktadır. RCP8.5 maksimum sıcaklık BATS sonuçlarının, üç periyotda da giderek arttığı ve özellikle son periyotda sıcaklıkların önemli artışlar göstereceği yorumunu yapmak mümkündür.



Şekil 3.33 : III. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.

CLM modeli maksimum sıcaklık verileri üçüncü periyot simülasyonları, referans simulasyonları ve bunların farkları Şekil 3.34 ile gösterilmiştir. Bu farkların BATS modeli sonuçlarında da olduğu gibi yazın ve sonbahar aylarında hemen hemen model alanının her bölgesinde sıcaklık farkları 6-8°C'leri bulmaktadır. İlkbahar aylarında Güneydoğu ve Doğu Anadolu bölgelerinde sıcaklık artışları 8°C'leri bulmaktadır. Bu mevsimde aynı zamanda İtalyanın kuzeyi ve Orta Avrupada sıcaklık artışları 3 ile 4°C arasındadır.



Şekil 3.34 : III. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre maksimum sıcaklık değerleri.

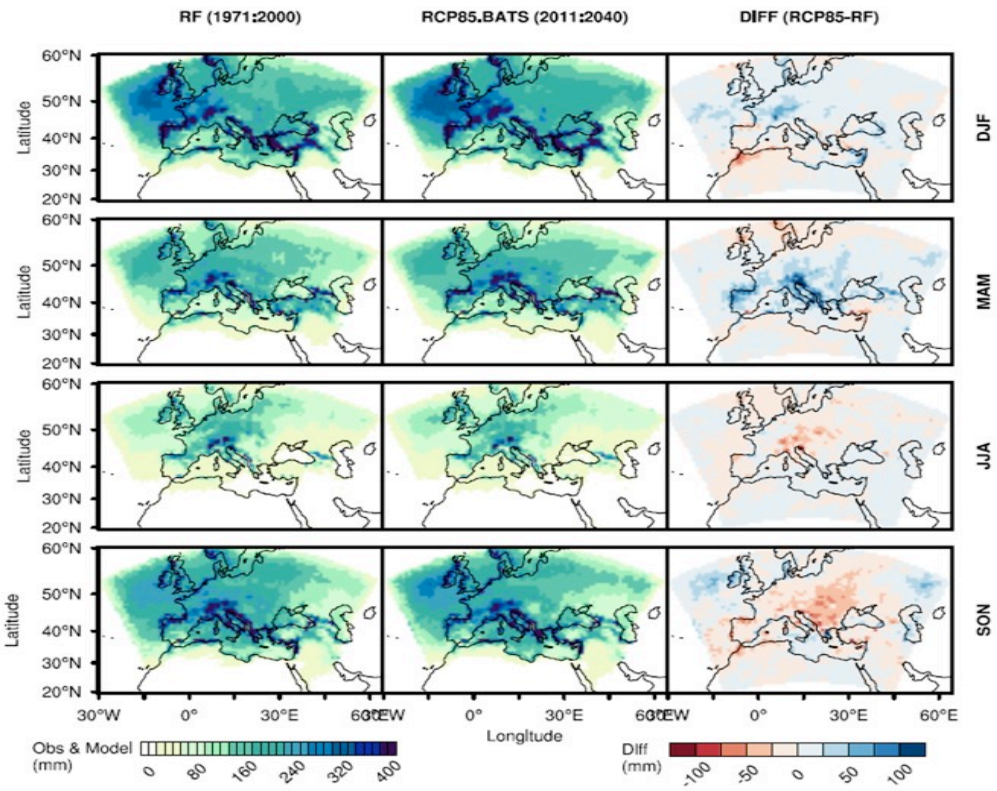
3.4.2 RCP8.5 Yağış analizi

HadGEM2 RCP8.5 çıktıları kullanılarak koşturulan RegCM4 modeli üç farklı 30 yıllık periyotlarda ayrı ayrı incelenmiştir. Bu periyotlardan ilki 2011:2040, ikincisi 2041:2070 ve sonuncusuda 2070:2100 yılları arasındadır. Yapılan 30 yıllık simülsyonlar BATS ve CLM için ayrı ayrı konfigü edilmiş ve kullanılmıştır. Bu periyotların BATS ve CLM yağış ve kar çıktıları referans periyodundan (1971:2000) çıkarılarak senaryoların uzun yıllarda olası farklılıkları belirlenmiştir.

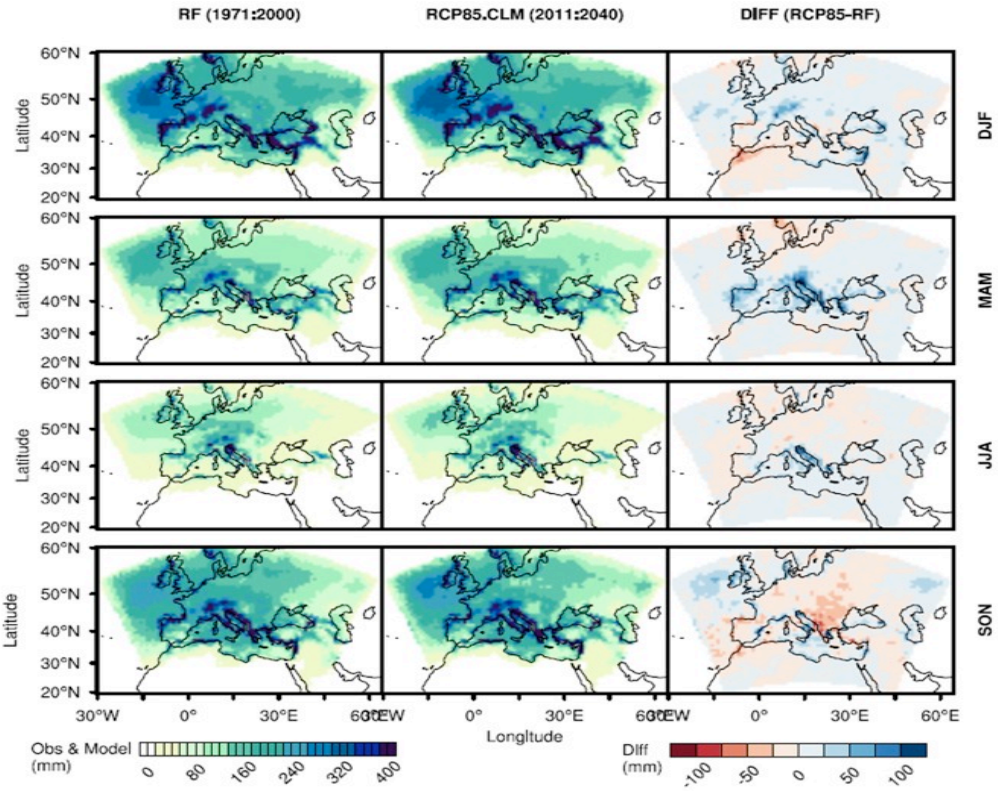
RegCM4 modelinin çıktılarından "pr" değişkeni toplam yağışdır. BATS ve CLM çıktıları Kış, İlkbahar, Yaz, Sonbahar olarak 4 ayrı mevsimde referansdan olan farkları hesaplanarak bu bölümde görselleştirilmiştir. Bunların yanı sıra "snv" kar kalınlığı sıvı su eş değeri verileri de, referanslardan olan farklarına bakılarak görselleştirilmiştir.

Şekil 3.35 ile gösterilen haritalarda, RCP8.5 senaryolarının BATS modeli kullanılarak oluşturulan yağış verilerinin referans simülasyonundan olan farkları gösterilmiştir. Bu farklar 2011:2040 periyodundan 1971:2000 Referans periyodu çıkarılarak elde edilmiştir. Görüntülenen ilk periyotta İlkbahar aylarında Adriyatik ,Alpler bölgesinde ve Balkan bölgelerinde yağışlarda 100 mm'lere varan artışlar gözlenirken, yine bu mevsimde Akdeniz üzerinde daha çok kıyı kesimlerinde 50 ile 100 mm civarında yağışlarda azalma görülmektedir. İlkbahar aylarının aksine yaz aylarında ise Adriyatik ve Alpler Bölgesinde yağışlarda 75 mm'lere varan azalmalar görülmektedir.

Şekil 3.36 ise CLM modelinin çıktıları 2011-2040 olan ilk periyotta referans simülasyonlarından farkları alınarak incelenmiştir. Bu periyotlarda göze çarpan artışların, ilkbahar aylarında BATS modelinde olduğu gibi İtalya'nın doğusu, Adriyatik ve Doğu Alpler Bölgesinde 100 mm'leri bulmuştur. Özellikle bu mevsimde, Türkiye'nin batısının kıyı şeridinde artışların olması beklenmektedir. Yağışlarda azalış ise sonbahar aylarında Balkanlar ve Karpatlar Bölgesiyle, Orta Akdeniz kıyılarında -75 -100 mm'lere varan değerler görülmektedir. Fakat bu mevsimdeki azalışlar BATS modeline göre daha az miktardadır ve 50-75 mm'leri bulmaktadır. Kış aylarındaki durumun BATS isonuçları ile benzer olduğu görülmektedir. Kış aylarında ise Türkiye'nin doğusunda 100 mm'lere varan artışların olması beklenirken, batısında ise buna benzer daha az oranlarda azalmaların yaşanacağı beklenmektedir.

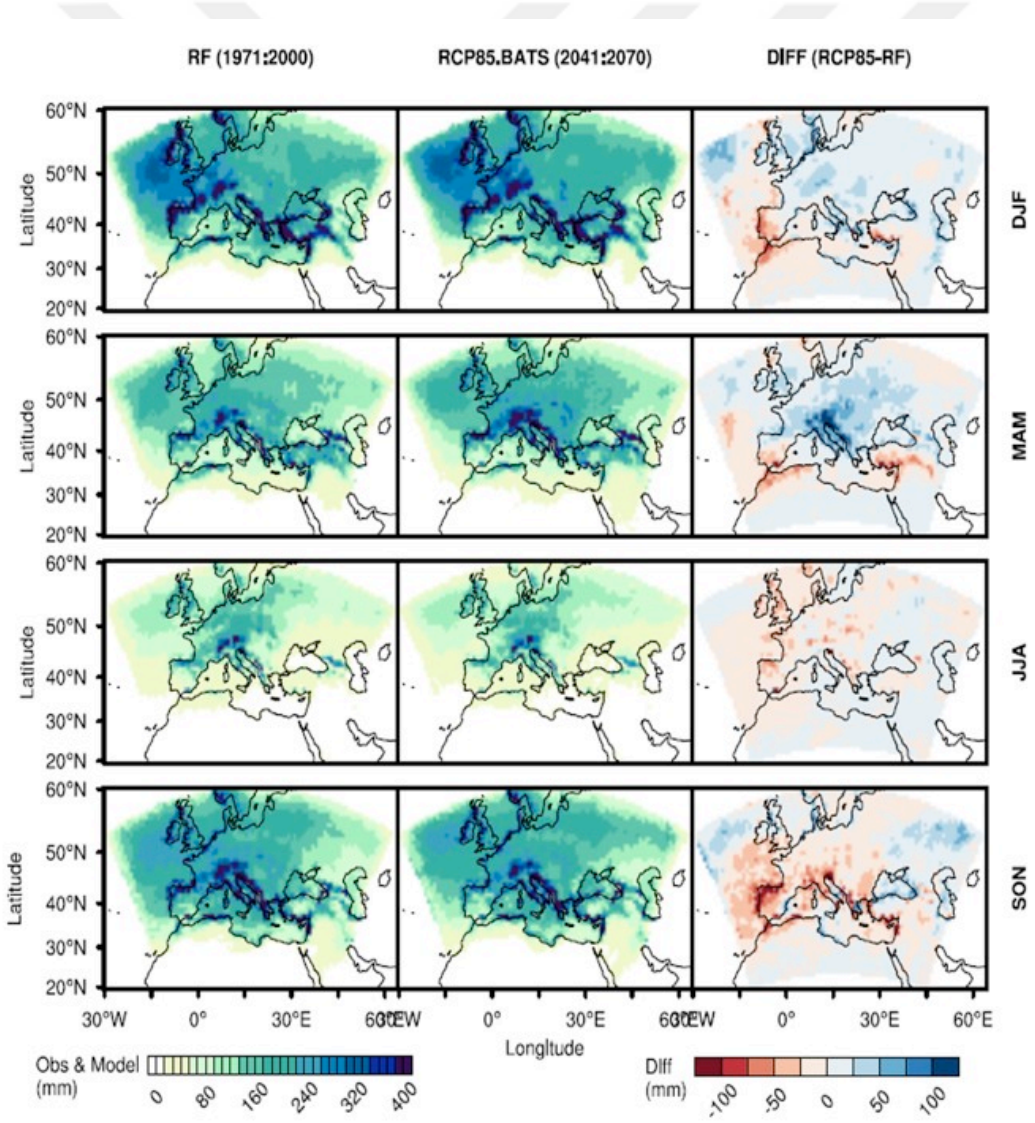


Şekil 3.35 : I. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri.



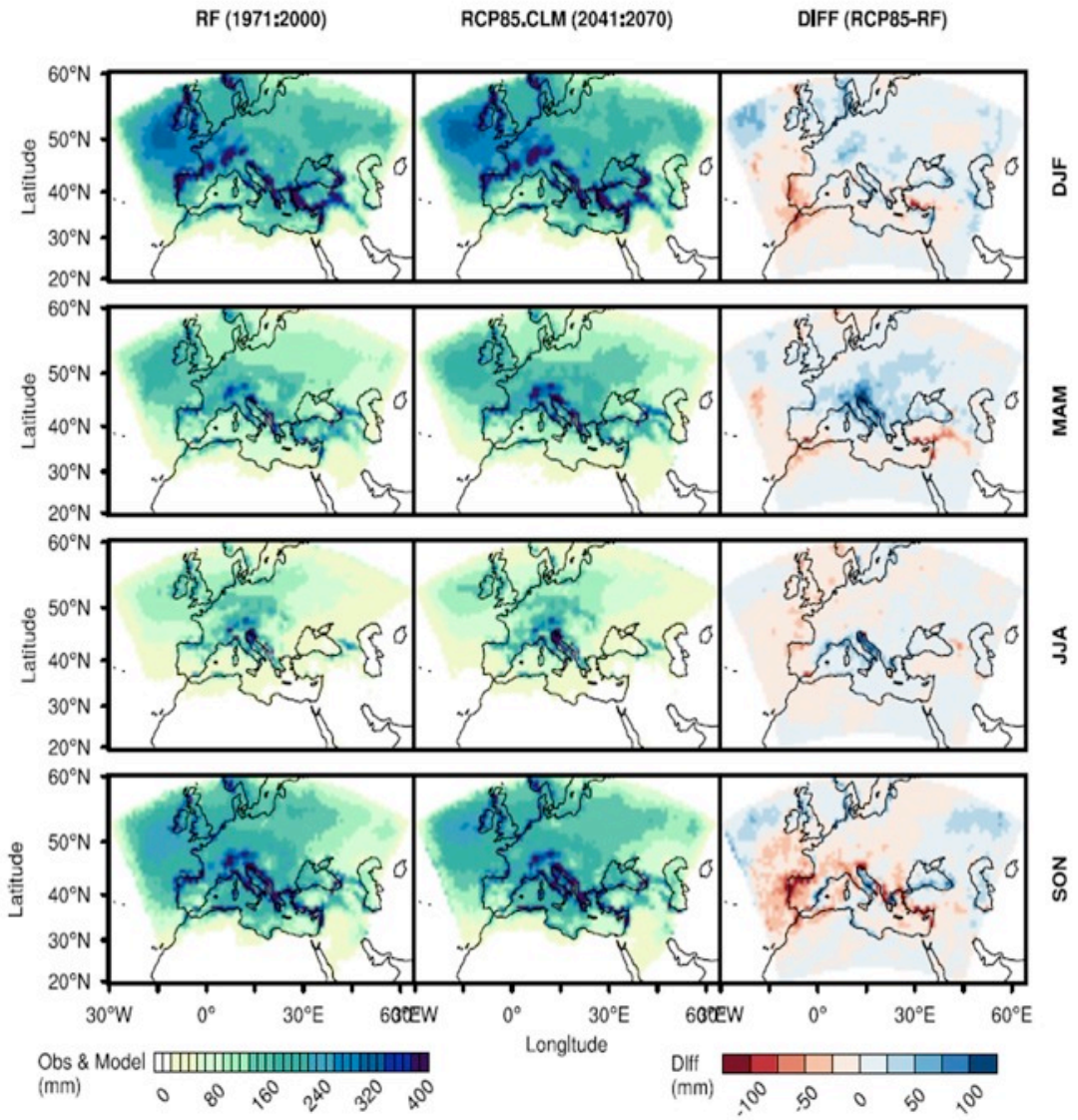
Şekil 3.36 : I. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri.

2041:2070 yılları arası olan ikinci periyotlardaki BATS yağış verileri karşılaştırmalarıda Şekil 3.37 ile gösterilmektedir. Burda mevsimsel olarak referans simülasyonundan olan farklar alınarak yağış verileri için kıyaslama yapılmıştır. İlk olarak bu 30 yıllık periyotta en göze çarpan yağış artışının ilkbahar aylarında Alpler ve İtalyada 100 mm'leri aşacağı beklenirken, Türkiye Akdeniz kıyıları, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde de 100 mm'lere varan ve aşan azalışların yaşanacağı söylenebilir. Özellikle sonbahar aylarında İspanya, Portekiz kıyıları ve Avrupa'nın büyük çoğunluğunda 100 mm'leri aşan yağış miktarlarında ciddi azalışlar görülürken, aynı azalış bu mevsimde Türkiyenin batı kıyılarında ve Balkanlarda 100 mm'lere doğru olduğu tespit edilmiştir. Hemen hemen tüm mevsimlerde Karadeniz Bölgesi sahil şeridinde ise artışların yaşanacaği belirtilebilir.



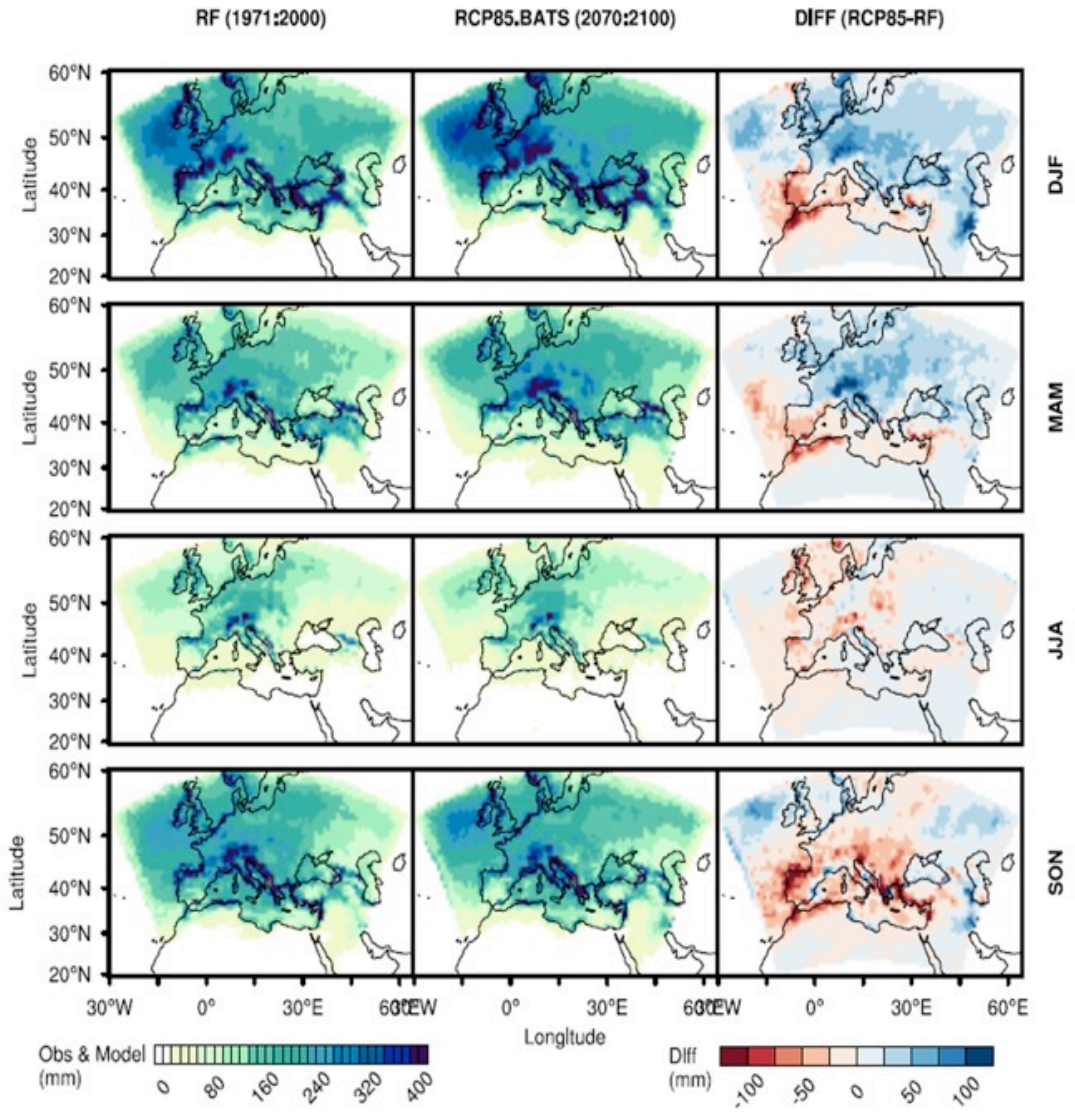
Şekil 3.37 : II. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri.

Şekil 3.38 ile verilen resimlerde ise, CLM yağış çıktılarının ikinci 30 yıllık periyotlarda, referanslardan olan farkları gösterilmektedir. Bu farkların ilkbahar aylarında özellikle Adriyatik ve İtalyanın kuzeyi, Avrupa'nın büyük çoğunluğu ve Alpler Bölgesinde 100 mm'lere varan azalışların olduğu saptanırken, aynı mevsimde Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu Bölgesi ise aynı oranda yağış miktarında yağış azalmaları ile karşı karşıya kalacağını söylemek mümkündür.Yaz aylarında göze çarpan artış Adriyatik Denizi üzerinde olup bu artış sonbahadar aylarında da görülmektedir. Ayrıca bu mevsimde İspanya ve Portekiz kıyılarında 100 mm'leri aşan yağış azalışları göze çarparken, aynı sorunla İtalyanın kuzeyi, ve Türkiye'nin Ege ve Akdeniz kıyılarıda karşı karşıyadır.



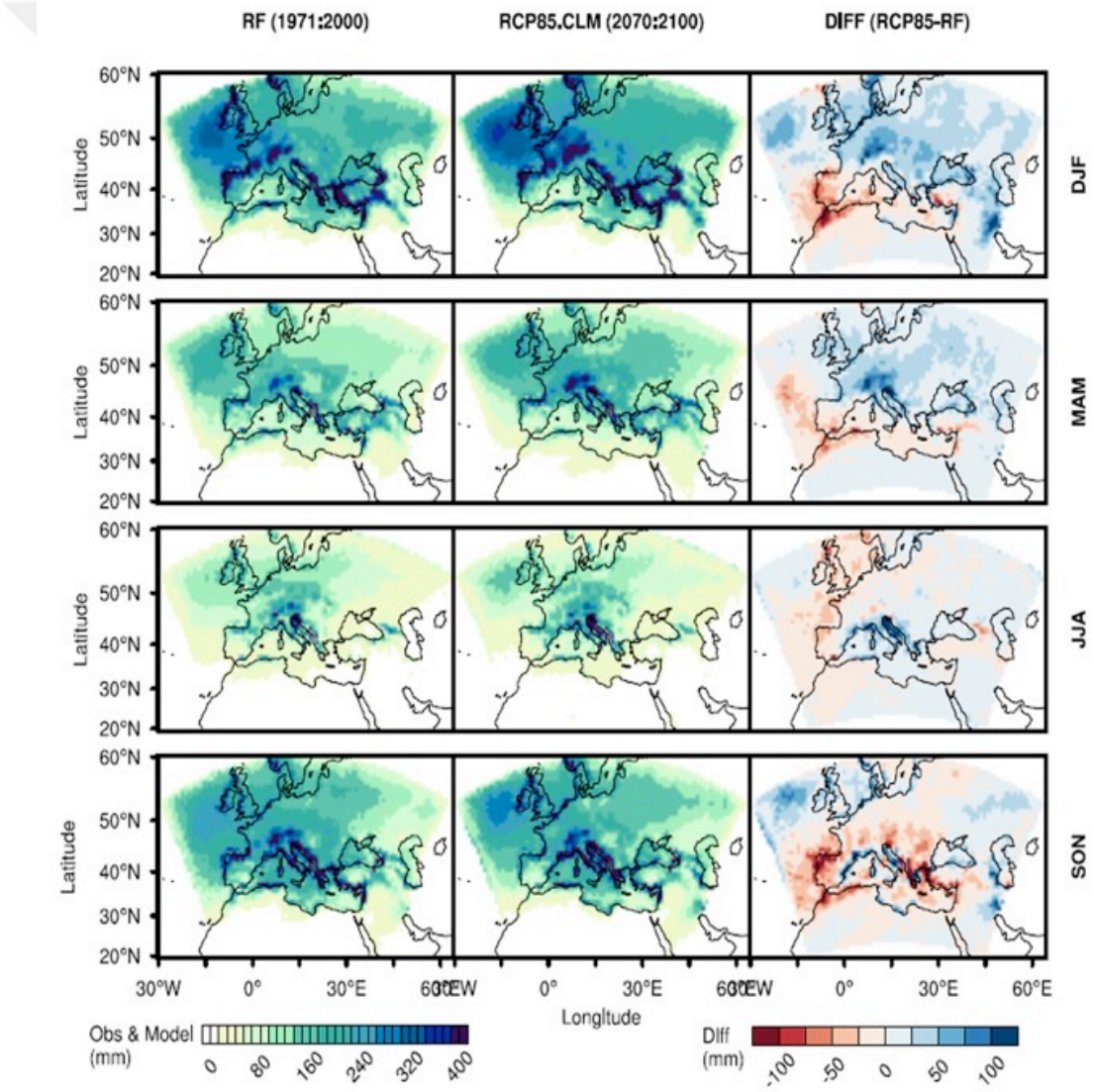
Şekil 3.38 : II. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri.

Şekil 3.39 ise RCP senaryolarının son 30 yıllık 2070-2100 periyotlarından BATS çıktılarının yağış verileri çıkarılarak karşılaştırılmıştır. Bu periyotlarda en keskin sonuçlar, sonbahar aylarında görülmektedir. Bu aylarda Türkiyenin Batı kesimleri, İtalyanın kuzeyi, İspanya ve Portekiz kıyılarında yağış miktarlarında 100 mm'den daha yüksek değerlerde azalışlar görülmektedir. Bu yağış azalışları Orta Avrupa'da ise 25 mm ile 75 mm arasında değişmektedir. Kış aylarında yağış miktarlarına bakılacak olunursa, İspanya, Portekiz ve Avrupanın hemen hemen hepsinde de tüm mevsimlerde 100 mm'leri aşan yağışlar göze çarparken, bu mevsimde Fransa, Alpler, İtalya ve Balkan Bölgeierinde de 50 ila 100 mm arasında yağış artışları görülmektedir.



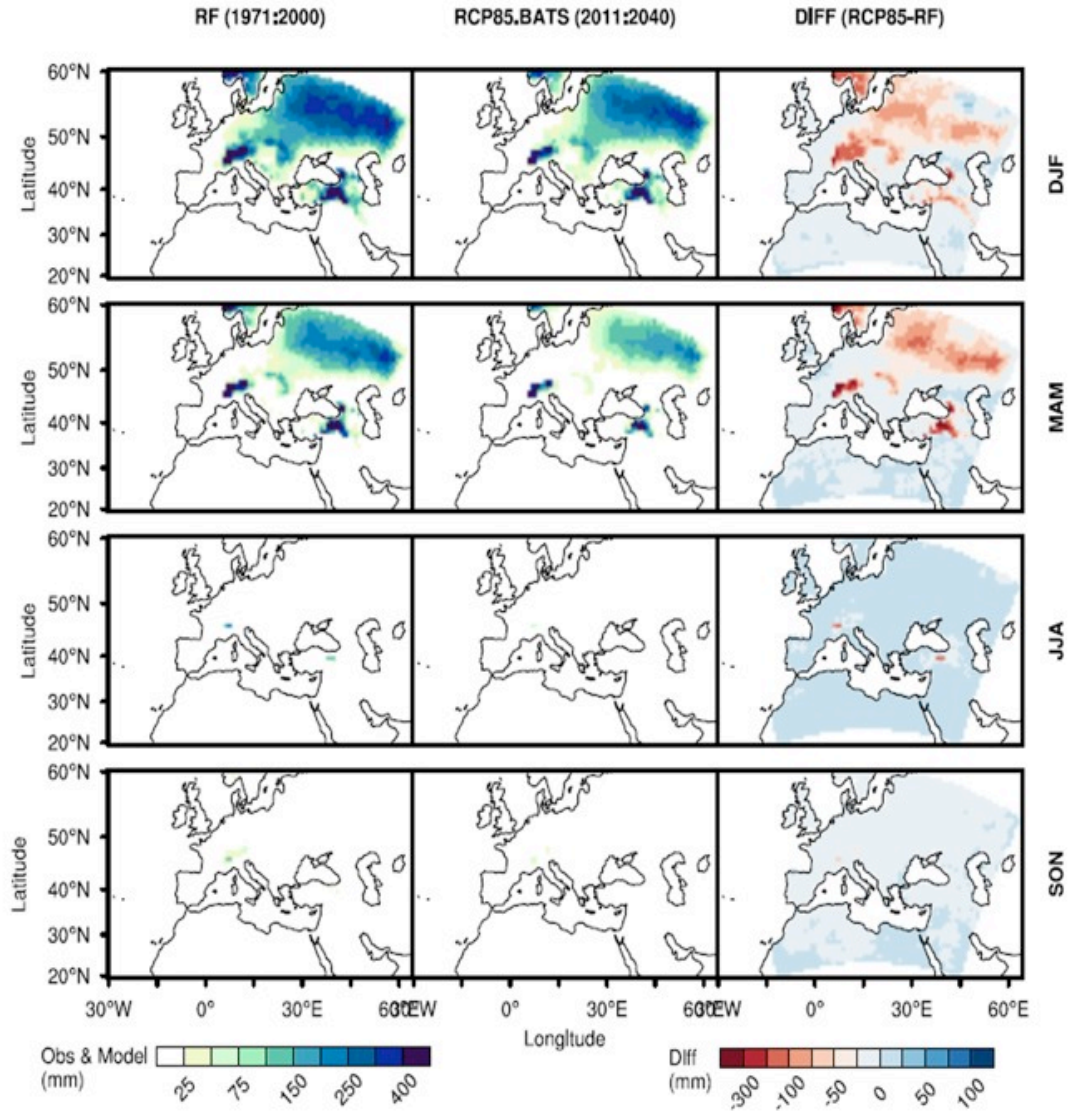
Şekil 3.39 : III. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri.

Son 30 yıllık periyotlardan CLM yağış verileri referans simülasyonlarından olan farkları Şekil 3.40 ile karşılaştırılmıştır. Bu periyotlarda CLM model çıktılarıda daha önceki BATS modeline benzer sonuçlar göstermektedir. Özellikle sonbahar aylarındaki Balkanlar, Karpatlar ve Türkinin Batı kesimlerindeki 100 mm'leri bulan yağış miktarındaki azalışlar CLM modelinde de görülmektedir. Portekiz ve İspanya kıyıları her mevsimde azalan yağış portresi çizerken, kış ve sonbahar aylarında bu azalışlar 100 mm'leri bulmaktadır. Yazın ve ilkbahar aylarında Adriyatik denizinde ise 100 mm 'lere varan yağış artışları görülürken, ilkbahar aylarında CLM çıktıları Kuzey İtalya, Alpler Bölgesinde oldukça yüksek 100 mm'lere varan artışlar göstermektedir.



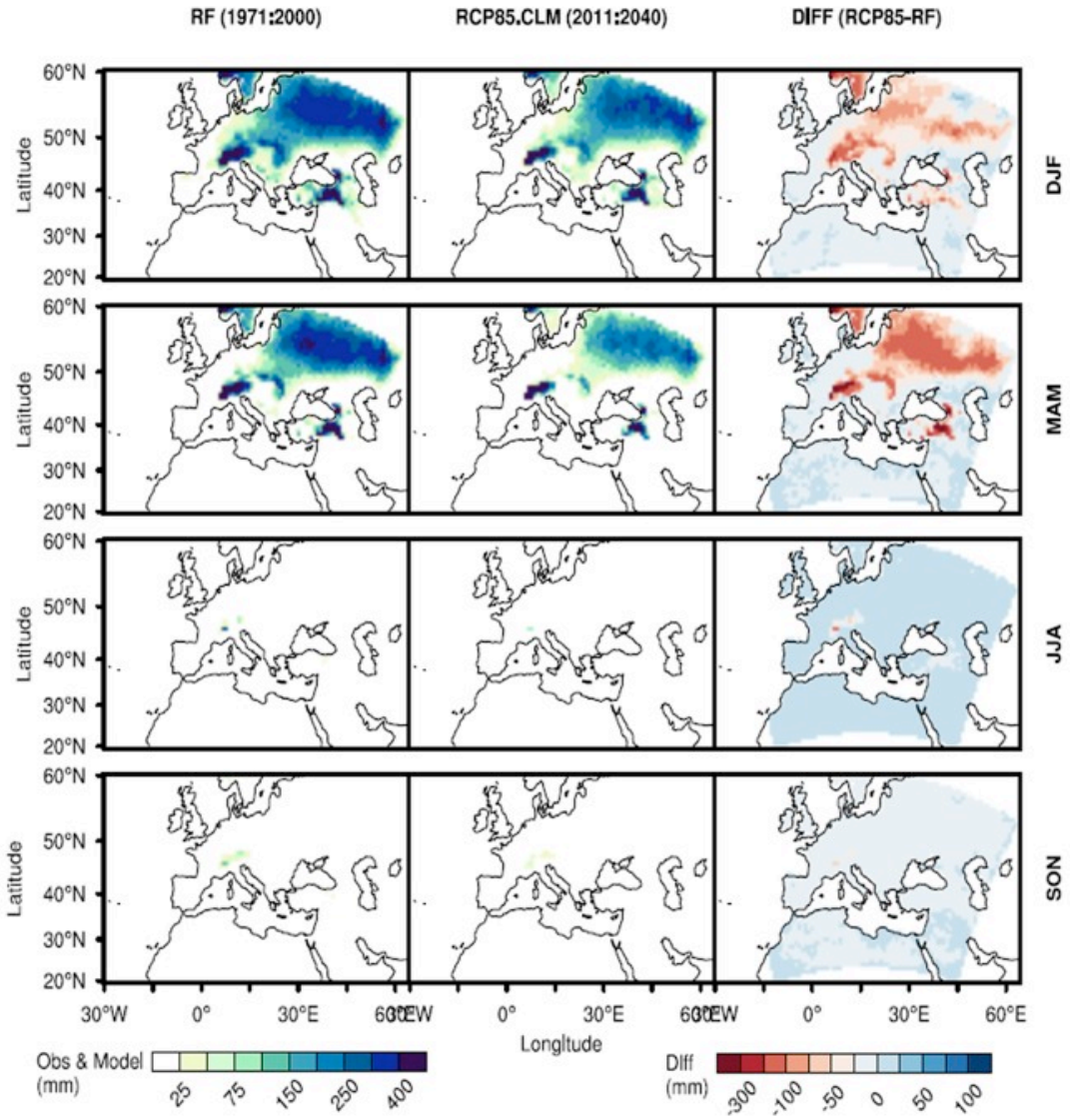
Şekil 3.40 : III. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre toplam yağış değerleri.

Yapılan RCP simülasyonlarında kar miktarına da üç 30 yıllık periyotlarda karşılaştırılmalarına bakılmıştır. Şekil 3.41 ise kar miktarındaki değişimlerin, BATS modeli sonuçlarıyla referans simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Kar kalınlığı sıvı su eşdeğeri miktarındaki değişimlere bakılacak olursa, ilkbahar ve kış aylarında baskın farklılıkların olduğu görülür. İlkbahar aylarında Doğu Anadolu, Alpler ve Kafkaslarda 100 - 300 mm arası azalmalar gözlenmektedir. Kış aylarında ise görülen azalma 50 ila 150 mm arasında olup, Alplerde, Türkiyenin Güney Doğu Bölgelerinde ve Rusyada görülmektedir. Yaz ve sonbahar aylarında değişimlerin olmadığı, kış yağışlarındaki azalmaların ve buna bağlı olarak kış ve ilbahar aylarındaki kar azalışlarında olacağını söylemek mümkündür.



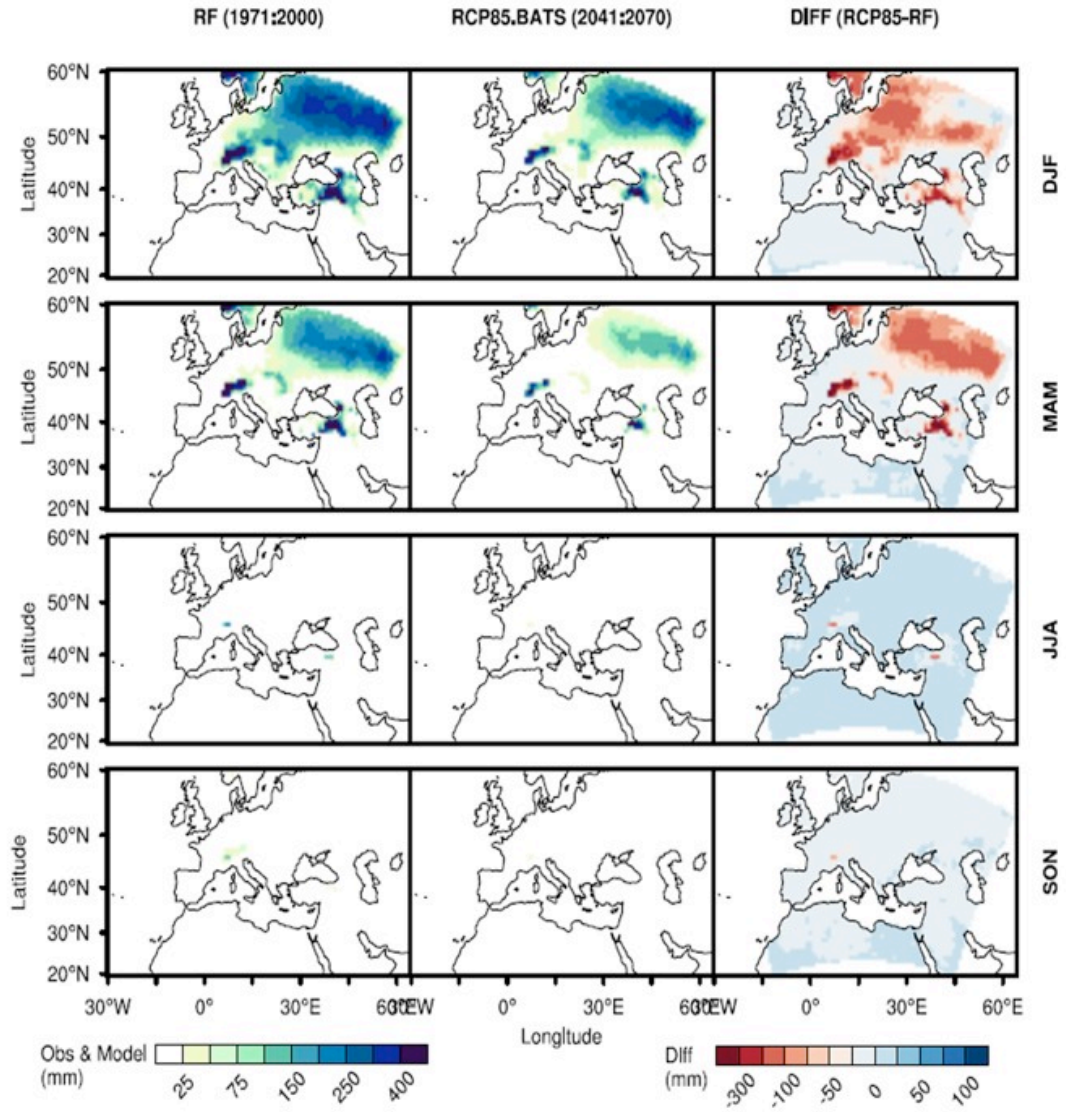
Şekil 3.41 : I. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri.

Şekil 3.42 ile gösterilen haritalarda ise, CLM modelinin kar kalınlığı sıvı su eşdeğeri değerleri karşılaştırılmıştır. BATS modeli ve CLM sonuçlarının birbirine paralellik gösterdiği görülmektedir. Kar kalınlığı sıvı su eşdeğeri miktarındaki ciddi azalışların bu ilk 2011-2040 yılları 30 yıllık periyot da da genelde ilkbahar mevsiminde görülmektedir. Doğu Anadolu, Kafkaslar ve gene Alplerde 300 mm'lere ulaşan ve aşan kar örtüsünde azalmalar görülürken, kışın bu bölgelerde azalışlar 200 mm'lere varmaktadır. Türkiye'nin doğusunda ise kar miktarında ciddi azalışlar görülmektedir. İlkbahar mevsimindeki bu denli azalışların özellikle kışın azalan kar yağışıyla ilişkilendirilebilir. Bu durum ise, 2011-2040 yılları arasında en çok bahar ve kış aylarında görüleceği söylenebilir.



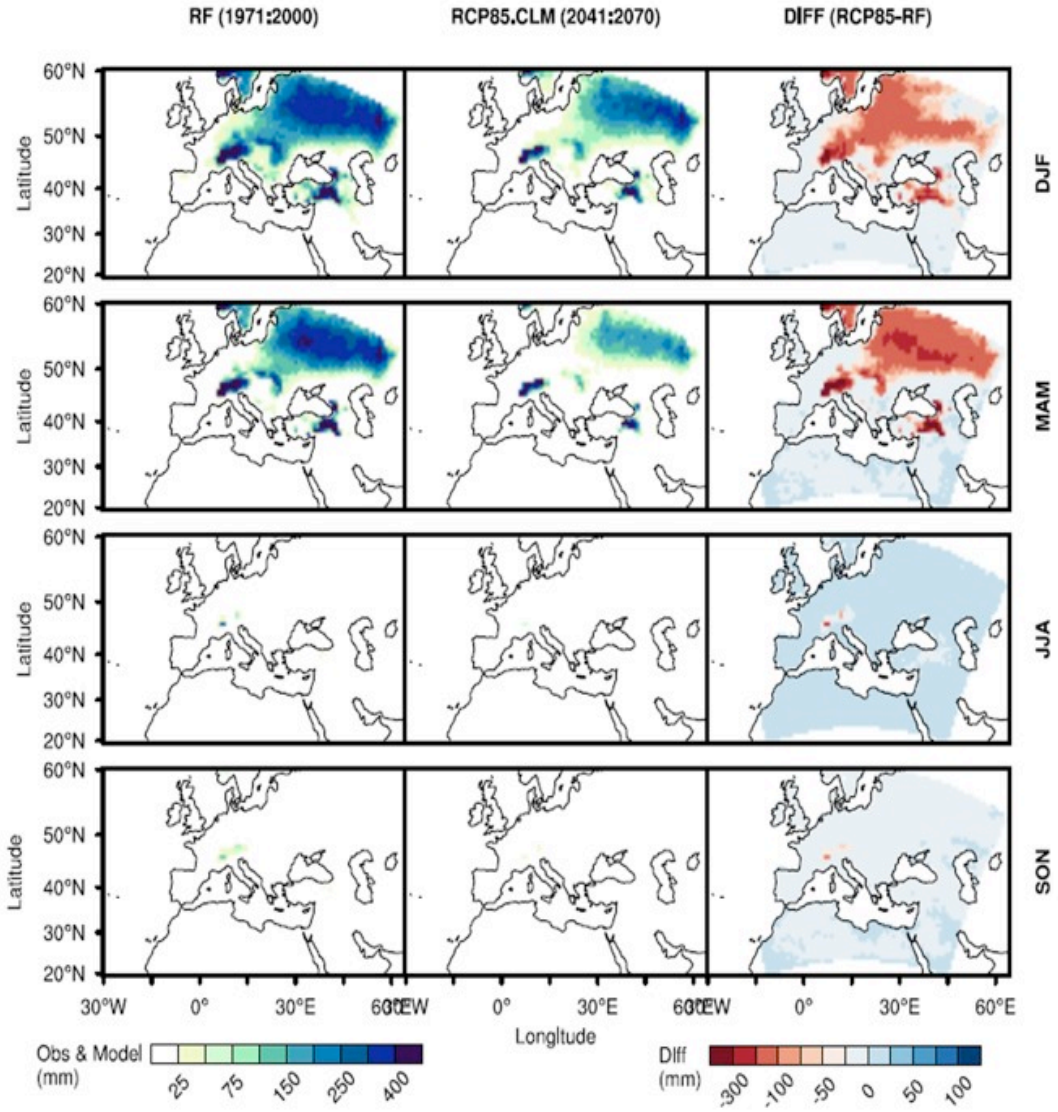
Şekil 3.42 : I. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri.

İkinci 30 yıllık 2041-2070 yılları arasını içeren, periyotlarda BATS modelindeki kar kalınlığı sıvı su eşdeğeri miktarı farklılıkları ise Şekil 3.43 ile gösterilmiştir. Bu periyotlarda kar miktarındaki değişimler bir önceki 30 yıllık periyotlara göre daha dramatikdir. Referans dönemle model sonucunu kıyasladığımızda kar miktarındaki azalışların anomalilere de yansıdığını görmek mümkündür. İlkbahar ve kış aylarında Alpler'de ve Türkiye'nin yükseltinin fazla olduğu doğusu ve güneyinde 300 mm'lere varan ve bunu aşan kar kalınlığı sıvı su eşdeğeri miktarında azalmalar görülmektedir. Kış aylarında ise sadece Doğu Anadolu Bölgesi değil, Türkiyenin Doğu Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgelerinde de azalışlar 200 mm'lere varmaktadır.



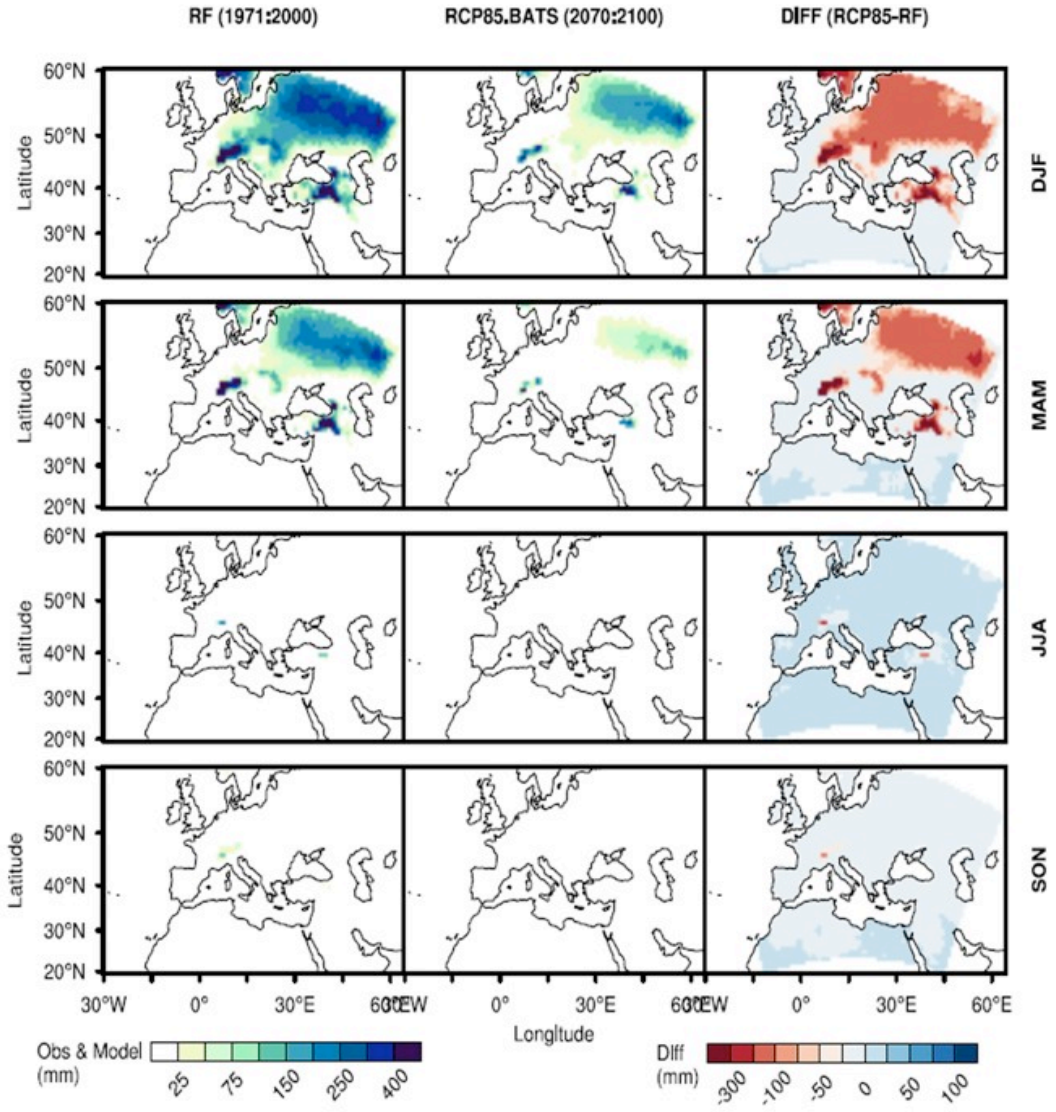
Şekil 3.43 : II. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri.

Şekil 3.44 ise CLM çıktıları ikinci periyotda referanslardan olan farkları alınan kar kalınlığı sıvı su eşdeğeri miktarlarını göstermektedir. İkinci periyotda da BATS modeli CLM modeli sonuçlarının benzer olduğu görülmektedir. Kış ve ilkbahar aylarında model alanının kuzeyinde çoğu bölgelerde kar miktarında azalmalar ciddi ölçüde göze çarpmaktadır. Bu azalmalar da en çok Alpler ve Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde 300 mm leri bulacak şekilde görülmektedir. İlkbahar aylarında da kış aylarına benzer sonuçlar olmasıyla beraber, özellikle Alplerde kar miktarının 300 mm'den daha yüksek değerlerde azalma göstereceği, bu oranı Türkiye'nin doğusuyla Kafkas Bölgesininde bir kısmı göstermektedir. Türkiye'de de bu azalışların yükseltinin olduğu yerlerde 300 mm'nin üzerinde olacağı söylenebilir.



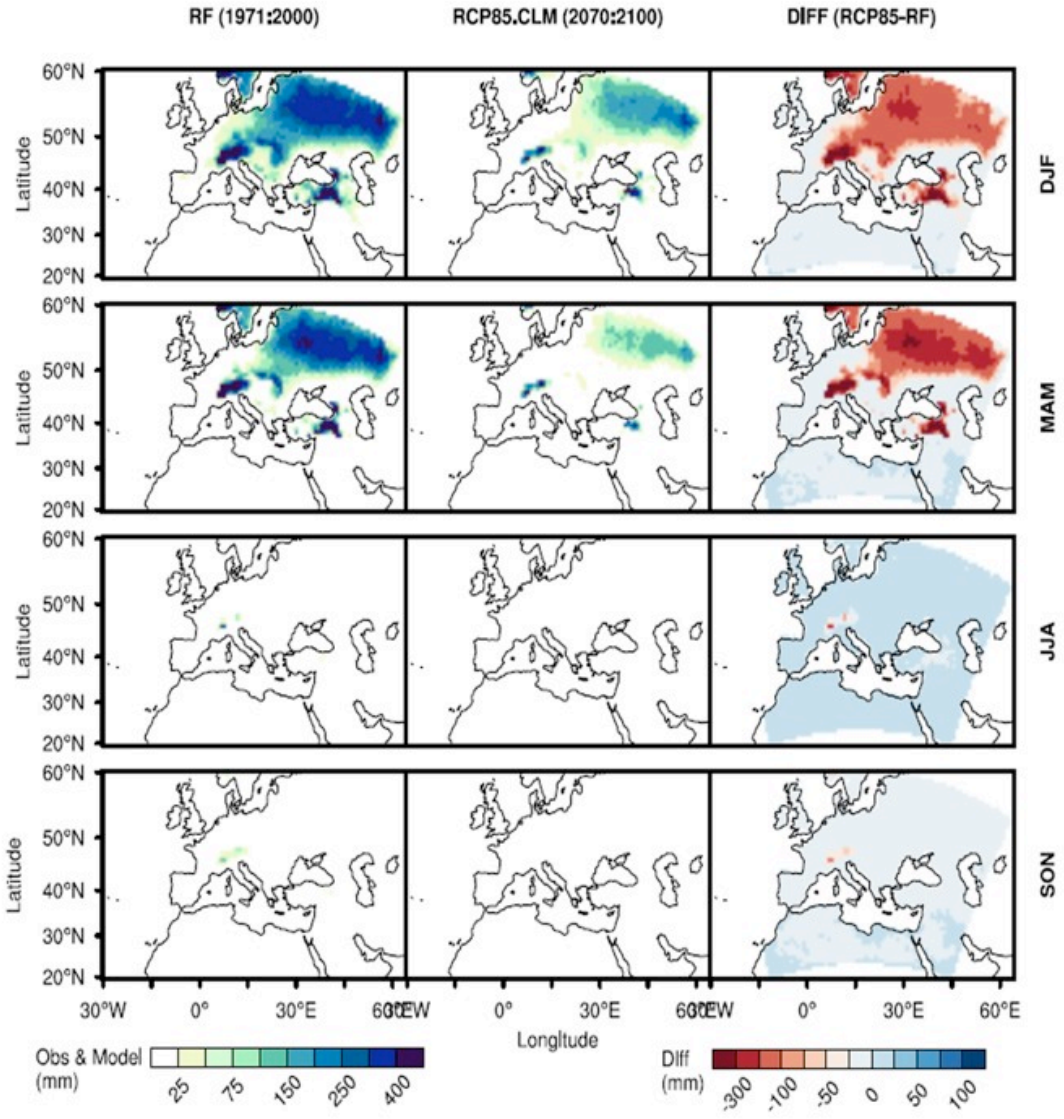
Şekil 3.44 : II. Periyot RF, RCP.CLM ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri.

Son 30 yıllık 2070-2100 yılları arasını içeren periyotlarda ise durum benzerdir ve Şekil 3.45 ile BATS modeli kar kalınlığı sıvı su eşdeğeri model çıktılarının farklarını göstermektedir. Son periyotda da ise diğer periyotlarda meydana gelen azalmaların son 30 yılda da etkisinin sürdürmesi beklenmektedir. Dolayısıyla kar yağışlarındaki azalmaların Türkiye'nin kar yağışı alan tüm bölgelerinde olabileceği yorumu yapılabilir. Referans simülasyonundan olan bu farkların, Türkiye'nin Doğu kısımlarında ve Alplerde 300 mm'lere varan azalış şeklinde görülürken, ilkbahar aylarında bu bölgelerde kar miktarındaki azalışlar oldukça fazla olup 300 mm'leri aşmaktadır. Kuzeyde meydana gelen bu azalmaların ciddi derecede etki edeceği de beklenmektedir.



Şekil 3.45 : III. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri.

Şekil 3.46 ile verilen haritalarda, 2070:2100 yıllarından referans simülasyonunun farkları alınarak kar miktarındaki farklılıklar CLM ile karşılaştırılmıştır. CLM modelinin sonuçlarıda BATS modelinden farklı değildir çünkü ilk iki periyotlarda meydana gelen dramatiik değişikliklerin ve azalışların yer aldığı ilkbahar ve kış aylarında özellikle Türkiye'nin Doğusu ve Alpler'de 300 mm 'leri bulan kar miktarı azalışları görülürken, kış mevsiminde ayrıca Karpatlar ve Rusyada da azalışların 200 mm'leri bulduğu göze çarpmaktadır. Bu bölgelerde yüzyılın sonuna doğru bölgelerin ikliminin değişiminin kar kalınlığı sıvı su eşdeğeri miktarlarına da yansıdığını ve etkilediği beklenmektedir.



Şekil 3.46 : III. Periyot RF, RCP.BATS ve RCP-RF model mevsimlere göre kar kalınlığı sıvı su eş değerleri.

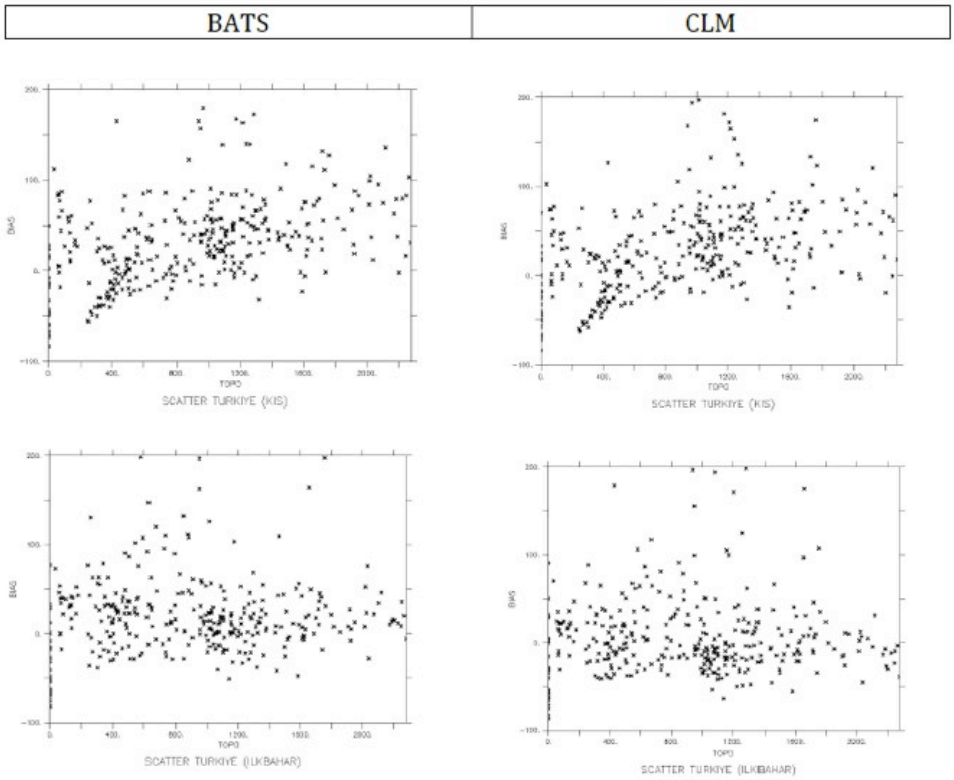
3.5 Model Sonuçları Bölgesel Analizi

Bu bölümde model sonuçları, Med-CORDEX alanı içinde seçilen üç farklı bölgede ayrı ayrı CLM ve BATS çıktıları incelenmiştir. Bu bölgeler Balkan Bölgesi, Alpler ve Türkiye üzerinde, yağışın topoğrafyayla olan ilişkisi ve model farklılıklarının yüksekliğe olan bağlılıklarının görünülmesi mevsimsel olarak kış ve ilkbahar ayları görselleştirilerek görünülmesi hedeflenmiştir.

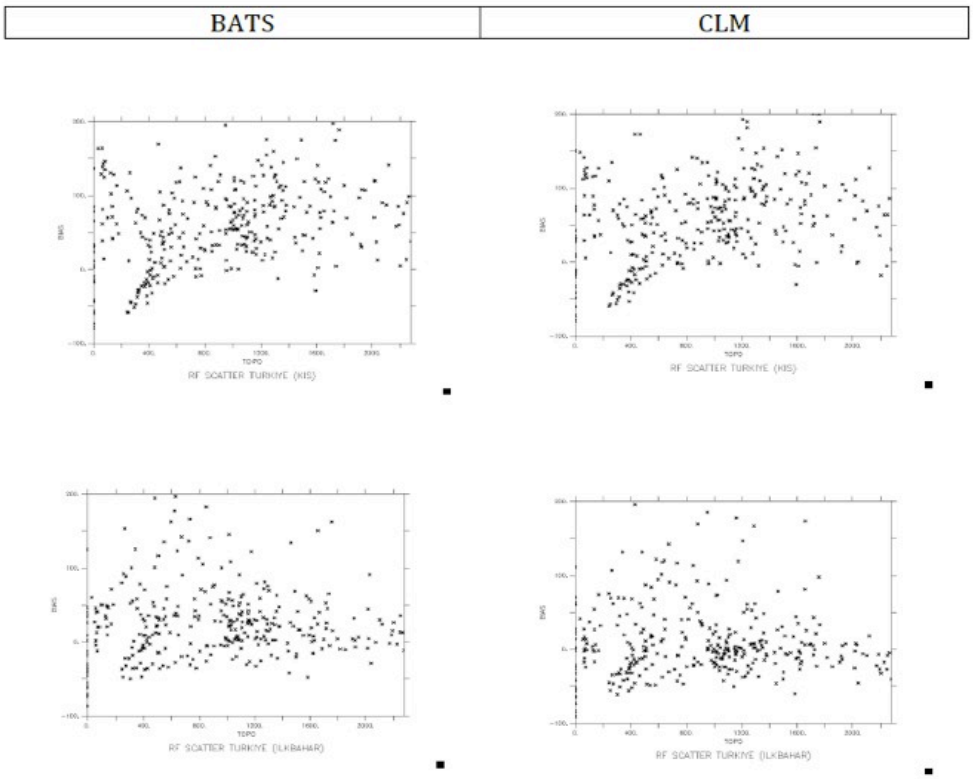
Bu bölümde Balkan, Alpler ve Türkiye üzerinde Referans ve ERAINT'le koşturulan BATS ve CLM model yağış çıktılarının CRU veri setinden olan farklılıkları topoğrafyayla ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmaya ek olarak Türkiye üzerinde kış ve yaz ayları için model simülasyonlarıyla beraber gelecek simülasyonlarıda topografyanın 1000 m'den büyük ve 500-1000 m arası olan yerleri ayrı ayrı incelenmiştir ve histogramlarına bakılmıştır.

Şekil 3.47 ile gösterilen grafiklerde, Türkiye üzerinde ERAINT (1989:2009) ile koşturulan BATS ve CLM model çıktılarının topoğrafyayla olan ilişkisinin dağılım diagramıyla görselleştirilmiştir. Topoğrafyayla yağışın ilişkili olması grafiklere de yansımaktadır. Türkiye üzerinde CRU'dan olan yağış farklarının (%) topoğrafyayla arttığı görülmektedir. Yükseltinin 2000 m'leri bulduğu yerlerde Türkiyede farklılıkların pozitif yönde arttığı görülmektedir, yani model gözlemden daha fazla yağış vermektedir. Aynı patern CLM içinde görülürken, ilkbahar aylarında ise kışa göre farklılıkların daha az olduğu, fakat gene topoğrafyayla uyum gösterdiği görülmektedir.

Şekil 3.48 ile verilen grafiklerde ise, Türkiye üzerinde RF (1970-2000) yılları arası koşturulan BATS ve CLM yağış miktarlarının % cinsinden farklarının topoğrafyayla ilişkisi gösterilmiştir. 1970-2000 yılları arası kış aylarında CRU'dan olan farkların en yüksek değerlerinin pozitif yönde %200 leri bulduğu ve bu bölgelerde yükseltininn 1600-2000 m arasında olduğuda görülmektedir. CLM ve BATS sonuçları birbirleriyle benzerlik gösterirken, ilkbahar aylarında model farklılıklarının çoğunluğunun, yükseltinin fazla olduğu ve 800 -1600 m yükseltiye sahip yerlerde gözüktüğü ve en yüksek farklılıklarının da 400-800 metre yükseltiye sahip yerlerde oluştuğuda göze çarpmaktadır.

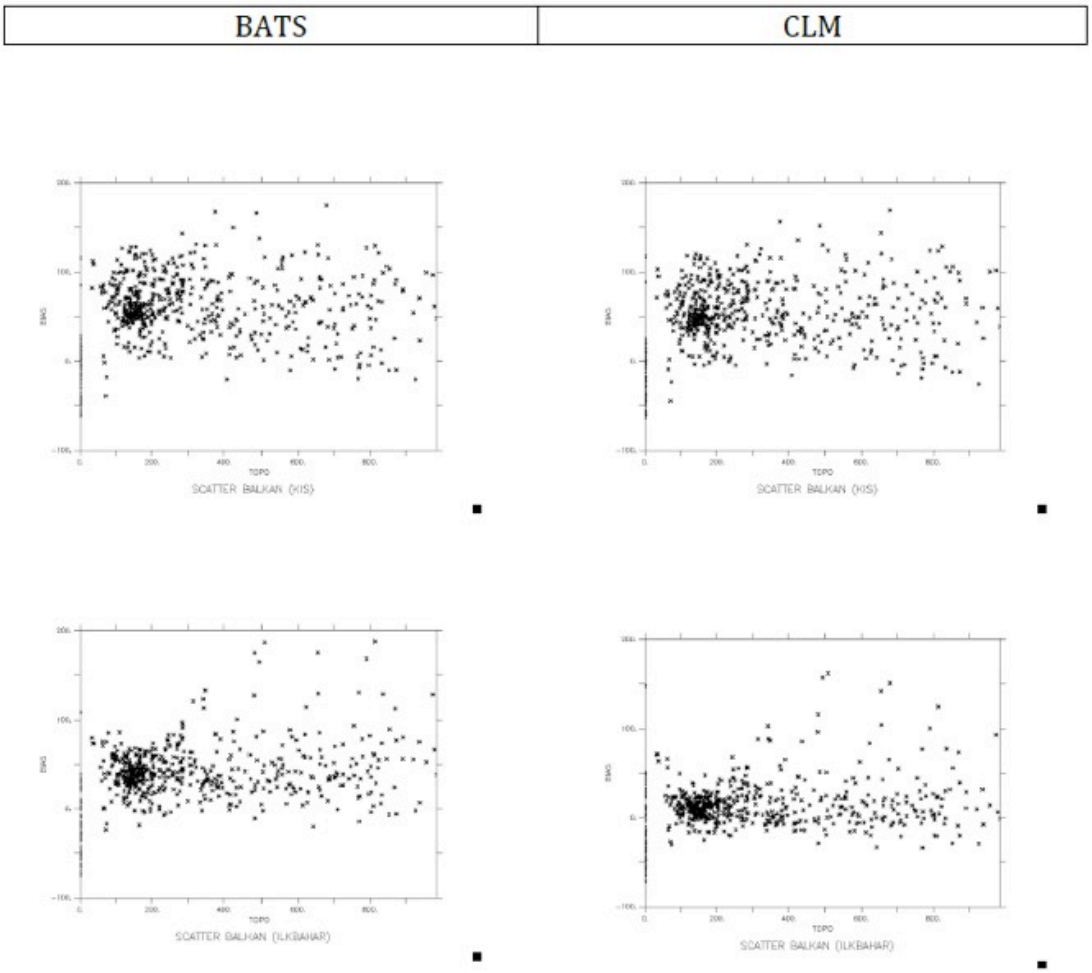


Şekil 3.47 : BATS ve CLM yağış çıktılarınınTürkiye üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%).



Şekil 3.48 : BATS ve CLM RF yağış çıktılarınınTürkiye üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%).

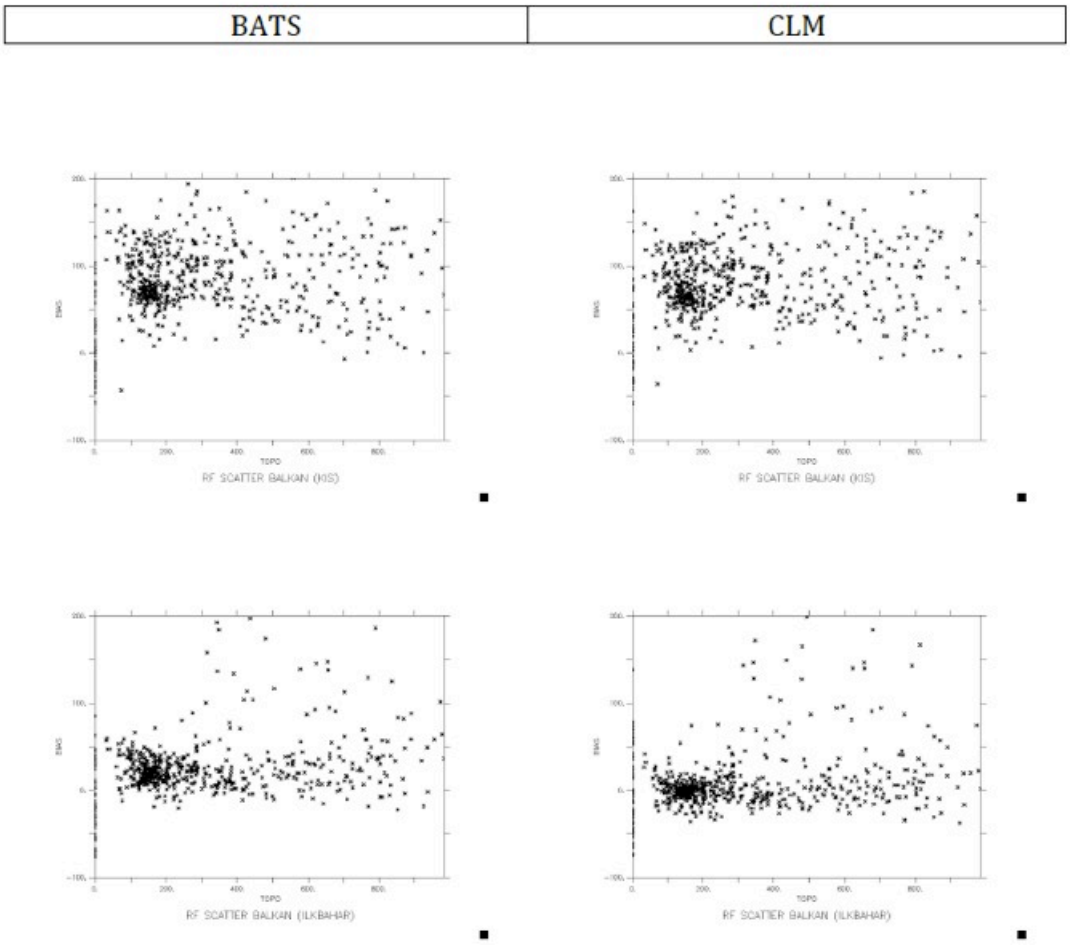
Şekil 3.49 ise Türkiye üzerinde RF (1970-2000) yılları arası koşturulan BATS ve CLM yağış % cinsinden farkların topoğrafyayla ilişkisi gösterilmiştir. 1970-2000 yılları arası kış aylarında CRU'dan olan farkların en yüksek değerlerinin pozitif yönde %200 leri bulduğu ve bu bölgelerde yükseltininn 1600-2000 m arasında olduğuda görülmektedir. CLM ve BATS sonuçlarının birbirleriyle benzerlik gösterirken, ilkbahar aylarında model farklılıklarının çoğunluğunun 800 -1600 m yükseltiye sahip yerlerde gözüktüğü ve en yüksek farklılıklarının da 400 -800 m yükseltiye sahip yerlerde oluştuğuda göze çarpmaktadır.



Şekil 3.49 : BATS ve CLM yağış çıktılarının Balkan Bölgesi üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%).

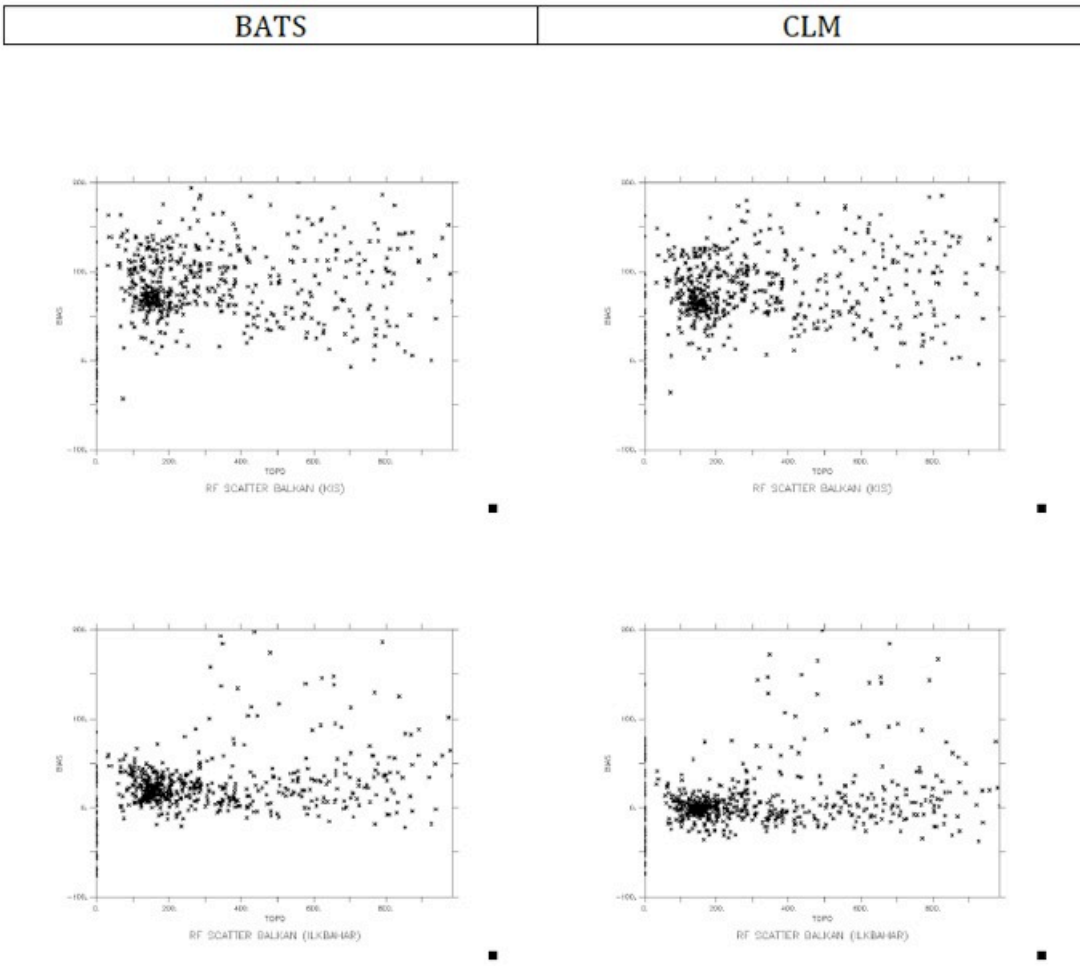
Şekil 3.50 ise, Balkan Bölgesi üzerinde ERAINT (1989:2009) ile koşturulan BATS ve CLM model çıktılarının topoğrafyayla olan ilişkisinin dağılım diagramıyla görselleştirilmiştir. Bu bölgelerde yükseltinin 1000 m'leri bulduğu görülürken, kış aylarında model farklılıklarının genellikle 0-200 m yükseltiye sahip bölgelerde görüldüğü, BATS ve CLM modelinin ikisinde de görülmektedir. İlkbahar aylarında

ise model farklılıklarının kış aylarından daha az fakat BATS ve CLM içinde geçerli olmak üzere yükseltinin 0-200 m olduğu bölgelerde yoğun -50% +50% arasında değiştiği farkedilmektedir.



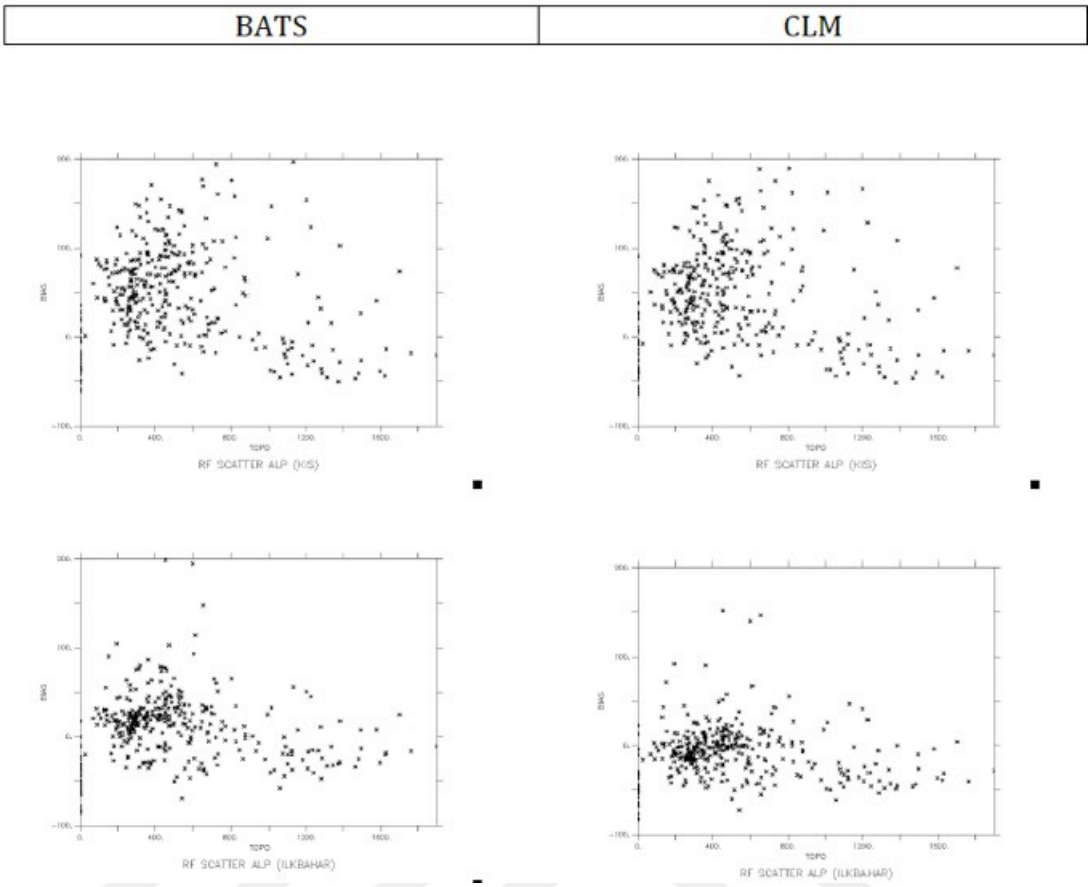
Şekil 3.50 : BATS ve CLM RF yağış çıktılarının Balkan Bölgesi üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%).

Şekil 3.51 ise, Balkan Bölgesi üzerinde RF (1970:2000) ile koşturulan BATS ve CLM model çıktılarının topoğrafyayla olan ilişkisinin dağılım diagramıyla görselleştirilmiştir. Kış aylarında CRU'dan olan farkların en çok 50 -100% arasında olduğu ve bu bölgelerde yükseltiler 0-200 m arasında olduğu görülmektedir. Aynı sonuçların CLM'de de benzerlik gösterdiği, ilkbahar aylarında ise Balkan Bölgesinde model farklılıklarının genellikle 0-50% arasında olduğu ve bu bölgelerde yükseltinin az olduğu görülmüştür.



Şekil 3.51 : BATS ve CLM RF yağış çıktılarının Balkan Bölgesi üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%).

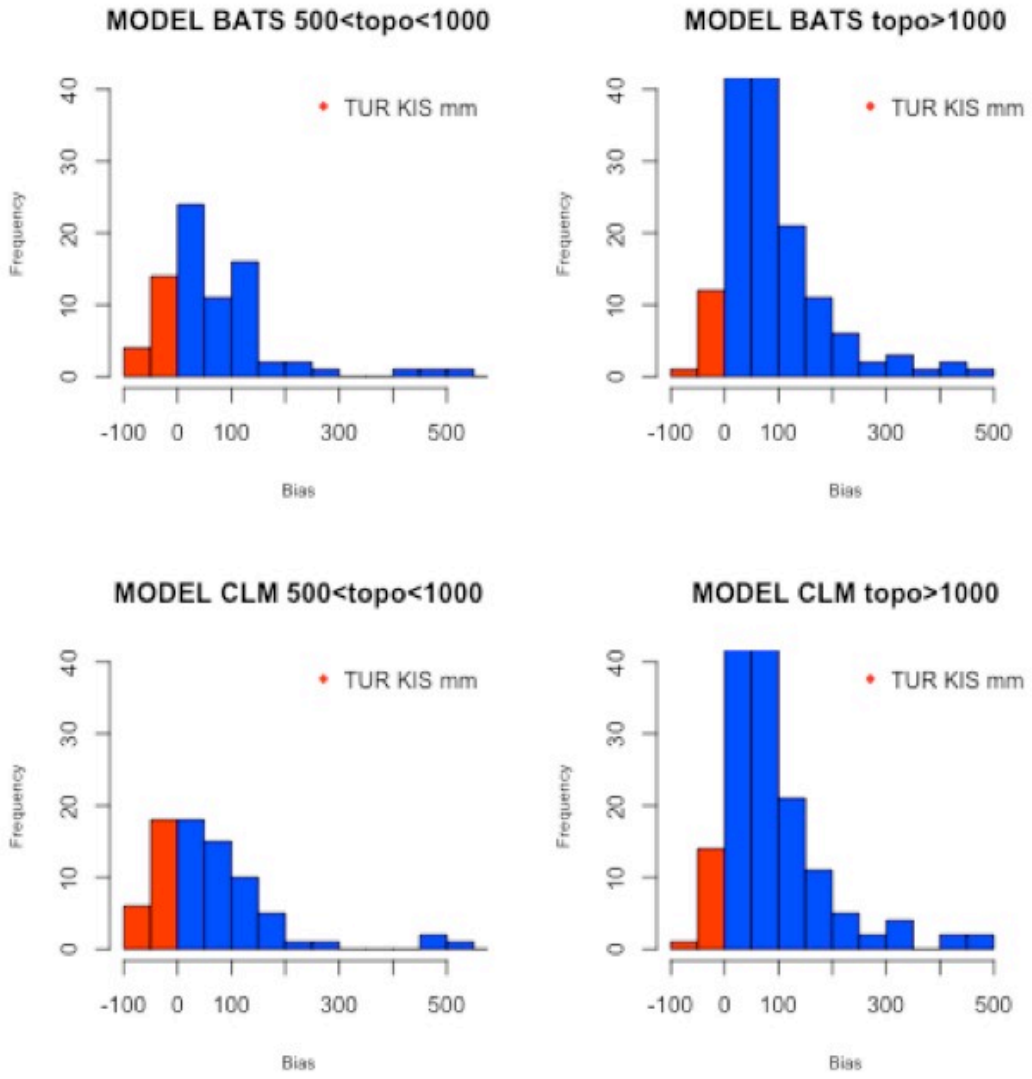
Şekil 3.52 ile verilen haritada ise, Alp Bölgesi topoğrafya yağış (%) ilişkisi BATS ve CLM kış ve ilkbahar aylarında incelenmiştir. Bu bölgede kış aylarında, yükseltilerin 2000 m leri bulduğu ve 150-200 % olan yağış farklarının ise yükseltisi 400-800 m olan olan yerlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca model farklılıklarının çoğunlukla 400-800 m yükseltiye sahip bölgelerde olduğuda görülmektedir. İlkbahar sonuçlarında ise CLM ve BATS model yağışları gözlem verilerine göre kış aylarından daha yakın olmakla beraber, 0-50% arasında 200-400 m yükseltiye sahip yerlerde biriktiğide açıkca görülmektedir.



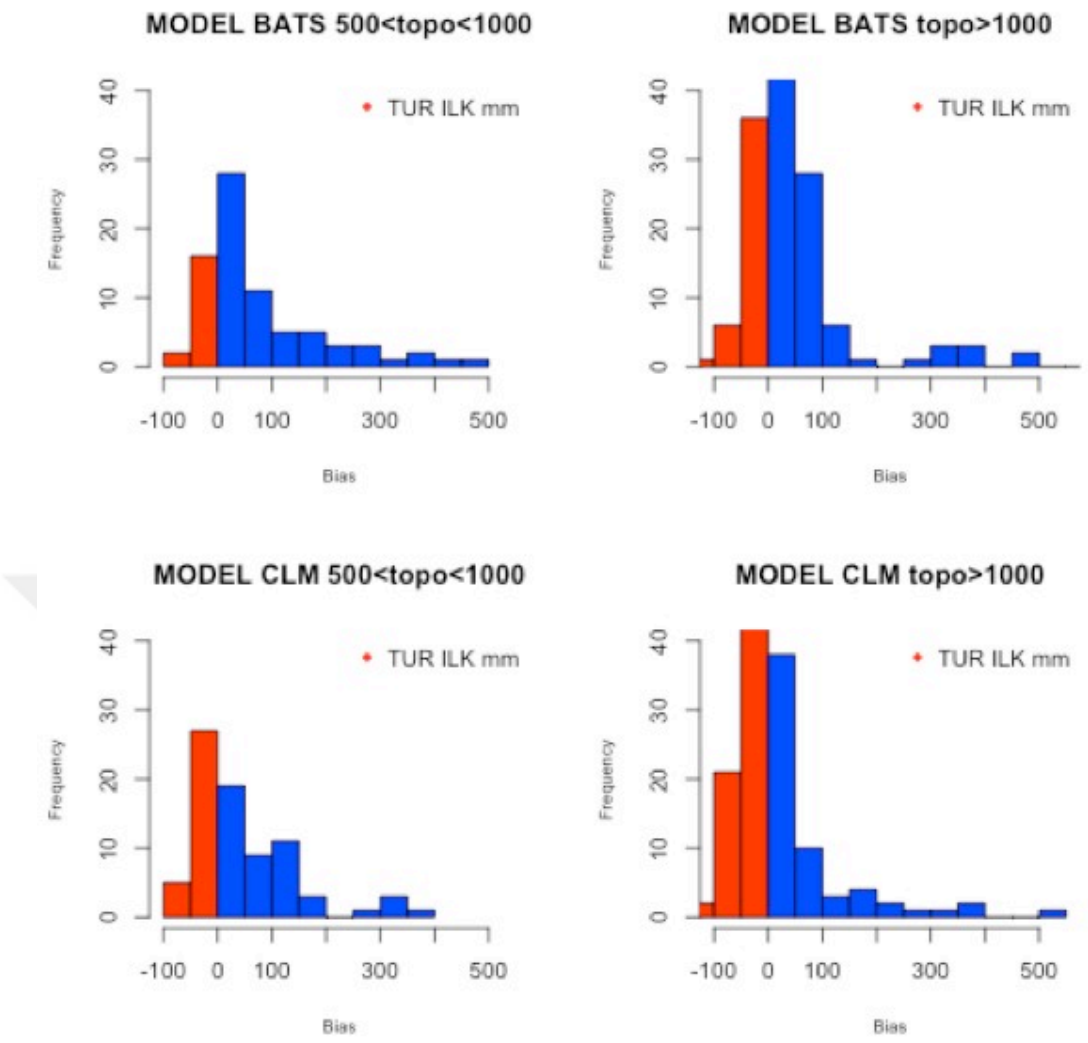
Şekil 3.52 : BATS ve CLM yağış çıktılarının ALP Bölgesi üzerinde kış ve ilkbahar ayları bias-topo ilişkisi (%).

Şekil 3.53 ve Şekil 3.54 ise BATS ve CLM referans simulasyonlarının ALP bölgesinde topo-yağış ilişkisi sırasıyla kış ve ilkbahar ayları için görselleştirilmiştir. 1970-2000 yılları arası yapılan simülasyonlarda ise kış aylarında bu bölgede baskın farklılıkların 0-400 m yükseltiye sahip yerlerinde olduğu sonucuna varılırken, bu baskın farklılıkların BATS ve CLM içinde 0-100% arasında olduğu görülür. İlkbahar aylarında ise aynı yükseltiye sahip yerlerde baskın farklılıklar görülürken buralarda farklılıkların 0-50 % arasında yoğunlaştığıda görülmektedir. Türkiye üzerinde model topoğrafyasının 500-1000 m ve 1000m'den büyük olduğu bölgelerin kış ve ilkbahar ayları için yağış değerlerinin ayrı ayrı BATS ve CLM farklarına bakılmıştır. 1989-2009 yılları arası koşturulan BATS ve CLM kış ayları çıktılarına bakılacak olunursa, 500-1000 m arasında olan bölgelerde en baskın farklılıklar 0-50 mm arasında değişirken, CLM için ise aynı bölgelerde baskın farklılıkların, kimi yerlerde 0-50 mm arası daha az yağış üretirken, kimi yerlerde ise 0-50 mm daha fazla yağış üretmektedir. Topoğrafyanın 1000 m'den yüksek bölgelerinde ise yükseltiye bağlı olarak farklılıkların çok daha fazla miktarlarda olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde

modelin CRU'dan olan farklarının en çok miktarlarda 0-100 mm arasında olduğu BATS modelinde göze çarparken, CLM modelinde de bu fark birbirine benzerdir. İlkbahar farklarına bakılacak olunursa yükseltinin 500-1000m arasında olduğu bölgelerde kış aylarında en çok miktarlarda farklılıkların 0-50 mm arasında olduğu görülürken, CLM modelinde ise bu mevsimde 0-50 mm arası fakat BATS'a nazaran negatif yöndedir. Türkiyenin 1000m'den büyük yükseltiye sahip olan bölgelerinde ise model farklılıklarının frekansı diğerlerine göre daha fazladır. BATS modelinde CRU'dan olan farkların en çok 0-50 mm miktarları arasında olduğu seçilirken, CLM de ise bu durum aynı oranda tam tersi yönde yani 0-50 mm daha az yağış üretmiştir.

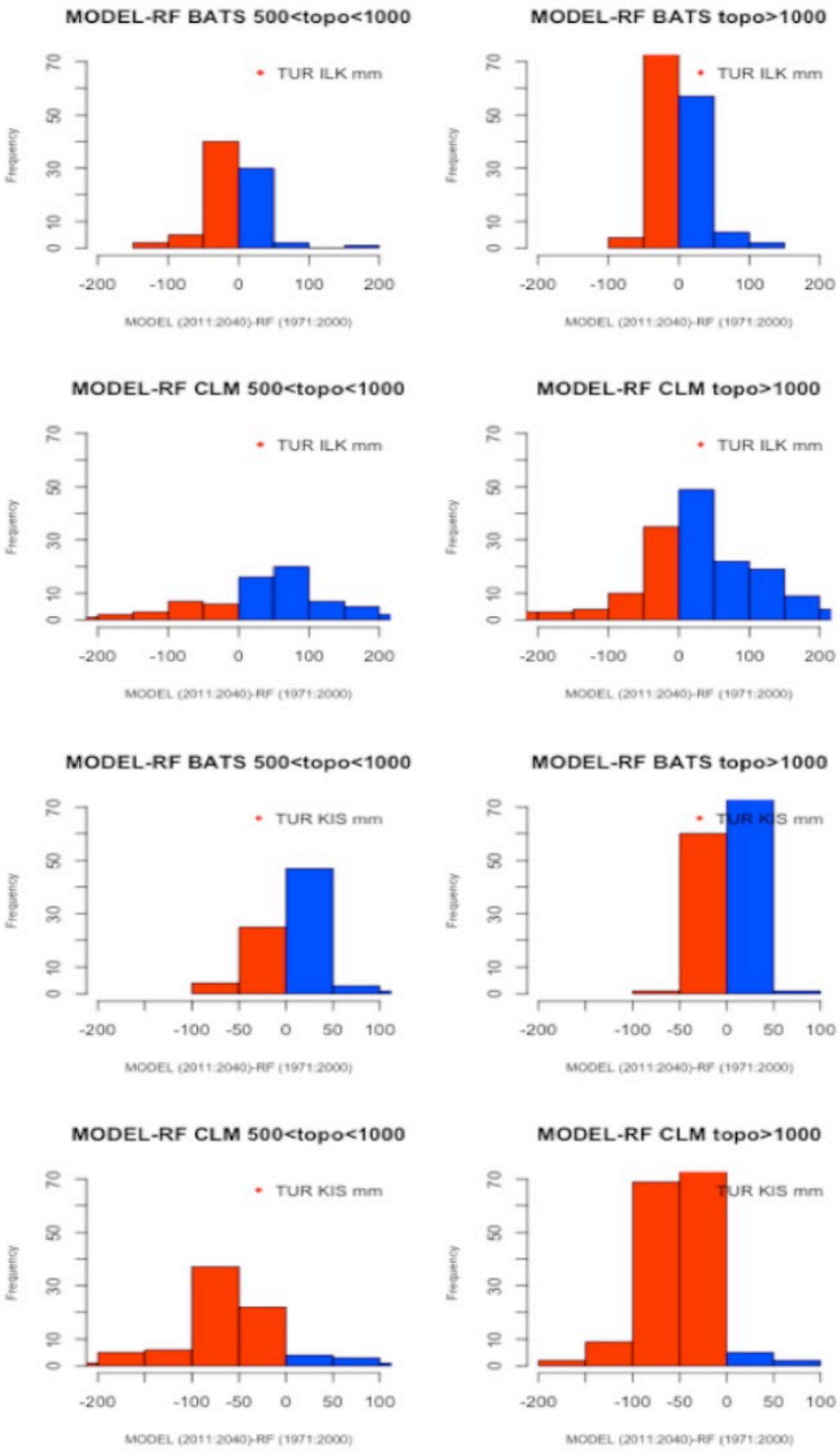


Şekil 3.53 : Türkiye üzerinde BATS ve CLM yağış çıktılarının topoğrafyayla olan kış ayları mevsimsel farkları histogramı.



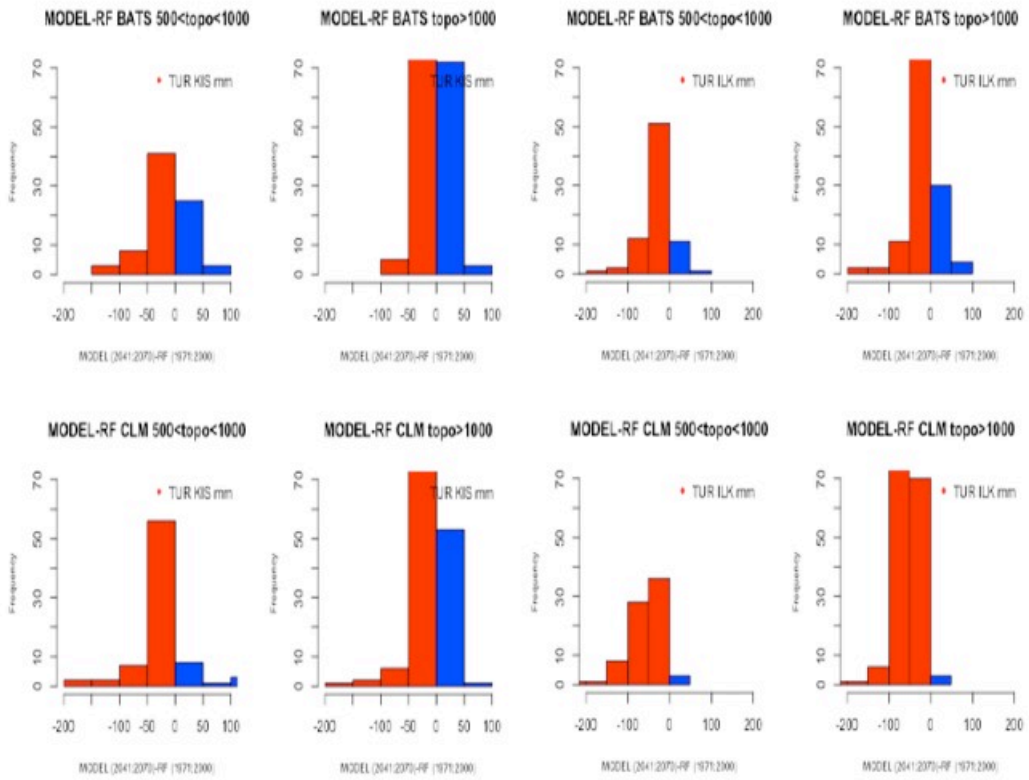
Şekil 3.54 : Türkiye üzerinde BATS ve CLM yağış çıktılarının topoğrafyayla olan ilkbahar ayları mevsimsel farkları histogramı.

Şekil 3.55 ise, Türkiye üzerinde RCP senaryoları kullanılarak yapılan 30 yıllık simülsyonlarından ilk periyodu (2011:2040) kış ve ilkbahar ayları için RF'den olan farklılıklarının dağılımı iki farklı topoğrafyaya göre incelenmiştir. Topoğrafyanın 500-1000 m arası olduğu bölgelerde model farklılıklarının kış aylarında BATS'a göre -100 ve 100 mm arasında değiştiği ve baskın farklılıkların 0-50 mm arasında değişeceği belirgindir. CLM modelinde ise aynı bölgeler ve aylarda model yağışlarının azalacağı belirgin bir şekilde görülürken, bu azalışların en çok 50-100mm civarında olacağıda görülmektedir. Topoğrafyanın 1000m'den yüksek olduğu bölgelerde ise BATS model yağışlarında belirgin farkların -50 ve 50 mm arasında değiştiği, CLM de ise baskın farklılıkların 50 mm civarında daha az yağış ürettiği görülmektedir.



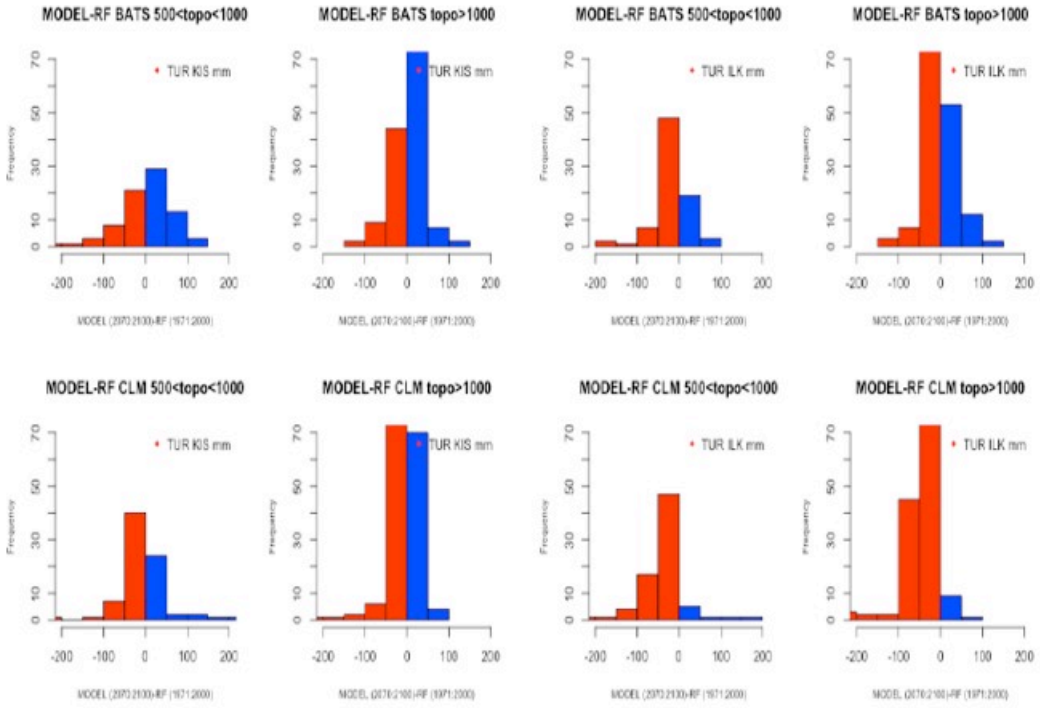
Şekil 3.55 : Türkiye üzerinde BATS ve CLM RCP senaryoları I.periyot yağış çıktılarının topoğrafyayla olan kış ve ilkbahar ayları mevsimsel farkları histogramı.

Şekil 3.56 ile verilen histogramlarda ise, Türkiye üzerinde II. 30 yıllık periyot simülasyonlarından kış ve ilkbahar ayları için Referans döneme ait simülasyonundan olan farklarının dağılımı topoğrafyaya göre incelenmiştir. Türkiyede 500-1000m arası yükseltiye sahip bölgelerde kış aylarında BATS ve CLM modelinde en baskın farkların 0-50 mm ve bu miktarda yağış azalışların olduğu görülürken, bu oranda azalışlar CLM modelinde daha yüksek frekansa sahip olacağı beklenmektedir. 1000m den büyük yerlerde ise, kış aylarında BATS modeli için, Türkiyenin bazı bölgelerinde 50 mm artan yağışlar fazla görülürken, kimi yerde de 50 mm azalan yağışların fazlalığı göze çarpmaktadır. CLM modelinde ise 50 mm azalan yağışların olduğu bölgeler oldukça fazladır ve bunun arkasından da 50 mm'lik artışların frekansının fazla olduğu görülmektedir. İlkbahar aylarında ise her iki farklı yükselti bölgelerinde azalan yağış frekanslarında artışlar net bir şekilde görülmektedir. En fazla frekansa sahip yerler daha çok Türkiyenin 1000m'den büyük yükseltiye sahip olduğu yerlerde görülmektedir. Özellikle yükseltinin 1000m'den büyük olduğu CLM sonuçlarına baktığımızda, 100 mm'lere varan azalmaların frekansının oldukça yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 3.56 : Türkiye üzerinde BATS ve CLM RCP senaryoları II. periyot yağış çıktılarının topoğrafyayla olan kış ve ilkbahar ayları mevsimsel farkları histogramı.

Türkiye üzerinde III. 30 yıllık periyot (2070:2100) simülasyonlarından kış ve ilkbahar ayları için RF simülasyonundan olan farklarının dağılımı topoğrafyaya göre Şekil 3.57 ile incelenmiştir. Üçüncü periyotda göze çarpan yağış miktarlarındaki azalışken, kış aylarında bu durum BATS Modelinde topoğrafyanın 1000m'den büyük olduğu bölgelerde Türkiyenin bazı kesimlerde en belirgin en çok 0-50 mm arasında azalışlar görülürken, CLM modelinde ise bu frekans oldukça yüksektir. İlkbahar aylarında ise BATS ve CLM modelleri yükseltinin 500-1000m olduğu bögelerde 0-50 mm civarında azalan farklılıkların yoğun olduğu görülürken, 1000m'den büyük olan yükseltilerde aynı paterni fakat daha sık frekanslarda göstermektedir.



Şekil 3.57 : Türkiye üzerinde BATS ve CLM RCP senaryoları III. periyot yağış çıktılarının topoğrafyayla olan kış ve ilkbahar ayları mevsimsel farkları histogramı.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Bölgesel İklim Modelinin 4. Versiyonu olan RegCM4 modeli kullanılmıştır. Yapılan simulasyonlarda, Akdeniz üzerinde iki farkli BATS ve CLM arazi yüzey modelleri karşılaştırılmıştır. Başlangıç ve sınır koşulları için Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezinin (ECMWF) ERA-Interim ($1.5x1.5^0$) verisi 1989–2009 yılları arası CLM 3.5 ve BATS modelleri için 50 km çözünürlükte ayrı ayrı koşturulmuştur. Model sonuçları İngiltere İklim Araştırma Biriminin $0.5x0.5^0$ çözünürlüğündeki sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak karşılaştırılmıştır. İngilterenin Hadley Merkezinin IPCC 5. Raporunda öne sürülen Hadley Merkez Küresel Çevre Modelinin 2. Versiyonu (HadGEM2) referans verileri kullanılarak koşturulan 1970-2000 yılları arası da CRU veri setinin 1970-2000 yılları arası sıcaklık ve yağış verileriyle karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmaları iki farklı şekilde ayırırsak, ERAINT sıcaklık sonuçlarının BATS modelinde Kış aylarında Türkiye üzerinde özellikle, Türkiyenin Ege Bölgesi ve kıyılarında model gözleme göre -2 ila -3^0C daha soğuk değerler üretirken, Kafkaslar Bölgesinde 2-3^0C civarında model daha yüksek sıcaklık verileri üretmiştir. CLM modeli, BATS modeline göre hemen hemen tüm aylarda gözleme ve BATS modeline göre daha soğuktur. Kışın Kafkaslar bölgesi dışında hemen hemen bütün yerlerde -2 ila -4 ^{0}C daha soğuk sıcaklık değerleri üretilmiştir. Bu sıcaklık farklarının benzerleri Referans dönem simülasyon BATS, CLM çıktılarında da görülmektedir. Bu karşılaştırılmalarda en çok dikkat çeken ilkbahar aylarında görülen BATS modelinin Balkan, Karpatlar ve Kuzeydeki ciddi sıcaklık farklılıklarıdır. CLM sonuçları Era-Interim sonnuçlarında olduğu gibi genel olarak daha soğuk değerler üretmiştir. İlkbahar aylarında Türkiyenin doğusu ve Doğu Karadeniz kıyılarında fark -4 ila -6.5 ^{0}C arasında değişmektedir bu oran aynı şekilde kışın ve ilkbahar aylarında Alplerde de görülmektedir. Maksimum ve minimum sıcaklık farklarında ise, Maksimum sıcaklıklarda en büyük farklar Yaz aylarında görülmektedir. CLM çıktıları BATS modeline göre 2 metredeki sıcaklıklarda daha soğuk değerler ürettiği görülmüştü, aynı farklılıklar maksimum sıcaklık değerlerinde de görülmektedir. Referans simülasyon farklarında ise, Yaz aylarında BATS modeli gözleme göre,

Balkanlar, Karpatlar, Alpler, Kuzey İtalya ve Kafkaslarda $+2^0$C daha sıcak değerler üretmiştir. CLM maksimum sıcaklık sonuçlarına bakılacak olursak, tüm mevsimlerde model alanının çoğunda gözlem verilerine kıyasla sıcaklık değerleri daha düşüktür. Minimum sıcaklık ortalamaları mevsimsel olarak incelendiğinde, model-gözlem farklarının BATS modelinde maksimum sıcaklıklara nazaran daha az olduğu görülmüştür. CLM minimum sıcaklık farkları mevsimsel olarak karşılaştırılmıştır. Bu farklılıkların maksimum sıcaklıklarına nazaran daha azdır. Türkiye, Balkanlar ve Alplerde kışın ve ilkbahar aylarında minimum sıcaklık farkları -2 ile -4^0C'dir. Minimum sıcaklık farklarına referans simülasyonları için incelediğimizde ise İlkbahar aylarında Türkiye gözlem verilerine göre daha soğuk değerler üretmiştir. Türkiyenin Doğu Anadolu Bölgesinde bu mevsimde -4 ve -5^0C farklılıklar görülmüştür. CLM modeli çıktılarında ise kış aylarında Alpler, Balkan, Karpatlar bölgesi minimum sıcaklıkları CRU'ya göre 4^0C'den daha fazla değerlerde soğuktur. Türkiyenin Güneydoğu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesinde de farklılıkların -4^0C civarındadır.

1989-2009 yılları arası bakılan mevsimsel toplam yağış kış aylarında model alanı içinde çoğu yerde gözlem verilerinden daha fazla yağış üretilmiştir. Bu fazlalık Türkiye'nin çoğu bölgesinde, Balkanlarda, Karpatlar ve Kuzey Avrupada 50 ile 100 mm arasındadır. CLM modelinin yağış çıktısı BATS modeline nazaran daha az, gözleme göre daha yakın değerler ürettiği gözlenmiştir. Yağış farklılıkları genelde kış ve yaz aylarında oldukça fazladır. Türkiyenin Akdeniz kıyıları, Güney Doğu Anadolu ve Ege kıyılarında 100 -150 mm civarında kış aylarında daha fazla yağış üretilmiştir. CLM farkları BATS farklarına göre daha az olmasıyla beraber, kış ve yaz aylarında belirgin yağış farklılıkları CLM modelinde de gözlenmiştir. Akdeniz kıyıları ve Türkiyenin Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde model 100-150 mm arası daha fazla yağış göstermiştir.

HadGEM2 RCP8.5 çıktıları kullanılarak yapılan gelecek simülasyonlar karşılaştırılmalarında ise, 2011:2040 periyotlarından 1970-2000 Referans simülasyonları çıkarıldıktan sonra görülen BATS sıcaklık farklarında, kış ayları sıcaklıklarında Türkiye üzerinde 1 ile 1.5^0C civarında sıcaklıklar artış görülmekteyken, CLM modeli çıktılarında ise özellikle ilkbahar aylarında sıcaklık artışları Türkiye üzerinde BATS modeline göre biraz daha farklılık gösterirken bu artış 2.5 ve 3.5^0C'leri bulmaktadır. BATS modelinin 2041:2070 yıllarından

Referansdan olan farklarının sonuçlarında görülen ciddi sıcaklık farkları vardır. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında Türkiye üzerinde 4-5^{0}C civarında artan sıcaklıklar görülürken, bu değerler yaz aylarında Doğu Anadolu ve Kafkaslar Bölgesinde 5^{0}C civarındadır. CLM modeli kış aylarında Karpatlar ve Türkiyenin doğusunda 4-5^{0}C civarında artış gösterirken, bu artış ilkbahar aylarında özellikle Türkiye'nin birçok bölgesinde görülmektedir. RCP senaryolarından sonuncu periyot (2070:2100) BATS çıktılarının referans simülasyonlardan olan farkları diğer periyotlara nazaran bu zaman aralığındaki sıcaklık artışlarının son derece yüksek olması önemlidir. Tüm mevsimlerde sıcaklık artışlarının 4^{0}C'nin üzerinde olduğu net bir şekilde görülmektedir. CLM sıcaklık çıktılarının referansdan olan farklarınında ise görülen en net artışın yaz aylarında Türkiye'nin doğusu, Kafkaslar, İspanya da görüldüğü ve 6-8^{0}C leri bulan bu artışın, aynı bölgelerde kışın ve ilkbahar aylarında da 5-7^{0}C' leri bulmaktadır.

Mevsimsel olarak referans simülasyonundan olan farklar alınan yağış verileri karşılaştırıldığında, ilk olarak bu 30 yıllık periyotta yağış artışının ilkbahar aylarında Alpler ve İtalyada 100 mm'leri bulduğu görülürken, Akdeniz kıyıları, Güneydoğu Anadolu Bölgesindede 100 mm'lere varan azalışlar görülmektedir. Özellikle sonbahar aylarında İspanya ve Portekiz kıyılarında 100 mm'leri aşan ciddi yağış miktarında azalışlar görülürken, aynı azalış bu mevsimde Türkiyenin batı kıyılarında ve Balkanlarda 100 mm'lere doğru olduğu tespit edilmiştir. CLM yağış çıktılarının ikinci 30 yıllık periyotlarda, referanslardan olan farkları gösterilmektedir. Bu farkların ilkbahar aylarında özellikle Adriyatik ve İtalyanın kuzeyi, Alpler Bölgesinde 100 mm'lere vardığı saptanırken, aynı mevsimde Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu Bölgesi ise aynı oranda yağış miktarında yağış azalmaları ile karşı karşıyadır. Periyotların çoğunda görülen bu net yağış değişimi, gelecekte yağış rejiminin de değişceğini vurgulaması açısından önemlidir. Kış aylarında kar su eş değer miktarlarına bakıldığında ise, Kış aylarında ise görülen azalma 50 ila 150 mm arasında olup, Alplerde , Türkiyenin Güney Doğu Bölgelerinde ve Rusyada görülmektedir. 2070-2100 periyotları arasında Türkiye'nin Doğu kısımlarında, Alplerde 300 mm'lere varan azalış şeklinde gösterirken, ilkbahar aylarında bu bölgelerde kar miktarındaki azalışlar oldukça fazla olup 300 mm'leri aşmaktadır. CLM modelinin sonuçlarıda BATS modelinden farklı değildir çünkü dramatiik değişikliklerin yer aldığı ilkbahar ve kış aylarında özellikle Türkiyenin Doğusu ve

Alplerde 300 mm ‘leri bulan kar miktarı azalışları görülürken, kış mevsiminde ayrıca Karpatlar ve Rusyada da azalışların 200 mm’leri bulduğu göze çarpmaktadır.

Bu çalışmada 21 yy. Gelecek iklim simülasyonlarının Akdeniz üzerinde iki ayrı BATS ve CLM yüzey modeliyle karşılaştırmalı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara ve istatistikler , model sonuçlarında nasıl bir iyileştirilmeye gidilebilir yol göstermektedir. Bundan sonraki çalışmalarda bu tez, daha başka model parametrizasyonları kullanılarak ve gelişmekte olan CLM modelinin olayları çözümlemesinde kullanılan parametrelerde olası değişiklerin ne gibi sonuçlar üreteceğine bakılabilir. Bir diğer yapılabilecek çalışma ise, modelin güneş radyasonu verileriyle maksimum minimum sıcaklık verileri karşılaştırdığında, CLM modelinin radyasyon dengesinde bazı parametrelerin değişkliğine gidilerek olası farklılıkların nasıl değiştiğine bakılabilir. İstatistiki açıdan ise “bias correction” denilen methotla olası farkların model grid noktalarına tekrardan uygulanarak simülasyonların tekrardan koşturulup, analiz edilmesi sonuçları büyük ölçüde etkileyeceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Ahrens, D. C., (1999). Meteorology Today, An Introduction to Weather, Climate, and the Environment, 506s.

Bonan, G.B. (1996). A land surface model (LSM version 1.0) for ecological, hydrological, and atmospheric studies: Technical description and users's guide. *NCAR Technical Note NCAR/TN-417+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 150 pp.*

Bozkurt, D., Turunçoğlu, U., Şen, Ö. L., Önol, B., Dalfes, N.H., (2011**).** Downscaled Simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterrean-Black sea region: evaluation of the reference period, *Clim. Dyn. 2012- 39:207–225*

Briegleb, B. P., 1992 . Delta-eddington approximation for solar radiation in the Ncar Community climate model, *J. Geophys. Res., 97, 7603–7612*

Cattiaux J., Douville H., Peings Y., 2013. European temperatures in CMIP5: origins of present day biases and future uncertainties

Clarke, L., Edmonds, J., Jacoby, H., Pitcher, H., Reilly, J., Richels, R. (2007). Scenarios of the greenhouse gas emission and atmospheric concentration Sub-report 2.1A of Synthesis and Assessment Product 2.1 by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington, US, Department of Energy, Office of Biological & Environmental Research, p 154

Collins, W.D. (2006). The formulation and atmospheric simulation of the Community Atmosphere Model version 3 (CAM3). *J. Climate, 19, 2144 -2161*

Collins, W.D., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., N. Gedney, P. Halloran , T. Hinton , J. Hughes, C. D. Jones ,M. Joshi , S. Liddicoat , G. Martin , F. O'Connor , J. Rae , C. Senior1 , S. Sitch, I. Totterdell, Wiltshire, A., and S.Woodward (2011). Development and evaluation of an Earth-System model- HadGEM2

Covey, C., AchutaRao, M. K., Cubasch, U., Jones, P., Lambert, S.J., Mann,M. E.,Philipis, T.J., Taylor, K.E (2003). An overview of results from the Coupled Model Intercomparison Project, *Global and Planetary Change 37.*

Deardoff, J. W., (1978). Efficient prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation, *J. Geophys. Res., 83, 1889–1903*

Desonie, D., PH. D., (2008). Climate, Causes and Effects of Climate Change, 11s

Dickinson, R. E., R. M. Errico, F. Giorgi, and G. T. Bates (1986). A regional climate model for the western United States, *Climatic Change*, *15*, 383–422.

Dickinson, R. E.,Henderson-Sellers, A. Ve Kennedy P.J., (1993). Biosphere Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version le as coupled to NCAR Community Climate Model. NCAR Tech. Note, TN-387+STR, 72pp.

Fujino, J., Nair, R., Kainuma, M., Masui, T., Matsuoka, Y. (2006). Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using aim global model. Energ J 343–353

Giorgi, F., and G. T. Bates, (1989). The climatological skill of a regional model over complex terrain, *Mon. Wea. Rev., 117, 2325–2347*

Giorgi, F., (1990). Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model*, J. Climate, 3, 941–963*

Giorgi, F., Mearns, L.O, Shields C., McDaniel L., (1998). Regional nested model simulations of present day and 2xCO2 climate over the Central Plains of the US. *Clim. Change, 40, 457-493*

Giorgi, F., Mearns L.O, (1999). Regional climate modelling revisited. An introduction to the special issue. *J. Geophys. Res., 104, 6335-6352*

Giorgi, F., X. Q. Bi, and Y. Qian (2003). Indirect vs. direct effects of anthropogenic sulfate on the climate of east asia assimulated with a regional coupled climate-chemistry/aerosol model**.** *Climatic Change, 58, 345–376*

Giorgi F., (2006). Regional climate modeling: Status and perspectives, Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.

Giorgi F., E. Coppola, F. Solmon, L. Mariotti, M. B. Sylla, X. Bi, N. Elguindi, G. T. Diro, V. Nair, G. Giuliani, U. U. Turuncoglu, S. Cozzini, I. Güttler, T. A. O'Brien, A. B. Tawfik, A. Shalaby, A. S. Zakey, A. L. Steiner, F. Stordal, L. C. Sloan, C. Brankovic, (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains, *Clim. Res. Vol. 52: 7–29, 2012*

Gordon, C., Cooper, C., Senior, C.A., Banks, H., Gregory, J.M., Johns T.C., Wood R.A., (2000). The Simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustment. Climate Dynamics 16 (2-3): 147-168

Grell, G.A., (1993). Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. *Mon. Wea. Rev., 121, 764–787*

Jones, C.D., Hughes, J.K, N. Bellouin , S. C. Hardiman , G. S. Jones , J. Knight, S. Liddicoat , F. M. O'Connor ,R. J. Andres , C. Bell, , K.-O. Boo A. Bozzo , N. Butchart , P. Cadule , K. D. Corbin, , M. Doutriaux-Boucher1 ,P. Friedlingstein , J. Gornall , L. Gray , P. R. Halloran G. Hurtt, , W. J. Ingram, , J.-F. Lamarque ,R. M.Law,Meinshausen M., Osprey , S., Palin, E.J., Parsons Chini, L., T. Raddatz, M. G. Sanderson ,A. A. Sellar , A. Schurer, P. Valdes, N. Wood,Woodward S., M. Yoshioka, and M. Zerroukat (2011).The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial. *Geosci. Model Dev., 4, 543– 570*

Hahmann A. N., Rostkier-Edelstein D., Warner T. T., Liu Y., Vandenberghe F., Swerdlin S. P., (2007). Toward a climate downscaling for the Eastern Mediterranean at high-resolution.

Henderson-Sellers, A., McGuffie, K., (1987). A Climate Modeling Primer. Department of Geography University of Liverpol, Research and Developments in Climate and Climatology, 1s

Hijioka Y, Matsuoka Y, Nishimoto H, Masui M, Kainuma M., (2008). Global GHG emissions scenarios under GHG concentration stabilization targets *J Global Environ Eng 13:97–108*

Kiehl, J. T., Hack, J.J, Bonan, G.B.,Boville, B.A., B. P. Breigleb, Williamson, D., Rasch P., (1996). Description ofthe ncar community climate model ccm

Tech. Rep. NCAR/TN-420+STR, National Center for Atmospheric Research

Krichak S. O., Albert P., Bassat K., Kunin P., (2007). The surface climatology of the eastern Mediterranean region obtained in a three-member ensemble climate change simulation experiment, Department of Geophysics and Planetary Sciences, Raymond and Beverly Sackler Faculty of Exact Sciences, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

Lawrence, P.J., Chase, **T.N.,** (2007). Representing a new MODIS consistent land surface in the Community Land Model (CLM3.0), *J. Geophys. Res.,112*.

Lawrence, D.M., P.E. Thornton, K.W. Oleson, and G.B. Bonan, (2007). The partitioning of evapotranspiration into transpiration, soil evaporation, and canopy evaporation in a GCM: Impacts on land-atmosphere interaction. *J. Hydromet.*, 8, 862-880.

Meehl, G., Stocker, T., Collins, W., Friedlingstein, A., Gaye, A., Gregory, J., (2007). IPCC *WG1 fourth assessment report.* Cambridge : Cambridge University Press

Meehl G.A., (2011). CMIP5: A five year climate change modeling research strategy

Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. T., Lamarque, J.-E. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300.

Moss, R.H., Edmonds, J.A, Kathy A. Hibbard, Martin R. Manning, Steven K. Rose, Detlef P. van Vuuren, Timothy R. Carter, Seita Emori, Mikiko Kainuma, Tom Kram, Gerald A. Meehl, John F. B. Mitchell, Nebojsa Nakicenovic, Keywan Riahi, Steven J. Smith, Ronald J. Stouffer, Allison M. Thomson, John P. Weyant & Thomas J. Wilbanks (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463, 747-756

Niu, G.-Y., and Z.-L. Yang, (2006). Effects of frozen soil on snowmelt runoff and soil water storage at a continental scale, *J. Hydrometeorol.*, 7, 93952.

Oleson, K.W., G.B. Bonan, and J. Feddema, (2010). The effects of white roofs on urban temperature in a global climate model. *Geophys. Res. Lett., 37, L03701, DOI:10.1029/2009GL042194*

Oleson, K.W., Bonan G. B., Feddema, J., Jackson, T., (2010). An examination of urban heat island characteristics in a global climate model. *J. Clim. 31 1848-1865, DOI:10.1002/joc.2201*

Önol B., Semazzi H. M., (2008).Regionalization of Climate Change Simulations over the Eastern Mediterrean, *Journal of Cimate V.22*

Önol B., Ünal Y.S., (2011). Assessment of Climate Change Simulations for Present and future Periods over Climate Zones of Turkey. Aeronautics & Astronautics Faculty, Meteorological Engineering

Önol B., Ünal Y.S., (2012). Assestment of climate changes simulations over climate zones. *Reg Environ Change*

Pal, J.S., Small, E., Eltahir, E. (2000). Simulation of regional scale of water and energy budgets: representation of subgrid cloud and precipitation processes within Regcm. *J. Geophys Res 105-29579-29594*

Riahi, K., Gruebler, A., Nakicenovic, N. (2007). Scenarios of long-term socio-e economic and environmental development under climate stabilization. *Technol Forecast Soc Chang 74:887–935, Special Issue: Greenhouse Gases - Integrated Assessment*

Roeckner, E., (2003). The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part II: Simulated climatology and comparison with observations. *Report in preparation, Max-Planck- Institut fu ̈r Meteorologie, Hamburg.*

Rummukainen M., (2010). State-of-the-art with regional climate models

Seth, A., Giorgi, F. (1998). The Effects on Domain Choice on Summer Precipitation Simulation and Sensitivity in a Regional Climate Model. *J. Climate 11, pp.2698-2712*

Sillmann J., Kharin V., V., Zhang X., Zwiers F. W., Bronaugh D., (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. *J. Geophys. Research: Atmospheres, V.118*

Sillmann J., Kharin V., V., Zhang X., Zwiers F. W., Bronaugh D., (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Model evaluation in the present climate. *J. Geophys. Research: Atmospheres, V.118*

Slingo, J. M., (1989). A gcm parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds. *J. Atmos. Sci., 46,1419–1427, 1989*

Smith, S.J., Wigley, T.M.L., (2006). Multi-gas Forcing stabilisation with the MiniCAM. *Energ J (Special Issue 3): 373–391*

Somot, S., Ruti, P.M, Med-CORDEX team, (2009). Outcomes of the Toulouse WCRP workshop (MeteoFrance/CNRM)

Steiner, A. L., J. S. Pal, S. A. Rauscher, J. L. Bell, N. S. Diffenbaugh, A. Boone, L. C. Sloan, and F. Giorgi, (2009). Land surface coupling in regional climate simulations of the West African monsoon. *Climate Dynamics, 33(6), 869–892, 2009*

Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G. H., (2011). A summary of the CMIP5 Experiment Design. *BAMS Article*

Thornton P.E., Zimmermann N.E., (2006). An Improved Canopy Integration Scheme for a Land Surface Model with Prognostic Canopy Structure. *J. Climate V.20*

Van Vuuren, D., Elzen, M., Lucas, P., Eickhout, B., Strengers, B., van Ruijven, B., Wonink, S., van Houdt, R. (2007). Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Clim Chang 81(2):119*

Van Vuuren, DP., Edmonds, J., Kainuma, M.L.T., Riahi, K., Thomson, A., Matsui T, Hurtt, G., Lamarque, J-F., Meinshausen, M., Smith, S., Grainer, C., Rose, S., Hibbard, KA., Nakicenovic, N., Krey, V., Kram, T. (2011). Representative concentration pathways: An overview. Climatic Change doi: 10.1007/s10584-011-0148-z

Wise, M.A, Calvin, K.V, Thomson, A.M, Clarke, L.E, Bond-Lamberty, B., Sands, R.D, Smith, S.J, Janetos, A.C, Edmonds, J.A (2009). Implications of limiting CO2 concentrations for land use and energy. *Science 324:1183–1186*

IPCC . (1990).First Assesment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change: http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml

IPCC. (1995).Second Assesment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change: http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml

IPCC. (2001).Third Assesment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change:http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml

IPCC. (2007).Fourth Assesment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change: http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml
IPCC. (2013).Fifth Assesment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change: http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Merve ACAR

Doğum Yeri ve Tarihi: 30/11/1988

Adres: İdealtepe Mahallesi, Mavikent Sitesi D-Blok Maltepe/İstanbul

E-Posta: merveacar.03@gmail.com

Lisans: İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü 2011

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- 2011 dönemi İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölüm 3.'liği

Yayın ve Patent Listesi:

1. Acar, M., Balli, C., Caglar, F., Tan, E., Onol, B., Karan, H., and Unal, Y. S., 2012: Cluster Analysis of the Trajectories for Forecasted Transport of Air Pollutants using WRF and HYSPLIT Models over Istanbul for January and July, 2009. Avrupa Yer Bilimleri Birliği 2012 (EGU2012) tarafından kabul edildi.

2. Acar, M., Balli, C., Tan, E., Aksoy, A., and Unal, Y. S., 2013: An Improvement in high- resolution wind forecasting of the WRF Model by using a 3DVAR analysis with radar data for Istanbul/Turkey. EGU2013 tarafından kabul edildi.

3. Acar, M., Balli, C., Tan, E., Karan, H., Aksoy, A., Caglar, F., Onol, B., Kahraman, A., Tilev, Ş., Demir, F., and Unal, Y. S., 2013: Lagrangian Model Forecast of The Transport and Dispersion of Toxic Gases/Particles Over Istanbul. ATMOS2013 tarafından kabul edildi.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR