



mgm.gov.tr

YENİ SENARYOLARLA TÜRKİYE İÇİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PROJEKSİYONLARI



Orman, Su Varsa Hayat Var.

ormansu.gov.tr

TR2013-CC

YENİ SENARYOLARLA TÜRKİYE İÇİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PROJEKSİYONLARI



Orman ve Su İşleri Bakanlığı
Meteorooloji Genel Müdürlüğü
Araştırma Dairesi Başkanlığı
Klimatoloji Şube Müdürlüğü

Hazırlayanlar :

Alper AKÇAKAYA
Osman ESKİOĞLU
Hakkı ATAY
Ömer DEMİR

Redaksiyon :

Utku M. SÜMER
Erdoğan BÖLÜK
Arzu TÜVAN
Hüseyin ARABACI
Mesut DEMİRCAN
Serhat ŞENSOY
Mithat EKİCİ
Yılmaz ACAR
Serpil YAĞAN
İzzet BALTA
Başak YAZICI

Grafik Tasarım ve Dizgi :

Muhammed Şevket GÜNEŞ

Baskı :

Meteorooloji Genel Müdürlüğü Matbaası

mgm.gov.tr

İÇİNDEKİLER

1. Rapor Hakkında	8
2. Dünya ve Türkiye İklimindeki Değişimler	10
2.1 Küresel İklimdeki Değişimler	10
2.2 Türkiye İklimindeki Değişimler.....	12
3. Hazırlık Safhası ve Metodoloji	14
3.1 Referans Periyot ve Bölge Seçimi	14
3.2 Yeni Nesil Konsantrasyon Senaryoları (RCPs).....	15
3.3 Genel Sirkülasyon Modelleri ve Kısa Geçmişi	26
3.4 CMIP5 (Coupled model Intercomparison Project Phase 5)	21
3.5 HadGEM2-ES Küresel Modeli	21
3.6 Bölgesel İklim Modelleri ve Ölçek Küçültme	22
3.6.1 Dinamik Ölçek Küçültme.....	23
3.6.2 RegCM-4.3.4	24
3.6.3 CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment).....	24
3.6.4 Parametrizasyon (Modelin Kalibrasyonu)	24
3.7 İklim Ekstremleri	25
4. Dünya ve Türkiye İçin İklim Projeksiyonları	28
4.1 Küresel Projeksiyonlar	28
4.1.1 Sıcaklık Projeksiyonları.....	28
4.1.2 Yağış Projeksiyonları	30
4.1.3 Deniz Seviyesi Değişimleri	30
4.1.4 Ekstremler.....	32
4.2 Türkiye İçin Bölgesel İklim Projeksiyonları	34
4.2.1 RCP4.5 Senaryosuna Göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları	36
4.2.2 RCP8.5 Senaryosuna Göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları	38
4.2.3 Eğilim Analizleri	40
4.2.4 Havzalar İçin Projeksiyonlar	44
5. Projeksiyonların Klimatolojisi ve Ekstremler	46
5.1 Dicle ve Fırat Havzalarında Yaz Mevsiminde Günlük Ortalama Sıcaklığın 25°C ve Üzerindeki Gün Sayılarının Değişimi.....	48
5.2 Model Sonuçlarının ve İstasyonlara Ait Gözlem Verilerinin Sıcaklık ve Yağış Parametrelerine Ait Eşik Değerlerinin Kıyaslanması	49
5.3 İstasyonlara En Yakın Grid Noktasında Referans Periyoda Ait Yüzdelik Eşik Değerlerinin Gelecek Simülasyonlarında Tekabül Ettiği Yüzdelik Dilimin Belirlenmesi.....	52
5.4 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Donlu Gün Sayılarının Değişimi	54
5.5 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Tropik Gün Sayılarının Değişimi	55
5.6 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Maksimum-Minimum Sıcaklık Farkının Ortalamasındaki Değişim	56
5.7 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim.....	57
5.8 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim.....	58
5.9 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Maksimum Sıcaklıkların Değişimi	59
5.10 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Minimum Sıcaklıkların Değişimi	60
6. Bulguların Kullanıcılar İle Paylaşılması	62
7. Planlanan Çalışmalar ve Değerlendirme	64
Kısaltmalar ve Bazı Tanımlamalar	65
Kaynaklar	66

ŞEKİLLER

Şekil-2.1: 1901-2012 Periyodunda Gözlenmiş Küresel Ortalama Yüzeysel Sıcaklığı Anomalileri. (IPCC,2013).....	11
Şekil-2.2: 1901-2010 ve 1951-2010 Periyotlarında Gözlenen Yağış Değişimleri. (IPCC,2013)	11
Şekil-3.1: RCM'de (RegCM4.3.4) Domain Alanının Topografya Görüntüsü	15
Şekil-3.2: Genel Sirkülasyon Modellerinin (GCMs) Gelişim Tablosu	19
Şekil-3.3: Düşük Çözünürlük (a) ve Yüksek Çözünürlük (b) Arasındaki Fark	22
Şekil-3.4: Bölgesel İklim Modelinde Spesifik Bir Alanın Tanımlanması	23
Şekil-3.5: Model Grid Yapısı	24
Şekil-3.6: Parametrizasyon Örneği	25
Şekil-3.7: Ekstrem Hava Olaylarının İklim Değişikliği Tarafından Tetiklenmesi. (IPCC,2013)	26
Şekil-4.1: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre 2081-2100 Periyodu Çoklu Modellerinin Yağış Değişim Sonuçları (RF:1986-2005) (IPCC,2013)	30
Şekil-4.2: Küresel Modellerin RCP4.5 Senaryosu (sol) ve RCP8.5 Senaryosuna (Sağ) Göre Türkiye İçin Gösterdikleri Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması	35
Şekil-4.3: RCP4.5'e Göre Sıcaklık Projeksiyonları	36
Şekil-4.4: RCP4.5'e Göre Yağış Projeksiyonları	37
Şekil-4.5: RCP8.5'e Göre Yağış Projeksiyonları	38
Şekil-4.6: RCP8.5'e Göre Yağış Projeksiyonları	38
Şekil-4.7: RCP4.5'e Göre Havza Bazlı Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları	44
Şekil-4.7: RCP8.5'e Göre Havza Bazlı Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları	45
Şekil-6.1: İnternet Ara Yüzünden Bir Görüntü	63

TABLolar

Tablo-1.1:Çalışmanın Temel Özellikleri	9
Tablo-3.1: RCP Tipleri (IPCC,2007).....	16
Tablo-3.2: Güncel HadGEM2 Versiyonları (The HadGEM2 Development Team, 2011)	22
Tablo-4.1: CMIP5 Sıcaklık ve deniz seviyesi değişimleri. (IPCC,2013)	29
Tablo-4.2: 1971-2000 Referans periyodu mevsimlik ortalama sıcaklıklarının ve gözlem verileri ile karşılaştırılması	34
Tablo-4.3: Çalışmada Kullanılan GCM ve RCM Genel Özellikleri	36
Tablo-5.1: RCP4.5 Senaryosuna Göre Dicle ve Fırat Havzalarında Yaz Mevsiminde Günlük Ortalama Sıcaklığın 25 °C ve Üzerindeki Gün Sayılarında ki Artış Beklentileri	48
Tablo-5.2: RCP8.5 Senaryosuna Göre Dicle ve Fırat Havzalarında Yaz Mevsiminde Günlük Ortalama Sıcaklığın 25 °C ve Üzerindeki Gün Sayılarında ki Artış Beklentileri	48
Tablo 5.3 Referans Periyodun Maksimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP4.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Maksimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdeler Eşik Değeri	52
Tablo 5.4 Referans Periyodun Maksimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP8.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Maksimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdeler Eşik Değeri	52
Tablo 5.5 Referans Periyodun Minimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP4.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Minimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdeler Eşik Değeri	52
Tablo 5.6 Referans Periyodun Minimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP8.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Minimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdeler Eşik Değeri	53
Tablo 5.7 Referans Periyodun Ortalama Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP4.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Minimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdeler Eşik Değeri	53
Tablo 5.8 Referans Periyodun Ortalama Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP8.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Minimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdeler Eşik Değeri	53

GRAFİKLER

Grafik-2.1: 1961-1990 Referans Periyoduna Göre Yıllık Küresel Ortalama Yüzey Sıcaklığı (GMST) Anomalileri	10
Grafik-2.2: Deniz Seviyesi Değişimleri (NASA,2013)	12
Grafik-2.3: Küresel CO2 Değişimi, 1950-2010. (IPCC,2013)	12
Grafik-2.4: Türkiye Uzun Yıllar Ortalama Sıcaklık Anomalileri	13
Grafik-2.5: Türkiye Yıllık Sıcaklık Ortalamaları (1940 - 2012)	13
Grafik-2.6: Türkiye Uzun Yıllar Yağış Grafiği	13
Grafik-2.7: Türkiye Uzun Yıllar Yağış Anomalileri	13
Grafik-3.1: Küresel Toplam Radyatif Zorlama (RCP Concentration & Data Group,2010)	16
Grafik-3.2: Küresel Emisyonlar (RCP Concentration & Data Group,2010)	17
Grafik-3.3: Küresel Toplam Sera Gazı Konsantrasyonları (RCP Concentration & Data group,2010)	17
Grafik-3.4: Ekstrem Hava Olaylarının Sayılarının Yıllara Göre Değişimi (MGM, 2013)	27
Grafik-4.1: Küresel Ortalama Yüzey Sıcaklığı Projeksiyonları	28
Grafik-4.2:RCP Senaryolarına Göre Beklenen Ortalama Deniz Seviyesi Yükselişi. (IPCC,2013)	31
Grafik-4.3: IPCC-AR5 Küresel Ekstrem Olaylar Projeksiyonları (IPCC,2013)	32
Grafik-4.4: 2013-2099 yıllık ortalama sıcaklıklarının referans periyottan farkları (RCP4.5)	40
Grafik-4.5: 2013-2099 ortalama günlük yağışların referans periyottan farkları (RCP4.5)	41
Grafik-4.6: 2013-2099 yıllık ortalama sıcaklıklarının referans periyottan farkları (RCP8.5)	42
Grafik-4.7: 2013-2099 ortalama günlük yağışların referans periyottan farkları (RCP8.5)	42
Grafik-5.1: Türkiye geneli ortalama yaz sıcaklıkları yüzdesi (Tüm Periyotlar)	47
Grafik-5.2: Modele ve İstasyona Ait Ortalama Sıcaklık Eşik Değerlerinin Kıyası	49
Grafik-5.3: Modele ve İstasyona Ait Maksimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin Kıyası	49
Grafik-5.4: Modele ve İstasyona Ait Minimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin Kıyası	50
Grafik-5.5: Modele ve İstasyona Ait Yağış Eşik Değerlerinin Kıyası	50
Grafik 5.6 RCP4.5 Senaryosuna Göre Donlu Gün Sayılarındaki Değişim	54
Grafik 5.7: RCP8.5 Senaryosuna Göre Donlu Gün Sayılarındaki Değişim	54
Grafik 5.8: RCP4.5 Senaryosuna Göre Tropik Gün Sayılarındaki Değişim	55
Grafik 5.9: RCP8.5 Senaryosuna Göre Tropik Gün Sayılarındaki Değişim	55
Grafik 5.10:RCP4.5 Senaryosuna Göre Maksimum-Minimum Sıcaklık Farkının Ortalamasındaki Değişim	56
Grafik 5.11:RCP8.5 Senaryosuna Göre Maksimum-Minimum Sıcaklık Farkının Ortalamasındaki Değişim	56
Grafik 5.12: RCP4.5 Senaryosuna Göre Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim	57
Grafik 5.13 RCP8.5 Senaryosuna Göre Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim	57
Grafik 5.14: RCP4.5 Senaryosuna Göre Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim	58
Grafik 5.15: RCP8.5 Senaryosuna Göre Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim	58
Grafik 5.16: RCP4.5 Senaryosuna Göre Maksimum Sıcaklıkların Değişimi	59
Grafik 5.17: RCP8.5 Senaryosuna Göre Maksimum Sıcaklıkların Değişimi	59
Grafik 5.18: RCP4.5 Senaryosuna Göre Minimum Sıcaklık Değişimi	60
Grafik 5.19: RCP8.5 Senaryosuna Göre Minimum Sıcaklık Değişimi	60



1. RAPOR HAKKINDA

TR2013-CC'de öncelikle geçmişten günümüze kadar olan süreçte dünyada ve ülkemizdeki iklim değişikliği olgusu gözlem verilerine dayanılarak analiz edilmiş ve mevcut durum ortaya konulmuştur. IPCC 5. Değerlendirme Raporu küresel ortalama yüzey sıcaklığının endüstri öncesine göre 0.9 °C yükseldiğini, sıcaklık artışında insan etkisinin neredeyse kesin (%95) olduğunu ve acilen önlem alınması gerektiğini ortaya koymuştur. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 1940-2012 ölçüm verileri analiz edildiğinde 1971-2000 referans periyoduna göre Türkiye'nin ortalama sıcaklığı 13.2°C'dir. 1994 yılından buyana iki yıl hariç (1997 ve 2011) sürekli pozitif anomaliler (2010 yılında +2°C) görülmektedir. Bu bulgular IPCC 5. Değerlendirme Raporunun ana mesajına paralellik göstermektedir.

TR2013-CC'de dile getirilen diğer bir husus, MGM'nin bölgesel iklim projeksiyonları üretme çalışmaları ve bunların değerlendirilmesidir. Gelecek iklim tahmin etmek, belli senaryolar oluşturarak bunlara ait projeksiyonlar üretmek oldukça karmaşık bir süreci ifade etmektedir. Bu karmaşıklığın temel nedeni iklimin ve iklim bileşenlerinin (Atmosfer, hidrosfer, kriyosfer, biyosfer ve litosfer) arasındaki süreçlerin ve ilişkilerin karmaşık bir yapıya sahip olmasıdır. Dizayn edilen modellerde bu ilişki ve süreçlerin

mümkün olan en iyi şekilde temsil edilmesine gayret gösterilmektedir. Bu gayretleri etkileyen en önemli husus ise bilişim teknolojisindeki gelişmelerdir. Bilgisayar sistemlerindeki ilerleme iklim model çalışmalarının da gelişmesine olanak sağlamakta ve belirsizliklerin azalmasını desteklemektedir. Bu karmaşık ve zor çalışmaların daha düzenli ve organize yürütülmesi, ülkelere ve karar vericilere bilimsel dayanağı olan sağlam veriler sunulması amacıyla, 1990 yılında **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)** kurulmuştur. Bu kuruluş iklim değişikliği konusunda, tüm dünyadan birçok bilim adamının katkısı ile belli aralıklarla en geniş kapsamlı ve en güvenilir raporları yayınlamaktadır. İklim değişikliğinin fiziksel temelde incelendiği, IPCC 1. Çalışma Grubunun raporu (IPCC-WG1-AR5) "Climate Change 2013: The physical Science Basis" 2013 Eylül ayında İsveç'te tüm dünyaya duyurulmuştur. MGM, çalışmasında, IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda kullanılan senaryolardan en az 2' si ve küresel modellerin en az 3' ü ile, dinamik ölçek küçültme yöntemi kullanarak Türkiye'nin 2100'e kadarki periyotta bölgesel iklim değişikliği projeksiyonlarını üretmeyi hedeflemektedir. TR2013-CC'de, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait HadGEM2-ES küresel model sonuçlarının RegCM4 bölgesel modeli ile ölçek küçülterek üretilen projeksiyonları ele alınmıştır. Bir diğer önemli husus ise elde edilen



Çalışmalardan daha güvenilir sonuçlar elde etmek için diğer 2 küresel modelle çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, MGM' nin çalışmalarının HadGEM2-ES küresel modeli çıktılarıyla elde edilen ilk bulgular değerlendirilmiştir. Elde edilen ilk bulgular değerlendirilmiştir. Daha sağlıklı sonuçlar elde etmek amacıyla GFDL ve MPI küresel modeli ile çalışmalar devam etmektedir.

bulguların her kesimden ilgili tüm kullanıcılara hızlı ve kolay bir şekilde ulaşılabilir kılınmasıdır. Bunu sağlamak için, kullanımı kolay bir internet ara yüzü yapılmıştır ve internet erişiminin olduğu her yerden kolayca ulaşılabilir olması sağlanacaktır. Platformun geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir.

Rapordaki ve devamında gelecek diğer raporlardaki bulguların bilimsel araştırmalar ile iklim değişikliğine karşı yürütülecek uyum çalışmalarında, Türkiye'nin iklim değişikliği müzakerelerinde daha doğru

pozisyon belirlemesi, pozisyonunu güçlendirmesi ve 2020 sonrası yeni emisyon rejimine yönelik politikalarını belirlemede yardımcı olması TR2013-CC'nin ana misyonunu oluşturmaktadır.

TR2013-CC misyonu

- Uyum çalışmalarına girdi sağlamak
- Ülkemizin 2020 sonrası emisyon rejiminde pozisyon almasına yardımcı olmak.

Tablo-1.1:Çalışmanın Temel Özellikleri

Fazlar	GCM	RCM	Çözünürlük (Km)	Domain Büyüklüğü	Hassasiyet Analizleri (1971-2000)	Projeksiyon Periyodu	Senaryo
FAZ-I Projeksiyonların Üretilmesi	HadGEM2-ES	RegCM4.3.4	20X20	130x180	<ul style="list-style-type: none"> •CRU •UDEL •UDEL-C •GSMs RAW DATA 	1971-2000 RF 2013-2040 2041-2070 2071-2099	RCP4.5 RCP8.5
	GFDL-ESM2M	Devam ediyor.					
	MPI-ESM-MR	Devam ediyor.					
FAZ-II Kullanıcılara Ulaşılması	Her kesimden tüm kullanıcılara ulaşmak amacı ile kullanıcıya bir internet ara yüzü geliştirilmektedir. Bu ara yüze internet bağlantısı olan her yerden ulaşılacaktır.						



2. DÜNYA ve TÜRKİYE İKLİMİNDEKİ DEĞİŞİMLER

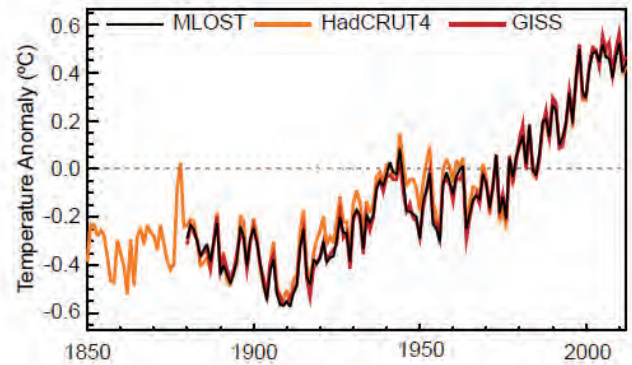
Bu bölümde dünyada ve ülkemizde, ölçüm yapılan zamanlarda, geçmişten günümüze meydana gelen iklim değişikliklerine genel olarak değinilmiştir.

2.1. Küresel İklimdeki Değişimler

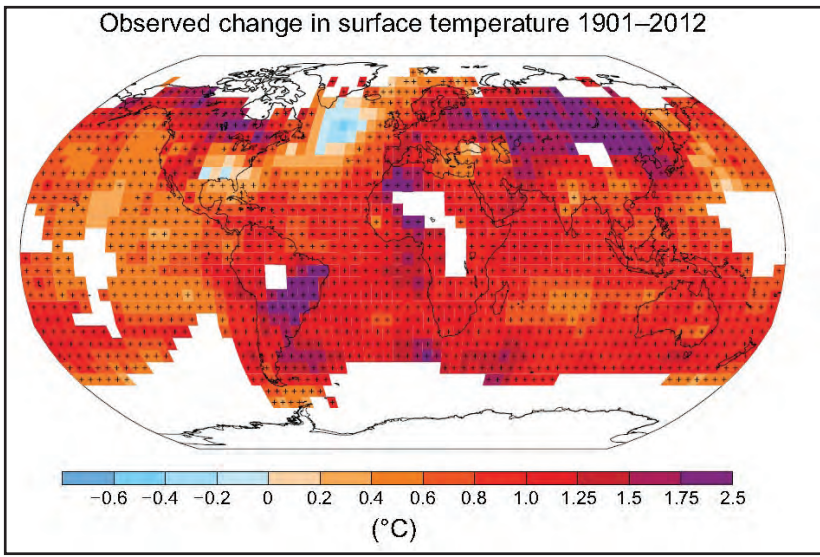
Küresel iklim değişikliği konusunda en kapsamlı ve en güvenilir bilgiler IPCC tarafından derlenmekte ve belli aralıklarla rapor halinde tüm dünyaya duyurulmaktadır. Bu raporlardan en sonuncusu 2013 eylül ayında İsveç'te dünyaya duyurulmuş ve iklim değişikliği ile ilgili en son gelişmeler ve bulguları kamuoyu ile paylaşmıştır.

Rapora göre, iklim sistemindeki ısınma, özellikle 1950'den sonra, çok açık şekilde görülmektedir. Atmosfer ve okyanusların ısınması yanında, kalıcı kar örtüsünde ve buzullarda azalmalar, deniz seviyesinde yükselmeler ve sera gazları konsantrasyonlarında artışlar açık şekilde gözlenmektedir. 1850-1900 periyoduna göre, dünyada endüstri öncesi dönemden günümüze kadar yaklaşık 0.9°C'lik sıcaklık artışı meydana gelmiştir ve bu artışın 0.6°C'lik kısmı 1950'den sonra gerçekleşmiştir. Yağışlarda ise düzensizliğin artacağı, kurak ve ıslak periyotlar ile kurak ve ıslak alanlar arasındaki farkın açılacağı belirtilmektedir. Bunun yanında ortalama deniz seviyesi 1901-2010 periyodunda 19 cm yükselmiştir ve bu oran son 2 bin yılda ulaşılan en yüksek değerdir. CO₂ miktarı

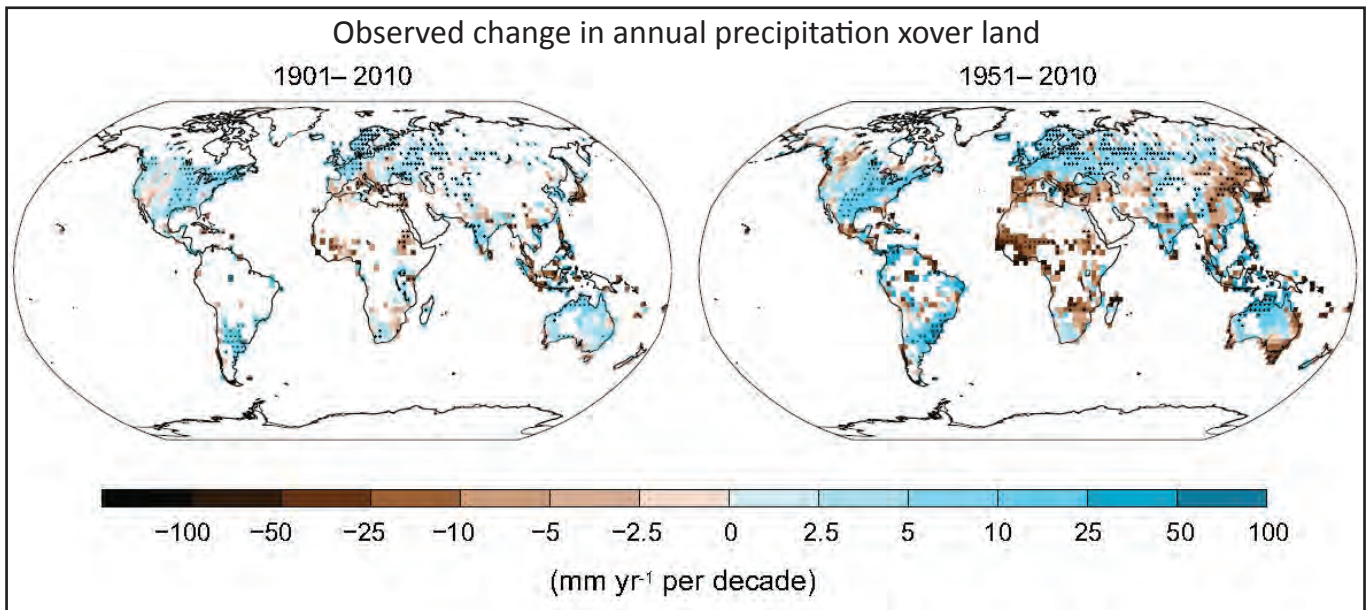
yine endüstri öncesi periyoda göre %40 artmıştır ve son 800 bin yılda en yüksek konsantrasyon değerine ulaşmış olup sıcaklık artışında temel tetikleyicinin karbondioksit konsantrasyonundaki bu artış olduğu belirtilmiştir. Raporda ayrıca iklim sisteminde meydana gelen bu değişimlerin büyük oranda insan kaynaklı faaliyetler tarafından tetiklendiği, %95 güvenilirlikle, bildirilmiştir.



Grafik-2.1: 1961-1990 Referans Periyoduna Göre Yıllık Küresel Ortalama Yüzey Sıcaklığı (GMST) Anomalileri. Değerler Kara-Yüzey Hava Sıcaklığı (LSAT) ve Deniz Yüzey Sıcaklığı (SST) Veri Setlerinden (HadCRUT4, GISS, NCDC, MLOST) Derlenmiştir. (IPCC,2013)



Şekil-2.1: 1901-2012 Periyodunda Gözlenmiş Küresel Ortalama Yüzey Sıcaklığı Anomalileri. (IPCC,2013)

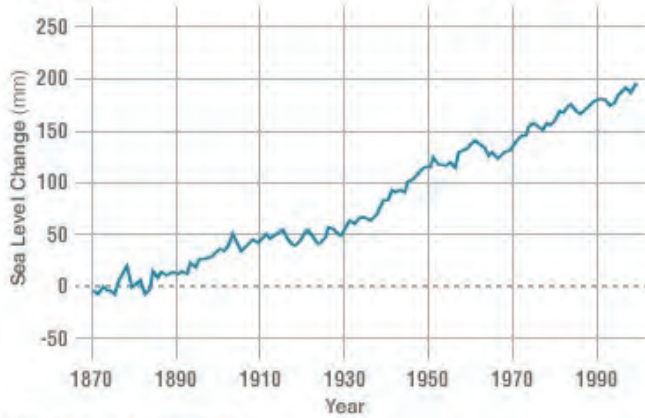


Şekil-2.2: 1901-2010 ve 1951-2010 Periyotlarında Gözlenen Yağış Değişimleri. (IPCC,2013)

GROUND DATA: 1870-2000**RATE OF CHANGE**

Data source: Coastal tide gauge records.
Credit: CSIRO

↑ **1.70** mm*

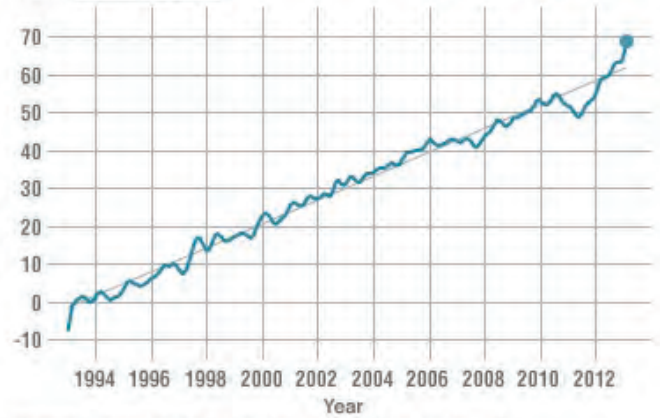


*estimate for 20th century

SATELLITE DATA: 1993-PRESENT**RATE OF CHANGE**

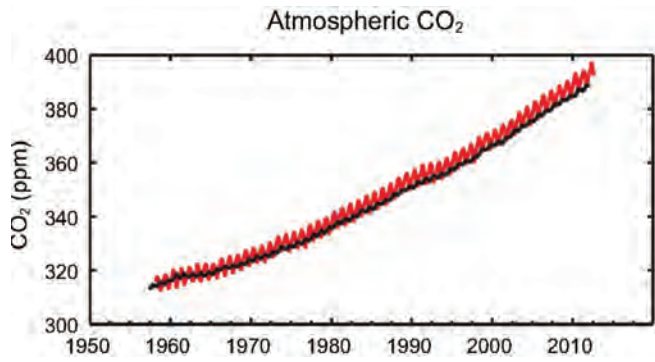
Data source: Satellite sea level observations.
Credit: CLS/Cnes/Leos

↑ **3.18** mm



Inverse barometer applied and seasonal signals removed.

Grafik-2.2: Deniz Seviyesi Değişimleri (NASA,2013)



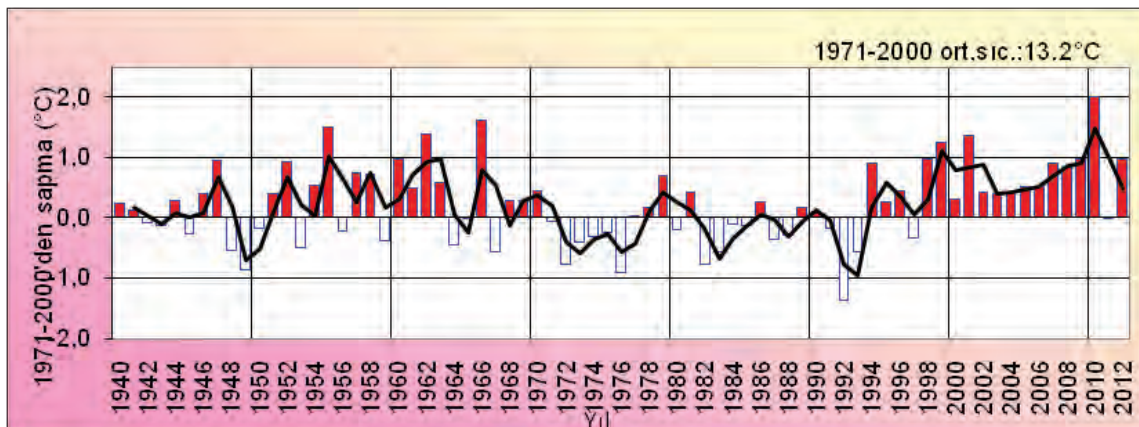
Grafik-2.3: Küresel CO₂ Değişimi, 1950-2010. (IPCC,2013)

Ülkemizde 1971-2000 referans periyoduna göre ortalama sıcaklık 13.2°C'dir. Özellikle 1990'lı yıllardan itibaren sıcaklıkların önemli ölçüde arttığı görülmektedir. 1994-2012 periyodunda 1997 yılı ve 2011 yılları hariç bütün yıllarda pozitif anomaliler gözlenmiştir. Özellikle 2010 yılı en sıcak yıl olarak kayıtlara geçmiştir. 1997 ve 2011 yıllarında anomalilerdeki düşüşün ise volkanik patlamalar nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

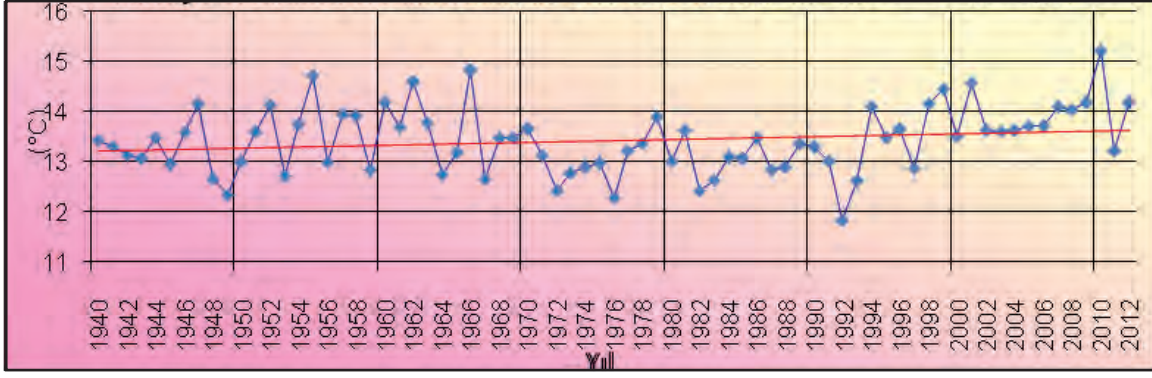
2.2. Türkiye İklimindeki Değişimler

IPCC'nin küresel ölçekteki bulgularına paralel olarak Türkiye'de de ortalama yüzey sıcaklıklarında artış eğilimleri gözlenmektedir. Bununla birlikte yağışlarda genel olarak bir artış ya da azalmadan daha çok, yağış rejimlerinde düzensizlikler, kurak ve nemli bölgeler arasında, yağışlı ve yağışsız periyotlar arasındaki farkların arttığı gözlenmektedir.

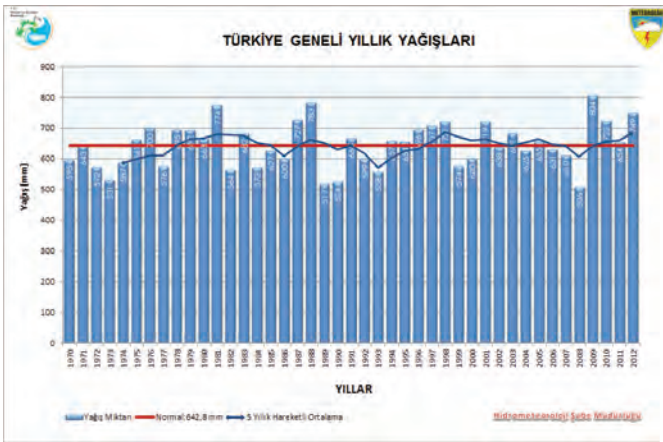
Yağışlarda ise, Türkiye ortalaması için bariz bir artış, azalış eğilimi gözlenmemektedir. Ülkemizin yıllık ortalama yağışı 642.8 mm'dir. 2006, 2007, 2008 sezonunda kurak bir periyot yaşanırken, 2009-2012 periyodu yağışlarda pozitif anomaliler gözlenmiştir. Özellikle 2009 yılı kayıtlara en yağışlı yıl (804 mm), 2008 yılı en kurak yıl (506 mm) olarak kayıtlara geçmiştir. En kurak ve en yağışlı yılların birbirlerini takip eden yıllar olması dikkat çekmektedir.



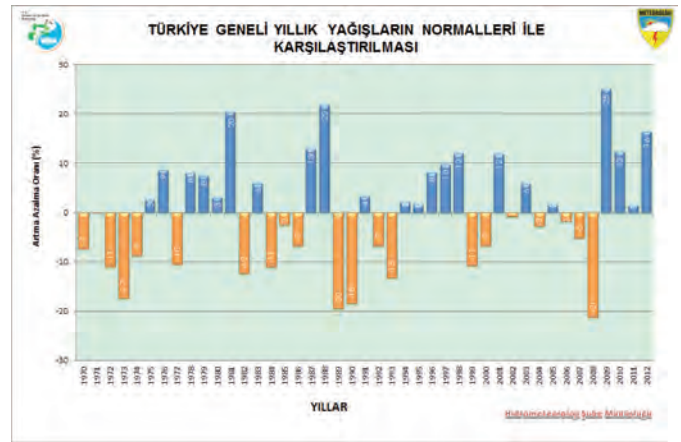
Grafik-2.4: Türkiye Uzun Yıllar Ortalama Sıcaklık Anomalileri



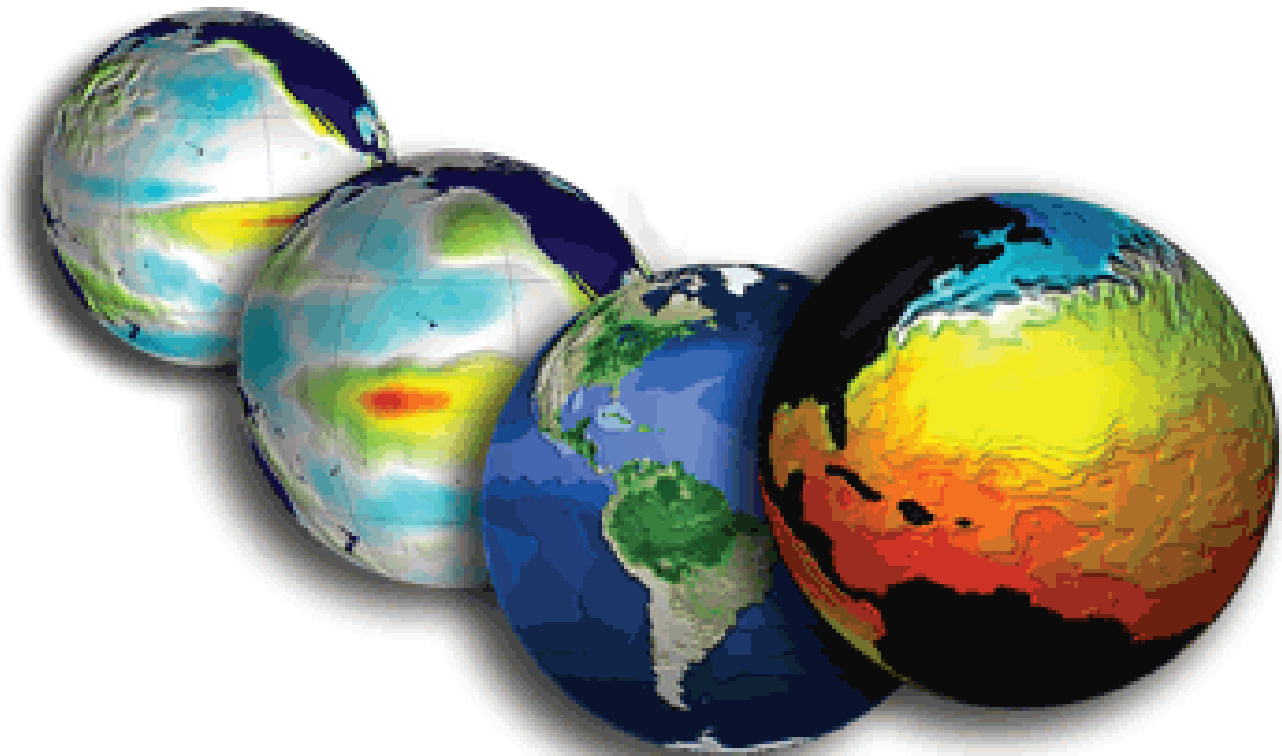
Grafik-2.5: Türkiye Yıllık Sıcaklık Ortalamaları (1940 - 2012)



Grafik-2.6: Türkiye Uzun Yıllar Yağış Grafiği



Grafik-2.7: Türkiye Uzun Yıllar Yağış Anomalileri





3. HAZIRLIK SAFHASI ve METODOLOJİ

TR2013-CC'de ölçek küçültme yöntemi ile üretilen bölgesel iklim projeksiyonları, CIMIP5 projesi kapsamındaki küresel modellere ve IPCC 5. Değerlendirme Raporu için oluşturulan RCP senaryolarına dayanmaktadır. Senaryolardan mutedil olarak nitelendirebileceğimiz RCP4.5 ve kötümser olarak nitelendirebileceğimiz RCP8.5 seçilmiştir.

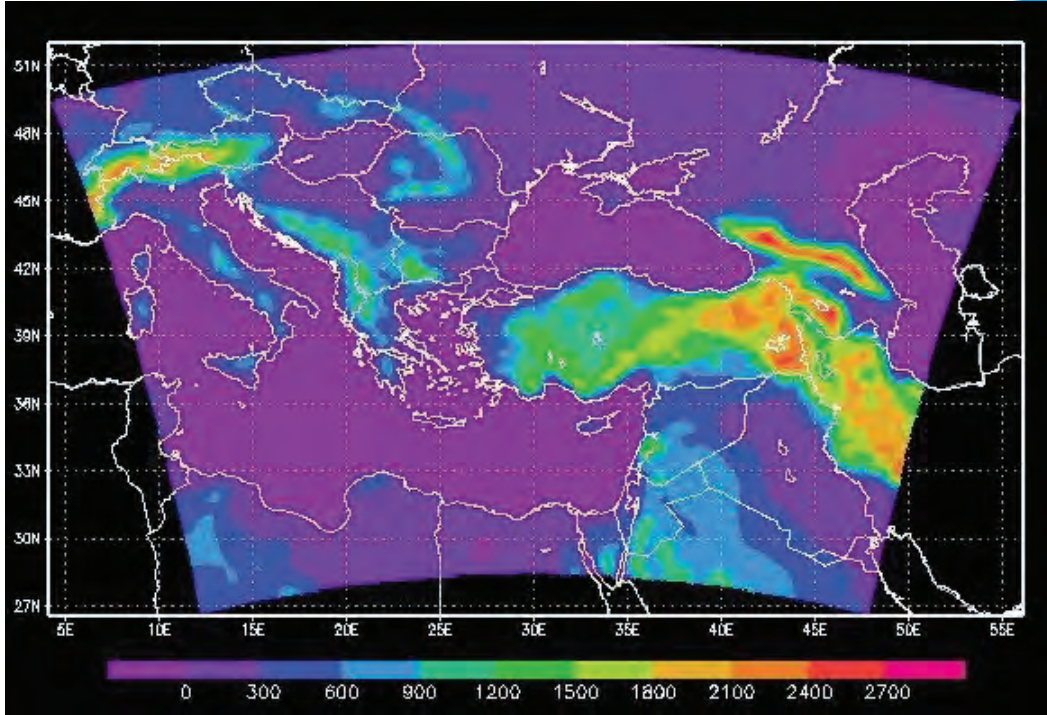
Bölgesel iklim projeksiyonları üretme çalışmalarına başlamadan önce bir dizi hazırlık çalışmaları yürütülmüştür. Bu kapsamda, 2011 yılında yüksek kapasiteli bilgisayar alımı yapılmış, çalışmaları yürütecek personelin kapasite geliştirme eğitimleri ve çalışmalarda danışmanlık hizmetleri için İTÜ Meteoroloji Mühendisliği öğretim üyeleri ile işbirliği gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda gerek bölgesel model ve küresel modellerin seçimi gerekse domain alanı seçimi konularında eksiklikler giderilmiştir. Bunun yanında çıktılar ile bölgesel projeksiyonlar üretilecek küresel model verileri (3 küresel model) merkezi İtalya'da bulunan ICTP merkezine ait sunucudan, kurum bilgisayarlarına indirilmiştir. Bu veriler çok yüksek boyutlarda olduğundan (24

TB) bu işlem 3 ay gibi bir zaman almıştır. İndirilen verilerin bölgesel model ile çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. Bu işlemlerle birlikte, çalışılacak periyot aralıkları, referans periyodu ve domain alanı belirlenmiştir. Bunun ardından bölgesel iklim modeli çalışmalarına başlamadan önce en iyi model konfigürasyonunu bulmak için parametrizasyon çalışmaları yapılmıştır.

3.1 Referans Periyot ve Bölge Seçimi

Bu tür çalışmalarda referans periyodun, ısınmanın fazla olduğu son dönemi kapsamaması sıcaklık artışı beklentisinin daha net ortaya konulması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle 1971-2000 yılları referans periyot olarak seçilmiştir.

Domain alanı seçiminde bir yandan bilgisayar kapasitesi ve iş süresi göz önüne alınmış diğer yandan bölgemizi etkileyen denizsellik ve hava sistemlerinin etkilerini yansıtabilecek şekilde optimum bir domain alanı seçilmeye gayret edilmiştir. Seçilen domain alanı 27.00°-51.00° kuzey enlemleri ve 5.00°-55.00° doğu boylamları arasında yer almaktadır.



Şekil-3.1: RCM'de (RegCM4.3.4) Domain Alanının Topografya Görüntüsü

3.2 Yeni Nesil Konsantrasyon Senaryoları (RCPs)

IPCC 4. Değerlendirme Raporu'nun yayınlanmasının ardından, 2007 yılında Hollanda'da gerçekleştirilen IPCC Uzmanlar Toplantısında IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda kullanılacak senaryolar ile ilgili bir dizi kararlar alınmış ve senaryoların ana hatları belirlenmiştir. Yeni konsantrasyon senaryoları Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP) olarak adlandırılmaktadır. Aynı toplantıda belirlenen özellikler bakımından literatür taranmış ve radyatif

zorlama seviyeleri ve rotaları için 4 RCP tipi tanımlanmıştır.

RCP8.5 yüksek radyatif zorlama ve konsantrasyon rotasıdır. SRES senaryoları içerisinde A2 ve A1F1 senaryoları ile benzerlik göstermektedir. Düşük rota (RCP3-PD) ile arasındaki fark, iklimin bu senaryoya karşı AOGCM'ler yardımı ile görüntülenen tepkisinin değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

RCP3-PD ise düşük radyatif zorlama ve konsantrasyon rotasıdır. Senaryonun temelini yüzyıl sonlanmadan emisyonların ya da radyatif zorlamanın zirve yaparak düşüşe geçeceği varsayımı oluşturmaktadır. Önce zirveye ulaşma ve sonra düşme varsayımı, iklim camiası için yeni bir yaklaşımdır. Bundan dolayı, senaryonun iklim değişikliğinin ve onun etkilerinin “geri çevrilebilirliği” konusunda yeni bilimsel bulgular üretmesi beklenmektedir.

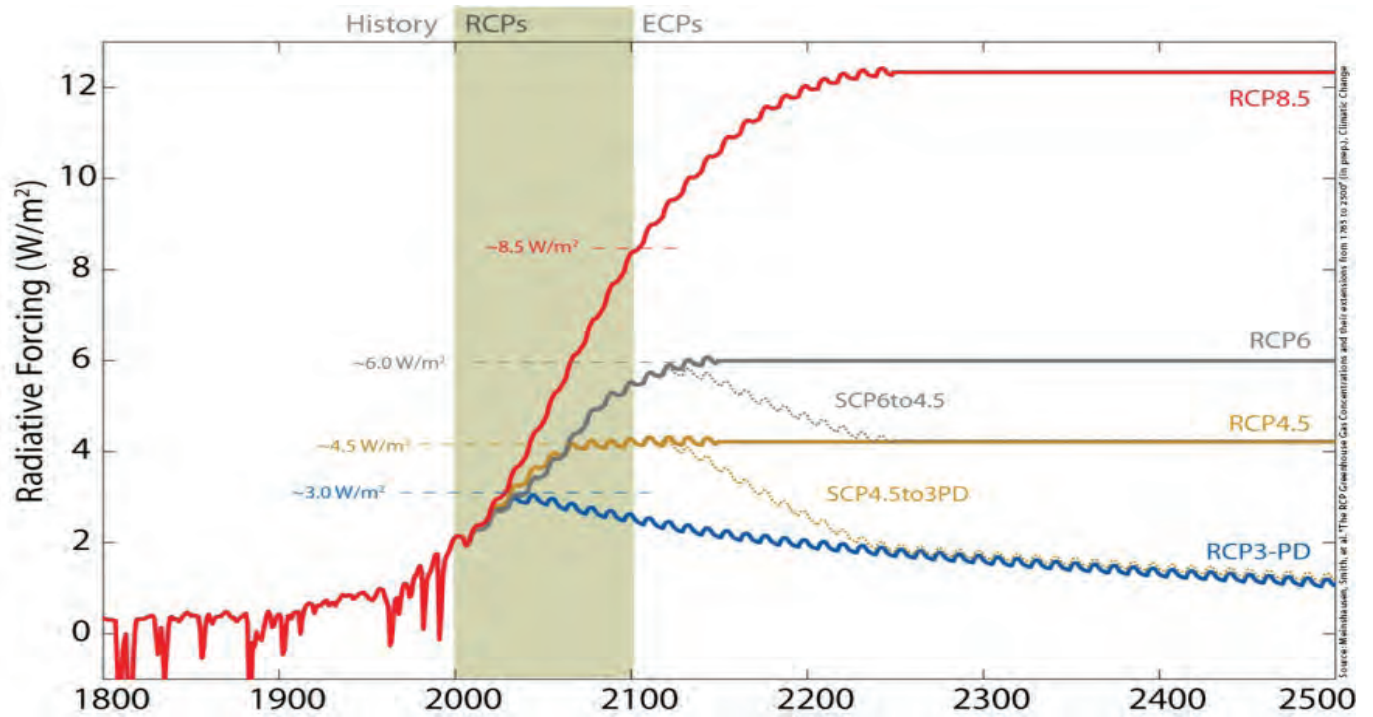
RCP45 ise bir orta stabilizasyon rotası olup 2100-2150 yılları arasında radyatif zorlamanın 4.5 W/m^2 ’de sabitleneceğini varsaymaktadır. Bu senaryonun diğer senaryolara göre iki avantajı bulunmaktadır.

Bunlardan birincisi yüksek rota ile arasındaki farktan dolayı çok iyi sinyal elde edilebilmesi, ikincisi ise literatürde bu rota ile ilgili çok sayıda yayınlanmış çalışmanın bulunmasıdır.

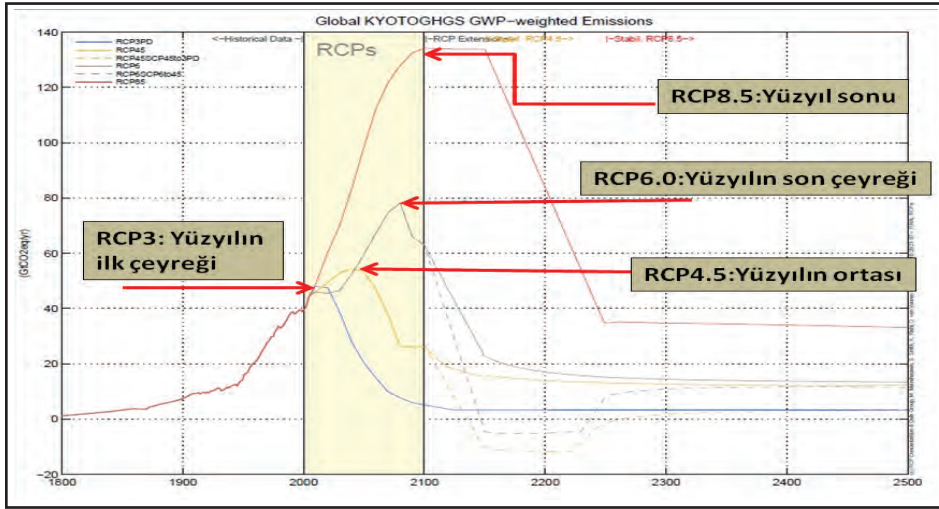
İkinci orta rota RCP6’dır ve 2100’den sonra yaklaşık 6 W/m^2 civarında radyatif zorlamanın sabitleneceği varsayılmaktadır. İklim model grupları açısından, iki farklı orta konsantrasyon rotasının olması bütün RCP’lerin çalıştırılabilmesi açısından oldukça büyük kolaylık sağlamıştır.

Tablo-3.1: RCP Tipleri (IPCC,2007)

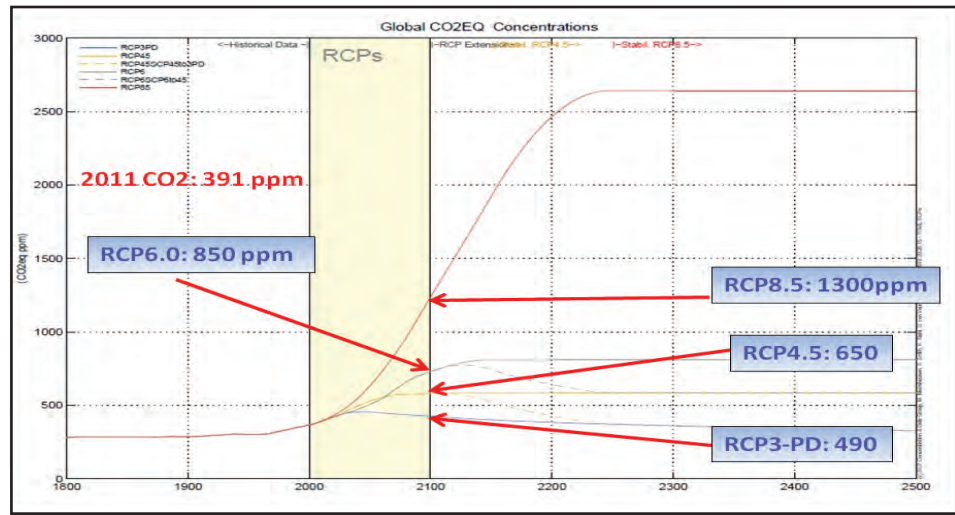
RCPs	Radyatif Zorlama	Zaman	Radyatif Zorlama Değişimi	Toplam Konsantrasyon (CO2 eşdeğeri)	Emisyonlar (KYOTO protokolü sera gazları)
RCP 8.5	$>8.5 \text{ W/m}^2$	2100’de	Yükselme	$\sim 1370 \text{ ppm}$ (2100’de)	2100 e kadar artış devam ediyor
RCP 6.0	$\sim 6.0 \text{ W/m}^2$	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	$\sim 850 \text{ ppm}$ (2100’de)	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş
RCP 4.5	$\sim 4.5 \text{ W/m}^2$	2100 öncesi	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	$\sim 650 \text{ ppm}$ (2100’de)	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
RCP3-PD*	$\sim 3.0 \text{ W/m}^2$	2100 öncesi	3.0 W/m^2 ’e ulaşmadan zirve ve düşüş	Zirve $\sim 490 \text{ ppm}$ ve düşüş (2100’de)	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş



Grafik-3.1: Küresel Toplam Radyatif Zorlama (RCP Concentration & Data Group,2010)



Grafik-3.2: Küresel Emisyonlar (RCP Concentration & Data Group,2010)



Grafik-3.3: Küresel Toplam Sera Gazı Konsantrasyonları (RCP Concentration & Data group,2010)

3.3 Genel Sirkülasyon Modelleri ve Kısa Geçmişi

İklim, kendini oluşturan ve birbiri ile ilişkili çok sayıda bileşenin olması ve geniş alansal ve zamansal fiziksel süreçleri nedeniyle simülasyon yapılması en karmaşık jeofiziksel sistemlerden biridir. İklim, atmosfer (bulutlar, aerosoller, atmosferik gazlar vb.), hidrosfer (okyanuslar, göller ve sulak alanlar), litosfer (toprak nemi ve farklı fazları) ve biyosfer (vegetasyon, karbon döngüsü vb.) gibi sistemlerle doğrudan etkileşim içersindedir. Bu büyük etkileşim, mikro düzeyde yağmur damlası oluşumundan makro düzeyde okyanus akıntılarına kadar içerdiği farklı boyutlardaki fiziksel süreçleri içermektedir. Bu durum iklimin doğrusal olmayan çok karmaşık bir özelliğe sahip olmasına neden olmaktadır.

Sayısal modeller olarak da adlandırılan genel sirkülasyon modelleri (GCMs), atmosferdeki, okyanuslardaki, kriyosferdeki ve arazi yüzeyindeki fiziksel süreçleri temsil etmektedirler. Bu modeller (GCMs), yükselen sera gazları emisyonlarına iklim sisteminin tepkisini göstermede en gelişmiş araçlardır. Karbondioksit konsantrasyonundaki artışlar (ya da karbon eşdeğerine sahip diğer sera gazlarının konsantrasyon artışları) belli kriterler çerçevesinde GCM içersinde yer almaktadır.

GCM'ler, iklimi, atmosferde 10 ila 20 seviye (okyanuslarda bazen 30 seviye) ve yatayda 100 ila 600 km çözünürlükteki 3 boyutlu (3D) kutucuklar (grid) yardımı ile tanımlarlar. Bu temsil yeteneği,

küresel resmi görmemize yardımcı olurken etki analizleri için oldukça yetersiz kalmaktadır. Özellikle bulut oluşumu gibi mikro düzeydeki birçok fiziksel süreç bu modellerde uygun şekilde modellenememektedir. Bu eksiklik, geniş alanlarda, parametrizasyon olarak adlandırılan modelin bilinen özelliklerinin ortalamalarının alınması tekniği ile giderilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntem model bulguları ile ilgili belirsizliklerin temel kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Diğer belirsizlikler ise, su buharı, ısınma, bulut ve radyasyon, okyanus döngüsü, buz ve kar albedosu gibi model içindeki geri bildirim mekanizmalarının simülasyonu ile ilgilidir. Dolayısı ile, parametrizasyon farklılıkları ve farklı geri bildirim modellemeleri nedeni ile GCM'ler aynı zorlama etmenlerine oldukça farklı şekilde tepki verebilmekte ve bulgular farklı olabilmektedir. Yani aynı zaman aralığı için, aynı başlangıç koşullarında, aynı emisyon senaryosu ile çalıştırılan iki farklı küresel model, parametrizasyon farklılıkları gibi nedenlerden dolayı farklı sonuçlar ortaya koyabilmektedirler (IPCC,2012).

Bütüncü karmaşıklığın ve uygulamalardaki zorluklarına rağmen gelecek iklimin tahmin edilmesinde en önemli araç iklimin modellenmesidir. Bu sayede hali hazırdaki şartlar dikkate alınarak, belli fiziksel denklemler ile bu şartların değişimi hesaplanmaya

ve belli bir süre sonraki hava ya da iklim şartlarının genel çerçevesi çizilmeye çalışılmaktadır. Bu konudaki ilk çalışmalar 19. yy'da başlamasına rağmen, o zamanki bilim adamlarının çabaları, fizik kuralları ile atmosferdeki gazların gezegen etrafında nasıl hareket ettiklerini açıklamaya yetmemiş, gerçek bir matematiksel çözüm ortaya koyamamıştır. 20 yy başlarında Norveçli bilim adamı Vilhelm Bjerknes ısı, hava kütlesi ve nemin davranışlarını açıklamak için 7 temel eşitlik tanımlamış ve büyük alanlar için hava tahmini yapmak amacı ile kullanmıştır. Bjerknes'in metodu "grafiksel hesaplamayı" hedefliyordu ve hava haritalarına dayanıyordu. Bu metod 1950'lere kadar geliştirildi. Fakat yöntemi doğrulamak için yeterli gözlem olmaması gelişimini sınırlandırdı. Bundan sonra en ciddi çalışma Lewis Fry Richardson'un çalışmalarıdır. Richardson tahmin yapacağı alanı kutucuklara bölmüş ve Bjerknes'in denklemlerini bu kutucuklar içinde çözmüş, rüzgar hızını ve yönünü basınç farkından yararlanarak hesaplayabilmiştir. Fakat küçük bir alan için bile çok karmaşık hesaplamalar ve bunların yapılması çok uzun süreler aldığından çalışmaları belli bir sınıra ötesine gidememiştir. Buna rağmen bu yöntem bugünkü bilgisayarlı modellemelerin temelini oluşturmaktadır.



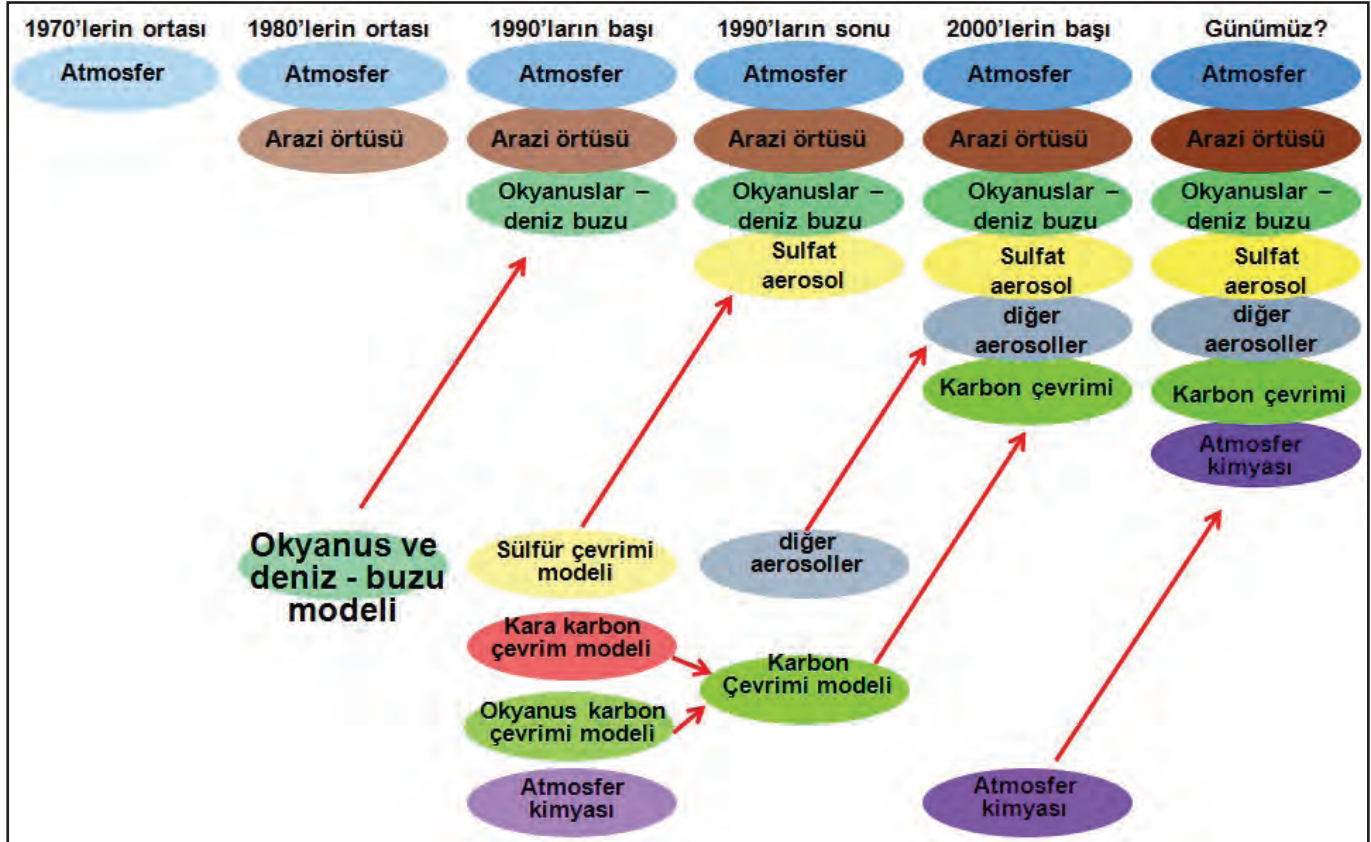
Resim-3.1: ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)

II. Dünya Savaşı sonuna kadar matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle devam eden modelleme çalışmaları, bu tarihten sonra bilgisayarların kullanılmaya başlaması ile yeni bir boyut kazanmıştır. 1950 yılında, ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) olarak adlandırılan ilk büyük dijital bilgisayar gerçek zamanlı hava tahmini yapmıştır. Bilgisayar kapasitelerinin artması ile birlikte iklim modelleri de gelişmiş ve daha kapsamlı bir hale gelmiştir. 1970'lerin başında okyanus ve atmosfer proseslerini birleştiren ilk matematiksel model geliştirilmiştir. 1975'te ise zamanının en yüksek kapasiteli bilgisayarı ile 500 km çözünürlüklü, 3 dikey seviyeli ve 10 dakika zaman adımına sahip 300 yıllık tahmin üreten yeni nesil modeller geliştirilmiştir.

Modeller geliştikçe, kutucuk (grid) boyutları küçültülmüş, zaman adımları kısalmış, yatayda ve dikeyde kutucuk sayısı ve model bileşenlerinin

sayısı artmıştır. Kısacası iklim ya da hava tahmin modellerinin gelişimi doğrudan bilgisayar kapasitelerinin gelişimi ile gerçekleşmiştir.

Kısa tarihten de anlaşılacağı gibi, iklim modellenmesindeki en büyük zorluk, iklim şartlarındaki değişimlerin gerçek zamansal sürecinden çok daha hızlı bir şekilde simülasyonlarının yapılması gereğidir. Bu durum modellemede birçok basitleştirilmiş varsayımın kullanılmasını ve yüksek bir hesaplama kapasitesi ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Dolayısı ile model kurgusu bir, iki ya da üç boyutlu, iklim sisteminin bazı bileşenlerinin ya da hepsinin, basit fiziksel özelliklerin (örneğin korunum kanunları) ya da tüm etkileşimlerin gösterildiği basitten karmaşığa doğru değişen bir yapıda olabilmektedir.



Şekil-3.2: Genel Sirkülasyon Modellerinin (GCMs) Gelişim Tablosu



3.4 CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5)

Eylül 2008'de, Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) üyesi 20 iklim modelleme grubu, uyumlaştırılmış yeni iklim model çalışmaları setini oluşturmak amacı ile bir araya gelmiştir. Bu çalışmaların bir arada olduğu çok modelli bir kaynak oluşturması amaçlanmıştır. Çalışmalar kapsamında aşağıdaki kazanımlara ulaşılmak istenmiştir;

1. Farklı modellerin çıktılarının farklı olmasına neden olan, çok iyi anlaşılmayan karbon döngüsü ve bulutlarla ilgili geri bildirimlerin değerlendirilmesi,
2. On yıllık ya da daha uzun zaman periyotları için modellerin iklim tahmini kapasitelerinin araştırılması ve iklimin tahmin edilebilirliğinin sorgulanması,
3. Benzer şekilde kurgulanan modellerin farklı sonuçlar verme nedenlerinin belirlenmesi.

Bu kazanımlarla birlikte IPCC 4. Değerlendirme Raporu hazırlık aşamalarında ortaya çıkan bilimsel soruların, IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda cevaplanabilmesi için gerekli değerlendirmelerin yapılması beklenmektedir. CMIP5 projesi kapsamında yapılan model çalışmalarının sonuçları IPCC WG1 tarafından düzenlenerek 2013 eylül ayında yayınlanmıştır.

CMIP5, aşağıda belirtilen ürünleri elde etmek için standart bir model simülasyon setinin oluşturulmasını benimsemektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

1. Modellerin yakın geçmiş iklimini nasıl görüntülediklerinin değerlendirilmesi (kontrol denemeleri)
2. Kısa dönem (2035) ve uzun dönem (2100 ve sonrası) için iklim projeksiyonlarının üretilmesi

3. Model projeksiyonları arasındaki farklara neden olan, karbon döngüsü ve bulutlanma gibi temel geri bildirimlerin aralarında bulunduğu faktörlerin sayısal değerlerinin belirlenmesi

MGM başlattığı bölgesel iklim projeksiyonları üretme çalışmalarında, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği öğretim üyeleri ile yapılan mülakatlar sonucu, CIMIP5 kapsamında üretilen küresel model veri setlerinden en yaygın kullanılan ve bölgemiz için en uygun 3 tanesinin (HadGEM2-ES, GFDL, MPI) verilerini kullanmayı kararlaştırmıştır. CIMIP5 ile ilgili ayrıntılara linkten ulaşılabilir. (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/index.html>)

3.5 HadGEM2-ES Küresel Modeli

HadGEM2; İngiltere Meteoroloji Servisi'ne bağlı bir araştırma kuruluşu olan Hadley Centre tarafından geliştirilen 2. nesil küresel bir modeldir ve Global Environment Model Version 2 anlamına gelmektedir. Bu modelin benzer fiziksel özelliklere sahip fakat farklı konfigürasyonda birçok versiyonu bulunmaktadır. HadGEM2 serisi birleştirilmiş atmosfer-okyanus konfigürasyonu ve içersinde dinamik vejetasyon, okyanus biyolojisi, atmosfer kimyasının da bulunduğu bir yer-sistem konfigürasyonunu içermektedir. HadGEM2 serisi IPCC 5. Değerlendirme Raporu (AR5) hazırlıklarında kullanılan modellerden biridir. Standart atmosfer birleşimi, 40 km'ye kadar yükselen 38 seviyeden oluşmaktadır. Bu katman yatay çözünürlüğü, enlemi 1,25 derece ve boylamı 1,875 derece olan 192x145 grid hücresi ile küresel olarak temsil edilmektedir. Bu çözünürlük değerleri yaklaşık olarak Ekvator'da 208x139 km, 55. enlemlerde 120x139 km'dir. Genişletilmiş dikey yükseklik, stratosferin özelliklerini ve küresel iklime etkisinin

incelenmesi amacı ile 60 seviye ile 85. km'ye kadar çıkabilmektedir. Okyanus bileşeni ise, kutuplar ile 30. enlemler arasında, boylamsal çözünürlüğü 1 derece ve enlemsel çözünürlüğü 1 derece olan, toplamda 360x216 grid hücresinden oluşmaktadır. Dikeyde ise eşit olmayan 40 seviyeden (yüzeyde çözünürlüğü

10 km kadar ulaşabilen) oluşmaktadır. HadGEM2 serisinde HadGEM2-A, HadGEM2-O, HadGEM2-AO, HadGEM2-CC, HadGEM2-CCS, HadGEM2-ES versiyonları bulunmaktadır. Çalışmada HadGEM2 serisinin en kapsamlı versiyonu olan HadGEM2-ES versiyonu ürünleri kullanılmaktadır.

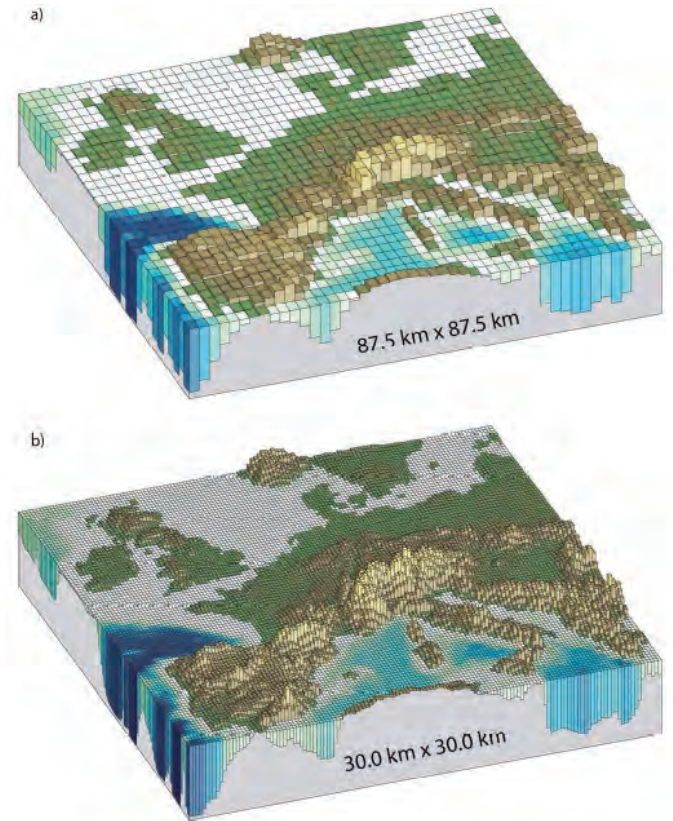
Tablo-3.2: Güncel HadGEM2 Versiyonları (The HadGEM2 Development Team, 2011)

HadGEM2-A	Troposfer, Arazi Yüzeği, Hidroloji ve Aerosoller
HadGEM2-O	Okyanus ve Deniz Buzu
HadGEM2-AO	Okyanus ve Deniz Buzu, Troposfer, Arazi yüzeyi, Hidroloji ve Aerosoller
HadGEM2-CC	Troposfer, Arazi Yüzeği, Hidroloji, Aerosoller, Okyanus ve Deniz Buzu, Kara Karbon Döngüsü, Okyanus Biyokimyası
HadGEM2-CCS	Troposfer, Arazi Yüzeği, Hidroloji, Aerosoller, Okyanus ve Deniz Buzu, Kara Karbon Döngüsü, Okyanus Biyokimyası, Stratosfer
HadGEM2-ES	Troposfer, Arazi Yüzeği, Hidroloji, Aerosoller, Okyanus ve Deniz Buzu, Kara Karbon Döngüsü, Okyanus Biyokimyası, Kimya

3.6 Bölgesel İklim Modelleri ve Ölçek Küçültme

Küresel iklim modellerinden elde edilen veriler çok büyük alanları temsil ettiğinden ayrıntılı değildir ve bölgesel analizlere imkan tanımamaktadır. Çok düşük çözünürlükteki grildenmiş bu bilgileri, tekrar girdi olarak kullanarak daha küçük alanlar için daha ayrıntılı ve yüksek çözünürlüklü bilgiler üretilmesini sağlayan modeller Bölgesel İklim Modelleri (RCMs) olarak nitelendirilebilmektedir.

Hesaplama zorluklarından dolayı GCM'ler genellikle 100-300 km yatay çözünürlüğe sahiptirler. Bu çözünürlükle bölgesel iklimsel değişimler, topografyanın, kıyı alanlarının ve arazi yüzeyinin ayrıntıları uygun şekilde yansıtılamamaktadır. Dolayısı ile, cephe sistemleri ya da yağış sistemleri gibi küçük ölçekli hava olayları ve atmosfer prosesleri ya GCM'lerde gösterilememekte ya da çok basit şekilde yer almaktadır. Sınırlı alanlarda, sahip olunan hesaplama kapasitesini en optimum şekilde kullanmak ve yukarıda bahsedilen eksiklikleri gidermek amacıyla bölgesel iklim modellerinden (RCMs) yararlanılmaktadır.



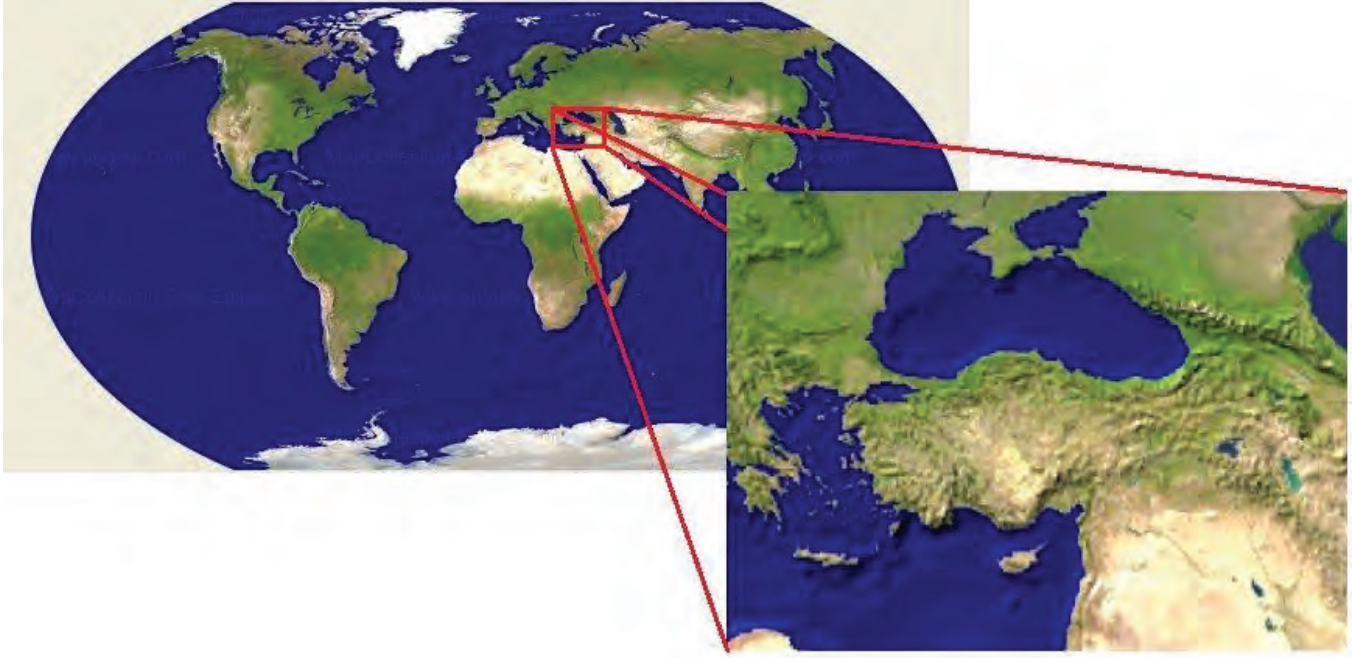
Şekil-3.3: Düşük Çözünürlük (a) ve Yüksek Çözünürlük (b) Arasındaki Fark.

3.6.1 Dinamik Ölçek Küçültme

Atmosferik dinamik ölçek küçültme teknikleri, düşük çözünürlüklü küresel modellerde iyi yansıtılmayan bölgesel şartları elde etmek için kullanılan yaygın bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım birkaç metotla uygulanabilmektedir. TR2013-CC'de paylaşılan veriler dinamik ölçek küçültme yöntemiyle elde edilen verilerdir. Bu yöntemde, RCM'de belirli bir alan tanımlanır ve GCM'den elde edilen belli dinamik iklim faktörleri belirlenen alana uygulanmaktadır.

Temel olarak RCM'de GCM gibi dinamik bir yapı sergiler, fakat 3 ana prosesten oluşur. Bunlardan birincisi GCM'den sınır değerlerinin alınması, ikincisi tanımlanan alanın kendi lokal verilerin elde edilmesi

ve son olarak RCM'in kendi dinamik denklemlerinin bu iki veri yardımı ile çözülerek yeniden değerler üretilmesidir. Sonuçlar bir anlamda GCM ve lokal özelliklerin birlikte belirlediği lokal tahminler olarak nitelendirilebilir. Buradaki en büyük handikap ise, alan küçülmesine rağmen çözünürlüğün artması ve lokal şartların hesaplamalara dahil olması nedeniyle önemli bir bilgisayar kapasitesine ihtiyaç duyulmasıdır.



Şekil-3.4: Bölgesel İklim Modelinde Spesifik Bir Alanın Tanımlanması

3.6.2 RegCM-4.3.4

Bölgesel iklim model sistemi olarak tanımlanan RegCM aslında Amerikan Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi (NCAR) tarafından geliştirilmiş olup, geliştirilmesi Uluslararası Abdüsselam Teorik Fizik Merkezi'nin (ICTP) Yer Sistem Fiziği Bölümü (ESP) tarafından gerçekleştirilmiştir. İlk versiyon, RegCM1, 1989 yılında geliştirilmiş ve daha sonra üst versiyonları geliştirilmiştir (RegCM2-1993, RegCM2.5-1999, RegCM3-2006, RegCM4 2010). Şu anda güncel olarak en son versiyon olan RegCM4 modeli kullanılmakta ve tamamen ESP tarafından desteklenmektedir. Bu versiyon dünyanın istenilen herhangi bir bölgesi ve gerek gelecek iklim simülasyonları gerekse paleoklimatolojik çalışmalar için kullanılabilir, hidrostatik limit olan 10 km. çözünürlükte ürünler verebilmektedir. (<http://www.ictp.it/>, 2012)

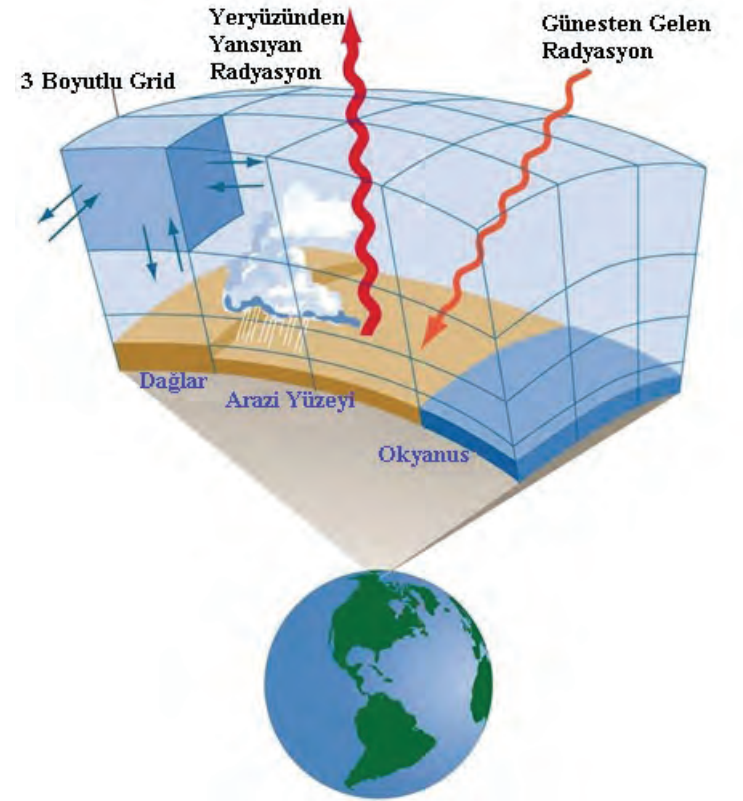
3.6.3 CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)

CORDEX, bölgesel iklim değişikliği adaptasyon ve etki değerlendirme çalışmalarında kullanılacak yüksek çözünürlüklü iklim projeksiyonları üretmek amacıyla oluşturulmuş bir yapıdır ve WCRP tarafından desteklenmektedir. CORDEX kapsamında dünya 13 farklı bölgeye (domain) ayrılmıştır. Her bir bölge için, daha önce çalıştırılan küresel modellerin çıktılarını bölgesel iklim modelleri ile ölçek küçültmeye tabi tutularak yüksek çözünürlükte yeni projeksiyonlar üretilmektedir. Bu proje kapsamında farklı araştırma grupları ve enstitüler bulunmaktadır. Çalışmalarımızda kullandığımız RegCM4 bölgesel modelinin geliştiricisi olan ICTP, CORDEX'e üye enstitülerden biridir.

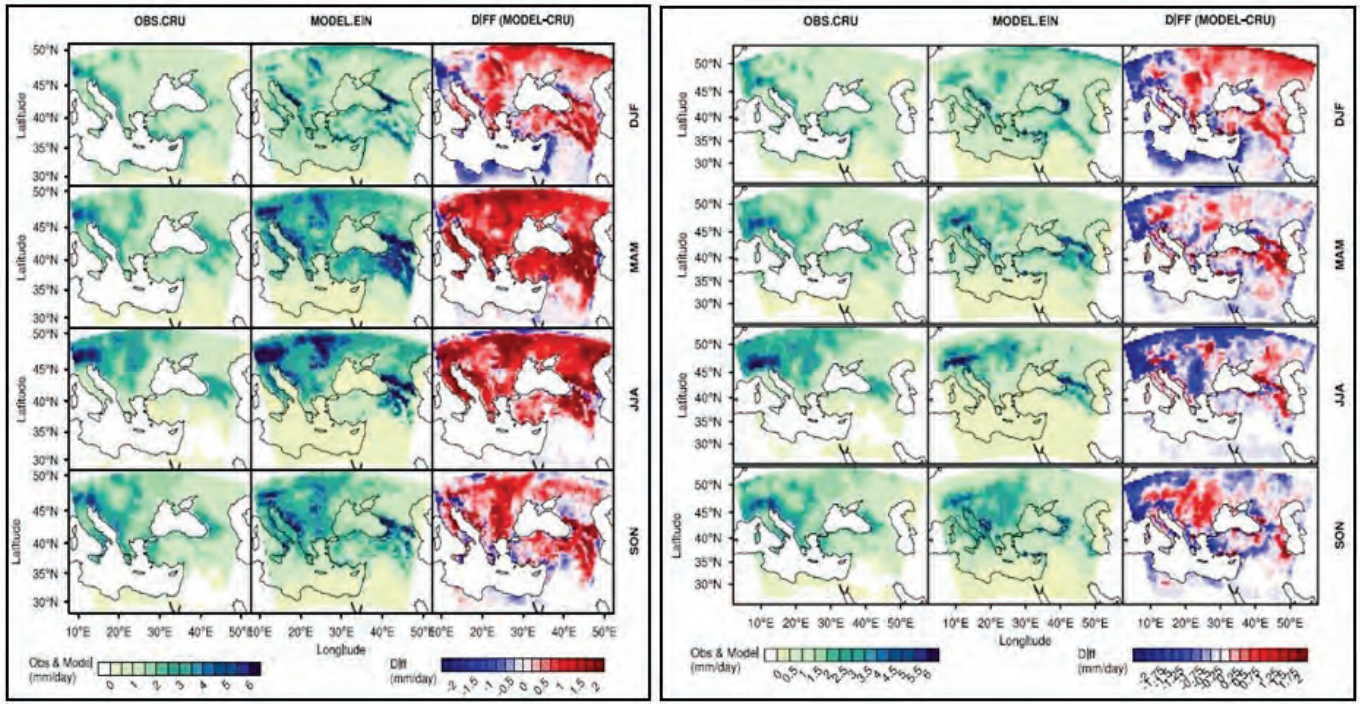
Bölgesel iklim modelinde domain, ızgara sistemiyle oluşturulmuş küplerden (grid) oluşmaktadır. Her bir gridin orta noktasının iklimsel değeri o gridin kapsadığı alanı temsil etmektedir. Bu sistemde en iyi model sonuçlarına ulaşmak için, her bir gridin kapsadığı alanda tüm iklimsel sistemleri en iyi şekilde yansıtması gerekmektedir.

3.6.4 Parametrizasyon (Modelin Kalibrasyonu)

Model parametrizasyonu bu iklimsel değerlerin her bir grid içerisinde gerçeğe en yakın şekilde yansıtılması açısından çok büyük önem arz etmektedir. Örnek olarak; her grid içerisindeki nem ve sıcaklık değerleri bulut oluşumunu, aerosol miktarları da yağış miktarını etkilemektedir. İyi parametrelendirilmiş bir model sonucu, karar vericilerin iklim değişikliğine uyum faaliyetleri konusunda daha isabetli karar almalarında yardımcı olacaktır.



Şekil-3.5: Model Grid Yapısı



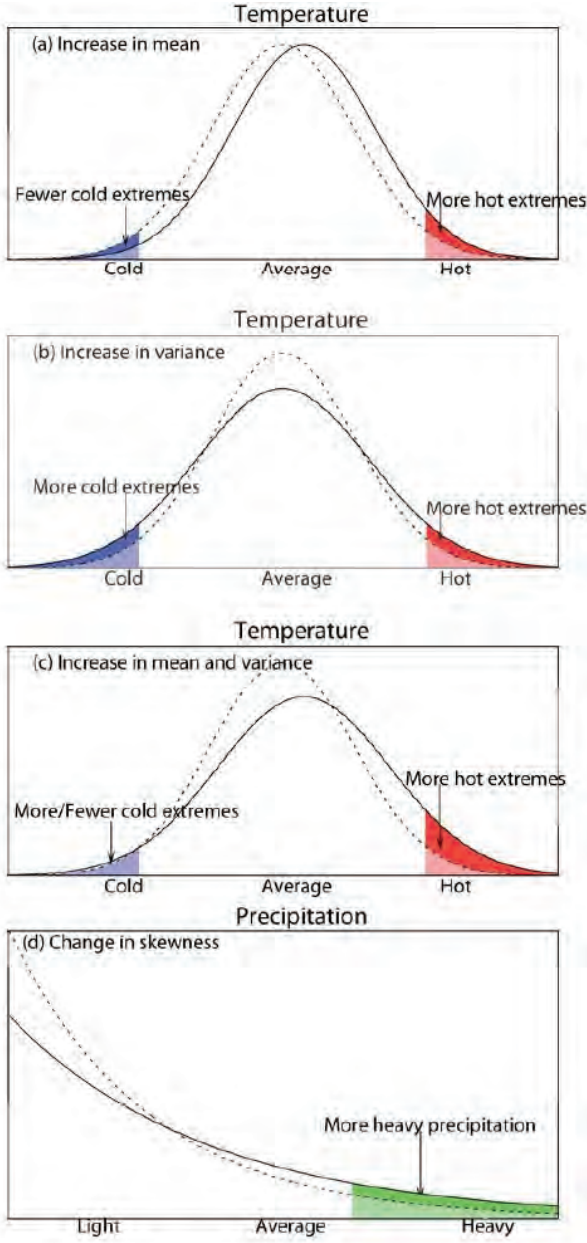
Şekil-3.6: Parametrizasyon Örneği. Solda eşik değerlerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan elde edilmiş model sonucu, sağda ise parametrizasyon sonucu elde edilen ve gözlem verilerine daha yakın değerlere sahip model sonucu görülmektedir.

3.7 İklim Ekstremleri

Parametrelendirmede bazı handikaplar bulunmaktadır. Parametrizasyon grid bazlı yapılamadığından kötü sonuç aldığımız bir bölgedeki değerleri düzeltmek için parametrelendirme yaptığımızda, iyi sonuç aldığımız diğer bölgeleri de etkilemektedir. Bu nedenle yüzde yüz doğrulukta bir parametrizasyon günümüz imkanlarında mümkün görünmemektedir. Parametrizasyon çalışmalarımızda CRU (Climate Research Unit) ve UDEL'e (University of Delaware) ait grildenmiş iklim verileri model sonuçları ile kıyaslanmış, gridlere ait eşik değerleri yeniden belirlenerek iyi sonuç aldığımız parametrizasyon şemasında model çalıştırılmıştır.

İklim sistemindeki ekstremler belirli bir alanda ve belirli bir zaman aralığında, o alanda gözlemlenen uzun dönem iklim parametreleri ortalamaları göz önüne alındığında uç değerlere sahip nadir gözlemlenen olaylar olarak tanımlanabilmektedir. İklim sisteminin doğal değişebilirliğinden dolayı bu olaylar her zaman yaşanmaktadır. Fakat iklim değişikliği, potansiyel olarak bu süreci etkilemekte, ekstrem olayların şiddet ve frekanslarını değiştirmektedir.

IPCC-AR5'te, ortalama sıcaklıklardaki artış ve enerjinin dağılımındaki düzensizliğin artmasına bağlı olarak ekstrem hava olaylarının şiddetinde ve frekanslarında, sıcak ve soğuk hava dalgalarının sayılarında ve şiddetinde, ıslak ve kuru periyotlar ile ıslak ve kuru alanlar arasındaki farklarda artışlar yaşandığı bildirilmiştir (IPCC, 2013).



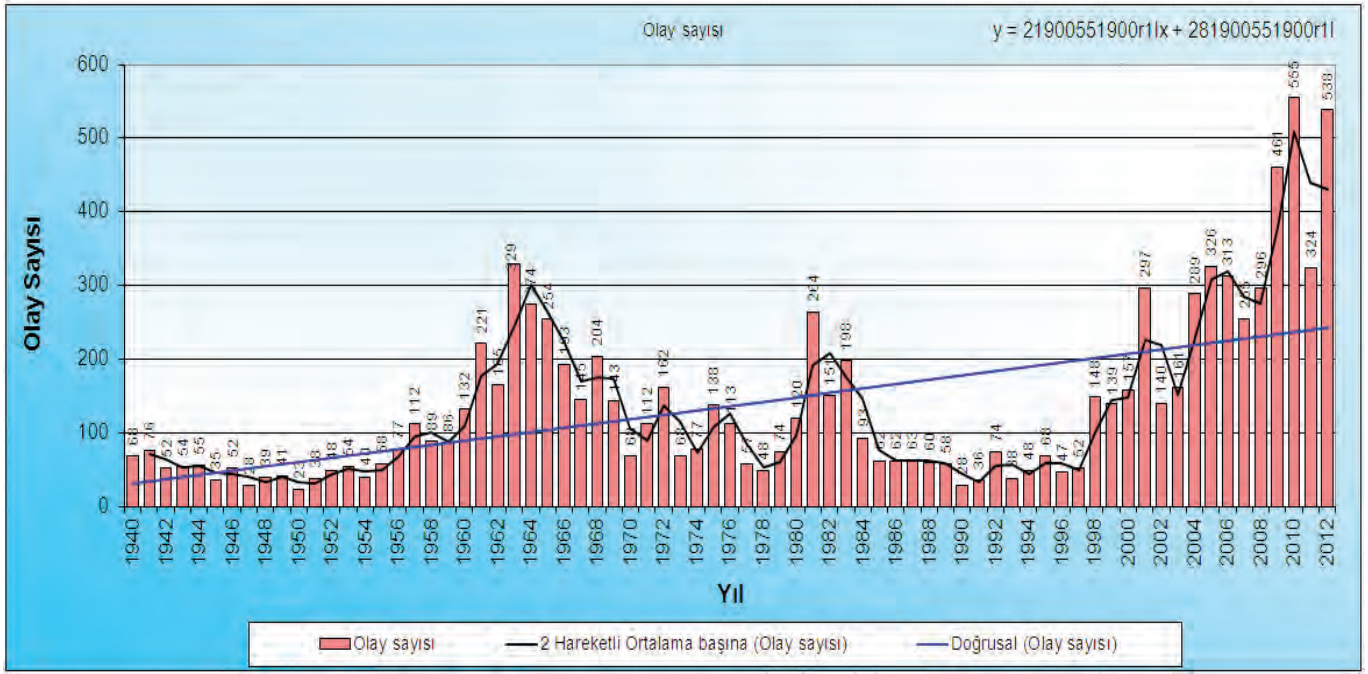
Kesikli çizgiler önceki durumu, normal çizgiler değişimden sonraki durumu ifade etmektedir. Renkli alanlar ise ekstrem olayın olma olasılığının yüksek olduğu alanı ifade etmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, olasılığın yüksek olduğu alan değişimden sonra daha da artmıştır. Bu da sıcaklıklardaki artış ya da azalmaların ya da yağış rejimindeki değişimlerin ekstrem olayları nasıl etkilediğini izah etmektedir (IPCC,2013).

Türkiye'deki ekstrem olaylar incelendiğinde 1990'dan itibaren ekstrem olay sayılarında bir artış meydana geldiği görülmektedir. 2012 yılında 538 ekstrem olay gözlemlenmiştir. Son 100 yıllık periyotta ekstrem olay sayısındaki artış sayısı 219'dur. Türkiye' de 1994 yılından itibaren gözlenen artış eğiliminin (Grafik-2.4) benzer şekilde ekstrem olay grafiğinde de görülmesi iklim değişikliği ile ekstrem olaylar arasındaki ilişkiyi açıkça ortaya koymaktadır.

TR2013-CC'de iklim ekstremleri ve projeksiyonların klimatolojisi ile ilgili olarak örnek teşkil etmesi için seçilen 7 istasyona (Adana, Ankara, Manisa, Erzurum, Diyarbakır, Bursa, Samsun) ait değerlendirmelere yer verilmiştir. Değerlendirmelerde istasyonlara ait ölçülmüş değerler de kullanılmaktadır.

Şekil- 3.7: Ekstrem Hava Olaylarının İklim Değişikliği Tarafından Tetiklenmesi. (IPCC,2013)





Grafik-3.4: Ekstrem Hava Olaylarının Sayılarının Yıllara Göre Değişimi (MGM,2013)

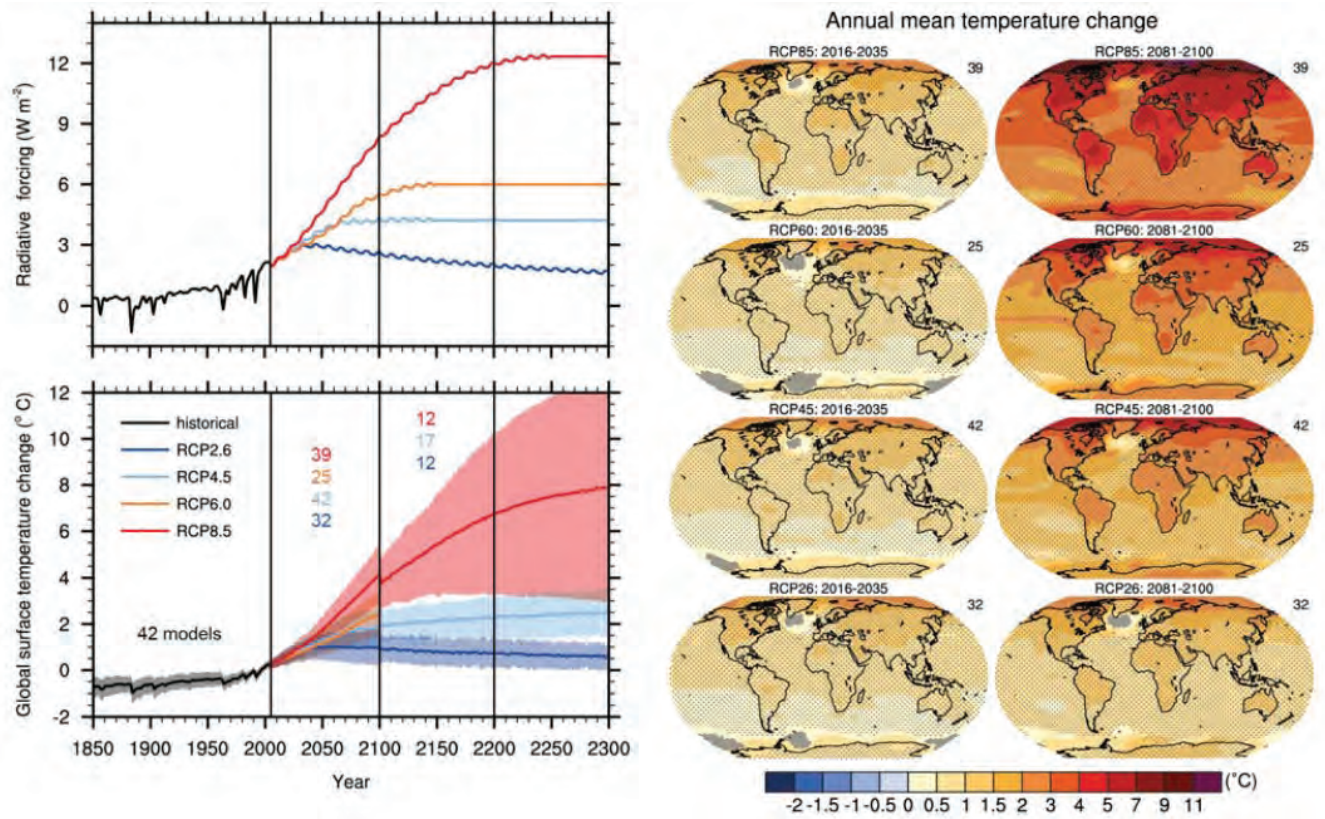
Değerlendirmelerde;

- Dicle ve Fırat Havzası yaz mevsimi ortalama sıcaklık > 25°C'den büyük olan günlerin sayılışı
- İstasyonların 1971-2000 periyodu ve model referans periyodu sıcaklık ve yağış eşik değerleri (%10. ve %90. Değerler)
- İstasyonların projeksiyon periyotlarında (2013-2040-2041-2070, 2071-2099) referans periyoda göre eşik değerlerin aşıldığı gün sayıları değişimleri
- Donlu gün sayılarının değişimi
- Tropik gün sayılarının değişimi
- Şiddetli yağışlı gün sayılarının değişimi
- Çok Şiddetli yağışlı gün sayılarının değişimi
- Maksimumu - Minimum sıcaklık fark değerlerinin ortalamasındaki değişim
- Maksimum ve minimum sıcaklıklardaki değişim



4. DÜNYA ve TÜRKİYE İÇİN İKLİM PROJeksiYONLARI

Bu bölümde dünya ve ülkemiz için üretilen iklim projeksiyonları değerlendirilecektir. Küresel ölçekte IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda yer alan ürünler, Ülkemiz ölçeğinde ise MGM'nin üretmiş olduğu bölgesel iklim projeksiyonları değerlendirilmiştir.



Grafik-4.1: Küresel Ortalama Yıllık YüzeY Hava Sıcaklığı Projeksiyonu (Sol Alt, RF:1986-2005), RCP Senaryolarına Göre Toplam Küresel Radyatif Zorlama (Sol Üst), 2016-2035 Ve 2081-2100 Çok Modelli Küresel Ortalama YüzeY Sıcaklığı (sağ, RF:1986-2005). (IPCC,2013)



4.1 Küresel Projeksiyonlar

4.1.1 Sıcaklık Projeksiyonları

IPCC'nin yaptığı değerlendirmelere göre, herhangi bir volkanik patlama olmadığı ve güneşten gelen enerjide uzun vadeli önemli değişiklikler olmadığı ön kabulü ile, 2016-2035 periyodunda, 1986-2005 referans periyoduna göre, Küresel ortalama yüzey sıcaklık (GMST) anomalisi, muhtemelen 0.3°C-0.7°C arasında olacaktır (orta güvenilirlikte). Bu bulgu gözlemsel projeksiyon değerlendirmelerine dayanmaktadır ve CIMIP5 model projeksiyonları ile tutarlılık göstermektedir. Tüm RCP senaryoları için, CIMIP5 modellerinin %5-95'i 2006-2012 referans periyoduna göre 0.36°C-0.79°C arasında sıcaklık artış projeksiyonu sunmaktadır. Projeksiyon eğilimlerinden ilk %5 ve son %5'lik kısım bazı modellerin antropojenik zorlamaya aşırı hassas olabileceği ihtimaline karşı hesaba katılmamıştır.

Harita ve grafiklerden, yakın gelecekte, muhtemelen karaların okyanuslardan daha hızlı sıcaklık artışına sahip olacağı görülmektedir. Bunun yanında, Arktik alanların sıcaklık artış anomalisinin, büyük ihtimalle ortalamadan yüksek olacağı gözükmemektedir ve bu

beklenti IPCC 4. Değerlendirme Raporu (AR4) ile tutarlılık göstermektedir.

RCP senaryolarına dayanan uzun vadeli projeksiyonlar incelendiğinde, 21. yy boyunca sıcaklıklar artmaya devam etmektedir. 2081-2100 periyodunda, 1986-2005 referans periyoduna göre, muhtemelen, %5-%95 CIMIP5 modellerine göre GMST değişimi 0.3°C-1.7°C (RCP2.6), 1.1°C-2.6°C (RCP4.5), 1.4°C-3.1°C (RCP6.0) ve 2.6°C-4.8°C (RCP8.5) olacaktır.

Yapılan değerlendirmelere göre, 2081-2100 periyodunda küresel ortalama sıcaklık, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 senaryolarına göre endüstri öncesi değerini muhtemelen 1.5°C (yüksek güvenilirlikte) ve RCP6.0 ve RCP8.5 senaryolarına göre ise muhtemelen 2°C geçecektir (yüksek güvenilirlikte). Bunun yanında RCP2.6 senaryosuna göre ise sıcaklık artışı 2°C'yi (orta güvenilirlikte), RCP8.5 hariç diğer senaryolara göre ise 4°C'yi geçmeyecektir (orta güvenilirlikte).

Tablo-4.1: CMIP5 Sıcaklık ve deniz seviyesi değişimleri. (IPCC,2013)

	Scenario	2046-2065		2081-2100	
		Mean	Likely range ^a	Mean	Likely range ^a
Global Mean Surface Temperature Change (°C) ^a	RCP2.6	1.0	0.4 to 1.6	1.0	0.3 to 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 to 2.0	1.8	1.1 to 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 to 1.8	2.2	1.4 to 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 to 2.6	3.7	2.6 to 4.8
	Scenario	Mean	Likely range ^a	Mean	Likely range ^a
Global Mean Sea Level Rise (m) ^b	RCP2.6	0.24	0.17 to 0.32	0.40	0.26 to 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 to 0.33	0.47	0.32 to 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 to 0.32	0.48	0.33 to 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 to 0.38	0.63	0.45 to 0.82

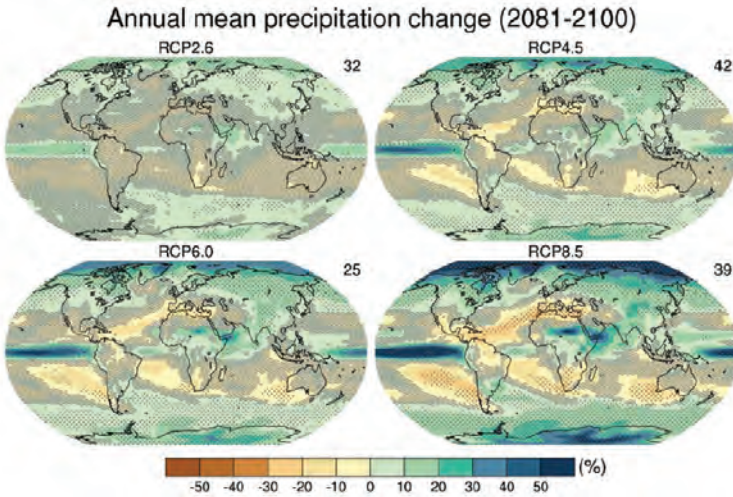
4.1.2 Yağış Projeksiyonları

IPCC bulgularına göre, 21 yy boyunca yağış rejiminin ısınmaya tepkisinin düzenli olmadığı görülmektedir. Bazı istisnalar olmakla beraber nemli alanlar ile kurak alanlar ve nemli mevsimler ile kurak mevsimler arasındaki farkların artması beklenmektedir. Önümüzdeki dönemde su döngüsü, yüzyılın sonlarına doğru gösterdiği şablona benzer, fakat daha küçük değerler göstermektedir. Yakın gelecekteki değişiklikler büyük oranda iklim sisteminin kendi iç değişkenliğinden etkilenmesi beklenmektedir. Bunun yanında az da olsa antropojenik aerosol emisyonlarından etkilenebileceği vurgulanmaktadır. RCP8.5 senaryosuna göre yüksek enlemler ve ekvatorial pasifik okyanus muhtemelen yıllık yağışlarda bu yüzyıl sonuna kadar bir artışa sahip olacaklardır. Birçok orta enlemdeki alanlarda ve yarı tropikal kurak alanlarda yıllık ortalama yağışlar muhtemelen azalırken, yine birçok orta enlemdeki yağışlı alanlarda yıllık ortalama yağış muhtemelen artacaktır.

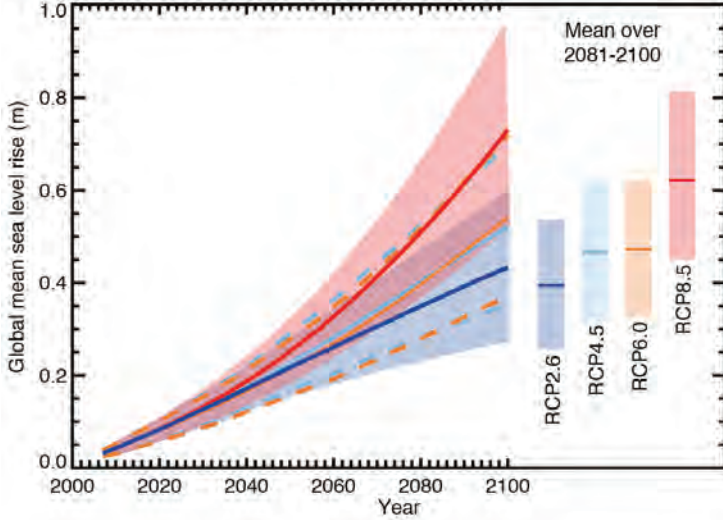
Yağış projeksiyonları incelendiğinde, özellikle modellerin birbirleri ile uyuşmadığı alanlarda, yağış anomalilerinin ve kontrastın azaldığı görülmektedir. Bu durumda, çok modelli sonuçların ortalamasının özellikle ayrı ayrı modellerden hesaplanan medyan değerini azalttığını söyleyebiliriz. Bu nedenle, CIMIP3/5 çok modelli yağış projeksiyonları belirsizlik bağlamında değerlendirilmelidir. Çoklu model projeksiyonları değişimlerin olasılığı ile ilgili olasılıklı hesaplamalar değildirler. Bu nedenle haritalarda değişimler daha yumuşak geçişlerle gösterilmesine karşın, gözlemlenen ve gözlemlenecek değişimler daha sert karakterler göstermektedir.

4.1.3 Deniz Seviyesi Değişimleri

Küresel ortalama deniz seviyesi yükselmeleri incelendiğinde, 21. yy boyunca deniz seviyeleri yükselmeye devam edecek. Bütün RCP senaryoları, bu yükselişin çok büyük olasılıkla okyanuslardaki ısınma ve buzullardaki erime nedeni ile geçeceği bildirilmektedir. AR4'ten buyana deniz seviyesi değişimlerine ait projeksiyonların güvenilirliği, deniz seviyesi yükselişinin fiziksel ve dinamik özelliklerinin daha iyi anlaşılması, modellerde gözlemlerin ve buzulların dinamik değişimlerinin yer alması sayesinde yükselmiştir.



Şekil-4.1: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre 2081-2100 Periyodu Çoklu Modellerinin Yağış Değişim Sonuçları (RF:1986-2005) (IPCC,2013)



Grafik-4.2:RCP Senaryolarına Göre Beklenen Ortalama Deniz Seviyesi Yükselişi. (IPCC,2013)

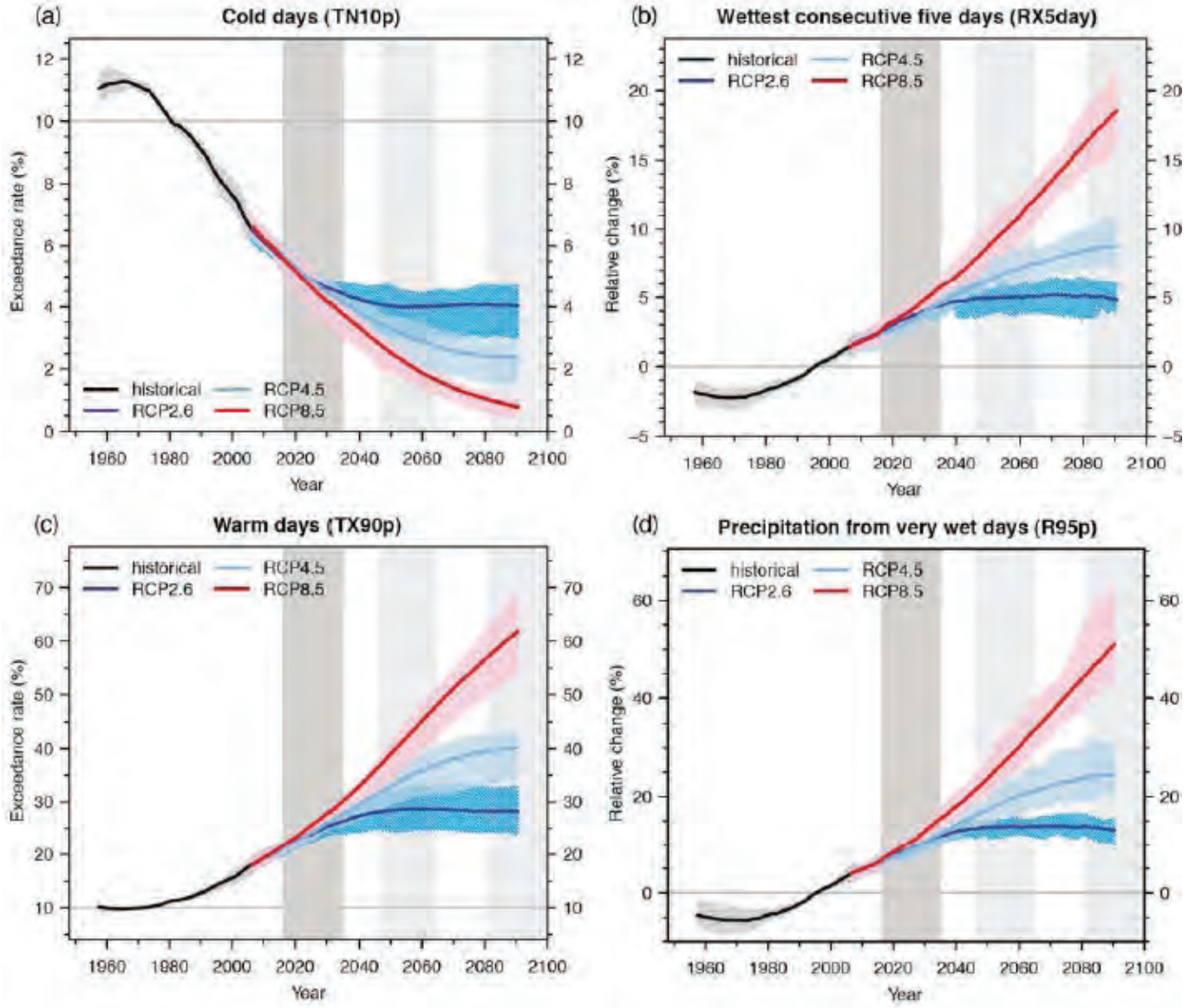
Yapılan değerlendirmelerde 2081-2100 periyodunda, 1986-2005 referans periyoduna göre senaryolar için yükseliş aralıkları şu şekildedir: RCP2.6 için 0.26-0.55 m, RCP4.5 için 0.32-0.63 m, RCP6.0 için 0.33-0.63 m ve RCP8.5 için 0.45-0.82 m (orta güvenilirlikte). Bu aralıklar CIMIP5 model sonuçları ile buzullar ve buz kütleleri ile ilgili yapılan çalışma sonuçlarının birleştirilmesi ile

elde edilmiştir. Yükselmenin %30-55'inin arasında denizlerdeki ısınma nedeni ile oluşacak genişmeden, %15-35'inin ise buzulların erimesinden kaynaklanacağı vurgulanmaktadır. Bunun yanında deniz seviyesi yükselmesi düzenli bir dağılım göstermemektedir. 21. yy sonuna kadar, yükselmenin %95'den fazlasının okyanus alanlarında gerçekleşeceği belirtilmektedir.

4.1.4 Ekstremler

Küresel ortalama sıcaklıklar yükseldiğinden, birçok alanda daha yüksek maksimum sıcaklıklar ve daha düşük minimum sıcaklıklar yaşanacağına neredeyse kesin olduğu bilinmektedir. Bunun yanında, günlük ve mevsimlik ekstremler olarak

nitelendirilen olayların, günlük ve mevsimlik ölçekte, değişimleri de beraberinde getirmektedir. Sıcaklık stresi ile birlikte sıcak ekstremlerin frekansı, süresi ve şiddetinde artışlar beklenmektedir. Fakat nadiren görülen kış ekstremlerinin seyrine devam edeceği beklenmektedir.



Grafik-4.3: IPCC-AR5 Küresel Ekstrem Olaylar Projeksiyonları (IPCC,2013)



4.2 Türkiye İçin Bölgesel İklim Projeksiyonları

Bu kısımda MGM'nin ürettiği iklim projeksiyonları paylaşılacaktır. Projeksiyonların, CMIP5 projesi kapsamında kullanılan küresel modellerden 3 tanesinin, HadGEM, MPI ve GFDL, kullanılarak oluşturulması planlanmaktadır. Bu aşamada sadece HadGEM küresel model çıktılarının RegCM4 bölgesel iklim modeli vasıtası ile ölçek küçültme yöntemi kullanılarak elde edilen bölgesel iklim projeksiyonları paylaşılmıştır. Diğer küresel modeller ile çalışmalar devam etmektedir. Her üç küresel model için öncelikle referans periyot (1971-2000), projeksiyonların periyodu ise 2013-2099 olarak tespit edilmiştir.

Parametrizasyon testlerinin ardından, toplam 4 periyot için (1971-2000, 2013-2040, 2041-2070 ve 2071-2099) model çalışmaları yapılmıştır. Seçilen alan, 20X20 km çözünürlüğünde 23400 (180X130) gridden oluşmaktadır. RCM, başlangıç ve sınır şartlarını GCM'den aldığı ve GCM'in düşük çözünürlüklü topografyasından RCM'in daha ayrıntılı topografyasına geçiş sağlandığı için her yönden ilk 12 grid dikkate alınmamıştır. Ayrıca modelin kararlı

hale gelmesi için RCM odaklandığımız periyottan 1 yıl önce çalıştırılmış ve bu süre değerlendirmelerde dikkate alınmamıştır.

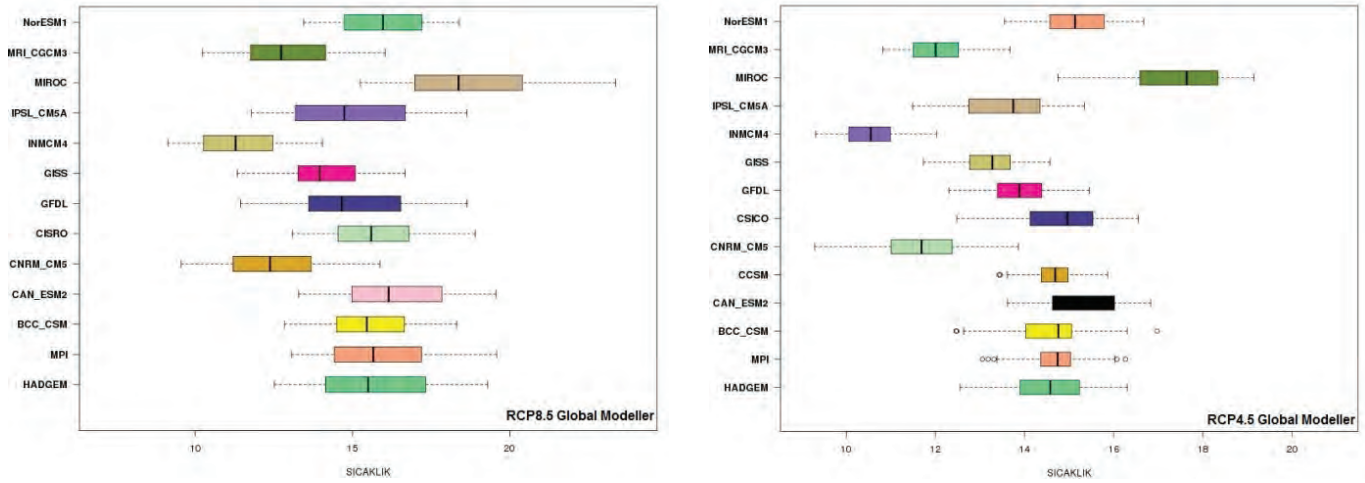
Bölgesel iklim projeksiyonu çalışmalarında önemli bir aşama, referans periyodu model çıktılarının hem küresel modelin ham verileri hem de küresel gözlem verilerinin karşılaştırılmasıdır. Bu analiz bizlere bölgesel iklim modeli (RCM) ile küresel model (RAW) ve küresel model ile gözlem verileri arasındaki hata paylarını göstermektedir. Bu bağlamda, Türkiye için, HadGEM2-ES küresel modelinin verileri ile üretilen, 1971-2000 bölgesel iklim projeksiyonu sonuçları dünyaca kabul gören bazı küresel gözlem veri setleri ile sınanmıştır. Buna göre, sıcaklıklarda özellikle yaz ve kış sıcaklıklarında ciddi bir uygunluk göze çarpmaktadır. Bunun yanında ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde model sonuçlarının gözlem verilerinden 1.5 ila 2°C arasında düşük olduğu görülmüştür. Yıllık ortalama sıcaklıklarda ise model sonuçlarının hem gözlem verilerinden, hem de küresel model verisinden düşük değerlerde olduğu ürettiği gözlenmiştir.

Tablo-4.2: 1971-2000 Referans periyodu mevsimlik ortalama sıcaklıklarının ve gözlem verileri ile karşılaştırılması

	Sıcaklık (°C)				Yağış (mm/gün)				
	RCM	CRU	UDEL	RAW	RCM	CRU	UDEL	UDEL-C	RAW
KIŞ	<u>0.436</u>	0.561	0.258	1.762	<u>2.159</u>	2.126	2.064	2.452	2.764
İLKBAHAR	<u>8.294</u>	9.712	9.503	9.867	<u>2.622</u>	1.974	1.881	2.101	2.874
YAZ	<u>20.792</u>	20.859	20.834	20.763	<u>0.947</u>	0.686	0.653	0.733	0.952
SONBAHAR	<u>10.412</u>	12.480	12.177	12.349	<u>1.830</u>	1.333	1.347	1.497	1.858
ORTALAMA	<u>9.987</u>	10.906	10.694	11.190	<u>1.886</u>	1.531	1.487	1.697	2.107

Yağış değerleri incelendiğinde, özellikle kış mevsiminde model sonuçlarının diğer gözlem verileriyle örtüştüğü görülmektedir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ise modelin yağış değerleri gözlem verilerine göre daha fazladır. Genel olarak Türkiye ortalamasına baktığımızda model sonuçları diğer gözlem veri setlerine göre ortalama %23 daha fazla yağış vermektedir.

Çalışmada kullanılan HadGEM2-ES modelinin sıcaklık ortalamaları CIMIP5 kapsamında değerlendirilen modellerin bir kısmının Türkiye üzerinde gösterdiği sıcaklık ortalamaları ile, modellerin iklim değişikliği projeksiyonlarının genel karakterlerinin görülmesi amacıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil-4.2: Küresel Modellerin RCP4.5 Senaryosu (sol) ve RCP8.5 Senaryosuna (Sağ) Göre Türkiye İçin Gösterdikleri Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması

MGM'nin bölgesel iklim projeksiyonları üretme çalışmalarında HadGEM, GFDL ve MPI küresel modelleri kullanılmaktadır. Bu modellerin Türkiye için göstermiş oldukları ortalama sıcaklıklar diğer modeller ile kıyaslandığında genel ortalamayı bozmadıkları görülmektedir. Değerlendirmede RCP4.5 ve RCP8.5 için en soğuk modelin INMCM4, için en sıcak modelin ise MIROC olduğu görülmektedir.

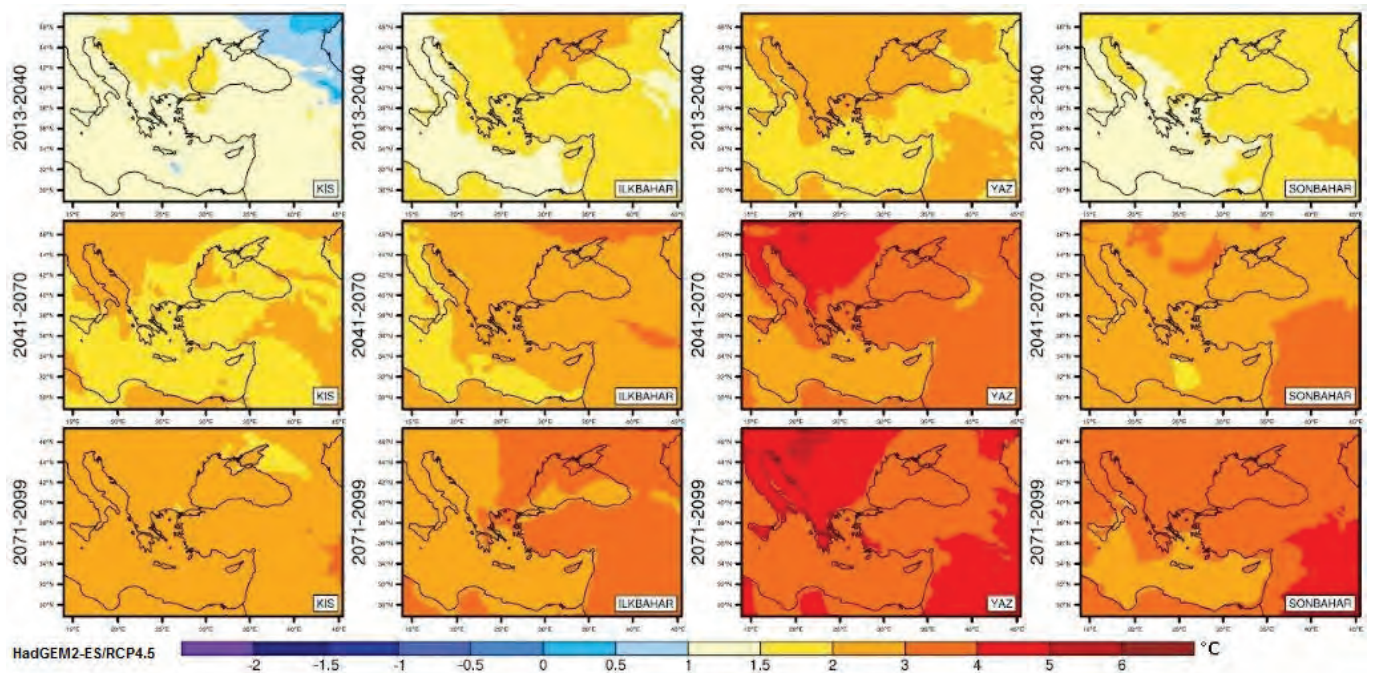
Tablo-4.3: Çalışmada Kullanılan GCM ve RCM Genel Özellikleri

GCM	Çöz. (km)	Kaynak Enstitü	RCP	Periyot	Referans Periyot	RCM	Çöz. (km)	Son Durum
HadGEM	112.5	Hadley Center	4.5 8.5	2013-2099	1971-2000	RegCM	20	Tamamlandı
MPI		Max Planck	4.5 8.5			RegCM	20	Devam ediyor
GFDL		Noaa-GFD lab.	4.5 8.5			RegCM	20	Devam ediyor

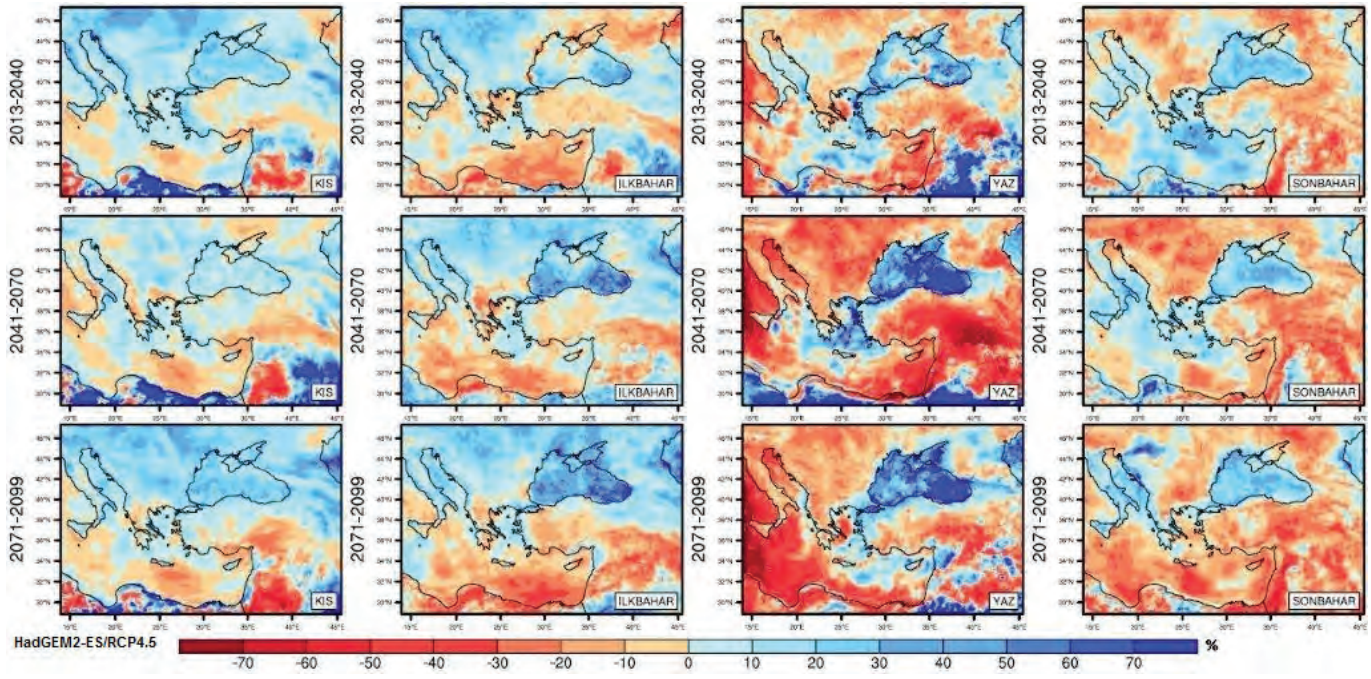
İklim modeli ve iklim projeksiyonu üretme çalışmaları dünyada uzay çalışmalarından sonra en fazla hesaplama kabiliyetine ihtiyaç duyan çalışmalardır. Bu özellik iklim modeli çalışmalarında çok ciddi çalışma zamanı ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Çalışılan verilerin büyüklüğü ve karmaşıklığı çalışmaların tamamlanma sürelerini oldukça uzatmaktadır. 2007 yılında, IPCC 4. Değerlendirme Raporu daha henüz yeni

yayınlanmışken başlayan 5. Değerlendirme Raporu (AR5) çalışmalarının 2014 yılında tamamlanması planlanmaktadır. Bu bağlamda ülkemiz için kullanılacak küresel modellerden HadGEM2-ES'in veri setleri ile çalışmalar tamamlanmış olup, diğer küresel model veri setlerinin ölçek küçültme ve analiz çalışmaları devam etmektedir.

4.2.1 RCP4.5 Senaryosuna Göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları



Şekil-4.3: RCP4.5'e Göre Sıcaklık Projeksiyonları



Şekil-4.4: RCP4.5'e Göre Yağış Projeksiyonları

RCP4.5 senaryosu temelindeki HadGEM2-ES kullanılarak üretilen sıcaklık ve yağış projeksiyonlarına göre;

2013-2040 periyodu

- Isınmanın genel olarak 2°C ile sınırlı olacağı, yaz mevsiminde Marmara ve Batı Karadeniz bölgelerinde bu ısınmanın 2-3°C artacağı,
- Yağışlarda ise, kış aylarında Kıyı Ege, Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu'da bir artış beklenirken, ilkbahar yağışlarında Kıyı Ege ve Doğu Anadolu'nun doğusu hariç yurdun önemli bir kısmında yağışların %20'ler civarında azalacağı ön görülmektedir.

2041-2070 periyodu

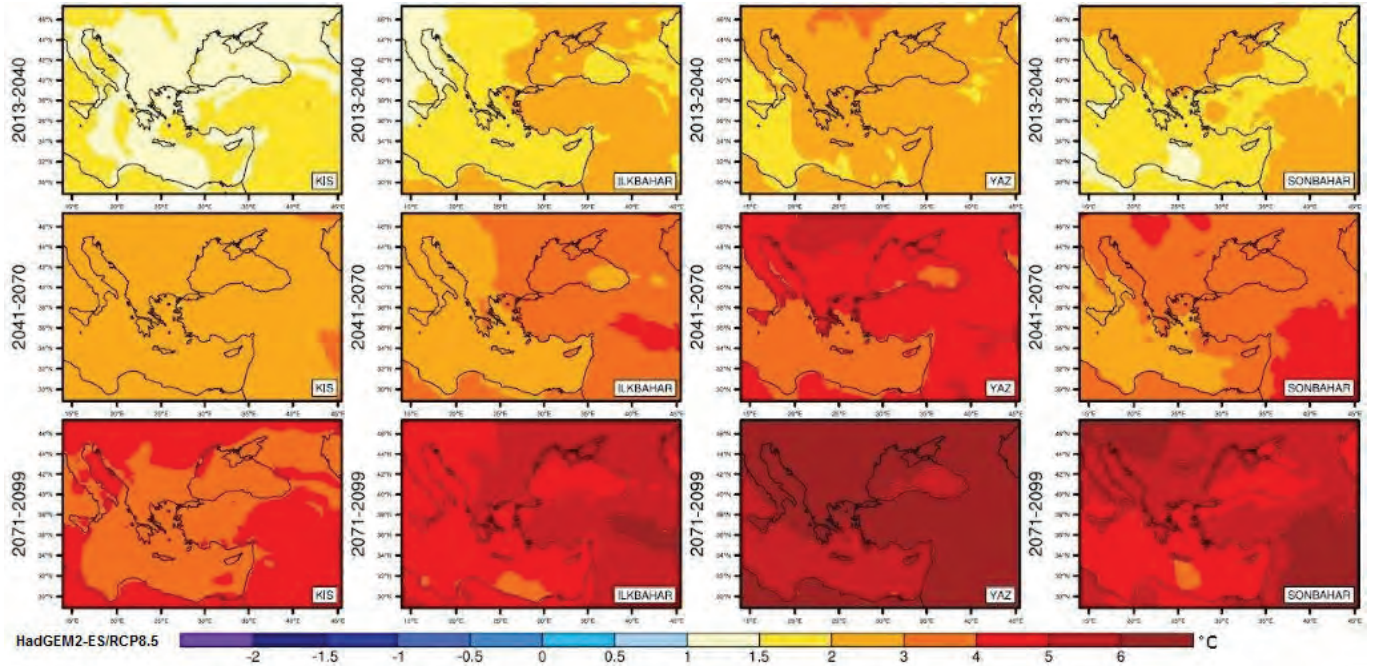
- İlkbahar ve sonbaharda sıcaklık artışı 2-3°C civarında beklenirken, yaz aylarında 4°C ye kadar artacağı ön görülmektedir.
- Doğu ve Güney Doğu Anadolu ile Orta ve Doğu Akdeniz bölgelerinde kış yağışlarında %20'ler civarında azalışlar olacağı,
- Yaz yağışlarının önemli olduğu Doğu Anadolu'da %30 civarında azalışlar olacağı,

- Sonbahar yağışlarında ise Kıyı Ege ve İç Anadolu'nun küçük bir bölümü hariç azalmalar olacağı ön görülmektedir.

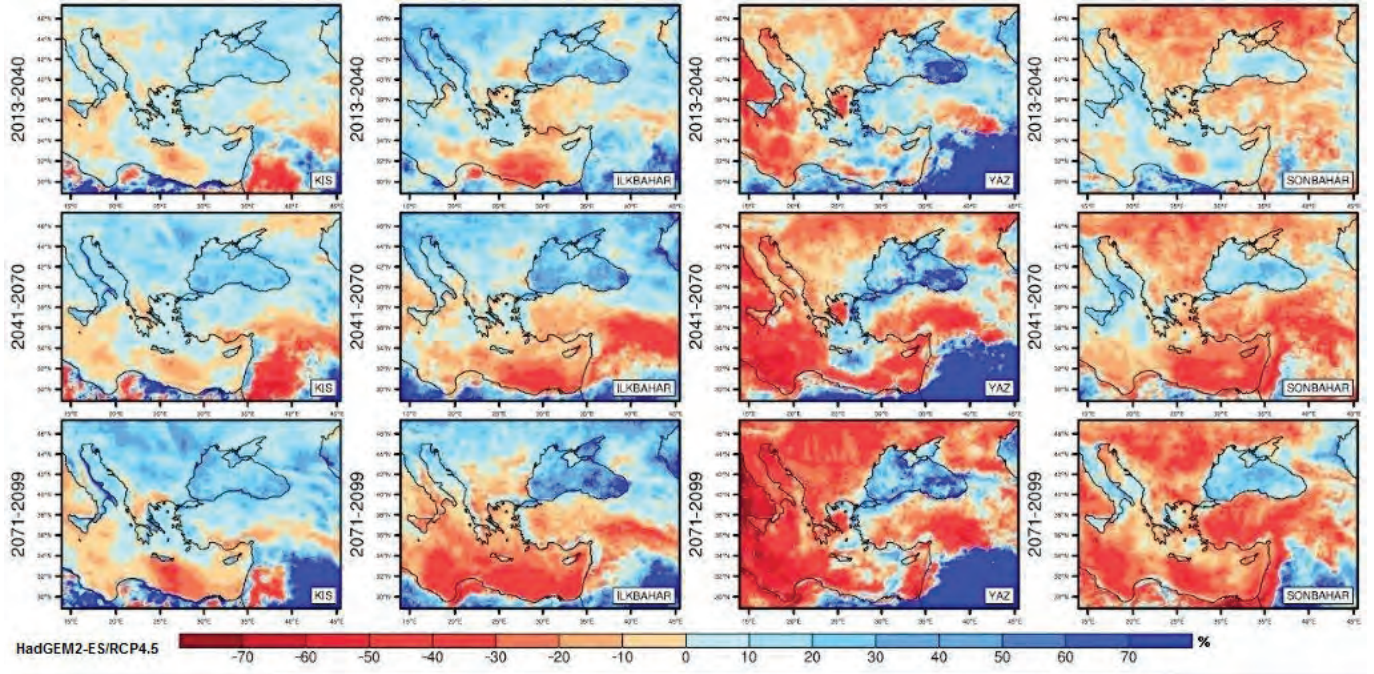
2071-2099 periyodu

- Kış sıcaklıkları 2°C'lik, ilkbahar ve sonbahar sıcaklıklarında 3°C'lik artışlar beklenirken, yaz sıcaklıklarında Kıyı Ege ve Güney Doğu Anadolu'da 4°C'yi aşan sıcaklık artışları ön görülmektedir.
- İlkbahar yağışlarında Kıyı Ege, Orta Karadeniz ve Kuzey Doğu Anadolu bölgeleri hariç yağışlarda %20 civarında azalmalar olacağı,
- Kış yağışlarında özellikle kıyı şeridinde %10 civarında artışlar olacağı,
- Ege, Marmara ve Karadeniz kıyıları hariç yaz yağışlarında %40'lara varan azalmalar olacağı,
- Sonbahar yağışlarında ise hemen hemen bütün yurtda azalmalar olacağı ön görülmektedir.

4.2.2 RCP8.5 Senaryosuna Göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları



Şekil-4.5: RCP8.5'e Göre Yağış Projeksiyonları



Şekil-4.6: RCP8.5'e Göre Yağış Projeksiyonları

RCP8.5 senaryosu temelindeki HadGEM2-ES kullanılarak üretilen sıcaklık ve yağış projeksiyonlarına göre;

2013-2040 periyodu

- Özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ısınmanın 3°C civarında olacağı ön görülmektedir.
- Sonbahar yağışlarında yurt genelinde, ilkbaharda ise Mersin-Ordu hattının batısında azalışlar,
- Yaz yağışlarında ise, Batı Akdeniz hariç tüm kıyı bölgelerimizde %40'lara varan artışlar olacağı ön görülmektedir.

2041-2070 periyodu

- Kış aylarında 2-3°C, sonbahar ve ilkbahar aylarında 3-4°C'yi bulan sıcaklık artışlarının yaz periyodunda 5°C'yi bulacağı ön görülmektedir.
- Kış yağışlarında, Kıyı Akdeniz, Güney Doğu Anadolu ve Doğu Anadolu'nun güneyi hariç artışlar olacağı,
- İlkbaharda, Kıyı Ege ve Kuzey-Doğu Anadolu hariç tüm yurttan %20 civarında azalmalar olacağı,

- Ege, Marmara, Batı ve Doğu Karadeniz hariç, tüm yurttan, özellikle de Doğu Anadolu'da yaz yağışlarında %50 civarında azalmalar olacağı,
- Sonbaharda ise tüm yurttan yağışların azalacağı ön görülmektedir.

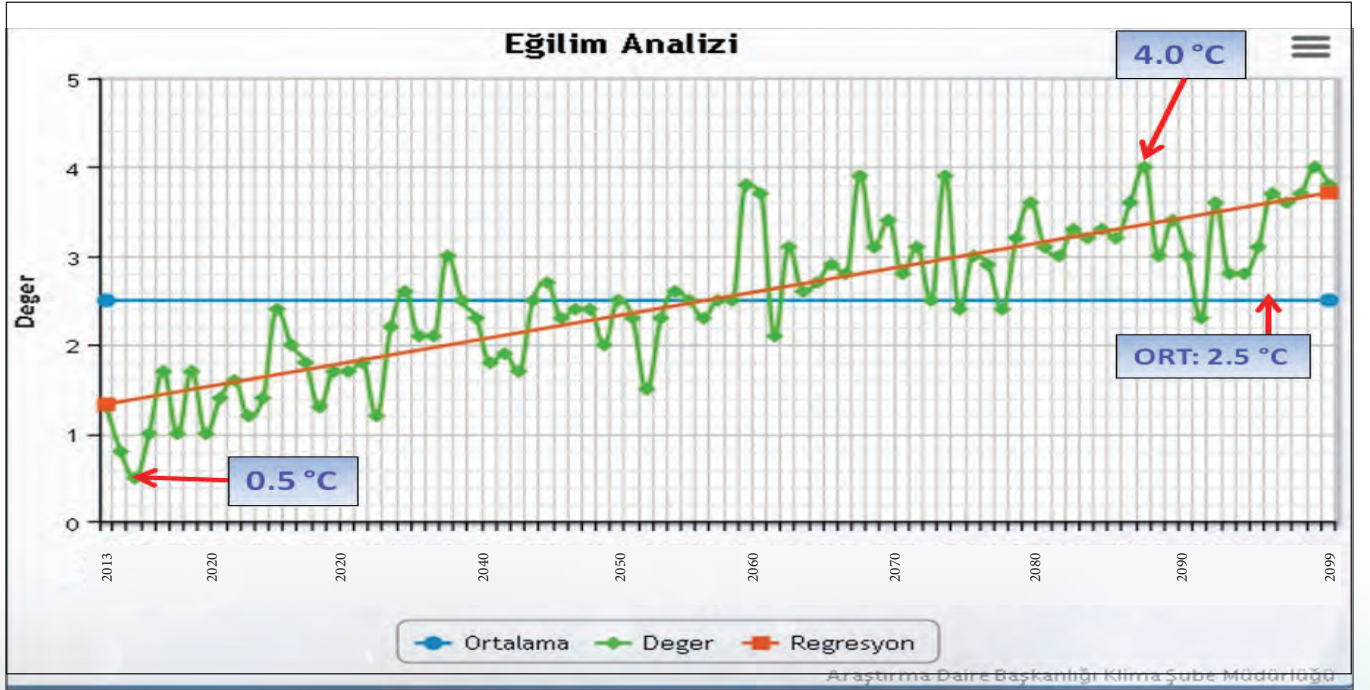
2071-2099 periyodu

- Özellikle yaz sıcaklıklarında 6°C'yi aşan sıcaklık artışları göze çarpmaktadır. Bununla beraber, ilkbahar ve sonbahar aylarında özellikle Güney Doğu Anadolu'da sıcaklık artışlarının 6°C'yi bulacağı, kış aylarında ise Trabzon-Mersin hattının batısında 3-4°C, bu hattın doğusunda ise 4-5°C artışların olacağı ön görülmektedir.
- Kış yağışlarında Orta ve Doğu Akdeniz ile Güney Doğu Anadolu bölgelerinde azalışlar, diğer bölgelerde ise, özellikle Orta ve Doğu Karadeniz kıyılarında, artışlar olacağı,
- İlkbahar aylarında Kıyı Ege, Orta Karadeniz'in batı kesimi ve Doğu Karadeniz hariç, diğer bölgelerimizde %20'ler civarında azalışlar, sonbaharda Marmara kıyıları hariç tüm yurttan %40'lara yer yer de %50'lere varan azalışlar olacağı,
- Yaz yağışlarında ise Marmara ve Batı Karadeniz'de artışlar beklenirken, özellikle Akdeniz ve Doğu Anadolu'da yağışların azalacağı ön görülmektedir.

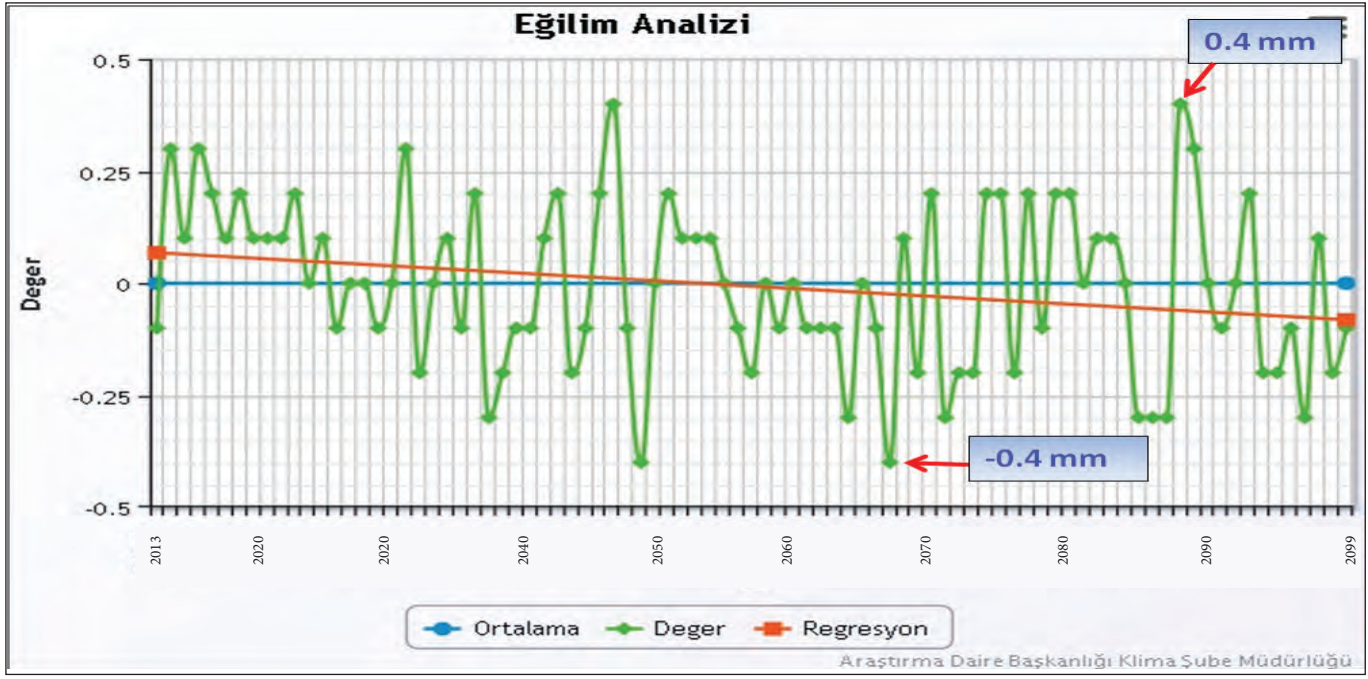
4.2.3 Eğilim Analizleri

Diğer bir ürün ise, ülkemizin içinde olduğu domain alanı için yapılan sıcaklık ve yağış eğilim analizleridir. Bu analizlerde, RCP4.5 senaryosuna göre ülkemizin yıllık ortalama sıcaklıklarının 2013-20199 periyodu için sürekli bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Periyot sonunda ortalama artış 2.5°C olarak hesaplanmıştır. Isınma eğilimi yüzyılın ortalarına kadar sınırlı iken, özellikle yüzyılın ortalarından itibaren bu eğilimin yükseldiği görülmektedir. Grafikte en düşük artış miktarı 0.5°C, en yüksek artış miktarı ise 4°C olarak hesaplanmıştır. Ortalama

günlük yağışların referans periyodu ortalama günlük yağışlarından çıkarılması ile elde edilen grafikte ise, 2013-2099 periyodu için yağışların yaklaşık olarak 0.14 mm/gün, diğer bir deyişle yaklaşık 50 mm/yıl azaldığı görülmektedir. Bu genel azalma eğilimine rağmen, yağışlardaki değişimin düzenli bir rejim izlemediği göze çarpmaktadır. Bazı dönemlerde, 0.4 mm/gün (yıllık 145-150 mm) arttığı, bazı dönemlerde ise yine aynı değerde azaldığı göze çarpmaktadır. Ülkemizin yıllık ortalama yağışının 642 mm olduğunu düşünürsek küçük gibi görünen değişimin aslında ciddi bir miktarı temsil ettiği anlaşılmaktadır.



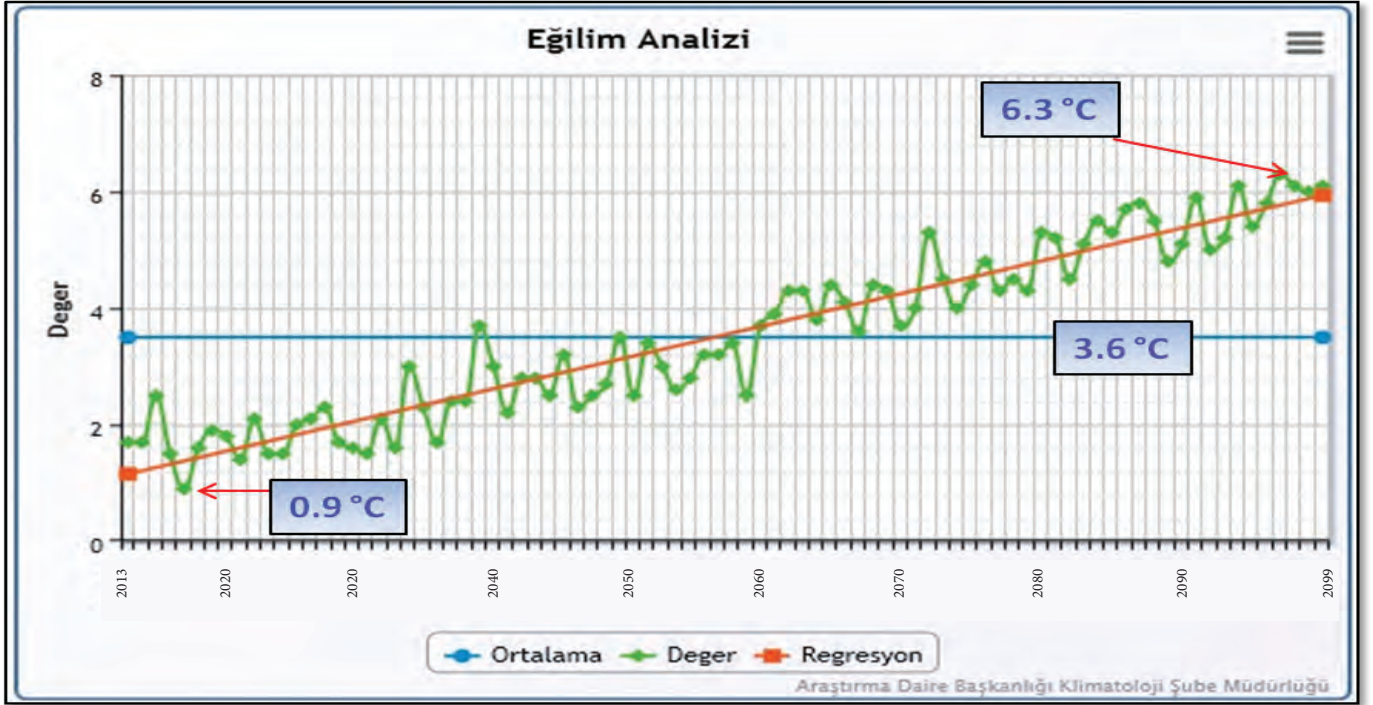
Grafik-4.4: 2013-2099 yıllık ortalama sıcaklıklarının referans periyottan farkları (RCP4.5)



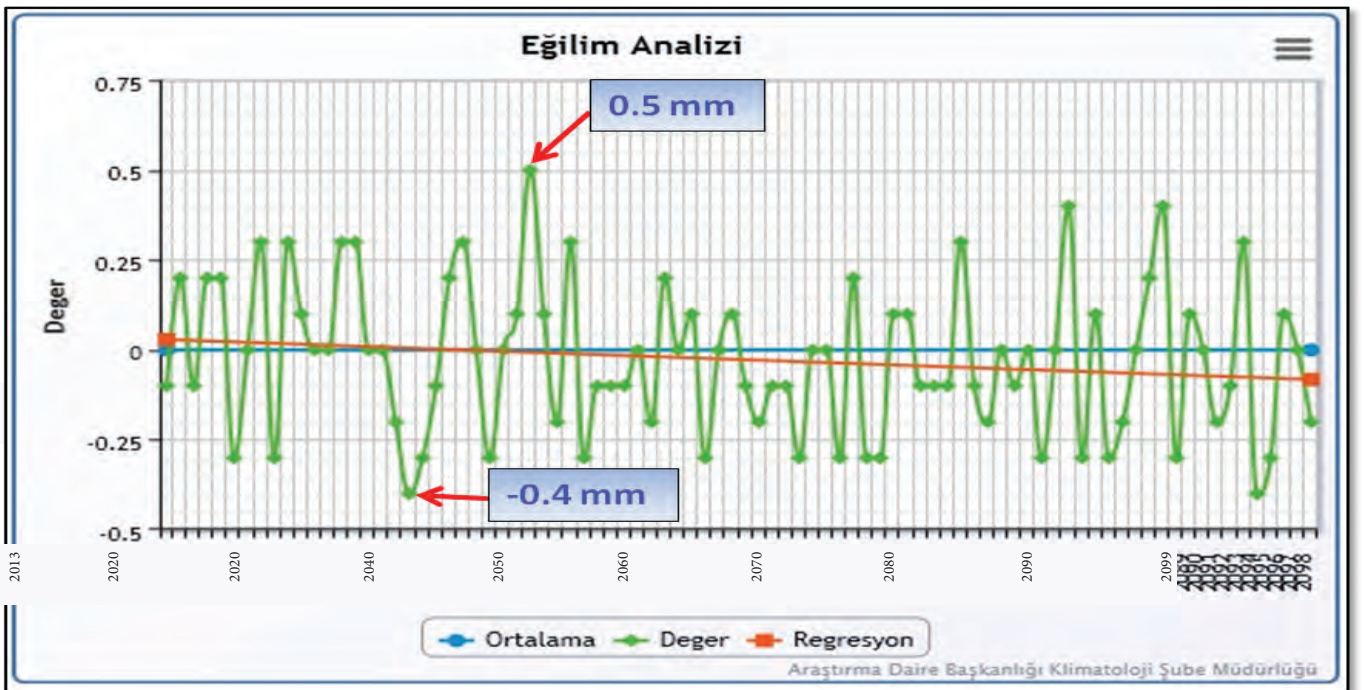
Grafik-4.5: 2013-2099 ortalama günlük yağışların referans periyottan farkları (RCP4.5)

RCP8.5 senaryosuna göre elde edilen grafikler incelendiğinde ise ülkemizin yıllık ortalama sıcaklıklarının 2013-20199 periyodu için sürekli bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Periyot sonunda ortalama artış 3.6°C olarak hesaplanmıştır. Isınma eğiliminin özellikle 2060'lerden itibaren yükseldiği görülmektedir. Grafikte en düşük artış miktarı 0.9°C, en yüksek artış miktarı ise 6.3°C olarak hesaplanmıştır. Ortalama günlük yağışların

referans periyodu ortalama günlük yağışlarından çıkarılması ile elde edilen grafikte ise, 2013-2099 periyodu için yağışların yaklaşık olarak 0.13 mm/gün, diğer bir deyişle yaklaşık 47 mm/yıl azaldığı görülmektedir. Bu genel azalma eğilimine rağmen, yağışlardaki değişimin düzenli bir rejim izlemediği göze çarpmaktadır. En yüksek artış 0.5 mm/gün (yıllık yaklaşık 180 mm), en fazla düşüş 150 mm civarında olduğu göze çarpmaktadır.



Grafik-4.6: 2013-2099 yıllık ortalama sıcaklıklarının referans periyottan farkları (RCP8.5)



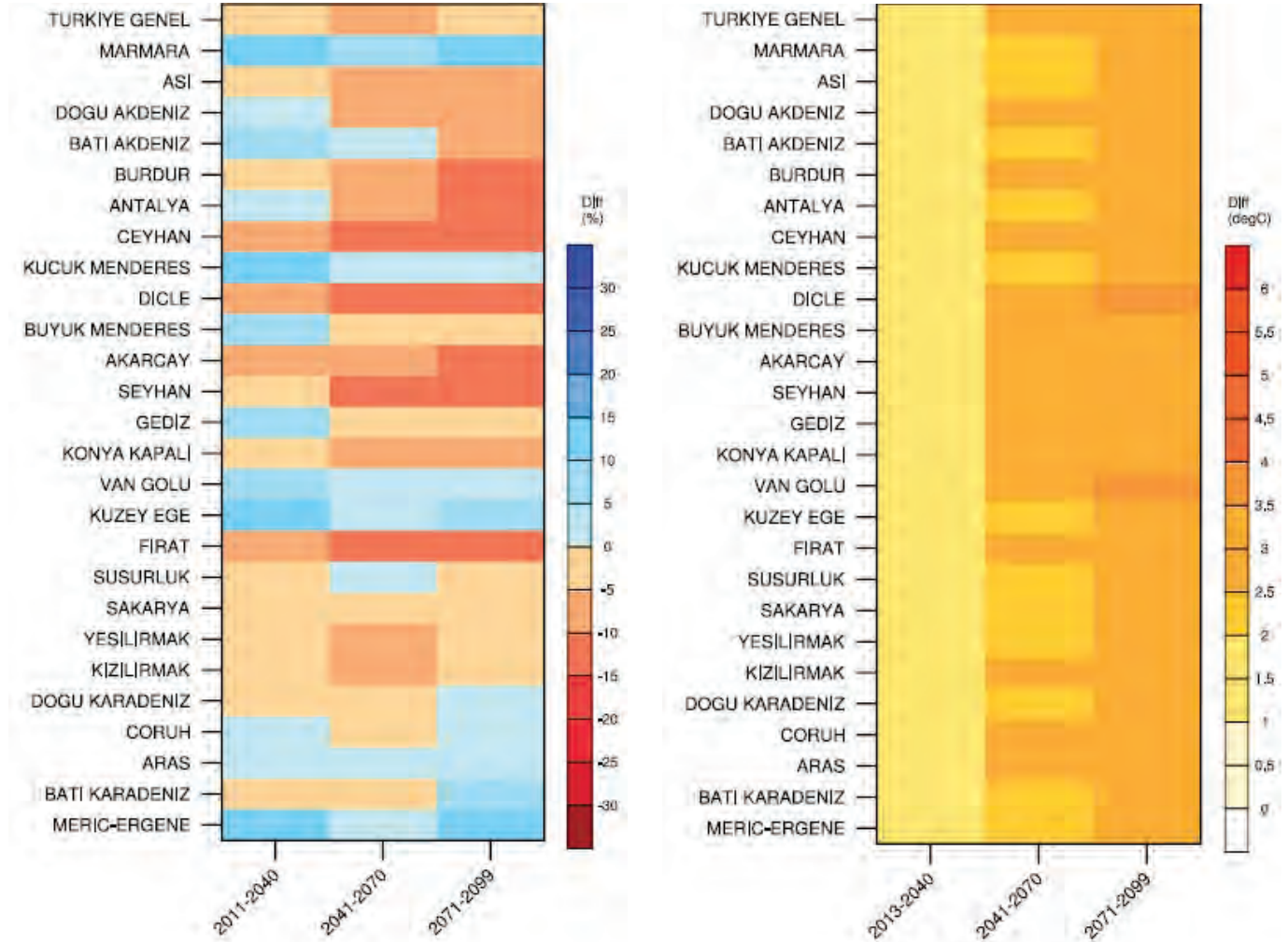
Grafik-4.7: 2013-2099 ortalama günlük yağışların referans periyottan farkları (RCP8.5)



4.2.4 Havzalar İçin Projeksiyonlar

Türkiye'yi de içine alan ana domain alanımız ile ilgili temel haritalarımız yukarıda paylaşılmıştır. Bu ürünlerin yanında, sadece ülkemizin bulunduğu

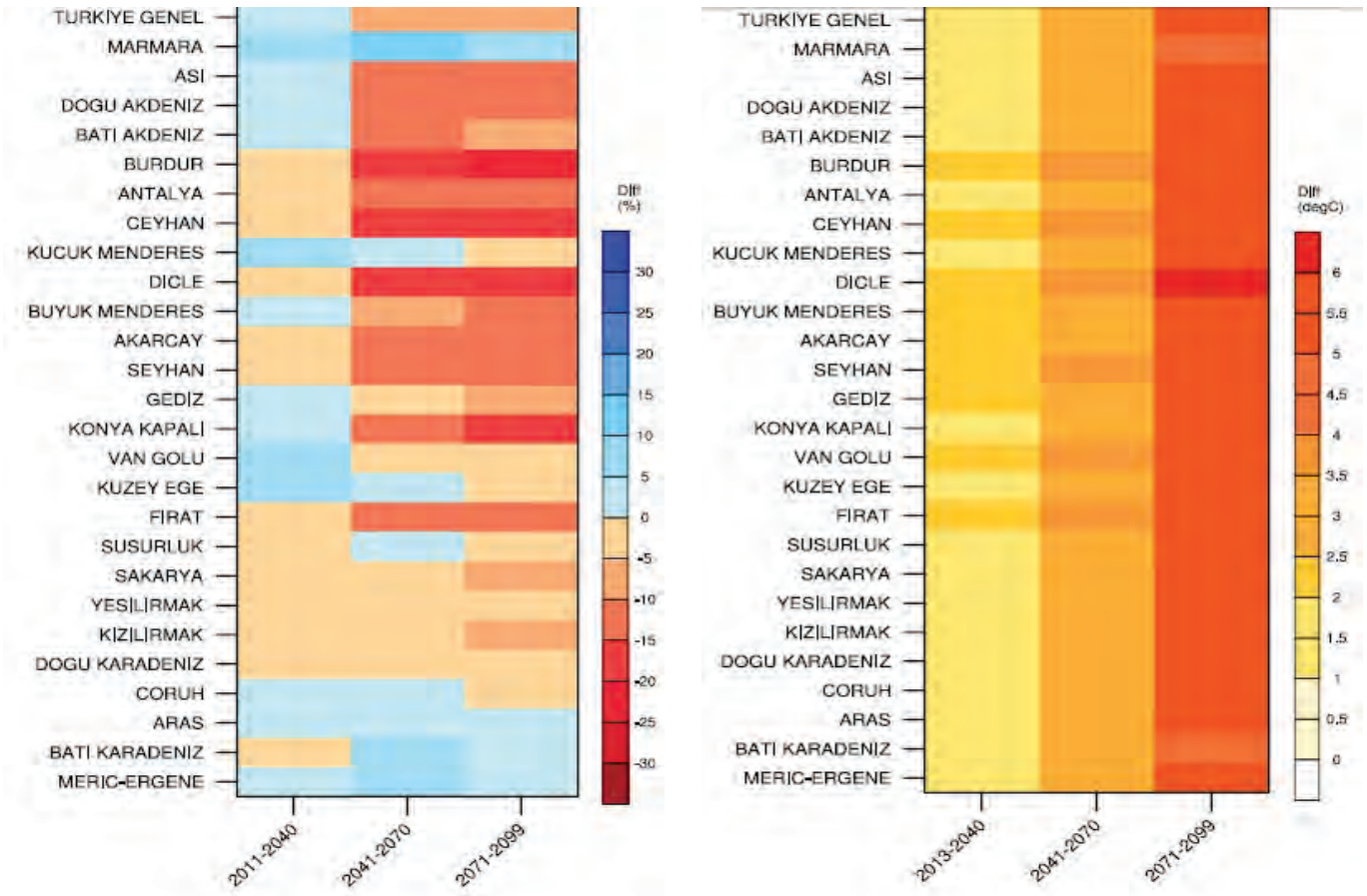
domain alanı üzerinde de bazı analizler yapılmış ve ürünler üretilmiştir. Bunlardan ilki ülkemizdeki havzalar ile ilgili temel sıcaklık ve yağış analizleridir.



Şekil-4.7: RCP4.5'e Göre Havza Bazlı Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları

RCP4.5 senaryosuna göre sıcaklıklar incelendiğinde bütün havzalarımızda ortalama sıcaklıkların, bütün periyotlarda artış eğiliminde olduğu görülmektedir. En fazla artış ise 3.5-4.0°C artışla, 2071-2099 periyodunda Dicle ve Van Gölü havzalarında göze çarpmaktadır. Yağışlar incelendiğinde, Türkiye

geneli yağış ortalamasında tüm 2013-2099 periyodunda azalmalar görülürken, Marmara, Küçük Menderes, Van Gölü, Kuzey Ege, Aras ve Meriç-Ergene havzalarında tüm periyotlarda artışlar görülmektedir. Bazı havzalarda ise ilk periyotta artış diğer periyotlarda azalmalar dikkat çekmektedir.



Şekil-4.8: RCP4.5'e Göre Havza Bazlı Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları

RCP8.5 senaryosuna göre sıcaklıklar incelendiğinde bütün havzalarımızda ortalama sıcaklıkların, bütün periyotlarda artış eğiliminde olduğu görülmektedir. En fazla artış ise 6.0°C'yi aşan değerle, 2071-2099 periyodunda Dicle Havzasında göze çarpmaktadır. Yağışlar incelendiğinde, Türkiye

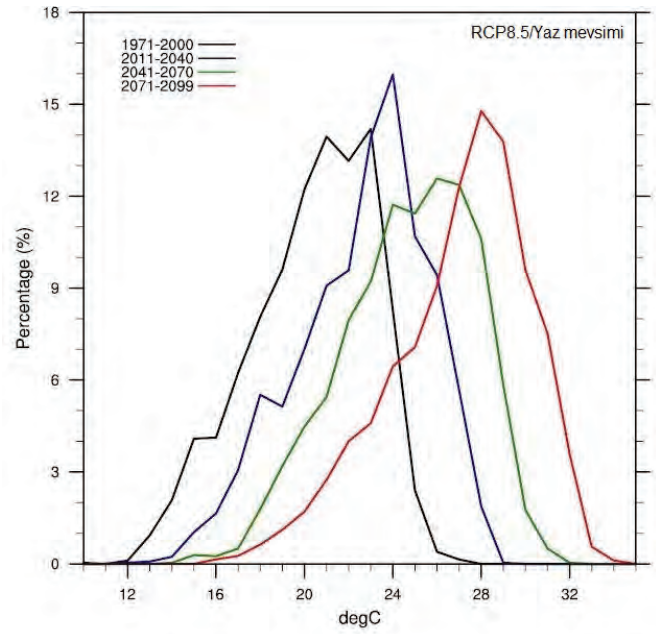
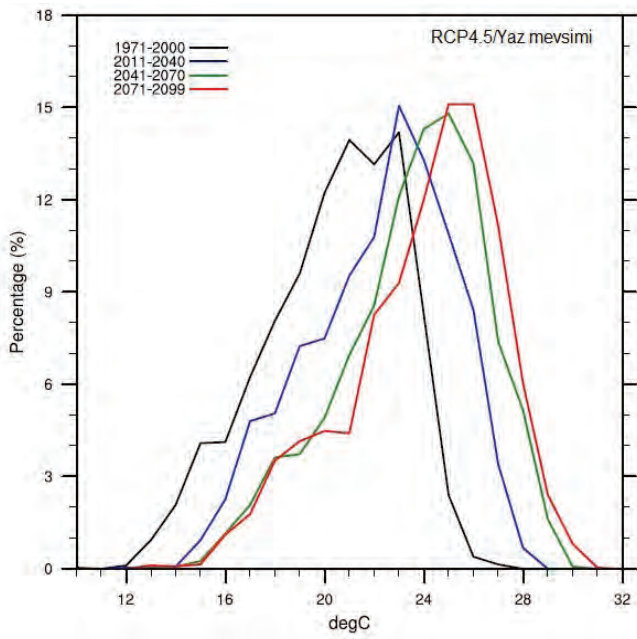
geneli yağış ortalamasında ilk periyotta artış, 2. ve 3. periyotlarda azalmalar görülürken, Marmara, Aras ve Meriç-Ergene havzalarında tüm periyotlarda artışlar görülmektedir. Burdur, Ceyhan ve Dicle havzalarında ise tüm periyotlar boyunca azalmalar göze çarpmaktadır.

5. PROJEKSİYONLARIN KLİMATOLOJİSİ ve EKSTREMLER

Bu bölümde, üretilen bölgesel iklim değişikliği projeksiyonlarından, örnek olarak Dicle, Fırat havzaları ve Adana, Manisa, Ankara, Bursa, Erzurum, Samsun ve Diyarbakır istasyonlarına ait en yakın gridin günlük verileri kullanılarak, referans periyodu verileri ve MGM gözlem verilerine göre analizler yapılmış ve örnek teşkil etmesi açısından bazı indisler hesaplanmıştır.

Türkiye geneli için ortalama yaz sıcaklıkları incelendiğinde gerek RCP4.5 gerekse RCP8.5 senaryolarına göre referans periyodundan son

periyoda kadar aşamalı olarak sıcaklıkların artış yönüne doğru kaydığı görülmektedir. Bu kayma RCP8.5 senaryosunda daha belirgin şekilde görülmektedir. 2071-2099 periyodunda RCP4.5 senaryosuna göre en yüksek ortalama yaz sıcaklığı 31°C civarındayken, RCP8.5 senaryosunda bu değer 35°C'nin üzerinde çıkmaktadır. Bu durum aynı zamanda ekstrem sıcaklıkların görülme ihtimalinin yükseldiğini, daha şiddetli sıcak hava dalgaları ile daha sık karşı karşıya kalabileceğimizi göstermektedir.



Grafik-5.1: Türkiye geneli ortalama yaz sıcaklıkları yüzdesi (Tüm Periyotlar)

5.1 Dicle ve Fırat Havzalarında Yaz Mevsiminde Günlük Ortalama Sıcaklığın 25 °C ve Üzerindeki Gün Sayılarının Değişimi

Tablo-5.1: RCP4.5 Senaryosuna Göre Dicle ve Fırat Havzalarında Yaz Mevsiminde Günlük Ortalama Sıcaklığın 25°C ve Üzerindeki Gün Sayılarında ki Artış Beklentileri

	Gün sayısı >25°C			
	1971-2000	2013-2040	2041-2070	2071-2099
Dicle Havzası	645	1423	1991	2055
Fırat Havzası	269	869	1428	1531

Bölgesel model projeksiyonlarımıza göre en hassas bölgelerimiz arasında yer alan Dicle ve Fırat havzalarını detaylı olarak incelediğimizde özellikle yaz sıcaklıklarında ciddi bir artış tahmin edilmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre yaz

mevsiminde, Dicle havzasındaki ortalama sıcaklığın 25°C ve üzerindeki gün sayısının 2071-2099 periyodunda, 1971-2000 periyoduna göre yaklaşık 3 kat, Fırat havzasında ise yaklaşık 6 kat artması tahmin edilmektedir.

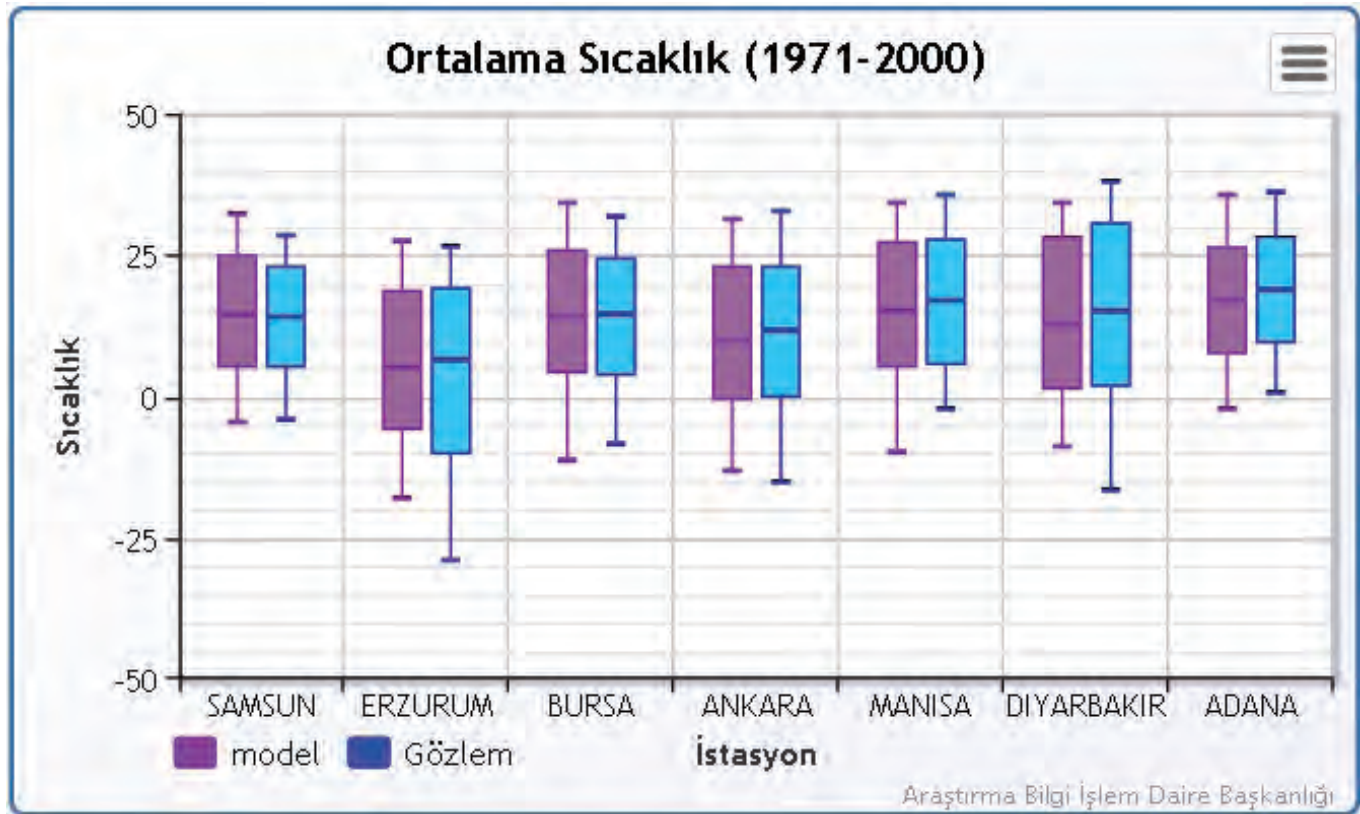
Tablo-5.2: RCP8.5 Senaryosuna Göre Dicle ve Fırat Havzalarında Yaz Mevsiminde Günlük Ortalama Sıcaklığın 25°C ve Üzerindeki Gün Sayılarında ki Artış Beklentileri

	Gün sayısı >25°C			
	1971-2000	2013-2040	2041-2070	2071-2099
Dicle Havzası	645	1458	2251	2489
Fırat Havzası	269	951	1778	2239

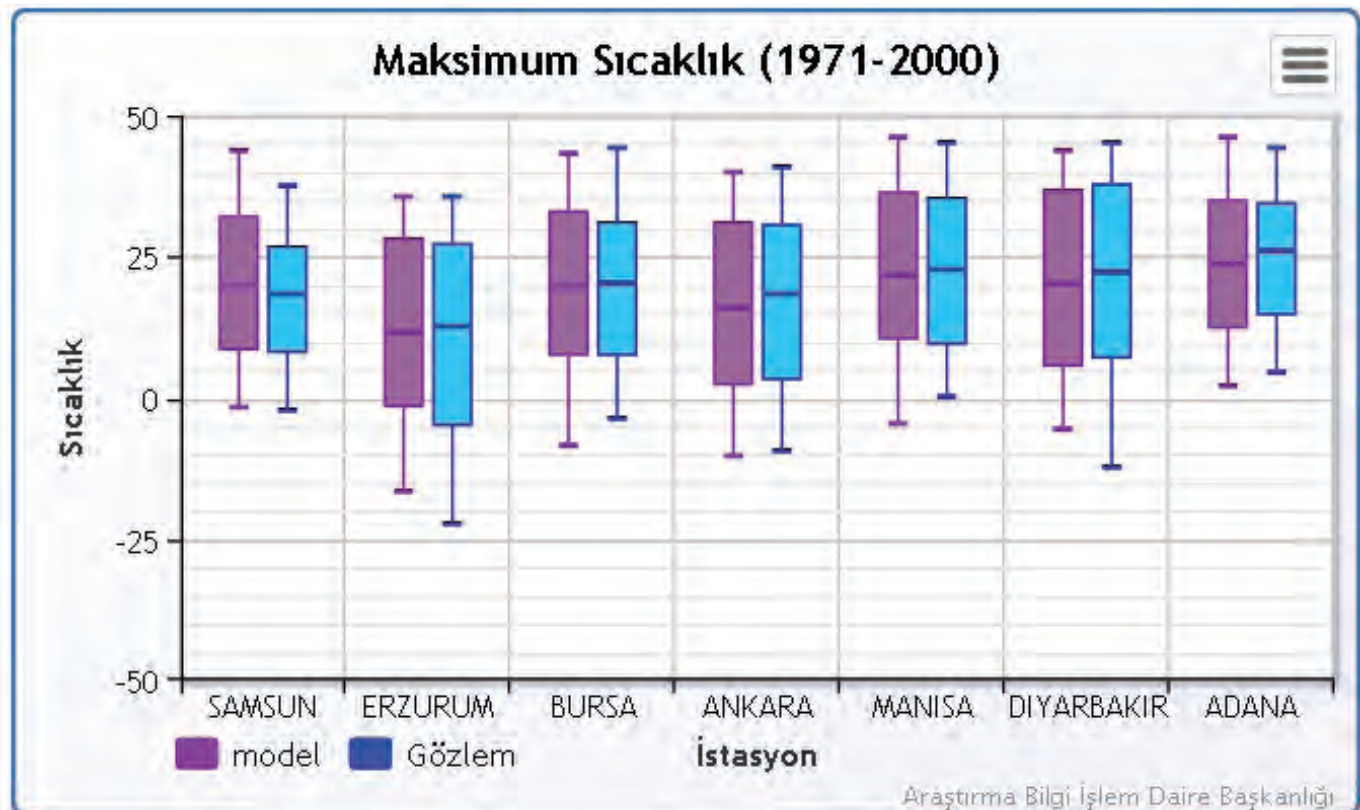
RCP8.5 senaryosuna göre ise Dicle Havzasında 2071-2099 periyodunda ortalama sıcaklığın 25°C ve üzerindeki gün sayısının 2489'a çıkması beklenmektedir. Diğer bir ifadeyle neredeyse tüm yaz ayı boyunca sıcaklık ortalamalarının 25°C ve üzerinde gerçekleşmesi tahmin edilmektedir. Fırat Havzasındaysa bu sayının 1971-2000 periyoduna göre yaklaşık 9 kat artışla 2239 sayısına ulaşması beklenmektedir.

Ülkemizin en fazla buharlaşma miktarına sahip olan bu bölgede sıcaklıkların bu denli artması, sıcak dalgalarının artmasını, su kaynaklarının azalmasını, toprakta çoraklaşmayı, su stresini ve ürün deseninde değişikliğini de beraberinde getirecektir.

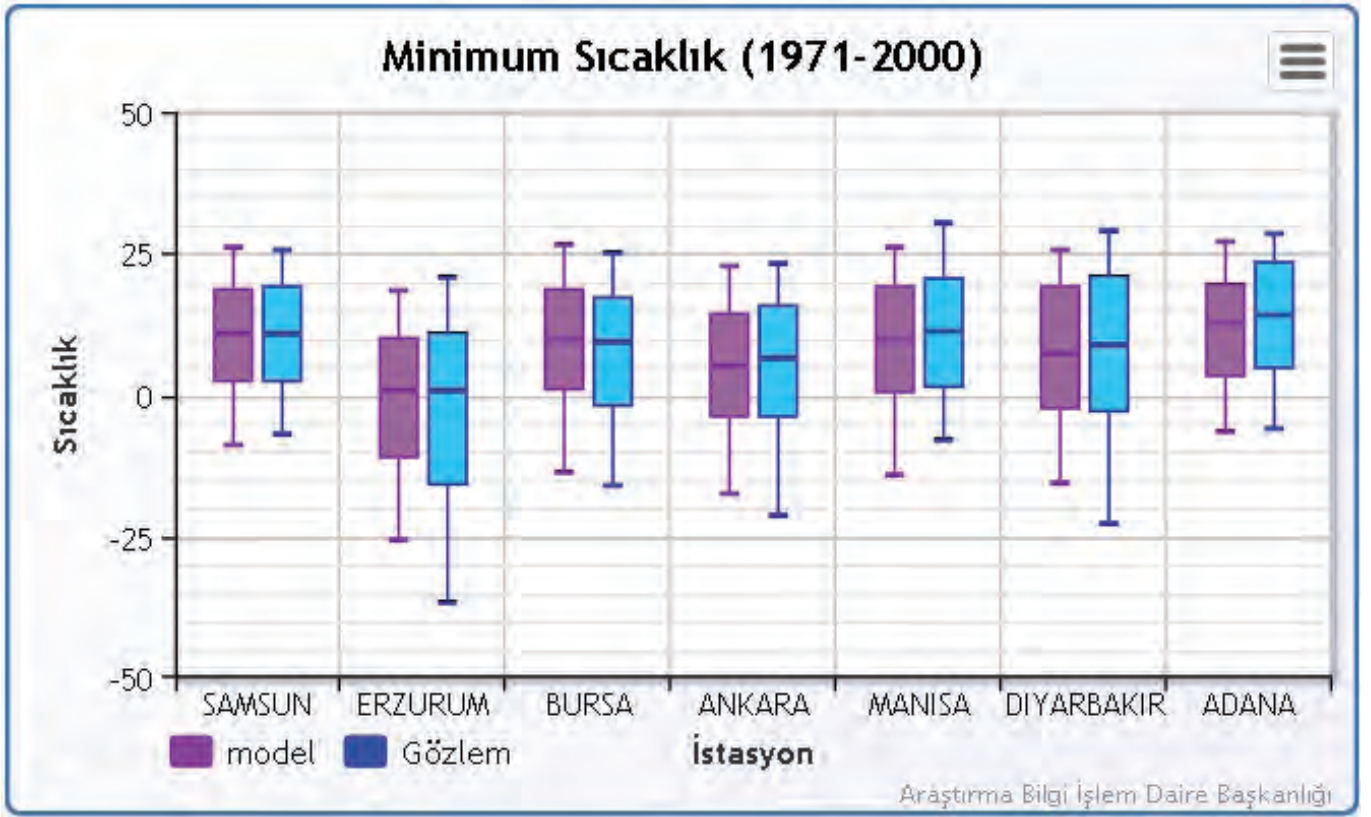
5.2 Model Sonuçlarının ve İstasyonlara Ait Gözlem Verilerinin Sıcaklık ve Yağış Parametrelerine Ait Eşik Değerlerinin Kıyaslanması



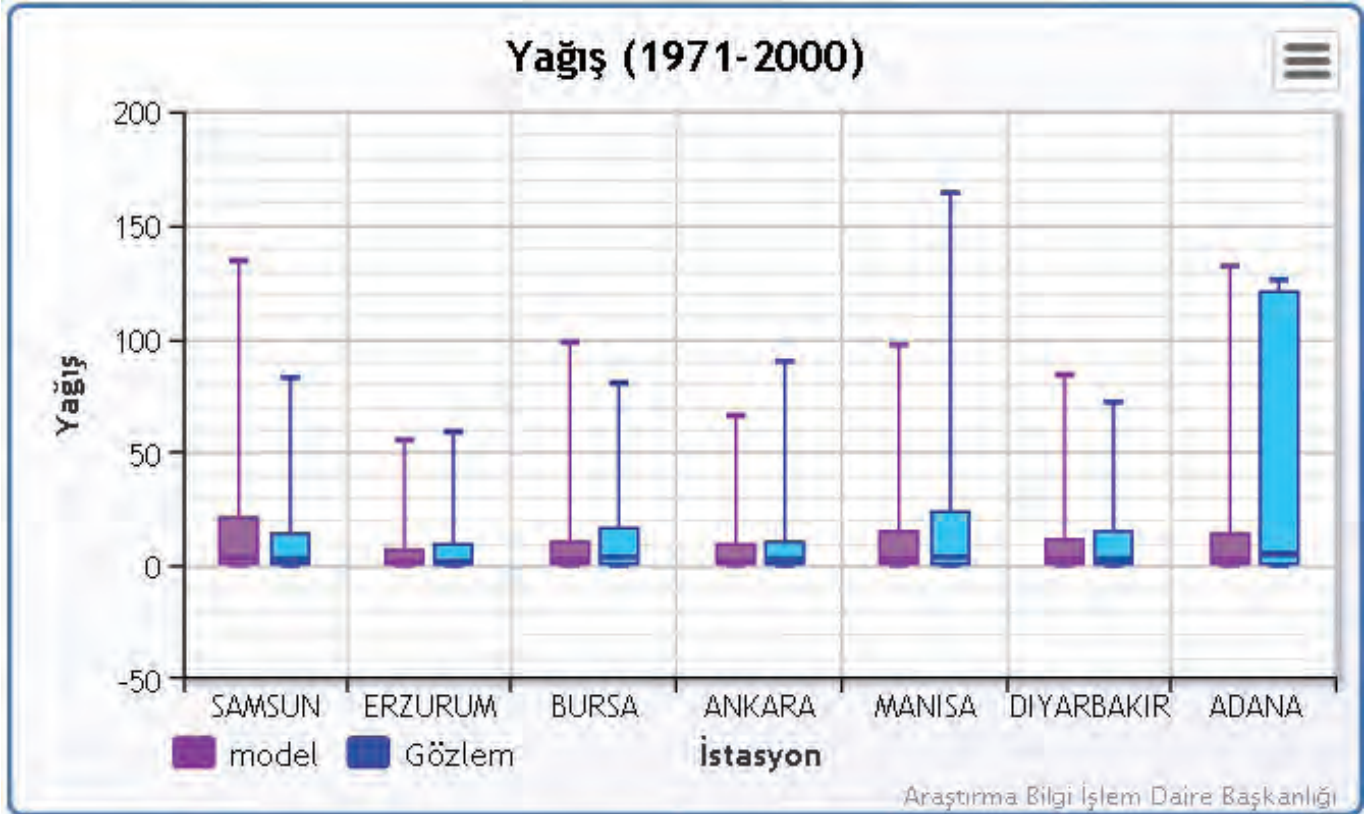
Grafik-5.2: Modele ve İstasyona Ait Ortalama Sıcaklık Eşik Değerlerinin Kıyası



Grafik-5.3: Modele ve İstasyona Ait Maksimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin Kıyası



Grafik-5.4: Modele ve İstasyona Ait Minimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin Kıyası



Grafik-5.5: Modele ve İstasyona Ait Yağış Eşik Değerlerinin Kıyası

Yukarıda yer alan tablolarda modelin referans periyodu için üretmiş olduğu ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık ve yağış değerlerinin %10, %50 ve %90'a tekbül eden eşik değerleri, istasyonlara ait gözlem verilerinin aynı döneme ait eşik değerleriyle kıyaslanmış ve modelin bu parametrelerdeki tutarlılığı saptanmaya çalışılmıştır.



5.3 İstasyonlara En Yakın Grid Noktasında, Referans Periyoda Ait Yüzdelerik Eşik Değerlerinin, Gelecek Simülasyonlarında Tekabül Ettiği Yüzdelerik Dilimin Belirlenmesi.

Tablo 5.3 Referans Periyodun Maksimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP4.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Maksimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdelerik Eşik Değeri

RF Eşik Yüzdesi	RCP4.5 Maksimum Sıcaklık								
	%10	%50	%90	%10	%50	%90	%10	%50	%90
	2013-2040			2041-2070			2071-2099		
ADANA	6,4	44,6	82,3	4,4	42,1	76,3	3,8	39,1	73,5
DIYARBAKIR	6,1	45,4	83,7	3,8	43,4	77,9	3,4	40,6	75,8
MANISA	7,0	45,3	85,2	6,4	43,1	81,5	5,7	40,8	79,4
ANKARA	6,5	45,5	85,3	5,8	43,8	80,4	5,2	42,0	78,8
BURSA	6,4	45,2	83,7	6,3	43,6	80,1	5,5	40,8	78,4
ERZURUM	6,4	45,5	85,9	5,5	43,1	81,0	5,3	40,5	79,2
SAMSUN	6,4	43,5	83,3	5,3	41,4	78,1	5,0	38,6	77,2

Tablo 5.4 Referans Periyodun Maksimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP8.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Maksimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdelerik Eşik Değeri

RF Eşik Yüzdesi	RCP8.5 Maksimum Sıcaklık								
	%10	%50	%90	%10	%50	%90	%10	%50	%90
	2013-2040			2041-2070			2071-2099		
ADANA	6,2	42,8	80,5	3,7	39,2	72,6	1,5	34,3	67,2
DIYARBAKIR	5,5	45,1	82,9	3,0	41,2	74,8	0,9	36,8	69,8
MANISA	7,1	44,1	83,4	5,5	40,7	78,9	3,7	35,2	73,6
ANKARA	6,8	45,0	83,6	5,3	42,4	77,9	2,9	37,6	72,6
BURSA	7,1	44,0	82,4	5,2	41,2	76,9	3,3	36,3	71,6
ERZURUM	6,2	44,4	84,7	4,8	41,3	77,6	2,6	35,7	71,9
SAMSUN	6,6	43,9	81,6	4,5	40,2	75,8	2,4	34,5	69,6

Tablo 5.5 Referans Periyodun Minimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP4.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Minimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdelerik Eşik Değeri

RF Eşik Yüzdesi	RCP4.5 Minimum Sıcaklık								
	%10	%50	%90	%10	%50	%90	%10	%50	%90
	2013-2040			2041-2070			2071-2099		
ADANA	6,1	44,2	77,2	4,6	41,5	71,2	4,2	38,8	68,4
DIYARBAKIR	6,0	45,6	83,5	4,5	42,5	78,5	3,4	40,1	77,0
MANISA	5,6	43,9	82,9	5,3	40,8	78,4	4,8	37,9	75,4
ANKARA	5,8	44,3	84,2	5,4	42,2	78,1	4,3	38,7	75,4
BURSA	5,5	43,7	82,5	5,2	40,9	77,7	4,5	37,8	74,2
ERZURUM	6,5	45,8	84,3	5,0	42,2	78,1	4,3	39,5	76,5
SAMSUN	5,4	42,5	82,7	4,1	40,4	76,8	3,5	36,3	74,6

Tablo 5.6 Referans Periyodun Minimum Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP8.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Minimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdeler Eşik Değeri

RF Eşik Yüzdesi	RCP8.5 Minimum Sıcaklık								
	%10	%50	%90	%10	%50	%90	%10	%50	%90
	2013-2040			2041-2070			2071-2099		
ADANA	5.4	42.9	75.1	4.1	38.4	66.9	1.5	31.1	59.6
DIYARBAKIR	5.2	45.1	82.5	3.6	40.9	75.2	1.0	34.4	68.8
MANISA	6.5	42.9	80.9	4.5	38.5	75.0	2.3	30.1	67.4
ANKARA	6.4	43.7	81.8	4.4	39.3	74.4	2.1	31.7	67.1
BURSA	6.1	42.6	80.5	4.3	38.1	73.2	2.2	30.3	66.2
ERZURUM	5.6	44.8	82.0	4.4	40.1	73.9	1.8	32.4	66.3
SAMSUN	5.5	42.1	80.9	3.5	37.1	73.6	1.3	30.0	65.4

Tablo 5.7 Referans Periyodun Ortalama Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP4.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Minimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdeler Eşik Değeri

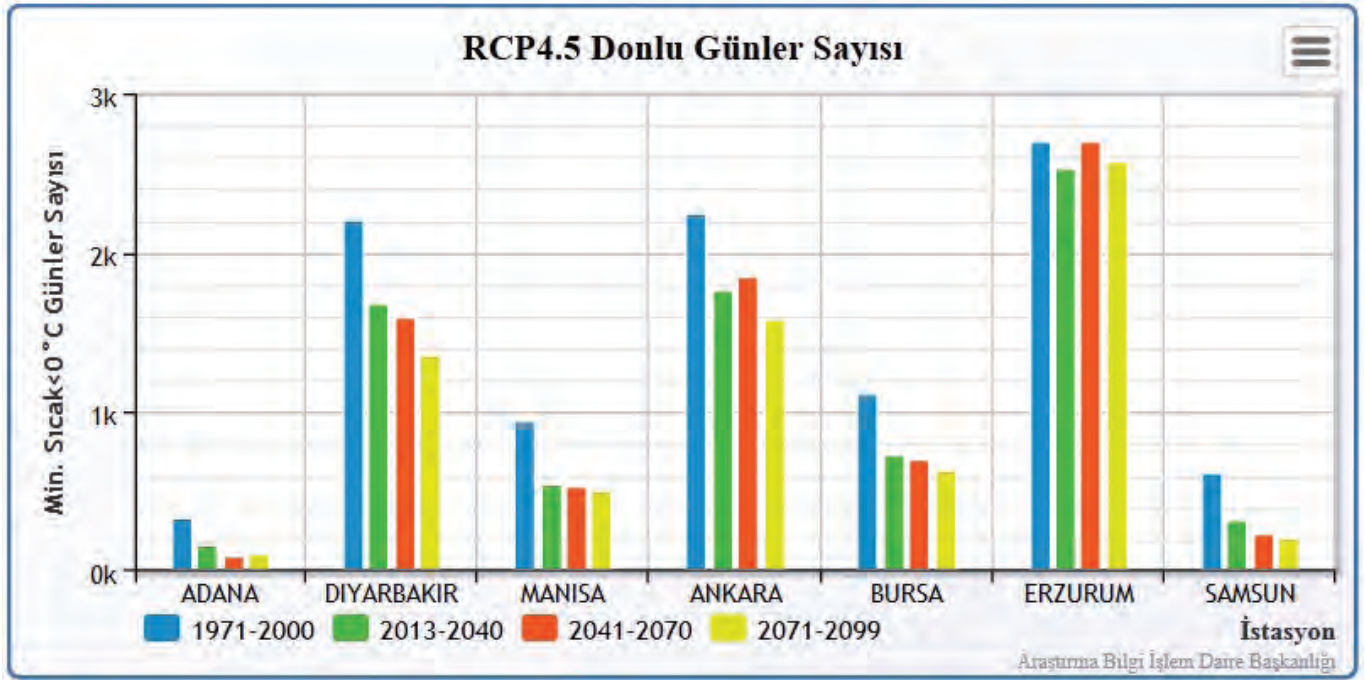
RF Eşik Yüzdesi	RCP4.5 Ortalama Sıcaklık								
	%10	%50	%90	%10	%50	%90	%10	%50	%90
	2013-2040			2041-2070			2071-2099		
ADANA	5.8	44.3	77.8	4.3	41.6	72.0	3.5	38.3	70.2
DIYARBAKIR	5.6	45.1	83.8	4.1	42.6	78.9	3.2	39.9	77.4
MANISA	6.5	45.2	84.4	6.0	42.5	80.7	5.2	39.9	78.4
ANKARA	6.1	45.1	85.0	5.5	43.3	79.8	4.7	40.8	78.5
BURSA	5.7	44.5	83.7	5.4	42.3	80.1	4.8	39.3	77.9
ERZURUM	6.3	45.3	86.0	5.1	42.8	81.1	4.5	40.3	79.6
SAMSUN	5.8	42.8	83.4	4.7	40.5	78.4	4.1	37.4	77.0

Tablo 5.8 Referans Periyodun Ortalama Sıcaklık Eşik Değerlerinin, RCP8.5 Senaryosuna Göre Gelecek Periyotlar İçin Minimum Sıcaklık Değerleri İçerisinde Yer Aldığı, Yüzdeler Eşik Değeri

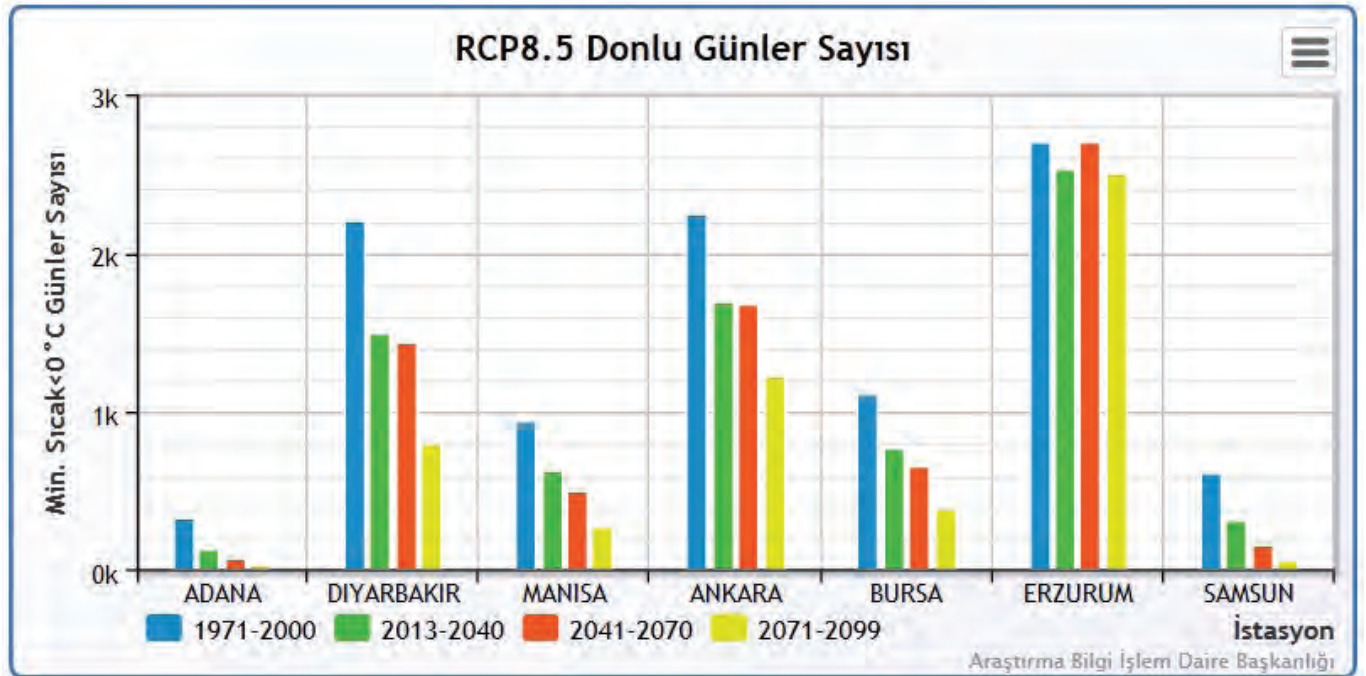
RF Eşik Yüzdesi	RCP8.5 Ortalama Sıcaklık								
	%10	%50	%90	%10	%50	%90	%10	%50	%90
	2013-2040			2041-2070			2071-2099		
ADANA	5.3	42.6	75.9	3.8	38.4	68.4	1.1	32.5	63.7
DIYARBAKIR	4.9	44.9	83.1	3.2	40.8	75.7	0.7	35.4	70.6
MANISA	7.2	44.3	82.8	5.3	40.1	78.1	3.1	33.4	72.3
ANKARA	6.6	44.6	83.3	5.0	41.6	77.8	2.3	35.2	72.4
BURSA	6.6	43.4	82.3	4.5	39.9	76.6	2.4	33.3	71.1
ERZURUM	5.7	44.5	84.9	4.4	40.6	78.2	1.9	34.6	71.6
SAMSUN	6.3	43.1	81.7	4.1	38.6	75.6	1.7	32.0	69.0

Yukarıdaki tabloları örnekle açıklayacak olursak, referans periyotta 5°C %10'luk eşik değerindeyken, sıcaklıklardaki artışa paralel olarak, gelecek periyotlarda %10'un altında bir değere sahip olacaktır. Bu tablolardaki yüzdeler değerler buldukları sütunun yüzdeler diliminin altında yer alıyorsa sıcaklık artışını, üzerinde yer alıyorsa sıcaklık düşüşünü ifade etmektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 için tüm değerler eşik değerinin altında tahmin edilmekte ve bu durum tüm periyotlarda sıcaklık artışı olacağını göstermektedir. Özellikle her iki senaryo için 2071-2099 periyodunda oranların daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum son periyotta daha fazla sıcaklık artışı olacağını ifade etmektedir.

5.4 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Donlu Gün Sayılarının Değişimi



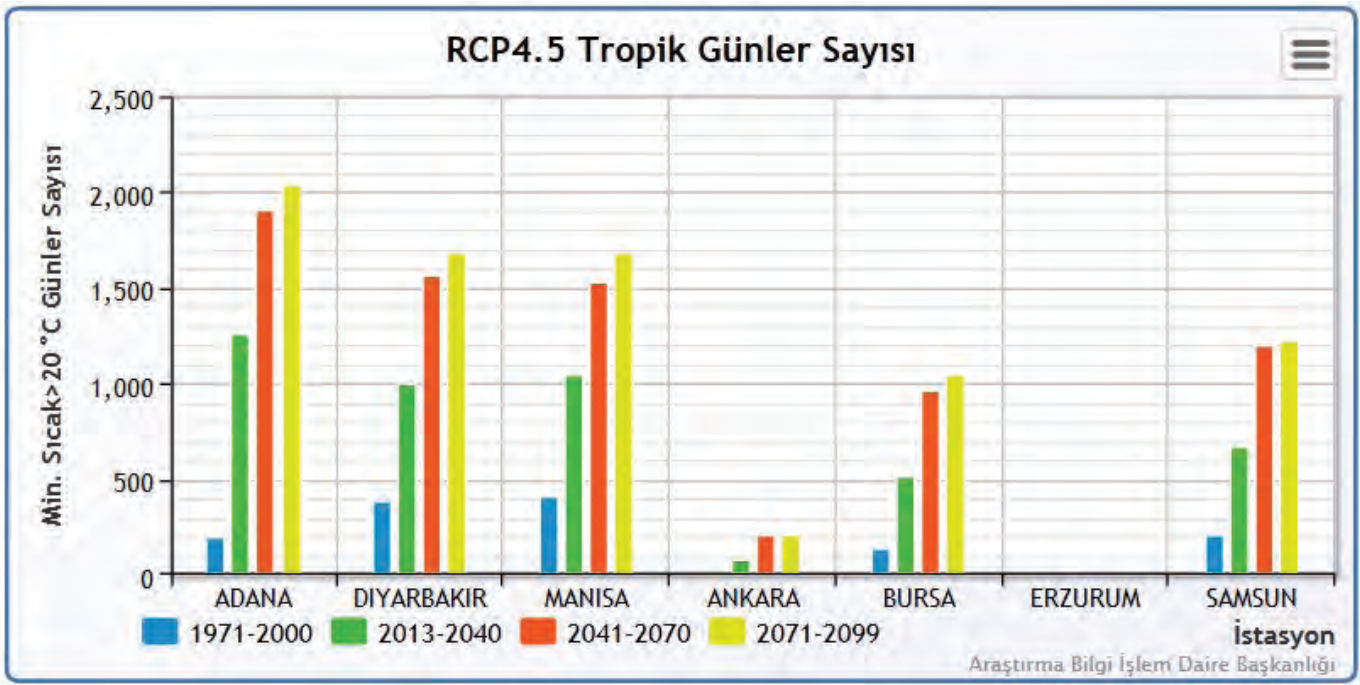
Grafik 5.6 RCP4.5 Senaryosuna Göre Donlu Gün Sayılarındaki Değişim



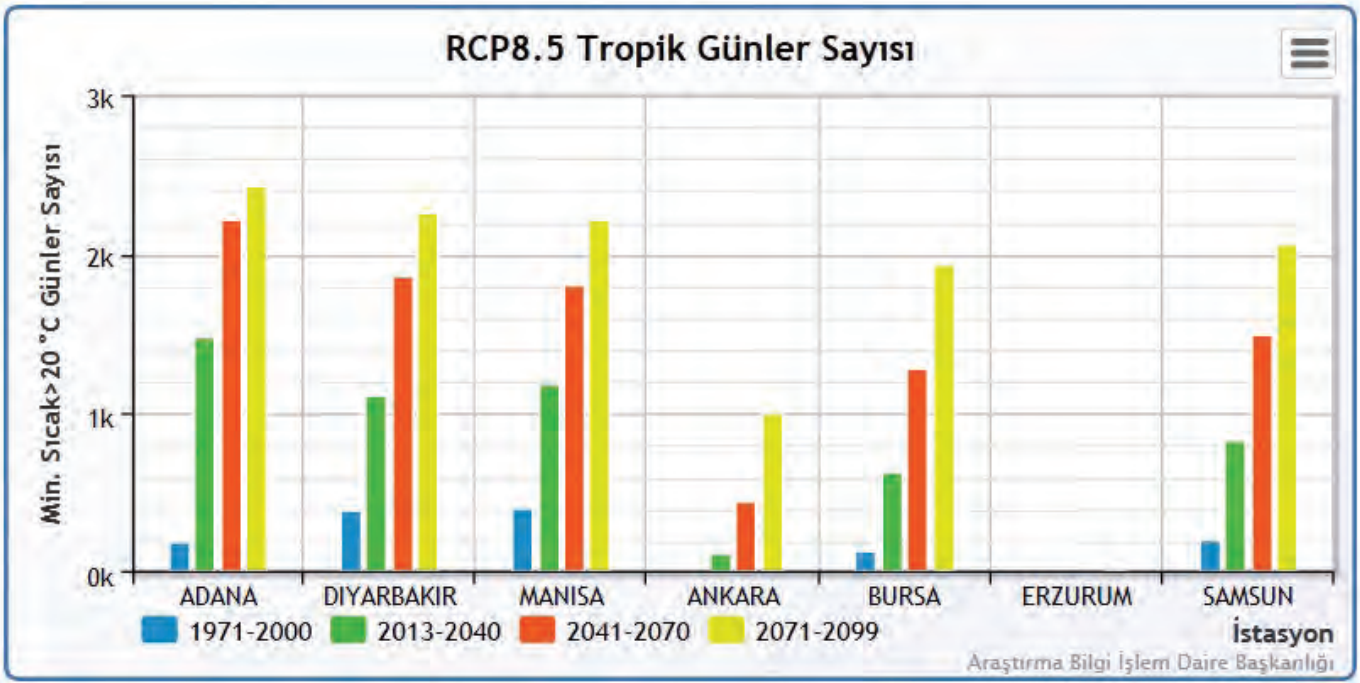
Grafik 5.7: RCP8.5 Senaryosuna Göre Donlu Gün Sayılarındaki Değişim

Her iki senaryonun da tüm periyotlarda öngörmüş olduğu sıcaklık artışına paralel olarak donlu gün sayılarındaki azalış göze çarpmaktadır. Tüm illerde her iki senaryoda da tüm periyotlarda, referans periyoda (1971-2000) göre azalış beklenmektedir.

5.5 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Tropik Gün Sayılarının Değişimi



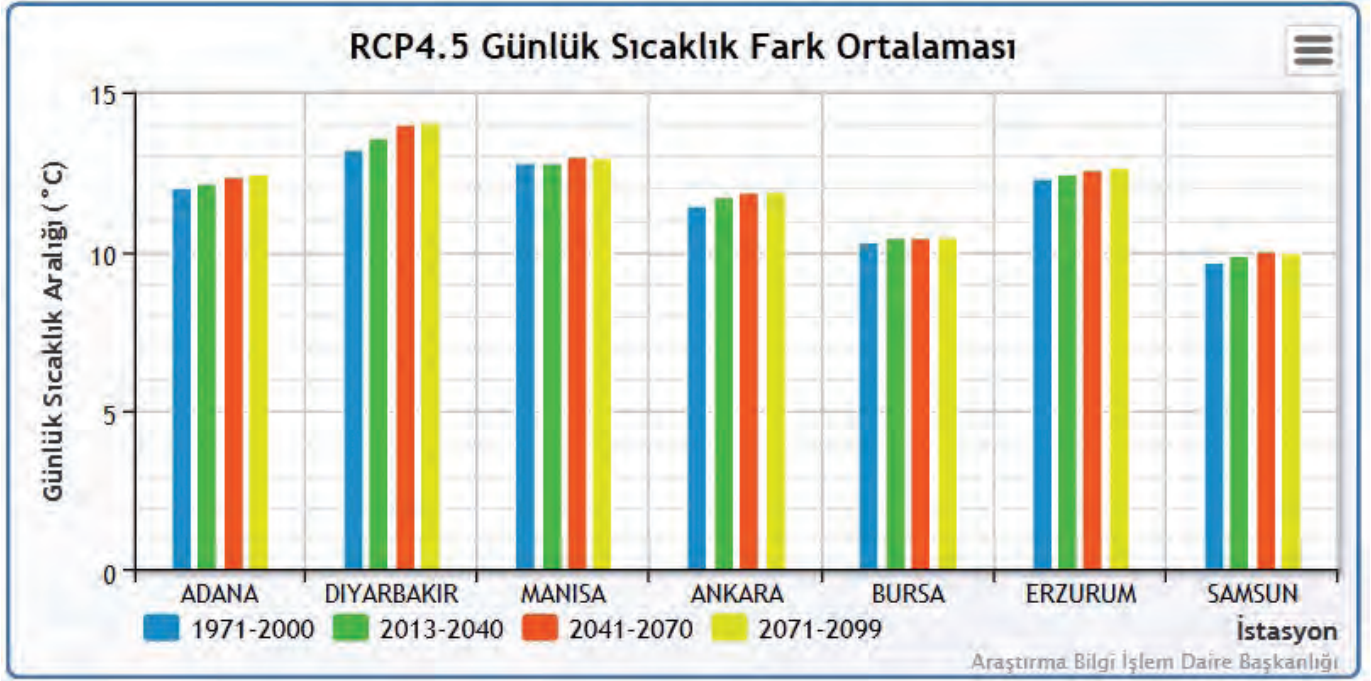
Grafik 5.8: RCP4.5 Senaryosuna Göre Tropik Gün Sayılarındaki Değişim



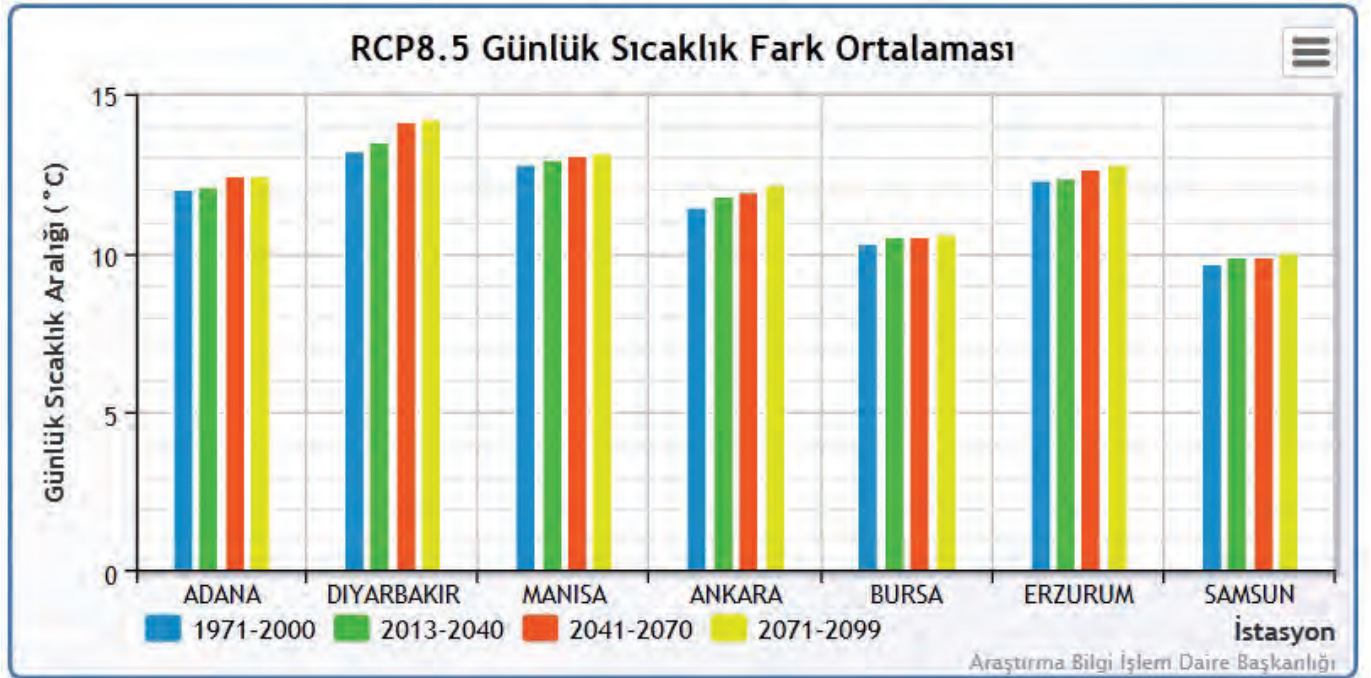
Grafik 5.9: RCP8.5 Senaryosuna Göre Tropik Gün Sayılarındaki Değişim

Minimum sıcaklıkların 20°C'nin üzerinde olduğu günler, tropik gün olarak ifade edilmektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının gelecek simülasyonlarında öngörülen sıcaklık artışı, tropik gün sayılarında da artış öngörmektedir. Erzurum istasyonu hariç tüm istasyonlarda tropik gün sayılarının tüm periyotlarda artması beklenmektedir.

5.6 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Maksimum-Minimum Sıcaklık Farkının Ortalamasındaki Değişim



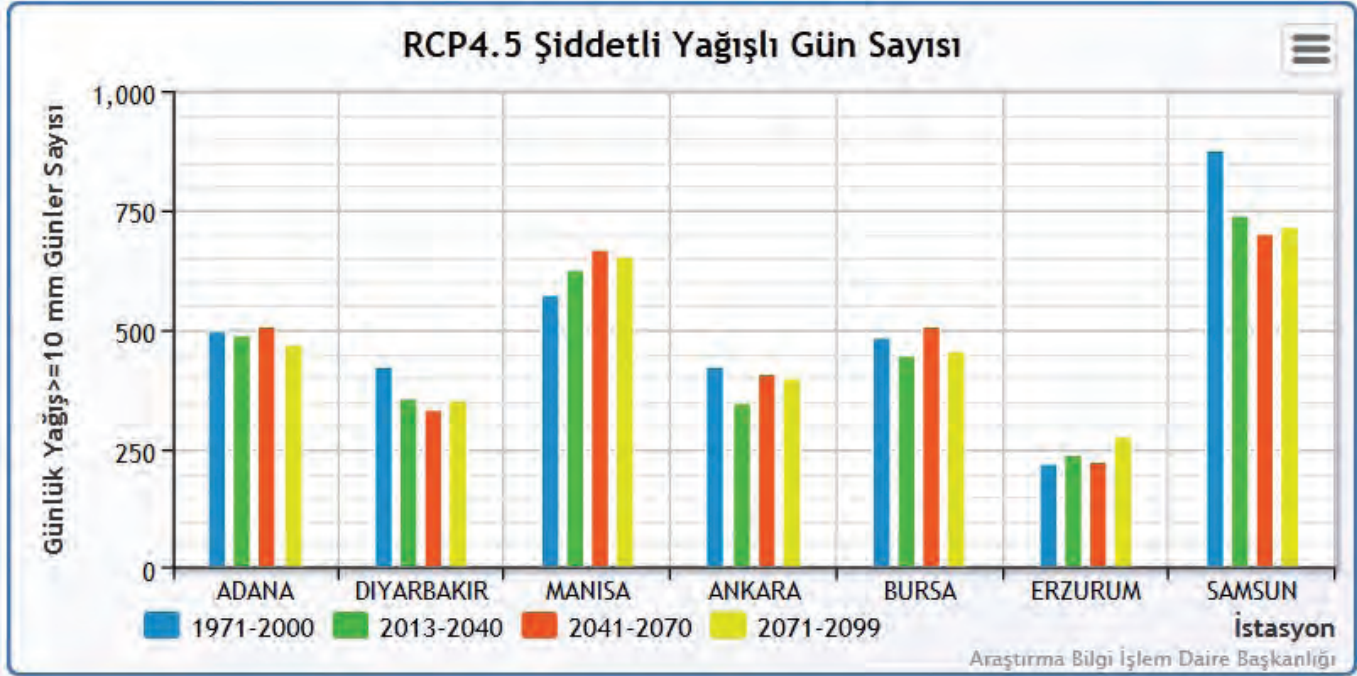
Grafik 5.10:RCP4.5 Senaryosuna Göre Maksimum-Minimum Sıcaklık Farkının Ortalamasındaki Değişim



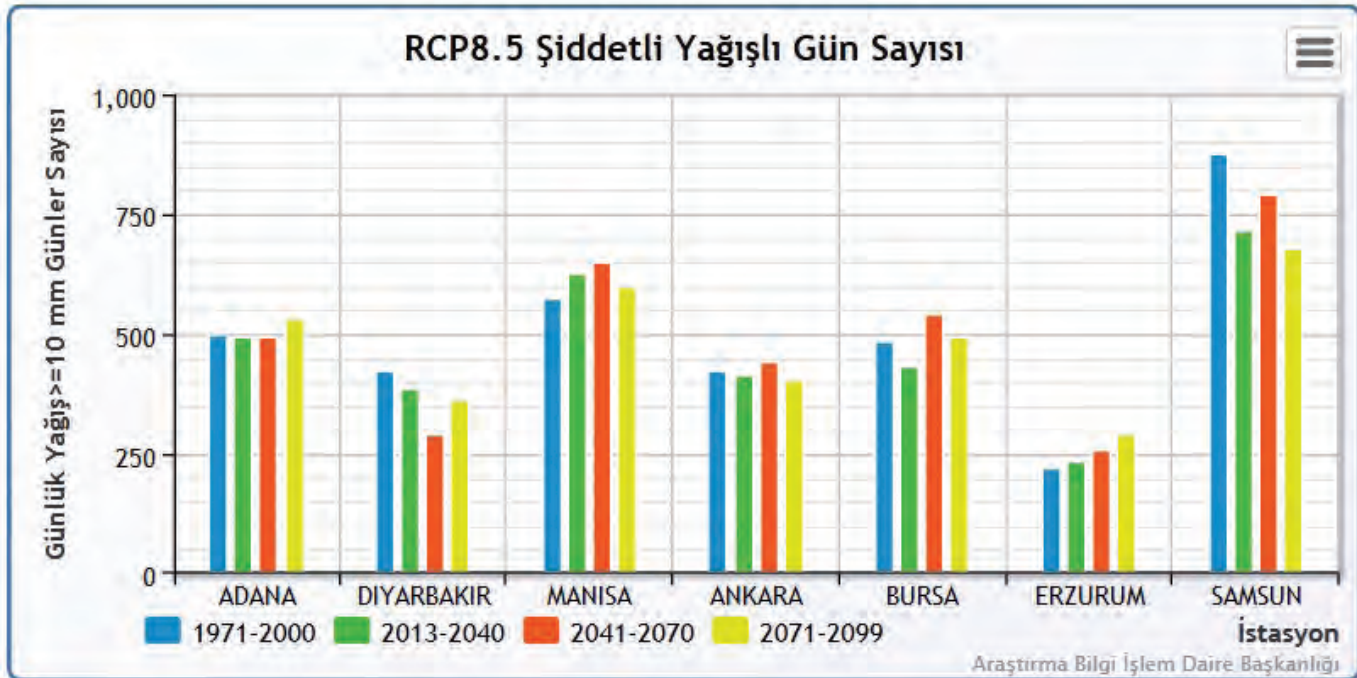
Grafik 5.11:RCP8.5 Senaryosuna Göre Maksimum-Minimum Sıcaklık Farkının Ortalamasındaki Değişim

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre beklenen sıcaklık artışı, minimum ve maksimum sıcaklıklarında artmasını beraberinde getirdiği için bu iki değer arasındaki sıcaklık farklarındaki değişimde çok belirgin bir fark oluşmamaktadır.

5.7 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim



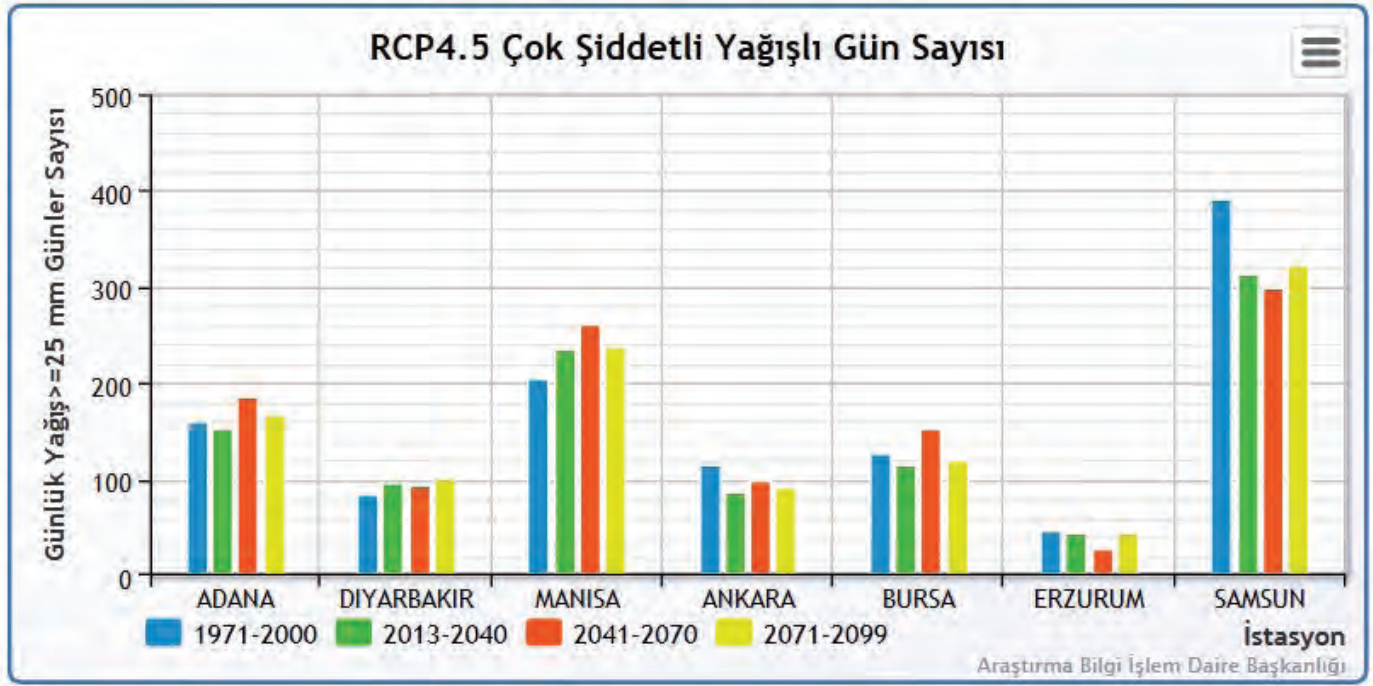
Grafik 5.12: RCP4.5 Senaryosuna Göre Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim



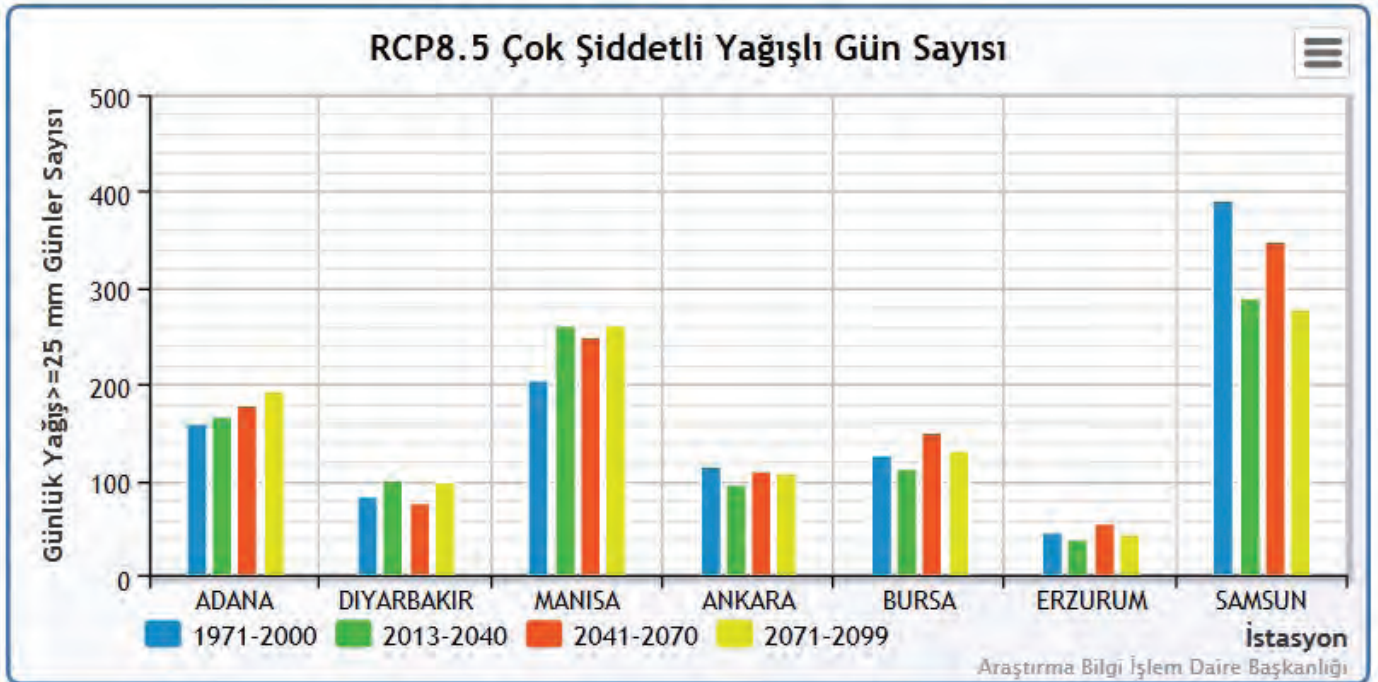
Grafik 5.13 RCP8.5 Senaryosuna Göre Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim

Günlük 20 mm ve üzerinde yağışlı günler, şiddetli yağışlı gün olarak ifade edilmektedir. Yağışlı gün sayılarındaki değişim istasyonlara göre farklılık göstermekle beraber şiddetli yağışlı gün sayılarının bazı istasyonlarda artması, bazı istasyonlarda da azalması beklenmektedir.

5.8 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim



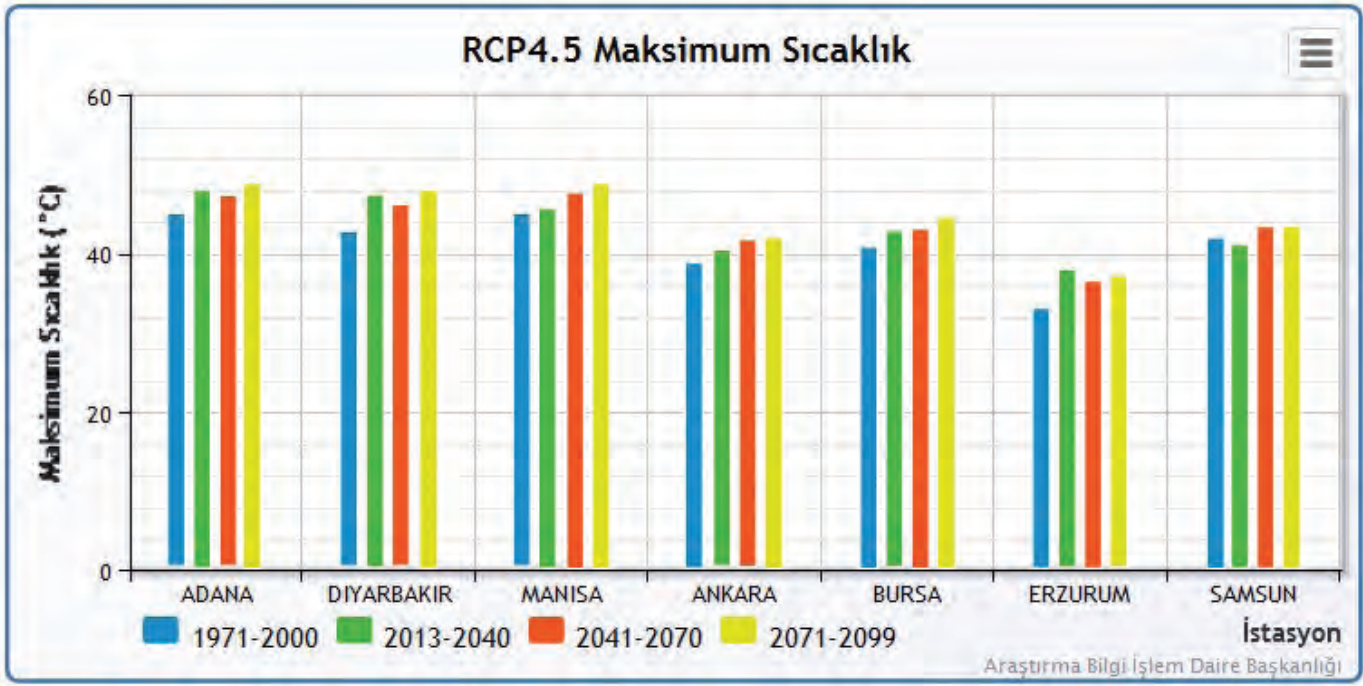
Grafik 5.14: RCP4.5 Senaryosuna Göre Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim



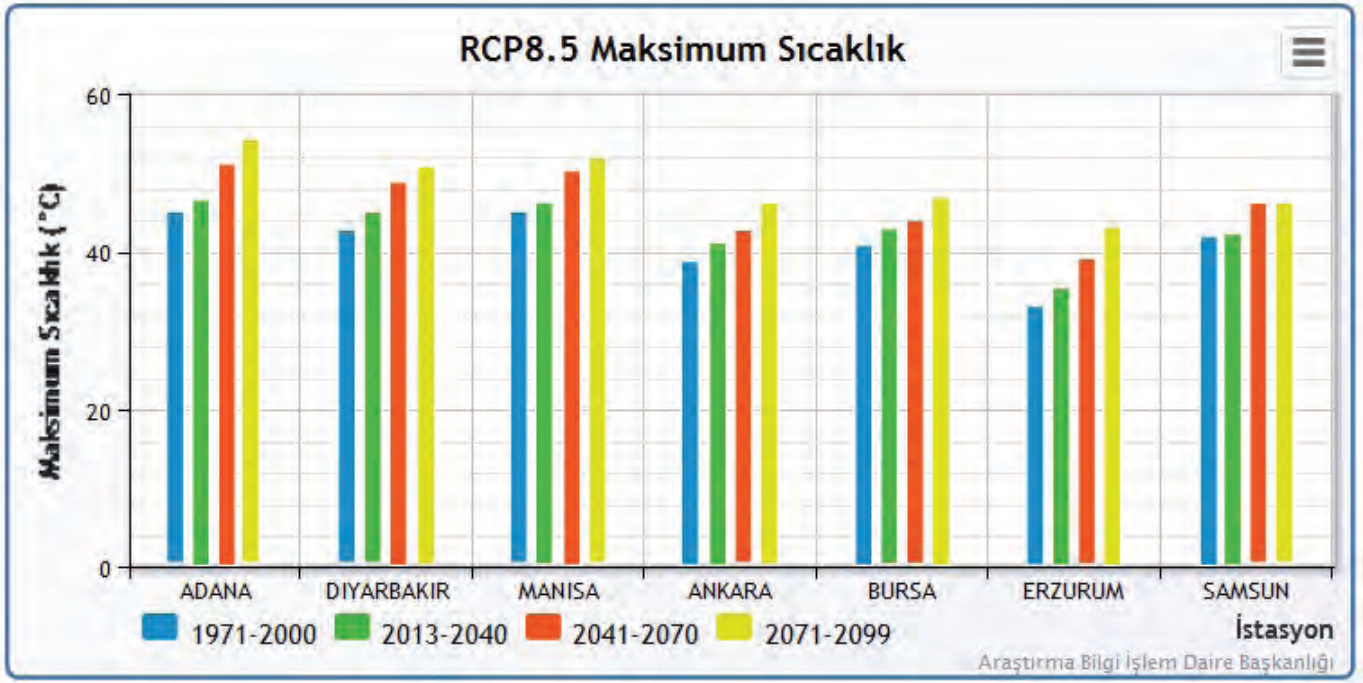
Grafik 5.15: RCP8.5 Senaryosuna Göre Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayılarındaki Değişim

Günlük 25 mm ve üzerinde yağışlı günler, çok şiddetli yağışlı gün olarak ifade edilmektedir. Yağışlı gün sayılarındaki değişim istasyonlara göre farklılık göstermekle beraber çok şiddetli yağışlı gün sayılarının, şiddetli yağışlı gün sayılarında olduğu gibi, bazı istasyonlarda artması, bazı istasyonlarda da azalması beklenmektedir.

5.9 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Maksimum Sıcaklıkların Değişimi



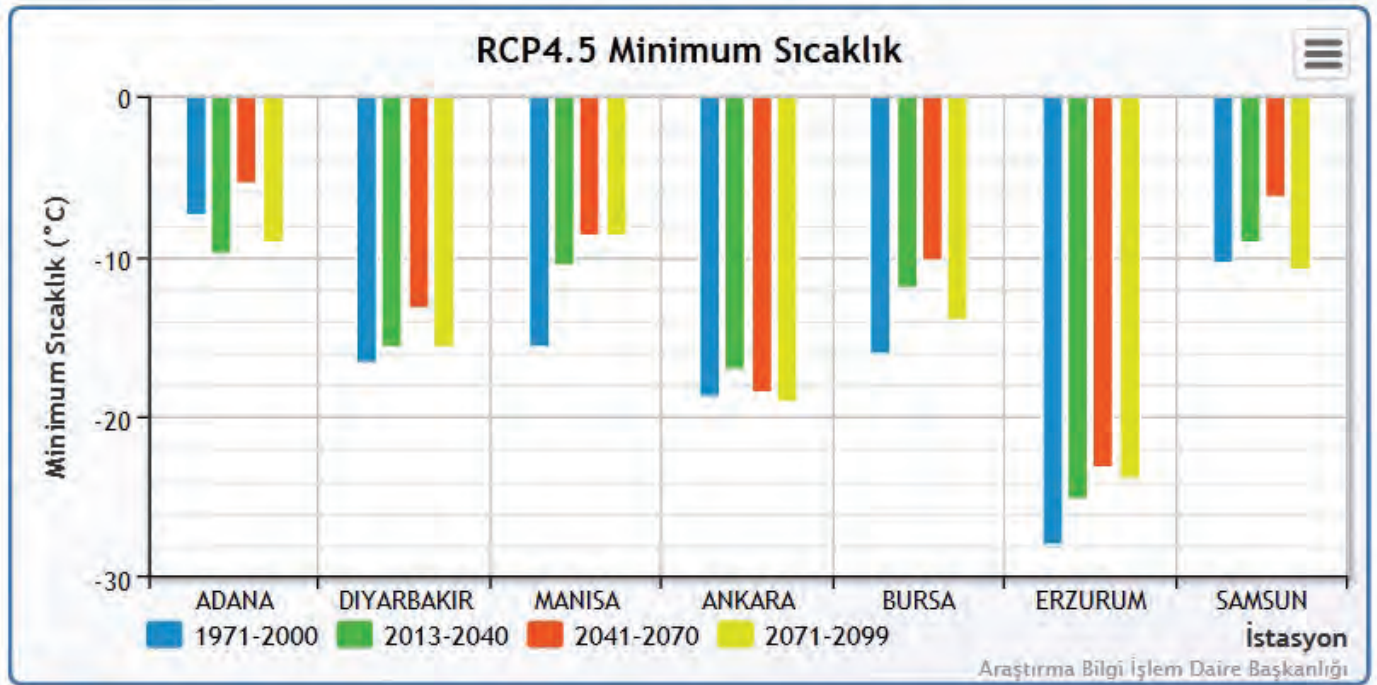
Grafik 5.16: RCP4.5 Senaryosuna Göre Maksimum Sıcaklıkların Değişimi



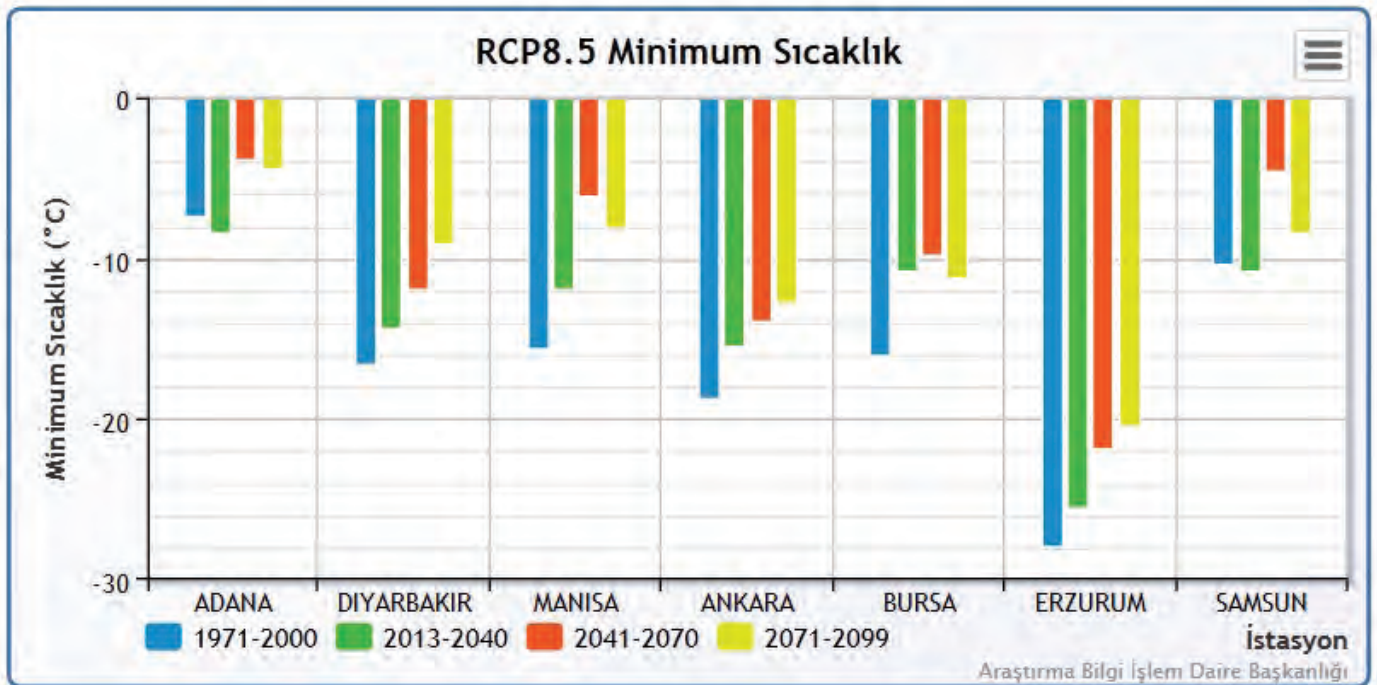
Grafik 5.17: RCP8.5 Senaryosuna Göre Maksimum Sıcaklıkların Değişimi

Maksimum sıcaklıkların, referans periyoda (1971-2000) göre tüm istasyonlarda, tüm periyotlarda artması beklenmektedir. Özellikle son periyotta en yüksek maksimum sıcaklık değerlerine ulaşılması tahmin edilmektedir.

5.10 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Minimum Sıcaklıkların Değişimi



Grafik 5.18: RCP4.5 Senaryosuna Göre Minimum Sıcaklık Değişimi



Grafik 5.19: RCP8.5 Senaryosuna Göre Minimum Sıcaklık Değişimi

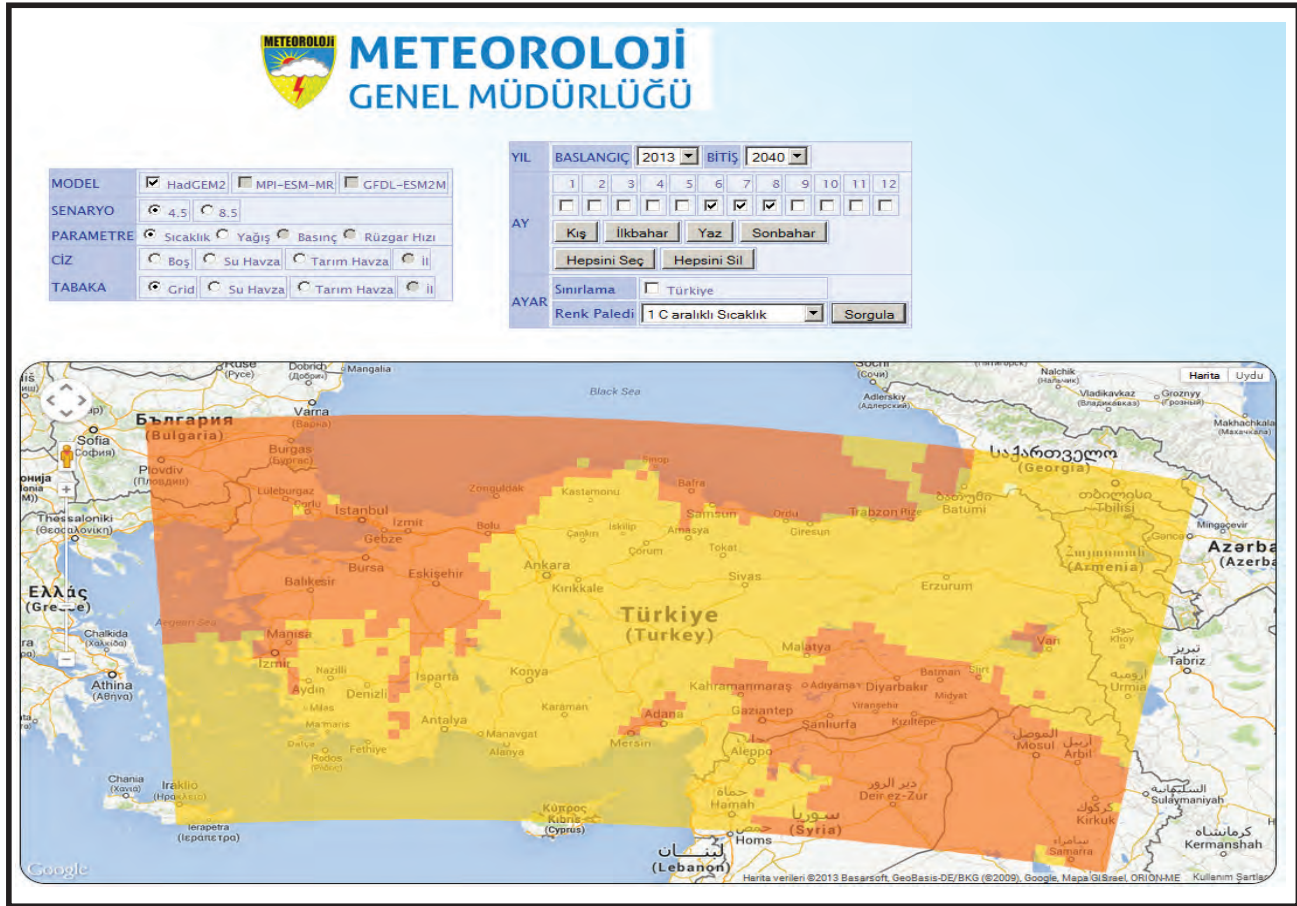
Minimum sıcaklıkların, referans periyoda (1971-2000) göre tüm istasyonlarda, tüm periyotlarda artması beklenmektedir. Özellikle son periyotta minimum sıcaklık değerlerindeki artış çok dikkat çekicidir.



6. BULGULARIN KULLANICILAR İLE PAYLAŞILMASI

İklim modelleri sayesinde oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan iklim sistemi daha iyi anlaşılacaktır ve diğer hiçbir araç modeller kadar bu konuda başarılı olamamıştır. Bu nedenle MGM, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı daha doğru ve etkili önlemler almaları için diğer kurum ve kuruluşlarımıza yardımcı olmak ve başka alanlarda yapılacak bilimsel araştırmalara girdi oluşturmak amacıyla iki fazdan oluşan bir bölgesel iklim projeksiyonları üretme çalışması başlatmıştır. Bunun için 3 küresel model ve iki senaryo (RCP4.5 ve RCP8.5) seçilmiş, modellerden biri (HadGEM) ile iki senaryo temelinde çalışmalar tamamlanmış diğerleri (GFDL, MPI) ile çalışmalar devam etmektedir.

Çalışmanın ilk fazını projeksiyonların üretilmesi oluştururken, ikinci fazı ürünlerin karar vericiler, araştırmacılar, uygulayıcılar ve çiftçilerimizden sanayicilere kadar her kesimden ilgi duyan bütün vatandaşlarımıza, kurum ve kuruluşa ulaştırmak için yapılan ve halen geliştirilen internet ara yüzüdür. Bu platform kullanımı kolay, anlaşılabilir internet erişiminin olduğu her noktadan ulaşılabilir olacaktır. Burada kullanıcılar, istediği modeli, istediği senaryoyu ve istediği periyotları aylık ya da yıllık bazda seçebilecek, harita görüntüsü ve grafikleri elde edebilecektir. Platform halen geliştirilmekte olup, çalışmadan yeni ürünler elde edildikçe üretilebilecek ikincil ürünler ve analiz araçları artırılabilecek ve sayfanın görselliği zenginleştirilecektir.



7. PLANLANAN ÇALIŞMALAR ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, hazırlıkları halen devam eden IPCC 5. Değerlendirme Raporunda kullanılacak yeni nesil iklim değişikliği senaryolarının çekirdeğini oluşturan temsili konsantrasyon rotalarının (RCPs) ve Kurumumuz bünyesinde ülkemiz ve bölgesi için RCP senaryolarına dayanan, bölgesel iklim projeksiyonları üretme çalışmalarının ilk ürünlerinin tanıtımı için hazırlanmış bir rapor niteliğindedir. Kurumumuz, 2012 yılında yüksek kapasiteli bilgisayar sistemi alımı ve bölgesel model başlangıç eğitimleri ile başladığı yeni nesil iklim değişikliği projeksiyonu üretme çalışmalarına halen devam etmektedir. Burada tanıtılan ilk ürünler bölgesel iklim modeli çalışmalarımızın nihai sonucu değil sadece ilk aşamasıdır. Yapılan çalışmalarda daha tutarlı bilgiler elde etmek için, IPCC öncülüğünde yürütülen başka küresel model çıktıları ile bölgesel iklim projeksiyonları da üretilecektir.

Çalışmalarımızın diğer önemli bir bölümünü ise elde edilen ürünlerin iklim değişikliği konusuna ilgi duyan her kesimden kullanıcıya ulaştırılması oluşturmaktadır. Bunu sağlamak için hazırladığımız internet ara yüzü her geçen gün yeni ürünlerle ve kullanımı kolaylaştıran yeni araçlar ile zenginleştirilmekte ve kullanılabilirliği arttırılmaktadır.

Konu ile ilgili yapılan ve yapılacak olan çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenmektedir;

- IPCC öncülüğünde oluşturulan 4 RCP senaryosundan mutedil olarak nitelendirebileceğimiz RCP4.5 ve en yüksek radyatif zorlama değerine sahip RCP8.5 ile çalıştırılmış olup en az 3 küresel model verisi RegCM4 bölgesel iklim modeli aracılığı ile ülkemiz ve bölgesine ait yeni iklim projeksiyonları da üretilecektir,
- Üretilen projeksiyonların çözünürlüklerinin artırılması için araştırmalar yapılacaktır,
- Diğer bölgesel iklim modellerinin ülkemiz ve bölgesi için kullanılabilirliği araştırılacaktır,
- Elde edilen sonuçlar sadece bilim adamları, diğer kamu/özel kurum ve kuruluşlarına değil internet erişimine sahip, konuya ilgi duyan herkese duyurulacaktır. Bunun için kullanışlı, herkese hitap eden, sürekli yenilenmeye uygun bir platform geliştirilecektir.
- Karar vericilerin iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı uyum konusunda daha sağlıklı karar vermelerine yardımcı olunacaktır.
- Spesifik iklim ve iklim değişikliği ürünlerine gereksinim duyan projelere destek sağlayarak, kurumsal kapasite arttırılacaktır.

KISALTMALAR ve BAZI TANIMLAMALAR

AOGCM	: Atmosfer-Okyanus Küresel Sirkülasyon Modeli
AR	: Değerlendirme Raporu
CMIP5	: Birleştirilmiş Model Projesi Faz:5
CORDEX	: Koordineli Bölgesel İklim Ölçek Küçültme Deneyi
ESP	: Yer Sistem Fiziği
GCM	: Küresel İklim Modeli (yada Genel Sirkülasyon Modeli)
GFDL	: Yer Fiziği Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı
GMST	: Yıllık Küresel Ortalama Yüzeysel Sıcaklığı
HadGEM	: İngiltere Meteoroloji Servisi'ne (Met Office) bağlı Hadley Center tarafından geliştirilen küresel iklim modeli.
ICTP	: Uluslararası Teorik Fizik Merkezi-İtalya
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
IPCC-WG1	: IPCC 1. Çalışma Grubu
IPCC-AR5	: IPCC 5. Değerlendirme Raporu
LSAT	: Kara Yüzeysel Hava Sıcaklığı
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPI	: Max Planck Enstitüsü
RCM	: Bölgesel İklim Modeli
RCP	: Temsili Konsantrasyon Rotası
RegCM4	: Bölgesel İklim Modeli
RF	: Referans Periyot
SST	: Deniz Yüzeysel Sıcaklığı
SRES	: Emisyon Senaryoları Özel Raporları
TR2013-CC	: 2013 Türkiye İklim Değişikliği Projeksiyonları Raporu
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
WG1	: IPCC 1. Çalışma Grubu
WCRP	: Dünya İklimi Araştırma Programı

KAYNAKLAR

1. Gregory,W.L. and Duran, A., 2001. "Scenarios and acceptance of forecasts". Principles of forecasting: A handbook for reearchers and practitioners, edited by J. Scott Armstrong. 2001 Springer Science-Business Media,inc.New York.
2. IPCC,1990. CLIMATE CHANGE:The IPCC Response Strategies , by Working Group III.
3. IPCC, 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press.
4. IPCC, 2001. Climate Change 2001, Synthesis Report.
5. IPCC, 2001. Climate Change 2001, Scientific Basis, Appendix II. Cambridge University Press.
6. IPCC, 2007. "Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report." September, 2007, the Netherlands.
7. IPCC, 2010. "IPCC Workshop on Socio-Economic Scenarios: Workshop Report." Nowember, 2010, Germany.
8. IPCC,2013. "Climate Chance 2013: The Physical Science Basis". Stockholm,2013.
9. LeggettJ.,PepperW.J.,SwartR.J.,1992."Emissions Scenarios for the IPCC: an Update", Climate Change 1992: The Supplementary Report to The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, UK, pp. 68-95.
10. Meinshausen M. vd., 2011. "The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300". Climatic Change (2011) 109:213–241.DOI 10.1007/s10584-011-0156-z.
11. Morgan, M. G. and Henrion, M.,1990. "A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis",Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
12. Moss, R. H. Vd., 2010. "The next generation of scenarios for climate change research and assessment". Nature,2010:Vol 463j11 February 2010jdoi:10.1038/nature08823.
13. Moss, R.H. vd., 2008. "Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies", Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
14. Riahi, K. vd., 2011. "RCP 8.5: A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions". Climatic Change (2011). 109:33–57 DOI 10.1007/s10584-011-0149-y.
15. Thomson A. M. vd., 2011. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. Climatic Change,DOI 10.1007/s10584-011-0151-4.
16. UN,1998. "Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change", Annex-A, Greenhouse Gases.
17. UNFCCC, 1992. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, madde1.4, madde1.5.
18. ÖnoI B. vd., 2013. Evaluation of the twenty-first century RCM simulations driven by multiple GCMs over the Eastern Mediterranean–Black Sea region.
19. Bozkurt D. vd., 2011. Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3global models for the eastern Mediterranean–Black Sea region: evaluation of the reference period.
20. Turunçoğlu,U.U., Bozkurt D., ÖnoI B., Şen O.L., Dalfes H.N. 2011 "Future climates of Turkey: model based projections".

21. Turunçoğlu, U.U., Elguindi N., Giorgi F., Fournier N., Giuliani G., 2012. "Development and validation of a regional coupled atmosphere lake model for the Caspian Sea Basin". *Clim Dyn*, DOI 10.1007/s00382-012-1623-6.
22. ÖnoI B., 2012. "Effects of coastal topography on climate: high-resolution simulation with a regional climate model". *Climate Research (Clim Res)* Vol. 52: 159–174, 2012, doi:0.3354/cr01077.
23. Turunçoğlu, U.U., Giuliani G, Elguindi N., Giorgi F., 2013. "Modelling the Caspian Sea and its catchment area using a coupled regional atmosphere-ocean model (RegCM4-ROMS): model design and preliminary results". *Model Development Model Development (Geosci. Model Dev.)*, 6, 283–299, 2013 www.geosci-model-ev.net/6/283/2013/doi:10.5194/gmd-6-283-2013.
24. Turunçoğlu, U.U., ÖnoI B., Bozkurt D. 2012 "Dinamik Modeller ile Bölgesel İklim Değişikliği Projeksiyonları".
25. ÖnoI B, Unal, Y.S., 2012. "Assessment of climate change simulations over climate zones of Turkey". *Reg Environ Change*, DOI 10.1007/s10113-012-0335-0.
26. ÖnoI B , Davis N., Bowden J., Semazzi F., Xie L., 2009. "Customization of RegCM3 Regional Climate Model for Eastern Africa and a Tropical Indian Ocean Domain". *American Meteorological Society*, DOI: 10.1175/2009JCLI2388.1.
27. Bozkurt D., Turunçoğlu, U.U , Şen O.L., ÖnoI B., Dalfes H.N., 2011. "Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean–Black Sea region: evaluation of the reference period". *Clim Dyn* (2012) 39:207–225 DOI 10.1007/s00382-011-1187-x.
28. ÖnoI B., SEMAZZI, F.H.M., 2008. "Regionalization of Climate Change Simulations over the Eastern Mediterranean". *American Meteorological Society*, DOI: 10.1175/2008JCLI1807.1-2009.
- <http://www.mgm.gov.tr/index.aspx#sfU>
 - <http://unfccc.int/2860.php>
 - <http://www.ipcc.ch>
 - <http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps/>
 - <http://www.epa.gov>
 - <http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>
 - <http://www.medcordex.eu/simulations.php>
 - <http://www.earthsystemmodeling.org/>
 - http://climate.nasa.gov/key_indicators