

Bölüm 1

TR21 Bölgesi İklim Değerlendirmesi: Mevcut Durum ve Projeksiyonlar

Asude HANEDAR¹, Ferat ÇAĞLAR², Erdem GÖRGÜN², Fatih KONUKCU³,
Bahadır ALTÜRK⁴, Selçuk ALBUT³,

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniv., Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ
ahanedar@nku.edu.tr

²İOÇevre Çözümleri İTÜ Kampüsü, Arı-1 Teknokent, Maslak, İstanbul
ferat.caglar@iocevre.com erdem.gorgun@iocevre.com

³Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ
fkonukcu@nku.edu.tr; salbut@nku.edu.tr

⁴Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ
balturk@nku.edu.tr

1. Giriş

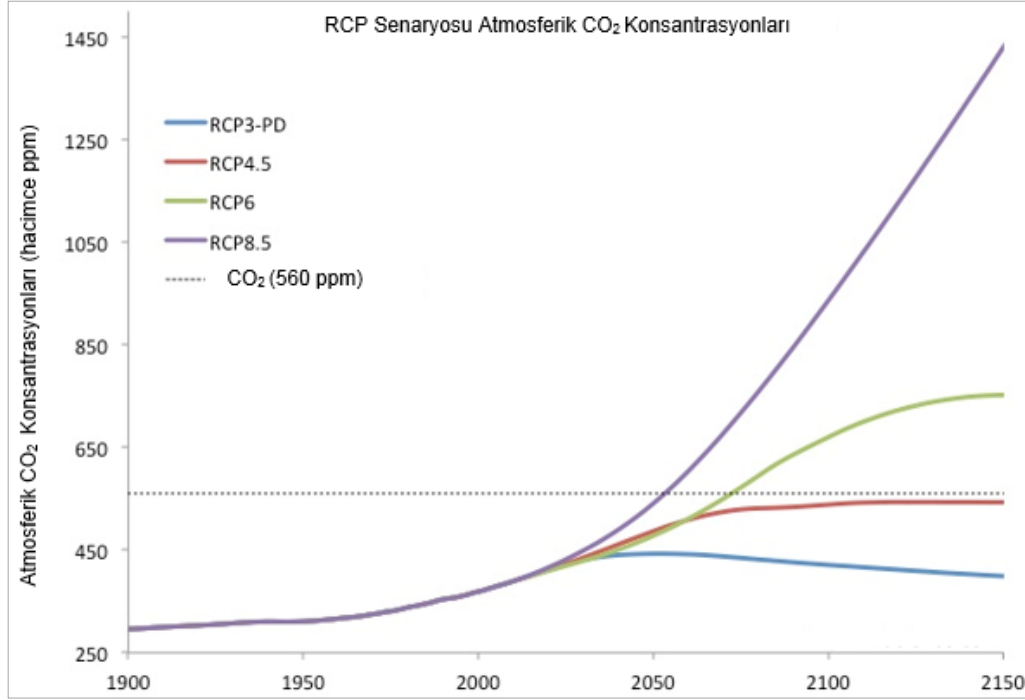
Atmosferin doğal olarak bileşiminde bulunan ve güneş ışınını geçirerek karasal kızılötesi taşınımı büyük ölçüde emen ve bu sayede dünyanın sıcaklığını yaşanabilir seviyede tutan sera gazları konsantrasyonları, sanayi faaliyetleri ve fosil yakıt kullanımındaki devasa artış sonucunda 19. yy'dan bu yana artmaktadır. Dünya çapında sera gazı derişimleri artışının son yüzyılda %25 oranında olduğu düşünülmektedir. Sera gazı konsantrasyonunda bu artış, alt atmosferde daha fazla enerji tutmakta ve dünyanın küresel sıcaklığını attırmaktadır (Ackerman ve Knox, 2012). Sıcaklıktaki artış dünyanın iklim sisteminde değişikliklere neden olmuştur. İklim değişikliğinin başlıca göstergeleri sıcaklık artışları, yağış paterni derişimleri, buzulların erimesi, nehir akımlarında derişimler ve deniz seviyesindeki yükselme olarak değerlendirilmektedir. Yapılan iklim değişikliği projeksiyonlarına göre 1990-2100 yılları arasında küresel sıcaklık 1.4 °C -5.8 °C, ortalama deniz seviyesi ise 9 cm-88 cm artacaktır (UNFCC, 1992).

Hükümetlerarası İklim değişikliği Paneli'nin dördüncü değerlendirme raporunda (IPCC, 2007) derişik emisyon senaryoları için çalıştırılmış Küresel Sirkülasyon Model çıktılarına

göre ülkemizin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası'nda yirmi birinci yüzyıl sonlarına doğru sıcaklıkların artışıyla beraber yağışlarda önemli azalmaların meydana geleceği ve dolayısıyla bu bölgenin küresel iklim değişikliğine karşı en kırılgan bölgelerden biri olacağı belirtilmiştir. Değişik modeller ile gerçekleştirilen simülasyonlar Akdeniz Havzası genelinde yağış azalması konusunda birbirleri ile büyük ölçüde uyuşmaktadır. 2011 yılında yayımlanan İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı da, Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklığın gelecek yıllarda 2.5 °C - 4 °C aralığında artacağını, artışın Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde 4 °C'yi, iç bölgelerinde ise 5 °C'yi bulacağını öngörürken, Türkiye'nin yakın gelecekte daha sıcak, daha kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağını ortaya koymaktadır (Şen ve diğ., 2013; ÇŞB, 2012).

Gelecek ikliminin nasıl olacağına dair bilgiler yer sistem modellerinin kullanılması ile elde edilir. İklim Modelleri, atmosfer, litosfer, biyosfer, hidrosfer ve kriyosfer gibi iklim sistemi bileşenleri arasındaki ilişkiyi "kantitatif (ölçülebilir ve gözlemlenebilir) metotlarla göstermeye çalışan modellerdir. Dinamik bitki örtüsü, okyanus biyolojisi ve atmosfer kimyası süreçlerini içeren yer sistem modelleri, fiziksel iklim ile etkileşimde bulunan biyokimyasal süreçleri temsil eden ve bu nedenle insan kaynaklı sera gazı emisyonları ile ilişkili olan zorlama ile etkileşebilen küresel iklim modelleridir (Flato, 2011). Başlangıçta enerji dengesi ve radyatif transferin matematik modelleri yardımıyla basit analog modeller gibi kavramsal modeller ile ortaya çıkan iklim modelleri, 1990'lı yıllardan itibaren başlayarak tüm iklim sisteminin giderek daha kapsamlı bir şekilde içerildiği birleşik model anlayışına doğru geliştirilmektedirler. Günümüzde bir yer sistem modelinin herhangi bir fiziksel bileşenini değerlendirmesi giderek daha kapsamlı ve sofistike hale gelmektedir. Bu tür modeller iklim değişkenliği ve insan faaliyetleri ve gelecekteki iklim değişikliğinin olası azaltma eylemleri üzerinde etkili bir rol oynayabilirler. Halen uygulamada olan 50'nin üzerinde küresel model bulunmaktadır.

Temsili konsantrasyon rotaları (RCP) 5. Değerlendirme Raporu (AR5) için IPCC tarafından adapte edilen dört sera gazına ait konsantrasyon yörüngeleridir (IPCC, 2014). Diğer bir deyişle temsili konsantrasyon rotaları, yeryüzünün radyasyon dengesini bozan emisyonlara ait konsantrasyon yörüngeleri için oluşturulan senaryolardır. Radyatif zorlama seviyeleri ve rotalarına göre dört tip RCP tanımlanmıştır. Bu senaryolar aynı zamanda IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporu için adapte edilen dört sera gazının konsantrasyon rotalarıdır (Moss ve diğ., 2010). Bu dört senaryo 2100 yılında ne kadar sera gazının yayılacağını göz önüne alarak gelecek iklimi açıklar. Söz konusu dört RCP senaryosu 2100 yılında sanayi devrimi öncesine göre radyatif zorlanmanın olası değerlerini göz önüne alan +2,6, +4,5, +6,0, ve +8,5 W/m² referanslı RCP2.6, RCP4.5, RCP6 ve RCP8.5'dan oluşur. RCP8.5, RCP6 ve RCP4.5 senaryoları 2100 yılında ulaşılacak radyatif zorlamayı ifade etmektedir. Örneğin RCP2.6 senaryosu 2100 yılı öncesinde 3 W/m²'lik ve 2100 yılında ise 2.6 W/m²'lik bir radyatif zorlamaya karşı gelir. Sanayi devrimi yıllarından 2150 yılına kadar radyatif zorlamanın değişimi Şekil 1. ile gösterilmiştir (IPCC, 2014).



Şekil 1. 1900 yılından 2150 yılına kadar radyatif zorlamanın değişimi (IPCC, 2014).

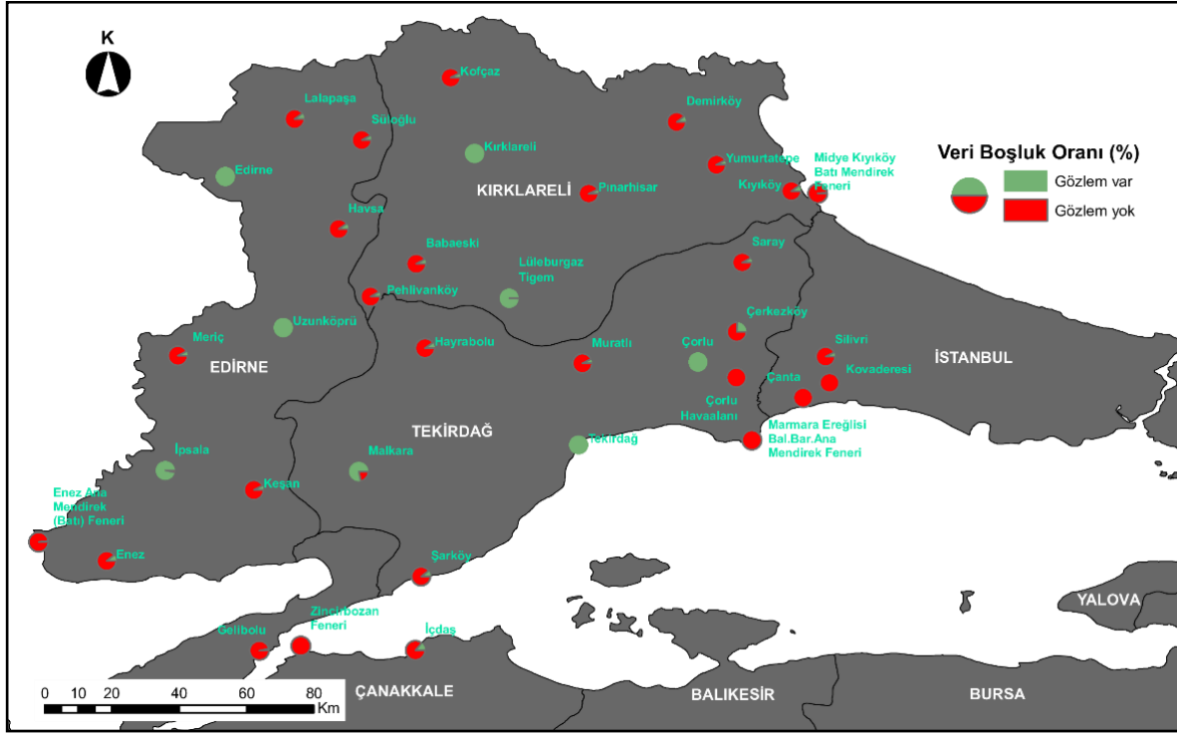
Günümüzde farklı gelecek senaryoları altında küresel iklim modellerinden birkaçı ya da tümü çalıştırılarak önümüzdeki yüzyılın sonuna kadar iklimdeki olası değişimler kestirilmeye çalışılmakta ve elde edilen bilgilere dayanılarak iklim değişikliğine adaptasyon ve uyum mekanizmaları geliştirilmektedir.

Çalışma kapsamında Meriç-Ergene Havzası ve Marmara Havzaları'nda sınırları bulunan Tekirdağ-Edirne-Kırklareli illerini kapsayan TR21 Bölgesi'nde mevcut durum meteorolojik koşullar analiz edilmiş ve gelecek dönem iklim projeksiyonları değerlendirilerek bölgeyi farklı senaryolar altında bekleyen değişimler ortaya koyulmuştur. Bu bölümde öncelikle çalışma alanının mevcut durum iklimsel özellikleri ortaya konacak daha sonra gelecek dönem iklim projeksiyonları sunulacaktır.

2. TR21 Bölgesi Mevcut Durum İklimi Değerlendirmesi

2.1. Materyal ve Metot

Çalışma alanında mevcut durum meteorolojik koşullarının belirlenmesinde, öncelikle bölgedeki meteoroloji istasyonları belirlenmiş ve çalışılacak her bir parametre için (ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık, toplam yağış, buharlaşma, bağıl nem, basınç, güneşlenme şiddeti ve rüzgar hızı) veri boşluk analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir parametre için her bir istasyonun açıldığı tarihe bakmaksızın 1970-2017 yıllarında aylık olarak veri olup olmadığı esas alınmış, bir ay için "gözlem yok" kriteri o aydaki günlük gözlem sayısının 21'den az olması olarak belirlenmiştir. Şekil 2'de çalışma alanı sınırları içinde mevcut istasyonların belirlenen doluluk oranları verilmiştir.



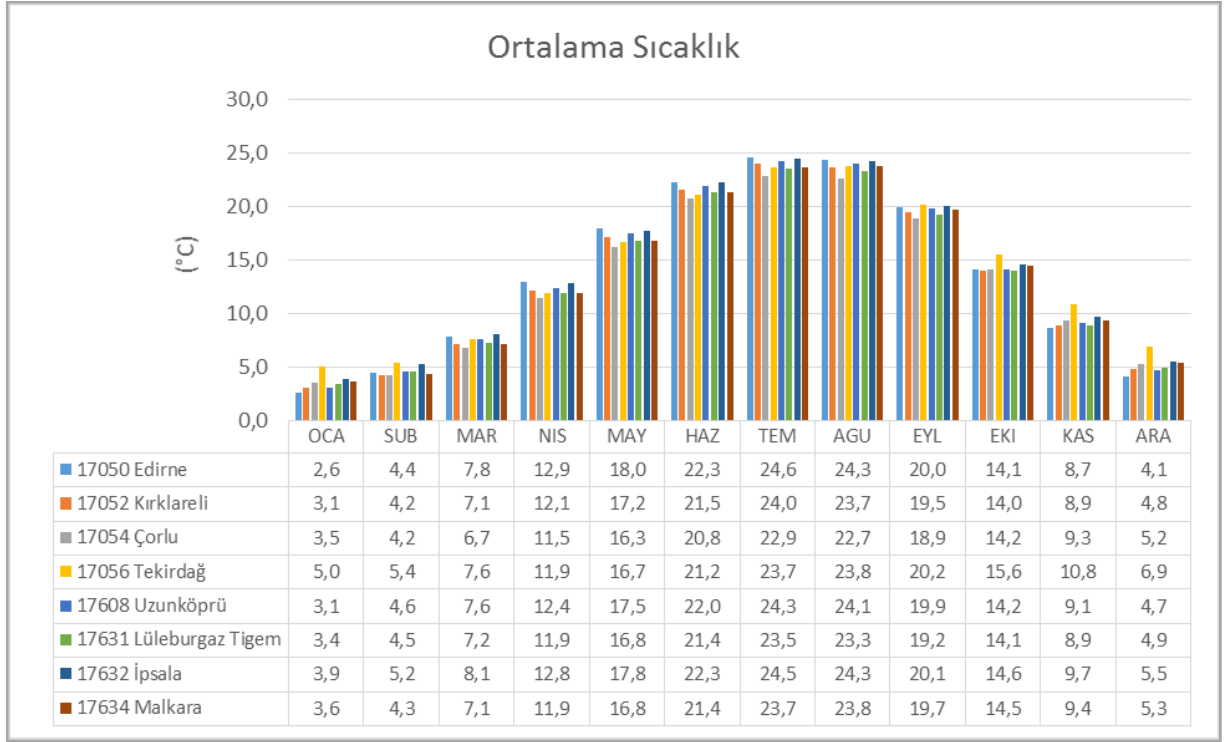
Şekil 2. Meteoroloji istasyonlarının doluluk oranları.

2.2. Ortalama Sıcaklık

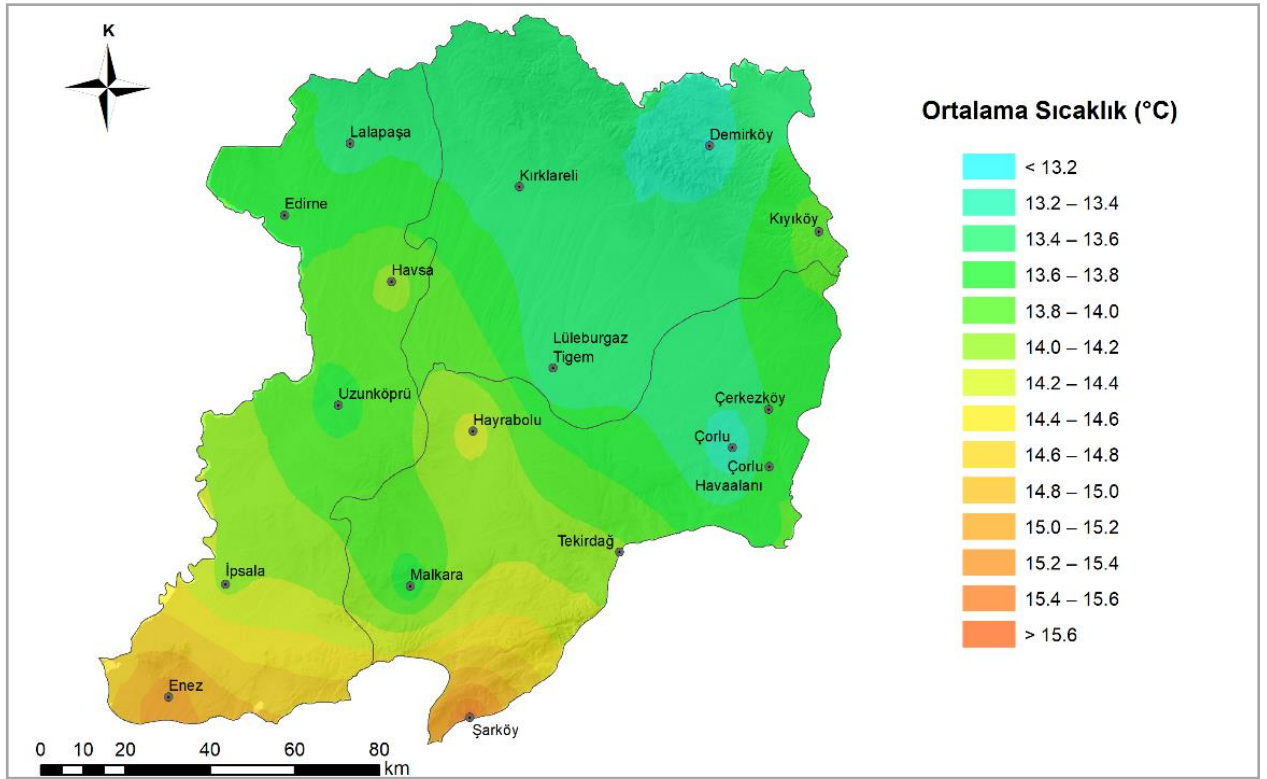
Belirlenen meteoroloji istasyonları için uzun dönem aylık ortalama sıcaklıkların değişimi meteoroloji istasyonu bazında Şekil 3 ile verilmiştir. Yapılan değerlendirmede çalışma alanında ortalama sıcaklık değerinin 13.6°C olduğu ve en düşük sıcaklıklarının Ocak ayında en yüksek sıcaklıkların ise Haziran ve Temmuz aylarında kaydedildiği belirlenmiştir. Şekil 4 ile uzun dönem ortalama sıcaklık değerleri harita ile gösterilmiştir. Buna göre yaz aylarında sıcaklığın en yüksek değerlere ulaştığı il Edirne olurken kış aylarında uzun dönem ortalama verilerine göre en düşük sıcaklıklara Kırklareli ve Edirne illerinde rastlanmıştır.

Çalışma alanında uzun dönem aylık maksimum sıcaklıkların değişimi Şekil 5 ile gösterilmiştir. Yapılan değerlendirmede çalışma alanında maksimum sıcaklık değerinin uzun dönem verileri ile 32°C 'ye kadar çıktığı ve Temmuz ayında gözlemlendiği ve en yüksek sıcaklıkların gözlemlendiği ilin Edirne olduğu anlaşılmaktadır.

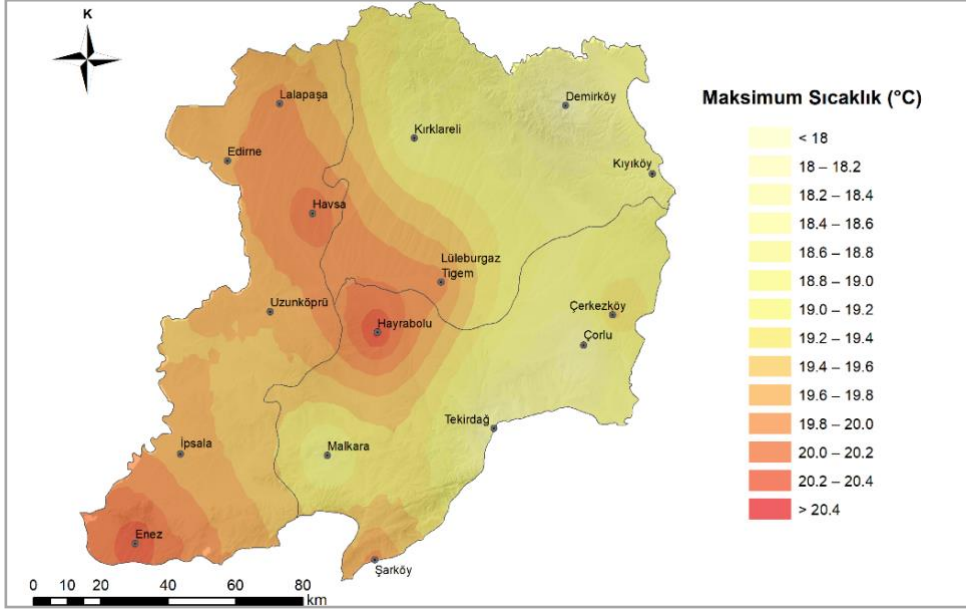
Şekil 6'da ise referans dönem verileri ile oluşturulan minimum sıcaklık haritası verilmiştir. Yapılan değerlendirmede çalışma alanında minimum sıcaklık değerinin uzun dönem verileri ile -0.5°C 'ye kadar düştüğü ve Ocak ayında gözlemlendiği ve en düşük sıcaklıkların gözlemlendiği bölgelerin Edirne ve ilçeleri olduğu anlaşılmaktadır.



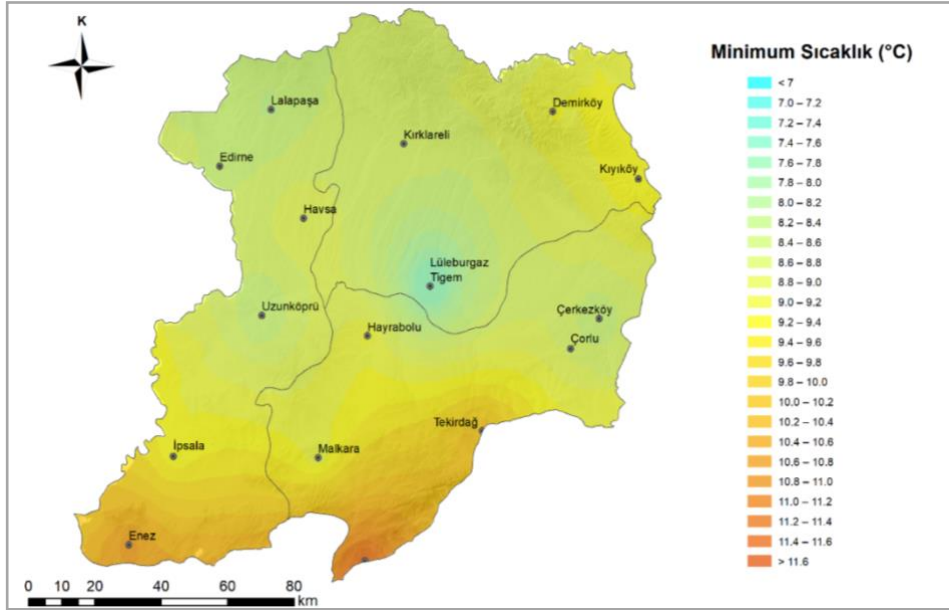
Şekil 3. Aylık ortalama sıcaklık değerlerinin meteoroloji istasyonları bazında değişimi.



Şekil 4. Referans dönem ortalama sıcaklık haritası



Şekil 5. Referans dönem maksimum sıcaklık haritası.

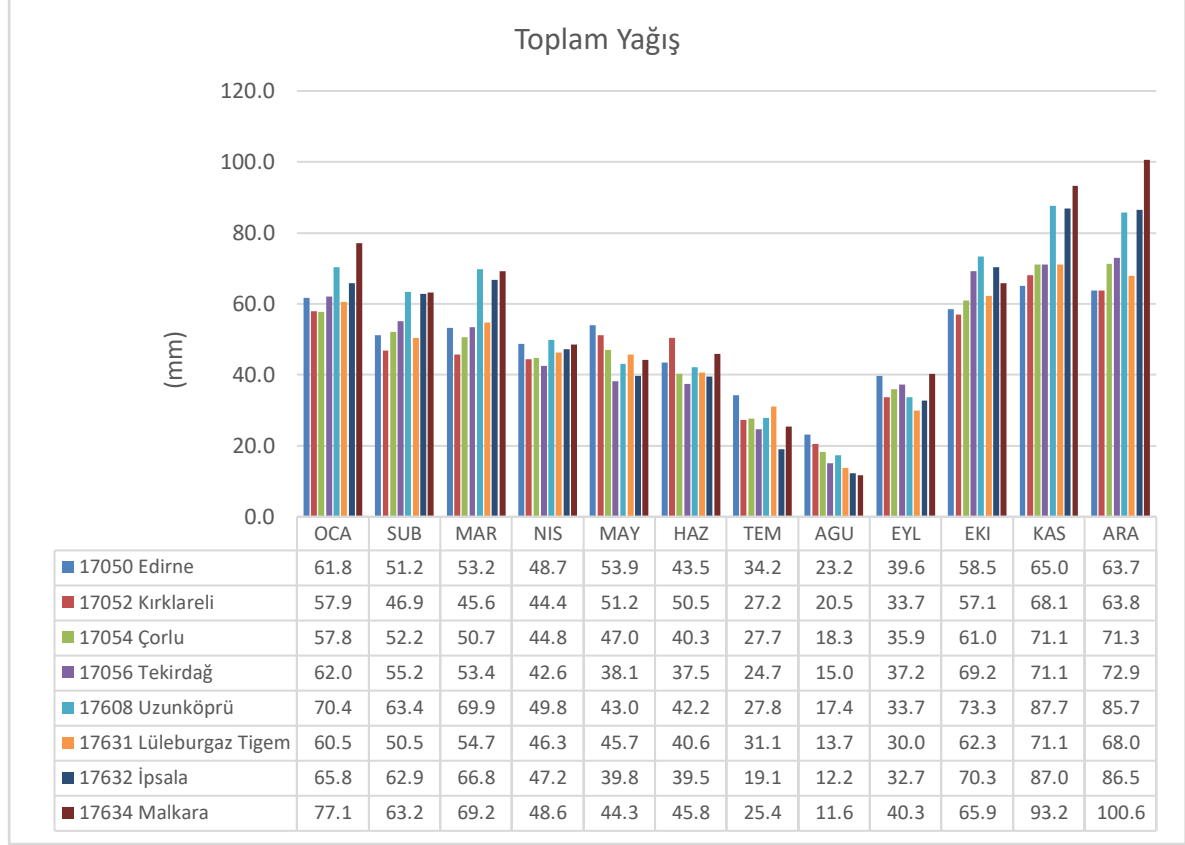


Şekil 6. Referans dönem minimum sıcaklık haritası.

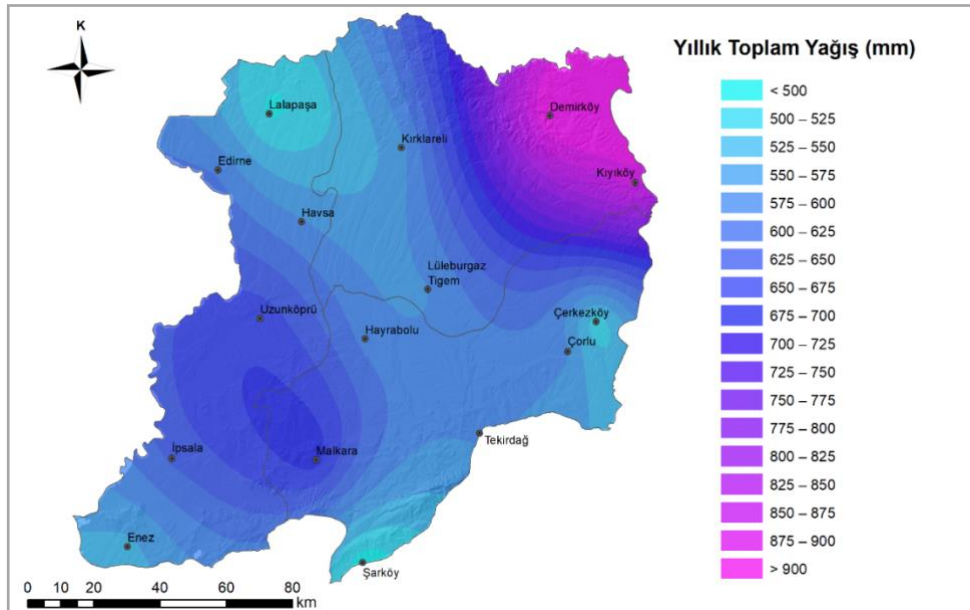
2.3. Toplam Yağış

Çalışma alanı sınırları içinde belirlenen meteoroloji istasyonlarında uzun dönem kaydedilen aylık toplam yağış değerlerinin meteoroloji istasyonu bazında grafiği Şekil 7’de verilmiştir. Yapılan değerlendirmede çalışma alanında toplam yağış değerlerinin uzun dönem verilerine göre 11.6 mm-100 mm arasında değiştiği, en düşük yağışların Ağustos ayında, en yüksek yağışların ise Edirne ve Kırklareli’nde Kasım ayında, Tekirdağ ilinde ise Aralık ayında gözlemlendiği belirlenmiştir. Şekil 8 ile uzun dönem ortalama toplam yağış ve mevsimsel toplam

yağış değerleri harita ile gösterilmiştir. Buna göre en yüksek yağışların alındığı mevsim sonbahar ve kış ayları olurken, ilkbaharda özellikle Tekirdağ'ın batısı ve denizden iç kesimlere gidildikçe yağış miktarı yükselmektedir. Yaz aylarında ise yağışlar genel olarak tüm bölgede 100 mm'nin altına düşmektedir.



Şekil 7. Aylık toplam yağış değerlerinin değişimi.



Şekil 8. Referans dönem ortalama toplam yağış haritası.

2.4. Diğer Meteorolojik Parametreler

Çalışma alanı sınırları içinde belirlenen meteoroloji istasyonlarında uzun dönem kaydedilen açık yüzey buharlaşma, bağıl nem, aktüel basınç, güneşlenme şiddeti ve rüzgar hızı değerlerinin meteoroloji istasyonu bazında yıllık ortalama değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Yapılan değerlendirmeye göre çalışma alanında en yüksek açık yüzey buharlaşma değerleri 260 mm ile Lüleburgaz’da gerçekleşmektedir. Bağıl nem değerleri Aralık ve Ocak aylarında %80’in üzerine çıkmaktadır ve en yüksek bağıl nem değerleri tüm aylar için Malkara meteoroloji istasyonunda ölçülmüştür. Tüm istasyonlarda birbirine yakın basınç değerleri elde edilmiş olmakla birlikte, Aralık ayında en yüksek değerler belirlenmiştir. Güneşlenme şiddeti değerleri Haziran ve Temmuz aylarında en yüksek kaydedilmiş ve 530 cal/cm² değeri civarında aylık ortalama değerler belirlenmiştir. En yüksek güneşlenme şiddetinin belirlendiği istasyonlar İpsala ve Tekirdağ meteoroloji istasyonları olmuştur. Yapılan değerlendirmeye göre kimi aylarda ortalama rüzgar hızı 3 m/sn’nin üzerinde kaydedilmekte olup neredeyse tüm istasyonlarda Şubat ayında rastlanmaktadır.

3. TR21 Bölgesi Gelecek Dönem İklim Değerlendirmesi

3.1. Materyal ve Metot

Proje kapsamında “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi”nin belirlenen bölge sınırları dahilinde üretilen projeksiyon verileri, gelecek dönem iklim değerlendirme hesaplamalarında kullanılmıştır (İklimSu, 2016). Bu proje kapsamında belirlenen çalışma alanı için modelleme sonuçları yeniden elde edilmiş ve bu verilere genel meteorolojik parametreler ve kuraklık ve taşkın koşullarını temsil edecek değerlendirmeler yeniden yapılmıştır.

İklimSu Projesi kapsamında öncelikle referans periyodu için CMIP5 veri tabanından seçilen, halen dünyada yaygın bir şekilde kullanılan HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 küresel modellerinin 10x10 km² çözünürlüğe sahip referans dönemi iklim simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Küresel modelin referans dönemi simülasyonları gözlem verileri kullanılarak yapılan simülasyonlarla karşılaştırılarak, küresel modelin iklim simülasyonlarındaki yanlılığı araştırılmıştır. Küresel İklim Modellerinin 2100 yılında 4.5 W/m² ve 8.5 W/m² iklim zorlamalarına karşılık gelen RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotaların dayanan simülasyonlarıyla kuple edilen RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile 2015-2100 yılları arasında 10x10 km² çözünürlükteki iklim simülasyonları elde edilmiştir.

Projede referans periyoduna göre modelin yanlılığı belirlenmiş, 2015-2100 dönemi için modellenecek olan tüm yağış verileri üzerinde, belirlenen yanlılık değerleri için düzeltme yapılmıştır. Diğer meteorolojik parametrelerdeki düzeltmeler aylık ortalama fark metoduna göre yapılmıştır.

İklimSu projesinde günümüz simülasyonları için Ocak 1960-Aralık 2000 dönemi kullanılarak toplam 41 yıllık simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra bilimsel yazınla eş

değerliğinin sağlanması ve aynı zamanda bölgesel modelin bileşenlerinin dengeye ulaşması için gereken simülasyon zamanı dikkate alınarak 1971-2000 yılı simülasyonları referans dönemi olarak alınmıştır. RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotaları için elde edilen gelecek iklim simülasyonları 1971-2000 referans dönemine göre değerlendirilmiştir. İncelenen parametrelerin referans dönemine göre 2100 yılına kadar farkları 10'ar yıllık dönemler için ve yıllık ortalamalar (yağış için yıllık toplam) halinde hesaplanmıştır.

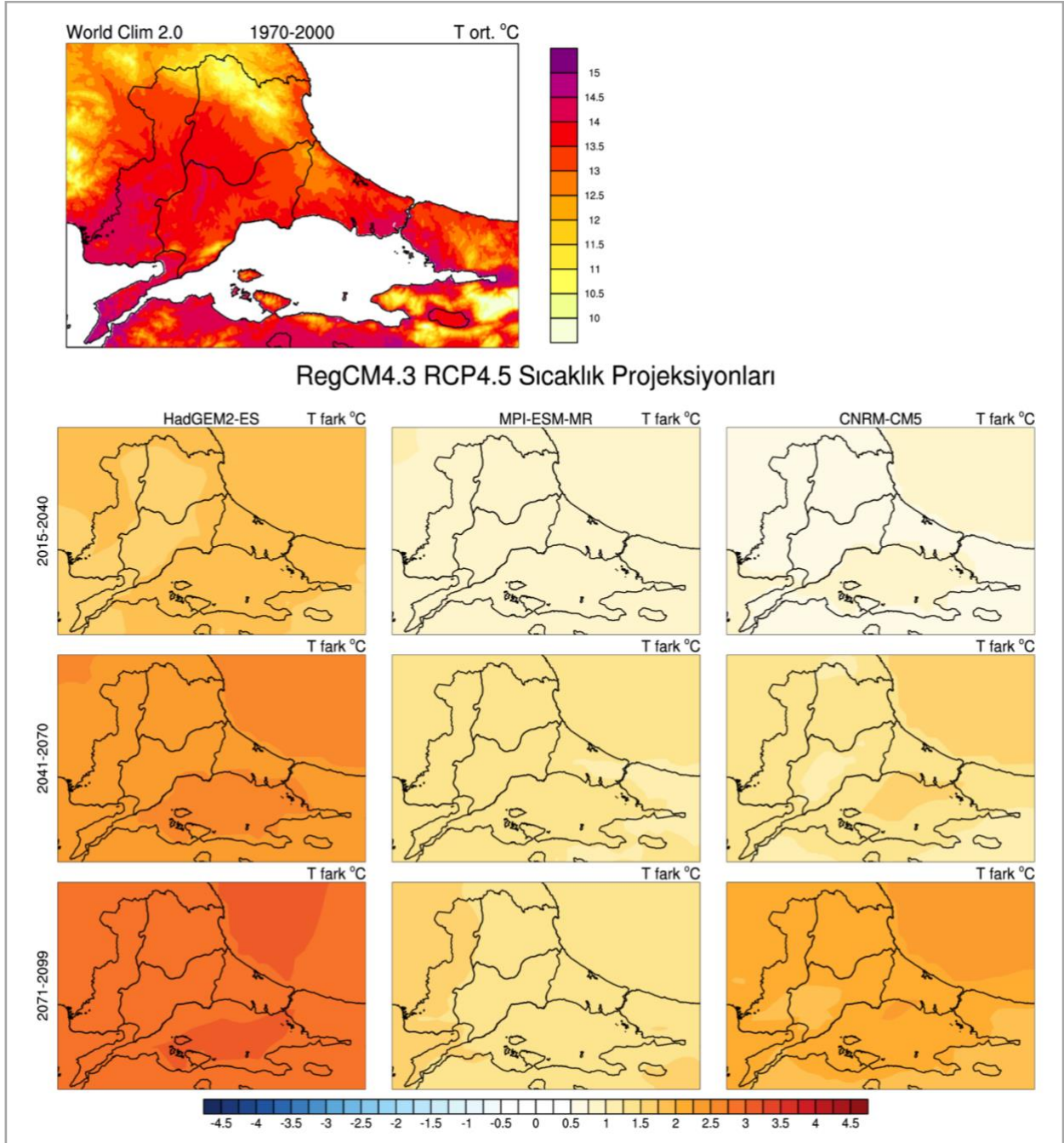
İklim projeksiyonlarında kullanılan modellerin tümü Dünya'yı simüle etmek için tasarlanmış olduğundan benzer birçok bileşen içerirler. Hareket denklemleri, enerji, kütle ve momentumun korunumu gibi ortak alanlar olsa da modellerin çalıştığı çözünürlüklerde tüm süreçlerin sayısal çözümleri mümkün olmadığından parametrisasyonlar kullanılır, bununla birlikte modeller farklı çözünürlüklerde çalışması için tasarlanır. Bazı süreçler hesaplama kısıtlamaları ya da ilgili fenomenin yeterince iyi anlaşılmamasından dolayı model sistemine dahil edilmeyebilir. Bu gibi farklar iklim modellerinin farklı sonuçlar üretmesine neden olmaktadır ve iterasyon arttıkça sonuçlardaki sapmalar da büyür. Kabuller ve süreçlerin farklı yaklaşımlarla çözülmesinden doğan bu ayrışmanın getirdiği belirsizliği çözmek ve karar alabilmek için ensemble yöntemi değerli bir araçtır. Ensemble yöntemleri modelin başlangıç koşullarında küçük farklar oluşturularak çalıştırılması ve bu model sonuçlarının değerlendirilmesinden, farklı modellerin sonuçlarının birleşimi gibi metotlarla oluşturulabilir. Ensemble sayesinde tüm modeller bir arada değerlendirilerek ayrışmanın nerelerde olduğu tespit edilebilir. Bu belirsizliğin olup olmadığı ya da mertebesi hakkında iklimcilere fikir verir. Bu çalışmada CMIP5 model arşivindeki her bir senaryo için koşturulan tüm modellerin birer versiyonu seçilerek bunların sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Bu sayede beklenen değişimin ne yönde ve ne büyüklükte olabileceğine dair daha güvenli bir referans oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi için 10x10 km²'lik gridlerde üretilen projeksiyon sonuçları ve ortalama sıcaklık ve toplam yağış parametresi için bu projede gerçekleştirilen ve tüm küresel model sonuçlarını içeren ensemble çalışması sonuçları, çalışma alanı sınırlarına uygulanmıştır. Aşağıdaki bölümlerde toplam sıcaklık ve yağış parametreleri için projeksiyon sonuçlarına yer verilmiştir.

3.2. Sıcaklık Projeksiyonları

3.2.1. RCP4.5 Senaryosu

Çalışma alanı sınırlarını içeren bölgede, HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 3 modelleri RCP4.5 senaryosu için ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Bu şekilde referans dönemi, ortalama sıcaklık değerleri ve gelecek 30'ar yıllık dönemler için referans periyoda göre farklar (anomaliler) çalışma alanı haritası üzerinde görselleştirilmiştir. İller bazında model sonuçlarının 10'ar yıllık değişimi ise Çizelge 2'de verilmiştir. Çalışma alanında geçmiş döneme ait ortalama sıcaklık değerlerinin 14-11°C arasında değiştiği, en düşük sıcaklıkların Kırklareli'nin kuzeyinde ve en yüksek sıcaklıkların ise Edirne'nin batısında gözlemlendiği belirlenmiştir.



Şekil 9. RCP4.5 senaryosuna göre ortalama sıcaklık projeksiyonlarının 30'ar yıllık değişimi.

Ortalama sıcaklık sonuçları projeksiyon yılları bazında genel olarak değerlendirildiğinde, ortalama sıcaklıktaki artışın HadGEM2-ES modeli için 2050 yılına kadar 2 °C'ye kadar yükseleceği, 2050 yılından sonra, çalışma alanının bazı kesimlerinde 3 °C'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu modele göre tahmin edilen ortalama sıcaklık değerlerindeki artışların 2040 yılına kadar Tekirdağ ilinde bir miktar daha fazla olacağı 2040'dan sonra ise Kırklareli'nde en yüksek değerlere ulaşacağı ve 3 °C'nin üzerinde olacağı belirlenmiştir. MPI-ESM-MR modeli, RCP4.5 senaryosuna göre 85 yıllık projeksiyon süresince yıllık ortalama

sıcaklık değerlerinin referans periyoduna göre artacağı, ancak artışların 2050 yılına kadar en fazla 1.2 °C ve 2040'dan sonra 1.9 °C civarında olacağı belirlenmiştir. En yüksek sıcaklık artışları Edirne için beklenmektedir. CNRM-CM5.1 modelinin sonuçları MPI-ESM-MR modeline göre daha sıcak, HadGEM2-ES'e göre ise daha soğuk bir atmosferi yansıtmaktadır. 2015-2050 arasındaki dönemin sonunda 1.5 °C'nin altında kalan sıcaklık artışlarının, 2050 sonrasında 2 °C'ye ulaştığı ve özellikle 2091-2099 periyodunda bu değer havzanın tamamında referans dönemine göre 2 °C farkı bulacağı öngörülmektedir. En yüksek sıcaklık artışları Edirne için beklenmektedir.

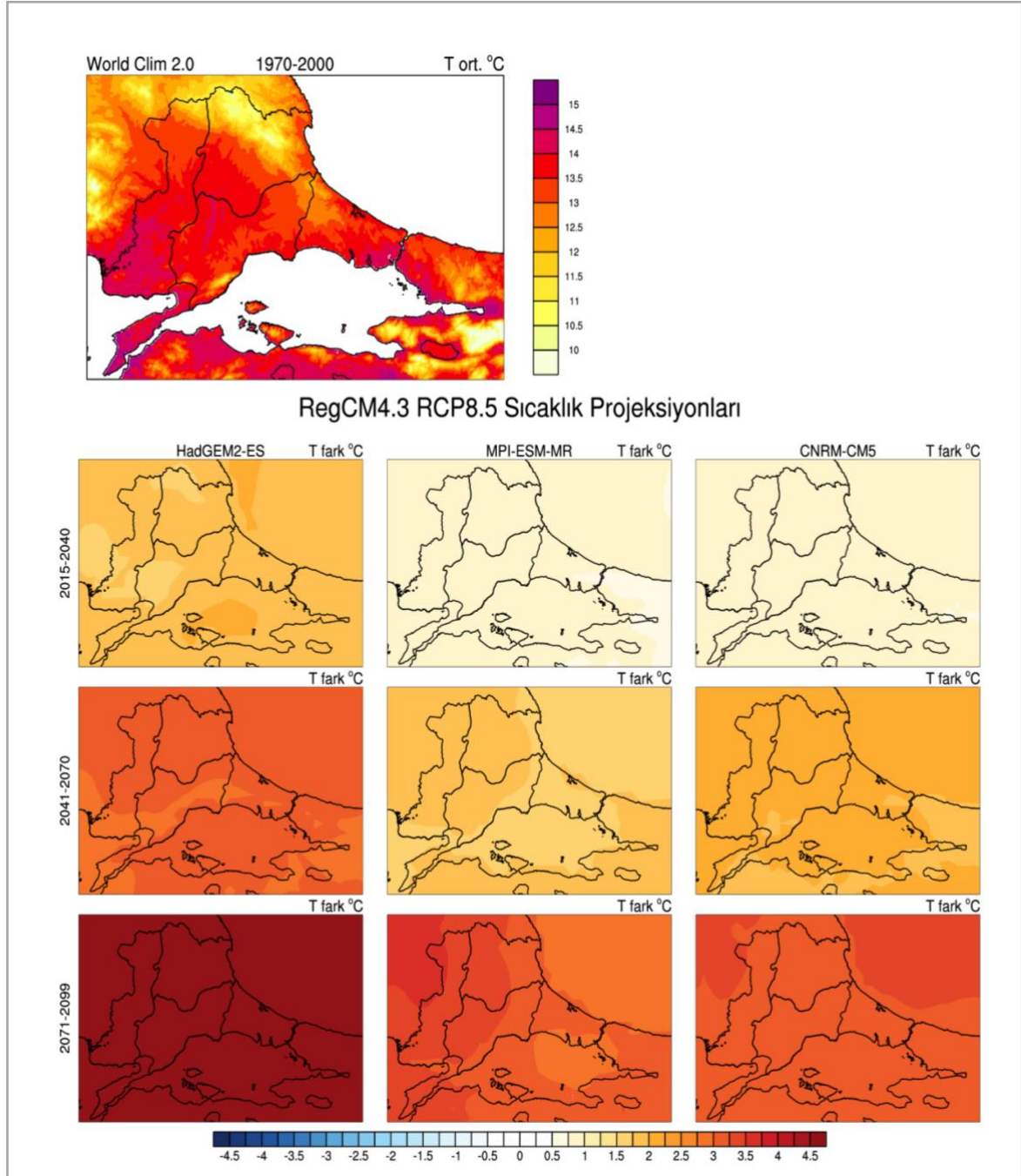
3.2.2. RCP8.5 Senaryosu

Çalışma alanında HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 yer sistem modellerine ait 2015-2100 yılları RCP8.5 senaryosu ortalama sıcaklık parametresi simülasyon sonuçlarına dair anomali değerlerinin 30'ar yıllık değişimleri Şekil10'da verilmiştir. İller bazında model sonuçlarının 10'ar yıllık değişimi ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çalışma alanı HadGEM2-ES modeli sonuçlarına göre ortalama sıcaklık parametresi bazında RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında beklendiği üzere, RCP8.5 senaryosu sonuçlarına göre ortalama sıcaklıklarda artışın daha fazla olacağı, özellikle 2050 sonrası artışın görünür bir şekilde artacağı tahmin edilmektedir. HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosuna göre 2050 yılına kadar 3 °C'ye yaklaşan artışlar, 2050 sonrasında ise 5 °C'nin üzerinde beklenmektedir. İller arasında sıcaklık artışları birbirine çok yakın olup, bölgesel belirgin bir farklılık beklenmemektedir. Projeksiyon dönemi sonunda üç ilde de beklenen sıcaklık artışı 10 yıllık ortalama için 5.3 °C üzerindedir.

MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosu sonuçlarına göre ise 85 yıllık projeksiyon süresince yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin referans periyoduna göre 3.9 °C kadar artacağı öngörülmektedir. Özellikle 2060 yılı ve sonrasında artış belirginleşmekte ve 2080 yılı sonrasında en yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Sıcaklık artışları çalışma alanının tamamında genel olarak çok değişmemekte, ancak en yüksek artışlar Edirne'de beklenmektedir. Artışların en yüksek seviyesi 3.9 °C olup HadGEM2-ES modelinden daha düşüktür.

CNRM-CM5.1 modeli RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre de sıcaklık artış eğilimleri 2040'tan sonra belirginleşmekte ve özellikle 2060 yılından sonra çalışma alanında 2.8 °C'ye yaklaşmaktadır. 2080 ve sonrası 3 °C'nin üzerine çıkan artışlar, projeksiyon döneminin sonunda 4 °C'ye yaklaşmaktadır. En yüksek artışlar yine Edirne için beklenmektedir. Sonuçların MPI-ESM-MR modeline yakın değerlerde olduğu öngörülmektedir.



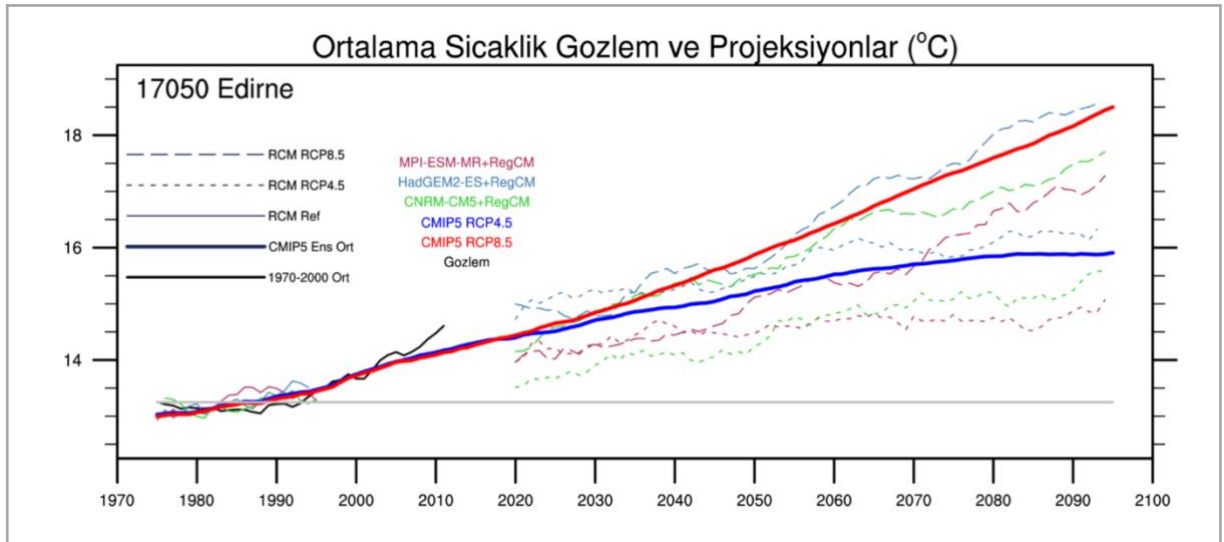
Şekil 10. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama sıcaklık projeksiyonlarının 30'ar yıllık değişimi.

Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde gözlem ve projeksiyon süresi boyunca (1970-2100) elde edilen ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla Şekil 11'de verilmiştir. Çalışma alanında 3 model ve tüm küresel iklim modelleri ve ortalamalarından elde edilen ortalama sıcaklık parametresi sonuçları Şekil 12'de verilmiştir. Bu şekilde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre İklimSu projesinde kullanılan 3 küresel modelin GCM ortalama değerlerine göre yeri belirlenebilir. Buna göre genel olarak HadGEM2ES modeli sonuçları GCM ortalama değerlerinin üzerinde daha sıcak, MPI-ESM-MR modeli sonuçları ise GCM ortalama değerinin altında daha soğuk sonuçlar vermektedir.

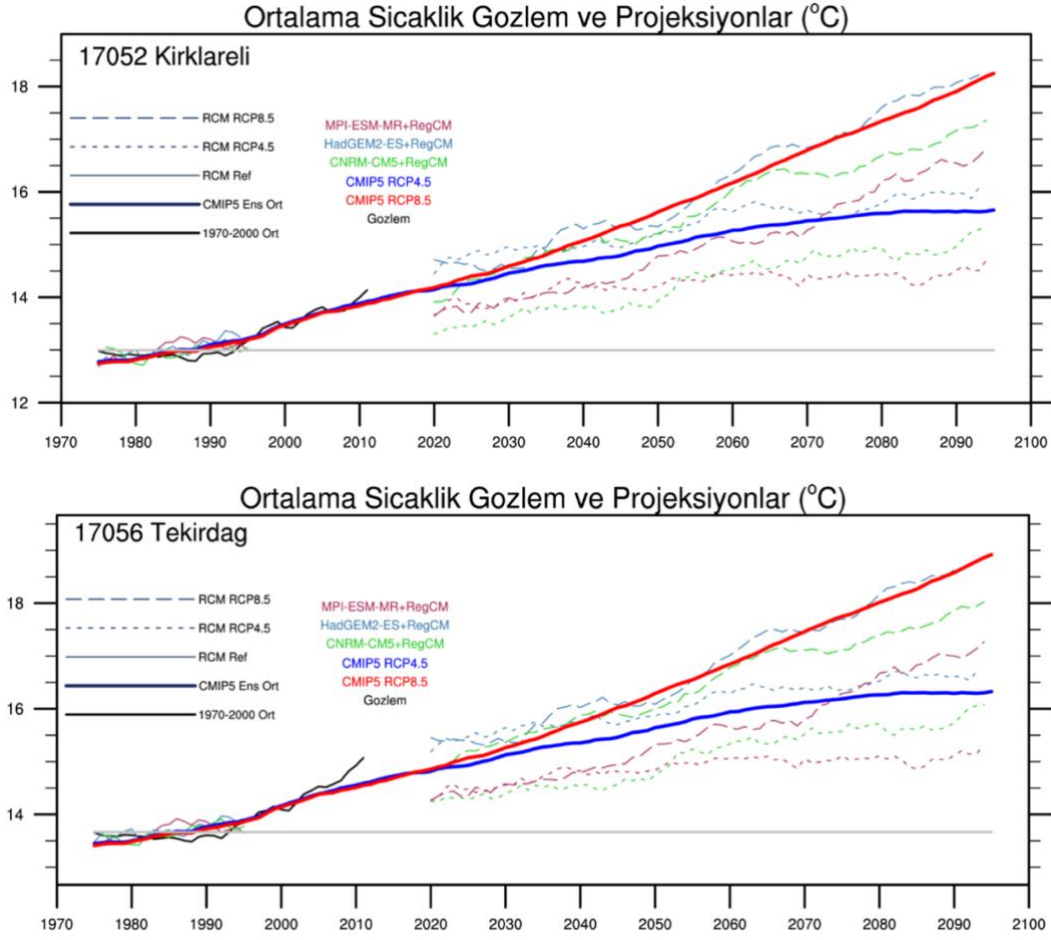
Çizelge 2. İl Bazında Ortalama Sıcaklık Projeksiyonları.

İl	Model	RCP	2015-2020	2021-2031	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	2071-2080	2081-2090	2091-2099
Edirne	MPI	RCP8.5	0.58	0.81	1.15	1.40	1.93	2.16	2.92	3.51	3.90
	HadGEM	RCP8.5	1.67	1.55	2.04	2.37	2.90	3.85	4.07	4.90	5.31
	CNRM	RCP8.5	0.43	0.82	1.06	1.41	1.96	2.76	2.64	3.08	3.93
	MPI	RCP4.5	0.57	0.87	1.24	1.19	1.36	1.52	1.45	1.25	1.91
	HadGEM	RCP4.5	1.22	1.89	1.91	2.07	2.42	2.80	2.58	2.95	3.13
	CNRM	RCP4.5	0.57	0.43	0.83	0.84	1.52	1.53	1.83	1.91	2.42
Kırklareli	MPI	RCP8.5	0.58	0.77	1.12	1.37	1.90	2.14	2.81	3.35	3.77
	HadGEM	RCP8.5	1.67	1.58	2.02	2.40	2.88	3.82	4.05	4.83	5.38
	CNRM	RCP8.5	0.45	0.77	1.00	1.37	1.95	2.77	2.64	3.08	3.86
	MPI	RCP4.5	0.53	0.80	1.20	1.15	1.34	1.45	1.41	1.22	1.82
	HadGEM	RCP4.5	1.22	1.89	1.91	2.08	2.45	2.75	2.56	2.93	3.14
	CNRM	RCP4.5	0.63	0.41	0.78	0.80	1.46	1.52	1.85	1.90	2.39
Tekirdağ	MPI	RCP8.5	0.53	0.75	1.08	1.36	1.88	2.09	2.78	3.31	3.73
	HadGEM	RCP8.5	1.68	1.57	2.05	2.40	2.85	3.78	3.99	4.78	5.31
	CNRM	RCP8.5	0.44	0.79	1.03	1.37	1.94	2.73	2.59	3.07	3.82
	MPI	RCP4.5	0.52	0.80	1.18	1.14	1.34	1.43	1.41	1.20	1.82
	HadGEM	RCP4.5	1.24	1.87	1.94	2.08	2.42	2.71	2.57	2.92	3.10
	CNRM	RCP4.5	0.68	0.46	0.78	0.83	1.46	1.51	1.83	1.89	2.38

Genel olarak her 3 model ve 2 senaryo sunucu da çalışma alanında sıcaklık artışları önermektedir. RCP4.5 için en fazla 3°C'ye varan sıcaklık artışları, en yüksek seviyelere MPI-ESM-MR modeli için hesaplanmıştır. Artışın en fazla beklendiği dönem 2050 ve sonrası olmuş ve en fazla beklendiği il Edirne olmuştur. RCP8.5 senaryosuna göre ise 2050 sonrası artışlar çoğalmaktadır. En fazla artış 5.4 °C'ye varmaktadır. En fazla sıcaklık artışı MPI-ESM-MR modeli için ve Edirne için beklenmektedir.



Şekil 11. İller bazında ortalama sıcaklık gözlem ve projeksiyon zaman serisi.



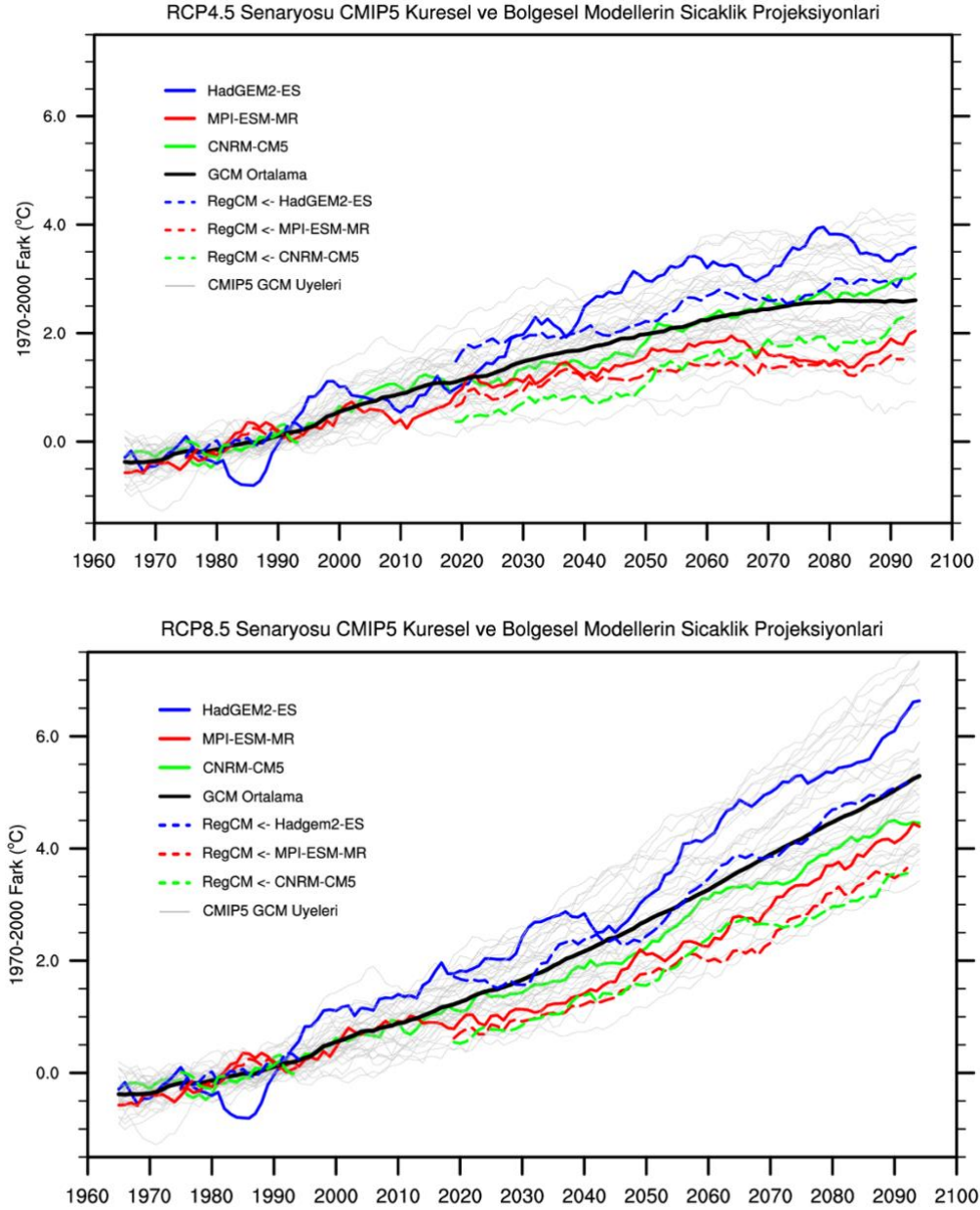
Şekil 11. Devamı...

3.3. Toplam Yağış Projeksiyonları

3.3.1. RCP4.5 Senaryosu

Çalışma alanında RCP4.5 senaryosuna göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine dayalı RegCM4.3 bölgesel iklim modelinin 2015-2100 yılları toplam yağış simülasyon sonuçları referans döneme göre farklar (anomali) bazında Şekil 13 ile verilmiştir. Çizelge 3 ile de üç modele ait yağışların anomali değerleri gösterilmiştir. Çalışma alanında, referans döneme ait yağış toplamaları 500 mm-650 mm arasındadır. En yüksek yağış alan bölgeler Tekirdağ'ın batı kesimleri iken en düşük yağış alan bölgeler çalışma alanının orta kesimleridir.

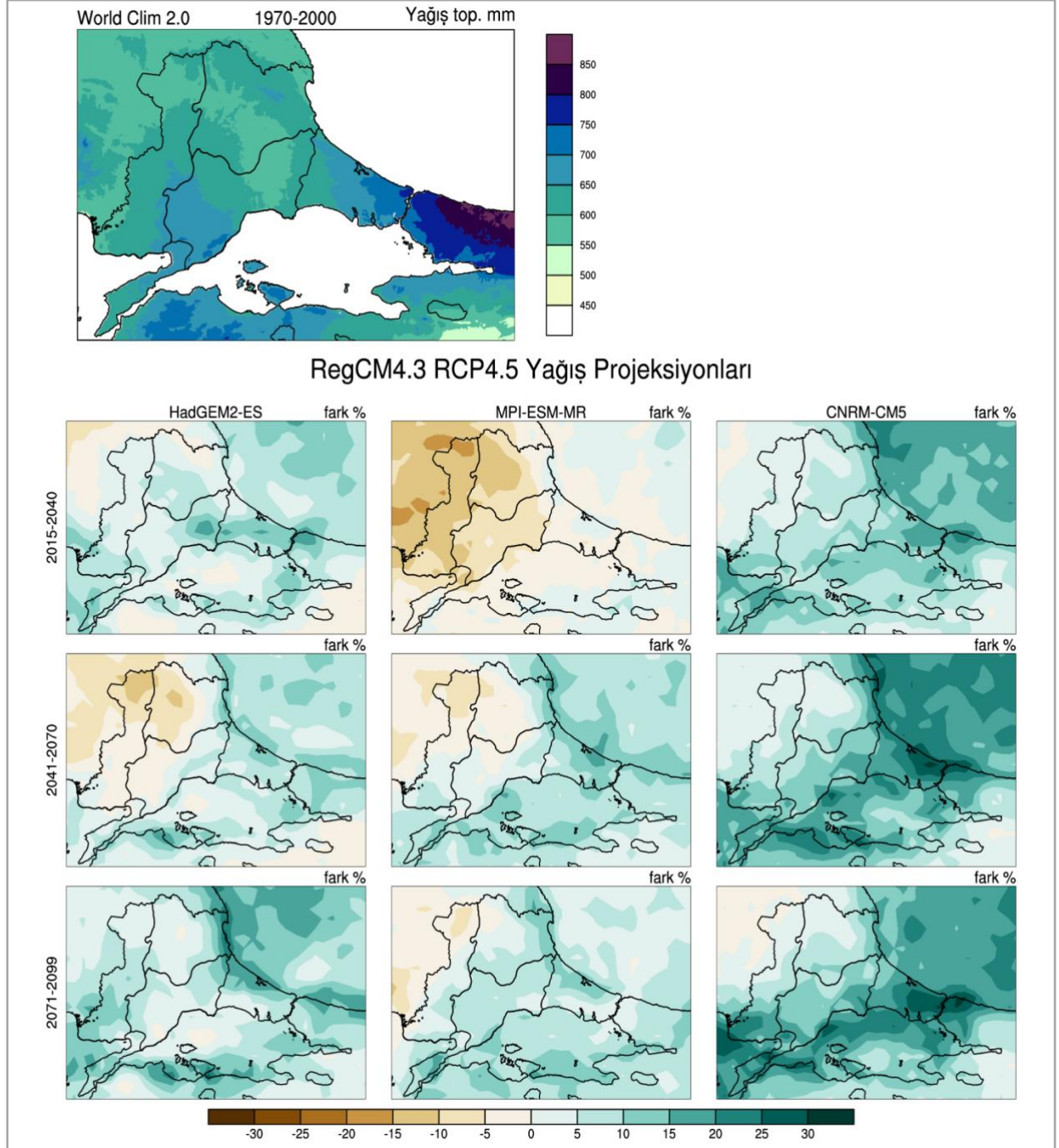
HadGEM2-ES modeli RCP4.5 senaryo sonuçlarına göre 2015-2100 projeksiyon yılları arasında çalışma alanı için toplam yağışlarda düzenli bir artıştan veya azalıştan söz etmek mümkün değildir. Genel olarak artışlar beklenmekte ve bu artış değerleri en fazla 2070-2080 periyodunda 12 mm'ye kadar çıkmakta iken 2050-2070 arsında yağışta 10 mm'ye varan düşüşler beklenmektedir. Genel olarak 2050'ye kadar artış, sonrasında 2070'e kadar azalma ve sonrasındaki 30 yıl için de artış beklenmektedir. 2060-2070 döneminde 15 mm'ye varan yağış eksiklikleri ve en yüksek değişimler Edirne ili için beklenmektedir.



Şekil 12. Ortalama sıcaklık anomalilerinin küresel iklim projeksiyonları (GCM) için sonuçları

MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryo sonuçlarına göre model sonuçları incelendiğinde, 2015-2100 yılları arasında toplam yağış miktarlarında lokasyona ve zamana bağlı olarak değişimlerin genel olarak azalma yönünde beklendiği ve en yüksek negatif anomali beklenen periyodun 2021-2030 periyodu olduğu anlaşılmaktadır. 2015-2030 projeksiyon döneminde özellikle Edirne’de 17 mm’yi bulan azalmalar beklenmektedir. Takip eden 10 yıllarda eksiklik değerleri azalmakta ve 2050-2060 periyodunda yağışta artış beklenmektedir. En yüksek artış değeri Tekirdağ için ve 11 mm’ye varan değerlerdedir. 2060-2070 periyodunda 5 mm’yi bulan azalmalar beklenirken sonrasında genel olarak 10 mm’ye varan artışlar öngörülmektedir. En fazla değişimler Tekirdağ için beklenmektedir.

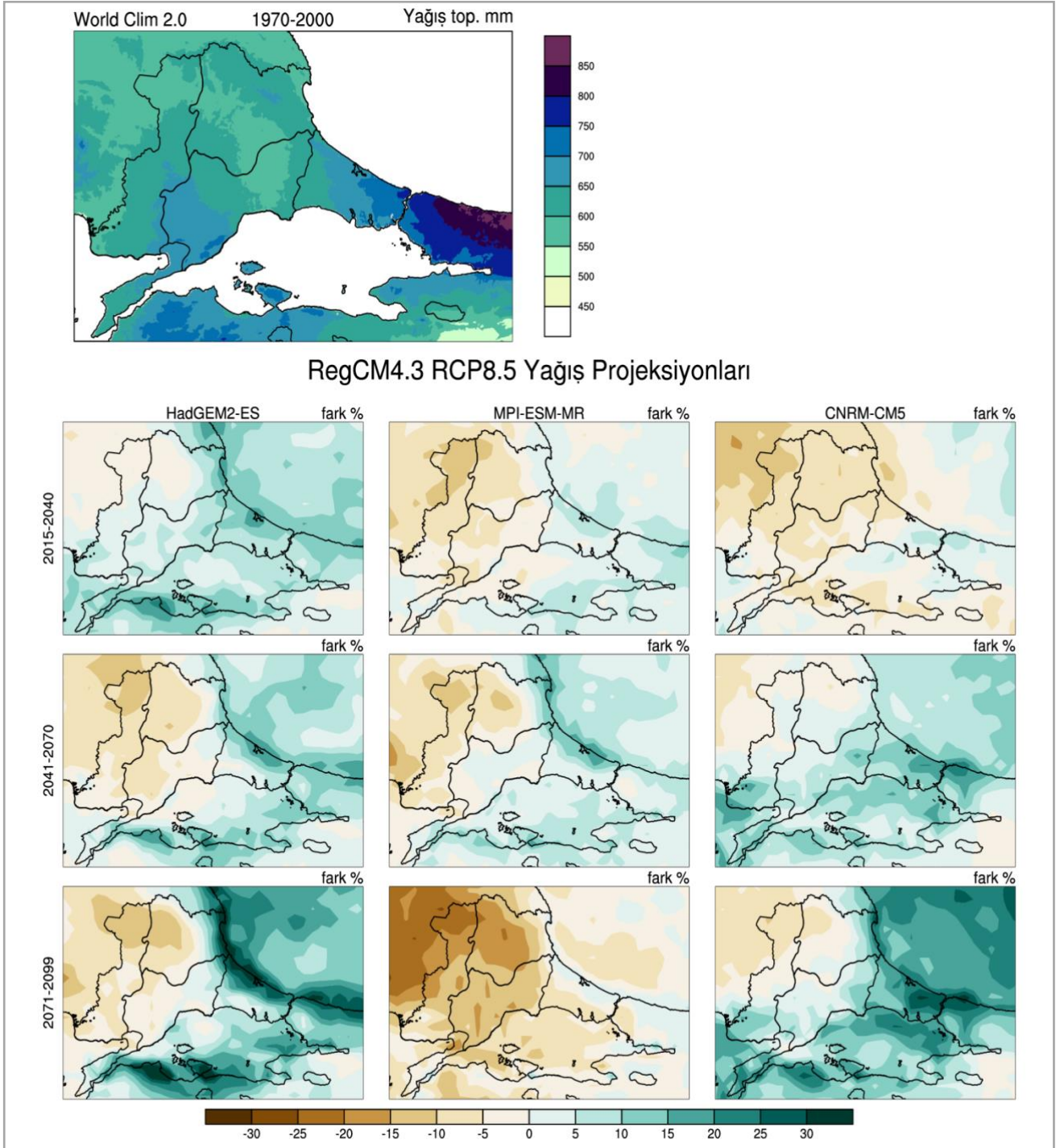
CNRM-CM5.1 modeli RCP4.5 senaryo sonuçlarına göre ise genel eğilim olarak projeksiyon dönemi boyunca yağış artışı söz konusudur. Hiçbir 10 yıllık dönemde yağış eksikliği hesaplanmamıştır. Yağış artış değerleri en fazla Tekirdağ için hesaplanmıştır. En yüksek artışlar 2015-2020 periyodunda, 2050-2060 döneminde ve 2090 sonrası için öngörülmektedir.



Şekil 13. RCP4.5 senaryosu toplam yağış projeksiyonlarının 30'ar yıllık değişimi.

3.3.2. RCP8.5 Senaryosu

Çalışma alanında RCP8.5 senaryosuna göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine dayalı RegCM4.3 bölgesel iklim modelinin 2015-2100 yılları toplam yağış simülasyon sonuçları referans döneme göre farklar (anomali) bazında Şekil 14 ile harita üzerinde verilmiştir. Çizelge 3 ile de üç modele ait yağışların anomali değerleri gösterilmiştir.



Şekil 14. RCP8.5 senaryosu toplam yağış projeksiyonlarının 30'ar yıllık değişimi.

HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosu için 2015-2100 projeksiyon dönemi boyunca yağışlarda düzenli bir artıştan veya azalıştan söz etmek mümkün değildir. Ancak genel olarak 2015-2020 periyodunda 12 mm'yi bulan azalmalar, sonraki 30 yıl için artışlar beklenmektedir. 2050 sonrası için ise bu model genel olarak azalma göstermekte ancak en fazla azalma 13 mm civarında 2050 döneminde beklenmektedir. Azalmanın en fazla beklediği il ise Edirne'dir. MPI-ESM-MR modeli sonuçlarına göre genel olarak azalmanın yaşanacağı tahmin edilmektedir. Bu azalma, özellikle son 30 yılda 20 mm'yi aşmaktadır. Azalmanın en fazla beklediği il Kırklareli olmuştur.

CNRM-CM5.1 modelinde ise RCP8.5 senaryosuna dayalı sonuçlar 2040 yılına kadar daha çok yağış azalışlarının hakim olduğunu öngörmektedir. 2040 yılı itibari ile ise yağış artışları beklenmektedir. Azalma değerleri en fazla 2015-2020 döneminde 13 mm'dir. Artışlar ise 2060-2070 döneminde 10 mm ile en fazla Tekirdağ için beklenmektedir.

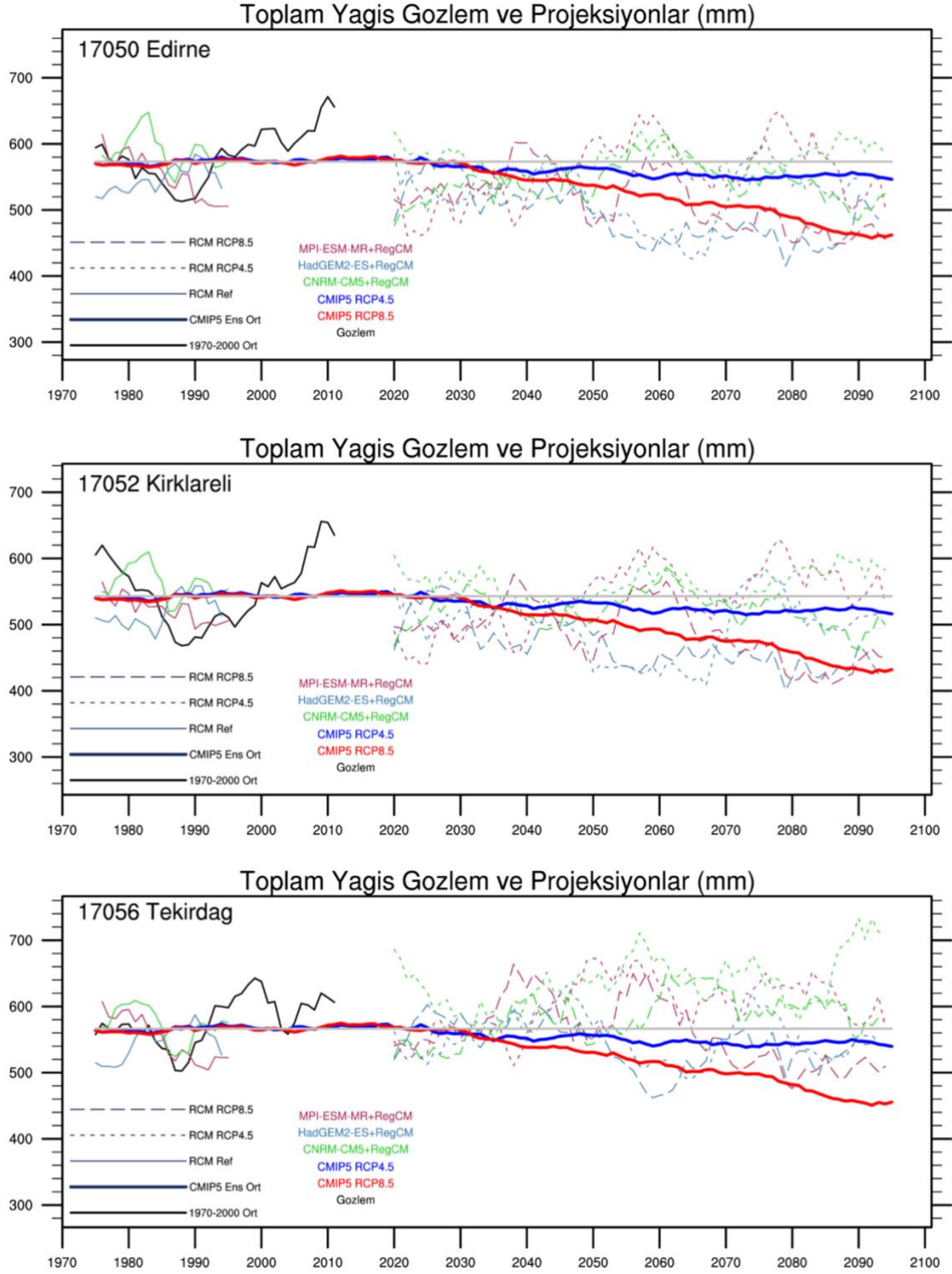
Çizelge 3. İl bazında toplam yağış projeksiyonları.

İl	Model	RCP	2015-2020	2021-2031	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	2071-2080	2081-2090	2091-2099
Edirne	MPI	RCP8.5	-12.44	-7.69	-4.04	-6.12	-3.32	-13.53	-10.24	-16.99	-16.69
	HadGEM	RCP8.5	-12.13	8.80	0.79	0.12	-13.12	-7.05	-9.32	-8.93	-3.34
	CNRM	RCP8.5	-13.57	-6.39	-2.83	0.84	3.34	6.47	4.27	-1.58	-1.68
	MPI	RCP4.5	-14.00	-16.98	-5.98	-2.80	5.71	-5.42	6.27	1.17	-5.70
	HadGEM	RCP4.5	8.46	-1.06	7.39	7.95	-9.05	-10.91	12.79	4.56	6.24
	CNRM	RCP4.5	19.05	4.79	-1.06	1.21	12.96	5.35	8.80	4.66	11.94
Kırklareli	MPI	RCP8.5	-10.29	-5.84	-1.84	-5.79	1.56	-5.99	-9.28	-20.32	-15.33
	HadGEM	RCP8.5	-10.93	10.51	1.11	0.44	-13.70	-2.18	-2.15	-2.92	-2.16
	CNRM	RCP8.5	-13.16	-8.47	-3.02	-2.72	2.45	3.10	3.26	-0.91	-1.96
	MPI	RCP4.5	-8.47	-11.06	-5.94	-4.50	9.75	-4.13	8.75	8.34	-2.81
	HadGEM	RCP4.5	6.59	-2.15	8.72	9.74	-6.56	-14.50	11.72	-1.29	6.12
	CNRM	RCP4.5	15.56	1.68	5.26	2.01	11.54	7.31	6.07	2.76	10.16
Tekirdağ	MPI	RCP8.5	-8.26	-2.94	-1.66	1.02	3.18	-2.52	-9.85	-15.07	-12.71
	HadGEM	RCP8.5	-10.20	12.38	7.74	0.21	-8.92	-0.64	-1.19	-0.60	2.74
	CNRM	RCP8.5	-7.64	-8.08	-1.24	3.77	3.70	10.86	7.02	4.72	3.66
	MPI	RCP4.5	-9.80	-8.84	-4.02	-0.23	11.46	-2.51	9.76	9.99	2.02
	HadGEM	RCP4.5	6.93	1.98	9.67	12.98	-2.27	-7.75	11.12	1.11	5.62
	CNRM	RCP4.5	18.60	3.17	5.54	8.37	17.18	11.73	12.70	8.66	18.14

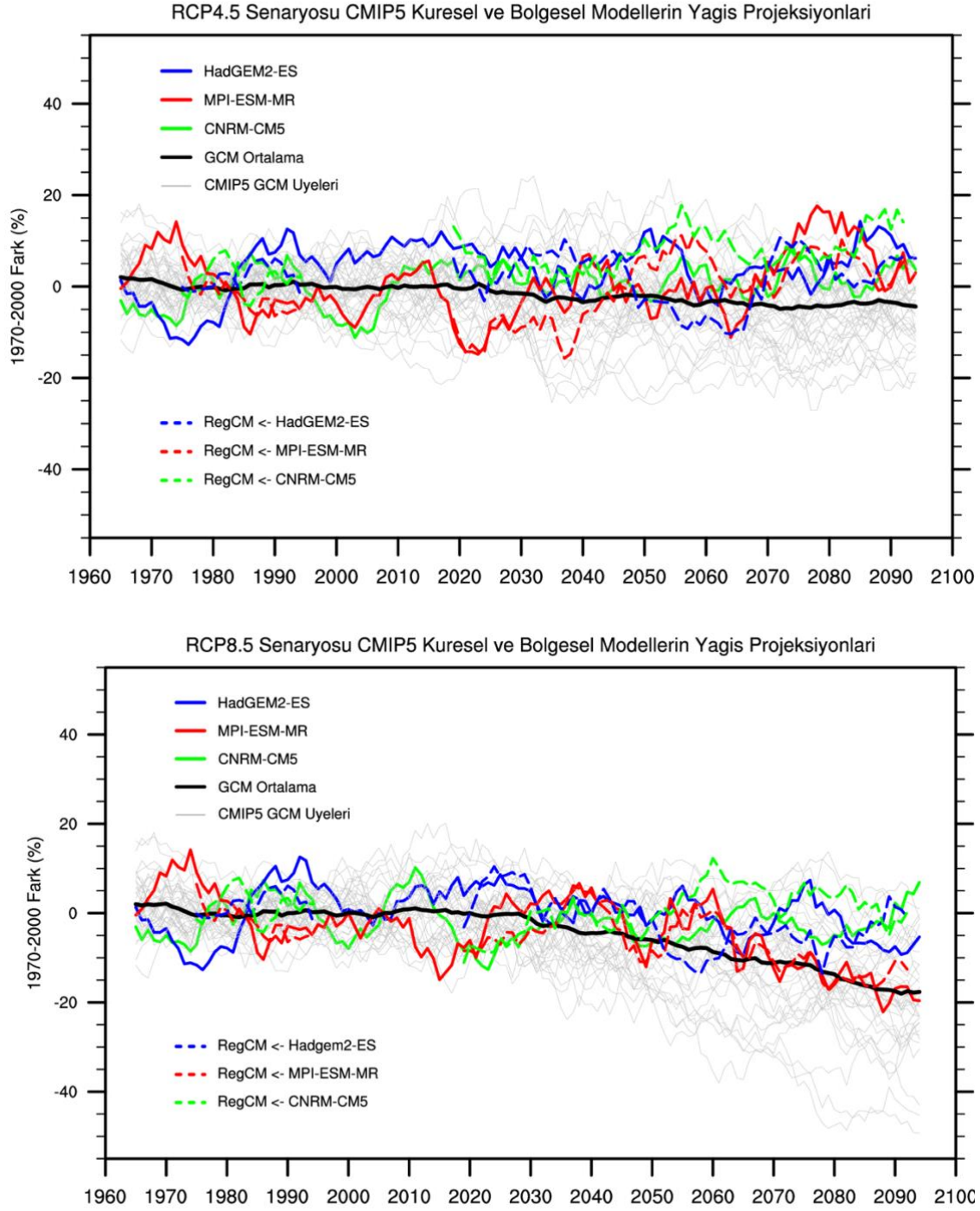
Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde gözlem ve projeksiyon süresi boyunca elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Şekil 15'de verilmiştir. Çalışma alanında 3 model ve tüm küresel iklim modelleri ve ortalamalarından elde edilen toplam yağış parametresi sonuçları Şekil 16'da verilmiştir. Bu şekilde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre İklimSu projesinde kullanılan 3 küresel modelin GCM ortalamaya göre yeri belirlenebilir. Buna göre genel olarak model sonuçları yağışı artış ve azalışlar şeklinde öngörmekte ancak HadGEM2-ES modelinin artış yönünde daha ıslak sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür.

Genel olarak yağış parametresi için değerlendirme yapıldığında RCP4.5 için yağış artışları hakimken, en fazla artışın 17 mm'ye yaklaştığı belirlenmiştir. Artışlar en fazla Tekirdağ için beklenmektedir. RCP8.5 senaryosu için ise yağış azalmaları hakimdir ve ilk 10 yıl her model

azalma önermektedir. Son 20 yılda azalmalar baskındır. Azalmalar en fazla 17 mm değerlerindedir. En fazla azalmayı MPI-ESM-MR önermekte ve azalmalar en fazla Edirne ili için öngörülmüştür.



Şekil 15. Toplam yağışa ait gözlem ve projeksiyon zaman serileri.



Şekil 16. Toplam yağış anomalilerinin küresel iklim projeksiyonları (GCM) sonuçları.

4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında Meriç-Ergene Havzası ve Marmara Havzaları'nda sınırları bulunan Tekirdağ-Edirne-Kırklareli illerini kapsayan TR21 bölgesinde mevcut durum meteorolojik koşullar analiz edilmiş ve gelecek dönem iklim projeksiyonları değerlendirilerek bölgeyi farklı senaryolar altında bekleyen değişimler ortaya koyulmuştur.

Proje kapsamında yapılan analizler sonucunda çalışma alanında ortalama sıcaklık değeri 13.6 °C olduğu, yaz aylarında sıcaklığın en yüksek değerlere ulaştığı il Edirne olurken kış aylarında uzun dönem ortalama verilerine göre en düşük sıcaklıklara Kırklareli ve Edirne illerinde rastlandığı belirlenmiştir. Çalışma alanında maksimum sıcaklık değerleri 32 °C'ye ulaşmakta, minimum sıcaklık değerleri ise -0.5 °C'ye kadar düşmektedir.

Toplam yağış değerlerinin uzun dönem verilerine göre 11.6 mm-100 mm arasında değiştiği, en düşük yağışların Ağustos ayında, en yüksek yağışların ise Edirne ve Kırklareli'nde Kasım ayında, Tekirdağ ilinde ve Aralık ayında gözlemlendiği belirlenmiştir. En yüksek açık yüzey buharlaşma değerleri 260 mm ile Lüleburgaz'da gerçekleşmekte, bağıl nem değerleri Aralık ve Ocak aylarında %80'in üzerine çıkmaktadır. Aylık ortalama güneşlenme şiddeti 530 cal/cm² değeri civarında olup, en yüksek güneşlenme şiddetinin belirlendiği istasyonlar İpsala ve Tekirdağ meteoroloji istasyonları olmuştur. Yapılan değerlendirmeye göre kimi aylarda ortalama rüzgar hızı 3 m/sn'nin üzerinde kaydedilmektedir.

Proje kapsamında "İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi"nin belirlenen bölge sınırları dahilinde üretilen projeksiyon verileri, gelecek dönem iklim değerlendirmesi ve hesaplamalarında kullanılmıştır. Bunun yanında farklı modellerin sonuçlarının birleşimi gibi metodlarla oluşturulan ensemble yöntemi ile kullanılan tüm küresel iklim modeli sonuçları da çalışma bölgesi için birlikte değerlendirilmiştir. Bu proje kapsamında belirlenen çalışma alanı için modelleme sonuçları yeniden elde edilmiş ve bu verilere genel meteorolojik parametreler ve kuraklık ve taşkın koşullarını temsil edecek değerlendirmeler yeniden yapılmıştır.

Çalışma alanında HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 yer sistem modellerine ait 2015-2100 yılları RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo sonuçlarının tümü çalışma alanında sıcaklık artışları öngörmektedir. RCP4.5 için en fazla 3 °C'ye varan sıcaklık artışları, en yüksek seviyelere MPI-ESM-MR modeli için hesaplanmıştır. Artışın en fazla beklendiği dönem 2050 ve sonrası olmuş ve en fazla beklendiği il Edirne olmuştur. RCP8.5 senaryosuna göre ise 2050 sonrası artışlar çoğalmaktadır. En fazla artış 5.4 °C'ye varmaktadır. En fazla sıcaklık artışı MPI-ESM-MR modeli için ve Edirne için beklenmektedir.

Her 3 model ve 2 senaryo için de maksimum ve minimum sıcaklık değerleri analiz edilmiştir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, RCP8.5 senaryosu sonuçlarına göre ortalama sıcaklıklarda artışın daha fazla olacağı tahmin edilmekte, diğer taraftan RCP4.5 senaryosuna göre çalışma alanında bölgesel olarak maksimum sıcaklık değerlerindeki farklar daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çalışma alanında RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine dayalı RegCM4.3 bölgesel iklim modelinin 2015-2100 yılları toplam yağış simülasyon sonuçları referans döneme göre farklar (anomali) hesaplanmış ve genel olarak RCP4.5 için yağış artışları hakimken, en fazla artış 17 mm'ye yaklaşmakta olduğu, artışların en fazla Tekirdağ için beklendiği belirlenmiştir. RCP8.5 senaryosu için ise yağış azalmaları hakimdir ve ilk 10 yıl her model azalma önermektedir. Son 20 yılda azalmalar baskındır. Azalmalar en fazla 17 mm değerlerindedir. En fazla azalmayı MPI-ESM-MR önermekte ve azalmalar en fazla Edirne ili için öngörülmüştür.

5. Kaynaklar

- Ackerman, S. A., Knox, A. J., (2012). Meteorology. (Ed: Kadioğlu M., Çakır, S.). ISBN: 978-605-320-209-7.
- ÇŞB, (2012). Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Eylem Planı. 2011–2023. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Flato, M.G.(2011). Earth System Models: An Overview. WIREs Climate Change, 2011.
- IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC, in Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Theme], Pachauri R. K., Reisinger A. (eds). IPCC: Geneva; 104, (2007).
- İklimSu (2016). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etsiki Raporu- Meriç Ergene Havzası Havzası Raporu.
- Moss, R.H.,Edmonds, J.A,Hibbard, K.A.,Manning, M.R., Rose, S.K.,vanVauren, D.P, Carter, T.R.,Emori, S.,Kainuma, M.,Kram, T.,Meehl, G.A,Mitchell, J.F.B,Nakicenovic, N,Riah (2010). TheNext Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment. 2010: 747-756.
- Şen, Ö. L., Bozkurt, D., Göktürk, O. M., Dünder, B., Altürk, B., (2013). Türkiye’de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. 3. Taşkın Sempozyumu. 29-30 Nisan 2013.
- UNFCCC (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations.