T.C. ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI

SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARINA ETKİSİ PROJESİ

Proje Nihai Raporu

EK 17 - Kızılırmak Havzası

Haziran 2016

İş bu rapor, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından Yüklenici ***Akar-Su Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti.*** ve Alt Yüklenici ***io Çevre Çözümleri Ar-Ge Ltd. Şti.*** firmasına hazırlattırılmıştır.

SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

GENEL MÜDÜR

Prof. Dr. Cumali KINACI

GENEL MÜDÜR YARDIMCISI

Hüseyin AKBAŞ

DAİRE BAŞKANI

Maruf ARAS

Ayşe YILDIRIM COŞGUN	Şube Müdürü
Hülya SİLKİN	Uzman
Mehmet AŞKINER	Uzman
Seçil KARABAY	Uzman
Tansel TEMUR	Uzman Yardımcısı

ANAHTAR TEKNİK PERSONEL

Özcan ÇIRAK	İnş. Müh. (Proje Müdürü)	Güler GÜL	Met. Müh.
Ayşe DİKİCİ	İnş. Müh.	Muhsin KARAMAN	Harita Müh.
Amaç Bülent YAZICIOĞLU	Çevre Müh.	Gökhan UZUNGENÇ	İnş. Müh.
Erdoğan Gül	İnş. Müh.		

TEKNİK PERSONEL

Emine GİRGİN	Çev. Yük. Müh.
S. Seda ABAT	Çev. Müh.
Ceren EROPAK	Çev. Yük. Müh.
Doç. Dr. Asude HANEDAR	Çev. Yük. Müh.
Prof. Dr. Erdem GÖRGÜN	Çev. Yük. Müh.
Evrim ATALAS	İnş.- Çev. Müh.
Dr. Bertan BAŞAK	Çev. Yük. Müh.
Gamze KIRIM	Çev. Yük. Müh.
Merve AÇAR	Met. Yük. Müh.
Kurtuluş KONDU	İnş. Müh.
Ferat ÇAĞLAR	Met. Müh.
Salim YAYKIRAN	Çev. Yük. Müh.
Mehmet KALFAZADE	Çev. Yük. Müh.

PROJE DANIŞMANLARI

Prof. Dr. Selahattin İNCECİK Prof. Dr. Yurdanur ÜNAL	İklim Projeksiyonları Çalışma Grubu
Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK Prof. Dr. Ayşegül TANIK Doç. Dr. Ali ERTÜRK Doç. Dr. Alpaslan EKDAL Yük. Müh. Aslı ÖZABALI SABUNCUGİL	Hidroloji Çalışma Grubu
Prof. Dr. Turgut ÖZTAŞ	Hidrojeoloji Çalışma Grubu
Doç. Dr. Oral YAĞCI	Hidrolik Çalışma Grubu
Yrd. Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU Yrd. Doç. Dr. Caner GÜNEY	CBS Çalışma Grubu

- Projenin İklim Su Veri Tabanı Uygulaması geliştirilmesi işleri alt yüklenici olan EXPERTEAM firması tarafından yapılmıştır.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....I
TABLO LİSTESİ.....II
ŞEKİL LİSTESİ.....IV
EK LİSTESİ.....IX
KISALTMALAR.....X
17 KIZILIRMAK HAVZASI.....1
17.1 Havzanın Genel Özellikleri.....1
17.1.1 Yüzeysel ve Yeraltı Su Kaynaklarının Mevcut Kullanımı.....6
17.1.2 Atıksu Kaynak ve Miktarları.....8
17.1.3 Sulama Suyu.....12
17.2 İklim Değişikliği Projeksiyon Çalışmaları.....13
17.2.1 Sıcaklık Projeksiyonları.....13
17.2.2 Toplam Yağış Projeksiyonları.....26
17.2.3 İklim İndisleri.....40
17.3 Hidrolojik Projeksiyon Çalışmaları.....44
17.3.1 Hidrolojik Model Çıktıları ile On Yıllık Dönemler itibariyle Havza Bazlı Tahmini Su Potansiyeli ve Su Bütçesi.....44
17.3.2 Havzadaki Temel Hidrolojik Değişkenlerin Eğilim Analizi.....62
17.3.3 İklim Değişikliği Projeksiyonlarının Havzanın Toplam Brüt ve Net Su Potansiyellerine Olası Etkilerinin Analizi.....80
17.4 Hidrojeolojik Projeksiyon Çalışmaları.....84
17.4.1 Hidrojeolojik Gruplar ve Analojik Değerlendirmesi.....85
17.4.2 Yeraltısuyu Depolama Ortamları (Hidrojeolojik Ortamlar) ve Özellikleri.....87
17.4.3 Yeraltısuyu Depolama Ortamlarının (Hidrojeolojik Ortamlar) Potansiyelleri (Rezervler).....92
17.4.4 Yeraltısularına Yönelik Hidrojeolojik Değerlendirmeler.....96
17.5 Hidrolik Projeksiyon Çalışmaları.....98
17.5.1 Hidrolik Model Sonuçlarının Akım Gözlem İstasyonlarındaki Gözlem Sonuçları ile Tutarlılığının Değerlendirilmesi.....99
17.5.2 Hidrolik Model Sonuçlarının Projeksiyon Dönemi için Debi Süreklilik Grafikleri ile Değerlendirilmesi.....104
17.5.3 Havzanın Hidrolik Açıdan Genel Değerlendirilmesi.....120
17.6 Genel Değerlendirme.....124
KAYNAKÇA.....127

TABLO LİSTESİ

Tablo 17.1 Kızılırmak Havzası Morfometrik Parametre Değerleri 3

Tablo 17.2 Kızılırmak Havzası'nda Yer Alan İller ve Havza İçerisinde Kalan Alanları 5

Tablo 17.3 Kızılırmak Havzası Arazi Kullanımı ve Dağılımı (SYGM, 2013)..... 6

Tablo 17.4 Kızılırmak Havzası Sınırları İçinde Yer Alan İçme Suyu Kaynakları (Havza Koruma Eylem Planları, 2010) 8

Tablo 17.5 Kızılırmak Havzası'nda Mevcut Evsel Atıksu Arıtma Tesisleri (Havza Koruma Eylem Planları, 2010)..... 9

Tablo 17.6 Kızılırmak Havzası Su Hareketleri Çalışmalarında Dikkate Alınan Atıksu Kaynak ve Miktarları 10

Tablo 17.7 Kızılırmak Havzası'nda Yer Alan İllerin Yıllık Sulama Suyu Miktarları 12

Tablo 17.8 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Ortalama Sıcaklık Anomali Değerleri (°C).....23

Tablo 17.9 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Toplam Yağış Anomali Değerleri 38

Tablo 17.10 HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Yağış Anomalileri Dağılımı 39

Tablo 17.11 Havza Bazında Değerlendirilen İklim İndisleri 40

Tablo 17.12 RCP4.5 Senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri 30 Yıllık Periyotlara göre Gözlem Dönemi İklim İndisleri 42

Tablo 17.13 RCP8.5 Senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri 30 Yıllık Periyotlara göre Gözlem Dönemi İklim İndisleri 43

Tablo 17.14. Kızılırmak Havzası Yeraltı Suyu Dağılımı.....49

Tablo 17.15. Kızılırmak Havzası Yüzeysel Su Dağılımı 49

Tablo 17.16. Kızılırmak Havzası Toplam Su Dağılımı.....50

Tablo 17.17. Kızılırmak Havzası için Seçilen Nüfus Artış Hızları (2015–2100) 51

Tablo 17.18. Kızılırmak Havzası Nüfus Tahminleri (2015–2100) 51

Tablo 17.19. Nüfusa göre Birim Net Su İhtiyaçları 52

Tablo 17.20. İsale ve Şebekedeki Kayıp/Kaçak Yüzdeleri 53

Tablo 17.21. Kırsal ve Kentsel Nüfusun Yıllık Su İhtiyacı Projeksiyonu 54
Tablo 17.22. Türkiye'nin GSMH Gelişimi (OECD, 2014).....54
Tablo 17.23. Sanayi Suyu İhtiyacının Değişimi Artış Hızları 55
Tablo 17.24. Yıllık Sanayi Suyu İhtiyacı Projeksiyonu 55
Tablo 17.25. Sulama Suyu İhtiyacının Değişimi.....56
Tablo 17.26. Yıllık Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu 56
Tablo 17.27. Kızılırmak Havzası Yıllık Toplam Su İhtiyacı Projeksiyonu.....59
Tablo 17.28. Kızılırmak Havzası için Hidrolojik Model Sonuçlarının Mevcut Veriler İle Mukayesesi.....63
Tablo 17.29 1974 tarihli Türkiye Hidrojeoloji Haritası Akifer Bilgileri 87
Tablo 17.30 Havzanın Genel Hidrojeolojik Sentez Parametreleri.....89
Tablo 17.31 Öngörülen Rezerv Değerleri ve Değişim (Azalım) Oranları 94
Tablo 17.32 Yeraltısuyuna Doygunluk Durumuna Göre Oluşması Beklenen Yeraltı Su Düzeyi Alçalım Değeri Limitleri 96
Tablo 17.33 Kızılırmak Havzası'ndaki Kontrol Noktalarının AGİ İstasyon No'ları ve HEC-RAS Modelindeki Kesit Numaraları 99

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 17.1 Kızılırmak Havzası'nın Türkiye'deki Konumu 1

Şekil 17.2 Kızılırmak Havzası Fiziki Haritası 2

Şekil 17.3 Morfometrik Parametre Değerleri - Kızılırmak Havzası Alanı ve Anakolu 3

Şekil 17.4 Kızılırmak Havzası Belirleyici Nehir Sistemi ve Yan Kolları 4

Şekil 17.5 Sivas İli Su Hareketleri Şematik Gösterimi 11

Şekil 17.6 Kayseri İli Su Hareketleri Şematik Gösterimi 11

Şekil 17.7 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin HadGEM2-ES Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C) 15

Şekil 17.8 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin MPI-ESM-MR Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C) 16

Şekil 17.9 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin CNRM-CM5.1 Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C) 17

Şekil 17.10 RCP4.5 Senaryosuna Göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modellerine Dayalı Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin 10'ar Yıllık Değişimi 18

Şekil 17.11 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin HadGEM2-ES Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C) 20

Şekil 17.12 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin MPI-ESM-MR Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C) 21

Şekil 17.13 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin CNRM-CM5.1 Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C) 22

Şekil 17.14 RCP8.5 Senaryosuna Göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modellerine Dayalı Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin 10'ar Yıllık Değişimi 23

Şekil 17.15 HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Sıcaklık Zaman Serileri 25

Şekil 17.16 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin HadGEM2-ES Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm) 28

Şekil 17.17 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin MPI-ESM-MR Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm) 29

Şekil 17.18 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin CNRM-CM5.1 Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm) 30

Şekil 17.19 RCP4.5 Senaryosuna göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Yıllık Toplam Yağış Anomali Değerleri Zaman Serileri 31

Şekil 17.20 RCP4.5 Senaryosuna Göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modellerine Dayalı Toplam Yağış Anomali Değerlerinin 10'ar Yıllık Değişimi 32

Şekil 17.21 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin HadGEM2-ES Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm) 34

Şekil 17.22 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin MPI-ESM-MR Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm) 35

Şekil 17.23 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin CNRM-CM5.1 Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm) 36

Şekil 17.24 RCP8.5 Senaryosuna göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Yıllık Toplam Yağış Anomali Değerleri Zaman Serileri 37

Şekil 17.25 RCP8.5 Senaryosuna Göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modellerine Dayalı Toplam Yağış Anomali Değerlerinin 10'ar Yıllık Değişimi 38

Şekil 17.26 Su Potansiyeli Akım Şeması 45

Şekil 17.27 İklim Değişikliği Projeksiyonları RCP4.5 Senaryosuna göre Su Fazlası/Açığının Değişimi 60

Şekil 17.28 İklim Değişikliği Projeksiyonları RCP8.5 Senaryosuna göre Su Fazlası/Açığının Değişimi 61

Şekil 17.29 Kızılırmak Havzası'nın Referans Yılları için Hidrolojik Modelden Alınan Toplam Akış Sonuçları 64

Şekil 17.30 Kızılırmak Havzası İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Toplam Akış 10 Yıllık Ortalamaları 65

Şekil 17.31 Kızılırmak Havzası İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Toplam Akış 30 Yıllık Ortalamaları 66

Şekil 17.32 Kızılırmak Havzası'nın Referans Yılları için Hidrolojik Modelden Alınan Net YAS Potansiyeli Sonuçları 67

Şekil 17.33 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen YAS Potansiyelinin 10 Yıllık Ortalamaları 68

Şekil 17.34 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen YAS Potansiyelinin 30 Yıllık Ortalamaları 69

Şekil 17.35 Kızılırmak Havzası'nın Referans Yılları için Hidrolojik Modelden Alınan Evapotranspirasyon Sonuçları 70

Şekil 17.36 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Evapotranspirasyonun 10 Yıllık Ortalamaları 71

Şekil 17.37 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Evapotranspirasyonun 30 Yıllık Ortalamaları 72

Şekil 17.38 Kızılırmak Havzası'nın Referans Yılları için Hidrolojik Modelden Alınan Zemin Nemi Sonuçları 73

Şekil 17.39 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Zemin Neminin 10 Yıllık Ortalamaları 74

Şekil 17.40 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Zemin Neminin 30 Yıllık Ortalamaları 75

Şekil 17.41. Kızılırmak Havzası'ndaki Toplam Su Potansiyelinin İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Yıllar içinde Değişimi 77

Şekil 17.42. Kızılırmak Havzası'ndaki Yüzeysel Su Potansiyelinin İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Yıllar içinde Değişimi 78

Şekil 17.43. Kızılırmak Havzası'ndaki YAS Potansiyelinin İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Yıllar içinde Değişimi 79

Şekil 17.44 Kızılırmak Havzası için İklim Projeksiyonları RCP4.5 Senaryosuna göre Brüt ve Net Su Potansiyellerinin Karşılaştırılması 82

Şekil 17.45 Kızılırmak Havzası için İklim Projeksiyonları RCP8.5 Senaryosuna göre Brüt ve Net Su Potansiyellerinin Karşılaştırılması 83

Şekil 17.46 Kızılırmak Havzası Jeoloji Haritası (1964) 84

Şekil 17.47 Kızılırmak Havzası Jeoloji Haritası (2002) 85

Şekil 17.48 Havzanın Hidrojeolojik Grupları Kodlanarak Sayısallaştırılmış Hidrojeoloji Haritası (1974) 86

Şekil 17.49 1974 Türkiye Hidrojeoloji Haritası'ndaki Hidrojeolojik Grupların Projedeki Tanımlarıyla Havzada Bulunuş Yüzdeleri ve Türkiye Genelindeki Yeri 86

Şekil 17.50 Serbest (TS, ts) ve Basınçlı (TB, tb) Taneli Hidrojeolojik Ortamlar 90

Şekil 17.51 Serbest (KS, ks) ve Basınçlı (KB, kb) Kaya Hidrojeolojik Ortamlar 90

Şekil 17.52 Serbest (TS, ts, KS, ks), Basınçlı (TB, tb, KB, kb) Taneli ve Kaya Hidrojeolojik Ortamlar 91

Şekil 17.53 Havzada Önemli Su Kuyuları ile Kaynak Sularının Dağılımı 93

Şekil 17.54 Havzadaki Toplam Hidrojeolojik Rezervin Değişimi 95

Şekil 17.55 Kızılırmak Havzası için Seçilen Kontrol Noktalarının Konumları 98

Şekil 17.56 KIN_088_KE_8000 Kontrol Noktası için Hidrolik Model Sonuçları ve Akım Gözlem İstasyonlarındaki Gözlem Sonuçları 100

Şekil 17.57 KIN_085_KE_1000 Kontrol Noktası için Hidrolik Model Sonuçları ve Akım Gözlem İstasyonlarındaki Gözlem Sonuçları 101

Şekil 17.58 KIN_019_KE_8000 Kontrol Noktası için Hidrolik Model Sonuçları ve Akım Gözlem İstasyonlarındaki Gözlem Sonuçları 102

Şekil 17.59 KIN_083_KE_22000 Kontrol Noktası için Hidrolik Model Sonuçları ve Akım Gözlem İstasyonlarındaki Gözlem Sonuçları 103

Şekil 17.60 RCP4.5 Senaryosu için KIN_088_KE_8000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri 105

Şekil 17.61 RCP8.5 Senaryosu için KIN_088_KE_8000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri 107

Şekil 17.62 RCP4.5 Senaryosu için KIN_085_KE_1000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri 109

Şekil 17.63 RCP8.5 Senaryosu için KIN_085_KE_1000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri 111

Şekil 17.64 RCP4.5 Senaryosu için KIN_019_KE_8000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri 113

Şekil 17.65 RCP8.5 Senaryosu için KIN_019_KE_8000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri 115

Şekil 17.66 RCP4.5 Senaryosu için KIN_083_KE_22000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri 117

Şekil 17.67 RCP8.5 Senaryosu için KIN_083_KE_22000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri 119

Şekil 17.68 Kızılırmak Havzası için Genel Değerlendirmenin Yapıldığı Noktanın Konumu .120

Şekil 17.69 RCP4.5 Senaryosu için Kızılırmak Nehri Mansabı 30'ar Yıllık Projeksiyon Dönemleri Debi Süreklilik Çizgiler 121

Şekil 17.70 RCP8.5 Senaryosu için Kızılırmak Nehri Mansabı 30'ar Yıllık Projeksiyon Dönemleri Debi Süreklilik Çizgiler 122

Şekil 17.71 Kızılırmak Nehri Mansabı 30'ar Yıllık Projeksiyon Dönemleri için Elde Edilen Ortalama Debi Değerleri 123

EK LİSTESİ

Ek 17.1 **:** Havza Bazında İklim Değişikliği Projeksiyonları Sonuçları

Ek 17.2 **:** İklim Değişikliği Projeksiyonu Sonuçlarına göre Havzadaki Temel Hidrolojik Parametrelere ait 10 ve 30 Yıllık Ortalamalardaki Model Sonuçları

Ek 17.3 **:** Hidrojeoloji Haritası Yüzeylenme Kodlarına ait Alan Bilgileri Hidrojeolojik Gruplara İlişkin Veriler ve Rezerv Sonuçları

Ek 17.4 **:** Seçilen Kontrol Enkesitleri için Su Yüzeyi Kotlarındaki Değişimler ve 30'ar Yıllık Aylık Debi Grafikleri; Küresel İklim Modelleri RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryoları için Hidrolik Model Girdileri ve Sonuçları

KISALTMALAR

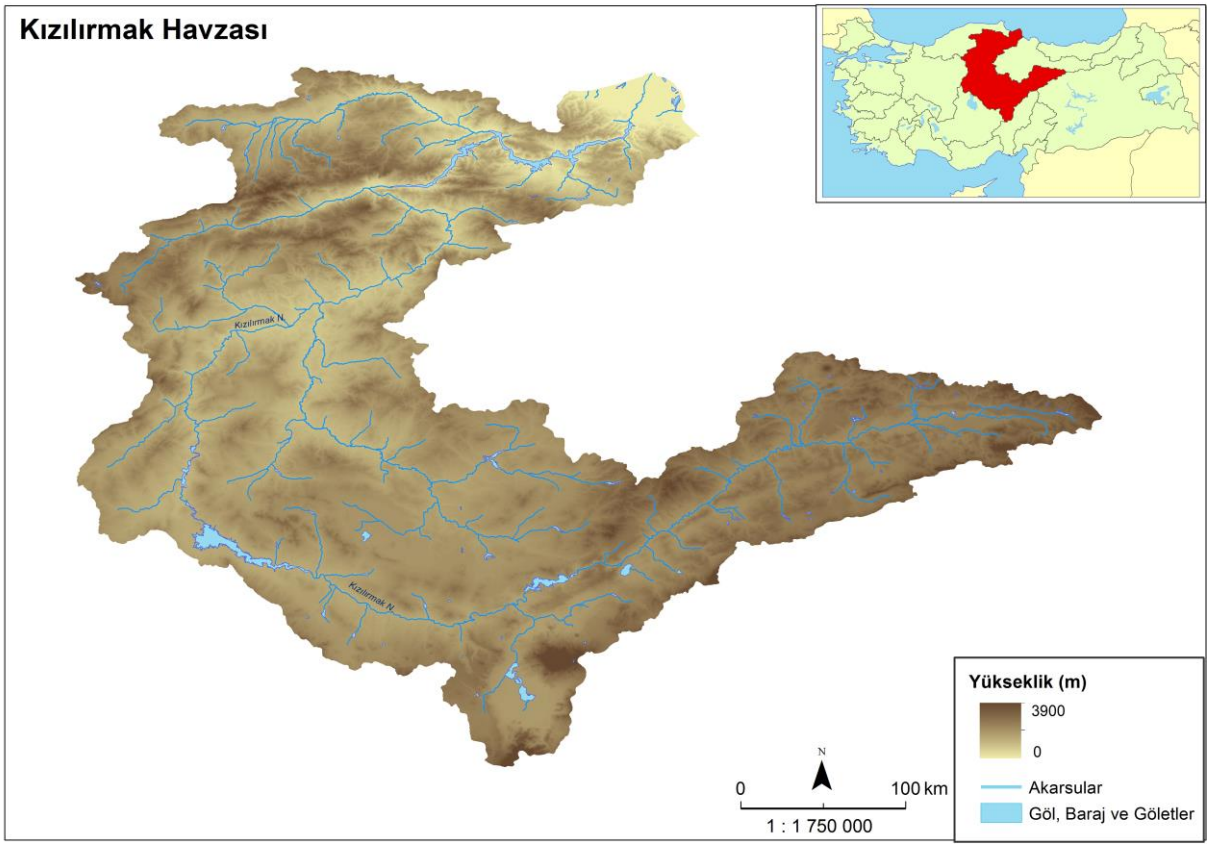
AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
CNRM-CM5.1	: Centre National de Recherches Météorologiques Model Version 5 (Fransa Ulusal Meteoroloji Araştırma Merkezi İklim Modeli 5.1 Versiyon)
ÇİD	: Çevresel İhtiyaç Debisi
ÇOB	: Mülga T.C Çevre Ve Orman Bakanlığı
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
HadGEM2-ES	: Hadley Centre Global Environment Model Version 2 (Hadley Merkez Küresel Çevre Modeli 2.Versiyon)
HEC-RAS	: Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
HKEP	: Havza Koruma Eylem Planları
KE	: Kontrol Enkesiti
MPI-ESM-MR	: Max Planck Meteorology Institute Earth System Model (Max Plank Meteoloji Enstitüsü Yer Sistem Modeli)
OECD	: Organisation For Economic Co-Operation And Development
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
PET	: Potansiyel Evapotranspirasyonu
RCP	: Representative Concentration Pathways (Temsili Konsantrasyon Rotaları)
RegCM	: Regional Climate Model (Bölgesel İklim Modeli)
RF	: Referans Periyodu
Rs	: Yeraltı Suyu Statik Rezervi
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SWAT	: Soil And Water Assessment Tool
TÜBİTAK MAM	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkez
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WEAP	: Water Evaluation and Planning System
YAS	: Yeraltı Suyu

17 KIZILIRMAK HAVZASI

17.1 Havzanın Genel Özellikleri

Ülkemizde İç Anadolu Bölgesinin doğusunda yer alan Kızılırmak Havzası Türkiye'nin ikinci en büyük havzasıdır. Ülke topraklarının yaklaşık %11'ini kaplayan havzanın büyük bir bölümü tepelik alan görünümündeyken, yalnızca kuzey ve doğu kesimleri dağlıktır. 1.151 km'lik uzunluğu ile Türkiye akarsularının en uzunu olan Kızılırmak, 78.180 km²'lik bir drenaj alanına sahiptir. Sivas İmranlı çevresinden doğarak sırasıyla, Kayseri, Nevşehir, Aksaray, Kırşehir, Ankara, Kırıkkale, Çankırı, Çorum, Sinop ve Samsun il topraklarından geçerek Bafra Ovasından Karadeniz'e dökülmektedir. Kızılırmak Havzası'nın Türkiye haritası üzerindeki konumu Şekil 17.1 ve havza fiziki haritası Şekil 17.2 ile verilmektedir.

Şekil 17.1 Kızılırmak Havzası'nın Türkiye'deki Konumu



Şekil 17.2 Kızılırmak Havzası Fiziki Haritası

Havzanın toplam alanı 8.210.007 hektardır (SYGM, 2013). Toplam yağış alanı 72.278 km^2 olan Kızılırmak Havzası'nın yıllık ortalama yağış yüksekliği 446 mm; yıllık ortalama akışı ise 164,15 m^3/s'dir. Yıllık ortalama yağış verimi 2,6 $L/s/km^3$ olan havzadaki akışın yağışa iştirak oranı %3,5'dir (Havza Koruma Eylem Planları, 2010).

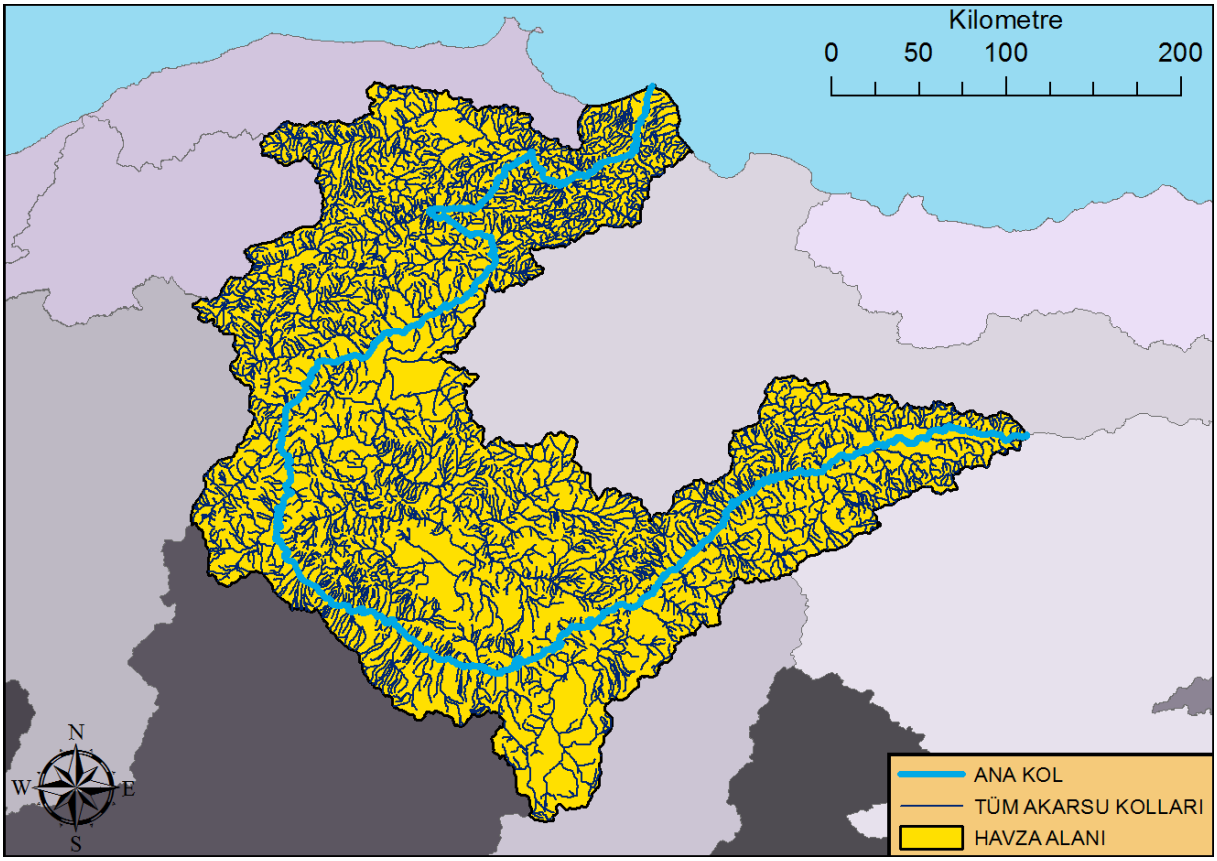
Delice Irmağı, dağlık kuzey kesiminin sularını toplayan Devres Çayı ve Gökırmak Havzanın en önemli dereleridir. Kızılırmak İmranlı'da birçok derenin birleşmesiyle oluşmaktadır. Sivas il sınırları içinde Acısu, Hafik, Mısmıl, Tecer, Koru, Yıldız, Kalın ve Göksu su kaynakları karışmaktadır. Karasu, Kayseri bölgesinin sularını toplar ve Kızılırmak Nehri'ni beslemektedir. Kırıkkale'den sonra Kızılırmak Nehri'ne katılan Balaban Deresi Bala ilçesinin batı kesiminin sularını toplamaktadır. Kızılırmak Nehri'ne batıdan gelen ve Çankırı-Şabanözü dolaylarının sularının toplayan Terme ile Acı Çay katılmaktadır. İskilip ve Bayat kuzeyinden gelen Bayat, Ovacık Çayı ile Değirmen Dere Kızılırmak'la birleşmektedir. Orta, Kurşunlu, Ilgaz ve Tosya dolaylarının sularını toplayan Devres Çayı Kargı yakınında Kızılırmak'a katılmaktadır. Daday, Kastamonu, Taşköprü ve Boyabat kesiminin suları Gökırmak'ta toplanmaktadır.

Proje kapsamında Kızılırmak Havzası için hesaplanan morfometrik parametre değerleri Tablo 17.1 ile verilmektedir. Morfometrik parametrelerin hesaplanmasında uygulanan yöntem Ek 1

Bölüm 1.4 ile açıklanmaktadır. Bu çalışmada dikkate alınan havza alanı ve anakol bilgisi Şekil 17.3 ile gösterilmektedir.

Tablo 17.1 Kızılırmak Havzası Morfometrik Parametre Değerleri

MORFOMETRİK PARAMETRE	DEĞER
Ana kol Uzunluğu, L (km)	1258
Havza Alanı, A (km^2)	82125
Havza Toplam Akarsu Uzunluğu, ΣL (km)	28724
Havza Biçim Faktörü, m	0,17
Havza Görünüm Oranı, a	0,30
Havza Biçim Katsayısı, L^2/A	19,28
Drenaj Yoğunluğu, Dd (km/km^2)	0,35
Ana kol Eğimi, s	0,0017
Havza Ortalama Eğimi, Sb (%)	20,12
Havza Ortalama Yüksekliği, $\bar{H}$ (m)	1156
Havza Depolama İndisi	0,011



Şekil 17.3 Morfometrik Parametre Değerleri - Kızılırmak Havzası Alanı ve Anakolu

Proje kapsamında havzada bulunan yüzeysel su kaynakları Su Çerçeve Direktifi'ne (SÇD, 2000) uygun olarak nehirler, göller, geçiş suları ve kıyı suları olmak üzere 4 kategoriye

ayrılmıştır. Havzada 109 nehir, 71 göl ve 2 geçiş suyu bulunmaktadır. Kıyı suları da havza bazında değil, deniz bazında değerlendirilmektedir.

Kızılırmak Havzası'nın proje kapsamında belirlenen ve hidrolik modelleme çalışmalarının gerçekleştirildiği belirleyici nehir sistem yapısı, akarsu ana kolu ve yan kollarını da içerecek şekilde (Akarsuların n ve n-1. kolları) Şekil 17.4 ile verilmiştir.

Şekil 17.4 Kızılırmak Havzası Belirleyici Nehir Sistemi ve Yan Kolları

Geniş bir alanı kaplayan Kızılırmak Havzası içerisinde; Samsun, Çorum, Sinop, Kastamonu, Çankırı, Kırıkkale, Kırşehir, Nevşehir, Kayseri, Sivas, Ankara, Yozgat, Niğde, Aksaray olmak üzere 18 ilin bir kısım toprakları yer almaktadır. Tablo 17.2 ile havzada yer alan iller ve havza içerisinde kalan alanları verilmektedir. Kızılırmak Havzası'nı oluşturan illerin sayısı 18 olmasına karşın 7'sinin havzadaki dağılıma katkısı görüldüğü üzere son derece azdır. Havzanın en önemli paydaşları Sivas (%16,35), Yozgat (%11,62), Çorum (%10,38), Kayseri (%9,65) ve Kırşehir (%7,99)'dir.

Tablo 17.2 Kızılırmak Havzası'nda Yer Alan İller ve Havza İçerisinde Kalan Alanları

İller	İlin Havzaya Giren Kısmı (%)	Havzanın İllere Göre Dağılımı (%)
Sivas	47,14	16,35
Yozgat	67,57	11,62
Çorum	66,47	10,38
Kayseri	46,85	9,65
Kırşehir	99,83	7,99
Kastamonu	43,49	6,94
Çankırı	65,38	6,73
Ankara	17,07	6,38
Nevşehir	88,07	5,86
Samsun	50,1	5,84
Kırıkkale	100	5,75
Sinop	43,35	3,09
Aksaray	15,7	1,53
Amasya	12,39	0,86
Niğde	4,41	0,77
Konya	0,27	0,13
Tokat	0,91	0,11
Erzincan	0,0003	0,00005
Toplam	-	100

Havzadaki arazi kullanımı incelendiğinde en yüksek alanın yaklaşık %60'lık bir oranla orman ve yarı doğal alanlar olduğu görülmektedir (Tablo 17.3). Daha sonra sırasıyla tarımsal alanlar (%38,48), yapay alanlar (%1,30), su yüzeyleri (%0,94) ve sulak alanlar (%0,34) gelmektedir.

Tablo 17.3 Kızılırmak Havzası Arazi Kullanımı ve Dağılımı (SYGM, 2013)

Arazi Kullanımı	Alan (ha)	Alan (%)
Yapay Alanlar	106.748	1,30
Tarımsal Alanlar	3.159.369	38,48
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	4.838.876	58,94
Sulak Alanlar	28.185	0,34
Su Yüzeyleri	76.829	0,94
Toplam	8.210.007	**100**

Havzayı oluşturan illerin bağlı bulunduğu DSİ Bölgeleri bölge sıralamasına göre 4. Bölge (Niğde, Aksaray, Konya), 5. Bölge (Çorum, Çankırı, Ankara, Kırıkkale), 7. Bölge (Sinop, Samsun, Amasya, Tokat), 8. Bölge (Erzincan), 12. Bölge (Kayseri, Kırşehir, Nevşehir, Yozgat), 19. Bölge (Sivas) ve 23. Bölge (Kastamonu)'dir. DSİ Bölge Müdürlükleri illerden sorumlu olduklarından, bu havza özelinde havzayı oluşturan illerin bağlı bulunduğu 7 DSİ Bölge Müdürlüğü bu havzadaki su yönetiminde ortak olarak sorumludurlar.

17.1.1 Yüzeysel ve Yeraltı Su Kaynaklarının Mevcut Kullanımı

Proje kapsamında havzada mevcut yüzeysel ve yeraltı su kaynakları, bunların kullanım alanları, oluşan evsel ve endüstriyel atıksuların deşarj edildiği yerler ve miktarları, kısacası havzadaki su hareketlerinin bilinmesi önemlidir. Bu amaçla yürütülen çalışmalarda başta Kızılırmak Havzası Koruma Eylem Planı (Havza Koruma Eylem Planları, 2010) olmak üzere Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nden elde edilen güncel bilgiler derlenerek mevcut durum ortaya konmaya çalışılmıştır.

Kızılırmak Havzası'nda içme ve kullanma suyu amaçlı olarak yüzeysel ve yeraltı su kaynakları kullanılmaktadır. Havzada 33 adet baraj bulunmaktadır. Bunlardan 4'ü sadece elektrik üretimi, biri sadece içme suyu, 18'i sadece sulama, 6'sı sulama ve taşkın koruma, biri elektrik üretimi ve taşkın koruma, biri elektrik üretimi ve sulama, biri içme suyu ve sulama, biri ise içme suyu, sulama ve taşkın koruma amaçlı kullanılmaktadır (Havza Koruma Eylem Planları, 2010).

Büyük bir kısmı Kızılırmak Havzası içinde yer alan illerin içme ve kullanma suyu amaçlı su kaynakları araştırılmıştır. Nevşehir ilinin su kaynakları incelendiğinde içme ve kullanma suyu amaçlı tahsis edilen yeraltı suyunun yılda 34 hm^3 olduğu, sulama amaçlı suyun ise 55 hm^3 olduğu görülmektedir. Bu değerler yüzdeye vurulduğunda yaklaşık olarak yeraltı suyunun %40'ı içme ve kullanma amaçlı kullanılmaktadır. Sivas kent olarak su miktarı açısından sorunu olmayan iller arasında yer almaktadır. Miktar açısından yüzeysel ve yeraltı suyu olarak sorun

yoktur. Ancak mevcut suların sertliğinin biraz yüksek olması sorunu mevcuttur. İşletmedeki içme suyu tesisi 4 Eylül Barajı'dır. Barajın suyunu tuttuğu akarsu Mısmıl Irmağıdır. Yozgat ilinin %67'si havzaya girmektedir. İl merkezinde içme ve kullanma suyu Cevdet Dündar Göleti, Kirazlı Göleti, Çiftlikdere Göleti ile Arapseyfi ve Calatlı Koyu Kuyularından temin edilmektedir. Kırşehir ilinin tamamı havzaya girmektedir. Şehrin içme ve kullanma suyu ihtiyacı yeraltı su kaynaklarından sağlanmaktadır. Tahsis edilen yeraltı suyunun 38 hm^3/yıl kadarı içme suyu, 28 hm^3/yıl kadarı sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Havzaya tamımı giren Kırıkkale ilinin içme suyu temini Kapulukaya Barajı'ndan ve yeraltı suyu kaynaklarından temin edilmektedir. Barajdan yılda ortalama 142,5 hm^3 su tahsisi yapılmaktadır (ÇŞB, 2011).

Havza içerisinde yer alan ve içme ve kullanma suyu amaçlı kullanılan önemli su kaynakları Tablo 17.4 ile sunulmaktadır. Kızılırmak Havzası'nda bulunan içme ve kullanma suyu kaynaklarının hizmet ettikleri nüfuslar ile birlikte değerlendirilerek, su hareketleri çalışmaları için altlık oluşturulmuştur. İçme ve kullanma suyu temininde nüfusu 50.000'den büyük yerleşim birimleri değerlendirilmiştir. Bu bağlamda bulunan havzanın toplam içme ve kullanma suyu tüketiminin de havza nüfusunun %80-85'ine tekabül etmesine de ayrıca dikkat edilmiştir. Kızılırmak Havzası özelinde temin edilen su miktarı 137,9 x 106 (m^3/yıl) olarak bulunmuş olup, havzada içme ve kullanma suyu amaçlı temin edilen toplam su miktarının da %92'sine karşılık gelmektedir.

Tablo 17.4 Kızılırmak Havzası Sınırları İçinde Yer Alan İçme Suyu Kaynakları (Havza Koruma Eylem Planları, 2010)

İçme ve Kullanma Suyu Kaynağı	İçme Suyu Sağladığı Yerleşim Yeri	Debi (m^3/gün)
4 Eylül Barajı	Sivas İl Şebekesi	54.795
Tavra Vadisi kuyuları	Sivas İl Şebekesi	52.055
Arapseyf ve Kirazlıkaya kuyuları	Arapseyf ve Kirazlıkaya	73.507
Silahgör ve Çoğun yeraltı suları	Silahgör ve Çoğun	104.110
Kapulukaya Barajı	Kırıkkale merkez ve illeri	390.411
Bünyan yeraltı suyu	Bünyan ilçesi	51.781
Hatap Barajı (havzanın dışında)	Çorum il şebekesi	12.329
Konaklı, Pınarbaşı, Melikgazi, Karaağaç ve Kuruçay kuyuları (havzanın dışında)	Çorum ili	2.466
Çakmak Barajı (havza dışında)	Samsun il şebekesi	
Karaçomak Barajı	Kastamonu il şebekesi	15.644
Güldürcek Barajı (havza dışında)	Çankırı il şebekesi	40.630
Nevşehir ili yeraltı suları	Nevşehir ili	93.918

Tablo 17.4 ile belirtildiği üzere havza yerleşim birimlerine su temin edilen Çakmak ve Güldürcek Barajları Kızılırmak Havza sınırları dışında bulunmaktadır. Güldürcek Barajı Sakarya Havzası sınırları içinde olup, Nevşehir ilinin içme ve kullanma suyu kaynaklarındandır. Çakmak Barajı ise Yeşilırmak Havzası içinde olup, Samsun il şebekesinin su kaynaklarındandır. Dolayısıyla, Kızılırmak Havzası'nda havza sınırları içinde yer alan su kaynaklarının yanısıra Sakarya ve Yeşilırmak Havzaları'nda bulunan su kaynaklarından su temin edilmekte ve havzalar arası su transferi gerçekleşmektedir.

17.1.2 Atıksu Kaynak ve Miktarları

Kızılırmak Havzası atıksu kaynakları kentsel ve endüstriyel nitelikli sulardır. Havza nüfusunun %92'si kanalizasyon şebekesine bağlı olup, oluşan kentsel nitelikli atıksular AAT'lerde arıtılarak ya da AAT olmayan yerleşim birimlerinde arıtılmadan deşarj edilmekted veya fosseptiklere verilmektedir. Havza nüfusunun %71'ni oluşturan 1.182.625 kişi kanalizasyon hizmeti almaktadır. Havzadaki belediyelerin birçoğunda ayrı bir yağmur suyu toplama sistemi mevcut olmayıp atıksu kanalizasyon sistemi ile yağmursuyu sistemi birleşik durumdadır. Ancak AAT'si olan, Sivas gibi yerleşim yerlerinde ayrık sistem kullanılmaktadır (Havza Koruma Eylem Planları, 2010). Havzada yer alan evsel AAT'leri Tablo 17.6 ile görülmektedir.

Tablo 17.5 Kızılırmak Havzası'nda Mevcut Evsel Atıksu Arıtma Tesisleri (Havza Koruma Eylem Planları, 2010)

AAT Adı	Hizmet Ettiği Yerleşim Birimleri	Hizmet Ettiği Nüfus	Arıtma Teknolojisi	Tesis Kapasitesi (m^3/gün)
Sivas Merkez	Sivas Merkez	294.000	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	78500
Kayseri	Kayseri Melikgazi, Kayseri Kocasin, Kayseri Hacılar, İncesu, Talas, Ağırs	1.000.000	İleri Arıtma	160000
Kayseri/Buğdaylı	Kocasin, Buğdaylı	500	MBR	100
Kayseri/Kocasin/Salur	Salur	350	Doğal	12000
Kayseri/Develi	Develi	39.200	Damlatmalı Filtre	
Kayseri	Kayseri Şeker Fab Lojmanları		MBR	
Nevşehir/Ürgüp	Ürgüp, Ortahisar, Mustafapaşa		Standart Aktif Çamur	88000
Nevşehir/Gülşehir	Gülşehir	8.600	Yapay Sulak Alan	
Navşehir/Avanos	Avanos, Göreme, Çavuşin, Gülhisar		Standart Aktif Çamur	
Yozgat Merkez	Merkez	71.540	Standart Aktif Çamur	20000
Samsun/Bafra	Bafra		Standart Aktif Çamur	42000
Samsun/Ondokuz mayıs	Ondokuz mayıs	24.750	Standart Aktif Çamur	10000
Çankırı/Şabanözü	Şabanözü merkez, Şabanözü osb	5.000	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	1320
Ankara/Evren	Ankara Evren	2.850	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	1000
Kırşehir/Merkez	Kırşehir merkez		Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	25000
Ankara/Kalecik	Ankara Kalecik		Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	2500

Endüstriyel nitelikli atıksular genel olarak tekil endüstri ve Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) kaynaklıdır. Kızılırmak Havzası sınırları içerisinde kirlilik oluşturan temel endüstriyel faaliyetler Yozgat, Kayseri ve Kırşehir illerinde kurulu bulunan şeker fabrikalarında kampanya döneminde şeker pancarının işlenmesiyle gerçekleştirilen şeker üretimi ile Kayseri ve Kırıkkale illerinde yoğunlaşan sanayi kuruluşlarıdır. Havza içerisinde Kayseri, Kastamonu, Sivas, Yozgat, Kırıkkale, Kırşehir il merkezlerinde ve Bafra, Korgun, Şabanözü ilçelerinde OSB bulunmaktadır. Kayseri'de ayrıca 30 adet işletmenin faaliyetlerini yürütmekte olduğu bir Serbest Bölge mevcuttur. 1500 kişiye istihdam sağlayan Serbest Bölge'de oluşan evsel atıksular biyolojik atıksu arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra Karasu'ya deşarj edilmektedir.

800 adet işletmenin faaliyette olduğu Kayseri OSB atıksularının inşa halinde olan ortak AAT'de arıtılması planlanmaktadır. Mevcut durumda oluşan endüstriyel atıksular KASKİ AAT'ye gönderilmektedir. Kırıkkale OSB'nin ve Korgun OSB'nin kendi AAT'leri mevcuttur. Kırşehir OSB ise atıksularını Kırşehir AAT'ye vermektedir.

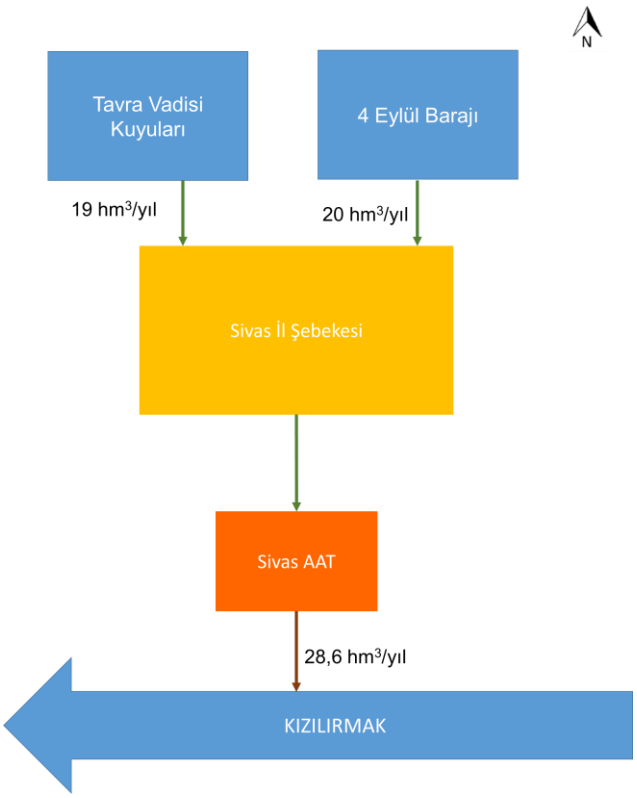
Su hareketleri çalışmaları kapsamında atıksu kaynakları belirlenirken, içme ve kullanma suyu kaynaklarına benzer şekilde havzanın %80-85 oranında temsil edilebilirliği dikkate alınmıştır.

Bu amaçla yapılan çalışmada, deşarj edilen atıksu debisi bilinen önemli noktasal deşarjlar dikkate alınmıştır. (Havza Koruma Eylem Planları, 2010)'de yer alan su kaynağı ve atıksu deşarjı bilgisinin büyük çoğunluğu su transferleri tablosuna yansıtılmıştır. Gerek OSB gerekse tekil endüstrilerin bireysel AAT'lerinden çıkan arıtılmış atıksu debilerinden 5000 m^3/gün olanları hidroloji çalışmalarında değerlendirilmiş olup, bulunan toplam değerlerin havzadan kaynaklanan endüstriyel nitelikli atıksuların %80-85'ini oluşmaktadır. Kızılırmak Havzası'nın atıksu kaynakları değerlendirilerek su hareketleri çalışmaları için oluşturulan altlık ve yapılan çalışma Tablo 17.6 ile özetlenmektedir.

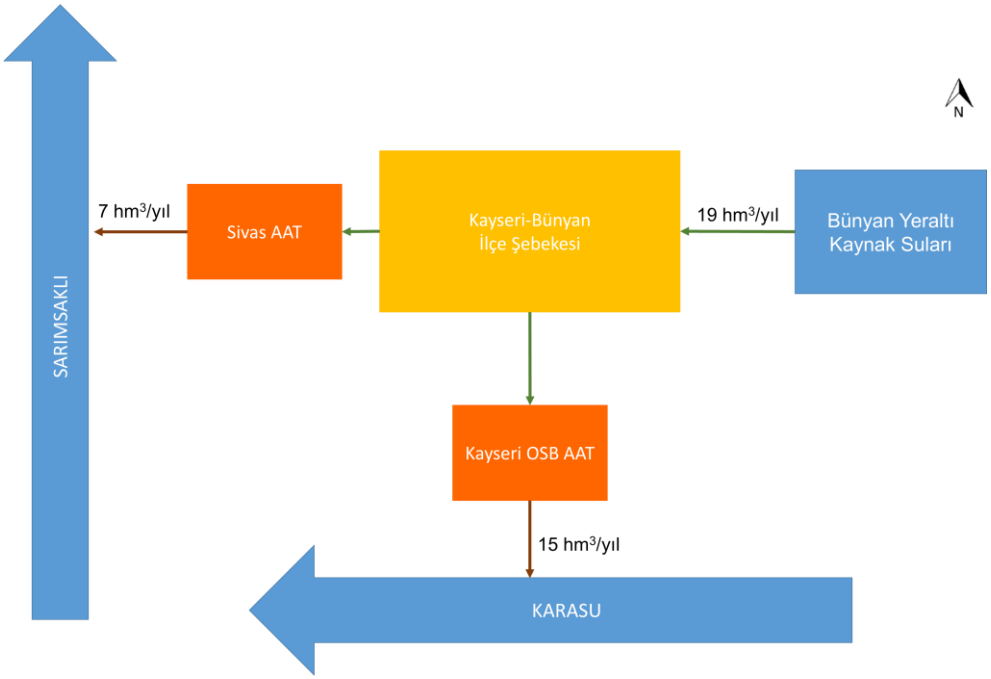
Tablo 17.6 Kızılırmak Havzası Su Hareketleri Çalışmalarında Dikkate Alınan Atıksu Kaynak ve Miktarları

Bulunduğu İl	Noktasal Deşarj Kaynağı Deşarj Edilen Yer/Kütle	Alıcı Ortam Adı	Deşarj Edilen Debi (hm^3/yıl)
Sivas	Sivas Merkez AAT	Kızılırmak	28,6
Yozgat	Boğazlıyan Şeker ve Mam Entegre Tesisi AAT	Kiriz Deresi	3,06
Kırşehir	Kırşehir Merkez AAT (planlanan)		9,13
Kayseri	Kayseri AAT	Sarımsaklı	7,3
	Kayseri OSB AAT	Karasu	14,6
Samsun	Bafra AAT	Kızılırmak	15,3
Kastamonu	Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Kastamonu Şeker Fabrikası AAT (planlanan)		32,85
Çankırı	Çankırı Şabanözü AAT	Sanı Deresi	0,365
Nevşehir	Nevşehir Ürgüp AAT	Damsa Çayı	32,12

Kızılırmak Havzası'nda su hareketleri açısından etkin rol oynayan Sivas ve Kayseri illerine ait şematik su hareketleri Şekil 17.5 ve Şekil 17.6 ile verilmektedir. Şekil 17.5 ile verilen Sivas ve Kayseri illerine ait su hareketleri şeması havza içerisindeki su hareketlerinin bütününe ait bir kütle dengesini göstermemektedir. Daha önce bahsedildiği üzere hidrolojik projeksiyonların hesabında dikkate alınan su hareketleri, havzadaki su iletimlerinin %80-85'ini oluşturmaktadır. Sulama suyu hareketlerinin deşarj noktası olmaması, iletim hatlarındaki kayıp ve kaçaklar, havzadaki YAS seviyesine bağlı olarak gerçekleşebilen sızma ve kaçaklar, izinsiz yeraltı suyu kullanımları tam olarak bilinmeyen bir çok endüstriyel ve tarımsal amaçlı sulamalar vb. gibi su hareketleri dahil edilemediği için, şebekeye giren ve çıkan sular arasında belli bir fark oluşmaktadır. Bu yüzden su hareketleri şematik gösterimini ifade eden şekiller havzada gerçekleşen önemli su hareketlerini ve yaklaşık miktarlarını görselleştirmek amacıyla çizilmiş olup, kesin bir kütle dengesini yansıtmamaktadır.



Şekil 17.5 Sivas İli Su Hareketleri Şematik Gösterimi



Şekil 17.6 Kayseri İli Su Hareketleri Şematik Gösterimi

17.1.3 Sulama Suyu

Tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak gerçekleştirildiği Kızılırmak Havzası'nda sulama suyu temini büyük önem taşımaktadır. Havzada sulama suyu temini esas olarak baraj ve yeraltı kaynak sularından sağlanmaktadır.

Havzada yüzeysel su kaynaklarına dayalı (baraj ve göletlerden alınarak, sulama birliklerince işletilen sulama şebekesine verilen) sulama suyu tahsislerinin, DSİ Genel Müdürlüğü verileri ile 2000-2009 verilerine göre tahsis edilen ortalama su miktarı yaklaşık 451 milyon m^3/yıl'dır (Havza Koruma Eylem Planları, 2010).

Kızılırmak Havzası sınırları içerisinde kalan alanda mevcut durumda işletme halinde olan 24 baraj sulama suyu temininde kullanılmaktadır. İller özelinde yıllık sulama suyu miktarları Tablo 17.7 ile görülmektedir.

Tablo 17.7 Kızılırmak Havzası'nda Yer Alan İllerin Yıllık Sulama Suyu Miktarları

İller	Kullanılan Sulama Suyu Miktarı (hm^3/yıl)
Nevşehir	55
Yozgat	11
Kırşehir	28
Kayseri	205
Kastamonu	17.2
Çankırı	5

17.2 İklim Değişikliği Projeksiyon Çalışmaları

Proje kapsamında, havzalar bazında yapılan model simülasyonları 10'ar yıllık dönemler halinde ortalama sıcaklık, maksimum ve minimum sıcaklıklar yağış ve 6 adet iklim indisinden oluşmaktadır. Günümüz simülasyonları için Ocak 1960-Aralık 2000 dönemi kullanılarak toplam 41 yıllık simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra bilimsel yazınla eşdeğerliğinin 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 yıllık ortalamalar (yağış için yıllık toplam) halinde hesaplanmıştır.

Bu kapsamda, RegCM4.3 bölgesel iklim modelinin başlangıç ve sınır koşullarını oluşturan HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 yer sistem modellerinin günümüz koşullarına karşı gelen simülasyonları, her 10 yıllık periyot bazında ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, toplam yağış ve 6 adet iklim indisi 25 havza için hesaplanmıştır.

Bu ciltte, Kızılırmak Havzası'na ait referans periyodu (1971-2000) ile RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayalı 2015-2020; 2021-2030; 2031-2040; 2041-2050; 2051-2060; 2061-2070; 2071-2080; 2081-2090 ve 2091-2100 olmak üzere 10'ar yıllık dönemler halinde model sonuçlarına ait gelecek iklim beklentileri ve değerlendirmeler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Kızılırmak Havzası'nda HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen verilere göre hazırlanan ortalama sıcaklık ve toplam yağış parametrelerinin mevsimsel değişimlerinin verildiği şekiller Ek 17.1 ile sunulmuştur.

Bununla birlikte RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre hazırlanan maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, kar ve bağıl nem parametreleri için 10'ar yıllık ve mevsimsel anomali değişimlerinin gösterildiği haritalar ile 10'ar yıllık zaman serisi verileri ve grafikleri de Ek 17.1 ile sunulmaktadır.

17.2.1 Sıcaklık Projeksiyonları

17.2.1.1 RCP4.5 Senaryosu

Kızılırmak Havzası için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosu altında HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin simülasyon sonuçlarına göre ortalama sıcaklığın referans dönemi ve referans dönemine göre 10'ar yıllık farkları (anomali) Şekil 17.7, Şekil 17.8, Şekil 17.9 ile verilmiştir. Şekil 17.10 ile anomali değerleri bar diyagramı şeklinde gösterilmiş ve 10

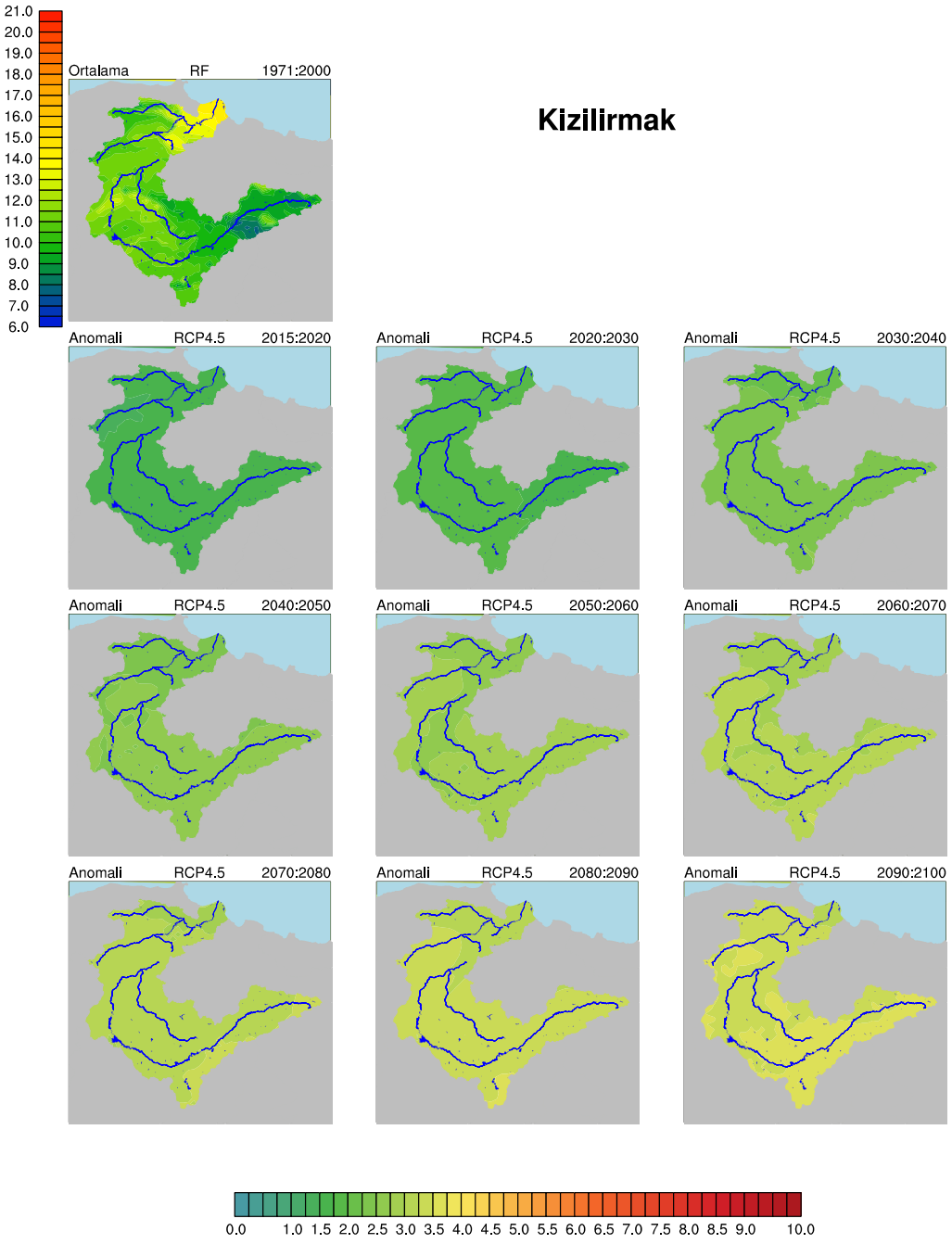
yıllık değişimlerin sayısal değerleri Tablo 17.8 ile verilmiştir. Havzada referans dönemine ait ortalama sıcaklık değerleri 8-15°C arasında değişmekte olup, ortalama 10°C civarındadır. Havzanın doğusunda minimum seviyeye düşen ortalama sıcaklık değerleri, havzanın denize kıyısı olan kuzeydoğusunda maksimuma ulaşmaktadır.

RCP4.5 senaryosuna dayalı HadGEM2-ES modelinin ortalama sıcaklık sonuçları projeksiyon yıllarında ve havza bazında genel olarak değerlendirildiğinde; ortalama sıcaklıktaki artışın 2010'lu yıllarda 1,3°C'den, 2100 yılının sonunda 3,4°C'ye ulaşması beklenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre havzanın güney kesimlerinin referans periyodundan biraz daha fazla ısınacağı tahmin edilmektedir. Ancak ilk iki dönemlik ortalama havza genelinde bölgesel değişiklik ortaya koymamaktadır.

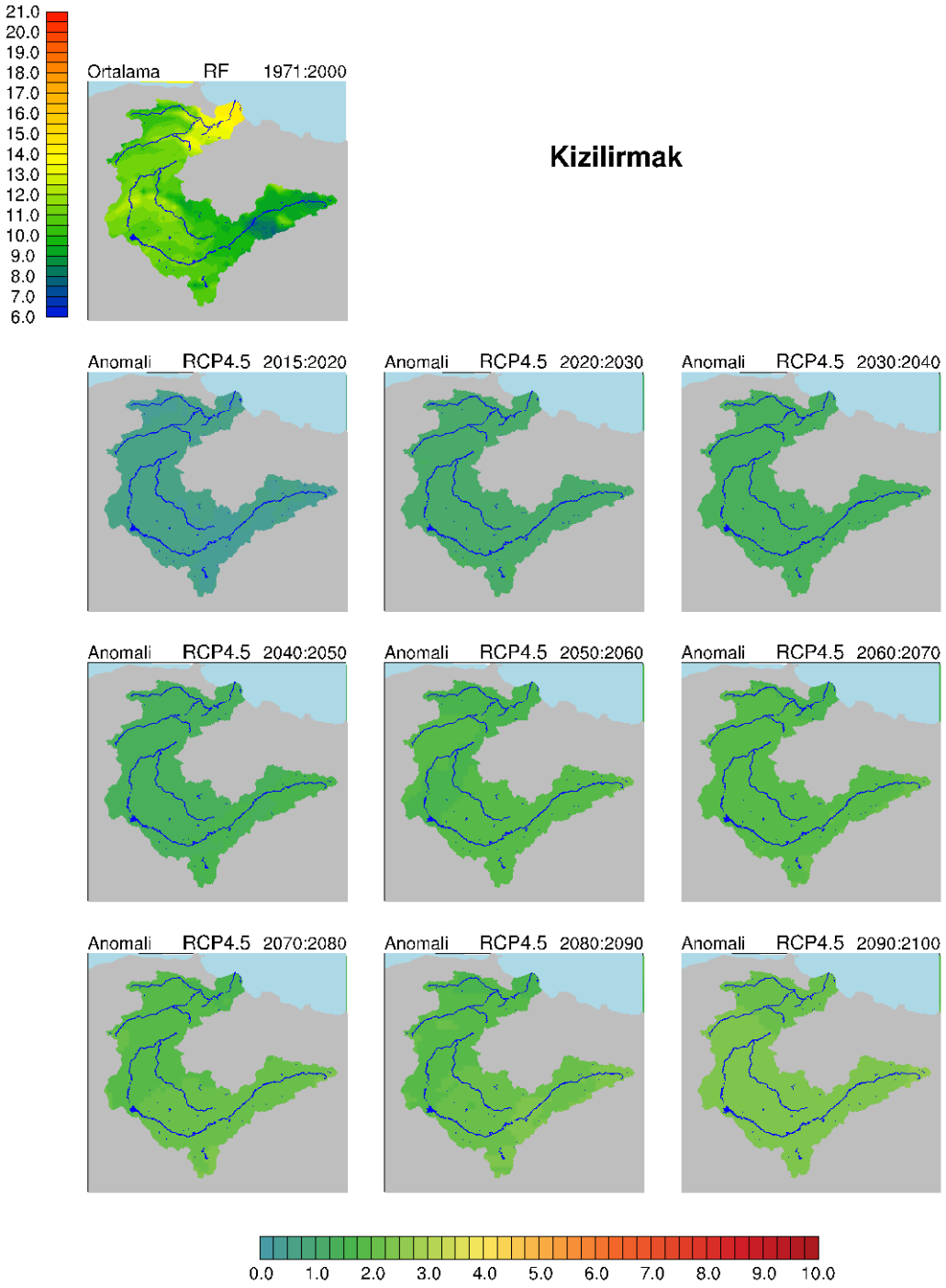
Kızılırmak Havzası için 2015-2100 yılları MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosu ortalama sıcaklık parametresi simülasyonları modelin, HadGEM2-ES ve CNRM-CM5.1 modellerine kıyasla daha soğuk sonuçlar ürettiğini işaret etmektedir. Projeksiyon dönemi başında yalnızca 0,4°C'lik sıcaklık artışı öngören MPI-ESM-MR modelinin anomali değerleri, yüzyıl sonunda ancak 2°C'ye ulaşabilmiştir.

CNRM-CM5.1 modelinin Kızılırmak Havzası için ortalama sıcaklık sonuçları MPI-ESM-MR modelinin simülasyonlarıyla özellikle 2041-2070 yılları arasında yakınlık göstermektedir. CNRM-CM5.1 modelinin MPI-ESM-MR modeliyle arasındaki fark ilk on yıllık ve son on yıllık dönemde en yüksek seviyededir. Modelde referans dönemine kıyasla en fazla artışın 2,5°C ile 2091-2100 periyodunda olması beklenmektedir.

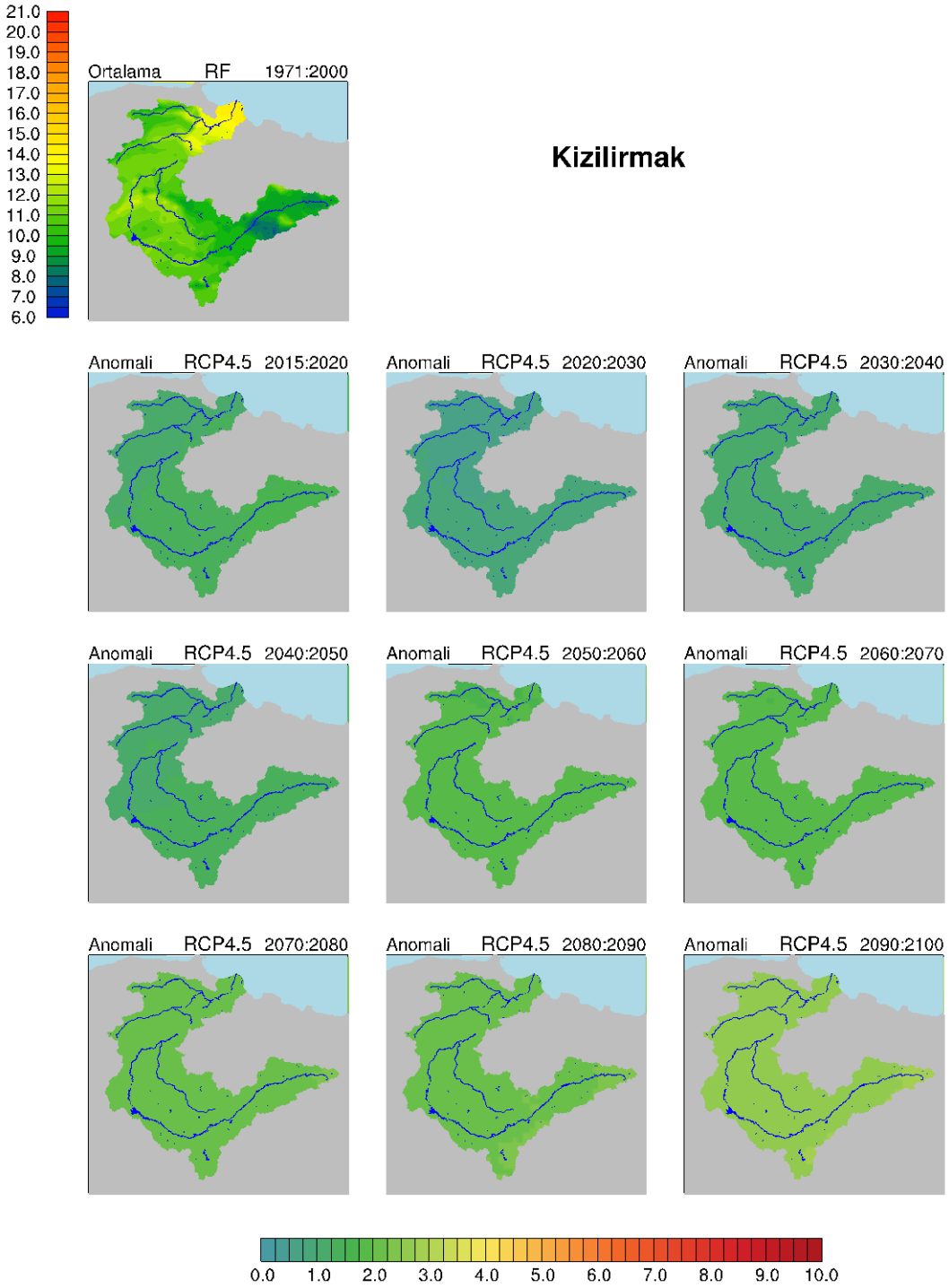
Genel olarak Kızılırmak Havzası için RCP4.5 senaryosuna göre tüm modeller tarafından öngörülen sonuç projeksiyon dönemi boyunca sıcaklıklarda artış eğiliminin olduğu görülmektedir. Bu artışlar havza genelinde tüm projeksiyon dönemi boyunca 0,4-3,4°C aralığındadır. Sıcaklık artışları havzanın güney kesimlerinde daha baskındır. Sıcaklık artış eğilimi 30 yıllık ortalamalar için de geçerli olup, 2015-2041 ve 2041-2070 periyodu arasındaki artışlar 1,4°C'ye kadar çıkabilmektedir.



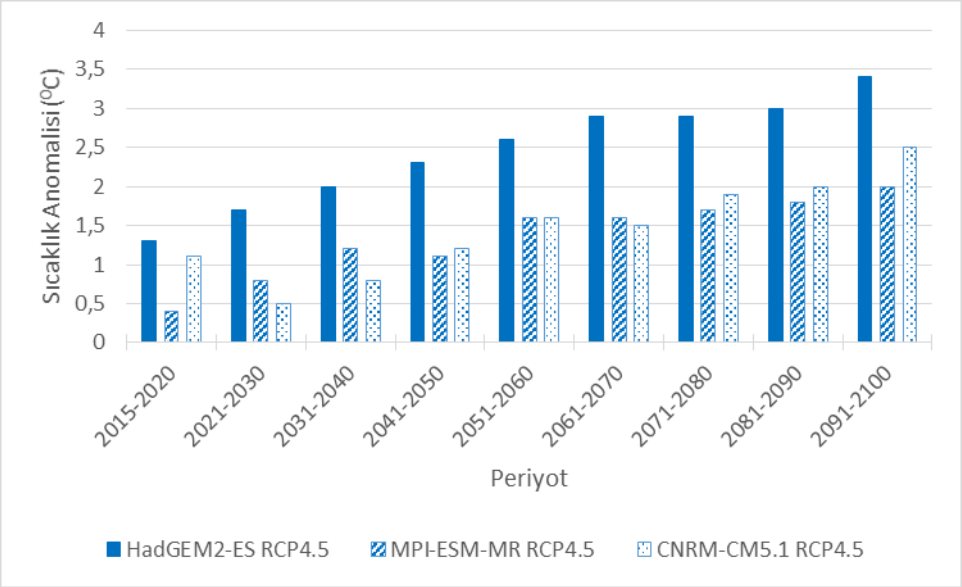
Şekil 17.7 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin HadGEM2-ES Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C)



Şekil 17.8 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin MPI-ESM-MR Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C)



Şekil 17.9 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin CNRM-CM5.1 Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C)



Şekil 17.10 RCP4.5 Senaryosuna Göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modellerine Dayalı Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin 10'ar Yıllık Değişimi

17.2.1.2 RCP8.5 Senaryosu

Şekil 17.11, Şekil 17.12 ve Şekil 17.13 HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin RCP8.5 senaryosuna göre RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile kuple edilmiş ortalama sıcaklık parametresi simülasyon sonuçlarının 2015-2100 yılları arasındaki 10'ar yıllık anomali değerlerini göstermektedir. Bununla birlikte Kızılırmak Havzası'nda meydana gelen bu değişimler bar diyagramları halinde Şekil 17.14 ile verilmektedir.

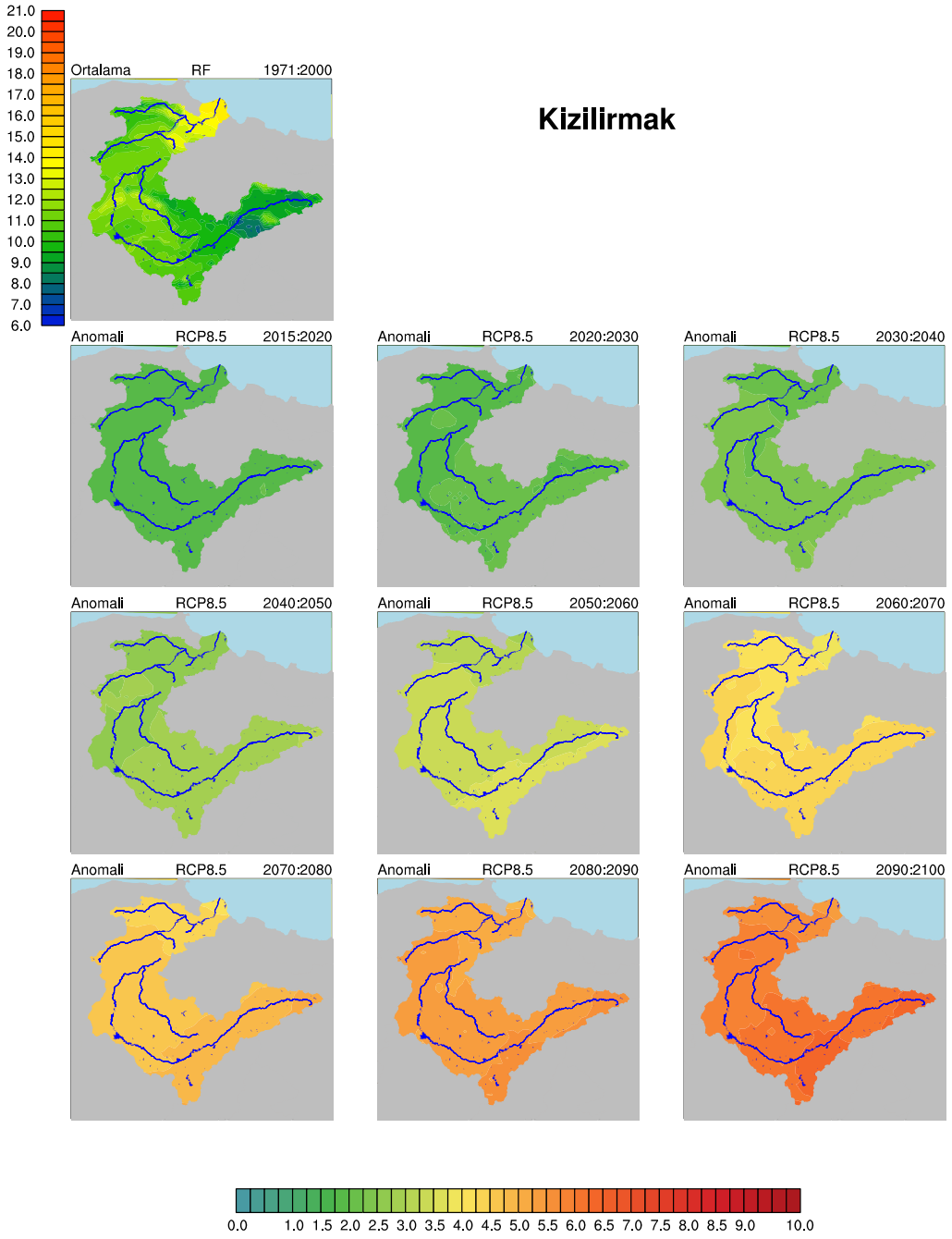
HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosuyla koşturulduğunda, ortalama sıcaklık değerleri projeksiyon başından itibaren referans periyoduna göre ivmelenerek artmaktadır. Yüzyıl ortasından itibaren belirginleşen bu artışın, son on yıllık dönemde 5,8°C ile oldukça yüksek bir seviyeye ulaşması beklenmektedir. Ayrıca havzanın güney ve doğu kesimlerinin nispeten sıcak olacağı öngörülmektedir.

MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosunun ortalama sıcaklık değerleri Kızılırmak Havzası'nda RCP4.5 senaryosuna kıyasla daha büyük salınım göstermektedir. Özellikle 2030 sonrasında artış belirginleşmekte ve 2091-2100 periyodunda ise 4,4°C ile en yüksek seviyeye çıkmaktadır. Buna ek olarak, ilk ve son on yıllık anomali ortalamaları arasında 3,9°C'lik sıcaklık farkı olduğu göze çarpmaktadır.

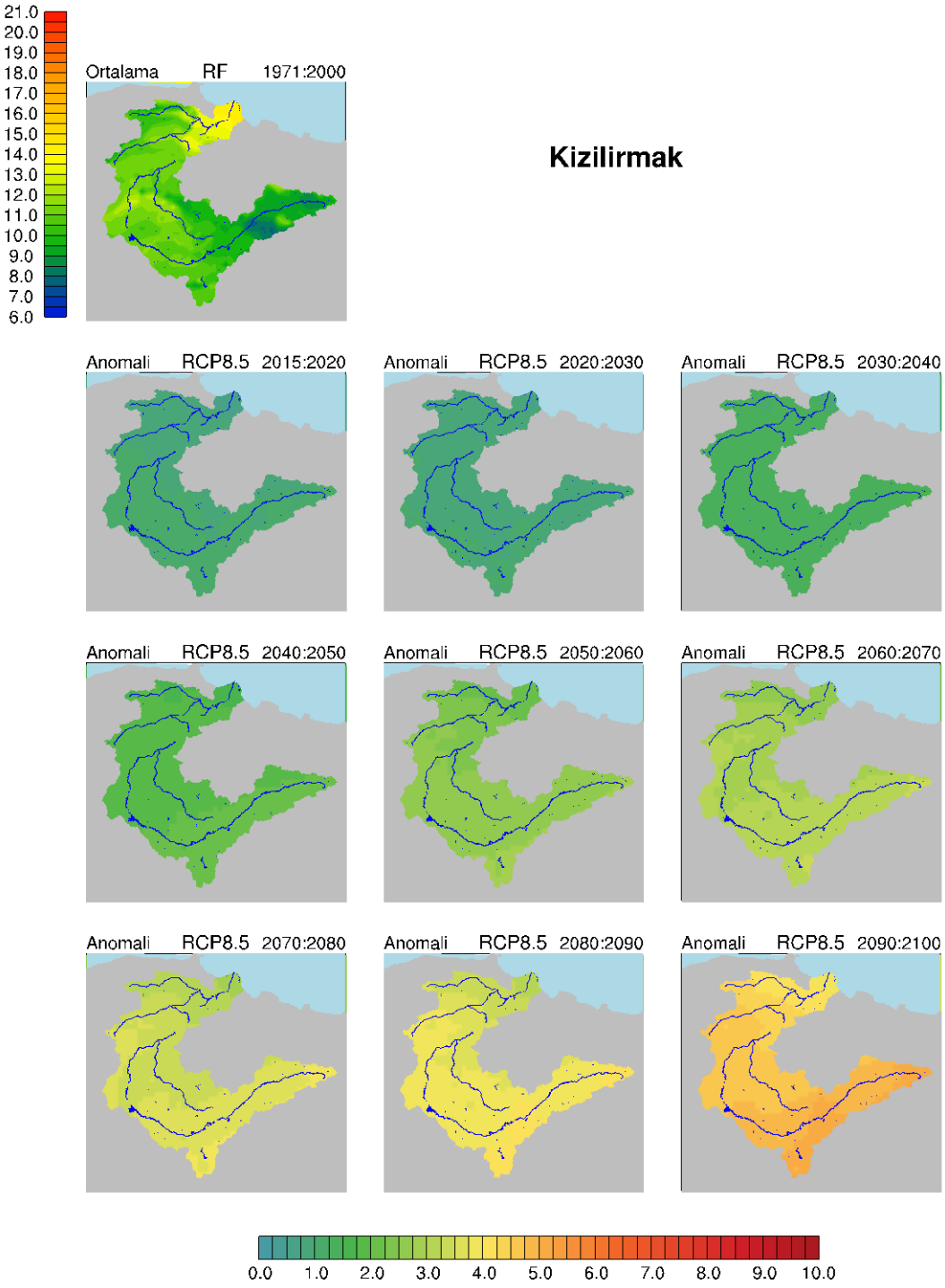
CNRM-CM5.1 modelinin RCP8.5 senaryo sonuçları RCP4.5 senaryo sıcaklıklarına kıyasla hem farklı bir patern sergilemekte hem de çok yüksek değerler üretmektedir. Havzanın kimi bölümünde çok yüksek değerlerken hakimken, kimi bölümünde nispeten daha düşük sıcaklık

değerleri yer almaktadır. CNRM-CM5.1 modeli, 85 yıllık projeksiyon süresince MPI-ESM-MR modeli ile benzer sonuçlar vermesi beklenmektedir. Sıcaklık farklarının yüzyıl ortasından sonuna kadar 2°C'nin üzerinde artıp yüzyıl sonunda 4,3°C'ye ulaşacağı öngörülmektedir.

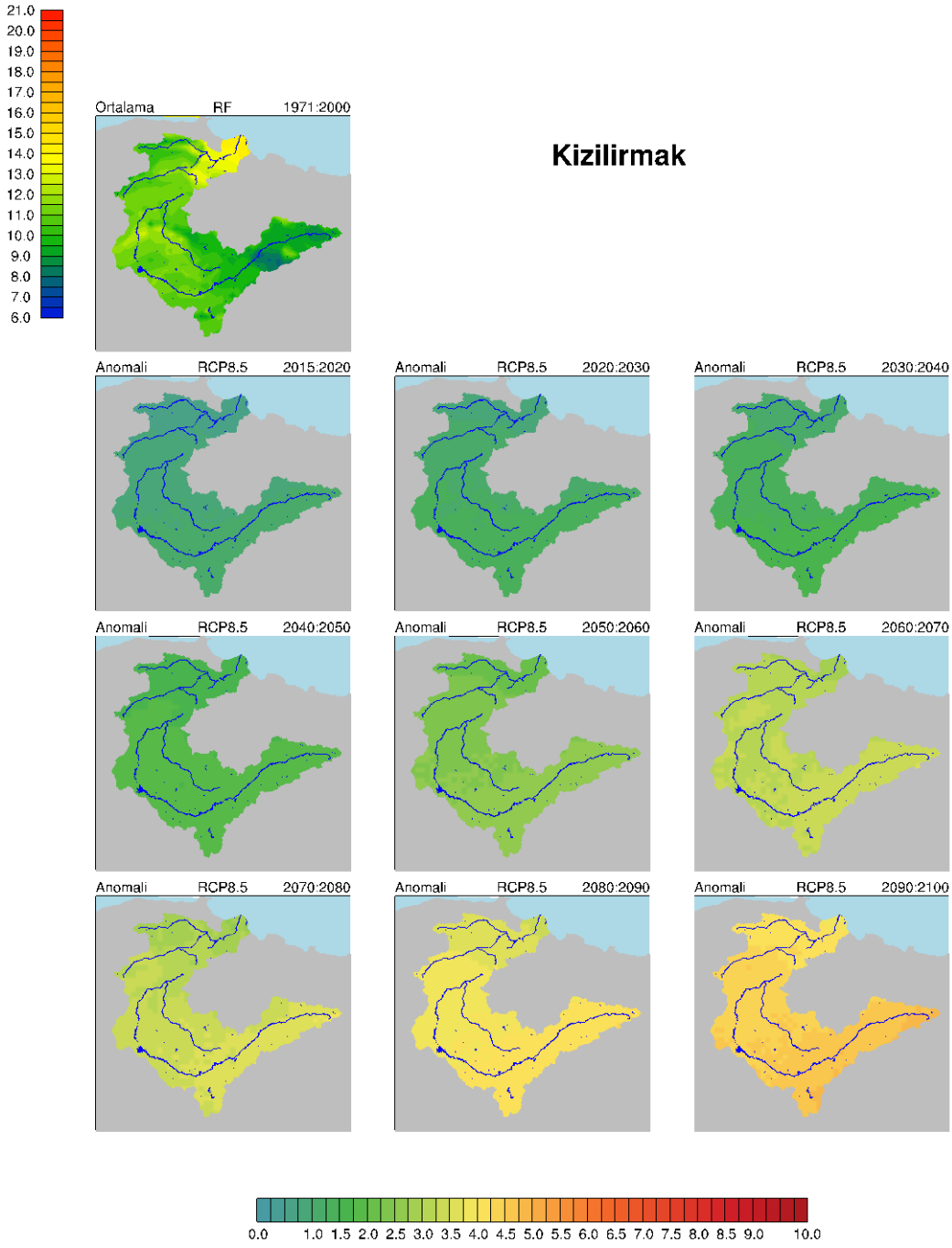
Havzada RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre tüm modeller tarafından projeksiyon dönemi boyunca sıcaklıklarda ortalama 4°C civarında artış olduğu ve bu artışın 2060 ve sonrası dönemde ivmeleneceği görülmektedir. Sıcaklık artışları güney ve doğu kesimlerinde daha fazladır. Sıcaklık artış eğilimi 30 yıllık ortalamalar için de geçerlidir en yüksek artışlar ve en yüksek anomalilerin görüldüğü periyot 2071-2100'dür.



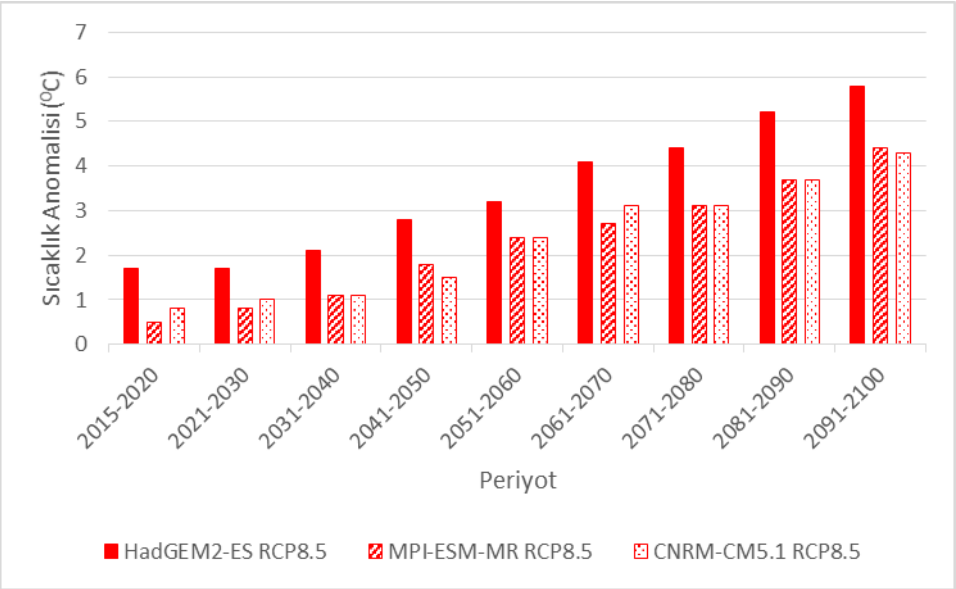
Şekil 17.11 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin HadGEM2-ES Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C)



Şekil 17.12 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin MPI-ESM-MR Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C)



Şekil 17.13 Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin CNRM-CM5.1 Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (°C)



Şekil 17.14 RCP8.5 Senaryosuna Göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modellerine Dayalı Ortalama Sıcaklık Anomali Değerlerinin 10'ar Yıllık Değişimi

Tablo 17.8 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Ortalama Sıcaklık Anomali Değerleri (°C)

Periyot	HadGEM2-ES		MPI-ESM-MR		CNRM-CM5.1	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2015-2020	1,3	1,7	0,4	0,5	1,1	0,8
2021-2030	1,7	1,7	0,8	0,8	0,5	1,0
2031-2040	2,0	2,1	1,2	1,1	0,8	1,1
2041-2050	2,3	2,8	1,1	1,8	1,2	1,5
2051-2060	2,6	3,2	1,6	2,4	1,6	2,4
2061-2070	2,9	4,1	1,6	2,7	1,5	3,1
2071-2080	2,9	4,4	1,7	3,1	1,9	3,1
2081-2090	3,0	5,2	1,8	3,7	2,0	3,7
2091-2100	3,4	5,8	2,0	4,4	2,5	4,3

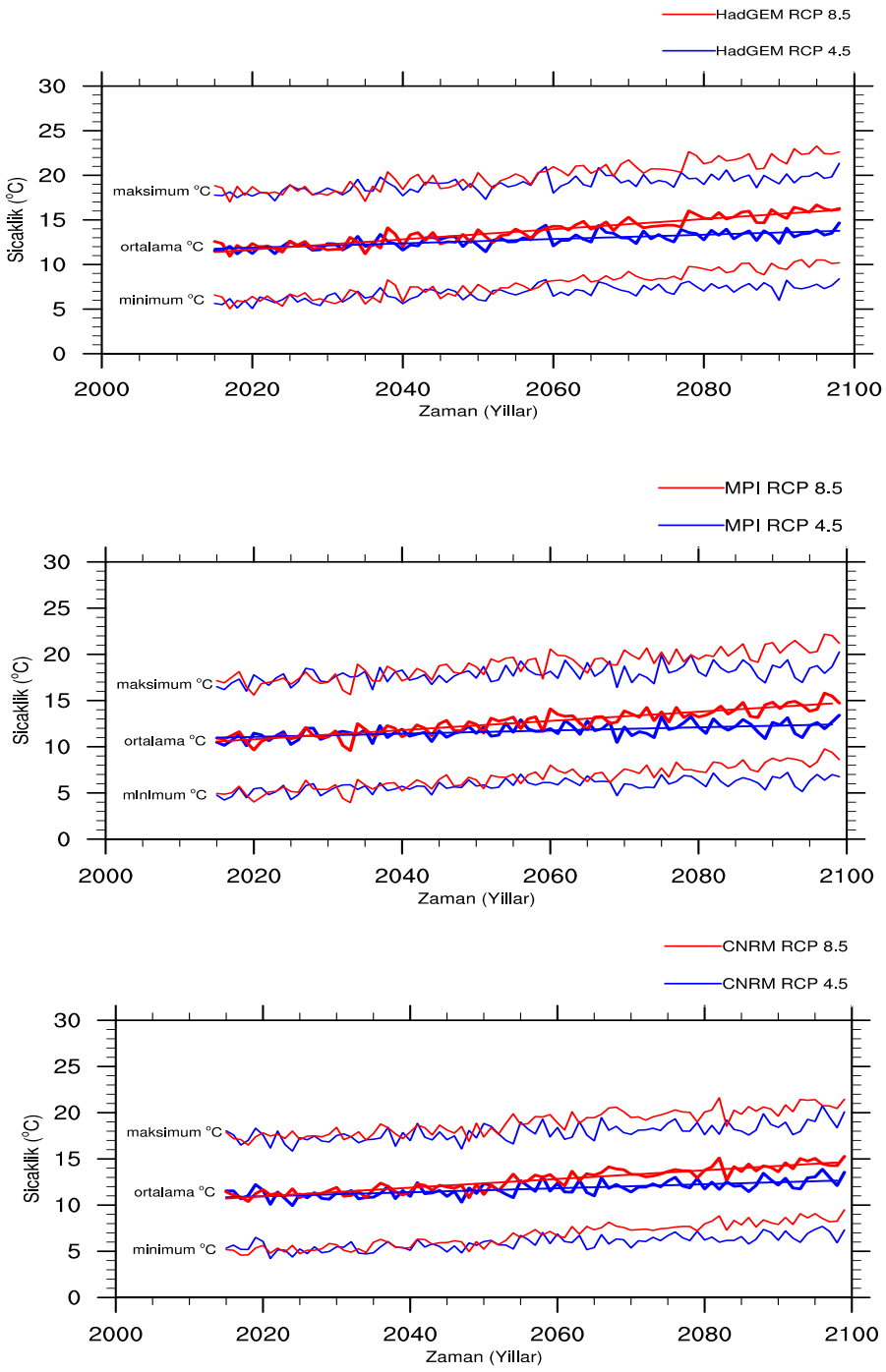
17.2.1.3 Maksimum ve Minimum Sıcaklıkların Değişimi

HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen sonuçlarına göre maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerlerinin referans periyodundan farkları için oluşturulan zaman serileri grafikleri Şekil 17.15 ile belirtilmektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında modellerin maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık simülasyonları karşılaştırıldığında, RCP8.5 senaryosunda sıcaklıklarda artışın daha fazla olacağı öngörülmektedir. Özellikle yüzyıl sonuna yaklaştıkça RCP8.5 ve

RCP4.5 arasındaki farkın açıldığı da açıkça görülmektedir. HadGEM2-ES modelinde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolar altında ortalama maksimum sıcaklıkların projeksiyon dönemi sonunda sırası ile yaklaşık 21 ve 23°C'ye ulaştığı görülmektedir. Başlangıç değeri olan 18°C'nin RCP4.5 da 3°C; başlangıç değeri olan 19°C'nin RCP8.5 da ise 4°C yükseldiği görülmektedir. Minimum sıcaklıklarda ise RCP4.5 senaryosunda 2100 yılında 8,5°C; RCP8.5 senaryosunda ise yaklaşık 10°C'ye ulaşılacağı öngörülmektedir. Ortalama sıcaklıkların projeksiyon dönemi sonunda alacağı değerler ise RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için sırasıyla yaklaşık 15 ve 16°C olacaktır.

MPI-ESM-MR modelinde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolar altında maksimum sıcaklıkların projeksiyon dönemi sonunda sırası ile 20°C ve 21°C seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Başlangıç değeri olan ortalama 17°C'nin RCP4.5 da yaklaşık 3°C; RCP8.5 da ise yaklaşık 4°C yükseldiği görülmektedir. Minimum sıcaklıklarda ise RCP4.5 senaryosunda 2100 yılında 7°C; RCP8.5 senaryosunda ise 9°C'ye ulaşılacağı öngörülmektedir. Ortalama sıcaklıkların projeksiyon dönemi sonunda alacağı değerler ise RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için sırasıyla 13 ve 15°C seviyelerinde olacaktır. RCP4.5 senaryosu altında MPI-ESM-MR modeli 2050 yılından sonra CNRM-CM5.1 modeliyle yakın maksimum ve minimum sıcaklık değerleri üretmektedir. 2100 yılına doğru, RCP4.5 ile RCP8.5 senaryosu arasındaki farka bakıldığında ise maksimum ve ortalama sıcaklarda fark büyükken, minimum sıcaklıklarda farkın daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak her iki RCP senaryosu, HadGEM2-ES modelindeki gibi, yüzyıl ortasına kadar benzer sıcaklıklar simüle etmektedir.

CNRM-CM5.1 modelinde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolar altında ortalama maksimum sıcaklıkların projeksiyon dönemi sonunda sırası ile 20°C ve 21,5°C'ye ulaştığı görülmektedir. Başlangıç değeri olan 18°C'nin RCP4.5 da 2°C; RCP8.5 da ise 3,5°C'e yükseldiği görülmektedir. Minimum sıcaklıklarda ise RCP4.5 senaryosunda 2100 yılında 7,5°C; RCP8.5 senaryosunda ise 9,5°C'ye ulaşılacağı öngörülmektedir. Ortalama sıcaklıkların projeksiyon dönemi sonunda alacağı değerler ise RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için sırasıyla 13,5°C ve 15,5°C seviyelerinde olacaktır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayanan CNRM-CM5.1 modelinin simüle ettiği sıcaklıklardaki salınım tüm zaman serisi boyunca incelendiğinde, özellikle minimum sıcaklık için iki senaryo arasındaki salınımın projeksiyon periyodu boyunca birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Örneğin; simülasyon başlangıcında iki senaryo arasında yaklaşık 0,1°C fark varken, 2100 yılının sonuna doğru bu fark yaklaşık 2°C'ye kadar yükselebilmiştir. Fakat aynı modelin maksimum sıcaklıkları arasındaki fark, yüzyıl sonunda 1,5°C'ye ulaşmaktadır. Diğer iki modelle karşılaştırıldığında ise, ilk on yıllık periyotla son on yıllık maksimum sıcaklık dönem ortalamaları arasında en az değişime CNRM-CM5.1 modelinin sahip olması beklenmektedir. Bu durum modelin iki senaryosu için de geçerlidir.



Şekil 17.15 HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Sıcaklık Zaman Serileri

17.2.1.4 Sıcaklık Projeksiyonlarının Genel Değerlendirilmesi

Kızılırmak Havzası için HadGEM2-ES modeli RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile kuple edildiğinde, 1971-2000 referansına göre RCP8.5 senaryosu altında oluşan anomalilerin RCP4.5 senaryosuna kıyasla daha geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Öyle ki, RCP8.5

zaman zaman iki katına yakın sıcaklık artışları önermektedir. HadGEM2-ES model sonuçları periyodun başından sonuna kadar artan bir trend sergilemektedir. RCP8.5 kötümser senaryo sonuçlarına göre, havzada sıcaklık artış değerleri 1,7°C ile 5,8°C arasında değişirken, MPI-ESM-MR modeline göre bu değişim 0,5°C ile 4,4°C arasında kalmaktadır. HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR modelleri, havzanın kuzeyini referans periyoduna göre zaman zaman daha soğuk tahmin etmektedir. CNRM-CM5.1 modeli ise RCP4.5 senaryosunda projeksiyon dönemi boyunca 1,1°C ile 2,5°C; RCP8.5 senaryosunda ise 0,8°C ile 4,3°C sıcaklık artışları öngörmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre elde edilen model sonuçları diğer iki modele nazaran en az soğuk olan sonuçları oluşturmaktadır. CNRM-CM5.1 modeli, RCP8.5 senaryosunda MPI-ESM-MR modeline çok yakın sonuçlar üretmektedir. Tüm model sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek sıcaklık artış değerinin projeksiyon dönemi sonunda 5,8°C artışla HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosu olduğu görülmektedir.

17.2.2 Toplam Yağış Projeksiyonları

17.2.2.1 RCP4.5 Senaryosu

Şekil 17.16, Şekil 17.17 ve Şekil 17.18 ile 2015-2100 periyodu HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin RCP4.5 senaryosu altında RegCM4.3'den yüksek çözünürlükte elde edilmiş yağış projeksiyonlarının 10'ar yıllık ortalamalarının 1971-2000 referans dönemine göre değişimleri gösterilmektedir. Kızılırmak Havzası için üç modele ait yağışların anomali zaman serileri Şekil 17.19 ile verilirken toplam yağış anomali değerlerinin onar yıllık değişimi ise Şekil 17.20 ile sunulmuştur. 10 yıllık değişimlerin sayısal ve yüzde değerleri Tablo 17.9 ile anomali beklenen yıl sayılarındaki değişim Tablo 17.10 ile verilmiştir. 1971-2000 yılları arasındaki referans periyodu, havzanın denize kıyısı olan kuzey bölgesinde maksimum toplam yağış (>750 mm) ortaya koymaktadır. Genel ortalaması ise 450 mm civarındadır.

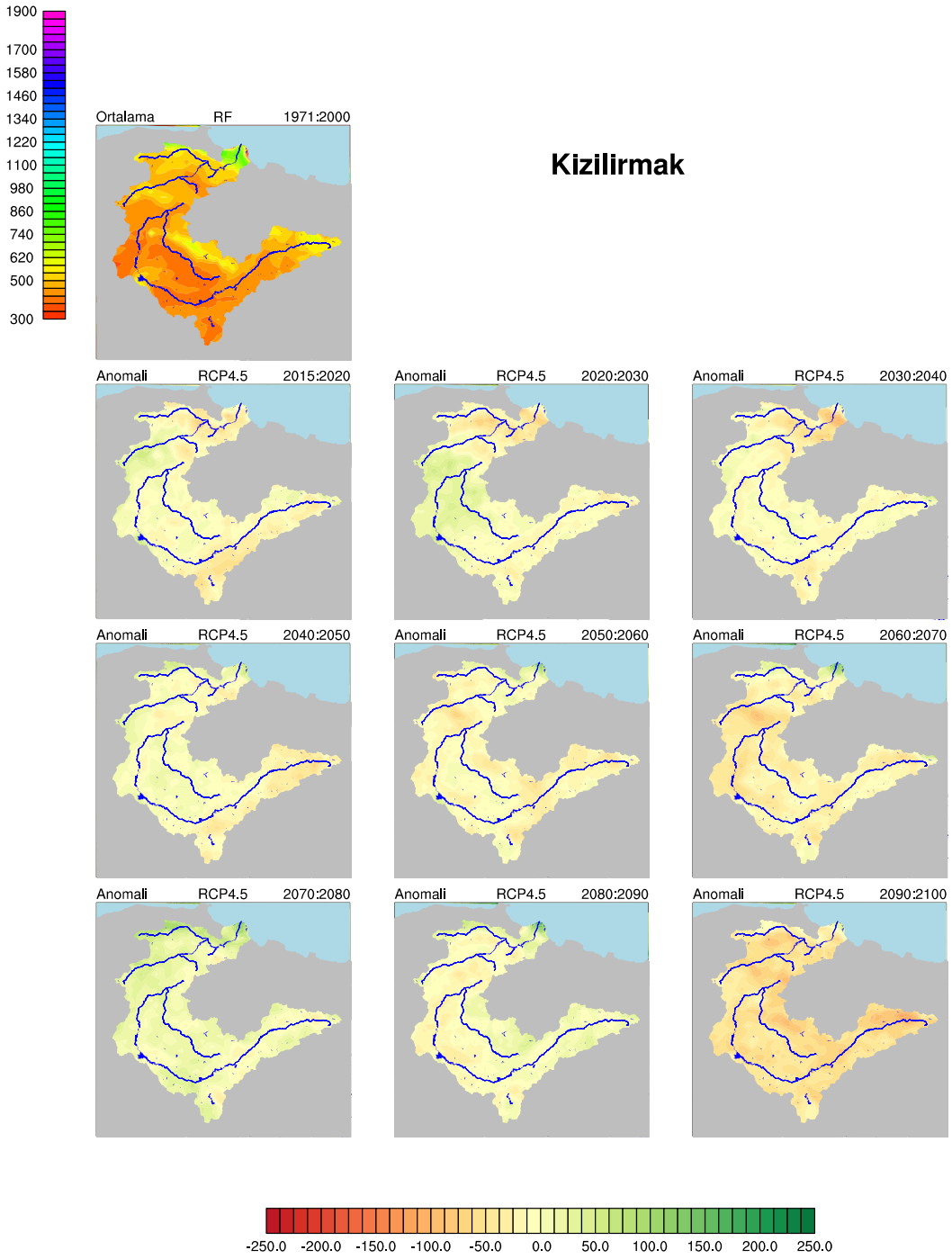
RCP4.5 senaryosu altında HadGEM2-ES model sonuçları, havza genelindeki toplam yağış değişimlerinin genel olarak azalma eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. Son 10 yıllık dönemde havzada yağışlar yaklaşık 65 mm (%15) ile azalma eğilimindedir. Fakat 2070'li yıllar, toplam yağışın referans dönemine göre biraz da olsa arttığını işaret etmektedir. Diğer yandan, yağış anomalilerinin yıllık zaman serileri incelendiğinde, negatif anomali değerine sahip daha çok veya ardışık yılların olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle yüzyıl sonunda HadGEM2-ES modeli, referans periyodundan yıllık 200 mm daha az yağış tahmin etmektedir.

MPI-ESM-MR modelinin RCP4.5 senaryo sonuçları, 2015-2100 projeksiyon dönemi boyunca toplam yağış miktarlarında hem azalış hem artış öngörmektedir. Bu artışların havza genelinde şiddeti çok fazla olmasa da yer yer büyük seviyelere ulaşması beklenmektedir. Örneğin; ilk on

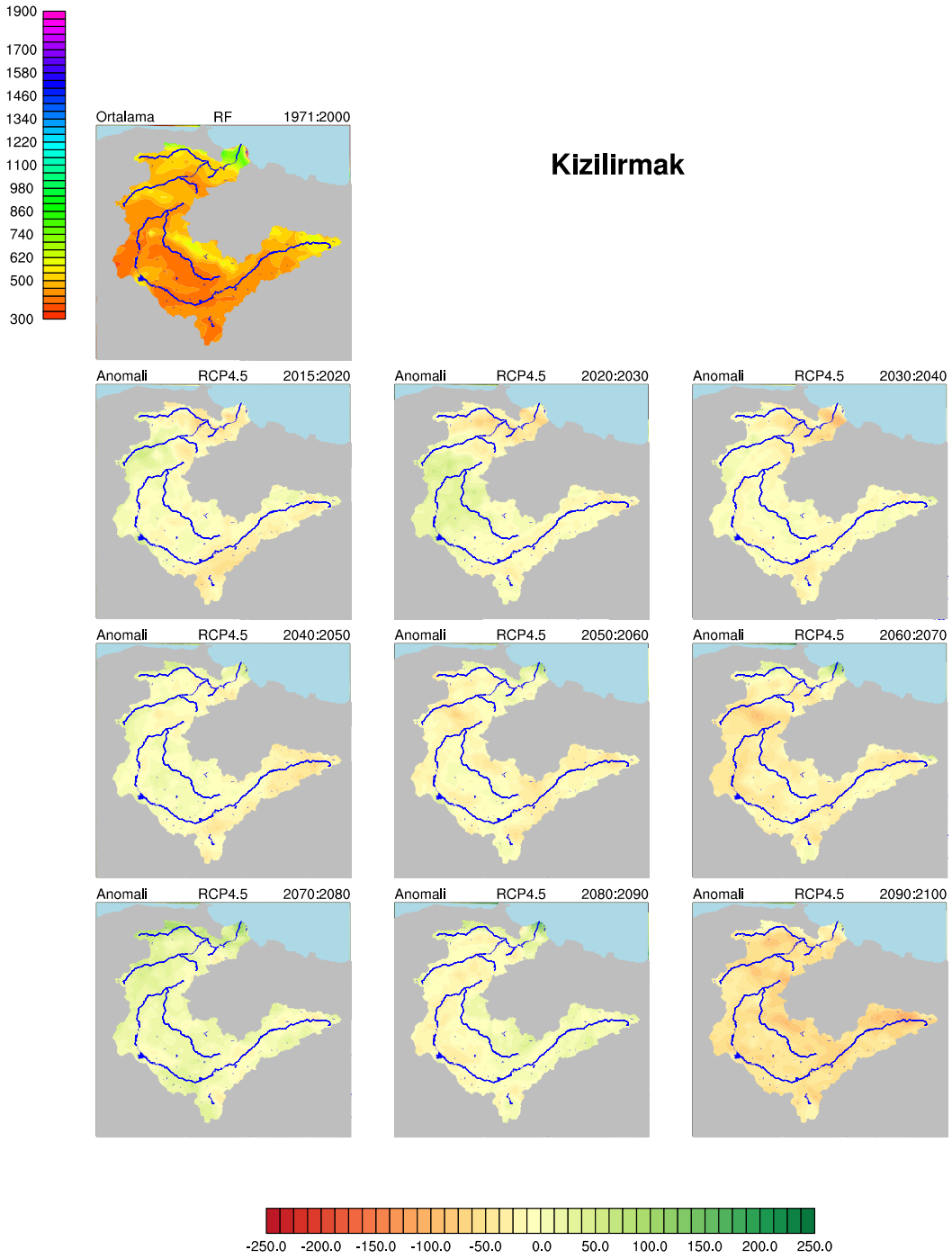
yıllık periyotta havzanın kuzey kıyısında yağış farkı yaklaşık 150 mm'nin üzerine çıkmaktadır. 10 yıllık ortalamalar açısından incelendiğinde azalma değerlerinin en yüksek seviyeyi aldığı 10 yıllık periyot yaklaşık 25 mm ile 2031-2040 periyodu iken artış dönemlerinin en yüksek değeri 30mm (%7) ile 2015-2020 periyodu olduğu göze çarpmaktadır.

CNRM-CM5.1 modelinin RCP4.5 senaryosuna ait toplam yağış simülasyonları ise, havzanın referans periyoduna kıyasla biraz daha fazla yağış aldığını açığa çıkarmaktadır. Havza, projeksiyon dönemi başlarında nispeten çok yağış almaktadır. Genellikle yağış fazlalığının meydana geldiği kesimler havzanın kuzey kıyılarıdır. Havzada 2050 yılından sonra negatif anomaliye sahip yılların sayısı artmış, 2091-2100 yılları arasında da negatif anomali ortalama 16 mm'ye ulaşmıştır. RCP4.5 senaryosunun ekstrem değerler üretmediğini 200 mm'yi aşan negatif veya pozitif anomali sayısı da göstermektedir. Projeksiyon süresince 200 mm'yi geçen negatif veya pozitif anomaliye sahip yıl bulunmamaktadır. Modele göre en yüksek yağış azalması değeri %6 ile 2061-2070 periyodunda ve en yüksek artış değeri ise %7 ile 2015-2020 periyodunda beklenmektedir.

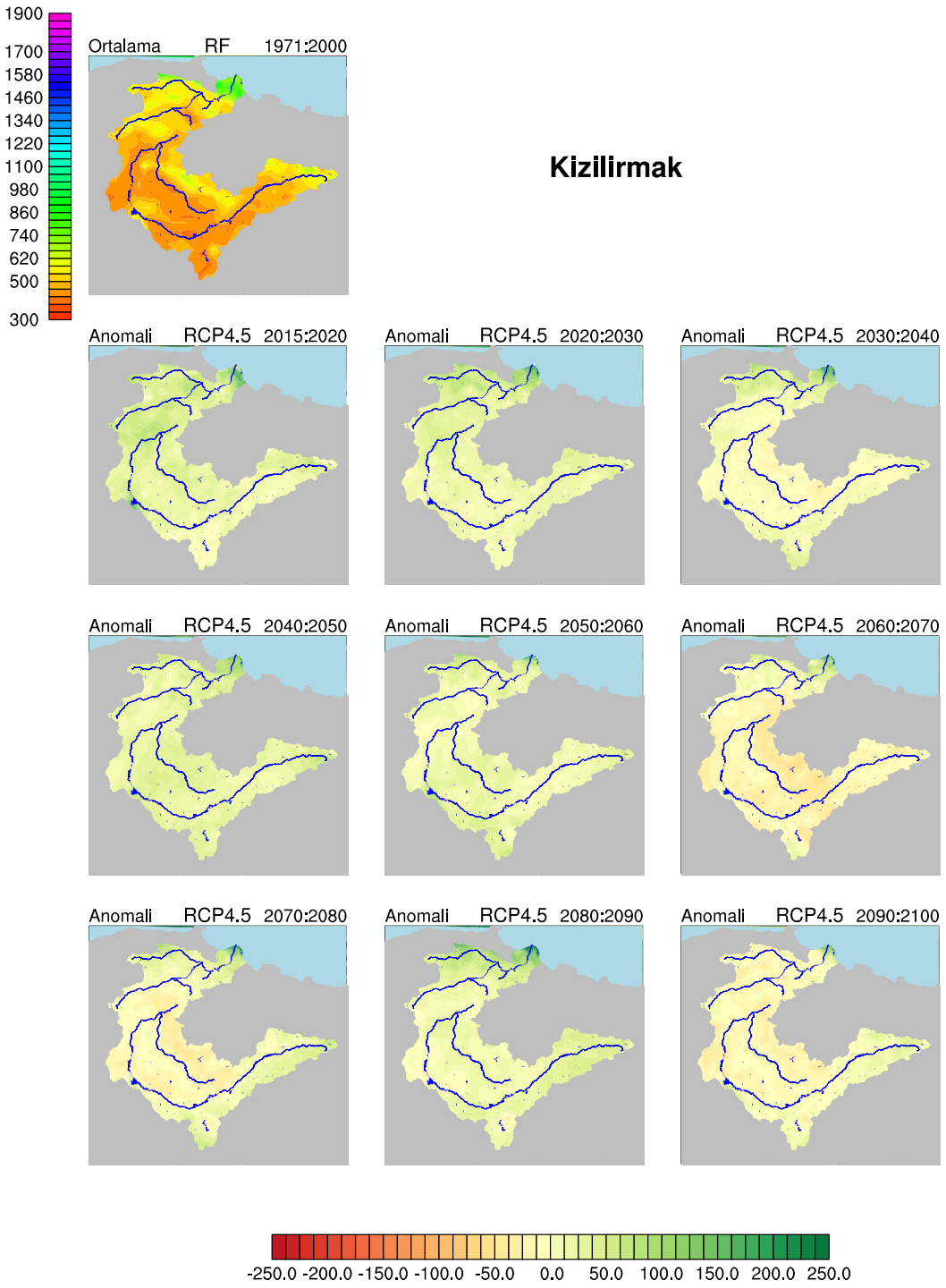
RCP4.5 senaryo sonuçlarına göre 10 ve 30 yıllık ortalamalar açısından havza genelinde yağışta belirgin bir artış ya da azalma eğiliminin gerçekleşmediği belirlenmiştir. Lokasyona bağlı değişim açısından değerlendirildiğinde havzanın kuzey kıyılarının ve kuzeybatısının referans dönemine göre daha fazla yağış alması beklenmektedir.



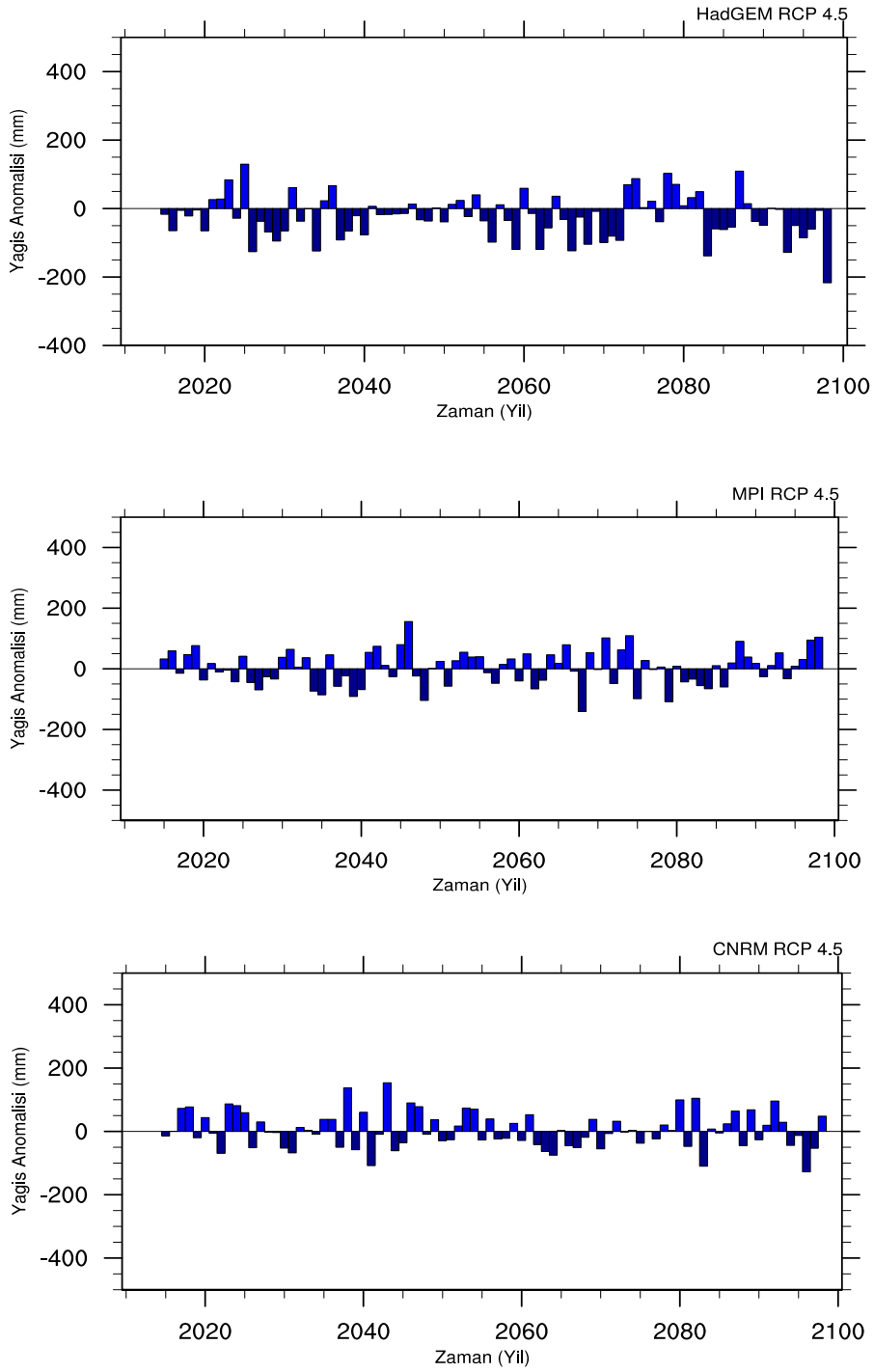
Şekil 17.16 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin HadGEM2-ES Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm)



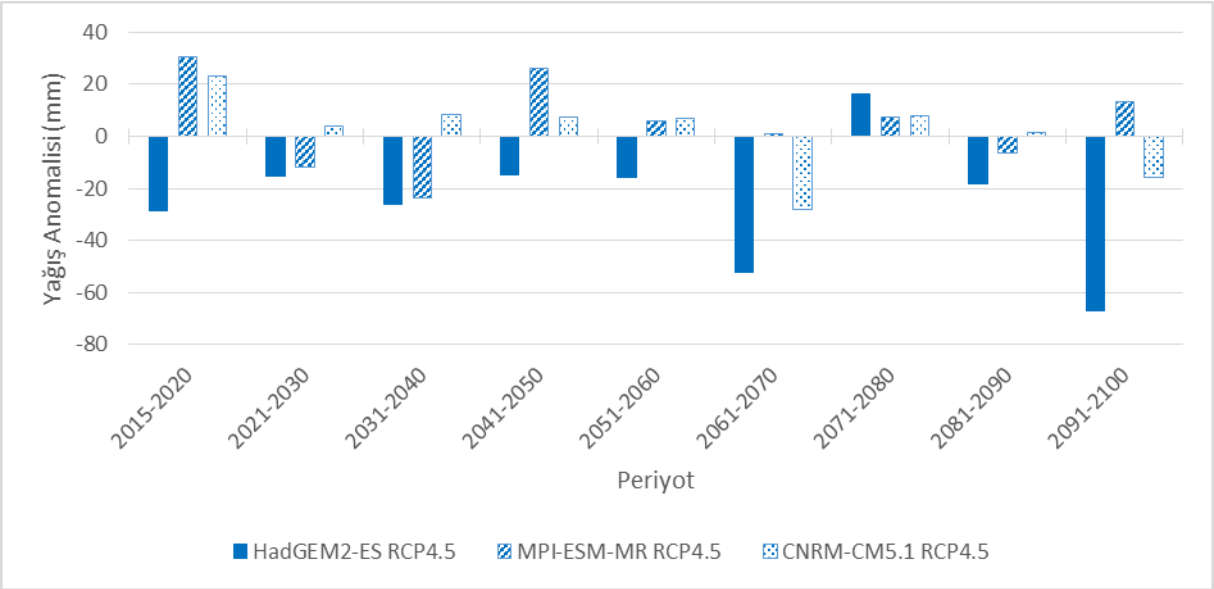
Şekil 17.17 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin MPI-ESM-MR Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm)



Şekil 17.18 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin CNRM-CM5.1 Modeli RCP4.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm)



Şekil 17.19 RCP4.5 Senaryosuna göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Yıllık Toplam Yağış Anomali Değerleri Zaman Serileri



Şekil 17.20 RCP4.5 Senaryosuna Göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modellerine Dayalı Toplam Yağış Anomali Değerlerinin 10'ar Yıllık Değişimi

17.2.2.2 RCP8.5 Senaryosu

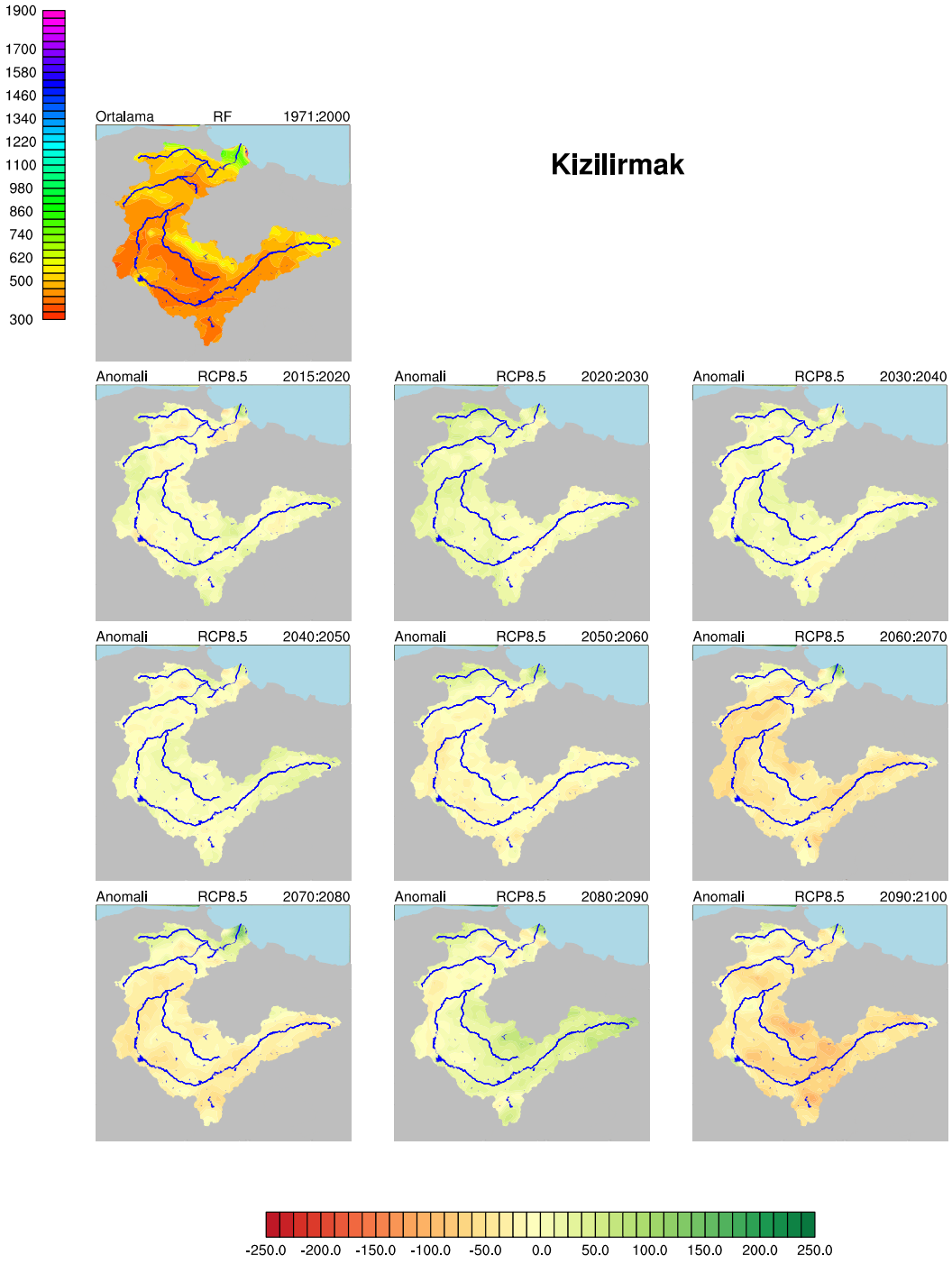
Şekil 17.21, Şekil 17.22 ve Şekil 17.23, RCP8.5 senaryosu için 2015-2100 yılları arasında Kızılırmak Havzası'nın yağış rejimindeki beklentileri göstermektedir. HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine ait yağış anomalilerinin zaman serileri Şekil 17.24 ile, yağış anomalilerinin 10'ar yıllık bar diyagramları da Şekil 17.25 ile verilmektedir. 10'ar yıllık yağış değişimlerinin sayısal değerleri Tablo 17.9 ile anomali beklenen yılların sayısındaki değişimler ise Tablo 17.10 ile verilmiştir.

HadGEM2-ES modeli ile elde edilen havza bütünündeki yağış anomalilerinin yıllık zaman serilerine bakıldığında, 2060 yılından sonra havzada genel olarak negatif anomalilerin egemen olduğu görülmektedir. Referans periyoduna göre azalan yağışlar büyük bölgesel farklılık göstermezken, havzanın kuzey kıyısının bütün dönemlerde pozitif anomaliye sahip olduğu dikkat çekmektedir. 2081-2090 döneminde, 2060 yılından itibaren azalan yağışlar yerini, bilhassa havzanın doğusunda, artan yağışlara bırakmaktadır. Fakat bu artışlar önemli miktarda olmayıp gözlem değerine yakındır. Azalan yağışların, RCP4.5 senaryosuna kıyaslandığında sönümlendiği görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda hem 100 mm'yi aşan hem de 200 mm'yi aşan negatif anomali değerlerinde düşüş olması beklenmektedir (Tablo 17.10). 10 yıllık ortalamalar açısından incelendiğinde 2021-2030 ve 2081-2090 dönemleri dışında tüm periyodlarda negatif anomali değerleri öngörülmekte ve en yüksek azalama değerine yaklaşık 65 mm (%15) ile 2091-2100 periyodunda rastlanmaktadır.

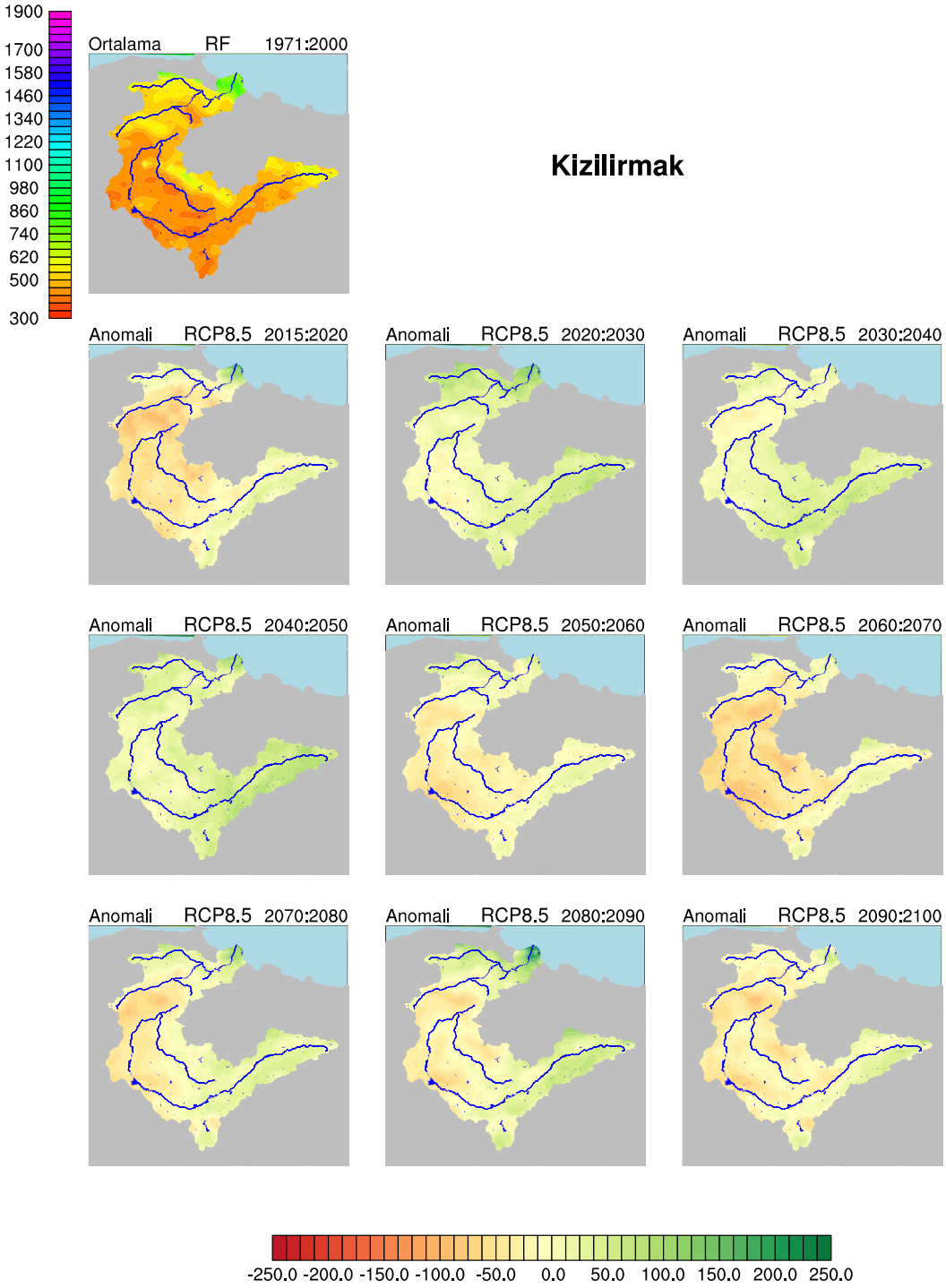
MPI-ESM-MR modelinin RCP8.5 senaryosu altındaki simülasyonlarına bakıldığında modelin RCP4.5 senaryosuna kıyasla daha kurak sonuçlar verdiği ortaya çıkmaktadır. Örneğin; RCP4.5 senaryosunda 2015-2020 yıllarında havzaya artan yağışlar hakimken, RCP8.5 senaryosunda bu dönemin kurak geçmesi beklenmektedir. Ancak kuraklığın şiddeti çok yüksek değildir. Her iki senaryo altında da havzanın kuzeyi referans dönemine göre fazla yağış almaktadır. Buna ek olarak RCP8.5 senaryosunda, azalan yağışlar, havzanın daha çok iç kesimlerine yayılmaktadır. Yağış anomalilerinin yıllık zaman serileri ise, yüzyıl başlarında pozitif anomaliye sahip yılların yoğun olduğunu göstermektedir. Fakat 100 mm veya 200 mm'yi aşan pozitif anomali yıl sayısına bakıldığında, bu yılların belirli bir değerin altında kaldıkları anlaşılmaktadır. 10 yıllık dönemler boyunca en yüksek azalma değeri yaklaşık 40 mm (%9) ile 2061-2070 periyodunda beklenmektedir.

CNRM-CM5.1 modelinde RCP8.5 senaryo sonuçları havzada yağış eksikliğinin sürekli etkili olacağını göstermektedir. Havzada yağış dağılışı homojen değildir. Bu durum havzada 85 yıl boyunca meydana gelecek 100 ve 200 mm'yi aşan yağış anomali yıl sayıları ile de desteklenmektedir. Yağış eksikliğinin havzanın güneyinde daha hakim olduğu görülmektedir. CNRM-CM5.1 modeli sonuçlarına göre 2081-2090 dönemi dışında tüm dönemlerde yağış azalmaları beklenmektedir. Projeksiyon döneminin ilk periyodunda da oldukça düşük yağış azalması olacaktır. Projeksiyon dönemi boyunca yağışlardaki en yüksek azalma 2071-2080 döneminde beklenmekte olup referans değerine göre %7 oranında yağışların düşmesi söz konusudur.

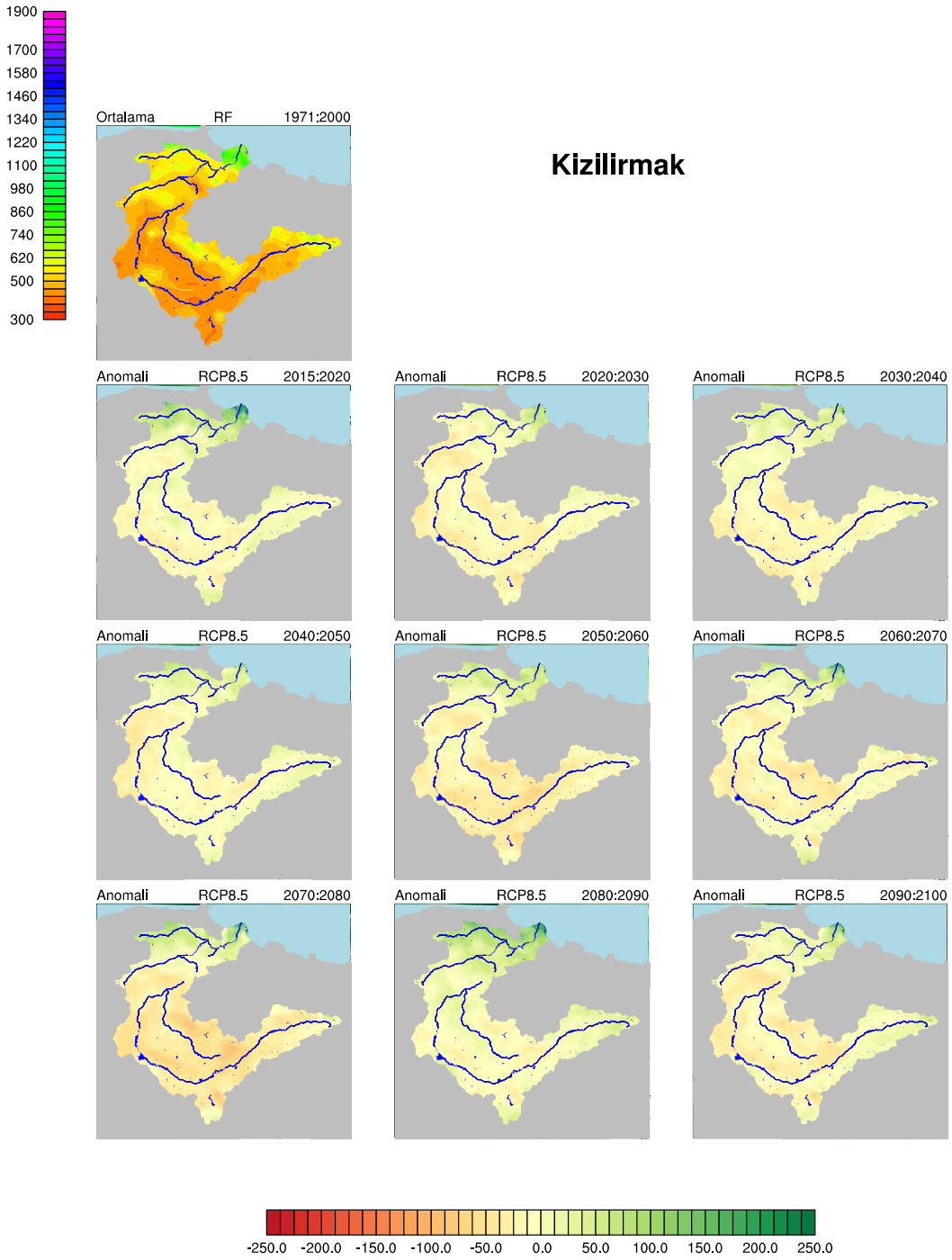
RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre 10 yıllık ortalamalar açısından havza genelinde yağışta belirgin bir artış ya da azalma eğilimi gerçekleşmemektedir. 30 yıllık ortalamalar açısından değerlendirildiğinde ise yalnızca RCP8.5 senaryosunda HadGEM2-ES modelinde azalma eğilimi mevcuttur. Havzadaki yağış azalmalarının hakim olduğu bölgenin güney kesimler olduğu söylenebilir.



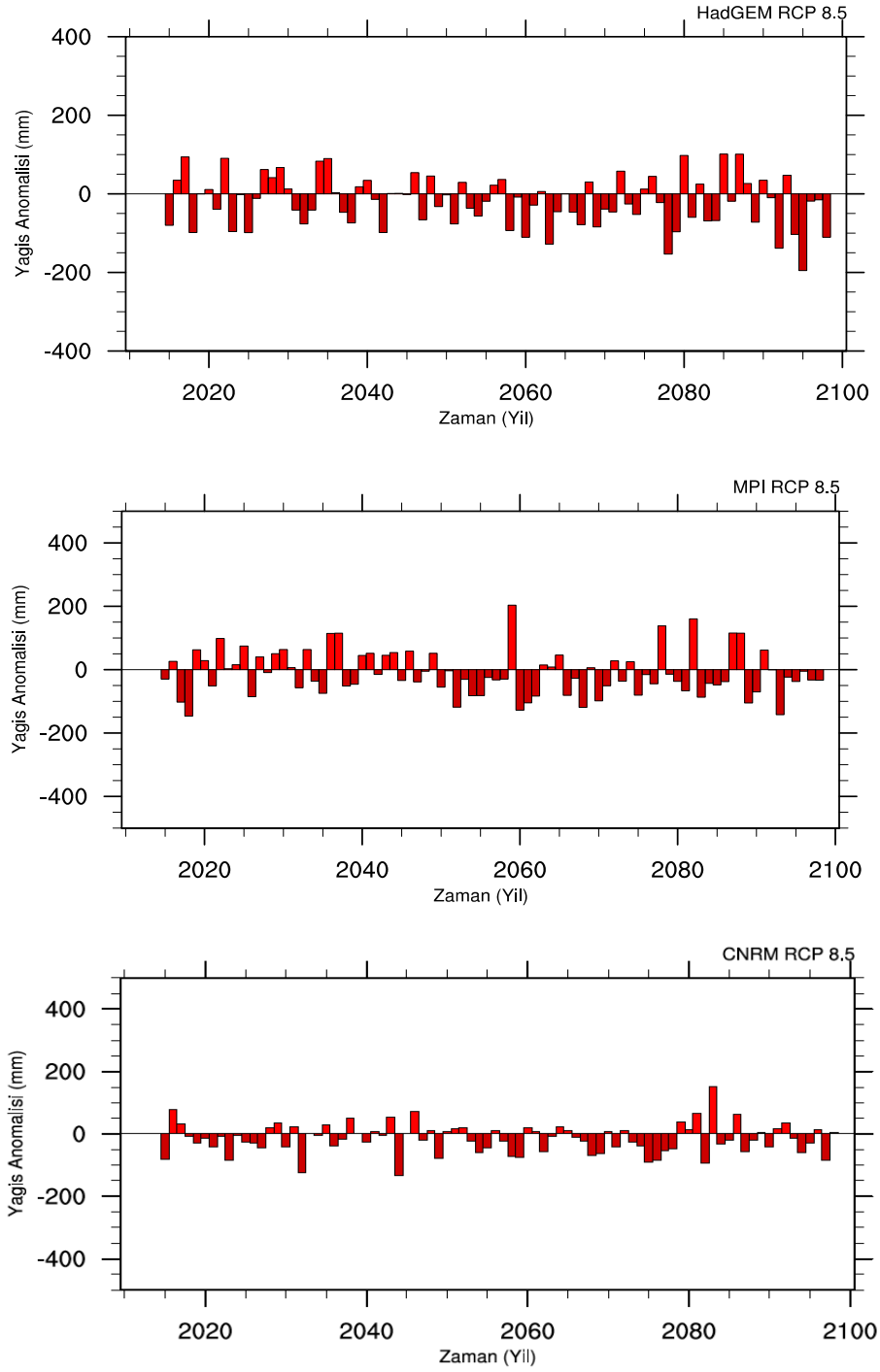
Şekil 17.21 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin HadGEM2-ES Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm)



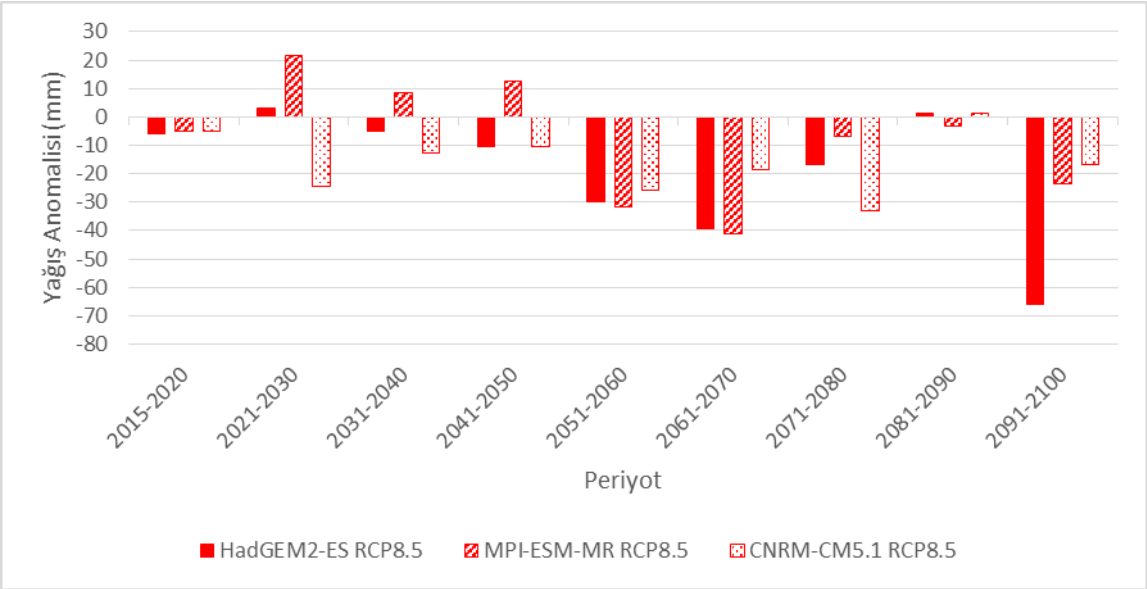
Şekil 17.22 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin MPI-ESM-MR Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm)



Şekil 17.23 Toplam Yağış Anomali Değerlerinin CNRM-CM5.1 Modeli RCP8.5 Senaryosu için 10'ar Yıllık Dönemlerde Değişimi (mm)



Şekil 17.24 RCP8.5 Senaryosuna göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Yıllık Toplam Yağış Anomali Değerleri Zaman Serileri



Şekil 17.25 RCP8.5 Senaryosuna Göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modellerine Dayalı Toplam Yağış Anomali Değerlerinin 10'ar Yıllık Değişimi

Tablo 17.9 RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Toplam Yağış Anomali Değerleri

	HadGEM2-ES				MPI-ESM-MR				CNRM-CM5.1			
Periyot	RCP4.5 (mm)	RCP4.5 (%)	RCP8.5 (mm)	RCP8.5 (%)	RCP4.5 (mm)	RCP4.5 (%)	RCP8.5 (mm)	RCP8.5 (%)	RCP4.5 (mm)	RCP4.5 (%)	RCP8.5 (mm)	RCP8.5 (%)
2015-2020	-28,6	-6,60	-6,1	-1,41	30,5	6,71	-5,2	-1,14	22,9	4,88	-5,1	-1,09
2021-2030	-15,3	-3,53	3,3	0,76	-12,0	-2,64	21,7	4,78	3,9	0,83	-24,5	-5,22
2031-2040	-26,1	-6,02	-5,2	-1,20	-23,9	-5,26	8,5	1,87	8,3	1,77	-12,8	-2,73
2041-2050	-14,7	-3,39	-10,6	-2,45	26,2	5,77	12,6	2,77	7,6	1,62	-10,5	-2,24
2051-2060	-15,6	-3,60	-29,8	-6,88	6,0	1,32	-31,5	-6,93	7,1	1,51	-25,6	-5,45
2061-2070	-52,1	-12,02	-39,6	-9,14	1,2	0,26	-41,3	-9,09	-28,0	-5,97	-18,7	-3,98
2071-2080	16,2	3,74	-17,0	-3,92	7,2	1,58	-6,8	-1,50	8,1	1,73	-33,1	-7,05
2081-2090	-18,0	-4,15	1,2	0,28	-6,5	-1,43	-3,4	-0,75	1,5	0,32	1,2	0,26
2091-2100	-66,8	-15,41	-66,1	-15,25	13,1	2,88	-23,5	-5,17	-15,9	-3,39	-17,0	-3,62

Tablo 17.10 HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri Yağış Anomalileri Dağılımı

Model	2015-2100 Projeksiyon Dönemi	100 mm'yi aşan Pozitif Anomali (yıl)	200 mm'yi aşan Pozitif Anomali (yıl)	100 mm'yi aşan Negatif Anomali (yıl)	200 mm'yi aşan Negatif Anomali (yıl)
HadGEM2-ES	RCP4.5	3	0	9	1
	RCP8.5	2	0	7	0
MPI-ESM-MR	RCP4.5	4	0	3	0
	RCP8.5	7	1	8	0
CNRM-CM5.1	RCP4.5	3	0	3	0
	RCP8.5	1	0	2	0

17.2.2.3 Toplam Yağış Projeksiyonlarının Genel Değerlendirilmesi

Kızılırmak Havzası için simüle edilen HadGEM2-ES modelinde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre toplam yağışta öngörülen sonuçlar karşılaştırıldığında, RCP8.5 senaryosunun değerlerinin beklendiğinin aksine daha düşük farklara sahip olduğu ön plana çıkmaktadır. Her iki RCP senaryosunda da herhangi bir artış veya azalış paternine rastlanmamaktadır. Her iki senaryo sonucunda da 2091-2100 periyodunda yaklaşık 65 mm ile referans dönemine göre %15 oranında yağışların azalması beklenmektedir. Diğer yandan, senaryolar arasında referans dönemine göre 100 mm daha fazla yağış üreten 1 gün fark varken; 100 mm daha az yağış simüle eden 2 gün fark vardır.

MPI-ESM-MR modelinin RCP4.5 senaryosunda, on yıllık periyotların çoğu için yağışların 1971-2000 referansına göre artması beklenirken, RCP8.5 senaryosunda özellikle 2050 yılından sonra azalış ön plana çıkmaktadır. RCP senaryolarının ikisinde de havzanın kuzeyi genellikle, referans dönemine kıyasla daha fazla yağış almasının yanı sıra, RCP8.5 senaryosunda havzanın iç kesimlerinde dönem dönem azalan yağışlar gözlenmiştir. MPI-ESM-MR modeli için 10 yıllık ortalamalar açısından en yüksek azalma değerine RCP8.5 senaryosu için yaklaşık 40 mm (%9) ile 2061-2070 periyodunda rastlanmaktadır.

CNRM-CM5.1 model sonuçları RCP4.5 senaryosunda havzada projeksiyon dönemi boyunca yağış artış ve azalışlarını öngörürken, RCP8.5 durumunda ise yağış eksikliğinin daha hakim olacağını işaret etmektedir. Bu durum 100 mm'yi aşan negatif ve pozitif anomali yıl sayılarındaki denge ile de anlaşılabilir. Bu model için en yüksek azalma değeri RCP8.5 senaryosu için yaklaşık 35 mm (%7) ile 2071-2080 periyodunda hesaplanmıştır.

Tüm model ve senaryo sonuçları değerlendirildiğinde, Kızılırmak Havzası için belirgin bir artış ya da azalma eğilimi gözlenmemesinin yanında, referans dönemine göre %15'e varan yağış azalmalarının ve %7'ye varan yağış artışlarının yaşanacağı dönemler beklenmektedir.

17.2.3 İklim İndisleri

Proje kapsamında havza ölçeğinde ekstrem olaylardaki beklentileri ifade eden 6 adet iklim indisi, adları ve tanımlamalarıyla birlikte Tablo 17.11 ile verilmektedir. Kızılırmak Havzası'nda gözlem verileri kullanılarak referans periyodu için hesaplanan bu indisler aynı zamanda HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 model sonuçlarına göre 2015-2040, 2041-2070, 2071-2100 periyotları için de hesaplanmıştır ve Mann-Kendall testine tabi tutulmuştur. İklim indisleri 30'ar yıllık ortalamaları trendleriyle birlikte Tablo 17.12 ve Tablo 17.13 ile sunulmaktadır.

Mann Kendall Testi parametrik olmayan bir test olup, meteorolojik zaman serileri üzerinde trendlerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir metottur (Mann, 1945; Kendall, 1975). Uygulamada bu test ile bir zaman serisinde monotonik olarak artan ve ya azalan bir trend olup olmadığı sıfır hipotezi ile kontrol edilir. Monotonik artma veya azalma illa doğrusal bir trend olduğu anlamına gelmemektedir. Doğrusal regresyon analizi veri ile uydurulan regresyon doğrusu arasındaki farkların normal dağılımlı olması şartına bağlı olarak uygulanmaktadır. Diğer taraftan Mann Kendall testi parametrik olmayan bir test olduğundan, incelenecek verinin olasılık dağılım fonksiyonunun normal dağılıma sahip olmaması durumunda da uygulanabilir. Ayrıca verideki ani değişimlere diğer trend yöntemlerinden daha az hassasiyet gösterir. Bu teste göre incelenen değişken, H0 hipotezine göre zamanda birbirlerinden bağımsız rastgele değişkenler içerir. H1 hipotezinde deterministik bir zaman fonksiyonu sabit olmayıp monotonik bir trendin varlığını gösterir. Bu nedenlerden dolayı kimi zaman incelenen periyotta referansa göre yüksek ya da düşük değerler gözlenmesine rağmen, Mann Kendall trend analizinde %95 anlamlılık seviyesinde bir trend tespit edilmemesi ve ya tam tersi durumlar ile karşılaşmak mümkündür.

Tablo 17.11 Havza Bazında Değerlendirilen İklim İndisleri

İndis –ID	İndis Adı	Tanımlama	Birim
CDD	Ardışık kurak gün sayısı	Yağışın 1 mm'den az olduğu ardışık gün sayısı	Gün
CWD	Ardışık ıslak gün sayısı	Yağışın 1 mm'den büyük olduğu ardışık gün sayısı	Gün
Rx5gün	5 günlük maksimum yağış	5 günlük ardışık maksimum yağış miktarı	mm
RX1gün	1 günlük RX5 maksimum yağış	Günlük maksimum yağış miktarı	mm
R10	Şiddetli yağışlı gün sayısı	Yağışın 10 mm yüksek olduğu günler	Gün
R25	Çok Şiddetli yağışlı gün sayısı	Yağışın 25 mm'den yüksek olduğu günler	Gün

HadGEM2-ES modelinin simülasyonlarına göre ardışık kurak gün sayısı (CDD) gözlem dönemiyle karşılaştırıldığında her iki senaryoda da artış gösterdiği; RCP8.5 senaryosunda son

döneme gidildikçe arttığı ortaya çıkmıştır. Fakat hiçbir dönemde CDD'de kendi dönemi içerisinde trende rastlanmamaktadır. Bu indisin yanı sıra, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları sonuçlarıyla hesaplanan beş farklı iklim indisi de herhangi bir trende sahip olmamaktadır. Öte yandan, Rx5gün ve Rx1gün indisleri, hem RCP4.5 hem de RCP8.5 senaryosu altında referans verileriyle kıyaslandığında azalma göstermektedir. Ayrıca, şiddetli yağışlı gün sayısında (R10) gözlem verilerine kıyasla azalma meydana gelirken, çok şiddetli yağışlı gün sayısında (R25) hiçbir değişiklik kaydedilmemiştir.

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna dayalı MPI-ESM-MR modelinin sonuçlarından elde edilen R25, çok şiddetli yağışlı gün sayısı, 1971-2000 referans dönemine göre değişmemektedir. RCP4.5 senaryosunda yağışın 1 mm'yi geçtiği ardışık gün sayısı (CWD) gözlem verilerine göre yüksek değerler göstermiştir. Rx1gün indisi, her iki senaryoda da artma eğilimi sergilemektedir. MPI-ESM-MR modeli, hem şiddetli yağışlı gün sayısında (R10) hem de 5 günlük maksimum yağış miktarında (Rx5gün), gözlem verilerine kıyasla azalma ortaya koymaktadır. Genel olarak hiçbir indiste kendi 30 yıllık dönemi içerisinde trend göze çarpmamaktadır.

CNRM-CM5.1 modelinde RCP4.5 senaryosuna dayalı sonuçlara göre projeksiyon dönemlerinde 6 indiste herhangi bir trend bulunmamaktadır. CDD indisi başlangıç döneminde 5 gün kadar azalırken daha sonra giderek farkın kalmadığı anlaşılmaktadır. CWD indisinde ise RCP4.5 senaryosunda referans değerine göre 4-5 günlük artış belirlenmiştir. Şiddetli yağışlı gün (R10) indisi referans dönemine göre 3-4 gün kadar azalmıştır. RCP8.5 da CDD indisi havzada önce 3 gün kadar azalmakta daha sonra da 4 güne kadar artış göstermektedir. CNRM-CM5.1 modeli diğer iki modele göre CDD de en az artış değerlerine sahiptir. CWD indisinde ise ortalama 4 gün kadar artış belirlenmiştir. R10 indisi referans dönemine göre 3-4 gün kadar azalmaktadır.

Tablo 17.12 RCP4.5 Senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri 30 Yıllık Periyotlara göre Gözlem Dönemi İklim İndisleri

İndis	Gözlem	HadGEM2-ES			MPI-ESM-MR			CNRM-CM5.1		
	1971-2000	2015-2040	2041-2070	2071-2100	2015-2040	2041-2070	2071-2100	2015-2040	2041-2070	2071-2100
CDD (gün)	66 —	90 —	89 —	94 —	67 —	71 —	71 —	61 —	63 —	66 —
CWD (gün)	16 —	19 —	18 —	19 —	19 —	20 —	19 —	21 —	20 —	20 —
RX5gün (mm)	51 —	47 —	47 —	46 —	49 —	49 —	52 —	42 —	42 —	44 —
RX1gün (mm)	26 —	25 —	25 —	24 —	26 —	27 —	28 —	22 —	22 —	23 —
R10 (gün)	10 —	7 —	7 —	7 —	8 —	8 —	8 —	7 —	7 —	7 —
R25 (gün)	1 —	1 —	1 —	1 —	1 —	1 —	1 —	0 —	0 —	0 —

Tablo 17.13 RCP8.5 Senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri 30 Yıllık Periyotlara göre Gözlem Dönemi İklim İndisleri

İndis	Gözlem	HadGEM2-ES			MPI-ESM-MR			CNRM-CM5.1		
	1971-2000	2015-2040	2041-2070	2071-2100	2015-2040	2041-2070	2071-2100	2015-2040	2041-2070	2071-2100
CDD (gün)	66 —	85 —	91 —	93 —	66 —	72 —	76 —	63 —	70 —	68 —
CWD (gün)	16 —	19 —	18 —	18 —	19 —	18 —	18 —	20 —	20 —	20 —
RX5gün (mm)	51 —	47 —	48 —	48 —	50 —	49 —	51 —	42 —	43 —	44 —
RX1gün (mm)	26 —	25 —	25 —	25 —	28 —	27 —	28 —	22 —	23 —	24 —
R10 (gün)	10 —	7 —	7 —	7 —	8 —	8 —	8 —	6 —	6 —	7 —
R25 (gün)	1 —	1 —	1 —	1 —	1 —	1 —	1 —	0 —	0 ↑	1 —

17.3 Hidrolojik Projeksiyon Çalışmaları

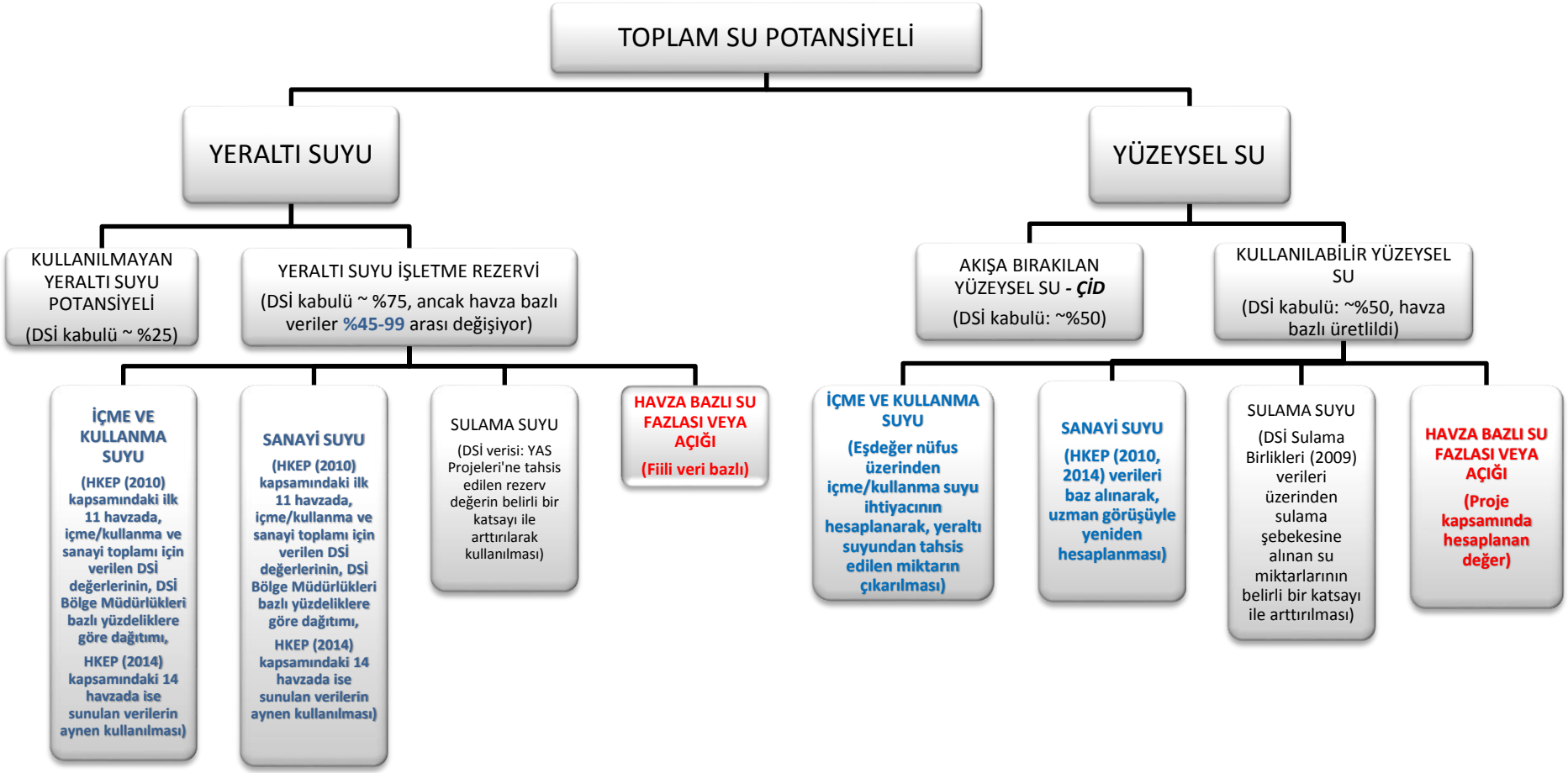
17.3.1 Hidrolojik Model Çıktıları ile On Yıllık Dönemler itibariyle Havza Bazlı Tahmini Su Potansiyeli ve Su Bütçesi

Proje kapsamında su potansiyelleri ve suyun sektörlere dağılımı, 2100 yılına dek makro ölçekte havzalar özelinde hesaplanmış ve 10'ar yıllık zaman aralıklarında yüzdelik dağılım tahminleri yapılmıştır.

Uzun yıllara dayanan tahminlerde arazi kullanımı ve dağılımı irdelenmemiş olup, arazi kullanımlarının değişmeyeceği kabulü yapılmıştır.

17.3.1.1 Havza Bazlı Su Potansiyeli Mevcut Durumu

Havza bazlı su potansiyelleri ve su bütçelerinin mevcut durumu hesaplanırken, Şekil 17.26 ile verilen akım şemasından faydalanılmıştır. Söz konusu akım şemasının kapsamlı anlatımı aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.



Şekil 17.26 Su Potansiyeli Akım Şeması

Yeraltı Suyu

Yeraltı suyu hesabında, DSİ tarafından güncel olarak sağlanan havza bazlı tüketim/kullanım katsayılarından faydalanılarak, yüzeysel su potansiyelinden yeraltı suyu işletme rezervine geçilmiştir. İşletme rezervinin oranı havza bazında değişkenlik göstermektedir; ancak Türkiye geneli için potansiyelden rezerve geçiş oranı ortalama olarak %75 mertebesindedir. Kızılırmak Havzası için ise bu oran %87'dir. Havza bazlı yeraltı suyuna ilişkin detaylı hesap sonuçları ve Türkiye toplamı ile mukayese Şekil 17.26 ile verilmektedir.

İçme ve kullanma suyu miktarı, Havza Koruma Eylem Planları'nda (2010). doğrudan DSİ tarafından sağlanan güncel verilerden alınmıştır. Bu noktada içme ve kullanma suyu değerleri doğrudan kullanılmış, ancak sanayi suyu değerleri aşağıda açıklandığı üzere, daha ileri bir tahkik için yeniden gözden geçirilmiştir.

Sanayi suyu değerinde, yukarıdaki ayrıştırma oranlarından hesaplanan yeni değerler doğrudan kullanılmak yerine, öncelikle %50'lık bir kayıp kabul edilmiştir Burada uzman görüşü; kayıt dışı kullanımın %50, sayaçlı kullanımın ise %70 oranında gerçekçi sonuçlar verdiği yönündedir. Ardından HKEP Raporları'ndan alınan endüstri bazlı atıksu oluşumu değerlerinden, çeşitli düzeltme katsayıları kullanılarak [1 / (%70 x %90 x %50)] gerçekçi bir sanayi suyu ihtiyacına geçilmiştir. Buna göre, HKEP Raporları'ndan yararlanılarak bulunan endüstriyel atıksu miktarlarında, HKEP projeleri kapsamında ziyaretine gidilememiş ve/veya atıksu debisi düşük değerlerde beyan edilen endüstrilerinin de katılımını sağlamak amacıyla, %70'lik ilk düzeltme yapılmıştır. Ardından oluşan atıksudan geriye gidilerek su ihtiyacına geçilmesinde %90'lık düzeltme faktörü kullanılmıştır. Son olarak bulunan bu değer çeşitli kaçaklar, buharlaşma etkisi ve benzeri sebeplerle, emniyetli tarafta kalmak adına %50 oranında nihai olarak arttırılmıştır.

Netice itibariyle, sanayi suyu için üretilmiş olan bu 2 farklı set verinin (DSİ bazlı ve HKEP bazlı) mukayesesi yoluna gidilmiş ve havza bazında tercihen büyük olan değer seçilerek, yeraltı suyundan temin edilen sanayi suyu ihtiyacına seçilen değer kaydedilmiştir.

Sulama kooperatifleri tahsisleri doğrudan HKEP Raporları kapsamında DSİ'den temin edilmiş olup şebeke kayıplarından ötürü %50'lik ilave bir faktör ile çarpılarak kullanılmıştır.

Sonuç olarak, içme ve kullanma suyu, sanayi suyu ve sulama suyu başlıkları altında bu 3 bileşenin toplamı, yeraltı suyu kaynaklı kullanımları/tahsisleri vermektedir. Farklı sektörlerdeki su kullanımları havza bazında sağlanamadığından, bu tarz bir yaklaşıma gerek duyulmuştur.

Yüzeysel Su

Yüzeysel su hesabında, yıllık ortalama akışlardan havza bazlı ortalama kullanılabilir yüzeysel su potansiyeline geçilmiştir. Burada DSİ kabulü ile Türkiye geneli için ~%50 kullanılabilir yüzeysel su oranı ve %50 çevresel ihtiyaç debisi (ÇİD) üzerinden doğal akışa bırakılan su oranı kabul edilmiştir. Kızılırmak Havzası için bu oran, fiili su kullanımları da dikkate alınarak, mevcut durumu yansıtacak şekilde %50 olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalar Tablo 17.15 ile verilmektedir.

Burada, içme ve kullanma suyu miktarı tüm havzalar için ilerleyen bölümlerde detaylı olarak verilecek olan su tüketimi formülünden faydalanılarak hesaplanmış ve elde edilen değerden yeraltı suyu kaynaklı tüketimler çıkartılarak, yüzeysel su kaynaklı içme ve kullanma suyu değerleri hesaplanmıştır. Toplam içme ve kullanma suyu ihtiyacı için yapılan hesaplamalar ilerleyen bölümde açıklanmaktadır.

Sanayi suyu değerinde ise, HKEP Raporları esas alınarak üretilmiş değerler ile DSİ yeraltı suyu verileri esas alınarak üretilmiş değerlerin farkı alınarak kullanılmıştır.

Sulama şebekesine alınan su değerleri doğrudan DSİ'den temin edilmiş olup (DSİ, 2011), şebeke kayıpları göz önüne alınarak %50'lik bir emniyet faktörü ile çarpılarak kullanılmıştır.

Sonuç olarak, içme ve kullanma suyu, sanayi suyu ve sulama suyu başlıkları altında bu 3 bileşenin toplamı, yüzeysel su kaynaklı kullanımları/tahsisleri vermektedir. DSİ tarafından farklı sektörlerdeki su kullanımları havza bazında sağlandığı takdirde, bu tarz bir yaklaşıma gerek kalmayacaktır.

Toplam Su

Yeraltı ve yüzeysel su kullanımlarının toplamı, toplam su potansiyeli ve su kullanımı değerlerini vermektedir. Burada içme-kullanma, sanayi ve sulama suyunun kullanım oranına göre miktarlara ve yüzdelik dağılımlara da ulaşılabilmektedir. Hesap sonuçları Tablo 17.16 ile gösterilmiştir. Su potansiyelinin gelecek dönem projeksiyonları doğal hidrolojik döngü bileşenleri kullanılarak gerçekleştirilir. Söz konusu bileşenler arası ilişkiler, hidroloji biliminde kullanılan temel fiziksel süreçleri (sızma, yüzeysel akış, buharlaşma, evapotranspirasyon vb.) içeren matematiksel denklemlerle çözülmektedir. Kabaca yüzeysel akış, toplam yüzeysel su potansiyeline ve sızma değeri de yeraltı suyu potansiyeline karşılık gelmektedir. Söz konusu iki değer yüzeysel ve yeraltı için ayrı ayrı olmak üzere DSİ tarafından havza bazlı olarak tanımlanmış olan oranlar ile çarpılarak yeraltı suyu işletme rezervi ve ortalama kullanılabilir yüzeysel su miktarı değerleri hesaplanmaktadır.

Yukarıda yüzeysel su ve yeraltı suyu bölümlerinde detaylı olarak açıklandığı üzere, toplam brüt su potansiyelinden, teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir (net) su potansiyeline geçişte,

yüzeysel su ve yeraltı suyu için ayrı ayrı ve havza bazlı olmak üzere, DSİ tarafından verilen geçiş oranları aynen kabul edilmiştir (Tablo 17.14 ve Tablo 17.15).

Tablo 17.14. Kızılırmak Havzası Yeraltı Suyu Dağılımı

Havza	Yeraltı Suyu Potansiyeli	Yeraltı suyu İşletme Rezervi	YAS Rezerv / Potansiyel	İçme ve Kullanma Suyu Tahsisleri	Sanayi Suyu Tahsisleri	Sulama Kooperatifleri Tahsisleri	Toplam	İçme Kullanma / Toplam	Sanayi / Toplam	Sulama / Toplam	Havza Bazlı Su Fazlası / Açığı
	(milyon m^3/yıl)	(milyon m^3/yıl)	(%)	(milyon m^3/yıl)	(milyon m^3/yıl)	(milyon m^3/yıl)	(milyon m^3/yıl)	(%)	(%)	(%)	(milyon m^3/yıl)
Kızılırmak	1.531	1.332	87	211	205	1.578	1.994	11	10	79	-662
Toplam	**19.447**	**14.757**	**76**	**2.914**	**2.195**	**7.562**	**12.671**	**23**	**17**	**60**	**+ 2.086**

Tablo 17.15. Kızılırmak Havzası Yüzeysel Su Dağılımı

Havza	Yıllık Ortalama Akış	Ortalama Kullanılabilir Yüzeysel Su Miktarı	Kullanım / Potansiyel	İçme ve Kullanma Suyu Miktarı	Sanayi Suyu Miktarı	Sulama şebekesine Alınan Su Miktarı	Toplam	İçme Kullanma / Toplam	Sanayi / Toplam	Sulama / Toplam	Havza Bazlı Su Fazlası
	(milyon m^3)	(milyon m^3/yıl)	(%)	(milyon m^3/yıl)	(milyon m^3/yıl)	(milyon m^3/yıl)	(milyon m^3/yıl)	(%)	(%)	(%)	(milyon m^3/yıl)
Kızılırmak	6.480	3.240	50	338	0	616	954	35	0	65	+ 2.286
Toplam	**186.050**	**93.480**	**50,2**	**7.284**	**668**	**22.531**	**30.483**	**24**	**2**	**74**	**+ 62.997**

Tablo 17.16. Kızılırmak Havzası Toplam Su Dağılımı

Havza	Kızılırmak			Toplam		
Su Dağılımı	**Yeraltı**	**Yüzeysel**	**Toplam**	**Yeraltı**	**Yüzeysel**	**Toplam**
Toplam Su Potansiyeli (milyon m^3/yıl)	1.531	6.480	8.011	19.447	186.050	205.497
Kullanılabilir Su Potansiyeli (milyon m^3/yıl)	1.332	3.240	4.572	14.757	93.480	108.237
İçme ve Kullanmaya Tahsis Edilen Su Miktarı (milyon m^3/yıl)	211	338	549	2.914	7.284	10.198
Sanayiye Tahsis Edilen Su Miktarı (milyon m^3/yıl)	205	0	205	2.195	668	2.863
Sulamaya Tahsis Edilen Su Miktarı (milyon m^3/yıl)	1.578	616	2.194	7.562	22.531	30.093
Tahsis Edilen Toplam Su Miktarı (milyon m^3/yıl)	1.994	954	2.948	12.671	30.483	43.154
Brüt Su Potansiyeli Dağılımı	19%	81%	%100	**%9**	**%91**	**%100**
Net Su Potansiyeli Dağılımı	29%	71%	%100	**%14**	**%86**	**%100**
İçme Kullanma / Toplam	%19			%23		
Sanayi / Toplam	%7			%7		
Sulama / Toplam	%74			%70		
Havza Bazlı Su Fazlası	+ 1.624			+ 65.082		

17.3.1.2 Havza Bazlı Sektörel Kullanım Projeksiyonu

İçme ve Kullanma Suyu İhtiyacının Tahmini

İçme ve kullanma suyu (evsel su) ihtiyacı tahmini hesaplarında birim net su ihtiyaçları kullanılmaktadır. Söz konusu ihtiyaç nüfusa bağlı olarak değişmekte olup havzadaki kentsel ve kırsal nüfusların değişimleri aşağıda değerlendirilmektedir.

Havza Bazlı Nüfus Tahminleri:

Havza bazlı nüfus hesaplamaları, Türkiye toplamı üzerinden yapılan tahminlerin, ulusal ve uluslararası çeşitli kaynaklarda yapılan tahminlerle mukayesesi neticesinde nihayetlendirilmiştir.

Proje Nüfus Projeksiyonuna göre Kızılırmak Havzası için 2015 yılından 2100 yılına kadarki nüfus artış hızları, Tablo 17.17 ile, yine aynı dönemi kapsayan yıllardaki nüfus projeksiyonu ise Tablo 17.18 ile verilmektedir.

Tablo 17.17. Kızılırmak Havzası için Seçilen Nüfus Artış Hızları (2015–2100)

Yıllar	Kentsel artış hızı (%)		Kırsal artış hızı (%)	Kentsel/Toplam (%)	Kırsal/Toplam (%)
	Kış	Yaz			
2015	2,4	125	0,6	71,9	28,1
2020	1,8	125	0,3	73,3	26,7
2030	0,8	125	0,2	74,8	25,2
2040	0,2	125	0,1	75,3	24,7
2050	0,0	125	0,0	75,5	24,5
2060	0,0	125	0,0	75,5	24,5
2070	0,0	125	0,0	75,5	24,5
2080	0,0	125	0,0	75,5	24,5
2090	0,0	125	0,0	75,5	24,5
2100	0,0	125	0,0	75,5	24,5

Tablo 17.18. Kızılırmak Havzası Nüfus Tahminleri (2015–2100)

Yıllar	Kentsel			Kırsal	Toplam		
	Kış	Yaz	Eşdeğer		Kış	Yaz	Eşdeğer
2015	3.088.867	3.861.084	3.410.624	1.208.597	4.297.464	5.069.681	4.619.221
2020	3.144.382	3.930.477	3.471.921	1.212.588	4.356.970	5.143.065	4.684.509
2030	3.200.947	4.001.184	3.534.379	1.216.616	4.417.563	5.217.800	4.750.995
2040	3.847.237	4.809.046	4.247.990	1.262.820	5.110.057	6.071.866	5.510.810
2050	3.851.084	4.813.855	4.252.238	1.262.820	5.113.904	6.076.675	5.515.058
2060	3.854.935	4.818.669	4.256.491	1.262.820	5.117.755	6.081.489	5.519.311
2070	3.858.790	4.823.487	4.260.747	1.262.820	5.121.610	6.086.307	5.523.567
2080	3.862.649	4.828.311	4.265.008	1.262.820	5.125.469	6.091.131	5.527.828
2090	3.866.511	4.833.139	4.269.273	1.262.820	5.129.331	6.095.959	5.532.093
2100	3.870.378	4.837.972	4.273.542	1.262.820	5.133.198	6.100.792	5.536.362

* Kış dönemi 7 ay, yaz dönemi: 5 ay

İçme ve Kullanma Suyu İhtiyacı:

İçme ve kullanma suyu (evsel su) ihtiyacı tahmini hesaplarında kullanılan birim net su ihtiyaçları, nüfusa bağlı olarak değişmektedir. Havzada bulunan kentsel ve kırsal nüfuslar ile nüfusa göre değişkenlik gösteren birim su ihtiyaçlarının çarpımı, doğrudan içme-kullanma suyu ihtiyacını vermektedir. Belli nüfus aralıkları için öngörülen birim net su ihtiyaçları Tablo 17.19 ile gösterilen şekilde değişmektedir (TÜİK, 2013), (ÇOB, 2010), (Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi, 2012).

Tablodan kırsal nüfus için tüm havzalarda standart olarak 100 L/N-gün'lük değer seçilmesine karşın, Kızılırmak Havzası kentsel eşdeğer nüfus başlangıç yılı (2015) için ~3.410.600 olduğundan, kentsel su ihtiyacı 200 L/N-gün seçilmiştir.

Tablo 17.19. Nüfusa göre Birim Net Su İhtiyaçları

Eşdeğer Nüfus (N)	Birim Net Su İhtiyacı (L/N-gün)	Birim Net Su İhtiyacı (m^3/N-yıl)
5.000	80	29,2
10.000	90	32,85
25.000	90	32,85
50.000	100	36,5
100.000	100	36,5
150.000	125	45,625
250.000	125	45,625
400.000	140	51,1
750.000	140	51,1
1.000.000	160	58,4
2.000.000	200	73

İsale hattı kayıpları ile şebekede karşılaşılacak çeşitli kayıp ve kaçakların, içme ve kullanma suyu ihtiyacı belli bir yüzde oranında arttırdığı kabul edilmiştir (Tablo 17.20). Su boruları ve bağlantı ekipmanlarının sızdırmazlığının yıllara göre artacağı varsayımıyla, isale ve şebeke kayıplarındaki azalma da hesaplara aynı oranda yansıtılmıştır.

Tablo 17.20. İsale ve Şebekedeki Kayıp/Kaçak Yüzdeleri

Yıllar	İsaledeki kayıplar	Şebeke kayıp/ kaçakları
2015	%3	%45
2020	%3	%45
2030	%3	%40
2040	%2	%40
2050	%2	%35
2060	%2	%35
2070	%2	%30
2080	%2	%30
2090	%2	%25
2100	%2	%25

Kaynak: Uzman görüşü

Sonuç olarak, su ihtiyacı tahmini hesabı aşağıdaki formül kullanılarak yapılmıştır:

$$Q_{su} = \left(q_{maks}\ x\ N\ x\ \frac{1}{1 - k_{isale}}\ x\ \frac{1}{1 - k_{şebeke}} \right)$$

Q_{su} : Rezervden çekilecek içme ve kullanma suyu (m^3)

q_{maks} : Birim su ihtiyacı (m^3/kişi-yıl)

N : Eşdeğer nüfus (kişi)

k_{isale} : İsale hattındaki su kaybı yüzdesi (%)

$k_{şebeke}$: Şebekedeki su kayıp ve kaçak yüzdesi (%)

Havzadaki kırsal ve kentsel yerleşimlerin eşdeğer nüfusları ve su ihtiyaçları Tablo 17.21 ile verilmiştir. Netice itibariyle içme ve kullanma suyu ihtiyacı; isaledeki kayıplar (%3-%2), şebekedeki kayıp/kaçaklar (%45-%25) ile bu değerlerin yıllara göre değişimi göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 17.21. Kırsal ve Kentsel Nüfusun Yıllık Su İhtiyacı Projeksiyonu

Yıllar	Kentsel Alan		Kırsal Alan		Havza Genel	
	Eşdeğer Nüfus	Su İhtiyacı	Eşdeğer Nüfus	Su İhtiyacı	Eşdeğer Nüfus	Su İhtiyacı
	N	milyon m^3/yıl	N	milyon m^3/yıl	N	milyon m^3/yıl
2015	3.410.624	466,68	1.208.597	82,69	4.619.221	549,37
2020	3.728.962	510,24	1.228.873	84,07	4.957.835	594,32
2030	4.105.134	514,91	1.252.027	78,52	5.357.161	593,43
2040	4.247.990	527,39	1.262.820	78,39	5.510.810	605,78
2050	4.286.376	491,22	1.262.820	72,36	5.549.196	563,58
2060	4.286.376	491,22	1.262.820	72,36	5.549.196	563,58
2070	4.286.376	456,13	1.262.820	67,19	5.549.196	523,32
2080	4.286.376	456,13	1.262.820	67,19	5.549.196	523,32
2090	4.286.376	425,72	1.262.820	62,71	5.549.196	488,43
2100	4.286.376	425,72	1.262.820	62,71	5.549.196	488,43

Sanayi Suyu İhtiyacının Tahmini

Endüstriyel amaçlı kullanılan su miktarının, Türkiye'nin gayri safi milli hasıla (GSMH) oranına göre değişeceği kabul edilmiştir. Buna göre, Türkiye GSMH değerleri Tablo 17.22 ile, söz konusu değerler baz alınarak bu proje kapsamında belirlenen sanayi suyu artış hızları ise Tablo 17.23 ile verilmektedir (OECD, 2014).

Tablo 17.22. Türkiye'nin GSMH Gelişimi (OECD, 2014)

Yıllar	GSMH (USD)	GSMH Artış Hızı
2011	17.500	-
2041	35.000	*%2,34*

Tablo 17.23. Sanayi Suyu İhtiyacının Değişimi Artış Hızları

Yıllar	GSMH Baz Alınarak Seçilen Sanayi Suyu Artış Hızı (%)
2015-2020	2,33
2021-2030	2,33
2031-2040	2,18
2041-2050	1,28
2051-2060	0,80
2061-2070	0,80
2071-2080	0,80
2081-2090	0,65
2091-2100	0,50

Netice itibariyle Kızılırmak Havzası sanayi suyu ihtiyacının projeksiyonu Tablo 17.24 ile sunulmuştur

Tablo 17.24. Yıllık Sanayi Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

Yıllar	Sanayi Gelişimine Bağlı Su İhtiyacı (milyon m^3/yıl)
2015	205,11
2020	230,17
2030	285,57
2040	324,28
2050	351,17
2060	380,30
2070	411,84
2080	439,41
2090	461,88
2100	485,50

Sulama Suyu İhtiyacının Tahmini

Sulama suyu ihtiyacının başlangıç yılına göre seçilen oranlarda değişeceği uzman görüşüne dayanarak kabul edilmiş ve geleceğe yönelik projeksiyonlar bu şekilde yapılmıştır. Bu kapsamda, 2030 yılına dek sulanabilecek alanların tümüne kademeli olarak sulama suyu sağlanabileceği varsayılmıştır, ancak 2030 yılından itibaren sulama suyu miktarında bir değişiklik öngörülmemiştir. Bunun da başlıca nedeni, modern sulama tekniklerine geçiş, havza özelinde uygun ürün deseni kullanılması gibi teknik ve yöntemlerin 2030 yılına dek yerleşeceği

varsayımından ileri gelmektedir. Sulama suyu ihtiyacının başlangıç yılına göre değişim oranları Tablo 17.25, yıllık sulama suyu ihtiyacı projeksiyonu Tablo 17.26 ile verilmektedir.

Tablo 17.25. Sulama Suyu İhtiyacının Değişimi

Yıllar	Sulamanın Başlangıç Yılına Göre Değişimi (%)
2012	20
2020	30
2030	40
2040	50
2050	50
2060	50
2070	50
2080	50
2090	50
2100	50

Tablo 17.26. Yıllık Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

Yıllar	Sulama Suyu İhtiyacı (milyon m^3/yıl)
2015	2.194,04
2020	2.632,84
2030	2.852,25
2040	3.071,65
2050	3.291,05
2060	3.291,05
2070	3.291,05
2080	3.291,05
2090	3.291,05
2100	3.291,05

Toplam Su İhtiyacının Tahmini

Yukarıda tarif edilen tüm kabuller ve hesaplama yöntemleri kullanılarak Kızılırmak Havzası için hesaplanan su potansiyeli ve sektörel su kullanımlarının projeksiyonu Tablo 17.27 ile özetlenmekte olup farklı iklim senaryolarının etkileri Şekil 17.27-Şekil 17.28 ile ayrıca gösterilmektedir.

Tabloda "1" olarak adlandırılan satırlar doğrudan hidrolojik model çıktısı olup toplam su potansiyelinin gelecek dönem projeksiyonunu vermektedir; toplamda 4 senaryo çalışıldığından

4 satırdan oluşmaktadır (“1” = model sonucu). “2” olarak adlandırılan hemen alttaki satırlar, doğrudan model çıktısı olmayıp brüt su potansiyelinden teknik ve kullanılabilir (net) su potansiyeline geçişi tarifler; bu kabuller proje kapsamında belirlenmiş olmayıp mevcut (fiili) durumdan aynen alınmıştır. Bu kapsamda, yukarıdaki bölümlerde de açıklandığı üzere DSİ, brütten nete geçiş için tek bir değer vermek yerine, yüzeysel su potansiyeli ve yeraltı suyu potansiyeli için ayrı ayrı yüzdelik değerler tanımlamaktadır. Projeksiyon döneminde haliyle yüzeysel su ve yeraltı suyunda birbirine paralel olmayan salınımlar da gözlenebildiğinden, toplam brüt su potansiyeli ile net su potansiyeli arasındaki oran da bu salınımlara bağlı olarak değişkenlik gösterir ve bu durum hidrolojik modellerin çalışma prensibi gereği tabii olarak kabul edilir. (“2” = “1”in yeraltı suyu bileşeni x DSİ’nin havza bazlı yeraltı suyu geçiş oranı + “1”in yüzeysel suyu bileşeni x DSİ’nin havza bazlı yüzeysel su geçiş oranı). Burada dikkat edilmesi gereken bir husus da brütten nete geçiş oranlarının, gerek teknik gerekse idari bir karar niteliği taşıdığı ve bu proje kapsamında projeksiyon dönemleri için bu oranların sabit alınmış olmasına karşın, esasen fiiliyatta teknoloji gelişimi ve ilgili idarelerin olası kararları ile bu oranların değişebileceğidir. Dolayısıyla net su potansiyelinin projeksiyon dönemindeki gerçek değişimi, gelecekte kullanılacak oranlar, ancak DSİ tarafından belirlenerek açıklanmasıyla mümkün olabilecektir.

“3”, “4” ve “5” no’lu satırlar, yukarıdaki bölümlerde detaylı olarak hesaplandığı üzere sırasıyla, içme ve kullanma, sanayi ve sulama suyu için gerekli olarak ihtiyacının projeksiyonu verir. Burada özetlemek gerekirse, içme ve kullanma suyu havza bazlı detaylı nüfus tahminlerinin havzanın nüfus yapısına göre ilgili birim su tüketimleriyle çarpılması sonucu, sanayi suyu da Türkiye’nin ortalama gayri safi milli hasıla projeksiyonun sanayi gelişimine yansıtılması sonucu (OECD, 2014) hesaplanır. Sulama suyu ise, bir yandan toplam sulanabilir alan ve mevcut durumda sulamaya açık alanların giderek birbirine yaklaşan oranı ile birlikte, öte yandan tarımda ve sulama tekniklerinde yaşanacak olası su ihtiyacını azaltıcı gelişmeler de dikkate alınarak, projeksiyon dönemindeki sulama suyu ihtiyacının başlangıç yılındaki ihtiyaca göre havza bazlı olarak belirli oranlarda artacağı ve neticesinde bir maksimuma ulaşacağı kabulüyle hesaplanmıştır. “6” no’lu satır ise, söz konusu bu üç önemli su tüketiminin toplamını verir (“6” = “3” + “4” + “5”); görüldüğü üzere burada sulama suyu bileşeni toplam su ihtiyacının projeksiyonunda diğer tüketimlere nazaran belirgin olarak öne çıkmaktadır.

“7” no’lu satır, havzalar arası su transferini ifade etmekte olup havzada söz konusu bir transfer yoksa 0 değeri ile, su girdisi varsa artı (+) değerlikli bir sayı ile, su çıkışı varsa da eksi (-) değerlikli bir sayı ile gösterilmiştir. Burada, mevcut durum ve gelecek için bilinen tüm su transferleri yansıtılmış olup gelecekte yeni planlanacak olan transferler de yerel ölçekte incelenerek bu özet tabloya yansıtılmalıdır. Proje kapsamında Mart 2016 itibariyle DSİ Genel

Müdürlüğü'nden temin edilen havzalararası su transferi verilerine göre, Kızılırmak Havzası Sakarya Havzası'na su vermekte olup Seyhan Havzası'ndan su alacaktır. Mevcut durumda Kızılırmak Havzası Kesikköprü Barajı'ndan temin edilen 55 milyon m^3 su Sakarya Havzası'na transfer edilmektedir. Buna ilaveten, Develi 2. Merhale Projesi kapsamında Zamantı Tüneli ile Seyhan Havzası'ndan Kızılırmak Havzası Develi Ovasına su aktarılacak olup 2019'da tam kapasite ile 103 milyon m^3/yıl mertebesine ulaşılacaktır. Benzer şekilde, Kayseri İçme Suyu Projesi kapsamında Kızılırmak Havzası Sarımsaklı Ovasından yeraltı suyu alınacağından bu ovaya takviye amaçlı olarak yine Seyhan Havzası'ndan ilave su aktarımı yapılacak olup 2026 yılında 31 milyon m^3/yıl ile devreye sokulacaktır.

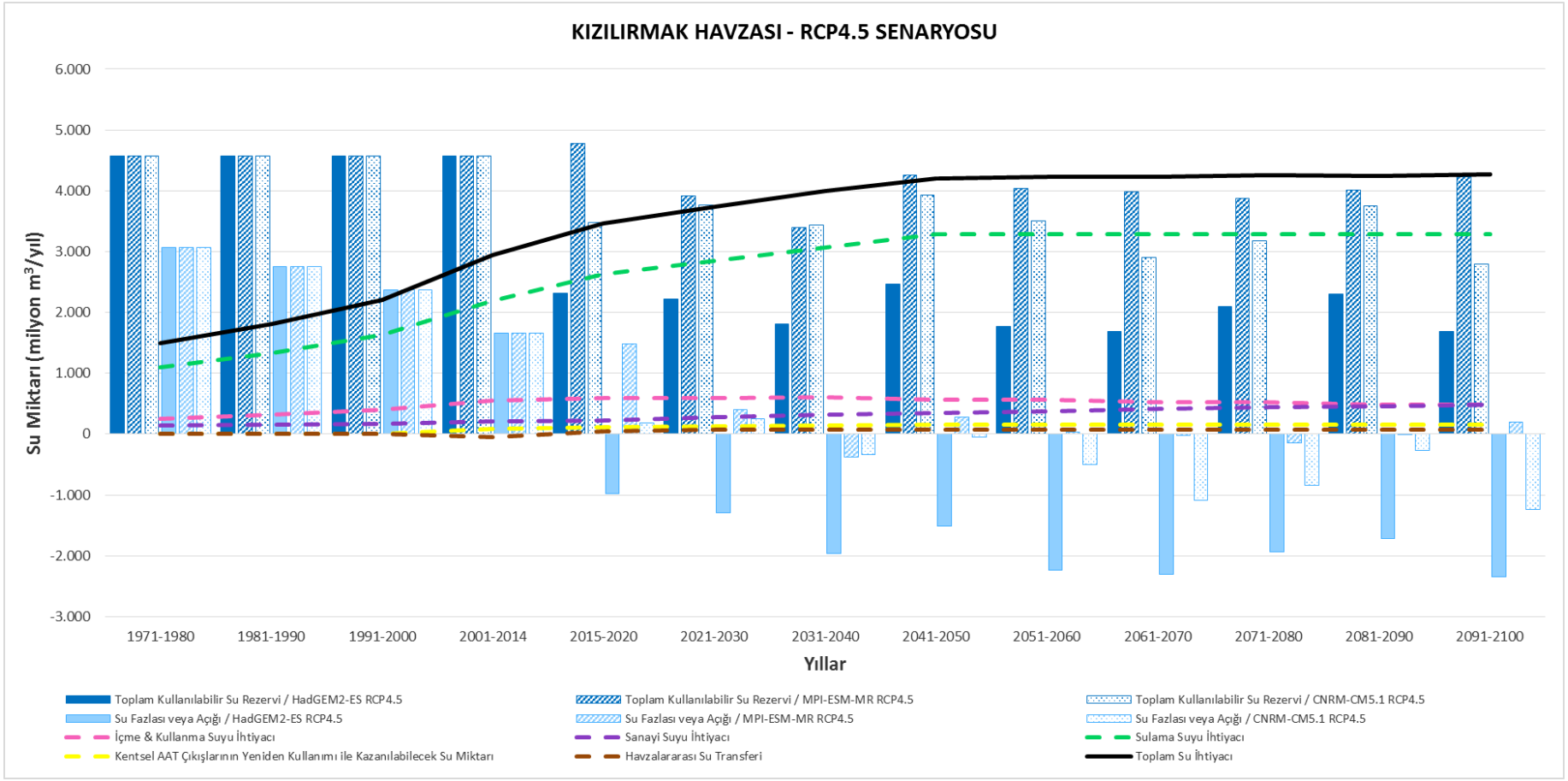
"8" no'lu satır, gelecekte su kullanımları ile ilgili bilincin artacağını da dikkat alarak, kentsel atıksu arıtma tesisleri çıkışlarından temin edilecek suyun yeniden kullanım miktarının tahmini projeksiyonuna işaret eder. Burada, havza bazlı AAT çıkış değerleri ve yeniden kullanım oranları, Havza Koruma Eylem Planları'ndan (2010 ve 2014) temin edilmiştir.

Son olarak "9" no'lu satır olarak adlandırılan su fazlası veya açığı bileşeni, öncelikle tahmini net su ihtiyacından tahmini su kullanımlarının/tüketimlerinin çıkartılması, ardından bilinen havzalar arası su transferlerinin (+ veya – değerde) yansıtılması ve son olarak kentsel AAT çıkışlarının yeniden kullanımı ile geri kazanılabilecek su miktarının da eklenmesi suretiyle hesaplanmıştır ("9" = "2" - "6" $\pm$ "7" + "8"). Burada, hidrolojik modellemeye ilaveten ("1". satır), diğer pek çok farklı parametreyi de dikkate alan bütünleşik bir yaklaşımla ("2", "3", "4", "5", "6", "7", "8" ve "9". satırlar), havzadaki su mevcudiyeti ve su ihtiyacı ilgili muhtemel değişimler 2100 yılına dek tahmin edilmeye çalışılmıştır.

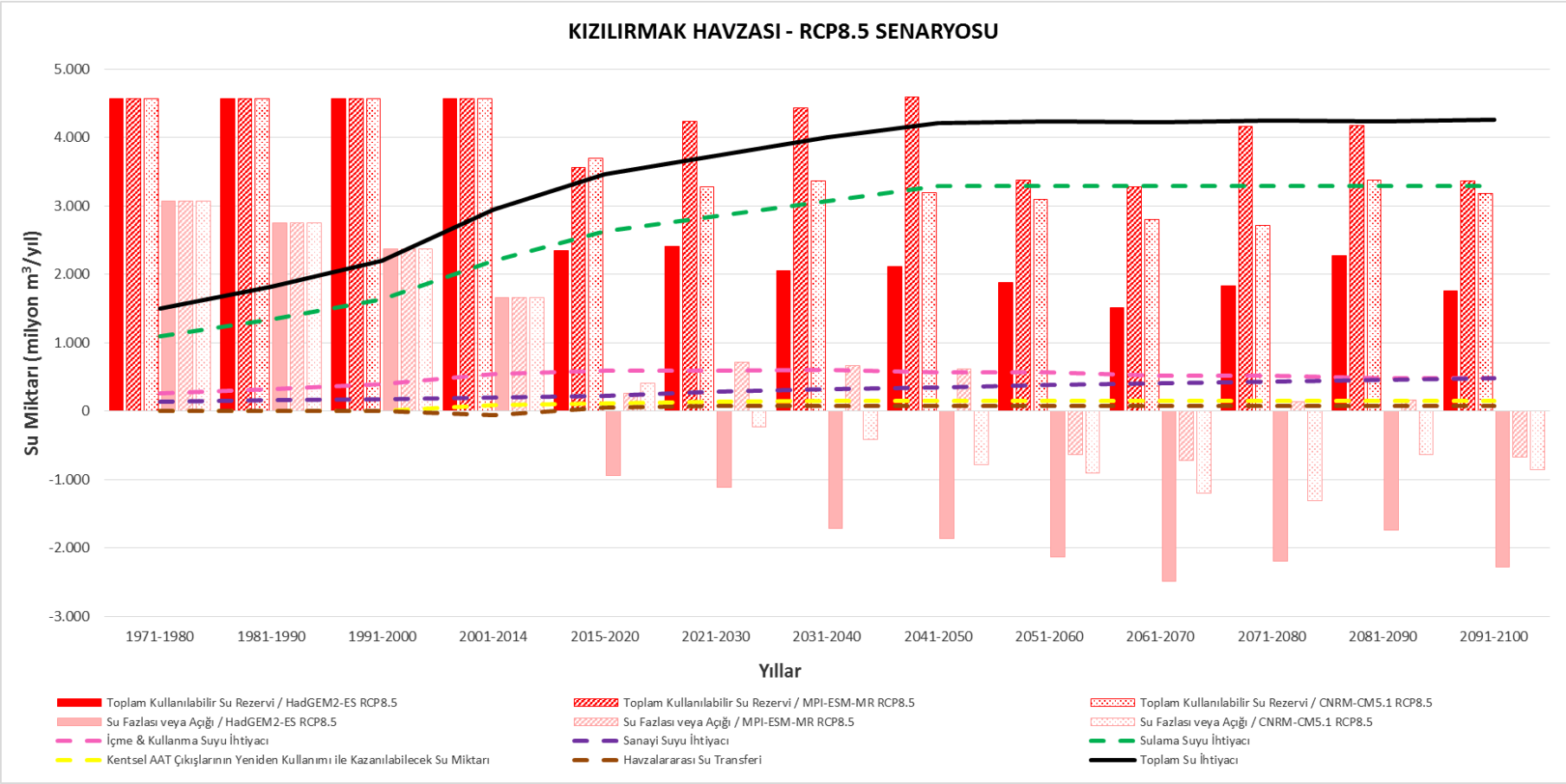
Tabloda "1" olarak adlandırılan satırlarda yer alan değerler hidrolojik model sonuçlarını "2" olarak adlandırılan satırlarda yer alan değerler de model sonuçlarından üretilen değerleri ifade etmekte olup bu satırlarda yer alan değerler ilgili 10 yıllık periyot için hesaplanan değerlerin ortalamasını ifade etmektedir. Tabloda "3", "4", "5" ve "6" olarak adlandırılan satırlarda yer alan değerler su ihtiyacı ile ilgili olup daha çok nüfus projeksiyonlarına dayanmaktadır. Dolayısıyla söz konusu satırlarda yer alan değerler bir periyotu değil belirli bir yılı ifade etmektedir. Benzer şekilde tabloda "7" ve "8" olarak adlandırılan satırlarda yer alan bilgiler de bir periyoda değil belirli bir yıla karşılık gelmektedir. Tabloda "9" olarak adlandırılan satırda yer alan değerler, diğer satırlarda yer alan tüm değerler kullanılarak hesaplanmaktadır ve sonuçlar 10 yıllık periyoda karşılık gelmektedir. Söz konusu satırda yer alan su fazlası ya da açığı hesaplanırken, güvenli tarafta kalmak adına ilgili 10 yıllık periyodun son yılına karşılık gelen su ihtiyacı değerleri kullanılmaktadır.

Tablo 17.27. Kızılırmak Havzası Yıllık Toplam Su İhtiyacı Projeksiyonu

No	Su Kaynakları (milyon m^3/yıl)	2015-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	2071-2080	2081-2090	2091-2100
1	Toplam Brüt Su Potansiyeli / HadGEM2-ES RCP4.5	4.373	4.154	3.388	4.518	3.336	3.107	3.862	4.254	3.080
	Toplam Brüt Su Potansiyeli / HadGEM2-ES RCP8.5	4.435	4.473	3.856	3.975	3.422	2.804	3.375	4.083	3.150
	Toplam Brüt Su Potansiyeli / MPI-ESM-MR RCP4.5	8.505	6.996	5.872	7.405	7.000	6.788	6.647	6.930	7.225
	Toplam Brüt Su Potansiyeli / MPI-ESM-MR RCP8.5	6.459	7.451	7.637	7.943	5.892	5.721	7.181	7.098	5.711
	Toplam Brüt Su Potansiyeli / CNRM-CM5.1 RCP4.5	6.012	6.620	5.929	6.746	6.093	5.048	5.458	6.380	4.836
	Toplam Brüt Su Potansiyeli / CNRM-CM5.1 RC8.5	6.372	5.731	5.896	5.523	5.239	4.742	4.564	5.634	5.308
2	Toplam Kullanılabilir Su Rezervi / HadGEM2-ES RCP4.5	2.318	2.222	1.815	2.464	1.766	1.691	2.093	2.298	1.692
	Toplam Kullanılabilir Su Rezervi / HadGEM2-ES RCP8.5	2.351	2.409	2.055	2.113	1.876	1.507	1.836	2.273	1.755
	Toplam Kullanılabilir Su Rezervi / MPI-ESM-MR RCP4.5	4.778	3.915	3.397	4.255	4.040	3.981	3.874	4.011	4.228
	Toplam Kullanılabilir Su Rezervi / MPI-ESM-MR RCP8.5	3.561	4.234	4.437	4.591	3.376	3.275	4.166	4.178	3.362
	Toplam Kullanılabilir Su Rezervi / CNRM-CM5.1 RCP4.5	3.480	3.765	3.442	3.929	3.504	2.910	3.178	3.751	2.797
	Toplam Kullanılabilir Su Rezervi / CNRM-CM5.1 RCP8.5	3.698	3.282	3.359	3.190	3.096	2.797	2.714	3.379	3.179
No	**Su Kaynakları (milyon m^3/yıl)**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**	**2070**	**2080**	**2090**	**2100**
3	İçme & Kullanma Suyu İhtiyacı	594	593	606	564	564	523	523	488	488
4	Sanayi Suyu İhtiyacı	230	286	324	351	380	412	439	462	485
5	Sulama Suyu İhtiyacı	2.633	2.852	3.072	3.291	3.291	3.291	3.291	3.291	3.291
6	Toplam Su İhtiyacı	3.457	3.731	4.002	4.206	4.235	4.226	4.253	4.241	4.264
7	Havzalararası Su Transferi	48	79	79	79	79	79	79	79	79
8	Kentsel AAT Çıkışlarının Yeniden Kullanımı ile Kazanılabilecek Su Miktarı	116	135	149	150	150	150	150	150	150
No	**Su Kaynakları (milyon m^3/yıl)**	**2015-2020**	**2021-2030**	**2031-2040**	**2041-2050**	**2051-2060**	**2061-2070**	**2071-2080**	**2081-2090**	**2091-2100**
9	Su Fazlası veya Açığı / HadGEM2-ES RCP4.5	-975	-1.295	-1.959	-1.513	-2.240	-2.306	-1.931	-1.714	-2.343
	Su Fazlası veya Açığı / HadGEM2-ES RCP8.5	-942	-1.108	-1.719	-1.864	-2.130	-2.490	-2.188	-1.739	-2.280
	Su Fazlası veya Açığı / MPI-ESM-MR RCP4.5	1.485	398	-377	278	34	-16	-150	-1	193
	Su Fazlası veya Açığı / MPI-ESM-MR RCP8.5	268	717	663	614	-630	-722	142	166	-673
	Su Fazlası veya Açığı / CNRM-CM5.1 RCP4.5	187	248	-332	-48	-502	-1.087	-846	-261	-1.238
	Su Fazlası veya Açığı / CNRM-CM5.1 RCP8.5	405	-235	-415	-787	-910	-1.200	-1.310	-633	-856



Şekil 17.27 İklim Değişikliği Projeksiyonları RCP4.5 Senaryosuna göre Su Fazlası/Açığının Değişimi



Şekil 17.28 İklim Değişikliği Projeksiyonları RCP8.5 Senaryosuna göre Su Fazlası/Açığının Değişimi

Kızılırmak Havzası'nda toplam su ihtiyacının büyük kısmının sulama suyu olduğu, diğer sektörlerin ihtiyaçlarının daha düşük seyrettiği 2015'ten itibaren projeksiyon dönemi sonuna kadar genel itibariyle su ihtiyacının havzada sağlanamadığı ve su açığının tüm dönemler boyunca hissedilir bir şekilde devam ettiği anlaşılmaktadır. En yüksek ve en düşük su açığı değerleri ise her iki senaryo sonuçlarına göre sırası ile HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR modelleri tarafından üretilmiştir. Kızılırmak Havzası özelinde havzalararası su transferi yoluyla diğer havzalara su takviyesi yapıldığı da göz önünde bulundurulmalıdır. Model sonuçlarına göre en yüksek su açığı HadGEM2-ES modeli tarafından üretilmekte olup RCP4.5 senaryosuna göre 2091-2100 döneminde, RCP8.5 senaryosuna göre 2061-2070 döneminde görülmesi beklenmektedir. Kızılırmak Havzası'ndaki su açığı değerlerinin su ihtiyacının %62 oranını bulacağı tahmin edilmektedir.

17.3.2 Havzadaki Temel Hidrolojik Değişkenlerin Eğilim Analizi

Bu bölümde, proje kapsamında yer alan İklim Değişikliği Projeksiyonları ile çalıştırılan hidrolojik modelden Kızılırmak Havzası için elde edilen sonuçlar raporlanmıştır. Hidrolojik modelleme çalışması iki temel aşamadan oluşmaktadır:

Birinci aşamada, meteorolojik zaman serilerini akışlara dönüştüren bir hidrolojik model yapılandırılmış ve pek çok kaynaktan gelen verilerle girdi setleri oluşturulmuştur. SWAT Modelinde tanımlanmayan göl, gölet ve baraj göllerinin hidrolojik modelleme sürecine dahil edilebilmesi ve hidrolojik modelin iyileştirilmesi amacıyla WEAP Modelinden faydalanılmıştır. Bu kapsamda, havzalarda yer alan göl, gölet ve baraj göllerinin işletimleri WEAP Modeline girilmiştir. SWAT modelinden elde edilen akışa geçen su miktarına ait aylık değerler, WEAP modeline aktarılmış olup model aylık zaman adımı ile çalıştırılmıştır.

Model yapılandırılması tamamlandıktan sonra, simülasyonlara başlanmış olup elde edilen sonuçlar, DSİ verileri kullanılarak hazırlanmış olan havza su bütçeleri ile karşılaştırılmıştır. Dolayısıyla şu aşamada hidrolojik model kalibrasyonu, DSİ tarafından verilen su bütçesi verilerine göre yapılmaktadır.

Kızılırmak Havzası için hazırlanan su potansiyeli ve su bütçesi yukarıdaki bölümde verilmiştir. Modeldeki su bütçesi bileşenleri, DSİ verileri kullanılarak hazırlanan su bütçeleri ile karşılaştırılmıştır. En önemli değişkenler olan toplam akış ve yeraltı suyu beslemesinin, çalışmanın bu aşamasında yeterli duyarlılıkta sonuç verdiği gösterilmiştir. (Tablo 17.28). Hidrolojik modelleme metodolojisi Ek 1'de verilmektedir.

Tablo 17.28. Kızılırmak Havzası için Hidrolojik Model Sonuçlarının Mevcut Veriler İle Mukayesesi

Bileşen	Su bütçesi verileri (milyon m^3/yıl)	Su bütçesi model sonuçları (milyon m^3/yıl)	Bağıl Hata (%)
Toplam akış	6480	6540,8	0,94
YAS potansiyeli	1531	1398,5	-8,65
Toplam	8011	7939,3	-0,90

İkinci aşamada ise, DSİ su bütçeleri ile uyumlu sonuçlar veren model, İklim Değişikliği Projeksiyonlarınca türetilen meteorolojik zaman serileri ile tekrar çalıştırılarak hidrolojik model projeksiyonları tamamlanmıştır.

Model sonuçlarının incelenmesinde kullanılan bazı temel parametreler aşağıda açıklanmıştır:

- Yağış: DSİ tarafından sağlanan havza üzerine km^3 olarak düşen yağıştan türetilmiş ve alan düzeltmesi yapılmış yıllık toplam yağış (Türkiye'deki tüm akarsular su kütlesi olarak ele alınmadığından, bazı havzalardaki alanlar farklı olabilmektedir.)
- Toplam akış: Hidrolojideki yüzeysel akış, yüzeyaltı akış ve baz akımlarının toplam değeri
- Zemin nemi (suyu): Toprakta YAS üzerinde yer alan doymamış bölgedeki toplam su muhteviyatı
- Minimum akış: Her 10 yıllık dönemde gerçekleşen yıllık ortalama akışlardan en düşüğü
- Maksimum akış: Her 10 yıllık dönemde gerçekleşen yıllık ortalama akışlardan en yükseği
- Ortalama akış: Her 10 yıllık dönemde gerçekleşen yıllık ortalama akışların ortalama değeri
- Yüzde (%) fark: Her bir projeksiyon dönemindeki parametre değeri ile referans dönemdeki parametre değerinin farkı

Bu bölümde yer alan grafiklerdeki gösterimler de aşağıda verilmektedir:

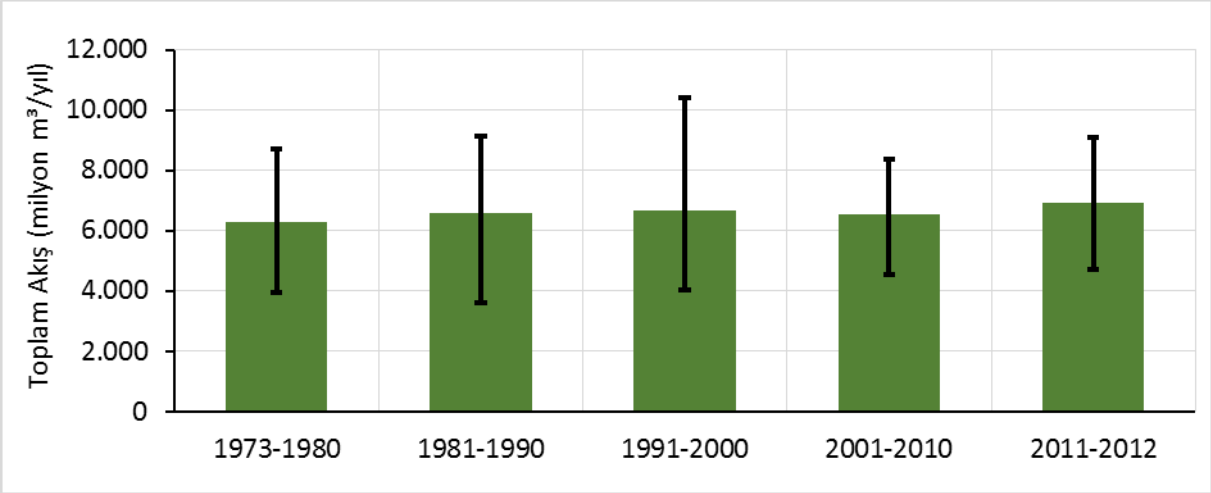
- Çubuk: 10 yıllık veya 30 yıllık ortalama değerler
- Minimum/maksimum çizgisi: 10 yıllık veya 30 yıllık dönem içerisindeki yıllık ortalamalar arasında, minimum ve maksimumu veren yıllık ortalama değerler

17.3.2.1 İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Havzadaki Temel Hidrolojik Eğilim Analizi

Toplam Akış

Toplam akış, yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı ve baz akışın toplamını içermektedir. SWAT bir yeraltı suyu akım modeli olmadığından, kaynaklar (pınarlar) da baz akım içinde ele alınmıştır. Bu değer aynı zamanda *mavi su* akışı olarak da tanımlanabilmektedir.

Şekil 17.29 ile referans yılları için modelden alınan toplam akış sonuçları verilmektedir.

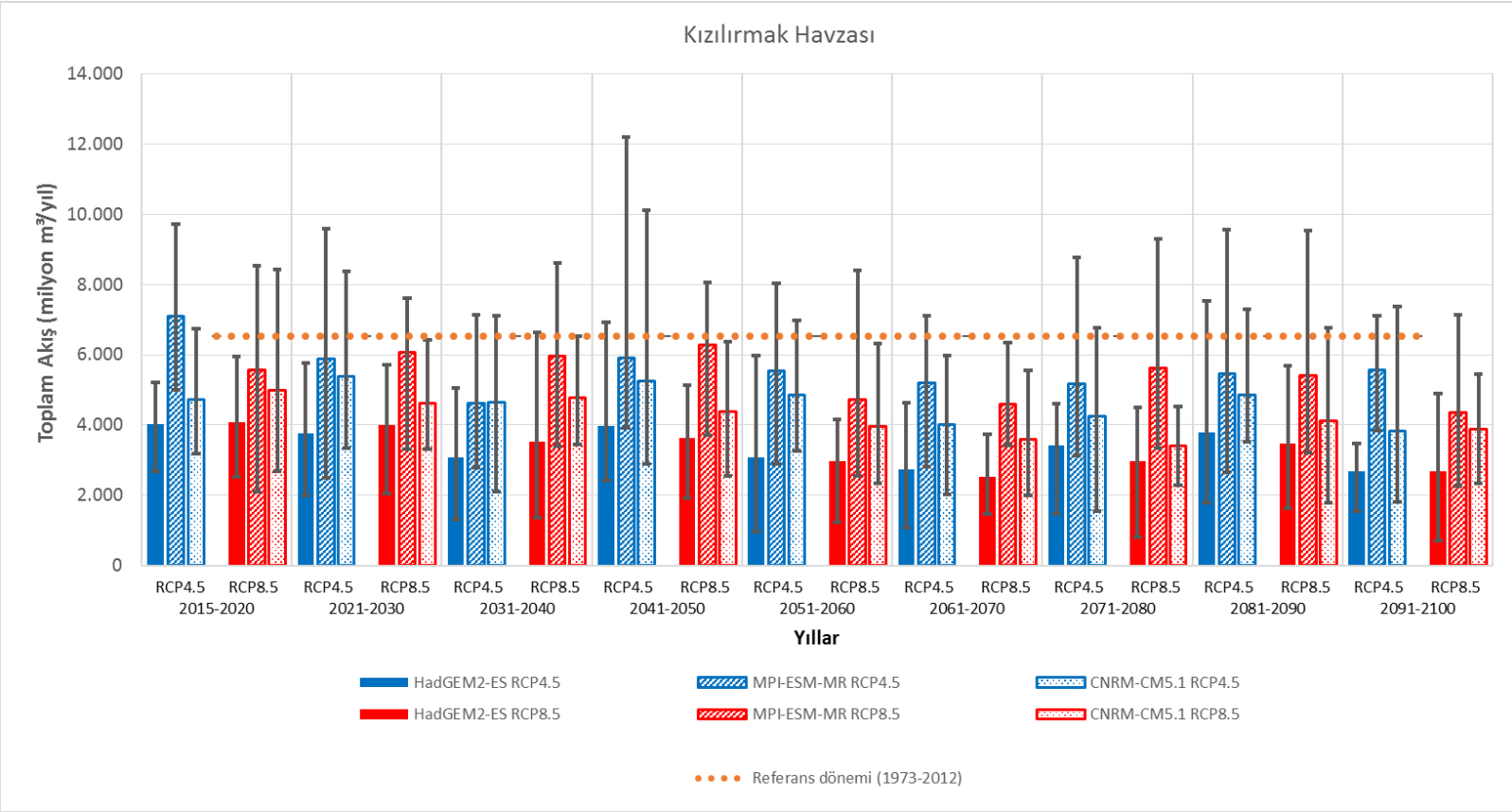


Şekil 17.29 Kızılırmak Havzası'nın Referans Yılları için Hidrolojik Modelden Alınan Toplam Akış Sonuçları

Hidrolojik model tarafından hesaplanan toplam akış, DSİ tarafından tanımlanan brüt yerüstü suları potansiyeline karşı gelmektedir. Türkiye'nin brüt su potansiyelinin 234 milyar m^3 olarak hesaplandığı ve bunun 186 milyar m^3'lük bir kısmının brüt yerüstü suları potansiyeli olduğu dikkate alındığında *mavi su akışı* olarak da adlandırılan toplam akış büyük önem taşımaktadır.

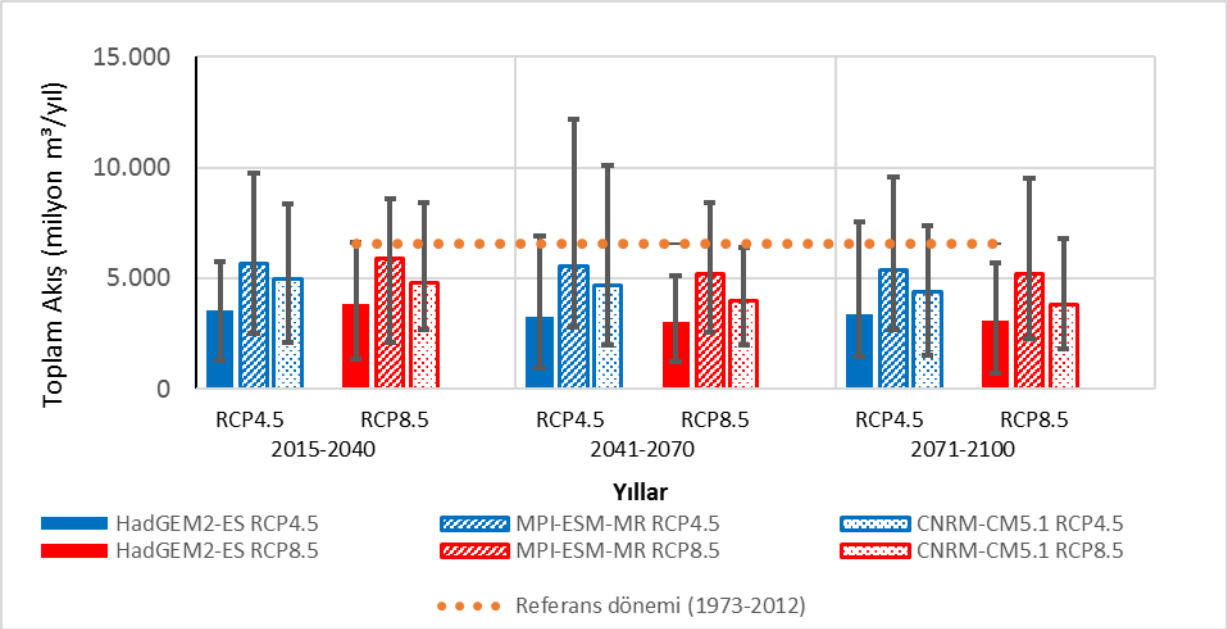
İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Kızılırmak Havzası'nda tahmin edilen 10 yıllık ve 30 yıllık ortalama akışlar Şekil 17.30 ve Şekil 17.31 ile verilmektedir.

10'ar yıllık dönemler incelendiğinde tüm model sonuçları referans dönem değerinin altında seyretmektedir. Referans değere ulaşabilen tek model senaryo ikilisi MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosu olup, bu değer 2015-2020 dönemi için üretilmiştir. MPI-ESM-MR modeli her iki senaryoda da genel olarak en yüksek değerleri üretmektedir. En düşük değerler ise HadGEM2-ES modelinin her iki senaryosu tarafından üretilmekte olup tüm projeksiyon döneminde sonuçlar benzer değerler almaktadır. 10'ar yıllık iklim projeksiyonları sonuçlarına göre havzadaki toplam akış değerinin %61 oranına varan azalma gözlenmektedir.



Şekil 17.30 Kızılırmak Havzası İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Toplam Akış 10 Yıllık Ortalamaları

Üç farklı iklim modeli, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ile tüm 30'ar yıllık dönemler boyunca referans dönemin altında sonuçlar üretmiştir. Genel olarak en yüksek değerleri üreten MPI-ESM-MR modelinin, RCP4.5 senaryosuna ait referans döneme ulaşabilen değeri (2015-2020 dönemi) 2015-2040 dönemi içinde sönümlenmiştir. Model sonuçları tüm 30'ar yıllık dönemlerde kendi içinde benzerlikler sergilemektedir. En düşük değerler ise 10'ar yıllık ortalamalara paralel olarak HadGEM2-ES modeli her iki senaryosu tarafından üretilmiştir. Genel itibariyle model sonuçları arasında istikrarlı bir durum göze çarpmaktadır. 30 yıllık ortalamalara göre havzadaki toplam akış değerinin en fazla 2041-2070 döneminde %54 oranında düşmesi beklenmektedir.

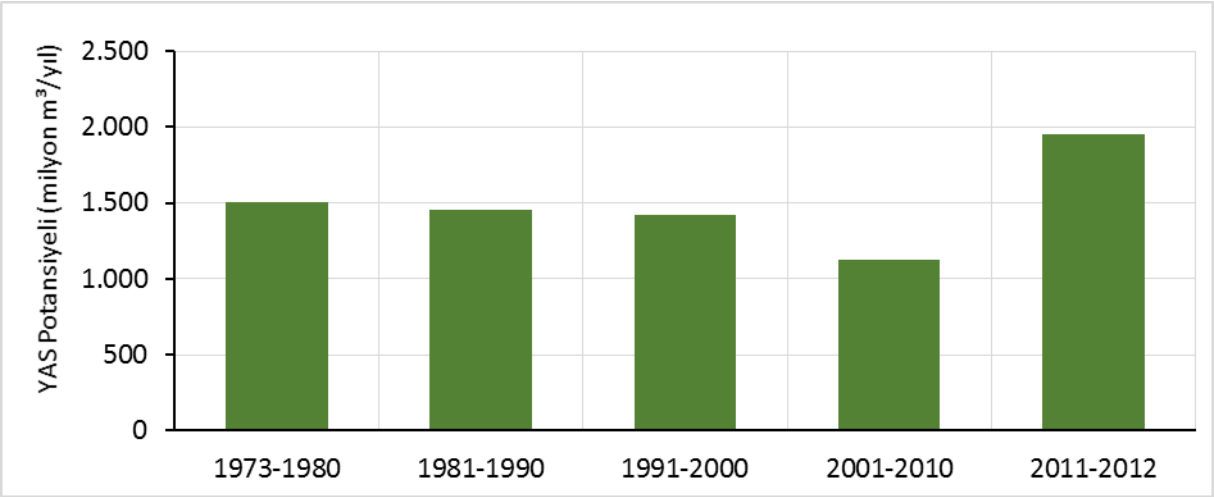


Şekil 17.31 Kızılırmak Havzası İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Toplam Akış 30 Yıllık Ortalamaları

Net YAS Potansiyeli

Burada, akiferin net potansiyeli, başka bir deyişle yıl boyunca vadoz bölgeden akifere ulaşan net su akışı verilmektedir. SWAT Modeli, perkolasyonu (derine sızma) tek yönlü olarak ve yalnızca pozitif değerde verdiğinden, zeminin aşırı kuruması nedeniyle yeraltı suyundan kapiler yükselme ve benzeri süreçlerle zemin nemi eksikliğinin tamamlanması dikkate alınmamıştır. Ancak SWAT, bu etkiyi de *REVAP* olarak adlandırılan bir süreçle ayrıca hesaplamaktadır. Bu nedenle, vadoz bölgeden akifere yıl boyunca iletilen net su akışı, perkolasyon ve REVAP süreçlerinin farkı olarak hesaplanmaktadır.

Şekil 17.32 ile referans yılları için modelden alınan net YAS potansiyeli sonuçları verilmektedir.

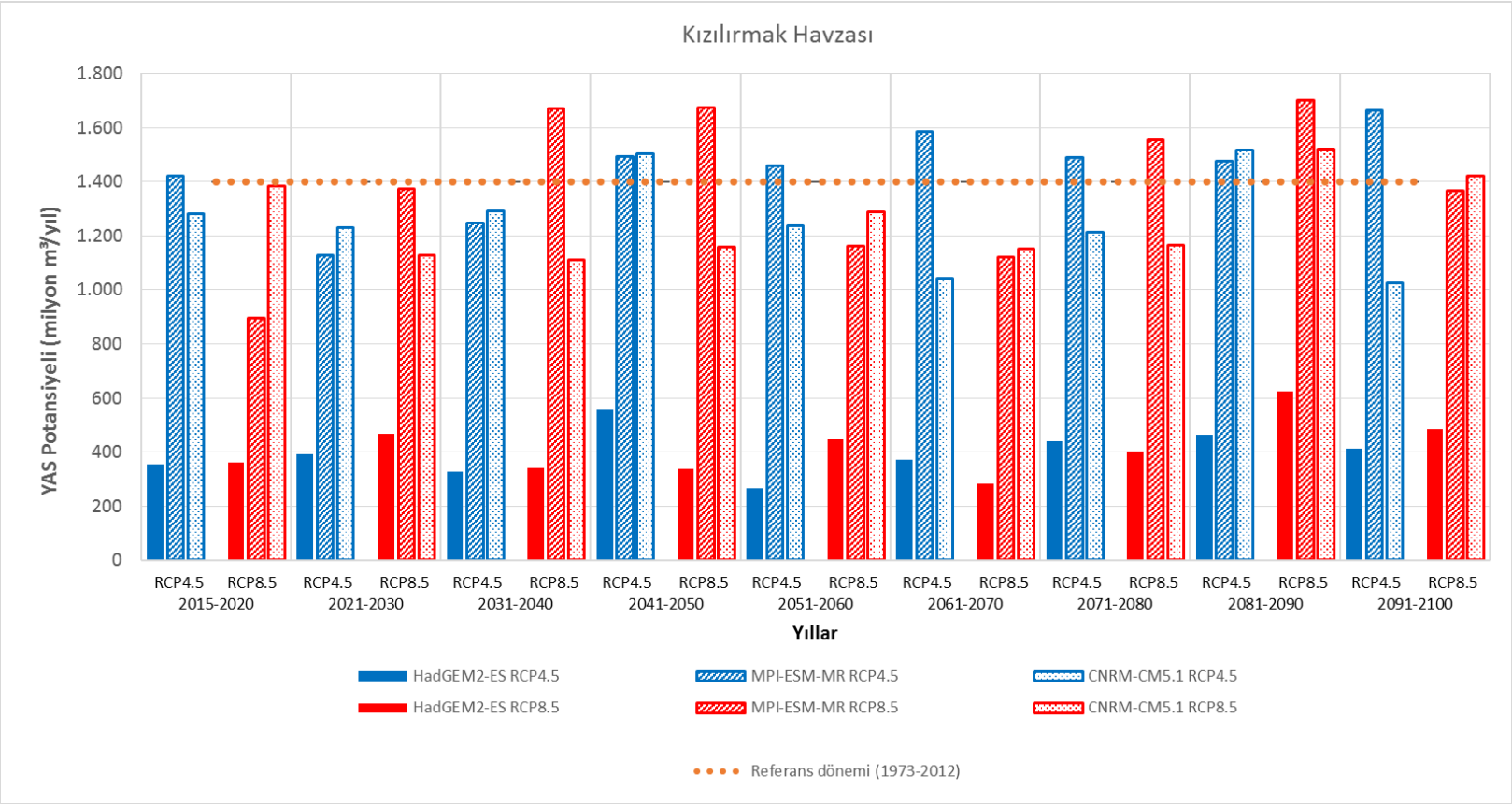


Şekil 17.32 Kızılırmak Havzası'nın Referans Yılları için Hidrolojik Modelden Alınan Net YAS Potansiyeli Sonuçları

Net YAS potansiyelinin doğru hesaplanmasında önemli olan REVAP mekanizmasının, doğru olarak çalıştırılabilmeleri için, havza içindeki akiferlerin konumsal dağılımlarının, akifer özelliklerinin ve statik YAS rezervlerinin ortaya konulması ve model içinde tanımlanması gerekmektedir. Mevcut hidrolojik model girdileri, YAS ile ilgili kalibre edilen model parametrelerinin değişken iklim koşullarında geçerlilikleri analiz edilerek ve geçerli olmamaları durumunda zamana göre değişken olarak modele girilmesi sağlanmıştır.

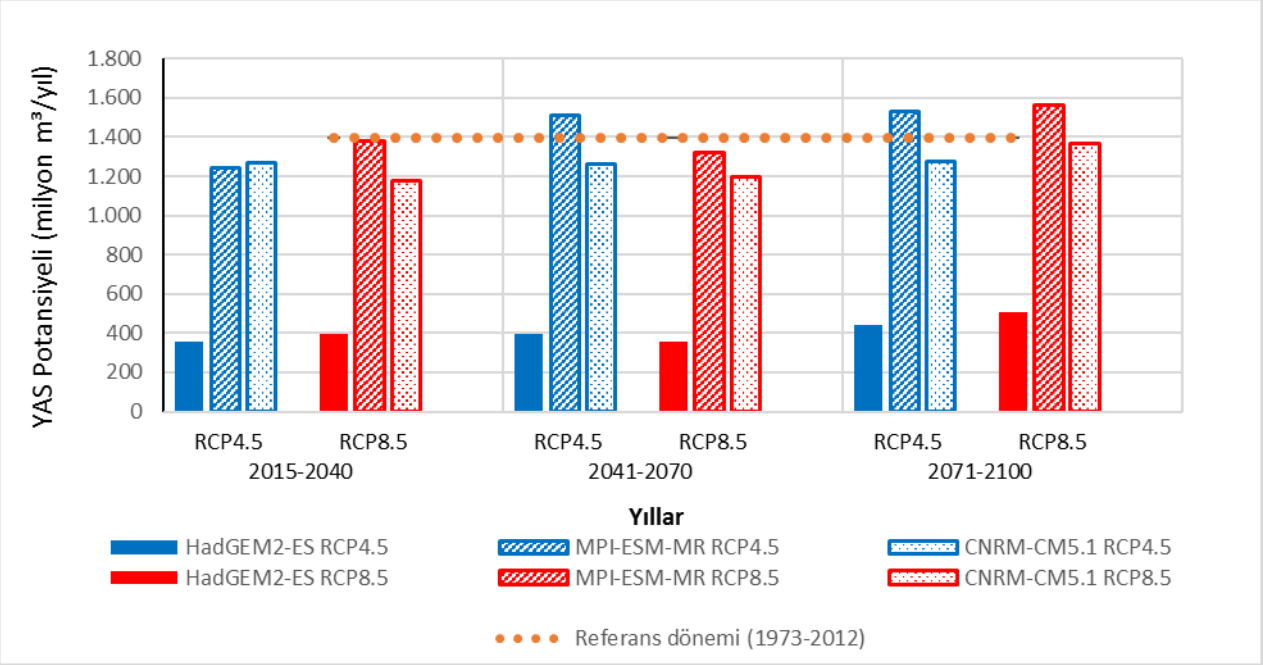
Kızılırmak Havzası'nda tahmin edilen net YAS potansiyelinin 10 ve 30 yıllık ortalamaları Şekil 17.33 ve Şekil 17.34 ile verilmektedir.

Şekil 17.33 incelendiğinde, MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının, CNRM-CM5.1 modelinin RCP8.5 senaryosunun 10'ar yıllık dönemlerde referans dönem değerinin civarında ve/veya üzerinde sonuçlar verdiği dönemler olduğu görülmektedir. Tüm dönemlerde en düşük sonuç HadGEM2-ES modelinin her iki senaryosu tarafından üretilmektedir. Genel itibariyle tüm 10'ar yıllık dönemlerde aynı modele ait sonuçlar arasında önemli farklılıklar göze çarpmayıp istikrarlı bir durumun sergilendiği söylenebilir. Kızılırmak Havzası'nda YAS potansiyelinin 2051-2060 döneminde referans dönemine göre % 81'e varan azalma beklenmektedir.



Şekil 17.33 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen YAS Potansiyelinin 10 Yıllık Ortalamaları

10’ar yıllık dönemde gözlenen gidişat 30’ar yıllık grafiklerde de açıkça ortaya çıkmaktadır. MPI-ESM-MR modelinin her iki senaryosu, CNRM-CM5.1 modelinin ise sadece RCP8.5 senaryosu, 2041-2100 dönemi içerisinde referans döneme ulaşan veya referans dönemi civarında değer üretmiştir. Tüm projeksiyon dönemi boyunca ulaşılan en yüksek değerin 2071-2100 dönemi için MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosu sonuçları olduğu göze çarpmaktadır. 10’ar yıllık ortalamalara paralel olarak tüm dönemlerde en düşük sonuç HadGEM2-ES modelinin her iki senaryosu tarafından üretilmektedir. Genel itibariyle tüm 30’ar yıllık dönemlerde model sonuçları arasında önemli farklılıklar göze çarpmayıp istikrarlı bir durumun sergilendiği söylenebilir. 30 yıllık ortalama Net YAS potansiyeli sonuçlarına göre HadGEM2-ES modeli RCP4.5 senaryosu 2015-2040 döneminde, RCP8.5 senaryosunda ise 2041-2070 döneminde referans değerine göre %75’e varan oran ile en fazla azalmanın görülmesi beklenmektedir.



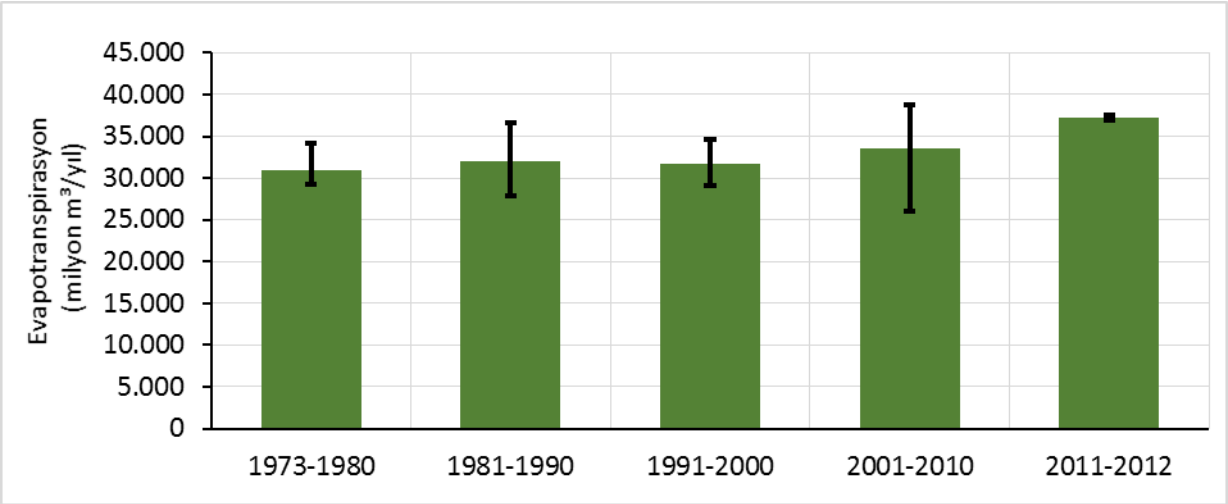
Şekil 17.34 Kızılırmak Havzası’nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen YAS Potansiyelinin 30 Yıllık Ortalamaları

Evapotranspirasyon

SWAT Modeli, öncelikle potansiyel evapotranspirasyonu (PET), ardından günlük olarak zemin nemi miktarı, bitki türü, bitkinin gelişme durumu ve bitkinin solunumunu dikkate alarak, gerçek evapotranspirasyonu hesaplamaktadır. Bitkilerin, atmosferdeki karbondioksit artışı durumunda, gaz değişimi için gözeneklerini daha kısa süre açmaları ve sıcaklık artışından dolayı birim zamanda kaybettikleri suyun artmasına karşın gözeneklerini daha kısa süre açık tutmaları dolayısıyla bu etki bir miktar dengelenmektedir. SWAT Modeli söz konusu süreci

ancak Penman Monteith yöntemi kullanıldığında hesaba katabildiğinden, bu etkinin değerlendirilmesinde uygun yöntem olarak Penman Monteith yöntemi seçilmiştir. Bu süreç, stomat (gözenek vb.) direncinin düşmesi olarak da tanımlanmaktadır (Körner C. , 1977) (Körner & diğ., 1979).

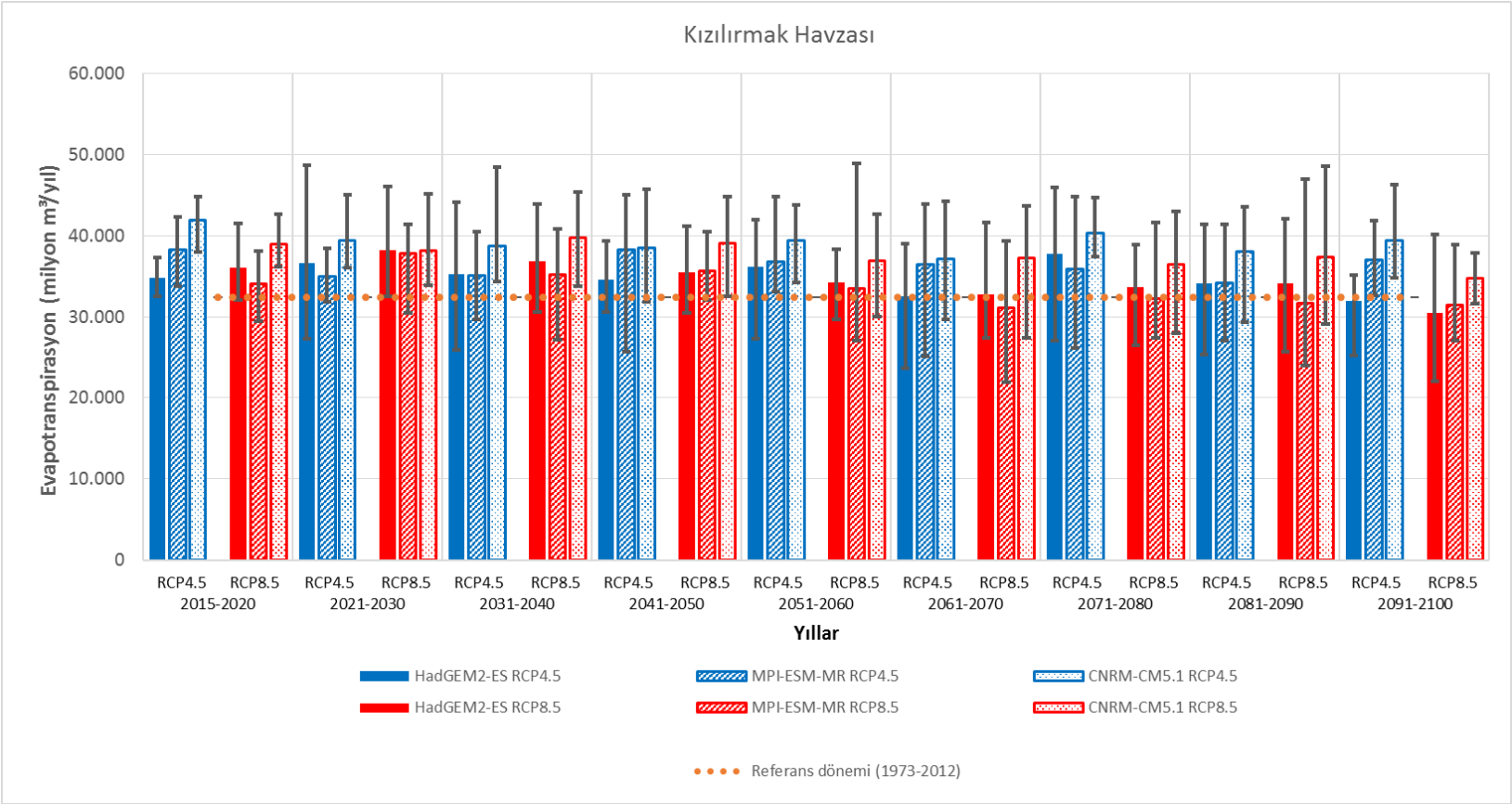
Şekil 17.35 ile referans yılları için modelden alınan evapotranspirasyon sonuçları verilmektedir.



Şekil 17.35 Kızılırmak Havzası'nın Referans Yılları için Hidrolojik Modelden Alınan Evapotranspirasyon Sonuçları

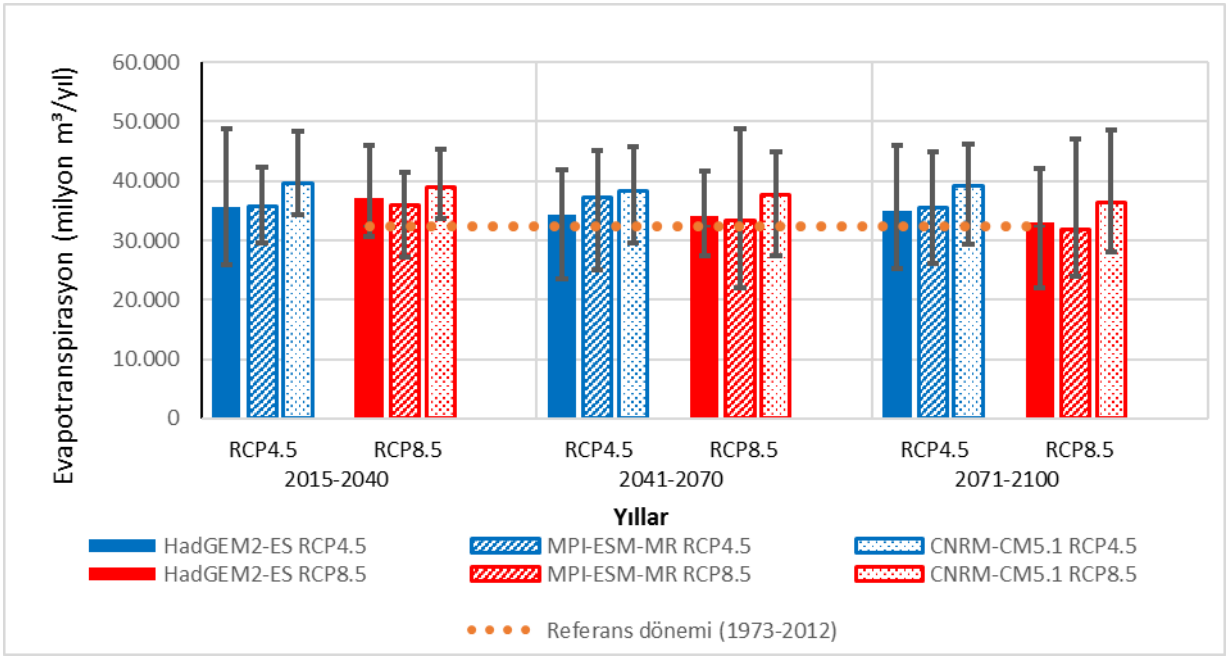
İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Kızılırmak Havzası'nda tahmin edilen evapotranspirasyonun 10 ve 30 yıllık değişimleri Şekil 17.36 ve Şekil 17.37 ile verilmektedir.

Genel itibariyle 10'ar yıllık dönemlerde üretilen model sonuçları referans dönemin üzerinde ve/veya civarında seyretmekte ve tüm modeller ile senaryo sonuçları önemli salınımlar yapmaksızın istikrarlı bir durumu tüm dönemlerde sergilemektedir. Aynı modelin her iki senaryo sonuçları arasında önemli farklılıklar meydana gelmemektedir. Tüm model sonuçları değerlendirildiğinde havzadaki en düşük evapotranspirasyon değerini 2091-2100 döneminde HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosu üretmiş olup referans dönemine göre %6 oranında azalacağı gözlenmiştir.



Şekil 17.36 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Evapotranspirasyonun 10 Yıllık Ortalamaları

10’ar yıllık dönemlerde gözlenen durum 30 yıllık ortalamalara da yansımakta ve benzer kararlı gidişat net bir şekilde gözlenmektedir. Tüm dönemlerde tüm üretilen sonuçlar referans dönemi üzeri ve/veya civarında seyretmektedir. Genel itibariyle tüm model ve senaryo sonuçları birbirlerine yakın değerler üretmektedir. En düşük değerleri üreten model HadGEM2-ES ile MPI-ESM-MR modelleri arasında değişmekte iken, en yüksek değer tüm projeksiyon dönemi boyunca CNRM-CM5.1 modeli ile üretilmiştir. Havzadaki 30’ar yıllık projeksiyon sonuçlarına göre havzadaki en düşük evapotranspirasyon değerini 2071-2100 döneminde MPI-ESM-MR modeli üretmiş olup referansa göre %2 oranında azalması beklenmektedir.



Şekil 17.37 Kızılırmak Havzası’nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Evapotranspirasyonun 30 Yıllık Ortalamaları

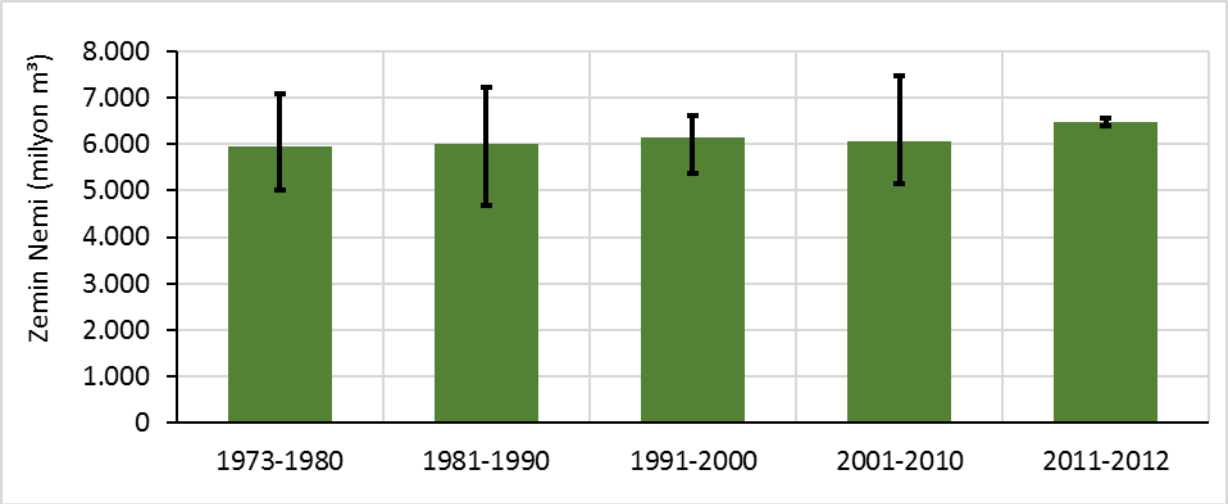
Zemin Nemi

Bu bölümde, 10 yıllık ortalama zemin nemleri verilmektedir. Zemin neminin gösterilmesinin amacı, esas itibariyle önemli bir su kaynağı olan topraktaki statik rezervin ortaya konulmasıdır. Zemin nemi, kuru tarımın desteklenmesi ve doğal kara ekosistemlerindeki bitki örtüsünün su ihtiyacının karşılanması için de önemli bir su kaynağı olarak değerlendirilmekte ve bu nedenle “*yeşil su*” olarak tanımlanmaktadır.

Zemin nemi, toprağın da önemli bir su kaynağı olabileceği ele alınarak incelenmiştir. Özellikle kuru tarım alanlarında ve sulama yapılmayan doğal kara ekosistemlerde bitkilerin yaşamlarını

sürdürmeleri için gerekli suyun, neredeyse tamamı zemin neminden karşılanabilmektedir. Bu nedenle doğal ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından da önem arz etmektedir.

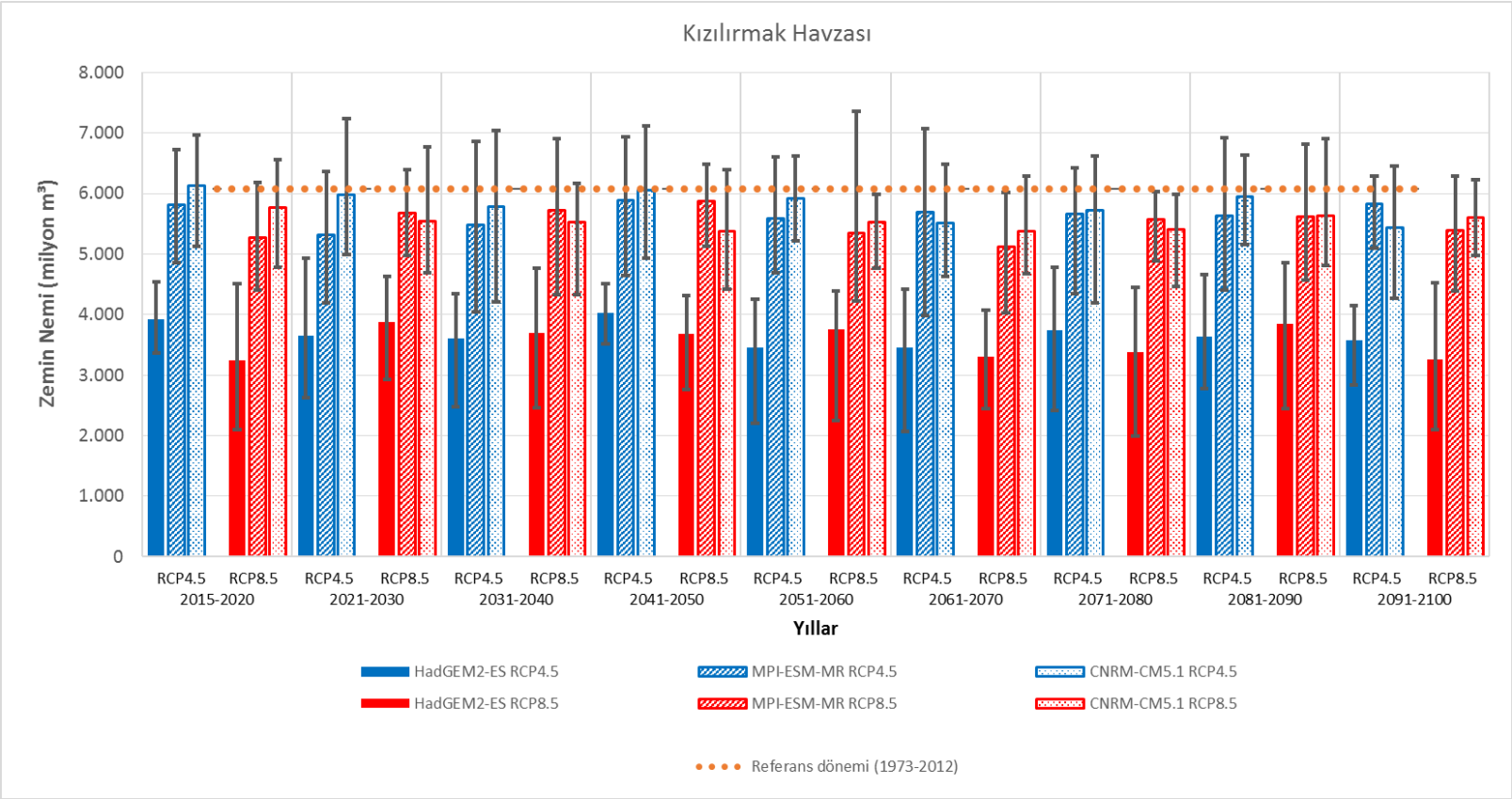
Şekil 17.38 ile referans yılları için modelden alınan zemin nemi sonuçları verilmektedir.



Şekil 17.38 Kızılırmak Havzası'nın Referans Yılları için Hidrolojik Modelden Alınan Zemin Nemi Sonuçları

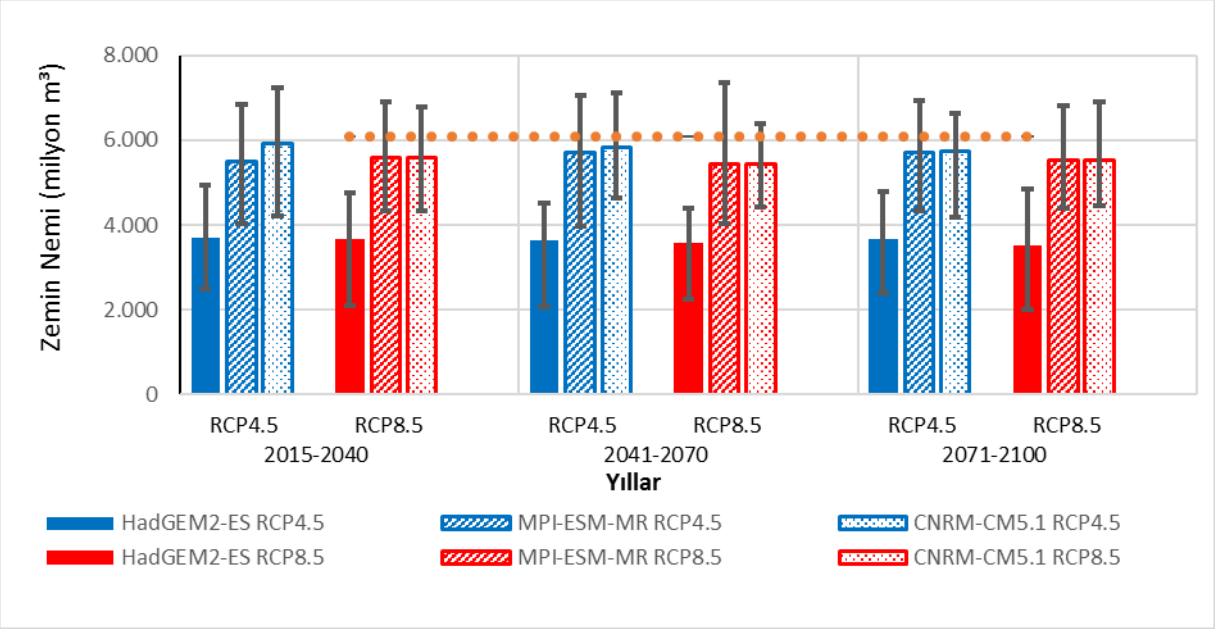
Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre elde edilen zemin nemi sonuçları Şekil 17.39 ve Şekil 17.40 ile verilmektedir.

10'ar yıllık ortalama değerler incelendiğinde, genel itibariyle tüm dönemlerde en düşük sonuçları her iki senaryo için HadGEM2-ES modeli ile öngörülmüş iken, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri sonuçları dönem dönem birbirleri önüne geçerek en yüksek değeri değişken olarak üretmiştir. Model sonuçları incelendiğinde referans dönemi aşabilen model senaryo ikilisi görülmemektedir. Ancak, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin her iki senaryoları sonuçları tüm dönemlerde yaklaşık değerler alarak referans dönemin civarında seyretmektedir. Tüm dönemlerde her model ve senaryonun sonuçları arasında benzerlikler bulunmaktadır. HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosu 2015-2020 döneminde en düşük değerleri üretilmiştir. Havzada zemin nemi parametresinin referans dönemine göre %47 oranına varan azalışlar gözlenmektedir.



Şekil 17.39 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Zemin Neminin 10 Yıllık Ortalamaları

Gözlemlenen bu istikrarlı durum tüm 30'ar yıllık ortalamalarda net bir şekilde görülmektedir. HadGEM2-ES modelinin her iki senaryosu en düşük değerleri üretirken, diğer iki modelin göreceli olarak daha yüksek değerlerdedir. MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin her iki senaryosu sonuçları tüm dönemlerde benzerlikler gösterip referans dönem civarında seyretmektedir.



Şekil 17.40 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Zemin Neminin 30 Yıllık Ortalamaları

Kızılırmak Havzası için iklim değişikliği projeksiyonu sonuçlarına göre havzadaki temel hidrolojik parametrelere ait 10 ve 30 yıllık ortalamalardaki model sonuçları ve eğilim analizi verileri Ek 17.2 bünyesinde elektronik olarak sunulmaktadır.

17.3.2.2 Kızılırmak Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarının Havzadaki Su Kaynakları Üzerindeki Olası Etkilerinin Analizi ve Senaryoların Mukayesesi

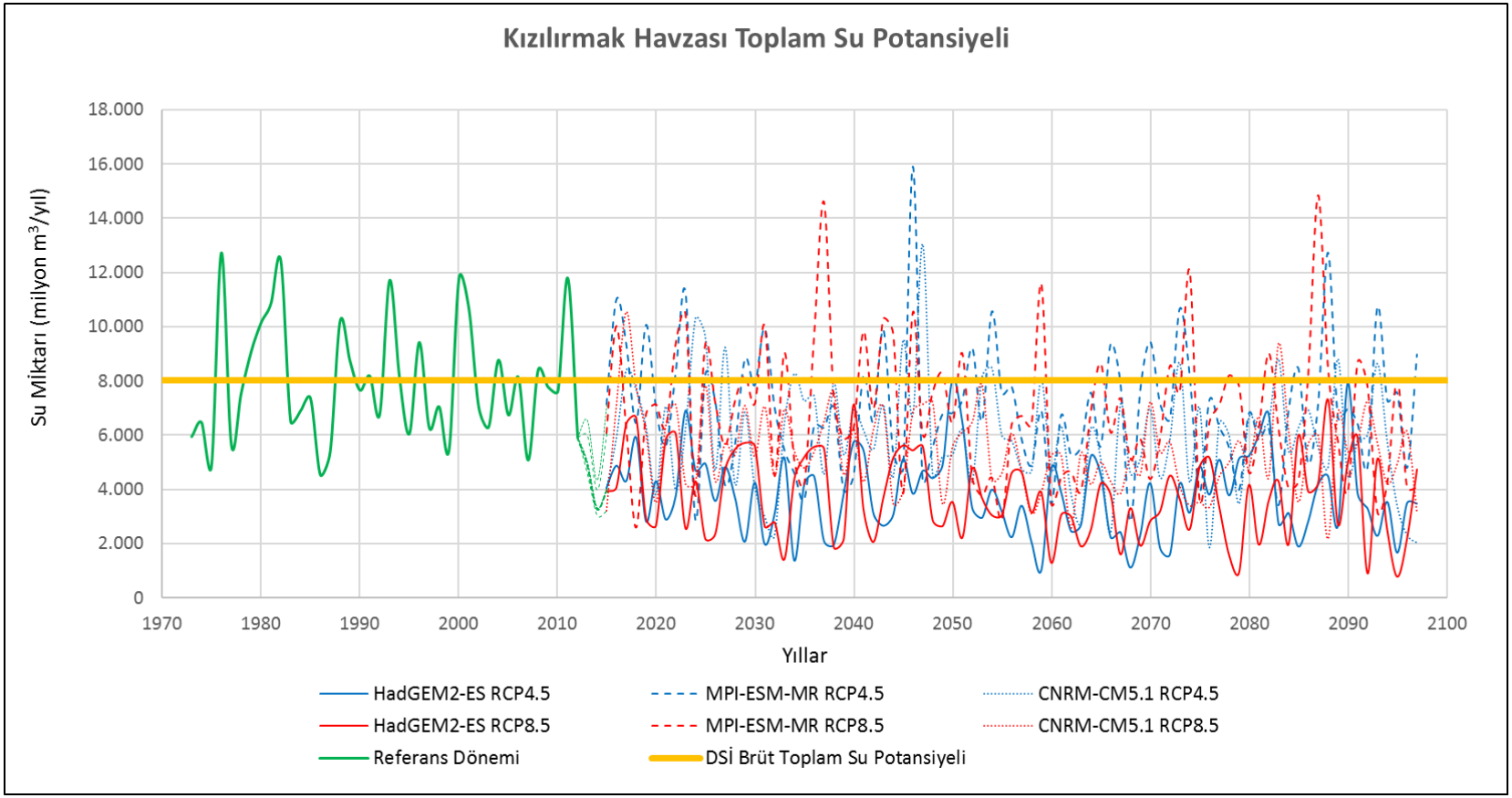
İklim Değişikliği Projeksiyonlarının Kızılırmak Havzası'ndaki su kaynaklarını nasıl etkileyeceği 2015-2100 dönemi için yıllık ortalamalarla Şekil 17.41 ile verilmiştir. Buna göre, aynı grafik üzerinde öncelikle 1973-2012 dönemini kapsayan son 40 yıllık referans dönemi ile birlikte, 2100 yılına kadarki İklim Değişikliği Projeksiyonlarının senaryoları kullanılarak çalıştırılan hidrolojik model sonuçları yansıtılmıştır. Literatürde de su potansiyelinin projeksiyonu yaygın olarak, yıllık bazlı değişimleri de ortaya koyan bu tip grafik üzerinden verilmektedir. Mukayese açısından önem arz eden, Kızılırmak Havzası özelinde DSİ tarafından verilen havza bazlı brüt su potansiyeli (8,01 milyar m^3) de grafik üzerinde sabit bir değer olarak ayrıca çizilmiştir.

Kızılırmak Havzası'nda iklim değişikliğinin yüzeysel su kaynakları üzerindeki etkilerini gösteren grafik Şekil 17.42 ile YAS kaynakları üzerindeki etkileri ise Şekil 17.43 ile verilmiştir.

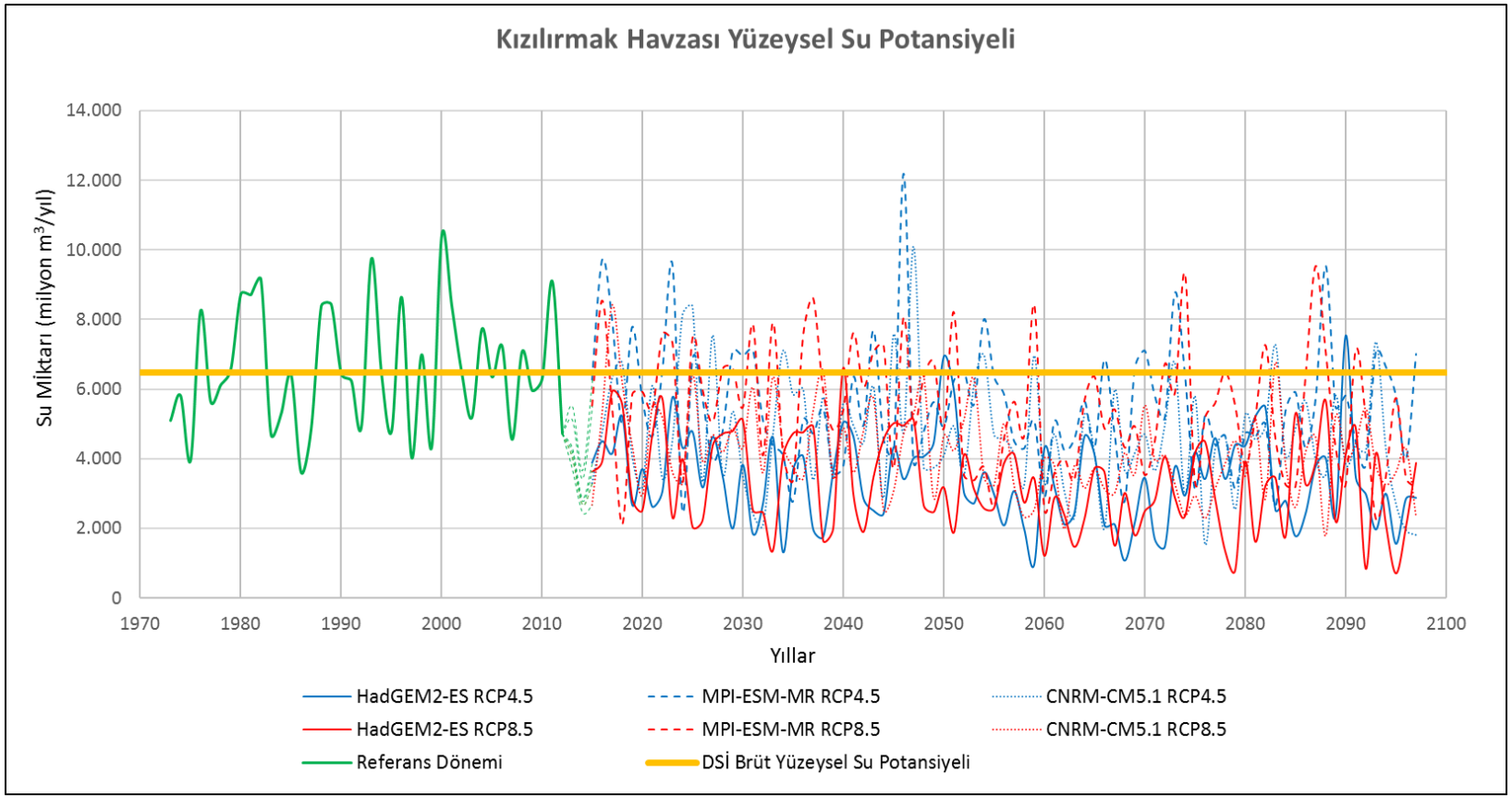
İklim Projeksiyonu RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları her üç model için incelendiğinde geniş bir aralıkta sonuçların yer aldığı ancak genel itibariyle DSİ brüt toplam su potansiyeli altındaki salınımların daha sıklıkla görülebildiği söylenebilir. Genel itibariyle HadGEM2-ES DSİ brüt toplam su potansiyelinin altında salınımlar yaparken, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri her iki senaryo sonuçları DSİ brüt toplam su potansiyelinin altında ve üzerinde değerler almaktadır. Ancak, MPI-ESM-MR modeline ait yükselişlerin daha sık ve fazla olduğu göze çarpmaktadır.

Havzanın toplam su potansiyelinin büyük bir kısmının yüzeysel su potansiyelinden oluştuğu göz önüne alındığında yüzeysel su potansiyeli değerlerinin tüm projeksiyon döneminde sergilediği gidişat toplam su potansiyeli gidişatıyla bir paralellik göstermektedir. Genel itibariyle tüm model sonuçlarının DSİ brüt yüzeysel su potansiyeli değerinin altında seyrettiği görülmektedir. Bazı dönemlerde MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin her iki senaryosunun sonuçlarının DSİ brüt yüzeysel su potansiyelinin değerinin üzerine kısa süreli olarak çıktığı izlenmektedir. Yine toplam su potansiyelinde olduğu gibi HadGEM2-ES model sonuçları en düşük değerleri üretmektedir. Projeksiyon dönemine ait model sonuçları referans döneme kıyasla azalma eğilimindedir.

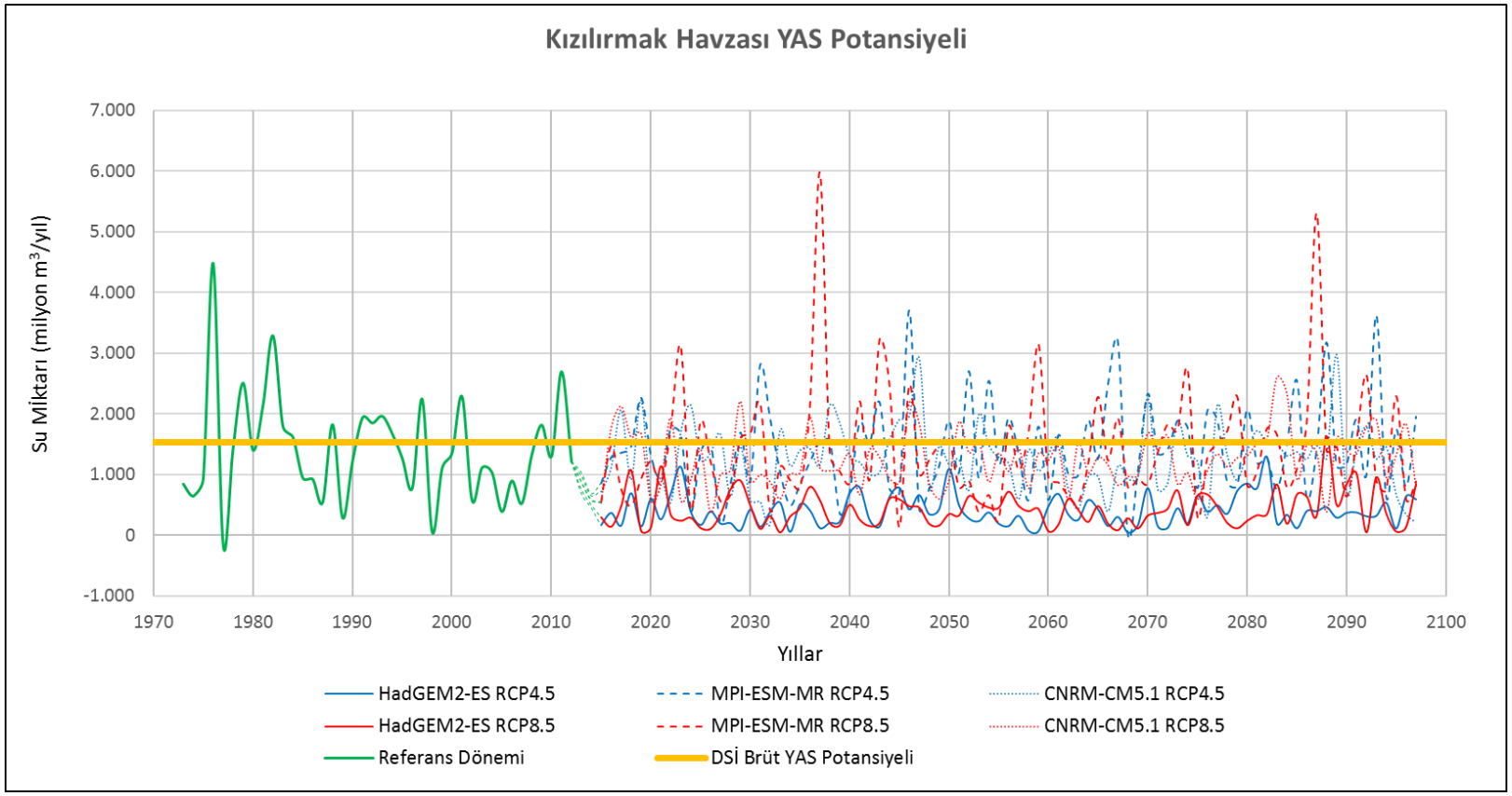
Kızılırmak Havzası'nın YAS potansiyeline bakıldığında genel itibariyle HadGEM2-ES modelinin her iki senaryosu sonuçlarının DSİ brüt YAS potansiyeli değerinin altında seyrettiği söylenebilir. Bu değerin üzerine çıkabilen ve baskın olmayarak pik değerler üretebilen model ise MPI-ESM-MR'dir.



Şekil 17.41. Kızılırmak Havzası'ndaki Toplam Su Potansiyelinin İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Yıllar içinde Değişimi



Şekil 17.42. Kızılırmak Havzası'ndaki Yüzeysel Su Potansiyelinin İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Yıllar içinde Değişimi



Şekil 17.43. Kızılırmak Havzası'ndaki YAS Potansiyelinin İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Yıllar içinde Değişimi

Söz konusu grafiklerde, yeşil renk ile gösterilen tarihsel verilerde olduğu gibi, gelecek dönem projeksiyonlarında da yıllık bazda bazı eksi (-) değerler gözlenebilmektedir. Gerek mevcut verilerin analizi ve gerekse model projeksiyonunda, suyun kütle dengesinden hareket edilmesi sebebiyle, iklim değişikliğinin etkisi bazı tekil yıllarda eksi değerler verebilmektedir. Bu durum su açığının, hidrolojik model kapsamında yer almayan yeraltı suyu statik rezervi ile kapanması durumuna işaret eder. Hidrolojik modeller sadece dinamik rezervi hesaplayabilmektedir; statik rezerv ise hidrojeolojik çalışmalar kapsamında yer almakta olup, Bölüm 17.4 ile verilmektedir.

Burada dikkat edilmesi gereken husus, yıllık değerleri münferit olarak yorumlamak yerine, en çok 10'ar yıllık ortalamalarla çalışmanın anlamlı olduğudur. Özellikle iklim değişikliği gibi etkileri uzun sürede ortaya çıkan olaylarda, söz konusu etkiler kısa süreli yıllık değerlerde gözlemlenmeyebilir. Uzun dönem ortalamalarında, ani ve kısa süreli (ekstrem) değişiklikler sönümlenerek, bilimsel açıdan kayda değer değerlendirmelere ulaşılabilmektedir. Ancak dönem aralığı genişledikçe, sönümlenme etkisi ile salınımların tamamen de ortadan kaybolabileceği de dikkate alınmalıdır.

17.3.3 İklim Değişikliği Projeksiyonlarının Havzanın Toplam Brüt ve Net Su Potansiyellerine Olası Etkilerinin Analizi

İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi kapsamında, Kızılırmak Havzası için iklim projeksiyonlarına göre çalıştırılan hidrolojik model sonuçlarından üretilen parametrelerden brüt ve net su potansiyellerinin karşılaştırılması bu bölümde sunulmaktadır.

Hidrolojik modelleme çalışmaları, havzadaki toplam brüt su potansiyeli tahminlerini verebilmektedir. Brüt su potansiyelinden teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir (net) su potansiyeline geçiş ise, modelleme çalışmasından bağımsız olarak bölgeye (havzalara vb.) ve yıllara (gelişen teknolojiye vb.) göre değişebilen bir dizi kabuller ışığında belirlenen oranlara göre yapılmaktadır. Havza özeli için işbu cilt Bölüm 17.3.1.1'de verildiği üzere, brüt su potansiyeli değerleri *havza bazlı* olarak ve yüzeysel su ile yeraltı suyu için *ayrı* olmak üzere, DSİ'den temin edilmiş olup referans ve projeksiyon dönemlerinin her ikisi için de DSİ kabulleri esas alınmıştır (Tablo 17.15 ve Tablo 17.16). Mukayese açısından referans dönem için DSİ bazlı uzun yıllar ortalamaları da, gerek brüt gerekse net su potansiyeli değerleri için aynı grafiklerde sunulmaktadır. Son olarak, Bölüm 17.3.1.2'de tarif edildiği üzere havza bazlı hesaplanan toplam su ihtiyacı projeksiyonu da, havzanın genel itibariyle toplam su bütçesi açısından fikir vermesi için aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

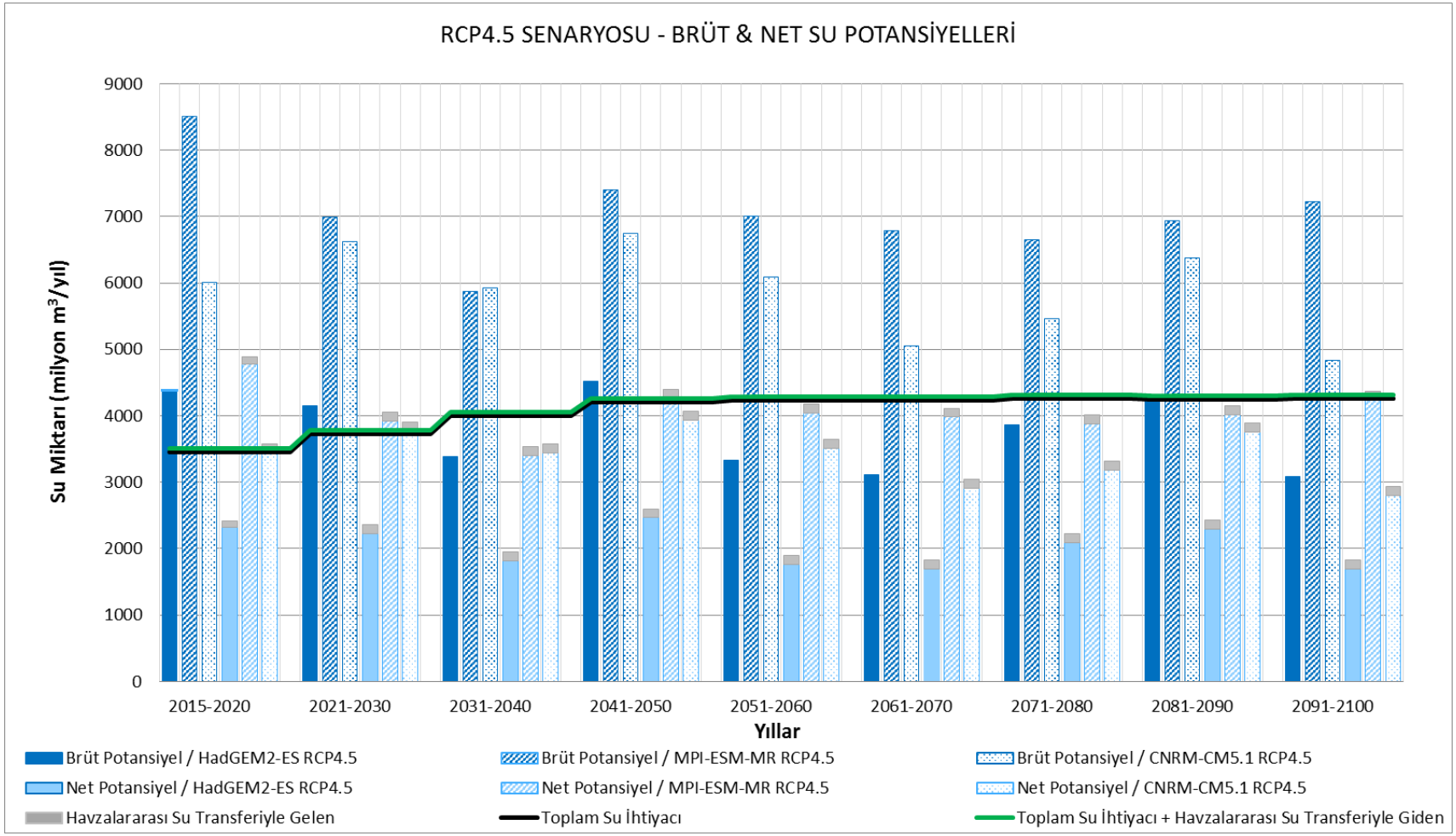
Ek 1 Bölüm 1.2.6 ile açıklandığı üzere hidrolojik modelin ısınma süresi, projeksiyon döneminin başındaki (2015-2020 periyodu) farklılıklara etkide bulunmaktadır. Bu durum hidrolojik modelin başlangıç koşullarından bağımsız hale geldiği dönemlerde etkisini yitirmektedir. Ayrıca DSİ

brüt su potansiyeli 1950-2000 yılları arasındaki dönemin uzun ortalaması üzerine kuruludur. 2000'ler için DSİ tarafından öngörülen bir su potansiyeli değeri bulunmadığı için hidrolojik modelin 2015-2020'ler için ürettiği sonuçların bir önceki 10 yıldan kayda değer bir farklılık gösterdiği sonucu çıkarılamaz. DSİ'nin su bütçesi ile yapılan tüm karşılaştırmaların uzun yıllık model sonuçlarının ortalamaları ile yapılması anlamlıdır.

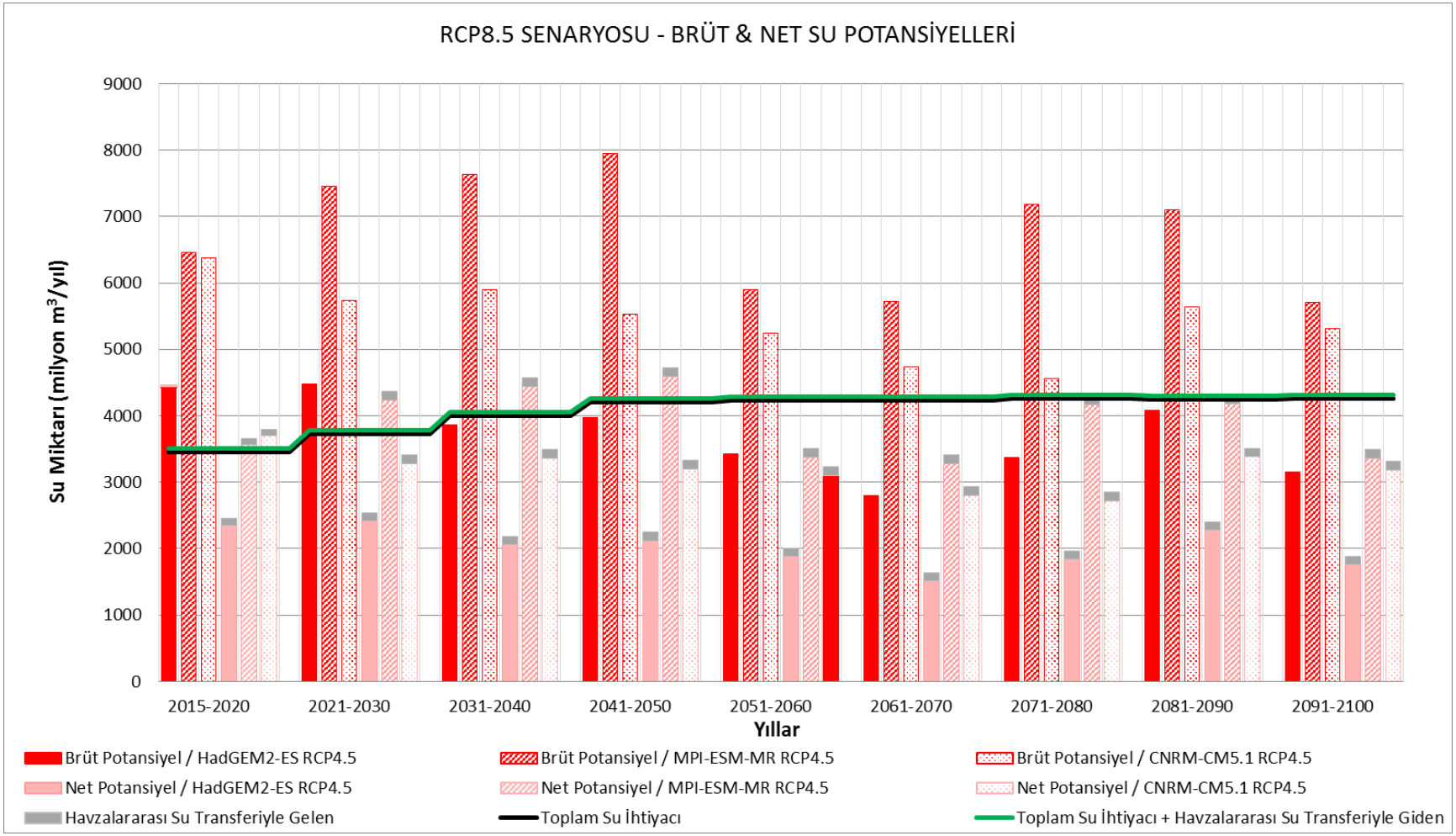
Netice itibariyle, Şekil 17.44 ve Şekil 17.45 ile verildiği üzere, toplam brüt ve net su potansiyellerindeki değişim, modellerin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları bazında detaylı olarak sergilenmektedir.

Bu iki şekilde toplam su ihtiyacı, havzanın brüt ve net su potansiyellerinin yanı sıra havzalararası su transferiyle havzaya giren ve/veya havzadan çıkan net su miktarları da gösterilmektedir. İçme-kullanma ve tarımsal sulama ihtiyaçları dolayısıyla havzalararası su transferleri bazı havzalarda gerçekleştirilmektedir. Bu proje kapsamında Mart 2016 tarihi itibariyle DSİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilen havzalararası su transferi verileri dikkate alınmıştır. Kızılırmak Havzası özelinde su transferleri incelendiğinde Seyhan Havzası'ndan su alırken Sakarya Havzası'na ise su vermektedir.

Havzalararası su transferi dikkate alınmaksızın değerlendirildiğinde her iki senaryo sonuçları incelendiğinde tüm modellerin ürettiği değerler projeksiyon dönemi boyunca toplam su ihtiyacı değerlerinin altında seyretmektedir. Bu durum havzada önemli oranda su açığının sürekli olarak görülebileceğinin bir işaretidir. Her iki senaryo sonuçlarına göre HadGEM2-ES modelinin sonuçları en yüksek su açığı değerlerini vermektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre HadGEM2-ES model sonucunu sırasıyla CNRM-CM5.1 ve MPI-ESM-MR modelleri takip etmektedir. Bu sıralama 2015-2020 dönemi RCP8.5 senaryosunda olduğu gibi bazı dönemlerde değişkenlik gösterebilmektedir. Havzalararası su transferleri dikkate alındığında tüm dönemler boyunca havzadaki su açığı/fazlalığı üzerinde çok etkili değişimler beklenmemektedir. Kızılırmak Havzası'ndaki en yüksek su açığı 2061-2070 döneminde beklenmekte olup bu dönemde su ihtiyacının yaklaşık %38'i karşılanabilmektedir.



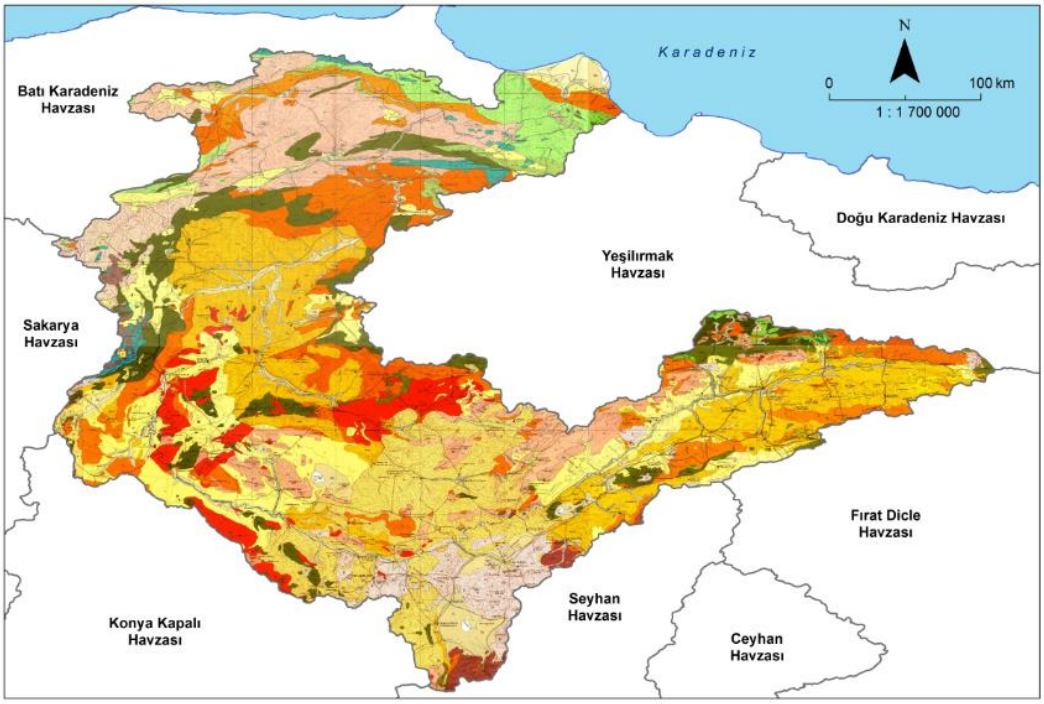
Şekil 17.44 Kızılırmak Havzası için İklim Projeksiyonları RCP4.5 Senaryosuna göre Brüt ve Net Su Potansiyellerinin Karşılaştırılması



Şekil 17.45 Kızılırmak Havzası için İklim Projeksiyonları RCP8.5 Senaryosuna göre Brüt ve Net Su Potansiyellerinin Karşılaştırılması

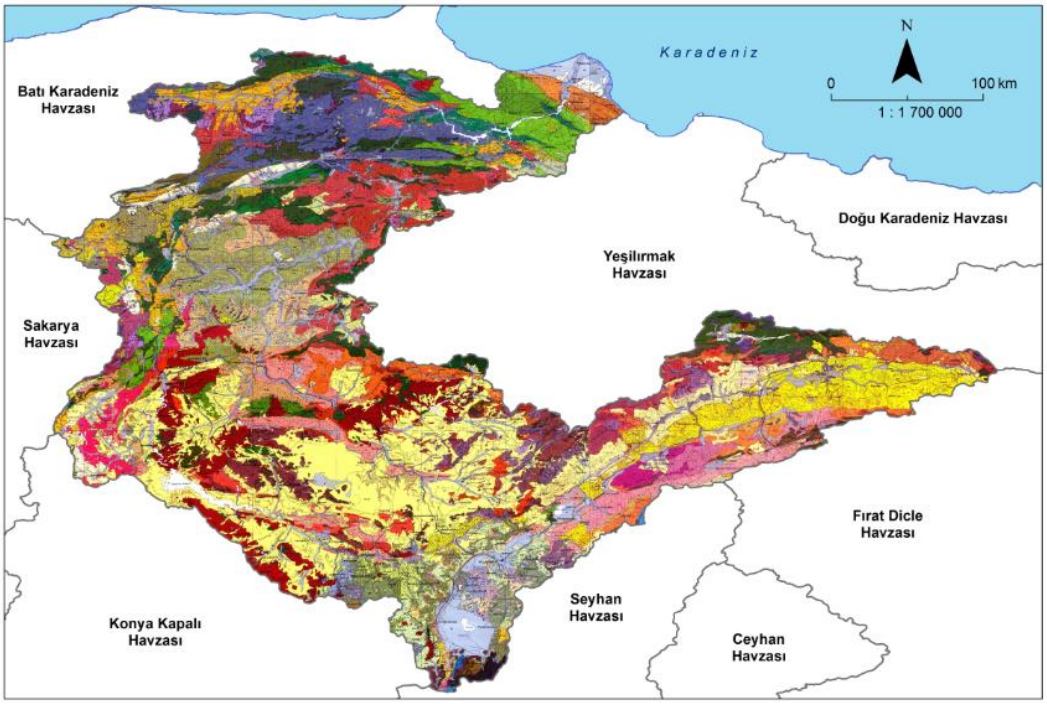
17.4 Hidrojeolojik Projeksiyon Çalışmaları

Bu bölümde, Kızılırmak Havzası'nın hidrojeolojik değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmalarda, 1974 tarih ve 1/500.000 ölçekli Türkiye Hidrojeoloji Haritası ile bunun dayanağı olan 1964 tarih ve 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası (Şekil 17.46) esas alınmıştır. Ayrıca, karmaşık jeolojik ögeler barındıran bölgeler için 2002 tarih ve 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası'ndan (Şekil 17.47) ve 1970'li yıllardaki DSİ ova etüt raporlarından yararlanılmış, mevcut su kaynakları ve kuyu logu veri tabanı da ayrı birer referans bilgi kaynağı olarak kullanılmıştır.



Şekil 17.46 Kızılırmak Havzası Jeoloji Haritası (1964)

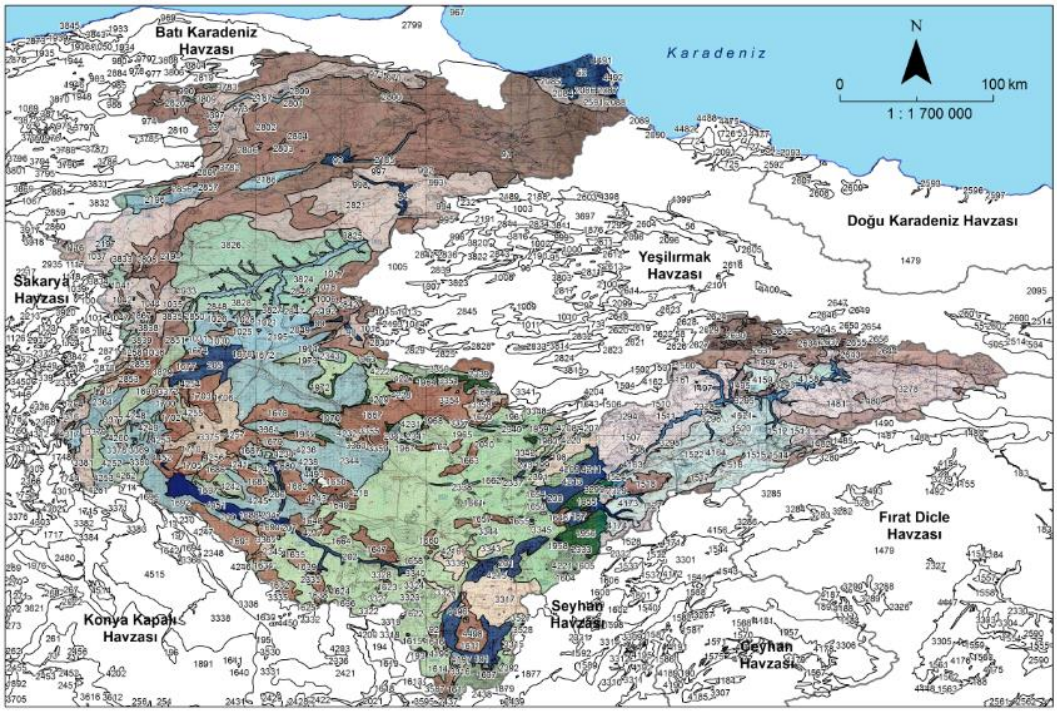
Kızılırmak Havzası için gerçekleştirilen çalışmalara metodolojik olarak öncelikle 1974 hidrojeoloji haritasında havza içi varlığı görülen "hidrojeolojik grup" alanlarının genel jeolojik özellikleri incelenerek başlanmıştır (Şekil 17.48). Grupları oluşturan litolojik birimlerin türleri ve oluşum yaşları dikkate alınarak proje kapsamında getirilen yeni tanımlamalar çerçevesinde bunlara hidrojeolojik anlam yüklenmiş, hidrojeoloik ve jeohidrolik parametrelerinin ortalama değerleri belirlenmiş ve yerüstü–yeraltı konumları ortaya çıkartılmıştır.



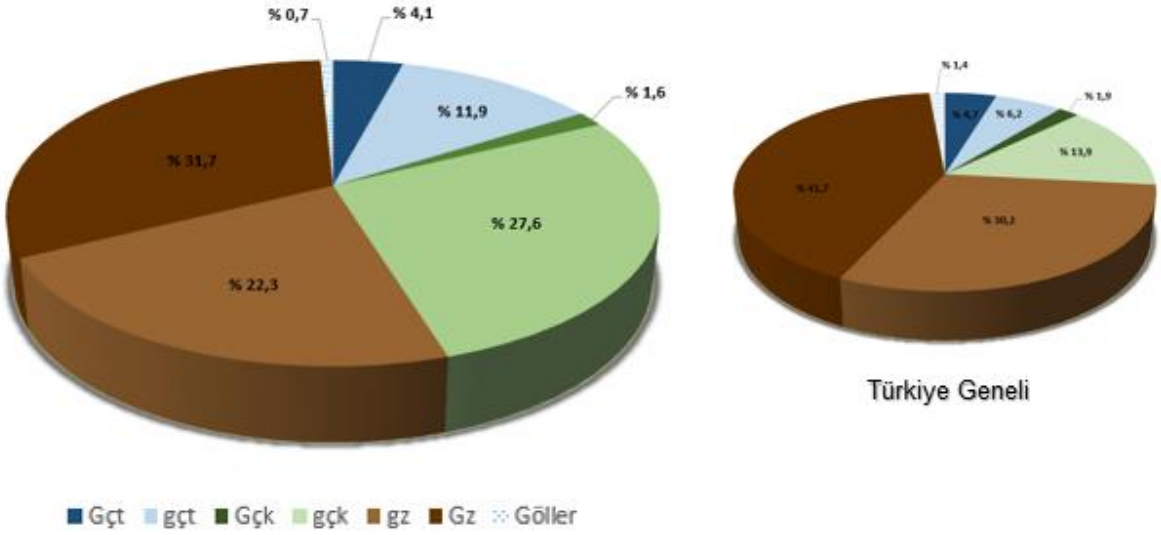
Şekil 17.47 Kızılırmak Havzası Jeoloji Haritası (2002)

17.4.1 Hidrojeolojik Gruplar ve Analojik Değerlendirmesi

1974 Türkiye Hidrojeoloji Haritası'nın ana ögelerini oluşturan "hidrojeolojik grup"lardan Kızılırmak Havzası'nda yer alanlara ait belirleyici özellikler ve bu proje kapsamında yapılan yeni tanımlamalar bu bölümde açıklanmıştır (Şekil 17.49). Hidrojeoloji haritasında yeralan hidrojeolojik grupların hem her bir hidrojeolojik ortam bazındaki ve hem de havza genelindeki yüzeylenme kodları, yerüstü ve yeraltı yayılım büyüklükleri ile oluştukları jeolojik birimlerin tür ve yaşları ise Ek 17.3 ile verilmiştir.



Şekil 17.48 Havzanın Hidrojeolojik Grupları Kodlanarak Sayısallaştırılmış Hidrojeoloji Haritası (1974)



Şekil 17.49 1974 Türkiye Hidrojeoloji Haritası'ndaki Hidrojeolojik Grupların Projedeki Tanımlarıyla Havzada Bulunuş Yüzdeleri ve Türkiye Genelindeki Yeri

1974 tarihli Türkiye Hidrojeoloji Haritası lejandında, akiferlere ilişkin bilgiler ve proje kapsamında kullanılan tanımlamalar Tablo 17.29 ile özetlenmiştir.

Tablo 17.29 1974 tarihli Türkiye Hidrojeoloji Haritası Akifer Bilgileri

1974 tarihli Türkiye Hidrojeoloji Haritası Akiferler Bilgileri						Projede Kullanılan Tanımlar
Akifer	**Renk**	**Yeraltı suyu Verimlilik Derecesi**	**Özgül debi**	**Havza içi Toplam Alanı**	**Toplam Alan/Havza Alanı**	**Hidrojeolojik Ortam Türü Tanımı**
Yaygın ve zengin akiferler (Pekişmemiş formasyonlarda)	Koyu mavi	İyi	>2lt/sn/m	3622,3 km^2	%4,1	Geçirimli taneli ortam (Gçt)
Mevzii veya irtibatsız akiferler (Pekişmemiş formasyonlarda)	Açık mavi	Orta	0,5-2 lt/sn/m	10490,2 km^2	%11,9	Yarıgeçirimli taneli ortam (gçt)
Yaygın ve zengin akiferler (Pekişmiş formasyonlarda)	Koyu yeşil	İyi	>2lt/sn/m	1305,3 km^2	%1,6	Geçirimli kaya ortam (Gçk)
Mevzii veya irtibatsız akiferler (Pekişmiş formasyonlarda)	Açık yeşil	Orta	0,5-2 lt/sn/m	23267,3 km^2	%27,6	Yarıgeçirimli kaya ortam (gçk)

Kızılırmak Havzası'nda tüm yeraltı suyu depolama ortamlarının yüzölçümlerini ve jeolojik birim türlerini içeren tablolar Ek 17.3 ile sunulmaktadır. Bu bölümde yer alan alansal ve oransal değerler, 1974 Türkiye Hidrojeoloji Haritası'nda yer alan hidrojeolojik gruplara ait değerlerdir. Bu proje kapsamında ilk defa çalışılmış olan ve Ek 17.3 ile verilen basınçlı yeraltısuyu depolama ortamları, Türkiye genelindeki alansal büyüklükleri ve oranları değiştirmemektedir.

17.4.2 Yeraltısuyu Depolama Ortamları (Hidrojeolojik Ortamlar) ve Özellikleri

Bu proje kapsamında yapılan hidrojeolojik analojiyle 1974 tarihli Türkiye Hidrojeoloji Haritası'nda "mavi, yeşil" renkler ve açık tonlarıyla belirtilen hidrojeolojik gruplara ilişkin adlandırmalar değiştirilmiştir. Bu grupları oluşturan formasyonların–litolojik birimlerin, jeohidrolik ortam nitelikleri yani yeraltısuyu geçirebilme ve iletebilme özellikleri farklı bulunan 6 ana jeohidrolik ortam türünden (geçirimsiz ortam–Gz, yarıgeçirimsiz ortam–gz, yarıgeçirimli taneli ortam–gçt, yarıgeçirimli kaya ortam–gçk, geçirimli taneli ortam–Gçt, geçirimli kaya ortam–Gçk) birisine benzeştirilmesiyle "jeohidrolik ortam" tanımına ve adlandırmasına geçilmiştir. Bu yeni tanımlama sonucunda ortaya çıkan jeohidrolik ortam türlerinin birbirleriyle nasıl bir konumsal ilişki içerisinde bulunduğundan hareketle de havza içerisinde yeraltısuyu depolanabilirlik durumu incelenmiştir. Hidrojeolojik ortam olarak da adlandırılan yeraltısuyu depolama ortamlarının taneli veya kaya litolojili olup olmadıkları yanı sıra nerelerde serbest ve

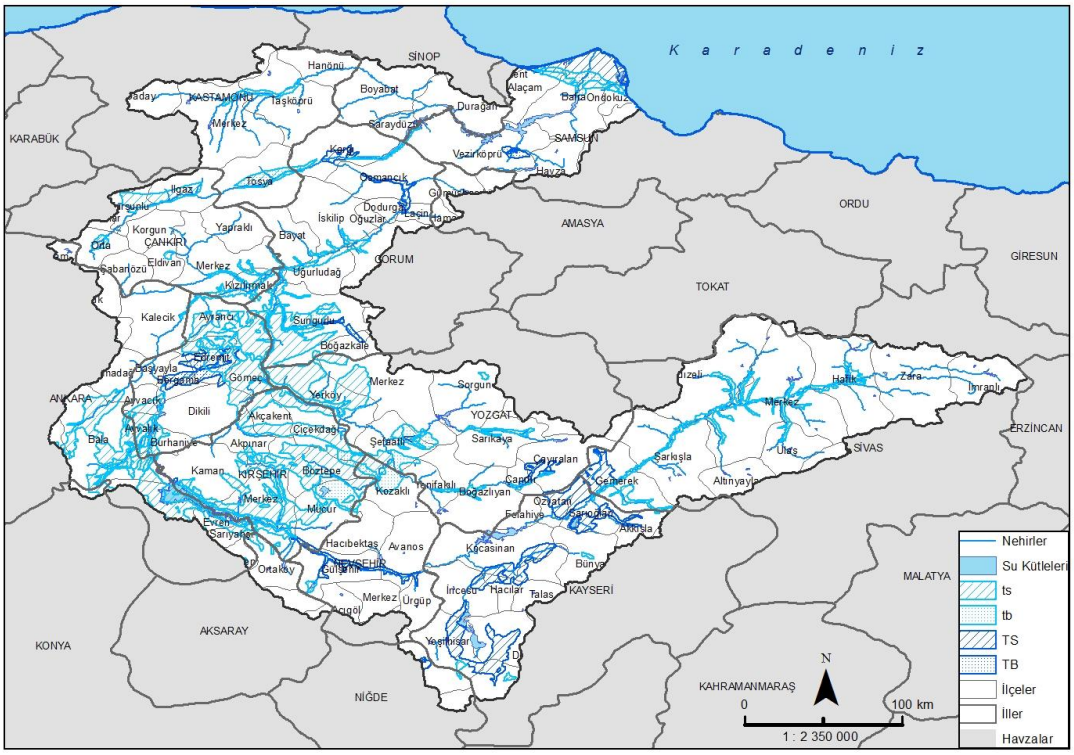
nerelerde basınçlı ortam özelliği barındıran sutaşırlar (akifer) ya da yarısutaşırlar (akitard) şekillendirdiği belirlenmiştir.

Yeraltısuyu depolama ortamları, yerüstünde yüzeylenen serbest karakterli olabildiği gibi yeraltısuyu depolama ortamlarının komşu litolojik birimler ile olan jeolojik yaş farklılığına bağlı olarak yeraltında kapalı ortamda basınçlı karakter taşıyan devamlılıkları da bulunabilmektedir. Bu nedenle yapılan çalışma kapsamında, diğer tüm havzalar için olduğu gibi Kızılırmak Havzası'nda serbest ve basınçlı karakterdeki kesimler jeolojik ve hidrojeolojik ilkeler çerçevesinde araştırılmıştır. Yapılan çalışmaya göre, havza bazında belirlenmiş olan jeohidrolik ortam türlerine ait simge ve yaş bilgileri Ek 17.3 ile sunulmaktadır. Ortamlara ilişkin grup sayıları, alan bilgileri, jeohidrolik özelikler, su çekim verileri ve maksimum kapasitedeki yeraltı suyu rezervi bilgileri ise Tablo 17.30 ile verilmektedir.

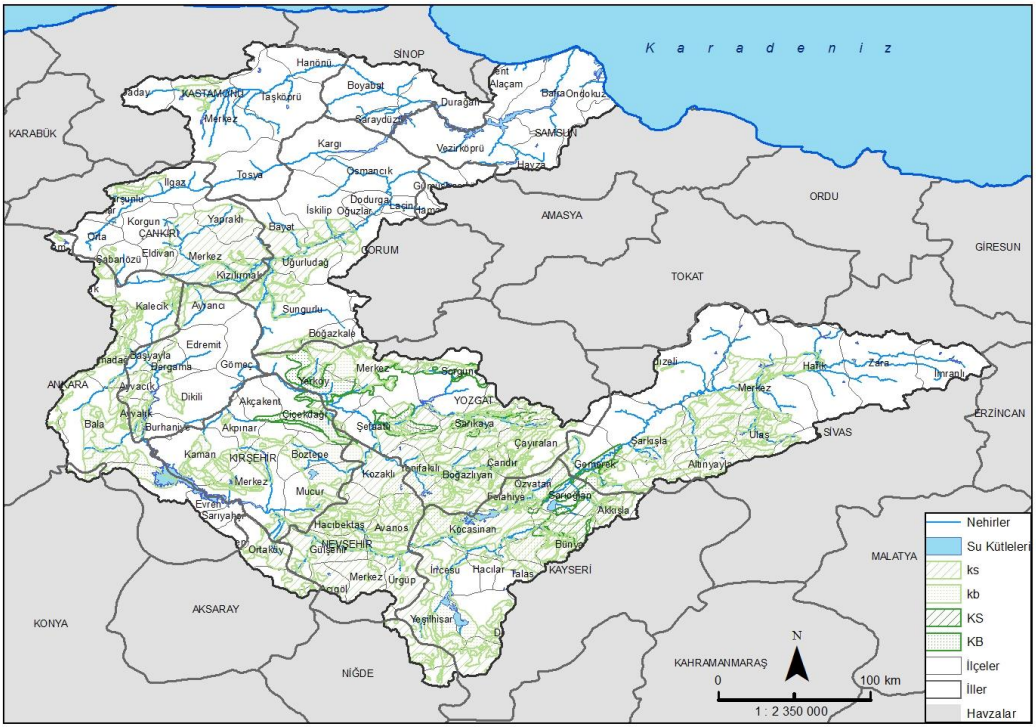
Havzada mevcut serbest ve basınçlı taneli hidrojeolojik ortamlar (sutaşır-akifer ve yarısutaşır-akitard) Şekil 17.50, serbest ve basınçlı kaya hidrojeolojik ortamlar (sutaşır-akifer ve yarısutaşır-akitard) Şekil 17.51, ile verilmiştir. Havzadaki tüm hidrojeolojik ortamların gösterildiği harita ise Şekil 17.52 ile sunulmuştur.

Tablo 17.30 Havzanın Genel Hidrojeolojik Sentez Parametreleri

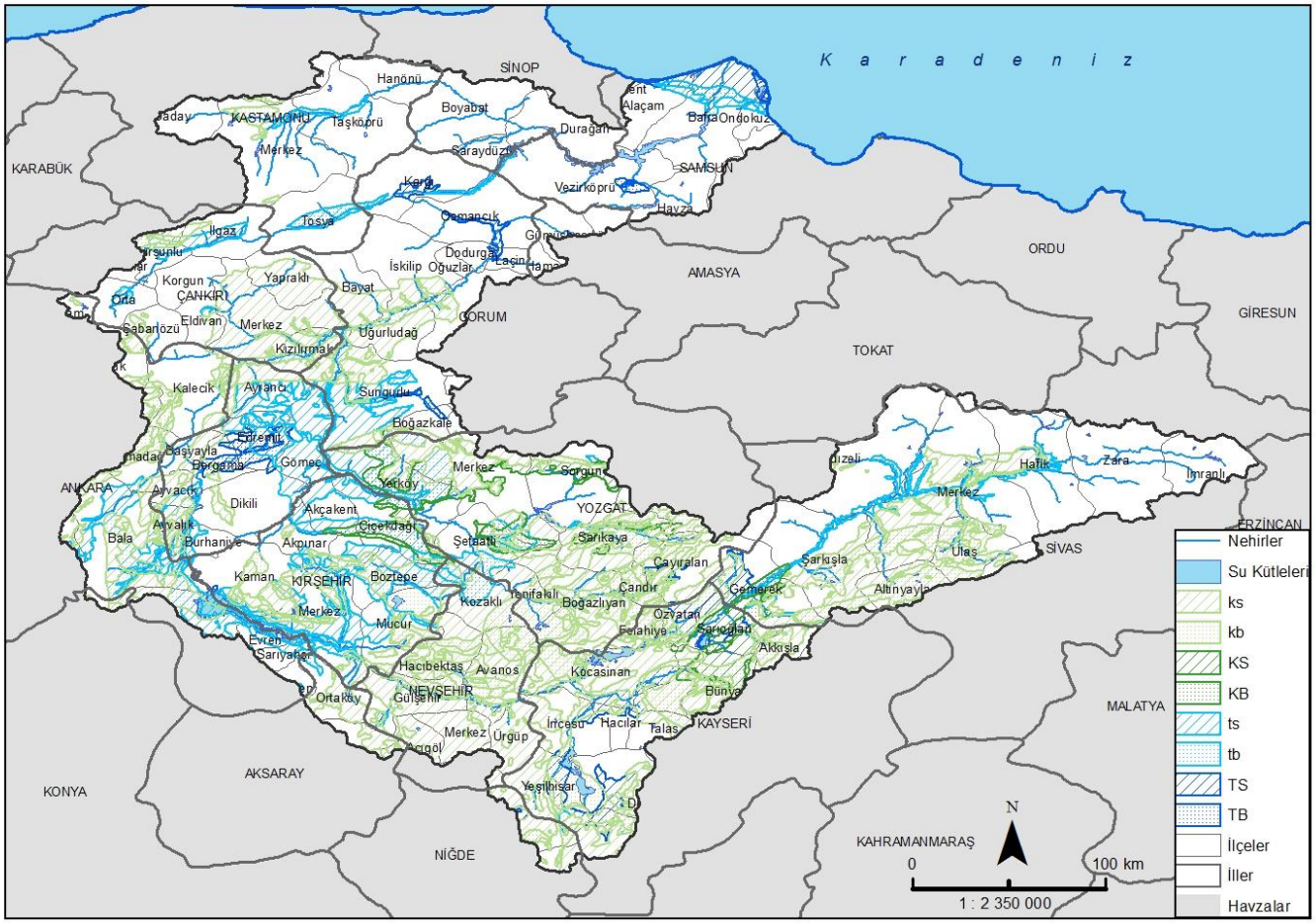
HİDROJEOLOJİK SENTEZ PARAMETRELERİ			KIZILIRMAK HAVZASI (XV)								TOPLAM
1974 Hidrojeoloji Haritası'ndaki "Hidrojeolojik Grup" Tanımlaması			Pekişmemiş Formasyonlar				Pekişmiş Formasyonlar				
			Yaygın ve Zengin Akiferler		Mevzii veya İrtibatsız Akiferler		Yaygın ve Zengin Akiferler		Mevzii veya İrtibatsız Akiferler		
Benzeştirilen "Jeohidrolik Ortam" Tanımlaması ve Simgesi			Geçirimli Taneli Ortam, Gçt		Yarıgeçirimli Taneli Ortam, gçt		Geçirimli Kaya Ortam, Gçk		Yarıgeçirimli Kaya Ortam, gçk		
"Ana Hidrojeolojik Ortam (Yeraltısuyu Depolama Ortamı)" Niteliği			SUTAŞIR (T) (Akifer)		YARISUTAŞIR (t) (Akitard)		SUTAŞIR (K) (Akifer)		YARISUTAŞIR (k) (Akitard)		
			Serbest (TS)	Basınçlı (TB)	Serbest (ts)	Basınçlı (tb)	Serbest (KS)	Basınçlı (KB)	Serbest (ks)	Basınçlı (kb)	
Havza İçi Hidrojeolojik Ortamlar	Hidrojeolojik Grup Sayısı (Eski+Yeni)		(19+8)=27	(0+5)=5	(28+27)=55	(3+22)=25	21	(0+17)=17	(90+101)=191	(3+69)=72	
	Hidrojeolojik Ortam Sayısı		13	4	22	8	-	5	13	32	
	Ortamların Kalınlık Aralığı, (m)		5 - 200	7 - 120	5 - 200	25 - 270	10 - 150	15 - 200	5 - 200	7 - 270	
	Toplam Alan, **A** (km^2)		3622,345	558,393	10490,213	2327,903	1305,308	1607,860	23267,257	13034,938	
Jeohidrolik Özellikler	Boşluk Yüzdesi, $\mathbf{n_e}$ (%) x 10^{-2}		15 - 20	15	7 - 10	7 - 9	14 - 15	14 - 15	4 - 10	4 - 10	
	Geçirimlilik (Permeabilite), **K** (m/gün)		1.10^1 - 5.10^1	1.10^1	1.10^{-1} - 5.10^{-1}	1.10^{-1} - 4.10^{-1}	3.10^1 - 5.10^1	3.10^1 - 5.10^1	1.10^{-2} - 5.10^{-1}	1.10^{-2} - 5.10^{-1}	
	İletimlilik (Transmissibilite), **T** (m^2/gün)		$4,5.10^1$ - $5,4.10^3$	7.10^1 - $1,2.10^3$	$4,5.10^{-1}$ - $7,2.10^1$	8.10^0 - $1,1.10^2$	$3,5.10^2$ - $3,2.10^3$	$5,3.10^2$ - 6.10^3	$4,9.10^{-2}$ - $4,2.10^1$	1.10^{-1} - 8.10^1	
	Depolama (Storativite), S (birimsiz)		-	7.10^{-4} - $1,2.10^{-2}$	-	$2,5.10^{-3}$ - $2,7.10^{-2}$	-	2.10^{-4} - 2.10^{-3}	-	1.10^{-4} - $2,9.10^{-3}$	
Hidrojeolojik Ortamdaki Referans Dönemi Su Sondajları ve Kaynaklar	Su Sondajı Kuyuları ve Çekimler	Sayısı	229	2	161	40	19	30	306	465	
		Toplam Çekim, $\mathbf{Gw_{ddRef}}$, (km^3/yıl)	0.054438	0.000236	0.027856	0.006284	0.001687	0.003992	0.037172	0.094311	
	Kaynaklar (Pınarlar) ve Debileri	Sayısı	0	0	0	0	0	0	3	1	
		Toplam Boşalım, $\mathbf{Gw_{dsRef}}$, (km^3/yıl)	0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0.020499	0.006843	
Yeraltısuyu Rezervi	Max. Kapasite	Hidrojeolojik Rezerv, **RH**, (km^3)	54,19	8,94	85,96	28,90	11,97	20,93	157,33	125,53	**493,75**
		Dinamik Rezerv, **RD**, (km^3)	5,42	0,01	25,79	0,07	1,20	0,00	47,20	0,03	**79,71**
		Statik Rezerv, **RS**, (km^3)	48,77	8,93	60,17	28,83	10,77	20,93	110,13	125,50	**414,03**
		Mümkün Rezerv, **RP**, (km^3)	37,94	6,26	42,98	14,45	8,38	14,65	78,67	62,76	**266,08**



Şekil 17.50 Serbest (TS, ts) ve Basınçlı (TB, tb) Taneli Hidrojeolojik Ortamlar



Şekil 17.51 Serbest (KS, ks) ve Basınçlı (KB, kb) Kaya Hidrojeolojik Ortamlar



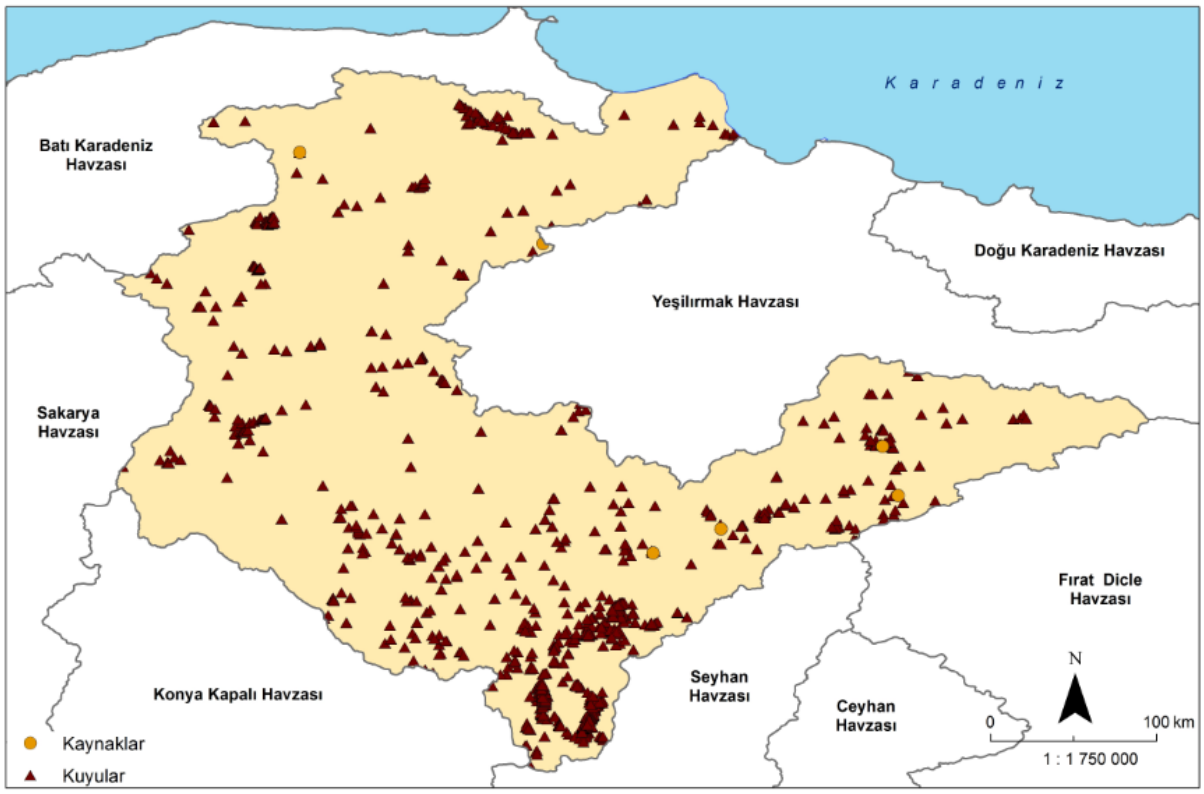
Şekil 17.52 Serbest (TS, ts, KS, ks), Basınçlı (TB, tb, KB, kb) Taneli ve Kaya Hidrojeolojik Ortamlar

17.4.3 Yeraltısuyu Depolama Ortamlarının (Hidrojeolojik Ortamlar) Potansiyelleri (Rezervler)

Proje kapsamında iklim değişiminin yeraltısuyu potansiyeli üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik olarak yeraltısuyu depolama ortamlarının barındırdıkları doğal kapasiteleri çerçevesinde maksimum yeraltısuyu depolama potansiyelleri ortaya çıkarılarak "yeraltısuyu statik ve dinamik rezervleri" hesaplanmıştır. Statik ve dinamik rezervin toplamından oluşan hidrojeolojik rezerv ve onun da güvenli yönde belirli bir yüzdesi olarak alınan mümkün rezervler de proje kapsamında hesaplanan diğer rezerv türleridir. Hesaplama sistematiği ve elde edilen rezerv sonuçları Ek 17.3 ile verilmektedir.

Rezerv değerlendirmeleri, havzaların konum ve yayılımlarından bağımsız olarak sadece hidrojeolojik ortamlar (yeraltısuyu depolama ortamları) bazında yapılmıştır. Bu ortamlara yeraltı akışı türünde hesaplamaya girebilecek herhangi bir yeraltı akışıyla giriş ya da çıkış söz konusu olmamaktadır.

İklim modelleri ve senaryoları ile gerçekleştirilen zaman bağımlı rezerv çalışmaları, havzada yağıştan yeraltına net sızma ve havzada yeraltı akışıyla akarsuya katılım (baz akım) verilerine dayandırılmıştır. Yeraltı suyu rezerv hesaplamaları hakkında detaylı bilgi Ek 1 Bölüm 1.3. ile sunulmuştur. Rezerv hesaplamalarında, hidrojeolojik ortamı doğal yollarla boşaltan hidrolojik model sonucu oluşturulan baz akım verileri kullanılmıştır. Ayrıca, sınırlı veri mevcudiyeti olsa da havza içi dağılımları Şekil 17.53 ile gösterilen havzadaki kaynaklardan boşalım ve su sondajlarından çekim verilerinden de yararlanılmıştır. Yapılan çalışmada iklim değişimi etkisi altındaki hidrolojik değişimler ve havza su ihtiyacındaki farklılaşmaları dikkate alınarak alan iklim koşullarına uyum sağlanmıştır.



Şekil 17.53 Havzada Önemli Su Kuyuları ile Kaynak Sularının Dağılımı

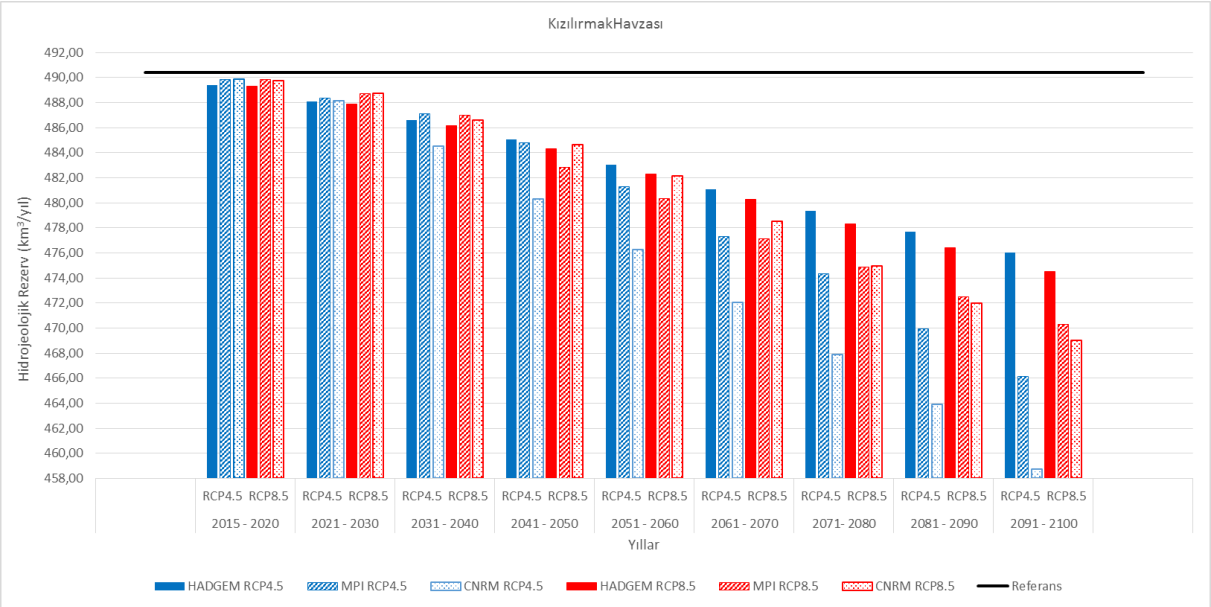
Yapılan rezerv hesaplamaları sonunda, havzadaki her bir hidrojeolojik ortamın serbest ve basınçlı kesimleri için ayrı ayrı olmak üzere, tüm projeksiyon dönemi boyunca farklı iklim modelleri ve senaryoları için dinamik, statik, hidrojeolojik ve mümkün rezervler hesaplanmıştır. elde edilen rezerv değerlerinin toplamlarından havza bazlı sonuçlar ve ortamınmaksimum kapasiteli durumuna göre projeksiyon döneminin son 10 yıllık periyodu için rezerv azalım oranları Tablo 17.31 ile verilmiştir. Tabloda yer alan maksimum kapasiteler, Tablo 17.30 verilen pekişmiş ve pekişmemiş formasyonların toplam rezerv değerlerini ifade etmektedir.

Bu değerler incelendiğinde en büyük oransal azalımların CNRM-CM5.1 modeli RCP4.5 senaryosunda maksimum %26 oranı ile iklim koşullarının yıl bazında doğrudan etkilediği dinamik rezerv değerlerinde ortaya çıktığı görülmektedir. Havzanın yeraltısuyu statik rezervinin ise iklim değişikliğinden %1-3 gibi düşük bir oranda etkilendiği görülmüştür. Ayrıca, havzadaki yeraltısuyu hidrojeolojk ve mümkün rezervlerinin, değişik iklim modelleri - senaryoları çerçevesinde sırasıyla %4–7 ve %7-13 oranında azalacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 17.31 Öngörülen Rezerv Değerleri ve Değişim (Azalım) Oranları

Rezerv Türleri	Dönemler	HadGEM2-ES		MPI-ESM-MR		CNRM-CM5.1	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Dönemsel Mevcut Yeraltısuyu Dinamik Rezervi RD_p,(km^3/dönem)	Max. Rezerv	79,71	79,71	79,71	79,71	79,71	79,71
	Referans	76,52	76,52	76,52	76,52	76,52	76,52
	2015 - 2020	75,60	75,52	76,04	76,04	76,10	75,95
	2021 - 2030	74,28	74,07	74,59	74,92	74,35	74,94
	2031 - 2040	72,81	72,39	73,35	73,24	70,74	72,83
	2041 - 2050	71,40	70,83	71,13	69,20	67,90	70,95
	2051 - 2060	69,97	69,88	68,30	67,71	66,01	68,91
	2061 - 2070	69,05	68,96	66,24	66,12	64,21	66,98
	2071 - 2080	68,15	68,01	64,61	65,03	62,49	65,06
	2081 - 2090	67,22	67,06	62,59	63,89	60,85	63,48
	2091 - 2100	66,28	66,10	61,01	62,83	58,96	62,06
	Değişim Oranı	0,17	0,17	0,23	0,21	0,26	0,22
Dönemsel Mevcut Yeraltısuyu Statik Rezervi RS_p , (km^3/dönem)	Max. Rezerv	414,03	414,03	414,03	414,03	414,03	414,03
	Referans	413,85	413,85	413,85	413,85	413,85	413,85
	2015 - 2020	413,79	413,79	413,79	413,79	413,79	413,79
	2021 - 2030	413,78	413,78	413,79	413,79	413,79	413,79
	2031 - 2040	413,78	413,78	413,78	413,78	413,77	413,78
	2041 - 2050	413,67	413,51	413,66	413,66	412,38	413,66
	2051 - 2060	413,09	412,41	412,99	412,62	410,23	413,25
	2061 - 2070	412,05	411,33	411,06	411,03	407,82	411,57
	2071 - 2080	411,23	410,29	409,74	409,86	405,41	409,91
	2081 - 2090	410,44	409,34	407,35	408,60	403,08	408,48
	2091 - 2100	409,74	408,42	405,11	407,49	399,79	406,98
	Değişim Oranı	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02
Dönemsel Mevcut Yeraltısuyu Hidrojeolojik Rezervi RH_p, (km^3/dönem)	Max. Rezerv	493,75	493,75	493,75	493,75	493,75	493,75
	Referans	490,37	490,37	490,37	490,37	490,37	490,37
	2015 - 2020	489,39	489,31	489,83	489,83	489,89	489,74
	2021 - 2030	488,07	487,85	488,38	488,70	488,13	488,72
	2031 - 2040	486,58	486,16	487,12	487,01	484,51	486,61
	2041 - 2050	485,07	484,34	484,79	482,85	480,28	484,62
	2051 - 2060	483,05	482,29	481,29	480,33	476,24	482,15
	2061 - 2070	481,10	480,28	477,30	477,15	472,03	478,54
	2071 - 2080	479,38	478,30	474,35	474,89	467,89	474,97
	2081 - 2090	477,66	476,41	469,94	472,49	463,93	471,96
	2090 - 2100	476,03	474,52	466,12	470,31	458,74	469,04
	Değişim Oranı	0,04	0,04	0,06	0,05	0,07	0,05
Dönemsel Mevcut Yeraltısuyu Mümkün Rezervi RP_p, (km^3/dönem)	Max. Rezerv	266,08	266,08	266,08	266,08	266,08	266,08
	Referans	262,71	262,71	262,71	262,71	262,71	262,71
	2015 - 2020	261,72	261,65	262,16	262,16	262,22	262,08
	2021 - 2030	260,40	260,19	260,71	261,04	260,47	261,05
	2031 - 2040	258,92	258,49	259,45	259,34	256,85	258,94
	2041 - 2050	257,40	256,67	257,12	255,19	252,61	256,95
	2051 - 2060	255,39	254,62	253,63	252,66	248,57	254,49
	2061 - 2070	253,43	252,62	249,63	249,48	244,36	250,87
	2071 - 2080	251,71	250,64	246,69	247,22	240,22	247,30
	2081 - 2090	249,99	248,74	242,27	244,83	236,27	244,29
	2090 - 2100	248,36	246,85	238,45	242,65	231,08	241,38
	Değişim Oranı	0,07	0,07	0,10	0,09	0,13	0,09

Yüzyılın sonunda en olumlu iklim modeli–senaryosu gerçekleştiğinde dinamik, hidrojeolojik ve mümkün rezerv varlıklarında sırasıyla %17, %4 ve %7 oranında azalma olması beklenmektedir. Havza yeraltısuyu potansiyelini iklim modelleri-senaryoları arasında en olumsuz etkileyen CNRM-CM5.1 modeli RCP4.5 senaryosudur. Bu model senaryo ikilisini MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosu takip etmektedir. En az olumsuzluk beklenebilecek iklim modeli–senaryo ikilisi ise HadGEM2-ES modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosudur. Ayrıca, projeksiyon dönemi boyunca 10'ar yıllık periyotlar bazında hidrojeolojik rezerv sonuçları Şekil 17.54 ile verilmektedir.



Şekil 17.54 Havzadaki Toplam Hidrojeolojik Rezervin Değişimi

Havza bazında gerçekleştirilen bir diğer değerlendirme de havzada yeralan hidrojeolojik ortamların serbest ve basınçlı kesimlerinde beklenebilecek yeraltı su düzeyi alçalımlarıdır. Farklı iklim modellerine ve senaryolarına göre yeraltısuyu rezerv miktarlarının ait oldukları hidrojeolojik ortamlarda, yeraltı su düzeyi alçalım miktarları hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada alçalım miktarı, gerçek kot değerleri olarak değil, maksimum kapasiteyle sahip oldukları yeraltı suyu rezervi için maksimum yeraltı su düzeyi karşılığındaki 0 m düzeyi varsayımına göre kıyaslanmıştır. Yeraltı su düzeyinin alçalabileceği en düşük derinlik olarak ise ilgili hidrojeolojik ortama ait mümkün rezervin sıfırlandığı hidrojeolojik ortam kalınlığı alınmıştır. Havzadaki hidrojeolojik ortamların serbest ve basınçlı kesimleri için elde edilen yeraltı su düzeyi alçalımları Tablo 17.32, havza bazındaki tüm hesaplamalar ise Ek 17.3 ile verilmektedir. Mevcut kabul doğrultusunda maksimum düzey anlamına gelen 0 m düzeyinden olan derinlikleri vermektedir. Sayısal geçmiş dönemlerden gelen alçalım ve bazen de 0 m düzeyinin üzerine çıkmamak koşuluyla yükselim büyüklüklerini içeren ve ait oldukları dönemin sonunda ulaşılan eklenik yeraltı su düzeyi niteliği taşımaktadır. Bu sayısal büyüklüklerhavza bütününde her yerde homojen alçalım göstermemektedir. Havzada yer alan bir çok hidrojeolojik ortamdan birine,birkaçına ya da tamamına ait olan ve havzadaki herhangi bir hidrojeolojik ortamda beklenilebilecek maksimum ve minimum alçalım değerleridir.

Havzadaki yeraltı su düzeyi alçalımlarına ilişkin olarak şu özellikleri yansıtmaktadır.

- Havzadaki serbest hidrojeolojik ortamlardan birisinde oluşabilecek 105.53 m'lik serbest yeraltı su düzeyi alçalımından daha büyük bir alçalım beklenmemektedir.

- Havzadaki basınçlı hidrojeolojik ortamlardan birisinde oluşabilecek en yüksek yeraltı su düzeyi alçalımı ise 10,18 m'dir.
- Bu alçalım miktarlarının havzadaki hangi hidrojeolojik ortama ait olduğu veya diğer ortamlardaki alçalım miktarları Ek 17.3 ile verilmiştir. Tablo 17.32 ile sadece maksimum ve minimum değerler verilmiştir.

Tablo 17.32 Yeraltısuyuna Doygunluk Durumuna Göre Oluşması Beklenen Yeraltı Su Düzeyi Alçalım Değeri Limitleri

Eklenik Dönemsel Yeraltı Su Düzeyi	Dönemler	HadGEM2-ES RCP4.5	HadGEM2-ES RCP8.5	MPI-ESM-MR RCP4.5	MPI-ESM-MR RCP8.5	CNRM-CM5.1 RCP4.5	CNRM-CM5.1 RCP8.5
Serbest Yeraltı Su Düzeyi (Max. Düzeye Göre Max / Min Değerler) (m/dönem)	Max. Düzey	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Referans	-29.06 / 0.00	-29.06 / 0.00	-29.06 / 0.00	-29.06 / 0.00	-29.06 / 0.00	-29.06 / 0.00
	2015 - 2020	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00
	2021 - 2030	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.0	-33.75 / 0.00
	2031 - 2040	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00
	2041 - 2050	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00
	2051 - 2060	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-43.89 / 0.00	-33.75 / 0.00
	2061 - 2070	-33.75 / 0.00	-33.75 / 0.00	-35.50 / 0.00	-35.84 / 0.00	-58.16 / 0.00	-33.75 / 0.00
	2071 - 2080	-36.00 / 0.00	-40.34 / 0.00	-45.21 / 0.00	-44.16 / 0.00	-72.67 / 0.00	-43.86 / 0.00
	2081 - 2090	-37.43 / 0.00	-47.35 / 0.00	-61.04 / 0.00	-53.75 / 0.00	-86.77 / 0.00	-55.11 / 0.00
	2091 - 2100	-37.37 / 0.00	-54.25 / 0.00	-74.89 / 0.00	-62.20 / 0.00	-105.53 / 0.00	-66.54 / 0.00
Basınçlı Yeraltı Su Düzeyi (Max. Düzeye Göre Max / Min Değerler) (m/dönem)	Max. Düzey	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Referans	-1.74 / 0.00	-1.74 / 0.00	-1.74 / 0.00	-1.74 / 0.00	-1.74 / 0.00	-1.74 / 0.00
	2015 - 2020	-2.11 / 0.00	-2.11 / 0.00	-2.10 / 0.00	-2.10 / 0.00	-2.08 / 0.00	-2.10 / 0.00
	2021 - 2030	-2.93 / 0.00	-2.93 / 0.00	-2.91 / 0.00	-2.91 / 0.00	-2.90 / 0.00	-2.91 / 0.00
	2031 - 2040	-3.82 / 0.00	-3.82 / 0.00	-3.79 / 0.00	-3.79 / 0.00	-3.79 / 0.00	-3.80 / 0.00
	2041 - 2050	-4.76 / 0.00	-4.76 / 0.00	-4.74 / 0.00	-4.74 / 0.00	-4.75 / 0.00	-4.74 / 0.00
	2051 - 2060	-5.74 / 0.00	-5.74 / 0.00	-5.71 / 0.00	-5.72 / 0.00	-5.72 / 0.00	-5.71 / 0.00
	2061 - 2070	-6.74 / 0.00	-6.74 / 0.00	-6.72 / 0.00	-6.72 / 0.00	-6.73 / 0.00	-6.72 / 0.00
	2071 - 2080	-7.77 / 0.00	-7.77 / 0.00	-7.75 / 0.00	-7.75 / 0.00	-7.76 / 0.00	-7.75 / 0.00
	2081 - 2090	-8.81 / 0.00	-8.83 / 0.00	-8.80 / 0.00	-8.80 / 0.00	-8.81 / 0.00	-8.80 / 0.00
	2091 - 2100	-9.88 / 0.00	-10.18 / 0.00	-9.87 / 0.00	-9.87 / 0.00	-9.89 / 0.00	-9.87 / 0.00

Genelde olduğu gibi Kızılırmak Havzası özelinde de yeraltısuyu potansiyelini belirleyen ana parametreler ortamsal boşlukluluk ve yeraltına sızma oranıdır. Dolayısıyla bu parametreleri etkileyebilecek her tür doğal ve antropojenik etmen bölgenin yeraltısuyu potansiyelini arttırıcı ya da eksiltici yönde rol oynamaktadır. Konuyla ilgili doğal parametreler arasında en önemlisi, yeraltısularının neredeyse tek besleyicisi olan yağmur ve kar türü yağışlarda olabilecek farklılaşmalar ve bunu denetleyen küresel iklim koşullarındaki değişimlerdir. Antropojenik parametreler arasında ise kentleşme, yeraltı suyu kullanımındaki alışkanlıklar, kullanım çeşitliliği ve kullanım miktarlarındaki değişiklikler sayılabilir.

17.4.4 Yeraltısularına Yönelik Hidrojeolojik Değerlendirmeler

Kızılırmak Havzası yeraltısularının taneli ortam sutaşırları ve yarısutaşırları ile kaya ortam sutaşırları ve yarısutaşırlarında depolandığı görülmüştür. Havza, Türkiye'nin en yüksek

yeraltısuyu depolama kapasitesi bulunan bir bölgesidir. Burada geniş yayılımlar sunan hem serbest ve hem de basınçlı karakterde taneli ve kaya ortam bir çok hidrojeolojik ortam bulunmaktadır. Serbest karakterli taneli ortam sutaşırları ve yarısutaşırları ile kaya ortam sutaşırları ve yarısutaşırlarının yerüstünde kapladıkları 38685,1 km^2'lik toplam alan havza yüzölçümünün %47,1'ini oluştururken, basınçlı karakterli taneli ortam sutaşırları ve yarısutaşırları ile kaya ortam sutaşırları ve yarısutaşırlarının yeraltındaki 17529,1 km^2'lik toplam yayılım alanları havza yüzölçümünün %21,4'ünü kaplamaktadır.

Havzadaki 4 ana hidrojeolojik ortam türünün (taneli ortam sutaşırları, taneli ortam yarısutaşırları, kaya ortam sutaşırları, kaya ortam yarısutaşırları) serbest karakterdeki hidrojeolojik ortam bölgelerinde depolanmış yeraltısularının alınabilirliği mümkün görülen miktarı, (yeraltısuyu mümkün rezervi) serbest taneli ortam sutaşırları ile yarısutaşırları için 80,9 km^3, hem serbest ve hem de basınçlı kaya ortam sutaşırlarının serbest karakterli kesimleri ile doğrudan serbest kaya ortam yarısutaşırları için 87,0 km^3 olmak üzere toplamda 167,9 km^3'tür. Basınçlı karakterdeki hidrojeolojik ortam bölgelerinde depolanmış yeraltısularının yeraltısuyu mümkün rezervi ise basınçlı taneli ortam sutaşırı ve yarısutaşırları için 20,7 km^3, basınçlı kaya ortam sutaşırları ve yarısutaşırları için de 77,4 km^3 olmak üzere toplamda 98,1 km^3 olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, havzaların yeraltısuyu statik rezervine yönelik çalışmalar kapsamında Kızılırmak Havzası için yeraltısuyu hidrojeolojik rezervi 494 km^3 olarak belirlenmiştir. Havzada yer alan tüm serbest-basınçlı karakterdeki taneli-kaya ortam sutaşırlarına (akifer)-yarısutaşırlarına (akitard) ait yeraltısuyu mümkün rezervinin toplamda 266 km^3 büyüklükte bir kaynak oluşturduğu söylenebilir.

17.5 Hidrolik Projeksiyon Çalışmaları

Hidrolik model sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasında nitelik (örn. üst havza- alt havza) ve sayı olarak her havza için havzayı temsil edecek şekilde belirlenen Akım Gözlem İstasyonu'nun (AGİ) bulunduğu noktalarda model çıktılarının analizinin yapılması ve sunulması hedeflenmiştir. Bu rapor dahilinde söz konusu noktalar, kontrol noktası olarak adlandırılmıştır. Kızılırmak Havzası'nda havzanın farklı yerlerine dağılmış 4 adet kontrol noktası seçilmesinin, sonuçların etkin bir şekilde analiz edilmesi bakımından optimal olacağı düşünülmüştür. Şekil 17.55 ile Kızılırmak Havzası için seçilen kontrol noktalarının konumları verilmektedir. Hidrolik modelde her bir enkesite, HEC-RAS "kontrol enkesit no" atamaktadır. Bu "kontrol enkesitleri" rapor genelinde "KE" kısaltması ile gösterilmiştir. Söz konusu kontrol noktaları için model neticesinde elde edilen akışdaki değişimler bu bölümde sunulmakta ve tartışılmaktadır. Şekil 17.55 ile gösterilen Kontrol Kesitleri'nin HEC-RAS modelindeki kodu, AGİ istasyon kod numarası ve konum bilgileri Tablo 17.33 ile verilmiştir.

Şekil 17.55 Kızılırmak Havzası için Seçilen Kontrol Noktalarının Konumları

Tablo 17.33 Kızılırmak Havzası'ndaki Kontrol Noktalarının AGİ İstasyon No'ları ve HEC-RAS Modelindeki Kesit Numaraları

AGİ İstasyon No	Veri Varlığı (%)	HEC-RAS Modelindeki Kesit Numarası	Kontrol Kesitinin Bulunduğu Su Kaynağı ve Mevki Bilgileri
12015226	51	KIN_088_KE_8000	Kastamonu merkezde Eymur Köyü'ndedir.
32015036	74	KIN_085_KE_1000	Çorum ili Kargi ilcesinin Hacihamza Bucagi'ndan Tosya'ya giden yolun 2. kilometresinde Avsar Yolu üzerindeki köprüsünün üzerindedir.
32015035	99	KIN_019_KE_8000	Sivas-Ankara karayolunun 18. kilometresindeki Söğütlühan yakınındadır.
32015041	75	KIN_083_KE_22000	Sungurlu-Çankırı karayolunun 30. kilometresindeki Çadırhöyük Köprüsü üzerindedir.

Kızılırmak Havzası'na ait üç küresel iklim modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre oluşturulan 30'ar yıllık su yüzeyi kotlarındaki değişimler ve aylık debi grafikleri Ek 17.4 ile verilmektedir. Ayrıca, iklim modelleri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre oluşturulan hidrolik model girdileri ve sonuçları elektronik olarak Ek 17.4 bünyesinde sunulmaktadır.

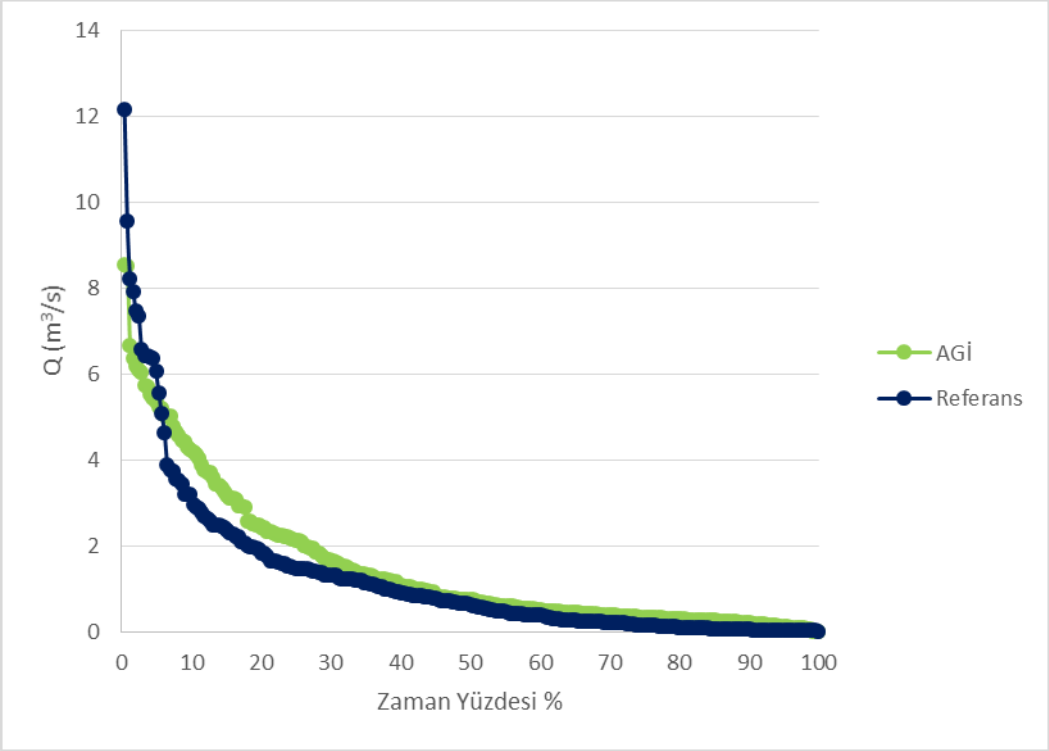
17.5.1 Hidrolik Model Sonuçlarının Akım Gözlem İstasyonlarındaki Gözlem Sonuçları ile Tutarlılığının Değerlendirilmesi

Kızılırmak Havzası için elde edilen hidrolik model sonuçları AGİ'lerde bulunan gözlem sonuçları ile de karşılaştırılmış olup, söz konusu karşılaştırmaların yer aldığı grafiklere ve değerlendirmelere aşağıdaki bölümlerde yer verilmektedir. Her ne kadar karşılaştırma amacıyla en çok veri bulunan istasyonlar seçilmeye çalışıldıysa da, AGİ'nin temsil ediciliği açısından mutlaka seçilmesi gerektiği durumlarda verisi az olan AGİ'ler de seçilmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda modelin referans dönemi için ürettiği sonuçların tamamı değil, karşılaştırmanın yapıldığı AGİ'deki verinin mevcut olduğu dönemler dikkate alınmıştır. Buna karşın referans dönemi ve projeksiyon döneminin karşılaştırıldığı grafiklerde ise projeksiyon dönemlerinin tamamı için üretilen sonuçlar dikkate alınmıştır. Bu nedenle özellikle veri bulunan dönemlerin kısıtlı olduğu AGİ'ler için yapılan karşılaştırmalarda, referans-AGİ ve referans-model projeksiyon karşılaştırmalarında referans değerlerindeki farklar belirginleşmektedir.

17.5.1.1 1. Kontrol Noktası: KIN_088_KE_8000

Söz konusu kontrol enkesiti, Kastamonu iline bağlı Eymur Köyü'nden geçen Daday Çayının memba tarafında yer almaktadır. Daday Çayı Kızılırmak mansabına bağlanan kollardan biridir. İlgili AGİ'de referans döneminin %51'i için veri bulunmaktadır. Şekil 17.56 ile görüldüğü üzere,

referans dönem için üretilen model sonuçları ve gözlem verisi büyük oranda örtüşmektedir. Modelin özellikle ortalama akımlar (%50) ve düşük akımlar (%95) için gözlem verisi ile uyumlu sonuçlar verdiği dikkati çekmektedir. Yüksek akımlar (%5) için ise model sonuçları gözlem verisinin üzerindedir. Yüksek akımlar ekstrem durumlar olarak nitelendirildiği için modellerin bu akımları tahmin yeteneği diğer akımlara göre daha düşük kalmaktadır (FORALPS, 2008). Buna rağmen modelin bu kontrol noktasını başarı ile temsil ettiğinden söz edilebilir.



Şekil 17.56 KIN_088_KE_8000 Kontrol Noktası için Hidrolik Model Sonuçları ve Akım Gözlem İstasyonlarındaki Gözlem Sonuçları

17.5.1.2 2. Kontrol Noktası: KIN_085_KE_1000

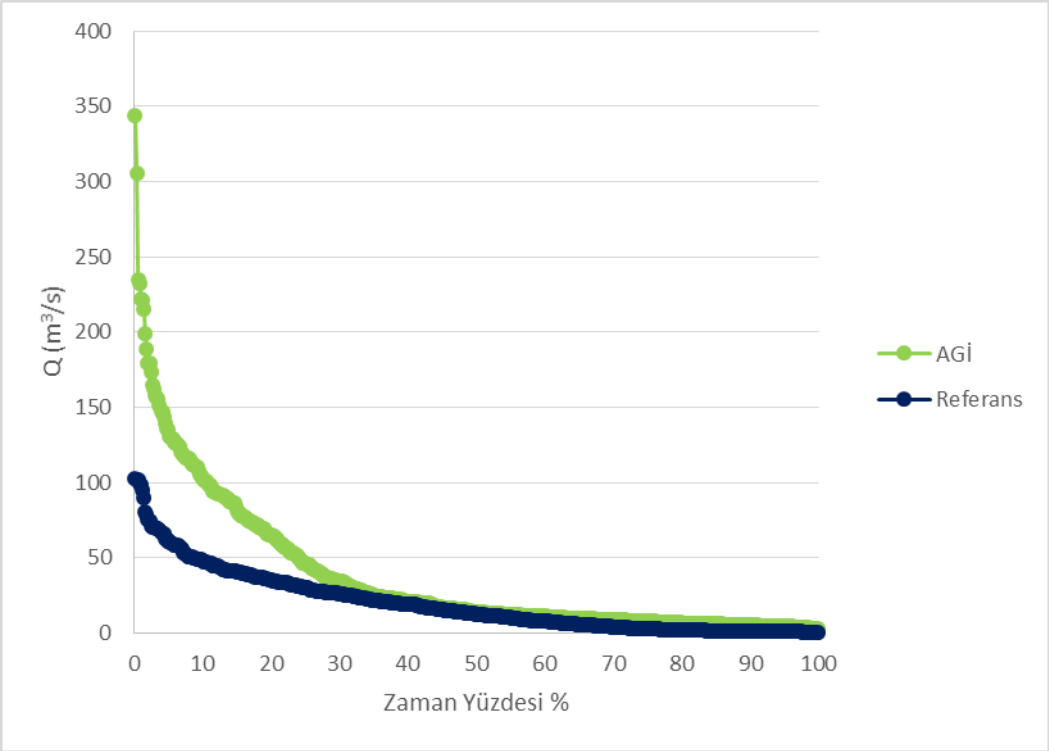
Söz konusu enkesit, Çorum ili Kargı ilçesine bağlı Avşar ve Çeltiközü mevkiileri arasında yer almaktadır. İlgili akım gözlem istasyonu Kızılırmak Nehri'ni oluşturan kollardan biri üzerindedir. İlgili AGİ'de referans döneminin %74'ü için veri bulunmakta olup mevcut veriler ilgili döneme karşılık gelen model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 17.57 ile görüldüğü üzere, model tüm akımlar için gözlem verisi ile uyumlu sonuçlar üretmemektedir. Ancak ortalama akımlarda model sonuçları ve gözlem verisinin uyumlu olduğu görülmektedir. Düşük akımlarda ise model, gözlem verisinden daha düşük sonuçlar üretmektedir. Yüksek akımlarda ise model sonuçlarının gözlem verisinin oldukça üzerinde kaldığı dikkati çekmektedir. Bu durum modelin yüksek akımları tahmin yeteneğinin diğer akımlara göre düşük olması ile açıklanabilir

(FORALPS, 2008). Buna rağmen modelin bu kontrol noktasını ortalama ve düşük akımlar açısından başarıyla temsil ettiğinden söz edilebilir.

Şekil 17.57 KIN_085_KE_1000 Kontrol Noktası için Hidrolik Model Sonuçları ve Akım Gözlem İstasyonlarındaki Gözlem Sonuçları

17.5.1.3 3. Kontrol Noktası: KIN_019_KE_8000

32015035 numaralı istasyon, Sivas Merkez ilçesine bağlı Kumyurt mevkii yakınlarında yer almaktadır. Söz konusu enkesit Kızılırmak'ın Sivas yönünden doğan memba tarafında yer almaktadır. Enkesitin bulunduğu Kızılırmak kolu Kayseri ilçesine geçerek enerji temini amaçlı kullanılan Yamula Barajı'na dökülmektedir. Söz konusu AGİ'de referans döneminin %99'u için veri bulunmakla beraber bu veriler ilgili döneme karşılık gelen model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 17.58 ile verildiği üzere, referans dönemi için model tarafından üretilen sonuçlar ortalama ve düşük akımlar için gözlem verisi ile önemli ölçüde uyumludur. Bununla birlikte yüksek akım sonuçlarında modelin gözlem verisinin oldukça altında sonuç ürettiği görülmektedir. Yüksek akımların ekstrem durumları yansıttığı ve modellerin bu akımları tahmin yeteneğinin düşük olduğu dikkate alındığında, modelin bu kontrol noktasını başarılı bir şekilde temsil ettiği sonucuna varılabilir (FORALPS, 2008).



Şekil 17.58 KIN_019_KE_8000 Kontrol Noktası için Hidrolik Model Sonuçları ve Akım Gözlem İstasyonlarındaki Gözlem Sonuçları

17.5.1.4 4. Kontrol Noktası: KIN_083_KE_22000

İlgili kontrol enkesiti Kızılırmak Nehrine bağlanan ve havzadaki en önemli su kütlelerinden biri olan Delice Çayı mansabında yer almaktadır. 32015041 numaralı istasyon, Çorum ve Çankırı illeri arasında Sungurlu ilçesi Yeşilova mevkii yakınlarındaki Çadırhöyük Köprüsü üzerinde yer almaktadır. AGİ'nin bulunduğu enkesit Kızılırmak Havzası'nda önemli noktasal deşarjların gerçekleştiği akarsu kollarından biridir. Söz konusu AGİ'de referans döneminin %75'i için veri bulunmakla beraber bu veriler ilgili döneme karşılık gelen model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 17.59 ile verildiği üzere, model sonuçları özellikle düşük akımlar için gözlem verisi ile uyumludur. Ancak modelin yüksek ve ortalama akımlar için gözlem verisinin üzerinde sonuçlar ürettiği görülmektedir. Model sonuçları yüksek akımlar için gözlem verisinden büyük ölçüde farklı sonuç üretirken, ortalama akımlarda model sonuçları ve gözlem verisi arasındaki fark azalmaktadır. Bunun nedeni, yüksek akımların ekstrem durumları yansıtması ve modellerin yüksek akımları tahmin etme yeteneklerinin, düşük ve orta akımlara göre daha kısıtlı olmasından kaynaklanmaktadır (FORALPS, 2008). Özellikle ortalama ve düşük akımlar için modelin bu kontrol noktasını başarıyla temsil ettiği sonucuna varılabilir.

Şekil 17.59 KIN_083_KE_22000 Kontrol Noktası için Hidrolik Model Sonuçları ve Akım Gözlem İstasyonlarındaki Gözlem Sonuçları

17.5.2 Hidrolik Model Sonuçlarının Projeksiyon Dönemi için Debi Süreklilik Grafikleri ile Değerlendirilmesi

30'ar yıllık zaman periyotlarında debi süreklilik çizgilerinin verilmesi ile var olan mühendislik yapılarının inşa edilirken kullanılan tasarım kriterlerinin projeksiyon yıllarında yeterliliğinin sorgulanmasına zemin hazırlamak hedeflenmiştir. Örnek ile ifade etmek gerekirse bir hidroelektrik santralinin tasarımında esas alınan %25 tasarım debisinin, ileriye dönük projeksiyon döneminde nasıl değişeceğini ve buna bağlı olarak alınması gereken önlemleri belirlemede aşağıda verilen debi süreklilik çizgilerinden faydalanılabilecektir. Buna ilave olarak debi süreklilik çizgileri akışın zaman içindeki dağılımına yönelik önemli ipuçları sunmaktadırlar.

Ancak şu nokta özellikle vurgulanmalıdır ki, bu bölümde sunulan debi süreklilik çizgilerinin verilmesindeki hedef, bu verilerin detaylı olarak yorumlanmasından ziyade, ülkenin su yönetimi politikasında söz sahibi kurum ve kuruluşların ileride iklim değişikliği etkileri sonucu var olan mühendislik yapılarının bu değişikliğe cevap vermede yeterliliklerinin sorgulanmasında ihtiyaç duyacağı altyapının hazırlanmasıdır.

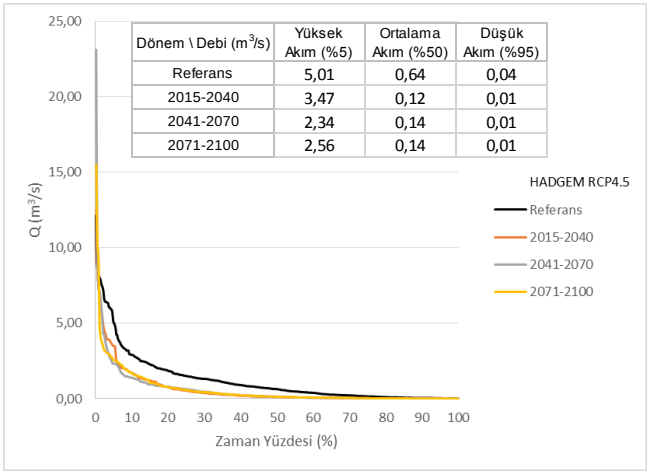
Aşağıda verilen debi süreklilik çizgilerinin yorumlanması aşamasında 30 yıllık zaman dilimlerine ait yüksek akım (%5), ortalama akım (%50) ve düşük akım (%95) değerlerindeki değişim tartışılmıştır. Farklı küresel iklim modelleri sonuçlarının hidrolik açıdan karşılaştırılabilmesi için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine ait sonuçlar senaryolar bazında (RCP4.5, RCP8.5) birlikte değerlendirilmiştir.

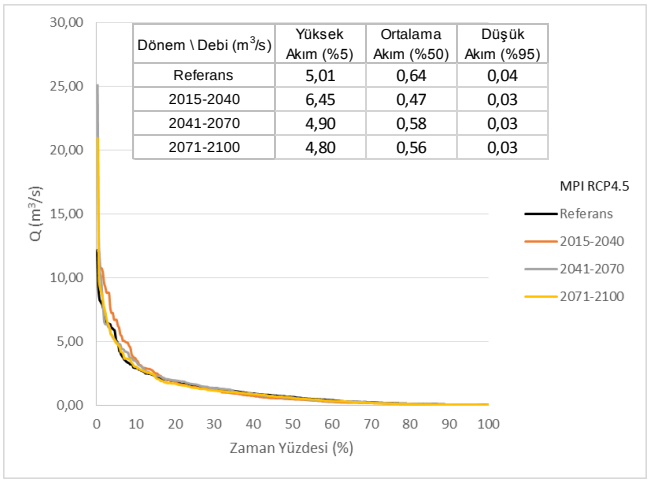
17.5.2.1 1. Kontrol Noktası: KIN_088_KE_8000

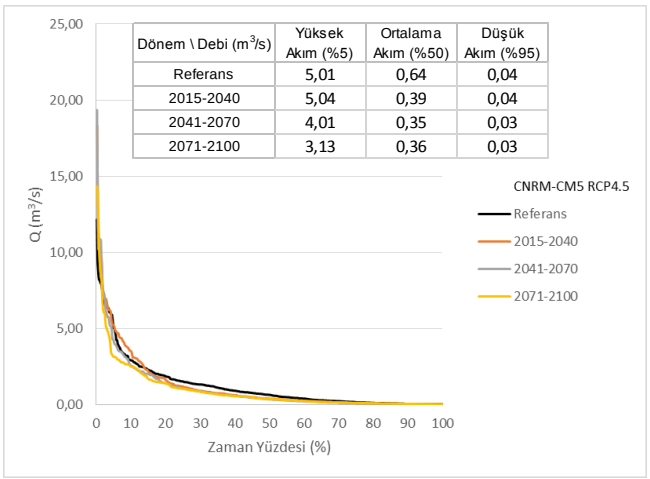
Bu kontrol enkesiti, Kastamonu iline bağlı Eymur Köyü'nden geçen Daday Çayının memba tarafında yer almaktadır. Daday Çayı Kızılırmak mansabına bağlanan kollardan biridir. Şekil 17.60 ile verilen debi süreklilik çizgisi RCP4.5 senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri ile elde edilen akımları göstermektedir. Model sonuçları genel olarak yüksek, ortalama ve düşük akımlar için referans dönemi değerlerinin altında kalmaktadır. Sadece MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin 2015-2040 projeksiyon döneminde yüksek akımlarda referans döneminin üzerinde sonuç ürettiği görülmektedir.

Model sonuçları karşılaştırıldığında, yüksek akımlarda MPI-ESM-MR modelinin en yüksek sonuçları verdiği, HadGEM2-ES modelinin ise en düşük sonuçları ürettiği görülmektedir. Benzer şekilde, ortalama akım değerlerinde de en yüksek sonuçlar MPI-ESM-MR modeli ile, en düşük sonuçlar ise HadGEM2-ES modeli ile elde edilmektedir. Düşük akımlarda ise modellerin oldukça düşük debi değerleri üretmekte olduğu ve projeksiyon dönemlerine göre debi değerlerinin değişiklik göstermediği dikkati çekmektedir. Düşük akımlarda en düşük

sonuçlar HadGEM2-ES modeli tarafından üretilirken, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.







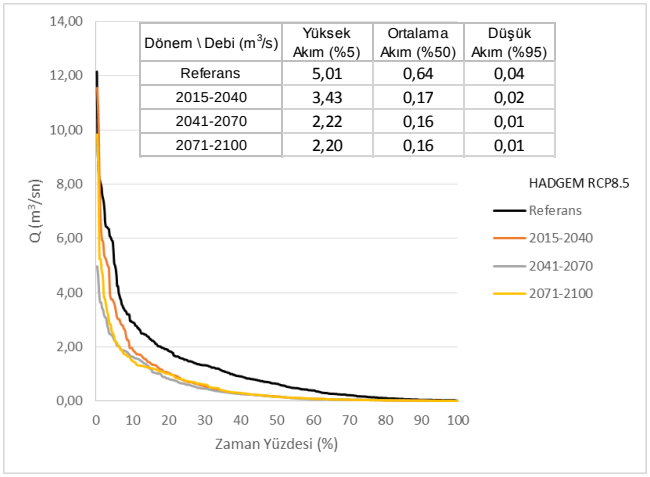
Şekil 17.60 RCP4.5 Senaryosu için KIN_088_KE_8000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri

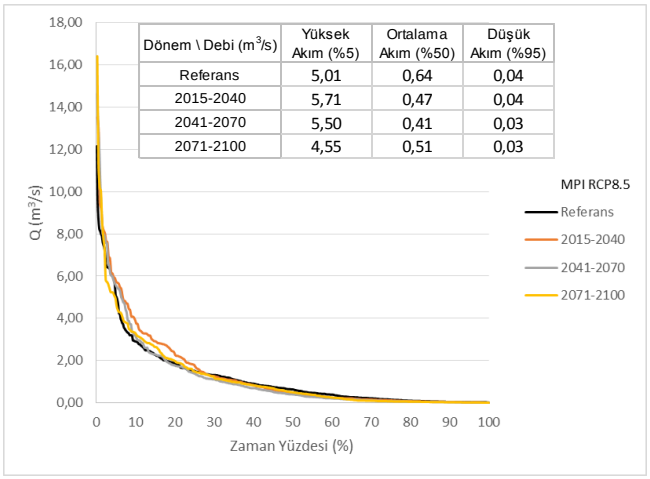
Şekil 17.61 ile verilen debi süreklilik çizgisi RCP8.5 senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri ile elde edilen akımları göstermektedir. Her üç iklim modeli için tüm akımlar referans değerine göre farklılık göstermektedir.

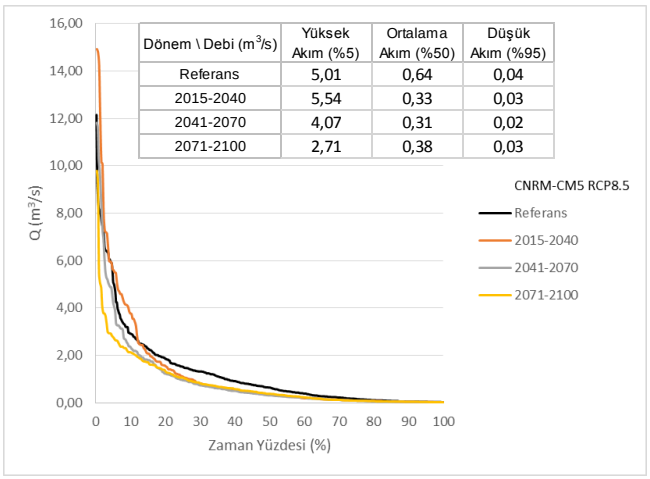
Yüksek akımlarda tüm modeller projeksiyon dönemi boyunca azalma eğilimi sergilemektedir. Modeller arasında en düşük akım sonuçlarını HadGEM2-ES modeli vermektedir. Projeksiyon dönemi boyunca modeller arasındaki en yüksek akım değerini MPI-ESM-MR modeli tahmin etmektedir. CNRM-CM5.1 modeli ise MPI-ESM-MR modeli sonuçlarına yakın değerler üretmiş olup, 2071-2100 döneminde debi değerinde kuvvetli bir azalma tahmini ile dikkati çekmektedir.

Ortalama akımlarda tüm model sonuçları referans değerinin altında yer almış olup, yüzyıl ortasına kadar azalma daha sonra tekrar artma ya da sabit kalma trendi sergilemektedir. HadGEM2-ES modeli modeller arasındaki en düşük ortalama akım değerlerini sunmaktadır. MPI-ESM-MR modeli tüm dönemlerde en yüksek akım değerlerini öngörmektedir.

Düşük akımlarda ise HadGEM2-ES modeli genel olarak diğer iki modele göre daha düşük akım değerleri ortaya koymaktadır. HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR modelleri tarafından üretilen debi değerlerinin referans değerine ve birbirlerine yakın değerler olduğu görülmektedir. Tüm modeller projeksiyon dönemi boyunca azalma trendi sergilemekte olup, bu senaryo için düşük akımlarda öne çıkan bir model söz konusu değildir.





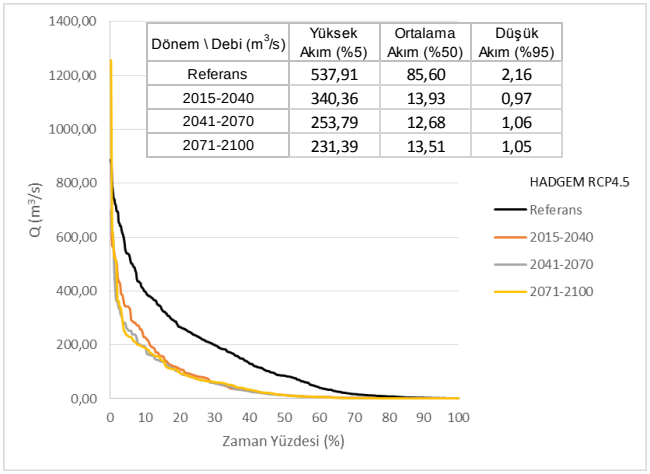


Şekil 17.61 RCP8.5 Senaryosu için KIN_088_KE_8000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri

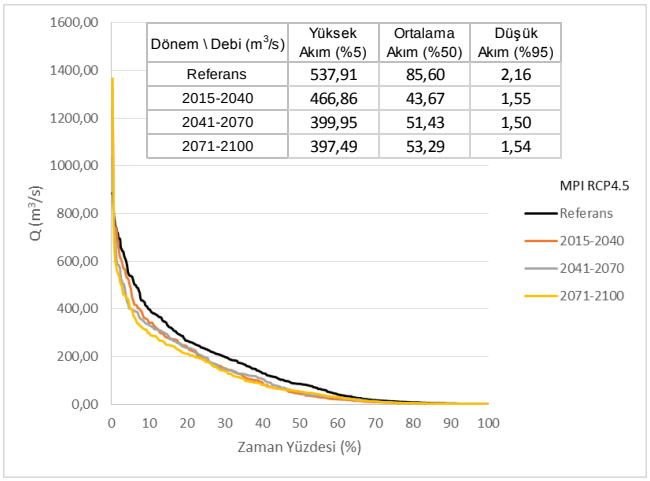
17.5.2.2 2. Kontrol Noktası: KIN_085_KE_1000

Söz konusu enkesit, Çorum ili Kargı ilçesine bağlı Avşar ve Çeltiközü mevkileri arasında yer almaktadır. İlgili akım gözlem istasyonu Kızılırmak Nehri'ni oluşturan kollardan biri üzerindedir. Şekil 17.62 ile verilen debi süreklilik çizgisi RCP4.5 senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri ile elde edilen akımları göstermektedir. Model sonuçları tüm projeksiyon dönemleri için yüksek, ortalama ve düşük akımlarda referans dönemi değerlerinin altında kalmaktadır. Bu senaryo için modellerin ürettiği sonuçların projeksiyon dönemlerine göre farklılık gösterdiği dikkati çekmektedir.

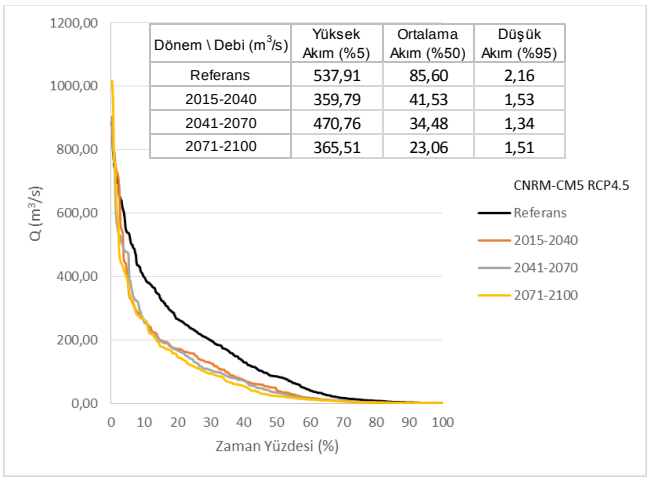
Model sonuçları karşılaştırıldığında, yüksek akımlarda 2015-2040 ve 2071-2100 dönemlerinde en yüksek değerlerin MPI-ESM-MR modeli ile üretildiği, 2041-2070 döneminde ise CNRM-CM5.1 modelinin en yüksek sonucu verdiği görülmektedir. Ortalama akımlarda ise tüm projeksiyon dönemlerinde en yüksek debi sonuçlarını MPI-ESM-MR modeli vermektedir. Düşük akımlar için ise tüm projeksiyon dönemlerinde en yüksek değerlerin MPI-ESM-MR tarafından üretildiği ve 2015-2040 ve 2071-2100 dönemlerinde MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 model sonuçlarının benzerlik gösterdiği dikkati çekmektedir. Tüm projeksiyon dönemlerinde yüksek, ortalama ve düşük akımlar için en düşük debi değerleri HadGEM2-ES modeli tarafından üretilmektedir.



Dönem \ Debi (m^3/s)	Yüksek Akım (%5)	Ortalama Akım (%50)	Düşük Akım (%95)
Referans	537,91	85,60	2,16
2015-2040	340,36	13,93	0,97
2041-2070	253,79	12,68	1,06
2071-2100	231,39	13,51	1,05



Dönem \ Debi (m^3/s)	Yüksek Akım (%5)	Ortalama Akım (%50)	Düşük Akım (%95)
Referans	537,91	85,60	2,16
2015-2040	466,86	43,67	1,55
2041-2070	399,95	51,43	1,50
2071-2100	397,49	53,29	1,54



Dönem \ Debi (m^3/s)	Yüksek Akım (%5)	Ortalama Akım (%50)	Düşük Akım (%95)
Referans	537,91	85,60	2,16
2015-2040	359,79	41,53	1,53
2041-2070	470,76	34,48	1,34
2071-2100	365,51	23,06	1,51

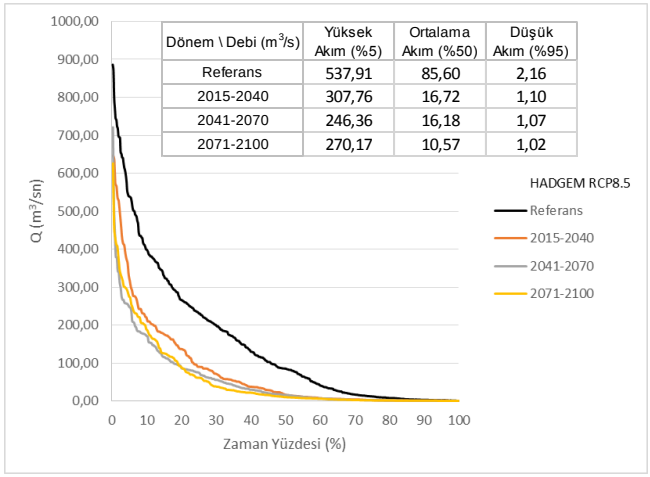
Şekil 17.62 RCP4.5 Senaryosu için KIN_085_KE_1000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri

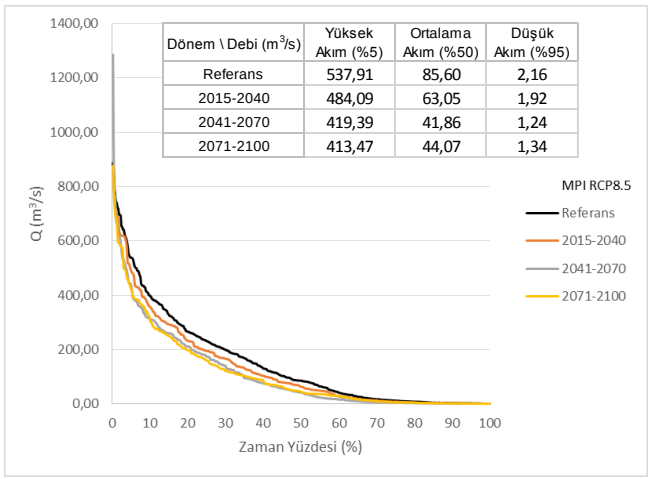
Şekil 17.63 ile verilen debi süreklilik çizgisi RCP8.5 senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri ile elde edilen akımları göstermektedir. Modeller tüm akımlarda referans dönemin altında sonuçlar vermektedir.

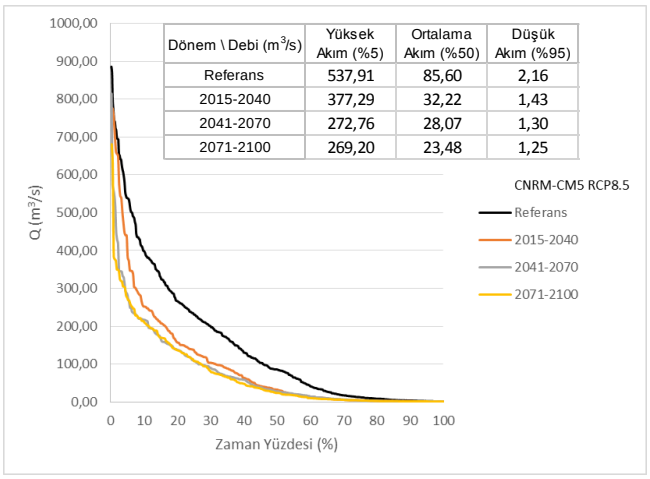
Yüksek akımlar incelendiğinde, HadGEM2-ES modeli diğer model sonuçlarına göre daha düşük yüksek akım değerleri üretmiş olup, tüm model ve dönemler arasında en düşük akım değerinin 2041-2070 döneminde bu model sonucunda görülmesi tahmin edilmektedir. MPI-ESM-MR modeli diğer modeller ile kıyaslandığında en yüksek akım değerlerini üretmesine rağmen hiçbir projeksiyon döneminde referans dönemi değerini yakalayamayacağı tahmin edilmektedir. CNRM-CM5.1 modeli ise MPI-ESM-MR modelinden daha düşük değerler öngörmektedir.

Ortalama akım değerlerinde tüm model sonuçları referans döneminin altında olup, en yüksek ortalama akım değerlerini tüm projeksiyon dönemleri için MPI-ESM-MR modeli üretmiştir. HadGEM2-ES modeli ise genel olarak düşük ortalama akım değerlerine sahip olacağı öngörülmektedir. Genel olarak modeller projeksiyon dönemi boyunca azalan bir trend sergilemektedir. Bununla birlikte MPI-ESM-MR modelinin 2071-2100 döneminde ortalama debi değerlerinde artış öngörüsü sunmaktadır. Referans dönemine en yakın ortalama akım değerinin 2015-2040 döneminde MPI-ESM-MR model sonucunda görülmesi tahmin edilmektedir.

Düşük akımlarda ise tüm model sonuçları referans dönemin altında kalmaktadır. Modeller arasında en düşük akım değerleri tüm dönemler için HadGEM2-ES modeli sonuçlarında görülmektedir. MPI-ESM-MR modeli 2015-2040 ve 2071-2100 dönemlerinde en yüksek debi değerlerini üretirken, CNRM-CM5.1 modeli 2041-2070 döneminde en yüksek değeri üretmektedir. MPI-ESM-MR modelinin 2071-2100 dönemi için artış tahmini dışında modeller genel olarak azalış eğilimi sergilemektedir.







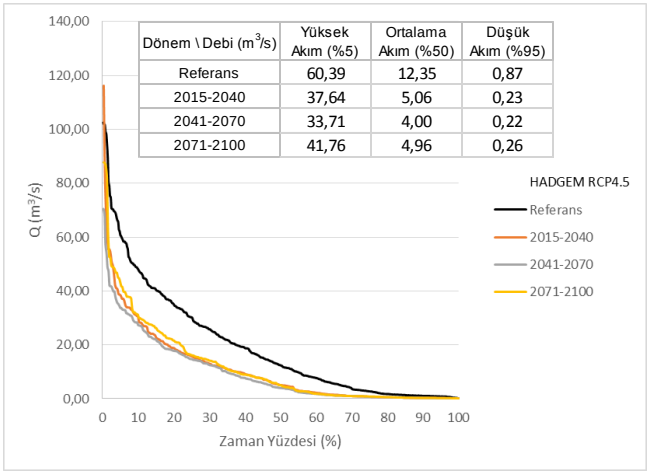
Şekil 17.63 RCP8.5 Senaryosu için KIN_085_KE_1000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri

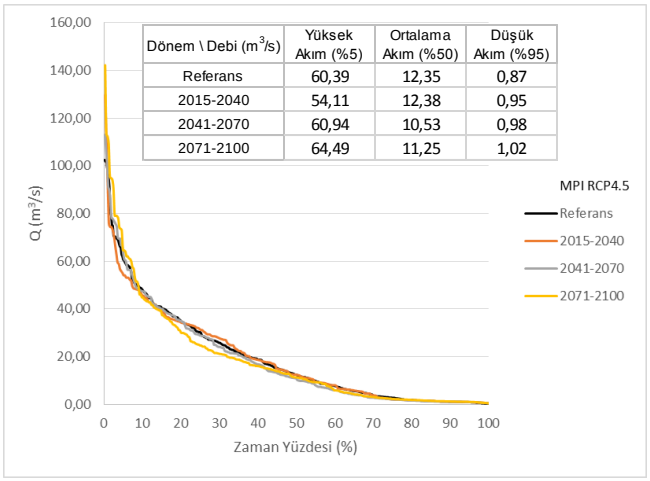
17.5.2.3 3. Kontrol Noktası: KIN_019_KE_8000

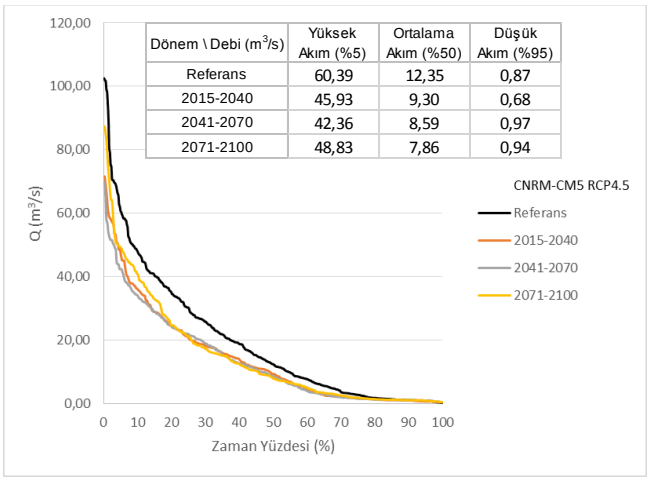
Bu kontrol noktası Sivas Merkez ilçesine bağlı Kumyurt mevkii yakınlarında yer almaktadır. Söz konusu enkesit Kızılırmak'ın Sivas yönünden doğan memba tarafında yer almaktadır.

Şekil 17.64 ile verilen debi süreklilik çizgisi RCP4.5 senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri ile elde edilen akımları göstermektedir. Model sonuçlarının tüm projeksiyon dönemlerinde yüksek ve ortalama akımlar için referans dönemi değerlerinin altında kaldığı, düşük akımlarda MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin referans değerlerinin üzerinde sonuç üretebildiği dikkati çekmektedir.

Model sonuçları karşılaştırıldığında, tüm projeksiyon dönemleri için yüksek, ortalama ve düşük akımlarda en yüksek sonuçların MPI-ESM-MR modeli ile, en düşük sonuçların ise HadGEM2-ES modeli ile üretildiği göze çarpmaktadır. Model sonuçlarında düşük akım değerlerindeki farklılık dikkati çekmektedir. HadGEM2-ES modeli referans değerinin belirgin bir şekilde altında sonuç verirken, MPI-ESM-MR modeli tüm projeksiyon dönemlerinde referans değerlerinin üzerinde debi değerleri üretmekte, CNRM-CM5.1 modeli ise 2041-2070 ve 2071-2100 projeksiyon dönemlerinde referans dönemine eşit sonuçlar vermektedir.







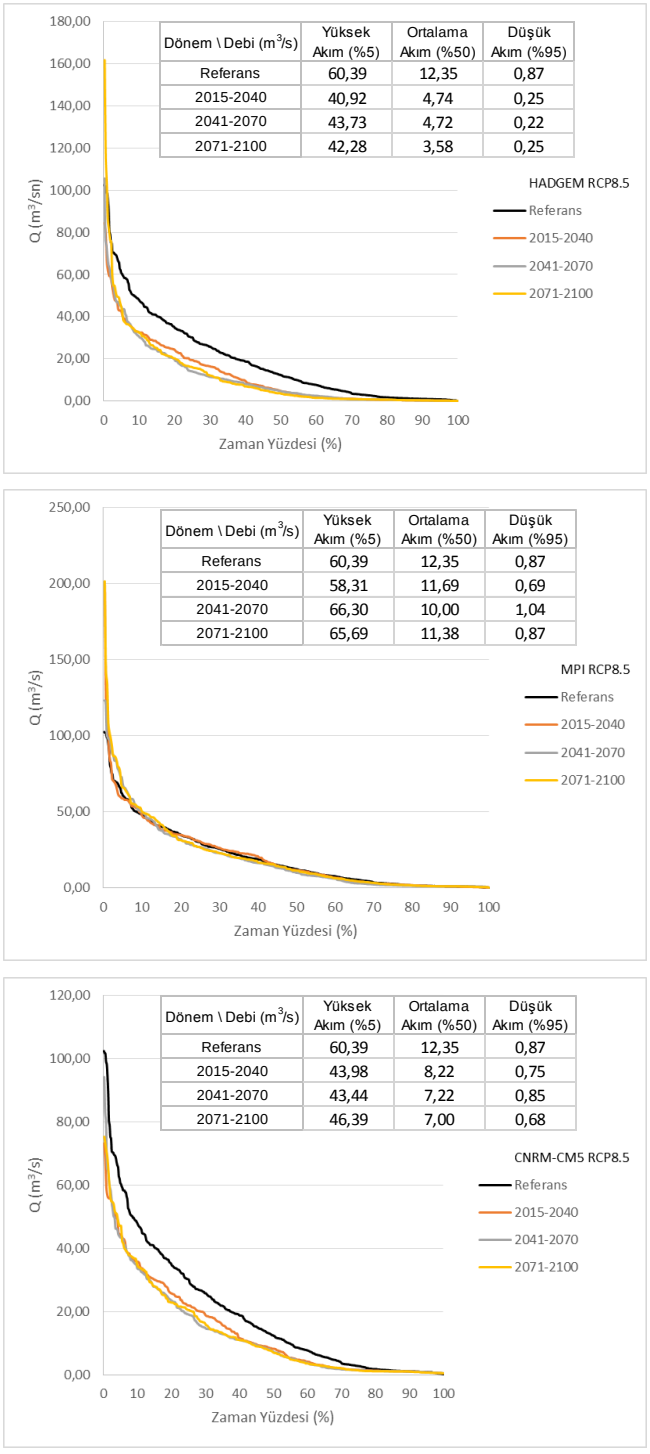
Şekil 17.64 RCP4.5 Senaryosu için KIN_019_KE_8000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri

Şekil 17.65 ile verilen debi süreklilik çizgisi RCP8.5 senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri ile elde edilen akımları göstermektedir. Genel olarak modeller tüm akımlarda referans dönemin altında sonuç vermektedir. Sadece MPI-ESM-MR modelinin yüksek akım değerlerinin referans döneminin üzerine çıkabildiği görülmektedir.

Yüksek akımlarda Had-GEM2-ES model sonuçları, modeller arasında en düşük akım değerlerini öngörmektedir. MPI-ESM-MR modeli en yüksek değerleri üretmekte olup, 2041-2070 döneminde akımlarda artışa, 2071-2100 döneminde ise azalmaya işaret etmektedir. CNRM-CM5.1 modeli ise yüzyıl ortasına kadar benzer değerler üretmiş olup, son dönemde daha yüksek debi değerleri sunmaktadır. Modeller arasında en yüksek akım sonucunu 2041-2070 döneminde MPI-ESM-MR modeli öngörmektedir.

Ortalama akımlarda HadGEM2-ES modeli tüm projeksiyon dönemlerinde en düşük ortalama akım değerlerini üretmiş olup, referans değerinin oldukça altında sonuçlar vermektedir. MPI-ESM-MR model sonuçları genel olarak projeksiyon dönemi boyunca çok fazla değişmemekle birlikte modeller arasındaki en yüksek ortalama akım değerlerini sunmaktadır. CNRM-CM5.1 model sonuçları HadGEM2-ES modeli kadar düşük olmasa da MPI-ESM-MR modeli sonuçlarını da yakalayamamaktadır.

Düşük akım değerleri incelendiğinde HadGEM2-ES modeli sonuçlarının tüm projeksiyon dönemi boyunca birbirine yakın ve referans değerinin altında yer aldığı görülmektedir. MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri 2041-2070 döneminde artış, 2071-2100 döneminde azalış eğilimi sergilemektedir. CNRM-CM5.1 modeli referans değerine yakın sonuçlar üretmesine rağmen referans değerini yakalayamamaktadır. MPI-ESM-MR modelinin ise 2041-2070 döneminde referans değerinin üzerinde sonuç vermesi beklenmektedir.

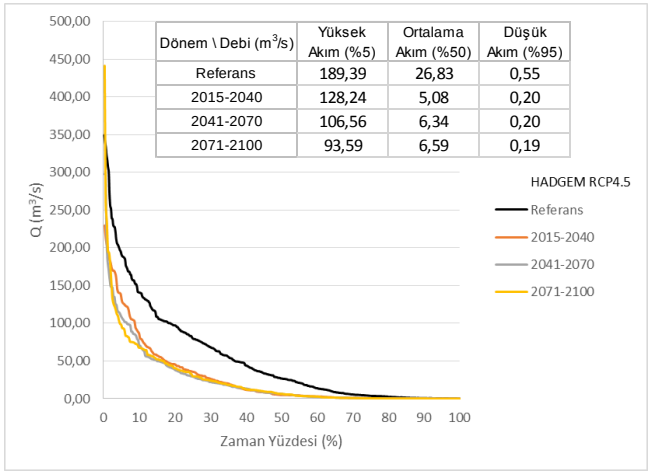


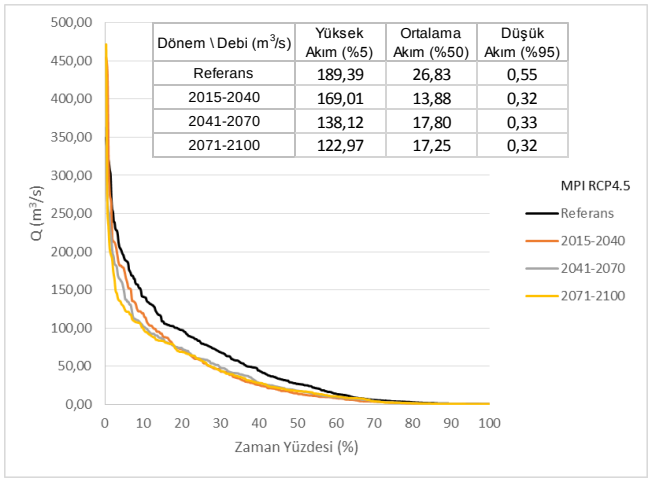
Şekil 17.65 RCP8.5 Senaryosu için KIN_019_KE_8000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri

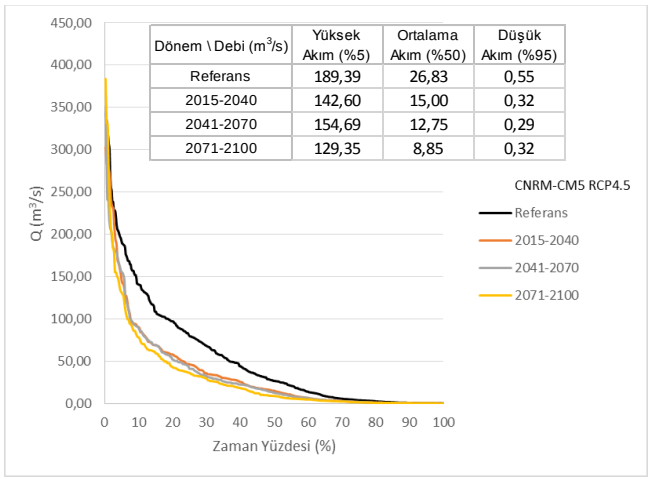
17.5.2.4 4. Kontrol Noktası: KIN_083_KE_22000

İlgili kontrol enkesiti Kızılırmak Nehri'ne bağlanan ve havzadaki en önemli su kütlelerinden biri olan Delice Çayı mansabında yer almaktadır. Şekil 17.66 ile verilen debi süreklilik çizgisi RCP4.5 senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri ile elde edilen akımları göstermektedir. Her üç model sonuçlarının da tüm projeksiyon dönemleri için referans dönemi değerlerinin altında kaldığı dikkati çekmektedir. Bununla birlikte referans dönemine en yakın debi değerini MPI-ESM-MR modelinin üretebildiği görülmektedir.

Model sonuçları karşılaştırıldığında, yüksek, ortalama ve düşük akımlar için tüm projeksiyon dönemlerinde en düşük değerlerin HadGEM2-ES modeli ile üretildiği göze çarpmaktadır. Yüksek akımlarda 2015-2040 döneminde en yüksek debi değerleri MPI-ESM-MR modeli ile, 2041-2070 ve 2071-2100 projeksiyon dönemlerinde en yüksek sonuçların CNRM-CM5.1 modeli ile üretildiği görülmektedir. Ortalama akımlarda 2015-2040 döneminde CNRM-CM5.1 modeli en yüksek debi değerlerini verirken, 2041-2070 ve 2071-2100 dönemlerinde MPI-ESM-MR modeli en yüksek sonuçları üretmektedir. Düşük akımlarda MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 model sonuçları birbirine oldukça yakın ve HadGEM2-ES model sonuçlarının üzerinde yer almaktadır. Ortalama akımlar için, projeksiyon dönemi boyunca debi değerlerinde azalma gerçekleşeceği tahmini CNRM-CM5.1 modeli sonuçları ile ortaya konmaktadır.







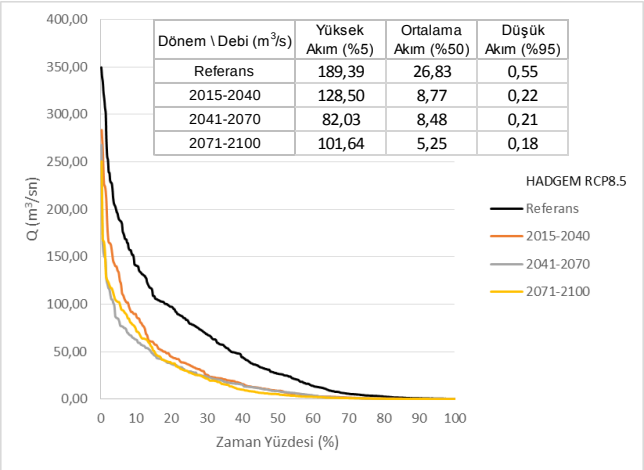
Şekil 17.66 RCP4.5 Senaryosu için KIN_083_KE_22000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri

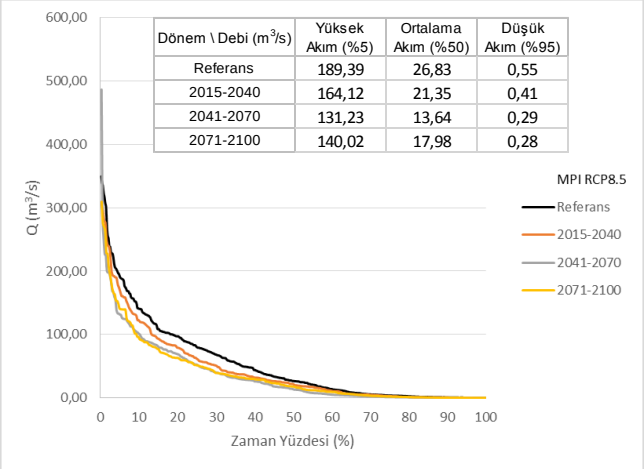
Şekil 17.67 ile verilen debi süreklilik çizgisi RCP8.5 senaryosu için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri ile elde edilen akımları göstermektedir.

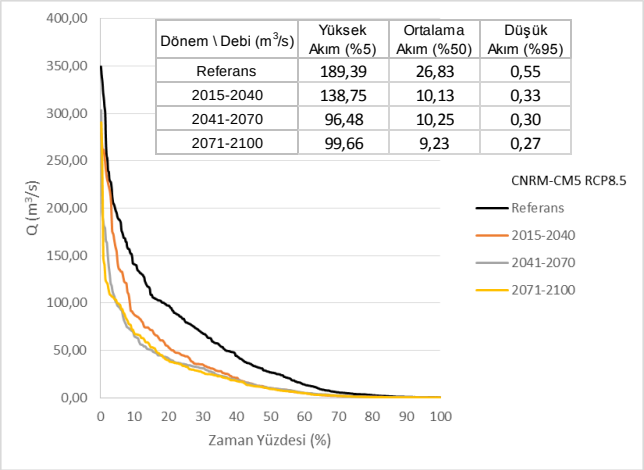
Yüksek akımlarda tüm model sonuçları 2041-2070 döneminde azalma, 2071-2100 döneminde ise tekrar artma eğilimi göstermektedir. Modeller arasında en düşük akım sonuçları HadGEM2-ES modeli, en yüksek akım sonuçları ise MPI-ESM-MR modeli tarafından öngörülmektedir.

Ortalama akımlarda en düşük model sonuçları HadGEM2-ES modeli, en yüksek model sonuçları ise MPI-ESM-MR modeli tarafından öngörülmektedir. HadGEM2-ES ve CNRM-CM5.1 modelleri projeksiyon dönemi boyunca azalma trendi sergilemektedir. MPI-ESM-MR modeli ise 2041-2070 döneminde azalma, 2071-2100 döneminde ise tekrar artma eğilimi göstermektedir. Projeksiyon dönemi boyunca modeller arasındaki en yüksek debi değerini MPI-ESM-MR modeli 2015-2040 döneminde öngörmektedir.

Düşük akımlarda ise her üç iklim modeli sonuçları referans değerin altında yer almaktadır. Tüm modeller projeksiyon dönemi boyunca azalma eğilimi sergilemektedir. Modeller arasındaki en düşük akım değerleri HadGEM2-ES modeli tarafından öngörülmektedir.





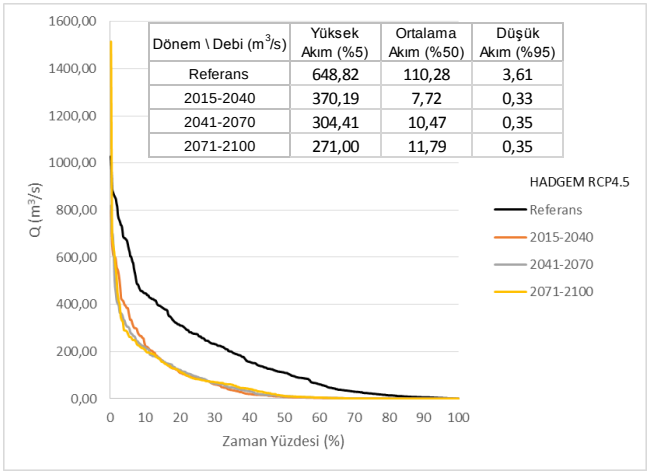


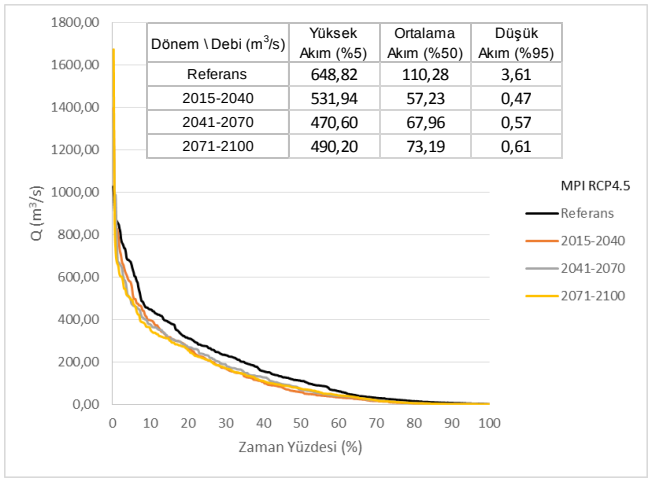
Şekil 17.67 RCP8.5 Senaryosu için KIN_083_KE_22000 Kontrol Noktasına Ait Debi Süreklilik Çizgileri

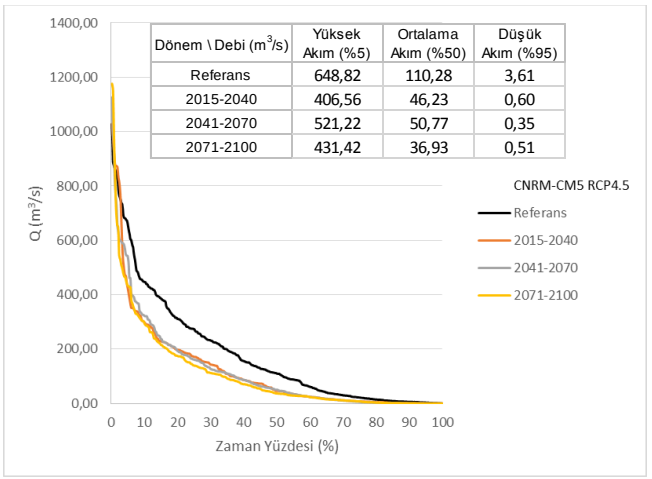
17.5.3 Havzanın Hidrolik Açıdan Genel Değerlendirilmesi

Bu bölümde Kızılırmak Havzası'nın 30'ar yıllık projeksiyon dönemleri için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarında elde edilen sonuçlar topluca ele alınmaktadır. Kızılırmak Nehri'nin mansabı olarak ele alınan noktanın konumu Şekil 17.68 ile, bu noktanın Hec-RAS model enkesiti için üretilen debi süreklilik çizgileri Şekil 17.69 ve Şekil 17.70 ile verilmektedir.

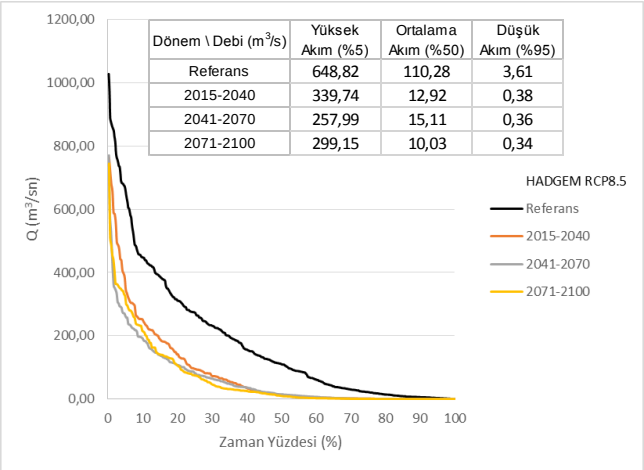
Şekil 17.68 Kızılırmak Havzası için Genel Değerlendirmenin Yapıldığı Noktanın Konumu

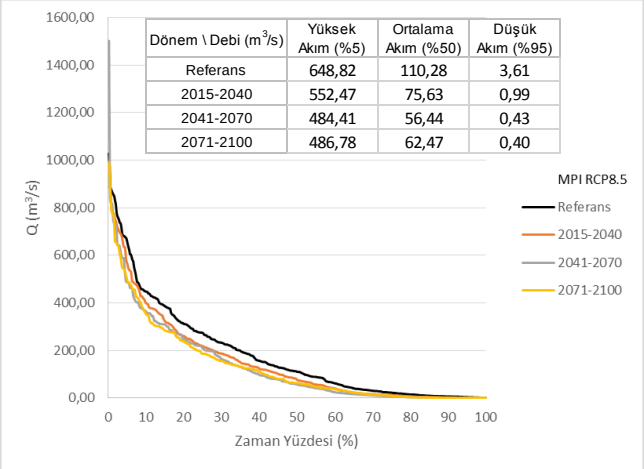


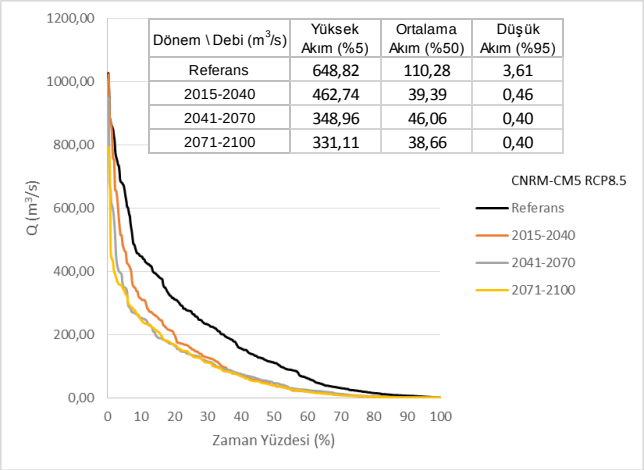




Şekil 17.69 RCP4.5 Senaryosu için Kızılırmak Nehri Mansabı 30'ar Yıllık Projeksiyon Dönemleri Debi Süreklilik Çizgiler



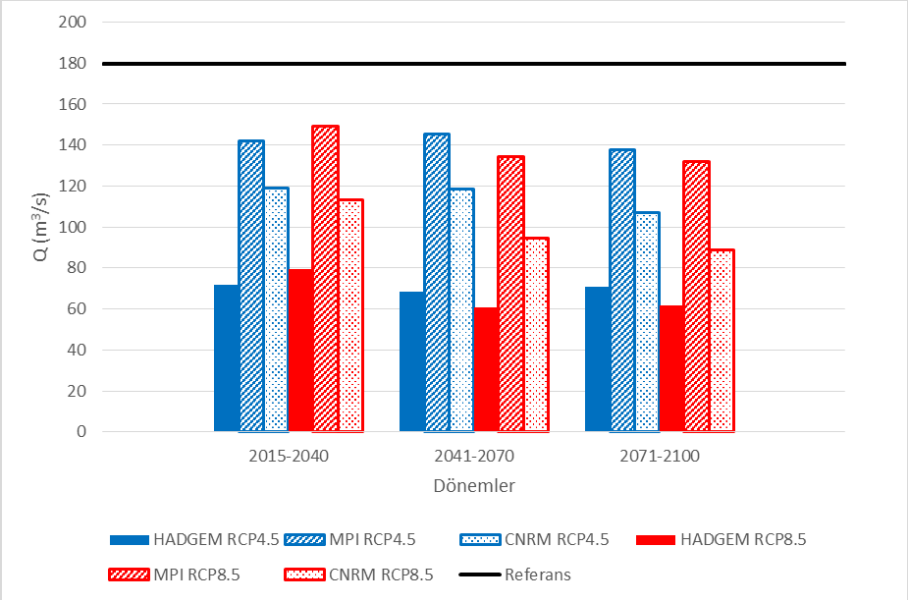




Şekil 17.70 RCP8.5 Senaryosu için Kızılırmak Nehri Mansabı 30'ar Yıllık Projeksiyon Dönemleri Debi Süreklilik Çizgiler

Kızılırmak Havzası'nın mansabını ifade eden noktada, 85 yıllık projeksiyon dönemi için üç farklı iklim modeli sonuçlarına göre üretilen akım değerlerinin ortalamaları Şekil 17.71 ile sunulmaktadır. RCP4.5 senaryosu için üretilen model sonuçlarına göre projeksiyon dönemindeki akışların referans dönemine oranla azalacağı öngörülmektedir. Bu senaryo için

üç farklı model tarafından elde edilen sonuçlar, bütün projeksiyon dönemleri boyunca benzer dağılım göstermektedir. Tüm projeksiyon dönemlerinde HadGEM2-ES modeli en düşük değerleri üretirken, MPI-ESM-MR modeli en yüksek değerleri üretmektedir. Modellerin projeksiyon dönemi boyunca ortalama akım değerlerinde önemli bir değişim öngörmediği göze çarpmaktadır. HadGEM2-ES modeli projeksiyon dönemi boyunca değişiklik öngörmemekte olup, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri 2071-2100 projeksiyon döneminde akım değerlerinde bir miktar azalma gerçekleşeceği tahmininde bulunmaktadır. RCP8.5 senaryosuna göre model sonuçları tüm model ve dönemler için referans değeri altında yer almaktadır. Modeller arasında HadGEM2-ES modelinin en düşük debi değerlerini öngörmekte olup, olumsuz durumu temsil ettiği söylenebilir. MPI-ESM-MR modeli ise projeksiyon dönemi boyunca azalan bir trend sergilemesine rağmen tüm dönemlerde diğer modellerin üzerinde debi değerleri öngörmektedir. CNRM-CM5.1 modeli de benzer bir trend göstermekte olup, diğer modellerin arasında değerler sunmaktadır. Tüm model sonuçlarına göre her iki senaryo içinde HadGEM2-ES modeli en düşük ortalama akımları 2015-2040 dönemi için tahmin etmiştir. Kızılırmak Nehri'nin ortalama akımının referans dönemine göre en fazla %66 oranında azalması beklenmektedir.



Şekil 17.71 Kızılırmak Nehri Mansabı 30'ar Yıllık Projeksiyon Dönemleri için Elde Edilen Ortalama Debi Değerleri

17.6 Genel Değerlendirme

Rapor kapsamında Türkiye akarsularının en uzunu olan Kızılırmak Nehri ile sularını Bafra Ovası'ndan Karadeniz'e döken alanı kapsamakta olan Kızılırmak Havzası'na ait iklim değişikliği projeksiyonları ve söz konusu değişikliğin havzadaki su kaynakları üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda en genel anlamda, havzadaki belirleyici nehir sistemi belirlenmiş, havzanın idari yapısı incelenmiş ve havzadaki arazi kullanımı değerlendirilmiştir. Havzadaki yüzeysel ve yeraltı suyu kaynaklarının mevcut kullanımı ile söz konusu kaynakların kullanım alanları, oluşan evsel ve endüstriyel atıksuların deşarj edildiği yerler ve miktarları; kısacası havzadaki su hareketleri incelenmiştir. HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 iklim modelleri ile RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları kullanılarak 2015-2100 periyodu için gerçekleştirilen iklim projeksiyonları kullanılarak başta sıcaklık, yağış, kar ve bağıl nem olmak üzere pek çok değişkenin 10x10 km ölçekteki değişimleri elde edilmiştir. Başta sıcaklık ve yağış projeksiyonları kullanılarak havzadaki tespit edilen drenaj alanları ölçeğinde hidrolojik değişkenler 2100 yılına kadar projekte edilmiştir. Yüzeysel akış, zemin nemi ve evapotranspirasyon hidrolojik model tarafından üretilen başlıca değerler olup üretilen değerler kullanılarak havzanın yeraltı ve yüzeysel su potansiyeli hesaplanmıştır. Ayrıca havzadaki sektörlerin su kullanımlarındaki değişimler de 85 yıllık projeksiyon dönemi boyunca elde edilmiş ve söz konusu değerler havzadaki hidrolojik değişkenler ile birlikte değerlendirilerek Kızılırmak Havzası'ndaki yıllık toplam su ihtiyacı projeksiyonu yapılmıştır. Hidrolojik model tarafından üretilen akış değerleri hidrolik modelleme çalışmaları ile havzanın belirleyici nehir sitemi boyunca debi ve su seviyesi değerlerine dönüştürülmüştür. Ayrıca hidrojeolojik çalışmalar kapsamında havzada bulunan statik yeraltı suyu potansiyeli belirlenmiştir.

Kızılırmak Havzası için uygulan her 3 küresel iklim modeli de havzada projeksiyon dönemi sonuna kadar artan bir trendde sıcaklık artışları olacağını öngörmektedir. HadGEM2-ES modeli RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile kuple edildiğinde, 1971-2000 referansına göre RCP8.5 senaryosu altında oluşan anomalilerin RCP4.5 senaryosuna kıyasla daha geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Öyle ki, RCP8.5 zaman zaman iki katına yakın sıcaklık artışları önermektedir. RCP8.5 kötümser senaryo sonuçlarına göre, havzada sıcaklık artış değerleri 1,7°C ile 5,8°C arasında değişirken, MPI-ESM-MR modeline göre bu değişim 0,5°C ile 4,4°C arasında kalmaktadır. HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR modelleri, havzanın kuzeyini referans periyoduna göre zaman zaman daha soğuk tahmin etmektedir. CNRM-CM5.1 modeli ise RCP4.5 senaryosunda projeksiyon dönemi boyunca 0,5°C ile 2,5°C; RCP8.5 senaryosunda ise 0,8°C ile 4,3°C sıcaklık artışları öngörmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre elde edilen model sonuçları diğer iki modele nazaran en az soğuk olan sonuçları oluşturmaktadır. CNRM-CM5.1 modeli, RCP8.5 senaryosunda MPI-ESM-MR modeline çok yakın sonuçlar

üretmektedir. Tüm model sonuçları bir arada değerlendirildiğinde projeksiyon dönemi boyunca havzada beklenen sıcaklık artışları 0,4°C ile 5,8°C arasındadır.

Havza için simüle edilen HadGEM2-ES modelinde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre toplam yağışta öngörülen sonuçlar karşılaştırıldığında, RCP8.5 senaryosunun değerlerinin beklendiğinin aksine daha düşük farklara sahip olduğu ön plana çıkmaktadır. Her iki RCP senaryosunda da belirgin bir artış veya azalış paternine rastlanmamaktadır. Ancak ikisinde de en yüksek azalmaların 2091-2100 yılları arasında gerçekleşmesi beklenmektedir. MPI-ESM-MR modelinin RCP4.5 senaryosunda, on yıllık periyotların çoğu için yağışların 1971-2000 referansına göre artması beklenirken, RCP8.5 senaryosunda özellikle 2050 yılından sonra azalış ön plana çıkmaktadır. RCP senaryolarının ikisinde de havzanın kuzeyi genellikle, referans dönemine kıyasla daha fazla yağış almasının yanı sıra, RCP8.5 senaryosunda havzanın iç kesimlerinde dönem dönem azalan yağışlar gözlenmiştir. CNRM-CM5.1 model sonuçları RCP4.5 senaryosunda havzada projeksiyon dönemi boyunca yağış artış ve azalışlarını öngörürken, RCP8.5 durumunda ise yağış eksikliğinin daha hakim olacağını işaret etmektedir. Tüm model sonuçları dikkate alındığında havzada genelde yağış azalmaları beklenmesine rağmen bazı dönemlerde yağış artışları da öngörülmektedir. Kızılırmak Havzası için referans dönemine göre %15'e varan yağış azalmalarının görülmesi muhtemeldir.

Her üç model ve iki senaryo için de projeksiyon dönemi boyunca havzadaki toplam kullanılabilir su rezervi için belirgin bir artıştan veya azalıştan söz edilmesi mümkün değildir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre HadGEM2-ES model sonucunu sırasıyla CNRM-CM5.1 ve MPI-ESM-MR modelleri takip etmektedir. Bu sıralama 2015-2020 dönemi RCP8.5 senaryosunda olduğu gibi bazı dönemlerde değişkenlik gösterebilmektedir. Kızılırmak Havzası'nda toplam su ihtiyacının büyük kısmının sulama suyu olduğu, diğer sektörlerin ihtiyaçlarının daha düşük seyrettiği 2015'ten itibaren projeksiyon dönemi sonuna kadar genel itibariyle su ihtiyacının havzada sağlanamadığı ve su açığının tüm dönemler boyunca hissedilir bir şekilde devam ettiği anlaşılmaktadır. En yüksek ve en düşük su açığı değerleri ise her iki senaryo sonuçlarına göre sırası ile HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR modelleri tarafından üretilmiştir. Havzada genel itibariyle projeksiyon dönemi boyunca su açığı problemi ile karşı karşıya kalacağı ve havzadaki su ihtiyacının %38 oranında karşılanabileceği durumlar söz konusudur. Ancak yine de komşu havzaya su takviyesi yapmak için su transfer edildiği de göz önüne alınmalıdır.

Yapılan hidrojeolojik değerlendirmede en büyük oransal azalımların CNRM-CM5.1 modeli RCP4.5 senaryosunda maksimum %26 oranı ile iklim koşullarının yıl bazında doğrudan etkilediği dinamik rezerv değerlerinde ortaya çıktığı görülmektedir. Havzanın yeraltısuyu statik rezervinin ise iklim değişikliğinden %1-3 gibi düşük bir oranda etkilendiği görülmüştür. Ayrıca,

havzadaki yeraltısuyu hidrojeolojk ve mümkün rezervlerinin, değişik iklim modelleri - senaryoları çerçevesinde sırasıyla %4–7 ve %7-13 oranında azalacağı tahmin edilmektedir. Yüzyılın sonunda en olumlu iklim modeli–senaryosu gerçekleştiğinde hidrojeolojik ve mümkün rezerv varlıklarında sırasıyla %4 ve %7 oranında azalma olması beklenmektedir. Yeraltısuyu hidrojeolojik rezervi 494 km^3 olarak belirlenmiştir. Kızılırmak Havzası'ndaki yeraltısuyu mümkün rezervinin ise toplamda 266 km^3 büyüklükte bir kaynak oluşturduğu ifade edilebilir.

Kızılırmak Nehri'nin mansabını ifade eden noktada 85 yıllık projeksiyon dönemi için üç farklı iklim modeli sonuçlarına göre üretilen ortalama akım değerleri incelendiğinde brüt ve net su potansiyellerindeki değişim ile paralellik göstermektedir. Hidrolik modelleme çalışmaları kapsamında elde edilen debi değerleri, her iki senaryo sonuçlarında da tüm modellerin akım değerlerinin projeksiyon dönemi boyunca referans değerinin oldukça altında seyrettiği görülmektedir. Ancak MPI-ESM-MR modeli sonuçlarının diğer iki model göre daha yüksek değerler ürettiği de söylenebilmektedir. Modeller arasında her iki senaryoya göre de MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri sonuçları birbirlerine yakın değerler alırken, HadGEM2-ES modeli diğer iki modelden farklılaşarak daha düşük akım değerlerini öngörmektedir. HadGEM2-ES modeli akım değerleri yüzyıl boyunca azalma eğiliminde olup debi değerleri açısından en olumsuz durumu temsil ettiği söylenebilir. MPI-ESM-MR modeli sonuçları tüm projeksiyon dönemi boyunca azalma eğilimi göstermesine rağmen, en yüksek akım değerlerini üretme kararlılığını tüm projeksiyon dönemi boyunca korumuştur. CNRM-CM5.1 modeli sonuçları da projeksiyon dönemi boyunca azalış göstermektedir. Kızılırmak Nehri'nin mansabında referans dönemine göre %66'lara varan azalmalar beklenmektedir.

Kızılırmak Havzası için elde edilen sonuçlar, projeksiyon dönemi boyunca sıcaklık değerlerinin artma eğiliminde olacağını, yağış parametresinde artış ve azalış dönemlerinin görülebileceğini ancak projeksiyon döneminin sonunda azalmanın belirginleşeceğini göstermektedir. Su rezervi açısından projeksiyon dönemi boyunca sürekli bir artış ya da azalıştan söz edilememekte ancak model ve senaryoya göre farklılık gösterse de projeksiyon döneminin başından itibaren öngörülen su açıklarının 2050 yılından sonra şiddetlenmesi beklenmektedir. Havzada yeraltı suyu potansiyelinin projeksiyon dönemi boyunca azalacağı öngörülmekle iken havzanın birim alanındaki yeraltı suyu mümkün rezervinin Türkiye ortalamasının üstünde olduğu görülmektedir. Proje çıktıları, Kızılırmak Havzası su yönetimi stratejilerinin belirlenmesinde dikkate alınması ve havzada gerçekleşmesi muhtemel su açığının minimize edilebilmesi için olanak yaratması açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKÇA

Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi. (2012). *Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi.* Odakent Ar-Ge Ltd. Şti., İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü. Mülga Çevre ve Orman Bakanlığı.

ÇOB, M. (2010). *Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği.* Ankara: Mülga Çevre ve Orman Bakanlığı.

ÇŞB. (2011). *Kırıkkale İl Çevre Durum Raporu.* Kırıkkale Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü .

DSİ. (2011). *Sulama Birlikleri Kanunu.* Ankara: Mülga Çevre ve Orman Bakanlığı.

FORALPS. (2008). *Stage Discharge Relationships for Open Channels: Practices and Problems.*

Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods, 4th edition.* London: Charles Griffin.

Körner, & diğ. (1979). Körner Ch., Scheel J.A. and Bauer H. Maximum leaf diffusive conductance in vascular plants. *Photosynthetica*, 82.

Körner, C. (1977). Blattdiffusionswiderstände verschiedener Pflanzen in der zentralalpinen Grasheide der Hohen Tauern. *In Cernusca, A. (ed.) Alpine Grasheide Hohe Tauern. Ergebnisse der Ökosystemstudie 1976. Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogr. "Hohe Tauern". Vol 1. Universitätsverlag Wagner, Innsburck*, 69-81.

Mann, H. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica Vol.13*, 163-171.

OECD. (2014). *Country Statiistical Profile: Turkey 2013.* The Organisation of Economic Cooperation and Development.

SÇD. (2000). *2000/60/EC Su Çerçeve Direktifi.* European Commission.

SYGM. (2013). Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Bilgi İşlem Daire Başkanlığı'ndan temin edilen veriler.

TÜBİTAK MAM. (2010). *Havza Koruma Eylem Planları.* T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı adına TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi.

TÜİK. (2013, Şubat 14). Nüfus Projeksiyonları, 2013-2075. *Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, Sayı: 15844*.