



İklim Değişikliği Çerçevesinde Ankara İli Ana Su Havzaları Gelecek Projeksiyonu: Sakarya ve Batı Karadeniz Havzaları

Future Projection of Main Water Basins in Ankara within the Framework of Climate Change: Sakarya and West Black Sea Basins

M. Murat Kale*^a

Makale Bilgisi

DOI:
10.33688/ auctbd.732831

Makale Geçmişi:
Geliş: 05.05.2020
Kabul: 24.06.2020

Anahtar Kelimeler:
Su Kaynakları
İklim Değişikliği
SRES
RCP
Ankara

Öz

Bu çalışmada; Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarında yer alan Ankara ili su kaynaklarının, küresel iklim değişikliğinden ne düzeyde etkileneceği sorusuna yanıt aranmıştır. Çalışmada IPCC AR4 ve AR5 kapsamında geliştirilmiş senaryo çıktıları ile birlikte uzun dönem yağış ve sıcaklık veri setleri bir arada kullanılmıştır. Regülatör ve barajların yer aldıkları alt havzalarda akışa geçen suyun ana kaynağı özellikle kış ve ilkbahar mevsimlerinde düşen yağışlardır. Çalışma sonuçlarına göre projeksiyon döneminin sonunda, regülatörün yer aldığı alt havzada kış yağışlarında %10'a varan, ilkbahar yağışlarında ise -%20 ile %10 aralığında değişen anomaliler beklenmektedir. Projeksiyon döneminin sonunda, barajların yer aldığı alt havzalarda kış mevsimi beklenen yağışlarında %10'a varan anomali gerçekleşmesi öngörülmektedir. İlkbahar mevsiminde ise SRESA2 çıktılarına göre %10'a varan, diğer senaryo çıktılarına göre değişen oranlarda negatif yönlü yağış anomalileri beklenmektedir. Projeksiyon döneminin sonunda, gerek regülatörün gerekse barajların yer aldığı alt havzada kış ve ilkbahar mevsimlerine ait ortalama sıcaklıklarda, referans dönem verilerine göre 2°C ila 6°C aralığında anomalilerin gerçekleşmesi öngörülmektedir.

Article Info

DOI:
10.33688/ auctbd.732831

Article History:
Received: 05.05.2020
Accepted: 24.06.2020

Keywords:
Water Resources
Climate Change
SRES
RCP
Ankara

Abstract

In this study; the impact of global climate change on the water resources of Ankara, located in the Sakarya and Western Black Sea basins, was investigated. In the study, IPCC AR4 and AR5 scenario outputs and long term precipitation and temperature datasets were used together. The main source of the water in the sub-basins where the regulators and dams are located is the precipitation in the winter and spring seasons. According to the results of the study, at the end of the projection period, precipitation anomalies in the sub-basin where the regulator is located reach up to 10% in the winter season. In the same basin, precipitation anomalies in spring season ranging from -20% to 10% are expected. At the end of the projection period, in the winter season it is expected that reach up to 10% in the sub-basins where the dams are located. In the spring season, negative precipitation anomalies are expected, up to 10% according to SRES A2 outputs and varying according to other scenario outputs. At the end of the projection period, temperature anomalies are expected between 2° C and 6°C in winter and spring seasons.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mmuratkale@gmail.com

^aÇankırı Karatekin Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Çankırı, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0001-6975-7069>

1. Giriş

Dünya iklim sistemi durağan olmayıp, jeolojik devirler boyunca değişkenlik gösteren dinamik bir yapıya sahiptir. Küresel ortalama sıcaklıklardaki artış, buzullarının erimesi ve beraberinde deniz seviyesinde kaydedilen yükselme eğilimi iklim değişikliğinin başlıca göstergeleri arasında kabul edilmektedir (Bates vd., 2008).

4.6 milyar yıllık yerküre iklim tarihinde soğuk, ılıman ve sıcak dönemler birbirini takip etmiştir. Buna bağlı olarak su kaynakları miktar ve dağılımı alansal olarak değişkenlik göstermiştir (Wedding, 1968). Dünya iklim sistemi doğal iç süreçlere veya doğal kaynaklı dışsal zorlayıcı etmenlere bağlı olarak değişim göstermektedir (Goosse vd., 2015; Türkeş, 2011). Geçmiş jeolojik devirlerde, doğal etmenlere bağlı olarak iklim sisteminde gerçekleşmiş olan değişimlerin izlerini yerküre açıklıkla sunmaktadır. Bu nedenle, iklim sisteminde doğal etmenlere bağlı olarak gerçekleşen değişikliklerin olası sonuçları net bir şekilde öngörülebilmektedir (Houghton vd., 1990; Türkeş, 2008). İçinde bulunduğumuz dönemde Dünya iklim sistemi yeni bir değişim eğilimi sergilemektedir. Fakat söz konusu değişimin temel nedeni antropojenik kökenli olup, olası sonuçlarını öngörme çalışmaları devam etmektedir.

İnsanoğlunun doğa üzerinde baskın olduğu Holosen çağında; hatalı arazi kullanımı, ormansızlaştırma ve özellikle sanayi devriminden itibaren artış eğilimi gösteren sera gaz emisyonları iklim sistemi üzerinde daha önce hiç yaşanmamış bir baskıyı gerçekleştirmiş ve gerçekleştirmeye devam etmektedir. Söz konusu baskıya bağlı olarak dünya iklim sistemi doğal etmenlerden farklı bir değişim sürecine girmiştir. En önemli sera gazlarından olan CO₂ emisyon oranı, 1770–2011 yılları arasında %40 artmıştır (IPPC, 2013). Güncel olarak artış eğilimi devam etmektedir (Allen vd., 2018). 1880–2012 döneminde dünya ortalama sıcaklığı 0.85 (en az 0.65 en fazla 1.06)°C artmıştır (IPPC, 2013). 2017 yılı itibarıyla dünya ortalama sıcaklığındaki artış 1 (en az 0.80 en fazla 1.20)°C'ye ulaşarak yükseliş eğilimini sürdürmüştür (Allen vd., 2018). 1901–2010 yılları arasında buzul erimelerine bağlı olarak ortalama deniz suyu seviyesi 0.19 m (en az 0.17 m en fazla 0.21 m) yükselmiştir (IPPC, 2013). Doğal süreçlere bağlı olmayan antropojen kökenli iklim değişikliği ve su kaynaklarına olası etkileri bilim dünyası için araştırılmaya devam edilen en büyük sorunsallar arasında yer almaktadır (Landsberg, 1970; Gleick, 1989; Wiley and Palmer, 2008).

Yerküre üzerindeki su kaynakları, yer ve atmosfer sistemleri arasında hareket halinde olup bu hareket hidrolojik döngü ile açıklanmaktadır (Atalay, 1986; Fetter, 1994). Su kaynakları, yenilenebilir fakat sonlu olma özelliği taşırlar. Bir başka ifade ile iklim sisteminde değişiklik olmadığı takdirde, bulunduğu coğrafyada miktarsal değişimi beklenmeyen su kaynakları üzerinde iklim değişikliği ile birlikte alansal ve miktarsal değişimlerin ortaya çıkma olasılığı da artmaktadır (Arnell, 1999).

Küresel iklim değişikliğinin, iklim parametrelerine ve beraberinde hidrolojik döngü üzerindeki potansiyel etkisinin ortaya çıkartılması için küresel ölçekte, farklı senaryolara göre farklı iklim modelleri geliştirilmiştir. Farklı modelleme çalışmalarının ortak sonucu sıcaklık ve yağış parametrelerinde anomaliler gerçekleşecek olmasıdır (Önol, 2012; Şen vd., 2011; Şen vd., 2013). Sıcaklıkta yaşanacak pozitif yönlü anomaliye bağlı olarak hidrolojik döngünün kırılması, buzulların hacim kaybetmesi, deniz seviyesi değişimleri ve iklim kuşaklarının yer değiştirmesi gibi birçok değişikliğin ortaya çıkması

beklenmektedir (Eicken vd., 1995; Stocker, 2013; Türkeş vd., 1999). Bahsi geçen tüm değişiklikler doğrudan su kaynakları ile alakalı olup, farklı coğrafyalarda farklı düzeylerde etkisini göstermektedir.

Akdeniz Havzası'nın doğal bir üyesi olan Türkiye, küresel iklim değişikliğinin olası etkileri açısından riskli sınıfta yer alan ülkeler arasındadır (Önol vd., 2009; Turan, 2018). Küresel iklim değişikliğinin özellikle Anadolu coğrafyasındaki etkilerinin kurak yarı kurak iklim bölgelerinde alansal büyüme yaşanması, kurak yaz mevsimi sürelerinin artması (Erlat ve Türkeş, 2013; Önol vd., 2009; Türkeş, 1998), su havzalarının bütçelerinin değişmesi (Bozkurt ve Sen, 2013; Fujihara vd., 2008; Önol vd., 2009; Önol ve Semazzi 2009) ve atmosfer kökenli doğal afet sayılarında artış olması (Bozkurt ve Sen, 2011; Türkeş ve Tatlı, 2009) yönünde gerçekleşmesi beklenmektedir.

Bu çalışmaya konu olan Ankara ili, Türkiye nüfusunun yaklaşık %7 sine ev sahipliği yapmaktadır. Köppen (1968) iklim sınıflamasına göre BSk iklim tipine sahip Ankara, yıllık ortalama sıcaklığı 18.0°C'den düşük, yaz kuraklığının bulunduğu yarı kurak bir iklime sahiptir (Akman, 1990). Ankara ili, yenilenebilir su potansiyelleri birbirlerinden farklı olan su havzaları üzerinde yayılım göstermektedir. Artan sanayileşme, kentleşme ve tarımsal aktivite ile birlikte küresel iklim değişikliği Ankara ili su kaynakları üzerindeki antropojen baskıyı arttırmaktadır.

Bu çalışmada, Ankara ili ana su kaynaklarının küresel iklim değişikliğinden ne düzeyde etkileneceği sorusuna coğrafi bakış açısıyla yanıt aranmıştır. Bu çalışmanın amacı; seçili havzalarda yer alan Ankara ili ana su kaynaklarının küresel İklim değişikliğinden ne şekilde etkileneceğinin ortaya çıkartılmasıdır. Çalışma çıktıları ile özellikle su kaynakları yönetimi üzerinde politika geliştirenler ve karar vericiler tarafından ihtiyaç duyulan bilginin sağlanması hedeflenmiştir.

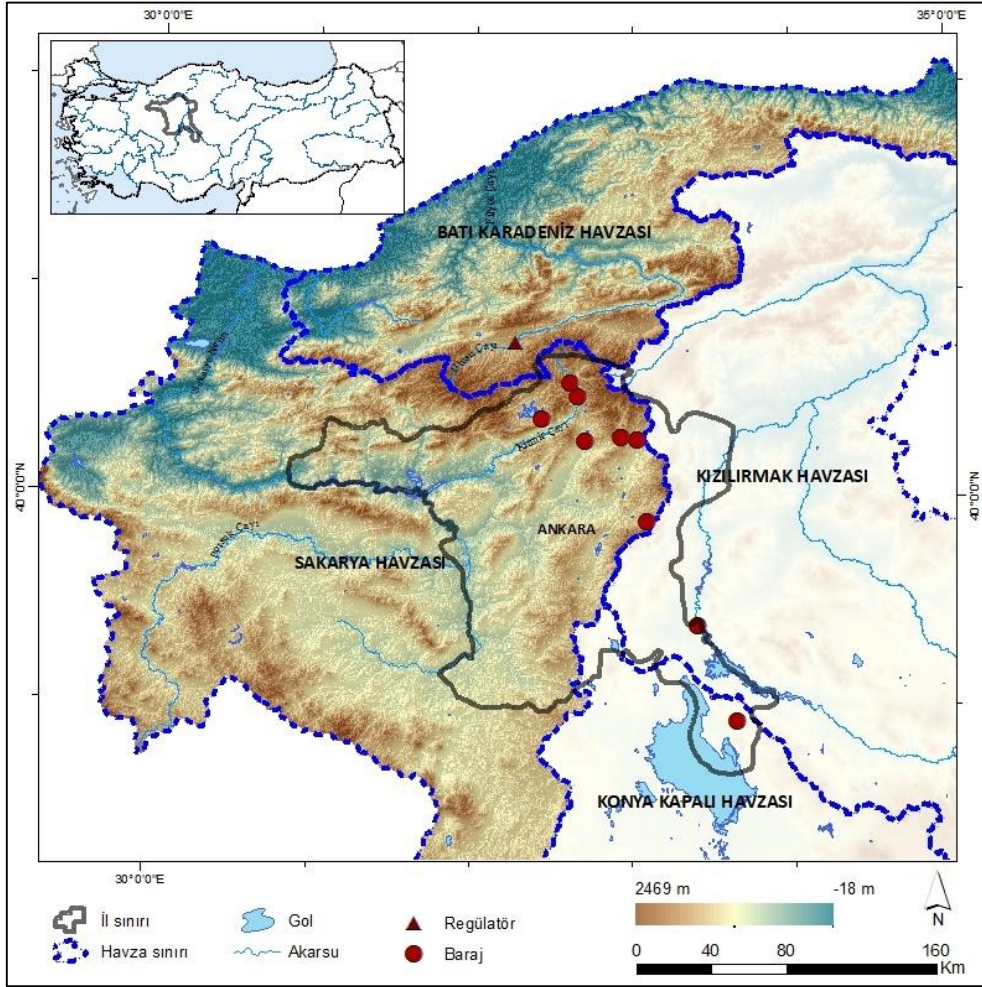
2. Çalışma Sahası

Ankara ili idari sınırları, alansal olarak %70.6 oranında Sakarya Havzası, %20.8 oranında Kızılırmak Havzası, %8.4 oranında Konya Kapalı Havzası ve %0.2 oranında Batı Karadeniz Havzası sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Söz konusu havzalar sırası ile Türkiye yenilenebilir su potansiyelinin %3.44, %3.48, %2.43 ve %5.34'üne ev sahipliği yapmaktadır (Öziş vd., 1997).

Bu çalışma, Ankara ili ana su havzaları arasında yer alan Sakarya ve Batı Karadeniz havzaları ile sınırlıdır. Sınır koşullar Ankara ili su temin yapılarının dağılımı ve gelecek projeksiyonunda yer alan su kaynaklarına göre belirlenmiştir.

Ankara ilinde gerçekleştirilen tarımsal aktivite, sanayi faaliyetleri ile içme ve kullanma suyu için ihtiyaç duyulan su özellikle ilin kuzeyinde yer alan baraj ve göletler ile muhtelif yerlerde işletilen su kuyularından karşılanmaktadır (DSİ, 2019). DSİ (2019) verilerine göre 20 den fazla gölet ve 30'u aşkın baraj tarımsal aktivite, sanayi faaliyetleri ile içme ve kullanma suyu temini için aktif olarak işletilmektedir. Ankara ili içme ve kullanma suyu temini amaçlı olarak 1936 yılından günümüze kadar geçen süreçte 10 baraj inşa edilmiştir. Enerji üretimi ve sulama için Kızılırmak Nehri üzerinde 1967 yılında inşa edilen Kesikköprü Barajı'ndan 2008 yılında içme ve kullanma suyu teminine başlanması sonucunda bu sayı 11'e yükselmiştir. Akyar, Çamlıdere, Çubuk I, Çubuk II, Bayındır, Eğrekkaya, Kargalı Yeraltı Barajı, Kavşakkaya ve Kurtboğazı barajları Sakarya Havzası'nda yer almaktadır. Peçenek Barajı Konya Kapalı Havzası'nda ve Kesikköprü Barajı Kızılırmak Havzası'nda yer

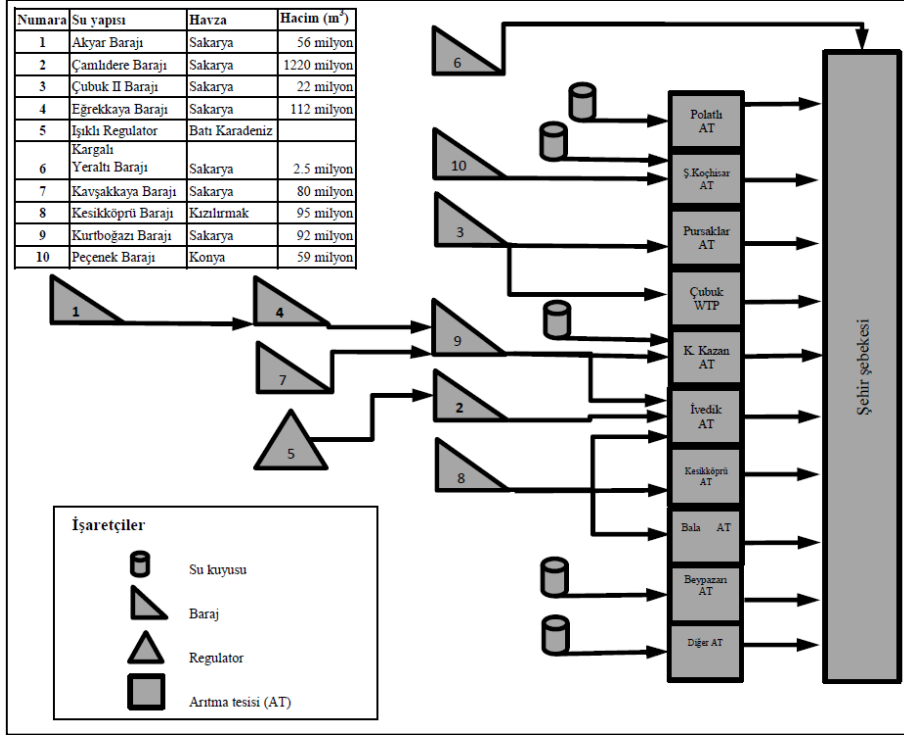
almaktadır. Çubuk I ve Bayındır barajları teknik ve ekonomik ömürlerini tamamlamış olup, rekreasyon alanı ve yedek su kaynağı olarak hizmet vermektedir. Ankara ili yedisi Sakarya Havzası'nda, biri Kızılırmak Havzası'nda ve diğeri Konya Kapalı Havzası'nda olmak üzere dokuz barajdan aktif olarak içme ve kullanma suyu temin etmektedir (Şekil 1 ve Şekil 2). Havzalara göre, Ankara iline içme ve kullanma suyu temini için inşa edilmiş olan barajların dağılımı incelendiğinde Sakarya Havzası gerek inşa edilen baraj sayısı gerekse toplam depolama hacmi açısından ön plana çıkmaktadır (Şekil 2). İşletilmekte olan depolama tesislerin %78'i ve toplam depolama hacminin %91'i Sakarya Havzası'nda yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma bölgesi lokasyon haritası

Ankara ili içme ve kullanma suyu temini için gerçekleştirilen gelecek projeksiyonuna göre, Batı Karadeniz Havzası'ndan Sakarya Havzası'na su transferi öngörülmektedir (Bilen, 2009). Ankara İçme Suyu II.Merhale Gerede Sistemi Projesi kapsamında Gerede – Ulusu Çayı üzerinde inşa edilmekte olan regülatör ve iletim yapıları ile Çamlıdere Barajı'na yılda 226 milyon m³ suyun transfer edilmesi planlanmaktadır (ABB, 2006). Projenin tamamlanması ile Ankara ilinin 2050 yılına kadar olan içme ve kullanma suyu ihtiyacının çözülmesi hedeflenmektedir. Batı Karadeniz Havzası'ndan sadece Ankara'ya değil aynı zamanda İstanbul'a dolayısı ile Marmara Havzası'na da su transfer çalışmaları

yürütülmektedir (Karakaya ve Gönenç, 2010). Güncel olarak Batı Karadeniz Havzası, havzalararası su transferi merkezi haline dönüşmektedir. Türkiye'nin en kalabalık iki şehri için gerekli olan içme ve kullanma suyunun temin edileceği Batı Karadeniz Havzası'ndaki ekosistem ve üyelerinin bu transferlerden ne düzeyde etkileneceği hâlihazırda önemli sorunsallar arasında yer almaktadır.



Şekil 2. Ankara içme ve kullanma suyu temin yapılarının şematik gösterimi

Ankara ili yeraltı suyu (YAS) dinamik potansiyeli DSİ verilerine göre yaklaşık 200 milyon m³ olup; güncel işletme sahalarına ait rezerv yaklaşık 90 milyon m³ düzeyindedir (SYGM, 2016). YAS dinamik potansiyelinin yaklaşık %75'i ilin kuzey batısında yer almaktadır (ABB, 2006). YAS potansiyeli yönünden verimli diğer yerler ise ilin batısında yer alan aks üzerindedir (ABB, 2006; SYGM, 2016). Havza bazında yapılan değerlendirmeye göre Ankara dinamik YAS potansiyelin çok büyük bir kısmı Sakarya Havzası'ndadır.

Ankara ili için içme ve kullanma suyu temini amacı ile inşa edilmiş barajlar, YAS kaynakları ve gelecek projeksiyonu kapsamında devreye alınacak olan su yapıları dikkate alındığında bu çalışmanın sınır koşullarını oluşturan Sakarya ve Batı Karadeniz havzaları net bir şekilde ön plana çıkmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem

Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarında yer alan Ankara ili ana su kaynaklarının; küresel iklim değişikliğinden ne düzeyde etkileneceğinin ortaya çıkartılmasının amaçlandığı bu çalışmada havzalara ait YAS akım modelleri çalışma kapsamında ele alınmamıştır. Çalışma genelinde yüzeysel akış referans alınarak akış oluşumu için bazı kabullenmeler yapılmıştır. Çalışma akış üzerinde baskın olan sıcaklık ve yağış parametreleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Havza genelindeki mevcut bitki örtüsü ve arazi kullanımının çalışma süresi boyunca değişmeyeceği, bir başka ifade ile aynı kalacağı varsayılmıştır.

Çalışmada kullanılan iki temel veri kümesi bulunmaktadır. Söz konusu veri kümeleri havzalara ait uzun dönem iklim parametreleri ve farklı iklim senaryolarına dayalı model çıktılarıdır.

Havzalara ait uzun dönem iklim parametreleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) veri tabanından temin edilmiştir. Bu çalışmada, ortalama sıcaklık (°C) ve toplam yağış yüksekliği (mm) iklim parametreleri kullanılmıştır. Veri setlerine ait meteoroloji gözlem istasyonu (MGI) bilgileri Çizelge 1’de verilmiştir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından tahmin modellerinde güvenilir iklim değerleri elde etmek için kullanılması gereken en uygun sürenin 30 yıllık bir dönemi kapsaması gerektiğini belirtilmektedir (Jagannathan et al., 1967). Bu kapsamda çalışmada kullanılan sıcaklık ve yağış veri setleri için en az 30 yıllık dönemi kapsayacak en uygun üst sınır 2007 yılı olarak belirlenmiştir. Sıcaklık ve yağış parametrelerine ait veri setleri istasyondan istasyona değişmekle birlikte 2007 yılı bu çalışmada yer alan istasyonlar için en uygun birleşme tarihidir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan istasyon bilgileri

Havza adı	Meteoroloji gözlem istasyonu	Konum		Rasat dönemi	
		Enlem	Boylam	Sıcaklık	Yağış
Batı Karadeniz Havzası	Bolu	40°43'58.4"K	31°36'07.9"D	1970-2018	1970-2007
	Zonguldak	41°26'57.3"K	31°46'40.5"D	1970-2018	1970-2007
	Bartın	41°37'29.3"K	32°21'24.8"D	1970-2018	1970-2007
	Amasra	41°45'09.4"K	32°22'57.7"D	1970-2018	1970-2018
	Sinop	42°01'47.6"K	35°09'16.2"D	1970-2018	1970-2007
Sakarya Havzası	Ilgın	38°16'34.7"K	31°53'38.4"D	1970-2018	1970-2016
	Yunak	38°49'13.8"K	31°43'32.9"D	1970-2018	1970-2016
	Kütahya	39°25'01.6"K	29°59'20.8"D	1970-2018	1970-2007
	Sivrihisar	39°26'43.8"K	31°31'40.1"D	1970-2015	1970-2012
	Polatlı	39°35'00.2"K	32°09'44.6"D	1970-2018	1970-2018
	Ankara	39°58'21.7"K	32°51'50.0"D	1970-2018	1970-2007
	Bilecik	40°08'29.0"K	29°58'37.9"D	1970-2018	1970-2007
	Beypazarı	40°09'38.9"K	31°55'01.9"D	1970-2018	1970-2018
	Nallıhan	40°10'23.9"K	31°19'55.2"D	1970-2018	1970-2018
	Kızılcahamam	40°28'22.4"K	32°38'38.8"D	1970-2018	1970-2018
	Geyve	40°31'17.0"K	30°17'45.6"D	1970-2018	1970-2018
	Sakarya	40°46'03.4"K	30°23'36.2"D	1970-2018	1970-2007

Bu çalışmanın ikinci temel veri kümesi Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) değerlendirme raporları sonucunda oluşturulmuş olan senaryo çıktılarıdır. Bu çalışmada IPCC 4. Değerlendirme Raporu (AR4) ile geliştirilen *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES) ve IPCC 5. Değerlendirme Raporu (AR5) sonucunda geliştirilen *Representative Concentration Pathways* (RCP) senaryolarına bağlı model çıktıları kullanılmıştır.

AR4 kapsamındaki SRES senaryosuna dayalı model çıktıları Türkiye Bilimsel Araştırma Kurumu tarafından desteklenmiş, “Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları” projesi kapsamında üretilen veri setlerinden alınmıştır (İTU, 2012). AR5 kapsamındaki RCP senaryosuna dayalı model çıktıları Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından tamamlanan “Türkiye için İklim Projeksiyonları” (MGM, 2015) ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından güncel olarak yürütülen “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi” kapsamında üretilen veri setlerinden alınmıştır (OSİB, 2019).

Bu çalışmada kullanılan temel senaryolar ve iklim modellerine ait detaylar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan temel senaryo ve modeller

Senaryo	Küresel model	Bölgesel model	Değişken	Dönem	Çözünürlük	Frekans	Referans dönem
SRESA2	Echam5	RegCM3	Yıllık toplam yağış yüksekliği (mm) Yıllık ortalama hava sıcaklığı (K)	2013–2099	27 km	30 yıl	1961–1990
SRESB1	Echam5	RegCM3	Yıllık toplam yağış yüksekliği (mm) Yıllık ortalama hava sıcaklığı (K)	2013–2099	27 km	30 yıl	1961–1990
RCP4.5	MPI-ESM–MR	RegCM4.3	Yıllık toplam yağış yüksekliği (mm) Yıllık ortalama hava sıcaklığı (°C)	2015–2099	20 km	30 yıl	1971–2000
RCP8.5	MPI-ESM–MR	RegCM4.3	Yıllık toplam yağış yüksekliği (mm) Yıllık ortalama hava sıcaklığı (°C)	2015–2099	20 km	30 yıl	1971–2000

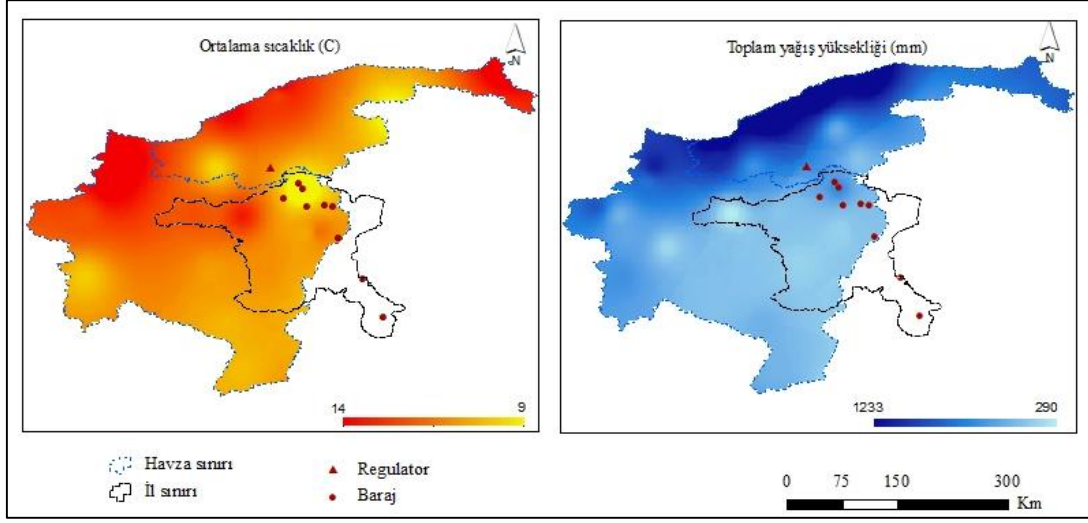
Çalışmada AR4 kapsamında SRES senaryosu içerisinde yer alan A2 ve B1 alt senaryo çıktıları referans alınmıştır. SRESA2 senaryosu ekonomik büyüme ve teknoloji değişim hızlarının düşük, nüfus artış eğiliminin yüksek olduğu varsayımlarına dayanmaktadır. SRESB1 senaryosu ise nüfusun yüzyıl ortasında pik seviyeye ulaşacağı, ekonomik büyümenin servis hizmetleri ve bilgi teknolojilerine dayalı olacağı varsayımlarına dayanmaktadır. A2 ve B1 alt senaryoların tercih edilmesinin iki temel nedeni bulunmaktadır. Bunlardan ilki, nüfus artış ve ekonomik büyüme kurguları açısından çalışma bölgesini daha iyi temsil etmeleridir. İkinci temel neden ise, CO₂ (ppm) sera gazı salınım oranları açısından en üst (SRESA2) ve en alt (SRESB1) sınırlarda yaşanması muhtemel değişimleri temsil etmeleridir. Bu kapsamda, sıcaklık ve yağış değişkenleri için SRESA2 ve SRESB1 alt senaryolarına göre Max-Planck Meteoroloji Enstitüsü tarafından geliştirilen küresel model kullanılarak oluşturulan sınır koşullara göre, RegCM3 bölgesel model yardımı ile havza bazında yapılmış olan indirgeme ürünü zaman serileri kullanılmıştır.

AR5 kapsamında RCP senaryosu içerisinde yer alan RCP4.5 ve RCP8.5 alt senaryo çıktıları çalışma genelinde referans alınmıştır. Sıralı değerlendirme metodu izleyen SRES yerine paralel değerlendirme metodunun kullanıldığı RCP senaryosu ışınımsal zorlama seviyelerine dayanmaktadır. RCP4.5 ve RCP8.5 alt senaryolarının seçilmesinin temel nedeni, yüzyılın sonunda SRESB1 ve SRESA2 senaryolarına yakın CO₂ (ppm) değerlerini öngörmeleridir. SRES alt senaryolarındaki metodolojiye benzer şekilde; sıcaklık ve yağış değişkenleri için RCP4.5 ve RCP8.5 alt senaryolarına göre Max-Planck Meteoroloji Enstitüsü tarafından geliştirilen küresel model kullanılarak oluşturulan sınır koşullara göre, RegCM4.3 bölgesel model yardımı ile havza bazında yapılmış olan indirgeme ürünü zaman serileri kullanılmıştır.

Çalışmada gerekli olan harita, altlık ve hesaplamalar için Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) faydalanılmıştır. Bu kapsamda ArcGIS 10.0 programı ve ilgili modülleri kullanılmıştır.

4. Bulgular

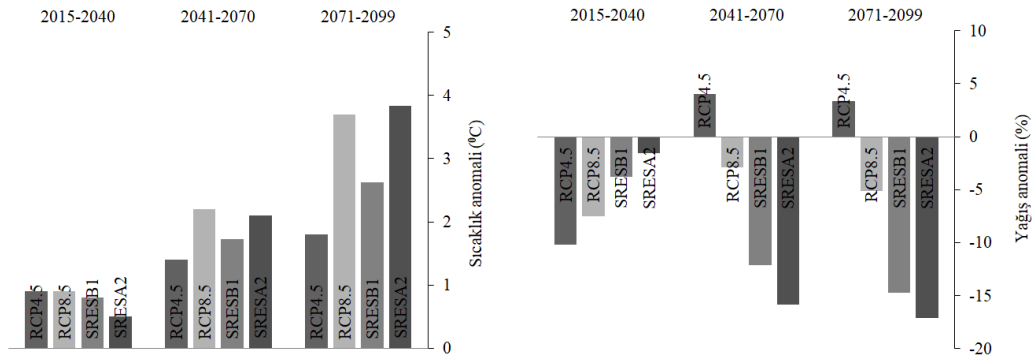
Batı Karadeniz ve Sakarya havzaları için Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma (IDW) yöntemi ile oluşturulan uzun dönem sıcaklık ve yağış haritaları Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Uzun dönem ortalama sıcaklık (°C/yıl) ve toplam yağış yüksekliği (mm/yıl) haritaları

IDW yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre Sakarya Havzası'na ait uzun dönem sıcaklık ve toplam yağış yüksekliği ortalamaları sırası ile 11.65 °C ve 451.38 mm/yıl'dır. Benzer şekilde, IDW yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre Batı Karadeniz Havzası'na ait uzun dönem sıcaklık ve toplam yağış yüksekliği ortalamaları sırası ile 13.05 °C ve 911.99 mm/yıl'dır. Su havzaları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, iki aks boyunca sıcaklık değerlerinin değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Sıcaklık, doğu-batı ve güney-kuzey akslarında artış eğilimi göstermektedir (Şekil 3). Özellikle Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının kuzeyi yüksek sıcaklık ortalamasına sahiptir (Şekil 3). Benzer şekilde uzun dönem yağış yüksekliği verilerine göre güney-kuzey aksında toplam yağış yüksekliği artmaktadır (Şekil 3). Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının sahil şeridi havza ortalamalarının üzerinde toplam yağış yüksekliği değerine sahiptir (Şekil 3). Uzun dönem verileri dikkate alındığında, Sakarya Havzası kuzeyinde yer alan barajların ve su toplama alanlarının havza ortalaması üzerinde yağış yüksekliği ve havza ortalamasının altında sıcaklık değerine sahip oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 3). Batı Karadeniz Havzası'nın güneyinde yer alan ve havzalar arası su transferinin kaynağı olan Işıklı Regülatörü su toplama alanı, havza ortalamasının altında yağış yüksekliği ve sıcaklık değerlerine sahiptir (Şekil 3).

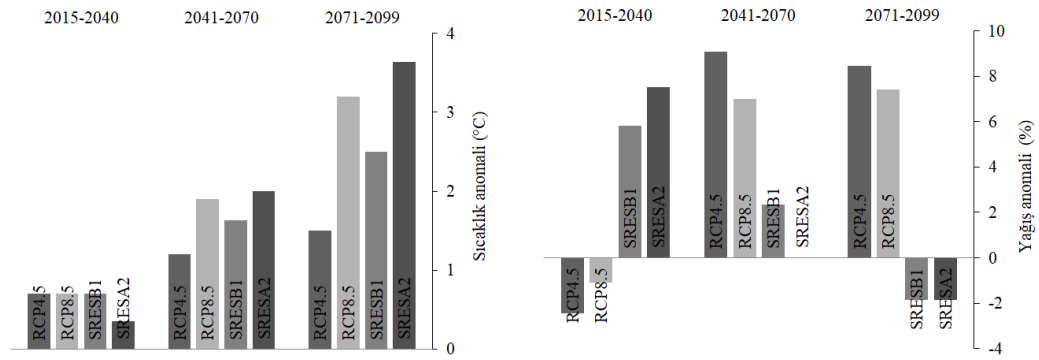
SRES ve RCP senaryolarına bağlı olarak Sakarya Havzası'na ait sıcaklık (°C) ve yağış (%) anomalileri karşılaştırmalı olarak Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Sakarya Havzası sıcaklık (°C) ve yağış (%) anomalileri

SRESB1 ve SRESA2 senaryolarına göre Sakarya Havzası için ortalama sıcaklık değerlerinin, projeksiyon süresinin sonunda referans döneme göre sırasıyla yaklaşık 2.6°C ve 3.8°C artacağı öngörülmektedir (Şekil 4). B1 ve A2 senaryo çıktıları, dönemler boyunca gerçekleşecek olan sıcaklık anomalisinin artan bir trendle pozitif yönde olacağını göstermektedir. SRESB1 ve SRESA2 senaryolarına göre Sakarya Havzası için yağış anomalileri incelendiğinde, projeksiyon süresinin sonunda referans döneme göre yağışların sırasıyla yaklaşık -%14.7 ve -%17.1 oranlarında azalacağı öngörülmektedir (Şekil 4). RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre Sakarya Havzası için ortalama sıcaklık değerlerinin, projeksiyon süresinin sonunda referans döneme göre sırasıyla yaklaşık 1.8°C ve 3.7°C artacağı öngörülmektedir (Şekil 4). Sıcaklık anomalisi tüm dönemler boyunca her iki senaryo çıktısı pozitif yönlüdür. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre Sakarya Havzası'nda yağış yüksekliği, projeksiyon süresinin sonunda referans döneme göre sırasıyla yaklaşık %3.3 ve -%5.1 oranlarında değişeceği öngörülmektedir (Şekil 4).

SRES ve RCP senaryolarına bağlı olarak Batı Karadeniz Havzası'na ait sıcaklık (°C) ve yağış (%) anomalileri karşılaştırmalı olarak Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Batı Karadeniz Havzası sıcaklık (°C) ve yağış (%) anomalileri

SRESB1 ve SRESA2 senaryolarına göre Batı Karadeniz Havzası için ortalama sıcaklık değerlerinin, projeksiyon süresinin sonunda referans döneme göre sırasıyla yaklaşık 2.5°C ve 3.6°C artacağı öngörülmektedir (Şekil 5). Her iki senaryo çıktısı, dönemler boyunca gerçekleşecek olan sıcaklık anomalisinin artan bir trendle pozitif yönde olacağını göstermektedir. SRESB1 ve SRESA2 senaryolarına göre Batı Karadeniz Havzası'nda toplam yağış yüksekliğinin, projeksiyon süresinin sonunda referans döneme göre yaklaşık -1.9% oranlarında azalacağı öngörülmektedir (Şekil 5). Yağış yüksekliğindeki değişim 2015–2040 ve 2041–2070 dönemlerinde azalan trendle pozitif yönlü; 2071–2099 dönemi sonunda ise negatif yönlüdür. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre Batı Karadeniz Havzası için ortalama sıcaklık değerlerinin, projeksiyon süresinin sonunda referans döneme göre sırasıyla yaklaşık 1.5°C ve 3.2°C kadar artacağı öngörülmektedir (Şekil 5). Sıcaklık anomalisi tüm dönemler boyunca her iki senaryo çıktısı için artan bir trendle pozitif yönlüdür. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre Sakarya Havzası için yağış anomalileri incelendiğinde, projeksiyon süresinin sonunda referans döneme göre yağış yükseklikleri sırasıyla %8.5 ve %7.4 oranlarında artacaktır (Şekil 5). RCP4.5 için artış trendinin 2041–2070 döneminde maksimum olması, RCP8.5 senaryosu için ise 2071–2099 döneminde maksimum olması beklenmektedir. Genel olarak RCP8.5 senaryosuna göre

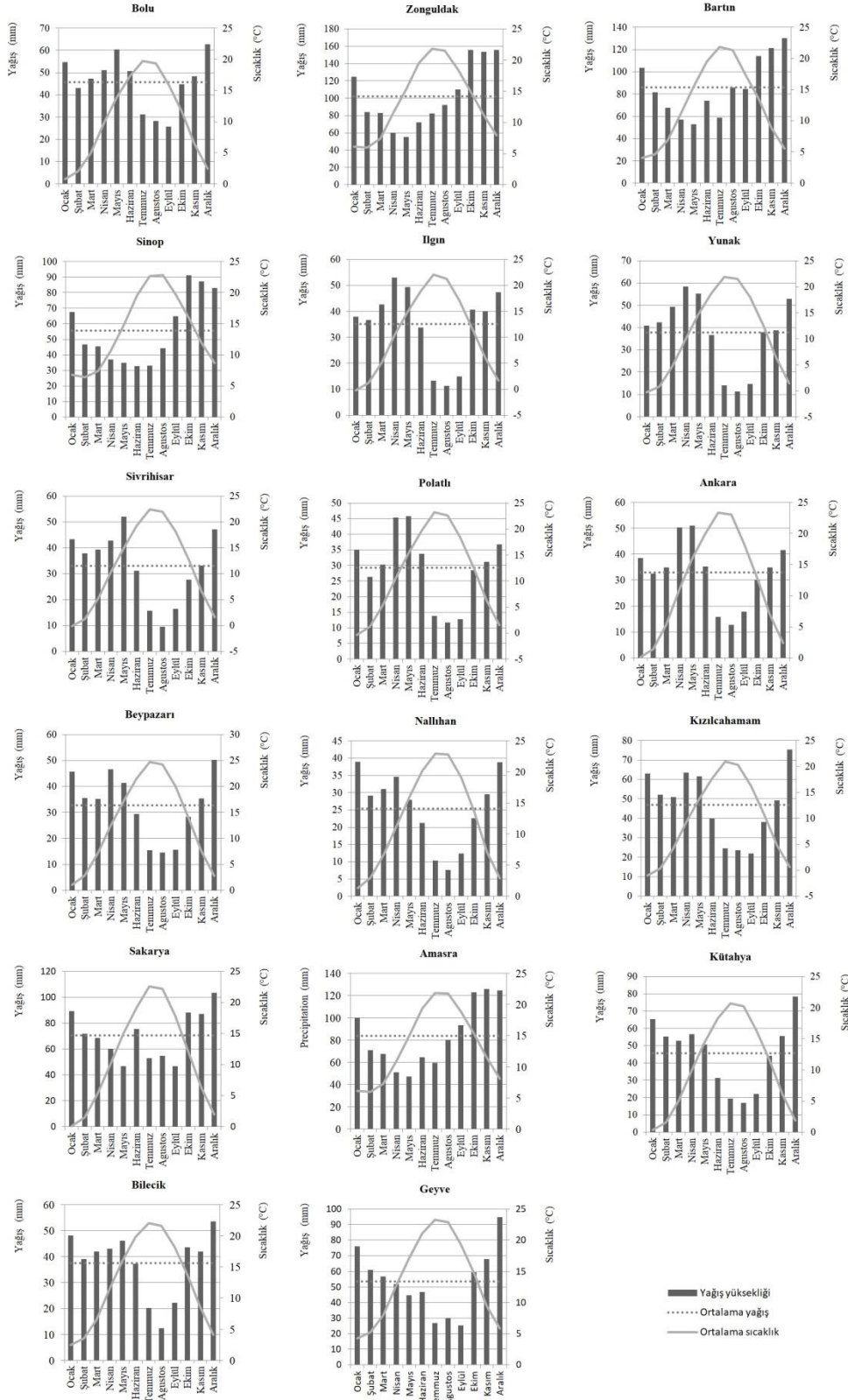
yağışların özellikle 2041–2070 ve 2071–2099 dönemlerinde artan bir trendle yükseliş eğilimi sergileyeceği öngörülmektedir.

Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarında yer alan MGI'lere ait uzun dönem (1970–2007) toplam yağış yüksekliği ve ortalama sıcaklık dağılımları Şekil 6' da verilmiştir.

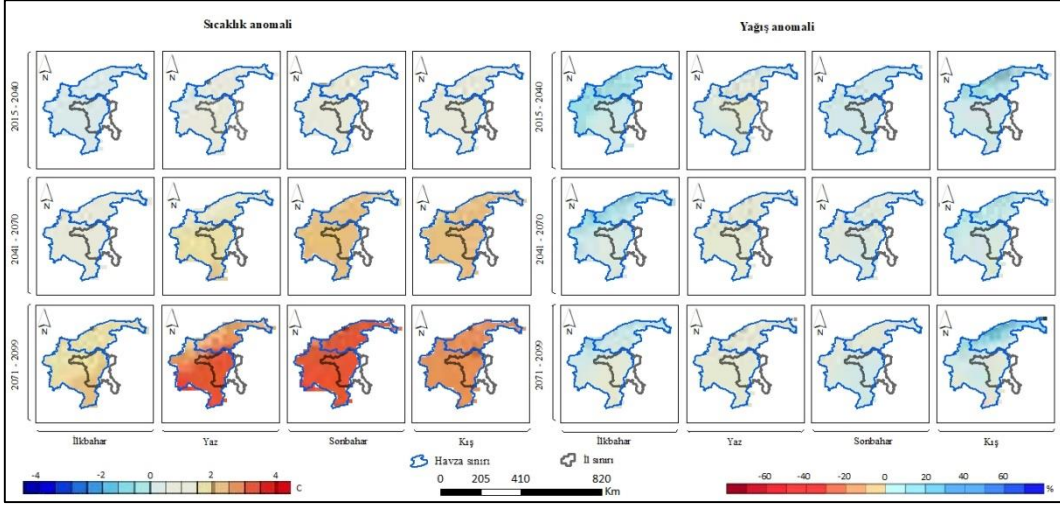
Sakarya Havzası'nda yer alan MGI'lere ait uzun dönem toplam yağış yüksekliği verileri incelendiğinde Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında istasyon ortalamalarının üzerinde yağış yüksekliği kaydedilmiştir. Sakarya Havzası için aynı dönemde ortalama sıcaklık verileri incelendiği zaman ise en düşük ortalama sıcaklıklar Aralık, Ocak ve Şubat aylarına kümelenmektedir. Benzer şekilde Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan istasyonlara ait uzun dönem yağış yüksekliği verileri incelendiğinde, kıyı şeridinde yakın istasyonlarda Eylül, Ekim, Kasım, Aralık ve Ocak ayları istasyon ortalamalarının üzerinde yağış yüksekliği kaydedilen aylardır. Batı Karadeniz Havzası için aynı dönemde ortalama sıcaklık verileri incelendiği zaman en düşük ortalama sıcaklıkların Ocak ve Şubat aylarına kümelendiği tespit edilmiştir.

Ankara ili su temini için inşa edilen regülatör ve barajların yer aldıkları alt havzalardaki (Kızılcahamam) veya yakın konumdaki (Ankara, Beypazarı ve Bolu) MGI'lere ait toplam yağış yüksekliği verileri incelendiğinde Aralık, Ocak, Nisan ve Mayıs aylarında, istasyon ortalamalarının en az %15 üzerinde yağış yüksekliği kaydedilmiştir (Şekil 6). Bir başka ifade ile regülatör ve barajların konumları dikkate alındığında, alt havzalarda akışa geçen suyun ana kaynağının özellikle kış ve ilkbahar mevsimlerinde düşen yağışlar olduğu görülmektedir.

Su yılı içerisinde; özellikle yağışlı ve düşük sıcaklık ortalamasına sahip mevsimlerde akışa geçen suyun daha fazla, yağışsız ve yüksek sıcaklık ortalamasına sahip mevsimlerde ise buharlaşmanın daha fazla olması genel bir öngördür. Bu kapsamda mevsimsel değişimlerin, Ankara ili ana su kaynakları üzerindeki etkilerinin ortaya çıkartılması için SRESB1–SRESA2 ve RCP4.5–RCP8.5 senaryolarına göre mevsim bazlı ortalama sıcaklık ve toplam yağış yüksekliği değişkenlerine ait anomali haritaları hazırlanmıştır (Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10).

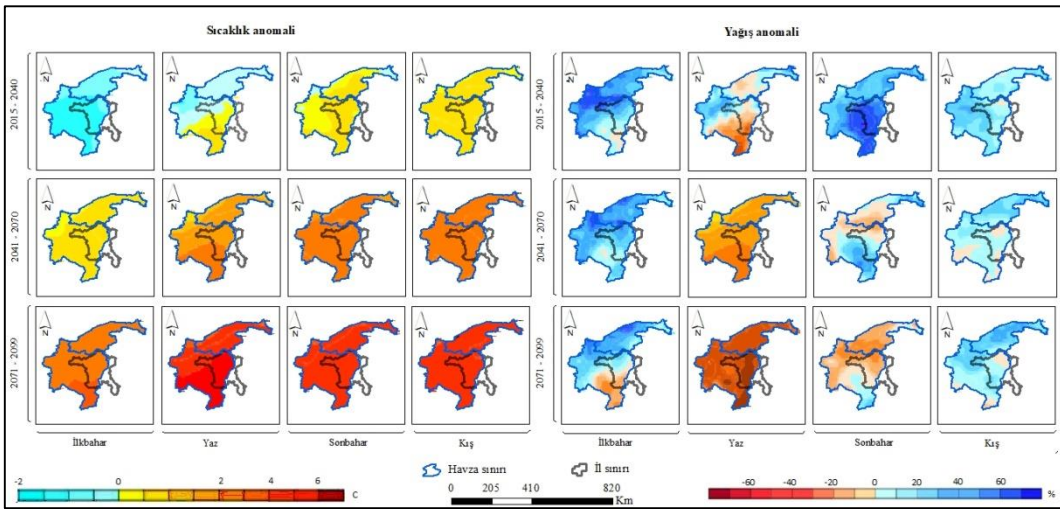


Şekil 6. MGI'lere ait uzun dönem ortalama sıcaklık ve toplam yağış yüksekliği



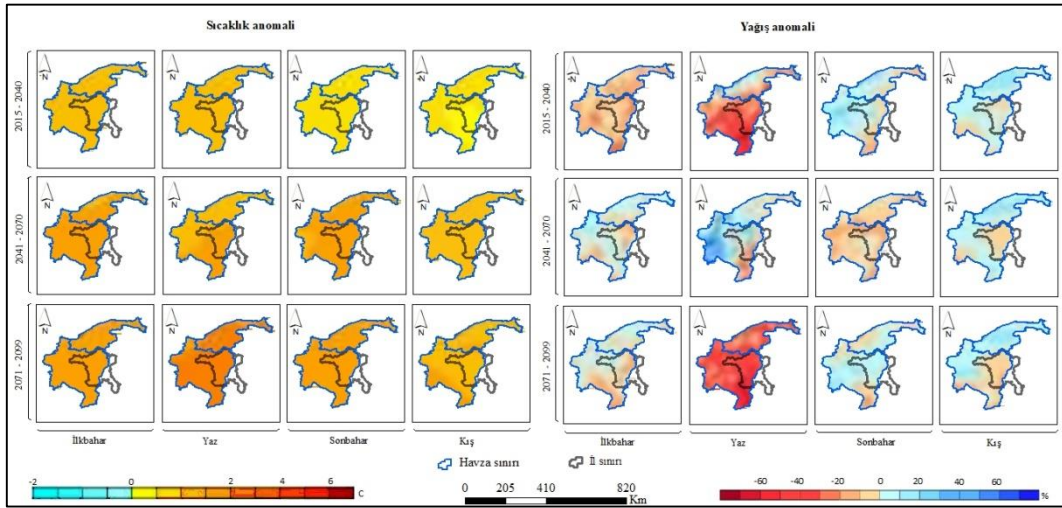
Şekil 7. SRESB1 senaryosu için mevsimlere göre sıcaklık (°C) ve yağış (%) anomali haritası

SRESB1 senaryosuna göre projeksiyon dönemi sonunda özellikle yaz ve sonbahar mevsim sıcaklıklarında yüksek artışlar beklenmektedir. Yaz sıcaklıklarındaki artışların Batı Karadeniz Havzası'nda Sakarya Havzası'na oranla daha düşük olması öngörülmektedir. Sıcaklıklardaki artışa paralel olarak her iki havza için yaz mevsiminde gerçekleşecek yağış miktarlarında azalma eğilimi beklenmektedir. Buna karşın, özellikle Batı Karadeniz Havzası kıyı şeridi projeksiyon dönemi sonunda ilkbahar ve kış yağışları için pozitif yönlü anomali sergilemektedir. Pozitif yönlü anomali kıyı şeridinden iç bölgelere doğru ilerledikçe azalmaktadır. SRESB1 senaryosuna göre, projeksiyon dönemi sonunda regülatörün yer aldığı alt havzada kış ve ilkbahar yağışlarında %10'a varan artış beklenmektedir. Barajların yer aldıkları alt havzalarda ise beklenen kış ve ilkbahar yağışlarında %10'a varan düşüş öngörülmektedir. Aynı senaryo çıktılarına göre projeksiyon dönemi sonunda gerek regülatörün gerekse barajların yer aldığı alt havzalarda kış ve ilkbahar sıcaklık ortalamalarında 2°C ila 3°C aralığında artış beklenmemektedir.



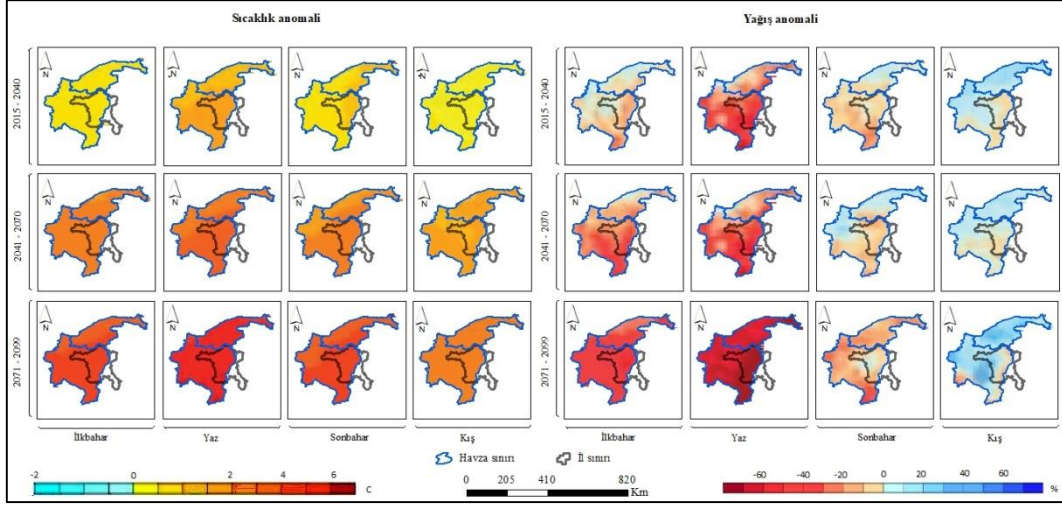
Şekil 8. SRESA2 senaryosu için mevsimlere göre sıcaklık (°C) ve yağış (%) anomali haritası

SRESA2 senaryosuna göre projeksiyon dönemi sonunda tüm mevsim sıcaklıklarında yüksek artışlar öngörülmektedir. Özellikle ilkbahar dışındaki mevsimlerde sıcaklık anomalisi daha yüksektir. Senaryo çıktıklarına göre, sıcaklığın Karadeniz sahil şeridinden iç bölgelere doğru artış eğilimi sergilemesi beklenmektedir. SRESA2 senaryosuna göre projeksiyon dönemi sonunda her iki havzada da yaz ve sonbahar mevsimlerinde düşen yağış miktarlarında yüksek oranda negatif yönlü anomaliler beklenmektedir. Bir başka ifade ile dönem sonunda yaz ve sonbahar mevsimlerinde kaydedilen yağış yüksekliklerinin referans döneme oranla daha düşük olması öngörülmektedir. SRESA2 senaryosuna göre projeksiyon dönemi sonunda barajların yer aldığı alt havzalarda beklenen kış yağışlarında %10'a varan azalma ve ilkbahar yağışlarında %10'a varan artış öngörülmektedir. Regülatörün yer aldığı alt havzada ise beklenen kış yağışlarında %10'a varan artış ve ilkbahar yağışlarında %20'ye varan artış öngörülmektedir. Aynı senaryo çıktıklarına göre projeksiyon dönemi sonunda, hem regülatörün hem de barajların yer aldığı alt havzalarda kış mevsimi beklenen sıcaklık ortalamalarında 4°C ila 6°C aralığında, ilkbahar mevsimi beklenen sıcaklık ortalamalarında ise 2°C ila 4°C aralığında artış beklenmektedir.



Şekil 9. RCP4.5 senaryosu için mevsimlere göre sıcaklık (°C) ve yağış (%) anomalisi haritası

RCP4.5 senaryosuna göre projeksiyon dönemi sonunda tüm mevsim sıcaklıklarında artış gerçekleşecektir. Yaz mevsimi sıcaklık anomalisi diğer mevsimlere oranla daha yüksektir. Özellikle Sakarya Havzası'nın orta kuşağında son bahar mevsiminde ve havzanın kuzeybatısında kış mevsiminde gerçekleşmesi beklenen yağışlarda artış öngörülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre projeksiyon dönemi sonunda özellikle yaz mevsiminde gerek Sakarya gerekse Batı Karadeniz havzalarında yüksek oranda negatif yönlü yağış anomalisi öngörülmektedir. Buna karşın Batı Karadeniz ve Sakarya havzaları sahil şeridinin referans döneme göre özellikle ilkbahar ve kış mevsimlerinde daha fazla yağış alması beklenmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre, projeksiyon dönemi sonunda barajların yer aldığı alt havzalarda kış ve ilkbahar yağışlarında %10'a varan azalış beklenmektedir. Regülatörün yer aldığı alt havzada ise beklenen kış yağışlarında %10'a varan bir artış ve beklenen ilkbahar yağışlarında ise %10'a varan bir azalış öngörülmektedir. Aynı senaryo çıktıklarına göre projeksiyon dönemi sonunda gerek regülatörün gerekse barajların yer aldığı alt havzalarda kış ve ilkbahar sıcaklıklarında 2°C ila 2.5°C aralığında artış beklenmektedir.



Şekil 10. RCP8.5 senaryosu için mevsimlere göre sıcaklık (°C) ve yağış (%) anomali haritası

RCP8.5 senaryosuna göre projeksiyon dönemi sonunda tüm mevsim sıcaklıklarında çok yüksek seviyede artış gerçekleşecektir. En düşük sıcaklık anomalilerinin kış mevsiminde en yüksek sıcaklık anomalilerinin ise yaz mevsiminde gerçekleşmesi beklenmektedir. Sıcaklık artışın RCP4.5 senaryosu ile beklenen sıcaklık artışından iki kat daha fazla olması öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre projeksiyon dönemi sonunda her iki havza genelinde kış mevsiminde beklenen yağış yüksekliğinde pozitif yönlü anomali beklenmektedir. Pozitif yönlü artış projeksiyon dönemi başından itibaren artış eğilimi sergilemektedir. Projeksiyon dönemi sonunda kış mevsimi dışındaki mevsimlerin tamında kaydedilecek yağış yüksekliklerinin referans döneme oranla daha düşük olması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre, projeksiyon dönemi sonunda barajların yer aldığı alt havzalarda beklenen kış yağışlarında 10%'a varan ve beklenen ilkbahar yağışlarında 20%'nin üzerinde azalış öngörülmektedir. Regülatörün yer aldığı alt havzada ise kış yağışlarında 10%'a varan bir artış ve ilkbahar yağışlarında ise 20%'ye varan bir azalış öngörülmektedir. Aynı senaryo çıktılarına göre projeksiyon dönemi sonunda gerek regülatörün gerekse barajların yer aldığı alt havzalarda kış ve ilkbahar sıcaklıklarında 2°C ila 4 °C aralığında artış beklenmektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarında yer alan Ankara ili ana su kaynaklarının; küresel iklim değişikliğinden ne düzeyde etkileneceğini sorusuna yanıt aranmış ve ortaya çıkartılması hedeflenmiştir. Çalışmada temel olarak sıcaklık ve yağış iklim parametreleri kullanılarak AR4 ve AR5 kapsamında üretilen senaryolara göre değerlendirme yapılmıştır.

Ankara ili su temini için inşa edilen regülatör ve barajların yer aldıkları alt havzalarda Aralık, Ocak, Nisan ve Mayıs ayları; uzun dönem ortalama değerlerin en az 15% üzerinde yağış yüksekliği kaydedilen aylardır. Havza su bütçesinin ana girdisi olan yağışlar, özellikle ilkbahar ve kış mevsimlerinde yoğunlaşmaktadır. Bir başka ifadeyle, kış ve ilkbahar mevsimlerinde düşen yağışlar; regülatör ve barajların yer aldığı alt havzalardaki akışın ana kaynağıdır. Bu nedenle çalışmada kullanılan senaryo ve model çıktıları mevsimsel ölçekte değerlendirilmiştir.

Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarına ait ortalama değerler, havza bazında homojen olmayıp değişkenlik göstermektedir. Havza bazında elde edilen ortalama sonuçlar ile regülatör ve barajların yer aldıkları alt havzalardaki sonuçlar beklenildiği şekilde farklılık göstermektedir. Bu kapsamda SRESB1 (iyimser)–SRESA2 (kötümser) ve RCP4.5 (iyimser)–RCP 8.5 (kötümser) senaryo çıktıları mevsim ve havza bazlı incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır.

- Projeksiyon döneminin sonunda, regülatörün yer aldığı alt havzada kış mevsiminde beklenen yağışlarda tüm senaryo çıktılarına göre farklı oranlarda artış öngörülmektedir. İlkbahar mevsiminde beklenen yağışlarda ise SRESB1–SRESA2 senaryo çıktılarına göre değişen oranlarda artış, RCP4.5–RCP8.5 senaryo çıktılarına göre değişen oranlarda azalış beklenmektedir.
- Projeksiyon döneminin sonunda, barajların yer aldığı alt havzalarda kış mevsiminde beklenen yağışlarda tüm senaryo çıktılarına göre farklı oranlarda azalış öngörülmektedir. İlkbahar mevsiminde beklenen yağışlarda ise SRESA2 senaryo çıktılarına göre azalan bir trendle artış; SRESB1, RCP4.5, RCP8.5 senaryo çıktılarına göre ise farklı oranlarda azalış olması beklenmektedir.
- Projeksiyon döneminin sonunda, gerek regülatörün gerekse barajların yer aldığı alt havzada kış ve ilkbahar mevsimlerine ait ortalama sıcaklıklarda, referans dönem verilerine göre farklı oranlarda artış öngörülmektedir.

Güncel olarak; Batı Karadeniz Havzası'ndan Sakarya Havzası'na su transferi gerçekleştirecek olan Işıklı Regülatörü ile Ankara ilinin ihtiyaç duyduğu içme ve kullanma suyunun temini öngörülmektedir. SRES çıktılarına göre ilkbahar ve kış mevsim yağışlarında bir azalma gerçekleşmeyecektir. Bu koşulda regülatör tarafından iletilecek su miktarında azalma gerçekleşmeyeceği düşünülmektedir. Güncel AR5 kapsamında geliştirilen RCP senaryo çıktıları ise SRES'den farklıdır. RCP iyimser ve kötümser senaryo çıktılarına göre ilkbahar yağışlarında azalma, kış yağışlarında artış eğilimi beklenmektedir. Eğilimlerin miktarsal olarak birbirlerini soğurup soğuramayacağı, bir başka ifadeyle RCP iyimser ve kötümser senaryo çıktılarına göre su bütçesinde artış olup olmayacağı bu çalışma çıktılarına bağlı olarak net bir şekilde ifade edilememektedir.

Çalışma sonuçları, Öztürk (2002) ve Şen (2013) tarafından belirtilen su kaynakları üzerinde oluşacak baskıyı desteklemektedir. Ankara ili su temini için inşa edilmiş olan barajlar Türkeş (2012) tarafından belirtilmiş olan kuraklaşma aksının hemen kuzeyinde, yıllık toplam yağış yüksekliğinde anlamlı artma eğilimi gözlenen kuşağın ise altında yer almaktadır. Çalışma sonuçları; Türkeş (2012) tarafından uzun dönem yağış verilerinin analizi ile belirlenmiş olan eğilimin, barajların bulunduğu alanda devam edeceğini desteklemektedir.

Doğrudan bu çalışma çıktıları; mevsimsel ölçekte havza su bütçesinin ne düzeyde etkileneceği sorusuna nicel bir cevap üretememektedir. Buna karşın çalışma çıktıları, Ankara ili su teminini için inşa edilen regülatör ve barajların yer aldıkları alt havzaların farklı iklim değişikliği senaryoları kapsamında sıcaklık artış problemi ile yüz yüze kalacağını göstermektedir. Benzer şekilde, mevsimsel yağış miktarlarında gerçekleşecek değişim ile regülatör ve barajların yer aldıkları alt havzaların baskı altına gireceği net bir şekilde anlaşılmaktadır. Su bütçesine nicel bir cevap üretmek için havza bazında

buharlaşma, akış, süzülme, vb. klimatolojik ve hidrolojik parametreler ile birlikte arazi örtüsü ve kullanımındaki değişimlerin bir arada yer aldığı büyük ölçekli modeller geliştirilmesi gerekmekte ve sonraki araştırmacılara önerilmektedir.

Teşekkür ve Bilgilendirme

Bu çalışma Prof. Dr. Hakan Yiğitbaşıoğlu danışmanlığında tamamlanan *Ankara Örneklemini Üzerinde İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Yönetimine Etkisi* isimli doktora çalışmasından itibaren geliştirilerek hazırlanmıştır.



Future Projection of Main Water Basins in Ankara Within the Framework of Climate Change: Sakarya and Western Black Sea Basins

M. Murat Kale*^a

Submitted: 05.05.2020

Accepted: 24.06.2020

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Turkey, which is a natural member of the Mediterranean Basin, is among the countries in the risky category in terms of the potential effects of global climate change (Önol et al., 2009; Turan, 2018). The effects of global climate change especially in the Anatolian geography are expected to occur in the form of areal growth in arid-semi-arid climate regions, an increase in dry summer periods (Erlat and Türkeş, 2013; Önol et al., 2009; Türkeş, 1998), changes in the budgets of water basins (Bozkurt and Sen, 2013; Fujihara et al., 2008; Önol et al., 2009; Önol and Semazzi, 2009), and an increase in the number of natural disasters of atmospheric origin (Bozkurt and Sen, 2011; Türkeş and Tatlı, 2009).

In this study, an answer was sought to the question of to what extent the main water resources of Ankara province would be affected by global climate change, from a geographical perspective. This study aimed to reveal how the main water resources of Ankara province, which is located in the selected basins, would be affected by global climate change. With the outcomes of the study, it was aimed to provide the information needed, especially by policy developers and decision-makers on water resources management.

Methodology

Some assumptions were made for the formation of runoff by taking surface runoff as a reference throughout the study. The study was conducted based on the temperature and precipitation parameters dominating the runoff. It was assumed that the existing vegetation and land use across the basin would not change during the study period, in other words, they would remain the same.

Two basic data sets were used in the study. These data sets are the model outcomes based on long-term climate parameters of the basins and different climate scenarios.

The long-term climate parameters of the basins were obtained from the database of the Turkish State Meteorological Service (TSMS). The climate parameters of mean temperature (°C) and total precipitation height (mm) were used in this study. The second basic data set of this study consisted of the scenario outcomes produced as a result of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

* Corresponding Author: mmuratkale@gmail.com

^a Çankırı Karatekin University Faculty of Letters Geography Department, Çankırı/Turkey, <https://orcid.org/0000-0001-6975-7069>.

assessment reports. Model outcomes based on the Special Report on Emissions Scenarios (SRES) developed by the IPCC 4th Assessment Report (AR4) and the Representative Concentration Pathways (RCP) scenarios developed by the IPCC 5th Assessment Report (AR5) were used in this study.

Model outcomes based on the SRES scenario within the scope of AR4 were obtained from the data sets produced within the scope of the "Climate Change Scenarios for Turkey" project supported by the Scientific Research Council of Turkey (İTÜ, 2012). Model outcomes based on the RCP scenario within the scope of AR5 were obtained from the data sets produced within the scope of the "Climate Projections for Turkey" (TSMS, 2015), which was completed by the Turkish State Meteorological Service (TSMS), and the "Impact of Climate Change on Water Resources Project," which is currently conducted by the General Directorate of Water Management (OSİB, 2019).

Result

The long-term temperature and precipitation maps created by the inverse distance weighting (IDW) method for the Western Black Sea and Sakarya basins are presented in Figure 1.

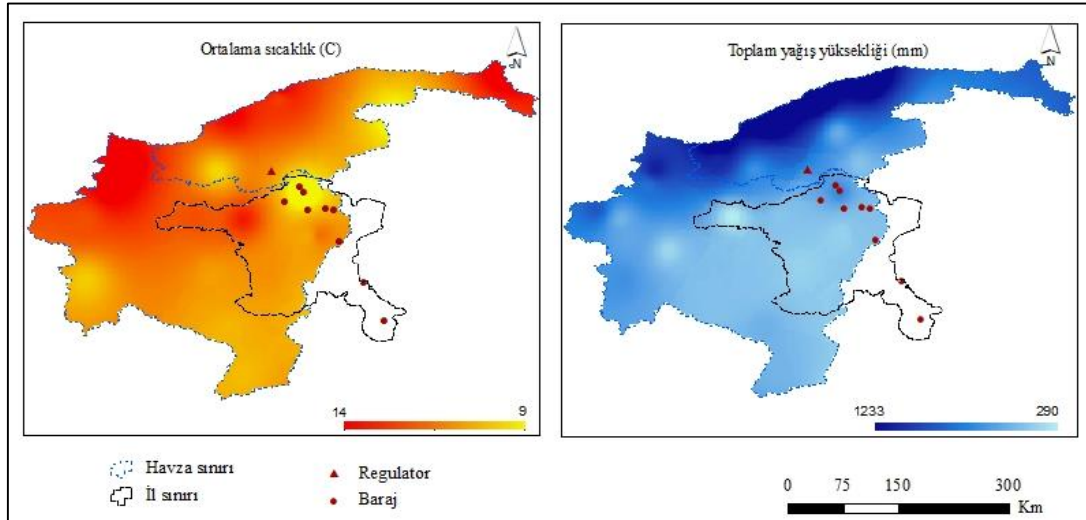


Figure 1. Long-term average temperature ($^{\circ}\text{C}$ / year) and total precipitation height (mm / year) maps

When the water basins were evaluated as a whole, it was understood that the temperature values varied along the two axes. The temperature tended to increase in the east-west and south-north axes (Figure 1). In particular, the north of Sakarya and Western Black Sea basins had a high average temperature (Figure 1). Likewise, according to the long-term precipitation height data, the total precipitation height increased in the south-north axis (Figure 1). Temperature ($^{\circ}\text{C}$) and precipitation (%) anomalies of the Sakarya Basin depending on the SRES and RCP scenarios are comparatively presented in Figure 2.

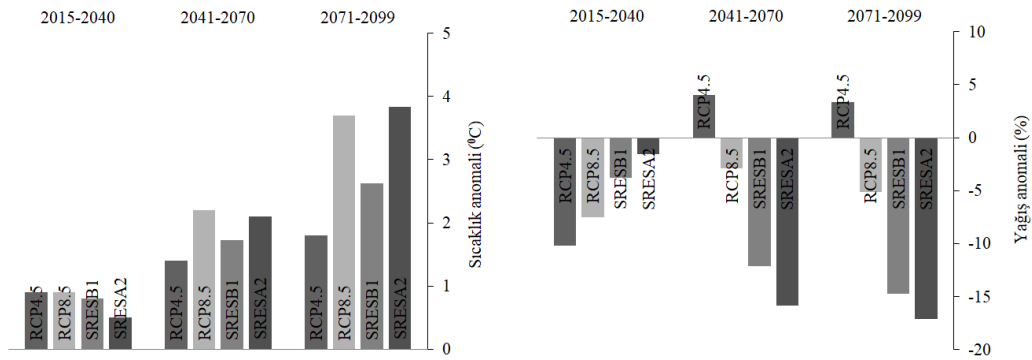


Figure 2. Temperature (°C) and precipitation (%) anomalies of Western Black Sea Basin

According to the SRESB1 and SRESA2 scenarios, it is predicted that the mean temperature values for Sakarya Basin will increase by approximately 2.6 °C and 3.8 °C, respectively, at the end of the projection period compared to the reference period (Figure 2). The outcomes of the scenarios B1 and A2 indicate that the temperature anomaly that will occur during the periods will be positive with an increasing trend. According to the SRESB1 and SRESA2 scenarios, when precipitation anomalies for Sakarya Basin are examined, it is predicted that precipitation will decrease by approximately -14.7% and -17.1%, respectively, at the end of the projection period compared to the reference period (Figure 2). According to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, it is predicted that the average temperature values for Sakarya Basin will increase by approximately 1.8°C and 3.7°C, respectively, at the end of the projection period compared to the reference period (Figure 2). Temperature anomaly is positive in both scenario outcomes during all periods. According to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, it is predicted that the precipitation height in Sakarya Basin will change by approximately 3.3% and - 5.1%, respectively, at the end of the projection period compared to the reference period (Figure 2).

Temperature (°C) and precipitation (%) anomalies of the Western Black Sea Basin depending on the SRES and RCP scenarios are comparatively presented in Figure 3.

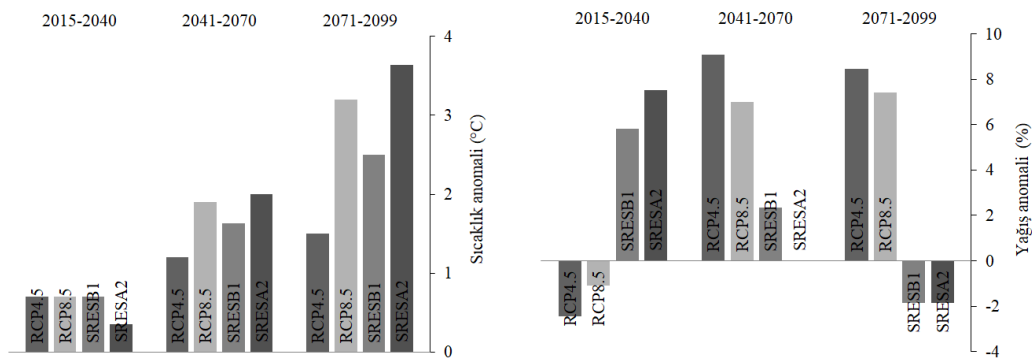


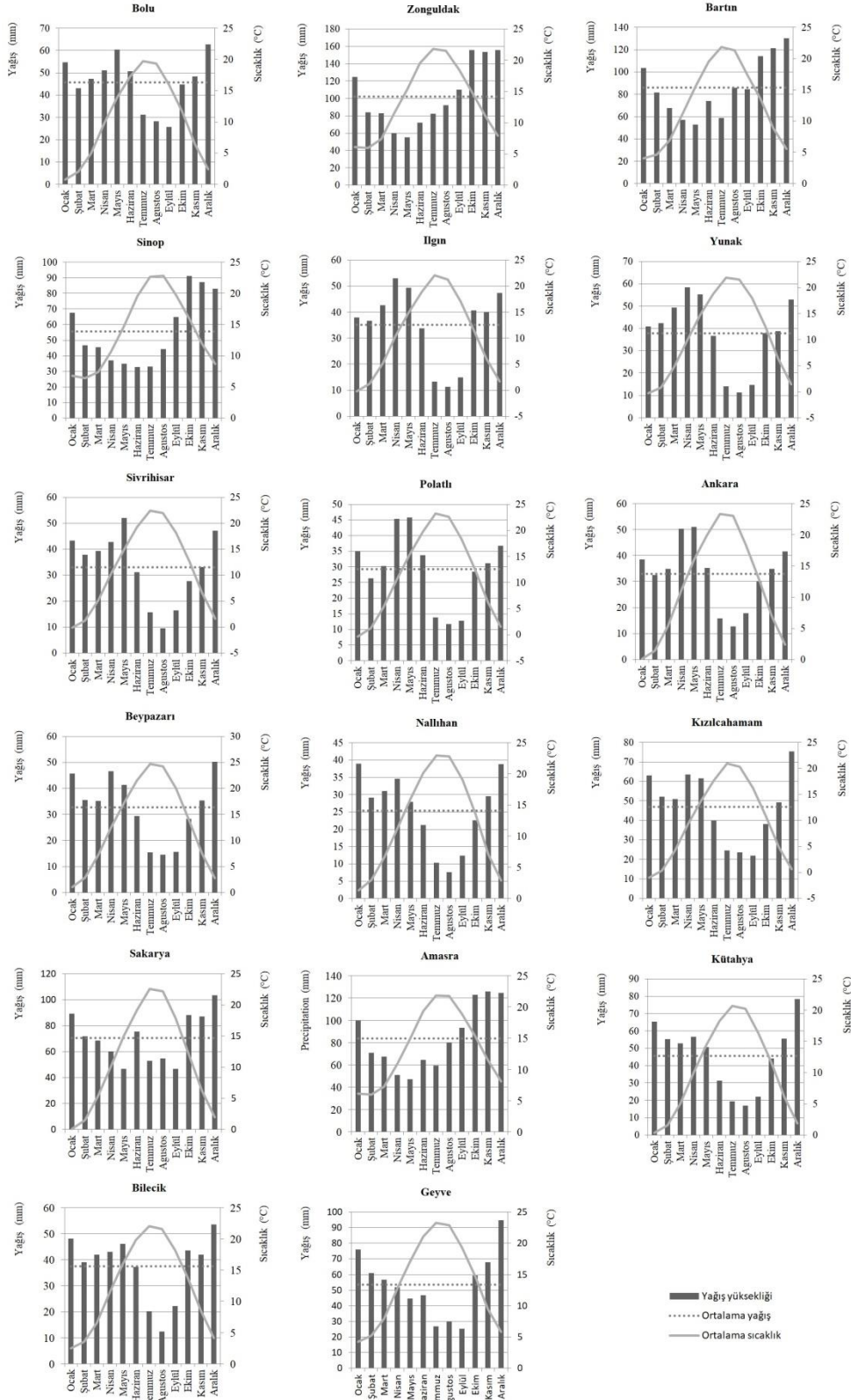
Figure 3. Long-term average temperature and total precipitation height of MGIs

According to the SRESB1 and SRESA2 scenarios, it is predicted that the mean temperature values for the Western Black Sea Basin will increase by approximately 2.5 °C and 3.6 °C, respectively, at the end of the projection period compared to the reference period (Figure 3). The outcomes of both

scenarios indicate that the temperature anomaly that will occur during the periods will be positive with an increasing trend. According to the SRESB1 and SRESA2 scenarios, it is predicted that the total precipitation height in the Western Black Sea Basin will decrease by approximately -1.9% at the end of the projection period compared to the reference period (Figure 3). While the change in precipitation height is positive with a decreasing trend in the 2015–2040 and 2041–2070 periods, it is negative at the end of the period 2071–2099 period. According to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, it is predicted that the average temperature values for the Western Black Sea Basin will increase by approximately 1.5 °C and 3.2 °C, respectively, at the end of the projection period compared to the reference period (Figure 3). Temperature anomaly is positive with an increasing trend for both scenario outcomes during all periods. According to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, when precipitation anomalies for Sakarya Basin are examined, precipitation heights will increase by 8.5% and 7.4%, respectively, at the end of the projection period compared to the reference period (Figure 3). While the increasing trend is expected to be maximum for the RCP4.5 scenario in the 2041–2070 period, it is expected to be a maximum for the RCP8.5 scenario in the 2071–2099 period. According to the RCP8.5 scenario in general, it is predicted that precipitation will tend to increase with an increasing trend, especially in the 2041–2070 and 2071–2099 periods.

The distributions of the long-term (1970–2007) total precipitation height and average temperature of the MGIs located in Sakarya and Western Black Sea basins are presented in Figure 4.

According to the SRESB1 scenario, high increases are expected, especially in summer and autumn seasonal temperatures, at the end of the projection period. The increases in summer temperatures are expected to be lower in the Western Black Sea Basin compared to Sakarya Basin. In parallel with the increase in temperatures, a decreasing trend is expected in the amount of precipitation that will occur in the summer season for both basins. Nevertheless, there is a positive anomaly for spring and winter precipitation, especially at the end of the projection period on the Western Black Sea Basin coastline. The positive anomaly decreases while moving from the coastline to the inner regions. According to the SRESB1 scenario, an increase of up to 10% is expected in winter and spring precipitation in the subbasin, where the regulator is located, at the end of the projection period. In the subbasins where the dams are located, a decrease of up to 10% is expected in the projected winter and spring precipitation. According to the same scenario outcomes, an increase of between 2 °C and 3 °C is not expected in mean temperatures during winter and spring in the subbasins, where both the regulator and the dams are located, at the end of the projection period.



Şekil 6. The distributions of the long-term (1970-2007) total precipitation height and average temperature of the MGIs

According to the SRESA2 scenario, high increases are predicted in all seasonal temperatures at the end of the projection period. The temperature anomaly is higher in the seasons, especially other than spring. According to the scenario outcomes, the temperature is expected to have an increasing trend from the Black Sea coastline to the inner regions. According to the SRESA2 scenario, highly negative anomalies are expected in the amount of precipitation falling in the summer and autumn seasons in both basins at the end of the projection period. In other words, precipitation heights recorded in summer and autumn at the end of the period are expected to be lower compared to the reference period. According to the SRESA2 scenario, it is predicted that there will be a decrease of up to 10% in the projected winter precipitation and an increase of up to 10% in the projected spring precipitation in the subbasins, where dams are located, at the end of the projection period. An increase of up to 10% in the projected winter precipitation and an increase of up to 20% in spring precipitation are expected in the subbasin where the regulator is located. According to the same scenario outcomes, it is expected that there will be an increase in the range of 4 °C and 6 °C in the projected mean temperatures for the winter season and an increase in the range of 2 °C and 4 °C in the projected mean temperatures for the spring season in the subbasins, where both the regulator and the dams are located, at the end of the projection period.

According to the RCP4.5 scenario, there will be an increase in all seasonal temperatures at the end of the projection period. The summer season temperature anomaly is higher compared to other seasons. An increase is predicted in precipitation, which is expected to occur during autumn, especially in the middle zone of Sakarya Basin, and during winter in the northwest of the basin. According to the RCP4.5 scenario, highly negative precipitation anomalies are predicted in both Sakarya and Western Black Sea basins, especially in summer at the end of the projection period. However, the coastlines of the Western Black Sea and Sakarya basins are expected to receive more precipitation, especially in spring and winter seasons, compared to the reference period. According to the RCP4.5 scenario, a decrease of up to 10% is expected in winter and spring precipitation in the subbasins with dams at the end of the projection period. An increase of up to 10% in the projected winter precipitation and a decrease of up to 10% in the projected spring precipitation are expected in the subbasin where the regulator is located. According to the same scenario outcomes, an increase in the range of 2°C and 2.5°C is expected in winter and spring temperatures in the subbasins, where both the regulator and the dams are located, at the end of the projection period.

According to the RCP8.5 scenario, there will be a very high increase in all seasonal temperatures at the end of the projection period. The minimum temperature anomalies and the maximum temperature anomalies are expected to occur in winter and summer, respectively. The temperature increase is projected to be two times more than the temperature increase expected with the RCP4.5 scenario. According to the RCP8.5 scenario, a positive anomaly is expected in the projected precipitation height in winter across both basins at the end of the projection period. According to the RCP8.5 scenario, a decrease of up to 10% in the projected winter precipitation and a decrease of more than 20% in the projected spring precipitation are expected in the subbasins with dams at the end of the projection period. An increase of up to 10% in winter precipitation and a decrease of up to 20% in spring precipitation are projected in the subbasin where the regulator is located. According to the same scenario outcomes, an

increase in the range of 2°C and 4 °C is expected in winter and spring temperatures in the subbasins, where both the regulator and the dams are located, at the end of the projection period.

Discussion and Conclusion

In the subbasins where the regulators and dams are located, which are built for the water supply of Ankara province, the precipitation that falls in winter and spring seasons is the main source of runoff. Therefore, the scenarios and model outcomes used in the study were evaluated on a seasonal scale.

- At the end of the projection period, increases at different rates are expected in the projected precipitation in the winter season in the subbasin, where the regulator is located, according to all scenario outcomes. In the projected precipitation in the spring season, it is projected that there will be increases at varying rates according to the SRESB1–SRESA2 scenario outcomes and decreases at varying rates according to the RCP4.5–RCP8.5 scenario outcomes.

- At the end of the projection period, decreases at different rates are expected in the projected precipitation in the winter season in the subbasin, where the dams are located, according to all scenario outcomes. In the projected precipitation in the spring season, it is projected that there will be an increase with a decreasing trend according to the SRESA2 scenario outcomes and decreases at varying rates according to the SRESB1, RCP4.5, and RCP8.5 scenario outcomes.

- At the end of the projection period, increases at different rates are expected in the average temperatures of the winter and spring seasons in the subbasin, where both the regulator and the dams are located, compared to the reference period data.

The results of the study support the pressure on the water resources indicated by Öztürk (2002) and Şen (2013). The dams, which are built for the water supply of Ankara province, are located just north of the drought axis indicated by Türkeş (2012) and below the zone where a significant increase is observed in the annual total precipitation height. The results of the study support that the trend, which was determined by Türkeş (2012) by analyzing the long-term precipitation data, will continue in the areas where the dams are located.

These study outcomes cannot directly produce a quantitative answer to the question of to what extent the basin water budget is affected on a seasonal scale. On the other hand, the study outcomes indicate that the subbasins, where the regulators and dams are built for the water supply of Ankara province, will face the problem of temperature increase within the scope of different climate change scenarios. Likewise, it is clearly understood that the subbasins, where the regulator and dams are located, will be placed under pressure with the change in the amounts of seasonal precipitation. It is necessary to develop large-scale models including both changes in land cover and use and the climatological and hydrological parameters such as evaporation, runoff, and filtration on a basin basis in order to produce a quantitative answer to the water budget, and they are recommended to future researchers.

Referanslar/References

- Akman, Y. (1990). *İklim ve Biyoiklim (Biyoiklim Metodları ve Türkiye İklimleri)*. Ankara: Palme Yayınları.
- Allen, M. R., O. P. Dube, W. Solecki, F. Aragón-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, K. Zickfeld (2018). Framing and Context.V. Masson-Delmotte vd. (Ed), Global

- Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty içinde (49-91). 2019 Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group I Technical Support Unit. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf adresinden alındı.
- Atalay, İ. (1986). *Uygulamalı Hidrografiya*. İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.
- Arnell, N.W. (1999). Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9 (1), 31-49. doi: 10.1016/S0959-3780(99)00017-5.
- Ankara Büyükşehir Belediyesi (ABB). (2006). *2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı, Plan Açıklama Raporu*. Ankara: Ankara Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı.
- Bilen, Ö. (2009). *Türkiye'nin Su Gündemi*. Ankara: Devlet Su İşleri (DSİ) Yayınları.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Palutikof, J. P. (2008). *Climate Change and Water*. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change. Geneva: IPCC.
- Bozkurt, D., Sen, O. L. (2011). Precipitation in the Anatolian Peninsula: sensitivity to increased SSTs in the surrounding seas. *Climate Dynamics*, 36 (3-4), 711-726. doi: 10.1007/s00382-009-0651-3.
- Bozkurt, D., Sen, O. L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*, 480, 149-161. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.12.021.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ). (2019). *V.Bölge Müdürlüğü İşletmedeki Tesisler*. <http://bolge05.dsi.gov.tr/isletmedekitesisler/baraj-ve-g%C3%B6letler> adresinden alındı.
- Eicken, H., Fischer, H., Lemke, P. (1995). Effects of the snow cover on Antarctic sea ice and potential modulation of its response to climate change. *Annals of Glaciology*, 21, 369-376. doi: 10.3189/S0260305500016086.
- Erlat, E., Türkeş, M. (2013). Observed changes and trends in numbers of summer and tropical days, and the 2010 hot summer in Turkey. *International Journal of Climatology*, 33 (8), 1909-1916. doi: 10.1002/joc.3556.
- Fetter, C.W. (1994). *Applied Hydrogeology*. New Jersey: Prentice Hall.
- Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., Kojiri, T. (2008). Assessing the impacts of climate change on the water resources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of dynamically downscaled data for hydrologic simulations. *Journal of Hydrology*, 353 (1-2), 33-48. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.01.024.
- Gleick, P. H. (1989). Climate change, hydrology, and water resources. *Reviews of Geophysics*, 27 (3), 329-344. doi: 10.1029/RG027i003p00329.
- Goosse, H. (2015). Brief History of Climate: Causes and Mechanisms. H. Goosse. Introduction to Climate Dynamics and Climate Modelling içinde (178-246). Cambridge University Press, New York
- Houghton, J. T., Jenkins, C. J., Ephraums, J. J. (Ed.) (1990). *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- İstanbul Teknik Üniversitesi (2012). *Türkiye İçin İklim Değişikliği Senaryoları*. <http://dds.gaia.itu.edu.tr/modelData.jsf> adresinden alındı.
- Jagannathan, P., Arlery, R., Ten, K. H., Zavarina, M. (1967). *A Note on Climatological Normals*. World Meteorological Organization (WMO), Technical Note, Geneva.
- Karakaya, N., Gönenç, İ. E. (2010). Türkiye'de havzalar arası su transferi için bir karar destek sistemi önerisi. *İTÜDERGİSİ/e*, 16 (1-3), 79-90.
- Landsberg, H. E. (1970). Man-Made climatic changes: Man's activities have altered the climate of urbanized areas and may affect global climate in the future. *Science*, 17 (3964), 1265-1274. doi: 10.1126/science.170.3964.1265.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2015). *Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği* <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim-degisikligi-projeksiyon2015.pdf> adresinden alındı.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSİB) (2019). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi: İklimsu Veri Tabanı*. <http://iklim.ormansu.gov.tr/NewCBS/> adresinden alındı.
- Önol, B., Ünal, Y. S., Dalfes, H. N. (2009). İklim değişimi senaryosunun Türkiye üzerindeki etkilerinin modellenmesi. *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, 8 (5), 169-177.
- Önol, B., Semazzi, F. H. M. (2009). Regionalization of climate change simulations over the Eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, 22 (8), 1944-1961. doi: 10.1175/2008JCLI1807.1.

- Önol, B. (2012). Effects of coastal topography on climate: high-resolution simulation with a regional climate model. *Climate Research*, 52, 159-174. doi: 10.3354/cr01077.
- Öziş, Ü., Barant, T., Durnabaşı, İ., Özdemir, Y. (1997). Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli. *Meteoroloji Mühendisliği*, 2, 40-45.
- Öztürk, K. (2002). Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 47-65.
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM). (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Proje Nihai Raporu*. http://iklim.ormansu.gov.tr/ckfinder/userfiles/files/iklim_NihaiRapor.pdf adresinden alındı.
- Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex ve P.M. Midgley (Ed). (2013). *Climate change 2013: The physical science basis: Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. USA: Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf adresinden alındı.
- Şen, Ö. L., Bozkurt, D., Göktürk, O. M., Dünder, B., Altürk, B. (2013). Türkiye'de iklim değişikliği ve olası etkileri. 3. Ulusal Taşkın Sempozyumu. [http://www.dsi.gov.tr/docs/sempozyumlar/t%3bc3%bcrtkiye-de-iklim-de%4c4%9fi%5c5%9fikli%4c4%9fi-ve-olas%4c4%b1-etkileri-\(%c3%b6-l-%c5%9fen\).pdf?sfvrsn=2](http://www.dsi.gov.tr/docs/sempozyumlar/t%3bc3%bcrtkiye-de-iklim-de%4c4%9fi%5c5%9fikli%4c4%9fi-ve-olas%4c4%b1-etkileri-(%c3%b6-l-%c5%9fen).pdf?sfvrsn=2) adresinden alındı.
- Şen, Ö. L., Ünal, A., Bozkurt, D., Kindap T (2011). Temporal changes in the Euphrates and Tigris discharges and teleconnections. *Environmental Research Letters*, 6 (2), 024012. doi: 10.1088/1748-9326/6/2/024012.
- Şen, Ö. L. (2013). Türkiye'de iklim değişikliğinin bütünsel resmi. Öztopal, A., Yerli, B., Şen, Z. (Ed.), *Türkiye'de İklim Değişikliği Kongresi Bildiriler Kitabı* içinde, İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- Turan, E. S. (2018). Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4 (1), 63-69. doi: 10.21324/dacd.357384.
- Türkeş, M. (1998). Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 18, 649-680. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(199805)18:6<649::AID-JOC269>3.0.CO;2-3.
- Türkeş, M., Sümer, U.M., Çetiner, G. (1999). *İklim değişikliğinin bilimsel değerlendirilmesi*. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yayinlar/iklimetkileri.pdf> adresinden alınmıştır.
- Türkeş, M. (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1 (1), 26-37.
- Türkeş, M., Tatlı, H. (2009). Use of the standardized precipitation index (SPI) and modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29, 2270-2282. doi: 10.1002/joc.1862.
- Türkeş, M. (2011). Physical science basis of the climate change: physical climate system, enhanced greenhouse effect, observed and projected climate variations. In *5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book*. (pp. 135-151). İstanbul.
- Türkeş, M. (2012). Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4 (2), 1-32.
- Weeding, H. (1968). Dünya'nın iklim tarihi. *Maden Tetkik ve Arama (MTA)*, 194-203.
- Wiley, M. W., Palmer, R. N. (2008). Estimating the impacts and uncertainty of climate change on a municipal water supply system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134 (3), 239-246. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2008)134:3(239).