

## İklim Değişikliğinin İkizcetepeler Barajı Akımlarına Etkilerinin Modellenmesi: 2015-2030 Projeksiyonu

Umut OKKAN<sup>1</sup>  
Eyyüb KARAKAN<sup>2</sup>

### ÖZ

Sunulan çalışmada, iklim değişikliğinin akımlar üzerindeki etkileri modelleme esaslı bir yaklaşımla araştırılmıştır. Çalışma, Akdeniz iklimi karakterine sahip Balıkesir-İkizcetepeler Baraj havzasında, IPCC'nin AR4 kapsamında türetilen ECHAM5 sirkülasyon modeli iklim tahminleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ECHAM5 modelinin kaba çözünürlüklü A1B ve 20C3M senaryo sonuçları havza ölçeğindeki aylık yağış ve sıcaklıklara indirgenerek, uygulama sahasının gelecek dönem yağış ve sıcaklıkları tahmin edilmiştir. İstatistiksel ölçek indirgeme analizlerini takiben, yağış ve sıcaklıklardaki değişimlerin akışlar üzerindeki olası etkilerini değerlendirebilmek amacıyla indirgenmiş senaryo sonuçları parametrik bir hidrolojik model yardımıyla akışlara dönüştürülmüştür. ECHAM5 iklim modelinin A1B iklim senaryo sonuçlarına göre İkizcetepeler akımlarında önümüzdeki 15 yıllık süreçte, 1960-1999 referans dönemi istatistiklerine göre yaklaşık %23 oranında bir azalma öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İklim değişikliği, ECHAM5, ölçek indirgeme, hidrolojik model.

### ABSTRACT

#### Modeling the Effects of Climate Change on İkizcetepeler Inflows: 2015-2030 Projection

In the study presented, the impacts of climate change on flows were examined by a modeling based approach. The study has been carried out using climate forecasts of ECHAM5 circulation model simulated in the AR4 of the IPCC for Balıkesir-İkizcetepeler watershed having Mediterranean climate characteristics. The future projections of precipitation and temperature changes on the study area have been determined by downscaling the coarse A1B and 20C3M scenario results of ECHAM5 to monthly precipitation and temperature at basin scale. Following the statistical downscaling analyses, the downscaled scenario results have been transformed to runoff by means of a parametric hydrological model to assess the probable impacts of temperature and precipitation changes on runoff. According to the A1B climate scenario results of ECHAM5 climate model,

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 15.12.2014 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2016 gününe kadar tartışmaya açıktır.

1 Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir - umutokkan@balikesir.edu.tr  
2 Kilis 7 Aralık Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kilis - eyyubkarakan@gmail.com

approximately 23% decrease on İkizcetepeler runoff is foreseen with regard to 1960-1999 reference period statistics for the next 15-year period.

**Keywords:** Climate change, ECHAM5, downscaling, hydrological model.

## 1. GİRİŞ

İklim değişikliğinin yerel ölçekteki etkilerinin belirlenebilmesi için iklim modellerinin kaba tahminlerini yerel ölçğe indirgeyen yaklaşımlar geliştirilmiştir [1, 2, 3]. Literatürde dinamik ve istatistiksel olmak üzere iki çeşit ölçek indirgeme yöntemi bulunmaktadır [3]. Bunlardan dinamik ölçek indirgeme, bölgesel ölçekte çalıştırılan fiziksel iklim modellerine dayalı çalışmaları kapsamaktadır. Bu modeller, başlangıç ve sınır koşullarını küresel ölçekli model çıktılarından almakta ve topografya özelliklerinin de hesaba katılmasıyla daha yüksek çözünürlüklerde çalıştırılabilmektedir [4, 5]. Böylece orografik yağışlar, ekstrem süreçler ve bölgesel ölçekteki iklimsel anomaliler, bölgesel iklim modelleri ile dikkate alınabilmektedir [6, 7]. Ancak bu tarz modellerde başlangıç ve sınır koşulları olarak küresel ölçekli iklim modellerinin çıktıları kullanıldığından tahminler taraflı olabilmekte ve belirsizlikler küresel ölçekli modellerden gelen belirsizliklerle daha da artabilmektedir [8]. Bu türden modellerin uygulanabilmesi, kurulumu ve performanslarının test edilmesi için uzun ve zahmetli çalışmalar gerekmekte olup modellerin kısa sürede bir başka bölgeye uyarlanması da kolay değildir. Bu sebeplerden dolayı büyük atmosferik değişkenler ile yerel yüzey değişkenleri arasında istatistiksel ilişkiler kurulmasına dayanan istatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Stokastik simülasyon metotları [9-11] ve dönüşüm fonksiyonları gibi yaklaşımlara literatürde rastlanabilmektedir. Bunlardan sıklıkla kullanılanları dönüşüm fonksiyonları olup, yerel iklimi temsil ettiği düşünülen atmosferik değişkenler ile yerel ölçekte gözlenen değişkenler arasında birtakım bağıntıların kurulması esasına dayanmaktadır [12]. Çok değişkenli doğrusal-doğrusal olmayan regresyon tipleri, yapay sinir ağları (YSA) algoritmaları, destek vektör makineleri (DVM), asal bileşen analizi, kanonik korelasyon analizi gibi birçok yöntem bu kapsamda ele alınmaktadır [12-22].

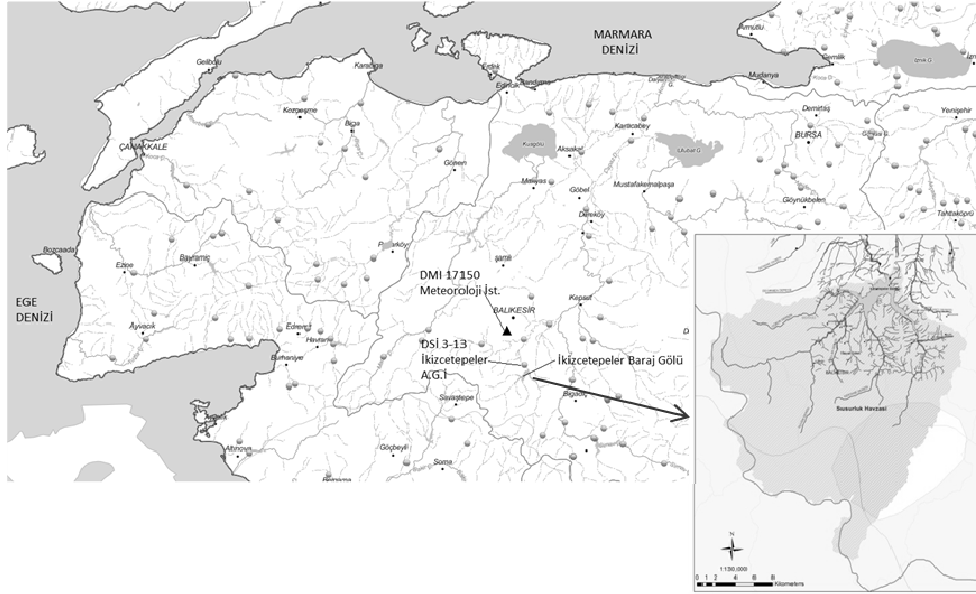
Çalışmada kullanılan ölçek indirgeme tekniği bir YSA algoritmasına dayanmaktadır. Son zamanlarda birçok alanda kullanılan YSA, girdilere karşı çıktılar üreten akıllı bir kara kutu modeli olarak tanımlanabilmekte ve istatistiksel ölçek indirgeme teknikleri arasında sıklıkla kullanılmaktadır [8, 17, 18, 19, 21, 22].

Çalışma kapsamında, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) 4. Değerlendirme Raporu'nda (AR4) değinilen A1B küresel emisyon senaryosu altında çalıştırılan Max Planck Meteoroloji Enstitüsü merkezli ECHAM5 iklim modelinin uygulama alanı olarak seçilen İkizcetepeler Barajı havzasına ilişkin aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık tahminlerini ölçek indirgeme yöntemi kullanarak belirlemek, bu tahmini değişimlerden bölgedeki yağış-akış ilişkisinin ve dolayısıyla baraj akımlarının 2015-2030 yakın projeksiyon döneminde ne ölçüde etkilenebileceğini ortaya koymak amaçlanmıştır.

## 2. VERİLER VE ÖNERİLEN ÖLÇEK İNDİRGEME STRATEJİSİ

### 2.1. Veriler

İkizcetepeler Barajı, yaklaşık 1.16 milyon nüfusa sahip Balıkesir kentinin içmesuyu ihtiyacını karşılamak amacıyla 1986-1992 yılları arasında Susurluk Havzası sınırları içinde Kille Çayı üzerinde inşa edilmiş kum-çakıl zonlu toprak dolgu tipinde ve yaklaşık 500 km<sup>2</sup> drenaj alanına sahip bir barajdır. Baraj 1700 hektarlık bir alana yıllık 13.7 hm<sup>3</sup>'lük sulama hizmeti verirken, yıllık 72 hm<sup>3</sup>'lük içme suyu sağlamaktadır. Gövde hacmi 1115 hm<sup>3</sup>, akarsu yatağından yüksekliği 52 m, maksimum işletme hacmi 154.56 hm<sup>3</sup> olan barajın konumu Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. İkizcetepeler Barajı'nın konumu ve çalışmada kullanılan istasyonlar

İkizcetepeler Baraj havzasına ait DSİ 3-13 İkizcetepeler akım gözlem istasyonu (AGİ) verileri Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nden, havzayı temsil eden DMİ 17150 meteoroloji istasyonuna ait yağış ve sıcaklık gözlemleri ise Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. DMİ 17150 istasyonu baraj havzasına yakın olan ve verileri eksiksiz olan tek istasyondur. Değerlendirilen hidrometeoroloji istasyonları ve gözlenen yıllıkların ortalama istatistikleri Tablo 1'de, konumları ise Şekil 1'de sunulmaktadır.

*Tablo 1. İkizcetepeler Baraj havzasını temsil eden hidrometeoroloji istasyonları ve gözlenen yıllıkların ortalama istatistikleri (Akışlar için rasat aralığı su yılı olarak verilmiştir)*

İstasyon No	Koordinat	Kot (m)	Rasat Aralığı	Ortalama		
				Yağış (mm/yıl)	Sıcaklık (°C/yıl)	Akış (mm/yıl)
DMİ 17150	39.63°K,27.92°D	102	1960-2006	568.66	14.57	-
DSİ 3-13	39.50°K,27.90°D	103	1965-1994	-	-	209.4

Yapılan çalışmada kullanılan emisyon senaryosu, IPCC tarafından hazırlanan dört değerlendirme raporundan sonuncusu olan ve 2007 yılında tamamlanan AR4'te değinilen senaryolar içerisinde seçilmiştir. AR4 senaryoları temelde 21. yüzyıla ait nüfus ve ekonomik aktivite öngörülerine dayanmakta olup, detayları IPCC tarafından Emisyon Senaryoları Özel Raporu'nda yayımlanmıştır. Tüm senaryolarda, gelecek için sera gazı emisyonları hesaplanırken, nüfus artışı, enerji kullanımı, ekonomi, teknolojik gelişmeler, tarım ve arazi kullanımındaki değişimler için farklı kabuller yapılmış ve farklı senaryo grupları (A1B, A2, B1, B2) oluşturulmuştur. AR4'te ele alınan farklı senaryo grupları bulunmasına karşın, çalışma kapsamında geçmiş iklimi temsil eden 20C3M senaryosu ve orta-kötümser A1B gelecek dönem senaryosu dikkate alınmıştır.

Küresel sıcaklık ve deniz seviyelerindeki değişim senaryolarına göre çalıştırılan küresel iklim modelleri, yeryüzündeki atmosferik parametrelerdeki değişimleri kaba çözünürlüklerde tahmin etmektedir. AR4 kapsamında 23 farklı iklim modeli çalıştırılmış ve model sonuçları senaryolara göre yayımlanmıştır. İklim modeli olarak Max Planck Meteoroloji Enstitüsü merkezli 1.88° x 1.88° (enlem x boylam) çözünürlüklü ECHAM5 küresel iklim modeli tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında, modellerin geçmiş emisyon koşullarını temsil edeceği öngörülen 20C3M senaryosu sonuçları ve gelecek dönemi temsil edeceği öngörülen A1B senaryolarına ilişkin sonuçları WDCC (World Data Center for Climate)'den temin edilmiştir. A1B senaryosunda 2100 yılında atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonu değerinin 720 ppm'e ulaşacağı öngörülmektedir. Çalışma kapsamında ele alınan ve WDCC'den temin edilen ECHAM5 iklim modelinin NetCDF (Network Common Data Form) formatındaki sonuçları uygulama bölgesine en yakın hücrenin (gridinin) koordinatları (40.1 °K, 28.1 °D merkezli grid) için derlenmiştir.

Kaba çözünürlüklü tahminlere sahip iklim modeli sonuçlarının yerel ölçekteki yağışlara ve sıcaklıklara dönüştürülmesi için, bölgesel atmosferik değişkenler ile yağış ve sıcaklık değerleri arasında bazı istatistiksel dönüşüm ilişkilerinin kurulması önerilmektedir [8, 12, 16, 18, 19]. İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemi olarak bilinen bu yöntemin uygulanabilmesi için meteoroloji uyduları ve küresel kara gözlem ağından elde edilen, 2.5° x 2.5° grid çözünürlüğüne sahip NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Centers for Atmospheric Research) re-analiz verilerinden yararlanılabilmektedir [23].

NCEP/NCAR re-analiz verileri pek çok ölçek indirgeme çalışmasında bölgesel tahminleyici olarak kullanılmıştır. Wilby vd. [1] NCEP/NCAR re-analiz verileri ile

geliştirmiş oldukları SDSM (Statistical Downscaling Model) yazılımını kullanarak Kanada'nın Toronto bölgesinde ölçek indirgeme işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Timbal vd. [24] analog yöntem kullanarak Fransa'da seçilen 17 meteoroloji istasyonuna, Wetterhall vd. [25] benzer şekilde analog yöntem ile İsveç'te bulunan bazı istasyon ölçeklerine, Dibike ve Coulibaly [26, 27] farklı istatistiksel yaklaşımları kullanarak Kanada'daki bir meteoroloji istasyonuna, Burger ve Chen [28] regresyon ile Almanya'da yer alan bazı istasyon ölçeklerine, Bardossy vd. [29] bulanık kural tabanlı bir algoritma ile Almanya'da bulunan bir istasyon ölçeğine yağışları indirgemişlerdir. Öte yandan Tatlı vd. [2, 22] Sampson korelasyon yöntemini tahminleyici değişkenlere uygulayarak yapay sinir ağları yardımıyla Türkiye'deki bazı önemli istasyonlara, Tripathi vd. [3] destek vektör makineleri ve yapay sinir ağları ile Hindistan'ın önemli meteorolojik bölgelerine, Benestad vd. [30] regresyon ile Norveç'teki bir uygulama alanına, Anandhi vd. [16]  $k$ -ortalamalar kümeleme algoritmasını ve en küçük kareler destek vektör makineleri tekniğini kullanarak Hindistan'ın Karnataka bölgesine, Okkan [31] adimsal regresyon yöntemini tahminleyici değişkenlere uygulayarak ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağları ile İzmir içme suyu havzalarına, Fıstıkoğlu ve Okkan [18] Mallows  $C_p$  yaklaşımını optimum tahminleyicilerin belirlenmesinde kullanarak Levenberg-Marquardt algoritması tabanlı bir ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağı modeli ile yerel ölçeğe aylık yağışları indirgemişlerdir. Okkan ve İnan [20] Bayesian öğrenme tabanlı ilgililik vektör makineleri ile Kemer Baraj havzası aylık yağışları için bir ölçek indirgeme modeli kurmuşlardır. Yukarıda bahsi geçen aylık ve günlük ölçekteki çalışmaların yanı sıra mevsimsel yağışların NCEP/NCAR verileri kullanılarak indirgenmesi uygulamalarına da rastlanmaktadır [32-34].



Şekil 2. Türkiye'yi ve uygulama bölgesini kapsayan NCEP/NCAR gridleri

Yağışların yanı sıra NCEP/NCAR re-analiz verileri ile sıcaklıkların yerel ölçeğe indirgenmesi çalışmaları da dikkat çekmektedir. Chen ve Chen [35] kış ayı ortalama

sıcaklıklarını kanonik korelasyon analizi kullanarak Çin'de bulunan 147 adet istasyona indirgemişlerdir. Timbal vd. [24] analog yöntem kullanarak günlük maksimum ve minimum sıcaklıkları Fransa'da bulunan 17 meteoroloji istasyonu ölçeğine, Tatlı vd. [22] aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkları tekil spektrum analizi, asal bileşenler analizi ve kanonik korelasyon analizi kullanarak Türkiye'de bulunan 62 adet meteoroloji istasyonu ölçeğine, Schoof vd. [36] günlük maksimum ve minimum sıcaklıkları çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemini kullanarak ABD'deki 26 adet meteoroloji istasyonu ölçeğine indirgemişlerdir. Okkan ve Serbeş [37] aylık ortalama sıcaklıkları yapay sinir ağları yöntemini kullanarak İzmir ve Manisa meteoroloji istasyonları ölçeklerine indirgemişlerdir.

Çalışma kapsamında NCEP/NCAR re-analiz verilerine NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)'nın internet sitesinden erişilmiştir. Uygulama bölgesini içine alan  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  alan çözünürlüklü 1 no'lu grid ve bu gride komşu olan 2 no'lu grid (bkz. Şekil 2) çalışmada değerlendirilmiştir. Gridlere ait NetCDF formatındaki veriler derlenerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. 1 no'lu ve 2 no'lu gridlere ait veriler incelendiğinde  $40^{\circ}$  Kuzey enlemi,  $27.5^{\circ}$  Doğu boylamı merkezli 1 no'lu gridin istatistiksel açıdan daha uyumlu olduğu ve bölgeyi daha iyi yansıttığı görülmüştür. NCEP/NCAR re-analiz verilerini, havzadaki yağış ve sıcaklık çıktılarına dönüştürmede kullanılacak ölçek indirgeme modellerinin kurulabilmesi için, kullanılan atmosferik değişkenlerin çalışma kapsamında ele alınan ECHAM5 iklim modelinde de olması gerekmektedir. NCEP/NCAR re-analiz veri setleri ve ECHAM5 iklim modeli senaryolarında (20C3M ve A1B) mevcut olan değişkenler karşılaştırılarak 12 ortak potansiyel değişken tespit edilmiştir (Tablo 2). Tablo 2'de listelenen değişkenler sütununda air: hava sıcaklığını, hgt: geopotansiyel yüksekliği, rhum: rölatif nemi, press: yüzey basıncını, slp: deniz seviyesi basıncını, pr: yağışı temsil etmektedir. Değişkenlerin birimleri aynı tablo üzerinde belirtilmiştir.

*Tablo 2. NCEP/NCAR re-analiz veri setinde ve iklim modellerinde ortak bulunan değişkenler*

Atmosferik Seviyeler	Değişkenler
200hPa	<i>air200(°C)</i>
	<i>hgt200 (m)</i>
500 hPa	<i>air500(°C)</i>
	<i>hgt500 (m)</i>
	<i>rhum500(%)</i>
850 hPa	<i>air850 (°C)</i>
	<i>hgt850 (m)</i>
	<i>rhum850 (%)</i>
Yüzey	<i>air (°C)</i>
	<i>press (hPa)</i>
	<i>slp (hPa)</i>
	<i>pr (kg/m<sup>2</sup>)</i>

## 2.2. Önerilen Ölçek İndirgeme Stratejisi

Referans iklim dönemleri, 1960-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 iklim normalleri olarak, uluslararası, ulusal ve bölgesel esaslı iklim çalışmalarında, ulusal iklim servisleri ve uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından kullanılmaktadır. İklim normallerinin kullanılması yapılacak değerlendirmeler için standart bir altlık sağlaması bakımından önemlidir. Çalışmada 1960-1990 ve 1971-2000 referans dönemlerini temsil eden ortak bir dönem olarak 1960-1999 dönemi verileri dikkate alınmıştır. Çalışmada Levenberg-Marquardt algoritması tabanlı YSA modeli [18], Ocak 1960-Aralık 1999 referans dönemini içeren İkizcetepeler baraj havzasını temsil eden bölgesel atmosferik NCEP/NCAR re-analiz verileri ve istasyon ölçeğinde gözlemlenen aylık yağış ve sıcaklık verileri arasında ayrı ayrı kurulmuştur. Modellemelerde tüm veriler belli oranlarda eğitim (%75) ve test (%25) olmak üzere iki aşamada değerlendirilmiştir. Buna göre, Ocak 1960-Aralık 1989 dönemi eğitim, Ocak 1990-Aralık 1999 dönemi ise test dönemi olarak dikkate alınmıştır.

NCEP/NCAR re-analiz verileri ve ağıın çıktıları olan, aylık yağış ve sıcaklıklar ağı sunulmadan önce  $(x-x_{ort})/S_x$  bağıntısıyla ortalaması ( $x_{ort}$ ) 0, standart sapması ( $S_x$ ) 1 olan normalize diziler haline getirilmektedir [18]. Öte yandan ECHAM5 iklim modelinin A1B senaryosuna ilişkin atmosferik değişkenleri, 20C3M (1960-1999) dönemi değişkenlerinin ortalama ve standart sapma istatistikleri kullanılarak standardize edilmektedir. Böylece standardize edilmiş NCEP/NCAR verileri ile kurulan YSA modellerinin 20C3M dönemi istatistiklerine göre standardize edilen senaryo sonuçlarını havza ölçeğine indirgeyebilmesi sağlanmaktadır. Simülasyonlar tamamlandıktan sonra havzaya indirgenen bu standardize değerler, 1960-1999 gözlenmiş dönem istatistikleri kullanılarak ters işlem ile orijinal birimine dönüştürülmektedir. Geliştirilen ölçek indirgeme stratejisi Şekil 3'de şematize edilmiştir. Yöntemin uygulanması ile alakalı detaylar aşağıda verilmektedir.

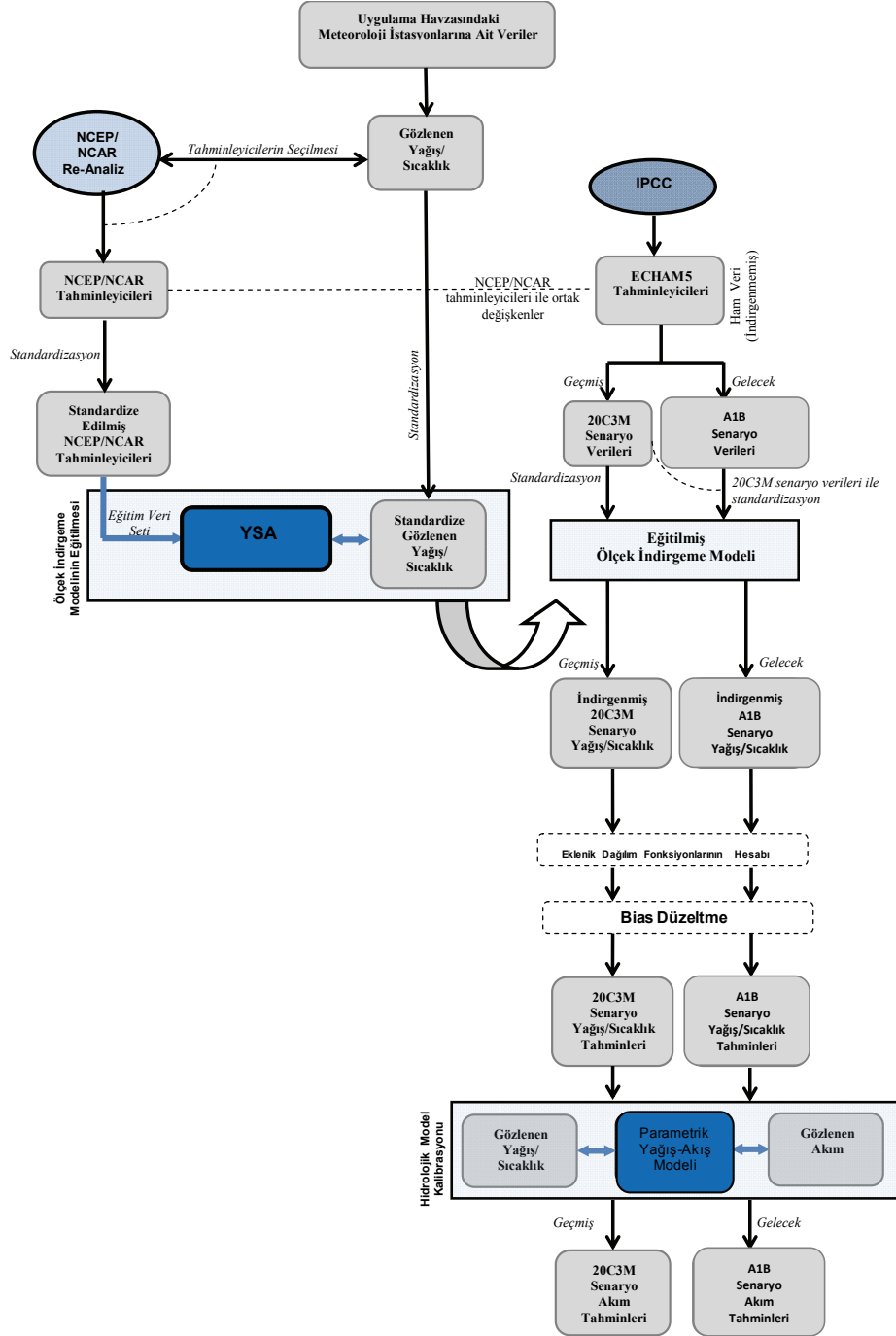
## 3. UYGULAMA

### 3.1. NCEP/NCAR Tahminleyicilerinin Seçimi

İkizcetepeler Baraj havzasını temsil eden aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık dizilerinin yerel ölçekteki tahminlerini elde etmek amacıyla istatistiksel ölçek indirgeme modellerine sunulan veriler, 1960-1999 dönemini kapsayan ve ECHAM5 iklim modelinde ortak bulunan 12 adet NCEP/NCAR tahminleyicisinden oluşmaktadır. Çalışmada gerek iklim projeksiyonlarındaki belirsizlikler, gerekse uygulama bölgesini temsil etmesi beklenen 20C3M geçmiş senaryosu indirgenmiş yağış ve sıcaklıklarının 1960-1999 referans dönemini yansıtabilmesi açısından optimum sayıda NCEP/NCAR değişkeninin kullanılması yoluna gidilmiştir.

Önce tüm değişkenler kullanılarak korelasyon matrisi oluşturulmuş ve hesaplanan korelasyon katsayıları incelenerek bağımlı değişkene düşük korelasyon veren veya yüksek iç ilişkili bağımsız değişkenler elemine edilmiştir. Yapılan incelemeye göre, air200, press ve slp değişkenleri yağışa düşük korelasyon verdiği için potansiyel tahminleyici listesinden atılmıştır. Geriye kalan 9 değişken içinden en uygun olanları ise adımsal regresyon analizi ile belirlenmiştir (Tablo 3). Bu uygulama istatistiksel ölçek indirgeme modelinin eğitim dönemi olan 1960-1989 dönemi verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Kısmi  $F$  testine

İklim Değişikliğinin İkizcetepeler Barajı Akımlarına Etkilerinin ...



Şekil 3. Geliştirilen ölçek indirgeme stratejisi



bağlı olarak geriye eleme yaklaşımı ile air, air500 ve hgt200 değişkenlerinin modelden atılması uygun bulunmuştur. Tablo 3 incelendiğinde 9 girdili doğrusal model (Kombinasyon 1) ile 6 girdili doğrusal model (Kombinasyon 6) arasında determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), düzeltilmiş determinasyon katsayısı ( $Adj.R^2$ ) ve standart hata istatistikleri bakımından anlamlı bir farkın olmadığı görülebilmektedir. Netice itibarıyla, NCEP/NCAR veri setinde bulunan yağış (pr), 850 mb seviyesindeki geopotansiyel yükseklik (hgt850), 850 mb seviyesindeki rölatif nem (rhum850), 500 mb seviyesindeki rölatif nem (rhum500), 850 mb seviyesindeki sıcaklık (air850) ve 500 mb seviyesindeki geopotansiyel yükseklik (hgt500) değişkenlerinin aylık toplam yağış tahminleyicileri olarak kullanılması uygun bulunmuştur.

Tablo 3. Aylık toplam yağış tahminleyicilerini belirlemek için gerçekleştirilen adimsal regresyon analizi sonuçları

Kombinasyon No	Tahminleyici	$R^2$	$Adj.R^2$	Standart Hata (mm)
1	pr,air,hgt850,rhum850,rhum500,air500,hgt200,air850,hgt500	0.5904	0.5799	30.71
2	pr,hgt850,rhum850,rhum500,air500,hgt200,air850,hgt500	0.5899	0.5806	30.69
3	pr,hgt850,rhum850,rhum500,hgt200,air850,hgt500	0.5896	0.5814	30.65
4	pr,hgt850,rhum850,rhum500,air850,hgt500	0.5879	0.5809	30.67

Sıcaklıklar için benzer bir inceleme yapıldığında ise NCEP/NCAR veri setinde bulunan yüzey hava sıcaklığı (air) değişkeninin DMI17150 istasyonu aylık ortalama sıcaklıkları ile oldukça yüksek korelasyon sağladığı görülmüş ( $R=0.9941$ ) ve tek başına aylık ortalama sıcaklık tahminleyicisi olarak kullanılması yeterli bulunmuştur.

Anandhi vd. [16] bağımlı ve bağımsız değişkenlerin korelasyon ilişkilerinin araştırılmasının yanı sıra iklim modellerinin geçmiş dönemi temsil eden simülasyon sonuçları (20C3M senaryosu sonuçları) ile re-analiz verileri arasındaki uyumun da kontrol edilmesini önermişlerdir. Çalışmalarında bu aşamada Kendall Tau sıra korelasyon istatistiğinden yararlanmışlardır. Çalışma kapsamında da NCEP/NCAR tahminleyicileri ile ECHAM5 iklim modelinin 1960-1999 dönemine ait 20C3M senaryosu tahminleyicileri arasındaki uyum Kendall Tau istatistiği ile sınanmıştır. 0.30 değerinin düşük bir korelasyon olduğu kabul edilmekte olup hesaplanan sıra korelasyonlarının bu değerden büyük olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, bağımlı değişkenleri temsil eden NCEP/NCAR veri setindeki pr, hgt850, rhum850, rhum500, air850, hgt500 ve air değişkenlerinin ölçek indirgeme modellerinin kurulmasında yeterli olduğu varsayılmaktadır.

### 3.2. Ölçek İndirgeme Modellerinin Kurulması

Bu kısımda, belirlenen tahminleyici değişkenler YSA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin girdileri olarak kullanılarak modellerin kalibrasyonu (eğitimi) gerçekleştirilmiştir. 1960-1989 dönemini kapsayan 30 yıllık veri eğitimde, 1990-1999 dönemini kapsayan 10 yıllık veri test aşamasında kullanılmıştır. Bu aşamada MATLAB

ortamında kodlanan Levenberg-Marquardt optimizasyon algoritmasına dayanan ileri beslemeli geriye yayımlı bir YSA modeli hazırlanmıştır.

Modellerde kullanılacak aktivasyon fonksiyonu için çeşitli denemeler yapılmış ve ilk katmanda sigmoid fonksiyonu, son katmanda ise doğrusal fonksiyon en iyi performansı vermiştir. Tüm girdi ve çıktı verileri  $(x-x_{ort})/S_x$  bağıntısıyla standardize edilmiş dizi haline getirilerek kullanılmıştır. Öğrenme işlemi tamamlandıktan sonra standardize veriler ters işlem ile gerçek ölçekteki değerlere dönüştürülerek eğitim ve test dönemi model performansları incelenmiştir. Aylık yağış ve sıcaklık modelleri için eğitim ve test seti performansını en yüksek yapan gizli katmandaki hücre sayıları (gkhs) ise sırasıyla, 4 ve 5 olarak belirlenmiştir. Modellerde başlangıç Marquardt parametresi ( $\mu_0$ ) ve  $\beta$  parametresi sırasıyla 0.01 ve 0.1 olarak atanmıştır.

*Tablo 4. Aylık toplam yağışlar için NCEP/NCAR veri seti ile kurulan ölçek indirgeme modelinin (a) eğitim ve (b) test dönemi performansları*

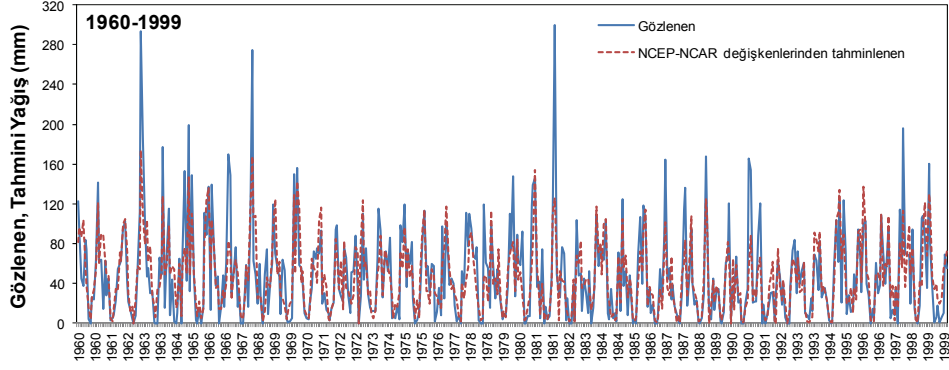
(a) Eğitim								
	HKOK (mm)	R <sup>2</sup> (-)	Adj.R <sup>2</sup> (-)	NS (-)	RSR (-)	PBIAS (%)	Ort. (mm)	S.Sapma (mm)
Gözlenen	-	-	-	-	-	-	49.18	47.32
Model	27.31	0.68	0.67	0.67	0.58	4.76	46.84	35.12
(b) Test								
	HKOK (mm)	R <sup>2</sup> (-)	Adj. R <sup>2</sup> (-)	NS (-)	RSR (-)	PBIAS (%)	Ort. (mm)	S. Sapma (mm)
Gözlenen	-	-	-	-	-	-	44.23	40.81
Model	24.46	0.64	0.62	0.64	0.60	-1.53	44.91	34.58

*Model Parametreleri:*  $\mu_0=0.01$ ;  $\beta=0.1$ ; iterasyon adedi=10; gkhs=4

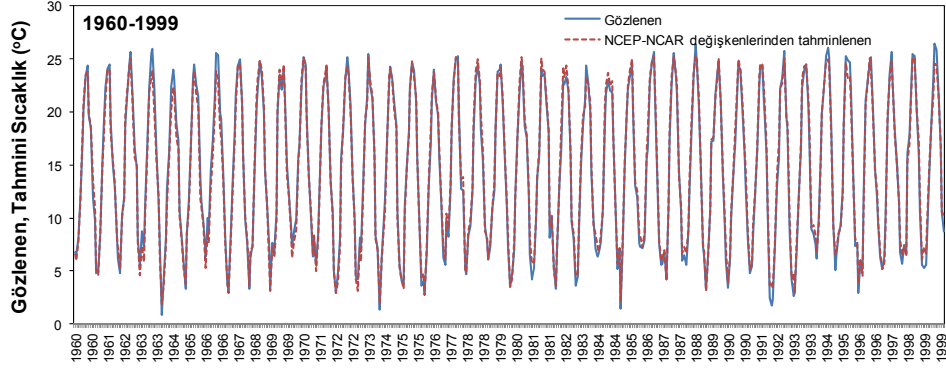
*Tablo 5. Aylık ortalama sıcaklıklar için NCEP/NCAR veri seti ile kurulan ölçek indirgeme modelinin (a) eğitim ve (b) test dönemi performansları*

(a) Eğitim								
	HKOK (°C)	R <sup>2</sup> (-)	Adj.R <sup>2</sup> (-)	NS (-)	RSR (-)	PBIAS (%)	Ort. (°C)	S.Sapma (°C)
Gözlenen	-	-	-	-	-	-	14.56	7.05
Model	0.73	0.99	0.99	0.99	0.10	0.01	14.56	7.01
(b) Test								
	HKOK (°C)	R <sup>2</sup> (-)	Adj. R <sup>2</sup> (-)	NS (-)	RSR (-)	PBIAS (%)	Ort. (°C)	S.Sapma (°C)
Gözlenen	-	-	-	-	-	-	14.66	7.47
Model	0.83	0.99	0.99	0.99	0.11	-1.33	14.85	7.10

*Model Parametreleri:*  $\mu_0=0.01$ ;  $\beta=0.1$ ; iterasyon adedi=10; gkhs=5



Şekil 4. Tahmini yağışların zaman serisi grafiği



Şekil 5. Tahmini sıcaklıkların zaman serisi grafiği

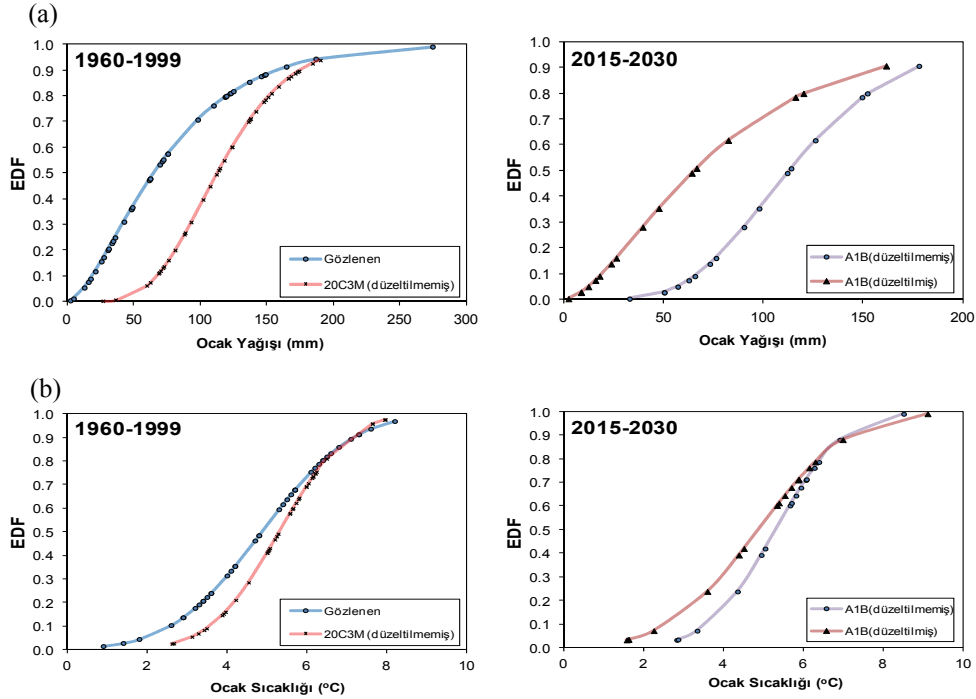
Modellere ait zaman serisi grafikleri Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulmaktadır. Modellerin performansları, hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK), determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), düzeltilmiş determinasyon katsayısı ( $Adj.R^2$ ), Nash-Sutcliffe katsayısı (NS),  $RSR=HKOK/S.Sapma$  (S.Sapma: bağımlı değişkenin standart sapması) ve yanlışlık oranı (PBIAS) gibi performans ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir (Tablo 4 ve Tablo 5). Moriasi vd. [38] tarafından önerilen bu istatistiksel performans ölçütlerine göre, NCEP/NCAR değişkenleri ile kurulan modellerin istasyonlara ait sıcaklıkları "çok iyi", yağışları ise "iyi" derecede temsil edebildiği görülmüştür. Buna göre kurulan ölçek indirgeme modellerinin senaryo esaslı iklim projeksiyonlarının elde edilmesinde yeter doğrulukta kullanılabilceği kanaatine varılmıştır.

### 3.3. ECHAM5 İklim Modeli Senaryo Sonuçlarının Havza Ölçeğine İndirgenmesi

Modellerin kurulmasını takiben, 20C3M ve A1B iklim senaryolarına ilişkin pr, hgt850, rhum850, rhum500, air850, hgt500 ve air değerleri, kalibre edilen ölçek indirgeme

modellerinde girdi olarak kullanılarak, ECHAM5 iklim modelinin senaryolarına ait yağışlar ve sıcaklıklar türetilmiştir.

Bu işlemi takiben, Ghosh ve Mujumdar [39] tarafından önerilen bir yanlılık (bias) düzeltme yaklaşımı çalışmada uygulanmıştır. Bu yöntem, simülasyonlardan sonra eklenik olasılık dağılım fonksiyonundan (EDF) faydalanarak, çıktılardaki olası yanlılığı ortadan kaldırmaya yaramaktadır. Uygulama daha tutarlı öngörülerin türetilmesine olanak sağlamaktadır. Hidrometeoroloji konularında farklı olasılık dağılım fonksiyonları mevcut olmasına karşın aylık toplam yağışlar için Gamma dağılımı, aylık ortalama sıcaklıklar için ise normal dağılım kabulleri yapılabilir. Çalışmada kullanılan bias düzeltme yöntemi Ines ve Hansen [40] tarafından detaylı bir biçimde formülize edilmiştir. Yöntemin kapsamlı bir uygulaması Okkan ve Fıstıkoğlu [41], ve Okkan ve Inan [42] tarafından sunulmuştur.



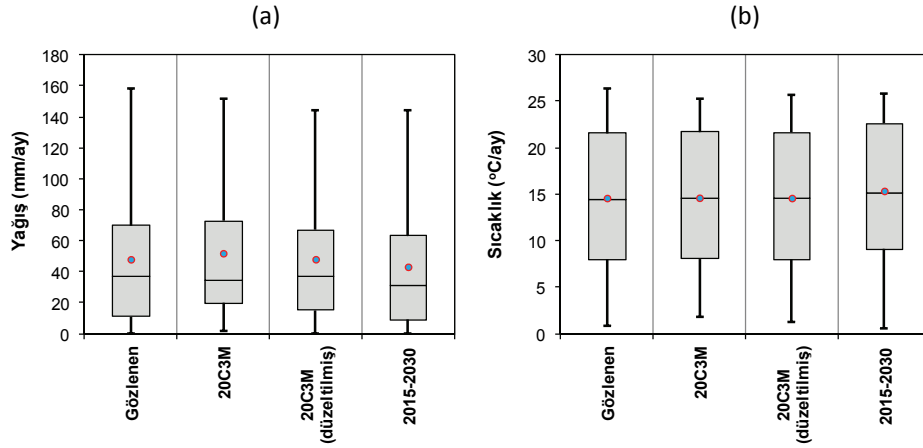
Şekil 6. Balıkesir meteoroloji istasyonuna ait Ocak ayı yağışlarına (a) ve sıcaklıklarına (b) bias düzeltme işleminin uygulanması

Çalışma kapsamında her bir ay için (Ocak, Şubat,..., Aralık) ayrı ayrı uygulanan bu yaklaşım kabaca aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır:

- 1960-1999 dönemi referans alınarak 20C3M geçmiş senaryo tahminleri ve gözlenen veriler için EDF'ler elde edilir.
- Geçmiş senaryo altında elde edilmiş belirli bir değer için EDF değeri belirlenir.

- İklim modeli tahminine tekabül eden EDF değeri için, gözlenen verinin EDF'lerinden yağış/sıcaklık değerleri çekilir.
- Ortak EDF değerleri elde etmek için tahmini yağış/sıcaklık değerleri gözlenen veri ile yer değiştirilir. Böylece 1960-1999 dönemi için bias düzeltme işlemi gerçekleştirilmiş olur.
- Geçmiş dönem için işlem gerçekleştirildikten sonra, benzer yaklaşım elde edilen dağılım parametreleri ile gelecek dönemi temsil eden senaryo tahminlerine uygulanır ve sonuçlar güncellenir.

Yanlılık düzeltme işlemi sonrası, Balıkesir meteoroloji istasyonu yağış ve sıcaklıklarına ait Ocak ayı tahminleri için elde edilen bulgular örnek olarak Şekil 6'da sunulmuştur. Bu işlemin tüm aylar için uygulanmasından sonra elde edilen tahminler box-plot vasıtasıyla Şekil 7'de gösterilmiştir. Değerlendirmeye göre, uygulama bölgesinde 2015-2030 dönemi için yağışlarda %10 mertebesinde bir azalış, sıcaklıklarda 0.8°C mertebesinde bir artış öngörülmektedir.



Şekil 7. Elde edilen yağış (a) ve sıcaklık (b) tahminlerinin box-plot grafiği ile gösterilmesi

### 3.4. Parametrik Yağış-Akış Modeli ile Senaryo Akımların Türetilmesi

Parametrik aylık yağış-akış modelleri temelde su bütçesi denklemlerini esas almaktadır [43]. Söz konusu modeller havzaların yağış-akış ilişkilerinin açıklanması, akım gözlemi olmayan veya eksik gözlemi olan havzalarda akışların türetilmesi, yeraltı suyu akımının modellenmesi, geleceğe yönelik akışların kestirilmesi, arazi kullanımının veya iklim değişikliğinin akışlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [44-50]. Modellerde kullanılan parametreler, havzaların ölçülebilen fiziksel parametreleri (havza alanı, eğimi, vb.) olabildiği gibi kavramsallaştırma sonucunda ortaya çıkan ve doğrudan ölçülmeyen parametreler de olabilmektedir. Maksimum zemin nemi depolaması gibi doğrudan ölçülmeyen bu parametreler ile tanımlanmış diğer tüm parametrelerin en uygun değerlerinin belirlenmesi (kalibrasyonu) ve yine gözlenmiş bir

başka veri setiyle de test edilmesi (verifikasyonu) gerekmektedir. Hidrolojik süreçlerin kavramsallaştırılması sırasında ortaya çıkan parametrelerin sayısı arttıkça modellerin serbestlik dereceleri artmakta dolayısıyla model sonuçlarının gözlenmiş değerlere yakınsaması kolaylaşmaktadır. Ancak bu durumda kullanılan model parametrelerinin kalibrasyonu güçleşmekte ve parametre bakımından yoğun hale gelen bu modeller hatalı kavramsallaştırmaya sebep oldukları için uygulamada pek tercih edilmemektedir. Bu gibi durumlarda modeller kalibrasyon dönemlerinde iyi sonuçlar verirken, test dönemlerinde kötü sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle kurulan modellerin mümkün olduğunca az parametre muhteva etmesi ve yeterli doğrulukta akım üretebilmesi istenmektedir [47].

Çalışmanın bu aşamasında, ECHAM5 iklim modelinin bölge ölçeğine indirgenen yağış ve sıcaklık tahminleri ile 1960-1999 dönemine ait gözlenmiş yağış ve sıcaklık dizilerinin, havza için hazırlanan parametrik bir yağış-akış modeli ile akışlara dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan model denemeleri sonrasında, GR2M modeli (Génie Rural à 2 paramètres au pas de temps Mensuel) havza için en uygun sonucu vermiştir. Hidrolojik model sınıfları göz önüne alındığında kavramsal ve ortalanan yapıda olan modelde aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklıktan türetilen potansiyel evapotranspirasyon değerleri girdi olarak kullanılarak havza çıkışındaki aylık akış değerleri modellenebilmektedir.

GR2M modeli PMS (Parent Model Scheme) adlı bir modelin basitleştirilmesiyle elde edilmiştir [50]. PMS modelinin zemin nemi fonksiyonu ise GR4J modeline oldukça benzemektedir. PMS modelinde  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  ve  $X_5$  ile simgelenen 5 parametre mevcuttur.

Yağışa ve zemin nemi (su tutma) kapasitesine bağlı olan  $S_1$  aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$S_1 = \frac{S + X_1 \varphi}{1 + \varphi \frac{P}{X_1}}; \quad \varphi = \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right) \quad (1)$$

Burada  $X_1$  mm cinsinden maksimum depolama kapasitesidir. Böylece artık yağış değeri (dolaysız akış yüksekliği)  $P_1$  hesaplanabilmektedir.

$$P_1 = P + S - S_1 \quad (2)$$

Tava buharlaşmasının ( $EP_{\text{tava}}$ ) veya ortalama sıcaklığın ( $T$ ) bir fonksiyonu olarak ele alınan evapotranspirasyonun ( $E_{\text{pot}}$ ) da sistemde hesaba katılması ile  $S_1$  bileşeni  $S_2$  formuna dönüştürülmektedir.

$$S_2 = \frac{S_1(1-\psi)}{1+\psi\left(1-\frac{S_1}{X_1}\right)}; \quad \psi = \tanh\left(\frac{E_{\text{pot}}}{X_1}\right) \quad (3)$$

Başlangıç zemin nemi değerinin ilk ay için model ve gözlenmiş akım değerlerinin birbirine yakın olması şartıyla belirlenmesinden sonra, yeni zemin nemi değeri diğer aylar için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$S = \frac{S_2}{\left[1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^{X_2}\right]^{1/X_2}} \quad (4)$$

Burada  $X_2$  pozitif bir katsayı olmak üzere bir diğer bileşen olan (zemin nemi biriktirme sistemindeki fazla su)  $P_2$  ise

$$P_2 = S_2 - S \quad (5)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır.

$P_1$  ve  $P_2$  değerlerinin toplamı ise net yağış ( $P_3$ ) temsil etmektedir. Modelde net yağışın  $X_3$  kadar bir kısmı akışın ilk bileşenini oluşturmakta ( $Q_1 = X_3 P_3$ ), geriye kalan kısım ise kapasitesi  $R$  olan ikincil hazneye yönlendirilmektedir. Başlangıç zemin neminde olduğu gibi ikincil haznenin başlangıç depo değeri de ilk ay için model ve gözlenmiş akım değerlerinin birbirine yakın olması şartıyla belirlenmektedir.

$$R_1 = R + (1 - X_3)P_3 \quad (6)$$

İkinci debi bileşeni Denklem 6 ile hesaplanan  $R_1$  bileşenine ve  $X_4$  parametresine bağlı olarak belirlendikten sonra (Denklem 7), ikincil haznenin yeni depolama değeri ( $R$ ), süreklilik ilkesinden hesaplanabilmektedir (Denklem 8).

$$Q_2 = \frac{R_1^2}{R_1 + X_4} \quad (7)$$

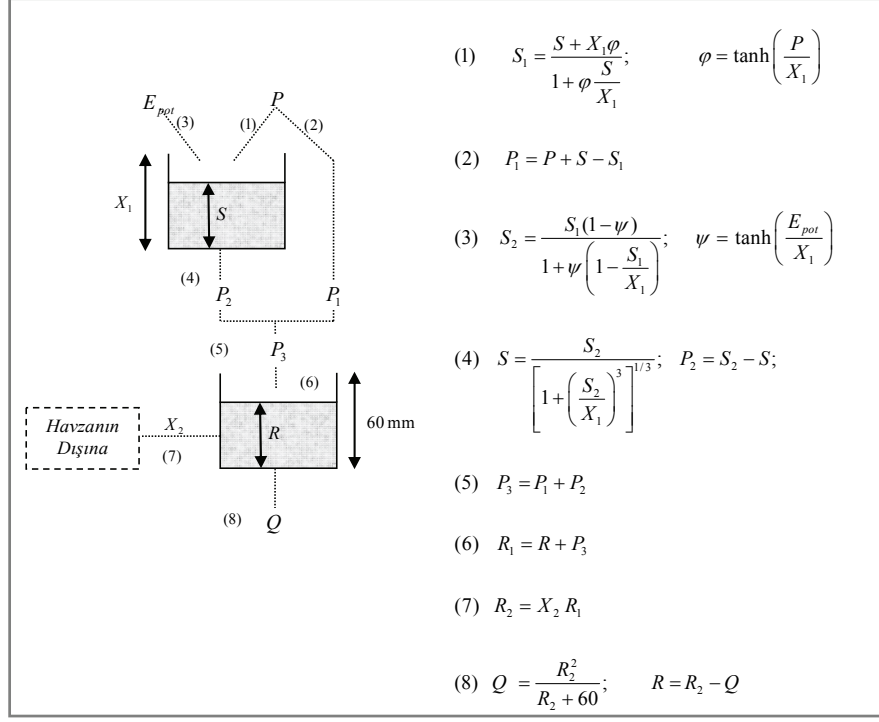
$$R = R_1 - Q_2 \quad (8)$$

$Q_1$  ve  $Q_2$  debi bileşenlerinin  $X_5$  oranındaki kısmı model akışlarını oluşturmakta; geri kalan kısmın havza dışına boşaldığı kabul edilmektedir.

$$Q = X_5(Q_1 + Q_2) \quad (9)$$

Mouelhi vd. [50] PMS modelinin birçok havzada uygulanmasıyla birlikte model parametrelerinin azaltılabileceğini göstermişlerdir. Bazı performans kriterlerinin karşılaştırılması sonucu  $X_2$ ,  $X_3$  ve  $X_4$  parametreleri modelden atılmıştır. Bazı kabuller ve bileşenlerin yeniden düzenlenmesi ile elde edilen basitleştirilmiş GR2M modelinin işleyiş mekanizması Şekil 8'de verilmektedir.  $X_5$  parametresi GR2M modelinde  $X_2$  ismiyle kullanılmıştır. Sunulan çalışmada kullanılan GR2M modelindeki evapotranspirasyon bileşeni sıcaklık değerlerinin bir fonksiyonu olarak ele alınmış ( $E_{pot} = \theta e^{\alpha T}$ ) ve bu modele 2 parametre daha ilave edilmiştir. Benzer bir  $E_{pot}$  fonksiyonu Fıstıkoğlu ve Okkan [47] tarafından da uygulanmıştır. Bu fonksiyonun GR2M modelinde tanımlanmasıyla mevcut model 4 parametrelili hale gelmiştir.

GR2M yağış-akış modelinin kurulumu aşamasında, İkizcetepeler havzası 1965-1979 su yıllarını kapsayan dönemdeki gözlemler kalibrasyon seti, 1980-1994 su yıllarını kapsayan dönem ise test (verifikasyon = sına) seti olacak şekilde ikiye bölünmüştür.



Şekil 8. GR2M modelinin işleyiş mekanizması [50]

Modellemede, rasat dönemine ait akımlar, havza alanına bölünerek akış yükseklikleri cinsinden kullanılmıştır. Kalibrasyon aşamasında modele ait parametrelerin optimizasyonu, model tahminleri ile gözlenmiş akışlar arasındaki farkların karelerinin ortalamasını (HKO) minimize edecek şekilde Newton'un teğet algoritması kullanılarak MS-EXCEL ortamında gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon dönemi için belirlenen parametre değerleri, test döneminde de değerlendirilerek model sonuçları ile gözlenmiş akışlar arasındaki uyum incelenmiştir. Bu maksatla ölçek indirgeme modellemesi performans sınavında da kullanılan HKO, HKOK,  $R^2$ , düzeltilmiş determinasyon katsayısı (Adj.  $R^2$ ), Nash-Sutcliffe katsayısı (NS), RSR ve PBIAS gibi ölçütlerden faydalanılmıştır. Modelleme çalışması kapsamında, yağış-akış modelinde varolan  $\Omega$  evapotranspirasyon parametresi, havzanın gözlenmiş sıcaklık-buharlaşma ilişkisi dikkate alınarak belirlenmiştir.  $\Omega$  parametresi sıcaklık-tava buharlaşması ilişkisinden ( $EP_{tava} = 17.036e^{0.1092T}$ ) elde edilerek yağış-akış modeli için havzanın sabit bir parametresi haline gelmiştir ( $\Omega=0.1092$ ). Böylece, modele ait kalibre edilen parametre sayısı 4'ten 3'e düşmüştür. Başlangıçtaki zemin nemi ve ikincil hazne depolaması ilk ay için model ve gözlenmiş akım değerleri birbirine yakın olacak şekilde belirlenmiştir. GR2M modelinin kalibrasyonu sonucu parametreler  $\theta=7.093$ ,  $X_1=160.848$  mm,  $X_2=0.833$  olarak belirlenmiştir. Hazırlanan yağış-akış modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemi performansları Tablo 6'da sunulmuştur. Modelin kalibrasyon ve verifikasyon dönemi aylık akım tahminleri ise Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.

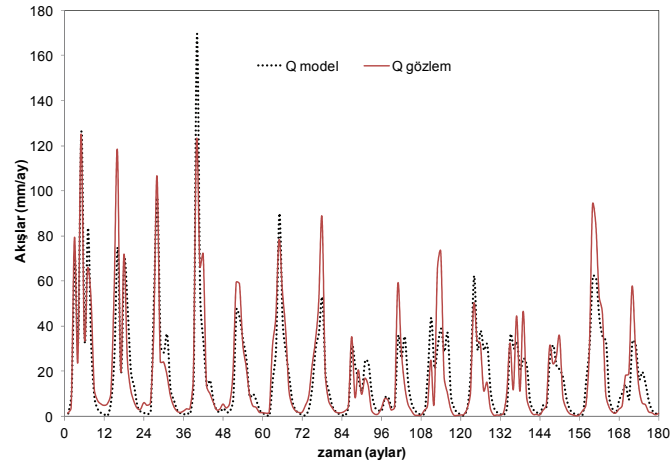


Tablo 6. GR2M yağış-akış modelinin (a) kalibrasyon ve (b) verifikasyon dönemi performansı

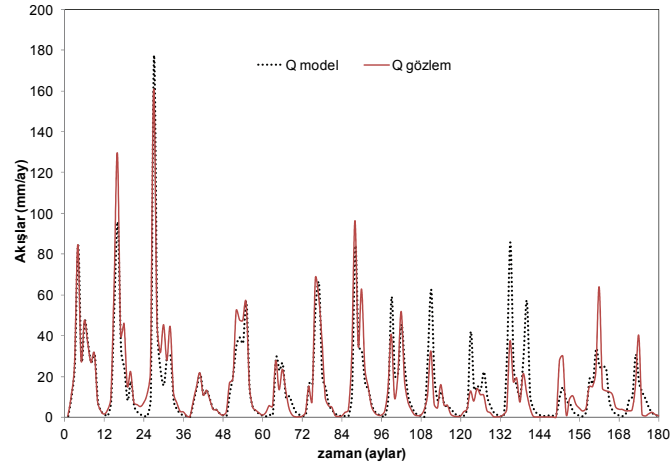
		(a) Kalibrasyon									
	HKOK (mm)	R <sup>2</sup> (-)	Adj. R <sup>2</sup> (-)	NS (-)	RSR (-)	PBIAS (%)	Min. (mm)	Mak. (mm)	Ort. (mm)	Std. Sapma (mm)	
Gözlenen	-	-	-	-	-	-	0.08	124.97	19.29	25.94	
GR2M	11.52	0.80	0.80	0.80	0.44	0.83	0.41	169.40	19.13	23.60	

		(b) Verifikasyon									
	HKOK (mm)	R <sup>2</sup> (-)	Adj. R <sup>2</sup> (-)	NS (-)	RSR (-)	PBIAS (%)	Min. (mm)	Mak. (mm)	Ort. (mm)	Std. Sapma (mm)	
Gözlenen	-	-	-	-	-	-	0.00	160.57	15.60	22.41	
GR2M	10.19	0.80	0.80	0.79	0.45	0.67	0.38	177.17	15.50	21.88	



Şekil 9. GR2M modelinin kalibrasyon dönemi (1965-1979) tahminleri

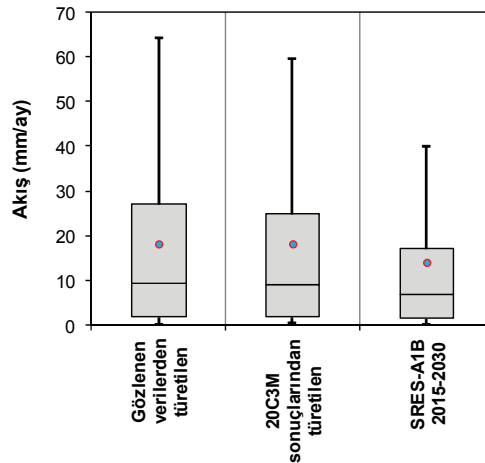


Şekil 10. GR2M modelinin verifikasyon dönemi (1980-1994) tahminleri

Moriasi vd. [39] tarafından önerilen performans ölçütlerine göre, kurulan GR2M modelinin baraj akımlarını “çok iyi” derecede temsil ettiği görülmüş ve dolayısıyla gelecekte yağış ve sıcaklık senaryoları altında akım türetme aşamasında yeter doğrulukta kullanılabileceğine kanaat getirilmiştir. Kalibre edilen yağış-akış modeli yardımıyla, çalışma havzasının ECHAM5 iklim modeline ait senaryolar altındaki akışlarının türetilmesi çalışmaları, iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, 20C3M senaryo akımları ile kıyaslayabilmek amacıyla 1960-1999 dönemindeki gözlenmiş yağış ve sıcaklık girdileri ile aynı döneme ait akımlar türetilirken, ikinci aşamada iklim modelinin 20C3M ve A1B senaryo akımları türetilmiştir. Birinci aşamada türetilen akımların 1960-1999 dönemini kapsayan değerleri ile ikinci aşamada türetilen 1960-1999 dönemindeki 20C3M senaryo akımları ile karşılaştırılarak, indirgenmiş iklim modeli koşullarının gözlenmiş akım koşullarını ne ölçüde yansıttığı irdelenmiştir (Tablo 7). Tablo 7 incelendiğinde, ECHAM5 iklim modeline ait 20C3M senaryo yağış ve sıcaklık girdilerini GR2M modelinin akımlara homojen karakterde dönüştürülebildiği görülebilmektedir. Ayrıca, İkizcetepeler havzasına indirgenen A1B senaryosuna ilişkin yağış ve sıcaklık değerleri, GR2M modelinde girdi olarak kullanılarak, iklim modelinin 2015-2030 yakın gelecek dönemine ait A1B senaryosu altında akımlar türetilmiştir. Çalışmada gelecek dönem senaryosu için GR2M modeli ile türetilen akımlar 1960-1999 geçmiş dönemi sonuçları ile kıyaslamalı olarak Şekil 11’de verilmektedir.

*Tablo 7. Gözlenen verilerden ve 20C3M yağış ve sıcaklık simülasyon sonuçlarından türetilen akımların kıyaslanması*

Temel İstatistikler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
<i>Gözlenen verilerden türetilen</i>													
Ortalama (mm)	42.60	37.74	32.93	26.68	17.62	7.79	3.15	1.52	1.13	1.57	7.94	36.82	217.49
Standart Sapma (mm)	35.40	23.75	16.83	14.58	10.60	5.38	1.37	0.53	1.12	2.27	8.09	39.01	75.83
Değişkenlik	0.83	0.63	0.51	0.55	0.60	0.69	0.44	0.35	0.99	1.45	1.02	1.06	0.35
<i>20C3M sonuçlarından türetilen</i>													
Ortalama (mm)	41.74	38.11	32.56	26.34	17.89	8.16	3.32	1.54	1.08	1.31	8.98	36.56	217.59
Standart Sapma (mm)	31.53	25.62	17.47	14.59	12.69	6.54	2.01	0.70	1.10	1.94	15.31	35.86	83.26
Değişkenlik	0.76	0.67	0.54	0.55	0.71	0.80	0.61	0.46	1.02	1.48	1.70	0.98	0.38



*Şekil 11. Türetilen akımların box-plot grafiği ile gösterimi*

İncelemeye göre, uygulama bölgesinde 2015-2030 dönemi için yağışlarda %10 mertebesinde bir azalış, sıcaklıklarda 0.8 °C mertebesinde bir artış ve bunun neticesinde ortalama akımlarda %23 oranında istatistiksel olarak anlamlı mertebede bir azalış olabileceği öngörülmektedir. Ayrıca üst %25 (yüksek akımlar) ve alt %25 (düşük akımlar) dilimdeki olası azalmalar dikkat çekicidir.

#### 4. SONUÇLAR

İklim değişikliğinin akımlar üzerindeki olası etkilerinin değerlendirildiği çalışmaların genellikle gelişmiş ülkelerin araştırmacıları tarafından ele alındığı görülmektedir. Gelişmiş ülkelerde su kaynaklarının planlanması safhalarında iklim değişikliği olgusunu dikkate alan değerlendirmeler ortaya konulmaktayken, yarı-kurak ve kurak iklimlerin yaşandığı Türkiye ve komşu ülkelerinde bu çalışmaların kısıtlı sayıda olması ve nispeten yeni başlıyor olması, literatürdeki eksikliği ortaya koymaktadır. Bu gerekçeyle sunulan çalışmada, ECHAM5 iklim modeli A1B senaryosu sonuçları ile iklim değişikliğinin Balıkesir-İkizcetepeler baraj havzası akımlarına olası etkileri istatistiksel ölçek indirgeme ve yağış-akış modellemesi entegrasyonu ile irdelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgulara göre, ECHAM5 iklim modelinin A1B senaryosu altında gelecek 2015-2030 döneminde baraj gölüne gelen akımlar %23 mertebelerinde azalabilecek ve bu olası durum havzada önemli arz açıklarına yol açabilecektir. Gelecekte artan nüfus ve içme suyu ihtiyaçları dikkate alındığında ve su ihtiyacına hizmet edecek ek baraj ve gölet gibi yapıların inşa edilmemesi halinde, olası açıkları karşılayabilmek için alternatif stratejilere gereksinim duyulabilir.

Literatürde, farklı iklim modellerine ait atmosferik değişkenlerdeki farklılıklar ve geliştirilen model yapılarının kendi içindeki belirsizlikler de vurgulanmaktadır. Bu bakımdan, iklim değişikliğinin akarsu akışları üzerindeki etkilerinin, tek bir iklim modeli ile irdelenmesinin yeterli olmayacağı, diğer iklim modellerinin tahminleri ve yeni senaryolar ışığında sonuçların güncellenmesi gerektiği göz ardı edilmemelidir.

Diğer taraftan, söz konusu modelleme dinamik ölçek indirgeme yöntemi ile de gerçekleştirilebilir. Farklı yağış-akış modellerinin bu tarz etki değerlendirme çalışmalarında kullanılması da mümkündür. Sunulan çalışmada dinamik ölçek indirgeme yöntemine nazaran daha pratik, daha az parametre ile çalışabilen ve komşu bölgelere kolaylıkla adapte edilebilecek bir istatistiksel ölçek indirgeme yaklaşımı ortaya konmuştur. Yağış-akış modeli olarak kullanılan GR2M modeli de uluslararası literatürde sıklıkla atfedilen, az parametre içermesi etmesi bakımından kolay kalibre edilebilen ve yeter doğrulukta yağış-akış ilişkisi ortaya koyabilen bir modeldir. Alternatif yöntem ve senaryoların çeşitliliğine rağmen, çalışmada önerilen modelleme stratejisinin su kaynaklarının iklim değişikliği senaryoları altında davranışını inceleme aşamasında araştırmacılara pratik bir yol sunacağı düşünülmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen BAP2014/34 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiş olup yapılan maddi katkılar nedeniyle yazarlar kuruma müteşekkirdir.

### **Kaynaklar**

- [1] Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M., "SDSM – a decision support tool for the assessment of climate change impacts", *Environmental Modeling & Software*, 17, 147–159, 2002.
- [2] Tatlı, H., Dalfes, H.N., Mentés, S., "A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey", *International Journal of Climatology*, 24(2), 161–180, 2004.
- [3] Tripathi, S., Srinivas, V.V., Nanjundiah, R.S., "Downscaling of precipitation for climate change scenarios: a support vector machine approach", *Journal of Hydrology*, 330 (3-4), 621–640, 2006.
- [4] Crane, R.G., Hewitson, B.C., "Doubled CO<sub>2</sub> precipitation changes for the Susquehanna basin: downscaling from the GENESIS general circulation model", *International Journal of Climatology*, 18, 65–76, 1998.
- [5] Mearns, L.O., Bogardi, I., Giorgi, F., Matyasovszky, I., Palecki, M., "Comparison of climate change scenarios generated from regional climate model experiments and statistical downscaling", *Journal of Geophysical Research*, 104, 6603–6621, 1999.
- [6] Frei, C., Christensen, J.H., D'equ'e M, Jacob D, Jones, R.G, Vidale, P.L., "Daily precipitation statistics in regional climate models: evaluation and intercomparison for the European Alps", *Journal of Geophysical Research*, 108(D3), 4124, 2003.
- [7] Fowler, H.J., Ekström, M., Kilsby, C.G., Jones, P.D., "New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 1. Assessment of control climate", *Journal of Hydrology*, 300, 212–233, 2005.
- [8] Okkan, U., Fistikoglu, O., "Downscaling of precipitation to Tahtali watershed in Turkey for climate change scenarios", 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, 2012.
- [9] Wilby, R. L., "Stochastic weather type simulations for regional climate change impact assessment", *Water Resources Research*, 30, 3395–3403, 1994.
- [10] Katz, R.W., "Use of conditional stochastic models to generate climate change scenarios", *Climatic Change*, 32, 237–255, 1996.
- [11] Katz, R.W., Parlange, M.B., "Overdispersion phenomenon in stochastic modeling of precipitation", *Journal of Climate*, 11, 591–601, 1998.
- [12] Okkan, U., "İklim Değişikliğinin Akarsu Akışları Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi", Doktora Tezi (Tez Danışmanı: Doç. Dr. Okan Fıstıkoğlu), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2013.
- [13] von Storch, H., Zorita E., Cubasch, U., "Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime", *Journal of Climate*, 6, 1161–1171, 1993.
- [14] Burger, G., "Expanded downscaling for generating local weather scenarios", *Climate Research*, 7, 111–128, 1996.

- [15] Wilby, R.L., Tomlinson, O.J., Dawson C.W., "Multi-site simulation of precipitation by conditional resampling", *Climate Research*, 23, 183-194, 2003.
- [16] Anandhi, A., Srinivas, V. V., Nanjundiah, S. R., Kumar, N. D., "Downscaling precipitation to river basin in India for IPCC SRES scenarios using support vector machine", *International Journal of Climatology*, 28, 401-420, 2008.
- [17] Karamouz, M., Fallahi, M., Nazif, S., Farahani, M.R., "Long lead rainfall prediction using statistical downscaling and artificial neural network modeling", *Scientia Iranica (Transaction A: Civil Engineering)*, 16(2), 165-172, 2009.
- [18] Fistikoglu, O., Okkan, U., "Statistical downscaling of monthly precipitation using NCEP/NCAR reanalysis data for Tahtali River basin in Turkey", *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(2), 157-164, 2011.
- [19] Okkan, U., "Assessing the effects of climate change on monthly precipitation: proposing of a downscaling strategy through a case study in Turkey", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(4), 1150-1156, 2015.
- [20] Okkan, U., Inan, G., "Bayesian learning and relevance vector machines approach for downscaling of monthly precipitation", *ASCE Journal of Hydrologic Engineering*, 20(4), 04014051 DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001024, 2015.
- [21] Murphy, J.M., "An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate", *Journal of Climate*, 12, 2256-2284, 1999.
- [22] Tatlı, H., Dalfes, N.H., Menteş, S.Ş., "Yeni istatistiksel ölçek küçültme yöntemleri ve Türkiye için uygulamalar", *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 5, 269-280, 2006.
- [23] Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L. et al. "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-471, 1996.
- [24] Timbal, B., Dufour, A., McAvaney, A., "An estimate of future climate change for western France using a statistical downscaling technique", *Climate Dynamics*, 20, 807-823, 2003.
- [25] Wetterhall, F., Halldin, S., Xu, C-Y., "Statistical precipitation downscaling in central Sweden with the analogue method", *Journal of Hydrology*, 306, 136-174, 2005.
- [26] Dibike, Y.B., Coulibaly, P., "Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models", *Journal of Hydrology*, 307, 145-163, 2005.
- [27] Dibike, Y.B., Coulibaly, P., "Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes", *Neural Networks*, 19(2), 135-144, 2006.
- [28] Burger, G., Chen, Y., "Regression-based downscaling of spatial variability for hydrologic applications", *Journal of Hydrology*, 96, 299-317, 2005.
- [29] Bardossy, A., Bogardi, I., Matyasovszky, I., "Fuzzy rule-based downscaling of precipitation", *Theoretical and Applied Climatology*, 82, 116-119, 2005.

- [30] Benestad, R.E., Hanssen-Bauer, I., Forland, E.J., "An evaluation of statistical models for downscaling precipitation and their ability to capture long-term trends", *International Journal of Climatology*, 27(5), 649–655, 2007.
- [31] Okkan, U., "Aylık yağış ve sıcaklık değişimlerinin izmir içmesuyu havzalarının akımlarına etkileri", Yüksek Lisans Tezi (Tez Danışmanı: Doç. Dr. Okan Fıstıkoğlu), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2009.
- [32] Xoplaki, E., Gonzalez-Rouco, J.F., Luterbacher, J., Wanner, H., "Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of largescale dynamics and trends", *Climate Dynamics*, 23, 63–78, 2004.
- [33] Maheras, P., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Vafiadis, M., Patrikas, I., Flocas, H., "On the relationships between circulation types and changes in rainfall variability in Greece", *International Journal of Climatology*, 24, 1695–1712, 2004.
- [34] Tolika, K., Maheras, P., Flocas, H.A., Papadimitriou, A.A., "An evaluation of a general circulation model (GCM) and the NCEP–NCAR reanalysis data for winter precipitation in Greece" *International Journal of Climatology*, 26, 1376–1385, 2006.
- [35] Chen, D., Chen, Y., "Association between winter temperature in China and upper air circulation over East Asia revealed by canonical correlation analysis", *Global and Planetary Change*, 37, 315–325, 2003.
- [36] Schoof, J.T., Pryor, S.C., Robeson S.M., Downscaling daily maximum and minimum temperatures in the midwestern USA: a hybrid empirical approach. *International Journal of Climatology*, 27 (4), 439–454, 2007.
- [37] Okkan, U. Serbeş, Z.A., "İklim Değişikliği Senaryoları Altında Sıcaklık Öngörülleri: İzmir ve Manisa İlleri Örneği", 12. Ulusal KültürTeknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2014, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 2014.
- [38] Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L, Harmel, R.D, Veith, T.L., "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations", *The Transactions of the ASABE*, 50, 885–900, 2007.
- [39] Ghosh, S., Mujumdar P.P., "Statistical downscaling of GCM simulations to streamflow using relevance vector machine", *Advances in Water Resources*, 31(1), 132-146, 2008.
- [40] Ines, A.V., Hansen, J.W., "Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies", *Agricultural and forest meteorology*, 138(1), 44-53, 2006.
- [41] Okkan, U., Fıstıkoğlu, O., "Evaluating Climate Change Effects on Runoff by Statistical Downscaling and Hydrological Model GR2M", *Theoretical and Applied Climatology*, 117(1-2), 343-361, 2014.
- [42] Okkan, U., Inan, G., "Statistical downscaling of monthly reservoir inflows for Kemer watershed in Turkey: Use of machine learning methods, multiple GCMs and emission scenarios", *International Journal of Climatology*, 35, 3274–3295, 2015.
- [43] Thornthwaite, G.W., ve Mather, J.R., "Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance", *Drexel Inst. Technol. Publication in Climatology Laboratory of Climatology*, 10(3), 185-311, 1957.

- [44] Kuczera, G., "On the relationship between the reliability of parameter estimates and hydrologic time series data used in calibration", *Water Resources Research*, 18(1), 146–154, 1982.
- [45] Dooge, J. C. I., "Problems and methods of rainfall runoff modeling", in: Ciriani, T. A., Maione, U. ve Wallis, J. R. (Eds.), *Mathematical Models for Surface Water Hydrology*, Wiley, New York, 71–108, 1977.
- [46] Gabos, A., ve Gasparri, L., "Monthly runoff model for regional planning", *Water International*. 8, 42–45, 1983.
- [47] Fıstıkoğlu, O. ve Okkan, U. (2010). "Tahtalı havzası için aylık su bütçesi", VI. Ulusal Hidroloji Kongresi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 546-554, 2010.
- [48] Alley, W.M., "Water balance models in one-month-ahead streamflow forecasting", *Water Resources Research*, 21(4), 597–606, 1985.
- [49] Xu, C-Y, Singh, V.P., "A review on monthly water balance models for water resources investigations", *Water Resources Management*, 12, 31-50, 1986.
- [50] Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C., Andreassian, V., "Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model", *Journal of Hydrology*, 318, 200–214, 2006.

