

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**HAZNE İŞLETME OPTİMİZASYONU İÇİN PARAMETRİK BİR  
SİMÜLASYON MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**AHMAD TAMİM NOORI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** Doç. Dr. Umut OKKAN (Tez Danışmanı)  
Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU  
Doç. Dr. Atilla MUTLU

**BALIKESİR, OCAK - 2023**

## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Hazne İşletme Optimizasyonu için Parametrik bir Simülasyon Modelinin Geliştirilmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Ahmad Tamim NOORI**

**Bu tez çalışması Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) - Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Destek Grubu (ÇAYDAG) tarafından desteklenen 121Y037 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.**

## ÖZET

**HAZNE İŞLETME OPTİMİZASYONU İÇİN PARAMETRİK BİR SİMÜLASYON  
MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
AHMAD TAMİM NOORI  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. UMUT OKKAN )**

**BALIKESİR, OCAK - 2023**

Baraj hazneleri, entegre su kaynaklarının yönetimi için kuşkusuz en önemli araçlardan biridir. Son 30 yılda, sera gazı emisyonlarında gözlenen dikkat çekici artışlar ile iklim değişikliğinin hidrolojik çevrime etkileri çok daha hissedilir hale gelmiş ve bu durum baraj haznelerinin işletilmesinde zorluklara sebep olmuştur. Bu bakımdan, haznelerin su ihtiyacının gelecekteki sürdürülebilirliğini sağlamak ve olası tedbirlerin planlamasını yapabilmek için iklim projeksiyonların hazırlanması ve bu dinamik etkilere uyum sağlayacak işletme politikalarının belirlenmesi daha önemli olmaya başlamıştır. Yukarıdaki gerekçelere atfetmek için Çağlayan haznesinde uygulanan bu tez çalışmasında, öncelikle farklı RCP senaryoları altında çalıştırılan GCM çıktısının yapay sinir ağıları tabanlı bir stratejiyle aylık yağış ve sıcaklık değişkenlerine ölçek indirgenmesi gerçekleştirilmiştir. 2021-2050 dönemini kapsayan bu meteorolojik projeksiyonlardaki yanlışlıklar ise kantil delta haritalama algoritmasıyla düzeltilmiştir. Yanlılıklardan arındırılmış bu çıktılar topaklı bir hidrolojik modelleme prosedürüyle akarsu akımlarına dönüştürülmüştür. Sonrasında farklı senaryo-GCM varyasyonlarına adapte olabilecek bir parametrisasyon-simülasyon-optimizasyon sürecinin yürütülmesi hedeflenmiştir. Bu aşamada HDG-2D adı verilen bir işletme modelinin diferansiyel evrimsel algoritmasıyla başarılı bir biçimde entegrasyonu yapılarak hazneden optimal şekilde salınacak RLS su hacimleri derlenmiştir. Son olarak edinilen bulgular geliştirilen modelin iklim değişikliği varyantları altında standart işletme yaklaşımına kıyasla daha düşük narinlik ve daha yüksek sürdürülebilirlik koşulları vaat edebildiğini göstermektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Ölçek indirgeme, HDG-2D, diferansiyel evrim algoritması, varyans analizi.

Bilim Kod / Kodları: 91106/91114/91122

Sayfa Sayısı : 67

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF A PARAMETRIC SIMULATION MODEL FOR RESERVOIR OPERATION OPTIMIZATION**

**MSC THESIS**

**AHMAD TAMIM NOORI**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**CIVIL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. UMUT OKKAN )**

**BALIKESİR, JANUARY - 2023**

Reservoirs are surely one of the most important hydraulic structures for the management of integrated water resources. In the last 30 years, with the remarkable increases in greenhouse gas emissions, the impacts of climate change on the hydrological processes have become much more noticeable, and that situation has brought about struggles in the operation of the reservoirs. In this regard, it has become more important to prepare climate projections and to designate operational policies that will adapt to these dynamic factors to ensure the future sustainability of the water needs demanded from the reservoirs and to plan possible precautions as well. In this study, which was implemented over Çaglayan reservoir to address the grounds above, the output of GCM derived under different RCP scenarios were downscaled to monthly precipitation and temperature through an artificial neural network-based strategy. The systematic biases in meteorological projections involving the 2021-2050 period were then corrected with the quantile delta mapping algorithm. These bias-corrected outputs were transformed into inflow projections employing a lumped hydrological modelling procedure. Afterward, it was intended to manipulate a parameterization-simulation-optimization framework that can adapt to scenario-GCM variations derived. At this phase, the RLS volumes to be optimally released from the reservoirs were obtained by effectively integrating the hedging model termed HDG-2D with a modified differential evolutionary algorithm. Finally, The results reveal that the developed model offers lower vulnerability and higher sustainability conditions under climate change variants compared to the standard operating policy.

**KEYWORDS:** Downscaling, HDG-2D, differential evolutionary algorithm, analysis of variances.

Science Code / Codes : 91106/91114/91122

Page Number: 67

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>9</b>
2.1 Uygulama Alanı ve Gözlenmiş Hidro-Meteorolojik Veriler .....	9
2.2 CMIP5 ve Re-Analiz Verileri .....	13
2.3 Uygulanan İstatistiksel Ölçek İndirgeme Stratejisi.....	15
2.4 Akım Projeksiyonlarının Elde Edilmesi .....	18
2.5 Hazne İşletme Optimizasyonunda Kullanılan Modeller .....	20
2.6 Kullanılan Optimizasyon Algoritması .....	28
2.7 Hazne Performans İndisleri.....	30
<b>3. BULGULAR</b> .....	<b>33</b>
3.1 Ölçek İndirgeme Modellerinin Kalibrasyon ve Validasyon Performansları .....	33
3.2 Hidrolojik Modellerin Kalibrasyon ve Validasyon Performansları .....	36
3.3 Hidro-meteorolojik Projeksiyonların Elde Edilmesi .....	38
3.4 Hazne İşletme Projeksiyonları .....	43
3.4.1 HDG-NL ve HDG-2D modellerinin kalibrasyonu.....	43
3.4.2 RLS projeksiyonlarının irdelenmesi .....	45
3.4.3 Hazne performans indisleri bakımından değerlendirme .....	50
<b>4. SONUÇLAR</b> .....	<b>52</b>
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>67</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Baraj haznelerinden çekilmesi planlanan su hacimleri.....	9
Şekil 2.2: Baraj alt havzalarının, baraj göllerinin ve gözlem istasyonlarının konumları. ....	10
Şekil 2.3: Kharrufa yöntemindeki pk katsayıları. ....	11
Şekil 2.4: Orijinal Kharrufa (sağ tarafta) ve lokal kalibrasyonu yapılan Kharrufa (sol tarafta) eşitliklerinin tava buharlaşması tahmin performanslarının kıyaslanması.....	12
Şekil 2.5: Adımsal regresyon ile seçilen açıklayıcı tahminleyiciler. ....	15
Şekil 2.6: Farklı iklim senaryoları kapsamındaki GCM çıktılarının istatistiksel ölçek indirgenmesinde izlenecek adımlar. ....	17
Şekil 2.7: Yağış-akış modellerinin şematik gösterimleri, modellere ait parametre tanımları ve ilgili hesap adımları. ....	20
Şekil 2.8: Hazne işletme optimizasyonu sürecinde ParSimO yönteminin kullanımı. ....	22
Şekil 2.9: (a) Doğrusal SOP ve (b) HDG-NL yaklaşımlarının şematik gösterimleri.....	23
Şekil 2.10: 24 parametrelili doğrusal olmayan HDG-2D modeli.....	26
Şekil 2.11: (a) DEA algoritmasının işleyiş şeması, (b) orijinal algoritmadaki tek fark vektörlü mutasyon şeması, (c) mDEA'daki çift fark vektörlü mutasyon şeması (d, d1 ve d2: fark vektörleridir).....	28
Şekil 2.12: Hazne işletme optimizasyonu sürecinde kullanılan talep değerleri (sol taraf) ve baraj yeri hacim-alan ilişkileri (sağ taraf).....	32
Şekil 3.1: Baraj havzasında uygulanan hibrit istatistiksel ölçek indirgeme modelinin validasyon dönemi tahminlerinin gözlemlere karşı zamansal gidişi ve saçılımı.....	35
Şekil 3.2: Çağlayan havzasına ait (a): kalibrasyon ve (b): validasyon dönemin akış tahminleri ve saçılım diyagramları. ....	37
Şekil 3.3: HADGEM2-ES senaryo çıktılarının yanlışlık düzeltme işlemi öncesi ve sonrası dağılımları: (a) Aralık ayı toplam yağışları için değerlendirme, (b) Temmuz ayı ortalama sıcaklıkları için değerlendirme.....	39
Şekil 3.4: HadGEM2-ES değişkenin projeksiyonunda öngörülen rölatif değişimler. ....	40
Şekil 3.5: Havza için ortalama sıcaklıklarda öngörülen anomaliler. ....	40
Şekil 3.6: HadGEM2-ES modelin projeksiyonları için $\alpha=0.10$ anlamlılık seviyesinde uygulanan t testi sonuçları. ....	41
Şekil 3.7: HadGEM2-ES modelin kapsamında elde edilen senaryo bazı projeksiyonların kutu grafikleri. ....	42
Şekil 3.8: Farklı algoritmaların yakınsama eğilimlerinin sergilendiği bir örnek. ....	43
Şekil 3.9: İklim modelin için Rule1 ve Rule2 çıktılarının kıyaslanması. ....	46
Şekil 3.10: SOP ve HDG-2D işletme modelleri ile referans dönemde elde edilen uzun dönem ortalama arz açıkları. ....	47
Şekil 3.11: Tüm senaryolar altında salınan yıllık su hacimleri. ....	48
Şekil 3.12: (a): Hist, (b): Rcp4.5 ve (c): Rcp8.5 senaryolarına ait talep ve salınabilecek su miktarlarına ait gidiş grafikleri.....	49

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 1.1:</b> İklim değışikliği etkileri altında hazne işletme optimizasyonu kullanan literatür çalışmalarından bazıları. ....	7
<b>Tablo 2.1:</b> Hidro-meteorolojik gözlemlere ilişkin temel istatistikler. ....	12
<b>Tablo 2.2:</b> Çalışmada değeriendirilen GCM ve ona ilişkin genel bilgiler. ....	13
<b>Tablo 3.1:</b> Hibrit istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin eğitim ve validasyon dönemi performansları. ....	34
<b>Tablo 3.2:</b> Hidrolojik modelin kalibre edilen parametreleri. ....	36
<b>Tablo 3.3:</b> BMA ile ağırlıklandırılmış model çıktılarından hesaplanan eğitim ve validasyon dönemi performansları. ....	36
<b>Tablo 3.4:</b> Farklı metriklere göre algoritma performanslarının kıyaslanması. ....	44
<b>Tablo 3.5:</b> Farklı iklim senaryoları altında kalibre edilen HDG modellerinin OF ve Vul skorları. ....	45
<b>Tablo 3.6:</b> Hazne performans indislerinde gelecekte öngörülen değışimler. ....	50



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada Çağlayan baraj haznesi için farklı senaryo ve iklim modeli varyasyonları altında yakın gelecek için türetilen hidro-meteorolojik projeksiyonlara uyum sağlayabilecek hazne işletme optimizasyonu modellerinin geliştirilmesi sağlanmıştır. Değerlendirilen haznede birçok varyasyona göre oluşabilecek arz açığı etkilerinin evrimsel bir optimizasyon algoritmasıyla eğitilen HDG-2D adlı bir hazne işletme modeli vasıtasıyla hafifletilmesi mümkün kılınmış olup, hazneden belli kısıtlar altında kullanıma bırakılan su hacmi tahminleri araştırılmıştır.

Eğitimim süresince engin tecrübeleri ile hayatımın her noktasında yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Umut OKKAN'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her daim arkamda olduklarını hissettiğim aileme ve desteklerini her zaman hissettiğim arkadaşım Araş. Gör. Zeynep Beril ERSOY'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmasının yürütülmesi sırasında " *Parametrik İşletme Kuralları ile İklim Değişikliği Senaryoları Altında Hazne İşletme Optimizasyonu*" başlıklı 121Y037 numaralı TÜBİTAK projesine burs desteği veren TÜBİTAK ÇAYDAG'a ve projenin Araştırmacısı olarak çalışmaya desteklerini sunan Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU'na ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

**Balıkesir, 2023**

**Ahmad Tamim NOORI**

## 1. GİRİŞ

Baraj hazneleri, entegre su kaynaklarının geliştirilmesi ve yönetimi için kuşkusuz en önemli araçlardan biridir. Ancak son 30 yılda, sera gazı emisyonlarında gözlenen dikkat çekici artışlar ile birlikte iklim değişikliğinin hidrolojik çevrim unsurlarına olan etkileri çok daha hissedilir hale gelmiş ve bu durum baraj haznelerinin işletilmesinde ve yönetiminde çeşitli zorluklara sebep olmuştur (Rani ve Moreira 2010; Eum ve Simonovic 2010). Öte yandan, hızlı nüfus artışı su ve gıda talebine olan eğilimi arttırmış ve baraj hazneleri üzerinde ilave baskı yaratmıştır (Vörösmarty vd. 2000). Bu nedenlerden dolayı, artan su ihtiyacını karşılayabilmek ve iklim değişikliği etkilerini de hesaba katarak haznelerin su kaynakları yönetimi içerisinde sürdürülebilirliğini sağlamak için ilgili kurum ve kuruluşların orta ve uzun vadeli planlar yapması gerekmektedir (Yasarer ve Sturm 2016). Bu planlamalar kapsamında yeni barajların inşası veya hazne kapasitelerinin artırılması olası çözümlerden sayılabilir (Chen vd. 2016). Ancak diğer bir yol da farklı su talebi ve iklim senaryoları altında mevcut baraj hazneleri üzerinde optimizasyon çalışmalarının yapılması ve haznelerin işletme politikalarının yeniden değerlendirilmesidir (Yang vd. 2016; Zamani vd. 2017; Ahmadianfar ve Zamani 2020).

Literatürde iklim değişikliği koşullarına karşı baraj haznelerinin tepkilerini irdeleyen çeşitli çalışmalara rastlamak mümkündür. Bu çalışmalarda genellikle Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelleri (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) kapsamında atfedilen küresel iklim modellerinden (GCM) kullanılarak farklı emisyon senaryoları altında yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi meteorolojik değişkenler özelinde projeksiyonlar hazırlanmakta ve elde edilen bu tahminler baraj havzası bazında kalibre edilen hidrolojik modeller vasıtasıyla akım tahminlerine dönüştürülmektedir. Projeksiyonu hazırlanan meteorolojik ve hidrolojik tahminler daha sonra hazne işletme çalışmalarına girdi teşkil etmekte ve değişen koşullarda haznenin içmesuyu taleplerini yerine getirebilme performansları çeşitli indisler (güvenilirlik, narinlik vb.) yardımıyla yorumlanmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı Dünya İklim Araştırma Programı (World Climate Research Programme) bünyesinde yürütülen Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Faz 3 (Coupled Model Inter-comparison Project Phase 3: CMIP3) kapsamına giren GCM ve iklim senaryoları ile gerçekleştirilmiştir (örneğin Brekke vd. 2009; Li vd. 2010; Ashofteh vd. 2013; Mateus ve Tullios 2017). Daha güncel çalışmalar ise temsili konsantrasyon rotaları (Representative Concentration Pathways: RCP) olarak adlandırılan senaryolar

altında çalıştırılan CMIP5 iklim modelleri ile yürütülmüştür (Masia vd. 2018; Okkan ve Kirdemir 2018; Ngo vd. 2018; Peres vd. 2020; Nguyen vd. 2020; Chadwick vd. 2021).

İklim değişikliği senaryoları altında haznelerde yukarıda bahsedilen tarzda uygulamaların yapılması elbette etki değerlendirme sürecine altlık oluşturmaktadır. Ancak su kaynakları planlamasında baraj haznelerinin gelecekte farklı iklim koşullarına ve su taleplerine uyum sağlayabilmeleri için çeşitli senaryolar altında hazne özelinde işletme kurallarının oluşturulması çok daha önemlidir. Bu uygulamaların içeriğinde değişen iklim koşulları altında haznelerden optimum şekilde temin edilebilecek su hacimleri işletme kural eğrileri (rule curves: *RC*) olarak anılan yaklaşımlar ile tahmin edilmektedir. Hem gözlenmiş hem de projeksiyonu yapılan akımlara uygulanabilecek bu *RC* yaklaşımlarında birçok işletme politikası içerisinden en uygun olanının aranması için optimizasyon yöntemlerinin kullanılması standart doğrusal işletme (standard operation policy: *SOP*) gibi yöntemlere kıyasla daha güvenilir durmaktadır (Celeste ve Billib 2009; Ehteram vd. 2018). Kronolojik olarak inceleme yapıldığında, hazne kural eğrilerini elde etmek için ilk olarak dinamik ve doğrusal-doğrusal olmayan programlama gibi teknikler ile çalışılmış (örneğin Young 1967; Yeh 1985), daha sonra yapay zekâ tekniklerinin yaygınlaşmasıyla örtük (implicit) optimizasyon ve parametrisasyon-simülasyon-optimizasyon (*ParSimO*) teknikleri daha pratik ve uyarlanabilir hale gelmiştir. Örtük yaklaşımda öncelikle deterministik hazne işletme optimizasyonu modeli dinamik veya kuadratik programlama ile çözdürülerek haznedeki kullanım (sulama, içmesuyu, enerji) için salınabilecek (releases: *RLS*) optimum su miktarları hesaplanmakta, ardından regresyon bazlı modeller veya modern makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak *RLS* miktarları ile haznenin  $V(t)$  aybaşı depolama hacimleri ve  $Q(t)$  baraj gölüne gelen akımlar arasında istatistiksel bağıntılar geliştirilmektedir. Böylece herhangi bir  $t$  zamanında,  $V(t)$  depolama hacimleriyle işletme dönemine başlayan haznedeki farklı akım koşullarında ne kadar *RLS* sağlanacağı tahmin edilebilmektedir (Labadie 2004; Celeste ve Billib 2009). Bu kapsamda, çeşitli klasik regresyon yaklaşımları (Karamouz ve Houck 1982; Kim ve Heo 2000), yapay sinir ağları (Chandramouli ve Raman 2001; Farias vd. 2006), bulanık kural tabanlı modelleme (Mousavi vd. 2005; Sivapragasam vd. 2008; Zahraie ve Hosseini 2009), yapay sinir ağları ile bulanık mantık karması modeller (Mousavi vd. 2007; Mehta ve Jain 2009) ve destek vektör regresyonu (Ji vd. 2014) işletme kurallarına uyarlanmış başlıca tekniklerdir.

Yukarıda anılan kapalı kutu teknikleri de kendi içerisinde bir eğitim süreci içerdiğinden aslında örtük yaklaşımın ardışık iki farklı optimizasyon sürecinden oluştuğu söylenebilir. Bu yaklaşımdan farklı olarak, *ParSimO* yaklaşımında ise öncelikle rassal olarak atanmış çeşitli parametre değerleri altında hazne işletilir. Daha sonra, tanımlanmış kurallar dahilinde belli bir amaç fonksiyonunu en uygun kılan nihai parametre çözümü elde edilene kadar işletme bir optimizasyon algoritması vasıtasıyla tekrarlanır. *ParSimO*'da *RLS*'nin taleplerin ( $D(t)$ ), hazne işletme temel değişkenlerinin ( $V(t)$ ,  $Q(t)$  gibi) ve birtakım kural parametrelerinin fonksiyonu olması sağlanmakta ve bu kapsamda ilgili literatürde tekil veya çoklu hazne durumuna bağlı olarak çeşitli kural eğrilerinin kullanımına rastlanmaktadır (Nalbantis ve Koutsoyiannis 1997; Koutsoyiannis ve Economou 2003; Chang vd. 2005; Celeste ve Billib 2009; Ostadrahimi vd. 2012).

Bu çalışmada iklim değişikliği projeksiyonları altında daha fazla uygulanabilme esnekliği arz etmesi bakımından *ParSimO* tekniğinin kullanılması uygun bulunmuştur. *ParSimO* kapsamında ele alınan modeller sıklıkla SOP'un çeşitli varyantlarından oluşmaktadır (Bayazit ve Unal 1990; Srinivasan ve Philipose 1998; Draper ve Lund 2004; Shiau ve Lee 2005). Söz konusu varyantlar SOP'den farklı olarak kurak dönemlerdeki (özellikle sulama mevsimleri) su kıtlıklarını azaltmak (minimal arz açığı sağlamak) adına suyun salınmasını kalibre edilmiş parametrik kurallar vasıtası ile sulak dönemlerde kısıtlamayı hedeflemekte olup bu işleme ilgili literatürde "riskten korunma (hedging: HDG)" denmektedir (Celeste ve Billib 2009). Aylık su bütçesi denklemi içerisine entegre edilen bu parametrik HDG modellerinin optimizasyonunu irdeleyen çalışmaların büyük bir çoğunluğunun herhangi bir iklim modeli veya senaryosu kullanılmaksızın geçmiş dönemi temsil eden gözlenmiş veya stokastik olarak üretilen sentetik akımlar ile gerçekleştirildiği göze çarpmaktadır. Bunların bir kısmı uygun HDG modelinin araştırılmasına odaklanan çalışmalardır (örneğin Srinivasan ve Philipose 1998; Draper and Lund 2004; Shiau ve Lee 2005; Celeste ve Billib 2009; Wang vd. 2018; Kumar ve Kasthuriengan 2018; Men vd. 2019; Bayesteh ve Azari 2021). Söz konusu araştırmaların çoğunda karşılaştırmaya tabi tutulan HDG modeli az sayıda olup uygun modelin uygulama örneğine göre değişkenlik taşıdığı görülebilmektedir. Celeste ve Billib (2009) tarafından gerçekleştirilen ve farklı parametrik yapıdaki modellerin kıyaslandığı kapsamlı bir çalışmada doğrusal olmayan bir HDG modelinin ve iki boyutlu HDG modelinin oldukça güvenilir olduğu ifade edilmektedir. Bunlara ilaveten, bazı araştırmalarda bir veya birden fazla işletme modeli seçilerek bunların çeşitli evrimsel (veya metasezgisel) algoritmalar ile optimizasyonu irdelenmiştir (örneğin Chang vd. 2005;

Haddad vd. 2016; Spiliotis vd. 2016; Jamshidi ve Shourian 2019; Rouzegari vd. 2019). Modelden ziyade optimizasyon algoritmasının yetkinliğini sorgulayan bu çalışmalardan algoritmaların problemin boyutuna ve içsel kontrol değişkenlerine hassasiyet gösterdikleri anlaşılabilmektedir. Ayrıca her bir algoritma uygulama haznesinde sınındığı için sonuçların genelleştirilmesi için çok fazla sayıda koşuya ve uygulama örneğine ihtiyaç vardır.

Diğer yandan, yukarıda atfedilen parametrik hazne işletme modellerinin ve optimizasyon algoritmalarının RCP senaryosu tabanlı iklim değişikliği projeksiyonlarına uyarlanmasını konu alan daha nadir sayıda çalışma bulunmaktadır (örneğin Abera vd. 2018; Adeloye ve Dau 2019; Ahmadianfar ve Zamani 2020; Nourani vd. 2020; Zhang vd.2019). Bazı çalışmalar ise şu an güncel olmayan ve IPCC'nin 4. değerlendirme raporunda değinilen senaryo ailesi (A2, A1B, B1 gibi) ve CMIP3 iklim modellerinden HADGEM2-ES esas alınarak gerçekleştirilmiştir (Ahmadi vd.2015; Ismail vd. 2016; Ehteram vd. 2018). Tüm bu çalışmalar iklim değişikliğinin baraj haznelerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ve değişen koşullarda güvenilir düzeyde su temini sağlayabilmek adına alternatif bakış açıları sunmuşlardır.

Özetlenecek olursa, havzada kentsel su ihtiyacının gelecekteki sürdürülebilirliğini sağlamak ve olası tedbirlerin planlamasını şimdiden yapabilmek için projeksiyonların SOP ile irdelenmesi yeterli olmamaktadır. Bunun için farklı senaryolar altında GCM'den elde edilen projeksiyonlar derlendikten sonra, farklı iklim senaryosu koşullarına adapte olabilen HDG modellerinin geliştirilmesi çok daha modern bir yaklaşımdır. Bu tez çalışmasında, tüm bu vurgulanan konuları ele almak adına, yakın gelecekte İzmir kentine ek su temini sağlayacak olan Çağlayan Baraj örneklerinde birer kapsamlı uygulama yapılmıştır. Çalışmada öncelikle baraj havzası için önümüzdeki 30 yıllık dönemi (2021-2050) içine alacak şekilde GCM ve RCP senaryoları altında aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık, buharlaşma ve akım projeksiyonları hazırlanmıştır. Ardından hem bu projeksiyonlar hem de gelecekteki su temini talepleri kullanılarak, iki farklı HDG modeli üzerinden otomatik optimizasyon stratejileri geliştirilmiş ve hazneden kullanıma salınacak *RLS* su hacimleri tahmin edilmiştir.

Türkiye genelinde havzada çeşitli emisyon senaryoları ve GCM kullanılarak yürütülen ölçek indirgeme uygulamaları ve hidro-meteorolojik projeksiyon çalışmaları mevcuttur

(Fujihara vd. 2008; Fıstıkoğlu vd. 2011; Demircan vd. 2014; Okkan ve Fistikoglu 2014; Okkan ve Inan 2015a,b; Okkan ve Kirdemir 2018; Mehr vd. 2020; Gorguner ve Kavvas 2020). Ancak bu çalışmalardan çok azında baraj hazneleri üzerinde etki değerlendirme analizlerinin yapılmış olduğu dikkati çekmektedir (rneğin Fıstıkoğlu vd. 2011; Okkan ve Kirdemir 2018; Gorguner ve Kavvas 2020).

Tez çalışmanın literatür kısmında çeşitli iklim senaryoları, GCM ve hidrolojik modeller (süreç tahmin modelleri, entegre modeller) vasıtasıyla gerçekleştirilen iklim değişikliği etki değerlendirme çalışmaları çokça mevcuttur. Bu noktada, Okkan ve Fistikoglu (2014) ve Pumo vd. (2017) alışmaları hidrolojik rejimin bu potansiyel etkilere gösterdiği tepkilerin modellenmesi sürecine örnek teşkil edebilir. Yılmaz ve Yazicigil (2011) tarafından gerçekleştirilen bir derleme çalışmasında da iklim değişikliği etkileri altında Türkiye'nin su kaynaklarının durumu yorumlanmış olup, farklı senaryolar ve modelleme kaynakları (tekil veya ansambl GCM, yayılı veya topaklanmış hidrolojik modeller gibi) ile elde edilen projeksiyonların geneli yağış frekanslarında kaotik değişimlere, yüzey sıcaklıklarında anlamlı artışlara ve akarsu akımı potansiyellerinde azalışlara işaret etmektedir (rneğin Okkan ve Fistikoglu 2014; Gorguner ve Kavvas 2020). Ayrıca bu süreçlerin su temini taleplerinde açık oluşturma potansiyelleri sosyo-ekonomik kuraklık lt olarak değerlendirilirken (Ayantobo vd. 2017; Shi vd. 2020), literatürde bu konuyu ele alan çalışma niceliği nispeten daha zayıf bulunmuştur. Hatta Türkiye genelinde su temininin büyük bir çoğunluğunun baraj hazneleriyle sağlandığı düşünüldüğünde, gelecekte bu sistemlerden optimum şekilde temin edilecek (salınacak) su hacminin irdelenmesi üzerine herhangi bir araştırma çalışmasının bulunmadığı da göze çarpmaktadır. Bu nedenle, bu bölümde daha çok bu konuya atfedilerek literatür zeti takdim edilmiştir.

Bu kapsamda çeşitli optimizasyon yöntemleri ile farklı hazne işletme modellerinin iklim değişikliği etkileri altında uygulanmasına odaklanan bazı alışmalar Tablo 1.1'de belirtilmiştir. Örneğin Lauri vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Vietnam-Mekong Havzası baraj haznelerinden hidroelektrik türbinlere yollanacak akımın maksimizasyonu esas alınmış ve bu aşamada lineer programlama (LP) yaklaşımından yararlanılmıştır. Hazne işletme modeli girdileri olarak A1B ve B1 senaryoları altında çalıştırılan beş adet AR4 iklim modeline ilişkin hidro-meteorolojik projeksiyon verileri (2032-2042 dönemini kapsayan veriler) kullanılmıştır. alışmalarında işletme kuralının haznelerin hidroelektrik potansiyellerinin yönetilmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu

vurgulanmıştır. İsmail vd. (2016) tarafından A2 senaryolu HadCM3 iklim modeli verileri ile yürütülen bir çalışmada ise Güney Malezya’da yer alan Layang baraj haznesine çeşitli kaynaklardan pompalanacak toplam su hacmini optimize etmek için modifiye edilmiş bir LP algoritması kullanılmış ve elde edilen kural eğrilerinin iklim değişikliği bağlamında uygulanabilirliği faydalı bulunmuştur.

Aynı A2 senaryo ailesi HadCM3 iklim modeli entegrasyonu ile Ahmadi vd. (2014) tarafından İran’daki Karoon-4 baraj haznesi akımların türetilmesinde değerlendirilmiş ve haznenin hidroelektrik güvenilirliği ve narinliği birlikte dikkate alınarak çok kısıtlı bir optimizasyon süreci yürütülmüştür. Çalışmada haznedeki salınacak su hacmi hazneyi besleyen tahmini akımın ve depolamanın lineer regresyon tabanlı bir fonksiyonu olacak şekilde kalibre edilmiş ve buna göre uyarlanabilir hazne yönetiminin 21. yüzyılın erken, orta ve geç simülasyon dönemlerinde hidroelektrik üretimiyle ilişkili güvenilirliğin artırılabilmesi ve kırılganlığın azaltılabilmesi öngörülmüştür.

Abera vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise Etiyopya’da bulunan Tekeze barajı haznesinde depolanan ve salınan su miktarlarının optimizasyonu için HEC-RAS platformuna entegre edilen HEC-ResPRM modeli tercih edilmiştir. İklim değişikliğine adaptasyon aşamasında RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında çalıştırılan CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) veri tabanındaki, Afrika bölgesi (domain) özelinde çalıştırılmış bölgesel iklim modellerine ilişkin hidrometeorolojik projeksiyon verileri (2011-2100 dönemini kapsayan veriler) kullanılmıştır. Çalışmada akımlardaki artış trendine paralel olarak haznenin enerji depolama potansiyelinde her iki iklim senaryosunda da artış görülebileceği vurgulanmıştır.

PRECIS bölgesel iklim modeli kullanan Kangrang vd. (2018), B2 senaryosu altında türetilen verileri doğrusal bir HDG modeliyle entegre etmiştir. Tayland’ın kuzeydoğu bölgesinde yer alan Ubolrat barajı haznesinde gerçekleştirilen bu çalışmada, genetik algoritma (GA) ve tabu arama algoritması ile elde edilen kural eğrilerinin kritik kurak dönemlerde uygulanabilirliği ve başarısı test edilmiştir.

**Tablo 1.1:** İklim değişikliği etkileri altında hazne işletme optimizasyonu kullanan literatür çalışmalarından bazıları.

Referans	Hazne işletme modeli	Uygulama Alanı / İşletme amacı	GCM / Senaryo bilgisi
Lauri vd. (2012)	LP	Mekong Havzası Baraj Hazneleri, Vietnam / enerji maksatlı işletme	5 adet AR4 iklim modeli / A1B ve B1 senaryoları
Ahmadi vd. (2014)	LReg	Karoon Havzası Karoon-4 Barajı Haznesi, İran / enerji maksatlı işletme	HadCM3 iklim modeli / A2 senaryosu
Gohari vd. (2014)	HDG-NL	Zayandeh-Rud Baraj Haznesi, İran / tarımsal maksatlı işletme	10 adet AR4 iklim modeli / A2 ve B1 senaryoları
François vd. (2015)	SDP	Durance-Verdon Havzası Serre-Ponçon Haznesi, Fransa / sulama ve içme suyu maksatlı işletme	4 adet AR4 iklim modeli / A1B senaryosu
İsmail vd. (2016)	LP	Layang Haznesi, Malezya / evsel ve endüstriyel maksatlı işletme	HadCM3 iklim modeli / A2 senaryosu
Zamani vd. (2017)	HDG-NL	Zard Havzası, İran / tarımsal maksatlı işletme	14 adet AR4 iklim modeli / A2 ve B1 senaryoları
Abera vd. (2018)	HEC-ResPRM	Tekeze Haznesi, Etiyopya / enerji maksatlı işletme	Ansaml CORDEX verileri / RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları
Kangrang vd. (2018)	HDG-L	Ubolrat Haznesi, Tayland / sulama, endüstriyel maksatlı işletme	PRECIS bölgesel iklim modeli / B2 senaryosu
Adeloye ve Dau (2019)	HDG-L	İndus Havzası Pong Haznesi, Hindistan / enerji maksatlı işletme	Çoklu GCM ansaml / RCP2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 ve RCP 8.5 senaryoları
Ahmadianfar ve Zamani (2020)	HDG-2D	Jarreh Haznesi, İran / tarımsal maksatlı işletme	3 adet AR5 iklim modeli / RCP8.5
Nourani vd. (2020)	HDG-L	Shahrchay Haznesi, İran / içme ve endüstriyel maksatlı işletme	1 adet AR4 modeli / A1B ve B1, 2 adet AR5 modeli / RCP4.5 ve RCP8.5

Lineer programlama: LP; Regresyon tabanlı lineer model: LReg; Doğrusal bir HDG modeli: HDG-L; Doğrusal olmayan bir HDG modeli: HDG-NL; İki boyutlu HDG modeli: HDG-2D; Stokastik Dinamik Programlama: SDP.



Adeloye ve Dau (2019) tarafından yürütülen çalışmada ise Hindistan'da bulunan Pong baraj haznesinde güvenilirliği sağlamak için arz açığının minimizasyonu hedeflenmiş ve bu bağlamda bir başka doğrusal HDG modelinin GA ile optimizasyonu esas alınmıştır. Çalışmada, işletme modeli dört RCP senaryosu (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5) altında koşturulan çoklu GCM çıktılarına uyarlanmış olup, önerilen stratejinin iklim değişikliğinden kaynaklanan kuraklığın etkilerini hafifletmede önem arz ettiği ifade edilmiştir. Benzer bir işletme stratejisi Nourani vd. (2020) tarafından İran'ın kuzey batısındaki Shahrchay haznesi üzerinde uygulanmıştır. A1B-B1 senaryoları altında çalıştırılan bir adet AR4 iklim modeli ve RCP4.5-RCP8.5 senaryoları altında çalıştırılan iki adet AR5 iklim modelinin havza ölçeğine indirgenmiş 2020-2060 verileri işletme modeli optimizasyonunda girdi olarak kullanılmış ve optimizasyon neticesinde gelecekte Shahrchay haznesindeki olası arz açıkları azaltmaya yarayacak kural eğrileri geliştirilmiştir.

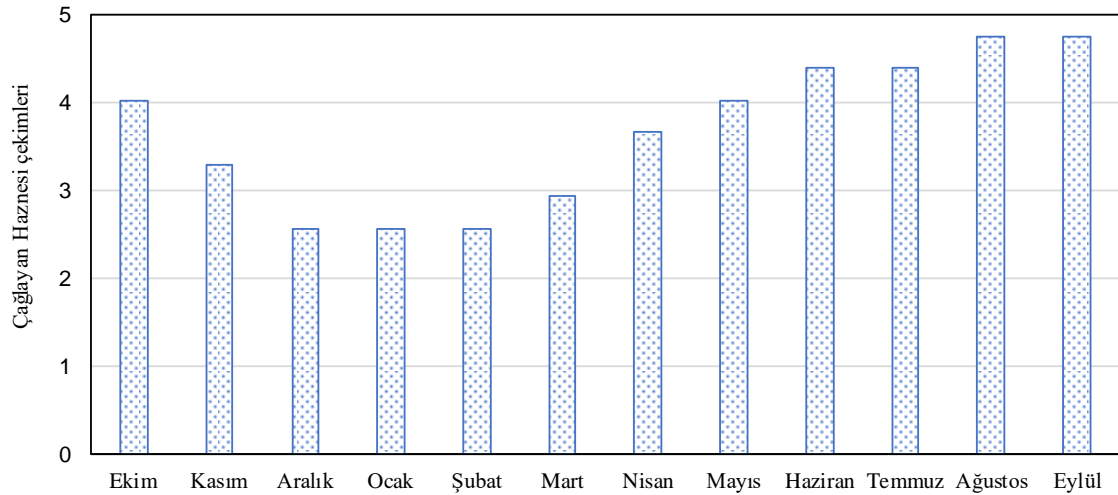
Diğer yandan, yukarıdaki HDG modellerinin doğrusal olmayan versiyonlarının AR4 modeli ve senaryoları altında tarımsal baraj haznelerinde uygulandığı çalışmalar da dikkat çekmektedir (Gohari vd. 2014; Zamani vd. 2017). Ahmadianfar ve Zamani (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada ise RCP8.5 senaryosu altında çalıştırılan üç adet iklim modeline ait 2025-2054 yıllarını kapsayan hidro-meteorolojik projeksiyonlar ile İran'da bulunan Jaddeh baraj haznesinde iki boyutlu bir HDG kuralı (HDG-2D) işletilmiş ve iklim değişikliği etkileri altında HDG-2D'nin SOP'a kıyasla kırılganlık indisinde yaklaşık olarak %24 oranında azalma sağlayabileceği belirtilmiştir.

Özetlenecek olursa, yukarıda değinilen çalışmaların geneli AR4 veya AR5 senaryoları altında ölçeğe indirgenmiş iklim değişikliği projeksiyonlarına pratik bir şekilde herhangi bir optimizasyon algoritmasıyla uyarlanabilecek parametrik hazne işletme kuralları ortaya koymuşlardır. Bu tarz çalışmalara ilaveten, literatürde iklim değişikliği etkileri altında stokastik dinamik programlama gibi deterministik hazne işletme optimizasyonunu esas alan çalışmalar da bulunmaktadır (örneğin François vd. 2015).

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 Uygulama Alanı ve Gözlenmiş Hidro-Meteorolojik Veriler

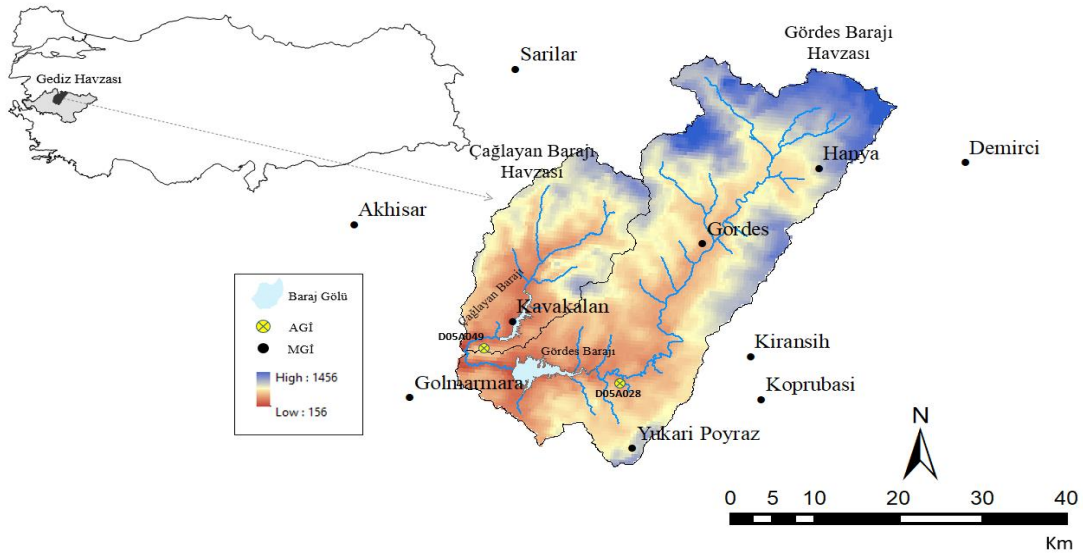
Nüfus yoğunluğu açısından Türkiye'nin önemli şehirlerinden biri olan İzmir ilinin su ihtiyacının karşılanması iklim değişikliği sorunları ve nüfus artışına bağlı olarak önem teşkil etmektedir. Kentin içmesuyu ihtiyacının önemli bir kısmı Tahtalı Barajı ve yeraltı sularından temin edilmektedir. Fakat yaşanan kuraklıklar ve nüfus artışları nedeni ile kentin acil su ihtiyacını karşılamak için Gediz Havzası sınırları içerisinde Çağlayan Barajı tasarlanmıştır. Yakın gelecekte su tutması planlanan bu su kaynağının gelecekteki olası iklim değişikliği etkileri altında optimum işletilmesi gerekmekte olduğundan çalışmada bu baraja odaklanılmıştır. İzmir İçmesuyu için Çağlayan sisteminden beslenecek şebeke bölgesinin 2040 yılı nüfus projeksiyonuna bağlı olarak hesaplanan talep değerleri bu çalışmada da gözetilmiş olup, bu değerler Şekil 2.1'de özetlenmiştir. Buna göre, Çağlayan Barajı'nın bölgenin içmesuyu talebine 44 hm<sup>3</sup>/yıl katkı yapması beklenmektedir.



**Şekil 2.1:** Baraj haznelerinden çekilmesi planlanan su hacimleri (Okkan vd., 2022).

Çağlayan Barajı Gördes ve Kayacık Dereleri üzerinde işletilecek toprak dolgu tipinde barajdır. Çağlayan Barajından alınan su 1300 mm çapında, 5,3 km uzunluğunda bir iletim hattı ile Gördes Barajı hattına bağlanacak ve oradan uzunluğu 114 km boru hattı vasıtasıyla İzmir'e iletilecektir. Baraj haznelerinin göl yüzey alanı ve hacim eğrileri Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup Çağlayan Baraj haznesinin maksimum ve minimum işletme hacimleri sırasıyla 172.70 hm<sup>3</sup> ve 5.62 hm<sup>3</sup> olarak raporlanmıştır. Baraj haznelerini besleyecek kollardaki D05A049 numaralı akım gözlem istasyonu 1981-2010 referans su yılı dönemini kapsayan doğal akım verileri de DSİ Genel Müdürlüğü'nden

temin edilmiş ve homojenlik kontrolleri yapılmıştır. D05A049 istasyonu drenaj alanı ile Çağlayan Barajı drenaj alanı ise oldukça yakındır. Akım gözlem istasyonları (AGİ) ve baraj havzalarına en yakın konumda olan, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nce işletilen meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) Şekil 2.2'de belirtilmiştir.

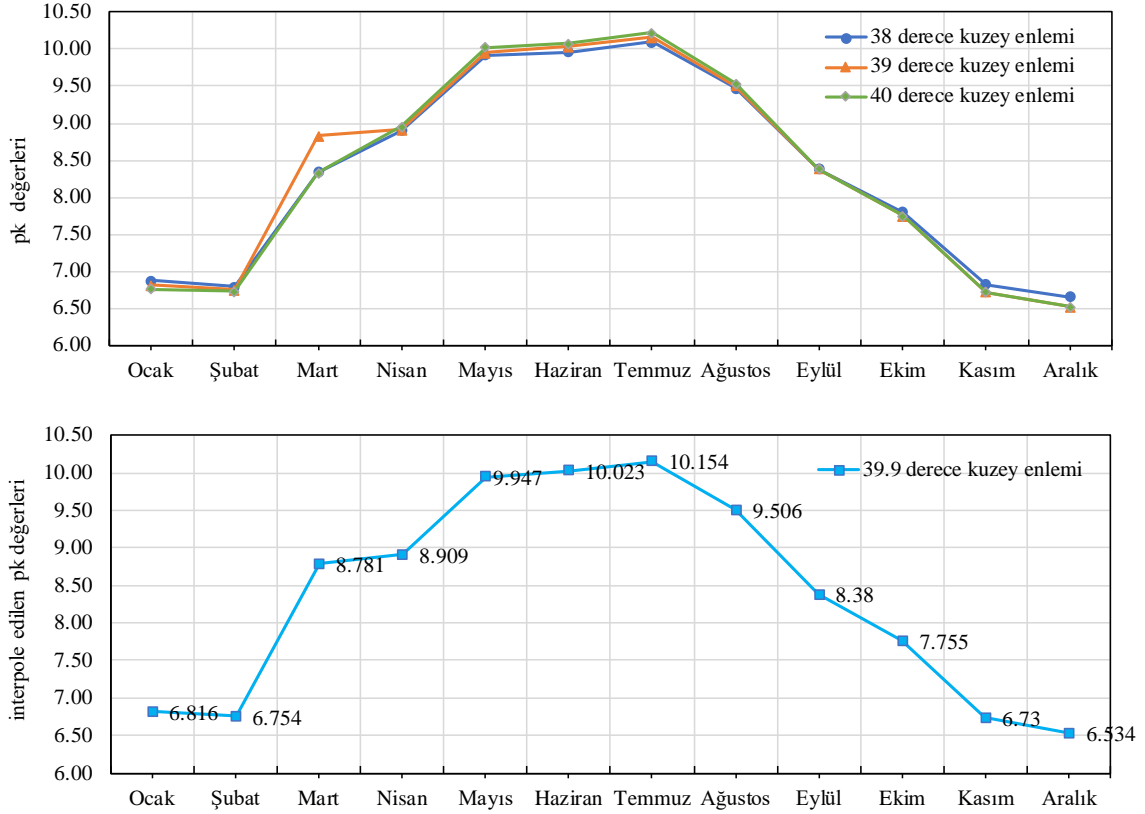


**Şekil 2.2:** Baraj alt havzalarının, baraj göllerinin ve gözlem istasyonlarının konumları (Okkan vd., 2022).

Çağlayan baraj havzasının alansal ortalama yağış ve sıcaklık değerlerini elde edilebilmesi için ArcGIS yazılımı kullanılarak istasyonlar arasında Thiessen poligonları oluşturulmuştur. Çağlayan baraj havzasını temsil eden istasyon adedi, Kavakalan, Gördes ve Sarılar istasyonları ile alansal ortalama yağış değerleri, Gördes, Akhisar ve Gölbaşı istasyonlarıyla ise alansal ortalama sıcaklık değerleri hazırlanmıştır. Tüm bu değerler 1980-2010 referans iklim dönemi için derlenmiştir. Çalışmada göl yüzeyi buharlaşmalarını tahmin etmek için de basit bir yaklaşım uygulanmıştır. Tava buharlaşması değişkeni ( $E_{pan}$ ) için ölçek indirgeme modeli kurulması yerine her bir baraj havzasında alansal aylık ortalama sıcaklık gözlemleri ile  $E_{pan}$  gözlemleri arasında ilişki geliştirilmesi ve bu ilişki yardımıyla projeksiyonu yapılan sıcaklıkların  $E_{pan}$  tahminlerine dönüştürülmesi daha pratik bulunmuştur. Bu kapsamda bazı ampirik formüller sıklıkla kullanılmaktadır (Xu ve Singh 2001). Örneğin Nourani vd. (2020) hazne işletme projeksiyonlarına esas teşkil eden  $E_{pan}$  tahmini için Denklem 2.1'de verilen aylık ortalama sıcaklık tabanlı Kharrufa yönteminden yararlanmışlardır.

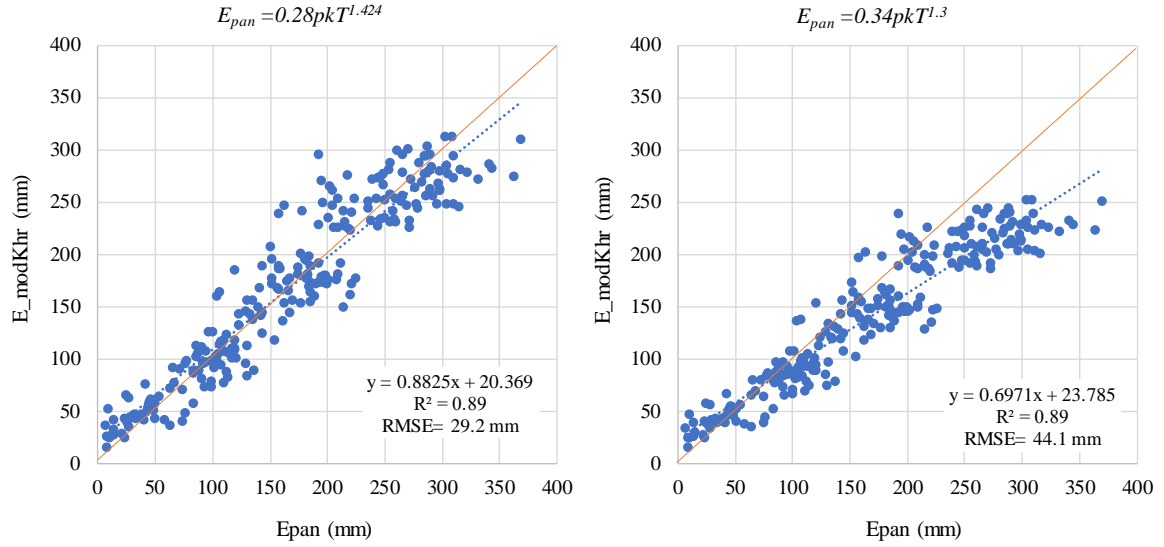
$$E_{pan} = a \times pk \times T^b \quad (2.1)$$

Burada  $E_{pan}$  mm/ay birimindedir.  $T$  aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) iken,  $pk$  aylık ortalama gündüz saatlerinin yıllık ortalama gündüz saatlerine oranıdır. Ampirik  $a$  ve  $b$  katsayıları ise sırasıyla 0.34 ve 1.3 olarak tanımlanmaktadır. Eşitlikteki  $pk$  katsayıları enleme bağlı olarak her bir ay için Şekil 2.3'ten çekilmiştir.



Şekil 2.3: Kharrufa yöntemindeki  $pk$  katsayıları (Okkan vd., 2022).

Şekil 2.3'te en üst grafikte  $pk$  değerleri  $38^{\circ}$ ,  $39^{\circ}$  ve  $40^{\circ}$  Kuzey enlemleri için Ocak-Aralık için noktalanmıştır. Çağlayan baraj havzasının merkez koordinatlarında enlem derecesi yaklaşık olarak  $38.9^{\circ}$  Kuzey şeklinde belirlenmiş olup, bu değere göre interpolate edilmiş  $pk$  katsayıları Şekil 2.3'te alttaki grafikte belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca Çağlayan havzasında mevcut buharlaşma gözlemlerini benzeştirecek şekilde Denklem 2.1'deki  $a$  ve  $b$  katsayılarının kalibre edilmesi sağlanmıştır. Gözlenmiş ve tahmini  $E_{pan}$  değerleri arasındaki hata kareler ortalamasının karekökü olan RMSE'yi en küçükleyecek şekilde kalibre edilen katsayılar ile (bkz. Şekil 2.4, sağ taraf) orijinal Kharrufa denkleminde kıyasla daha iyi benzeşim sağlandığı tespit edilmiştir. Orijinal denklem ile daha düşük tahminleme yapıldığı Şekil 2.4'ten anlaşılmakta olup, modifiyeli eşitlik vasıtasıyla simülasyon performansı Çağlayan havzasında %34 iyileşme arz etmektedir.



**Şekil 2.4:** Orijinal Kharrufa (sağ tarafta) ve lokal kalibrasyonu yapılan Kharrufa (sol tarafta) eşitliklerinin tava buharlaşması tahmin performanslarının kıyaslanması (Okkan vd., 2022).

Çalışmada 1981-2010 su yılı dönemini kapsayan alansal ortalama yağış ve sıcaklık gözlemleri, modifiyeli Kharrufa eşitliği ile üretilen aylık toplam tava buharlaşması verileri ve baraj yeri akımlarına ilişkin temel istatistikler ise Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

**Tablo 2.1:** Hidro-meteorolojik gözlemlere ilişkin temel istatistikler (Ekim 1981-Eylül 2010).

Değişken	Medyan	Ortalama	Std.Sapma	CoV	Max.	Min.	Çarpıklık
P:	28.60	48.38	52.49	1.09	363.52	0.00	1.80
T:	14.24	14.59	7.58	0.52	27.86	1.40	0.07
Epan:	101.49	125.36	95.35	0.76	312.42	3.06	0.40
Q:	0.65	3.46	6.36	1.84	41.70	0.00	3.27

Tablo 2.1’de medyan, ortalama, standart sapma, maksimum değer (Max) ve minimum değer (Min) istatistikleri yağış (P) ve  $E_{pan}$  için mm/ay biriminde, ortalama sıcaklık için  $^{\circ}\text{C}/\text{ay}$  biriminde, baraj yeri akımları (Q) için ise  $\text{hm}^3/\text{ay}$  birimindedir. Standart sapmanın ortalamaya oranı şeklinde tanımlanan değişkenlik katsayısı (CoV) değerleri incelendiğinde en yüksek değişkenliğin yağış ve baraj akımlarında gözlemlendiği söylenebilir. Benzer durum çarpıklık katsayıları için de göze çarpmaktadır. Elbette akımlardaki çarpıklığın çok daha dominant olduğu da açıktır. Akımlara ait medyan ve ortalamalar arası uzaklığın göreceli büyük oluşu değişkenin pozitif çarpık karakteristiğini doğrular niteliktedir. 1981-2010 su

yılı referans alındığında, 14-15 °C ortalama sıcaklık rejimine sahip uygulama alanlarında aridite indeksi 0.40 civarlarında olup UNEP (1992)'ye göre yarı-kurak iklim sınıfının hâkim olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca çalışmada gözlemlerin parametrik olmayan Mann-Kendall sıra korelasyon testi ile zamansal eğilim analizi de yapılmıştır. Buna göre, yıllık ortalama sıcaklık ve tava buharlaşması değerleri için hesaplanan standart normal değişkenin 2.5-3.0 civarında olduğu tespit edilmiş olup, bu değişkenler söz konusu periyot boyunca anlamlı artış eğilimi sergilemişlerdir. Diğer yandan, yağış ve akım değişkenleri için hesaplanan standart normal değişken değerleri istatistiksel açıdan anlamlı bir eğilim yapısına işaret etmemektedir.

## 2.2 CMIP5 ve Re-Analiz Verileri

Yukarıda bahsedilen gözlenmiş hidro-meteorolojik verilere ilaveten, havzaların 2021-2050 dönemine ait alansal ortalama yağış, sıcaklık tahminlerini elde etmek için IPCC tarafından yayımlanan 5. Değerlendirme Raporu (AR5) kapsamındaki iklim senaryoları ve bu senaryolar altında çalıştırılan CMIP5 iklim modeli olan HadGEM2-ES modeli değerlendirilmiştir. AR5'in içeriğindeki senaryolar radyatif zorlamanın zaman içinde değişim şekli dikkate alınarak tanımlanmakta ve bu senaryolara RCP (Temsili Konsantrasyon Rotaları) denilmektedir. Çalışmada mevcut RCP senaryoları içerisinde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları kullanılmıştır. Bunlardan RCP4.5 nispeten iyimser bir eğilim sergilerken, RCP8.5 2100 yılında radyatif zorlamanın yeryüzünde yaklaşık 8.5 W/m<sup>2</sup> değerine erişeceğini ve daha sonra 2200'li yıllara kadar artan bir eğilim göstereceğini varsayan kötümser bir senaryodur (Meinshausen vd. 2011). Bir diğer senaryo olan RCP6.0 yüzyıl ortasına kadar RCP4.5 ile benzer radyatif zorlama eğiliminde olduğundan çalışmaya dahil edilmemiştir. Çalışmada iklim modellerinin geçmiş emisyon koşullarını temsil edeceği öngörülen geçmiş senaryo da referans kıyas senaryosu (*hist*) olarak kullanılmıştır. Tablo 2.2'de bilgileri verilen HadGEM2-ES modeli bu tez çalışması kapsamında kullanılmıştır.

**Tablo 2.2:** Çalışmada değerlendirilen GCM ve ona ilişkin genel bilgiler.

Model İsmi	Araştırma Merkezi	Ülke	Çözünürlük
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre	İngiltere	1.25 × 1.875

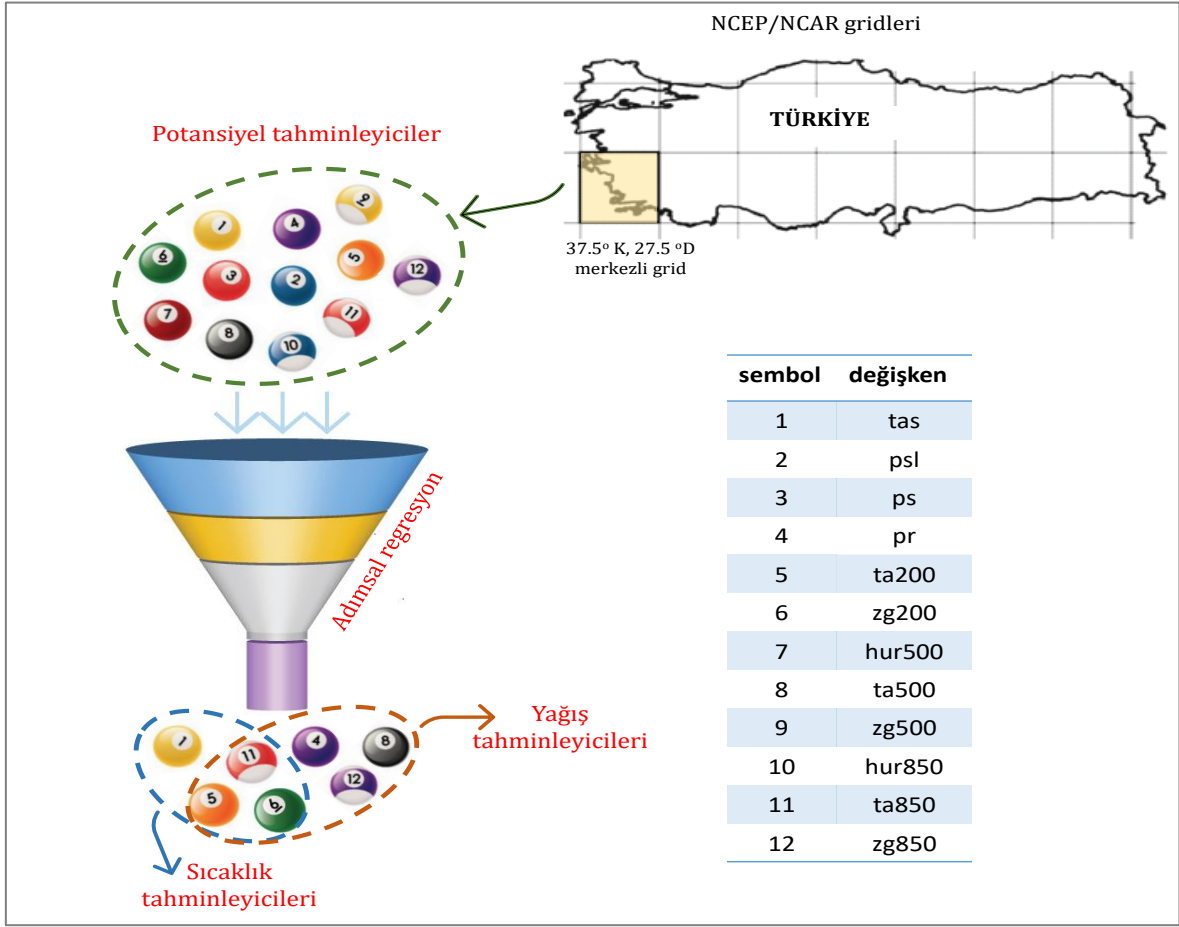
Çözünürlükler Enlem (°) x Boylam (°) şeklinde verilmiştir.

Tablo 2.2’de değinilen bu modelin kaba çözünlüklü (yerel ölçeğe indirgenmemiş) çıktıları temsili coğrafi hücreler (gridler) için <http://pcmdi9.llnl.gov> bağlantı adresinden temin edilmiştir. Söz konusu çıktılar “.nc” uzantılı formatta arşivlendikten sonra hazırlanan bir Matlab kodu ile ayıklanmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Kaba çözünlüklü GCM çıktılarının yerel ölçeğe indirgenmesi için öncelikle bölgesel atmosferik değişkenler ile havzalardaki alansal ortalama aylık toplam yağış (P) ve aylık ortalama sıcaklık ( $T_{ort}$ ) gözlemleri arasında istatistiksel bağıntıların (transfer fonksiyonlarının) geliştirilmesi gerekmektedir. “İstatistiksel ölçek indirgeme modellemesi” olarak anılan bu yaklaşım Bölüm 2 altında ayrıca anlatılmıştır. Çalışmada bölgesel atmosferik değişkenler olarak  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  alan çözünlüğündeki NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Centers for Atmospheric Research) (Kalnay vd., 1996) re-analiz veri setlerinden yararlanılmıştır. 1981-2010 ortak referans iklim dönemini kapsayan ilgili veriler <http://www.cdc.noaa.gov/> adresinden “.nc” uzantılı formatta elde edilmiş ve uygulama alanını temsil eden  $37.5^{\circ}$  K,  $27.5^{\circ}$  D merkezli grid verileri Matlab ortamında düzenlenmiştir.

Çalışmada NCEP/NCAR veri setleri ve CMIP5 modellerinin RCP ve *hist* senaryoları kapsamında servis edilen ortak bazı potansiyel değişkenler de belirlenmiştir. Bunlar 200 mb, 500 mb, 850 mb atmosferik seviyelerindeki sıcaklık ( $ta_{200}$ ,  $ta_{500}$ ,  $ta_{850}$ ), geopotansiyel yükseklik ( $zg_{200}$ ,  $zg_{500}$ ,  $zg_{850}$ ), rölatif nem değişkenleri ( $hur_{500}$ ,  $hur_{850}$ ) ve ayrıca yüzey sıcaklık ( $tas$ ), basınç ( $ps$ ), deniz seviyesi basıncı ( $psl$ ) ve alansal yağış ( $pr$ ) değişkenleridir. İstatistiksel ölçek indirgeme modellemesi öncesinde uygulama havzalarının gözlenmiş alansal ortalama yağış ve sıcaklıklarını temsil eden dominant NCEP/NCAR tahminleyicilerinin seçimi ise adımsal (stepwise) regresyon analizi (SRA) ile gerçekleştirilmiştir. SRA’nın ölçek indirgeme kapsamındaki uygulamaları ve metodolojik detayları Huth (1999), Linderson vd. (2004) ve Yang vd. (2017) çalışmalarında mevcuttur. Her iki uygulama havzasında Thiessen ağırlıklı alansal ortalama yağışlar için yapılan SRA işlemi sonrasında  $pr$ ,  $ta_{200}$ ,  $ta_{500}$ ,  $ta_{850}$ ,  $zg_{200}$  ve  $zg_{850}$  olmak üzere 6 adet açıklayıcı tahminleyici değişkende karar kılınmıştır. Bu aşamada, bağımlı değişkene katkı koymayan değişkenler iteratif olarak elenmiş ve varyansı açıklama miktarı bakımından yeterli görülen kombinasyon seçilmiştir. Benzer analizler alansal ortalama sıcaklık için de tekrarlanmış ve bu sefer  $tas$ ,  $zg_{200}$ ,  $ta_{200}$  ve  $ta_{850}$  olmak üzere 4 adet açıklayıcı değişkenin her iki uygulama havzasında söz konusu bağımlı değişkenin

tahminleyicileri olarak kullanılması uygun bulunmuştur. Şekil 2.5'te SRA işleminin uygulanışı şematik olarak özetlenmiştir.



Şekil 2.5: Adımsal regresyon ile seçilen açıklayıcı tahminleyiciler (Okkan vd., 2022).

### 2.3 Uygulanan İstatistiksel Ölçek İndirgeme Stratejisi

Kaba alansal çözünürlüğe sahip olan GCM kaba çıktılarına yerel ölçeğe indirgemek için fiziksel tabanlı dinamik ve istatistiksel olmak üzere iki farklı ölçek indirgeme (downscaling) tekniği kullanılmaktadır. Bunlardan dinamik modeller topografya özelliklerinin de yansıtıldığı yüksek çözünürlüklerde sonuç verse de kurulumları ve performanslarının test edilmesi zahmetlidir. Ayrıca Trzaska ve Schnarr (2014) istatistiksel ölçek indirgeme modellemesinin daha fazla GCM'e uygulanabilme esnekliğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Bu bakımdan hazırlanan çalışmada yerel ölçekteki aylık toplam yağış (P) ve ortalama sıcaklık ( $T_{ort}$ ) değişkenleri için transfer fonksiyonu esaslı bir istatistiksel ölçek indirgeme modellemesinin geliştirilmesinde karar kılınmıştır. Aylık yağış-akış modelleri bu iki değişkene ait gözlemler ile kurulabildiğinden daha fazla meteorolojik değişkene ölçek indirgeme yapılmasına da ihtiyaç duyulmamıştır.



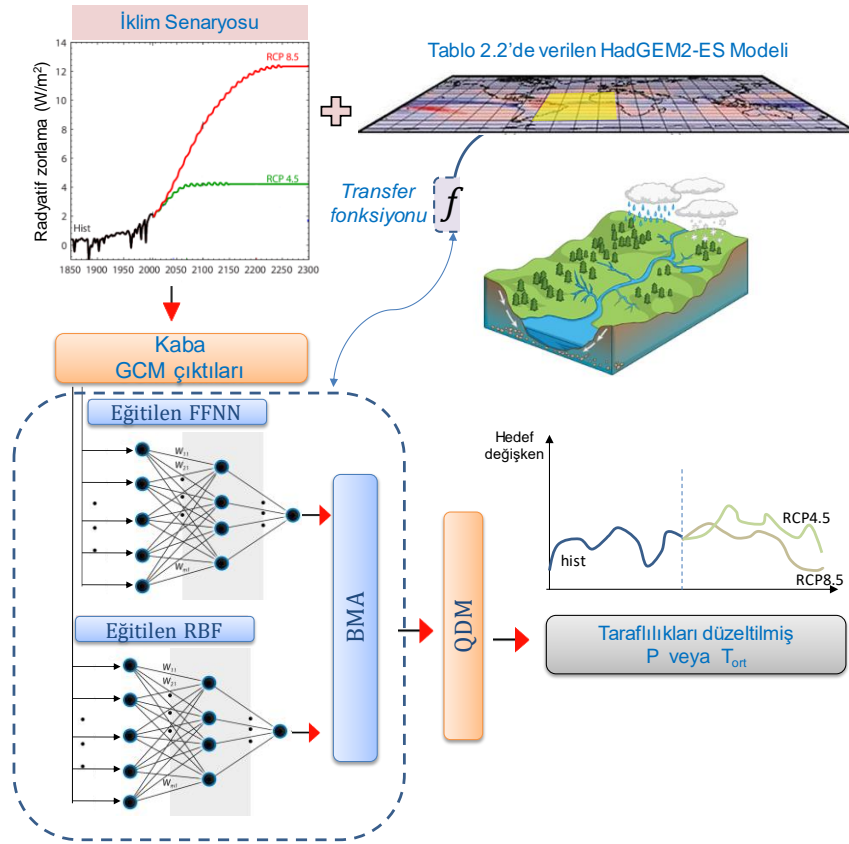
İstatistiksel ölçek indirgeme modellemesinin hazırlanması aşamasında hem çok katmanlı yapay sinir ağı (FFNN) modeli, hem de radyal tabanlı sinir ağı (RBF) kullanılmıştır. Modellerin kurulum, kalibrasyon (eğitim) ve test aşamaları için literatürde gerekli bilgiler mevcuttur (bkz., Lin vd. 2004; Fıstıkoğlu ve Okkan 2011; Okkan ve Kirdemir 2016). Kalibrasyon için ayrılan dönemde RMSE minimizasyonu sağlayan model mimarileri ve parametreleri (ağırlıklar ve bias terimleri vb.) belirlendikten sonra, modellerin eğitim ve validasyon dönemi performansları çeşitli kriterlerce sınanmıştır. Bu dönemlerde ilgili modelin çıktılarından hesaplanan Nash-Sutcliffe (NS) katsayısı, RMSE'nin standart sapmaya oranı olan RSR ve yanlışlık yüzdesi (PBIAS) değerlerinin Moriasi vd. (2007) çalışmasına göre aşağıdaki gibi derecelendirilmesi sağlanmıştır.

Çok iyi (VG):  $NS > 0.75; RSR \leq 0.5; PBIAS(\%) < \pm 10$

İyi (G):  $0.65 < NS \leq 0.75; 0.5 < RSR \leq 0.6; \pm 10 \leq PBIAS(\%) < \pm 15$

Her iki modelde de gizli katmandaki hücre sayıları deneme-yanılma ile belirlenmiştir. Ayrıca FFNN'de gizli katmanda ve çıkış katmanında sırasıyla sigmoid ve lineer aktivasyon fonksiyonları uygun sonuç verirken, RBF modelinde girdi katmanından gizli katmana geçişte Gauss tipi aktivasyon fonksiyonu tercih edilmiştir. Veri standardizasyon işlemleri ise Okkan ve Kirdemir (2016) çalışmasındaki ile aynıdır. 1980-2010 referans dönemine ait verilerin yaklaşık yarısı ile eğitilen ve geri kalan kısmıyla test edilen sinir ağı tabanlı ölçek indirgeme modellerinin performanslarının yeterli görülmesi kabulüyle, GCM'in uygulama alanını temsil eden en yakın gridindeki standardize edilmiş kaba senaryo çıktıları (*hist* senaryosu çıktıları ve 2021-2050 gelecek dönemini kapsayan RCP senaryo çıktıları) eğitilmiş FFNN ve RBF modellerinin ağırlıkları ile yerel ölçekteki alansal ortalama P ve  $T_{ort}$  tahminlerine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu iki makine öğrenmesi algoritması ile türetilen çıktılar paralel hibritleme mantığıyla Bayes model ortalaması (Bayesian Model Averaging: BMA) yaklaşımıyla ağırlıklandırılmıştır. BMA tekniği model tahminleri arasındaki varyansı hesaba katmakta ve tahmin belirsizliğinin azaltılması yönünde tutarlı sonuçlar üretebilmektedir (Duan vd., 2007). BMA'da ağırlıklar pozitif ve toplamı 1 olacak şekilde iteratif olarak belirlenmekte ve bu ağırlıklar modellerin göreceli performanslarını temsil etmektedir.

Makine öğrenmesi-BMA entegrasyonlu ölçek indirgeme modellemesi akabinde, GCM'in referans dönem *hist* senaryo tahminlerine ait dağılımlar ile gözlemlerin dağılımları arasındaki uyum ve dolayısıyla çıktılardaki sistematik yanlışlıklar da irdelenmiştir. Bu yanlışlıkların gelecek projeksiyonlara yayılma ihtimali gözetilerek çalışmada daha güvenilir tahminler elde etmek için “yanlılık düzeltme” tekniklerinden yararlanılmıştır. Bilinen en temel dağılım tabanlı düzeltme işlemi “kantil haritalama” olup, GCM'in ölçeğe indirgenmiş senaryo tahminlerine ait dağılımların gözlenmiş dağılımların üzerine haritalanması esasına dayanmaktadır (Cannon vd. 2015). Ancak düzeltme işlemi öncesi ölçeğe indirgenmiş *hist* senaryosuna ilişkin çıktılar ile gelecek senaryo çıktıları arasındaki rölatif değişim ve zamansal trend yapısı klasik kantil haritalama (quantile mapping) sonrası korunamamakta ve çıktılarda aşırı büyüme gözlenebilmektedir. Çalışmada söz konusu rölatif değişimin azami şekilde korunmasını sağlayan kantil delta haritalama (quantile delta mapping: QDM) yönteminden yararlanılmıştır. Yöntemin detayları Cannon vd. (2015) çalışmasında mevcuttur. Çalışmada esas alınan istatistiksel ölçek indirgeme ve meteorolojik projeksiyon üretme aşamaları Şekil 2.6'de şematik olarak özetlenmiştir.



**Şekil 2.6:** Farklı iklim senaryoları kapsamındaki GCM çıktıların istatistiksel ölçek indirgenmesinde izlenecek adımlar (Okkan vd., 2022).

## 2.4 Akım Projeksiyonlarının Elde Edilmesi

Hazırlanan çalışmada uygulama haznesinde iklim senaryoları altında işletme optimizasyonu yapabilmek için öncelikle bahsi geçen bu senaryolar altında akım projeksiyonlarının hazırlanması gerekmektedir. Bu maksatla çalışmada dinamik su bütçesi modeli (*dynwbm*) ve *abcde* olarak bilinen parametrik-ortalananmış kavramsal yağış-akış modelleri değerlendirilmiştir. Bu modeller Türkiye genelinde havzalarda stasyonere ve değişen iklim koşulları altında akış tahmini elde etmede yeterli bulunan hidrolojik modellerdir (bkz. Okkan 2015; Okkan ve Kıymaz 2020; Okkan ve Kırdemir 2018, 2020). Sadece aylık toplam yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) girdilerine ihtiyaç duyan modeller havza hidrolojisini bir dizi kavramsal zemin nemi ve yeraltısuyu depolama fonksiyonlarıyla temsil etmektedirler (Şekil 2.7). Modellerde PET değerleri Penman tarzı ampirik eşitlikler ile türetilbildiği gibi tava buharlaşması ( $E_{pan}$ ) gözlemleri de PET yerine tercih edilebilmektedir (Xu ve Vandewiele 1995). Çalışmada hem gözlenmiş dönem hem de projeksiyon dönemlerindeki  $E_{pan}$  değerleri sadece ortalama sıcaklık değerlerine bağlı olarak uygulama alanları için lokal kalibrasyonu yapılan Kharrufa eşitliğinden (Denklem 2.1) türetilmiştir.

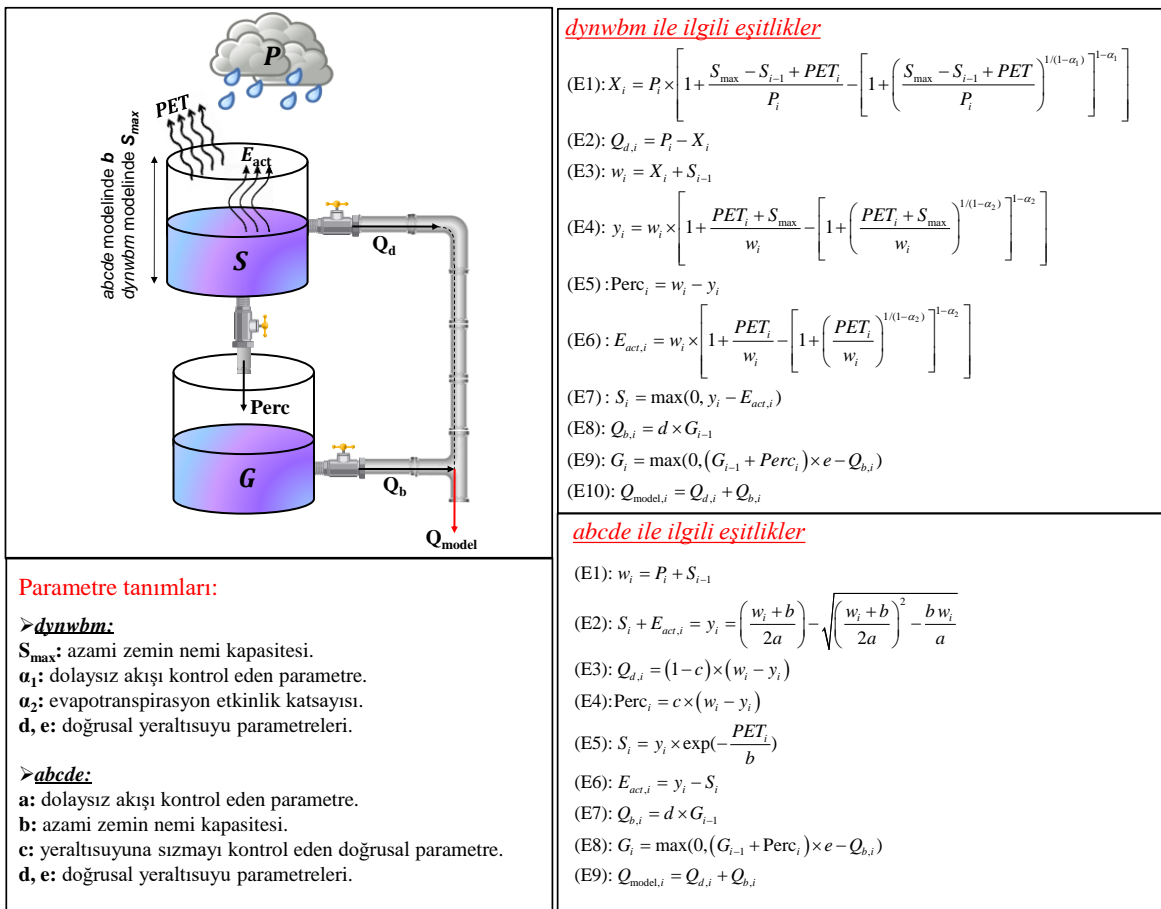
Kullanılan modellerden *dynwbm* modeli Zhang vd. (2008) tarafından geliştirilen ve temelde Budyko (1958) tarafından ortaya atılan hipotezin genişletilmiş versiyonu niteliğinde olan parametrik yapıda kavramsal bir modeldir. Orijinal modelde 4 adet parametre olmasına karşın, modelin yeraltısuyu depolaması fonksiyonuna Okkan ve Kırdemir (2018, 2020) tarafından ilave bir doğrusal parametre eklenmiş ve model 5 parametrelili hale getirilmiştir. Modelin yapay zeka yöntemleriyle entegre edildiği içiçe hibrit bir versiyonu Okkan vd. (2021), Ersoy (2021) ve Ersoy vd. (2021)'de mevcuttur. Standart modelde herhangi bir ayda havza üzerine düşen toplam yağış  $P$  iki bileşenin toplamından oluşmaktadır. İlk kısım dolaysız akış ( $Q_d$ ) olup, kalanı kısım  $X$  diğer bütçe elemanları için alıkonmaktadır. Bu süreçte  $\alpha_1$  parametresi etkin olmakta ve değerce arttığında  $X$  de artarken, dolaysız akış azalmaktadır. Ayrıca olayda havzanın zemin ve vejetasyon karakteristiklerini temsil eden  $S_{max}$  maksimum zemin nemi kapasitesi de etkin rol oynar. Diğer yandan,  $\alpha_2$  parametresi evapotranspirasyon etkinliğini kontrol etmekte olup, artması halinde mevcut suyun ( $W$ ) gerçek evapotranspirasyona ayrılan kısmında artış oluşur (Zhang vd.2008; Tekleab vd. 2011). Aynı parametre  $y$  evapotranspirasyon fırsatı (evapotranspiration opportunity) olarak tanımlanan değişkeni de kontrol etmekte ve  $y$  değeri ilgili aydaki zemin nemi ( $S_i$ ) ve gerçek evapotranspirasyon ( $E_{act}$ ) toplamına eşit

kabul edilmektedir (Sankarasubramanian ve Vogel 2002). İlgili ay boyunca havzadaki mevcut su içeriği  $W_i$  başlangıç zemi nemi  $S_{i-1}$  ile  $X$ 'in toplamı ile ifade edilebileceği gibi, ilgili aydaki zemi nemi, gerçek evapotranspirasyon ve yeraltısuyu depolamasına sızan ( $Perc$ ) su miktarı bileşenlerinin toplanmasıyla da elde edilebilmektedir. Bu bütçe hesabından  $Perc$  miktarı hesaplandıktan sonra,  $d$  ve  $e$  parametreleri birlikte kullanılarak lineer hazne davranışı gösterdiği varsayılan  $G$  yeraltısuyu depolaması özelinde denge denklemi yazılır ve buradan taban akışı ( $Q_b$ ) tahmin edilir (Okkan ve Kirdemir 2018, 2020). Dolaysız akış ve taban akışı bileşenlerinin toplamı ise kesitteki modellenmiş total akışı ( $Q_{model}$ ) vermektedir.

Diğer kullanılan model ise Thornthwaite (1948) tarafından ortaya atılan yaklaşıma dayanmakta ancak sızma bileşeni bakımından daha gerçekçi bir kavramsallaştırma önermektedir. Çalışmada Okkan ve Kirdemir (2018, 2020) tarafından önerilen ve *dynwbm* modeline de uyarlanan yeraltısuyu depolama fonksiyonu Thomas (1981) tarafından geliştirilen *abcd* modeline de entegre edilmiş ve model beş parametrelili *abcde* haline getirilmiştir. Model *dynwbm* modeli ile benzer depolama elemanları kullansa bile, hesap yoğunluğu bakımından *dynwbm* modeline kıyasla daha basit yapıdadır. İlgili ay boyunca havzadaki mevcut su içeriği  $W_i$ , *dynwbm*'ye kıyasla daha kaba bir hesapla, bir önceki aydan kalan zemin nemi  $S_{i-1}$  ile  $P$ 'nin toplamına eşit kabul edilmektedir. Evapotranspirasyon fırsatı olan  $y$  değeri  $a$  ve  $b$  parametrelerine bağlı olarak hesaplanmakta ve bu iki parametre sırasıyla zeminin suya doymadan önce akış oluşturma eğilimini ve zeminin doygunluk düzeyini kontrol etmektedir (*abcde* modelindeki  $b$ 'nin *dynwbm*'deki  $S_{max}$ 'ın karşılığı olduğu söylenebilir).  $a$  parametresinde artış olması halinde  $Q_d$  ve perkole olan  $Perc$  miktarında azalma gözlenirken,  $b$ 'deki artış bu olayın tersinin yaşanmasını sağlar. Mevcut su miktarının belli bir kısmı  $y$  için ayrıldıktan sonra geriye kalan kısım ise  $c$  doğrusal katsayısına bağlı olarak  $Q_d$  ve  $Perc$  bileşenlerine ayrılır (Li vd. 2016; Shahid vd. 2018). Modelin  $G$  yeraltısuyu depolaması için uygulanan denge denklemi ve taban akışı hesap yaklaşımı *dynwbm* modelinki ile aynıdır. Dolaysız akış ve taban akışı bileşenlerinin toplamı da yine benzer şekilde modellenmiş akışı vermektedir.

Çalışmada yukarıda işleyişi verilen iki adet yağış-akış modeli 1981-2010 su yıllarını kapsayan dönemdeki gözlemlerin yarısı ile (1981-1995 yıllarına ait gözlemler) *RMSE* minimizasyonu amaç fonksiyon olarak alınarak ayrı ayrı kalibre edilip, tüm kalibrasyon çıktıları ölçek indirgeme işleyişinde kullanıldığı gibi BMA yaklaşımıyla

ağırlıklandırılmıştır. Çıktıların ağırlıklı ortalaması ile ansambl sonuçlar elde edilmesini takiben, 1996–2010 su yıllarını kapsayan ağırlıklı validasyon çıktıları da *NS* katsayısı gibi ilave kriterlerce sınanmıştır. Bu aşamada yapılan performans derecelendirmesi ölçek indirgeme modellemesinde esas alınan ile aynıdır. Sonuç itibarıyla, modellemenin istenen simülasyon performansı vermesi durumu gözetilerek Şekil 2.6'deki işleyiş ile türetilen 2021-2050 dönemi *P* ve *T<sub>ort</sub>* projeksiyonlarının akış yüksekliklerine dönüştürülmesi sağlanmıştır. Ayrıca hazne işletme çalışmalarında kullanılmak üzere, mm biriminde olan akış yüksekliği tahminleri baraj havzasının drenaj alanı ile çarpılmış ve  $\text{hm}^3$  biriminde baraj yeri akım hacimleri derlenmiştir (Çağlayan barajın drenaj alanı  $321 \text{ km}^2$  olarak alınmıştır).



**Şekil 2.7:** Yağış-akış modellerinin şematik gösterimleri, modellere ait parametre tanımları ve ilgili hesap adımları (Okkan ve Kırdemir, 2020, Ersoy, 2021).

## 2.5 Hazne İşletme Optimizasyonunda Kullanılan Modeller

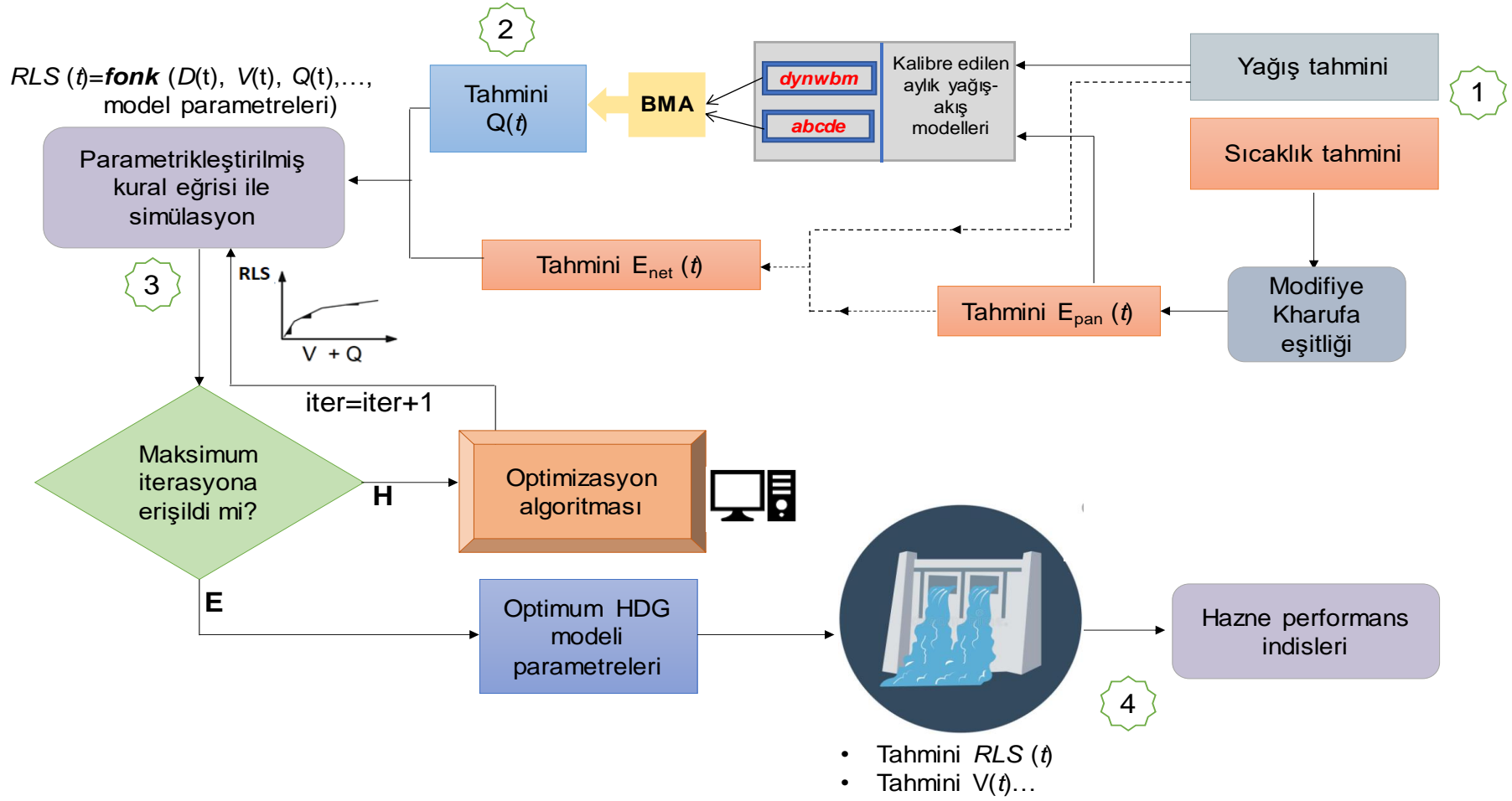
Çalışmada iklim değişikliği etkileri altında hazne işletme optimizasyonu yapabilmek için dört ana adımın uygulanması hedeflenmiştir (Şekil 2.8). İlk iki adım ile ilgili detaylar hali

hazırda yukarıda verilmiştir. Bölüm 2.3'te sayfaları sunulan birinci adımda, seçilen GCM'in herhangi bir iklim senaryosu altındaki kaba çözünürlüklü çıktıları yapay sinir ağları modellerine dayanan istatistiksel ölçek indirgeme yaklaşımıyla aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık değerlerine dönüştürülmektedir. Burada bir adet geçmiş dönem senaryosu, iki adet de RCP gelecek dönem senaryosu (RCP4.5 ve RCP8.5) altında işletilen GCM için toplamda 3 adet aylık zaman ölçekli yağış/sıcaklık tahmin serisi türetilmektedir. Bu tahminlerden net buharlaşma yüksekliği tahminleri ( $E_{net}$ ) elde edilebilmektedir.

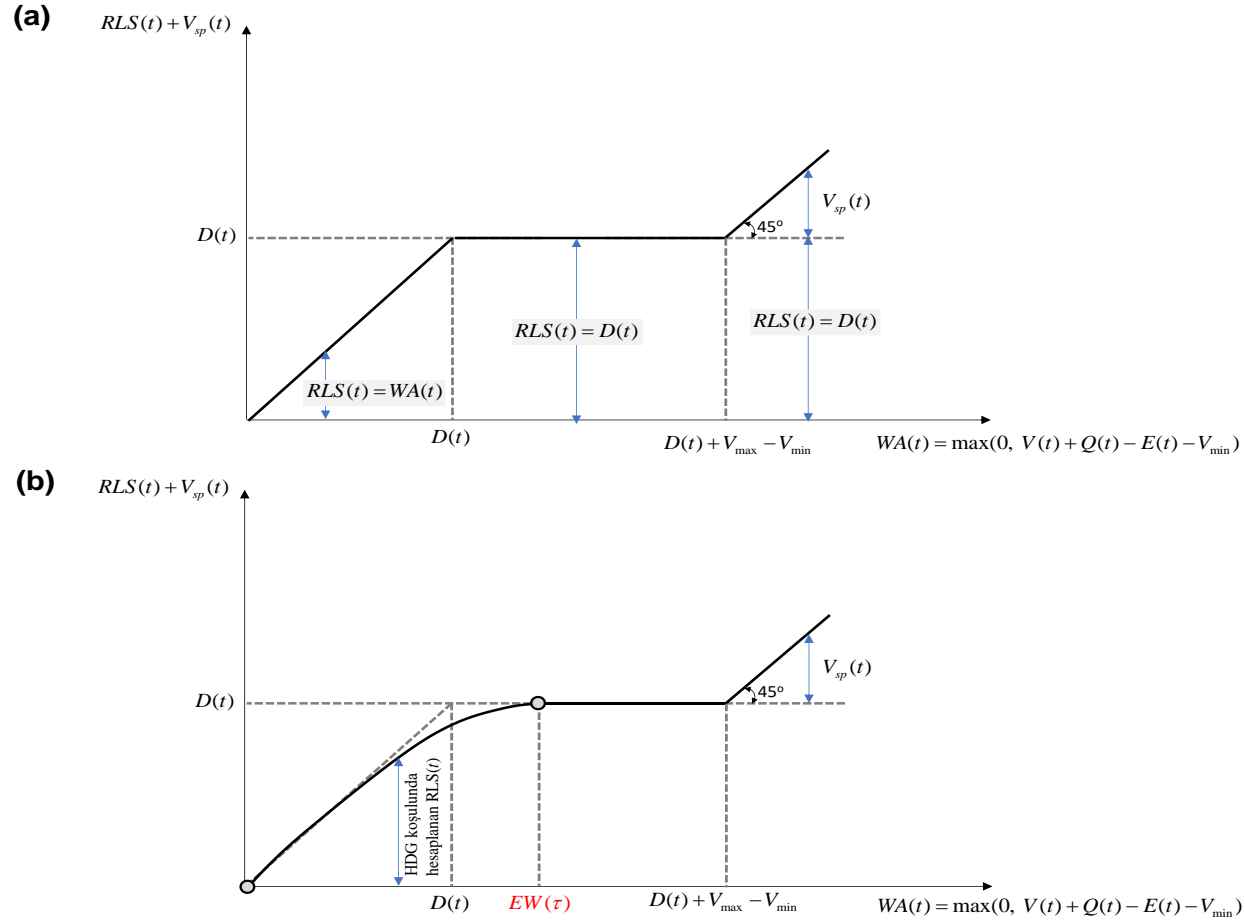
Bölüm 2.4'te ifade edilen ikinci adımda ise baraj havzası özelinde kalibre edilen iki farklı kavramsal yağış-akış modelinin BMA ile entegrasyonu sonucu senaryo aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık değerlerinin minimal belirsizlikle aylık akışlara dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Ardından Parametrizasyon-simülasyon-optimizasyon (*ParSimO*) tekniği ile hazne işletme kural eğrilerinin bir optimizasyon algoritması vasıtasıyla parametrelerinin belirlenmesini takiben baraj haznesinden kullanıma salınacak optimum su miktarları (RLS), depolama hacimleri ve ele alınacak haznenin uzun dönem performans indisleri elde edilmektedir.

Bölüm 1'de de anlatıldığı üzere, HDG tabanlı *ParSimO*'da temel amaç mevcut zaman içerisinde ne kadar suyun salınacağını ve tahmini veya gözlenen hidro-meteorolojik değişkenler vasıtasıyla gelecek işletme dönemleri için ne kadar suyun depolanması gerektiğini belli kısıtlar altında belirlemektir. Bu HDG modelleri Şekil 2.9a'da gösterilen doğrusal SOP yaklaşımı üzerinde birtakım düzenlemeler yapılarak geliştirilmekte olup, tek noktalı, çift noktalı veya üç noktalı HDG kuralı olarak adlandırılan türler en bilinenleridir (Bayazit ve Unal 1990; Draper ve Lund 2004; Wang vd. 2018; Jamshidi ve Shourian 2019; Men vd. 2019).

Hazırlanan tez çalışmasında kullanılan ilk modelde HDG kuralı herhangi bir  $\tau$  ayında haznedeki mevcut su hacminin  $EW$  su hacminden küçük olması durumunda uygulanmaktadır (Şekil 2.9b). Model doğrusal olmayan ve tek noktalı nitelikte olup sunulan çalışmada HDG-NL olarak atfedilmektedir. Bu model Celeste ve Billib (2009) tarafından geliştirilen çift noktalı doğrusal olmayan türdeşine kıyasla daha başarılı bulunmuş olup daha az parametre muhteva etmektedir.



Şekil 2.8: Hazne işletme optimizasyonu sürecinde ParSimO yönteminin kullanımı (Okkan vd., 2022).



Şekil 2.9: (a) Doğrusal SOP ve (b) HDG-NL yaklaşımlarının şematik gösterimleri (Okkan vd., 2022).



Şekil 2.9b’de şematik olarak özetlenen HDG-NL modeli aylık su bütçesi içerisine entegre edilerek kullanılmaktadır. Aylık su bütçesinde, haznenin başlangıçta belli bir dolulukta (genellikle tam dolu) olduğu varsayılarak işleme başlanmaktadır. Baraj gövdesinden sızma ihmal edilerek,  $V(t+1)$  ay sonundaki hazne hacmi kütleinin korunumu prensibi esas alınarak Denklem 2.2’deki gibi hesaplanabilmektedir (Adeloye ve Dau 2019).

$$V(t + 1) = V(t) + Q(t) - RLS(t) - E(t) ; \forall t \quad (2.2)$$

Burada  $V(t)$  aybaşında haznede depolanan su hacmini,  $Q(t)$   $t$  ayında hazneye giren akımı,  $RLS(t)$  aynı ay içerisinde hazneden kullanıma ayrılacak su hacmini ve  $E(t)$  hazne yüzeyinden net buharlaşma hacmini temsil etmektedir. Ayrıca  $RLS$  ve depolama hacmi değerlerinin sırasıyla aşağıdaki fiziksel limitler içerisinde tutulması gözetilmiştir.

$$0 \leq RLS(t) \leq D(t) ; \forall t \quad (2.3)$$

$$V_{min} \leq V(t + 1) \leq V_{max} ; \forall t \quad (2.4)$$

Burada  $D(t)$  talep edilen su miktarını,  $V_{min}$  ve  $V_{max}$  sırasıyla haznenin asgari ve azami işletme hacimlerini temsil etmektedir. Bütçe denklemi neticesinde  $V(t+1)$  hacimleri hesaplandıktan sonra, Denklem 2.5 ve Denklem 2.6 ile asgari işletme seviyesinin altında oluşan su açığı miktarı ( $V_{def}$ ) ve azami işletme seviyesinin üstünde oluşan savaklama hacmi ( $V_{sp}$ ) kontrolü yapılır. Söz konusu durumlarda depolama hacmi olarak Denklem 2.4’te verilen alt ve üst sınır değerler kullanılır.

$$\text{eğer } V(t + 1) < V_{min} \Rightarrow V_{def}(t) = V_{min} - V(t + 1) \quad (2.5)$$

$$\text{eğer } V(t + 1) > V_{max} \Rightarrow V_{sp}(t) = V(t + 1) - V_{max} \quad (2.6)$$

Ayrıca Denklem 2.2’deki  $E(t)$  hacmi ortalama göl yüzey alanı  $A_o(t)$ ’ye karşılık gelen ortalama hacmin ( $V_o(t) \approx 0.5 \times [V(t) + V(t+1)]$ ) önceden bilinmeyişiinden dolayı iteratif çözülmektedir. Bu aşamada haznenin alan-hacim eğrisinden ilk yaklaşım olarak net buharlaşma kaybı, aybaşındaki hazne hacmine karşılık gelen alan ile hesaplanmakta ve Denklem 2.2’den ay sonu hacminin ilk yaklaşım değeri bulunmaktadır. İlk yaklaşımdan elde edilen  $V(t+1)$  kullanılarak hesaplanan  $V_o(t)$  ortalama hacmine karşılık gelen göl

yüzey alanı kullanılarak buharlaşma kaybı yinelenmekte ve  $V(t+1)$  ay sonu hacminin güncellenmiş değeri elde edilmektedir. Bu iteratif işlem belli bir tolerans değeri dahilinde  $E(t)$  hacmi stabil hale gelene kadar tekrarlanmaktadır.

HDG-NL modelinde Denklem 2.2'deki aylık su bütçesi işleyişi içerisine dahil edilen  $RLS$  ise haznede  $t$  ayında mevcut olan  $WA(t)$  su hacminin, bu ay için talep edilen  $D(t)$  hacminin ve model parametrelerinin fonksiyonu olacak şekilde düzenlenmektedir. Çalışmada başlangıçtaki depolama hacmi  $V(t=1) = V_{max}$  ve  $WA(t) = V(t) + Q(t) - E(t) - V_{min}$  olarak kabul edilmek üzere modelde suyun salınma kuralı aşağıdaki gibi uygulanmıştır.

$$\text{Durum 1:} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{eğer } 0 \leq WA(t) \leq EW(\tau) \Rightarrow \\ RLS(t) = D(t) \times \left( \frac{WA(t)}{EW(t)} \right)^{m(\tau)} \end{array} \right. \quad (2.7)$$

$$\text{Durum 2:} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{eğer } WA(t) > EW(\tau) \Rightarrow \\ RLS(t) = D(t) \end{array} \right. \quad (2.8)$$

Denklem 2.7'de  $m(\tau)$  parametresi doğrusal olmayan HDG eğrisinin şeklini vermektedir. Bu parametreyle beraber  $EW$  sınır parametresi de dikkate alındığında HDG-NL modelinde toplamda  $2 \times 12 = 24$  adet kalibre edilmesi gereken parametre mevcuttur ( $\tau = 1, 2, \dots, 12$ ). Parametre optimizasyonunda aşağıdaki kısıtların da sağlanması gerekmektedir (Celeste ve Billib 2009).

$$D(\tau) \leq EW(\tau) \leq D(\tau) + V_{max} - V_{min} ; \quad \forall \tau \quad (2.9)$$

$$0 \leq m(\tau) \leq 1 ; \quad \forall \tau \quad (2.10)$$

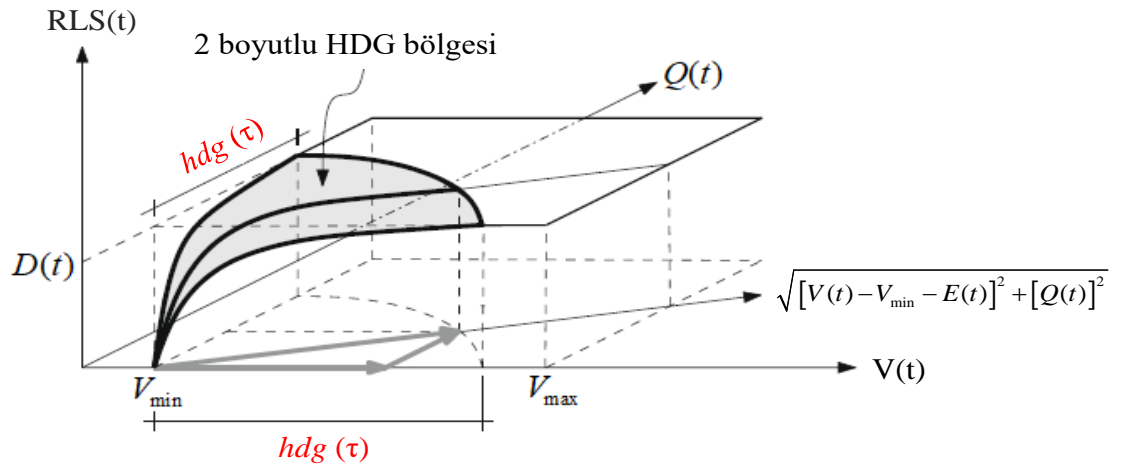
Modelin parametre kalibrasyonunda,  $RLS$ 'in talep değerlerine yakın olması arzu edildiğinden genellikle Denklem 2.11'de ilk terimde verilen tipik amaç fonksiyonunun (OF) minimizasyonu esas alınmaktadır. Ancak haznenin asgari işletme seviyesi altında işletimini mümkün olduğunca azaltmak ve kontrollü savaklama yapabilmek için Ehteram

vd. (2018) tarafından yapılan öneri de dikkate alınarak amaç fonksiyonuna iki adet penalti terimi eklenmiştir.

$$OF = \sum_{t=1}^L \left( \frac{RLS(t) - D(t)}{D(t)} \right)^2 + \overbrace{\left( \frac{V_{def}}{V_{min}} \right)^2}^{\text{penalti terimi 1}} + \overbrace{\left( \frac{V_{sp}}{V_{max}} \right)^2}^{\text{penalti terimi 2}} \quad (2.11)$$

Denklem 2.5 ve Denklem 2.6'nın kullanılmadığı aylarda Denklem 2.11'deki son iki terim 0 değerini almaktadır. Toplam işletme döneminde  $OF$  değerinin minimizasyonunda metasezgisel bir algoritma olan diferansiyel evrim algoritması (DEA) daha tutarlı sonuç vermiş olup yöntemin işleyişi Bölüm 2.6'da özetlenmiştir.

Yukarıda detaylandırılan 24 parametrelili HDG-NL modeline ilaveten, hazneyi farklı parametrik zonlara ayırma ve iki boyutlu HDG kuralı (HDG-2D) gibi modeller de ParSimO kapsamında araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Hatta bunlar içerisinde 24 parametrelili HDG-2D modelinin diğer modellere kıyasla daha başarılı olduğu literatürde ifade edilmiştir (Celeste ve Billib 2009; Ahmadianfar ve Zamani 2020; Bayesteh ve Azari 2021). Hazırlanan çalışmada kullanılan diğer model HDG-2D olup, şematik gösterimi Şekil 2.10'de verilmiştir.



Şekil 2.10: 24 parametrelili doğrusal olmayan HDG-2D modeli (Celeste ve Billib, 2009).

HDG-2D modelinde HDG kuralı  $t$  ayı başındaki aktif depolamanın ve gelen akımın kombinasyonu şeklinde  $hdg(\tau)$  parametresi sınırları içinde uygulanmaktadır. İki boyutlu HDG bölgesinin şeklini belirleyen parametre ise  $m(\tau)$  olup suyun salınma kuralı aşağıda verilmektedir (Celeste ve Billib 2009; Ahmadianfar ve Zamani 2020).

$$\text{Durum 1: } \begin{cases} \text{eğer } \sqrt{[V(t) - V_{min} - E(t)]^2 + [Q(t)]^2} \leq hdg(\tau) \Rightarrow \\ RLS(t) = D(t) \times \left[ \frac{\sqrt{[V(t) - V_{min} - E(t)]^2 + [Q(t)]^2}}{hdg(\tau)} \right]^{m(\tau)} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\text{Durum 2: } \begin{cases} \text{eğer } \sqrt{[V(t) - V_{min} - E(t)]^2 + [Q(t)]^2} > hdg(\tau) \Rightarrow \\ RLS(t) = D(t) \end{cases} \quad (2.13)$$

HDG-2D modelinde Denklem 2.11'deki amaç fonksiyonunu minimize etmek için 24 adet parametrenin kalibrasyonu gerekmektedir. Ayrıca  $m(\tau)$  için Denklem 2.10'daki kısıtlar geçerliken  $hdg(\tau)$  parametresinin aktif depolama kapasitesinden küçük veya bu değere eşit olması koşulu aranmaktadır.

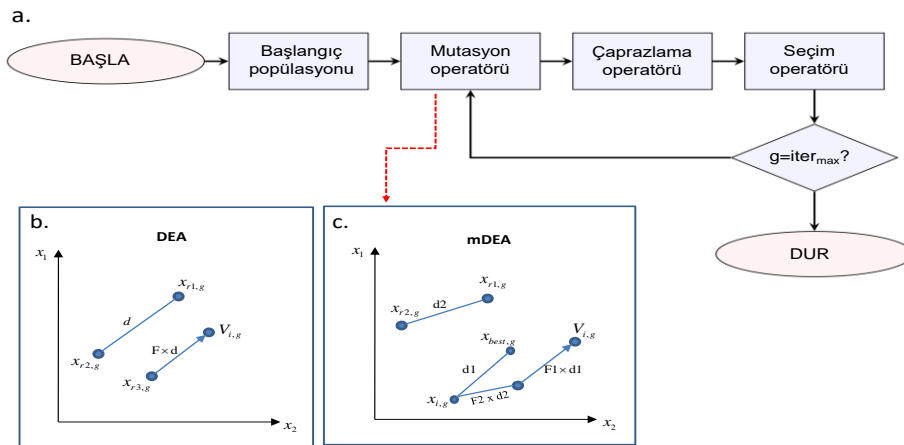
Çalışmada yukarıda işleyişi anlatılan HDG modellerinin iklim projeksiyonları altında uygulanışı ile ilgili adımlar aşağıda verilmiştir.

- **Adım 1:** GCM'in *hist* senaryo çıktıları ile HDG-NL ve HDG-2D modelleri seçilen otomatik optimizasyon algoritması vasıtasıyla kalibre edilir (her bir model anılan algoritma ile 10 kez koşturulmuştur).
- **Adım 2:** Seçilen bir kritere göre en uygun model belirlenir ve ilgili modelin kalibre edilmiş kural parametreleri kaydedilir (çalışmada en küçük OF ve narinlik indisi değerlerini veren modellere odaklanılmıştır).
- **Adım 3:** Bir önceki adımda kaydedilen, geçmiş döneme göre adapte edilen kural parametreleri kullanılarak ilgili GCM'in 2021-2050 dönemini temsil eden RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktıları altında hazne işletilir ve her bir gelecek senaryosu için kullanıma salınacak su miktarları ( $RLS_{rule1}$ ) tahmin edilir.

- **Adım 4:** Adım 1 ve Adım 2 RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında tekrarlanır ve gelecek dönemler için adapte edilen yeni kural eğrisi parametreleri ile kullanıma salınacak sular ( $\mathbf{RLS}_{\text{rule2}}$ ) yeniden hesaplanır.
- **Adım 5:** Adım 3 ve Adım 4 sonrasında belirlenen  $\mathbf{RLS}_{\text{rule1}}$ ,  $\mathbf{RLS}_{\text{rule2}}$  ve bu kural varyasyonlarındaki depolama hacimleri ile hazne performans indisleri öngörülür.

## 2.6 Kullanılan Optimizasyon Algoritması

Hidroloji literatüründe parametre optimizasyonunda kullanılabilecek birçok otomatik arama algoritması mevcut olmasına karşın, son yıllarda metasezgisel algoritmaların daha popüler olduğu açıktır (Okkan ve Kirdemir 2020). Çalışmada çeşitli denemeler sonucunda DEA algoritmasının bir modifikasyonun (mDEA) kullanılmasında karar kılınmıştır. Bu algoritmanın HDG modelleri özelinde genetik algoritma (GA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO), yabancı ot algoritması (IWA) ve yapay arı kolonisi (ABC) algoritmasına kıyasla performansı Bölüm 3'te gösterilmiştir. Tüm bu algoritmalar popülasyon tabanlı olup doğadaki çoğalma, avlanma, rassallık, seleksiyona maruz kalma gibi kavramlara atfetmektedir. Bu bölümde mDEA algoritmasına geçmeden önce kısaca klasik DEA algoritması tanıtılmaktadır. Algoritma GA ile benzer operatörlere sahip evrimsel bir metasezgisel algoritmadır (Storn ve Price 1997). GA'dan farklı olarak DEA'da yeni birey elde etme işlemi çok daha az kromozom üzerinden gerçekleştirilmekte ve mutasyon operatörü çaprazlama öncesinde tüm popülasyona uygulanmaktadır. Algoritmanın işleyiş şeması Şekil 2.11a'da temsilen özetlenmiştir.



**Şekil 2.11:** (a) DEA algoritmasının işleyiş şeması, (b) orijinal algoritmadaki tek fark vektörlü mutasyon şeması, (c) mDEA'daki çift fark vektörlü mutasyon şeması (d, d1 ve d2: fark vektörleridir).

Algoritmaya ilişkin ilk hesap adımında tanımlanan popülasyon büyüklüğü sayısı kadar, parametrelerin  $x$  rastgele çözümleri oluşturulur.

$$x_{i,j} = x_j^{min} + rand \times [x_j^{max} - x_j^{min}], \quad i = 1, 2, \dots, N_{pop}, j = 1, 2, \dots, N_{par} \quad (2.14)$$

Burada,  $N_{pop}$  popülasyon büyüklüğünü,  $N_{par}$  ise modeldeki kalibre edilecek parametre sayısını,  $rand$   $[0, 1]$  aralığında rastgele türetilen sayıyı ifade etmektedir.  $X_{min}$  ve  $X_{max}$  ise sırasıyla  $j$ . sıradaki model parametresinin alt ve üst limitleridir.

Popülasyondaki olası  $x$  çözümlerinin performans değerlendirilmesi ise Denklem 2.11'deki amaç fonksiyonu yardımıyla yapılmaktadır. Denklem 2.14 ile  $N_{pop} \times N_{par}$  boyutlu başlangıç çözümleri türetildikten sonra, klasik DEA'da mutasyon işlemi için  $i$ . kromozomun dışında ve birbirlerinden farklı satır numaralarına sahip üç adet kromozom ( $x_{r1}, x_{r2}, x_{r3}$ ) popülasyon içinden rastgele seçilir. Ardından  $F$  mutasyon faktörü yardımıyla popülasyona mutasyon işlemi aşağıdaki gibi uygulanır. Bu klasik mutasyon şeması Şekil 2.11b'de de tasvir edilmiştir.

$$V_{i,g} = x_{r3,g} + F \times (x_{r1,g} - x_{r2,g}) \quad (2.15)$$

Burada  $V_{i,g}$  değişkeni  $i$  numaralı kromozom için oluşturulan mutasyonlu vektörü temsil etmektedir. Her bir kromozom için  $1 \times N_{par}$  boyutlu vektör oluşturulmaktadır. Eşitlikteki  $g$  alt indisi ise iterasyon (jenerasyon) adımıdır.

Gong ve Cai (2013), Leon ve Xiong (2014) ve Okkan ve Kirdemir (2019) tarafından tavsiye edilen mDEA algoritmasında ise popülasyon içinden rastgele seçilen iki adet kromozomdan oluşturulan fark vektörüne,  $i$  numaralı kromozom ( $x_{i,g}$ ) ile mevcut en iyi çözüm ( $x_{best,g}$ ) arasındaki fark ile oluşturulan vektör de ilave edilir. Bu fark vektörlerinin ağırlıkları ise sırasıyla  $F_2$  ve  $F_1$  mutasyon faktörleridir. Son olarak, ağırlıklı fark vektörleri mevcut kromozom ile toplanarak mutasyonlu vektör oluşturulur (Denklem 2.16, Şekil 2.11c).

$$V_{i,g} = x_{i,g} + F_1 \times (x_{best,g} - x_{i,g}) + F_2 \times (x_{r1,g} - x_{r2,g}) \quad (2.16)$$

Mutasyon operatörünün etkinliği ise çaprazlama aşamasında uygulanan üniform olmayan bir strateji ile sağlanmaktadır. Çaprazlamada mevcut kromozomlarda tanımlı her bir  $j$  geni

için  $rand \in [0, 1]$  türetilmesini takiben, sadece  $rand_j \leq Cr$  durumunda Denklem 2.16 ile türetilen mutasyonlu vektörün  $j$  genini kullanma ihtimali oluşur. Aksi durumda ilgili kromozomun  $j$  geni değişime uğramaz. Burada  $Cr$  çaprazlama sabiti olarak anılmaktadır. Son olarak yeni jenerasyona aktarılacak kromozomun tespitinde uygunluk fonksiyonu değeri ile (bu çalışmadaki Denklem 2.11 ile ifade edilen fonksiyon değeri) açgözlü seçim kriterine (greedy criterion) başvurulur. Mutasyona ve çaprazlamaya tabi tutulan aday kromozoma ait uygunluk fonksiyonu öncekine kıyasla iyileşiyorsa bu kromozom bir sonraki jenerasyon için hafızaya alınır ve eski vektör hafızadan silinir. Aksi durumda eski vektörün konumu korunur. Bu üçlü operatör işleyişi maksimum jenerasyon sayısı ( $iter_{max}$ ) tamamlanana kadar sürdürülür (Xu vd. 2012). Çalışmada Leon ve Xiong (2014) tarafından önerildiği gibi  $F_1$  ve  $F_2$  mutasyon faktörleri 0.3 ve 0.7 olarak sabitlenmiştir. Ayrıca çaprazlama ihtimalini arttırmak için  $Cr$  sabitinin 0.85 olarak alınması uygun bulunmuştur.

## 2.7 Hazne Performans İndisleri

Sunulan bu tez çalışmasında hazneden her bir koşul altında tahmin edilen  $RLS(t)$  ve nihai depolama hacimleri vasıtasıyla uzun dönem hazne performans indislerinin ve de sürdürülebilirliğinin sorgulanması sağlanmıştır. Kullanılan HDG modelleri kurak dönemleri minimal arz açıklarıyla atlatabilmek için muhtelif dönemlerde kısıtlama yaptığından SOP yaklaşımına kıyasla uzun dönem hacimsel güvenilirliklerde değişkenliklere sebep olabilmektedirler. Diğer yandan kullandıkları amaç fonksiyonun temel teriminin (Denklem 2.11’de ilk terim) azaltılmaya çalışılmasıyla sistem narinliği de (Vulnerability:  $Vul$ ) belirgin azalma eğiliminde olacaktır. Modeller aynı amaç fonksiyonundaki penaltı terimleri gereği depolama hacimlerini de  $V_{min}$  seviyesinden olabildiğince yüksekte tutmaya çalışmaktadırlar. Çalışmada haznenin güvenirligi zamansal güvenilirlilik indeksi ( $R_t$ ) ve hacimsel güvenilirlilik indeksi ( $R_v$ ) olmak üzere iki farklı indis ile ele alınmış ve ayrıca arz açıklarının uzun dönem şiddeti de boyutsuz narinlik indeksi ( $Vul$ ) ile ölçülmüştür. Bu indislere ait detaylar aşağıda verilmektedir.

$V_{min}$  hacminde işletilen aylar toplamı “yetersiz dönemler ( $f_p$ )” olarak kabul edilirse, boyutsuz  $R_t$  indisi değeri Denklem 2.17’deki gibi ifade edilebilmektedir (Jain, 2010).

$$R_t = 1 - \frac{f_p}{N}; \quad 0 \leq R_t \leq 1, f_p \leq N \quad (2.17)$$

Burada, N toplam işletme dönemindeki ay adedidir.

Talebin toplam işletme döneminde gerçekte hangi oranda karşılandığını ölçmeye yarayan  $R_v$  ise Denklem 2.18 ile hesaplanabilmektedir.

$$R_v = \frac{\sum_{t=1}^N RLS(t)}{\sum_{t=1}^N D(t)} \quad (2.18)$$

Literatürde boyutsuz narinlik indeksi  $V_{ul}$  ile alakalı çeşitli formülasyonlar mevcuttur (bkz. Mendoza vd. 1997; McMahon vd., 2006; Sandoval-Solis vd. 2011). Çalışmada Sandoval-Solis vd. (2011) tarafından önerilen bağıntı kullanılmıştır. Buna göre, bu indis arz açığı oluşan dönemlerde ( $Def > 0$  olan aylarda) ortalama arz açığı miktarının aynı dönemlerdeki ortalama talebe oranı ( $D_{mean}$ ) şeklinde tanımlanabilmektedir.

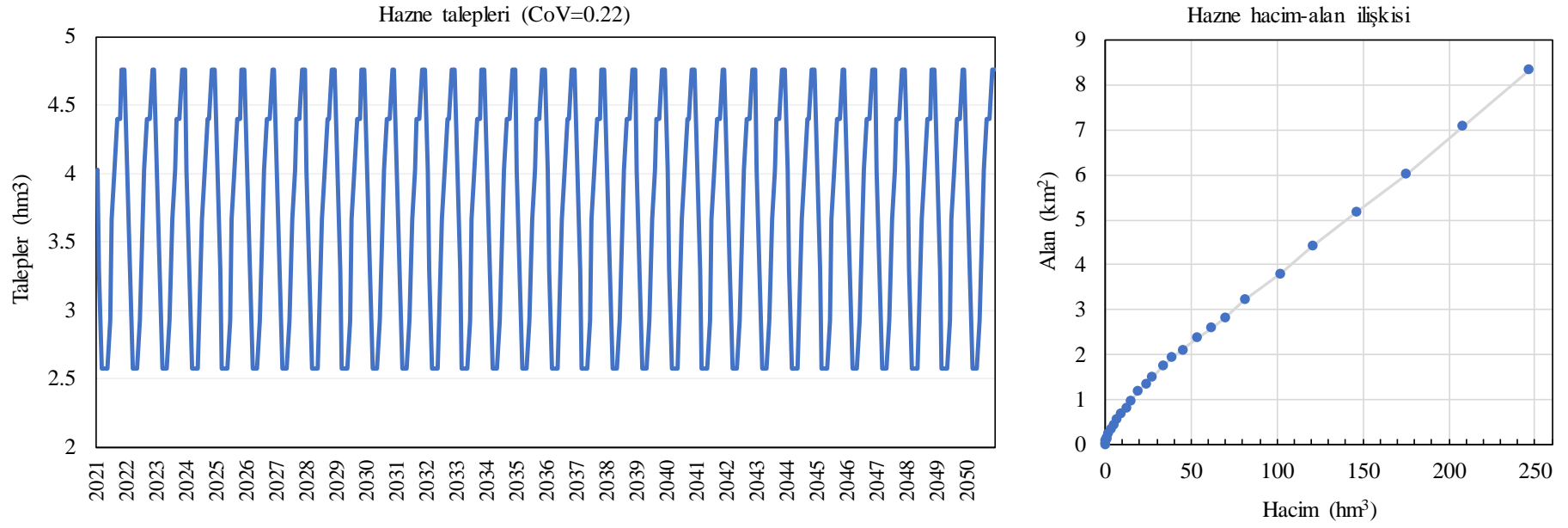
$$V_{ul} = \frac{[\sum_{t=1}^N (D(t) - RLS(t))] / Def > 0 \text{ olan ay sayısı}}{D_{mean}} \quad (2.19)$$

Literatürde yukarıdaki tarzda indisleri kombinleyerek tekil metrikler öneren çalışmalar da mevcuttur. Örneğin Zongxue vd. (1998) tarafından önerilen *kuraklık risk indisi* bunlardan biridir. Fakat hangi indisin nasıl ağırlıklandırılacağı bu tarz metriklerde sorun teşkil edebildiğinden, Sandoval-Solis vd. (2011) indislerin geometrik ortalaması şeklinde tanımlanan SI karma indisinin haznenin sürdürülebilirliği hakkında fikir verdiğini ifade etmiştir. Hazırlanan çalışmada da sistem sürdürülebilirliği SI indisi yardımıyla irdelenmiştir (Denklem 2.20).

$$SI = [R_t \times R_v \times (1 - V_{ul})]^{1/3} \quad (2.20)$$

Bölüm 2.5'in son paragrafında değinilen adımlar Şekil 2.12'te sunulan talepler doğrultusunda uygulanmıştır. Bu değerler İzmir İçmesuyu sisteminde Çağlayan haznesinden beslenmesi öngörülen şebeke bölgesinin 2040 yılı nüfus projeksiyonuna göre raporlanmış planlama talepleri olup hem 1981-2005 *hist* senaryosu döneminde, hem de 2021-2050 gelecek işletme döneminde yıllar arası üniform kabul edilmiştir.





**Şekil 2.12:** Hazne işletme optimizasyonu sürecinde kullanılan talep değerleri (sol taraf) ve baraj yeri hacim-alan ilişkileri (sağ taraf).

### 3. BULGULAR

#### 3.1 Ölçek İndirgeme Modellerinin Kalibrasyon ve Validasyon Performansları

Çalışmanın ilk aşamasında kullanılan GCM'in *hist* ve RCP senaryoları çıktılarının yapay sinir ağları ve BMA ortak kullanımına dayalı istatistiksel ölçek indirgeme modelleriyle aylık toplam yağış (P) ve aylık ortalama sıcaklık ( $T_{ort}$ ) değerlerine dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Bu maksatla öncelikle Bölüm 2.3'te açıklanan ve transfer fonksiyonu vazifesi görebilecek istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin kurulumu gerçekleştirilmiştir. Bölüm 2.2'de belirtilen Ocak 1980-Aralık 2010 dönemi dominant NCEP/NCAR tahminleyicileri ve havza ölçeğinde gözlenmiş veriler standardize edildikten sonra, bunların ilk 16 yıllık kısmı eğitimde, geri kalan 15 yıllık kısmı ise validasyonda değerlendirilmiştir. Şekil 2.6'deki paralel hibrit modelleme şeması içerisinde FFNN'nin gizli katman nöron sayısı (gkns) ve RBF'in hem gkns hem de Gauss aktivasyon fonksiyonu yayılım parametresi  $\sigma$  eğitim dönemi RMSE değerini minimum kılacak şekilde belirlenmişlerdir. Modellerin aşırı öğrenmesini önlemek adına optimal jenerasyon büyüklükleri ile eğitilmeleri sağlanmıştır. Kullanılan iki makine öğrenmesi modelinin çıktılarını BMA ile ağırlıklandırırken Raftery vd. (2005) tarafından önerilen logaritmik-olabilirlik fonksiyonunun maksimizasyonu esas alınmıştır. Bu işlemin basit analitik yöntemler ile gerçekleştirilmesi güç olup, bu aşamada E-M (expectation-maximization) algoritmasına ilişkin prosedür tatbik edilmiştir. Şekil 2.5'te belirtilen NCEP/NCAR tahminleyici setleri ile sırasıyla P ve  $T_{ort}$  hedef değişkenleri için kalibrasyonu yapılan hibrit modellere ait eğitim ve validasyon dönemi performansları Tablo 3.1'de verilmiştir. Tabloda modelleme sürecinde seçilen optimal parametreler ve Moriasi vd. (2007) kriterlerine göre performans derecelendirmeleri de ayrıca belirtilmiştir. Bulgular  $T_{ort}$  için kurulan ölçek indirgeme modellerinin eğitim ve validasyon dönemlerinde tüm indislerce *çok iyi* (VG) sınıfında olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, P için kurulan ölçek indirgeme modelleri NS ve RSR bakımından *iyi* (G) olarak derecelendirilirken, PBIAS indisi özelinde VG sınıfında performans sergilemişlerdir. Sonuçların Çağlayan baraj havzası için oldukça iyi olduğu göze çarpmakta olup, modellerin validasyon dönemi tahminleri Şekil 3.1'de gidiş grafikleri ve saçılım diyagramları ile verilmiştir.  $T_{ort}$  için elde edilen sonuçlar daha tatmin ediciyken, P için elde edilen performansların bir miktar düşük çıkması değişkenin simüle edilebilmesindeki karmaşıklık düşünüldüğünde olağan durmaktadır. Hatta çalışmada edinilen performansların benzer iklim karakteristiğine sahip havzalarda vurgulananlarla benzer olduğu da ifade edilebilir (bkz. Fistikoglu ve Okkan

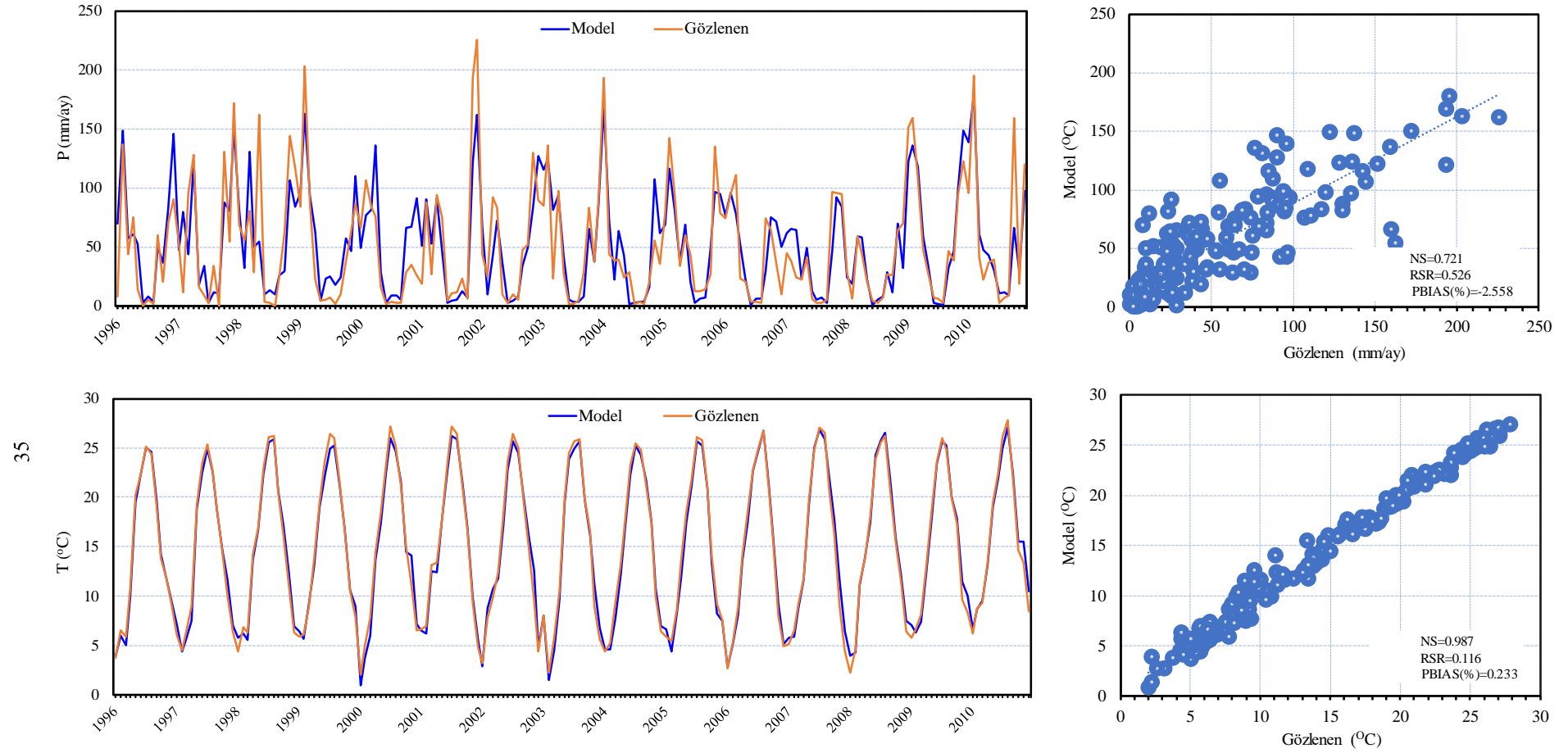
2011; Okkan ve Fistikoglu 2014; Okkan ve Inan 2015a). Netice itibari ile, kurulan hibrit model yapıları GCM çıktılarının havza ölçeğine indirgenmesi sürecinde güvenle kullanılabilir düzeyde bulunmuşlardır.

**Tablo 3.1:** Hibrit istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin eğitim ve validasyon dönemi performansları.

Hedef Değişken		NS	RSR	PBIAS (%)
P	Eğitim	0.712 (G)	0.535 (G)	1.063 (VG)
	Validasyon	0.721 (G)	0.526 (G)	-2.558 (VG)
Tort	Eğitim	0.994 (VG)	0.077 (VG)	-1.145 (VG)
	Validasyon	0.987 (VG)	0.116 (VG)	0.233 (VG)

<sup>P</sup>FFNN için gkns=6, RBF için gkns=30,  $\sigma=1.30$ , BMA'da  $W_{FFNN}=0.467$ ,  $W_{RBF}=0.533$

<sup>Tort</sup>FFNN için gkns=3, RBF için gkns=10,  $\sigma=4.60$ , BMA'da  $W_{FFNN}=0.516$ ,  $W_{RBF}=0.484$



**Şekil 3.1:** Baraj havzasında uygulanan hibrit istatistiksel ölçek indirgeme modelinin validasyon dönemi tahminlerinin gözlemlere karşı zamansal gidişi ve saçılımı (yukarıda yağış, aşağıda ise ortalama sıcaklık sonuçları paylaşılmıştır).

### 3.2 Hidrolojik Modellerin Kalibrasyon ve Validasyon Performansları

Girdi olarak alansal ortalama aylık yağış ve buharlaşma verilerine ihtiyaç duyan ve işleyişi Şekil 2.7’de gösterilen *dynwbm* ve *abcde* hidrolojik modelleri 1981-1995 su yıllarına ait gözlemler kullanılarak kalibre edilmiştir. Modeller başlangıç zemin nemi ve yeraltısuyu depolaması değerlerine aşırı hassas olmayıp bu değerler deneme-yanılmayla seçilmiştir. Kalibrasyonlarda Bölüm 2.6’da değinilen optimizasyon algoritmaları denenmiş ve en küçük RMSE değerini veren parametre tahminleri hafızaya alınmıştır. Daha sonra ölçek indirgeme modellemesindeki prosedüre benzer şekilde hidrolojik modellerin çıktılarını BMA’ya tâbi tutularak E-M algoritması altında ağırlıklandırılmaları sağlanmıştır. Kavramsal modellerin parametrelerinin global en iyi çözümleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

**Tablo 3.2:** Hidrolojik modelin kalibre edilen parametreleri.

Havza	abcde modeli parametreleri					dynwbm modeli parametreleri				
	b (mm)	a	c	d	e	S <sub>max</sub> (mm)	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	d	e
Çağlayan	220.893	0.953	0.501	0.048	0.625	288.895	0.621	0.697	0.837	0.737

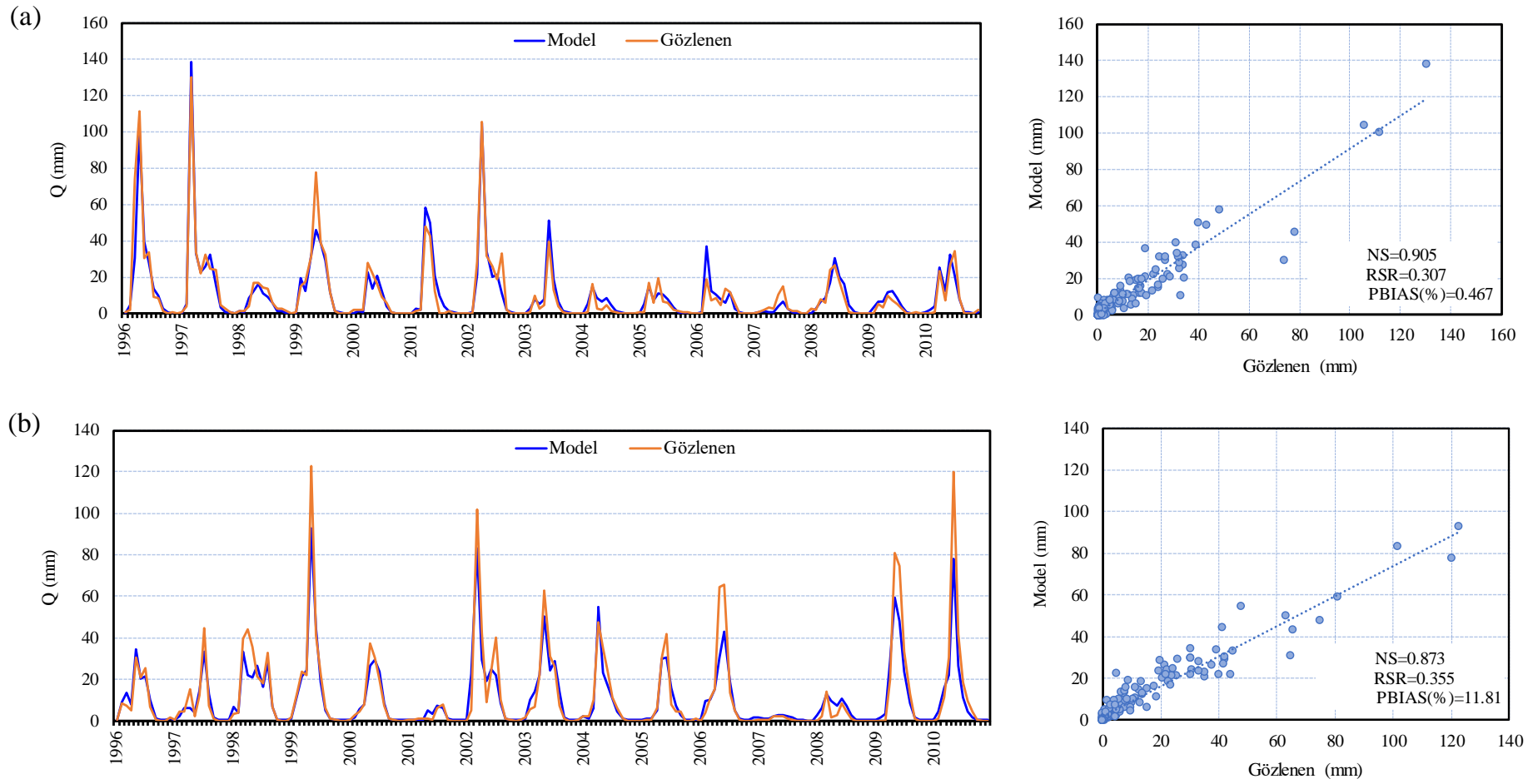
BMA ile elde edilen ağırlıklar gereği ansambl çıktılarını ( $Q_{BMA}$ ) üretirken kullanılan bağıntılar Denklem 3.1’de ifade edilmiştir.

$$Q_{BMA} = 0.45 \times Q_{abcde} + 0.55 \times Q_{dynwbm} \quad (3.1)$$

Kalibrasyonu yapılan ve çıktılarını BMA ile ağırlıklandırılan modellerin kalibrasyon ve validasyon dönemi (1996-2010 dönemi) performansları derecelendirmeleri ile birlikte Tablo 3.3’te sunulmuştur. Moriasi vd. 2007 kriterleri esas alınarak yapılan derecelendirmeye göre kalibrasyon döneminde tüm indis değerleri oldukça tatmin edici çıkmış ve VG sınıfında modellemeye atfetmiştir

**Tablo 3.3:** BMA ile ağırlıklandırılmış model çıktılarından hesaplanan eğitim ve validasyon dönemi performansları.

	NS	RSR	PBIAS (%)
Kalibrasyon	0.905 (VG)	0.308 (VG)	0.467 (VG)
Validasyon	0.873 (VG)	0.355 (VG)	11.807 (G)



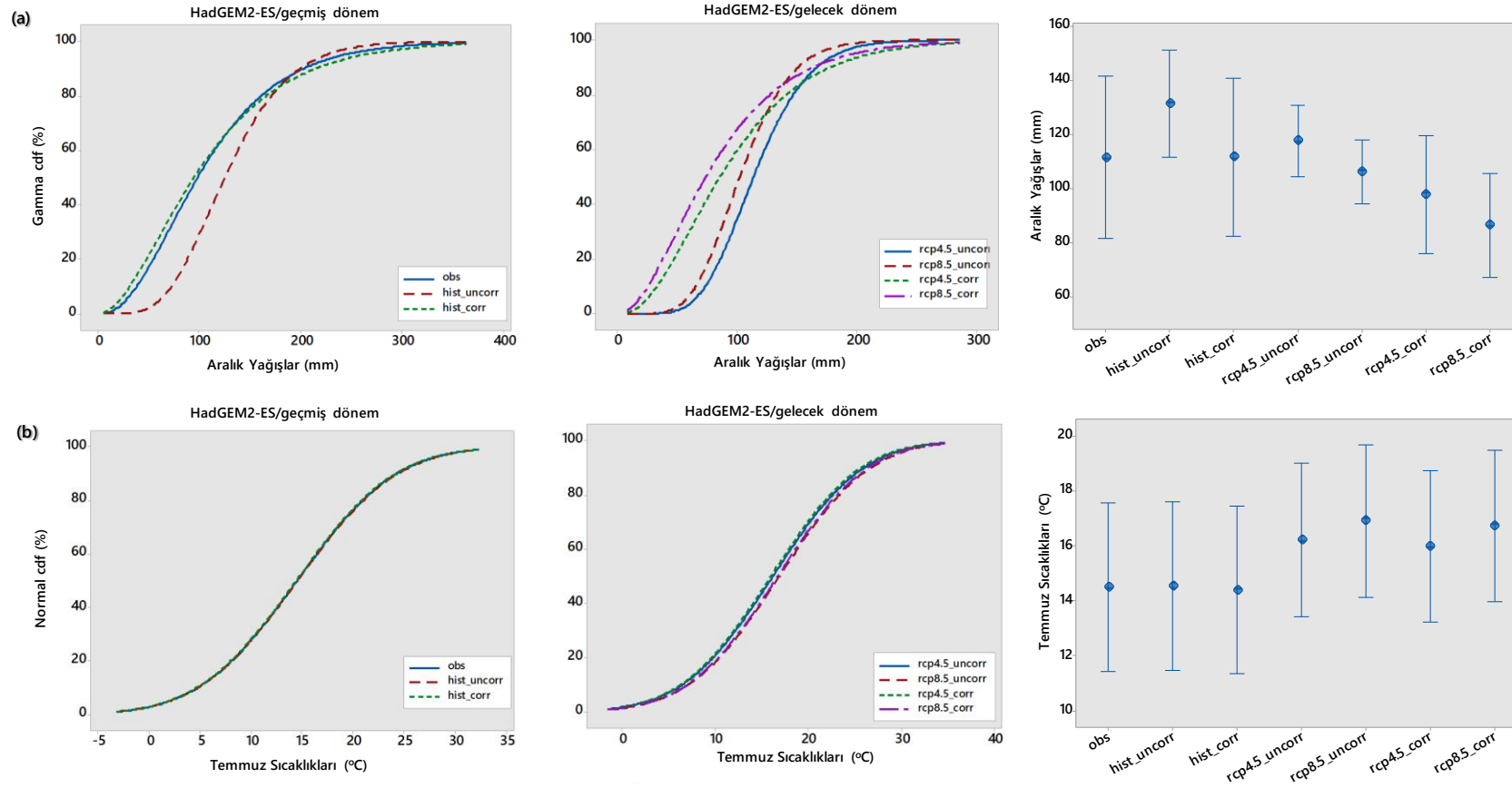
**Şekil 3.2:** Çağlayan havzasına ait (a): kalibrasyon ve (b): validasyon dönemin akış tahminleri ve saçılım diyagramları.

Validasyon dönemi performansları ise kalibrasyon dönemindekilere kıyasla bir miktar azalma sergilese de NS ve RSR indisleri bakımından modelleme sürecinin VG nitelikte olduğu ifade edilebilir. Buna karşın, PBIAS sonuçlarına göre validasyon dönemi simülasyonları kalibrasyon döneminden farklı olarak daha düşük tahminleme eğilimi sergilemiştir. Bu durum görsel olarak Şekil 3.2'ten de görülebilmektedir. Fakat yine de PBIAS indisinin G sınıfında yer alması olumlu olarak değerlendirilmiştir. Netice itibariyle, bir sonraki aşamada simülasyon performansı başarılı bulunan bu modeller vasıtasıyla senaryo esaslı indirgenmiş ve yanlılıklarından arındırılmış GCM çıktılarının akım projeksiyonlarına dönüştürülmesi sağlanmıştır.

### **3.3 Hidro-meteorolojik Projeksiyonların Elde Edilmesi**

Bu bölümde öncelikle baraj havzası ölçeğine indirgenen yağış ve sıcaklık çıktıları sistematik yanlılıklardan azami ölçüde arındırılmıştır. Bu kapsamda Bölüm 2.3'te değinilen QDM algoritmasından faydalanılmıştır. QDM seçilen bir olasılık dağılım fonksiyonu altında işletildiğinden, öncelikle verilere uygun dağılım fonksiyonuna Anderson-Darling testi ile karar verilmiştir. Buna göre, yağışlar için Gamma-2, ortalama sıcaklıklar için Normal dağılım uygunluğu altında QDM algoritması her bir ay için ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

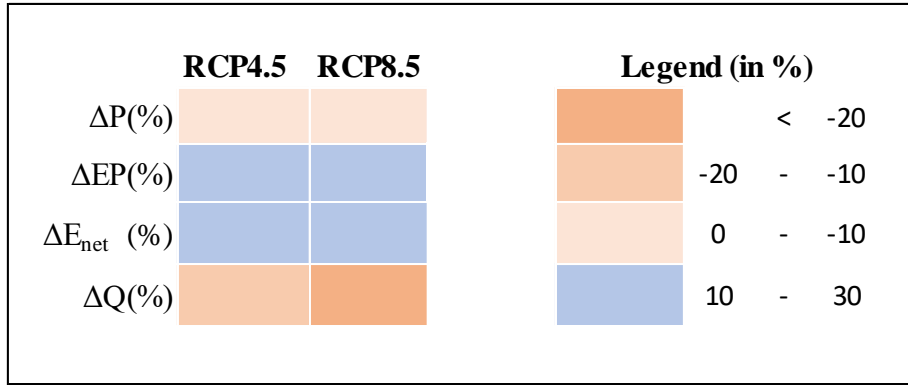
QDM sonrası her bir senaryo kapsamında elde edilen ortalama sıcaklık tahminleri havzalarda kalibrasyonu yapılan Kharrufa eşitliği ile tava buharlaşması tahminlerine dönüştürülmüştür. Sonrasında tahmini tava buharlaşmaları ve yağışlar kalibrasyon detayları Bölüm 3.2'de verilen hidrolojik modellere sunularak akım projeksiyonu (Q) türetilmesine geçilmiştir. Hidrolojik modelde işlenen bu çıktılar hazne işletme çalışmasında gerekli olan net buharlaşma yüksekliklerinin hesabına da esas teşkil etmişlerdir. Bu aşamada kullanılacak tava katsayısı 0.6 ila 0.8 arasında değişkenlik göstermekte iken, bu değer 0.7 alınması makul durmaktadır (Yıldız ve Gurer 2014).



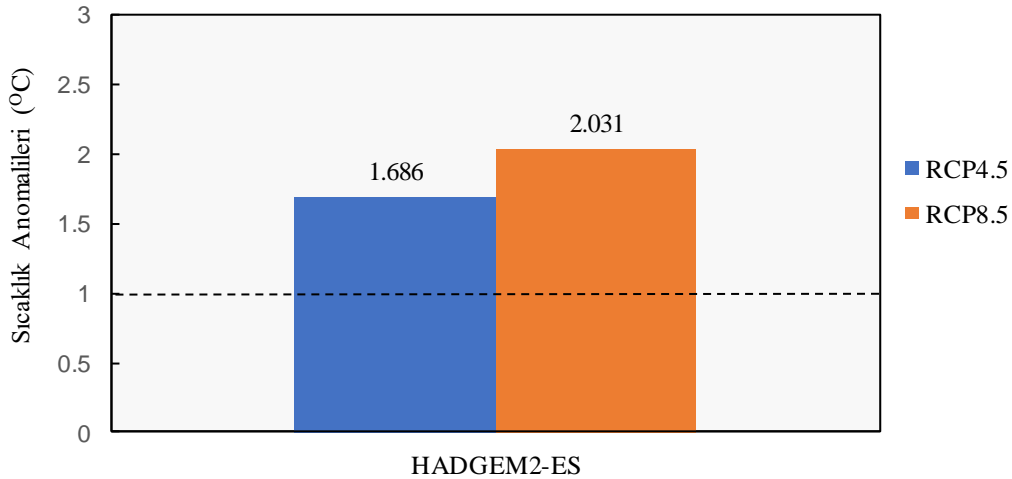
**Şekil 3.3:** HADGEM2-ES senaryo çıktılarının yanlılık düzeltme işlemi öncesi ve sonrası dağılımları: (a) Aralık ayı toplam yağışları için değerlendirme, (b) Temmuz ayı ortalama sıcaklıkları için değerlendirme (obs gözlemleri, corr ve uncorr alt indisleri sırasıyla düzeltilmiş ve düzeltilmemiş varyasyonları göstermektedir. İlk ve ikinci sütun grafikleri sırasıyla referans dönem ve 2021-2050 dönemi ampirik eklenik dağılım fonksiyonu değerleri ile oluşturulmuştur. Son sütundaki gösterimler ise ortalamanın %95 güven aralıklarını temsil etmektedir).



Çalışmada P,  $T_{ort}$ ,  $E_{pan}$ ,  $E_{net}$  ve Q değişkenleri için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında 2021-2050 gelecek döneminde öngörülen değişimler de sorgulanmıştır. Kıyaslamalar GCM'nin referans dönemi temsil eden düzeltilmiş *hist* senaryo çıktılarına göre yapılmıştır. Sıcaklık tahminleri hariç tüm değişkenlerde iki RCP senaryosu altında ortalama değerde öngörülen değişimler yüzdesel bazda Şekil 3.4 üzerinde özetlenmiştir. Hesaplar HadGEM2-ES model için yapılmıştır. Sıcaklık anomalileri ise ortalamalar arası farklar bakımından Şekil 3.5'da belirtilmiştir.



**Şekil 3.4:** HadGEM2-ES değişkenin projeksiyonunda öngörülen rölatif değişimler ( $\Delta P$ ,  $\Delta EP$ ,  $\Delta E_{net}$  ve  $\Delta Q$  sırasıyla yağış, tava buharlaşması, net buharlaşma ve hazneye giriş akımları ortalamalarındaki yüzde değişimleri temsil etmektedir).



**Şekil 3.5:** Havza için ortalama sıcaklıklarda öngörülen anomaliler (kesikli çizginin üstündeki değerler t testine göre anlamlı değişim mevcuttur).

Yukarıdaki bulgular incelediğinde, rölatif değişimlerin RCP senaryosuna bağlı olarak değişkenlik sergilediği görülebilmektedir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te belirtilen değişimlerin anlamlılığı ise Chong-Hai ve Ying (2012) çalışmasında gerçekleştirildiği gibi Student  $t$  testi ile istatistiksel olarak ortaya konmuştur.

Karşılaştırma gruplarının ortalamalarının  $H_0: \bar{x}_{RCP} = \bar{x}_{hist}$  ve  $H_1: \bar{x}_{RCP} \neq \bar{x}_{hist}$  hipotezlerine göre sınanmasında öncelikle  $t$  istatistiği hesaplanmış ve ardından seçilen bir  $\alpha$  önem seviyesinde ve  $\nu = n_1+n_2-2$  serbestlik dereceli  $t$  ( $\nu, \alpha/2$ ) kritik değeri ( $t_{kr}$ ) ile karşılaştırılmıştır. Hesaplanan  $t$  değerinin  $t_{kr}$  değerinden küçük olması durumunda karşılaştırma gruplarının ortalamaları arasında anlamlı bir farkın olmadığına ( $H_0$  hipotezinin kabulüne) karar verilmiştir.

Şekil 3.5'ten görüldüğü üzere, sıcaklık anomalilerinin Çağlayan havzasında RCP4.5 senaryosu altında  $1.69^\circ$  ve RCP8.5 senaryosu altında ise  $2.03^\circ\text{C}$  oranında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmada RCP4.5 ve RCP8.5 altında HADGEM2-ES sıcaklık değişkeni özelinde anlamlı değişim öngörülmektedir. Burada yaklaşık  $1^\circ\text{C}$  ve üstü anomalilerin  $H_1$  hipotezi koşullarına uyduğu ve anlamlı büyüklükte oldukları ifade edilebilir. Sıcaklık ve diğer değişkenler için uygulanan  $t$  testi sonuçları Şekil 3.6'de ayrıca özetlenmiş olup, buradan ortalamalar arası değişimler bakımından RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolar için anlamlılık arz eden değişkenin sıcaklık ( $T_{ort}$ ), net buharlaşma kaybı ( $E_{net}$ ) ve Epan projeksiyonu için yapılan  $t$  testi analizleri artış oranlarının anlamlı olabileceğine işaret etmekte ve anlamlı değişim gösterilmiştir.

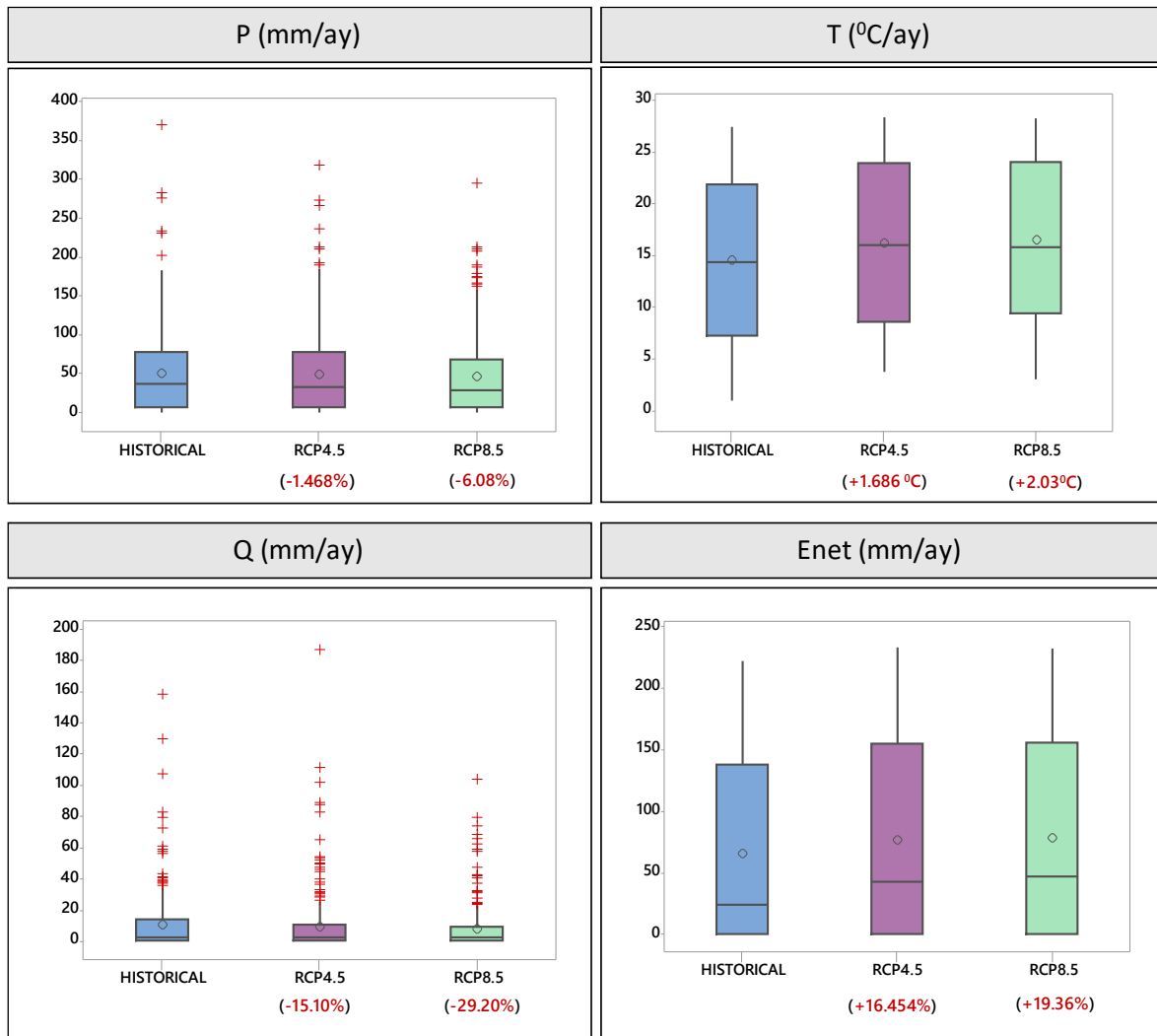
Senaryolar	$T_{ort}$	P	$E_{pan}$	$E_{net}$	Q
RCP4.5	↑		↑	↑	
RCP8.5	↑		↑	↑	↓

anlamlı olmayan değişimler
 ↑ anlamlı artış eğilimi
 ↓ anlamlı azalış eğilimi

**Şekil 3.6:** HadGEM2-ES modelin projeksiyonları için  $\alpha=0.10$  anlamlılık seviyesinde uygulanan  $t$  testi sonuçları.

Yağışlar için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında anlamlı olmayan değişim göstermektedir. Akımlarda ise RCP4.5 senaryosu altında anlamlı olmayan değişimler ve RCP8.5 ise anlamlı azalış eğilimi göstermektedir.

Netice olarak, Şekil 3.6'de özetlenen *t* testi sonuçlarına göre, incelemeye alınan değişkene ilişkin projeksiyonların beklenen değerlerinde daha fazla anlamlı değişim öngören RCP'ler genelinde dikkat çekmektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolar için üretilen senaryo sonuçları grafik olarak Şekil 3.7'da gösterilmiştir.

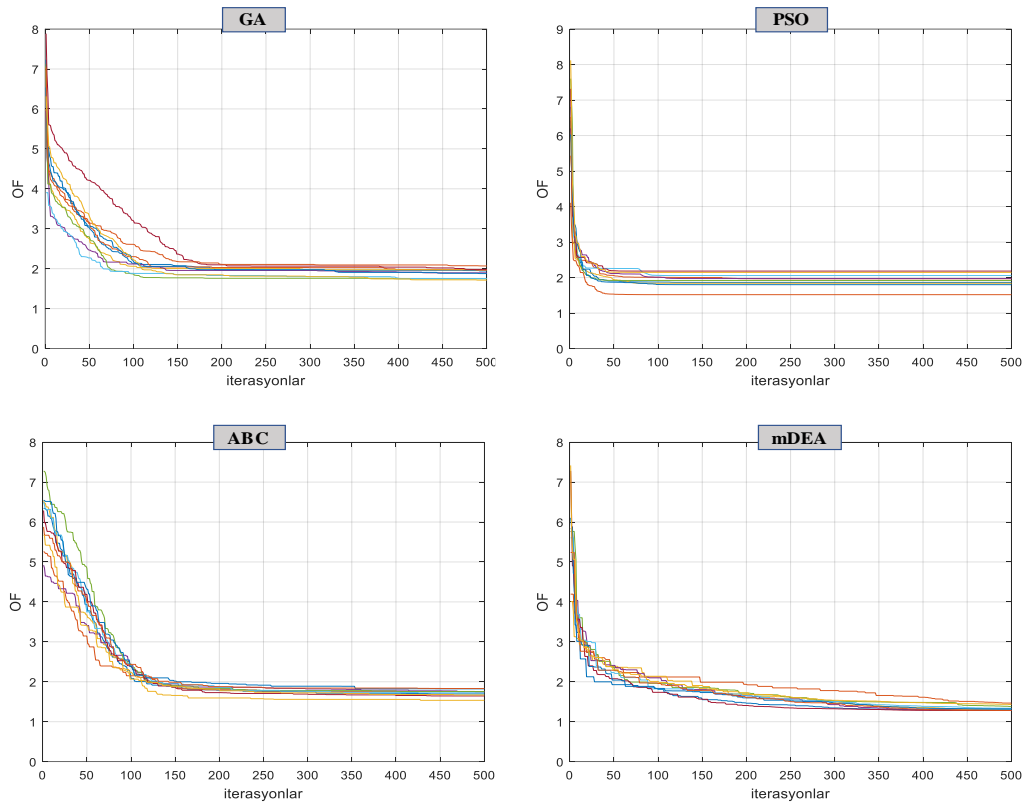


**Şekil 3.7:** HadGEM2-ES modelin kapsamında elde edilen senaryo bazlı projeksiyonların kutu grafikleri (kutulardaki elmas biçimleri ortalama değerleri, artı işaretler ise aykırı değerleri temsil etmektedir).

### 3.4 Hazne İşletme Projeksiyonları

#### 3.4.1 HDG-NL ve HDG-2D modellerinin kalibrasyonu

Bölüm 2.5'te ifade edildiği üzere, öncelikle HadGEM2-ES modelin *hist* senaryosuna ait çıktıları ile HDG-NL ve HDG-2D modellerinin kalibrasyonunun yapılması ve Rule1 kapsamında işletilecek kural parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Ardından benzer yolla aynı modelin RCP4.5 ve RCP8.5 çıktılarına adapte edilecek Rule2 parametre setlerinin türetilmesi hedeflenmiştir. Bu maksatla Bölüm 2.6'da değinilen GA, PSO, ABC ve mDEA algoritmaları Okkan ve Kirdemir (2019, 2020) çalışmalarında belirtilen kontrol parametreleri ve Denklem 2.11'de verilen OF'nin minimizasyonu esas alınarak 10 kez koşturulmuş ve tüm sonuçlar değerlendirilmek üzere depolanmıştır. Algoritma koşullarında popülasyon ve maksimum iterasyon adetleri sırasıyla 30 ve 500'e sabitlenmiştir. Mevcut talep senaryosu altında 4 adet algoritma, *hist* senaryosu ve HDG-2D kombinasyonu için çalıştırılmış algoritma yakınsama grafikleri örnek olarak Şekil 3.8 te takdim edilmiştir



Şekil 3.8: Farklı algoritmaların yakınsama eğilimlerinin sergilendiği bir örnek.

Şekil 3.8’den bazı algoritmaların göreceli olarak farklı yakınsama özelliklerine sahip olduğu net bir şekilde görülebilmektedir. Bu kapsamda He and Lin (2016) tarafından önerilen ConR geometrik ortalama yakınsama oranı her bir algoritma için hesaplanıp kıyaslanmıştır. Buna göre, GA ve ABC algoritmalarının yakınsama eğilimleri benzer çıkmıştır. PSO’nun ise mevcut koşulları içerisindeki global çözümüne daha hızlı yakınsadığı fakat bununla birlikte son iterasyonundaki çözümler arası sapmanın fazla olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ConR indeksine ilaveten tüm varyasyonlarda 500. iterasyondaki uygunluk değerlerinin ortalama ve standart sapma gibi tanımlayıcı istatistikleri (her bir algoritma için 10 tane OF değerine ilişkin  $OF_{ort}$  ve  $OF_{std}$  istatistikleri) çıkarılmıştır (Tablo 3.4).

**Tablo 3.4:** Farklı metriklere göre algoritma performanslarının kıyaslanması.

Algoritma	ConV	(rank)	$OF_{ort}$	(rank)	$OF_{std}$	(rank)	$OF_{min}$	(rank)	Ortalama rank
PSO	<b>0.014</b>	<b>1</b>	1.926	4	0.191	4	1.518	2	2.75
mDEA	0.005	4	<b>1.336</b>	<b>1</b>	<b>0.068</b>	<b>1</b>	<b>1.280</b>	<b>1</b>	<b>1.75</b>
GA	0.008	2	1.892	3	0.118	3	1.713	4	3
ABC	0.007	3	1.718	2	0.087	2	1.536	3	2.5

Aynı tabloda birbirinden bağımsız koşullar içerisinde gözlenen en küçük OF değeri ( $OF_{min}$ ) de belirtilmiş ve tüm algoritmaların ele alınan metrikler bakımından sıralamaları sağlanmıştır. Bulgulara göre, global en iyi çözümün mDEA ile elde edildiği anlaşılmaktadır.  $OF_{std}$  sonucuna göre koşullar arası kararlılık arz eden algoritma mDEA ve  $OF_{ort}$  bakımından mDEA daha üstündür. Ele alınan dört ölçüt bakımından uygulanan algoritmaların başarı sıralamalarının genel ortalamaları (Tablo 3.4’te son sütun) ABC ve mDEA algoritmalarının göreceli iyi olduklarına işaret etmektedir. Çalışmada olası tüm varyasyonlardan elde edilen sıralamalar büyük ölçüde Tablo 3.4’tekilerle benzer olup mDEA algoritmasının bir miktar daha tutarlı optimizasyon yetisine sahip olduğu gözlenmiştir. Tablo 3.6’da Rule1 kapsamında *hist*, Rule2 kapsamında ise RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında, mDEA ile kalibrasyonu yapılan HDG-NL ve HDG-2D işletme modellerinin OF ve narinlik (Vul) değerleri bakımından kıyaslamaları sunulmuştur. İki HDG modeli içerisinde uygun sonuç arz eden ölçüt değeri tabloda gri dolgulu olarak

belirtilmiştir. Bu bulgulara göre, HDG-2D modelinin GCM varyasyonunda ve özellikle değişen iklim koşulları altında uygun skorlar ürettiği görülebilmektedir.

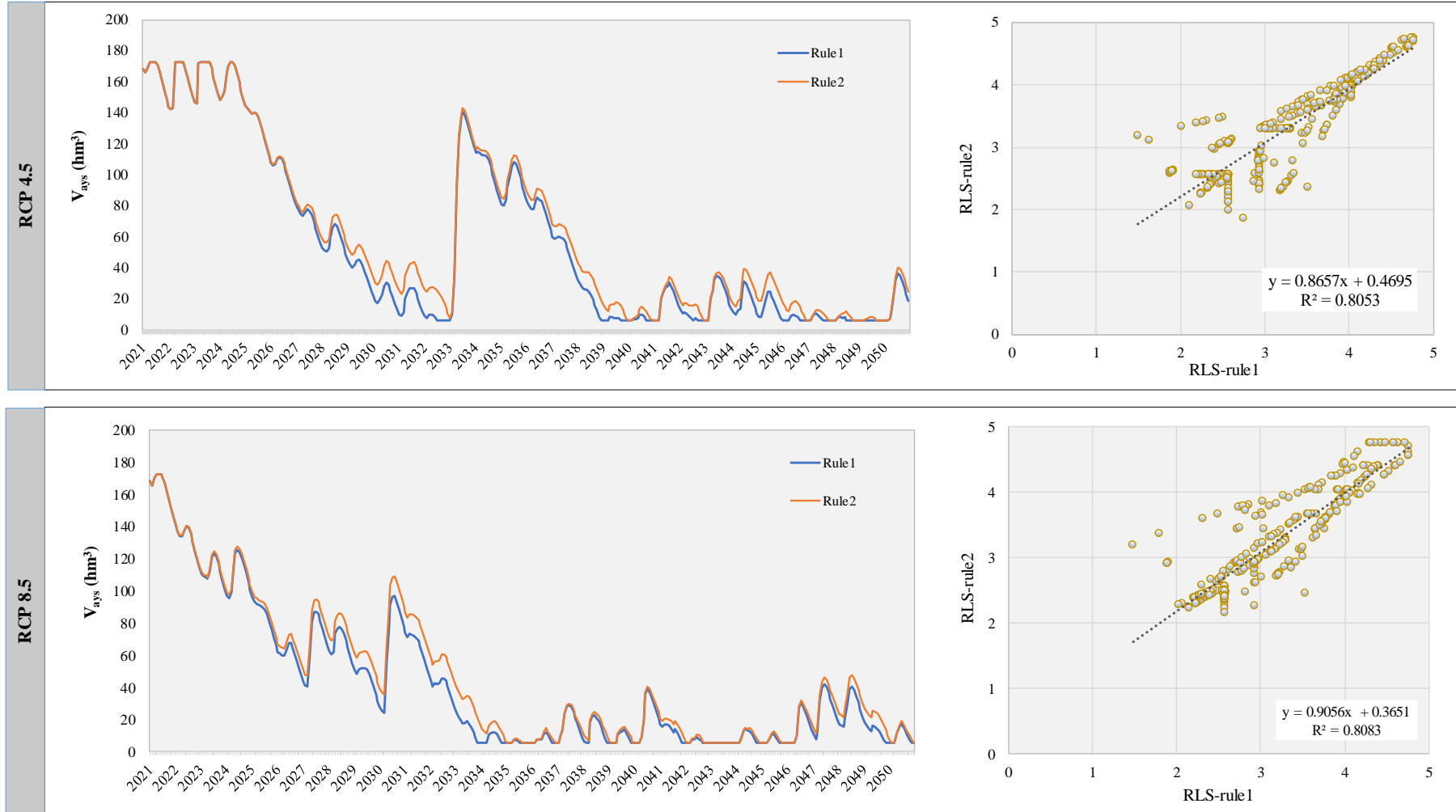
**Tablo 3.5:** Farklı iklim senaryoları altında kalibre edilen HDG modellerinin OF ve Vul skorları.

OF değerleri						Vul değerleri					
Rule1/hist		Rule2/RCP4.5		Rule2/RCP8.5		Rule1/hist		Rule2/RCP4.5		Rule2/RCP8.5	
NL	2D	NL	2D	NL	2D	NL	2D	NL	2D	NL	2D
1.77	<b>1.677</b>	28.2	<b>20.25</b>	31.95	<b>23</b>	0.1	<b>0.062</b>	0.235	<b>0.149</b>	0.229	<b>0.145</b>

### 3.4.2 RLS projeksiyonlarının irdelenmesi

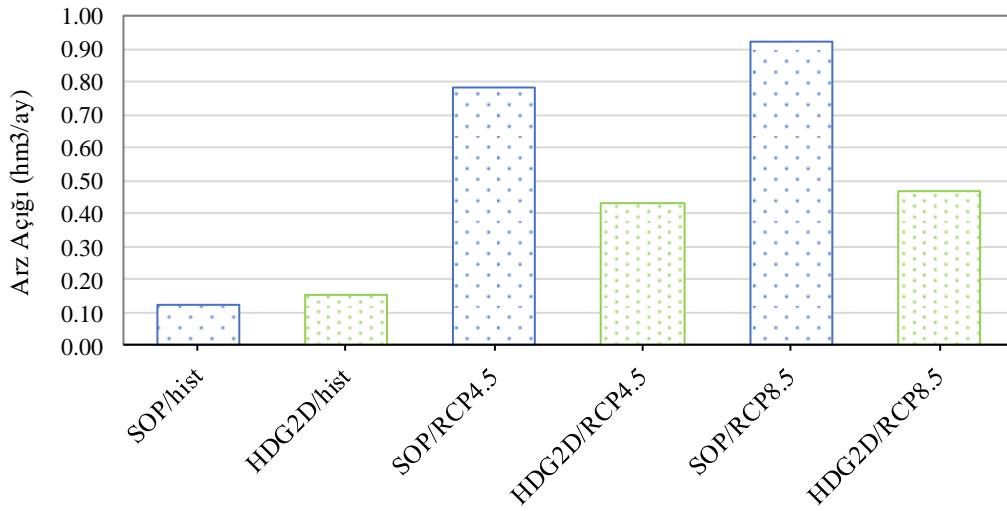
RCP senaryolarında ise HadGEM2-ES modelin genelde akımlarda azalma ve net buharlaşma kayıplarında artış öngördüklerinden optimizasyon sürecinde kısıtlamanın daha yüksek zonlarda gerçekleşmesi ihtimali oluşmuştur. Bu koşullarda Rule2 altında üretilen RLS çıktıları Rule1 ile üretilenlerden bir miktar daha küçük çıkma eğilimi göstermiştir (Şekil 3.9). Diğer yandan, her iki kural kapsamında, karar değişkeni olan *hdg*'nin RCP dönemlerinde kısıtlama uygulama frekansı sulama mevsiminde diğer aylara kıyasla daha dominant seyretmiştir. Geçmiş dönemde haznede standart işletme yapıldığı kabulü ile *hist* senaryosu GCM varyasyonu altında hazneden salınan hacimlerin ortalama değeri referans alınmış ve gelecek dönem senaryo koşulları için elde edilen rölatif tahminlerin RCP4.5 için SOP ve HDG-2D değerleri yüzde olarak -19% ve -8.6% olarak elde edilmiştir. Ayrıca RCP8.5 senaryo için SOP ve HDG-2D değerleri -23% ve -9.7% olarak elde edilmiştir.

Rule2 kapsamında RCP senaryo çıktılarına uyarlanan ve optimize edilen HDG2D modelinin gelecek dönem RLS çıktıları direkt elde edilebilmektedir. Rule1 için ise *hist* referans senaryosu altında türetilen parametreler vasıtası ile RLS projeksiyonlarına geçiş yapılmakta fakat Çağlayan barajı haznesinde değerlendirilen HADGEM2-ES iklim modeli örneğinde gösterildiği gibi (Şekil 3.9), bahsi geçen çıktıların Rule2 kapsamında elde edilenlerle benzeşimi göze çarpmaktadır.



**Şekil 3.9:** İklim modelin için Rule1 ve Rule2 çıktılarının kıyaslanması.

Bunun temel nedeni HadGEM2-ES modelin *hist* senaryo döneminde de kayda değer kuraklık yoğunluklarına sahip olmaları ve bu koşullar altında eğitilen modelin su kısıtlama karakterizasyonunun RCP dönemlerine uyum göstermesidir. Elbette *hdg* ile non-linear etkileşimi bulunan *m*'nin parametrizasyonu da işletme optimizasyonu sürecini etkilemiş ve netice itibari ile Rule1 ve Rule2 için elde edilen RLS projeksiyonları arasında doğrusal bağımlılık yüksek bulunmuştur. HDG-2D bu dönemde SOP'a benzer ve hatta bir miktar daha fazla arz açığı sergilemiştir. Bu durum Çağlayan havzası özelinde Şekil 3.10'de örneklendirilmiştir.

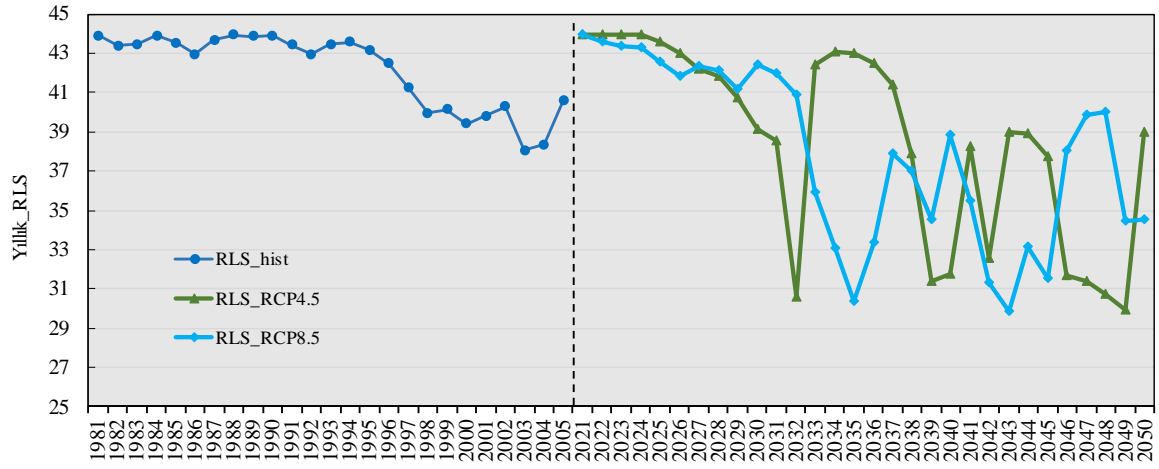


**Şekil 3.10:** SOP ve HDG-2D işletme modelleri ile referans dönemde elde edilen uzun dönem ortalama arz açıkları.

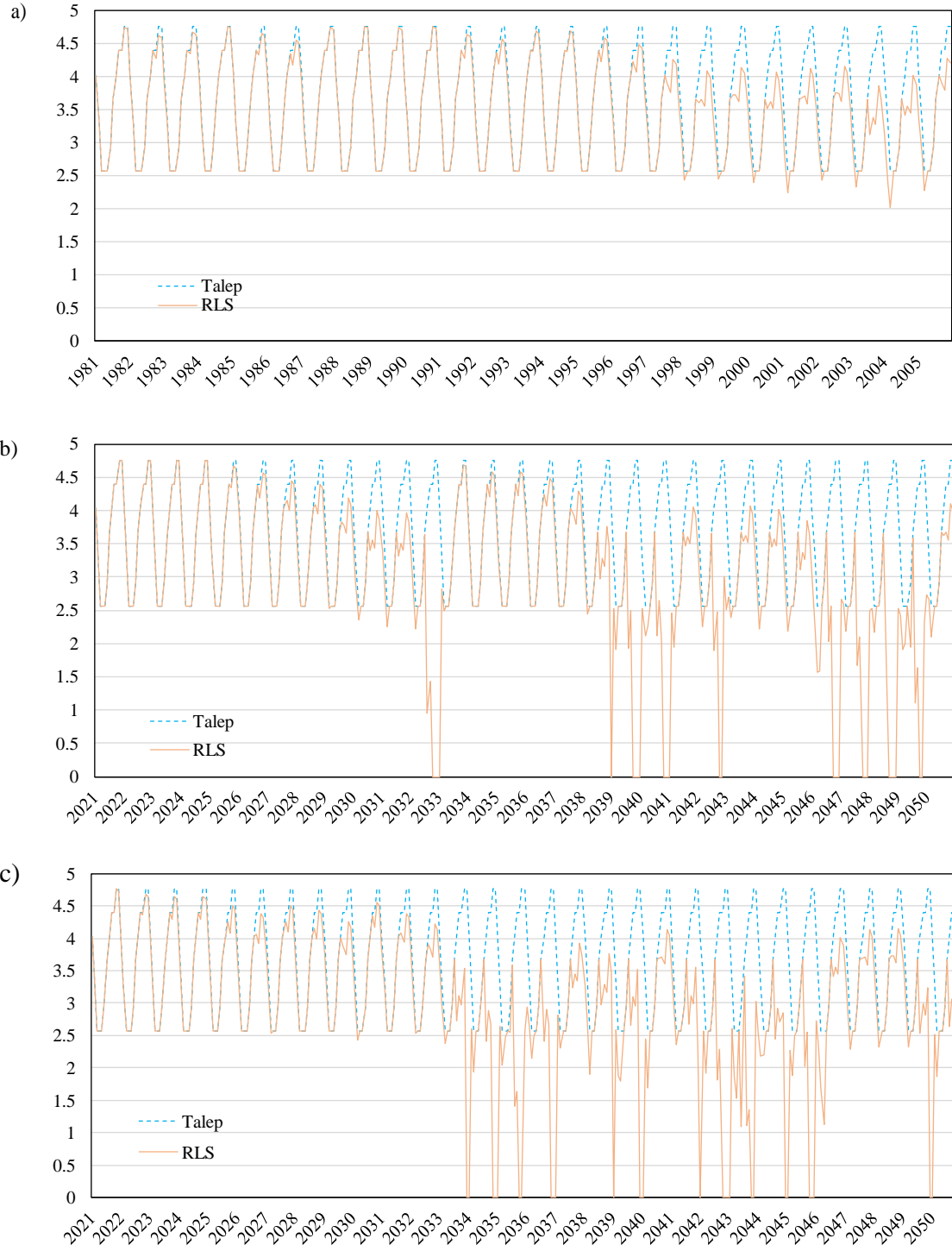
Baraj haznesi için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında SOP yaklaşımı ile salınan su hacimleri referans koşullara göre anlamlı azalma eğilimi sergilemiştir. Baraj haznesinden çekilmesi arzu edilen yıllık talep miktarının az olması (aynı zamanda talepte yıllar arası değişkenlik de daha küçüktür) HDG-2D'yi bu haznede daha etkili gösterse bile, anılan haznenin daha küçük aktif depolama hacmine sahip olması iklim değişikliği etkilerine bir miktar daha duyarlı davranış göstermesine neden olmuştur. SOP'a kıyasla HDG-2D ile RCP senaryosu altında HADGEM2-ES model için HDG2D/RCP4.5 değeri %45 ve HDG2D/RCP8.5 ise %49 daha fazla su salımı eğiliminde olunması kayda değer bulunmuştur.



Haznede tüm senaryoların altında salınan yıllık su hacimleri (Şekil 3.11) de gösterilmiştir. Ayrıca tüm senaryolar için talep ve RLS arasındaki bağlantıları (Şekil 3.12) de daha detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.11: Tüm senaryolar altında salınan yıllık su hacimleri.



**Şekil 3.12:** (a): Hist, (b): Rcp4.5 ve (c): Rcp8.5 senaryolarına ait talep ve salınabilecek su miktarlarına ait gidiş grafikleri.

### 3.4.3 Hazne performans indisleri bakımından değerlendirme

Bir önceki bölümde her bir varyasyon için elde edilen RLS ve depolama hacmi projeksiyonları talep değerleri ve aktif kapasiteleri belli olan haznelerde performans indislerinin sınanmasında da değerlendirilmiştir

Çalışmada kurgulanan HDG stratejisi iklim değişikliği etkileri altında haznelerin narinliğini hafifletebilmek için arz açıklarını hem minimum kılmayı hem de bu açıkları spesifik kural parametreleriyle işletme dönemine paylaştırmayı esas aldığından bu tespit şaşırtıcı değildir. Boyutsuz narinliğin tolere edilebilir limit değeri Adeloye ve Dau (2019) tarafından 0.25 olarak önerilmekte olup, çalışmada baraj haznesi için HDG-2D sonrası farklı varyantlar altında elde edilen *Vul* değerlerinin neredeyse tamamı bu eşliğin altında iken, SOP ile elde edilenler eşliğin oldukça uzağındadır.

Çağlayan baraj haznesi için bir önceki bölümde bahsedilen nedenlerden dolayı HDG-2D'nin SOP'a göre etkinliği daha fazladır. Özellikle *Vul* ve  $R_v$  indisleri için öngörülen iyileşmelerin sistem sürdürülebilirliğine daha fazla yansımış olması bu tespiti doğrulamaktadır.

Çalışmada HadGEM2-ES modelin ve RCP senaryo koşullarında 2021-2050 dönemi için hesaplanan performans indislerinin 1981-2005 dönemi değerlerine göre farklılıkları da vurgulanmıştır. Bu aşamada, indislerin gelecekteki değişkenliğinin direkt iklim değişikliği etkileri altında yorumlanması istenmiş olup, HDG-2D'nin gelecekte öngördüğü narinlik değerlerinin SOP ile *hist* senaryosu altında elde edilenlerden oldukça küçük olduğu bilindiğinden, karşılaştırma yapılırken hem geçmiş hem de gelecek dönemde hazne işletme optimizasyonu ile elde edilen değerler ile çalışılmıştır. Bu değişimler Tablo 3.6'de özetlenmiştir.

**Tablo 3.6:** Hazne performans indislerinde gelecekte öngörülen değişimler.

Senaryo	Rt	Rv	Vul	SI
RCP4.5	-17.09	-7.87	154.13	-11.80
RCP8.5	-21.16	-8.97	155.74	-13.64

Tablo 4.7'deki bulgulara göre baraj haznesinde  $R_v$  için öngörülen azalışlar, haznenin daha küçük aktif kapasiteli olması benzer iklim koşullarında daha fazla arz açığı vermesini tetiklemiştir. Bunlara ilaveten, haznede narinlik indisi değerleri hem *hist* hem de RCP senaryo dönemlerinde HDG-2D uygulanmasından dolayı kabul edilebilir sınırlar içerisinde olup, hazne sürdürülebilirliği için öngörülen değişimlerin sırasıyla  $R_v$  ve  $R_t$  indislerine ilişkin hesaplananlardan daha çok etkilendiği tespit edilmiştir.

Tüm bu bulgulardan anlaşılmaktadır ki iklim değişikliğinin mevcut hazneyi besleyen akımları azaltma etkisine rağmen, HDG-2D gibi tutarlı bir işletme kuralı ile gelecekteki olası hazne narinliklerinin önlenmesi ve hatta sistem sürdürülebilirliğinin artırılması mümkün olabilir. Çalışma kapsamında edinilen bu tespitin benzeri Adeloje ve Dau (2019) ve Ahmadianfar ve Zamani (2020) tarafından yürütülmüş çalışmalarda da yapılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Çeşitli emisyon senaryoları altında çalıştırılan HadGEM2-ES iklim modeli ve havza hidrolojisi modelleri baraj haznesinin gelecekte iklim değişikliği etkileri altındaki davranışını öngörmek için kullanılan önemli araçlardır. Ayrıca bu araçların entegrasyonu ile öngörülen hidro-meteorolojik projeksiyonların haznelerde arz açığı oluşturma potansiyelleri sosyo-ekonomik kuraklık ölçütü olarak değerlendirilmektedir (Ayantobo vd. 2017). Son yıllarda yayınlanan nadir sayıdaki birkaç çalışmada, haznelerin farklı GCM-RCP senaryosu varyantları altında türetilen iklim koşullarına başarılı bir şekilde adapte olmasını sağlayacak parametrizasyon-simülasyon-optimizasyon modellerinin geliştirildiği görülmektedir (örn., Adeyoye ve Dau 2019; Ahmadianfar ve Zamani 2020; Nourani vd. 2020). Bu konuları ele almak için yürütülen bu tez çalışmasında, Gediz havzasında işletilmesi planlanan Çağlayan Barajı için iklim değişikliği etkileri altında entegre edilebilecek bir hazne işletme model optimizasyonu gerçekleştirilmesi ve yorumlanması amaçlanmıştır.

Öncelikle optimal sayıda NCEP/NCAR tahminleyicileri ile eğitilen ve çeşitli performans kriterlerince doğrulanan yapay sinir ağları tabanlı bir istatistiksel ölçek indirgeme stratejisi CMIP5 arşivindeki GCM'in farklı senaryolar altındaki yağış ve sıcaklıklarını projekte etmede kullanılmıştır. Çıktılardaki yanlılıkların QDM algoritmasıyla düzeltilmesi ve herhangi bir senaryo altında GCM'in oldukça değişken anomaliler öngördüğü tespit edilmiştir. Örneğin Çağlayan baraj havzası için senaryolar ve GCM kombinasyonundan elde edilen bulgulara göre, ortalama sıcaklık anomalilerinin 1.69 ila 2.03°C arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiş olup, bunların çoğunluğu istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur.

Hidro-meteorolojik projeksiyon hazırlama işlemi takiben, HDG-NL ve HDG-2D işletme modellerinin GCM'in senaryo çıktılarına iki adet kural vasıtasıyla (Rule1 & Rule2) adaptasyonu sağlanmış ve bu aşamada parametrizasyon sürecinin evrimsel-popülasyon tabanlı mDEA algoritmasıyla daha iyi yönetildiği tespit edilmiştir. İşletme modeli bakımından ise iki boyutlu HDG-2D modelinin türdeşi olan HDG-NL'ye kıyasla daha iyi uygunluk skorları ürettiği gözlenmiştir. Akımların anlamlı azalma eğiliminde olduğu kötümser varyasyonlarda SOP yüksek narinlik sergilerken, HDG-2D'nin bilhassa bu

koşullara adaptasyonu çok daha kayda değerdir. Çağlayan haznesinin daha küçük depolama kapasitesine sahip olması hazneyi hidrolojik kuraklıklara daha hassas hale getirmesine rağmen, HDG-2D burada daha etkili sonuçlar üretmiştir. Ayrıca Çağlayan haznesinde varyasyonların genelinde HDG-2D'nin ürettiği boyutsuz narinlik indisi değerlerinin SOP'a kıyasla tolere edilebilir eşik altında olması, SI indisi üzerinde %50'nin üzerinde rölatif iyileşme elde edilmesini sağlamıştır. Buna karşın, haznedeki salınan RLS hacimlerinin esas alınan projeksiyon döneminin yaklaşık son 20 yılında anlamlı azalışa geçmesi haznenin HDG-2D işleyişi ile bile iklim değişikliği etkilerine hassas davranış gösterebileceğini vurgulamaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

- Abera, F. F., Asfaw, D. H., Engida, A. N., and Melesse, A. M., (2018). Optimal operation of hydropower reservoirs under climate change: The case of Tekeze reservoir, Eastern Nile, *Water*, 10(3), 273.
- Adeloye, A. J., and Dau, Q. V., (2019). Hedging as an adaptive measure for climate change induced water shortage at the Pong reservoir in the Indus Basin Beas River, India, *Science of the Total Environment*, 687, 554-566.
- Ahmadi, M., Haddad, O.B., and Loaiciga, H.A., (2015). Adaptive reservoir operation rules under climatic change, *Water Resources Management*, 29 (4), 1247–1266.
- Ahmadianfar, I., and Zamani, R., (2020). Assessment of the hedging policy on reservoir operation for future drought conditions under climate change, *Climatic Change*, 159(2), 253-268.
- Ashofteh, P.S., Haddad, O.B., and Marino, M.A., (2013). Climate change impact on reservoir performance indexes in agricultural water supply, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(2), 85-97.
- Ayantobo, O.O., Li, Y., Song, S., and Yao, N., (2017). Spatial comparability of drought characteristics and related return periods in mainland China over 1961–2013, *Journal of Hydrology*, 550, 549-567.
- Bayazit, M., and Ünal, N.E., (1990). Effects of hedging on reservoir performance, *Water Resources Research*, 26(4), 713-719.
- Bayesteh, J., and Shourian, M., (2019). Hedging Rules-Based Optimal Reservoir Operation Using Bat Algorithm, *Water Resources Management*, 33(13), 4525-4538.
- Bayesteh, M., and Azari, A., (2021). Stochastic optimization of reservoir operation by applying hedging rules, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(2), 04020099.

- Brekke, L.D., Maurer, E.P., Anderson, J.D., Dettinger, M.D., Townsley, E.S., Harrison, A., and Pruitt, T., (2009). Assessing reservoir operations risk under climate change, *Water Resources Research*, 45(4), W04411.
- Budyko, M., I., (1958). The Heat Balance of the Earth's Surface, *US Department of Commerce*, Washington, DC, USA.
- Cannon, A. J., Sobie, S. R., and Murdock, T. Q., (2015). Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes?, *Journal of Climate*, 28(17), 6938– 6959.
- Celeste, A.B., and Billib, M., (2009). Evaluation of stochastic reservoir operation optimization models, *Advances in Water Resources*, 32(9), 1429-1443.
- Chadwick, C., Gironás, J., Barría, P., Vicuña, S., and Meza, F., (2021). Assessing Reservoir Performance under Climate Change. When Is It Going to Be Too Late If Current Water Management Is Not Changed?, *Water*, 13(1), 64.
- Chandramouli, V., and Raman, H., (2001). Multireservoir modeling with dynamic programming and neural networks, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(2), 89-98.
- Chang, F.J., Chen, L., and Chang, L.C., (2005). Optimizing the reservoir operating rule curves by genetic algorithms, *Hydrological Processes*, 19(11), 2277-2289.
- Chen, J., Shi, H., Sivakumar, B., and Peart, MR., (2016). Population, water, food, energy and dams, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 18–28.
- Chong-Hai, X. U., and Ying, X., (2012). The projection of temperature and precipitation over China under RCP scenarios using a CMIP5 multi-model ensemble, *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 5(6), 527-533.



- Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Yazıcı, B., Eskiöglü, O., Tuvan, A., and Akçakaya, A., (2014). Climate Change Projections for Turkey with New Scenarios, *The Climate Change and Climate Dynamics Conference*, İstanbul, Türkiye.
- Draper, A. J., and Lund, J. R., (2004). Optimal hedging and carryover storage value, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(1), 83-87.
- Duan, Q., Ajami, N.K., Gao, X., and Sorooshian, S., (2007). Multi-model ensemble hydrologic prediction using Bayesian model averaging, *Advances in Water Resources*, 30(5), 1371-1386.
- Ehteram, M., Mousavi, S. F., Karami, H., Farzin, S., Singh, V. P., Chau, K. W., and El-Shafie, A., (2018). Reservoir operation based on evolutionary algorithms and multi-criteria decision-making under climate change and uncertainty, *Journal of Hydroinformatics*, 20(2), 332-355.
- Ersoy, Z.B. (2021) Dinamik Su Bütçesi Modeline Makine Öğrenmesi Entegrasyonu ile Aylık Akış Tahminlerinin İyileştirilmesi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- Ersoy, Z. B., Okkan, U., ve Fıstıkoğlu, O., (2021). Dinamik Su Bütçesi Modeline Destek Vektör Regresyonu Entegrasyonu. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(1), 237-250.
- Eum, H. I., and Simonovic, S. P., (2010). Integrated reservoir management system for adaptation to climate change: the Nakdong River Basin in Korea, *Water Resources Management*, 24(13), 3397-3417.
- Farias, C.A.S., Celeste, A.B., Sakata, Y., Kadota, A., and Suzuki, K., (2006). Use of Monte Carlo optimization and artificial neural networks for deriving reservoir operating rules, *Proceedings of Hydraulic Engineering*, 50, 25-30.
- Fıstıkoğlu, O., Özkul, S., Erlat, E., Elçi, A., Kumanlıoğlu, A., Okkan, U., ve Biberöglü, E., (2011). İklim Değişikliğinin Baraj Haznelerinin Arz Güvenilirliklerine Olan Etkilerinin Belirlenmesi, *108Y301 numaralı TÜBİTAK projesi*.

- Fıstıkoğlu, O., and Okkan, U., (2011). Statistical downscaling of monthly precipitation using NCEP/NCAR reanalysis data for Tahtali River Basin in Turkey, *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(2), 157-164.
- Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., and 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.
- Gohari, A., Bozorgi, A., Madani, K., Elledge, J., and Berndtsson, R., (2014). Adaptation of surface water supply to climate change in Central Iran, *Journal of Water and Climate Change*, 5(3), 391-407.
- Gong, W., and Cai, Z., (2013). Differential evolution with ranking-based mutation operators, *IEEE Transactions on Cybernetics*, 43(6), 2066-2081.
- Gorguner, M., and Kavvas, M. L., (2020). Modeling impacts of future climate change on reservoir storages and irrigation water demands in a Mediterranean basin, *Science of The Total Environment*, 748, 141246.
- Haddad, O.B., Hosseini-Moghari, S.M., and Loáiciga, H.A., (2016). Biogeography-based optimization algorithm for optimal operation of reservoir systems, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(1), 04015034.
- Huth, R., (1999). Statistical downscaling in central Europe: evaluation of methods and potential predictors, *Climate Research*, 13(2), 91-101.
- İsmail, T., Harun, S., Zainudin, Z. M., Shahid, S., Fadzil, A. B., and Sheikh, U. U., (2017). Development of an optimal reservoir pumping operation for adaptation to climate change, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(1), 467-476.

- Jain, S. K., (2010). Investigating the behavior of statistical indices for performance assessment of a reservoir, *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 90-96.
- Ji, C. M., Zhou, T., and Huang, H. T., (2014). Operating rules derivation of Jinsha reservoirs system with parameter calibrated support vector regression, *Water Resources Management*, 28(9), 2435-2451.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., and Zhu, Y., (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bulletin of The American Meteorological Society*, 77(3), 437-472.
- Kangrang, A., Prasanchum, H., and Hormwichian, R., (2018). Development of future rule curves for multipurpose reservoir operation using conditional genetic and tabu search algorithms, *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1–10.
- Karamouz, M., and Houck, M. H., (1982). Annual and monthly reservoir operating rules generated by deterministic optimization, *Water Resources Research*, 18(5), 1337-1344.
- Kim T, and Heo J-H., (2000). Application of implicit stochastic optimization in the Han River basin. In: Proceedings of The Fourth International Conference on Hydroscience and Engineering. Seoul, Korea: *Korean Society of Water Resources*.
- Koutsoyiannis, D., and Economou, A., (2003). Evaluation of the parameterization-simulation-optimization approach for the control of reservoir systems, *Water Resources Research*, 39(6), 1170.
- Kumar, K., and Kasthuriengan, S., (2018). Generalized linear two-point hedging rule for water supply reservoir operation, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(9), 04018051.
- Labadie, J. W., (2004). Optimal operation of multireservoir systems: state-of-the-art review, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(2), 93-111.

- Lauri, H., de Moel, H., Ward, P. J., Räsänen, T. A., Keskinen, M., and Kummu, M., (2012). Future changes in Mekong River hydrology: impact of climate change and reservoir operation on discharge, *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(12), 4603-4619.
- Leon M., and Xiong N., (2014). Investigation of Mutation Strategies in Differential Evolution for Solving Global Optimization Problems, in *Artificial Intelligence and Soft Computing*, 372-383.
- Li, L., Xu, H., Chen, X., and Simonovic, S.P., (2010). Streamflow forecast and reservoir operation performance assessment under climate change, *Water Resources Management*, 24(1), 83-104.
- Lin, G. F., and Chen, L. H., (2004). A non-linear rainfall-runoff model using radial basis function network, *Journal of Hydrology*, 289(1-4), 1-8.
- Linderson, M. L., Achberger, C., and Chen, D., (2004). Statistical downscaling and scenario construction of precipitation in Scania, southern Sweden, *Hydrology Research*, 35(3), 261-278.
- Masia, S., Sušnik, J., Marras, S., Mereu, S., Spano, D., and Trabucco, A., (2018). Assessment of irrigated agriculture vulnerability under climate change in Southern Italy, *Water*, 10(2), 209.
- Mateus, M. C., and Tullos, D., (2017). Reliability, sensitivity, and vulnerability of reservoir operations under climate change, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(4), 04016085.
- McMahon, T.A., Adeloye, A.J., and Zhou, S.L., (2006). Understanding performance measures of reservoirs, *Journal of Hydrology*, 324(1-4), 359-382.
- Mehr, A. D., Sorman, A. U., Kahya, E., and Afshar, M. H., (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey, *Hydrological Sciences Journal*, 65(2), 254–268.

- Mehta, R., and Jain, S. K., (2009). Optimal operation of a multi-purpose reservoir using neuro-fuzzy technique, *Water Resources Management*, 23(3), 509-529.
- Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K., Daniel, J.S., Kainuma, M.L., Lamarque, J.F., Matsumoto.K., Montzka.S.K., Raper.S.C.B., Riahi.K., Thomson.A., Velders.G.J.M., and Van Vuuren.D.P.P., (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300, *Climatic Change*, 109(1), 213-241.
- Men, B., Wu, Z., Li, Y., and Liu, H., (2019). Reservoir Operation Policy based on Joint Hedging Rules, *Water*, 11(3), 419.
- Mendoza, V. M., Villanueva, E. E., and Adem, J., (1997). Vulnerability of basins and watersheds in Mexico to global climate change, *Climate Research*, 9(1-2), 139-145.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., and Veith, T. L., (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Mousavi, S. J., Ponnambalam, K., and Karray, F., (2005). Reservoir operation using a dynamic programming fuzzy rule-based approach, *Water Resources Management*, 19(5), 655-672.
- Mousavi, S. J., Ponnambalam, K., Karray, F. 2007. "Inferring operating rules for reservoir operations using fuzzy regression and ANFIS", *Fuzzy Sets and Systems*, 158(10), 1064-1082.
- Nalbantis, I., and Koutsoyiannis, D., (1997). A parametric rule for planning and management of multiple-reservoir systems, *Water Resources Research*, 33(9), 2165-2177.

- Ngo, L. A., Masih, I., Jiang, Y., and Douven, W., (2018). Impact of reservoir operation and climate change on the hydrological regime of the Sesan and Srepok Rivers in the Lower Mekong Basin, *Climatic Change*, 149(1), 107-119.
- Nguyen, H., Mehrotra, R., and Sharma, A., (2020). Assessment of Climate Change Impacts on Reservoir Storage Reliability, Resilience, and Vulnerability Using a Multivariate Frequency Bias Correction Approach, *Water Resources Research*, 56(2), e2019WR026022.
- Nourani, V., Rouzegari, N., Molajou, A., and Baghanam, A. H., (2020). An integrated simulation-optimization framework to optimize the reservoir operation adapted to climate change scenarios, *Journal of Hydrology*, 587, 125018.
- Okkan, U., and Fistikoglu, O., (2014). Evaluating climate change effects on runoff by statistical downscaling and hydrological model GR2M, *Theoretical and Applied Climatology*, 117(1), 343–361.
- Okkan, U., and Inan, G., (2015). 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(11), 3274–3295.
- Okkan, U. and Kirdemir, U., (2016). Downscaling of monthly precipitation using CMIP5 climate models operated under RCPs, *Meteorological Applications*, 23(3), 514-528.
- Okkan, U., and Kirdemir, U., (2018). Investigation of the Behavior of an Agricultural-Operated Dam Reservoir Under RCP Scenarios of AR5-IPCC, *Water Resources Management*, 32(8), 2847–2866.
- Okkan, U., and Kirdemir, U., (2019). Experiment of Different Mutation Strategies in Differential Evolution Algorithm Employed for Calibration of a Lumped Water Balance Model, 4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences, SETSCI Conference Proceedings (ISAS2019), 22-24 Kasım 2019, Samsun-Turkey, 342-346.

- Okkan, U., and Kirdemir, U., (2020). Towards a hybrid algorithm for the robust calibration of rainfall–runoff models, *Journal of Hydroinformatics*, 22(4), 876-899.
- Okkan, U., and Kiymaz, H., (2020). Questioning of empirically derived and locally calibrated potential evapotranspiration equations for a lumped water balance model, *Water Supply*, 20(3), 1141-1156.
- Okkan, U., Ersoy, Z.B., Kumanlioglu A.A., and Fistikoglu, O. (2021) Embedding machine learning techniques into a conceptual model to improve monthly runoff simulation: a nested hybrid rainfall-runoff modeling, *Journal of Hydrology*, 598, 126433.
- Okkan, U., (2015). Dinamik Su Bütçesi Modeli, *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(1), 70-82.
- Okkan, U., Fıstıkoğlu, O., Ersoy, B. Z., ve Noori, T. A., (2022). Parametrik İşletme Kuralları ile İklim Değişikliği Senaryoları Altında Hazne İşletme Optimizasyonu, Tübitak Çaydag, 121Y037 numaralı proje.
- Ostadrähimi, L., Marino, M. A., and Afshar, A., (2012). Multi-reservoir operation rules: multi-swarm PSO-based optimization approach, *Water Resources Management*, 26(2), 407-427.
- Peres, D. J., Modica, R., and Cancelliere, A., (2020). Assessing Reservoir Performance under Nonstationary Conditions Induced by Climate Change: Application to Pozzillo Reservoir, Italy, *In Watershed Management 2020*, 278-285.
- Pumo, D., Arnone, E., Francipane, A., Caracciolo, D., and Noto, L. V., (2017). Potential implications of climate change and urbanization on watershed hydrology, *Journal of Hydrology*, 554, 80-99.
- Raftery, A. E., Gneiting, T., Balabdaoui, F., Polakowski, M. 2005. “Using Bayesian model averaging to calibrate forecast ensembles”, *Monthly Weather Review*, 133(5), 1155-1174.

- Rani, D., Moreira, M. M. 2010. "Simulation–optimization modeling: a survey and potential application in reservoir systems operation", *Water Resources Management*, 24(6), 1107-1138.
- Rouzegari, N., Hassanzadeh, Y., and Sattari, M. T., (2019). Using the Hybrid Simulated Annealing-M5 Tree Algorithms to Extract the If-Then Operation Rules in a Single Reservoir, *Water Resources Management*, 33(10), 3655-3672.
- Sandoval-Solis, S., McKinney, D. C., and Loucks, D. P., (2011). Sustainability index for water resources planning and management, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 137(5), 381-390.
- Sankarasubramanian, A., and Vogel, R.M., (2002). Annual hydroclimatology of the United States, *Water Resources Research*, 38(6), 19.
- Shahid, M., Cong, Z., and Zhang, D., (2018). Understanding the impacts of climate change and human activities on streamflow: a case study of the Soan River basin, Pakistan, *Theoretical and Applied Climatology*, 134(1), 205-219.
- Shi, L., Feng, P., Wang, B., Li Liu, D., and Yu, Q., (2020). Quantifying future drought change and associated uncertainty in southeastern Australia with multiple potential evapotranspiration models, *Journal of Hydrology*, 590, 125394.
- Shiau, J.T., and Lee, H.C., (2005). Derivation of optimal hedging rules for a water-supply reservoir through compromise programming, *Water Resources Management*, 19(2), 111-132.
- Sivapragasam, C., Sugendran, P., Marimuthu, M., Seenivasakan, S., and Vasudevan, G., (2008). Fuzzy logic for reservoir operation with reduced rules, *Environmental Progress*, 27(1), 98-103.
- Spiliotis, M., Mediero, L., and Garrote, L., (2016). Optimization of hedging rules for reservoir operation during droughts based on particle swarm optimization, *Water Resources Management*, 30(15), 5759-5778.



- Srinivasan, K., and Philipose, M.C., (1998). Effect of hedging on over-year reservoir performance, *Water Resources Management*, 12(2), 95-120.
- Storn, R., and Price, K., (1997). Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, *Journal of Global Optimization*, 11(4), 341-359.
- Tekleab, S., Uhlenbrook, S., Mohamed, Y., Savenije, H. H. G., Temesgen, M., and Wenninger, J., (2011). Water balance modeling of Upper Blue Nile catchments using a top-down approach, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(7), 2179-2193.
- Thomas, H. A., (1981). Improved methods for national water assessment: Final report, US Geol. Surv. *Water Resour. Contract WR*, 44.
- Thornthwaite, C.W., (1948). An approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Trzaska, S., Schnarr, E. (2014). A Review of Downscaling Methods for Climate Change Projections, United States Agency for International Development by Tetra Tech ARD: Pasadena, CA, USA.
- United Nations Environmental Programme (UNEP), (1992). World Atlas of Desertification, London.
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., and Lammers, R. B., (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth, *Science*, 289(5477), 284-288.
- Wang, J., Hu, T., Zeng, X., and Yasir, M., 2018. Storage targets optimization embedded with analytical hedging rule for reservoir water supply operation, *Water Supply*, 18(2), 622-629.

- Xu, C.Y., and Vandewiele, G.L., (1995). Parsimonious monthly rainfall-runoff models for humid basins with different input requirements, *Advances in Water Resources*, 18(1), 39-48.
- Xu, C.Y., and Singh, V. P., (2001). Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation, *Hydrological Processes*, 15(2), 305-319.
- Yang, G., Guo, S., Li, L., Hong, X., and Wang, L., (2016). Multi-objective operating rules for Danjiangkou reservoir under climate change, *Water Resources Management*, 30(3), 1183-1202.
- Yang, C., Wang, N., and Wang, S., (2017). A comparison of three predictor selection methods for statistical downscaling, *International Journal of Climatology*, 37(3), 1238-1249.
- Yasarer, L.M., and Sturm, B.S., (2016). Potential impacts of climate change on reservoir services and management approaches, *Lake and Reservoir Management*, 32(1), 13-26.
- Yeh, W.W.G., (1985). Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review, *Water Resources Research*, 21(12), 1797-1818.
- Yıldız, F., ve Gurer, İ., (2014). Sultansazlığı sulak alanı için buharlaşma yöntemlerinin karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2(3), 247-254.
- Yilmaz, K. K., and Yazicigil, H., (2011). Potential impacts of climate change on Turkish water resources: a review, *Climate Change and its Effects on Water Resources*, 105-114.
- Young, G. K., (1967). Finding reservoir operating rules, *Journal of the Hydraulics Division*, 93(6), 297-322.

- Zahraie, B., and Hosseini, S.M., (2009). Development of reservoir operation policies considering variable agricultural water demands, *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4980-4987.
- Zamani, R., Akhond-Ali, A. M., Ahmadianfar, I., and Elagib, N. A., (2017). Optimal reservoir operation under climate change based on a probabilistic approach, *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(10), 05017019.
- Zhang, L., Potter, N., Hickel, K., Zhang, Y., and Shao, Q., (2008). Water balance modeling over variable time scales based on the Budyko framework - Model development and testing, *Journal of Hydrology*, 360(1-4), 117-131.
- Zhang, W., Lei, X., Liu, P., Wang, X., Wang, H. and Song, P., (2019). Identifying the relationship between assignments of scenario weights and their positions in the derivation of reservoir operating rules under climate change, *Water Resources Management*, 33(1), 261-279.
- Zongxue, X., Jinno, K., Kawamura, A., Takesaki, S., and Ito, K., (1998). Performance risk analysis for Fukuoka water supply system, *Water Resources Management*, 12(1), 13-30.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ahmad Tamim NOORI

Doğum tarihi ve yeri : 04.06.1993-LOGAR-AFG

e-posta : t.nuri900@gmail.com

## Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2023
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2019
Lise	Mohamad Agha High School	2012