

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



**KAVRAMSAL AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELLERİNİN**  
**KIYASLANMASI**

**SAADET ALTINTAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** Doç. Dr. Umut OKKAN (Tez Danışmanı)  
Doç. Dr. Atilla MUTLU  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Ali KUMANLIOĞLU

**BALIKESİR, OCAK - 2023**

## **ETİK BEYAN**

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Kavramsal Aylık Yağış-Akış Modellerinin Kıyaslanması**” 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.

**Saadet ALTINTAŞ**

## ÖZET

**KAVRAMSAL AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELLERİNİN KIYASLANMASI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**SAADET ALTINTAŞ**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. UMUT OKKAN)**

**BALIKESİR, OCAK - 2023**

Kavramsal yağış-akış modelleri günümüzde hidrolojik işletmelerin yapılmasında yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. İklimsel değişiklikler ve daimi su tüketimi gibi faktörler göz önüne alındığında haznelerinin ön çalışmalarının yapılması ve yeniden yapılandırmalarda yağış-akış modellerinin yeri büyüktür. Tekli modellerdeki belirsizlikler dikkate alındığında çoklu model kullanımının daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Hazırlanan çalışmada Gediz Havzası'na ait işletmeye açılmamış Çağlayan ve Gördes Barajlarının Abcde, Awbm-6p, Dynwb, Gr2m, Guo-3p, Guo-5p, Temez ve Twwb olmak üzere 8 farklı kavramsal aylık yağış-akış modeli kullanılarak yapılmış olup bu barajlara ait tekli modellerin Bayes Model Ortalaması (BMO) yöntemiyle çoklu modelleri oluşturulmuştur. Birçok farklı kombinasyonla her iki havza için oluşturulan versiyonlardaki ansambl modeller tekli modellerle performans ölçütleri açısından kıyaslanmıştır. Bu çalışma sonucunda tekli modellerde Gr2m'nin en iyi performansı verdiği görülürken ansambl modellerde üçlü kombinasyona ait modellerinin ansambl versiyonu en iyi performansı vermiştir.Yapılan çalışma kapsamında çoklu model kombinasyonlarının tekli modellerden daha verimli çalıştığı gözlenmiştir. Ancak BMO'nun en iyi performansı veren tekli modelin tayininde geliştirmeye açık olduğu kanısına varılmıştır. Elde edilen verilerin barajların işletilmesinde ve iklimsel değişiklikler altında farklı senaryolara uyarlanıp kullanılması amaçlanmaktadır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Kavramsal aylık yağış-akış modelleri, Bayes Model Ortalaması (BMO) Yöntemi, Parametre optimizasyonu, Çağlayan Barajı, Gördes Barajı

Bilim Kod / Kodları : 91106/ 91120/ 91122

Sayfa Sayısı : 64

## **ABSTRACT**

### **COMPARİSON OF CONCEPTUAL MONTHLY RAINFALL-RUNOFF MODELS MSC THESIS**

**SAADET ALTINTAŞ  
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
CIVIL ENGINEERING  
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. UMUT OKKAN )**

**BALIKESİR, JANUARY - 2023**

Conceptual rainfall-runoff models are one of the most widely used methods in the construction of hydrological enterprises today. Considering factors such as climatic changes and permanent water consumption, rainfall-runoff models have a great place in the preliminary studies and reconstructions of the reservoirs. Due to the uncertainties of single models, it is thought that the use of multiple models will give better results. The prepared study was carried out by using 8 different conceptual monthly rainfall-runoff models of the Çağlayan and Gördes Dams which belong to the Gediz Basin, which is not ready for use yet. These models include Abcde, Awbm-6p, Dynwb, Gr2m, Guo-3p, Guo-5p, Temez and Twwb. Multi models were performed with the Bayesian Model Averaging (BMA) method. The ensemble models in the versions created for both basins with many different combinations were compared with the single models in terms of performance criteria. As a result of this study, it was seen that the Gr2m gave the best performance among the individual models, while the ensemble version of the triple combination models in ensemble models gave the best performance. It was observed that multi-model combinations have performed more efficiently than single models have done. However, it was concluded that the determination of the single model with the best performance of BMO is open to improvement. It was aimed to adapt and use the obtained data to different scenarios in the operation of dams and under climatic changes.

**KEYWORDS:** Conceptual monthly rainfall-runoff models, Bayesian Model Averaging (BMA) Method, Parameter optimization, Çağlayan Dam, Gördes Dam

Science Code / Codes : 91106/ 91120/ 91122

Page Number : 64

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Genel .....	1
1.2 Literatür Özeti .....	3
1.3 Amaç ve Kapsam .....	5
<b>2. YÖNTEM</b> .....	<b>6</b>
2.1 Kavramsal Aylık Yağış-Akış Modelleri .....	6
2.1.1 Abcde Modeli .....	6
2.1.2 Avusturalyan Su Bütçesi Modeli .....	7
2.1.3 Dinamik Su Bütçesi Modeli .....	9
2.1.4 Guo-3p Modeli .....	11
2.1.5 Guo-5p Modeli .....	12
2.1.6 Gr2m Modeli .....	14
2.1.7 Temez Modeli .....	15
2.1.8 Thorntwaite Su Bütçesi Modeli .....	17
2.2 Bayes Model Ortalaması (BMO) Yöntemi .....	19
2.3 Performans Kriterlerinin Belirlenmesi .....	21
<b>3. VERİLER</b> .....	<b>23</b>
3.1 Uygulama Havzasının Genel Özellikleri .....	23
3.2 Aylık Toplam Yağış, Sıcaklık ve Akım Verileri .....	23
3.3 Tava Buharlaşması Verileri .....	25
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>26</b>
4.1 Model Performanslarının Kıyaslanması .....	26
4.1.1 Abcde Modelinin Değerlendirilmesi .....	26
4.1.2 Awbm Modelinin Değerlendirilmesi .....	29
4.1.3 Dynwb Modelinin Değerlendirilmesi .....	31
4.1.4 Guo-3p Modelinin Değerlendirilmesi .....	34
4.1.5 Guo-5p Modelinin Değerlendirilmesi .....	36
4.1.6 Gr2m Modelinin Değerlendirilmesi .....	38
4.1.7 Temez Modelinin Değerlendirilmesi .....	41
4.1.8 Twwb Modelinin Değerlendirilmesi .....	43
4.2 BMO Modellerinin Oluşturulması .....	46
<b>5. SONUÇLAR</b> .....	<b>53</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>64</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Abcde modelinin işleyişi .....	6
Şekil 2.2: Awbm modelinin çalışma mekanizması.....	8
Şekil 2.3: Dynwb modelinin işleyişi (Okkan ve Kirdemir, 2016) .....	10
Şekil 2.4: Guo-5p modelin işleyişi.....	12
Şekil 2.5: Gr2m modelinin işleyişi (Mouelhi vd., 2016) .....	14
Şekil 2.6: Temez modelinin işleyişi (Sanchez vd., 2019).....	16
Şekil 2.7: Twwbm modelinin çalışma mekanizması .....	19
Şekil 3.1: Çalışma havzasının konumu .....	24
Şekil 4.1: Abcde modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi .....	27
Şekil 4.2: Abcde modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981-2010)	28
Şekil 4.3: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Abcde modeline ait gözlenen- modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).....	28
Şekil 4.4: Awbm-6p modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi.....	29
Şekil 4.5: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Awbm modeline ait gözlenen- modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).....	30
Şekil 4.6: Awbm-6p modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981- 2010).....	31
Şekil 4.7: Dynwb modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi .....	32
Şekil 4.8: Dynwb modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981- 2010).....	33
Şekil 4.9: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Dynwb modeline ait gözlenen- modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).....	33
Şekil 4.10: Guo-3p modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi.....	34
Şekil 4.11: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Guo-3p modeline ait gözlenen- modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010) .....	35
Şekil 4.12: Guo-3p modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981- 2010).....	36
Şekil 4.13: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Guo-5p modeline ait gözlenen- modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).....	37
Şekil 4.14: Guo-5p modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981- 2010).....	38
Şekil 4.15: Gr2m modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi .....	39
Şekil 4.16: Gr2m modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981-2010)	40
Şekil 4.17: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Gr2m modeline ait gözlenen- modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).....	41
Şekil 4.18: Temez modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981- 2010).....	42
Şekil 4.19: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Temez modeline ait gözlenen- modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).....	43
Şekil 4.20: Twwb modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi.....	44
Şekil 4.21: Twwb modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981- 2010).....	45
Şekil 4.22: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Twwb modeline ait gözlenen- modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).....	45
Şekil 4.23: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarına ait modellerin performans ölçütleri ....	46

<b>Şekil 4.24:</b> Ansaabl modellere ait performans kriterlerinin kıyaslanması.....	50
<b>Şekil 4.25:</b> En iyi k-girdili doğrusal kombinasyonlara ilişkin ortalama hata değerlerinin değişimi ( $k=1-6$ ) .....	51
<b>Şekil 5.1:</b> Zemin nemi depolaması parametresine ait model çıktılarının kıyaslanması.....	53
<b>Şekil 5.2:</b> BMO yaklaşımıyla elde edilen ağırlıkların modellere göre dağılımı .....	55
<b>Şekil 5.3:</b> Model serilerinin kutu diyagramı ile gösterimi (1981-2010) .....	57

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Performans kriterleri (Moriassi vd. 2007) .....	22
<b>Tablo 2.2:</b> Performans İndisinin (PI) değerlendirilmesi .....	22
<b>Tablo 3.1:</b> Kullanılan istasyonların bilgileri .....	24
<b>Tablo 4.1:</b> Baraj verilerinin Abcde modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri .....	26
<b>Tablo 4.2:</b> Abcde modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri	27
<b>Tablo 4.3:</b> Baraj verilerinin Awbm modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri .....	29
<b>Tablo 4.4:</b> Awbm modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri	30
<b>Tablo 4.5:</b> Baraj verilerinin Dynwb modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri .....	31
<b>Tablo 4.6:</b> Dynwb modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri	32
<b>Tablo 4.7:</b> Baraj verilerinin Guo-3p modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri .....	34
<b>Tablo 4.8:</b> Guo-3p modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri .....	35
<b>Tablo 4.9:</b> Baraj verilerinin Guo-5p modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri .....	37
<b>Tablo 4.10:</b> Guo-5p modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri .....	37
<b>Tablo 4.11:</b> Baraj verilerinin Gr2m modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri .....	39
<b>Tablo 4.12:</b> Gr2m modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri	40
<b>Tablo 4.13:</b> Baraj verilerinin Temez modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri ....	41
<b>Tablo 4.14:</b> Temez modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri .....	42
<b>Tablo 4.15:</b> Baraj verilerinin Twwb modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri .....	43
<b>Tablo 4.16:</b> Twwb modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri .....	44
<b>Tablo 4.17:</b> BMO tahminleyicisi niteliğindeki hidrolojik model kümeleri .....	47
<b>Tablo 4.18:</b> Çağlayan Barajı alt havzasına ait BMO modellerinin ağırlıklandırması .....	48
<b>Tablo 4.19:</b> Gördes Barajı alt havzasına ait BMO modellerinin ağırlıklandırması .....	48
<b>Tablo 4.20:</b> Tüm modellerin performans sonuçları (Çağlayan BAH) .....	49
<b>Tablo 4.21:</b> Tüm modellerin performans sonuçları (Gördes BAH) .....	49
<b>Tablo 4.22:</b> PI kriterine göre kalibrasyon ve validasyon dönemlerinin değerlendirilmesi.	51
<b>Tablo 4.23:</b> M-W testi ile BMO modellerinin uygunluğunun sınanması .....	52
<b>Tablo 5.1:</b> Modellere ait determinasyon katsayıları (1981-2010) .....	54



## **ÖNSÖZ**

Uluslararası ve ülke çapında hidrolojik araştırmalarda yoğun olarak kullanılan yağış-akış modellerinin kalibre edilip aralarında kıyas yapılarak Bayes Model Ortalaması yöntemiyle daha verimli sonuçlar alınması bu çalışmanın temel amacıdır.

Yürütölen yüksek lisans çalışmasında bana destek olan ve çalışmanın devamlılığında yol gösteren birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum Doç. Dr. Umut OKKAN'a teşekkürü bir borç bilir ve saygılarımı sunarım.

**Balıkesir, 2023**

**Saadet ALTINTAŞ**

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Genel

Su tüketimi yaşayan tüm canlılar için gerekli ve devamlılığı sağlanması gereken bir ihtiyaçtır. Belediyelerin yapmış olduğu çalışmalara göre içme suyu şebekesinden çekilen günlük ortalama kişi başına kullanılan su miktarı 217 litre olarak hesaplanmıştır. Artan nüfus ve tüketilen su miktarı ele alındığında Türkiye coğrafi konumu açısından üç tarafı denizlerle çevrili olmasına rağmen suyun canlılar tarafından kullanılması, etkili küresel problemlerden ve iklim değişikliklerinden korunması ve canlıların sel, taşkın gibi afetler karşısında hidrolik davranışın kontrol altında tutulması önem arz etmektedir. Su kaynakları sonsuz olmamakla birlikte yenilenebilir olduğundan bu kaynakların sürdürülebilirliğinin yönetim kararlarıyla sağlanması gerekmektedir. Söz konusu yönetim kararlarının sürdürülebilir olup olmadığını irdelemenin tek yolu ise bu kararların uygulanmadan önce sınanması ile mümkündür. Kararların sınanmasında ise havza sistemini bilgisayar ortamında benzeştiren hidrolojik modeller planlamacılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2001).

Var olan bir mekanizmanın prototipinin oluşturulmasına modelleme denmektedir. Drenaj, kanalizasyon, baraj gibi su döngüsüyle çalışan sistemlerin analizi yapılarak matematiksel modelinin oluşturulması ise hidrolojik modelledir. Hidrolojik tasarım ve tahmin uygulamalarının birçoğunda arazi kullanımı ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki nicel ve nitel etkisini belirlemek veya tahmin etmek için hidrolojik modellerin kullanılmasına ihtiyaç vardır (Dingman, 2002). Ayrıca hidrolojik modeller pratik debi hesaplanması, gerçekçi analizler, kalibrasyona bağlı validasyon verilerinin elde edilmesi, değişken senaryolara karşı güncelleme imkânı ve detaylı sonuçların elde edilmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Modelleme mekanizmasının verimli çalışabilmesi için meteoroloji verileri (yağış, sıcaklık, buharlaşma), akış verileri (AGİ), enkesit verileri, hazne bilgileri (işletme hacimleri, hazne alanı vs.) ilgili kurumlardan temin edilip girdi olarak kullanılmaktadır. Model girdilerinin kalibre edilmesinin sonucunda çıktılar elde edilmektedir. Bu çıktılar çalışması yapılan havzanın yağış-akış ilişkisinin çıkarılmasına, akım gözlem istasyonlarında eksik ölçülmüş verilerin tamamlanmasına, farklı senaryolar altındaki iklim değişikliklerine göre akarsu akışlarının etkilenmesine ve su kaynaklarında oluşacak sorunlara ön çözüm getirip sağlıklı planlamaların yapılmasına ışık tutmaktadır. Birçok soruna çözüm olarak kullanılan hidrolojik modeller tek tip olmayıp süreç bazlı, ölçek

bazlı ve çözüm yöntemi bazlı olarak sınıflandırılabilir. Hidrolojik modeller 4 ana başlık altında toplanmak istenirse veri temelli olan amprik modeller, kavramsal modeller, fiziksel modeller ve hibrit modeller olarak incelenebilir. Kara kutu modelleri olarak da bilinen amprik modeller, girdi (yağış) verilerek istatistiksel kavramların kullanılmasıyla çıktı (yüzeysel akış) elde edilmesi temeline dayanmaktadır. Enerji korunumu temelli kısmi diferansiyel denklemler içeren modeller ise fiziksel modeller olarak adlandırılmaktadır. Kavramsal ve fiziksel modellerin birleştirilmesiyle hibrit modeller oluşturulabilmektedir. Ara süreçlerin bilinip bilinmemesine göre sınıflandırılan gri kutu modelleri olarak da tanımlanan kavramsal yağış akış modelleri ise yüzeysel akış, sızma, yeraltı akışı, depolama, evapotranspirasyon gibi matematiksel ifadelerle bağlı olan ortalanmış ve deterministik bir hidrolojik model türüdür. Ortalanmış modeller alansal değişim gösteren hidrolojik unsurları (sızma kapasitesi, arazi kullanımı, bitki örtüsü gibi) ortalama bir değerle incelenirken deterministik modellerde, hidrolojik süreçler, fiziksel, kimyasal veya biyolojik sistemler için geliştirilmiş olup teorilere dayanır ve neden-sonuç ilişkisi içermektedir. Parametre değerleri ölçümlerle veya kalibrasyonla tayin edilmektedir (Yaykiran, 2016). Parametre optimizasyonu kapsamında en klasik yöntemlerden olan gradyan azalış algoritması, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyonlarda kullanılabilir. Wolfe tarafından 1962 yılında doğrusal olmayan genelleştirilmiş-azaltılmış gradyan yöntemine ait çalışmada kapsamlı bir inceleme yapılmıştır. Doğrusal olmayan programlamada genelleştirilmiş-azaltılmış gradyan yöntemini kullanan Excel çözücü eklentisi parametre ölçümlerinde tercih edilebilecek seçeneklerdendir. Doğru bir ölçüm elde etmek için yapılan işlemler bütününe kalibrasyon, bu işlemlerin doğruluğunun sınanmasına ise validasyon denmektedir. Değişkenlerin sayısı kullanılan modele göre atandığından seçilen modeller kalibrasyonda yeterli sonucu verirken validasyonda kötü sonuçlar bulunabilir. En iyi veriyi elde etmek için çeşitli kavramsal yağış-akış modelleriyle çalışmak daha sağlıklı analizler elde edilmesini sağlayacaktır. Zamana ve konuma bağlı olan kavramsal yağış-akış modelleri havza alanı, eldeki verilerin kalitesi, yapılan ölçümlerin gözlem uzunluğu, havzanın fiziksel ve coğrafik özellikleri, iklimsel rejim gibi değişkenlerin de etkisinde olduğundan doğrusal olmayan bir yöntemdir ve her modelde farklı sonuçlara ulaşılmaktadır. Parametrik olarak kalibre edilen kavramsal yağış-akış modelleri aylık ve günlük zaman ölçeklerinde değerlendirilebilmektedir. Yapılacak su yapısının uzun yıllardaki hesaplarının ön çalışması istendiğinden aylık yağış-akış verilerinin kullanılması alternatif sağlayacaktır. Abcde, Awbm, Dywbm (Dynamic water balance model), GR2M, Guo-3p ve 5p modelleri, Temez ve Twwbm (Thorntwaite water balance model) gibi modeller kavramsal aylık yağış-akış modellerine örnek olarak verilebilir.

## 1.2 Literatür Özeti

Türkiye’de yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılan aylık yağış-akış modeli olan dinamik su bütçesi yöntemi bazı çalışmalarda Budyko yaklaşımına dayanmakta olup Huang vd. (2001), Zhang vd. (2008), Qaiser vd. (2013), Okkan ve Kırdemir (2016) gibi birçok araştırmacının su bütçesi yönetiminde kullandığı önde modellerdendir. Abcde modeli dört parametrelili Abcd modelinin iyileştirilmiş ve parametre eklenmiş versiyonu olmakla birlikte Steinschneider vd. (2011), Polebitski vd. (2011) yaptığı iklim değişikliği tabanlı çalışmanın bütçe yöntem modeli olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda Okkan ve Kırdemir (2020) tarafından hibrit algoritma yaklaşımı çalışmada bu modele yer verilmiştir. Awbm (Austuralian water balance model) Avusturalyalı bilim adamı Boughton (2004), tarafından geliştirilmiş ve kullanılmıştır. İlerleyen zamanlarda yaygınlaşan modelin, hidrolojik modelin parametrik optimizasyonunu temel alan Jeremiah vd. (2012), iklim değişikliğinin yüzey akışına duyarlılığının tahmin edilmesini konu alan Jones vd. (2006) gibi çalışmalara da ışık tuttuğu görülmektedir. Li vd. (2015) ve Odhiambo vd. (2022) gibi kişiler tarafından diğer ülkelerde de kullanılmaya başlanmıştır. Farklı kişiler tarafından versiyonları geliştirilen Gr2m modelinin iki parametrelili versiyonu Makhlof ve Michel (1994), Mouelhi vd. (2006) Turan ve Erdoğan (2015), Sanchez vd. (2019) tarafından kullanılmıştır. Aynı zamanda günlük yağış-akışlarının kullanıldığı Gr4j modeline oldukça benzeyen beş parametrelili Gr2m modeli de mevcuttur. Traore vd. (2014), Okkan ve Kırdemir (2016) modelin beş parametrelili versiyonuyla çalışmalar yapmıştır. Xiong ve Guo (1999) tarafından iki parametrelili haliyle çalışmaya sunulan Guo-2p modeli aylık su bütçesinin modellenmesi ve bunun uygulanmasıyla literatüre geçmiştir. Çalışma kapsamında 2 parametrelili modelin geliştirilerek 3 parametrelili versiyonu kullanılmıştır. Modele ait beş parametrelili versiyonu Guo tarafından geliştirilmiş ve değişkenlerin iki parametrelili modele göre farklılaştırılmasıyla yeni bir aylık su bütçesi modeli oluşturulmuştur. İki parametrelili modelden tamamen farklı olan bu yöntem Jiang vd. (2007), Sanchez vd. (2019) tarafından birçok su bütçesi modelinin kıyaslanmasını baz alan makalelerle literatüre kazandırılmıştır. İspanyol akarsu havzalarının su bütçesi yönetiminin yapılmasında yaygın olarak kullanılan Temez modeli Temez (1977), Estrela (1999), Murillo ve Navarro (2011), Khavarian vd. (2020) gibi kişiler tarafından orta büyüklükteki havzaların analizi için kullanılmıştır. Türkiye’de yapılan su bütçesi modellemelerinde dinamik su bütçesi gibi yaygın olarak kullanılan bir diğer model de Thornthwaite Water Balance modelidir. Jiang vd. (2007) tarafından hidrolojik modellerin kıyaslanması ve Okkan (2013) tarafından iklim değişikliğinin akarsular üzerindeki etkilerinin incelenmesi gibi çalışmalarda kullanılan iki

parametrelidir. Aynı zaman da Portela vd. (2019), Mammoliti vd. (2021) gibi kişilerin çalışmalarına da konu olmuştur. Yapılan yazın araştırmasına göre kavramsal yağış-akış modellerinin çoğu hidrolojik çalışmalarda kullanıldığı gözlemlenmiştir. Çalışmaların bir kısmında iklim senaryoları ve optimizasyonlar için havzaların işletilmesine yardımcı olmuş ancak genel olarak yapılan çalışmalarda havzanın modellenmesinin yapılmasında kullanılan bu yöntemler için kıyaslamalar mevcut olsa da kapsamlı bir çalışma söz konusu olmamıştır.

Bahsi geçen modellerin kalibrasyonu tamamlandıktan sonra en doğru sonucu veren modelin kullanılması önemlidir. Bunun için model performansı kıyaslayan kriterler kullanılmaktadır. Kalibrasyon ve validasyon periyotlarının homojenliği iyi olan modellerde yüksek performans alındığından model performansının kıyaslandığı kriterlerin iki ayrı periyot için de hesaplanması gerekmektedir. Kurulan modellerin kullanılabilirliği istatistiksel ve matematiksel yöntemlerin birçoğu ile gerçekleştirilebilir. Modelin hata payının ölçülmesini temel alan hesaplardan sonra HKO (hata kareler ortalaması), NS (Nash-Sutcliffe yeterlilik katsayısı), RMSE, RSR ve Pbias gibi ölçütlerle kalibrasyon ve validasyon verileri değerlendirilmelidir. Modellerin sonuçlarını daha da iyileştirebilmek için kombinasyonlanmış tahmin sistemi kullanmak performansı daha da artıracaktır. Tekil bir hidrolojik model referans alınarak yapılan analizler belirsizlik ögeleri taşıyabilir ve modelden üretilen tahminler yeterli güvenilirlikte olmayabilir. Bu nedenle çoklu model çıktılarının sonuçlarını değerlendiren stratejilerin (multi-model ansambl) ortaya konması hidrolojik tahmin türetme safhasında daha tutarlı bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır (Okkan ve Kırdemir 2016). Çoklu model yaklaşımlarından yaygın olarak kullanıldığı bilinen Bayes Model Ortalaması (BMO) yöntemi belirsizliğin sonsal dağılıma yayılmasına izin verdiği için daha mantıklı belirsizlik bantlarının elde edilmesini sağlamaktadır (Fernandez vd. 2001). Bayes modelinin amacı en iyi modele götüren modeller bütünü yaratmaktır (Raftery vd. 1997). Model seçimine yardımcı olmak amacıyla temel olarak yönlendirilmiş istatistik literatürü, hesaplama yöntemleriyle ilgili Bayesçi model çalışmaları ve zaman serileri kriterlerini göz önüne alan birçok Bayes Model Ortalaması kullanılmış yazın mevcuttur. Moulton (1991), Draper (1994), Madigan vd. (1995), Clyde (1999), Raftery ve Zheng (2003), Hinne vd. (2020), Wang vd. (2020) gibi akademisyenlerin çalışmalarında geçmişten günümüze konu olmuştur. Verilen çalışmalarda ansambl model kullanımının tahminleyici logaritmik kuralla ölçülürse optimal sonuçlar alınabileceği ve hata kareler ortalamasının en aza indirildiği saptanmıştır. Parametre tahminleri seçilen modele göre

koşullandırılıp model seçim süreciyle ilgili belirsizlik göz ardı edilirken aynı şekilde ters mantıkla bakıldığında çoklu model kullanımında ağırlıklandırma sonuçlarına göre hangi modelin daha iyi sonuç verdiğinin analizinin yapılmasında da çalışmalara katkı sağladığı bilinmektedir. Çalışma kapsamında bahsi geçen kavramsal aylık yağış-akış modellerinin ayrı ayrı kalibrasyonu yapıp performans kriterlerine göre değerlendirildikten sonra Bayesçi Model Ortalaması yaklaşımıyla çoklu modeller elde edilecektir. BMO'nun bu çalışma da modellerin verimliliğini değerlendirecek bir diğer kriter olması elde edilecek sonuçların doğruluğunu güçlendirmektedir.

### **1.3 Amaç ve Kapsam**

Birçok kavramsal yağış-akış modeli kullanılarak oluşturulan tekli modellerin yanı sıra, BMO ile elde edilen çoklu model versiyonlarının performans kriterleriyle kıyaslanmasının yapılacağı bu çalışmada, çalışma alanı olarak Gediz Havzası'na bağlı ve daha işletmeye açılmamış olan Çağlayan ve yeni işletilmeye başlanmış Gördes Barajlarının alt havzaları incelenecektir. Ele alınacak olan barajların yağış ve sıcaklık verileri çevresinde bulunan Akhisar, Demirci, Gördes, Göl marmara, Köprübaşı, Hanya, Kavakalan, Kıranşih, Sarılar ve Yukarı Poyraz istasyonlarından ilgili meteorolojik birimlerden temin edilmiştir. Gediz Havzası'nın önemli tarım havzalarından kabul edilmesi açısından ve uygulama alanın daha önce işletmesi yapılmamış gelecek planlamalarda gündemde olacak olan bu iki barajın seçilmesi çalışmanın su yapılarının planlanması ve ön çalışma oluşturacağından dolayı önem arz etmektedir. Yürütülen tez çalışmasında 2. Bölüm başlığı altında ilgili kavramsal aylık yağış-akış modellerinin incelenmesi, Bayes Model Ortalaması yönteminin açıklanması ve performans kriterlerinin belirtilmesi, 3. Bölüm kapsamında uygulama havzasına ait genel özellikler, akış verilerinin incelenmesi, 4. Bölüm kapsamında çalışmanın havzada elde edilen verilerle uygulanması sonucundaki bulguların açıklanması ve kombine modellerin değerlendirilmesi, 5. Bölüm kapsamında ise sonuçların ayrıntılı şekilde irdelenip analizleri sunulmuştur. Yapılan çalışmanın literatürde aylık kavramsal yağış akış modelleri kapsamında daha önce işletilmemiş iki ayrı alt havza üzerinden farklı konumlardaki meteorolojik verilerin alınmasıyla karşılaştırılması yapılarak tekli modeller üzerinden en iyi performansı veren modelin tayin edilmesi açısından kullanılan model sayısının çok olması yeni yapılacak çalışmalarda çeşitlilik sağlaması hedeflenmektedir. Bununla birlikte kullanılan ek metotlarla çalışma desteklenmiş ve model akımlarının elde edilmesinde verimin artırılması açısından yapılabilecek değişiklikler ele alınmıştır.

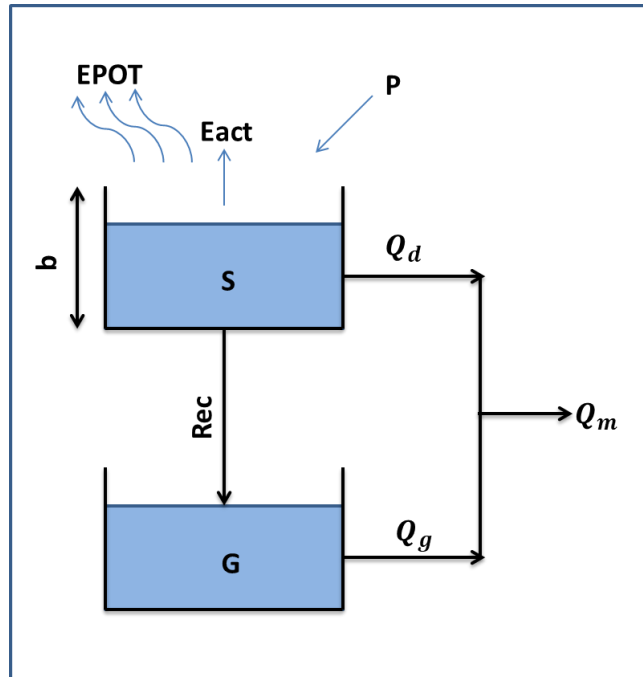
## 2. YÖNTEM

### 2.1 Kavramsal Aylık Yağış-Akış Modelleri

Kavramsal aylık yağış-akış modelleri olarak birinci bölümde belirtilen Abcde modeli, Avusturalyan su bütçesi modeli (Awbm), Dinamik su bütçesi modeli (Dynwbm), 3 parametrelili Guo Modeli (Guo-3p), 5 parametrelili Guo Modeli (Guo-5p), GR2M modeli, Temiz Modeli ve Thorntwaite su bütçesi modelinin (Twwbm) tarihçesi ve geniş kapsamlı uygulama adımları gösterilmiştir.

#### 2.1.1 Abcde Modeli

Thomas (1981) tarafından Abcd modeli olarak geliştirilen bu model daha sonralarda versiyonları türetilerek 5 parametrelili olarak kalibre edilmeye başlanmıştır (Okkan ve Kırdemir, 2020). Temelde zemin tam doygun olmasa da su fazlalığına imkân sağlayan modelin iki çeşit depolaması mevcuttur. Bunlar i. aya ait  $S_i$  olarak bilinen zemin nemi depolaması ve  $G_i$  olarak adlandırılan yeraltı suyu depolamasıdır. Zemin nemi depolanmasından kaynaklı yüzey akışı ( $Q_d$ ) ve infiltrasyon (I) çıktıları oluşur. Modelde genel anlamda yağış ( $P_i$ ) ve aylık potansiyel evapotranspirasyon ( $EPOT_i$ ) olmak üzere iki adet girdiye sahiptir. Çıktılar ise ay sonundaki yüzey nemi ( $S_i$ ), aylık kullanılabilir su miktarı ( $W_i$ ), aylık evapotranspirasyon ( $E_i$ ), yüzey akışı ( $Q_{d,i}$ ), yeraltı yüzey akışı ( $Q_{g,i}$ ), aylık yeraltı suyu depolaması ( $G_i$ ) ve toplam akıştır ( $Q_{m,i}$ ). Şekil 2.1’de modelin mekanizması verilmiştir.



Şekil 2.1: Abcde modelinin işleyişi.

İlk adım olarak aylık kullanılabilir su miktarı Denklem 2.1'den elde edilir.

$$W_i = P_i - S_{i-1} \quad (2.1)$$

Aylık kullanılabilir su miktarı,  $a$  ve  $b$  parametrelerine bağımlı olan  $Y_i$  ise denklem 2.2'de verilmiştir.

$$Y_i = \frac{W_i + b}{2 \times a} - \sqrt{\left(\frac{W_i + b}{2 \times a}\right)^2 - \frac{W_i \times b}{a}} \quad (2.2)$$

Bahsi geçen  $a$  parametresi 0 ve 1 arasındadır. Diğer bir değişken  $b$  ise Şekil 2.1'de de görüldüğü üzere optimum zemin nemi depolamasıdır. Zemin nemi depolaması aylık evapotranspirasyon değerine bağlı olarak aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$S_i = Y_i \times e^{\frac{-EPOT_i}{b}} \quad (2.3)$$

Aylık gerçek evapotranspirasyon değeri,  $Y_i$  ve zemin nemi depolamasının farkı olarak ölçülmektedir.

$$Eact_i = Y_i - S_i \quad (2.4)$$

Modelde akışın  $c$  kadarlık kısmı derine sızarken  $(1-c)$  kadarlık kısmı yüzey akışını oluşturmaktadır.

$$Q_{d,i} = (1 - c) \times (W_i - Y_i) \quad (2.5)$$

$$Re c_i = c \times (W_i - Y_i) \quad (2.6)$$

Yeraltı suyu depolaması ve yeraltı yüzey akışına ait formüller Denklem 2.7 ve Denklem 2.8'de verilmiştir.

$$G_i = maks(0, (G_{i-1} + Re c_i) \times e - Q_{g,i}) \quad (2.7)$$

$$Q_{g,i} = d \times G_i \quad (2.8)$$

Modelin  $d$  parametresi  $0 \leq d \leq 1$  olacak şekilde kalibre edildikten sonra yukarıdaki gibi hesaplanmaktadır. Son olarak modelin toplam akışı ise yeraltı akışı ve yüzey akışının toplanmasıyla elde edilmektedir.

$$Q_{m,i} = Q_{g,i} + Q_{d,i} \quad (2.9)$$

### 2.1.2 Avusturalyan Su Bütçesi Modeli

Avusturalya'daki 19 havza üzerinde kullanılmış ve Boughton tarafından 1990'lı yılların başlarında geliştirilmiş olan Avusturalyan su bütçesi modeli yağıştan kaynaklanan akışı günlük veya saatlik artışlarla hesaplayan bir modeldir (Boughton 2004). Suyun verimli kullanılması ve yönetilmesi için 2003 yılında yine Boughton tarafından saatlik bütçe yönteminin günlük versiyonu da geliştirilmiştir. Modelde diğer su bütçesi yöntemlerine





kısmi alan ve yüzey nemi depolaması kullanılırsa yağış ve akış verilerinin uygunluğu artmaktadır. Ancak parametre sayısı arttıkça kalibrasyonun güvenilirliği azalacağından 3 adet kısmi alana bağlı ölçüm yapılması çalışma için yeterli gelmektedir.

$$P_{k,i} = A_k \times P \quad (2.12)$$

$$ET_{k,i} = \min(S_{k,i} + P_{k,i}; A_k \times EPOT_i) \quad (2.13)$$

$$Ex_{k,i} = \max(0; S_{k,i} + P_{k,i} - ET_{k,i} - C_k) \quad (2.14)$$

$$S_{k,i} = (S_{k,i-1} + P_{k,i} - ET_{k,i} - Ex_{k,i}) \quad (2.15)$$

Her bir hazne için yağış, evapotranspirasyon, kavramsal kapasitenin depolama fazlası ( $Ex_k$ ) ve yüzey nemi depolaması Denklem 2.12- 2.15'te verildiği gibi hesaplandıktan sonra akış bulunabilmektedir. Burada belirtilen  $k=1, 2, 3$  olarak alınmaktadır.

$$Q_{s,i} = (1 - BFI) \times (Ex_{1,i} + Ex_{2,i} + Ex_{3,i}) \quad (2.16)$$

$$Ex_i = (Ex_{1,i} + Ex_{2,i} + Ex_{3,i}) \times BFI \quad (2.17)$$

Denklem 2.16'da verilen  $Q_s$  değeri  $BFI$  olarak simgelenen taban akış indeksi ve zemin nemi haznelerinden taşan su hacmine bağlıdır. Toplam kapasitenin depolama fazlası ( $Ex$ ) Denklem 2.17'de verilmiştir. Burada verilen  $BFI$  parametresi toplam akışın bir kesridir.

Yüzey suyunun bir kısmı akışa dönüşürken bir kısmı da yeraltı suyuna dönüşmektedir. Denklem 2.18'de verilen  $Q_g$  yeraltı suyuna ve taban akışı sabitine ( $K_b$ ) bağlıdır.

$$Q_{g,i} = G_{i-1} \times K_b \quad (2.18)$$

Yeraltı suyunun ( $G_i$ ) hesaplanması için bir  $f$  parametresi türetilmiş ve Denklem 2.19'da verilmiştir.

$$G_i = \max(0; (G_{i-1} + Ex_i) \times f - Q_{g,i}) \quad (2.19)$$

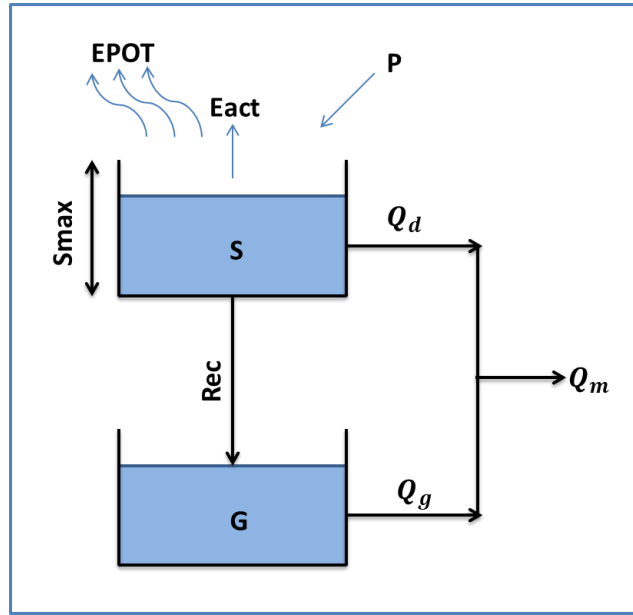
$$Q_{m,i} = Q_{s,i} + Q_{g,i} \quad (2.20)$$

Modelin toplam akışı Denklem 2.20'den elde edilmektedir.

### 2.1.3 Dinamik Su Bütçesi Modeli

Budyko (1958), yağış ve evapotranspirasyona bağlı önerilmiş olan su bütçesi modelinin daha sonra diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmesiyle Budyko yaklaşımına dayalı dinamik su bütçesi yöntemi ortaya çıkmıştır. Model günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Okkan 2015; Kırdemir 2017; Kıymaz 2018).  $S_{max}$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $d_0$  ve  $e_0$  olmak üzere 5 adet model parametresi mevcuttur. Model parametresi olarak adlandırılan  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  katsayılarının, yeraltı suyu ve yeraltı suyu akışının elde edilmesinde kullanılan  $d_0$  ve  $e_0$  parametrelerinin tanım aralığı (0,1) olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte zemin nemi

depolanmasının ulaşacağı maksimum seviye için  $S_{max}$  değişkeni mevcuttur. Şekil 2.3'te dinamik su bütçesi modelinin adımları şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.3:** Dynwb modelinin işleyişi (Okkan ve Kirdemir, 2016).

İşleyişte görüldüğü üzere hazneye gelen yağışa bağlı olarak tutulan su miktarı ( $X_i$ ) Denklem 2.21'den elde edilmektedir.

$$X_i = P_i \times \left[ 1 + \frac{S_{max} - S_{i-1} + EPOT_i}{P_i} - \left[ 1 + \left( \frac{S_{max} - S_{i-1} + EPOT_i}{P_i} \right)^{1/(1-\alpha_1)} \right]^{1-\alpha_1} \right] \quad (2.21)$$

$X_i$  dolaysız akış dışında haznenin tutulan suyunu kalibre eden  $\alpha_1$  parametresi zemin nemi depolanmasına ( $S$ ), potansiyel evapotranspirasyon değerine ( $EPOT$ ) ve yağışa ( $P$ ) göre belirlendikten sonra dolaysız akış ( $Q_{d,i}$ ) değeri aşağıdaki gibi bulunabilmektedir.

$$Q_{d,i} = P_i - X_i \quad (2.22)$$

$$w_i = X_i + S_{i-1} \quad (2.23)$$

Haznede mevcut olan su miktarı ( $w_i$ ), haznede tutulan o ayki su miktarı ve bir önceki ayın zemin nemi depolanmasının toplamına eşittir (Okkan ve Kirdemir, 2018).

$$y_i = w_i \times \left[ 1 + \frac{EPOT_i + S_{max}}{w_i} - \left[ 1 + \left( \frac{EPOT_i + S_{max}}{w_i} \right)^{1/(1-\alpha_2)} \right]^{1-\alpha_2} \right] \quad (2.24)$$

Elde edilen denklemler referans alınarak  $EPOT$ ,  $S_{max}$  ve  $w_i$ ' ye bağlı evapotranspirasyon fırsatı ( $y_i$ ) değerine Denklem 2.24'ten ulaşılmaktadır. Burada kullanılan  $\alpha_2$  parametresi evapotranspirasyon etkinliğini kontrol etmektedir. Bu doğrultuda verilen eşitliğe göre  $y_i$  ve  $\alpha_2$  parametresinin doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

Kullanılan suyun bir kısmı ( $Rec_i$ ), yeraltı suyunun biriktirme sistemine katılmaktadır.

$$Re\ c_i = w_i - y_i \quad (2.25)$$

Gerçek evapotranspirasyon değerinin bulunabilmesi için aşağıda verilen denklem kullanılmıştır (Okkan ve Kirdemir, 2018).

$$Eact_i = w_i \times \left[ 1 + \frac{EPOT_i}{w_i} - \left[ 1 + \left( \frac{EPOT_i}{w_i} \right)^{1/(1-\alpha_2)} \right]^{1-\alpha_2} \right] \quad (2.26)$$

$$S_i = maks(0, y_i - Eact_i) \quad 0 \leq S_i \leq S_{max} \quad (2.27)$$

Denklem 2.27'de verilen zemin nemi depolanmasının bulunmasına yardımcı olan eşitliğe göre zemin nemi depolamasının alt değeri 0 olup maksimum zemin nemini geçmemesi istenmektedir.

$$Q_{g,i} = d_0 \times G_{i-1} \quad (2.28)$$

$$G_i = maks(0, (G_{i-1} + Re\ c_i) \times e_0 - Q_{g,i}) \quad (2.29)$$

Yukarıda verilen denklemler incelendiğinde taban akışı ( $Q_{g,i}$ ), doğrusal yeraltı suyu haznesinin değişkeni olan  $d_0$  ve bir önceki ayın aktif yeraltı suyu depolamasına bağlıdır. Aktif yeraltı suyu depolaması ( $G_i$ ) ise yeraltı biriktirme parametresi olan  $e_0$ , yeraltı suyuna sızan su miktarı, bir önceki ayın aktif yeraltı suyu deposu ve o ayın taban akışıyla hesaplanabilmektedir.

$$Q_{m,i} = Q_{d,i} + Q_{g,i} \quad (2.30)$$

Modelin toplam akışı dolaysız akış ve taban akışın toplanmasıyla elde edilmektedir.

### 2.1.4 Guo-3p Modeli

Xiong ve Guo (1999) tarafından geliştirilmiş olan 2 parametrelili Guo modeli, aylık kavramsal yağış- akış modellerindedir. Yaygın olarak kullanılan çoğu modelin karmaşık olmasının yanı sıra, bu model gibi 2 parametreyi baz alan karışık olmayan modeller de verimli olabilmektedir. Çalışmada evapotranspirasyon değerlerine düzeltme faktörü eklenerek elde edilen Guo-3p modeline bu kapsamda çok karışık bir model olmamasından dolayı yer verilmiştir. Burada kullanılan potansiyel evapotranspirasyon değerleri bir  $\rho$  katsayısı ile düzeltilmiş olup  $\rho \times EPOT_i$  olarak yeni  $EPOT_{adj}$  değerleri elde edilmiştir. Sisteme yağış girişinin olmasıyla birlikte açığa evapotranspirasyon çıkmaktadır. Hazneye zemin nemi depolanması olacağından model akışı buradan elde edilmektedir.

$$Eact_i = \beta \times EPOT_{adj,i} \times \tanh \left( \frac{P_i}{EPOT_{adj,i}} \right) \quad (2.31)$$

Modelin birinci parametresi olan ve Denklem 2.31’de verilen  $\beta$ , yağış ve potansiyel evapotranspirasyon değerine bağlıdır.

$$S_i = \begin{cases} S_i = 0 & \text{Eğer } S_{i-1} + P_i - Eact_i < 0 \\ S_i = S_{i-1} + P_i - Eact_i - Q_{m,i} & \text{Eğer } S_{i-1} + P_i - Eact_i \geq 0 \end{cases} \quad (2.32)$$

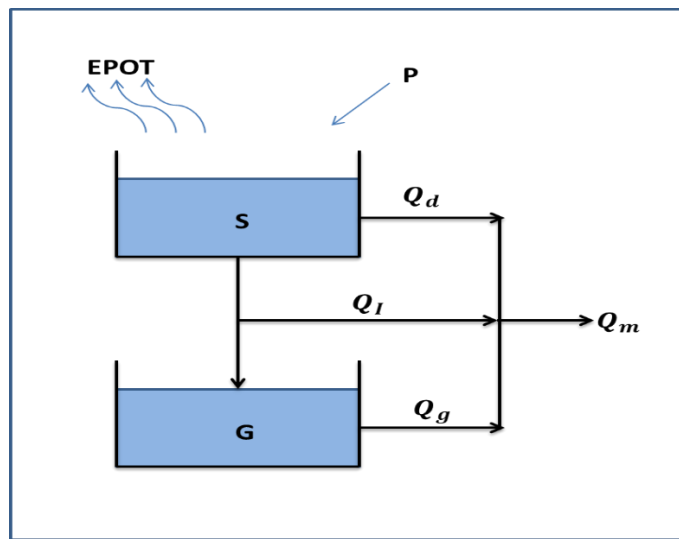
Yukarıda verilen eşitlikte zemin nemi depolanması bir önceki ayın zemin nemi depolanmasına, o ayki yağışa ve gerçek evapotranspirasyon değerine göre değişmektedir. Bu bağlamda seçilen o ayki zemin nemi depolanmasına göre Denklem 2.33’ten modelin akışı ( $Q_{m,i}$ ) çıkarılabilmektedir.

$$Q_{m,i} = (S_{i-1} + P_i - Eact_i) \times \tanh\left(\frac{S_{i-1} + P_i - Eact_i}{sc}\right) \quad (2.33)$$

Eşitliğin sağ tarafında verilen  $sc$  parametresi modelin bir diğer parametresidir.

### 2.1.5 Guo-5p Modeli

Guo-2p modelin çalışma prensibine benzer olarak türetilip geliştirilmiş olan Guo-5p modelinin kullanım alanı genellikle nem düzeyi yüksek olan havzalara daha uygundur. Modelin testi Çin’de bulunan 76 havza üzerinde yapılmıştır (Sanchez vd., 2019). Sitemin genel çalışma mekanizmasında öncelik olarak hazneye giren yağışın evapotranspirasyona dönüşümü söz konusudur. Evapotranspirasyon talebinin karşılanmasıyla zemin neminin yenilenmesi gerçekleşmektedir. Kalan su miktarı yüzey akışına ve yüzey altı akışı döngüsüne katılmaktadır. Şekil 2.4’te görüldüğü üzere sistem üç ana akışın toplam akışı meydana getirmesiyle tamamlanmaktadır.



Şekil 2.4: Guo-5p modelin işleyişi.

Öncelikle sistemin bir  $K_1$  parametresine bağlı potansiyel evapotranspirasyon değeri hesaplanmalıdır. Denklem 2.34'te bu eşitliğe yer verilmiştir.

$$EPOT_i = ET_i \times K_1 \quad (2.34)$$

EPOT değeriyle orantılı olarak haznenin zemin nemi depolanması elde edilmektedir.

$$S_i = \begin{cases} P_i > EPOT_i & S_i = S_{i-1} + P_i - EPOT_i \\ P_i < EPOT_i & S_i = S_{i-1} \times e^{-\left(\frac{EPOT_i - P_i}{C_{max}}\right)} \end{cases} \quad (2.35)$$

Zemine neminin maksimumu aşması durumunda fazla su hazneden atılır Denklem 2.36'da fazla suyun hesaplanmasına yer verilmiştir.

$$Ex_i = maks(0, S_i - C_{max}) \quad (2.36)$$

Fazla suyun bir kısmı belirli bir oranda yüzey akışını ( $Q_s$ ) oluştururken yüzey akışından arta kalan yüzey altı akışı ( $Q_l$ ) ve infiltrasyonu (I) oluşturmaktadır.

$$Q_{s,i} = C_0 \times Ex_i \quad (2.37)$$

$$WS_i = (1 - C_0) \times Ex_i \quad (2.38)$$

$$Q_{l,i} = K_2 \times WS_i \quad (2.39)$$

$$I_i = (1 - K_2) \times WS_i \quad (2.40)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde Denklem 2.37'de  $C_0$  olarak simgelenen parametre, yüzey akış katsayısıdır. Yüzey akış katsayısı sınır değerleri (0,1) arasında alınabilir. Yüzey akış katsayısının oranına bağlı elde edilen yüzey akışı değerinden arta kalan kısımda fazla suyun bir kısmı taban akışından sonra kalan su olan ve Denklem 2.38'de belirtilen  $WS_i$  değeridir. Taban akışından kalan fazla suyun bir kısmı infiltrasyonu (I) verirken bir kısmı da iç akışı vermektedir. Denklem 2.39 ve Denklem 2.40'ta yer verilen  $K_2$  parametresi havza gecikme katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Alt ve üst limitleri  $0 \leq K_2 \leq 1$  olarak alınabilir.

Hazneye giren akışın yeraltı suyu depolanmasına giden miktarını hesaplamak için Denklem 2.41'den yararlanılabilmektedir.

$$G_i = G_{i-1} + I_i - Q_{g,i-1} \quad (2.41)$$

Yeraltı suyu depolanmasından elde edilen yeraltı suyu akışı ( $Q_g$ ),  $K_3$  parametresi olan yeraltı suyu hazne katsayısı ile doğru orantılıdır.

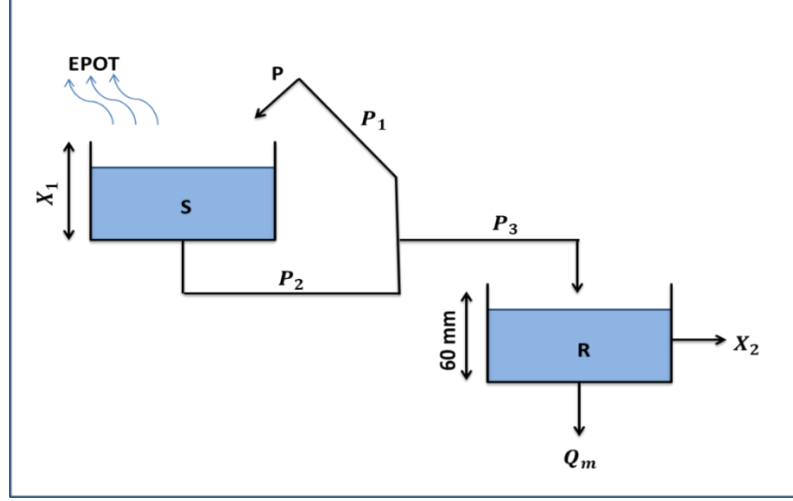
$$Q_{g,i} = K_3 \times G_i \quad (2.42)$$

Modelin toplam akışına ulaşmak için o ayki iç akış, yüzey akışı ve bir önceki ayın yeraltı suyu akışı toplanmalıdır.

$$Q_{m,i} = Q_{s,i} + Q_{l,i} + Q_{g,i-1} \quad (2.43)$$

### 2.1.6 Gr2m Modeli

Makhoulf ve Micheal (1994) tarafından kullanılan aylık PMS modelini referans alan işleyişi benzer özelliklerde olup Fransa Tarım ve Çevre Araştırma Merkezinin 1990'lı yıllarda kullandığı iki hazneli olarak çalışan bu modelin  $X_1$  ve  $X_2$  olmak üzere iki adet de parametresi mevcuttur.



Şekil 2.5: Gr2m modelinin işleyişi (Mouelhi vd., 2016).

Şekil 2.5'te görüldüğü üzere birincil hazneye ait  $X_1$  olarak bilinen parametre mm cinsinden haznenin maksimum zemin nemi depolama kapasitesini ifade ederken, ikincil haznenin maksimum depolama kapasitesi 91 farklı havza üzerinden hesaplanan kapasitelerin ortalaması alınarak 60 mm olarak sınırlandırılmıştır (Makhoulf ve Micheal, 1994). İlk ayda her birincil hazne için başlangıç zemin nemi değeri  $S_0$  gözlenmiş akım değerine yakın olması göz önüne alınarak çalışma kapsamında 0 olarak tayin edilmiştir. İkincil hazne içinde aynı şekilde  $R_0$  değeri gözlenmiş akıma yakın olmalıdır ve başlangıç değeri olarak 0 alınmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış olarak iki girdiye sahip bu modelin eşitlikleri aşağıdaki gibidir:

$$S_{1,i} = \frac{S_i + X_1 \varphi_i}{1 + \varphi_i \frac{S_i}{X_1}}, \quad \varphi_i = \tanh\left(\frac{P_i}{X_1}\right) \quad (2.44)$$

Denklem 2.44'te verilen  $\varphi$  değeri yağış ve maksimum zemin nemi depolanmasına bağlı olarak elde edildikten sonra  $S_1$  değeri bulunabilmektedir.

$$P_{1,i} = P_i + S_i - S_{1,i} \quad (2.45)$$

$P_1$  olarak verilen dolaysız akış yüksekliği Denklem 2.45'te verilen eşitliğe göre hesaplanmaktadır.

$$S_{2,i} = \frac{S_{1,i}(1-\psi_i)}{1+\psi_i\left(1-\frac{S_{1,i}}{X_1}\right)}, \quad \psi_i = \tanh\left(\frac{EPOT_i}{X_1}\right) \quad (2.46)$$

$S_1$  değeri Denklem 2.46'daki şekilde  $S_2$ 'ye dönüştürülebilmektedir.

$$S_i = \frac{S_{2,i}}{\left[1+\left(\frac{S_{2,i}}{X_1}\right)^3\right]^{1/3}} \quad (2.47)$$

Zemin nemi depolamasının güncel hali Denklemi 2.47'de gösterilmiştir. Buna bağlı olarak zemin nemi biriktirme sistemindeki fazla su ( $P_2$ ) ve net yağış ( $P_3$ ) aşağıdaki gibi elde edilebilmektedir.

$$P_{2,i} = S_{2,i} - S_i \quad (2.48)$$

$$P_{3,i} = P_{1,i} + P_{2,i} \quad (2.49)$$

Maksimum kapasitesi 60 mm olarak belirlenmiş ikincil haznenin gerçek kapasitesi olan R aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$R_{1,i} = R_i + P_{3,i} \quad (2.50)$$

$$R_{2,i} = X_2 \times R_{1,i} \quad (2.51)$$

$$Q_{m,i} = \frac{R_{2,i}^2}{R_{2,i} + 60} \quad (2.52)$$

$$R_i = R_{2,i} - Q_{m,i} \quad (2.53)$$

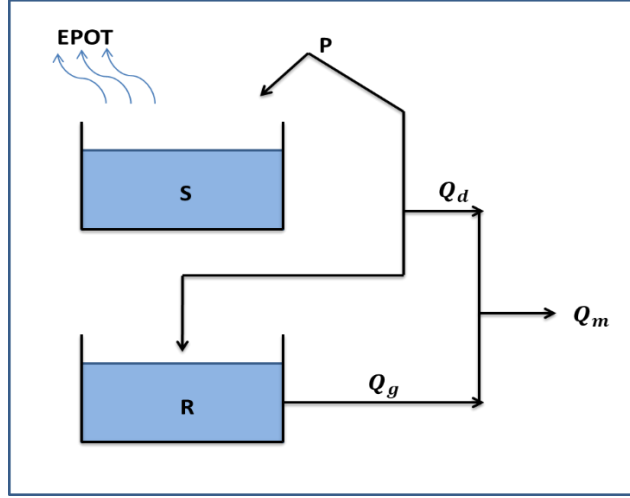
İkincil hazne kapasitesinin hesabı için gerekli olan adımlar Denklem 2.50-2.51'de gösterilmiş olup  $X_2$  parametresi ikincil hazne kapasitesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Modelin akışı ise Denklem 2.52'deki formülasyona dayalı olarak elde edilmektedir.

### 2.1.7 Temez Modeli

İspanya'da bulunan havzalar üzerinde çalışmaları yapılan model Temez (1977) tarafından geliştirilmiştir. Genelde orta büyüklükteki drenaj alanına sahip havzalar için kullanılan bu model İspanya'da oldukça yaygındır (Sanchez vd., 2019). Modelin doymamış üst bölge (S) ve doymuş alt bölge (G) olarak ikiye ayrıldığı gözlemlenmektedir. Aynı zamanda hidrolojik modelin kalibrasyonu için 4 farklı parametreye ihtiyacı bulunmaktadır.



Çalışma prensibi Şekil 2.6’da gösterilen modelde yağışın bir kısmı akışa bir kısmı ise evapotranspirasyona dönüşmektedir.



Şekil 2.6: Temez modelinin işleyişi (Sanchez vd., 2019).

Öncelikle havzaya gelen yağışa (P) bağlı olarak sistemde elde edilecek i. aydaki artık su miktarı ( $T_i$ ) Denklem 2.54 uyarınca hesaplanmalıdır.

$$T_i = (P_i - P_{0,i})^2 / (P_i - \delta_i - 2P_{0,i}) \quad (2.54)$$

$$\delta_i = H_{\max} - H_{i-1} + EPOT_i \quad (2.55)$$

$$P_{0,i} = \eta \times (H_{\max} - H_{i-1}) \quad (2.56)$$

Artık su miktarının hesaplanmasında kullanılan denklemlerde  $H_{\max}$  olarak gösterilen model parametresi maksimum zemin nemi katsayısı  $H_{i-1}$ , (i-1). aydaki zemin nemi depolaması EPOT, potansiyel evapotranspirasyonu  $\eta$ , akifer deşarj katsayısını ( $0.2 \leq \eta \leq 1$ )  $P_0$ , maksimum zemin nemi depolaması ve bir önceki aydaki zemin nemi farkının akifer deşarj katsayısına oranını  $P_i$ , i. aydaki yağışı göstermektedir.

$$ET_i = \min(EPOT_i, H_{i-1} + P_i - T_i) \quad (2.57)$$

$$H_i = \max(0, H_{i-1} + P_i - T_i - ET_i) \quad (2.58)$$

Denklem 2.57’de görüldüğü üzere gerçek evapotranspirasyon ( $ET_i$ ) alt limiti o ayki potansiyel evapotranspirasyon değerine eşit alınmıştır. i. aydaki zemin neminin ( $H_i$ ) elde edilmesi için Denklem 2.58’den yararlanılabilmektedir.

$$I_i = I_{\max} \times \frac{T_i}{T_i - T_{\max}} \quad (2.59)$$

İnfiltrasyon sürecinin işleyişi yukarıdaki eşitlikte olduğu gibi elde edilebilmektedir.

$$Q_{d,i} = T_i - I_i \quad (2.60)$$

Denklem 2.60'da  $i$ . aydaki dolaysız akışın ( $Q_{d,i}$ ) o ayki artık su miktarı ve infiltrasyonun farkı olduğu görülmektedir.

$$R_i = A \times I_i \quad (2.61)$$

$$V_i = V_{i-1} \times e^{-\alpha_0} + \frac{R_i \times (1 - e^{-\alpha_0})}{\alpha_0} \quad (2.62)$$

$$Q_{rec,i} = V_{i-1} - V_i + R_i \quad (2.63)$$

Alt bölgedeki hesapların yapılabilmesi için yeraltı suyu deposunun ( $R_i$ ), o ayki infiltrasyon değerine ve  $\text{km}^2$  cinsinden havza drenaj alanına ( $A$ ) ihtiyaç vardır. Denklem 2.62'de  $i$ . aydaki akifer hacmi ( $V_i$ ), bir önceki ayın akifer hacmine, o ayki yeraltı suyu depolamasına ve  $\alpha_0$  katsayısına bağlı olarak bulunabilmektedir. Burada bahsi geçen  $\alpha_0$  katsayısının tanım aralığı (0,1) olarak alınmıştır. Sistemden yeraltı suyu akışına katılmakta olan akış ( $Q_{rec}$ ) Denklem 2.63'ten elde edilmektedir.

$$Q_{m,i} = Q_{rec,i} + Q_{d,i} \quad (2.64)$$

Modelin yeraltına sızan akışıyla dolaysız akışın toplamıyla ulaşılabilir.

### 2.1.8 Thorntwaite Su Bütçesi Modeli

Thorntwaite su bütçesi modeli Thorntwaite ve Matter tarafından 1955 yılında Delaware Nehri üzerinde çalışmaları yapılmış hidrolojik bir modeldir. Çoğu su bütçesi modeline referans olan bu modelde akışı oluşturan temel hesaplar yüzey nemi ve yeraltı suyu üzerinden yapılmaktadır. Çalışma kapsamında Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu (2001) tarafından modifiye edilmiş Twwb modeli kullanılmıştır. Aynı zamanda modifiye modele Okkan ve Kırdemir (2016), Fıstıkoğlu ve Okkan (2010), Okkan (2013) tarafından da yer verilmiştir.

Hazne parametrelerinden olan  $\phi$  yüzeysel akış katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Yüzey akış katsayısıyla orantılı olarak sisteme giren yağışın ( $P_i$ ) bir kısmı dolaysız akışa dönüşürken kalan kısmı infiltre olmaktadır.

$$Q_{s,i} = \phi \times P_i \quad (2.65)$$

$$I_i = (1 - \phi) \times P_i \quad (2.66)$$

Denklem 2.65'te verilen  $Q_{s,i}$  i. aydaki dolaysız akışken  $I_i$  i. aya ait infiltrasyonu simgelemektedir.

i. aya ait zemin nemi depolaması ( $S_i$ ), bir önceki aya ait zemin nemine ( $S_{i-1}$ ), o ayki infiltrasyona ve potansiyel evapotranspirasyona ( $EPOT_i$ ) bağlı olarak belirlenmektedir. Burada ifade edilen zemin neminin aralığı  $0 \leq S_i \leq S_{maks}$  olarak alınırken  $S_{maks}$  değeri haznenin maksimum zemin nemi depolamasıdır.

$$S_i = S_{i-1} + I_i - EPOT_i \quad (2.67)$$

$$Ea_i = \begin{cases} Ea_i = EPOT_i & S_i > 0 \\ Ea_i = S_{i-1} + I_i & S_i < 0 \end{cases} \quad (2.68)$$

Denklem 2.67'den hesaplanan  $S_i$  değerine bağlı olarak belirlenen gerçek evapotranspirasyon ( $Ea_i$ ) Denklem 2.68'deki eşitliklerden yararlanılarak bulunabilmektedir.

Hazneye düşen yağıştan zemin nemi yeterli doygunluğa ulaştıktan sonra fazla su ( $SSW_i$ ) bulunur ve bu artık suyun yüzey altı akış katsayısı ( $\mu$ ) kadarı yüzey altı bileşeni olarak ( $Q_{ss,i}$ ) akarsu yatağına karışmaktadır.

$$SSW_i = S_i - S_{maks} \quad (2.69)$$

$$Q_{ss,i} = \mu \times SSW_i \quad (2.70)$$

$$Per_i = (1 - \mu) \times SSW_i \quad (2.71)$$

Denklem 2.71'den t. aya ait perkolasyon ( $Per_i$ ) değerine ulaşılabilmektedir.

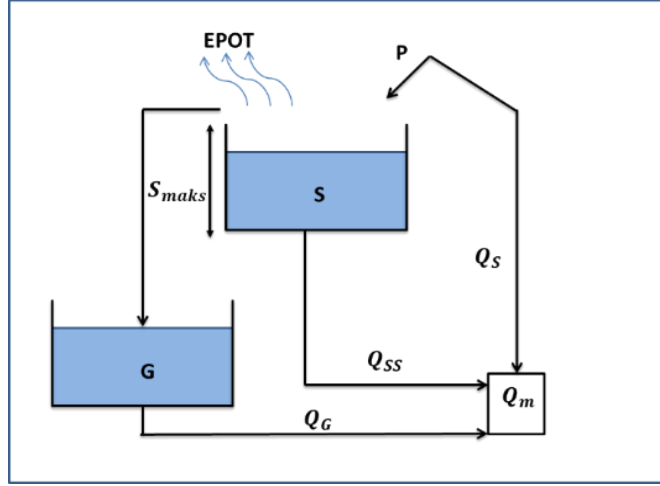
$$Q_{g,i} = \gamma \times S_{Gw,i-1} \quad (2.72)$$

$$S_{Gw,i} = (S_{Gw,i-1} - Per_i) \times \xi - Q_{g,i} \quad (2.73)$$

Yeraltı suyuna karışan kısmı bulabilmek için  $\gamma$  doğrusal yeraltı suyu parametresi kullanılmaktadır. Denklem 2.72'de verilen  $Q_{g,i}$  i. aydaki yeraltı suyu akışını ifade ederken, Denklem 2.73'te aktif yeraltı suyu depolaması ( $S_{Gw,i}$ ) formülüze edilmiştir. Verilen denklemde  $\xi$  model parametresi olup yeraltı biriktirme sistemi katsayısıdır.

$$Q_{m,i} = Q_{s,i} + Q_{ss,i} + Q_{g,i} \quad (2.74)$$

Modelin akışı Denklem 2.74'te verildiği gibi elde edilebilmektedir. Şekil 2.7'de Twwb modelinin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Twwbm modelinin çalışma mekanizması.

## 2.2 Bayes Model Ortalaması (BMO) Yöntemi

Raftery vd. (1997) tarafından temelleri atılan tekli modellerin kullanılmasındansa bu modellerin ortak bir paydada birleştirilip tek model olarak çalıştırılması mantığına dayanan Bayes model ortalaması yöntemi genel anlamda performans arttırmakla birlikte model eniyilemesi de yapabilmektedir.

Bayes model ortalaması yönteminde modellerdeki belirsizlik göz önüne alınmaktadır. Tahmin yeteneği logaritmik bir indis kuralı ile ölçülürse BMO'nun optimal sonuç verdiği görülmektedir (Raftery vd. 1997; Fernandez vd. 2001). Doğru modelin tutarlı olarak tanımlanması mümkün olmadığından hata minimize edilmektedir. Tek modelin ana model üzerinde tüm ağırlığa sahip olması söz konusu olmadığı gibi herhangi bir modelin ağırlıklandırılması 0'a yakınsayabilir fakat çoklu model üzerinde tüm etkisini kaybedemez. Artan veriler karşısında tahminler hassas olarak güncellenmektedir ve ağırlıklar tekrar yapılandırılmaktadır. Verimli sonucun elde edilemeyeceği modelin tayin edilmesine de katkı sağlayacağından BMO yöntemi kullanılması çalışma açısından birçok avantajı da beraberinde getirmektedir (Hinne, 2020).

Gözlem sayısı T adet olan D kümesine ve K adet model tahmini  $f_k$ 'ya bağlı olarak  $p_k(y|f_k, D)$  koşullu olasılığını temel alan y dağılımı için olasılık fonksiyonu Denklem 2.75'te verilmiştir.

$$p(y|D) = \sum_{k=1}^K p(f_k|D) \cdot p_k(y|f_k, D) \quad (2.75)$$

Y'nin posteriori dağılımı olarak da bilinen  $p_k(y|f_k, D)$  ifadesi genel olarak normal dağılıma göre belirlenmektedir. Bu dağılım varyansa bağlı olarak  $g(y|f_k, \sigma_k^2)$  şeklinde de ifade

edilebilmektedir. Model ağırlıkları  $W_k = p(f_k | D)$  şeklinde tanımlanırken kombinasyonlanmış bir model oluşturulacağından ağırlıklar toplamı 1 alınmaktadır. BMO tahminlemesi Denklem 2.76'daki gibi bulunabilmektedir.

$$\begin{aligned} E[y|D] &= \sum_{k=1}^K p(f_k|D) \cdot E[p_k(y|f_k, D)] \\ &= \sum_{k=1}^K w_k \cdot f_k \end{aligned} \quad (2.76)$$

Ağırlıklandırılmanın yapılabilmesi için model varyansı log-likelihood fonksiyonu kullanılarak optimize edilmelidir.

$$l(\theta) = l(w_1, \dots, w_k; \sigma_1, \dots, \sigma_k) \quad (2.77)$$

Verilen fonksiyonun maksimizasyonu iteratif adımlara bağlı olarak yapılacağından kurulan döngüde iter olarak ifade edilen katsayı iterasyon adımını belirtmektedir. Logaritmik-olabilirlik prensibinin çalıştırılabilmesi için kullanılacak iteratif adımlara bağlı varyans ve ağırlık katsayısı aşağıdaki gibidir (Okkan ve Kırdemir, 2016):

$$w_k^{(iter=0)} = 1/K \quad (2.78)$$

$$\sigma_k^{2(iter=0)} = \frac{1}{K} \frac{\sum_{k=1}^K (y_{göz,t} - f_{k,t})^2}{T} \quad (2.79)$$

Denklem 2.78 ve 2.79 uyarınca başlangıç değerleri tespit edilip iter=0 için logaritmik olabilirlik Denklem 2.80'de verilmiştir.

$$l(\theta^{iter=0}) = \log \left[ \sum_{k=1}^K w_k^{(iter=0)} \sum_{t=1}^T g(y_{göz,t} | f_{k,t}, \sigma_k^{(iter=0)}) \right] \quad (2.80)$$

Başlangıç değerleri belirlenen model için maksimizasyon kriteri  $l(\theta^{(iter)}) - l(\theta^{(iter-1)}) \leq 10^{-8}$  ifadesi elde edilene kadar iteratif olarak çözümlenmesi yapılmaktadır.

$$Z_{k,t}^{(iter)} = \frac{g(y_{göz,t} | f_{k,t}, \sigma_k^{(iter-1)})}{\sum_{k=1}^K g(y_{göz,t} | f_{k,t}, \sigma_k^{(iter-1)})} \quad (2.81)$$

$$w_k^{(iter)} = (1/T) \left[ \sum_{t=1}^T Z_{k,t}^{(iter)} \right] \quad (2.82)$$

$$\sigma_k^{2(iter)} = \frac{\sum_{t=1}^T Z_{k,t}^{(iter)} (y_{göz,t} - f_{k,t})^2}{\left( \sum_{t=1}^T Z_{k,t}^{(iter)} \right)} \quad (2.83)$$

$$l(\theta^{(iter)}) = \log \left[ \sum_{k=1}^K w_k^{(iter)} \sum_{t=1}^T g(y_{göz,t} | f_{k,t}, \sigma_k^{(iter)}) \right] \quad (2.84)$$

Verilen eşitlikler uyarınca istenen maksimizasyon kriterine ulaşıldığında ağırlıklandırma işlemi son bulmaktadır.

### 2.3 Performans Kriterlerinin Belirlenmesi

Yağış-akış modellerinin verimlerinin ölçülebilmesi için kalibrasyon dönemine dayalı doğruluğu gözlenmiş veriler ve model verileri arasında ilişkiye bağlı sınımlanmaktadır. Bu kalibrasyondan elde edilen parametrelerle validasyon verileri oluşturulmaktadır. Model performansının belirlenmesi sistemin ne doğrulukta çalıştığının tespitinde yardımcı olmaktadır. Optimizasyon işleminin yapılabilmesi için amaç fonksiyonu olarak gözlenmiş veriler ve model verileri arasındaki hata kareler ortalaması (HKO) seçilmiştir. Hata kareler ortalamasının kareköküyle ifade edilen ve tanım aralığı  $(0, \infty)$  olan RMSE'nin ideal değeri 0'dır. RMSE ve gözlenmiş akımların standart sapması arasındaki oransal değer RSR olarak ifade edilmektedir. Nash- Sutcliffe (NS) katsayısının tanım aralığı  $(-\infty, 1)$  olarak bilinmekte ve ideal değeri 1 olarak alınmaktadır. Yüzdesele yanlılık oranı (Pbias) ise  $(-\infty, \infty)$  aralığındadır ve ideal değeri 0'dır. Pbias için pozitif sonuçlar aşağı tahminlemeyi gösterirken, negatif sonuçlar aşırı tahminlemeyi ifade etmektedir. N adet verinin girdi olarak verilmesiyle gözlenmiş akım ( $Q_{g,i}$ ) ve model akımına ( $Q_{m,i}$ ) bağlı olarak hata kareler ortalaması Denklem 2.85'te verilmiştir.

$$HKO = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - Q_{m,i})^2}{N} \quad (2.85)$$

Nash-Sutcliffe katsayısının elde edilmesinde akım girdileriyle birlikte gözlenmiş akım ortalaması olarak bilinen  $\bar{Q}_{g,i}$  değerlerinin kullanılmasıyla elde edilmektedir.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - Q_{m,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - \bar{Q}_{g,i})^2} \quad (2.86)$$

$$RMSE = \sqrt{HKO} \quad (2.87)$$

$$RSR = \frac{RMSE}{Std_{obs}} \quad (2.88)$$

$$Pbias(\%) = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - Q_{m,i})}{\sum_{i=1}^N Q_{g,i}} \right] \times 100 \quad (2.89)$$

Performans kriterleri yukarıda verilen eşitlikler dahilinde bulunabilmektedir. Performans kriterlerinin Tablo 2.1'de Moriasi vd. tarafından kullanılmış limitleri verilmiştir.

**Tablo 2.1:** Performans kriterleri (Moriasi vd. 2007).

Performans Değerlendirmesi	RSR	NS	Pbias (%)
Çok iyi	$0 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < NS \leq 1$	$Pbias < \pm 10$
İyi	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < NS \leq 0.75$	$\pm 10 \leq Pbias < \pm 15$
Yeterli	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < NS \leq 0.65$	$\pm 15 \leq Pbias < \pm 25$
Yetersiz	$RSR > 0.70$	$NS \leq 0.50$	$Pbias \geq \pm 25$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - Q_{m,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - \bar{Q}_{m,i})^2} \quad (2.90)$$

Bunların yanı sıra, Denklem 2.90'da verilen  $R^2$  olarak bilinen determinasyon katsayısı da performans ölçümünün belirlenmesinde regresyon analizlerinin temel kriteridir. Tanım aralığı [0,1] olan bu katsayının en iyi sonucu vermesi için 1'e yakınsaması beklenmektedir. Bu performans kriterlerinin hidroloji ve su kaynakları mühendisliği kapsamında uygulamalarına sıklıkla rastlanmaktadır (Nash ve Sutcliffe, 1970; Moriasi vd., 2007; Nayak vd., 2005; Hu vd., 2001; Okkan,2013).

$$PI = \left[ NS \times (1 - RSR) \times \left( 1 - \frac{|Pbias|}{100} \right) \right]^{1/3} \quad (2.91)$$

Performans kriterlerinin ortak bir paydada buluşturulduğu, Denklem 2.91'de gösterilen Performans İndisi (PI), diğer performans ölçütlerinin geometrik ortalamasıyla bulunmaktadır. Türetilen Performans İndisi daha önce elde Tablo 2.1'de performans ölçütlerinin belirlenmesinde ele alınan hata kare ortalamasına bağlı olan RMSE ve RSR değerleriyle birlikte yüzdesel yanlışlık oranı ve Nash katsayısına bağlı olarak türetilmiş olup bu kriterler kapsamında formüle dökülmüştür. . Tablo 2.2'de PI'ya ait değerlendirme aralıkları verilmiştir.

**Tablo 2.2:** Performans İndisinin (PI) değerlendirilmesi.

Performans Değerlendirmesi	PI
Çok iyi	$0.85 \leq PI \leq 1$
İyi	$0.70 < PI \leq 0.85$
Yeterli	$0.50 < PI \leq 0.70$
Yetersiz	$PI < 0.50$

### 3. VERİLER

#### 3.1 Uygulama Havzasının Genel Özellikleri

Ege bölgesi tarımsal faaliyetler ve su işletmeciliği açısından önde gelen birçok gölet, baraj ve sulama yapılarını bir arada bulunduran Türkiye'nin su döngüsünü önemli ölçüde elinde tutan bir alandır. Bu bölge genç ve dinamik faylarla sınırlı ovalar ve dağlardan meydana gelmektedir. İklim kuşağı olarak kışları ılık ve yağışlı, yazlar sıcak ve kurak geçmektedir. Bitki örtüsü zengin olmakla birlikte makiler ve zeytin ağaçları gibi birçok çeşidi de içinde barındırmaktadır. Yaklaşık 17500 km<sup>2</sup> alana sahip zengin biyolojik özellikleri olan Gediz Havzası da bu bölge içinde yer almakta ve bu bölgenin iklim şartlarından etkilenmektedir. Kütahya'dan başlayarak Foça tepelerinden İzmir körfezine dökülen yaklaşık 40000 ha'lık delta oluşturan havzada yıllık yağış 500 mm'yi geçmektedir. Gediz Havzası'nın hidrolojisinde yaygın akifer seviyeleri mevcuttur. Yıllık ortalama sıcaklıklar 16-20 °C' yi bulmaktadır. Çalışmanın yapıldığı Çağlayan ve Gördes Barajları Gediz Havzası'nda bulunmakta olup havzaya ait istasyonlardan ve meteorolojik birimlerden gerekli yağış ve sıcaklık verileri alınmıştır. İşletmeye daha açılmamış olan bu barajlarda Gördes Barajının talveg kotu 182 m, kret kotu 270.40 m olup Çağlayan Barajı için talveg kotu 211 m, kret kotu ise 304 m olarak belirlenmiştir. Çağlayan Barajının maksimum işletme hacmi 172.70 hm<sup>3</sup>, minimum işletme hacmi 5.62 hm<sup>3</sup> ve yıllık içmesuyu talebi 44hm<sup>3</sup>/yıl'dır. Gördes Barajının maksimum işletme hacmi 448.46 hm<sup>3</sup>, minimum işletme hacmi 18.30 hm<sup>3</sup> olup yıllık içmesuyu talebi 62.63 hm<sup>3</sup>/yıl, yıllık sulama suyu talebi 71.89 hm<sup>3</sup>/yıl'dır. Bu barajların alanları Gördes için 808.2 km<sup>2</sup>, Çağlayan için 321 km<sup>2</sup>'dir. Gördes Barajında 10-12 m derinliğinde alüvyon olup Çağlayan Barajı çevresinde gerekli sondaj ve kuyular mevcut olmadığından yeterli bilgi bulunamamaktadır.

#### 3.2 Aylık Toplam Yağış, Sıcaklık ve Akım Verileri

Gediz Havzası'nın üzerindeki ölçümlerin yapılabilmesi için gerekli işletmeler tarafından 39 adet meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Bu işletmeler Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) olarak iki kurumun yönetimindedir. Çalışma havzasında Çağlayan ve Gördes Baraj alt havzalarının hidrolojik verilerine ulaşılmasında 10 adet istasyondan gerekli sıcaklık ve yağış bilgileri alınmıştır. Tablo 3.1'de kullanılan istasyonlara ait istasyon numaraları, işleten kurum ve istasyon kotları metre cinsinden sunulmuştur. Bazı istasyonlar için sıcaklık rasatı bulunurken bazı istasyonlarda bu veriler mevcut değildir.

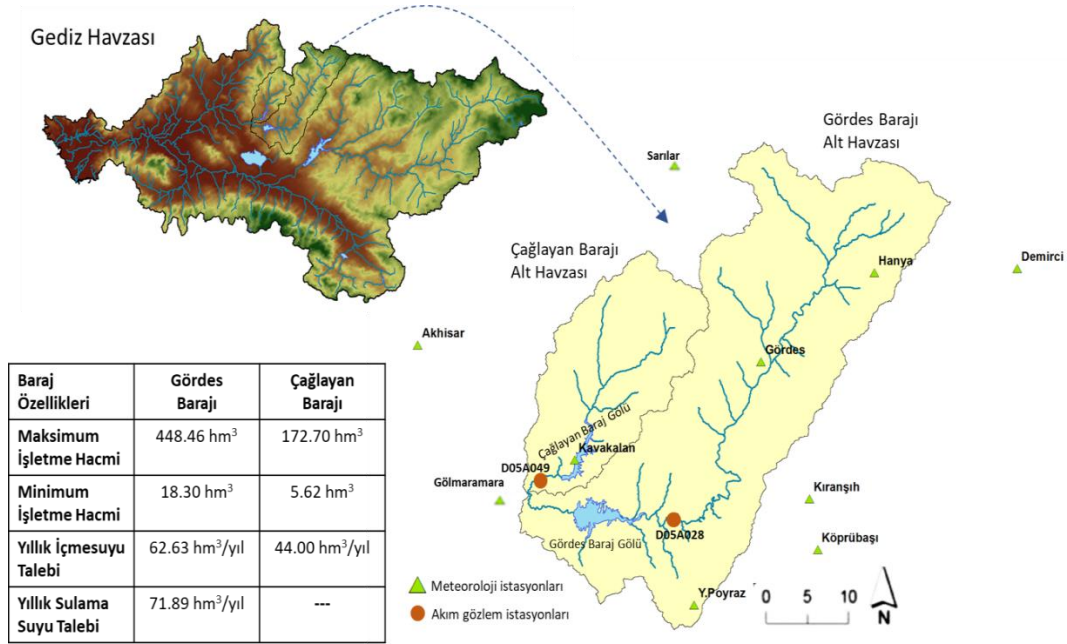


**Tablo 3.1:** Kullanılan istasyonların bilgileri.

İstasyon Adı	İstasyon no	İşleten	Kotu (m)
Akhisar*	17184	MGM	93
Demirci*	17746	MGM	851
Gölmarmara*	5270	MGM	150
Gördes*	4930	MGM	550
Hanya	05-010	DSİ	640
Kavakalan	05-011	DSİ	250
Kırañşih	05-016	DSİ	670
Köprübaşı*	5278	MGM	250
Sarılar	05-008	DSİ	340
Yukarı Poyraz	05-013	DSİ	630

\* ile belirtilen istasyonların sıcaklık rasatı bulunmaktadır.

1981-2010 yılları arasındaki periyotlarda bölgenin iklim şartların dahilinde gözlenmiş veriler ilgili Akım Gözlem İstasyonlarından (AGİ) temin edilmiştir. Şekil 3.1’de çalışma alanının coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla haritalanması ve ilgili akım gözlem istasyonlarının (D05A049 ve D05A028) konumları gösterilmiştir.



**Şekil 3.1:** Çalışma havzasının konumu.

### 3.3 Tava Buharlaşması Verileri

Buharlaşma işlemi genel anlamda suyun sıvı halinden gaz haline geçmesi olarak bilinmektedir. Meteorolojik şartlara bağlı olarak su yüzeyinde günde (1-10) mm arasında su buharlaşmaktadır (Bayazıt,2003). Buharlaşmaya etkiyen birçok değişken mevcuttur. Bu sebeple ön tahminlemesini yapmak zordur. Su yüzeyindeki buharlaşma miktarının ölçülmesinde en iyi metotlardan biri olarak bilinen tava ölçümleri yağışın buharlaşmadan az olduğu aylarda yapılmaktadır. Hazne yüzeyindeki buharlaşmayı hesaplayabilmek için hazne yakınına buharlaşma tavaşı, buharlaşma leğeni ya da evaporimetre de denilen kaplar konulmaktadır. Değişik tipleri bulunan bu ölçüm aletinin Türkiye’de en çok kullanılanı A sınıf tavalardır. Bu tavaların alanı 1 m<sup>2</sup> olmakla birlikte derinliği 25 cm’dir. Yapılan günlük ölçümlerde her gün eksilen su miktarı tavaya ilave edilmelidir. Türkiye’de buharlaşma ölçümleri DSİ ve DMİ tarafından yapılmaktadır. Tavsiye edilen tava adedi 5000 km<sup>2</sup>’de 1 adet olarak belirlenmiştir. Buharlaşma olayının tahminlenmesi için veri ihtiyacı ve hata oranı fazla olan enerji dengesi ve kütle transferi yöntemleri mevcutken matematiksel pratiklik sağlayan su dengesi ve ampirik yöntemler de bulunmaktadır.

Xu ve Vandewiele’in belirlediği bir takım modellerle evapotranspirasyon verileri bulunabilmektedir. Tip 1 modellerinde potansiyel evapotranspirasyon (EPOT), tava buharlaşması ( $E_{tava}$ ) ile ölçülür veya Penman'inki gibi bir formülle, çeşitli değişkenlerin ölçümüne dayalı olarak hesaplanır (Xu ve Vandewiele, 1995). Ancak yapılan hesaplarda EPOT verilerinden yeterli sonuç alınmadığı için tava buharlaşması verilerinin kullanılması daha doğru bulunmuştur. Xu ve Singh (2001) de çalışmalarında bağlamda aylık ortalama sıcaklık tabanlı Kharrufa yönteminden faydalanmışlardır. Kullanılan tava buharlaşması verilerinin hesaplanması Denklem 3.1’de gösterilmiştir.

$$E_{tava} = a \times p_k \times T_{ort}^b \quad (3.1)$$

Tava buharlaşması hesabında kullanılan a ve b parametreleri Kharrufa katsayılarıdır.  $p_k$  enlem derecesine bağlı olarak belirlenen bir sabit olmakla birlikte  $T_{ort}$  alansal ortalama sıcaklığın °C/ay cinsinden değeridir.

Çalışma kapsamında tava buharlaşması değerleri denklem 3.1’de verilen formül kullanılarak elde edilmiş ve buna bağlı olarak model akışları hesaplanmıştır.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Model Performanslarının Kıyaslanması

Model performansları Çağlayan ve Gördes Barajı Alt Havzaları (BAH) için 1981-2010 yılları arasındaki veriler dahilinde incelenmiş her modele ait parametreler verilerin %50'si kalibre edilerek elde edilmiştir. Geriye kalan veriler model parametreleri elde edildikten sonra validasyon aşamasında parametrelerin verimliliğinin sınanmasında kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında alınan zemin nemi depolaması, yeraltı suyu depolaması ve yeraltı suyuna sızan su miktarı başlangıç değerleri 0 olarak alınmıştır. Excel yardımı ile yapılan hesaplamalarda başlangıç parametreleri verilen alt ve üst limitler dahilinde rastgele atanarak çalıştırılmıştır.

#### 4.1.1 Abcde Modelinin Değerlendirilmesi

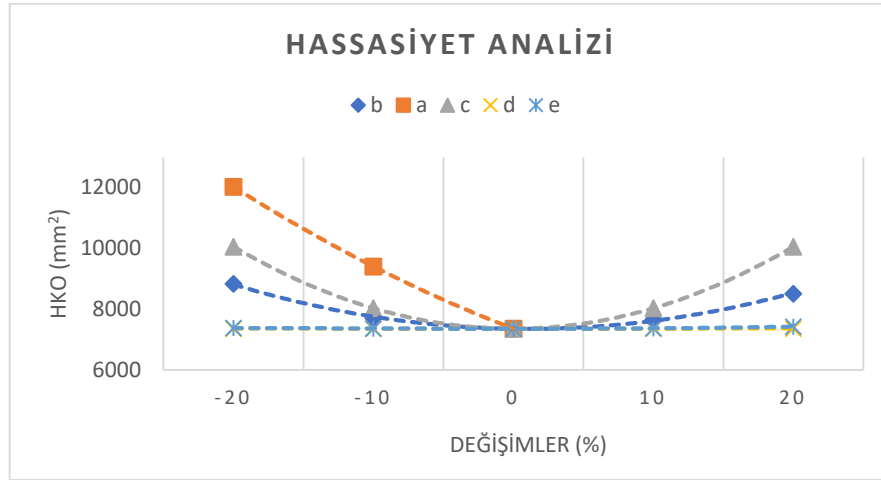
Çağlayan ve Gördes baraj havzaları için çalıştırılan bu modelde Tablo 4.1'de verildiği üzere model parametreleri kalibre edilmiştir. Elde edilen parametrelere göre Çağlayan havzasına ait maksimum yeraltı suyu depolaması 220.902 mm iken Gördes havzası için 212.470 mm'dir. Bu kalibrasyona göre zemin doygunluğa ulaşmadan önceki akışın oluşma eğilim durumunu belirleyen  $a$  parametresi drenaj yoğunluğu fazla olduğundan Çağlayan Barajı alt havzasında 0.953 olarak elde edilmiştir. Gördes alt havzası için bu değer Çağlayan alt havzasına göre daha az drenaj alanına sahip olduğundan 0.963'tür. Gelen akışın yeraltı biriktirme sistemine katkısı Çağlayan Baraj havzasında %50.1 iken Gördes için %48.7'dir. Yeraltı suyu akımını oluşturan  $d$  parametresi Çağlayan Barajı havzası için 0.048, Gördes Barajı havzası için 0.057'dir. Modelin bir diğer parametresi olan  $e$  ise sırasıyla Çağlayan ve Gördes BAH için 0.625 ve 0.648 olarak tayin edilmiştir.

**Tablo 4.1:** Baraj verilerinin Abcde modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri.

Alt Havza Adı	$a$	$b$ (mm)	$c$	$d$	$e$
Çağlayan BAH	0.953	220.902	0.501	0.048	0.625
Gördes BAH	0.963	212.470	0.487	0.057	0.648

Parametrelerin model bazlı çalışmasında en etkili değişkenin bulunması için hassasiyet analizi yapılmıştır. Her parametrenin, %10'luk değişimlerle hata kare ortalaması üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 4.1'de en hassas değişkenin derine sızmayı ve yüzey akışını doğrusal bir şekilde kontrol eden  $c$  parametresi olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra modelde  $a$  parametresi 0-1 aralığında bulunduğundan yüzdeler artışıyla verilen aralığı

aşmasından dolayı sadece negatif yöndeki duyarlılığı takip edilebilmektedir. Bu sebeple *a* parametresinin de hassas olduğu varsayılabilir.



**Şekil 4.1:** Abcde modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi.

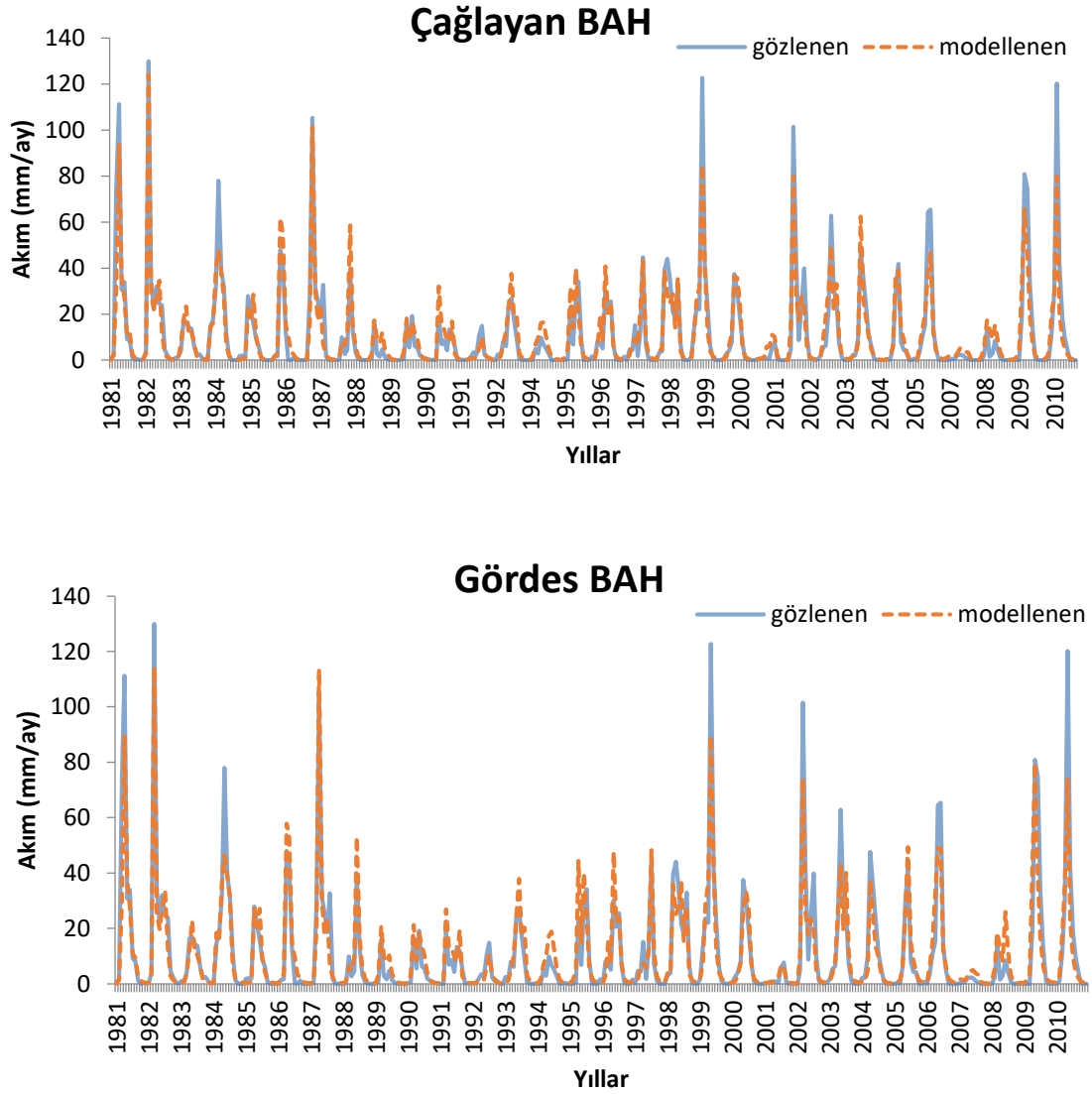
Tablo 4.2’de görüldüğü üzere havzalara ait kalibrasyon ve validasyon dönemindeki performans kriterleri sonuçları verilmiştir. Her iki alt havza için de kalibrasyon dönemi ve validasyon dönemleri arasında tutarsızlık görülmemektedir. Buna karşın Çağlayan ve Gördes BAH, RSR değeri 0.50’den küçük olduğu için çok iyi sonuç verdiği görülmüştür. Aynı şekilde NS katsayısı incelendiğinde her iki dönem için de havzaların 0.80’i geçen değerleri için çok iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yanlılık oranı yüzdesi incelendiğinde kalibrasyon dönemine ait sonuçlar aşırı tahminleyiciyken validasyon dönemi sonuçlarında aşağı tahminleme yapılmıştır. Yüzdesele yanlılık oranları açısından her iki dönem ve alt havzalar için mutlak değerce %5’i geçmediğinden çok iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

**Tablo 4.2:** Abcde modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri.

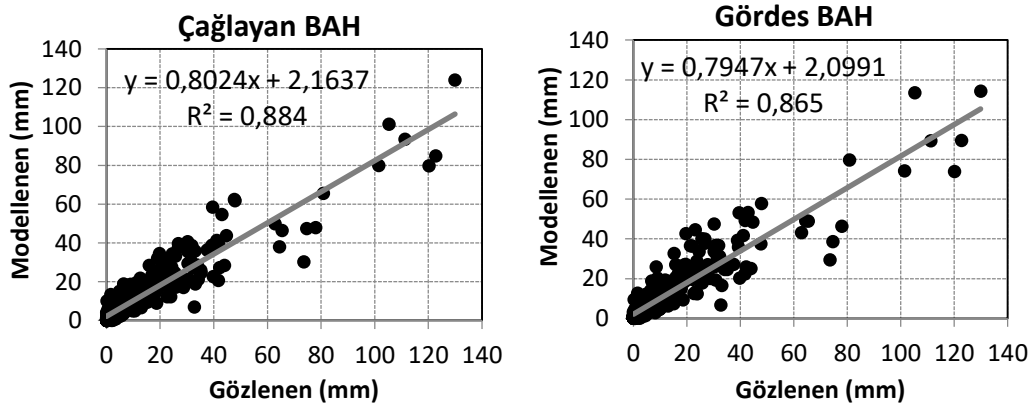
Dönem	Çağlayan BAH			Gördes BAH		
	RSR	NS	Pbias (%)	RSR	NS	Pbias (%)
Kalibrasyon	0.3395	0.8848	-4.3694	0.3498	0.8776	-4.6467
Validasyon	0.3618	0.8694	3.1605	0.3995	0.8435	5.9407

Elde edilen sonuçlar kapsamında Abcde modelinin eğitim ve test dönemleri göz önüne alındığında dönemler arasında tutarsızlık olmaması ve performans kriterlerinin çok iyi sonuçlar vermesi açısından yapılacak hazne işletmelerinde referans model olarak kullanılabilir. Şekil 4.2’de verilen grafiklerde elde edilen sonuçlar doğrultusunda tüm

zaman periyoduna ait gözlenmiş veriler ve modellenmiş veriler arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Abcde modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981-2010).



Şekil 4.3: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Abcde modeline ait gözlenen-modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).

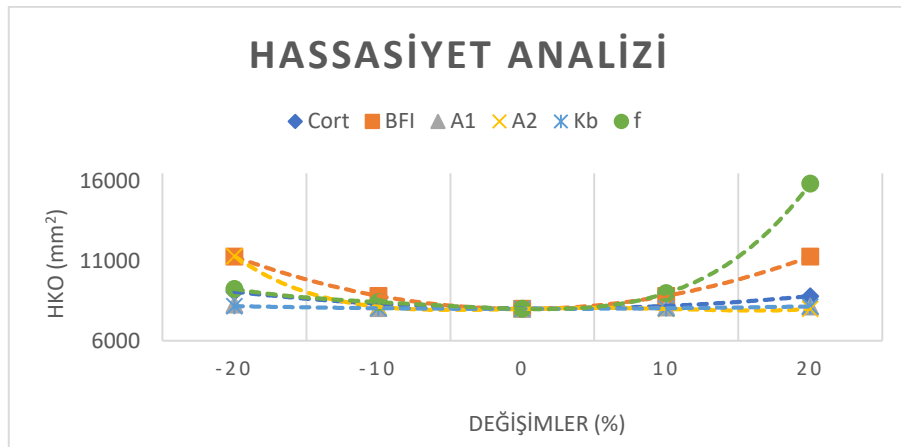
Şekil 4.3'te verilen gözlenen akımlar ve modellenen akımların grafikasyonu verilmiş ve bu iki veri arasında bağıntılar oluşturulmuştur. Oluşturulan bağıntıya ek olarak her barajın kalibrasyon ve validasyon olarak ayrılmadan modellenen akımın doğruluğunu ölçen determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) belirlenmiştir. Şekil 4.2'de Çağlayan Baraj havzasının modellenen verilerinde varyanstaki değişimin %88.4'ü açıklanmaktadır. Gördes Baraj havzasına ait determinasyon katsayısı %86.4'tür. Her iki baraj için de Abcde modelinin çok iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

#### 4.1.2 Awbm Modelinin Değerlendirilmesi

Awbm modeline ait 6 parametrenin kalibrasyonu yapıp model tahminleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Bu tabloya göre Çağlayan Baraj alt havzasının ortalama kapasitesi 252.166 mm iken Gördes Barajı alt havzasında 227.120 mm'dir. Taban akış indeksi sırasıyla 0.561 ve 0.526 olarak belirlenmiştir. Modele ait alan değeri parametreleri Tablo 4.3'te verildiği gibidir. Taban akışı sabitleri Çağlayan ve Gördes Barajı alt havzaları için yaklaşık olarak aynı olmakla birlikte 0.184 ve 0.204 olarak bulunmuştur. Yeraltı suyu parametresi olarak bilinen  $f$  değeri Çağlayan alt havzası için 0.851, Gördes alt havzası için 0.869'dur. Yapılan yerel hassasiyet analizine göre modelin hata kare ortalamasını en büyük ölçüde etkileyen parametre Şekil 4.4'ten  $f$  olarak belirlenmiştir. Parametrenin hassasiyeti arttırıldığında model üzerindeki etkisi artarken azaltıldığında etkisi fazla görülmemektedir.

**Tablo 4.3:** Baraj verilerinin Awbm modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri.

Alt Havza Adı	$Cort$ (mm)	$BFI$	$A1$	$A2$	$K_b$	$f$
Çağlayan BAH	225.166	0.561	0.262	0.800	0.184	0.851
Gördes BAH	227.120	0.526	0.293	0.800	0.204	0.869



**Şekil 4.4:** Awbm-6p modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi.

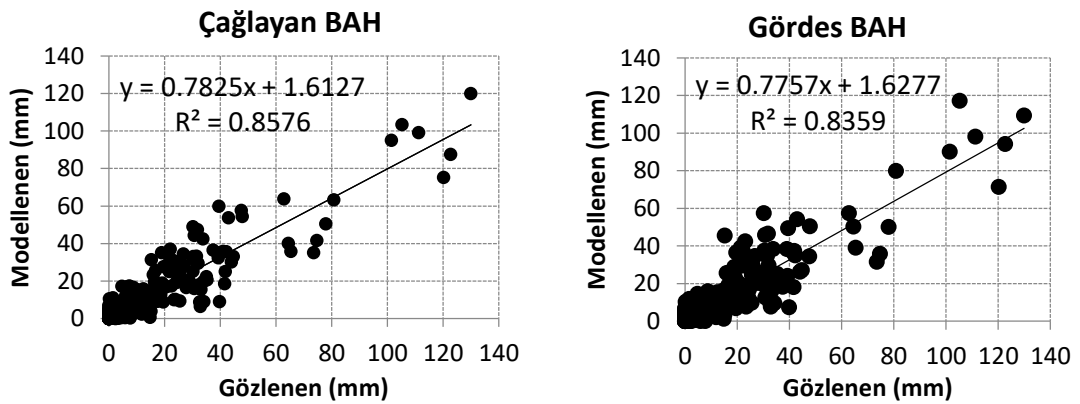
Tablo 4.4'te verilen modelin sınanmasına ait sonuçlara göre Çağlayan ve Gördes Barajlarının alt havzalarındaki kalibrasyon ve validasyon dönemlerinde RSR ve NS katsayısı çok iyi sonuç vermiş olup Pbias kriteri kalibrasyon döneminde her iki baraj için de çok iyi aşırı tahminlemede bulunmuştur. Validasyon döneminde elde edilen sonuçlara göre Çağlayan BAH yüzdesel yanlılığı %13.7 olarak belirlenmiş ve iyi bir sonuç elde edilmiştir. Buna karşın Gördes BAH yanlılık oranı incelendiğinde kalibrasyon döneminde çok iyi çalışmasına rağmen validasyon döneminde ölçülen yeterli sonuçla bu baraja ait kalibre edilen parametrelerin test dönemi için tutarlılığının yüksek olmadığı görülmektedir.

**Tablo 4.4:** Awbm modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri.

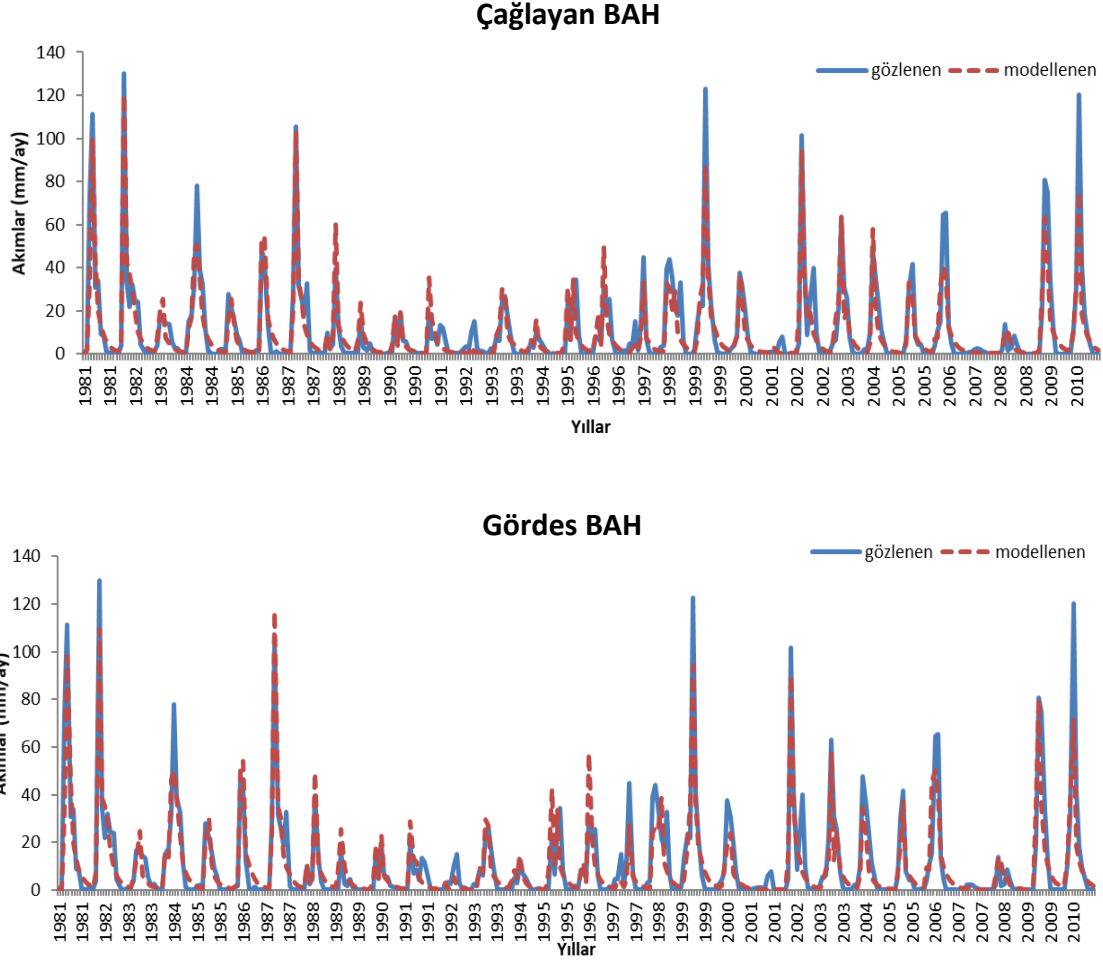
Dönem	Çağlayan BAH			Gördes BAH		
	RSR	NS	Pbias (%)	RSR	NS	Pbias (%)
Kalibrasyon	0.3541	0.8746	-1.2787	0.3625	0.8686	-1.8637
Validasyon	0.4142	0.8284	13.6913	0.4501	0.7974	15.1963

Şekil 4.5'te verilen Awbm modelinin baraj alt havzaları üzerindeki modellenen veriler ve gözlenmiş veriler arasındaki ilişkiye ait grafikte Çağlayan Barajına ait determinasyon katsayısı 0.858 iken Gördes Barajında 0.836'dır. Modelin her iki baraj için de çok iyi sonuç verdiği gözlemlenmiş ve Çağlayan Barajının bu modelde Gördes Barajına göre daha iyi çalıştığı görülmüştür.

Şekil 4.6'da gözlenen-modellenen akımların 1981-2010 yılları arasındaki gidiş grafikleri irdelenmiştir.



**Şekil 4.5:** Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Awbm modeline ait gözlenen-modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).



**Şekil 4.6:** Awbm-6p modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981-2010).

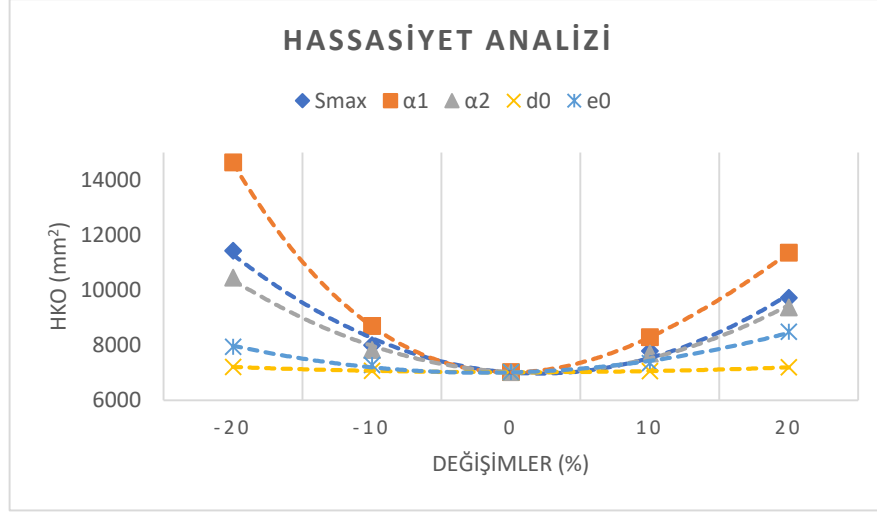
#### 4.1.3 Dynwb Modelinin Değerlendirilmesi

Dinamik su bütçesine ait incelemeler yapıldığında Çağlayan Barajı alt havzasına ait maksimum zemin nemi depolaması 288.895 mm iken Gördes Barajı alt havzasında bu değer 266.943 mm'dir.  $\alpha_1$  değeri sırasıyla bu barajlar için 0.621 ve 0.622 olarak bulunmuştur. Çağlayan Barajında evapotranspirasyonun etkinliği yüzdesel olarak 69.7 iken Gördes Barajında 72.1'dir. Tablo 4.5'te bu modele ait diğer parametrelerin sonuçları her iki baraj için de verilmiştir.

**Tablo 4.5:** Baraj verilerinin Dynwb modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri.

Alt Havza Adı	$S_{max}$ (mm)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$d_0$	$e_0$
Çağlayan BAH	288.895	0.621	0.697	0.837	0.737
Gördes BAH	266.943	0.622	0.721	0.857	0.770





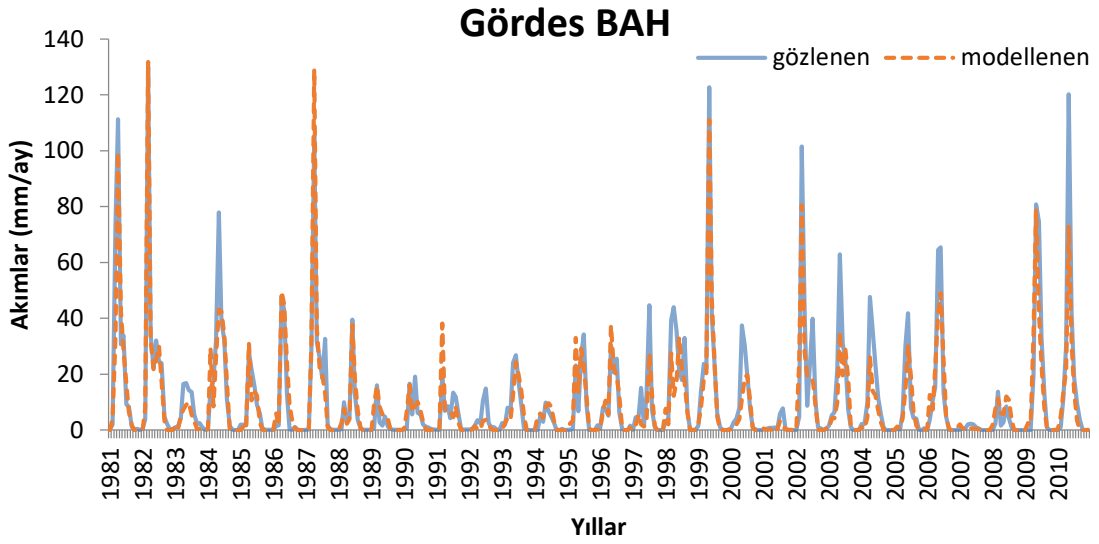
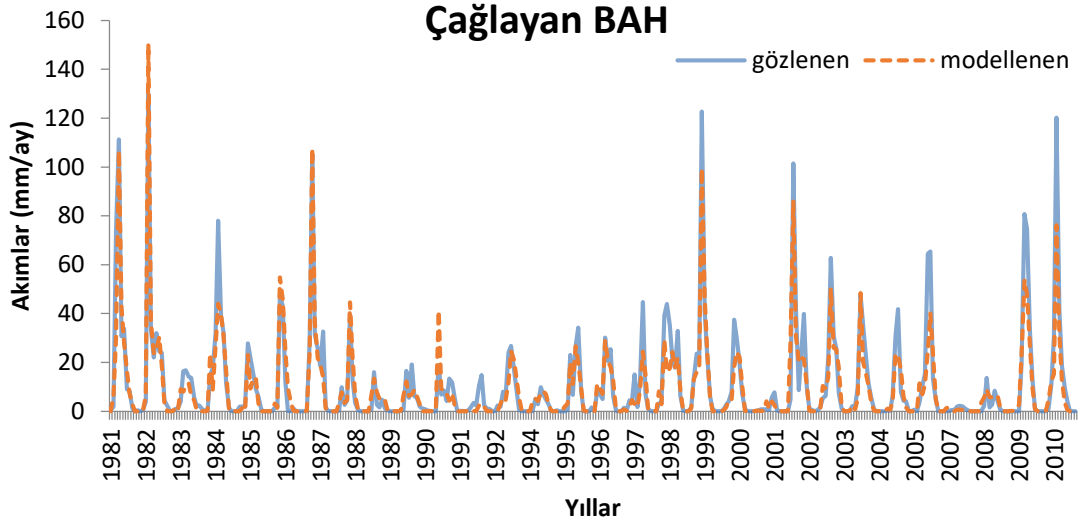
**Şekil 4.7:** Dynwb modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi.

Model üzerinde en duyarlı olan parametre  $\alpha_1$  olduğu Şekil 4.7'deki çizgi grafiğinden belirlenebilmektedir. Tablo 4.6'da Dinamik su bütçesine ait performans ölçümlerinin sonuçları gösterilmiştir. Barajların RSR değerleri incelendiğinde eğitim ve test dönemlerinde parametrelerin çok iyi sonuç verdiği görülmektedir. Nash katsayısı validasyon döneminde her iki baraj içinde 0.89 civarında olup çok iyi sonuç vermiştir. Kalibre edilen parametrelerin validasyonu ise Çağlayan Barajı için 0.8406 iken Gördes için 0.8267'dir. Bu modelin yanlılık yüzdesi validasyon dönemi için çok iyi sonuç verirken barajlara ait test dönemi sonuçları ( $\pm 15$ ,  $\pm 25$ ) bandında olduğundan yeterli sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Pbias kriterinin validasyon döneminde kalibrasyon dönemine göre iyi çalışmadığı görülmektedir.

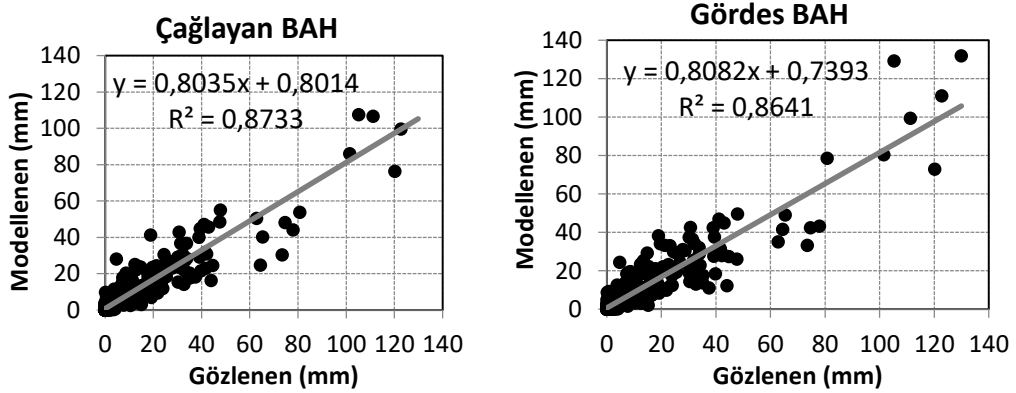
**Tablo 4.6:** Dynwb modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri.

Dönem	Çağlayan BAH			Gördes BAH		
	RSR	NS	Pbias (%)	RSR	NS	Pbias (%)
Kalibrasyon	0.3316	0.8901	4.4216	0.3307	0.8906	3.4821
Validasyon	0.3992	0.8406	18.8768	0.4163	0.8267	19.8949

Gözlenen ve modellenen akımların gidiş grafiği Şekil 4.8'de görüldüğü gibidir. Akımların 1981-2010 yılları arasında oluşturulan modelle gözlenmiş veri seti arasında tutarlılık gözlenmiştir.



Şekil 4.8: Dynwb modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981-2010).



Şekil 4.9: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Dynwb modeline ait gözlenen-modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).

Çağlayan ve Gördes Baraj alt havzalarına ait gözlenmiş akımların modellenmiş akımlarla arasında oluşturulan korelasyona ait saçılım diyagramları Şekil 4.9’da mevcuttur. Bu grafiklere göre Çağlayan Barajının determinasyon katsayısı 0.873 Gördes Barajının determinasyon katsayısı 0.864 olarak bulunmuştur. Her iki değerin 1’e olan yakınlığı baz alındığında modellenen akımların çok iyi sonuç verdiğine ulaşılmaktadır.

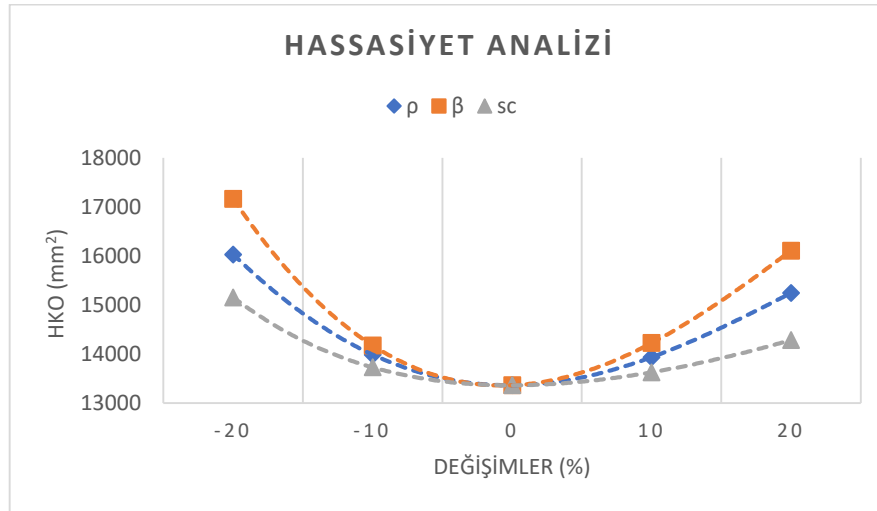
#### 4.1.4 Guo-3p Modelinin Değerlendirilmesi

Guo modeli için yapılan işletme sonuçlarına göre Çağlayan ve Gördes Barajları için sırasıyla  $\rho$  düzeltme katsayısı 0.543 ve 0.629,  $\beta$  parametresi 2.836 ve 2.449 olarak elde edilmiştir. Tablo 4.7’de verilen sonuçlarda modelin ikinci parametresi olan model akışının kalibrasyon üzerindeki etkisi Çağlayan ve Gördes Barajlarında 928.914 mm ve 866.035’tir. Bu değerler yüzey altı depolama haznesi olmadığından normal kapasitelere oranla daha büyüktür.

**Tablo 4.7:** Baraj verilerinin Guo-3p modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri.

Alt Havza Adı	$\rho$	$\beta$	$s_c$ (mm)
Çağlayan BAH	0.543	2.836	928.914
Gördes BAH	0.629	2.449	866.035

Modelin çalışmasındaki en hassas parametrenin yapılan analizlerle  $\beta$  olduğu bulunmuş ve Şekil 4.10’da hata kare ortalamasına bağlı grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.10:** Guo-3p modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi.

3 parametrelili bu modelin barajlar üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve performans ölçütlerine ait sonuçlar Tablo 4.8’de verilmiştir. Modelin incelemesi yapıldığında NS katsayısının kalibrasyon döneminde her iki baraj için 0.75’in üzerinde olması

performansının çok iyi olduğu gösterirken validasyon döneminde de yaklaşık aynı değerler elde edildiğinden her iki baraj için de tutarlı bir çözüm sunduğu görülmektedir.

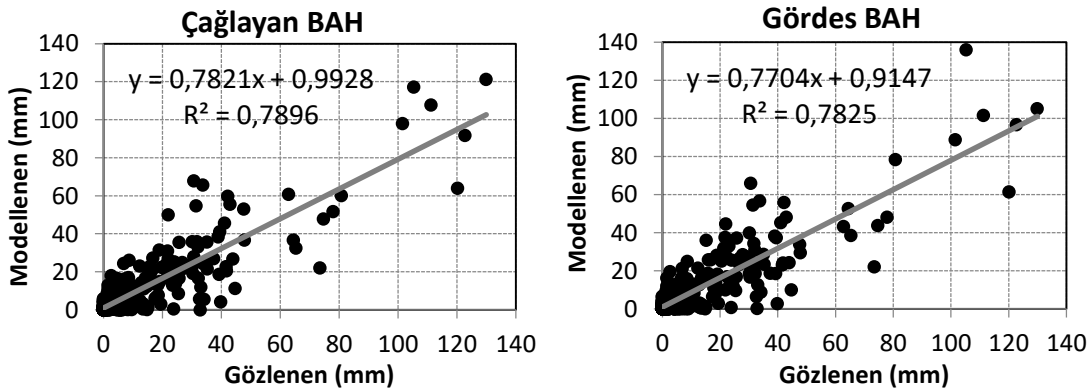
**Tablo 4.8:** Guo-3p modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri.

Dönem	Çağlayan BAH			Gördes BAH		
	RSR	NS	Pbias (%)	RSR	NS	Pbias (%)
Kalibrasyon	0.4576	0.7906	0.0245	0.4669	0.7820	0.7145
Validasyon	0.4698	0.7793	23.3208	0.4790	0.7706	26.2508

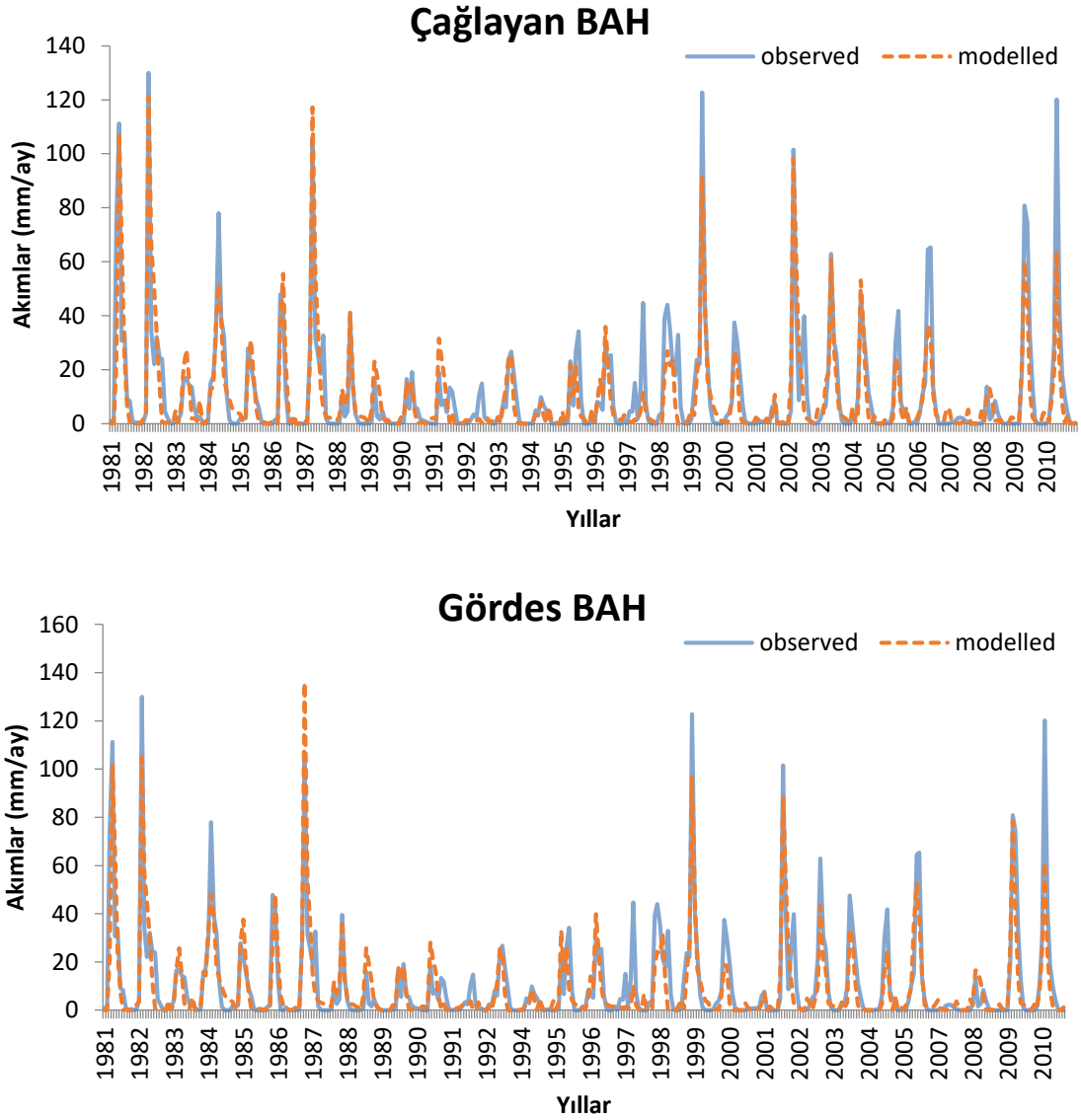
Kalibrasyon ve validasyon periyotlarının bir verildiği Şekil 4.12’de gözlenmiş-modellenmiş akımlara ait grafikler mevcuttur.

Çağlayan ve Gördes Barajlarına ait saçılım diyagramları Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Bu ilişkiye bağlı denklemler şekil üzerinde yer almaktadır. Determinasyon katsayısına göre sınıflandırıldığında Çağlayan Barajı %79.96, Gördes Barajı ise %78.25’lik bir performans sergilemiştir.

Her iki alt havzada da determinasyon katsayılarının 0.85’in altın kalması sebebiyle gözlenen ve modellenen veri setleri arasındaki uyumun çok yeterli olmadığı ve bu alt havzalara ait verilerde kullanılan Guo-3p modelinin her ne kadar evapotranspirasyon verilerinde düzeltme yapılsa da modellemede uygun olmadığı kanısına varılmaktadır.



**Şekil 4.11:** Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Guo-3p modeline ait gözlenen-modellen akım saçılım diyagramları (1981-2010).



**Şekil 4.12:** Guo-3p modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981-2010).

#### 4.1.5 Guo-5p Modelinin Değerlendirilmesi

5 parametrelili bu modelin çalıştırılması sonucunda maksimum zemin nemi depolaması Çağlayan Baraj alt havzası için 85.400 mm, Gördes Baraj alt havzası için 92.939 mm olarak bulunmuştur. Tablo 4.9’da verildiği üzere  $K_1$  değişkeni değerleri her bir baraj için sırasıyla 4.453 ve 1.366’dır. Havza gecikme katsayısı  $K_2$ , Çağlayan Barajı verilerine göre değerlendirildiğinde 0.187 elde edilirken Gördes Barajında bu parametre 0.194’tür. Yeraltı suyu hazne katsayısı ve yüzey akış katsayısı her iki baraj için de aynı olup 0.001 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 4.9:** Baraj verilerinin Guo-5p modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri.

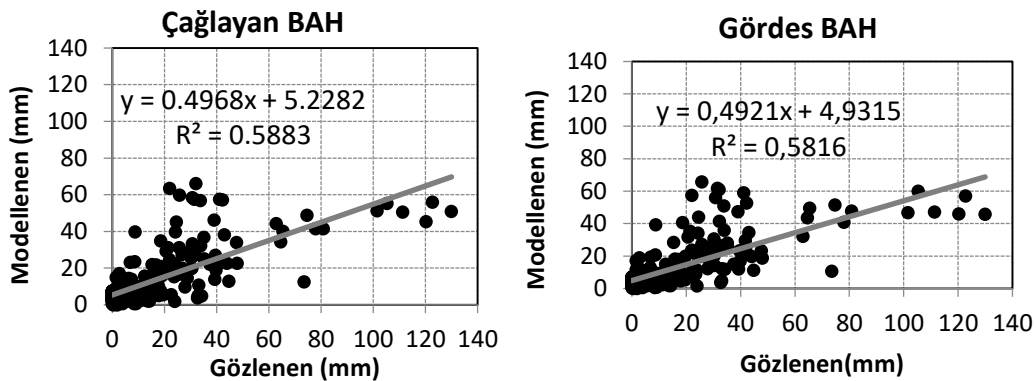
Alt Havza Adı	$C_{max}$ (mm)	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$C_0$
Çağlayan BAH	85.400	1.453	0.187	0.001	0.001
Gördes BAH	92.939	1.366	0.194	0.001	0.001

RSR kriteri baz alındığında Çağlayan Barajına ait kalibrasyon dönemi girdilerinden bu ölçüt 0.6971 olarak elde edilmiş olup yeterli sonucu vermiştir. Validasyon dönemine ait sonuçlar RSR için kalibrasyon döneminden tutarsız olmamakla birlikte yeterli sonucu vermişken performans olarak daha iyidir. Nash katsayısı kalibrasyon döneminde 0.5, validasyon döneminde 0.6 ile yeterli sonuç vermiştir. Pbias kriterinde her iki dönemde aşağı tahminleme mevcutken çok iyi sonuç alınmıştır. Tablo 4.10'da Gördes Barajına ait RSR sonuçlarına göre kalibrasyon döneminde yetersiz sonuç alınırken ve validasyon döneminde yeterli sonuç vermiştir. NS katsayısı bu baraj için kalibrasyon ve validasyon dönemlerinde yeterli sonuca ulaşmıştır. Pbias kriteri göz önüne alındığında bu modelin çok iyi sonuç verdiği görülmüştür.

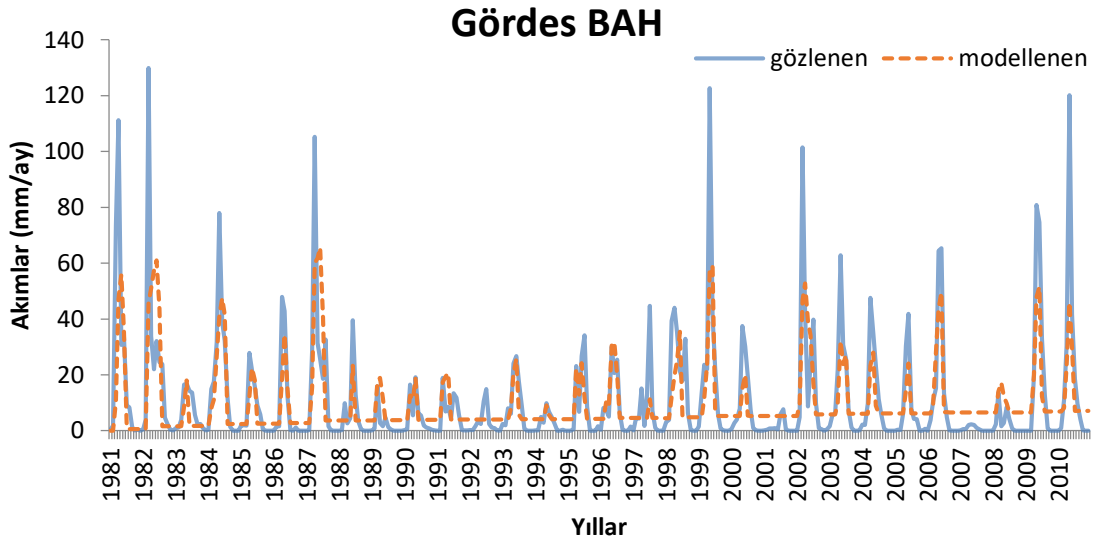
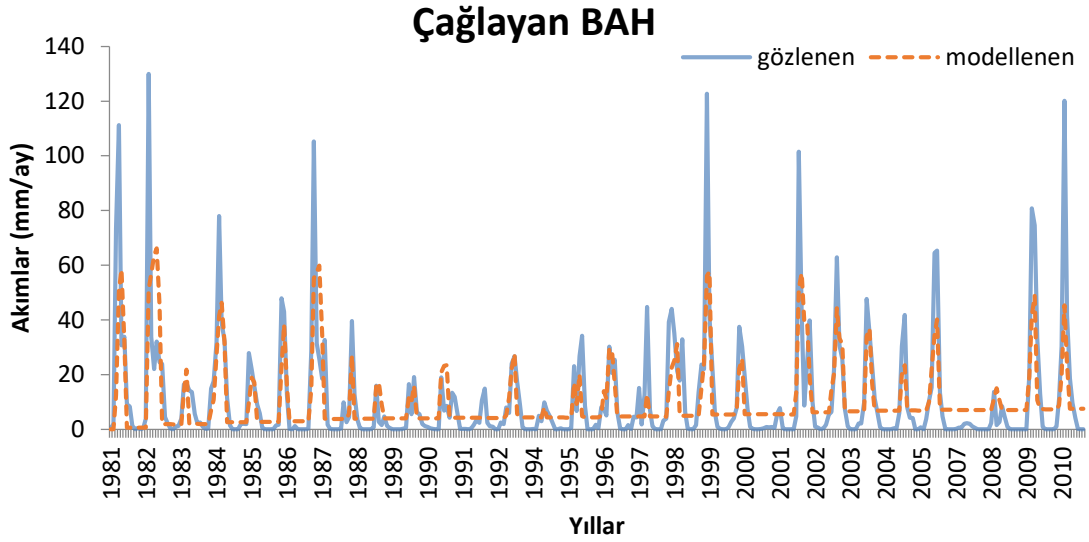
**Tablo 4.10:** Guo-5p modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri.

Dönem	Çağlayan BAH			Gördes BAH		
	RSR	NS	Pbias (%)	RSR	NS	Pbias (%)
Kalibrasyon	0.6971	0.5140	3.5588	0.7039	0.5045	4.5057
Validasyon	0.6146	0.6223	0.3363	0.6184	0.6176	5.5199

Modelin tamamı göz önüne alındığından RSR ve NS katsayılarının kalibrasyon döneminde validasyona göre daha kötü sonuç verdiği görülmüştür.



**Şekil 4.13:** Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Guo-5p modeline ait gözlenen-modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).



**Şekil 4.14:** Guo-5p modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981-2010).

Şekil 4.14'te verilen grafiğe göre Guo-5p modelinde düşük akım seyri olduğundan tahmin potansiyeli zayıftır. Şekil 4.13 incelendiğinde bu modele ait modellenmiş akımlar ve gözlenmiş akımlar arasındaki ilişki her iki baraj içinde determinasyon katsayısı baz alındığında %40'ın üzerinde kalmasına rağmen Çağlayan Barajında %58.8, Gördes Barajında %58.2 olarak belirlense de çok yeterli sonuç vermediği kanısına ulaşılmıştır.

#### 4.1.6 Gr2m Modelinin Değerlendirilmesi

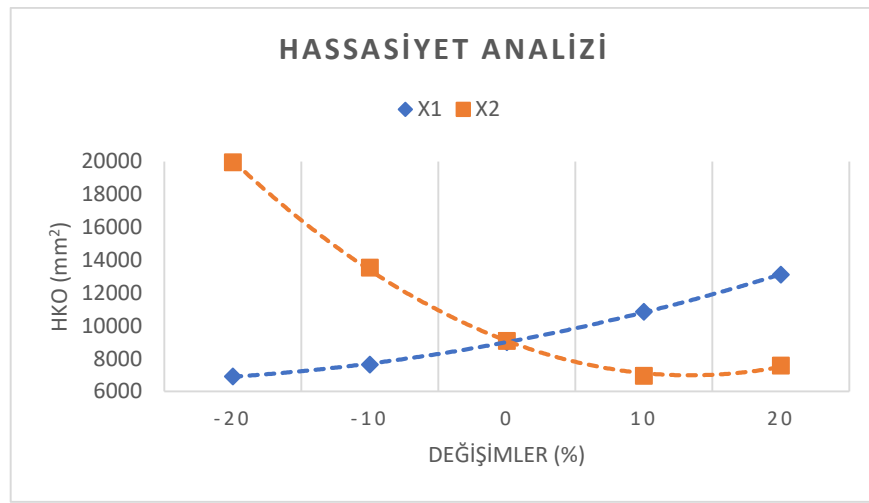
Gr2m modelinde maksimum zemin nemi depolaması olan  $X_1$  parametresi Çağlayan Barajı alt havzasında 217.777 mm, Gördes Barajı alt havzasında 202.925 mm olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.11'den alınan değerler dahilinde ikinci hazne kapasitesinin tayin edilmesinde kullanılan  $X_2$  değişkeni iki baraj için de 0.701'dir.

**Tablo 4.11:** Baraj verilerinin Gr2m modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri.

Alt Havza Adı	$X_1$ (mm)	$X_2$
Çağlayan BAH	217.777	0.701
Gördes BAH	202.925	0.701

$X_2$  değişkenin zemin nemi depolaması parametresine göre yerel hassasiyeti daha fazladır. Bu uygulamanın çizgi grafiği Şekil 4.15'te irdelenmiştir.



**Şekil 4.15:** Gr2m modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi.

Çağlayan Barajı kriterleri incelendiğinde validasyon ve kalibrasyon dönemleri için RSR değerinin 0.30 civarında olmasından dolayı bu kriterden çok iyi sonuç alınmıştır. Nash katsayısı göz önüne alındığında eğitim dönemine ait verilerin 0.8928 ile çok iyi sonuç verdiği, test dönemine ait verilerin kalibre edilen parametreler dahilinde 0.8823 ile kalibrasyon dönemini desteklediği görülmektedir.

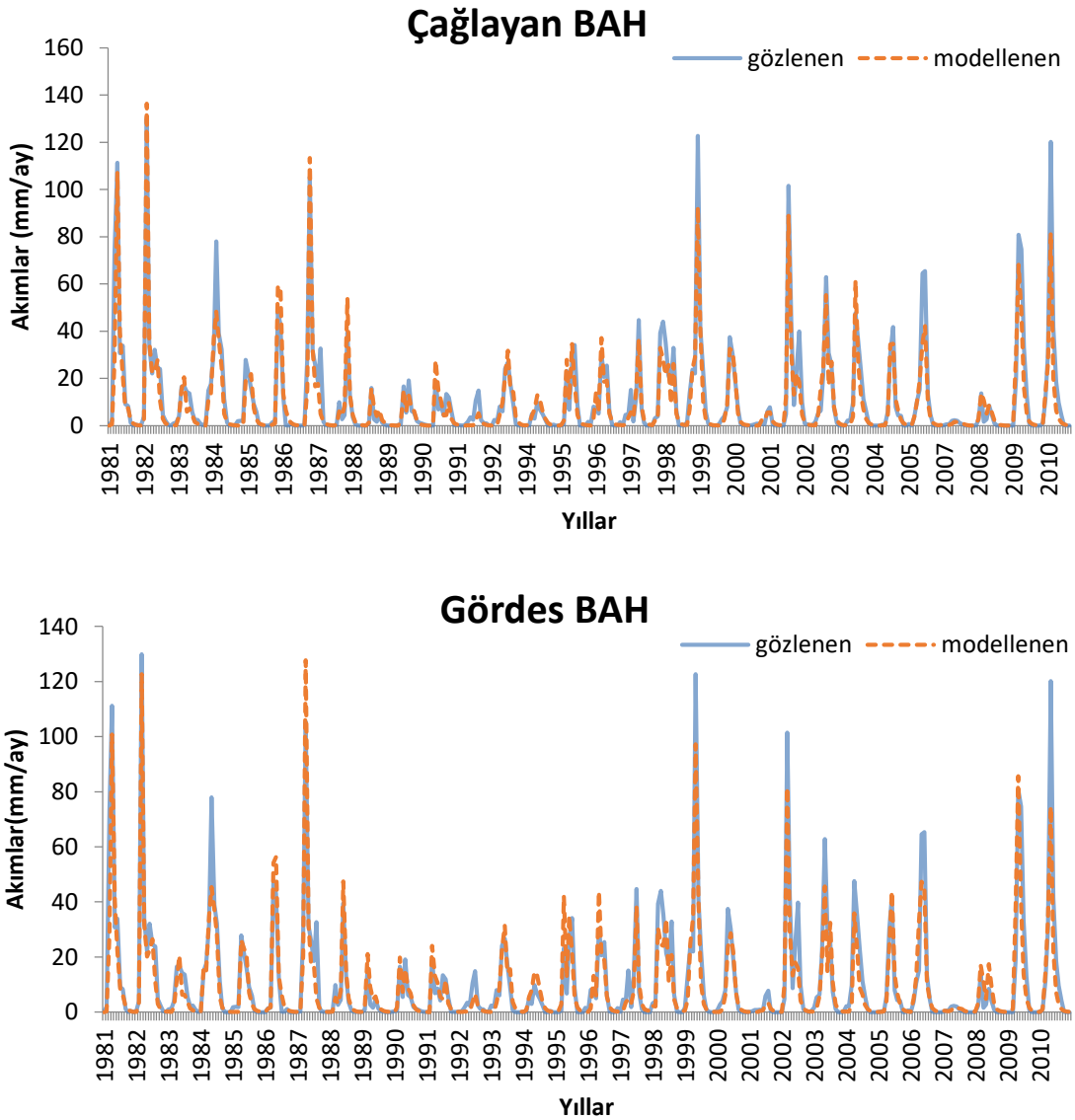
Yanlılık yüzdesi bu model için Çağlayan Barajında kalibrasyon döneminde çok iyi sonuç verirken validasyon döneminde %17 ile iyi sonuç vermiştir. Gördes Barajı incelemesi yapıldığında Çağlayan Barajına benzer sonuçlar alınmış ve bu değerler Tablo 4.12'de gösterilmiştir.



**Tablo 4.12:** Gr2m modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri.

Dönem	Çağlayan BAH			Gördes BAH		
	RSR	NS	Pbias (%)	RSR	NS	Pbias (%)
Kalibrasyon	0.3274	0.8928	7.7200	0.3337	0.8886	5.2201
Validasyon	0.3431	0.8823	17.0777	0.3853	0.8516	17.3090

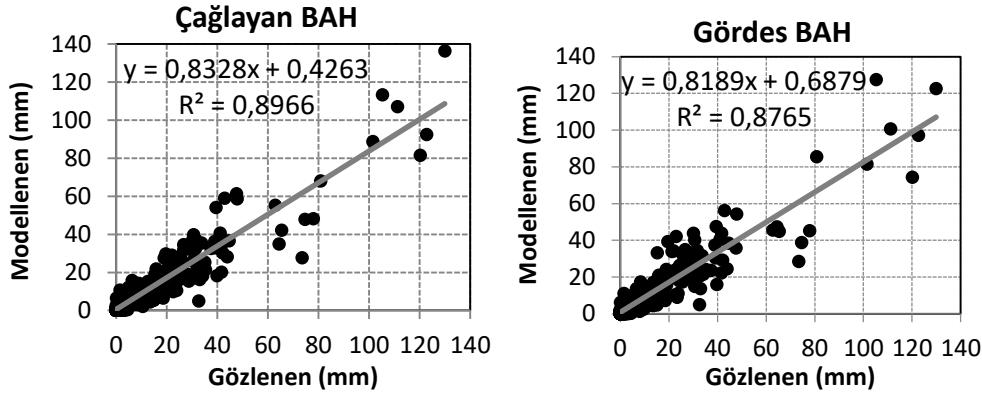
Barajların 1981-2010 yılları arasındaki akım gidişleri Şekil 4.17’de sunulmuştur.



**Şekil 4.16:** Gr2m modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981-2010).

Çağlayan Barajı ver Gördes Barajının Gr2m modeliyle çalıştırılması sonucu Şekil 4.18’de determinasyon katsayısı açısından incelenmesi yapılmıştır. Çağlayan Barajı 0.897, Gördes

Barajı ise 0.877'lik bir performans göstermiş ve bu modelin her iki baraj için de çok iyi çalıştığı teyit edilmiştir.



**Şekil 4.17:** Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Gr2m modeline ait gözlenen-modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).

#### 4.1.7 Temez Modelinin Değerlendirilmesi

Temez modeline ait parametrelerin kalibre edilmiş tahminleri Tablo 4.13'te verilmiştir. Bu tablo baz alındığında akifer deşarj katsayılarının her iki baraj için de 0.200'le alt limite sabitlendiği görülmektedir. İkinci parametre olan  $\alpha_0$  Çağlayan Barajı için 0.792 bulunurken Gördes Barajı için 0.987'dir. Maksimum zemin nemi değerleri sırasıyla 302.695 mm ve 286.699 mm'dir.

**Tablo 4.13:** Baraj verilerinin Temez modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri.

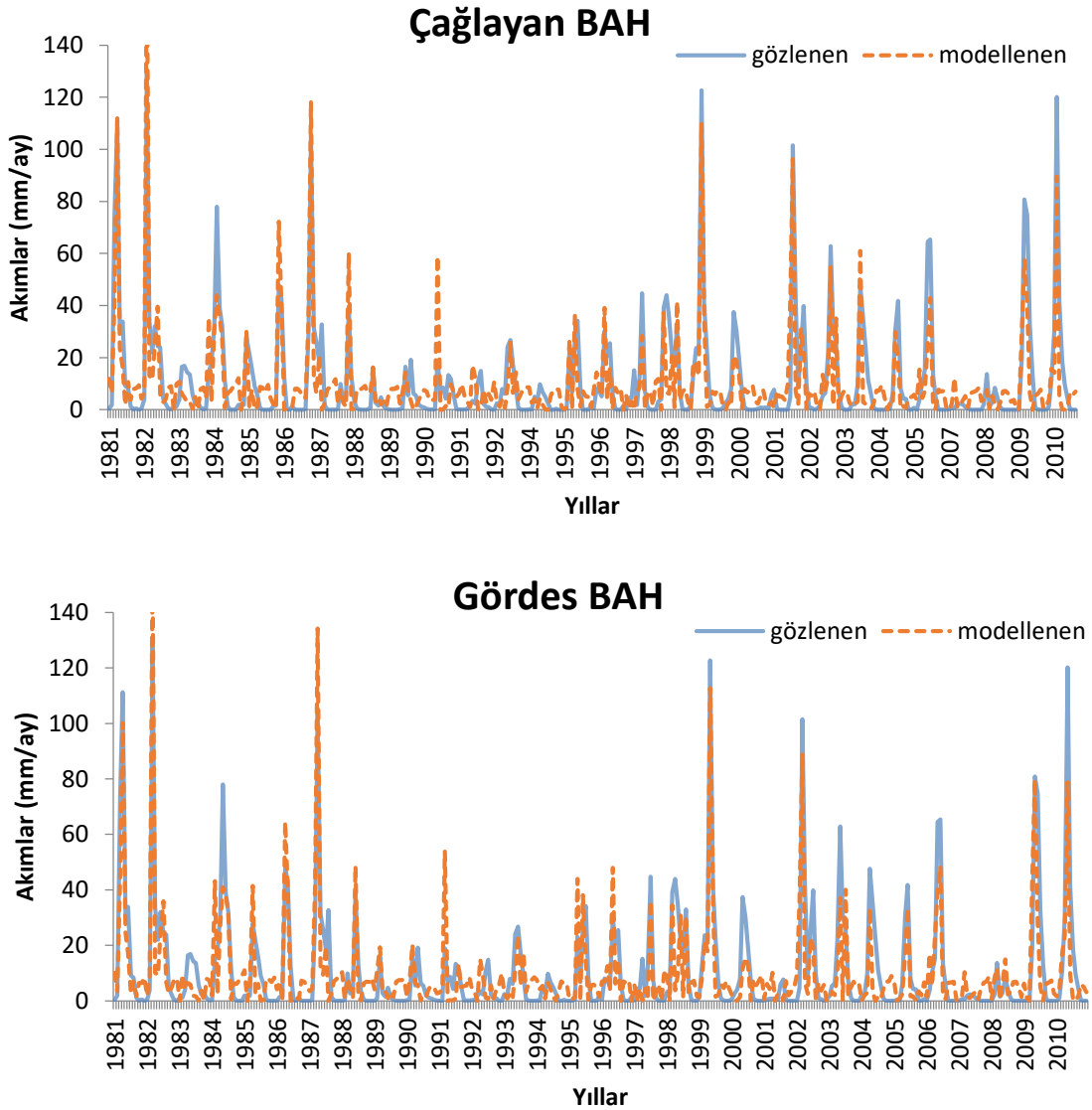
Alt Havza Adı	$\eta$	$\alpha_0$	$H_{max}$ (mm)	$I_{max}$ (mm)
Çağlayan BAH	0.200	0.792	302.695	0.000
Gördes BAH	0.200	0.987	286.699	0.000

RSR kriterine bakıldığında Çağlayan Barajı her iki dönem için de iyi sonuç verirken Gördes Barajında kalibrasyon dönemi 0.7281 ile yetersiz sonuç vermiş olup validasyon döneminde bu değer 0.5554 ile iyi sonuç vermiştir. NS katsayısı Çağlayan Barajının eğitim ve test dönemlerinde 0.69 ile iyi sonuç vermiştir. Tablo 4.14'te verilen rotasyonlarda Nash katsayısı Gördes Barajına ait kalibrasyon döneminde iyi sonuç vermiş eğitim döneminde çok iyi sonuç vermiştir. Yüzde yanlılık kriterine göre barajların kalibrasyon döneminde aşırı tahminleme yaptığı görülmektedir. Çağlayan Barajı - %10 değeri ile kalibrasyonda, %14 ile validasyonda iyi sonuç vermiştir. Gördes Barajında ise eğitim döneminde çok iyi sonuç alınmışken test döneminde yeterli sonuç alınmıştır.

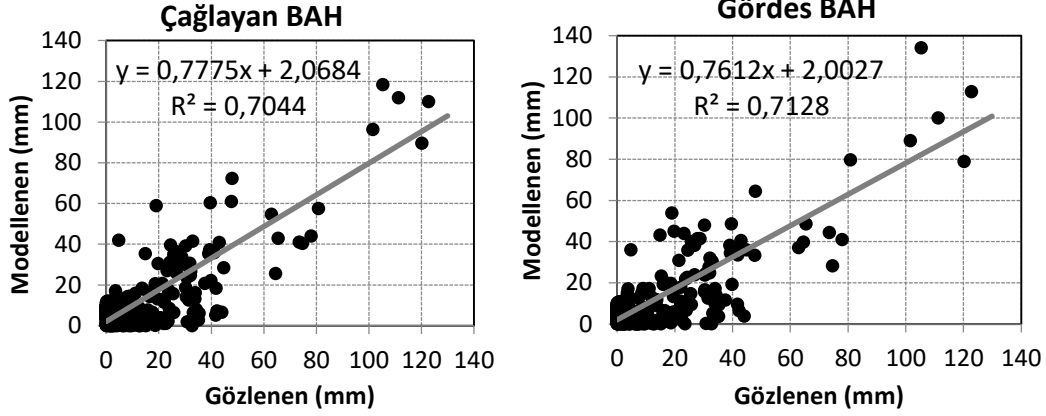
**Tablo 4.14:** Temez modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri.

Dönem	Çağlayan BAH			Gördes BAH		
	RSR	NS	Pbias (%)	RSR	NS	Pbias (%)
Kalibrasyon	0.5556	0.6912	-10.0565	0.7281	0.7281	-7.4329
Validasyon	0.5478	0.6999	14.2418	0.5554	0.61915	16.1971

Şekil 4.18’de verilen grafiklerde elde edilen sonuçlar doğrultusunda tüm zaman periyoduna ait gözlenmiş veriler ve modellenmiş veriler arasındaki ilişki gösterilmiştir.



**Şekil 4.18:** Temez modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981-2010).



**Şekil 4.19:** Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Temez modeline ait gözlenen-modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).

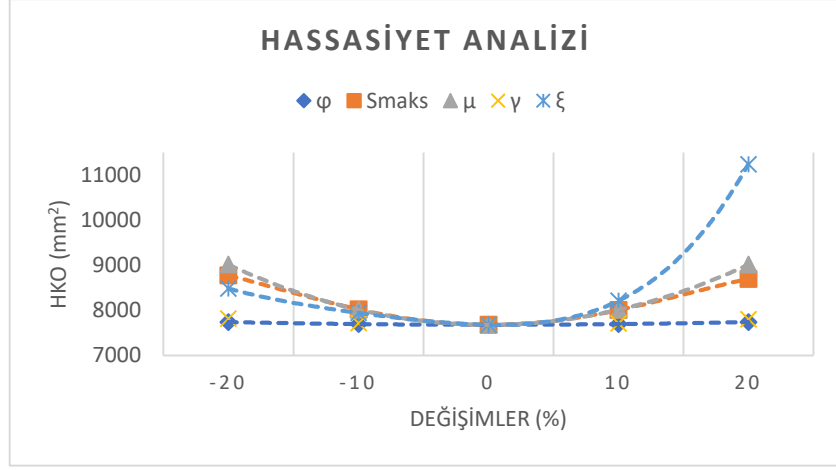
Şekilde 4.19’da verilen gözlenmiş-modellenmiş akım verilerinin tek periyotta Temez modeli için incelemesi yapılmış ve determinasyon katsayısı sırasıyla 0.704 ve 0.713 olarak bulunmuştur. Bu durumda Gördes Barajının çok az bir farkla Çağlayan Barajından daha iyi çalıştığı görülmüş ve her iki barajın performansı iyi olarak değerlendirilmiştir.

#### 4.1.8 Twwb Modelinin Değerlendirilmesi

Thornthwaite modeline ait parametrelerin kalibrasyon tahmin sonuçları Tablo 4.15’te verilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında yüzey akış katsayısı olarak bilinen  $\phi$  değeri Çağlayan Barajı için 0.066 iken Gördes Barajı için 0.079’dur. Maksimum zemin nemi depolaması parametresi incelendiğinde Çağlayan Barajı alt havzasının depolayabileceği maksimum nem 117.791 mm, Gördes Barajı alt havzasında ise bu değer 122.959 mm’dir. Yeraltı akış katsayıları sırasıyla 0.402 ve 0.429’dur. Lineer yeraltı suyu parametresi Çağlayan Barajında 0.193, Gördes Barajında 0.218’dir. Yeraltı biriktirme sistemine ait katsayının verilere göre kalibre edilmesinden bulunan sonuç Tablo 4.15’te her iki baraj için de ayrı ayrı verilmiştir.  $\xi$  parametresinin lokal hassasiyeti model üzerinde en etkili şekilde seyir etmektedir. Şekil 4.20’de duyarlılık analizinin grafiği irdelenmiştir.

**Tablo 4.15:** Baraj verilerinin Twwb modeline ait kalibre edilen parametre tahminleri.

Alt Havza Adı	$\phi$	$S_{maks}$ (mm)	$\mu$	$\gamma$	$\xi$
Çağlayan BAH	0.066	117.791	0.402	0.193	0.820
Gördes BAH	0.079	122.959	0.429	0.218	0.830



**Şekil 4.20:** Twwb modeline ait nispi parametre hassasiyet analizi.

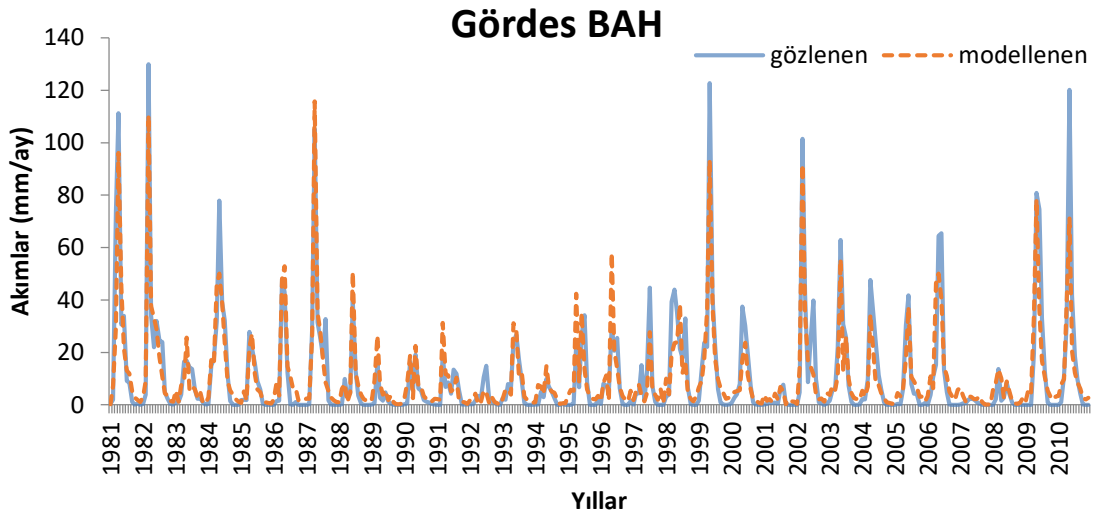
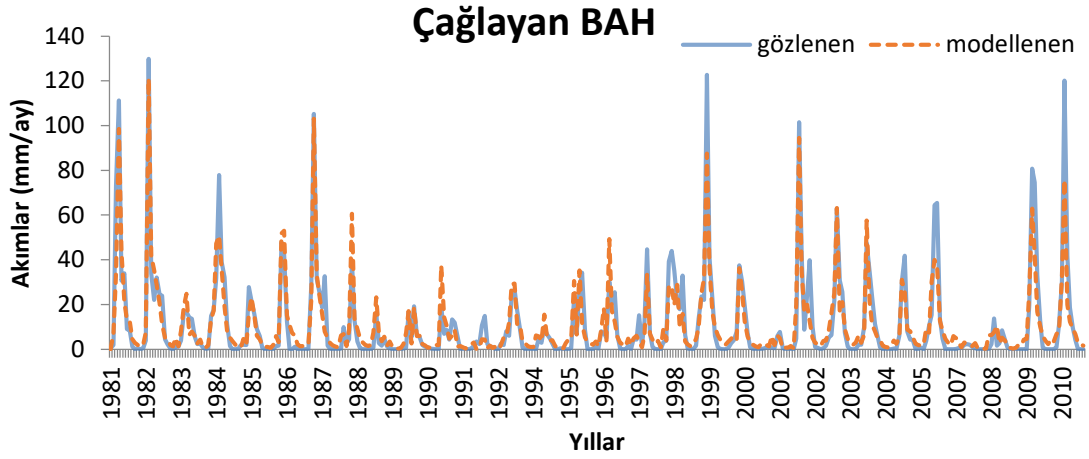
Çağlayan Barajı ve Gördes Barajı performans ölçütleri incelendiğinden RSR ve NS katsayılarının her iki dönem için de çok iyi sonuç verdiği görülmektedir. Tablo 4.16’da verilen değerler göz önüne alındığında Pbias kriteri her iki baraja ait kalibrasyon döneminde aşırı tahminleme yapmış kalibrasyon ve validasyon dönemlerine ait sonuçların %10’nun altında bulunmasından dolayı çok iyi sonuç vermiştir.

Elde edilen sonuçlara göre kalibrasyon döneminin validasyona göre daha yüksek performans verdiği gözlemlenmiş ve her iki dönem arasında tutarsızlık bulunmamıştır. Şekil 4.21’de verilen grafiklerde kalibrasyon ve validasyon dönemi için akım değerlerinin kıyaslanması mevcuttur.

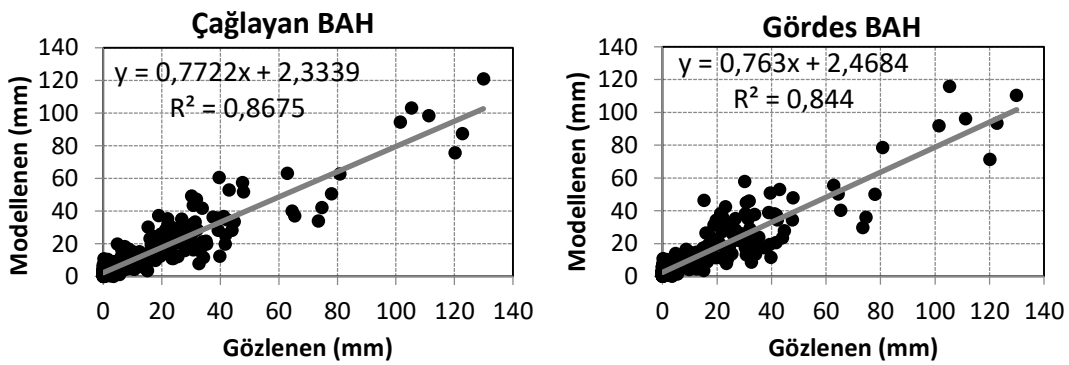
Modelin genel kapsamda kalibrasyon ve validasyon süreçlerine ait veri analizlerinde iyi sonuç verdiği ve her iki döneme ait tutarlılık söz konusu olduğu açıkça görülmektedir.

**Tablo 4.16:** Twwb modelinin kalibrasyon ve validasyon dönemi performans istatistikleri.

Dönem	Çağlayan BAH			Gördes BAH		
	RSR	NS	Pbias (%)	RSR	NS	Pbias (%)
Kalibrasyon	0.3469	0.8797	-5.9974	0.3571	0.8725	-7.2091
Validasyon	0.4029	0.8377	7.2318	0.4410	0.8056	7.6614



Şekil 4.21: Twwb modeline ait gözlenen-modellenen akımların gidiş grafiği (1981-2010).

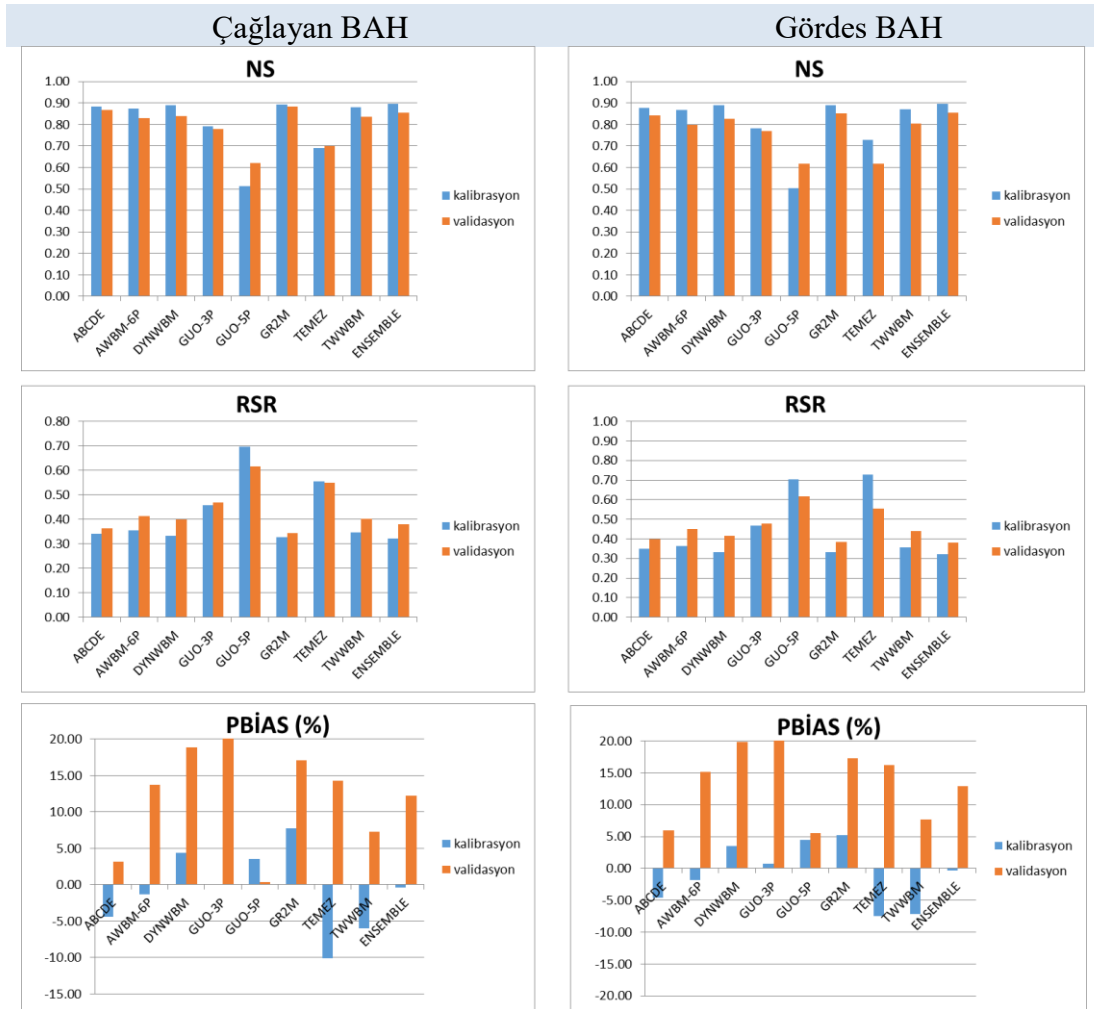


Şekil 4.22: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarının Twwb modeline ait gözlenen-modellenen akım saçılım diyagramları (1981-2010).

Şekil 4.22’de Thornthwaite modeline ait akımlar arasındaki ilişkiyi veren grafikler referans alındığında Çağlayan Barajının %86,8, Gördes Barajının %84,4 performans gösterdiği görülmüştür.

## 4.2 BMO Modellerinin Oluşturulması

Bayes Model Ortalaması yöntemi kullanılan 8 adet modelin hangilerinin daha iyi sonuç verdiği dair çıkarımlarda bulunabilmek ve en iyi performansı sergileyen modeller arasında gruplandırma yaparak ortak model performansının artırılmasında referans alınacaktır. Çağlayan ve Gördes Barajlarına ait kalibrasyon ve validasyon verilerinden elde edilen model sonuçları incelenmiş olup her iki baraja ait ağırlıklandırmalar MatLab uygulaması kullanılarak belirlenmiş olup ansambl modellere ait NS, RSR ve Pbias kriterleri belirlenmiştir. Şekil 4.23'te verilen tüm modellere ait performans ölçütleri kıyaslanmıştır.



Şekil 4.23: Çağlayan ve Gördes Baraj havzalarına ait modellerin performans ölçütleri.

Bulunan sonuçlar doğrultusunda oluşturulan V1 modelinin (1. Versiyon çoklu model) ayrı çalıştırılan modellere göre çok iyi bir performans sergilememesi üzerine incelenen modeller arasında gruplandırma yapılması ve oluşturulacak çoklu model performansının artırılması için NS katsayısı kalibrasyon ve validasyon dönemlerinde çok iyi sonuç vermeyen Guo-5p ve Temez modellerinin yeni versiyon ansambl modellere dahil edilmemesi ansambl

modellerin performansının artmasında öncelikli etmen olacağı öngörülmüştür. Geriye kalan 6 model arasında yapılacak olan gruplandırmaların belirlenmesinde Minitab uygulaması kullanılmış ve gruplar en iyi alt küme regresyon yöntemiyle elde edilmiştir.

	Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	Abcde	Awbm-6p	Dynwbm	Guo-3p	Gr2m	Twwbm
Çağlayan BAH	1	89.5	89.5	89.2	21.8	6.1121					•	
	2	90.5	90.4	89.8	5.1	5.8399		•	•			
	3	90.8	90.7	90.0	1.7	5.7685	•	•	•			
	4	90.9	90.7	89.5	3.0	5.7736	•	•	•	•		
	5	90.9	90.6	89.1	5.0	5.7895	•	•	•	•	•	
	6	90.9	90.5	89.0	7.0	5.8062	•	•	•	•	•	•
Gördes BAH	1	89.2	89.2	88.4	24.9	6.2044			•			
	2	90.3	90.1	89.2	7.4	5.9147		•	•			
	3	90.6	90.4	89.4	3.5	5.8337		•	•	•		
	4	90.7	90.5	89.3	3.1	5.8105	•	•	•	•		
	5	90.7	90.4	89.2	50	5.8259	•	•	•	•		•
	6	90.7	90.4	89.7	7.0	5.8425	•	•	•	•	•	•

**Tablo 4.17:** BMO tahminleyicisi niteliğindeki hidrolojik model kümeleri.

Tablo 4.17’de verilen alt küme regresyon yöntemi sonuçlarında daha önce 1. Versiyon (tüm modellerin kombinasyonlanmış hali) gruplandırılması verilen ansambl modelin Minitab yardımıyla elde edilmiş diğer 5 versiyona ait alt kümelerinin belirlenmesinde referans alınan gruplandırmalar verilmiştir. Bu gruplandırmalar BMO tahminleyicisi niteliğinde olup hidrolojik modellerin kümelenmesinde başlangıç için ön adımdır.

Çoklu modellerin kümelenmesinde verilen tek modeller Bayes model ortalaması yöntemi kapsamında varyans öncelikli çalışmadığından elde edilen alt kümeler ve tekli ağırlıklandırmalar arasında en iyi çalışan modellerin tayininde farklılıklar görülmektedir. Oluşturulacak olan çoklu modellerin ağırlıklandırılması her versiyon için tekrar yapılmış ve Tablo 4.18 ve 4.19’da sunulmuştur. Baraj alt havzalarının tekli modellerden oluşturulmuş çoklu versiyonlar incelendiğinde iyi performans gösteren modellerin ağırlıkları diğer modellerin ağırlıklarına göre daha fazla olmuştur. Her iki havzaya ait barajlarda Dinamik su bütçesi ve Avusturalyan su bütçesi 6. Versiyonda ağırlıklandırma olarak ikili gruba ait etkili modellerdir.



**Tablo 4.18:** Çağlayan Barajı alt havzasına ait BMO modellerinin ağırlıklandırması.

Modeller	Çağlayan Barajı Alt Havzası					
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
ABCDE	0.1790	0.2044	0.2397	0.3038	0.3867	-
AWBM	0.0996	0.1350	0.1552	0.1987	0.2544	0.4444
DYNWBM	0.1581	0.1878	0.2245	0.2837	0.3589	0.5556
GUO-3P	0.1125	0.1384	0.1654	0.2138	-	-
GUO-5P	0.0927	-	-	-	-	-
GR2M	0.1440	0.1743	0.2151	-	-	-
TEMEZ	0.0835	-	-	-	-	-
TWWBM	0.1303	0.1601	-	-	-	-

**Tablo 4.19:** Gördes Barajı alt havzasına ait BMO modellerinin ağırlıklandırması.

Modeller	Gördes Barajı Alt Havzası					
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
ABCDE	0.1547	0.1967	0.2501	0.2870	-	-
AWBM	0.1129	0.1456	0.1783	0.2077	0.2703	0.5507
DYWBM	0.1567	0.1615	0.1885	0.2888	0.4233	0.4493
GUO-3P	0.1230	0.1577	0.1893	0.2255	0.3063	-
GUO-5P	0.0947	-	-	-	-	-
GR2M	0.1414	0.1843	-	-	-	-
TEMEZ	0.0978	-	-	-	-	-
TWWBM	0.1188	0.1542	0.1937	-	-	-

Tablo 4.20 ve 4.21’de her iki baraja ait hesaplanan ağırlık değerlerine göre modellerin kalibre edilmesinden sonraki performanslarının daha önce konusu geçen ölçütlere göre değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar yer almaktadır. İtalik olarak verilen değerler en kötü sonuçları temsil ederken kalın yazılan değerler ise en iyi sonuçları simgelemektedir. Kalibrasyon döneminde ve validasyon döneminde hesaplanan performans kriterlerine ait sonuçlarda bazı versiyonlarda görülen tutarsızlıklar BMO modelinin geliştirilmeye açık olduğunu ortaya koymaktadır. Burada V2 modeli 6 modelin birleştirilmesiyle oluşturulup V6 modeline kadar olan modellerde, model adetleri azaltılarak kombine edilmiştir.

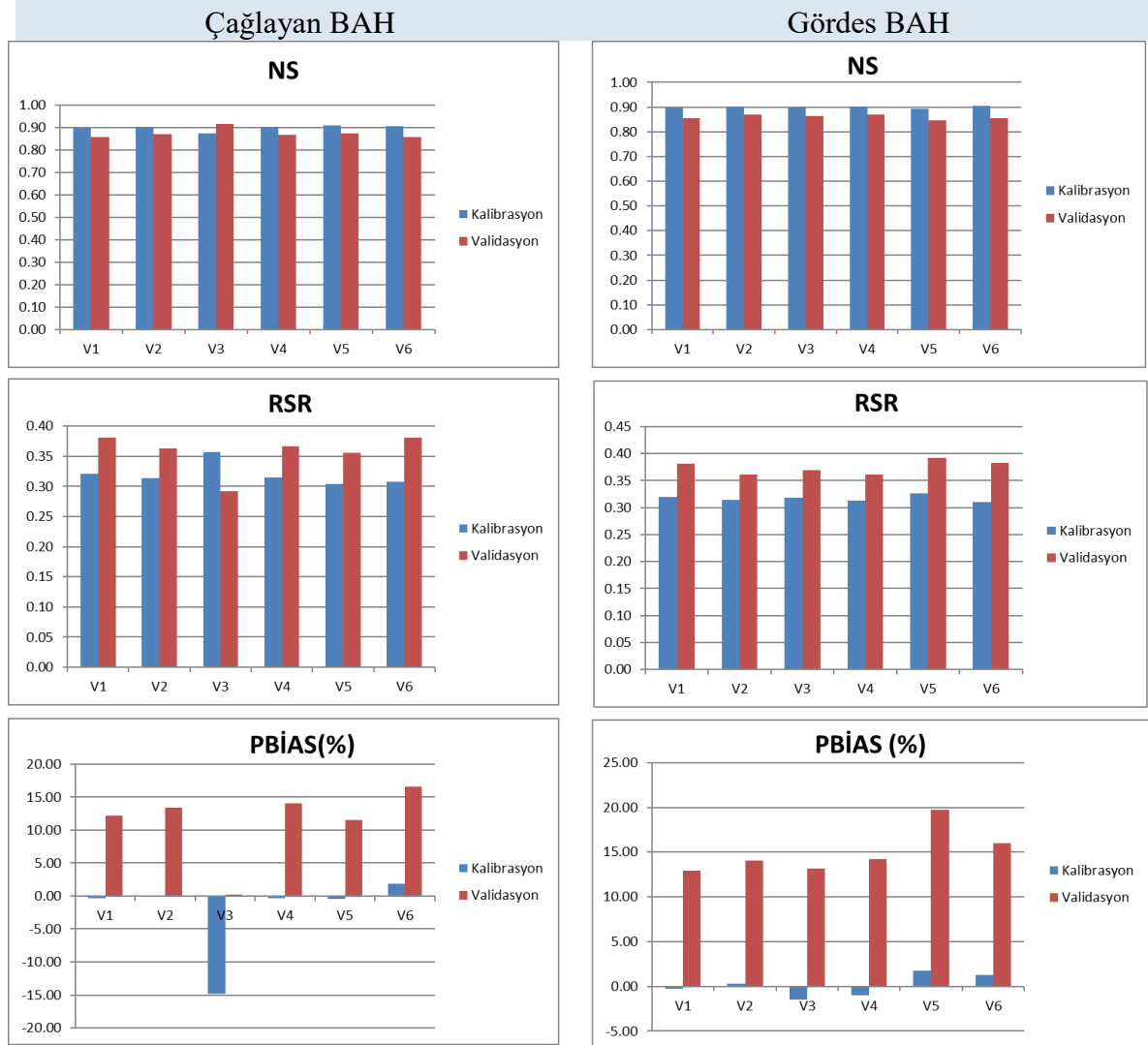
**Tablo 4.20:** Tüm modellerin performans sonuçları (Çağlayan BAH).

Versiyonlar	Kalibrasyon			Validasyon		
	RSR	NS	Pbias (%)	RSR	NS	Pbias (%)
ABCDE	0.340	0.885	-4.369	0.362	0.869	3.161
AWBM	0.354	0.875	-1.279	0.414	0.828	13.691
DYWBM	0.332	0.890	4.422	0.399	0.841	18.877
GUO-3P	<i>0.458</i>	<i>0.791</i>	<b>0.025</b>	<i>0.470</i>	<i>0.779</i>	<i>23.321</i>
GR2M	0.327	0.893	7.720	0.343	0.882	17.078
TWWBM	0.347	0.880	-5.997	0.403	0.838	7.232
V1	0.321	0.897	-0.357	0.381	0.856	12.193
V2	0.314	0.901	0.153	0.363	0.869	13.401
V3	0.357	0.873	<i>-14.834</i>	<b>0.292</b>	<b>0.916</b>	<b>0.222</b>
V4	0.315	0.901	-0.322	0.367	0.866	14.022
V5	<b>0.305</b>	<b>0.907</b>	-0.428	0.356	0.874	11.480
V6	0.308	0.905	1.888	0.381	0.856	16.572

**Tablo 4.21:** Tüm modellerin performans sonuçları (Gördes BAH).

Versiyonlar	Kalibrasyon			Validasyon		
	RSR	NS	Pbias (%)	RSR	NS	Pbias (%)
ABCDE	0.350	0.878	-4.647	0.400	0.844	<b>5.941</b>
AWBM	0.363	0.869	-1.864	0.450	0.797	15.196
DYWBM	0.331	0.891	3.482	0.416	0.827	19.895
GUO-3P	<i>0.467</i>	<i>0.782</i>	<b>0.715</b>	<i>0.479</i>	<i>0.771</i>	<i>26.251</i>
GR2M	0.334	0.889	5.220	0.385	0.852	17.309
TWWBM	0.357	0.873	<i>-7.209</i>	0.441	0.806	7.661
V1	0.320	0.897	-0.309	0.382	0.855	12.924
V2	0.315	0.901	0.276	0.362	0.870	14.065
V3	0.318	0.899	-1.507	0.369	0.865	13.168
V4	0.314	0.902	-0.985	<b>0.361</b>	<b>0.871</b>	14.220
V5	0.327	0.893	1.750	0.393	0.847	19.739
V6	<b>0.310</b>	<b>0.904</b>	1.282	0.383	0.855	16.021

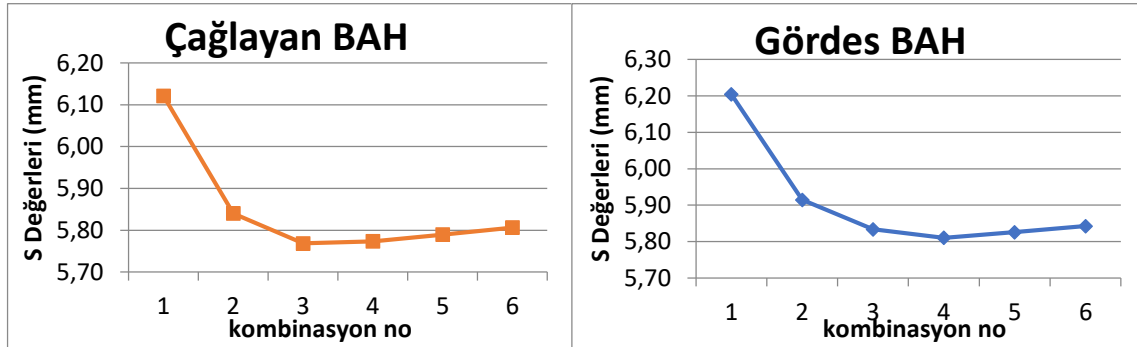
Ağırlıklar hesaplandıktan sonra modellere ait akımlarla çarpılıp tahminler elde edilmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda barajların ansambl modeller için ölçülen performans kriterlerine ait histogram diyagramları Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24: Ansambl modellere ait performans kriterlerinin kıyaslanması.

Modelin veri değerlerinin uygun değerlerle olan arasındaki ilişkiyi ölçen s parametresi kıyaslandığında 5. Versiyona ait ölçütler Çağlayan Barajında en düşük değeri verirken Gördes Barajında 4. Ve 5. Versiyonların çok yakın değer vermesi sebebiyle üçlü kombinasyonların ansambl modeller için en iyi sonucu verdiği düşünülmektedir. Şekil 4.25'te alt kümelere ait çizgi grafiği verilmiştir. Baz alınan modele ait kombinasyon incelendiğinde Çağlayan için Abcde, Awbm-6p ve Dynwb modellerinin oluşturduğu ansambl model, Gördes için Awbm-6p, Dynwb ve Guo-3p modellerinin oluşturduğu

ansambl modelin seçilmesi sonucunda çoklu modellerin performansının daha da yüksek olduğu histogram diyagramlarından da görülmektedir.



**Şekil 4.25:** En iyi k-girdili doğrusal kombinasyonlara ilişkin ortalama hata değerlerinin değişimi (k=1-6).

Ortak indis PI değerlerinin Tablo 4.22'deki sonuçlara göre değerlendirilmesiyle tekli çalışan modellerin her iki dönem için de çoklu modellere göre daha kötü sonuç verdiği açıkça görülmektedir. Kalibrasyon döneminde Çağlayan Barajı'nda V5, Gördes Barajı'nda ise V2 ve V6 modelleri iyi sonuç verirken validasyon döneminde performans sonuçları değişkenlik gösterebilmektedir.

**Tablo 4.22:** PI kriterine göre kalibrasyon ve validasyon dönemlerinin değerlendirilmesi.

Versiyonlar	Çağlayan BAH		Gördes BAH	
	Kalibrasyon	Validasyon	Kalibrasyon	Validasyon
ABCDE	0.824	0.813	0.816	0.781
AWBM	0.823	0.748	0.816	0.719
DYWBM	0.828	0.743	0.832	0.729
GUO-3P	0.754	0.682	0.745	0.667
GR2M	0.822	0.783	0.825	0.757
TWWBM	0.814	0.774	0.805	0.747
V1	0.847	0.775	0.847	0.772
V2	0.851	0.783	<b>0.851</b>	0.781
V3	0.782	<b>0.865</b>	0.845	0.780
V4	0.850	0.778	0.849	<b>0.782</b>
V5	<b>0.856</b>	0.793	0.839	0.744
V6	0.850	0.762	<b>0.851</b>	0.762

Çalışmanın BMO ile aynı istatistiklere ulaşıp ulaşılmadığını sınamak amacıyla Mann-Whitney  $U$  testi kullanılmıştır. Wilcoxon sıralama toplamı testi olarak da bilinen parametrik olmayan bu yöntem 1947’li yıllarda Mann ve Whitney tarafından ortaya atılmıştır. Gözlenmiş akımların ( $R_1$ ) ve ansambl model akımlarının ( $R_2$ ) birlikte sıralanmasıyla  $U$  değerleri elde edilmiştir. Maksimum  $U$  ( $U^*$ ) değeri belirlenmiş  $N_1$  ve  $N_2$  veri seti adedine bağlı olarak  $Z_{hesap}$  değerleri Tablo 4.23’teki şekilde bulunmuştur.

$$U_i = N_1 \times N_2 + \frac{N_i \times (N_i + 1)}{2} - R_i, \quad (i = 1, 2) \quad (4.1)$$

$$Z_{hesap} = \left| \frac{U^* - \frac{N_1 \times N_2}{2}}{\sqrt{\frac{N_1 \times N_2 \times (N_1 + N_2 + 1)}{12}}} \right| \quad (4.2)$$

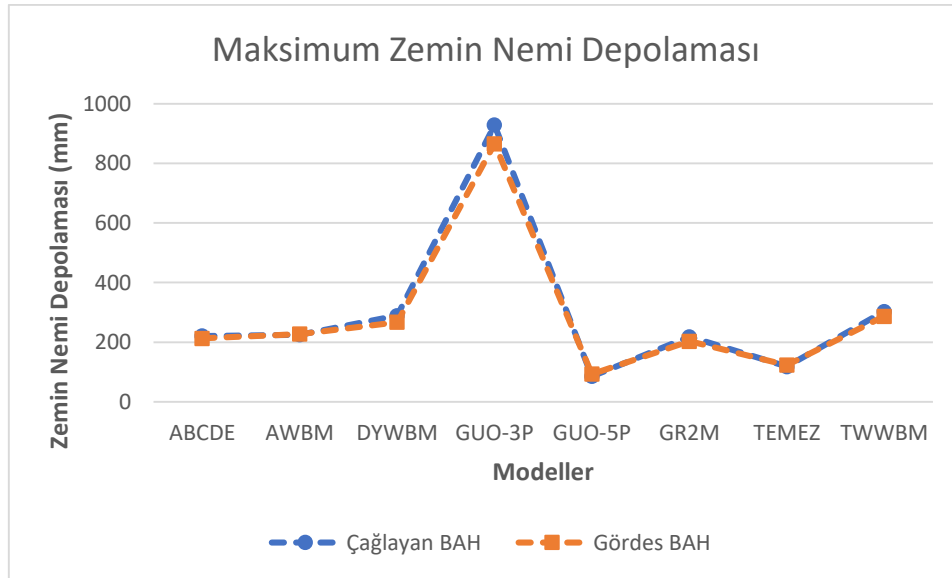
**Tablo 4.23:** M-W testi ile BMO modellerinin uygunluğunun sınanması.

Versiyonlar	Çağlayan BAH	Gördes BAH
	$Z_{hesap}$	$Z_{hesap}$
V1	0.296	0.296
V2	0.310	0.310
V3	0.517	<b>0.281</b>
V4	0.577	0.340
V5	<b>0.192</b>	0.636
V6	0.444	0.444

%5 anlamlılık yüzdesine göre  $Z_{kr}$  tablo değeri olup 1.960 alındığından hesap değerleriyle kıyaslanmıştır.  $Z_{hesap} \geq Z_{kr}$  değeri olduğunda gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu sonucuna varılmaktadır. Aykırı verilerin varyansı fazla büyütmesinden dolayı yıllık toplam akım verilerinin kullanılması M-W testinden daha iyi sonuç almayı sağlayacağından  $Z_{hesap}$  değerleri yıllık toplam akımlarla elde edilmiştir. Modellenen yeni versiyonların akım verileri ve gözlenmiş akım verilerinin M-W testine tabi tutulması sonucunda tüm yeni modeller arasında anlamlı bir fark olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Analizlere göre Çağlayan Barajı alt havzasına ait V5 modeli, Gördes Barajı alt havzası için ise V3 modelinin daha iyi performans gösterdiği varsayılabilir.

## 5. SONUÇLAR

Gediz Havzası'na ait akım gözlem istasyonu verilerinin 8 farklı kavramsal hidrolojik model ile işletilmesini ele alan bu çalışmada modeller oluşturulurken havzalara ait tüm süreçlerin homojen olarak yayıldığı ve yüzeylerin geçirimli olduğu kabul edilmiştir. Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak gerekli veriler ölçülmüştür. Fiziksel olarak ölçülemeyen kavramsal parametreler modeller yardımıyla elde edilmiştir. Zemin nemi ve yeraltı suyu depolaması başlangıç değerleri her model için 0 kabul edilmiş ve hesaplamalar bunu takiben yapılmıştır. Gerekli analizlerin doğru şekilde yapılabilmesi için MS Excel, Matlab ve Minitab gibi yazılımlardan faydalanılmıştır. Çağlayan ve Gördes Barajlarının işletilmesi referans alınan çalışma havzasına ait uygulama verileri 1981-2010 yılları arasındaki ilgili meteorolojik birimlerden temin edilmiştir. 30 yıllık periyodun 15 yılına ait 180 adet verisi çalışmanın parametrelerinin kalibrasyonu sağlarken kalan 15 yıllık gözlenmiş veriler validasyon sürecinin eğitilmesinde kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu olarak hata kareler ortalaması alınmıştır. HKO'nun minimize edilmesine bağlı model parametreleri elde edilmiştir. İyi performans veren modellerde hata kare ortalamasına bağlı olarak model hassasiyetleri sınanmış Abcde modeli için  $c$  ve  $a$ , Awbm modeli için  $f$ , Dynwb modeli için,  $\alpha_1$ , Gr2m modelinde  $X_2$ , Guo-3p modelinde  $\beta$ , Twwb modelinde ise  $\zeta$  parametresinin en duyarlı parametreler olduğu belirlenmiştir. Akım ölçümleri açısından incelendiğinde Guo-5p modeli dışındaki modellerin yüksek akım gidişlerine sahip olduğu görülmektedir.

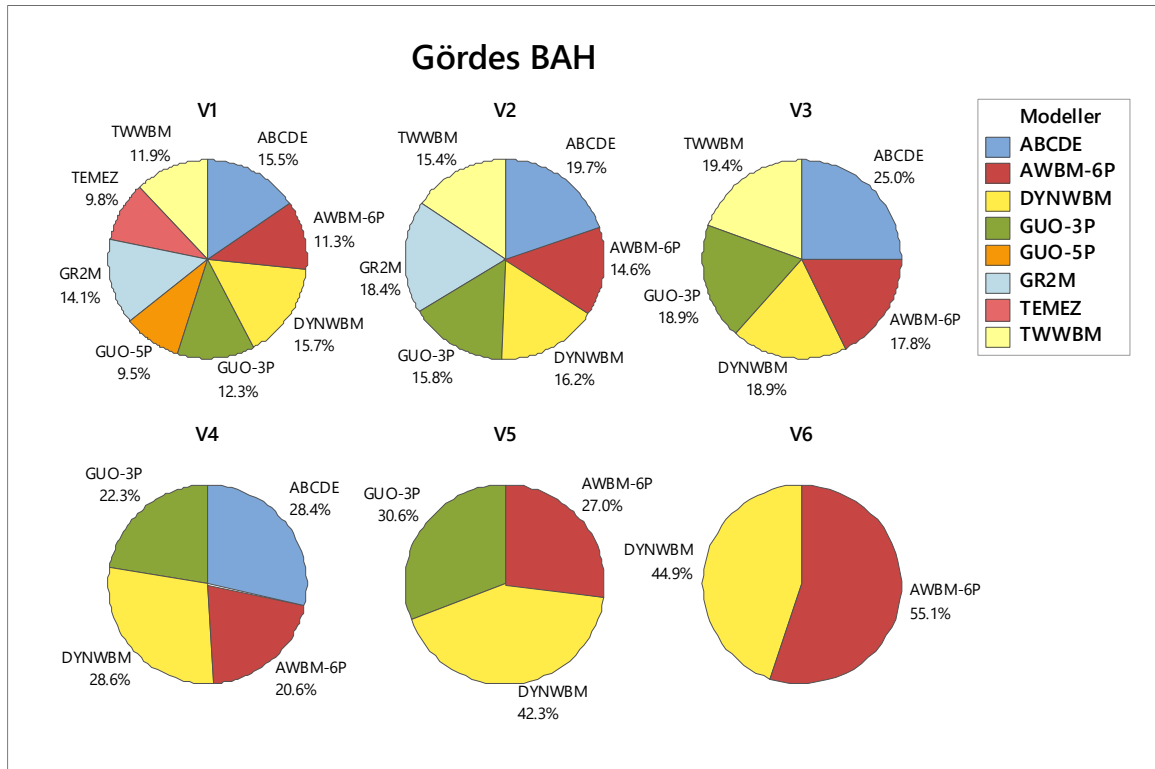
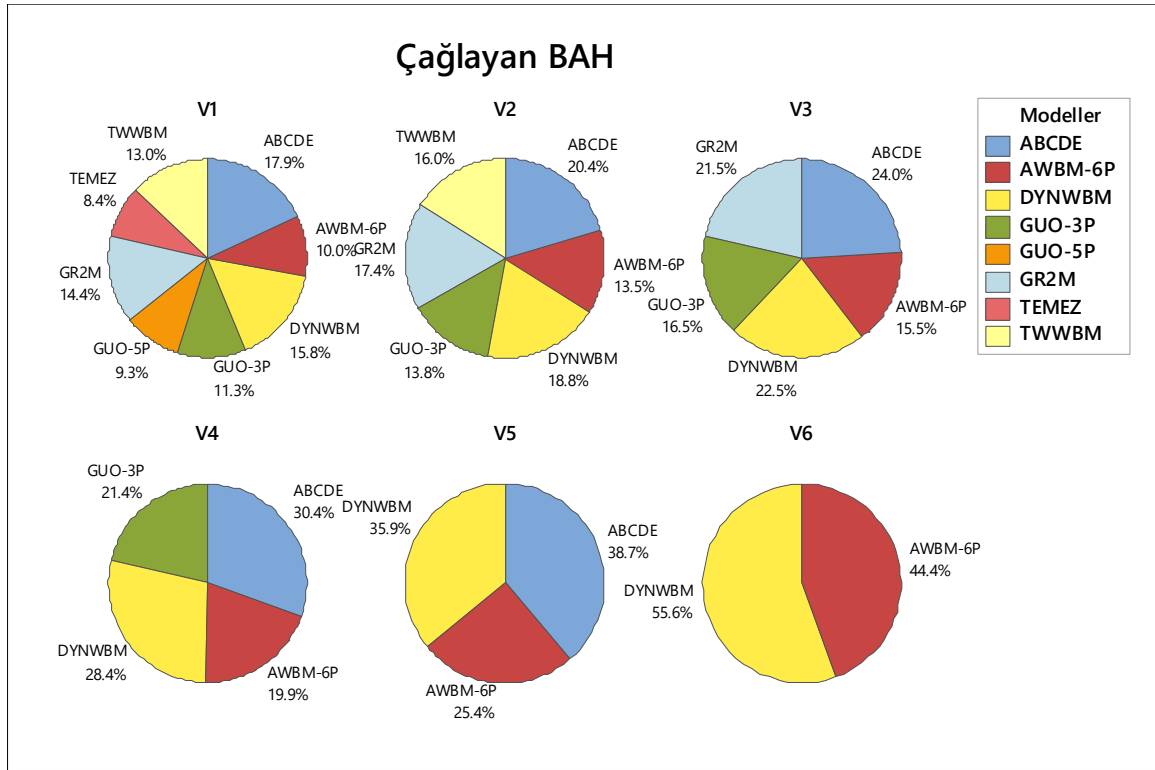


Şekil 5.1: Zemin nemi depolaması parametresine ait model çıktılarının kıyaslanması.

Şekil 5.1’de verilen grafiklerde tekli modellere ait ortak değişken olan maksimum zemin nemi depolamasının kalibrasyon sonuçlarından elde edilen grafikte, modellerin fiziksel olmaması dolayısıyla parametre sonuçlarının fiktif olarak üretildiği açıkça görülmektedir. Amaç fonksiyonu düzenleyerek ilerleyen model mekanizmasında fiziki sınırların altına ve üstüne çıkılması durumu söz konusudur. Bu sınırların gösterdiği değişkenlikler her modelde ortak olarak tayin edilen zemin nemi depolanması üzerinden incelendiğinde Guo-3p modeline ait verilerde parametre sınırlarının üst limitine, Guo-5p modelinde ise alt limite yakınsadığı görülmektedir. Bu modeller dışında yer verilen parametre sonuçları birbirine yakınlık bakımından tutarlı olması sebebiyle veri analizlerinin kıyaslanması açısından daha doğru sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Modellerin performansları çeşitli istatistiksel kriterlerle sınanmıştır. Bunlardan RMSE, NS ve Pbias her modele ait kalibrasyon ve validasyon döneminin ölçülmesini sağlarken  $R^2$  katsayısı gözlenen ve modellenen verilerin tüm dönemine ait performansın ölçülmesinde kullanılmıştır. Tablo 5.1’de verilen  $R^2$  katsayısına ait iki baraj için de hesaplanan modellerin değerlendirilmesi gösterilmiştir. Bu tablo baz alındığı modellerin ayrı ayrı değerlendirildiğinde kalibrasyon ve validasyon dönemlerinin bütünü için en iyi performansın Gr2m modeline ait olduğu gözlemlenmiştir. Bu model çıktılarının derlenmesinden sonra BMO ile 8 modelin ağırlıklandırılması yapılmıştır. Performansları ölçülen bazı modellerin (Guo-5p ve Temez) çok iyi sonuç vermemesi sebebiyle BMO modellerinde çeşitli kombinasyonlar yapılması uygun görülmüş ve çoklu modellerin arasından en iyi verimin alındığı ansambl modelin seçilmesi çalışmanın çok yönlü olmasına katkı sağlamıştır.

**Tablo 5.1:** Modellere ait determinasyon katsayıları (1981-2010).

Modeller	Çağlayan BAH	Gördes BAH
ABCDE	0.884	0.865
AWBM-6p	0.858	0.836
DYNWBM	0.873	0.864
GUO-3p	0.790	0.783
GUO-5p	0.588	0.582
GR2M	<b>0.897</b>	<b>0.877</b>
TEMEZ	0.704	0.844
TWWBM	0.868	0.713



**Şekil 5.2:** BMO yaklaşımıyla elde edilen ağırlıkların modellere göre dağılımı.

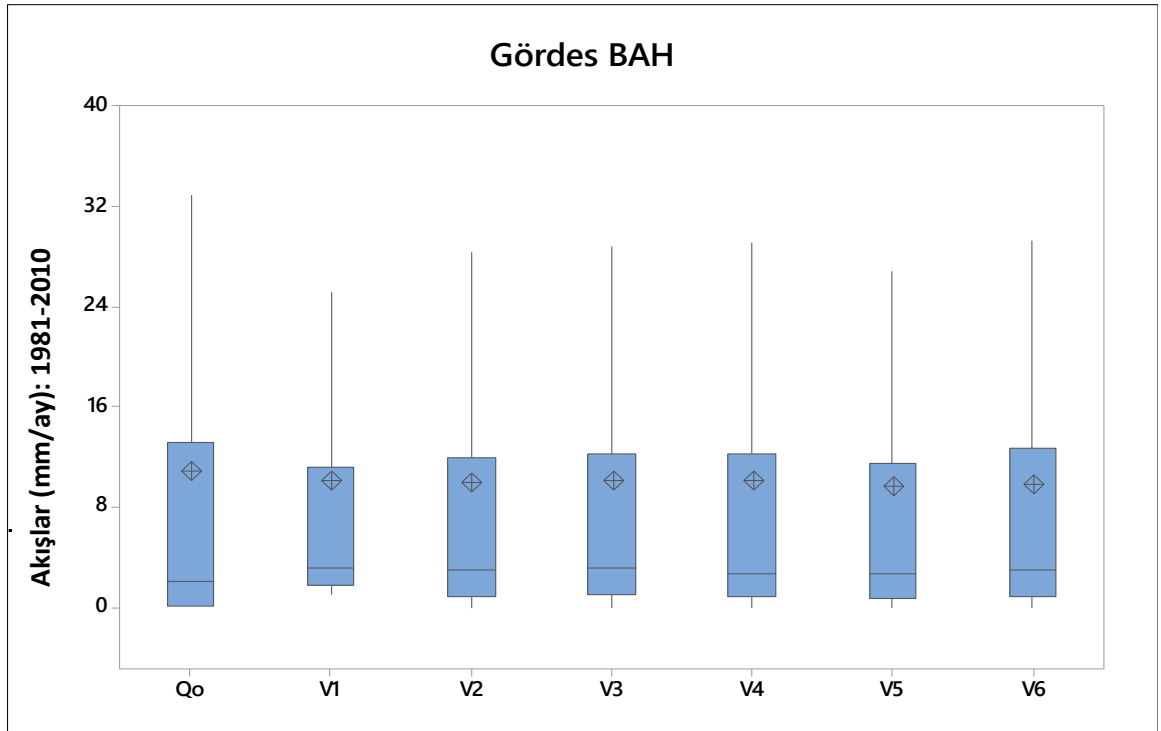
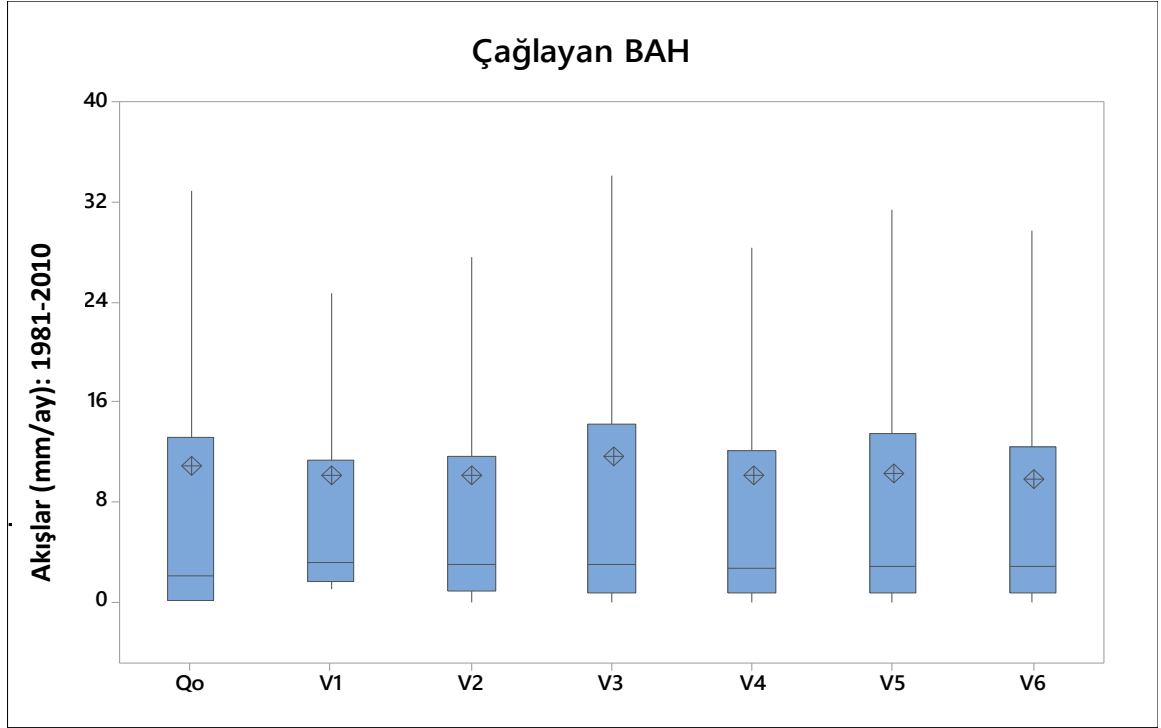
Modellerin gruplandırılmasının yapılabilmesi için best subset regression olarak bilinen iyi alt kümelerin elde edilmesine yardımcı olan regresyon modeli kullanılarak ikili, üçlü, dörtlü, beşli, altılı ve sekizli gruplardan verimi en yüksek sonucun alındığı grup tayin



edilmiştir. Oluşturulan versiyonlardaki kombinasyonlara ait ağırlıklandırmalar BMO ile tekrar yapılmış ve Şekil 5.2’de pasta diyagramı olarak sunulmuştur.

Model çıktılarının değerlendirilmesi sonucunda tek olarak baz alınan modellerdense ansambl modellerin daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. BMO yöntemi, tekli modellerdeki belirsizliklerin büyük ölçüde azalması ve karar verme sürecinin hızlanması gibi model seçimini büyük ölçüde etkilemektedir. Bununla birlikte en iyi kombinasyonu veren ansambl model Çağlayan Baraj havzası için Abcde, Awbm-6p ve Dynwb iken Gördes Baraj havzası için Awbm-6p, Dynwb ve Guo-3p modellerinden oluşan üçlü olarak belirlenmiştir. Veri setlerinin tahminlemede ağırlıklı olarak kalibrasyon dönemine ait performans çıktılarının validasyon dönemine göre daha iyi sonuç vermektedir. Kalibre edilen modelde validasyonda farklı koşullara entegre olabilmeye durumu arandığından veri setlerinin temel istatistik frekanslarında bazı değişiklikler görülebilmektedir.

Çarpık dağılımlı akım bileşeninin medyan, alt ve üst çeyrek gibi istatistiksel değişkenlerini yansıtan kutu diyagramı grafiği Şekil 5.3’te irdelenmiştir. Medyan ve kartiller arası simetrik olmadığından sola çarpık bir dağılım veren sonuçlarda Çağlayan Baraj havzası için üst ve alt çeyrekliğe göre V5 modeli, kartiller arası farka bakıldığında V5 ve V6 modelinin iyi olduğu görülmektedir. Gördes Baraj havzası için ise alt çeyreklik ve medyana göre bakıldığında son üç modelinin performansının daha yüksek olduğu barizdir. Genel kapsamda kutu diyagramı gösteriminde Çağlayan Baraj havzası için V5 modeli, Gördes Barajı havzası için V6 modeli ile ön plana çıkmaktadır. Ortalama medyan çok üstte olduğundan verilerin aşırı çarpık dağılımdan kaynaklı BMO ile oluşturulan versiyonlarda bu çarpıklığı simüle etmek çok da kolay değildir. Ortalamanın gözlenmiş verilere yakınsamasına rağmen üst çeyreklik sonuçlarındaki sapmaların olması modellenen akışların tamamının veri seti ile benzeşmediğini göstermektedir. Kutu diyagramlarındaki analizler sonucundan gözlenmiş ve modellenmiş akımlar arasındaki benzerlik referans alındığında kombinlenen versiyonlardaki benzerliğin eksikliği BMO yönteminde bir takım yetersizliklerin olduğunu açığa çıkarmaktadır. Bayes Model Ortalaması yöntemi bu kapsamda iyileştirmeye açıktır. Benzerlik oranındaki farklılıklardan kaynaklı olarak en uygun kombine modelin tayini zorlaşmakta ve birçok model arasından tekli ve versiyon halindeki modeller üzerinden en iyi model kanısına tam olarak varılamamaktadır. Kutu diyagramlarına bakıldığından yüksek akımlardaki tutarlılığın düşük akımlarda tüm modeller için iyi tahminleme yapılması söz konusu değildir.



**Şekil 5.3:** Model serilerinin kutu diyagramı ile gösterimi (1981-2010).

Hazırlanan çalışmada tekli hidrolojik modellerden kaynaklanan belirsizlikler çoklu modellerin hazırlanmasıyla giderilmiş ve model performansları ağırlıklandırmalar yapılarak iyileştirilmiştir. BMO yönteminin tutarlılığının test edilmesi amacıyla kullanılan M-W testi sonuçlarına göre Çağlayan Barajı havzasında ikili, Gördes Barajı havzasında üçlü kombinasyon gruplarıyla daha anlamlı sonuçlara ulaşılmıştır. Tekli modellerde en kötü

sonucun alındığı modellerle birlikte oluşturulan kombinasyonun (V1), daha iyi verimin alındığı diğer beşli kombinasyonlara göre BMO yaklaşımıyla dahi diğer oluşturulan ansambl modellere göre kötü performans verdiği açıktır. Oluşturulan ansambl modellerdeki performans incelemesi sonucunda tekli modellerin en yüksek performansı vermediği gibi çok karmaşık ve tüm modellerden oluşan kombinasyonların da en iyi sonuca ulaştırmadığı görülmüştür. Her ne kadar Bayes yöntemi ile belirsizliklerin azalması sağlansa da performans sonuçlarının değerlendirilmesi açısından M-W testiyle de çalışma desteklenmiştir. Oluşturulan ansambl modeller arasında anlamlı bir fark olmaması performans sonuçlarının iyi olduğu yönündedir. BMO modeli lokal bir iyileştirme sağlasa da verilerin simetrik olduğunda en iyi sonuca götürdüğünden veri setleri arasındaki çarpıklık nedeniyle BMO yönteminin geliştirilmesi gerekmektedir. Model performanslarının iyilemesinde karar verme açısından kombine versiyonların çok da etkili olmadığı görülmektedir. Performans indisleri kapsamında yapılan detaylı incelemelerde kalibrasyon ve validasyon arasındaki sapmalar ve tutarsızlıkların olması dolayısıyla performans kriterlerinin de veriyi çok iyi simüle edemediğini ortaya konmuştur. Ölçüm hatalarının olması buna neden olabileceği gibi başka akarsu havzalarına ait verilerde sonuçların değişkenlik göstermesi mümkündür. Çağlayan Barajının işletmeye açılmamış olması sebebiyle yapılacak olan hidrolojik faaliyetlere bu çalışmanın da katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Verilen bilgiler doğrultusunda farklı iklim senaryolarının olası iklim koşullarının küresel ısınma, sera etkileri gibi faktörlerden etkilenmesine bağlı olarak tekrar yapılandırılmasına katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- Bayazit, M. (2003). Hidroloji. *İstanbul: Birsen Yayınevi*.
- Boughton, W. (2004). The Australian water balance model. *Environmental Modelling & Software*, 19(10), 943-956.
- Budyko, M. I. (1958). The heat balance of the earth's surface, US Dept. of Commerce. *Weather Bureau, Washington, DC, USA*.
- Clyde, M. (1999). Bayesian Model Averaging and Model Search Strategies (with Discussion) In: Bernardo JM, Berger JO, Dawid AP, Smith AFM, editors. *Bayesian Statistics*. Vol. 6.
- Dingman, S. L. (2002). Physical Hydrology Waveland Press. *Long Grove, Illinois*.
- Draper, D. (1994). Assessment and propagation of model uncertainty. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 56.
- Estrela, T. (1999). Los modelos de simulación integral de cuenca y su utilización en estudios de recursos hídricos. *Ing. Civil* (72), 83-95.
- Fernandez, C., Ley, E., & Steel, M. F. (2001). Benchmark priors for Bayesian model averaging. *Journal of Econometrics*, 100(2), 381-427.
- Fıstıkoğlu, O., & Harmancıoğlu, N. (2001). Yukarı Gediz havzasında aylık su bütçesi modeli uygulaması, III. *Ulusal Hidroloji Kongresi, İzmir*.
- Fıstıkoğlu, O., & Okkan, U. (2010). Tahtalı havzası için aylık su bütçesi modeli, VI. *Ulusal Hidroloji Kongresi, Denizli*, 546-554.
- Hinne, M., Gronau, Q. F., van den Bergh, D., & Wagenmakers, E. J. (2020). A conceptual introduction to Bayesian model averaging. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 3(2), 200-215.
- Hu, T. S., Lam, K. C., & Ng, S. T. (2001). River flow time series prediction with a range-dependent neural network. *Hydrological Sciences Journal*, 46(5), 729-745.
- Huang, M., Shao, M., & Li, Y. (2001). Comparison of a modified statistical-dynamic water balance model with the numerical model WAVES and field measurements. *Agricultural Water Management*, 48(1), 21-35.
- Jeremiah, E., Sisson, S. A., Sharma, A., & Marshall, L. (2012). Efficient hydrological model parameter optimization with Sequential Monte Carlo sampling. *Environmental Modelling & Software*, 38, 283-295.

- Jiang, T., Chen, Y. D., Xu, C. Y., Chen, X., Chen, X., & Singh, V. P. (2007). Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of hydrology*, 336(3-4), 316-333.
- Jones, R. N., Chiew, F. H., Boughton, W. C., & Zhang, L. (2006). Estimating the sensitivity of mean annual runoff to climate change using selected hydrological models. *Advances in water resources*, 29(10), 1419-1429.
- Khavarian, H., Aghaie, M., & Mostafazadeh, R. (2020). Predicting the effects of land use changes on the monthly flow using hydrological model and remote sensing in the Kouzetopraghi watershed, Ardabil. *Hydrogeomorphology*, 7(24), 19-39.
- Kırdemir, U. (2017). *İklim değişikliğinin baraj havzası hidrolojisi üzerindeki olası etkilerinin modellenmesi: AR5-RCP senaryoları ve Demirköprü Barajı örneği* (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kıymaz, H. (2018). *Kavramsal hidrolojik modellere uygun potansiyel evapotranspirasyon eşitliklerinin araştırılması* (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Li, L., Lambert, M. F., Maier, H. R., Partington, D., & Simmons, C. T. (2015). Assessment of the internal dynamics of the Australian Water Balance Model under different calibration regimes. *Environmental Modelling & Software*, 66, 57-68.
- Madigan, D., York, J., & Allard, D. (1995). Bayesian graphical models for discrete data. *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, 215-232.
- Makhlouf, Z., & Michel, C. (1994). A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. *Journal of Hydrology*, 162(3-4), 299-318.
- Mammoliti, E., Fronzi, D., Mancini, A., Valigi, D., & Tazioli, A. (2021). WaterbalANce, a WebApp for Thornthwaite–Mather Water Balance Computation: comparison of applications in two European watersheds. *Hydrology*, 8(1), 34.
- Moriassi, D. N., Arnold, J. G., 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.
- Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C., & Andréassian, V. (2006). Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology*, 318(1-4), 200-214.
- Moulton, B. R. (1991). A Bayesian approach to regression selection and estimation, with application to a price index for radio services. *Journal of Econometrics*, 49(1-2), 169-193.

- Murillo, J. M., & Navarro, J. A. (2011). Aplicación del modelo de Témez a la determinación de la aportación superficial y subterránea del sistema hidrológico Cornisa-Vega de Granada para su implementación en un modelo de uso conjunto. *Boletín Geológico y Minero*, 122(3), 363-388.
- Nash, J.E, ve Sutcliffe, I.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. *Journal of Hydrology*, 273, 282-290.
- Nayak, P. C., Sudheer, K. P., Rangan, D. M., & Ramasastri, K. S. (2005). Short-term flood forecasting with a neurofuzzy model. *Water Resources Research*, 41(4).
- Okkan, U. (2013). *İklim değişikliğinin akarsu akışları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi* (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Okkan, U. (2015). Dinamik su bütçesi modeli. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(1), 70-82.
- Okkan, U., & Karakan, E. (2016). İklim değişikliğinin ikizcetepeler barajı akımlarına etkilerinin modellenmesi: 2015-2030 projeksiyonu. *Teknik Dergi*, 27(2), 7379-7401.
- Okkan, U., & Kırdemir, U. (2016). Bayes model ortalaması yöntemiyle kavramsal yağış-akış modeli çıktılarının değerlendirilmesi. *DSİ Teknik Bülteni*, 121, 41-57 (ULAKBİM TR Dizin).
- Okkan, U. and Kırdemir, 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., & Kırdemir, U. (2020). Towards a hybrid algorithm for the robust calibration of rainfall-runoff models. *Journal of Hydroinformatics*, 22(4), 876-899.
- Pérez-Sánchez, J., Senent-Aparicio, J., Segura-Méndez, F., Pulido-Velazquez, D., & Srinivasan, R. (2019). Evaluating hydrological models for deriving water resources in peninsular Spain. *Sustainability*, 11(10), 2872.
- Polebitski, A., Steinschneider, S., Palmer, R. N., Brown, C., & Ahlfeld, D. (2011). Climate Change Response of Three Physically Based Hydrology Models in the Connecticut River Watershed. In *World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability* (pp. 1233-1236).
- Kaiser, K., Ahmad, S., Johnson, W., & Batista, J. R. (2013). Evaluating water conservation and reuse policies using a dynamic water balance model. *Environmental management*, 51(2), 449-458.
- Odhiambo, K. O., Ong'or, B. T. I., & Kanda, E. K. (2022). Assessment of rainwater harvesting potential of Rachuonyo North Sub-Catchment in Kenya using the

- Australian water balance model. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71(2), 345-354.
- Portela, M. M., Santos, J., & de Carvalho Studart, T. M. (2019). Effect of the evapotranspiration of thornthwaite and of penman-monteith in the estimation of monthly streamflows based on a monthly water balance Model. *Current Practice in Fluvial Geomorphology-Dynamics and Diversity*.
- Raftery, A. E., Madigan, D., & Hoeting, J. A. (1997). Bayesian model averaging for linear regression models. *Journal of the American Statistical Association*, 92(437), 179-191.
- Raftery, A. E., & Zheng, Y. (2003). Discussion: Performance of Bayesian model averaging. *Journal of the American Statistical Association*, 98(464), 931-938.
- Steinschneider, S., Brown, C., Palmer, R. N., & Ahlfeld, D. (2011). Hydrology Models for Climate Change Assessment: Inter-Decadal Climate Variability and Parameter Calibration. In *World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability* (pp. 4121-4123).
- Témez, J. R. (1977). Modelo matemático de transformación precipitación-aportación. *Comisión E. Explotación y Garantía. Grupo de Trabajo de Predicciones de Precipitación y Relación entre Precipitaciones y Caudales, Madrid*.
- Thomas Jr, H. A. (1981). Improved Methods for National tvater Assessment Water Resources Contract: WR15249270. *US Water Resources Council: Washington, DC, USA*.
- Thornthwaite, G.W., ve Mather, J. R. (1955). The Water Balance. *Drexel Inst. Technol. Publication in Climatology, Laboratory of Climatology*, 7(1).
- Traore, V. B., Sambou, S., Tamba, S., Fall, S., Diaw, A. T., & Cisse, M. T. (2014). Calibrating the rainfall-runoff model GR4J and GR2M on the Koulountou river basin, a tributary of the Gambia river. *American Journal of Environmental Protection*, 3(1), 36-44.
- TURAN, M. E., & DOĞAN, E. (2015). Kavramsal Hidrolojik Modellerin Farklı Optimizasyon Algoritmaları İle Kalibrasyonu. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 265-277.
- Wang, G., Jia, R., Liu, J., & Zhang, H. (2020). A hybrid wind power forecasting approach based on Bayesian model averaging and ensemble learning. *Renewable Energy*, 145, 2426-2434.

- Wolfe, P. (1962). Recent developments in nonlinear programming. In *Advances in computers* (Vol. 3, pp. 155-187). Elsevier.
- Xiong, L., & Guo, S. (1999). A two-parameter monthly water balance model and its application. *Journal of hydrology*, 216(1-2), 111-123.
- Xu, C. Y., & Singh, V. P. (2001). Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. *Hydrological processes*, 15(2), 305-319.
- Xu, C. Y., & Vandewiele, G. L. (1995). Parsimonious monthly rainfall-runoff models for humid basins with different input requirements. *Advances in Water Resources*, 18(1), 39-48.
- Yaykiran, S. (2016). *Sakarya Havzası'nın Yüksek Çözünürlüklü Hidrolojik Modelinin Yapılandırılması* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Zhang, L., Potter, N., Hickel, K., Zhang, Y., & 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.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Saadet ALTINTAŞ

Doğum tarihi ve yeri : **15.05.1997- Sakarya**

e-posta : saadetaltintas97@hotmail.com

### Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2019-2023
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2015-2019
Lise	Sakarya Anadolu Lisesi	2011-2015