

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



**KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLERE UYGUN
POTANSİYEL EVAPOTRANSPIRASYON EŞİTLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN KIYMAZ

BALIKESİR, EKİM – 2018

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



KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLERE UYGUN
POTANSİYEL EVAPOTRANSPIRASYON EŞİTLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN KIYMAZ

Jüri Üyeleri: Dr. Öğr. Üyesi Umut OKKAN (Tez Danışmanı)

Dr. Öğr. Üyesi Barış YILMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Nuray GEDİK

BALIKESİR, EKİM – 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Hüseyin KIYMAZ tarafından hazırlanan “**KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLERE UYGUN POTANSİYEL EVAPOTRANSPIRASYON EŞİTLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 01.10.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Umut OKKAN


.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Barış YILMAZ


.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Nuray GEDİK


.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLERE UYGUN POTANSİYEL
EVAPOTRANSPIRASYON EŞİTLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HÜSEYİN KIYMAZ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ UMUT OKKAN)
BALIKESİR, EKİM – 2018**

Hidrolojik modellerin en önemli girdilerden biri de potansiyel evapotranspirasyonun (EPOT) tahminlendiği kısımdır. Modellemede diğer bir girdi olarak kullanılan yağış, istasyon ölçümleri sayesinde elde edilebilirken, potansiyel evapotranspirasyonu ölçmek ne yazık ki mümkün değildir. Bu nedenle EPOT tahmini için çeşitli yöntemler kullanılırken bu tahminlerin doğruluğu hidrolojik modelin performansına da büyük etki yapmaktadır. Özellikle kavramsal türden parametrik yağış-akış modellerinde, uygun bir EPOT eşitliği ile zemin neminin, yeraltısuyu depolamasının ve akış bileşenlerinin hesabı daha hassas gerçekleştirilebilmektedir. Hazırlanan çalışma, havza ölçeğinde kurulan bir yağış-akış modeline girdi niteliği teşkil edebilecek alternatif EPOT eşitliklerinin irdelenmesini konu almaktadır. Uluslararası literatürde, FAO-56 tarafından önerilen Penman-Monteith eşitliği, bahsi geçen konuya sıklıkla atfedilmesine karşın farklı eşitlikler de araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Bu çalışmada Penman-Monteith eşitliğinin yanı sıra radyasyon ve sıcaklık tabanlı yirmi farklı eşitlikle EPOT hesaplanmış ve 5 parametrelili bir aylık yağış-akış modeli örneğinde performans sınaması yapılmıştır. Uygulama Gediz Havzası'nda yer alan farklı akarsu kolları üzerinde gerçekleştirilmiştir. NS ve RSR gibi standart performans kriterleri ile birlikte sınıflandırma yöntemi olan dendrogram analizi de kullanılarak istatistiksel açıdan tatmin edici EPOT eşitlikleri ayıklanmıştır. Değerlendirme sonucunda, radyasyon tabanlı eşitlikler içinden biri olan McGuinness-Bordne eşitliğinin en makul sonucu sağladığı gözlemlenmiştir. Ancak ülkemizde radyasyon verilerinin kısıtlı olması nedeniyle, McGuinness-Bordne türünden yöntemleri uygularken ERA-Interim tarafından servis edilen reanaliz radyasyon tahminlerini kullanmak daha pratik bulunmuştur. Sıcaklık tabanlı eşitlikler içerisinde Hamon yönteminin de türdeşlerine kıyasla başarılı performans sergilediği görülmüştür. Çalışmada hali hazırda mevcut olan EPOT eşitliklerine ilaveten, sadece ortalama sıcaklık verisine ihtiyaç duyan yeni EPOT eşitlikleri de önerilmiştir. Hamon eşitliği üzerinde çeşitli kalibrasyonlar yapılarak geliştirilen bu yeni eşitliklerin yağış-akış ilişkisini belirlemede ve çeşitli hidroloji alanlarında alternatif olarak kullanılabilmesi kanaati oluşmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER: Radyasyon ve sıcaklık tabanlı EPOT eşitlikleri, Penman-Monteith denklemi, yağış-akış modellemesi, su bütçesi.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SUITABLE POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION EQUATIONS FOR CONCEPTUAL HYDROLOGICAL MODELS

MSC THESIS

HÜSEYİN KIYMAZ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. UMUT OKKAN)

BALIKESİR, OCTOBER 2018

One of the most essential inputs of hydrological models is the part in which potential evapotranspiration (EPOT) is predicted. Unfortunately, it is not feasible to measure EPOT values, while precipitation employed as another input in modeling can be attained by means of station observations. Thereof, when several methods are employed for EPOT prediction, the precision of these predictions has a great influence on the hydrological model performance as well. Especially in the conceptual based parametric rainfall-runoff models, soil moisture, groundwater storage and runoff components can be computed more precisely with an acceptable EPOT equation. The presented study is about exploring alternative EPOT equations that can be hold out to a rainfall-runoff model prepared in the basin scale. Though the usage of Penman-Monteith equation, which has been suggested by FAO-56, within the concept of the mentioned topic is often existed in international literature, different kind of EPOT equations have been brought out by researchers. In the study, a performance assessment was conducted on a monthly rainfall-runoff model having five parameters by using Penman-Monteith equation as well as twenty radiation and temperature-based EPOT equations. The implementation was performed on the different river branches over Gediz Basin. Statistically satisfying EPOT equations have been extracted using conventional performance indices like NS and RSR, as well as dendrogram analysis which is a classification technique. As a result of the evaluation, it was observed that one of the radiation-based equations, McGuinness-Bordne, provided the most consistent performance. However, due to the limited presence of radiation observations in Turkey, it is more practical to employ the reanalysis radiation predictions served by ERA-Interim when exerting the methods like McGuinness-Bordne. Among the other equations with the temperature basis, Hamon method has shown to be successful compared to its counterparts. In addition to the EPOT equations already used in the study, new EPOT equations that only require average temperature data has been proposed. It has been revealed that these original equations, which were improved by making some calibrations on Hamon equation, can help to designate the rainfall-runoff relationship and can be utilized as an alternative in diverse hydrological fields.

KEYWORDS: Radiation and temperature based EPOT equations, Penman-Monteith equation, rainfall-runoff modeling, water budget.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
2. YÖNTEM	5
2.1 Çalışmada Kullanılan EPOT Eşitlikleri.....	5
2.2 Çalışmada Kullanılan Hidrolojik Model	11
2.3 Hidrolojik Modele İlişkin Performans Ölçütleri	15
2.4 Parametre Optimizasyonunda Kullanılan Algoritma.....	17
3. UYGULAMA VE BULGULAR	19
3.1 Uygulama Havzasının Genel Özellikleri.....	19
3.2 Havzadaki Hidrometeorolojik Verilerin Derlenmesi.....	19
3.2.1 Aylık Toplam Yağış, Sıcaklık ve Akım Verileri	19
3.2.2 ERA-Interim Verileri	28
3.3 EPOT Tahminlerinin İrdelenmesi	33
3.3.1 Uzun Dönem Temel İstatistikler.....	33
3.3.2 Referans Yöntem Pen-Mon ile Kıyaslama.....	35
3.3.3 Pen-Mon'a Alternatif Bir EPOT Eşitliği.....	38
3.4 Farklı EPOT Girdilerine Karşı Hidrolojik Modelin Duyarlılığı	41
3.5 Hidrolojik Modele Uygun Bir EPOT Eşitliğinin Önerilmesi.....	60
4. SONUÇLAR	71
5. KAYNAKLAR	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Radyasyonun çeşitli bileşenleri.....	9
Şekil 2.2: (a) Thw yöntemindeki enleme bağlı aylık K katsayıları, (b) aylık ortalama gündüz saatlerinin yıllık ortalama gündüz saatlerine oranı, (c) enleme bağlı gün uzunluğu değerleri	10
Şekil 2.3: Farklı α değerleri için $EPOT/P$ ve E/P arasındaki ilişkiler	11
Şekil 2.4: DYN-WBM modelinde yağışın kısımlarına ayrılması.....	12
Şekil 2.5: DYN-WBM modelinde mevcut su içeriğinin bölünmesi	13
Şekil 2.6: DYN-WBM modelinin kavramsal akış şeması.....	15
Şekil 2.7: LM algoritması ile parametre optimizasyonunu tasvir eden akış şeması .	18
Şekil 3.1: Havzadaki meteoroloji ve akım gözlem istasyonları ile ERA-Interim gridleri.....	21
Şekil 3.2: Gediz Havzası'nda gözlenmiş yıllık yağışların dağılımı.....	22
Şekil 3.3: Gediz Havzasında gözlenmiş yıllık ortalama sıcaklıkların dağılımı	23
Şekil 3.4: İstasyonlarda gözlenen uzun dönem minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık ortalamaları	24
Şekil 3.5: AGİ'leri temsil eden yağış istasyonlarının Thiessen ağırlıkları.....	26
Şekil 3.6: AGİ'leri temsil eden sıcaklık istasyonlarının ağırlıkları	27
Şekil 3.7: ERA-Interim veri setlerinin erişildiği web arayüzü.....	28
Şekil 3.8: ERA-Interim verilerini ayıklamada kullanılan örnek bir Matlab kodu	29
Şekil 3.9: Havzada istasyonlar ve gridler arası sıcaklık ortalamaları arasındaki uyumun (a) zaman serisi, (b) saçılım diyagramı ile gösterimi	30
Şekil 3.10: Grid-7'ye ait ERA-Interim rölatif nem ve solar radyasyon verilerinin Akhisar meteoroloji istasyonu verileriyle kıyaslanması.....	31
Şekil 3.11: Havzayı kapsayan gridler arası (a) rüzgar hızı (m/s/ay) ve (b) solar radyasyon ($MJ/m^2/ay$) verileri arasındaki saçılımlar	32
Şekil 3.12: EPOT tahmininde kullanılan makronun arayüzü.....	33
Şekil 3.13: Muradiye Köprüsü AGİ için farklı EPOT eşitliklerinden elde edilen (a) aritmetik ortalama ve (b) değişkenlik katsayısı istatistikleri	34
Şekil 3.14: Havza genelinde elde edilen ortalama EPOT tahminlerinin dendrogram analizi ile sınıflandırılması	35
Şekil 3.15: Muradiye Köprüsü AGİ için tahminlerin Pen-Mon'a karşı saçılımları .	36
Şekil 3.16: Muradiye Köprüsü örneğinde Pen-Mon ile diğer eşitliklerden elde edilen tahminler arasındaki RMSE performansları	37
Şekil 3.17: Havza genelinde EPOT eşitliklerinin Pen-Mon'a karşı sağladığı RMSE istatistiğinin dendrogram analizi ile gruplandırılması	37
Şekil 3.18: Muradiye Köprüsü AGİ tarafından temsil edilen yağış alanında Pen-Mon tahminlerine karşı farklı Bl-Cr eşitliklerinin irdelenmesi.....	39
Şekil 3.19: Pen-Mon'a alternatif önerilen Denklem 3.1'in alt havzalarda gösterdiği istatistiksel performans	40
Şekil 3.20: EPOT üzerinden bitki su tüketimine geçiş.....	40
Şekil 3.21: Farklı EPOT girdilerini kullanan hidrolojik modelin kalibrasyonunun gerçekleştirildiği makronun arayüzünden bir görünüm.....	41
Şekil 3.22: Farklı EPOT girdileri ile kalibrasyonu yapılan parametrelerin ve elde edilen E/EPOT oranlarının AGİ'lerdeki değişkenlikleri	51
Şekil 3.23: Hidrolojik modelin validasyon dönemi NS performanslarına ait kutu diyagram gösterimi	53

Şekil 3.24: Hidrolojik modelin validasyon dönemi RSR performanslarına ait kutu diyagram gösterimi	54
Şekil 3.25: Hidrolojik modelin farklı EPOT tahminlerine karşı validasyon döneminde türettiği NS ve RSR ölçütleri arasındaki ilişki	55
Şekil 3.26: EPOT eşitliklerinin hidrolojik modelin validasyonda gösterdiği NS performanslarına göre dendrogram ile incelenmesi	57
Şekil 3.27: NS için hesaplanan ranklara ait kutu diyagram gösterimi	59
Şekil 3.28: Muradiye Köprüsü AGİ'nin drenaj alanını temsil eden McG-Bor EPOT tahminlerine karşı (a) Ham1, (b) Denklem 3.3, (c) Denklem 3.4 ve (d) Denklem 3.5 ile üretilen EPOT tahminlerinin performansları	62
Şekil 3.29: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Muradiye Köprüsü AGİ için kıyaslanması.....	65
Şekil 3.30: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Taytan KöprüsüAGİ için kıyaslanması	65
Şekil 3.31: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Topuzdamları AGİ için kıyaslanması.....	66
Şekil 3.32: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Borlu AGİ için kıyaslanması.....	66
Şekil 3.33: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Hacıhıdır AGİ için kıyaslanması	67
Şekil 3.34: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Kayalıoğlu AGİ için kıyaslanması.....	67
Şekil 3.35: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Hacıhaliller AGİ için kıyaslanması	68
Şekil 3.36: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Dereköy AGİ için kıyaslanması.....	68
Şekil 3.37: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Acısu AGİ için kıyaslanması	69
Şekil 3.38: Muradiye Köprüsü AGİ için Okkan-Kıymaz2 EPOT girdileri ile çalıştırılan hidrolojik modelin validasyon dönemi akım tahminleri ve gözlenen akımlar	70
Şekil 4.1: Tüm EPOT eşitliklerinin modelin validasyonunda sağladığı NS indislerine ait rankların kutu diyagram ile özeti	74

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Çalışmada kullanılan EPOT eşitliklerinin temel girdileri	6
Tablo 2.2: Çalışmada kullanılan EPOT formülleri	7
Tablo 2.3: Sıcaklık tabanlı fonksiyonlar, rüzgar hızı dönüşüm ilişkileri ve kullanılan sabitler.....	9
Tablo 2.4: Enleme ve aylara bağlı aylık ekstraterrestrial radyasyon değerleri	10
Tablo 3.1: Havzayı temsil eden meteoroloji istasyonları.....	20
Tablo 3.2: Çalışmada kullanılan AGİ'ler ile ilgili genel bilgiler	25
Tablo 3.3: Mevsimsel ve yıllık akımlara ait ortalamalar	25
Tablo 3.4: Muradiye Köprüsü AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları	42
Tablo 3.5: Taytan Köprüsü AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları	43
Tablo 3.6: Topuzdamları AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları	44
Tablo 3.7: Borlu AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları	45
Tablo 3.8: Hacıhıdır AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları	46
Tablo 3.9: Kayalıoğlu AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları	47
Tablo 3.10: Hacıhaliller AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları	48
Tablo 3.11: Dereköy AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları	49
Tablo 3.12: Acısu AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları	50
Tablo 3.13: Farklı EPOT eşitliklerinin AGİ'lerde sağladığı validasyon dönemi NS performanslarına ait ranklar	58
Tablo 3.14: Hidrolojik modele uygun EPOT eşitliklerinin belirlenen katsayıları	61
Tablo 3.15: Tüm eşitliklerin AGİ'lerdeki NS performanslarına ait ranklar	69

ÖNSÖZ

Gerek uluslararası hidroloji literatüründe gerekse ülkemizde yapılan araştırmalarda hesabı veya ölçümünde kesinlik olmayan, bitki su tüketimi ile sulama suyu ihtiyacının belirlenmesinde büyük öneme sahip olan potansiyel evapotranspirasyonun tahmini havza ölçeğinde yapılan tez çalışmasıyla birlikte açıklık kazandığı düşünölmekte olup ayrıca Devlet Su İşleri gibi su kaynaklarının planlamasını görev addetmiş bir kamu kuruluşunun planlama ve proje safhasında ihtiyaç duyacağı EPOT tahminine bu çalışma ile katkı sağlanacağı amaçlanmaktadır.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında bilim adına tarafıma her türlü katkıyı sağlayan tez danışmanı değerli bilim insanı Dr. Öğr. Üyesi Umut OKKAN'a müteşekkirim. Aynı zamanda bu aşamada maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, DSİ 251.Şube Müdürlüğü kurum amirlerime teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin KIYMAZ

1. GİRİŞ

Hidrolojik çevrimde, bitki örtüsü üzerinden terleme yoluyla buharlaşan su kaybı ile yüzeydeki su kütleleri üzerinden gerçekleşen buharlaşma kaybının toplamına evapotranspirasyon denmektedir. Bu kaybın azami değeri veya yeterli zemin neminin bulunduğu zamanda meydana gelmesi potansiyel evapotranspirasyon (EPOT) olarak anılır. Aksi durumda ise gerçekleşen evapotranspirasyon mevcut zemin nemi içeriği ile sınırlıdır. Bu kayıpları birçok fiziksel coğrafi unsurlar (enlem, rakım, bitki örtüsü gibi) etkilediğinden olayın oluşum mekanizması bölgeye bağlı farklılık göstermektedir. Evapotranspirasyon başta radyasyon ve sıcaklık olmak üzere nem ve rüzgar hızı gibi meteorolojik değişkenlerle ilişkilendirilmekte fakat bu bağlamda tava buharlaşmaları gibi direkt ölçümü mümkün olmamaktadır. Özellikle bitki su tüketiminin ve sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi safhasında EPOT miktarının doğru tahmini büyük önem taşımaktadır. Lizimetre ölçęindeki gözlemler (direkt yöntem) ya da üretilen ampirik bağıntılar (dolaylı yöntemler) bu kapsamda esas alınabilmektedir. Hangi yöntemin daha uygun olduğunun sorgulanması 1980’li yılların başına kadar kısıtlı sayıda araştırmacı tarafından ele alınmıştır (Thorntwaite, 1948; Blaney ve Criddle, 1950; Makkink, 1957; Hamon, 1961; Jensen ve Haise, 1963; McGuinness ve Bordne, 1972; Priestley ve Taylor, 1972; Linacre, 1977; Hargreaves ve Samani, 1982).

Belli bir duraklama döneminden sonra, Allen vd. (1998) tarafından çeşitli girişimler neticesinde FAO (Food and Agriculture Organization) adına hazırlanan raporda (FAO-56), Penman (1948) ve Monteith (1965) yaklaşımlarının bir kombinasyonu niteliğinde olan Penman-Monteith (Pen-Mon) eşitliğinin en uygun dolaylı yöntem olduğu ifade edilmiştir. Dünyada çeşitli iklimlerin hakim olduğu bölgelerde yapılan bazı validasyon çalışmalarında Pen-Mon eşitliğinin lizimetre ölçümleri ile uyumlu olduğu vurgulanmıştır (Allen vd., 2005; Jain vd., 2008; Itenfisu vd., 2003). Bu nedenle günümüzde Pen-Mon bir “referans yöntem” olarak halen kullanılmaktadır (Pandey vd., 2016).

FAO-56'dan sonra araştırmacılar Pen-Mon eşitliği ile diğer mevcut yöntemleri kıyaslamaya yönelmişlerdir. Hatta birtakım katsayı modifikasyonları ile eşitlikleri güncelleyen ve regresyon tabanlı yeni denklemler ortaya atan araştırmacılar da literatürde yerini almışlardır (Xu ve Singh, 2002; Irmak vd., 2003; Xystrakis ve Matzarakis, 2011; Tabari vd., 2013; Bogawski ve Bednorz, 2014; Pandey vd., 2016). Örneğin Pandey vd. (2016) tarafından Hindistan'ın kuzey doğu bölgesinde gerçekleştirilen bir çalışmada Irmak (Irm), Makkink (Makk), Turc (Turc) ve Blaney-Criddle (Bl-Cr) eşitliklerinin Pen-Mon ile daha uyumlu olduğu vurgulanmıştır. Xystrakis ve Matzarakis (2011) ise Yunanistan'ın güney kesimlerinde 7 istasyon üzerinde 13 farklı ampirik eşitliği uygulayarak McGuinness-Bordne (McG-Bor) ve Hamon (Ham) eşitliklerinin pratik ve yanlılıklarının nispeten daha az olduğunu ifade etmişlerdir. Xu ve Singh (2002), İsviçre'deki Changins meteoroloji istasyonu üzerinde uyguladıkları beş farklı eşitlik ile Pen-Mon yöntemini kıyaslayarak Priestley-Taylor (Prs-Tyl) ve Rohwer (Roh) eşitliklerinin katsayılarının yeniden kalibre edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Özellikle Prs-Tyl eşitliğinin nemli ve yüksek enlemlilerde daha uyumlu olduğu Kellner (2001) tarafından da savunulmuştur. Tabari vd. (2013) nemli bir iklime sahip olan İran'ın kuzeyindeki Rasht istasyonunda 31 adet EPOT eşitliğini farklı kategoriler altında sınımlamışlardır. Buna göre, sıcaklık tabanlı eşitlikler içerisinden Bl-Cr'nin gerek korelasyon katsayısı gerekse ortalama rölatif hata istatistikleri bakımından diğer eşitliklere kıyasla Pen-Mon ile daha uyumlu olduğu savunulmuştur.

Yukarıda bahsi geçen çalışmaların temel yapıma nedeni Pen-Mon eşitliğinin, diğer yöntemlere kıyasla daha fazla veri gereksinimine ihtiyaç duymasıdır. Bilhassa güneş radyasyonu ölçüm ağı, yağış ve sıcaklık istasyonları gibi yayılı değildir. Ayrıca Pen-Mon ve diğer eşitliklerin hangisi veya hangilerinin daha tutarlı tahmin üreteceğine bölgesel çalışmalar sonrasında karar verilmelidir. Bu karar verme süreci genelde tarımsal uygulamalarda konu edilmekle beraber hidrolojik modelleme safhasında da bu süreç için detaylı bir irdeleme yapılması gerekmektedir (Oudin, 2005b). Örneğin yağış-akış modelleri yağışa ilaveten EPOT girdisine de ihtiyaç duyarlar. Bu modellerde, havzanın yağışı akışa dönüştürmesi sürecinin fiziksel yönleri çoğunlukla parametreler ile kavramsallaştırılır ve havza temsili biriktirme sistemlerine süreklilik denkleminin uygulanması ile akış tahmini üretilir. Patuvel vd. (1995) havza modellerinin akış tahminlerinin birincil düzeyde yağışın değişkenliğine

hassasiyet sergilediğini fakat EPOT'un da model hassasiyetine anlamlı etki yaptığını göstermişlerdir. Modellerde EPOT girdisi sıcaklığın (T) ve rölatif nemin (RH) bir fonksiyonu şeklinde tanımlanabildiği gibi ($EPOT=aT^b(100-RH)$, $EPOT=aT^b$, $EPOT=ae^{bT}$), herhangi bir ampirik EPOT eşitliği ile üretilen değerler de direkt olarak kullanılabilir (Xu ve Vandewiele, 1995; Fowler vd., 2007; Nyenje ve Batelaan, 2009; Okkan ve Kirdemir, 2018). Xu ve Vandewiele (1995), T ve RH içeren EPOT fonksiyonu parametrelerinin mevcut model kalibrasyonunu zorlaştıracağını ifade etmişler ve ampirik EPOT girdisi ile gerçekleştirilen coğrafi bölgeselleştirme çalışmalarının daha uygun olacağını vurgulamışlardır. Bu varyasyonda parametrelerin havzanın fiziksel karakteristiği ile daha iyi ilişkilendirilebileceği Vandewiele vd. (1991) tarafından da doğrulanmıştır.

Literatürde ampirik EPOT girdisi kullanan çeşitli yağış-akış modeli çalışmalarına rastlanmaktadır. Bunların bir kısmı referans bir yöntem olarak Pen-Mon'a ilaveten başka EPOT eşitliklerinden elde ettikleri değerleri de yağış-akış modeli girdisi olarak kullanmışlardır (McKillop vd., 1999; Bárdossy ve Das, 2008; Caldwell vd., 2015). Ancak bu çalışmalarda ilgili eşitliğin neden kullanıldığı mesnetli bir gerekçeye bağlanmamıştır. Çok az çalışmada farklı EPOT girdilerinin yağış-akış performansına etkisi karşılaştırmalı bir biçimde araştırılmıştır. Bu çalışmalar içerisinde en kapsamlısı Oudin vd. (2005b) tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmada, 27 farklı ampirik EPOT eşitliğinden elde edilen tahminler hidrolojik modellemede girdi olarak değerlendirilerek yağış-akış modellemesinden türetilen çıktılar gözlenmiş akımlar ile kıyaslanmıştır. Uygulama Avustralya, Fransa ve ABD'de yer alan havzaları içine alan geniş bir bölgede gerçekleştirilmiştir. Yürüttükleri çalışmada, sıcaklık ve güneş radyasyonu gibi atmosferik değişkenleri girdi olarak kabul eden EPOT eşitliklerinin bazılarının hidrolojik model performanslarını daha olumlu yönde etkiledikleri görülmüştür. Özellikle McG-Bor yönteminin hidrolojik modele kazandırdığı performansın diğer eşitliklerden elde edilenlere kıyasla daha makul olduğu ifade edilmiştir. Başka bir çalışmada, Kannan vd. (2007) İngiltere'de Bedfordshire üzerindeki SWAT esaslı akım modelleme çalışmasının performans değerlendirmesinde, Hargreaves (Harg) yönteminin Pen-Mon yöntemine göre daha makul sonuçlar verdiğini ileri sürmüşlerdir. Benzer bir çıkarım Dessu ve Melesse (2012) tarafından da desteklenmiştir. Wang vd.(2006) tarafından kuzeybatı Minnesota havzasında

yürütülen bir çalışmada ise diğer araştırmacıların aksine Pen-Mon, Prs-Tyl ve Harg EPOT eşitliklerinin kullanılması sonrası hidrolojik modelin ürettiği çıktıların birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Ortak bir yorum Aouissi vd. (2016) tarafından Kuzey Tunus'ta yer alan Joumine havzasından elde edilmiştir. Araştırmacılar Pen-Mon, Prs-Tyl ve Harg EPOT eşitliklerinin birbirine göre anlamlı farkları olduğunu vurgulamışlar fakat bunların hidrolojik modelin akım tahminine direkt bir katkısı olmadığını ifade etmişlerdir. Sulak karakterli havzalarda akım modelinin yağışa daha duyarlı olması bu çıkarımın temel nedeni olarak sunulmuştur.

Literatür taramalarından da anlaşıldığı gibi hidrolojik model çalışmalarında hangi EPOT eşitliğinin model çıktısına daha iyi etki sağladığı ile ilgili genel bir yargı söz konusu değildir. Ülkemizde bitki su tüketimi hesaplarında genellikle Pen-Mon ve Bl-Cr yöntemleri uygulanırken (örneğin Koç ve Güner, 2005; Bayramoğlu, 2013; Okkan ve Kirdemir, 2018), yağış-akış modellemesi özelinde sınınan veya önerilen herhangi bir denklem bulunmamaktadır. Ayrıca, iklim değişikliği sebebiyle yeryüzünde olduğu gibi ülkemizde de birçok bölgede meteorolojik değişkenlerde anlamlı değişimler gözlenmiştir. Sürekli artış eğiliminde olan nüfus ve sanayileşme hacmi ile sera gazı emisyonlarındaki sıçramalar özellikle sıcaklıktaki ve EPOT değerlerindeki anlamlı artış eğilimini tetiklemiştir. Bu kapsamda ülkemizde farklı senaryolar altında havzaların geleceği için hidro-meteorolojik bazı öngörülerde bulunulmuştur (örneğin Okkan, 2013; Okkan ve Fistikoglu, 2014; Okkan ve Kirdemir, 2018). Ama bu çalışmaların genelinde EPOT üzerine karşılaştırmalı analizler ne yazık ki mevcut olmayıp sıcaklık tabanlı regresyon bağıntıları hidrolojik modeller içerisine entegre edilerek projeksiyonlar hazırlanmıştır.

Yukarıda belirtilen çeşitli gerekçelerden hareketle hazırlanan çalışma havza ölçeğinde kurulan aylık bir yağış-akış modeline girdi niteliği teşkil edebilecek EPOT eşitliklerinin irdelenmesini ve meteorolojik değişken bakımından ekonomik alternatif yaklaşımların belirlenmesini konu almaktadır. Uygulama alanı olarak ülkemizdeki tarımsal faaliyetlerin önemli bir rezervini temsil eden Gediz Havzası seçilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın yöntem ve bulgular bağlamında özgün bir değere sahip olduğu ve diğer havzalara adapte edilebilir yönü ile araştırmacılara yol göstereceği düşünülmektedir. Hazırlanan tez çalışmasında, Bölüm 2'de yöntem, Bölüm 3'te uygulama alanı ve çalışmadan elde edilen bulgular, Bölüm 4'te sonuç ve tartışma içeriği detaylı bir şekilde sunulmuştur.

2. YÖNTEM

2.1 Çalışmada Kullanılan EPOT Eşitlikleri

Potansiyel evapotranspirasyonun tahmini üzerine atfedilen çeşitli metotlara hidroloji literatüründe rastlanmaktadır (Xu ve Singh, 1998, 2000, 2001, 2002; Pandey vd., 2016; Xystrakis ve Matzarakis, 2011; Bogawski ve Bednorz, 2014). Bu metotlar genel olarak kütle transferi, sıcaklık ve radyasyon tabanlı veya bunların kombinasyonu şeklinde alt kategorilerde incelenebilmektedir (Oudin, 2005a,b). Geniş bir yöntem yelpazesi içinde hangi yöntem veya yöntemlerin daha başarılı olacağını sorgulanması oldukça zordur. Kombinasyon yöntemlerinden biri olan Penman-Monteith yöntemi ve türevleri bazı araştırmacılar tarafından fiziksel olarak tatmin edici bulunmuştur. Bunun tipik nedeni lizimetre ölçümleri ile elde edilen uyumdur (Jensen vd., 1990; Beven, 2001; Gavilán vd., 2007; Bogawski ve Bednorz, 2014). Diğer bir kıstas da bölgedeki tava buharlaşması gözlemleridir. Hatta bu aşamada mevcut denklemler üzerinde birtakım bölgesel güncellemeler de önerilmiştir (örneğin Xu ve Singh, 1998, 2001). Ancak elde edilen yargıların her hidroloji uygulamasında geçerli olup olmayacağı da sorgulanmalıdır. Örneğin bu çalışma kapsamında, söz konusu EPOT tahminlerinin yağış-akış modellemesi özelinde akım simülasyonlarındaki başarısı üzerine yoğunlaşmıştır.

Çalışmada Pen-Mon denklemi ile birlikte 21 adet EPOT eşitliği kullanılarak elde edilen tahminlerin farklı akım gözlem istasyonları için kurulan yağış-akış ilişkilerindeki etkinlikleri irdelenmiştir. Literatürde birçok EPOT eşitliği ile bunların birtakım modifikasyonları mevcut olmakla birlikte, hazırlanan çalışmada sık atıf alan ve/veya karşılaştırma aşamalarında kullanılan eşitliklere odaklanılmıştır. Bu eşitlikler farklı kategorilerde yer bulmakta olup farklı meteorolojik girdi setlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Çalışmada kullanılan Thornthwaite (Thw), Romanenko (Rom), Blaney-Criddle (Bl-Cr), Kharrufa (Khr), Hamon-1 (Ham1) ve Hamon-2 (Ham2) gibi yöntemler sıcaklık tabanlı yöntem sınıfında değerlendirilmiştir. Singh ve Xu (1997) referans alınarak, EPOT kullanımı ile birlikte yüzey buharlaşması tahmininde de

kullanılan Meyer (Myr), Rohwer (Roh) ve Penman (Pen) gibi kütle transferi esaslı yöntemler çalışmaya dâhil edilmiştir. Daha yoğun veri talep eden Turc (Turc), Hargreaves (Harg), Makkink (Mak), Priestley-Taylor (Prs-Tyl), Caprio (Cpr), Jensen-Haise (J-H), Irmak1 (Irm1), Irmak2 (Irm2), Irmak3 (Irm3), McGuinness-Bordne (McG-Bor) ve Baier-Robertson (Bai-Rob) gibi eşitliklerin ise radyasyon tabanlı yöntemler arasında değerlendirilmesi uygun bulunmuştur. Penman-Monteith (Pen-Mon) ise en yoğun veri gereksinimi duyan yöntem olması dolayısıyla kombinasyon yöntemi olarak çalışmada değerlendirilmiştir. Tablo 2.1’de çalışmada kullanılan eşitliklerin ihtiyaç duyduğu girdiler, Tablo 2.2’de ise formülleri verilmiştir.

Tablo 2.1: Çalışmada kullanılan EPOT eşitliklerinin temel girdileri.

Yöntem Adı (Kısaltması)	Girdiler
<i>Penman-Monteith (Pen-Mon)</i>	$T, Press, W_2, T_{dew}, R_n$
<i>Thorntwaite (Thw)</i>	$T, Enlem Derecesi (Lat)$
<i>Romanenko (Rom)</i>	T, T_{dew}
<i>Blaney-Cridde (Bl-Cr)</i>	T, Lat
<i>Kharrufa (Khr)</i>	T, Lat
<i>Hamon-1 (Ham1)</i>	T, Lat
<i>Hamon-2 (Ham2)</i>	T, Lat
<i>Meyer (Myr)</i>	T, T_{dew}, W_8
<i>Penman (Pen)</i>	T, T_{dew}, W_2
<i>Rohwer (Roh)</i>	T, T_{dew}, W_2
<i>Turc (Turc)</i>	T, R_s, T_{dew}
<i>Hargreaves (Harg)</i>	T, R_s
<i>Makkink (Mak)</i>	$T, Press, R_s$
<i>Priestley-Taylor (Prs-Tyl)</i>	$T, Press, R_n$
<i>Caprio (Cpr)</i>	T, R_s
<i>Jensen-Haise (J-H)</i>	T, R_s
<i>Irmak1 (Irm1)</i>	T, R_s
<i>Irmak2 (Irm2)</i>	T, R_s
<i>Irmak3 (Irm3)</i>	T_{min}, T_{max}, R_s
<i>McGuinness-Bordne (McG-Bor)</i>	T, R_s
<i>Baier-Robertson (Bai-Rob)</i>	T_{min}, T_{max}, R_a

Burada; T aylık ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_{max} aylık maksimum sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_{min} aylık minimum sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_{dew} aylık ortalama çığ noktası sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), W_z deniz seviyesinden z metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızını (m/s), $Press$ yüzey basıncını (kPa), R_s aylık gelen solar radyasyonu (MJ/m^2), R_a aylık ekstraterrestrial (dünya dışından gelen) radyasyonu (MJ/m^2) ve R_n zemin yüzeyindeki aylık net radyasyonu (MJ/m^2) temsil etmektedir.

Tablo 2.2: Çalışmada kullanılan EPOT formülleri.

Yöntem	Formül(ler)	Referans(lar)
Pen-Mon	$EPOT = \frac{N_m [(0.408\Delta(R_n - G_i)/N_m + 900 \gamma W_2 (e_s/7.5 - e_a/7.5))/(T+273)]}{[\Delta + \gamma (1+0.34W_2)]}$	Xu ve Singh (2002), Allen vd. (1998)
Thw	$EPOT = 16K_i(10T_i/J)^c$ $J = \sum(T_i/5)^{1.514}$ (her bir yıl için ayrı toplam hesaplanıyor) $c = 0.000000675J^3 - 0.0000771J^2 + 0.01792J + 0.4924$	Xu ve Singh (2001), Pandey vd. (2016) Heydari vd. (2014)
Rom	$EPOT = 0.0018(25+T)^2(100-RH)$	Xu ve Singh (1998)
Bl-Cr	$EPOT = kp(0.46T + 8.13)$ (Xu ve Singh (2002) esas alınarak k katsayıları Nisan-Eylül döneminde 0.85, Ekim-Mart döneminde 0.45 alınmıştır.)	Xu ve Singh (2002)
Khr	$EPOT = 0.34pT^{1.3}$	Xu ve Singh (2001) Heydari vd. (2014)
Ham1	$EPOT = 0.6915N_m(D_L/12)^2 \exp(0.062T)$	Xu ve Singh (2001) Rosenberry vd. (2004)
Ham2	$EPOT = 0.1981N_m(D_L/12) \exp(288.86e_s/(T+273.3))$	Lu vd. (2005), Xystrakis ve Matzarakis (2011)
Myr	$EPOT = A e_s(1-RH/100)(1+3.6W_8/16)$ (A=11 seçilmiştir)	Singh ve Xu (1997), Meyer, A. F. (1944)
Pen	$EPOT = N_m 0.4655(1+0.24W_2)(e_s - e_a)$	Xu ve Singh (1998)
Roh	$EPOT = N_m 0.44(1+0.27W_2)(e_s - e_a)$	Xu ve Singh (2002)
Turc	$EPOT = N_m 0.013C_i (T/(15+T))(23.8846R_s/N_m + 50)$ eğer RH > 50% ise C _i = 1, eğer RH ≤ 50% ise C _i = 1 + (50 - RH)/70 alınmaktadır.	Xu ve Singh (1998) Heydari vd. (2014)
Harg	$EPOT = 0.0135(R_s/\lambda p)(T+17.8)$	Xu ve Singh (2000), Hargreaves ve Allen (2003)
Mak	$EPOT = N_m(0.249(\Delta/(\Delta+\gamma))(R_s/N_m) - 0.12)$	Xystrakis ve Matzarakis (2011), Heydari vd. (2014)
Prs-Tyl	$EPOT = 0.514N_m(\Delta/(\Delta+\gamma))(R_n/N_m)$	Xu ve Singh (2000)

Tablo 2.2 (devamı): Çalışmada kullanılan EPOT formülleri.

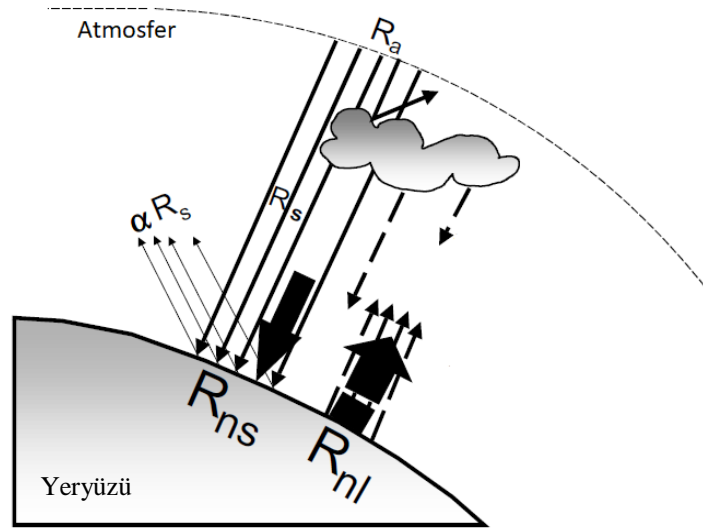
<i>Yöntem</i>	<i>Formül(ler)</i>	<i>Referans(lar)</i>
<i>Cpr</i>	$EPOT=(6.1/10^6)(1000R_s)(1.8T+1)$	<i>Xystrakis ve Matzarakis (2011)</i>
<i>J-H</i>	$EPOT=(R_s/\lambda\rho)(0.025T+0.08)$	<i>Xystrakis ve Matzarakis (2011)</i>
<i>Irm1</i>	$EPOT=N_m(-0.611+0.149R_s/N_m+0.079T)$	<i>Irmak vd.(2003), Pandey vd.(2016)</i>
<i>Irm2</i>	$EPOT=N_m(-0.642+0.174R_s/N_m+0.0353T)$	<i>Tabari vd.(2013), Pandey vd.(2016)</i>
<i>Irm3</i>	$EPOT=N_m(-0.478+0.156R_s/N_m-0.0112T_{max}+0.0733T_{min})$	<i>Tabari vd.(2013), Pandey vd.(2016)</i>
<i>McG-Bor</i>	$EPOT=(0.0082(1.8T+32)-0.19)(23.8846R_s/1500)25.4$	<i>Xu ve Singh (2000)</i>
<i>Bai-Rob</i>	$EPOT=N_m[0.0157T_{max}+0.158(T_{max}-T_{min})+0.109R_s/N_m-5.39]$	<i>Pandey vd.(2016)</i>

$N_m = m$. aydaki toplam gün sayısı (bazı yöntemler orijinal denklemlerinde günlük EPOT verdikleri için N_m ile aylık değerlere dönüştürülmüşlerdir).

Tablo 2.2'deki sıcaklık tabanlı fonksiyonlar, rüzgar hızı dönüşüm ilişkileri ve kullanılan sabitler Tablo 2.3'te belirtilmiştir. Bazı yöntemlerdeki enleme bağlı katsayılar ise Şekil 2.2'den temin edilebilir.

Ülkemizde Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de belirtilen değişkenlerden T , T_{max} ve T_{min} meteoroloji istasyonu ölçeğinde yaygın bir şekilde gözlenmektedir. Ancak T_{dew} , W , $Press$ ve radyasyon için gözlem ağı nispeten zayıftır. Çalışmada kullanılan uygulama bölgesinde de bu duruma rastlanmış olup söz konusu değişkenler için alansal çözünürlük kalitesi yüksek olan ERA-Interim reanaliz veri setlerinden faydalanılmıştır. Çalışmada kullanılan eşitliklerin çoğunluğu radyasyon tabanlı olduklarından gerekli radyasyon verilerinin derlenmesi bu aşamada önem arz etmektedir. Özellikle Allen vd. (1998) tarafından tavsiye edilen bazı eşitlikler bu kapsamda değerlendirilebilir. ERA-Interim veri setinde R_s solar radyasyon mevcut olup bunun yaklaşık $\alpha = \%23$ 'ünün albedo oranına bağlı yansıtılacağı, kalan $\%77$ 'nin ise net kısa dalga radyasyon olarak oluşacağı varsayılmaktadır (Allen vd., 1998; Bogawski ve Bednorz, 2014). Öte yandan, Pen-Mon ve Prs-Tyl gibi eşitlikler zemin yüzeyindeki net radyasyona da ihtiyaç duymaktadırlar. Bunu elde etmek için R_{ns} kısa

dalga radyasyon değerlerinden R_{nl} uzun dalga radyasyon değerlerinin çıkartılması gerekmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Radyasyonun çeşitli bileşenleri (Allen vd., 1998).

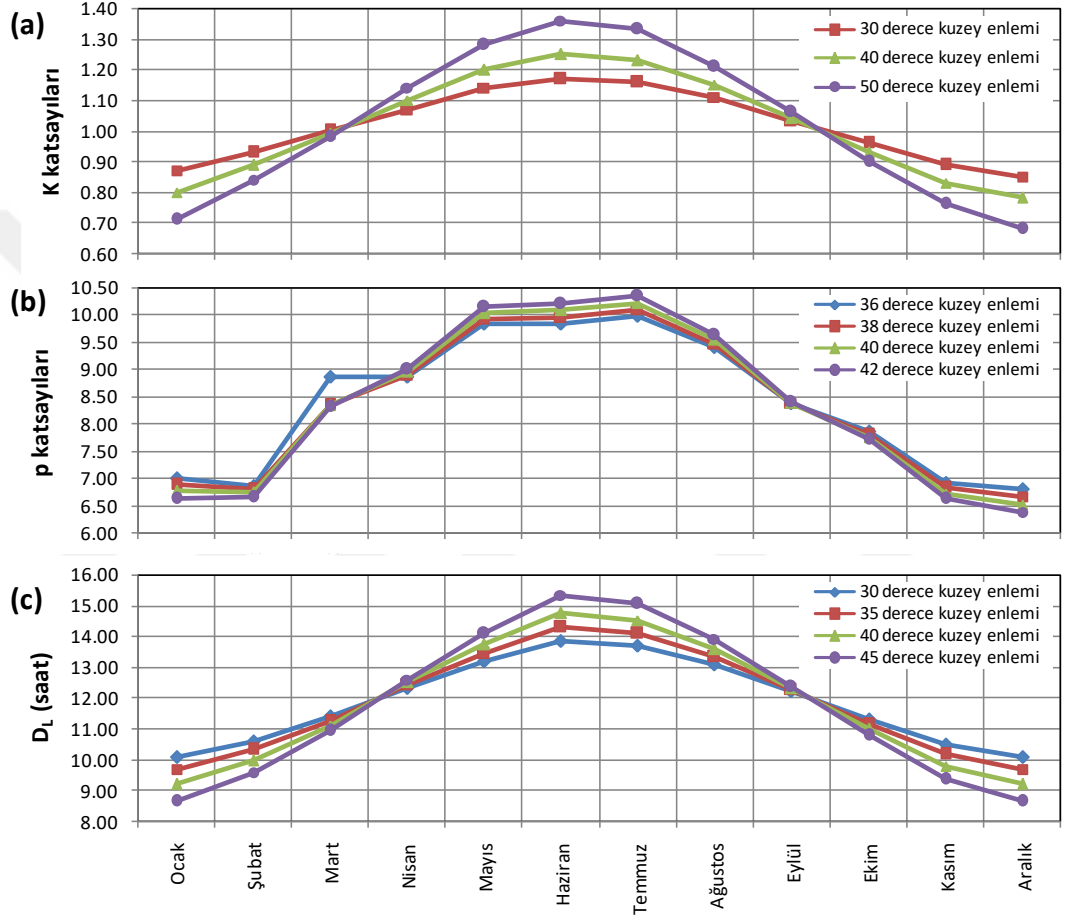
Uzun dalga radyasyonu da Stefan-Boltzmann yasası esas alınarak ERA-Interim tarafından servis edilmektedir. Buradan elde edilen R_n değerlerinin Xu ve Singh (2000)'de R_s 'ye bağlı başka bir fonksiyonla türetilen değerlerle yüksek ilişkili olduğu da görülmüştür. Ekstraterrestrial radyasyon değerleri ise enleme ve aylara göre Allen vd. (1998) tarafından tablolştırılmış durumdadır. Kullanılan verilerin derlenmesi ile ilgili detaylar üçüncü bölümde paylaşılmıştır. Eşitliklerde sıcaklığın fonksiyonu niteliğindeki değişkenler, kullanılan rüzgâr hızı düzeltme fonksiyonları ve atanan sabitler ile ilgili bilgiler Tablo 2.3'te özetlenmiştir.

Tablo 2.3: Sıcaklık tabanlı fonksiyonlar, rüzgâr hızı dönüşüm ilişkileri ve kullanılan sabitler (Allen vd., 1998; Xu ve Singh, 2001, 2002; Oudin vd., 2005b)

Değişkenler	Fonksiyonlar/ Sabitler
doygun buhar basıncı fonksiyonu (mmHg)	$e_s = 4.5825 \exp [17.27T / (T + 237.3)]$
gerçek buhar basıncı fonksiyonu (mmHg)	$e_a = 4.5825 \exp [17.27T_{dew} / (T_{dew} + 237.3)]$
buhar basıncı eğrisinin eğimi ($kPa/^\circ C$)	$\Delta = [546.4 e_s] / [(T + 237.3)^2]$
i . ayın zemin ısı değişim yoğunluğu (MJ/m^2)	$G_i = 0.07(T_{i+1} - T_{i-1})$
rölatif nem (%)	$RH = 100 e_a / e_s$
yüzeyden 2 m yükseklikteki rüzgâr hızı	$W_2 = 4.87 W_z / (\ln(67.8Z - 5.42))$
yüzeyden 8 m yükseklikteki rüzgâr hızı	$W_8 = 0.967 W_{10}$
Suyun yoğunluğu	$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
gizli buharlaşma ısısı (MJ/kg)	$\lambda = 2.45 \text{ MJ/kg}$
psikrometrik sabit ($kPa/^\circ C$)	$\gamma = 0.00163 (\text{Press} / \lambda)$

Buradaki değişkenlerin kısaltmalarının anlamı ve birimleri Tablo 2.1'de belirtilmiştir.

Öte yandan, Thw yönteminde esas alınan K düzeltme katsayıları, aylık ortalama gündüz saatlerinin yıllık ortalama gündüz saatlerine oranı olan p değerleri, D_L gün uzunluğu değerleri abak halinde enleme ve aylara bağlı olarak Şekil 2.2’de ve enleme bağlı aylık ekstraterrestrial radyasyon değerleri Tablo 2.4’te verilmiş olup söz konusu abak ve tablolarda ara değerler için doğrusal interpolasyon yapılmıştır.



Şekil 2.2: (a) Thw yöntemindeki enleme bağlı aylık K katsayıları (Ponce, 1989), (b) aylık ortalama gündüz saatlerinin yıllık ortalama gündüz saatlerine oranı (Acatay, 1996), (c) enleme bağlı gün uzunluğu değerleri (Allen vd., 1998).

Tablo 2.4: Enleme ve aylara bağlı aylık ekstraterrestrial radyasyon değerleri (MJ/m^2) (Allen vd., 1998).

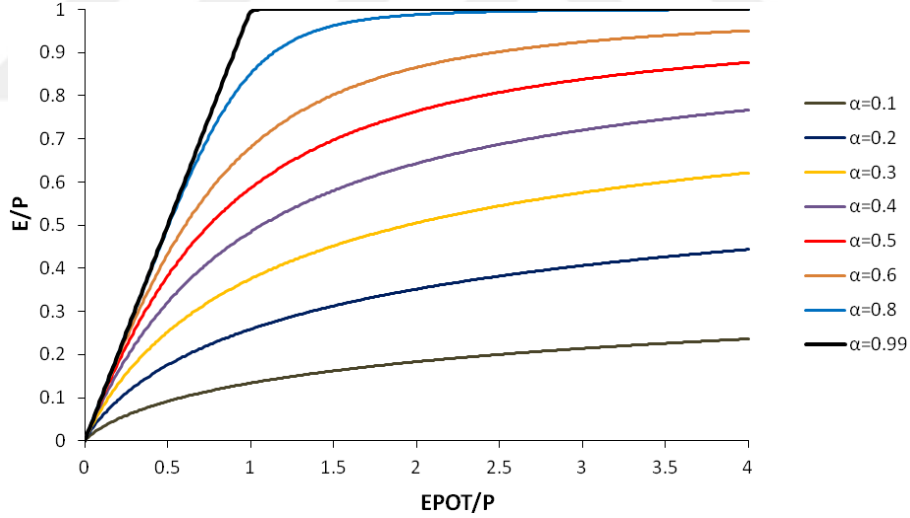
enlem derecesi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
36	542.5	632.8	899.0	1071.0	1240.0	1251.0	1264.8	1159.4	945.0	762.6	561.0	499.1
38	502.2	602.0	871.1	1056.0	1236.9	1254.0	1264.8	1147.0	921.0	731.6	525.0	458.8
40	465.0	571.2	843.2	1041.0	1230.7	1257.0	1264.8	1137.7	900.0	697.5	489.0	421.6
42	427.8	537.6	815.3	1023.0	1224.5	1257.0	1264.8	1125.3	876.0	663.4	453.0	384.4

2.2 Çalışmada Kullanılan Hidrolojik Model

Gerçek evapotranspirasyonun (E), yıllık zaman ölçeğinde yağış (P) ve potansiyel evapotranspirasyonun (EPOT) bir fonksiyonu olduğu Budyko (1958) tarafından Denklem 2.1 ile ortaya koyulmuştur. Bu denklem Budyko Fonksiyonu (eğrisi) olarak bilinmektedir (Zhang vd., 2008; Lhomme ve Moussa, 2016).

$$\frac{E}{P} = Bf\left(\frac{EPOT}{P}, \alpha\right) = 1 + \frac{EPOT}{P} - \left[1 + \left(\frac{EPOT}{P}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}\right]^{1-\alpha} \quad (2.1)$$

Burada Bf Budyko fonksiyonunu, α tanım aralığı (0,1) olan evapotranspirasyon etkinlik parametresini, $EPOT/P$ ise kuraklığı temsil eden bir değişkeni göstermektedir. Evapotranspirasyon etkinlik ilişkisi farklı α değerleri için Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Farklı α değerleri için $EPOT/P$ ve E/P arasındaki ilişkiler (Okkan, 2015).

Zhang vd. (2008), Budyko fonksiyonunun aylık zaman ölçeğindeki veriler için uygun sonuç vermediğini tespit etmişler ve söz konusu fonksiyonu güncelleyip “dinamik su bütçesi modeli (DYN-WBM)” adını verdikleri aylık bir hidrolojik model içerisine entegre ederek geliştirmişlerdir. Sınıf bakımından kavramsal ve ortalananmış (lumped) türdendir (Okkan, 2015; Li vd., 2016).

Herhangi bir t ayında havza üzerine düşen toplam yağış $P(t)$, dolaysız akış $Q_d(t)$ ve diğer elemanlar için alıkonan $X(t)$ bileşenlerinin toplamına eşittir (Denklem 2.2).

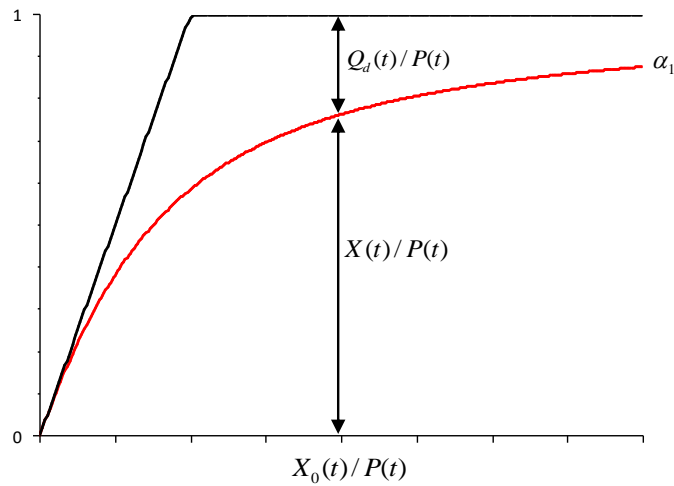
$$P(t) = Q_d(t) + X(t) \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'de $X(t)$; gerçek evapotranspirasyon ($E(t)$), zemin nemi miktarındaki aylık değişim ($S(t)-S(t-1)$) ve yeraltı suyu depolamasına giriş yapan aşırı suyun ($R(t)$) toplamına eşittir. Zemin nemi depolaması değeri $S(t)$, S_{max} maksimum kapasite değerine ulaştığında $X(t)$ için $X_0(t)$ beklenen üst sınır değeri Denklem 2.3 yardımıyla hesaplanır.

$$X_0(t) = S_{max} - S(t-1) + EPOT(t) \quad (2.3)$$

$X_0(t)/P(t)$ oranının sonsuza giden değerleri için $X(t)/P(t)$ oranının 1 değerine yakınsadığı söylenebilir. $X_0(t)/P(t)$ oranının sifıra yakınsaması durumunda ise $X(t) \rightarrow X_0(t)$ değerine yaklaşır. Bf fonksiyonu α_1 model parametresine bağlı olarak $X_0(t)/P(t)$ oranında işletildiğinde $X(t)$ elde edilebilir (Denklem 2.4).

$$X(t) = P(t) * Bf\left(\frac{X_0(t)}{P(t)}; \alpha_1\right) \quad (2.4)$$



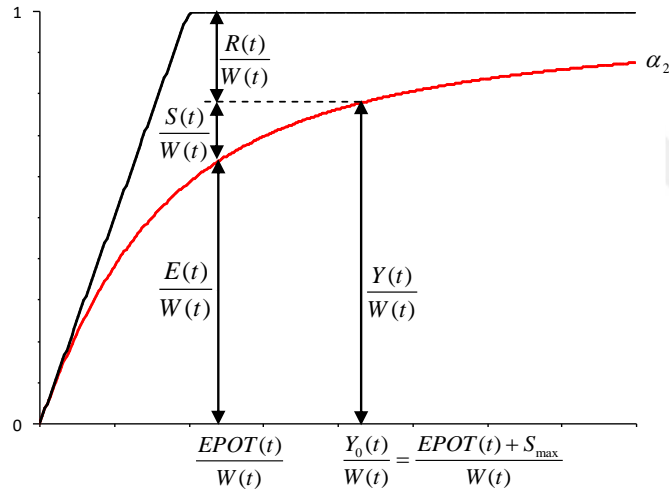
Şekil 2.4: DYN-WBM modelinde yağışın kısımlarına ayrılması (Zhang vd., 2008).

$X(t)$ bileşeninin belirlenmesini takiben dolaysız akış bileşeni Denklem 2.5'ten hesaplanmaktadır. Denklem 2.1'den Denklem 2.5'e kadar verilen ifadeler Şekil 2.4'de verilmiştir.

$$Q_d(t) = P(t) - X(t) \quad (2.5)$$

Bir önceki aydan kalan zemin nemi $S(t-1)$ ve $X(t)$ 'nin toplamı ise aynı zamanda havzada t . ayda evapotranspirasyona, zemi nemi depolamasına ve yeraltısuyu depolamasına ayrılacak su miktarına eşit olacaktır (Denklem 2.6). Söz konusu suyun kısımlara ayrılma durumu şematik olarak Şekil 2.5'te gösterilmektedir.

$$W(t) = S(t-1) + X(t) = E(t) + S(t) + R(t) \quad (2.6)$$



Şekil 2.5: DYN-WBM modelinde mevcut su içeriğinin bölünmesi (Zhang vd., 2008).

$Y(t)$, evapotranspirasyon ile depolanan zemin neminin toplamı olarak ifade edilecek olursa ($Y(t)=E(t)+S(t)$), $Y(t)$ 'nin beklenen üst sınır değeri $Y_0(t)$, $S(t)=S_{max}$ ve $E(t)=EPOT(t)$ için Denklem 2.7'den hesaplanabilir.

$$Y_0(t) = S_{max} + EPOT(t) \quad (2.7)$$

Budyko yaklaşımına benzer biçimde, $Y_0(t)/W(t) \rightarrow \infty$ için (çok kurak) $Y(t)/W(t) \rightarrow 1$, karşıt durumda (çok sulak) $Y_0(t)/W(t) \rightarrow 0$ için $Y(t) \rightarrow Y_0(t)$ çıkarımları

yapılabilmektedir. $Y(t)$, α_2 evapotranspirasyon etkinlik parametresini kullanarak Bf fonksiyonu üzerinden tahminlenebilmektedir (Denklem 2.8). $Y(t)$ hesaplandıktan sonra yeraltı suyu depolamasına deşarj olan su ise Denklem 2.9’da ifade edilmektedir (Zhang vd., 2008; Okkan, 2015; Li vd., 2016).

$$Y(t) = W(t) * Bf \left(Y_0(t) / W(t); \alpha_2 \right) \quad (2.8)$$

$$R(t) = W(t) - Y(t) \quad (2.9)$$

$E(t)$ ’nin üst sınıır değeri ise $EPOT(t)$ olduğundan EPOT’un yetersiz olduğu durumda evapotranspirasyon $W(t)$ ’den karşılanmaktadır. Denklem 2.4’e benzer olarak $E(t)$, Bf fonksiyonu ile α_2 parametresine bağılı hesap edilebilmektedir (Denklem 2.10).

$$E(t) = W(t) * Bf \left(\frac{EPOT(t)}{W(t)}, \alpha_2 \right) \quad (2.10)$$

Denklem 2.11’de ise $Y(t)$ ve $E(t)$ ’ye bağılı olarak zemin nemi miktarı belirlenir.

$$S(t) = \max(0, Y(t) - E(t)) \quad (2.11)$$

Taban akımı lineer hazne kabulüyle incelenmekte olup yeraltı suyu depolamasında kalan suya bağılı hesaplanmaktadır (Denklem 2.12).

$$Q_b(t) = d.G(t-1) \quad (2.12)$$

$G(t)$, yeraltı biriktirme sisteminin ilgili ayındaki kapasitesi Denklem 2.13 yardımıyla belirlenmektedir.

$$G(t) = G(t-1) + R(t) - Q_b(t) \quad (2.13)$$

Söz konusu modelde d olarak gösterilen parametre $0 \leq d \leq 1$ tanım aralığında olan ilk yeraltı suyu biriktirme parametresidir. Denklem 2.13’te Okkan (2015)

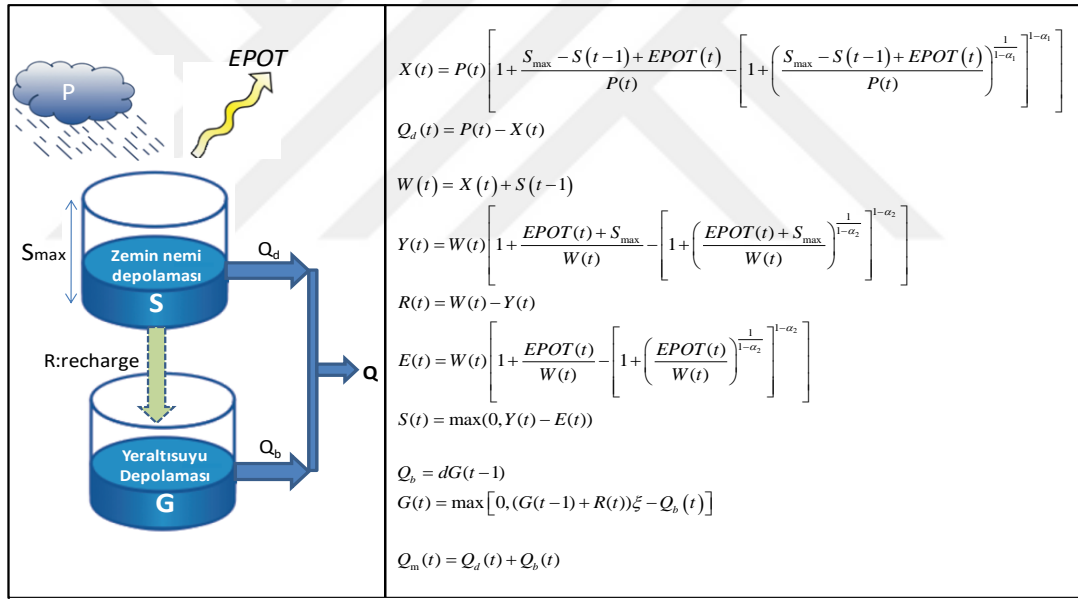
tarafından bir değişiklik önerilmiş ve modele bir parametre daha ilave edilerek $G(t)$ ifadesi Denklem 2.14'deki gibi tariflenmiştir.

$$G(t) = [G(t-1) + R(t)] \cdot \xi - Q_b(t) \quad (2.14)$$

Denklem 2.14'de ξ modelin ikinci yeraltı biriktirme parametresidir. Su bütçesi elemanları hesaplandıktan sonra modellenen toplam akış bulunmaktadır (Denklem 2.15).

$$Q_m(t) = Q_d(t) + Q_b(t) \quad (2.15)$$

Yukarıda detayları anlatılan DYN-WBM modelinin kavramsal akış şeması şekil 2.6'da verilmiştir.



şekil 2.6: DYN-WBM modelinin kavramsal akış şeması (Okkan ve Kirdemir, 2018).

2.3 Hidrolojik Modele İlişkin Performans Ölçütleri

Çalışmada kullanılan hidrolojik model (DYN-WBM) çıktılarının sayısal olarak değerlendirilmesi, söz konusu modelin performansının ölçülmesi açısından oldukça önemlidir. DYN-WBM modelinin kalibrasyonunda hata kareler

ortalamasının karekökü olarak tanımlanan *RMSE* değerinin minimum değerlerde kalması amaçlanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_{g,t} - y_{m,t})^2} \quad (2.16)$$

Denklem 2.16’da, n örneklemdaki toplam veri sayısını, $y_{g,t}$ t . zamandaki ölçülmüş akışı, $y_{m,t}$ ise modelin t . zamandaki tahminini ifade etmektedir.

RMSE istatistiğinin dışında Nash ve Sutcliffe (1970) tarafından önerilen *NS* katsayısı hidroloji literatüründe sıklıkla tavsiye edilmektedir. Moriasi vd., (2007)’ye göre, Denklem 2.17’de verilen *NS* ölçütünün 0.75’ten büyük olması modelin *çok iyi* sınıfında olduğunu göstermektedir.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_{g,t} - y_{m,t})^2}{\sum_{t=1}^n (y_{g,t} - y_{g,ort})^2} \quad (2.17)$$

Denklem 2.17’de $y_{g,ort}$ ise n adet ölçülmüş akış verisinin ortalamasını ifade etmektedir.

Buna ek olarak hata kareler ortalamasının karekökünün (*RMSE*), ölçülmüş akımın uzun dönem standart sapmasına (STD_{obs}) oranı şeklinde hesaplanan ve boyutsuz olan *RSR* değeri de Moriasi vd., (2007) tarafından önerilmekte olup Denklem 2.18 yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu istatistiğin 0.50’den küçük değerleri için model *çok iyi* konumdadır (Moriasi vd., 2007; Okkan ve Kirdemir, 2018).

$$RSR = RMSE / STD_{obs} \quad (2.18)$$

2.4 Parametre Optimizasyonunda Kullanılan Algoritma

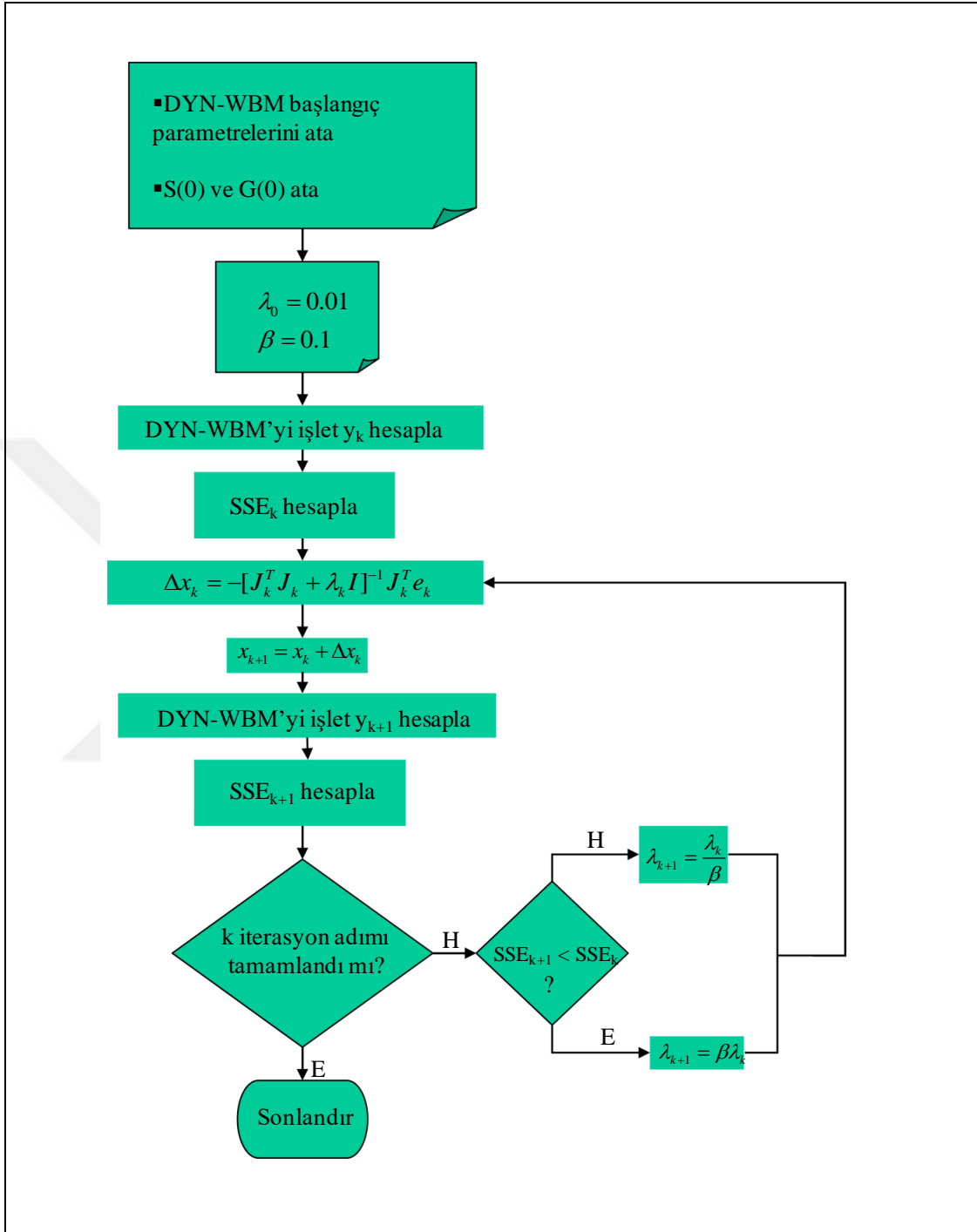
Çalışmada parametre optimizasyonunda Newton algoritmasının bir benzeri olan Levenberg-Marquardt (LM) algoritması kullanılmıştır. *LM* algoritması seri yakınsama özelliği ve yalnızca birinci mertebeli türevler ile çalıştırılması bağlamında oldukça pratik bir algoritmadır (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963). Algoritma hidrolojik modelleme çalışmalarında yararlanılan optimizasyon gereçlerinden biridir (Coulibaly vd., 2001; Daliakopoulos vd., 2005; Adeloye ve Munari, 2006).

LM algoritmasında toplam karesel hata fonksiyonunu (SSE) minimize edecek optimum model parametreleri x , k . iterasyon adımında sırasıyla Denklem 2.19 ve Denklem 2.20 yardımıyla belirlenmektedir (Adeloye ve Munari, 2006; Okkan vd., 2018).

$$\Delta x(k) = -[J_k^T J_k + \lambda_k I]^{-1} J_k^T e_k \quad (2.19)$$

$$x(k+1) = x(k) + \Delta x(k) \quad (2.20)$$

Denklem 2.19 ve 2.20'de $\Delta x(k)$ k . iterasyonda parametre kümesindeki değişimi temsil etmektedir. Ayrıca J Jakobien matris olup model hataları olan e 'nin parametrelere göre birinci mertebeli türevlerinden elde edilmektedir. λ algoritmanın Marquardt parametresini, I ise birim matrisi sembolize etmektedir (Okkan vd., 2018). Tez çalışmasında söz konusu türev hesapları için sonlu farklar yaklaşımı esas alınmış ve bu aşamada ileri fark türünden faydalanılmıştır. Algoritmada herhangi bir iterasyonda karesel toplam hata azalış sergiliyorsa, λ bir sonraki iterasyon için belli bir β sabiti ile çarpılmakta, aksi halde ise β sabitine bölünmektedir. Bu işleyiş algoritmanın yanlış sonuç elde etme olasılığını da azaltmaktadır. Tez çalışmasında $\beta=0.1$ alınmış ve iterasyonlara başlamadan önce λ 'nın başlangıç değeri olarak 0.01 değeri seçilmiştir. *LM* algoritmasının DYN-WBM modeli parametre tahminine uyarlanan akış şeması Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7: LM algoritması ile parametre optimizasyonunu tasvir eden akış şeması (y_k : DYN-WBM'de k .iterasyonda elde edilen tahmini akış değerleridir).

3. UYGULAMA VE BULGULAR

3.1 Uygulama Havzasının Genel Özellikleri

Çalışmada uygulama havzası olarak seçilen Gediz Havzası ülkemizin batısında Ege Bölgesini kapsayıp, Küçük Menderes ve Bakırçay havzaları arasında yer almaktadır (Şekil 3.1). Drenaj alanı yaklaşık 17000 km² olan havza adını aldığı Gediz nehrinin yanı sıra Deliiniş, Selendi, Demirci, Acısu, Nif, Alaşehir, Gördes ve Medar gibi akarsular ile beslenmektedir. Havza içerisinde deniz seviyesinden yükseklik Menemen civarında 20 metre, Salihli ve Akhisar civarında 90-100 metre iken havzanın kuzey bölümlerinde ise 600 metreyi aşmaktadır. Havza sınırlarını belirleyen dağlık alanlarda ise yükselti 2000 metrelere kadar çıkmaktadır. Havzadaki bitki örtüsü iklim, topografya ve çevre şartlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Havzadaki ovalar tektonik hareketler sonucu batı doğrultusunda uzanan çöküntü alanlarını kapsamaktadır. Akdeniz ikliminin hâkim olduğu havzada, yıllık yağış rejimi bölgeden bölgeye değişmekle birlikte 1980-2010 referans iklim dönemi için ortalama 500-550 mm civarındadır. Yine aynı dönem için yıllık ortalama sıcaklık havza genelinde yaklaşık 15 °C'dir. Havzadaki en önemli ekonomik faaliyetlerden biri tarım olup başlıca tarımsal ürünler mısır, bağ, sebze ve pamuktur. Bu nedenle havzadaki su yapıları genellikle sulama amaçlı işletilmektedir (örneğin Demirköprü ve Gölarmara Barajları). Havzanın fiziksel coğrafi bilgileri ile ilgili detaylar Günal (1995) ve Mutluer (1996) tarafından sunulmuştur.

3.2 Havzadaki Hidrometeorolojik Verilerin Derlenmesi

3.2.1 Aylık Toplam Yağış, Sıcaklık ve Akım Verileri

Havzada Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen 39 adet meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonların konumları Şekil 3.1'de genel bilgileri ise Tablo 3.1'de verilmiştir. Bu

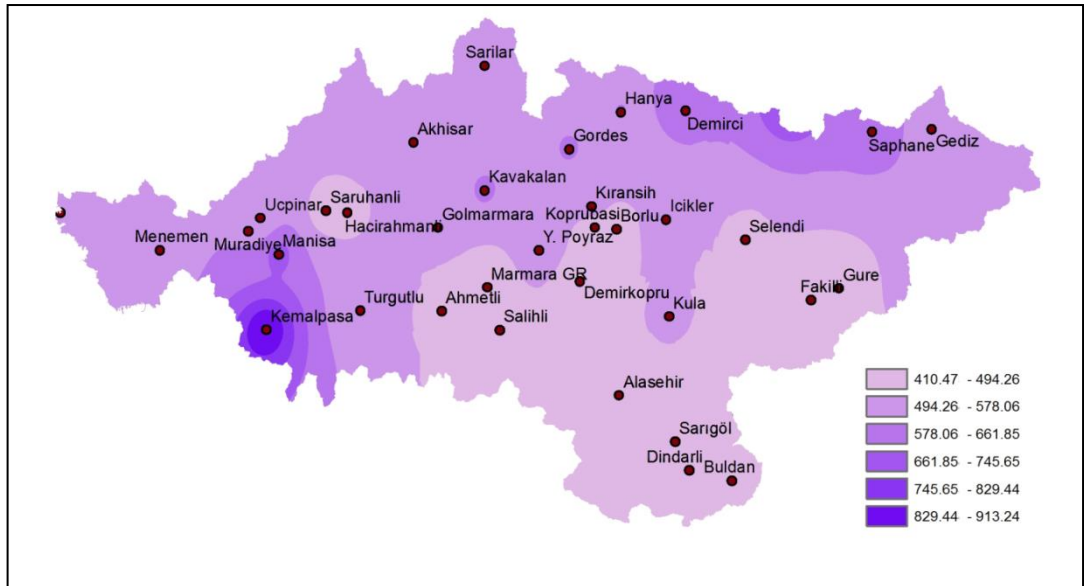
39 istasyonun tamamında yağış gözlemi yapılmış ancak sadece 20 tanesinde aylık ortalama sıcaklık rasatı tutulmuştur. Çalışmada 1980-2010 referans iklim dönemi verileri esas alınmış ve eksik gözlemler kurulan korelasyon-regresyon ilişkileri ile tamamlanmıştır.

Tablo 3.1: Havzayı temsil eden meteoroloji istasyonları.

İstasyon ismi	İstasyon No	İşleten	Kotu (m)
Akhisar*	17184	MGM	93
Ahmetli	5617	MGM	100
Alaşehir*	5974	MGM	189
Borlu	2425	MGM	250
Demirci*	17746	MGM	851
Foça*	5434	MGM	10
Gediz*	17750	MGM	825
Gölmarmara*	5273	MGM	150
Gördes*	4930	MGM	550
Güre*	5458	MGM	650
Köprübaşı*	5278	MGM	250
Kula*	5624	MGM	675
Manisa*	17186	MGM	71
Menemen*	9020	MGM	10
Muradiye	5440	MGM	25
Salihli*	17792	MGM	111
Şaphane	4765	MGM	925
Sarıgöl*	6143	MGM	225
Saruhanlı*	5269	MGM	50
Selendi*	5282	MGM	575
Turgutlu*	5615	MGM	120
Avşar	05-026	DSİ	275
Buldan	05-027	DSİ	470
Demirköprü	05-003	DSİ	290
Dındarlı	05-006	DSİ	685
Eşmataşköyü	05-001	DSİ	930
Fakılı	05-012	DSİ	715
Hacırahmanlı	05-002	DSİ	45
Hanya	05-010	DSİ	640
İcikler	05-018	DSİ	710
Kavakalan	05-011	DSİ	460
Kıraşlı	05-016	DSİ	670
Marmara GR	05-023	DSİ	75
Sarılar	05-008	DSİ	340
Üçpınar	05-007	DSİ	100
Y. Poyraz	05-013	DSİ	630
Uşak*	17188	MGM	919
Simav*	17748	MGM	809
Kemalpaşa*	5785	MGM	200

* ile belirtilen istasyonlarda sıcaklık rasatı mevcuttur.

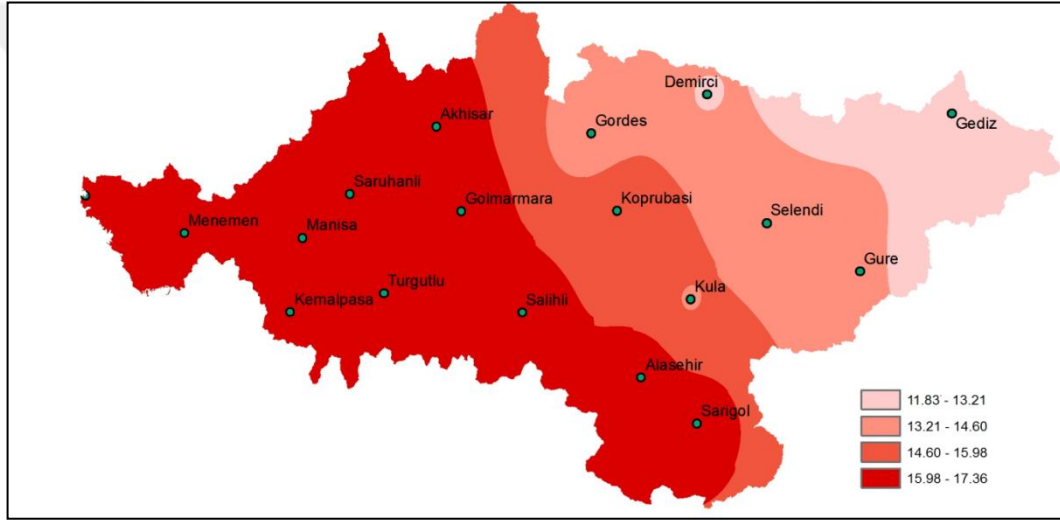
1980-2010 referans iklim döneminde havzaya düşen yıllık toplam yağışlar incelendiğinde, havzanın güney ve orta bölümüne yakın kısımlarında yer alan Ahmetli, Salihli, Selendi, Güre, Sarıgöl, Alaşehir, Dindarlı, Buldan ve Avşar gibi istasyonlarda ortalamaların diğer istasyonlara nazaran daha düşük olduğu görülmüştür (410-495 mm/yıl). Havzanın kuzeybatısından başlayıp orta kesiminden doğusuna doğru uzanan geniş bir alanda ise yağışlar 496-578 mm/yıl arasında değişim göstermektedir. İstasyonların büyük bir çoğunluğu da bu aralıkta yer almakta olup Menemen, Akhisar, Sarılar, Göl marmara, Kula ve Gediz gibi istasyonlar bunlardan bazılarıdır. Havzanın kuzeydoğusundaki yükseltisi büyük olan kısımlarda yer alan istasyonlarda ise (Demirci, Simav ve Şaphane istasyonları) yıllık yağış miktarı daha fazla olup 613-757 mm/yıl arasında değişmektedir. Ayrıca Manisa ilinden güneyindeki Kemalpaşa'ya doğru gidildikçe yıllık yağış miktarında artış göze çarpmaktadır. Bu bölgedeki Kemalpaşa istasyonu yıllık yağış miktarı bakımından zirve değere sahiptir (yıllık ortalama 913 mm). Yıllık yağışların havza üzerindeki dağılımı Şekil 3.2'de verilmiştir. Ayrıca istasyonlar genelinde yıllık yağışların büyük bir çoğunluğunun kış (%43'ü) ve ilkbahar (%27'si) yağışlarından karşılandığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.2: Gediz Havzası'nda gözlenmiş yıllık yağışların dağılımı.

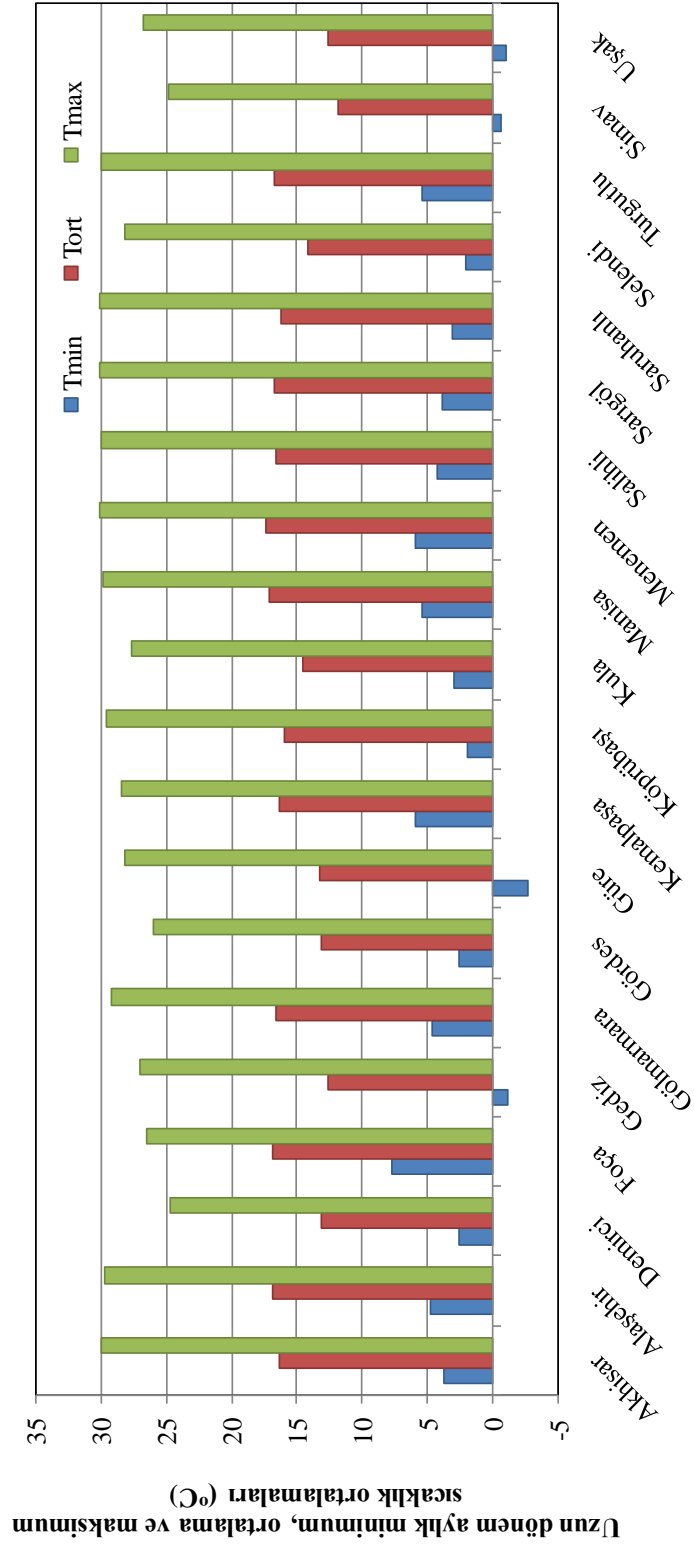
Yıllık ortalama sıcaklıklar incelendiğinde ise, havzanın doğusundan batısına doğru ilerledikçe sıcaklıkların arttığını net bir biçimde söylemek mümkündür. En yüksek sıcaklık Menemen istasyonunda, en düşük sıcaklık ise Simav istasyonunda

gözlenmektedir. Havzanın batısından başlayıp orta kesimine ait sınırdan güneye kadar olan bölgede sıcaklıklar diğer bölgelere kıyasla daha yüksektir. Havzadaki istasyonların yarısı bu bölgede yer almakta olup yıllık ortalama sıcaklıklar yaklaşık 16.0 °C ile 17.4 °C arasında değişmektedir. En düşük sıcaklık ölçümleri ise, Akdeniz ikliminden karasal iklime geçiş bölgesinde yer alan Gediz, Simav, Uşak ve Demirci istasyonlarında gözlenmektedir. Yıllık ortalama sıcaklıkların Gediz Havzasındaki dağılımı ise Şekil 3.4’de sunulmuştur. Havza genelinde, maksimum sıcaklıklardaki değişkenlik ortalama sıcaklıktaki değişkenlik ile benzerlik taşımakta olup maksimum sıcaklıklar ortalama sıcaklığın yaklaşık 1.9 katı mertebesindedir. Aylık minimum sıcaklıklar ise havzada -3.0 °C ile 7.5 °C arasında değişmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3: Gediz Havzasında gözlenmiş yıllık ortalama sıcaklıkların dağılımı.

Çalışmada havzayı temsil eden ve sağlıklı verilere sahip olan 9 adet akım gözlem istasyonu (AGİ) belirlenmiştir. AGİ’ler DSİ 2. Bölge Müdürlüğü tarafından işletilmekte olup istasyonların 1981-2010 su yılına ait verileri söz konusu kurumdan temin edilmiştir. Bunlardan Muradiye Köprüsü isimli AGİ anakol üstünde drenaj alanı en büyük olan ve havzanın en batısında yer alan istasyondur. Demirköprü Barajı’nı besleyen Borlu, Topuzdamları, Dereköy ve Acısu AGİ’leri havzanın kuzey kısmını temsil eden önemli istasyonlardır. Bunların yanı sıra havzanın kuzeybatısında Kayalıoğlu ve Hacıhıdır, güneybatısında Hacıhaliller ve güneydoğusunda Taytan Köprüsü AGİ’leri çalışmaya dâhil edilmiştir. AGİ’lerin konumları Şekil 3.1’de, istasyon numaraları ve hangi su kaynağı üzerinde bulunduğu ise Tablo 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.4: İstasyonlarda gözlenen uzun dönem minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık ortalamaları.

Tablo 3.2: Çalışmada kullanılan AGİ'ler ile ilgili genel bilgiler.

AGİ No.	Nehri/Çayı	AGİ adı	Kotu (m)	Yağış Alanı (km ²)	Temsili gridler
E05A22	Demirci	Borlu	245	818.8	Grid 6
E05A15	Deliiniş	Topuzdamları	381	739.6	Grid 6
E05A14	Selendi	Dereköy	345	689.6	Grid 6
E05A23	Gediz	Acısu	348	3272.4	Grid 3-6
D05A31	Alaşehir	Taytan Köprüsü	91	2513.0	Grid 3
E05A09	Medar	Kayalıoğlu	77	901.6	Grid 7
D05A38	Nif	Hacıhaliller	31	854.0	Grid 2
D05A25	Gediz	Muradiye Köprüsü	17	15849.0	Grid 1-8
D05A28	Gördes	Hacıhıdır	305	808.2	Grid 6

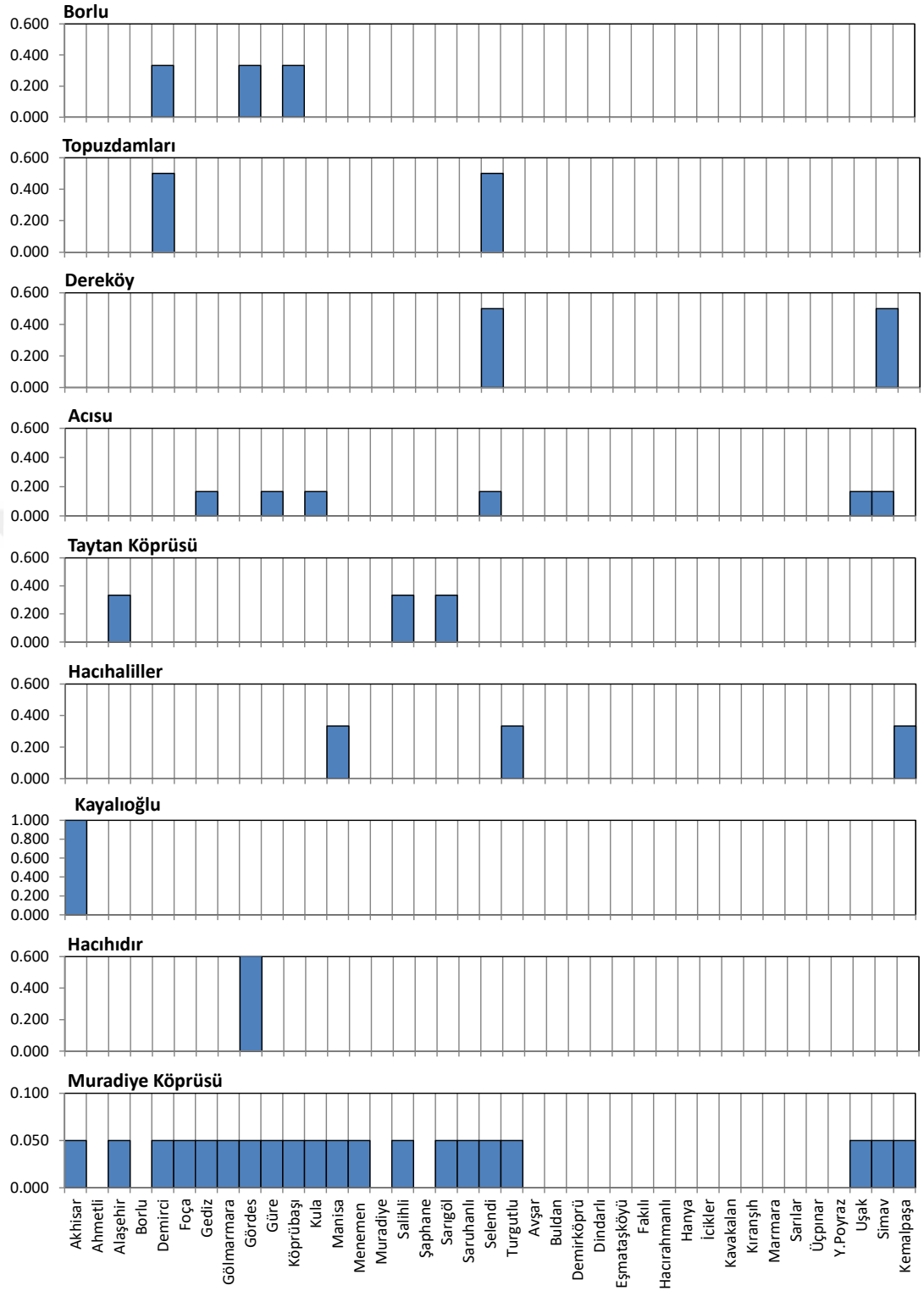
Tablo 3.3: Mevsimsel ve yıllık akımlara ait ortalamalar.

AGİ isimleri	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Yıllık
Borlu	61.46	40.32	2.17	3.74	107.69
Topuzdamları	69.37	45.16	3.04	4.61	122.18
Dereköy	48.27	32.44	2.65	4.14	87.50
Acısu	36.60	34.53	5.91	5.93	82.97
Taytan Köprüsü	31.48	26.73	3.05	4.70	65.97
Kayalıoğlu	43.78	32.97	2.32	3.15	82.22
Hacıhaliller	74.39	49.70	1.81	3.48	129.38
Muradiye Köprüsü	41.21	31.10	10.67	8.16	91.14
Hacıhıdır	54.73	46.11	9.64	9.05	119.53

Değerler mm cinsinden verilmiştir.

DSİ 2. Bölge Müdürlüğünden hm³ biriminde temin edilen akımlar drenaj alanlarına oranlanılarak mm cinsine çevrilmiş ve mevsimsel-yıllık ortalama istatistikleri Tablo 3.3'de verilmiştir. Tablo 3.3'e göre havza genelinde kış ve ilkbahar akımlarının su potansiyeline katkısı oldukça fazladır. Kış ve ilkbahar akımlarının toplamı yıllık akımların yaklaşık %80-90'luk kısmını karşılamaktadır.

Tablo 3.2'de listelenen AGİ'leri temsil eden yağış istasyonlarının ağırlıkları Thiessen poligonları kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.5). Ancak meteoroloji istasyonlarının yaklaşık yarısında sıcaklık gözlemi bulunduğundan aylık alansal ortalama sıcaklıklar aritmetik ortalama kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.6). Bu yaklaşım maksimum ve minimum sıcaklıklar için de tekrarlanmıştır. Şekil 3.5 ve 3.6'da belirtilen ağırlıklar kullanılarak Bölüm 3.5'te detaylarına değinilen yağış-akış modellemesinde kullanılacak girdiler hazırlanmıştır.

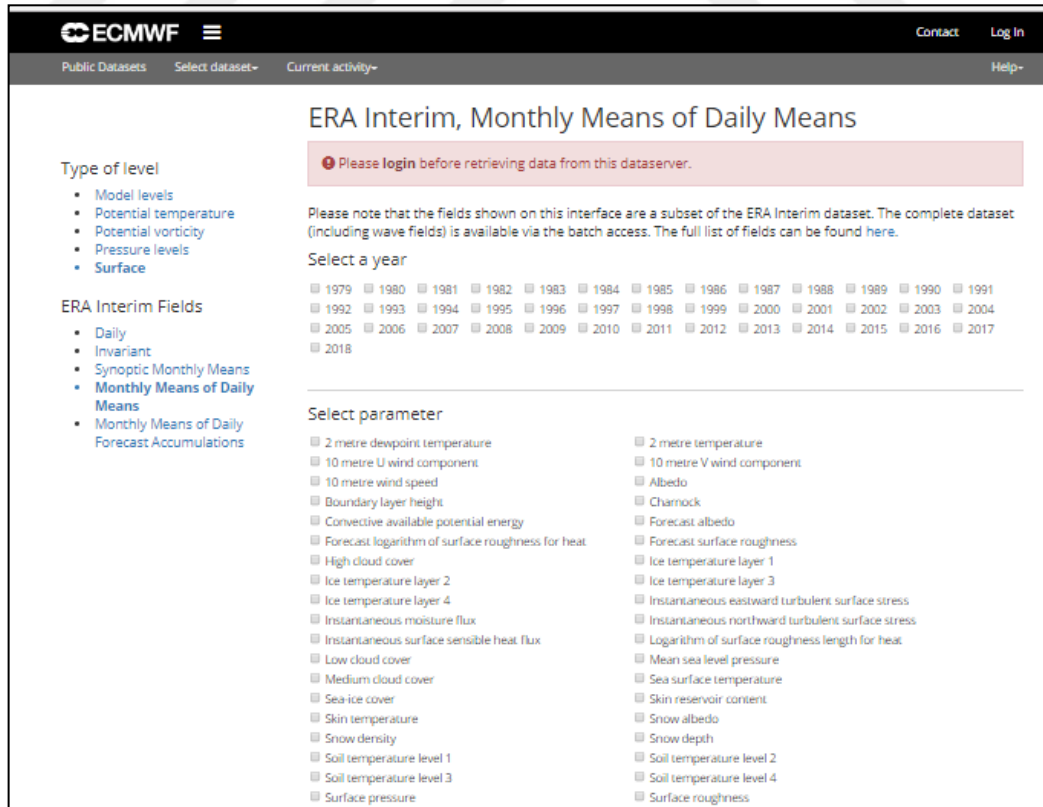


Şekil 3.6: AGİ'leri temsil eden sıcaklık istasyonlarının ağırlıkları.

3.2.2 ERA-Interim Verileri

Çalışmada ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıklar (T , T_{max} , T_{min}) havzada düzenli bir yayılıma sahip olan meteoroloji istasyonlarından derlenirken Tablo 2.2’de belirtilen EPOT denklemlerinin gereksinim duyduğu diğer değişkenler (T_{dew} , W , $Press$ ile R_s ve R_{nl} gibi radyasyon verileri) için $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ alan çözünürlüklü ERA-Interim veri setlerinden yararlanılmıştır. ERA-Interim ile ilgili detaylar Dee vd. (2011) tarafından verilmiştir. Bu re-analiz (yeniden analiz) veri setinin gözlenmiş veriler ile uyumu dünyadaki çeşitli bölgelerde farklı araştırmacılar tarafından doğrulanmıştır (örneğin Bao ve Zhang, 2013; Mooney vd., 2011; Okkan ve İnan, 2015). Şekil 3.1’de havzayı uniform bir biçimde kaplayan 8 adet ERA-Interim gridi ve gridlerin merkez koordinatları görülebilmektedir.

ERA-Interim veri setleri farklı katagoriler altında “Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi” (The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: ECMWF) tarafından kullanıma açılan web sitesi (<http://apps.ecmwf.int/datasets/>) üzerinden temin edilebilmektedir.



Şekil 3.7: ERA-Interim veri setlerinin erişildiği web arayüzü.

ERA-Interim verileri “.nc” uzantılı formatta 1980-2010 dönemini kapsayacak şekilde Şekil 3.7’de örneği verilen arayüz üzerinden temin edilmiş olup 69. ve 70. enlem numaraları ile 37, 38, 39 ve 40 boylam numaralarına ait veriler hazırlanan Matlab kodu ile ayıklanmıştır. Yüzey basıncı (Press) için hazırlanmış örnek bir kod aşağıda verilmiştir (Şekil 3.8).

```
%U.Okkan & H.Kiyamaz 2018
% 2 enlem x 4 boylam için hesap yapar
clc;clear all

dosya_ismi='SP_';
degisken_ismi='sp';

baslangic_yili=1980;
bitis_yili=2010;

% 2 enlem x 4 boylam için hesap yapar
enlem_no=[69,70];
boylam_no=[37,38,39,40];

y_for_excel=[];
for kk = baslangic_yili:bitis_yili;
filename = strcat(dosya_ismi,num2str(kk),'.nc');

ncdisp(filename)
y_total=ncread(filename,degisken_ismi);
boylam_liste=ncread(filename,'longitude');
enlem_liste=ncread(filename,'latitude');

%grid 8-7-6-5
for j=min(boylam_no):max(boylam_no)
for ay=1:12
y_1(ay,j-min(boylam_no-1))=y_total(j,min(enlem_no),ay);
end
end

%grid 1,2,3,4 arası
for j=min(boylam_no):max(boylam_no)
for ay=1:12
y_2(ay,j-min(boylam_no-1))=y_total(j,max(enlem_no),ay);
end
end
y_at_grids=[y_1,y_2];

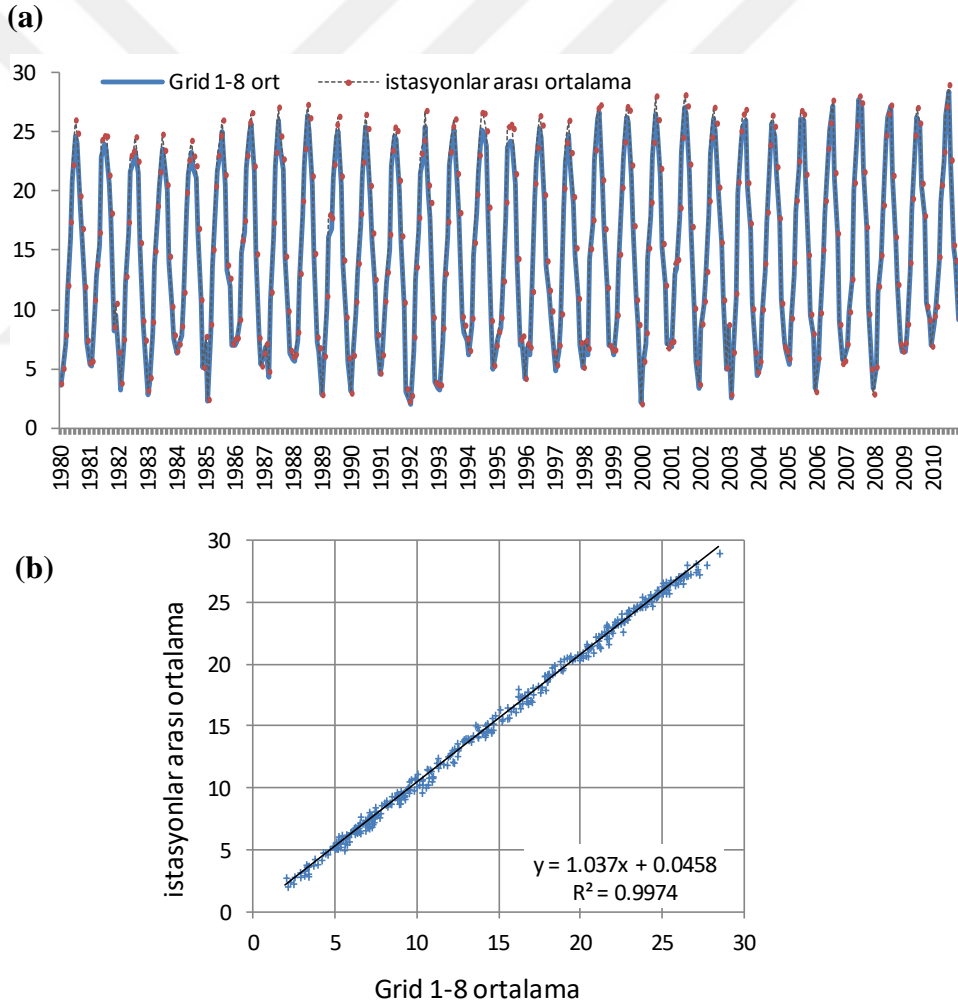
% veriler grid 8-7-6-5-1-2-3-4 sırasıyla yan yana dizdiriliyor.
y_for_excel=[y_for_excel;y_at_grids];

end
```

Şekil 3.8: ERA-Interim verilerini ayıklamada kullanılan örnek bir Matlab kodu.

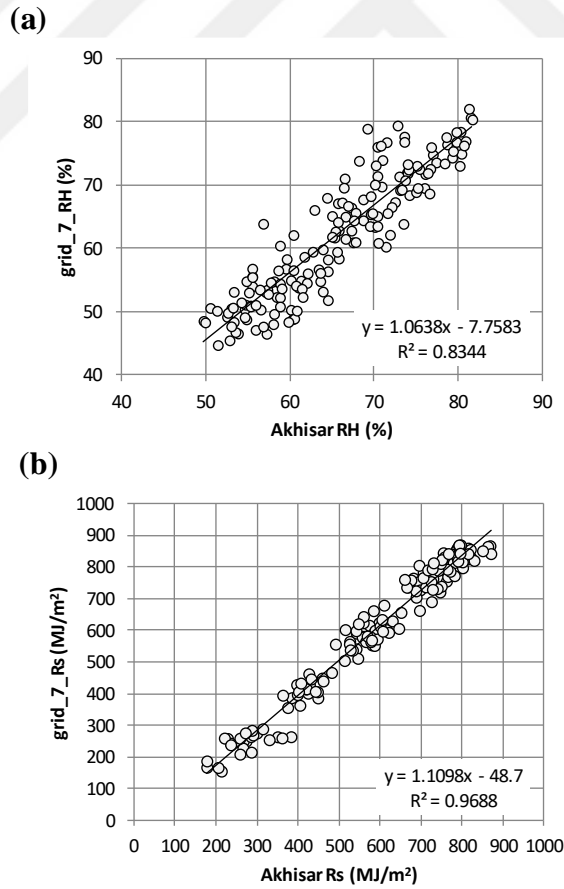
Ayrıca AGİ'lerin drenaj alanlarına bağlı olarak temsil edildikleri ERA-Interim grid numaraları belirlenmiş ve Tablo 3.2'de belirtilmiştir. Birden fazla grid tarafından temsil edilen Muradiye Köprüsü ve Acısu AGİ'lerinde ilgili gridlerin verilerinin aritmetik ortalaması kullanılmıştır.

Uygulama öncesinde, ERA-Interim grid verileri ile istasyon gözlemleri arasındaki uygunluğun ne düzeyde olduğu da bilhassa araştırılmıştır. Sıcaklık istasyonları havzada düzenli dağıldıklarından, öncelikle 20 adet istasyondan elde edilen ortalama sıcaklıklar ile 8 gridin aritmetik ortalama sıcaklıkları kıyaslanmıştır. Şekil 3.9 söz konusu ilişkinin ortalama sıcaklıklar bakımından kaliteli düzeyde olduğunu kanıtlar niteliktedir.



Şekil 3.9: Havzada istasyonlar ve gridler arası sıcaklık ortalamaları arasındaki uyumun (a) zaman serisi, (b) saçılım diyagramı ile gösterimi (birimler °C'dir.).

Diğer yandan, havzada yüzey basıncı ve rüzgâr hızı verileri sağlıklı temin edilememiş, solar radyasyon (R_s) ise havza genelinde nadir istasyonda ölçülmüştür. Bu nedenle sadece rölatif nem ve solar radyasyon değişkenlerine ait karşılaştırma yapma imkânı bulunmuştur. Örnek bir kıyaslama veri eksikliği bulunmayan Akhisar meteoroloji istasyonu ile içinde bulunduğu Grid 7 verileri arasında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.10 ERA-Interim ile servis edilen RH ve R_s verileri ile yeterli bir ilişki elde edilebileceğini desteklemektedir (RH değerleri T ve T_{dew} kullanılarak türetilmiştir). ERA-Interim'in 10 m'deki rüzgâr hızları ise Reed yöntemi ile 50 m seviyesine ötelenmiş ve MGM tarafından hazırlanan rüzgâr atlasında belirtilen mertebelere yakın olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir kıyaslama yine MGM tarafından verilen basınç atlası üzerinden gerçekleştirilmiş ve Ege bölgesinin iç kesimlerinde uzun dönem ortalama 950 mb (95 kPa) civarında olan yüzey basıncı değerlerinin re-analiz sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür (Standard sapma < 0.3 kPa/ay). Gridler arası rüzgâr hızı ve solar radyasyon dağılımlarındaki değişkenlik Şekil 3.11'de örnek olarak verilmiştir.

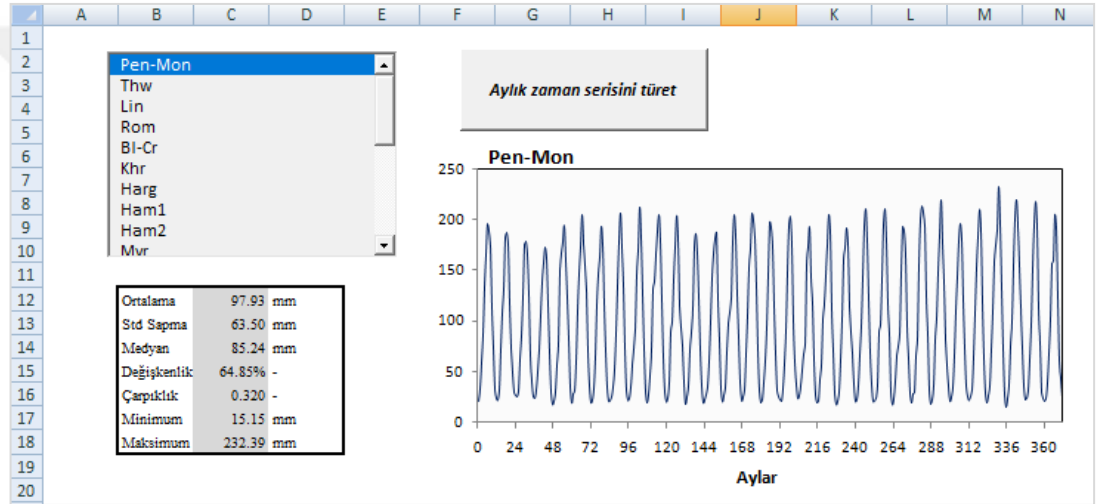


Şekil 3.10: Grid-7'ye ait ERA-Interim rölatif nem ve solar radyasyon verilerinin Akhisar meteoroloji istasyonu verileriyle kıyaslanması.

3.3 EPOT Tahminlerinin İrdelenmesi

3.3.1 Uzun Dönem Temel İstatistikler

Bölüm 3.2’de belirtildiği üzere derlenen meteorolojik veriler (istasyon + re-analiz verileri) ve Bölüm 2.1’de ifade edilen eşitlikler kullanılarak 1980-2010 referans iklim dönemini kapsayan aylık zaman ölçeğinde 21 adet EPOT tahmini her bir AGİ için üretilmiştir. Hesaplar için MS-Excel ortamında hazırlanan makrodan yararlanılmıştır (Şekil 3.12).

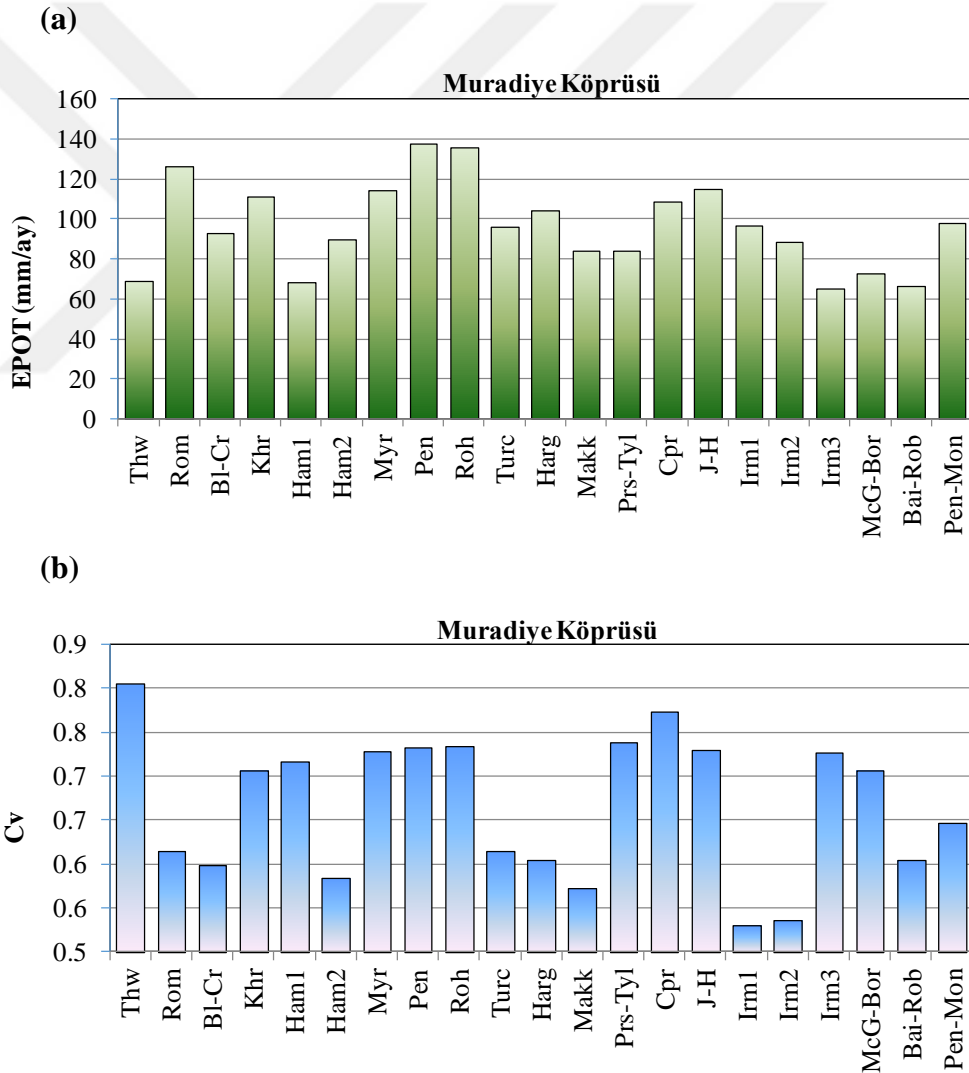


Şekil 3.12: EPOT tahmininde kullanılan makronun arayüzü.

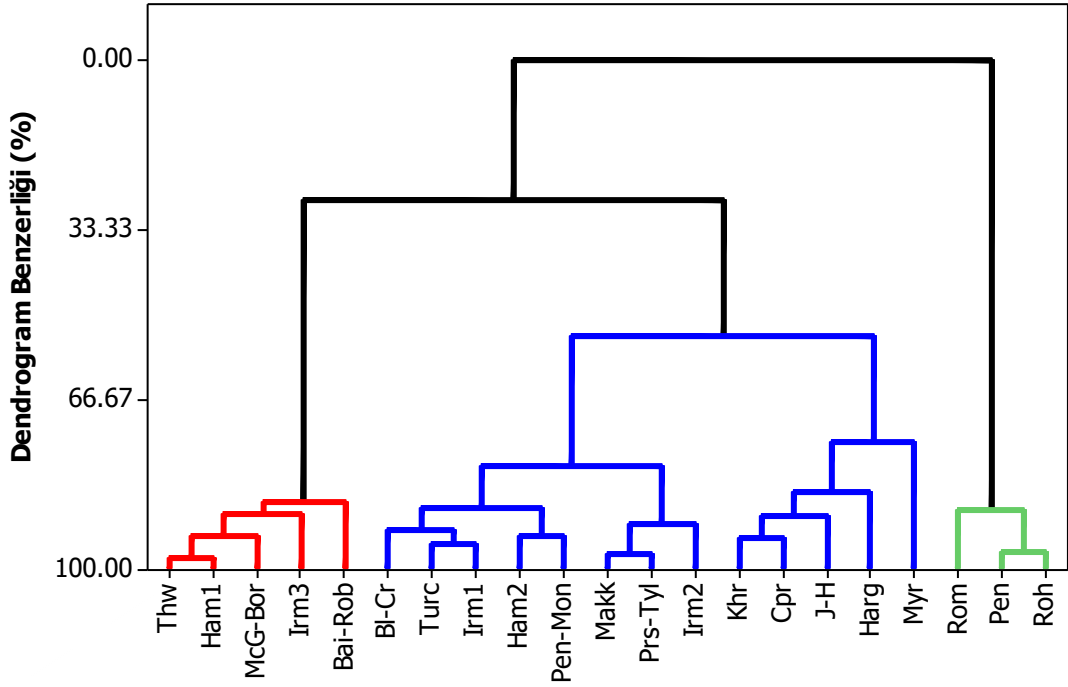
Şekil 3.13’te havzanın büyük bir bölümünü temsil eden Muradiye Köprüsü AGİ’si için hesaplanan ortalama EPOT istatistikleri ve uzun dönem değişkenlik katsayıları (C_v) örnek olarak sunulmuştur. Ancak söz konusu temel istatistiklerin havza genelinde bir çıkarımını yapabilmek adına bir kümeleme analizi olan dendrogram yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımla ortalama istatistiği özelinde temsil edilen kümeler arasındaki hiyerarşik ilişki ağaç şeması ile Şekil 3.14 üzerinde özetlenmiştir. Kümeler arası mesafe Öklid uzaklığı formülü ile hesaplanılmakta olup analizlerde Minitab (sürüm 16) paket programından yararlanılmıştır. Analizlerde en düşük aylık ortalama EPOT tahminleri Irm3, Bai-Rob, Ham1, Thw ve McG-Bor eşitliklerinden elde edilirken (Şekil 3.14’te en soldaki kümeleme), Pen, Roh ve Rom eşitlikleri en yüksek EPOT tahminlerinin üretildiği gruptadırlar (Şekil 3.14’te en sağdaki kümeleme). Özellikle açık su yüzeylerinde tatbik edilen kütle transferi

bazlı Pen ve Roh gibi eşitliklerin rüzgâr hızına hassas oldukları ve bu nedenle fazla tahmin ürettikleri düşünülmektedir. Xu ve Singh (2002) bu tarz hesaplarda ampirik eşitliklerin katsayılarının bölgesel kalibrasyon gerektirdiğini vurgulamışlardır.

Ortalama EPOT değerleri yöntemden yönteme 65 mm/ay ile 125 mm/ay arasında değişmekle birlikte referans karşılaştırma yöntemi olan Pen-Mon'un tahminleri yukarıda bahsi geçen iki gruba neredeyse eşit uzaklıkta olan grubun merkezindedir. Ait olduğu bu grupta beraberindeki 12 eşitlikle yaklaşık 9 mm/ay değerinde standart sapma saptanmış olup bu istatistik diğer gruplardakine nazaran daha fazladır.



Şekil 3.13: Muradiye Köprüsü AGİ için farklı EPOT eşitliklerinden elde edilen (a) aritmetik ortalama ve (b) değişkenlik katsayısı istatistikleri.



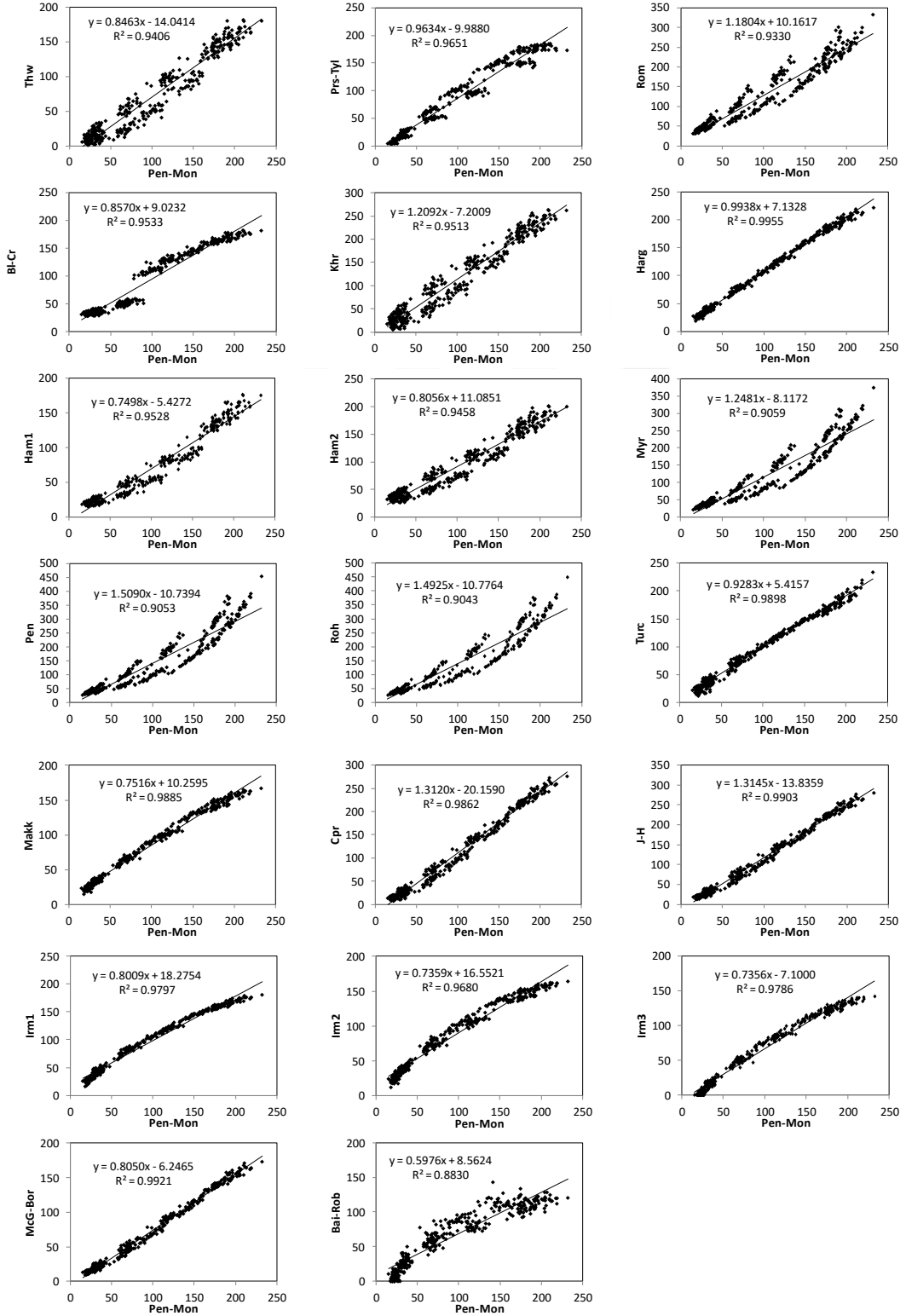
Şekil 3.14: Havza genelinde elde edilen ortalama EPOT tahminlerinin dendrogram analizi ile sınıflandırılması.

Değişkenlik katsayıları (C_v) ise ortalama istatistiği ile kısmen paralel bir davranış sergilemiştir. Örneğin Şekil 3.13b’de ortalama istatistiği bakımından aynı grupta olan ve düşük tahmin üreten İrm3, Ham1, Thw ve McG-Bor gibi eşitlikler C_v bakımından da aynı grup içinde yer almış fakat daha büyük oranlar üretmişlerdir ($0.7 < C_v < 0.8$). Ancak bu grubun içerisine aşırı tahmin üreten Pen ve Roh gibi eşitlikler de dâhil olduğundan yöntemler arası değişkenliklerin homojenlik sergilemediği ve eşitliklerin modelleme üzerindeki belirsizliklerinin iyi tahlil edilmesi gerektiği açıktır.

3.3.2 Referans Yöntem Pen-Mon ile Kıyaslama

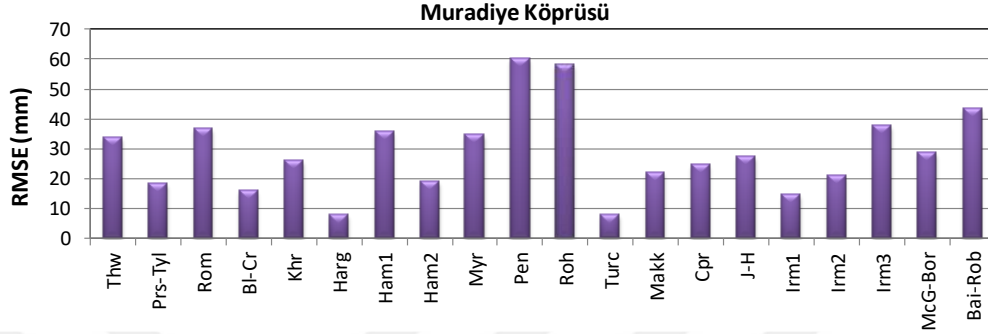
Bu bölümde Pen-Mon tahminleri ile diğer 20 eşitliğin ürettiği tahminler kıyaslanmıştır. Elbette tez çalışmasının temel amacı Pen-Mon’a yakın sonuç üreten eşitlik veya eşitlikleri irdelemek değildir. Bölüm 1’de yalnızca bu amacı konu edinen bazı literatür çalışmaları hali hazırda özetlenmiştir (örneğin Xu ve Singh, 2002; Xystrakis ve Matzarakis, 2011; Bogawski ve Bednorz, 2014; Pandey vd., 2016). Bu

bölümde havza genelinde gerçekleştirilen çapraz kıyaslama özellikle bitki su tüketimi hesabı gibi tarımsal uygulamalara önemli bir katkı sağlayacaktır. Örnek olarak Muradiye Köprüsü AGİ'nin drenaj alanını temsil eden tahminlerin saçılımları Şekil 3.15'te verilmiştir.

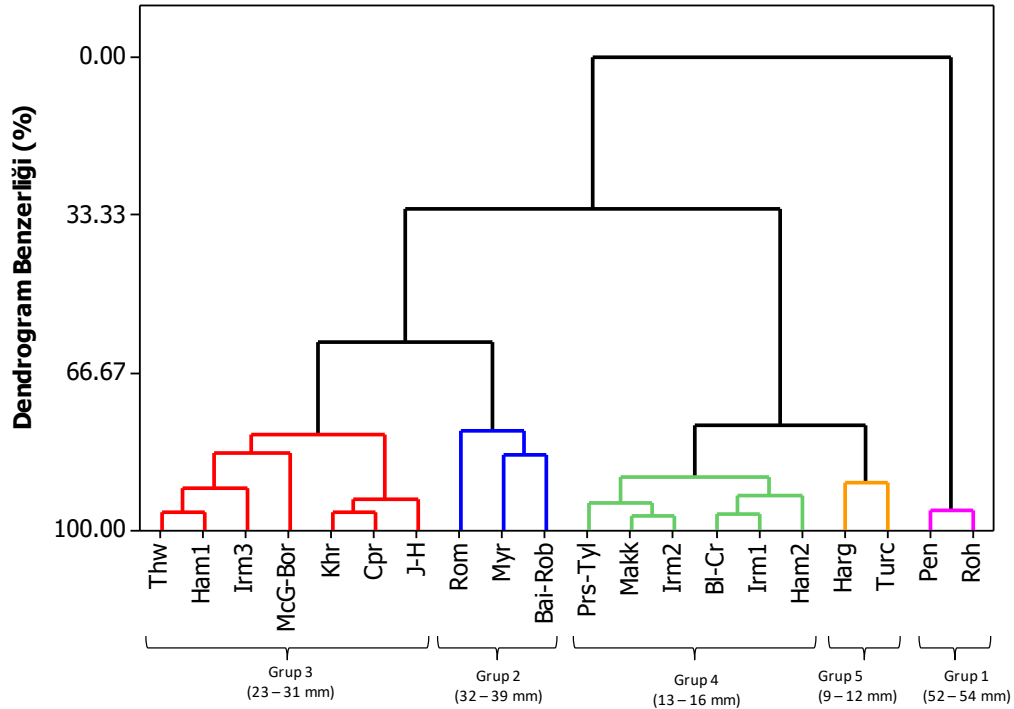


Şekil 3.15: Muradiye Köprüsü AGİ için tahminlerin Pen-Mon'a karşı saçılımları.

Pen-Mon ile diğer eşitliklerden elde edilen tahminler arasındaki RMSE (bkz. Denklem 2.16) istatistikleri ise Şekil 3.16’da sunulmuştur. Havza geneli için ise dendrogram analizi ile yöntemler arası tahminler gruplandırılmıştır. Daha detaylı yorum yapabilme adına beş adet küme tercih edilmiş ve sonuçlar Şekil 3.17’de özetlenmiştir.



Şekil 3.16: Muradiye Köprüsü örneğinde Pen-Mon ile diğer eşitliklerden elde edilen tahminler arasındaki RMSE performansları.



Şekil 3.17: Havza genelinde EPOT eşitliklerinin Pen-Mon'a karşı sağladığı RMSE istatistiğinin dendrogram analizi ile gruplandırılması.

Şekil 3.15'te verilen örnek üzerinden anlaşılacağı gibi bazı eşitliklerden türetilen tahminler Pen-Mon sonuçları ile kuvvetli doğrusal ilişkili çıkmıştır.

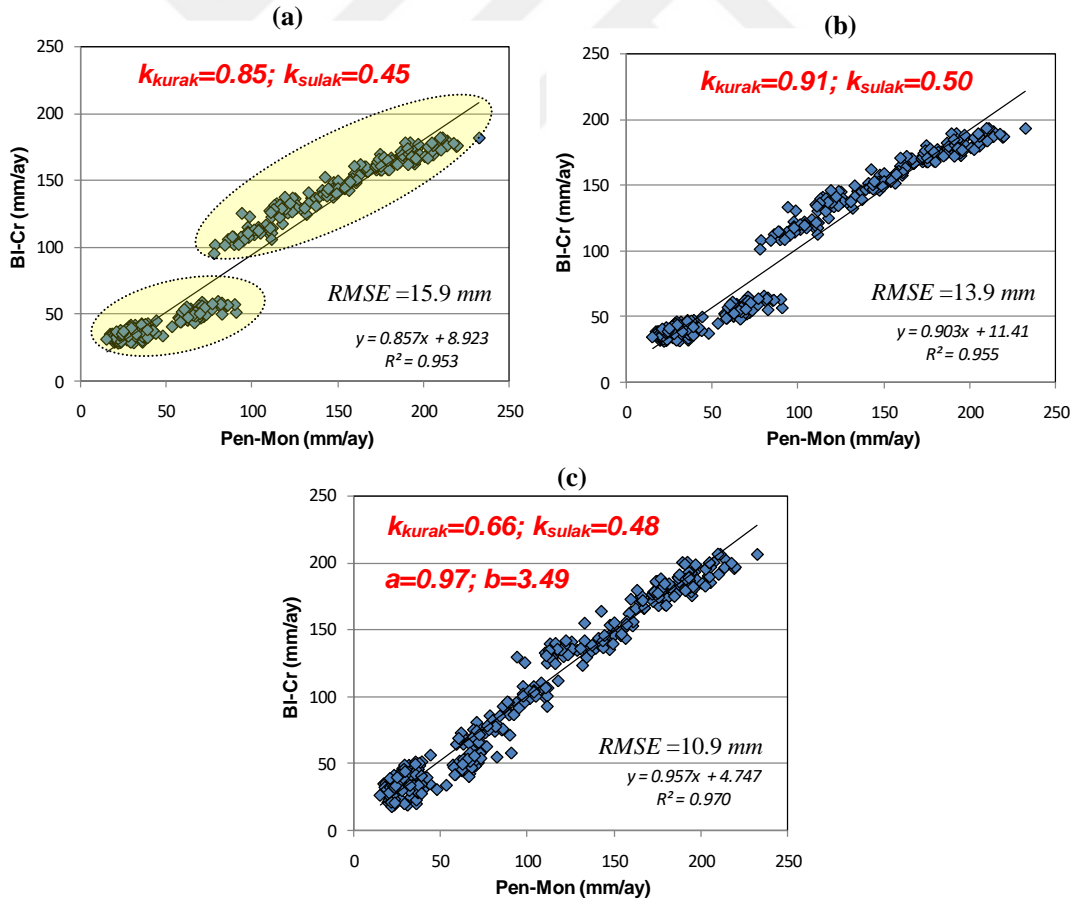
Bunlardan havza üzerindeki öncül olanları sırasıyla radyasyon tabanlı Turc ve Harg eşitlikleridir (bkz. Şekil 3.17). Aslında Prs-Tyl haricinde radyasyon girdisi isteyen eşitliklerin geneli Pen-Mon ile uyumludur (Prs-Tyl eşitliğinin sabit terim içermemesi bu sistematik sapmanın temel sebebi olabilir). Irmak yöntemi ve türdeşleri ise yaz dönemi tahminlerinde (örneğin Muradiye Köprüsü AGİ için 150 ile 200 mm'nin üstündeki değerlerde) Pen-Mon'a kıyasla az tahmin üretme eğiliminde olmuşlardır. Bu eşitliklerin uygulama alanına kıyasla daha nemli iklimler için tasarlanmış olması bu durumu doğurmuş olabilir (bkz. Irmak vd.,2003). Diğer yandan, farklı mevsimsel aralıklarda asimetrik saçılış ile birlikte büyük RMSE performansı ve aynı zamanda doğrusal olmayan ilişki sergileyen Rom, Myr, Pen, Roh ve Bai-Rob gibi eşitlikler de göze çarpmaktadır. Bu durum ekstraterrestrial radyasyon ve/veya sadece sıcaklıklara ihtiyaç duyan eşitlikler vasıtası ile türetilen çıktılarının Pen-Mon tahminlerini yeter doğrulukta yansıtamadığını göstermektedir. Öte yandan, hem veri ihtiyacı bakımından ekonomik, hem de Pen-Mon ile nispeten uyumlu olan Ham2 ve Bl-Cr eşitlikleri Pen-Mon'a alternatif olarak değerlendirilebilir (bkz. Şekil 3.17'de Grup 4).

Şekil 3.14'ten Şekil 3.17'ye kadar yapılan tüm çıkarımlar, Pen-Mon ile karşılaştırma aşamasında mevcut saçılımların sadece korelasyon ve determinasyon katsayılarının incelenmesinin veya uzun dönem ortalama istatistiğine bakılmasının yanıltıcı olduğunu göstermektedir. Bu bakımdan, RMSE gibi uzun dönem hata performansı sunan ölçütlerin kümeleme analizi ile entegre edilerek kullanılması daha tutarlı durmaktadır.

3.3.3 Pen-Mon'a Alternatif Bir EPOT Eşitliği

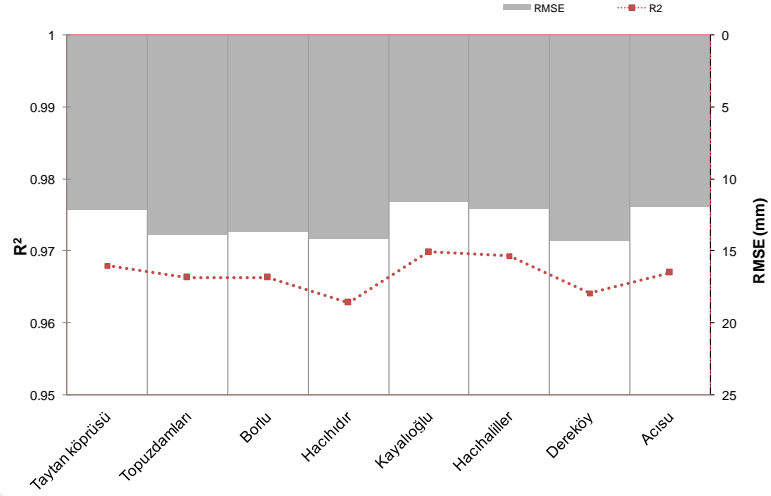
Bir önceki bölümde Ham2 ve Bl-Cr eşitliklerinin Pen-Mon'a alternatif olabilecekleri ifade edilmiştir. Bu iki potansiyel eşitlik içinde Bl-Cr daha düşük RMSE ve daha büyük R^2 performansı gösterdiği için Bl-Cr eşitliğine odaklanılmıştır. Tablo 2.2'de belirtildiği üzere Blaney ve Criddle (1950) ve Xu ve Singh (2002) referans alınarak orijinal eşitlikteki kurak (Nisan-Eylül) ve sulak dönem (Ekim-Mart) k katsayıları için sırası ile 0.85 ve 0.45 değerleri atanmıştır. Havzanın büyük bir drenaj alanını temsil eden Muradiye Köprüsü örneğindeki Pen-Mon tahminleri kıyas kabul edildiğinde, Bl-Cr'nin orijinal katsayıları ile tahminlerin 50-100 mm bandında

bir balans problemi yaşandığı Şekil 3.18a'da gayet açıktır. Benzer bir durum 200 mm üstü değerlerde de aşağı tahmin etme şeklinde tekrarlanmıştır. Bu kanaatsızlıklardan dolayı eşitlikteki mevcut katsayıların yeniden kalibre edilerek iyileştirme yapılabileceği düşünülmüştür. İlk aşamada sadece k katsayıları Denklem 2.16'da ifade edilen RMSE değerini minimum kılacak şekilde kalibre edilmiştir. Kalibrasyonda Bölüm 2.4'te açıklanan Levenberg-Marquardt (LM) optimizasyon algoritmasından yararlanılmıştır. Yeni katsayılar kurak dönem için 0.91, sulak dönem için 0.50 olarak belirlenmiş ve bu katsayı yenilenmesi RMSE istatistiğini %12.5 oranında azaltmıştır (Şekil 3.18b). Fakat bu oran yeterli görülmediğinden $kp(aT+b)$ şeklindeki ifadede a ve b katsayılarının da kalibre edilmesi gerekli görülmüştür (orijinal denklemde $a=0.46$ ve $b=8.13$ 'tür). Bu deneme neticesinde elde edilen yeni ifade Denklem 3.1'de verilmiştir. Pen-Mon'a alternatif olarak önerilen bu yeni eşitlik orijinal denkleme kıyasla %32 oranında RMSE'de azalma sağlamıştır. Eşitliğin yeterliliği diğer alt havzalarda da doğrulanmıştır (Şekil 3.19).



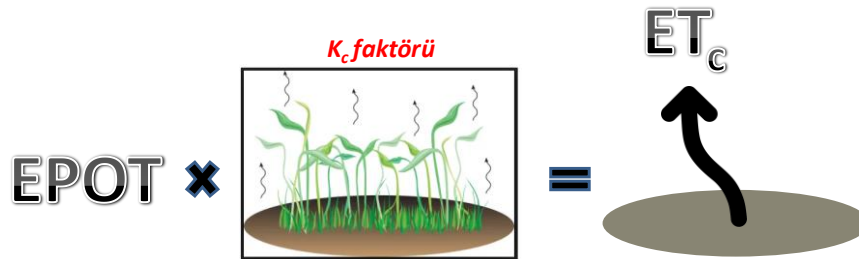
Şekil 3.18: Muradiye Köprüsü AGİ tarafından temsil edilen yağış alanında Pen-Mon tahminlerine karşı farklı BI-Cr eşitliklerinin irdelenmesi.

$$EPOT_{\text{mod}BI-Cr} = kp(0.97T + 3.49) \quad (k_{\text{kurak}} = 0.66; k_{\text{sulak}} = 0.48) \quad (3.1)$$



Şekil 3.19: Pen-Mon'a alternatif önerilen Denklem 3.1'in alt havzalarda gösterdiği istatistiksel performans.

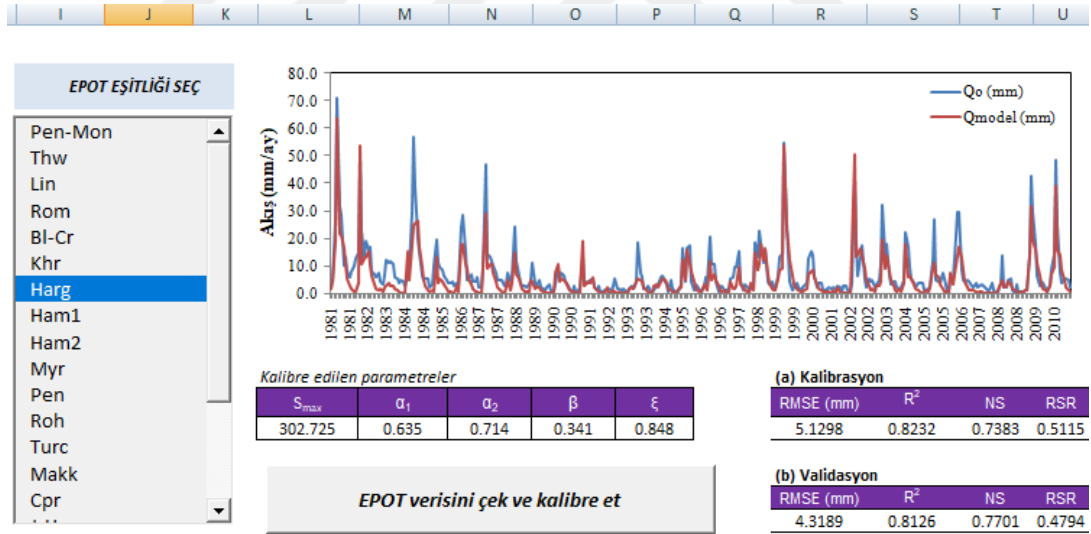
Bilindiği üzere, ülkemizde basınçlı sulama sistemlerinin yaygınlaşması ile su kaynaklarının planlanması ve işletilmesi aşamalarında bitki su ihtiyacının tespiti için Pen-Mon eşitliğine bir eğilim söz konusudur (Koç ve Güner, 2005). Ancak Pen-Mon'un ihtiyaç duyduğu veri temininin kolay olmaması nedeniyle BI-Cr eşitliğine başvurulduğu da görülmektedir (Okkan ve Kirdemir, 2018; Özkul, 2009). Sıcaklık tabanlı BI-Cr eşitliği ise bu bölümde kanıtlandığı üzere Pen-Mon tahminlerini yansıtma da ne yazık ki yetersizdir. Bu kapsamda Gediz Havzası özelinde önerilen ve sadece aylık ortalama sıcaklıkla çalışan modifiye edilmiş BI-Cr eşitliğinin ($EPOT_{\text{mod}BI-Cr}$) detaylı veri olmaması durumunda Pen-Mon yerine kullanılması pratik olacaktır. Türetilen değerler bitki büyüme safhası katsayıları (K_c) ile çarpılarak bitki su tüketimi (ET_c) değerlerine geçiş söz konusu olabilir (Şekil 3.20). İhtiyaç duyulması durumunda K_c katsayıları Acatay (1996)'dan temin edilebilir.



Şekil 3.20: EPOT üzerinden bitki su tüketimine geçiş.

3.4 Farklı EPOT Girdilerine Karşı Hidrolojik Modelin Duyarlılığı

Bu bölümde, Gediz Havzası üzerindeki 9 AGİ için 21 adet eşitlik yardımıyla türetilen EPOT tahminlerinin akımlar üzerindeki etkilerinin ortaya konabilmesi için, işleyişi Bölüm 2.2’de anlatılan DYN-WBM parametrik yağış-akış modeli kullanılmıştır. Uygulamada, her bir AGİ için derlenen 1981-2010 su yılını içeren toplam verinin, 1981-1995 dönemini kapsayan kısmı kalibrasyon (ayarlar) seti, 1996-2010 dönemini kapsayan kısmı ise validasyon (test veya doğrulama) seti olacak şekilde ikiye bölünmüştür. Modellemelerde, hacim biriminde DSI’den temin edilen akımlar AGİ’lerin drenaj alanına oranlanarak mm biriminde akış yüksekliklerine dönüştürülmüştür. Kalibrasyon aşamasında modele ait parametrelerin optimizasyonu, model tahminleri ile gözlenen akımlar arasındaki farklardan elde edilen RMSE’yi minimize edecek şekilde LM algoritması esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada MS-EXCEL ortamı üzerinde tez kapsamında hazırlanan bir makrodan yararlanılmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21: Farklı EPOT girdilerini kullanan hidrolojik modelin kalibrasyonunun gerçekleştirildiği makronun arayüzünden bir görünüm.

Tüm AGİ ve EPOT eşitliği varyasyonlarında kalibrasyon dönemi üzerinden belirlenen model parametreleri validasyon döneminde değerlendirilerek Bölüm 2.3’te formülleri verilen RMSE, RSR, NS ve R² gibi istatistiksel performans ölçütleri hesaplanmıştır (Tablo 3.4-Tablo 3.12).

Tablo 3.4: Muradiye Köprüsü AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları.

EPOT eşitlikleri	Kalibre edilen parametreler					Validasyon performansı				$E_{ort} / EPOT_{ort}$
	S_{max}	α_1	α_2	d	ξ	RMSE (mm)	R^2	NS	RSR	
Thw	287.455	0.650	0.683	0.637	0.563	4.048	0.886	0.798	0.449	0.43
Rom	217.978	0.653	0.617	0.345	0.909	4.319	0.790	0.770	0.479	0.27
Bl-Cr	229.733	0.661	0.691	0.378	0.915	4.219	0.821	0.781	0.468	0.37
Khr	227.152	0.667	0.723	0.346	0.908	4.237	0.823	0.779	0.470	0.31
Ham1	275.042	0.648	0.689	0.633	0.651	3.840	0.879	0.818	0.426	0.46
Ham2	221.211	0.662	0.669	0.424	0.869	4.141	0.822	0.789	0.460	0.38
Myr	232.601	0.658	0.642	0.370	0.837	4.156	0.821	0.787	0.461	0.29
Pen	214.421	0.663	0.634	0.339	0.895	4.312	0.800	0.771	0.479	0.25
Roh	215.012	0.664	0.635	0.339	0.892	4.306	0.801	0.771	0.478	0.25
Turc	252.423	0.646	0.682	0.386	0.888	4.120	0.826	0.791	0.457	0.36
Harg	258.199	0.638	0.650	0.360	0.899	4.149	0.812	0.788	0.461	0.33
Makk	272.157	0.636	0.660	0.385	0.851	4.035	0.832	0.799	0.448	0.40
Prs-Tyl	304.346	0.636	0.732	0.340	0.885	4.067	0.849	0.796	0.451	0.40
Cpr	271.837	0.647	0.708	0.344	0.847	4.089	0.842	0.794	0.454	0.31
J-H	264.160	0.644	0.688	0.364	0.873	4.085	0.832	0.794	0.454	0.30
Irm1	253.237	0.639	0.649	0.358	0.911	4.216	0.805	0.781	0.468	0.36
Irm2	272.731	0.631	0.646	0.353	0.884	4.135	0.815	0.789	0.459	0.38
Irm3	333.569	0.623	0.708	0.625	0.660	3.750	0.900	0.827	0.416	0.49
McG-Bor	295.553	0.637	0.690	0.602	0.673	3.779	0.884	0.824	0.420	0.44
Bai-Rob	302.707	0.636	0.715	0.336	0.848	4.060	0.825	0.797	0.451	0.51
Pen-Mon	260.057	0.647	0.675	0.361	0.876	4.097	0.831	0.793	0.455	0.35

Tablo 3.5: Taytan Köprüsü AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları.

EPOT eşitlikleri	Kalibre edilen parametreler					Validasyon performansı				E _{ort} / EPOT _{ort}
	S _{max}	α_1	α_2	d	ξ	RMSE (mm)	R ²	NS	RSR	
Thw	435.587	0.493	0.586	0.954	0.531	3.404	0.804	0.797	0.451	0.35
Rom	587.075	0.448	0.480	0.682	0.884	3.510	0.795	0.784	0.465	0.19
Bl-Cr	512.330	0.467	0.535	0.857	0.769	3.332	0.810	0.805	0.441	0.30
Khr	494.447	0.468	0.536	0.871	0.759	3.450	0.794	0.791	0.457	0.24
Ham1	435.163	0.491	0.577	0.944	0.628	3.298	0.814	0.809	0.437	0.37
Ham2	501.787	0.466	0.534	0.882	0.794	3.413	0.801	0.796	0.452	0.30
Myr	554.951	0.456	0.509	0.836	0.796	3.363	0.807	0.802	0.445	0.22
Pen	558.503	0.454	0.495	0.745	0.842	3.417	0.802	0.795	0.453	0.18
Roh	557.090	0.455	0.496	0.754	0.837	3.409	0.803	0.796	0.451	0.18
Turc	530.112	0.464	0.532	0.849	0.762	3.312	0.811	0.808	0.439	0.27
Harg	564.422	0.457	0.519	0.818	0.766	3.295	0.814	0.810	0.436	0.27
Makk	552.538	0.461	0.533	0.874	0.728	3.241	0.820	0.816	0.429	0.33
Prs-Tyl	532.978	0.470	0.577	0.897	0.686	3.181	0.826	0.823	0.421	0.34
Cpr	494.581	0.474	0.555	0.885	0.690	3.258	0.816	0.814	0.431	0.24
J-H	516.914	0.468	0.539	0.846	0.728	3.271	0.815	0.812	0.433	0.23
Irm1	579.160	0.454	0.513	0.816	0.779	3.331	0.811	0.805	0.441	0.29
Irm2	583.142	0.455	0.520	0.832	0.744	3.270	0.817	0.812	0.433	0.32
Irm3	534.659	0.470	0.587	0.980	0.610	3.183	0.827	0.822	0.421	0.41
McG-Bor	485.908	0.479	0.570	0.947	0.632	3.219	0.822	0.818	0.426	0.36
Bai-Rob	451.316	0.491	0.580	0.878	0.649	3.106	0.832	0.831	0.411	0.41
Pen-Mon	549.162	0.462	0.532	0.855	0.759	3.233	0.821	0.817	0.428	0.29

Tablo 3.6: Topuzdamları AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları.

EPOT eşitlikleri	Kalibre edilen parametreler					Validasyon performansı				$E_{ort} / EPOT_{ort}$
	S_{max}	α_1	α_2	d	ξ	RMSE (mm)	R^2	NS	RSR	
Thw	159.768	0.718	0.623	0.478	0.606	8.805	0.823	0.750	0.500	0.37
Rom	126.661	0.688	0.655	0.532	0.863	7.724	0.828	0.808	0.439	0.29
Bl-Cr	119.487	0.730	0.730	0.577	0.950	8.279	0.826	0.779	0.470	0.36
Khr	141.594	0.698	0.684	0.486	0.761	8.407	0.826	0.772	0.477	0.29
Ham1	149.126	0.721	0.670	0.539	0.688	8.326	0.833	0.776	0.473	0.43
Ham2	112.315	0.732	0.747	0.627	0.937	8.187	0.835	0.784	0.465	0.39
Myr	143.239	0.697	0.643	0.522	0.738	7.681	0.840	0.810	0.436	0.32
Pen	133.703	0.694	0.647	0.517	0.798	7.644	0.837	0.812	0.434	0.28
Roh	134.521	0.694	0.646	0.517	0.791	7.645	0.837	0.811	0.434	0.28
Turc	142.160	0.698	0.710	0.510	0.861	8.305	0.825	0.778	0.472	0.35
Harg	133.072	0.704	0.702	0.533	0.938	8.158	0.815	0.785	0.463	0.33
Makk	144.397	0.698	0.690	0.514	0.876	8.091	0.822	0.789	0.460	0.39
Prs-Tyl	174.453	0.684	0.690	0.466	0.814	8.167	0.822	0.785	0.464	0.37
Cpr	159.162	0.702	0.657	0.452	0.733	8.164	0.830	0.785	0.464	0.28
J-H	149.803	0.700	0.684	0.481	0.814	8.063	0.831	0.790	0.458	0.29
Irm1	135.644	0.693	0.700	0.527	0.941	8.264	0.810	0.780	0.469	0.36
Irm2	144.853	0.690	0.680	0.499	0.907	8.276	0.807	0.779	0.470	0.37
Irm3	189.106	0.683	0.628	0.418	0.686	8.226	0.821	0.782	0.467	0.40
McG-Bor	163.808	0.706	0.653	0.485	0.691	8.169	0.832	0.785	0.464	0.40
Bai-Rob	181.161	0.679	0.658	0.452	0.744	8.208	0.815	0.783	0.466	0.45
Pen-Mon	153.269	0.689	0.671	0.493	0.824	7.847	0.831	0.801	0.446	0.36

Tablo 3.7: Borlu AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları.

EPOT eşitlikleri	Kalibre edilen parametreler					Validasyon performansı				$E_{ort} / EPOT_{ort}$
	S_{max}	α_1	α_2	d	ξ	RMSE (mm)	R^2	NS	RSR	
Thw	266.227	0.637	0.751	0.905	0.485	5.121	0.909	0.903	0.312	0.48
Rom	196.405	0.647	0.721	0.725	0.856	6.457	0.848	0.845	0.393	0.32
Bl-Cr	205.662	0.662	0.792	0.828	0.908	5.879	0.877	0.872	0.358	0.41
Khr	230.470	0.639	0.773	0.887	0.702	5.153	0.904	0.901	0.314	0.35
Ham1	247.193	0.648	0.776	0.925	0.588	5.169	0.906	0.901	0.315	0.53
Ham2	197.179	0.662	0.784	0.904	0.841	5.558	0.889	0.885	0.339	0.44
Myr	223.640	0.646	0.743	0.826	0.700	5.725	0.881	0.878	0.349	0.38
Pen	207.452	0.649	0.736	0.769	0.780	6.070	0.867	0.863	0.370	0.32
Roh	208.816	0.649	0.737	0.772	0.772	6.034	0.868	0.865	0.368	0.32
Turc	232.037	0.642	0.783	0.828	0.824	5.600	0.888	0.884	0.341	0.41
Harg	225.264	0.643	0.769	0.765	0.899	6.127	0.865	0.861	0.373	0.38
Makk	239.306	0.640	0.779	0.804	0.843	5.891	0.876	0.871	0.359	0.46
Prs-Tyl	273.404	0.632	0.797	0.785	0.803	5.565	0.891	0.885	0.339	0.45
Cpr	259.468	0.635	0.777	0.835	0.676	5.260	0.902	0.897	0.321	0.35
J-H	245.100	0.639	0.781	0.804	0.780	5.528	0.891	0.887	0.337	0.34
Irm1	226.839	0.636	0.761	0.756	0.903	6.108	0.865	0.861	0.372	0.40
Irm2	240.206	0.633	0.766	0.742	0.887	6.180	0.862	0.858	0.377	0.43
Irm3	301.524	0.620	0.782	0.802	0.623	5.253	0.904	0.898	0.320	0.54
McG-Bor	266.192	0.638	0.774	0.885	0.606	5.219	0.905	0.899	0.318	0.50
Bai-Rob	284.457	0.623	0.776	0.788	0.723	5.428	0.893	0.891	0.331	0.56
Pen-Mon	241.091	0.640	0.776	0.798	0.817	5.834	0.878	0.874	0.356	0.42

Tablo 3.8: Hacihıdır AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları.

EPOT eşitlikleri	Kalibre edilen parametreler					Validasyon performansı				E _{ort} / EPOT _{ort}
	S _{max}	α_1	α_2	d	ξ	RMSE (mm)	R ²	NS	RSR	
Thw	309.150	0.629	0.719	0.888	0.547	7.905	0.870	0.854	0.382	0.51
Rom	266.633	0.618	0.687	0.840	0.765	8.464	0.862	0.832	0.409	0.37
Bl-Cr	262.260	0.631	0.721	0.822	0.825	8.409	0.867	0.834	0.407	0.42
Khr	282.883	0.626	0.734	0.911	0.686	8.204	0.869	0.842	0.397	0.37
Ham1	294.432	0.635	0.737	0.915	0.622	7.960	0.872	0.852	0.385	0.56
Ham2	253.602	0.633	0.728	0.913	0.793	8.466	0.868	0.832	0.410	0.46
Myr	283.258	0.628	0.712	0.892	0.659	8.002	0.870	0.850	0.387	0.43
Pen	272.087	0.626	0.707	0.881	0.715	8.127	0.868	0.845	0.393	0.37
Roh	272.935	0.627	0.708	0.883	0.709	8.107	0.869	0.846	0.392	0.37
Turc	286.964	0.622	0.730	0.870	0.764	8.214	0.873	0.842	0.397	0.42
Harg	283.287	0.616	0.695	0.751	0.811	8.698	0.866	0.823	0.421	0.38
Makk	294.505	0.617	0.711	0.811	0.775	8.387	0.871	0.835	0.406	0.46
Prs-Tyl	324.621	0.616	0.736	0.823	0.744	7.979	0.879	0.851	0.386	0.45
Cpr	309.320	0.623	0.734	0.886	0.666	7.975	0.875	0.851	0.386	0.37
J-H	298.083	0.621	0.728	0.857	0.735	8.160	0.874	0.844	0.395	0.35
Irm1	285.831	0.613	0.691	0.736	0.815	8.717	0.865	0.822	0.422	0.40
Irm2	297.098	0.611	0.689	0.712	0.799	8.692	0.865	0.823	0.421	0.43
Irm3	342.635	0.613	0.744	0.875	0.651	7.837	0.874	0.856	0.379	0.54
McG-Bor	314.056	0.626	0.734	0.898	0.627	7.860	0.876	0.855	0.380	0.52
Bai-Rob	339.739	0.622	0.712	0.760	0.632	7.704	0.881	0.861	0.373	0.55
Pen-Mon	298.009	0.621	0.725	0.853	0.752	8.015	0.875	0.850	0.388	0.44

Tablo 3.9: Kayaloğlu AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları.

EPOT eşitlikleri	Kalibre edilen parametreler					Validasyon performansı				E _{ort} / EPOT _{ort}
	S _{max}	α_1	α_2	d	ξ	RMSE (mm)	R ²	NS	RSR	
Thw	419.619	0.650	0.670	0.762	0.515	6.089	0.816	0.767	0.483	0.43
Rom	428.580	0.602	0.574	0.542	0.734	7.226	0.765	0.672	0.573	0.27
Bl-Cr	426.938	0.615	0.628	0.672	0.695	6.794	0.777	0.710	0.538	0.37
Khr	387.991	0.636	0.638	0.660	0.677	6.888	0.788	0.702	0.546	0.30
Ham1	420.764	0.638	0.659	0.760	0.570	6.433	0.799	0.740	0.510	0.46
Ham2	407.440	0.619	0.620	0.680	0.685	6.957	0.773	0.696	0.551	0.37
Myr	419.985	0.616	0.611	0.648	0.675	6.959	0.779	0.696	0.551	0.28
Pen	414.404	0.611	0.591	0.577	0.717	7.102	0.772	0.683	0.563	0.24
Roh	414.111	0.612	0.593	0.582	0.714	7.089	0.773	0.685	0.562	0.24
Turc	440.914	0.613	0.626	0.663	0.676	6.730	0.788	0.716	0.533	0.36
Harg	463.219	0.602	0.608	0.616	0.688	6.769	0.785	0.712	0.536	0.34
Makk	462.754	0.609	0.630	0.683	0.653	6.566	0.794	0.729	0.520	0.42
Prs-Tyl	474.865	0.621	0.669	0.701	0.630	6.219	0.817	0.757	0.493	0.41
Cpr	443.497	0.624	0.648	0.705	0.621	6.483	0.806	0.736	0.514	0.31
J-H	447.871	0.616	0.632	0.662	0.655	6.630	0.797	0.724	0.525	0.30
Irm1	444.498	0.608	0.609	0.593	0.704	6.841	0.780	0.706	0.542	0.37
Irm2	467.395	0.605	0.616	0.620	0.678	6.660	0.789	0.722	0.528	0.40
Irm3	468.208	0.635	0.691	0.771	0.569	5.874	0.832	0.783	0.465	0.52
McG-Bor	445.571	0.631	0.660	0.754	0.575	6.278	0.811	0.753	0.497	0.45
Bai-Rob	479.254	0.615	0.628	0.637	0.593	6.823	0.787	0.708	0.541	0.47
Pen-Mon	452.578	0.611	0.626	0.652	0.673	6.682	0.792	0.720	0.529	0.35

Tablo 3.10: Hacıhaliller AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları.

EPOT eşitlikleri	Kalibre edilen parametreler					Validasyon performansı				$E_{ort} / EPOT_{ort}$
	S_{max}	α_1	α_2	d	ξ	RMSE (mm)	R^2	NS	RSR	
Thw	649.698	0.614	0.615	0.620	0.478	6.368	0.820	0.798	0.450	0.50
Rom	585.681	0.609	0.515	0.335	0.687	7.061	0.764	0.751	0.499	0.29
Bl-Cr	613.118	0.612	0.587	0.470	0.622	6.749	0.793	0.773	0.476	0.44
Khr	596.434	0.613	0.592	0.490	0.625	6.856	0.790	0.766	0.484	0.35
Ham1	644.497	0.611	0.603	0.585	0.517	6.406	0.814	0.795	0.452	0.52
Ham2	598.021	0.612	0.580	0.486	0.617	6.803	0.789	0.769	0.480	0.43
Myr	610.964	0.609	0.552	0.425	0.615	6.829	0.786	0.768	0.482	0.32
Pen	589.374	0.611	0.534	0.370	0.658	6.972	0.774	0.758	0.492	0.27
Roh	590.770	0.611	0.536	0.375	0.654	6.960	0.775	0.759	0.491	0.27
Turc	640.284	0.605	0.575	0.445	0.629	6.767	0.791	0.772	0.478	0.40
Harg	646.559	0.604	0.559	0.398	0.646	6.805	0.786	0.769	0.480	0.38
Makk	665.783	0.602	0.576	0.461	0.604	6.640	0.798	0.780	0.469	0.47
Prs-Tyl	706.722	0.601	0.612	0.506	0.579	6.403	0.816	0.796	0.452	0.46
Cpr	658.973	0.605	0.590	0.488	0.586	6.612	0.804	0.782	0.467	0.34
J-H	651.329	0.605	0.578	0.443	0.618	6.720	0.796	0.775	0.474	0.33
Irm1	637.465	0.604	0.558	0.398	0.656	6.863	0.782	0.765	0.485	0.41
Irm2	663.610	0.601	0.561	0.407	0.634	6.742	0.790	0.773	0.476	0.45
Irm3	718.161	0.597	0.605	0.570	0.529	6.246	0.823	0.806	0.441	0.55
McG-Bor	674.463	0.605	0.602	0.566	0.533	6.406	0.815	0.795	0.452	0.50
Bai-Rob	711.939	0.599	0.615	0.571	0.535	6.531	0.807	0.787	0.461	0.66
Pen-Mon	652.853	0.605	0.577	0.440	0.616	6.673	0.797	0.778	0.471	0.40

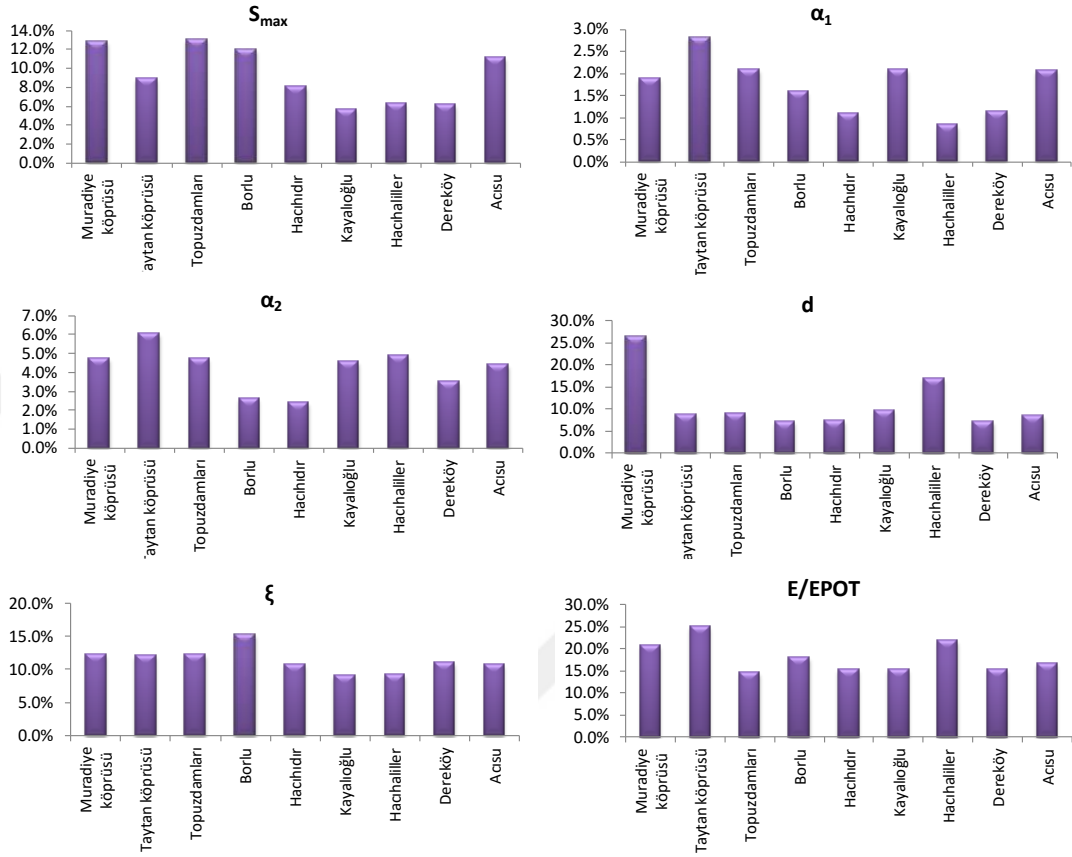
Tablo 3.11: Dereköy AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları.

EPOT eşitlikleri	Kalibre edilen parametreler					Validasyon performansı				$E_{ort} / EPOT_{ort}$
	S_{max}	α_1	α_2	d	ξ	RMSE (mm)	R^2	NS	RSR	
Thw	350.684	0.609	0.663	0.705	0.423	5.523	0.798	0.737	0.512	0.53
Rom	326.547	0.601	0.606	0.624	0.552	5.453	0.771	0.744	0.506	0.38
Bl-Cr	298.047	0.622	0.654	0.614	0.637	5.604	0.769	0.730	0.520	0.44
Khr	341.500	0.595	0.654	0.707	0.501	5.392	0.784	0.750	0.500	0.38
Ham1	330.269	0.621	0.669	0.695	0.480	5.407	0.796	0.748	0.502	0.58
Ham2	294.605	0.618	0.640	0.655	0.591	5.628	0.762	0.727	0.522	0.47
Myr	337.790	0.609	0.628	0.667	0.485	5.299	0.792	0.758	0.492	0.44
Pen	330.232	0.606	0.617	0.644	0.519	5.369	0.783	0.752	0.498	0.38
Roh	330.780	0.606	0.618	0.646	0.515	5.361	0.784	0.752	0.498	0.38
Turc	336.294	0.601	0.656	0.663	0.567	5.416	0.782	0.747	0.503	0.43
Harg	317.658	0.611	0.627	0.565	0.632	5.668	0.757	0.723	0.526	0.40
Makk	329.577	0.610	0.643	0.609	0.601	5.554	0.772	0.734	0.515	0.47
Prs-Tyl	363.094	0.604	0.682	0.643	0.583	5.226	0.804	0.765	0.485	0.48
Cpr	352.075	0.605	0.662	0.662	0.504	5.318	0.798	0.756	0.493	0.38
J-H	340.690	0.605	0.654	0.641	0.555	5.410	0.786	0.748	0.502	0.37
Irm1	331.574	0.598	0.624	0.587	0.625	5.636	0.758	0.727	0.523	0.42
Irm2	334.611	0.604	0.626	0.561	0.627	5.659	0.759	0.724	0.525	0.45
Irm3	386.168	0.602	0.689	0.692	0.488	5.305	0.818	0.758	0.492	0.59
McG-Bor	351.258	0.613	0.668	0.681	0.482	5.311	0.804	0.757	0.493	0.54
Bai-Rob	361.570	0.610	0.651	0.560	0.554	5.024	0.790	0.783	0.466	0.53
Pen-Mon	345.660	0.605	0.654	0.641	0.566	5.270	0.796	0.761	0.489	0.46

Tablo 3.12: Acısu AGİ için kalibre edilen DYN-WBM parametreleri ve validasyon performansları.

EPOT eşitlikleri	Kalibre edilen parametreler					Validasyon performansı				$E_{ort} / EPOT_{ort}$
	S_{max}	α_1	α_2	d	ξ	RMSE (mm)	R^2	NS	RSR	
Thw	235.152	0.646	0.659	0.518	0.583	4.489	0.869	0.730	0.519	0.44
Rom	190.074	0.644	0.615	0.455	0.829	4.331	0.803	0.749	0.501	0.29
Bl-Cr	180.645	0.663	0.682	0.483	0.897	4.574	0.814	0.720	0.529	0.38
Khr	208.673	0.648	0.693	0.448	0.754	4.380	0.843	0.743	0.507	0.33
Ham1	218.596	0.652	0.670	0.552	0.662	4.191	0.872	0.765	0.485	0.49
Ham2	173.329	0.666	0.678	0.532	0.854	4.436	0.829	0.737	0.513	0.41
Myr	208.445	0.647	0.628	0.474	0.723	4.083	0.843	0.777	0.472	0.34
Pen	194.890	0.651	0.624	0.446	0.780	4.240	0.823	0.759	0.490	0.29
Roh	195.865	0.651	0.624	0.447	0.775	4.227	0.825	0.761	0.489	0.29
Turc	208.475	0.642	0.697	0.467	0.851	4.333	0.832	0.749	0.501	0.37
Harg	204.497	0.636	0.642	0.450	0.885	4.362	0.803	0.745	0.505	0.34
Makk	215.466	0.633	0.650	0.454	0.850	4.301	0.817	0.753	0.497	0.40
Prs-Tyl	247.354	0.626	0.704	0.433	0.841	4.255	0.841	0.758	0.492	0.42
Cpr	231.149	0.638	0.684	0.422	0.750	4.197	0.852	0.764	0.485	0.32
J-H	218.431	0.639	0.680	0.440	0.817	4.246	0.836	0.759	0.491	0.31
Irm1	208.854	0.630	0.646	0.453	0.891	4.387	0.800	0.743	0.507	0.37
Irm2	221.191	0.624	0.633	0.434	0.872	4.367	0.799	0.745	0.505	0.38
Irm3	275.527	0.621	0.690	0.429	0.692	4.247	0.867	0.759	0.491	0.50
McG-Bor	237.684	0.638	0.670	0.485	0.687	4.092	0.868	0.776	0.473	0.45
Bai-Rob	248.247	0.613	0.609	0.388	0.790	3.754	0.816	0.811	0.434	0.42
Pen-Mon	221.846	0.636	0.661	0.437	0.820	4.202	0.832	0.764	0.486	0.38

Tablo 3.4 - Tablo 3.12’de verilen model parametrelerinin EPOT tahminlerine hassasiyetini gösterebilmek için parametrelere ait değişkenlik katsayıları Şekil 3.22’de sunulmuştur.

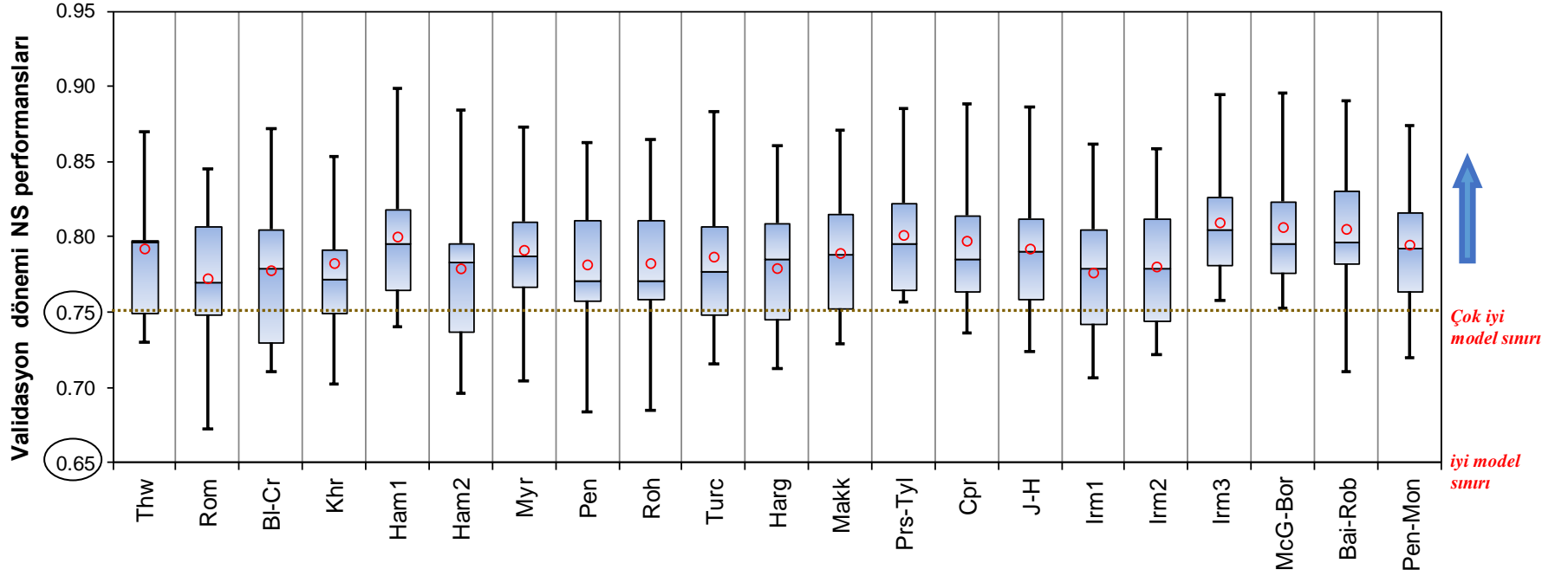


Şekil 3.22: Farklı EPOT girdileri ile kalibrasyonu yapılan parametrelerin ve elde edilen E/EPOT oranlarının AGİ’lerdeki değişkenlikleri.

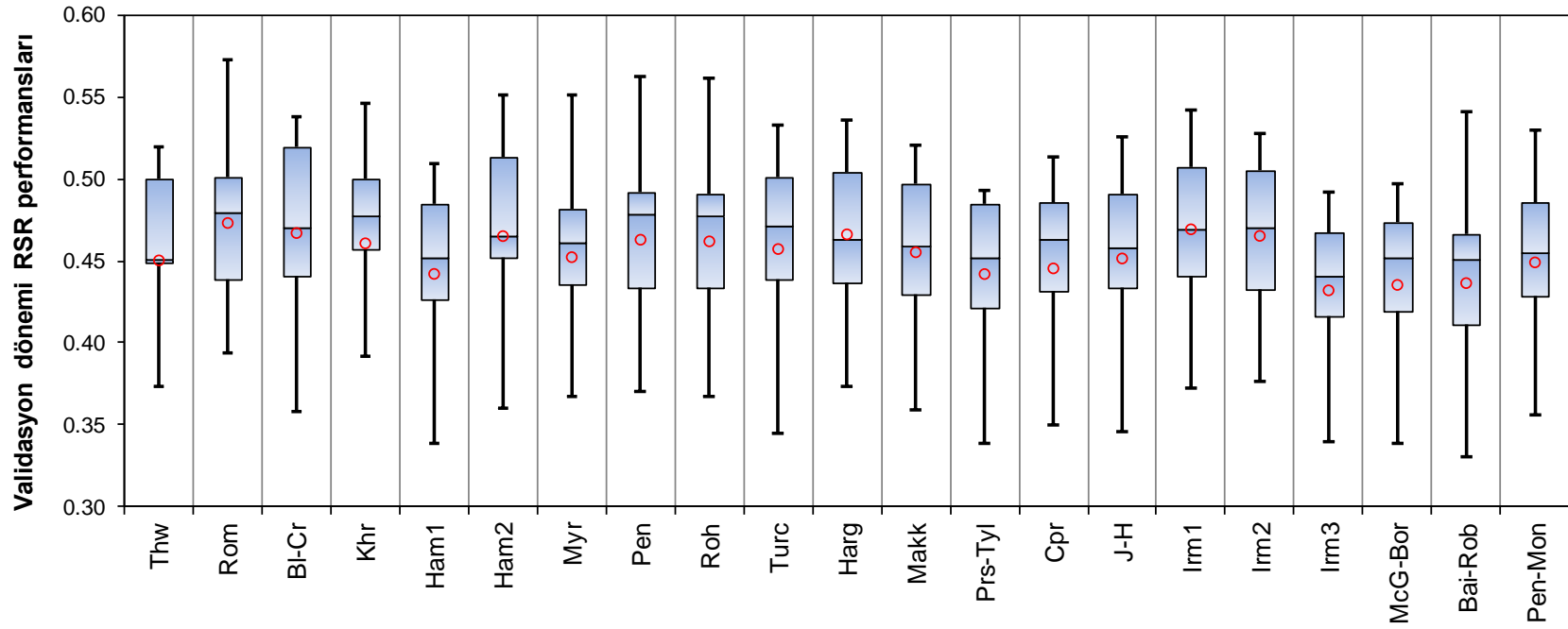
Elde edilen bulgulara göre, zemin nemi depolamasının üst limit değeri olan S_{max} havzada % 13’lere varan değişkenliğe sahiptir. Drenaj alanı büyüdükçe farklı EPOT eşitliklerinin bu parametre üstündeki belirsizliği de artmaktadır. Diğer bir deyişle S_{max} ’ın EPOT tahminlerine büyük sahalarda daha duyarlı olduğu söylenebilir (Muradiye Köprüsü ve Acısu AGİ’leri gibi). S_{max} ’ın nispi hassasiyetinin akarsu akım tahminlerine etkisi Okkan (2015) tarafından ayrıca vurgulanmıştır. Bu maksatla kalibrasyon sürecinde kullanılan modelin farklı başlangıç koşulları ile optimizasyon işleminin birçok kez tekrarlandığını ifade etmekte fayda vardır (Bu çalışmada her bir varyasyonda 30 bağımsız simülasyon yaptırılmıştır.). Böylece modelin yerel minimuma yakalanma riski devre dışı bırakılmıştır.

Diğer yandan, yeraltısuyu biriktirme sisteminin d ve ζ parametreleri AGİ ve EPOT özelinde anlamlı değişkenliğe maruz kalmışlardır. Özellikle d parametresindeki bu değişkenliğin AGİ'lere homojen dağılmadığı görülmüştür. Ancak büyük drenaj alanlı Muradiye Köprüsü AGİ'sinde bu parametrenin EPOT'a karşı daha belirsiz davranış gösterdiği %25 mertebesindeki değişkenlik katsayısından anlaşılmaktadır. ζ 'nin EPOT eşitliklerine bağlı değişkenliği AGİ'lerde homojen bir görünüm sergilerken d parametresindeki değişkenlik durumuna nazaran daha kayda değer düzeydedir. d ve ζ 'nin aynı yeraltısuyu depolaması fonksiyonunun birbiri ile bağımlı parametreleri olmaları yukarıda bahsedilen EPOT bazlı belirsizliklerin genellenebilmesini elbette zorlaştırılmıştır. Bu manada başka bir kapsam içinde daha farklı yeraltısuyu depolaması fonksiyonları (bkz. Hughes, 2004) modele entegre edilerek genel bir çıkarıma gidilebilir. Bunlara ilaveten, yağışın dolaysız akışa dönüştürülmesini sağlayan α_1 parametresinin hem EPOT eşitliklerine hem de AGİ'lere bağlı anlamlı bir duyarlılığının olmadığı ($C_v < \%3$) görülmektedir. Evapotranspirasyon etkinlik parametresi olarak tanımlanan α_2 ise en fazla %6'lara varan değişkenlik ile hassas olmayan bir görüntü çizmektedir. Fakat α_2 'deki yöntemler arası değişkenliğin artması modelin kavramsal olarak ürettiği gerçek evapotranspirasyonun EPOT'a oranı üzerindeki değişkenliğini de arttırmıştır. Farklı yöntemlerden türetilen EPOT'ların ne kadarının gerçekte oluşabileceğinin %15 ile %25 arasında belirsizlik taşıması bu çalışmanın ana hazırlanma fikrini desteklemektedir. Bu kapsamdaki benzer yöntemsel belirsizlik saptamaları Beyazgül vd. (2000) ve Kingston vd. (2009) tarafından daha basit su bütçesi modelleri ve/veya zemin nemi ölçümleri kullanılarak sunulmuştur.

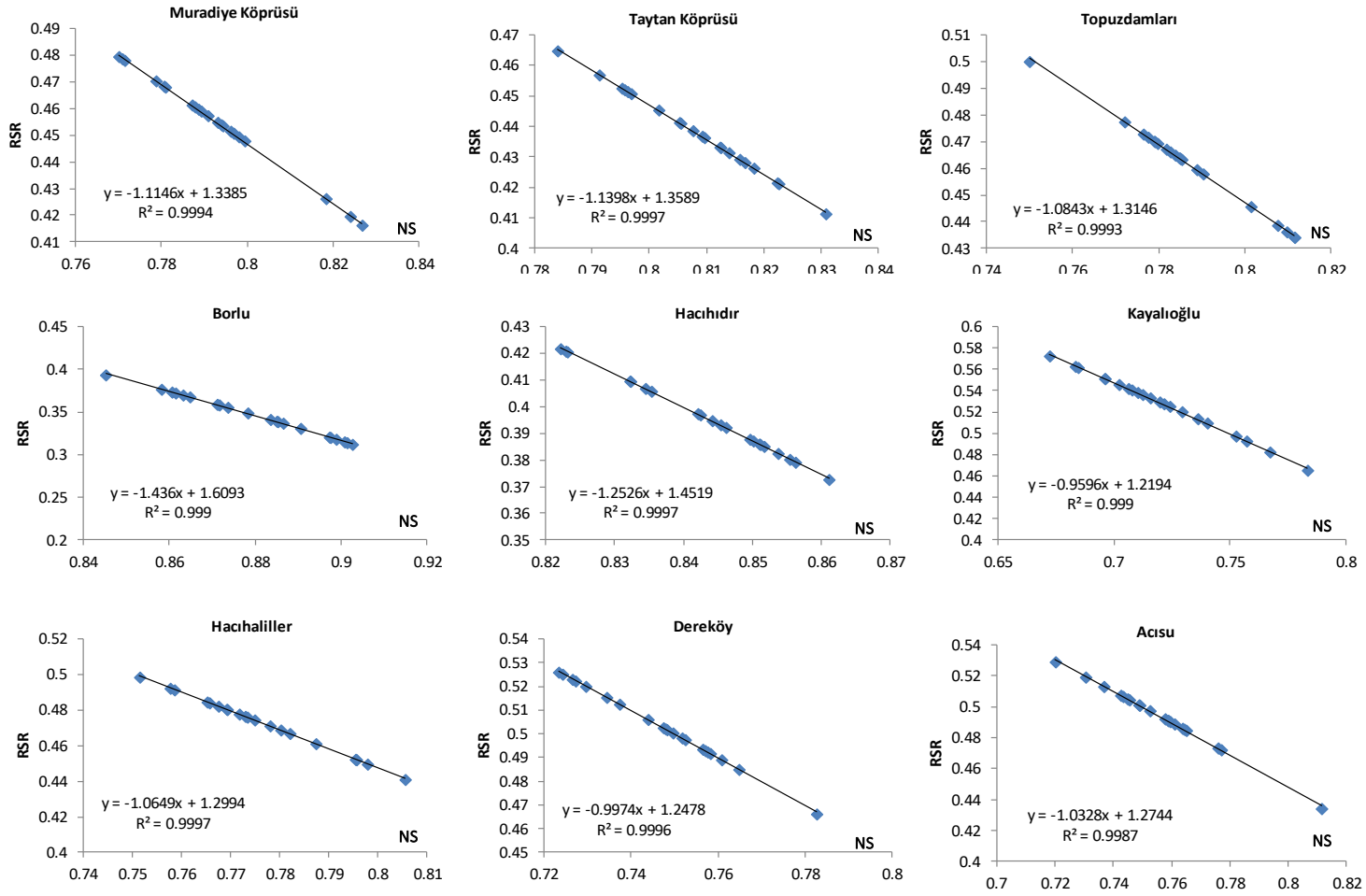
Bu bölümde şu ana kadar EPOT eşitliklerinin hidrolojik çevrim unsurlarına etkisi uygulama havzasında kalibre edilen hidrolojik model parametrelerindeki değişkenlik üzerinden yorumlanmıştır. Tüm bunların ötesinde çalışmanın ana teması farklı karakterdeki EPOT eşitliklerinin hidrolojik bir modelin doğru akım üretme kabiliyetine katkısını irdelemektir. Bu çalışmada kullanılan DYN-WBM modelinin hangi EPOT eşitliği veya eşitlikleri ile daha kaliteli akım tahmini ürettiğinin sorgusu Oudin vd. (2005b) referans alınarak modelin validasyon çıktıları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Validasyon döneminde hesaplanan, Tablo 3.4 - Tablo 3.12'de belirtilen NS ve RSR ölçütlerinin havza bütününde tahkiki için öncelikle kutu diyagramlar oluşturulmuştur (Şekil 3.23 ve Şekil 3.24).



Şekil 3.23: Hidrolojik modelin validasyon dönemi NS performanslarına ait kutu diyagram gösterimi.



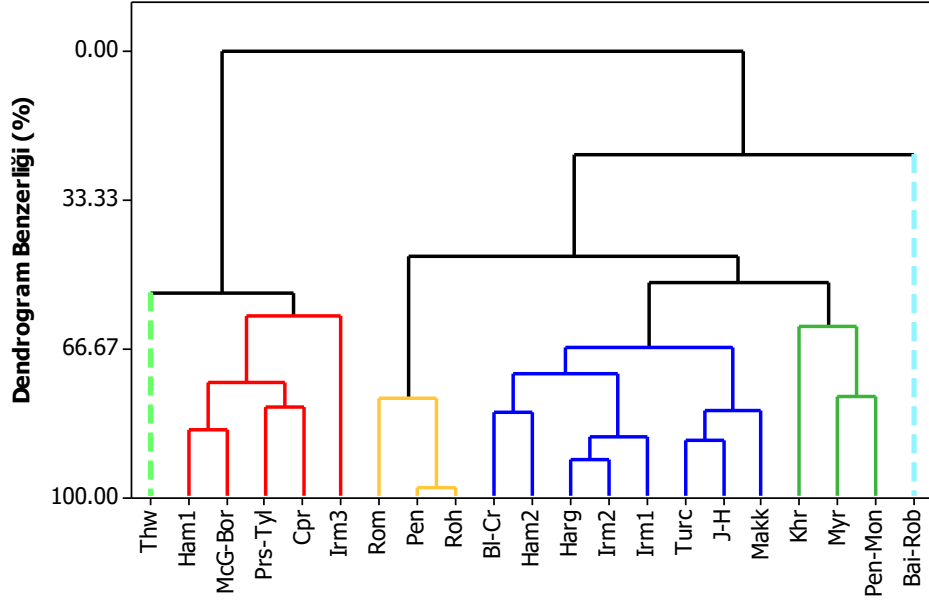
Şekil 3.24: Hidrolojik modelin validasyon dönemi RSR performanslarına ait kutu diyagram gösterimi.



Şekil 3.25: Hidrolojik modelin farklı EPOT tahminlerine karşı validasyon döneminde türettiği NS ve RSR ölçütleri arasındaki ilişki.

9 adet AGİ üzerinden elde edilen NS ve RSR performanslarının EPOT eşitliklerine göre değişimi Şekil 3.23 ve Şekil 3.24 vasıtasıyla daha detaylı aktarılmaya çalışılmıştır. Bu gösterim elbette AGİ'lere has bir değerlendirme yerine havza genelindeki durumu sınamada pratik olacaktır. İlk incelemeye göre, DYN-WBM modelinin farklı EPOT tahminleri altında validasyon periyodunda sağladığı NS ve RSR ölçütleri arasında bir ters orantı durumunun mevcut olduğu anlaşılabilmektedir. Aradaki bağımlılığının ne düzeyde olduğunu irdelemek için NS ve RSR çiftlerinin saçılım grafikleri hazırlanmış ve söz konusu ölçütler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğuna kanaat getirilmiştir (Şekil 3.25). Bu iki ölçütün aralarında yüksek determinasyon katsayısı veren doğrusal ilişkiler nedeni ile performans yorumlaması herhangi bir ölçütün üzerinden gerçekleştirilebilir. Bu noktada Oudin vd. (2005b) çalışmasındaki benzer şekilde sadece NS katsayıları üzerine odaklanılmıştır.

Kutu diyagramlarda, gerek medyanlar (Q2), gerekse kartillerin (Q1 ve Q3) ve kartiller arası mesafelerin (IQR) yöntemden yönteme anlamlı değişkenlik taşıdığı görülebilmektedir. Aouissi vd. (2016) ve Wang vd.(2006) gibi araştırmacıların savunduğu fikrin aksine, EPOT eşitliklerinden elde edilen tahminlerin su bütçesi unsurlarına ve dolayısıyla model performanslarına etkisi inkâr edilemeyecek seviyededir. En önemli tanımlayıcı istatistik olan ortalama (diyagramlarda içi boş daire) genel itibari ile medyana yakın bir görüntü verse de dağılımlardaki asimetri nedeni ile ortalama yerine medyana esas almak daha tutarlı olacaktır. Moriasi vd. (2007) referans alındığında NS'nin 0.75'ten büyük değerleri için model çok iyi, 0.65-0.75 arasındaki değerleri için ise model iyi konumdadır. Bu ölçüt bakımından medyanın yöntemler arası 0.77 ile 0.81 arasında değiştiği gözlenmekte ve bu değerler Moriasi vd.(2007) kriterlerince başarılı bir modellemeyi atfetmektedir. Öte yandan IQR ve kuyruklar (whiskers) arası uzaklıklar incelendiğinde, B1-Cr, Rom, Ham2, Pen, Roh, Irm1 ve Irm2 gibi yöntemlerin daha geniş aralıklarda performans sunmaları havza bütününde kullanılabilirliklerini olumsuz kılmaktadır. Şekil 3.23'te işaretlenen "çok iyi model" sınırının tamamen üstünde dağılım sergileyen Irm3, McG-Bor ve Prs-Tyl yöntemleri kuşkusuz hidrolojik modele havza genelinde daha büyük katkı sağlamışlardır. Yöntemlerin havzadaki akım tahmini performanslarındaki benzerliklerini vurgulamak adına yeniden dendrogramla gruplama yöntemine başvurulmuştur (Şekil 3.26).



Şekil 3.26: EPOT eşitliklerinin hidrolojik modelin validasyonda gösterdiği NS performanslarına göre dendrogram ile incelenmesi.

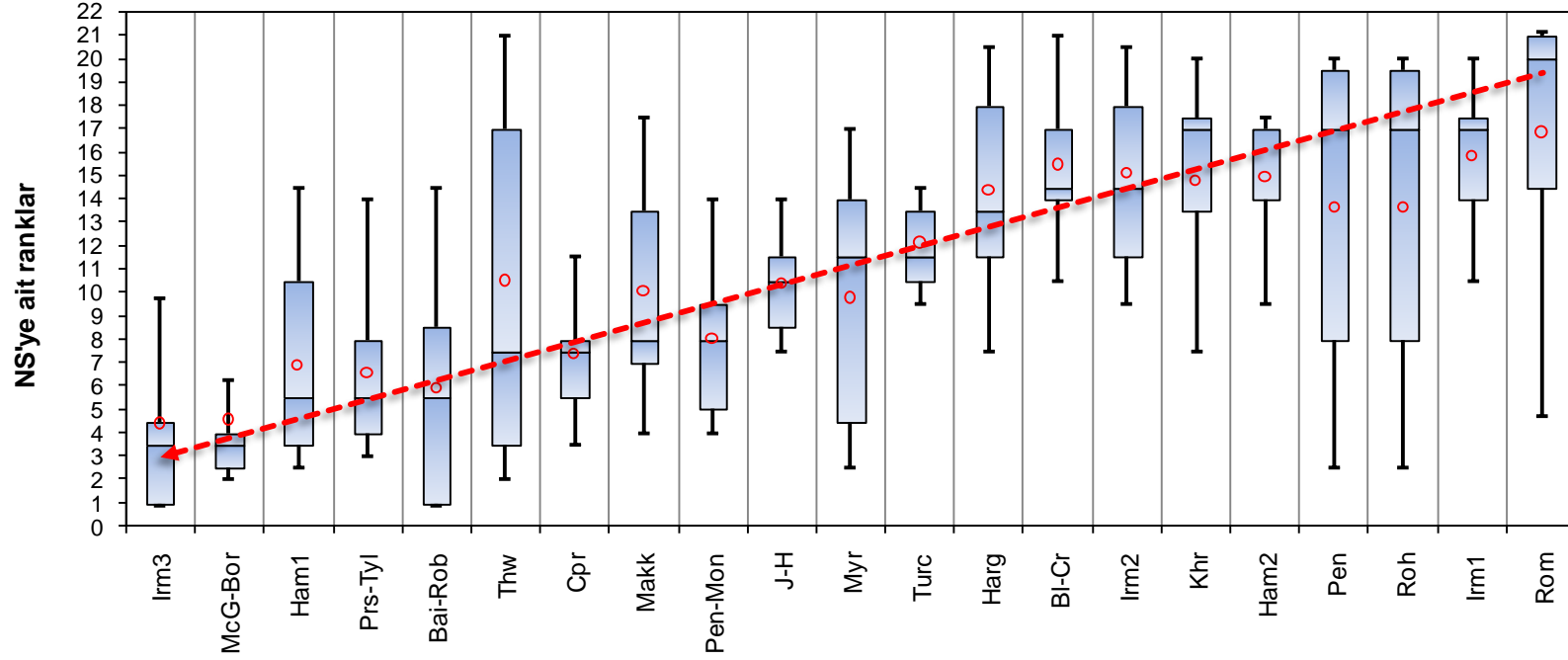
Daha iyi bir değerlendirme sunabilmek için çeşitli denemeler neticesinde 6 adet grup atanmasına karar kılınmıştır. Kutu diyagramlardan da tespit edilen Irm3, McG-Bor ve Prs-Tyl eşitliklerinin Cpr, Ham1 gibi eşitlikler ile beraber birbirine benzer sonuçlar ürettikleri ve havza genelinde hidrolojik model ile en uyumlu eşitlikler grubunda oldukları Şekil 3.26'dan anlaşılabilir (dendrogramdaki kırmızı çubuklarla temsil edilen sınıf). Söz konusu eşitliklerin ortak özelliği Ham1 haricindeki tüm eşitliklerin radyasyon tabanlı olmalarıdır. Hatta bunların tarımsal uygulamalarda sıklıkla atfedilen Pen-Mon eşitliğine üstünlükleri dikkat çekmektedir. Sıcaklık tabanlı Ham1 eşitliği ise hidrolojik modelin makul çıktı üretmesini sağlaması ve veri ihtiyacı açısından en ekonomik yöntem olması nedeniyle bu gruptaki öncül eşitliklere alternatif olabilecek konumdadır. Bai-Rob eşitliği ise genel anlamda hidrolojik model ile başarılı etkileşim gösterse de bazı AGİ'lerde (Topuzdamları, Kayalıoğlu AGİ'leri) NS performansı bakımından geri sıralara düşmüştür. Eşitliğin ihtiyaç duyduğu ekstraterrestrial radyasyon değerlerinin enlemsel ve zamansal farklılıklar taşımasının ve solar radyasyon gibi bir zaman serisi olarak kullanılmamasının bahsi geçen belirsizliklere neden olduğu düşünülmektedir. Diğer yandan, Thw eşitliği Borlu, Hacıhıdır ve Kayalıoğlu AGİ'lerinde oldukça iyi NS performansını gösterirken, Topuzdamları ve Acısu gibi komşu AGİ'lerde en alt sıralarda kalmıştır. Yukarıdaki istisnai durumlardan ötürü Bai-Rob ve Thw eşitlikleri

dendrogram analizinde herhangi bir grup içine girememişlerdir. Bu nedenle havza genelinde güvenilir kullanıma sahip oldukları da düşünülmektedir.

Değerlendirme aşamasında, herhangi bir AGİ’de NS değerlerinin büyükten küçüğe (veya küçükten büyüğe) dizilerek EPOT eşitliğine sıra numarası (rank) verilmesi de kullanılan bir usuldür (bkz. Oudin vd., 2005b). Bu çalışmada da bu uygulamaya ayrıca yer verilmiştir. Öncelikle NS değerleri arasındaki küçük farklılıklardan dolayı ranklarda yanlı bir değişim olabileceğinden değerler iki ondalık basamağa yuvarlanmıştır. Daha sonra tüm değerler 1’den 21.satıra kadar büyükten küçüğe olmak üzere sıralanmıştır. Aynı NS değerlerine sahip satırlar varsa bu noktalarda rank olarak satır numaralarının ortalaması kullanılmıştır (Tablo 3.13). Tablo 3.13’te verilen NS değerlerinin rankları havza genelini temsil eden ortak bir kutu diyagram şeklinde Şekil 3.27’de sunulmuştur. Kutu diyagramda her bir eşitliği sembolize eden elemanlar medyan değerlerine göre sıralanmıştır. Buradan, hidrolojik modele en düşük performans verdiren Rom eşitliğinden, en yüksek performans verdiren Irm3 eşitliğine doğru olan eğilim ve aradaki diğer eşitliklerin konumları görülmektedir. Şu aşamaya kadar elde edilen bulgulardan, hidrolojik modelde McG-Bor eşitliğinin Irm3 eşitliğine oldukça yakın sonuçlar ürettiği görülmüş ve daha az veri ihtiyacı duyması bakımından çalışma kapsamı için en makul radyasyon tabanlı metot olduğu fikri oluşmuştur.

Tablo 3.13: Farklı EPOT eşitliklerinin AGİ’lerde sağladığı validasyon dönemi NS performanslarına ait ranklar.

	Muradiye köprüsü	Taytan köprüsü	Topuzdamları	Borlu	Hacıhıdır	Kayalıoğlu	Hacıhaliller	Dereköy	Acısu
Thw	5.5	17	21	3.5	7.5	2	3.5	14.5	20
Rom	20.0	21	2.5	21	17	21	21	14.5	13.5
Bl-Cr	17.0	10.5	14.5	14	17	13.5	14	17.5	21
Khr	17.0	20	20	3.5	13.5	17	14	10.5	17.5
Ham1	2.5	10.5	14.5	3.5	7.5	5.5	3.5	10.5	4
Ham2	11.5	17	14.5	8.5	17	17	14	17.5	17.5
Myr	11.5	17	2.5	11.5	7.5	17	14	4.5	2.5
Pen	20.0	17	2.5	18	7.5	19.5	19.5	10.5	8
Roh	20.0	17	2.5	18	7.5	19.5	19.5	10.5	8
Turc	11.5	10.5	14.5	11.5	13.5	9.5	14	10.5	13.5
Harg	11.5	10.5	7.5	18	20	13.5	14	20.5	13.5
Makk	5.5	4	7.5	14	13.5	7	8	17.5	13.5
Prs-Tyl	5.5	4	14.5	8.5	7.5	3	3.5	4.5	8
Cpr	11.5	10.5	7.5	3.5	7.5	5.5	8	4.5	8
J-H	11.5	10.5	7.5	8.5	13.5	9.5	14	10.5	8
Irm1	17.0	10.5	14.5	18	20	13.5	14	17.5	17.5
Irm2	11.5	10.5	14.5	18	20	9.5	14	20.5	17.5
Irm3	1.0	4	14.5	3.5	2	1	1	4.5	8
McG-Bor	2.5	4	14.5	3.5	2	4	3.5	4.5	2.5
Bai-Rob	5.5	1	14.5	8.5	2	13.5	6	1	1
Pen-Mon	11.5	4	5	14	7.5	9.5	8	4.5	8



Not: kırmızı kesikli çizgi kutuların medyanları üzerinden çizdirilen doğrusal eğilim çizgisidir.

Şekil 3.27: NS için hesaplanan ranklara ait kutu diyagram gösterimi.

3.5 Hidrolojik Modele Uygun Bir EPOT Eşitliğinin Önerilmesi

Bir önceki bölümde sunulan bulgularda, radyasyon bazlı McG-Bor eşitliğinin havza genelinde hidrolojik model ile etkileşiminin diğer türdeşlerine göre daha tutarlı olduğu belirtilmiştir. Kullanılan hidrolojik model bu eşitlik ile çalıştırıldığında NS ve aynı zamanda RSR ölçütlerince çok iyi sınıfta akım türetmekte olduğundan Moriasi vd.(2007) kriterlerince de güven teşkil etmektedir. Bilindiği üzere McG-Bor eşitliği ortalama sıcaklık ve solar radyasyon verisine ihtiyaç duymaktadır. Solar radyasyonun havza üzerinde ölçümünün kısıtlı olması maksadıyla bu verilerin ERA-Interim üzerinden alındığı Bölüm 2’de ifade edilmişti. Bölüm 3.2.2’de söylendiği gibi, ERA-Interim yüksek çözünürlüklü ve kaliteli veri sağlama açısından bu tarz çalışmalarda elbette kullanılabilir. Ancak bu veri derleme sürecinin çok da pratik olmamasından ötürü McG-Bor eşitliği ile aynı dendrogram sınıfında yer alan ve sadece ortalama sıcaklık vasıtası ile tahmin üreten Ham1 eşitliği alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir. Şekil 3.26 ve Şekil 3.27’de sunulan bulgular bu fikri desteklemektedir. Diğer bir yol da Ham1 eşitliği üstünde birtakım katsayı düzenlemeleri ile McG-Bor’ın EPOT tahminlerine ($EPOT_{McG-Bor}$) yakın sonuç üretmektir. Yeni katsayılar ile parametrik hale getirilecek EPOT tahminlerinin $EPOT_{McG-Bor}$ tahminlerine yaklaşması Denklem 3.2’de verilen RMSE istatistiğinin minimize edilmesi ile sağlanabilir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (EPOT_{yeni,i} - EPOT_{McG-Bor,i})^2}{n}} \quad (3.2)$$

Burada $EPOT_{yeni} = f$ (yeni parametreler, optimum meteorolojik değişken) iken n kullanılan veri adedidir.

Ham1 eşitliğinin genel formu a, b ve c olmak üzere üç parametre ile Denklem 3.3’teki gibi ifade edilebilir. Bu denklemde görüldüğü gibi sadece ortalama sıcaklık (T) ve enlem bilgisinden elde edilen gün uzunluğu (D_L) verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

$$EPOT_{yeni} = a \left(\frac{D_L}{12} \right)^b e^{cT} \quad (3.3)$$

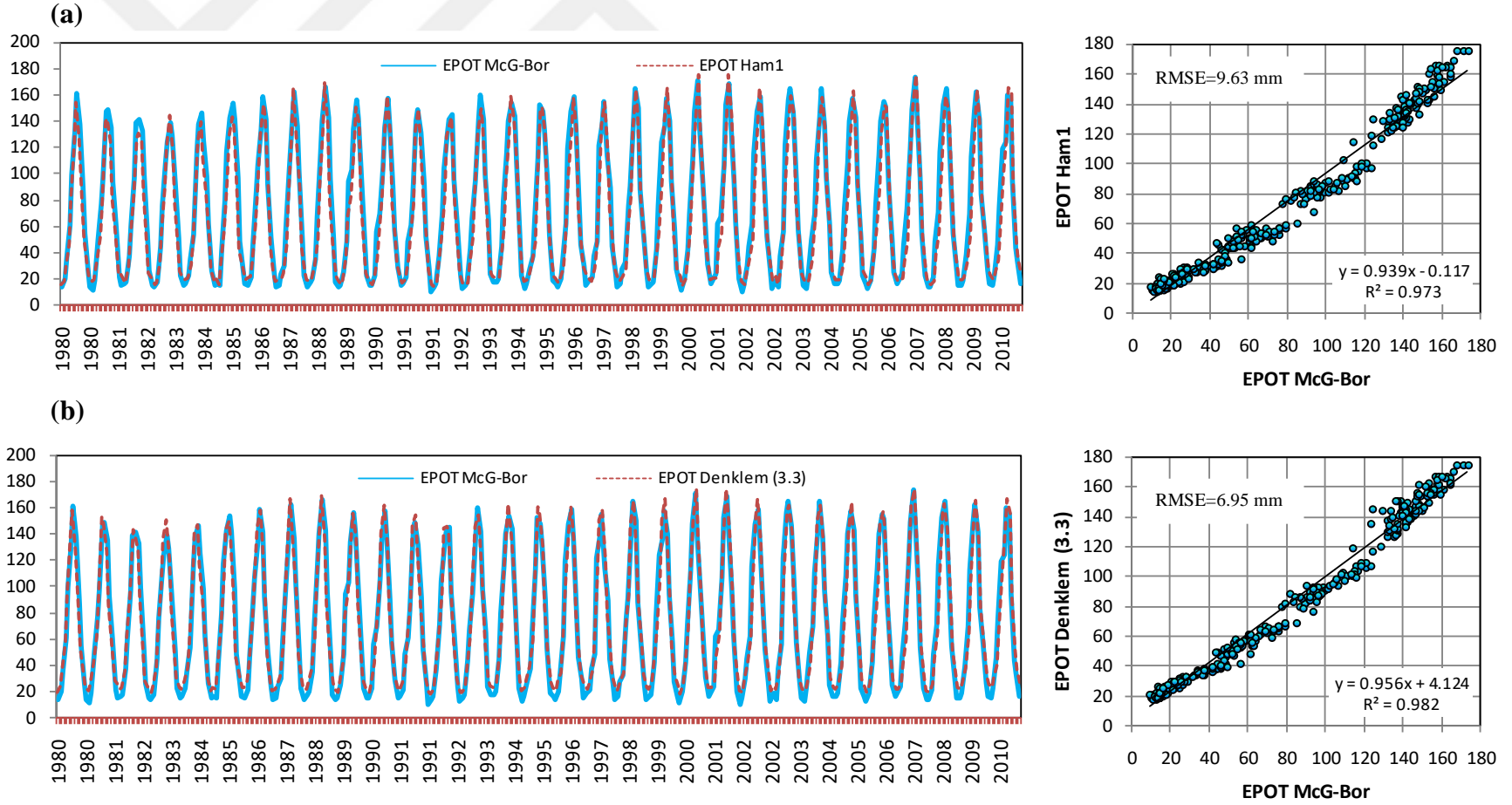
Bölüm 3.3.3'teki benzer yaklaşımla, havzanın toplam yağış alanının yaklaşık %90'ını temsil eden Muradiye Köprüsü AGİ'ye ait derlenmiş veriler (yağış ve akış hariç) ve yine aynı bölge için hesaplanmış McG-Bor EPOT tahminleri yeni EPOT denkleminin parametre kalibrasyonunda değerlendirilmiştir. Kalibrasyon süreci DYN-WBM hidrolojik modeline de uygulanan, Bölüm 2.4'te detaylandırılan LM algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon neticesinde, Denklem 3.3'teki a, b ve c parametreleri Tablo 3.14'te belirtilmiştir. Bu yeni eşitlik orijinal Ham1'e kıyasla McG-Bor'a daha yakın tahmin üretse bile (Şekil 3.28), $y=x$ etrafındaki sapmanın bir miktar daha azaltılması istenmiştir. Bu maksatla Denklem 3.3'e sabit terim ilavesi ile başka bir alternatif eşitlik daha önerilmiştir (Denklem 3.4). Son olarak, rölatif nem'in (RH) ölçümünün veya T_{dew} ile türetilmesinin kolay olduğu düşünülerek Denklem 3.3 RH verisine gereksinim duyacak şekilde Denklem 3.5'teki gibi güncellenmiştir (burada RH'nin birimi %'dir). Denklem 3.4 ve 3.5'teki ifadelerin kalibrasyonları da Muradiye Köprüsü AGİ'nin kapsadığı drenaj alanı için derlenmiş veriler ile tamamlanmıştır. Nihai parametreler Tablo 3.14'te, Muradiye Köprüsü uygulama bölgesi üzerindeki kalibrasyon performansları ise Şekil 3.28'de verilmiştir.

$$EPOT_{yeni} = a \left(\frac{D_L}{12} \right)^b e^{cT} + d \quad (3.4)$$

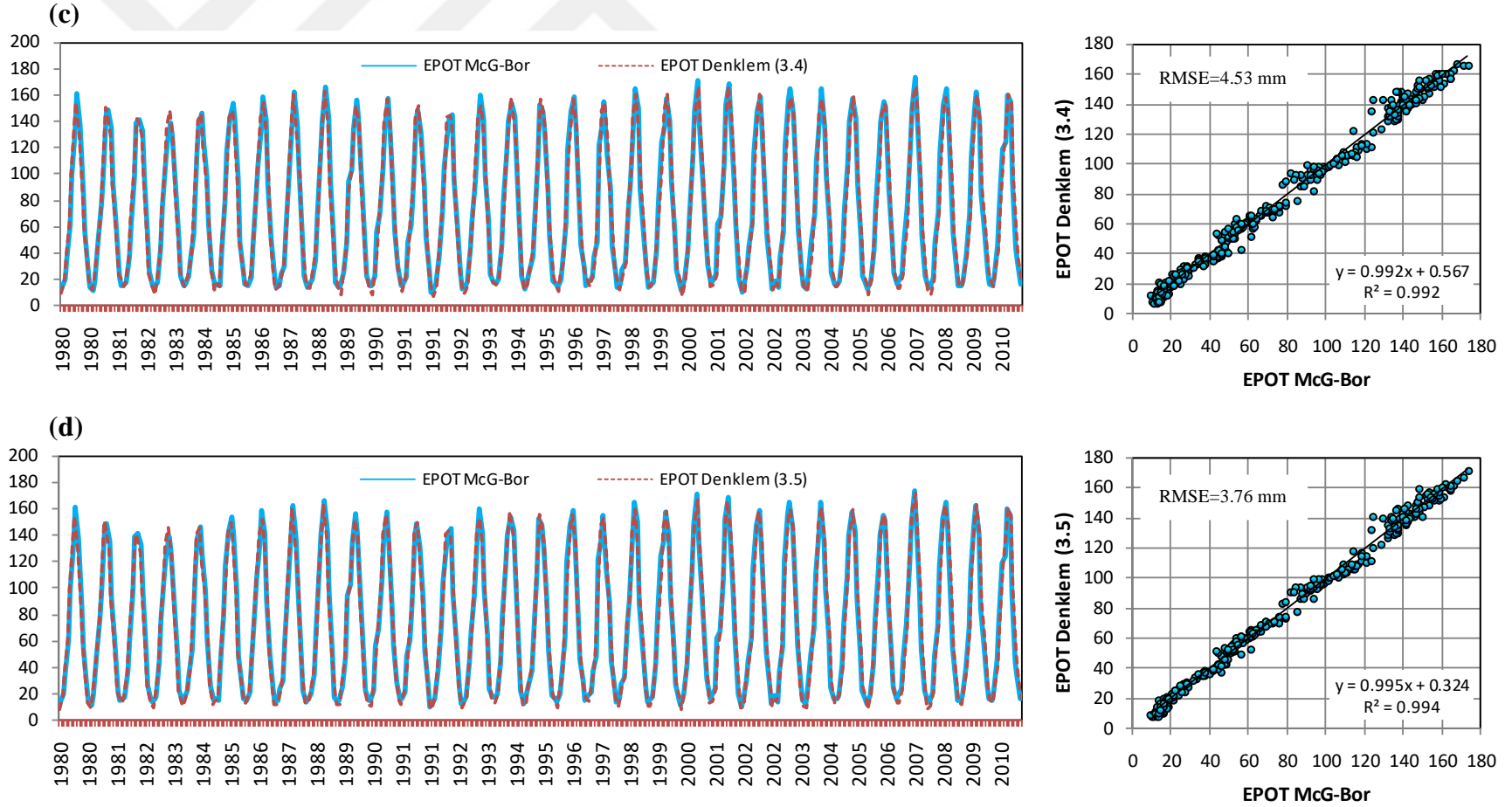
$$EPOT_{yeni} = a \left(\frac{D_L}{12} \right)^b e^{cT} + d.RH \quad (3.5)$$

Tablo 3.14: Hidrolojik modele uygun EPOT eşitliklerinin belirlenen katsayıları.

Yeni EPOT eşitlikleri	a	b	c	d
$EPOT_{yeni} = a \left(\frac{D_L}{12} \right)^b e^{cT}$	30.380	2.490	0.0461	---
$EPOT_{yeni} = a \left(\frac{D_L}{12} \right)^b e^{cT} + d$	73.857	1.478	0.0283	-47.293
$EPOT_{yeni} = a \left(\frac{D_L}{12} \right)^b e^{cT} + d.RH$	62.189	1.594	0.0291	-0.490



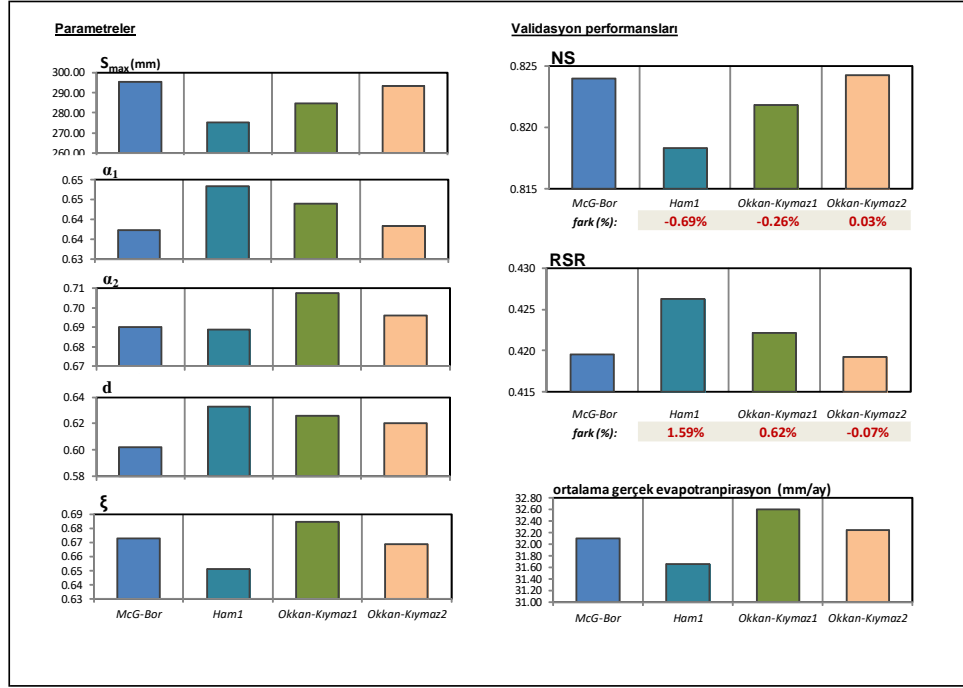
Şekil 3.28: Muradiye Köprüsü AGİ'nin drenaj alanını temsil eden McG-Bor EPOT tahminlerine karşı (a) Ham1, (b) Denklem 3.3, (c) Denklem 3.4 ve (d) Denklem 3.5 ile üretilen EPOT tahminlerinin performansları.



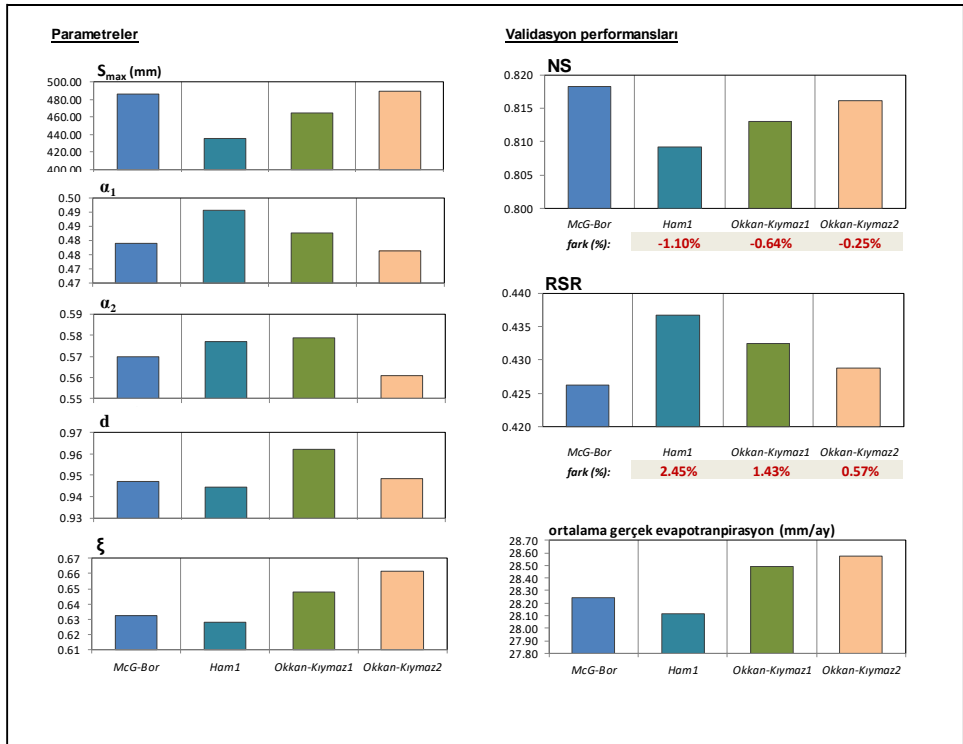
Şekil 3.28 (devamı): Muradiye Köprüsü AGİ'nin drenaj alanını temsil eden McG-Bor EPOT tahminlerine karşı (a) Ham1, (b) Denklem 3.3, (c) Denklem 3.4 ve (d) Denklem 3.5 ile üretilen EPOT tahminlerinin performansları.

Şekil 3.28'den görüldüğü üzere, Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 ile ifade edilen yeni EPOT eşitliklerinin McG-Bor ile ilişkisi başarılı bulunduğundan bu alternatif eşitlikler sırasıyla Okkan-Kıymaz1 ve Okkan-Kıymaz2 olarak çalışmada atfedilecektir. Eşitlikler Tablo 3.14'te belirtilen katsayıları ile hidrolojik modele entegre edilerek 9 adet AGİ üzerinde yeniden parametre optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Yeni EPOT eşitliklerinin hidrolojik modele girdi olarak sunulması sonrası kalibrasyonu sağlanan modelden elde edilen validasyon performansları Şekil 3.29-Şekil 3.37'de McG-Bor ve Ham1 çıktıları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. RSR ve NS değerlerinin McG-Bor'inkine göre fark yüzdeleri de grafikler üstünde ayrıca belirtilmiştir. Bulgulara göre, AGİ'lerin yaklaşık yarısında Okkan-Kıymaz2 eşitliği McG-Bor ile neredeyse aynı validasyon performansı göstermiştir. Kayalıoğlu AGİ'de tespit edilen NS'deki yaklaşık %1'lik negatif yönde fark dışında, Topuzdamları, Acısu ve Dereköy AGİ'lerinde bu eşitliğin %2 daha başarılı olduğu görülebilmektedir. Ancak hesaplanan tüm bu oranlar *t* istatistiği gereği istatistiksel anlamlılıkta değildir. Bu bakımdan RH verisi temin edilmediği takdirde, sadece ortalama sıcaklık verisine gereksinim duyan Okkan-Kıymaz1'in Ham1'e kıyasla kullanımı da pratik ve aynı zamanda tutarlı durmaktadır. Diğer yandan, RH'ı sırasıyla çiğ noktası sıcaklığına ve ortalama yüzey sıcaklığına bağlı olarak gerçek ve doymuş buhar basınçlarının oranı şeklinde benzeştirmek de mümkündür (Xu ve Singh, 2001, 2002). Bu nedenle Okkan-Kıymaz2 eşitliği de direkt RH ölçümü olmaması durumunda sıcaklık tabanlı bir eşitlik gibi değerlendirilebilir. Okkan-Kıymaz2 ile çalıştırılan DYN-WBM'nin validasyon dönemi akım çıktıları örnek olarak Muradiye Köprüsü AGİ için zaman serisi ve saçılım diyagramı olarak Şekil 3.38'de sunulmuştur.

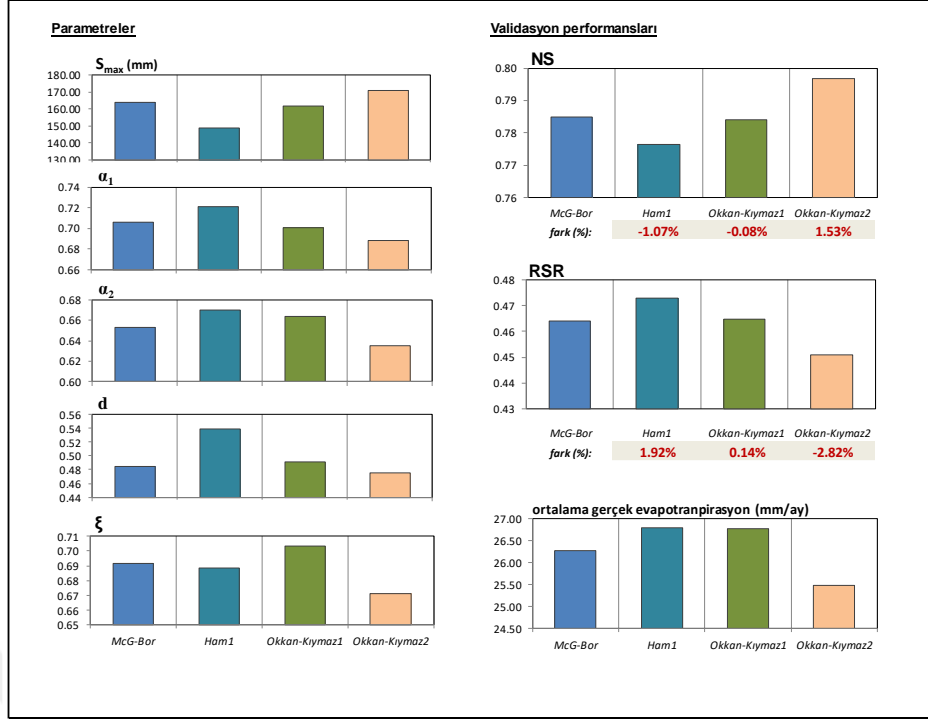
Başka bir fikir de Tablo 3.14'te belirtilen katsayıları kullanmadan, Denklem 3.4 ve Denklem 3.5'teki genel yapı ile hidrolojik modelin içine 3 veya 4 adet serbest parametre içeren bir EPOT fonksiyonu yazmaktır. Denenen fakat tez kapsamında okuyucuya sunulmayan bu varyasyonda 5 parametrelilik DYNWBM modeli 8 veya 9 parametrelilik hale gelmiştir. Bu uygulamada gözlenen ortak tanı ise serbestlik derecesi artışı ile kalibrasyon dönemlerinde daha yüksek performans elde edilmesi fakat validasyonda anlamlı performans düşüşlerinin oluşmasıdır. Bu tarz bir yaklaşım ile modeller çoğunlukla sadece kalibrasyondaki veriyi taklit etmekte (aşırı öğrenme) fakat genelleme yeteneğini validasyonda yitirmektedirler (Perrin vd., 2001, 2003).



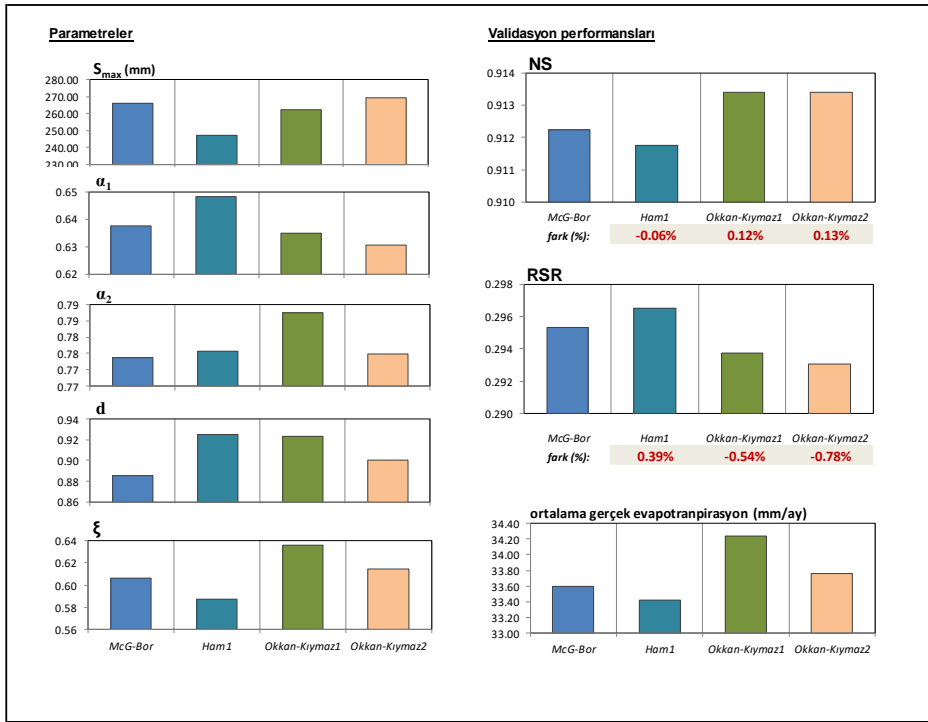
Şekil 3.29: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Muradiye Köprüsü AGİ için kıyaslanması.



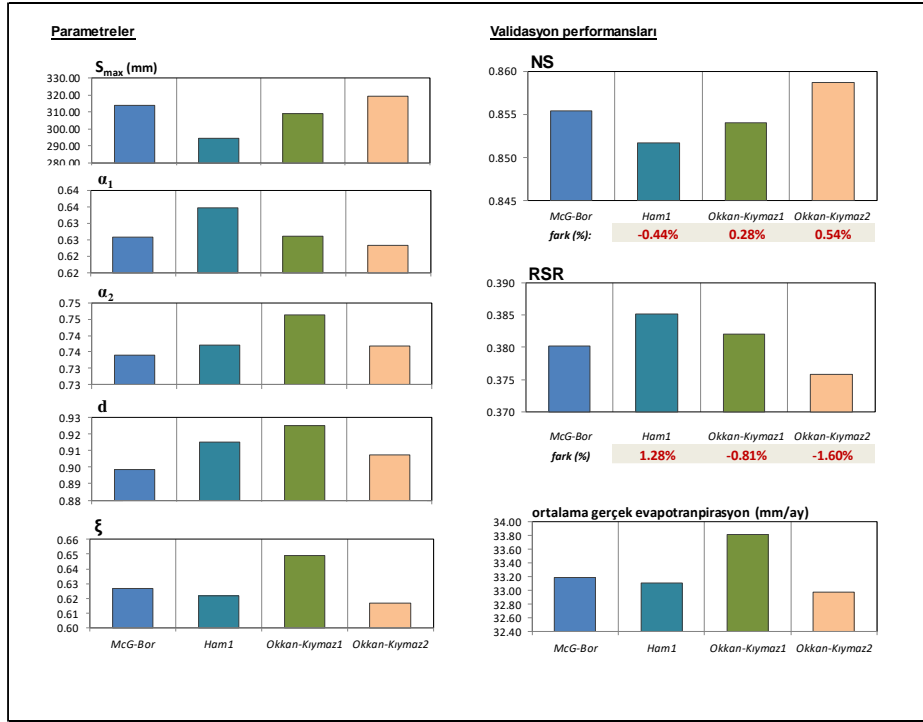
Şekil 3.30: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Taytan Köprüsü AGİ için kıyaslanması.



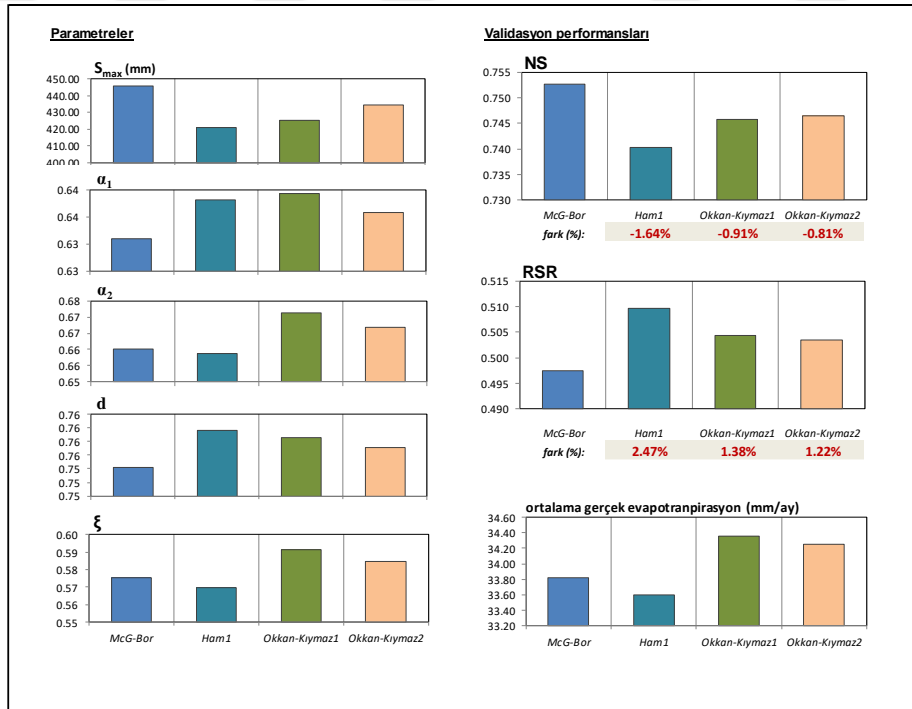
Şekil 3.31: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Topuzdamları AGİ için kıyaslanması.



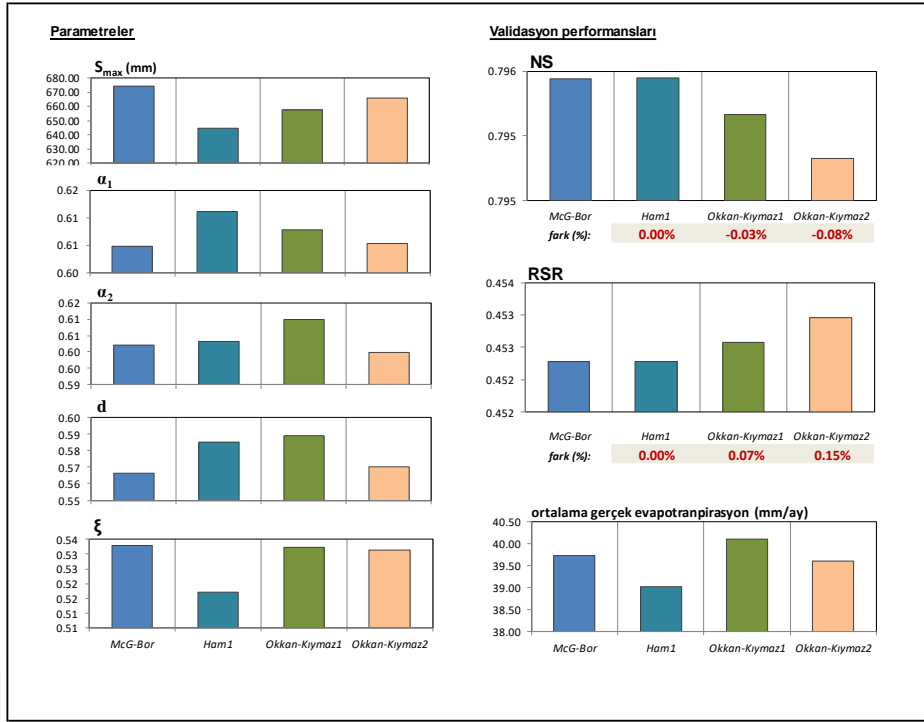
Şekil 3.32: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Borlu AGİ için kıyaslanması.



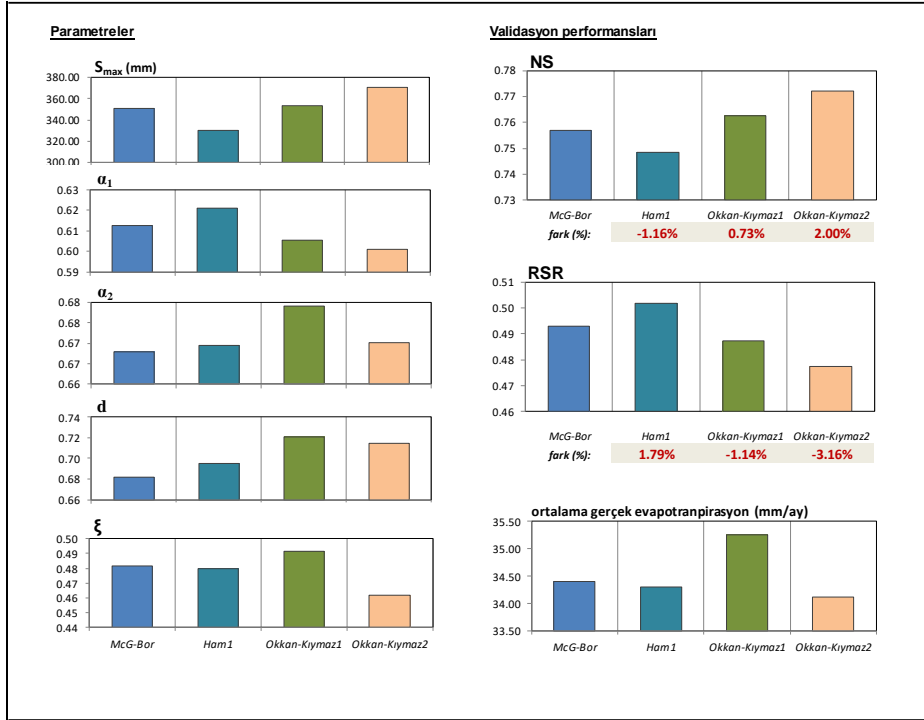
Şekil 3.33: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Hacıhıdır AGİ için kıyaslanması.



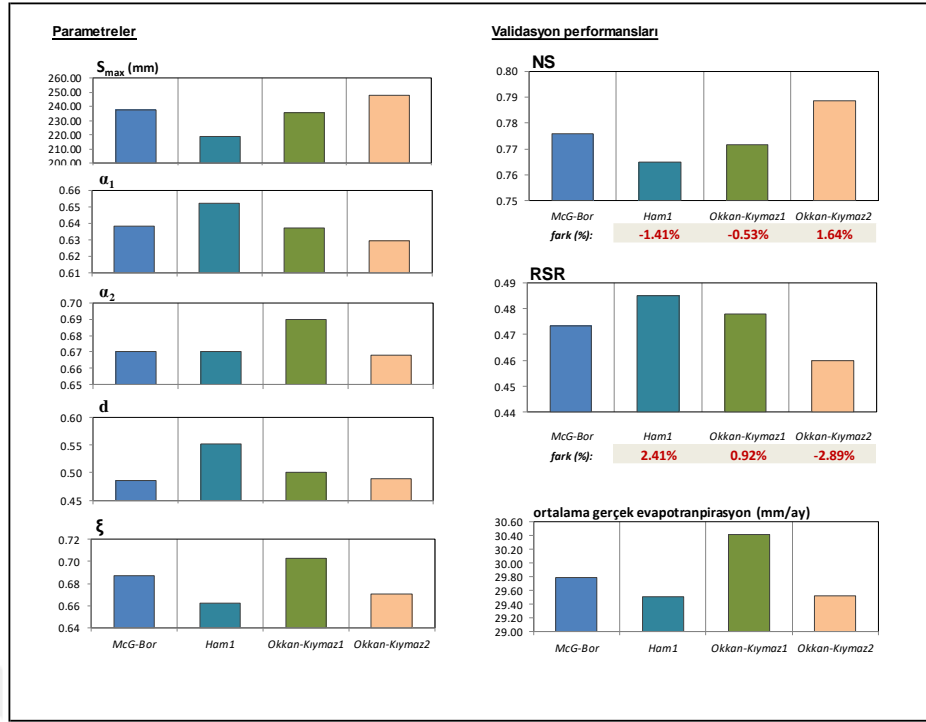
Şekil 3.34: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Kayalıoğlu AGİ için kıyaslanması.



Şekil 3.35: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Hacihaliller AGİ için kıyaslanması.



Şekil 3.36: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Dereköy AGİ için kıyaslanması.

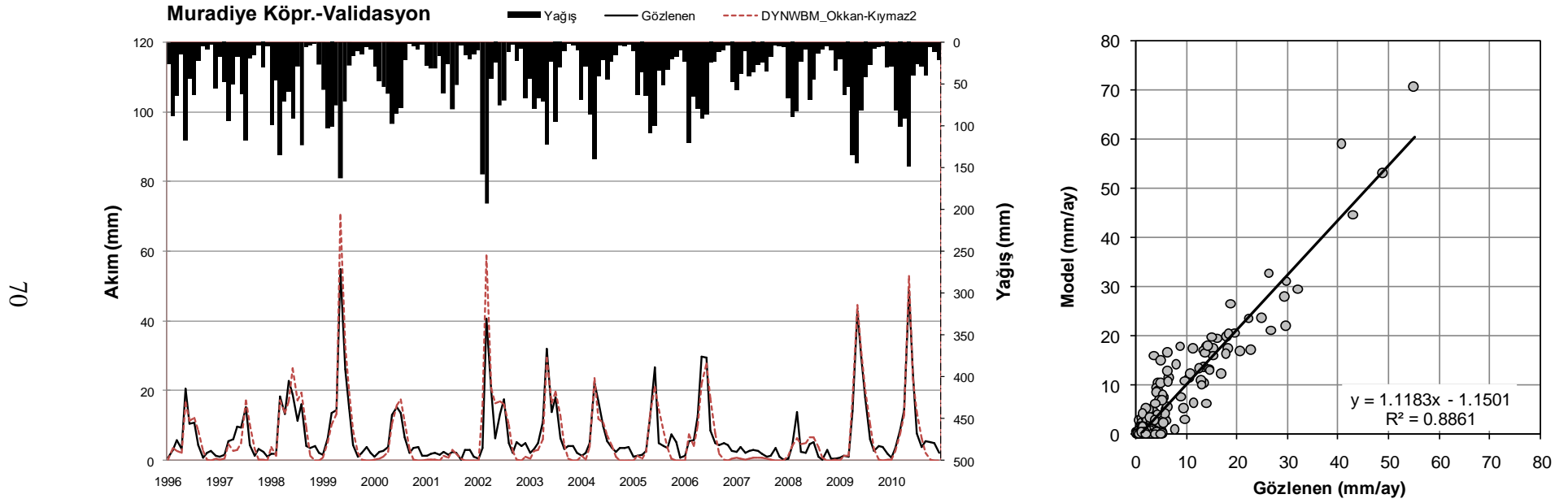


Şekil 3.37: McG-Bor, Ham1 ve önerilen eşitliklerinin hidrolojik modeldeki çıktılarının Acısu AGİ için kıyaslanması.

Yeni önerilenler ile birlikte toplam 23 adet EPOT eşitliğinin akım modellemesindeki validasyon dönemi NS değerlerine karşılık gelen ranklar yeniden hesaplanmış ve Tablo 3.13 güncellenerek Tablo 3.15'teki hali ile sunulmuştur. Tablo 3.15 ortalama sıcaklık girdili yeni eşitliklerin Irm3 ve McG-Bor gibi radyasyon tabanlı eşitlikler ile rekabet edecek nitelikte olduklarını tekrar kanıtlamıştır.

Tablo 3.15: Tüm eşitliklerin AGİ'lerdeki NS performanslarına ait ranklar.

EPOT eşitlikleri	Muradiye köprüsü	Taytan köprüsü	Topuzdamları	Borlu	Hacıhıdır	Kayaçoğlu	Hacıhaliller	Dereköy	Acısu	Ortalama	Medyan
Irm3	1.0	4.5	16.0	4.5	2.5	1.0	1.0	6.0	10.0	5.2	4.5
McG-Bor	3.5	4.5	16.0	4.5	2.5	5.0	4.0	6.0	3.5	5.5	4.5
Okkan-Kiyamaz2	3.5	4.5	5.5	4.5	2.5	5.0	7.5	2.0	2.0	4.1	4.5
Okkan-Kiyamaz1	3.5	12.0	16.0	4.5	9.0	5.0	4.0	6.0	5.5	7.3	5.5
Ham1	3.5	12.0	16.0	4.5	9.0	7.5	4.0	12.5	5.5	8.3	7.5
Prs-Tyl	7.5	4.5	16.0	10.5	9.0	3.0	4.0	6.0	10.0	7.8	7.5
Bai-Rob	7.5	1.0	16.0	10.5	2.5	15.5	7.5	1.0	1.0	6.9	7.5
Thw	7.5	19.0	23.0	4.5	9.0	2.0	4.0	16.5	22.0	11.9	9.0
Cpr	13.5	12.0	8.5	4.5	9.0	7.5	10.0	6.0	10.0	9.0	9.0
Makk	7.5	4.5	8.5	16.0	15.5	9.0	10.0	19.5	15.5	11.8	10.0
Pen-Mon	13.5	4.5	5.5	16.0	9.0	11.5	10.0	6.0	10.0	9.6	10.0
J-H	13.5	12.0	8.5	10.5	15.5	11.5	16.0	12.5	10.0	12.2	12.0
Myr	13.5	19.0	2.5	13.5	9.0	19.0	16.0	6.0	3.5	11.3	13.5
Turc	13.5	12.0	16.0	13.5	15.5	11.5	16.0	12.5	15.5	14.0	13.5
Harg	13.5	12.0	8.5	20.0	22.0	15.5	16.0	22.5	15.5	16.2	15.5
Bl-Cr	19.0	12.0	16.0	16.0	19.0	15.5	16.0	19.5	23.0	17.3	16.0
Irm2	13.5	12.0	16.0	20.0	22.0	11.5	16.0	22.5	19.5	17.0	16.0
Khr	19.0	22.0	22.0	4.5	15.5	19.0	16.0	12.5	19.5	16.7	19.0
Ham2	13.5	19.0	16.0	10.5	19.0	19.0	16.0	19.5	19.5	16.9	19.0
Pen	22.0	19.0	2.5	20.0	9.0	21.5	21.5	12.5	10.0	15.3	19.0
Roh	22.0	19.0	2.5	20.0	9.0	21.5	21.5	12.5	10.0	15.3	19.0
Irm1	19.0	12.0	16.0	20.0	22.0	15.5	16.0	19.5	19.5	17.7	19.0
Rom	22.0	23.0	2.5	23.0	19.0	23.0	23.0	16.5	15.5	18.6	22.0



Şekil 3.38: Muradiye Köprüsü AGİ için Okkan-Kıymaz2 EPOT girdileri ile çalıştırılan hidrolojik modelin validasyon dönemi akım tahminleri ve gözlenen akımlar.

4. SONUÇLAR

Hidrolojik çevrimin en önemli elemanlarından biri olan EPOT tahminleri genellikle tarımsal ve hidrolojik modelleme (yağış-akış modellemesi) olmak üzere iki farklı kapsamda inceleme alanı bulmaktadır. Literatürel yoğunluk ampirik EPOT eşitliklerinin FAO-56 tarafından önerilen Pen-Mon referans eşitliği ile kıyaslanması üzerinedir. Bu araştırmalarda yoğun veriye gereksinimi olan Pen-Mon'a alternatif sayılabilecek mevcut veya yeni EPOT eşitlikleri bölgesel çapta ortaya konmuştur. Diğer yandan, kavramsal yağış-akış modellerinin kurulumu ve performansı yağışa ek olarak EPOT girdisine de bağlı olduğundan, hangi EPOT eşitliğinin akış simülasyonu aşamasında kullanılması gerektiği özellikle kurak havzalarda önemli bir meseledir. Bu problem ise ilkinde kıyasla ender çalışmalara konu olmuştur (örneğin Oudin vd.,2005a,b; Kannan vd., 2007). Öte yandan, ülkemizde sulama suyu ihtiyacının belirlenmesinde Pen-Mon ve Bl-Cr gibi eşitlikler sıklıkla kullanılsa da, yağış-akış modellemesine uygun olduğu savunulan herhangi bir EPOT eşitliğine ne yazık ki rastlanmamaktadır. Hazırlanan çalışma Gediz Havzası geneli için kurulan DYN-WBM yağış-akış modeline girdi olarak sunulabilecek farklı EPOT eşitliklerinin sınanmasını ve bu kapsamda daha az meteorolojik veri kullanan alternatif eşitliklerin tespit edilmesini amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda hazırlanan çalışmada farklı kategoriler altında toplamda 21 adet EPOT eşitliği ile türetilen tahminlerin havzadaki 9 adet AGİ için hazırlanan yağış-akış modellemesindeki performansları detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

Öncelikle uygulama alanları için türetilen EPOT tahminleri mertebeleri açısından kendi aralarında kıyaslanmıştır. EPOT tahminlerinin uzun dönem aylık ortalamaları yöntemler arasında 65 mm'den 125 mm'ye kadar değişkenlik göstermektedir. Irm3, Bai-Rob, Ham1, Thw ve McG-Bor gibi yöntemler diğerlerine kıyasla düşük EPOT tahminleri öngörürken, Pen, Roh ve Rom gibi eşitlikler ise ekstrem sonuçlar üretmişlerdir. Oudin vd. (2005b) bu kapsamda tahminlerin Pen-Mon sonuçları yardımıyla ölçeklenerek sistematik sapmalardan arındırılmasının akım modelleme sürecini iyileştireceğini ifade etmiştir. Hazırlanan çalışmada ise

DYN-WBM modelinde tanımlı olan evapotranspirasyon etkinlik parametresi α_2 ile kalibrasyon aşamasında gerekli ölçekleme Budyko eğrisi fonksiyonu esas alınarak gerçekleştirilebildiğinden modelleme evvelinde böyle bir ek işleme gereksinim duyulmamıştır. Tez çalışmasının ana konusu olmamakla birlikte, sulama suyu talebinin hesabına esas teşkil eden ve referans yöntem olarak anılan Pen-Mon yerine sıcaklık tabanlı ve daha pratik bir eşitlik de önerilmiştir. Gediz Havzası özelinde hazırlanan BI-Cr'nin modifikasyonu niteliğinde olan bu eşitliğin tarımsal uygulamalara fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

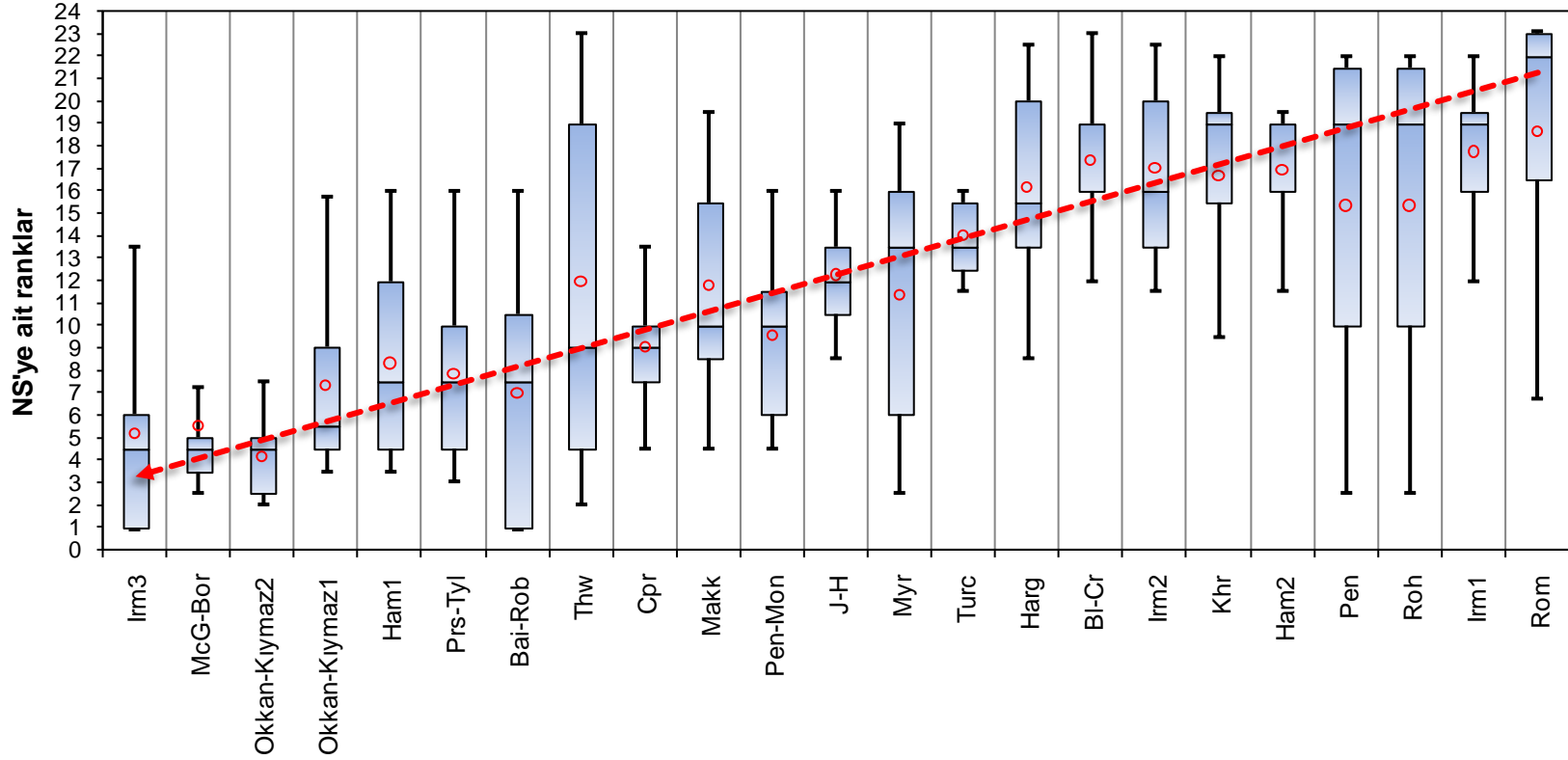
Yukarıda belirtilen ön değerlendirmelerden sonra, DYN-WBM yağış-akış modelinin hangi EPOT eşitlikleri ile yüksek performanslı akım çıktısı verdiğinin sorgulanmasına geçilmiş ve bunun için modelin ürettiği validasyon dönemi NS ve RSR istatistikleri incelenmiştir. NS ve RSR değerlerinin arasında yüksek doğrusal ilişki temsil eden korelasyonlar mevcut olduğundan performans araştırması sadece NS sonuçları üzerinden yapılmıştır. Aouissi vd. (2016) ve Wang vd. (2006) tarafından hazırlanan çalışmalarda savunulan düşüncenin tersine, farklı EPOT eşitliklerine ait tahminlerin yağış-akış modelindeki etkisinin ihmal edilemeyecek boyutta olduğu ilk bakışta göze çarpmaktadır. Moriasi vd.(2007) kriterlerine göre, havza genelinde hidrolojik modelin “çok iyi model” sınıfında davranış sergilemesine neden olan Irm3 ve McG-Bor gibi radyasyon tabanlı EPOT eşitlikleri daha baskın durmaktadır. Tabi ki bu iki eşitlik içerisinde McG-Bor eşitliği daha az veriye ihtiyaç duyduğundan kendi kategorisinde daha uygun gözükmektedir. Bu çıkarım Oudin vd.(2005b) çalışmasında ortaya atılanla da benzerlik taşımaktadır.

Havza geneline uygulanan bir dendrogram analizi yardımıyla eşitlikler arasındaki hiyerarşi ve benzerlikler çıkarıldığında, McG-Bor eşitliğinin sıcaklık tabanlı Ham1 eşitliği ile beraber hidrolojik modelde benzer tepkilere yol açtıkları tespit edilmiştir. Gerek Ham1'in bu grup içerisinde veri gereksinimi yönünden en ekonomik yöntem olması, gerekse McG-Bor'un ihtiyaç duyduğu solar radyasyonun ERA-Interim veri setlerinden ayıklanmasının nispeten zor olması bakımından Ham1 eşitliği alternatif bir yöntem olarak havza genelinde kabul görmüştür. Diğer bir alternatif ise McG-Bor'm EPOT tahminlerini kıyas kabul ederek, Ham1 eşitliğinde tanımlı bazı katsayıları yeniden kalibre etmektir.

Çalışmada ikinci alternatif doğrultusunda, bir anakol AGİ'sinin temsili drenaj alanı üzerinde gerçekleştirilen çeşitli kalibrasyon işlemleri neticesinde sırasıyla Okkan-Kıymaz1 ve Okkan-Kıymaz2 olarak anılan sıcaklık tabanlı eşitlikler önerilmiştir. Bu yeni eşitliklerin DYN-WBM'ye girdi olarak sunulması akabinde kalibrasyon işlemi tekrarlanmıştır. Validasyon çıktılarına uygulanan *t* testine göre, özellikle Okkan-Kıymaz2 eşitliğinin McG-Bor ile aynı performansı verdiği havza bütününde kabul görmüştür. Şekil 4.1 şu ana kadar kullanılan tüm EPOT eşitlikleri ile çalıştırılan hidrolojik modelin ürettiği NS indislerine karşılık gelen rank istatistiklerini havza genelinde özetlemektedir. Buradan, Okkan-Kıymaz1'in ve bilhassa Okkan-Kıymaz2'nin Irm3 ve McG-Bor gibi radyasyon tabanlı eşitliklere rakip olabilecek özellikte oldukları rahatlıkla görülebilmektedir.

Yukarıda sonuçları özetlenen çalışmada, Gediz Havzası genelinde DYN-WBM yağış-akış modeline potansiyel girdi olabilecek EPOT eşitlikleri etraflıca araştırılmış ve meteorolojik veri açısından daha ekonomik yeni eşitlikler ortaya atılmıştır. Şu ana kadar, konuya ilişkin gerek ulusal, gerekse uluslararası düzeyde kısıtlı çalışmanın gerçekleştirilmiş olması, hazırlanan çalışmanın içerik ve yöntem bakımından özgün değere sahip olduğunu göstermektedir. Ancak uygulama aşamasında EPOT eşitliklerinin aylık tahminleri ile sadece bir adet yağış-akış modelinin entegre edildiği unutulmamalıdır. Ayrıca söz konusu tüm çıkarımlar bölgesel nitelik taşıdığından, türetilen eşitlikler başka havzalarda farklı sonuçlar verebilir. Takdim edilen haliyle ise çalışma yöntem bakımından ülkemizdeki başka drenaj alanlarına adapte edilebilir özelliğe sahiptir. Çalışma aylık zaman ölçeğinde hazırlandığı için eksik akım tamamlama, iklim değişikliği senaryoları altında akım simülasyonu yapma ve hazne işletme çalışmaları ile arz açığı-talep ilişkilerini belirleme gibi problemlere de uyarlanabilir. Bu manada çalışmada önerilen metotsal stratejinin diğer akarsu havzalarımızda da uygulanması ulusal bazda su kaynakları planlama ve yönetim çalışmalarına derinlik kazandıracaktır.

Gelecek çalışmalarda, daha fazla EPOT eşitliği ve farklı karakterde yağış-akış modelleri (günlük kavramsal ve yarı fiziksel modeller) ile Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) AR5 raporunda atfedilen iklim değişikliği senaryolarını da (temsili konsatrasyon rotaları olarak anılan RCP senaryoları) hesaba katarak çalışma kapsamının genişletilmesi hedeflenmektedir.



Not: kırmızı kesikli çizgi kutuların medyanları üzerinden çizdirilen doğrusal eğilim çizgisidir.

Şekil 4.1: Tüm EPOT eşitliklerinin modelin validasyonunda sağladığı NS indislerine ait rankların kutu diyagram ile özeti.

5. KAYNAKLAR

Acatay, S. T. (1996). *Sulama Mühendisliği*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Vakfı.

Adeloye, A. J. and Munari, A. D. (2006). Artificial neural network based generalized storage–yield–reliability models using the Levenberg–Marquardt algorithm. *Journal of Hydrology*, 326 (1-4), 215-230.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper*, Paper No 56, FAO, Rome, 300.

Allen, R. G., Walter, I. A., Elliot, R., Howell, T., Itenfisu, D. and Jensen, M. (2005). The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. *Final report*. Phoenix: National Irrigation Symp., ASCE-EWRI.

Aouissi, J., Benabdallah, S., Chabaâne, Z. L. and Cudenec, C. (2016). Evaluation of potential evapotranspiration assessment methods for hydrological modelling with SWAT—Application in data-scarce rural Tunisia. *Agricultural Water Management*, 174, 39-51.

Bao, X. and Zhang, F. (2013). Evaluation of NCEP–CFR, NCEP–NCAR, ERA-Interim, and ERA-40 reanalysis datasets against independent sounding observations over the Tibetan Plateau. *Journal of Climate*, 26 (1), 206-214.

Bárdossy, A. and Das, T. (2008). Influence of rainfall observation network on model calibration and application. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12 (1), 77-89.

Bayramoğlu, E. (2013). Trabzon ilinde iklim değişikliğinin mevsimsel bitki su tüketimine etkisi: Penman-Monteith yöntemi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (2), 300-306.

Beven, K. (2001). How far can we go in distributed hydrological modelling? *Hydrology and Earth System Sciences* 5 (1), 1-12.

Beyazgül, M., Kayam, Y., and Engelsman, F. (2000). Estimation methods for crop water requirements in the Gediz Basin of western Turkey. *Journal of Hydrology*, 229(1-2), 19-26.

Blaney, H. F. and Criddle, W. D. (1950). *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data*. Washington, D.C.: U.S. Soil Conservation Service.

Bogawski, P. and Bednorz, E. (2014). Comparison and validation of selected evapotranspiration models for conditions in Poland (Central Europe). *Water Resources Management*, 28 (14), 5021-5038.

Caldwell, P. V., Kennen, J. G., Sun, G., Kiang, J. E., Butcher, J. B., Eddy, M. C., et al. (2015). A comparison of hydrologic models for ecological flows and water availability. *Ecohydrology*, 8 (8), 1525-1546.

Coulibaly, P., Anctil, F., Aravena, R. and Bobée, B. (2001). Artificial neural network modeling of water table depth fluctuations. *Water Resources Research*, 37 (4), 885-896.

Daliakopoulos, I. N., Coulibaly, P. and Tsanis, I. K. (2005). Groundwater level forecasting using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 309 (1-4), 229-240.

Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., et al. (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 553-597.

Dessu, S. B. and Melesse, A. M. (2012). Modelling the rainfall-runoff process of the Mara River basin using the soil and water assessment tool. *Hydrological Processes*, 26 (26), 4038-4049.

Fowler, H. J., Kilsby, C. G. and Stunell, J. (2007). Modelling the impacts of projected future climate change on water resources in north-west England. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (3), 1115-1126.

Gavilán, P., Berengena, J. and Allen, R. G. (2007). Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman–Monteith reference ET estimates in semiarid regions. *Agricultural Water Management*, 89 (3), 275-286.

Günel, N. (1995). Gediz havzasının iklimi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 30, 67–96.

Hamon, W. R. (1961). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers*, 87 (3), 107–120.

Hargreaves, G. H. and Allen, R. G. (2003). History and evaluation of hargreaves evapotranspiration equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129 (1), 53-63.

Hargreaves, G. H. and Samani, Z. A. (1982). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108 (3), 225–230.

Heydari, M. M., Aghamajidi, R., Beygipoor, G. and Heydari, M. (2014). Comparison and evaluation of 38 equations for estimating reference evapotranspiration in an arid region. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23 (8A), 1985–1996.

Hughes, D. A. (2004). Incorporating groundwater recharge and discharge functions into an existing monthly rainfall–runoff model. *Hydrological Sciences Journal*, 49(2), 297-311.

Irmak, S., Irmak, A., Allen, R. G. and Jones, J. W. (2003). Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129 (5), 336-347.

Itenfisu, D., Elliott, R. L., Allen, R. G. and Walter, I. A. (2003). Comparison of reference evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effort. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129 (6), 440-448.

Jain, S. K., Nayak, P. C. and Sudheer, K. P. (2008). Models for estimating evapotranspiration using artificial neural networks, and their physical interpretation. *Hydrological Processes*, 22 (13), 2225-2234.

Jensen, M. E. and Haise, H. R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 89, 15-41.

Kannan, N., White, S., Worrall, F. and Whelan, M. (2007). Sensitivity analysis and identification of the best evapotranspiration and runoff options for hydrological modelling in SWAT-2000. *Journal of Hydrology*, 332 (3-4), 456-466.

Kellner, E. (2001). Surface energy fluxes and control of evapotranspiration from a Swedish Sphagnum mire. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110 (2), 101-123.

Kingston, D. G., Todd, M. C., Taylor, R. G., Thompson, J. R., and Arnell, N. W. (2009). Uncertainty in the estimation of potential evapotranspiration under climate change. *Geophysical Research Letters*, 36(20),1-6.

Koç, A. ve Güner, Ü. (2005). Mevcut sulama projelerinin FAO kriterleriyle yeniden değerlendirilmesi: Tavas Ovası örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9, 93-106.

Levenberg, K. (1944). A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Quarterly of Applied Mathematics*, 2 (2), 164-168.

Lhomme, J. P. and Moussa, R. (2016). Matching the Budyko functions with the complementary evaporation relationship: consequences for the drying power of the air and the Priestley–Taylor coefficient. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20 (12), 4857-4865.

Li, S., Xiong, L., Li, H., Leung, L. R. and Demissie, Y. (2015). Attributing runoff changes to climate variability and human activities: Uncertainty analysis using four monthly water balance models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30 (1), 251-269.

Linacre, E. T. (1977). A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, 18 (6), 409-424.

Lu, J., Sun, G., McNulty, S. G. and Amatya, D. M. (2005). A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 41 (3), 621-633.

Makkink, G. F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineering*, 11 (3), 277-288.

Marquardt, D. W. (1963). An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11 (2), 431-441.

McGuinness, J. L. and Bordne, E. F. (1972). A comparison of lysimeter derived potential evapotranspiration with computed values. *Technical Bulletin 1452, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture*, Washington, DC.

Mckillop, R., Kouwen, N. and Soulis, E. D. (1999). Modeling the rainfall-runoff response of a headwater wetland. *Water Resources Research*, 35 (4), 1165-1177.

Monteith, J. L. (1965). Evaporation and the environment. In the state and movement of water in living organisms. *Proceedings of the 19th symposium, society of experimental biology, society for experimental biology*, Cambridge University Press, London, UK.

Mooney, P. A., Mulligan, F. J. and Fealy, R. (2011). Comparison of ERA-40, ERA-Interim and NCEP/NCAR reanalysis data with observed surface air temperatures over Ireland. *International Journal of Climatology*, 31 (4), 545-557.

Moriasi, 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.

Mutluer, M. (1996). Orta Gediz havzasında yerçekilleri ve anamateryalinin tarım faaliyetleri üzerine etkisi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 9, 267-282.

Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part 1: A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282–290.

Nyenje, P. M. and Batelaan, O. (2009). Estimating the effects of climate change on groundwater recharge and baseflow in the upper Ssezibwa catchment, Uganda. *Hydrological Sciences Journal*, 54 (4), 713-726.

Okkan, U, Serbeş, Z.A. ve Gedik, N. (2018). MATLAB ile Levenberg-Marquardt algoritması tabanlı YSA uygulaması: aylık yağış-akış modellemesi örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9 (1), 351-362.

Okkan, U. (2013). İklim değişikliğinin akarsu akışları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 364.

Okkan, U. (2015). Dinamik su bütçesi modeli. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17 (1), 70-82.

Okkan, U. ve İnan, G. (2015). Gediz Havzasında gözlenen ve re-analiz veri setlerinden elde edilen yağış ve sıcaklık verilerine ait eğilimlerin 1980-2010 referans iklim dönemi için karşılaştırılması. *DSİ Teknik Bülteni*, 119, 10-27.

Okkan, U. and Fistikoglu, O. (2014). Evaluating climate change effects on runoff by statistical downscaling and hydrological model GR2M. *Theoretical and Applied Climatology*, 117 (1), 343–361.

Okkan, U. and Kirdemir, U. (2018). Investigation of the behavior of an agricultural-operated dam reservoir under RCP scenarios of AR5-IPCC. *Water Resources Management*, 32 (8), 2847-2866.

Oudin, L., Michel, C. and Anctil, F. (2005a). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 1 - Can rainfall-runoff models effectively handle detailed potential evapotranspiration inputs? *Journal of Hydrology*, 303 (1-4), 275-289.

Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F. and Loumagne, C. (2005b). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model? Part 2 - Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 303 (1-4), 290-306.

Ozkul, S. (2009). Assessment of climate change effects in Aegean river basins: The case of Gediz and Buyuk Menderes Basins. *Climatic Change*, 97(1-2), 253-283.

Pandey, P. K., Dabral, P. P. and Pandey, V. (2016). Evaluation of reference evapotranspiration methods for the northeastern region of India. *International Soil and Water Conservation Research*, 4 (1), 52-63.

Paturel, J., Servat, E. and Vassiliadis, A. (1995). Sensitivity of conceptual rainfall-runoff algorithms to errors in input data-case of the GR2M model. *Journal of Hydrology*, 168 (1-4), 111-125.

Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 193, 120-145.

Perrin, C., Michel, C., and Andréassian, V. (2001). Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments. *Journal of Hydrology*, 242(3-4), 275-301.

Perrin, C., Michel, C., and Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279(1-4), 275-289.

Ponce, V. M. (1989). *Engineering Hydrology: Principles and Practices*. Englewood Cliffs, New Jersey: Pearson College Div.

Priestley, C. H. B. and Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat fluxes and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review* 100, 81–92.

Rosenberry, D. O., Stannard, D. I., Winter, T. C. and Martinez, M. L. (2004). Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a prairie wetland, Cottonwood Lake Area, North Dakota, USA. *Wetlands*, 24 (3), 483-497.

Singh, V. P. and Xu, C. (1997). Evaluation and generalization of 13 mass-transfer equations for determining free water evaporation. *Hydrological Processes*, 11 (3), 311-323.

Tabari, H., Grismer, M. E. and Trajkovic, S. (2013). Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31 (2), 107-117.

Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Soil Science*, 66 (1), 77.

Vandewiele, G. L., Xu, C. and Huybrechts, W. (1991). Regionalisation of physically-based water balance models in Belgium. Application to ungauged catchments. *Water Resources Management*, 5 (3-4), 199-208.

Wang, X., Melesse, A. M. and Yang, W. (2006). Influences of potential evapotranspiration estimation methods on SWAT's hydrologic simulation in a Northwestern Minnesota Watershed. *Transactions of the ASABE*, 49 (6), 1755-1771.

Xu, C. and Singh, V. P. (1998). Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods. *Hydrological Processes*, 12 (3), 429-442.

Xu, C. and Singh, V. P. (2000). Evaluation and generalization of radiation-based methods for calculating evaporation. *Hydrological Processes*, 14 (2), 339-349.

Xu, C. and Singh, V. P. (2001). Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. *Hydrological Processes*, 15 (2), 305-319.

Xu, C. and Singh, V. P. (2002). Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Water Resources Management*, 16 (3), 197-219.

Xu, C. and Vandewiele, G. (1995). Parsimonious monthly rainfall-runoff models for humid basins with different input requirements. *Advances in Water Resources*, 18 (1), 39-48.

Xystrakis, F. and Matzarakis, A. (2011). Evaluation of 13 empirical reference potential evapotranspiration equations on the island of Crete in Southern Greece. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137 (4), 211-222.

Zhang, L., Potter, N., Hickel, K., Zhang, Y. and Shao, Q. (2008). Water balance modeling over variable time scales based on the Budyko framework – Model development and testing. *Journal of Hydrology*, 360 (1-4), 117-131.

