



Gördes Alt Havzası Akışlarının Modellenmesinde Era5-Land Verilerinin Performans Değerlendirmesi

Performance Evaluation of Era5-Land Data for Modeling Gördes Basin Flows

Destina Dilan Ekinci^{1*}, Okan Fıstıkoğlu²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, destinadilan.ekinci@ogr.deu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6794-6373>

² Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, okan.fistikoglu@deu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-1563>

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

Makale Geçmişi:

Geliş 15 Temmuz 2023
Revizyon 28 Ağustos 2023
Kabul 1 Eylül 2023
Online 30 Eylül 2023

Anahtar Kelimeler:

Era5-Land, Abed Modeli, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Gördes Alt Havzası

İklim değişikliğinin akarsu akımları üzerindeki etkilerinin hidrolojik modeller yardımıyla belirlenmesinde küresel atmosferik veri setlerinden sıklıkla faydalanılmaktadır. Sunulan çalışmada, Ege bölgesinde yer alan Gördes Alt Havzası akımlarının hem küresel veri setleri hem de yerel istasyon verileri ile akışlarının modellenmesi ve bu model sonuçları dikkate alınarak performansın değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Küresel veri seti olarak ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) tarafından sunulan 1959-2022 yılları arasında veri sağlayan ERA5 Land veri seti ve hidrolojik model olarak da ABCD aylık yağış akış modeli kullanılmıştır. Model performansını değerlendirmek için Nash-Shutcliffe performans fonksiyonu seçilmiş olup optimum model parametrelerin tahmini için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması (PSO) kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular ERA5 Land veri setinin Gördes Alt Havzası'nın aylık akımlarının modellenmesinde havzanın hidrolojik özelliklerini başarılı bir şekilde yansıttığı ve bu veri setini kullanmanın modelleme çalışmalarında kolaylaştırıcı olacağı gösterilmiştir.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 15 July 2023
Received in revised form 28 August 2023
Accepted 1 September 2023
Available online 30 September 2023

Keywords:

Era5-Land, Abed Model, Particle Swarm Optimization, Gordes Basin

Global atmospheric data sets are frequently utilized in determining the effects of climate change on river flows with the help of hydrological models. In the present study, it is aimed to model the flows of Gördes Basin, located in the Aegean region, with both global data sets and local station data and to evaluate the performance of these model results. The ERA5 Land dataset, which provides data between 1959 and 2022 provided by ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), was used as the global dataset and the ABCD monthly rainfall-runoff model was used as the hydrological model. Nash-Shutcliffe performance function was selected to evaluate the model performance and Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO) was used to estimate the optimal model parameters. The findings of the study show that the ERA5 Land dataset successfully reflects the hydrological characteristics of the basin in modeling the monthly flows of Gordes Basin and that using this dataset will facilitate modeling studies.

Doi: 10.24012/dumf.1327255

* Sorumlu Yazar

GİRİŞ

Tarihsel hidrometeorolojik gözlemler insan nüfusundaki artışın, kentsel büyümenin ve iklim değişiminin temiz su kaynakları üzerindeki baskıları arttırdığı, su miktarının ve niceliğinin azalması nedeniyle hem kırsalda yaşayan nüfus için hem de alternatif su kaynaklarına ulaşımı güç olan kentsel nüfus için endişe verici bir durumun oluştuğunu göstermektedir [1]. Ayrıca toprak yapısının bozulması, erozyon şiddeti ve toprak verimliliğinin düşmesi de söz konusu olumsuz durumun şiddetlenmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda tekrarlayan gıda güvenliği sorunları gibi toplum için ciddi sonuçlar doğurabilecek durumlar ortaya çıkmaktadır [2]. Bu noktada hidrometeorolojik süreçlerin doğru anlaşılması, sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük önem arz etmektedir. İklim değişikliği veya arazi kullanımındaki değişimler gibi küresel ya da yerel ölçekte yaşanan değişiklikler nedeniyle, akarsu havzalarının gelecek dönemlerdeki hidrolojik davranışlarını tahmin edebilmek için hidrolojik model kullanımı zorunlu hale gelmektedir.

Hidrolojik modeller, su kaynaklarının yönetimi ve su döngüsünün anlaşılması için geliştirilmiş önemli araçlardır. Modelleme yaklaşımı, yağış, buharlaşma, sızma, yüzeysel akış ve yeraltı suyu akışı gibi havza çapında gerçekleşen hidrolojik süreçlerin davranışlarını analiz ederek bunları belli bir ölçek dahilinde taklit eden basitleştirilmiş denklemlere dayanmaktadır. Hidrolojik modelleme, su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sınanması, su kalitesinin ve niceliğinin tahmin edilmesi, iklim değişikliğinin hidrolojik sistemlere etkilerinin değerlendirilmesi gibi birçok alanda su kaynakları araştırmacıları ve planlamacılarına önemli katkılar sunmaktadır. Literatürde, su havzalarında gerçekleşen hidrolojik çevrimi modelleyen, zaman ve mekân çözünürlüğü farklı, bünyelerinde muhtelif denklemler ve parametreler barındıran çok çeşitli modeller yer almaktadır [3]. Uygun modelin seçiminde en az parametre ile en tutarlı sonuçlar üreten tutumlu modeller belirleyici olmaktadır. Ayrıca bu modellerin veri ihtiyacı ve uygulama kolaylığı da model seçiminde önemli bir kriteri oluşturmaktadır [4].

Modellemenin başarılı olması için modelin doğru kurulmasının yanı sıra kullanılan verilerin havzanın hidrometeorolojik özelliklerini en iyi şekilde yansıtmaları gerekmektedir. Bu nedenle modelleme çalışmalarında genellikle yerel hidrometeorolojik istasyon gözlemlerinden yararlanılmaktadır. Ancak bu istasyon verilerine erişim bazen zor olabildiği gibi bazen de çeşitli nedenlerden ötürü eksik ya da hatalı veriler yer alabilmektedir. Son yıllarda erişimin daha kolay olduğu ve eksik verilerin yer almadığı küresel veri setlerinin modelleme çalışmalarında kullanımı yaygınlaşmaktadır. Söz konusu veri setleri, istasyon gözlemleri, uydu görüntüleri ve hidrometeorolojik model çıktıları gibi pek çok farklı kaynaktan elde edilen verinin küresel ölçekte tutarlı hale getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Öte yandan bazı durumlarda bu küresel veri setleri, çalışma alanının hidrometeorolojik koşullarını tam olarak temsil edememekte, dolayısıyla doğrudan kullanımı iyi sonuçlar vermemektedir [5]. Bu nedenle seçilen küresel veri setinin çalışma bölgesini yeterli doğruluk ve çözünürlükte temsil

edebildiğinin mutlaka sınanması gerekmektedir. Günümüzde farklı kaynaklardan sağlanan birçok küresel veri seti mevcuttur. Bu veri setlerinin arasında, oluşturulurken kullanılan interpolasyon teknikleri ve istasyon sayılarından kaynaklı farklılıkları bulunmaktadır [6]. Modelleme çalışmalarında seçilen havza ve model için en iyi performansı elde edebilmek adına, kullanılan küresel veri setlerinin uygunluğunun iyi değerlendirilmesi gerekmektedir [7]. Araştırmacılar tarafından bu küresel veri setlerinin istatistiksel analizleri ve farklı çalışma alanları için uygunluğunun tespiti üzerine kurgulanmış birçok çalışma mevcuttur [8]. Yapılan çalışmalar, küresel veri setleri arasından European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) tarafından sunulan ERA-Interim en iyi performans gösteren veri setleri arasında olduğunu göstermiştir [9]. Güncel çalışmalarda ise ECMWF tarafından sağlanan veri setlerinden güncel olan ERA5 ve ERA5-Land veri setlerinin, ERA5-Interim veri setine oranla daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir [10] [11].

Sunulan çalışmada, ERA tipi küresel hidrometeorolojik veri setinin Gediz Havzası'nda yer alan Gördes Alt Havzası'nın aylık akımlarının modellenmesinde kullanılarak, veri setinin zaman ve mekân tutarlılığı ile bölgesel temsiliyetinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ECMWF tarafından sağlanan, çözünürlük açısından European ReAnalysis (ERA5)'in geliştirilmiş bir versiyonu olan yaklaşık 9 km çözünürlüklü ERA5-Land arazi yüzeyi veri seti kullanılmıştır. Modelleme çalışmalarında arazi yüzeyi, su ve enerji akımlarının bütçe hesaplarının yapıldığı önemli bir biriktirme elemanıdır [12]. Bu nedenle küresel çapta ve yüksek çözünürlükte arazi yüzeyi ile hidrometeorolojik akımların belirlenmesi ve kullanıma sunulması hidrolojik modelleme çalışmalarına önemli katkılar sunmaktadır.

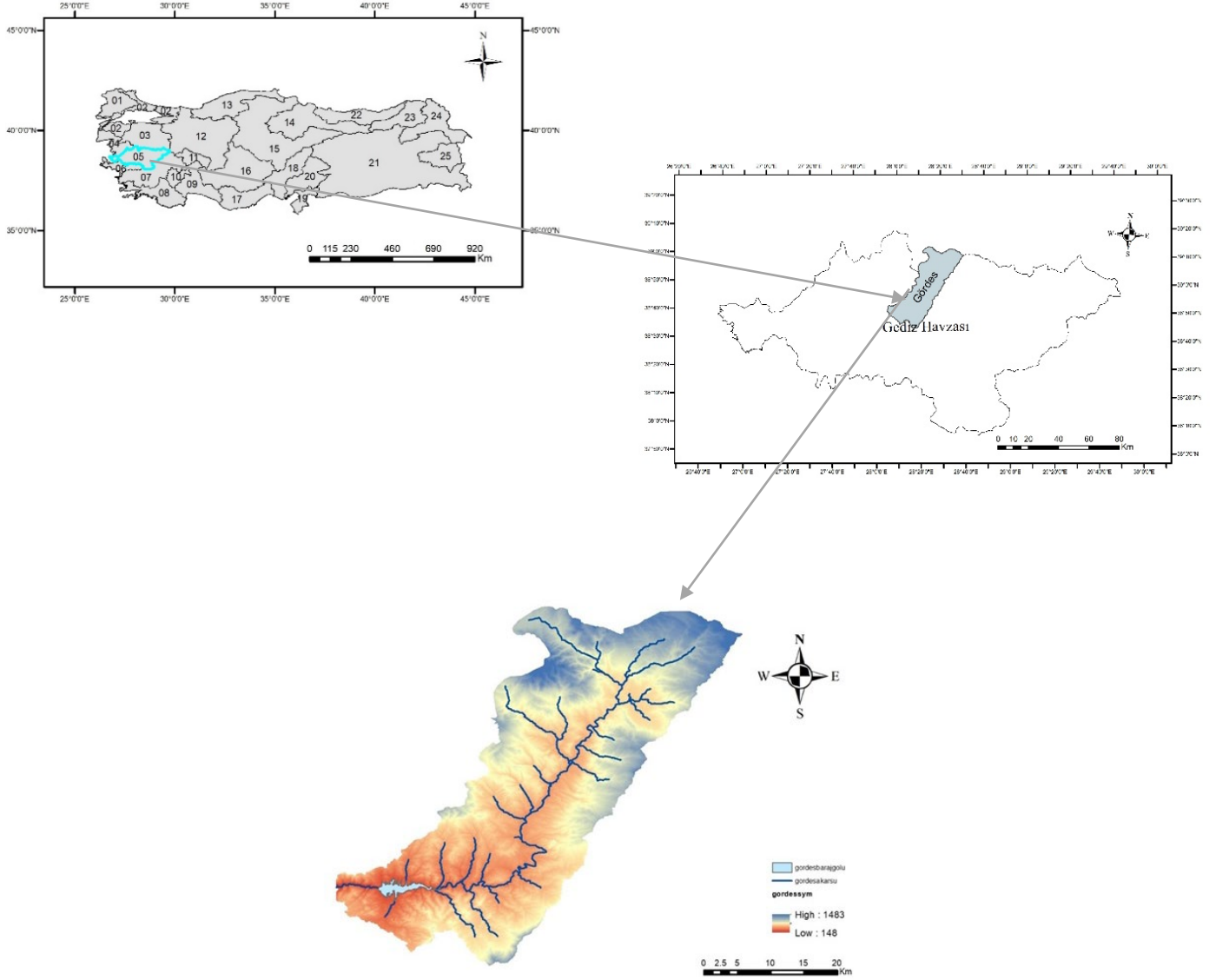
Çalışma kapsamında aylık yağış-akış modeli olarak ABCD modeli kullanılmıştır. Gördes Alt Havzası'nın aylık akımlarının modellenmesinde hem yerel istasyon gözlemleri hem de ERA5-Land verileri kullanılmış olup her iki veri grubu için model girdileri, model parametreleri ve model akımları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı ve Veriler

Türkiye'de toplam 25 adet akarsu havzası bulunmakta olup her birinde bulunduğu konum ve topografya itibarıyla farklı iklim özellikleri görülmektedir [8]. Uygulama alanı, Türkiye'nin batısında yer alan Gediz Havzası'nın bir alt havzası olup 1045 km² drenaj alanına sahip olan Gördes Alt Havzası'nı kapsamaktadır (Şekil 1). Havza çıkışında yer alan Gördes barajı, İzmir şehrine 63 milyon m³/yıl ilave su temini ve çevredeki sulama alanlarına ise 72 milyon m³/yıl sulama suyu temini için tasarlanmıştır [13].

Şekil 1'de Gördes Havzası'na ait sayısal yükselt modeli verilmiş olup modelde en yüksek (high) ve en düşük (low) yükselteler gösterilmektedir.



Şekil 1. Gördes Alt Havzası sayısal yükselti modeli

Meteoroloji Verileri

Havza üzerinde aylık yağış ve sıcaklık verilerini ölçen yerel istasyonlar Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilmektedir. Bu istasyonlar sırasıyla 17746-Demirci, 5273-Gölmarmara, 4930-Gördes ve 5278-Köprübaşı istasyonlarıdır. Havza çıkış akımları ise Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen D05A028 nolu akım gözlem istasyonu tarafından izlenmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan meteoroloji istasyonlarının alansal ağırlıkları Thiessen Poligonları Yöntemi ile belirlenmiş (Şekil 2), alansal ortalama yağış (P), ortalama sıcaklık (Tort), minimum sıcaklık (Tmin) ve maksimum sıcaklık (Tmax) verileri, 1962-1993 su yılı dönemleri için derlenmiştir.

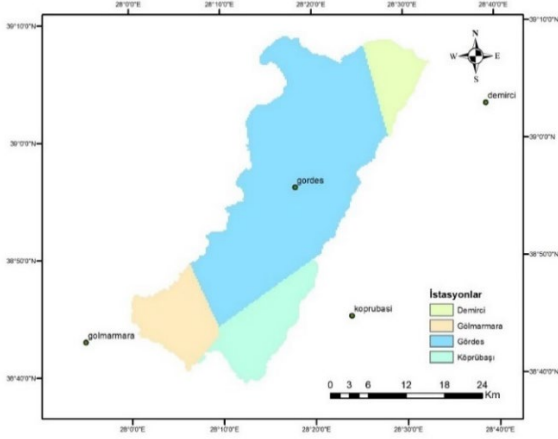
Hidrolojik modellerin en önemli girdilerinden biri de potansiyel evapotranspirasyondur (PET). Bu değerlerin

ölçümü mümkün olmamakla birlikte PET değerlerinin doğru tahminlenmesi model performansı açısından önem arz etmektedir.

Literatürde PET değerlerinin hesaplanması için önerilmiş birçok yöntem mevcuttur. Okkan, U., & Kıymaz, H. (2020) çalışmasında Penman-Monteith, Hargreaves, Blaney-Criddle, McGuinness-Bordne, Hamon gibi 21 adet PET hesap yöntemi ile Gediz Havzası'nda yer alan farklı akarsu kollarının PET değerleri belirlenmiş, bu değerler kavramsal Dinamik Su Bütçesi Modeli girdisi olarak kullanılarak PET hesap yöntemlerinin performansları değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda radyasyon tabanlı McG-Bor yöntemi diğer yöntemlere kıyasla daha tutarlı sonuç vermiştir. Ancak bu yöntemin radyasyon tabanlı olması ve ülkemizde radyasyon verisi ölçümünün mümkün olmamasından ötürü yakın sonuç veren sıcaklık tabanlı HamI eşitliği önerilmiştir.

Literatüre bakıldığında, çalışma alanının iklim özelliklerine bağlı olarak PET hesap yöntemlerinin performanslarının değişkenlik gösterdiği, hangi ampirik formülün model sonuçlarının iyileştirilmesinde daha iyi performans sergileyeceği konusunda genel bir yargının bulunmadığı görülmektedir [14].

Yapılan çalışmada potansiyel evapotranspirasyon değerleri, radyasyon tabanlı Hargreaves Metodu [15] kullanılarak hesaplanmıştır. Bu metoda ait eşitliğin temel girdileri sıcaklık ve güneş radyasyon değerleridir.



Şekil 2. Gördes Alt Havzası Thiessen poligonları

Era5-Land Veri Seti

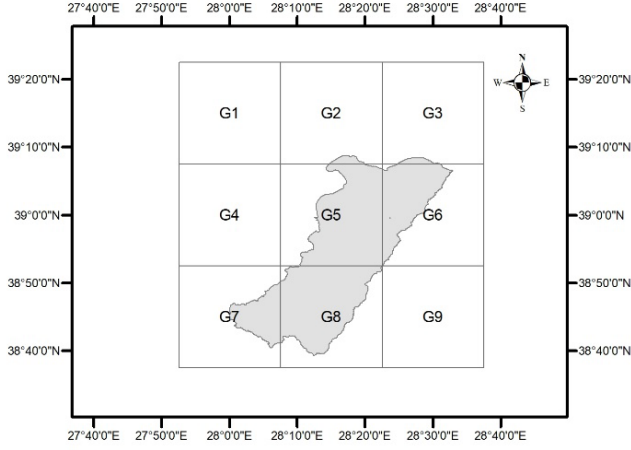
ECMWF tarafından sunulan Era5-Land veri seti, arazi yüzeyi ile ilgili bilgi akışı sağlayan bir yeniden analiz veri seti olup çözünürlük açısından ERA5'in geliştirilmiş bir versiyonudur. Elde edilen bu veri seti küresel ölçekte modellerin ve yer gözlemlerinin kombinasyonundan oluşmaktadır [16].

ERA5-Land verileri hazırlanırken, ERA5'te olduğu gibi göl yüzey alanı, göl derinliği, toprak türü ve bitki örtüsü, yüzey albedosu, yaprak alanı indeksi gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Bu veri seti, ERA5'te yüzeye en yakın seviye (seviye 137) için sunulan sıcaklık, özgül nem, rüzgâr hızı ve yüzey basıncından oluşan meteoroloji verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Ayrıca yaklaşık 31 km olan ERA5 çözünürlüğünden, yaklaşık 9 km olan ERA5-Land çözünürlüğüne geçiş için üçgen ağı dayalı bir lineer interpolasyon yöntemi kullanılmıştır [12].

ERA5-Land, 50 farklı değişken üreterek (Tablo1) birkaç on yıl boyunca yüzey seviyesinde su ve enerji döngülerinin tutarlı bir simülasyonunu sağlamaktadır. Veri seti 1950'den günümüze, 1 saatlik zamansal çözünürlükte hazırlanmış aylık ortalamaları içerir. Ayrıca, 0.1° x 0.1° yatay çözünürlükte, yüzey seviyesinden 2 m yükseklikten 289 cm toprak derinliğine kadar dikey kapsama alanına sahiptir.

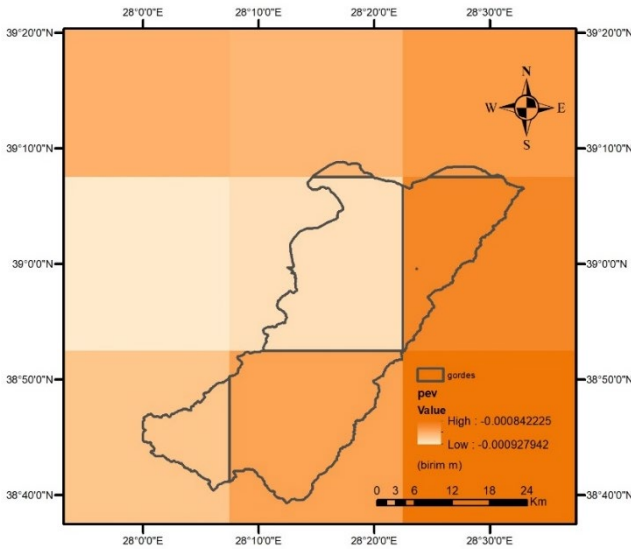
Tablo 1. ERA5-Land ile sunulan veri listesi

Atmosferik veriler	Birim	Era5-Land tarafından üretilen veriler	Birim
10m rüzgar u bileşeni	m s-1	2m çığ noktası sıcaklığı	K
10m rüzgar v-bileşeni	m s-1	2m sıcaklık	K
Yüzey Basıncı	Pa	Çıplak Toprak Buharlaşması	m Su Eşdeğeri
Yüzeysel Aşağı Yönlü Güneş Radyasyonu	J m-2	Okyanuslar Dışında Açık Su Yüzeylerinden Buharlaşma	m Su Eşdeğeri
Yüzeysel Aşağı Yönlü Termal Radyasyonu	J m-2	Kanopinin Tepesinden Buharlaşma	m Su Eşdeğeri
Toplam Yağış	m	Bitki Ortusunun Terlemesi ile Oluşan Buharlaşma	m Su Eşdeğeri
Yüzeysel Net Güneş Radyasyonu	J m-2	Tahmini Albedo	Boyutsuz
Yüzeysel Net Termal Radyasyon	J m-2	Göln Dıp Sıcaklığı	K
		Göl Buz Derinliği	m
		Göl Buz Sıcaklığı	K
		Göl Karışık Katman Derinliği	m
		Göl Karışık Katman Sıcaklığı	K
		Göl Şekil Faktörü	Boyutsuz
		Göl Toplam Katman Sıcaklığı	K
		Potansiyel Buharlaşma	m
		Akış	m
		Yüzey Rezervuarı İçeriği	m Su Eşdeğeri
		Yüzey Sıcaklığı	K
		Kar Albedo	Boyutsuz
		Kar Kaplaması	%
		Kar Yoğunluğu	kg m-3
		Kar Derinliği	m
		Kar Derinliği Su Eşdeğeri	m Su Eşdeğeri
		Kar Buharlaşması	m Su Eşdeğeri
		Kar Yağışı	m Su Eşdeğeri
		Kar Erimesi	m Su Eşdeğeri
		Toprak Sıcaklığı Seviyesi 1	K
		Toprak Sıcaklığı Seviyesi 2	K
		Toprak Sıcaklığı Seviyesi 3	K
		Toprak Sıcaklığı Seviyesi 4	K
		Yer Altı Akışı	m
		Yüzey Gizli Isı Akışı	J m-2
		Yüzeysel Akış	m
		Yüzey Duyulur Isı Akışı	J m-2
		Kar Tabakasının Sıcaklığı	K
		Toplam Buharlaşma	m Su Eşdeğeri
		Hacimsel Toprak Su Katmanı 1	m3 m-3
		Hacimsel Toprak Su Katmanı 2	m3 m-3
		Hacimsel Toprak Su Katmanı 3	m3 m-3
		Hacimsel Toprak Su Katmanı 4	m3 m-3
		Yaprak Alanı İndeksi, Yüksek Bitki Örtüsü	m2 m-2
		Yaprak Alanı İndeksi, Düşük Bitki Örtüsü	m2 m-2



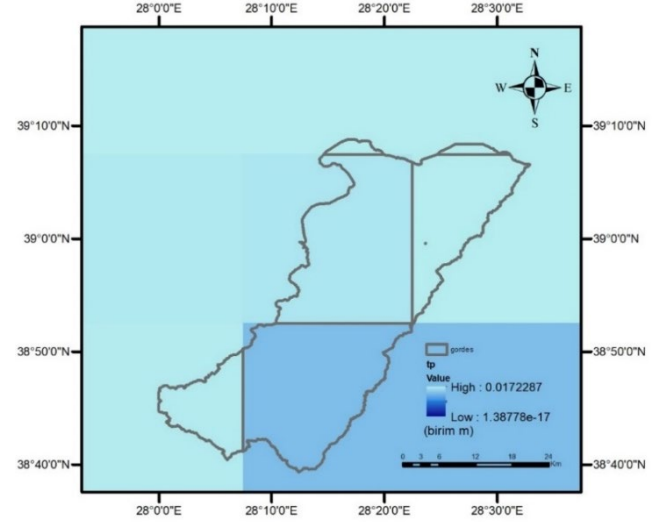
Şekil 3. Gördes Alt Havzası'nı kapsayan Era5-Land gridleri

Gördes Alt Havzası altı adet Era5-Land gridi içerisinde kalmaktadır (Şekil 3). Çalışma kapsamında kullanılan hidrolojik model girdileri aylık toplam yağış (Şekil 5) ve aylık potansiyel evapotranspirasyon (Şekil 4) olup bu veriler Copernicus tarafından sağlanan veri erişim platformu üzerinden temin edilmiştir. Mevcut ECMWF Entegre Tahmin Sistemi'ndeki potansiyel evapotranspirasyon (pev), bitki örtüsü parametrelerinin "ürünler/karma tarım" olarak belirlendiği ve "toprak neminden kaynaklanan basıncın olmadığı" varsayımıyla yüzey enerji dengesi hesaplamalarına dayanmaktadır. Potansiyel evapotranspirasyonun, sulama gereksinimlerinin bir tahminini sağlaması amaçlanmış olsa da kuru havada gerçekleşen çok güçlü buharlaşma nedeniyle, yöntem kurak koşullarda gerçekçi olmayan sonuçlar verebilmektedir [17].



Şekil 4. Gördes Alt Havzası'nı kapsayan Era5-Land potansiyel evapotranspirasyon gridleri

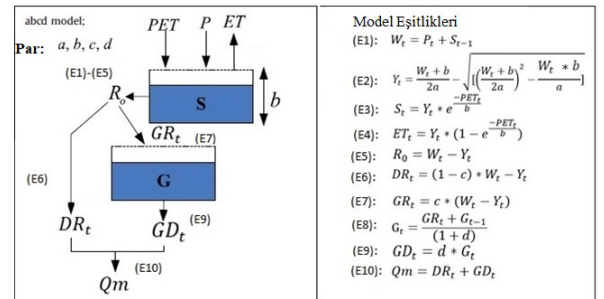
Era5-Land veri seti içerisinde toplam yağış (tp), Dünya yüzeyine düşen toplam yağmur ve kar olmak üzere birikmiş sıvı ve donmuş su olarak tanımlanır. Bu veri büyük ölçekli yağışlar ve konvektif yağışların toplamına eşit olup birimi metredir. Ancak sis, çiy veya Dünya yüzeyine inmeden önce atmosferde buharlaşan yağışı içermemektedir [17].



Şekil 5. Gördes Alt Havzası'nı kapsayan Era5-Land toplam yağış gridleri

Abcd Modeli

ABCD modeli, Thomas [18] tarafından ulusal su rezervinin tahmini için önerilmiş bir hidrolojik modeldir [19]. Model aylık toplam yağış ve aylık potansiyel evapotranspirasyon verilerini kullanarak model sonucunda aylık akış, zemin nemi, yeraltı suyu depolaması ve gerçekleşen evapotranspirasyon çıktıları üretilmektedir [20]. ABCD hidrolojik modelinin 4 parametresi bulunmaktadır. Modelin işleyiş şeması ve parametreleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. ABCD modelinin işleyiş mekanizması [21].

Model içerisinde yer alan W_t değişkeni toprakta mevcut olan kullanılabilir su miktarını temsil etmektedir. P_t yağışının gelmesi ile zeminde bir önceki ayda mevcut olan zemin nemi S_{t-1} 'e eklenir ve topraktaki mevcut kullanılabilir su miktarı elde edilmiş olur (Denklem 1).

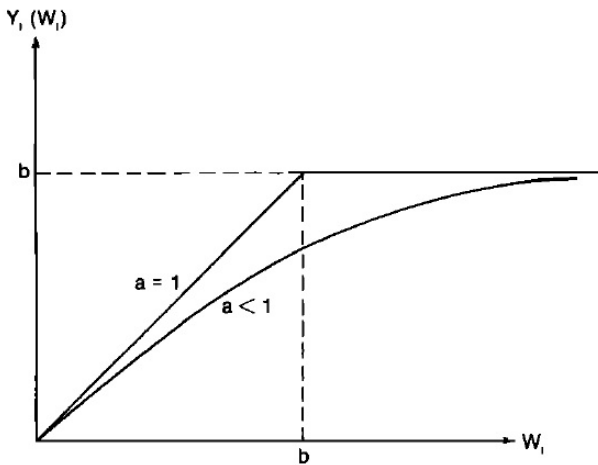
$$W_t = P_t + S_{t-1} \quad (1)$$

Model içerisinde tanımlanan Y değişkeni evaporasyon potansiyelini temsil etmekte olup a ve b parametreleri ile W değişkenine bağlı olarak tanımlanmasının yanı sıra aylık gerçekleşen evapotranspirasyon ve o ayki zemin neminin toplamı olarak da tanımlanabilmektedir (Denklem 2 ve Denklem 3).

$$Y_t = \frac{W_t + b}{2a} - \sqrt{\left[\left(\frac{W_t + b}{2a}\right)^2 - \frac{W_t * b}{a}\right]} \quad (2)$$

$$Y_t = ET_t + S_t \quad (3)$$

Denklem içerisinde yer alan a parametresi, zemin tamamen doymuş hale gelmeden önce akışın oluşma eğilimini ifade etmekte olup $0 < a \leq 1$ aralığında değer almaktadır [20]. Modelin diğer bir parametresi olan b parametresi ise evapotranspirasyon ve toprak nemi depolamasının üst limitini ifade etmektedir [22].



Şekil 7- ABCD modelinde Y ve W grafiği [22].

Y_t değişkeninin W_t ye bağlı olarak ifade edilen fonksiyonu incelendiğinde t periyodunda Y_t değişkeninin değerinin üst sınırının b parametresine eşit olduğu görülmektedir [22].

Şekil 7'deki grafikten de anlaşılacağı üzere a parametresinin 1'e eşit olduğu kabulü ile model çalıştırıldığında evaporasyon potansiyelinin (Y_t) aldığı en büyük değer toprağın üst katmanının su depolama kapasitesine, yani b parametresine eşit olmaktadır. Ancak a parametresinin 1'den küçük olduğu kabulü ile model çalıştırıldığı zaman evaporasyon potansiyeli hiçbir zaman b parametresine eşit olmamaktadır.

Model içerisinde tanımlanan S_t değişkeni zemin nemini temsil etmekte olup evapotranspirasyon potansiyeli (Y_t), b

parametresi ve aylık potansiyel evapotranspirasyona (PET_t) bağlı olarak ifade edilmektedir (Denklem 4).

$$S_t = Y_t * e^{-\frac{PET_t}{b}} \quad (4)$$

Gerçekleşen evapotranspirasyon ET_t , evapotranspirasyon potansiyelinden o ayki zemin neminin çıkartılması ile ifade edilmektedir (Denklem 5).

$$ET_t = Y_t * (1 - e^{-\frac{PET_t}{b}}) \quad (5)$$

R_0 akış için mevcut suyu ifade etmektedir. Toprakta bulunan sudan (W_t) evapotranspirasyon potansiyelinin (Y_t) çıkartılmasıyla elde edilir (Denklem 6).

$$R_0 = W_t - Y_t \quad (6)$$

Akış için mevcut olan suyun $1-c$ kadarı yüzeysel akışa geçmekte (DR_t) ve c kadarı ise yer altı suyunu (GR_t) beslemektedir (Denklem 7 ve Denklem 8).

$$DR_t = (1 - c) * W_t - Y_t \quad (7)$$

$$R_0 = W_t - Y_t \quad (8)$$

Yer altı suyu beslenimi sonucu yer altı su depolamasının yeni seviyesi aşağıdaki formülle ifade edilmektedir (Denklem 9) " G_{t-1} ", bir önceki ay yeraltında depolanan su miktarıdır.

$$G_t = \frac{GR_t + G_{t-1}}{(1 + d)} \quad (9)$$

Yer altında depolanan suyun (G_t) d kadarlık kısmı yer altında akışa geçerek toplam akışa dahil olmaktadır (Denklem 10).

$$GD_t = d * G_t \quad (10)$$

Yukarıdaki formüllerde verilen c parametresi yeraltı suyu geri beslenme katsayısı olarak ifade edilmekte olup $0 < c \leq 1$ aralığında bir değerdir. Model parametreleri arasında yer alan d parametresi ise yeraltı suyu akışı durgunluk sabiti olarak ifade edilmekte olup $0 < d \leq 1$ aralığında bir değerdir. Bu parametre modelin en hassas parametresi olup d parametresindeki minimal değişimler model sonucunda belirgin farklılıklar göstermektedir [23].

Model sonucu olarak elde edilmek istenen toplam akış ise yüzeysel akışın (DR_t) ve yeraltı suyu akışının (GD_t) toplamına eşittir (Denklem 11).

$$Qm_t = DR_t + GD_t \quad (11)$$

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritması

ABCD modelinin optimum parametreleri belirlenirken sezgisel bir optimizasyon algoritması olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. PSO, Eberhart ve Kennedy tarafından geliştirilmiş bir global optimizasyon yöntemidir [24]. Bu algoritma, sürüler halinde hareket etme kabiliyetine sahip olan hayvanların bu hareketi esnasında, besin arama ve tehlikelerden kaçınmak gibi yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için sergiledikleri davranış şekillerinden esinlenilerek geliştirilmiştir [25].

Algoritma çalıştırılırken ilk olarak rastgele atanmış bir başlangıç sürüsü tanımlanır (Denklem 12) ve bu sürü için bir amaç fonksiyonu belirlenir. Başlangıç sürüsünde, sürüye dahil olan her bir eleman bilinmeyen parametre adedi kadar sonuç üretmektedir [26].

$$x_{i,j} = x_j^{min} + rnd * [x_j^{max} - x_j^{min}] \quad (12)$$

$$i=1,2,\dots,npop, j=1,2,\dots,npar$$

npop; Topluluk (sürü) içerisindeki parçacık sayısı

npar; modelde kalibre edilmesi gereken parametre sayısı

rnd; 0~1 aralığında rastgele üretilmiş sayı

xjmin ve xjmax parametrelerin alt ve üst limitleri

Topluluktaki her bir parçacık eldeki problem için olası bir çözümü temsil eder [27]. Başlangıçta tüm parçacıkların hızları sıfır kabul edilir. Parçacıklar topluluk içerisindeki pozisyonlarını hız vektörü yardımı ile güncellerler (Denklem 13). Denklemde t iterasyon adımı, ω atalet, c ise ivmelenme katsayısı olup bu katsayı genellikle 2 değerini alır [28]. Yapılan çalışmalar sonucunda, ω atalet değerinin 0.8-1.2 aralığında seçilmesi durumunda PSO algoritmasının en iyi yakınsama hızına eriştiği belirlenmiştir [24].

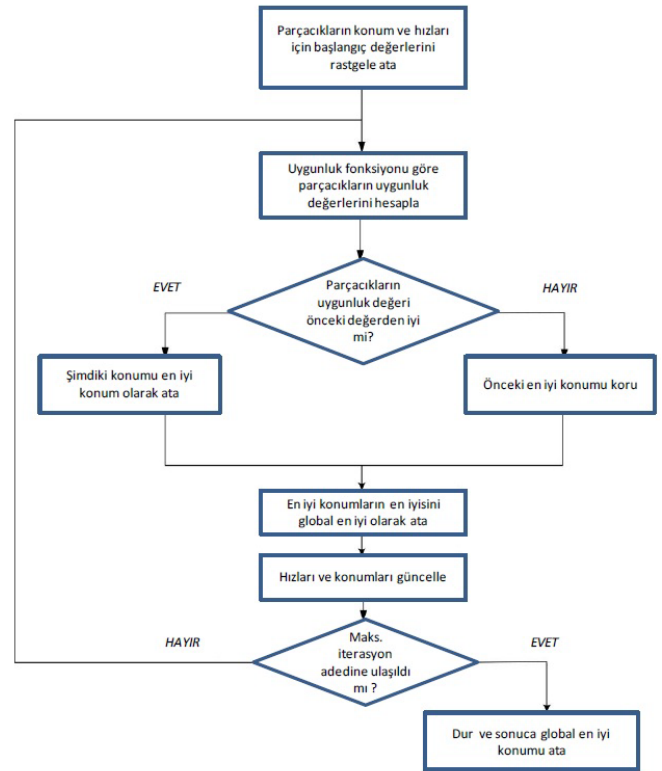
$$v_{i,j}(t+1) = \omega * v_{i,j}(t) + \quad (13)$$

$$rnd * c1 * (pb_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)) +$$

$$rnd * c2 * (gb_{i,j}(t) - x_{i,j}(t))$$

Bu pozisyonlardan en iyi amaç fonksiyonu değerini veren pozisyon "pb", bu pozisyonun amaç fonksiyonu değeri ise "gb" olarak tanımlanmaktadır [26]. Algoritma, tanımlanan her iterasyon adımında bir önceki adımın pb ve gb değerleri hafızada tutmakta ve bu değerleri söz konusu iterasyon adımının pozisyonlarına dahil ederek yeni pb ve gb değerlerini belirlemektedir.

Tanımlanan maksimum iterasyon sayısı kadar aynı işlem tekrarlanmaktadır [26]. PSO algoritmasının akış şeması Şekil 8'de verilmiştir.

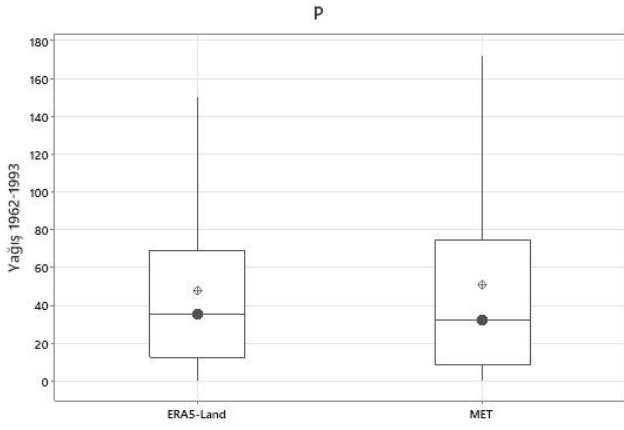


Şekil 8- PSO algoritması akış şeması [26].

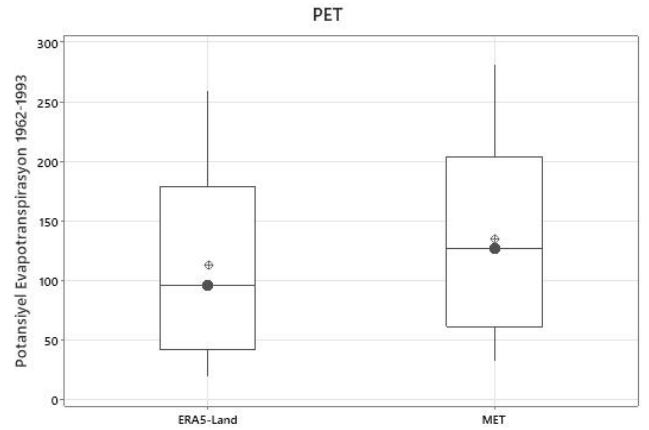
BULGULAR

Yapılan çalışma kapsamında yerel istasyon verileri ve ERA5-Land verileri kullanılmıştır. Bu veriler ile havzanın akımlarının modellenmesi için ABCD yağış-akış modeli, model kalibrasyonu ve modele ait parametrelerin optimum değerlerinin tespiti için ise Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimisation) algoritmasından yararlanılmıştır. Yukarıda detayları verilen ABCD modeli ve PSO algoritması MATLAB ortamında kodlanmıştır. PSO çalıştırılırken $c1=c2=2$ ve $\omega=0.8$ olarak tanımlanmıştır. Çalışma sonucunda her iki veri seti için de hem model girdileri hem de veri setlerinin performansı kıyaslanmıştır.

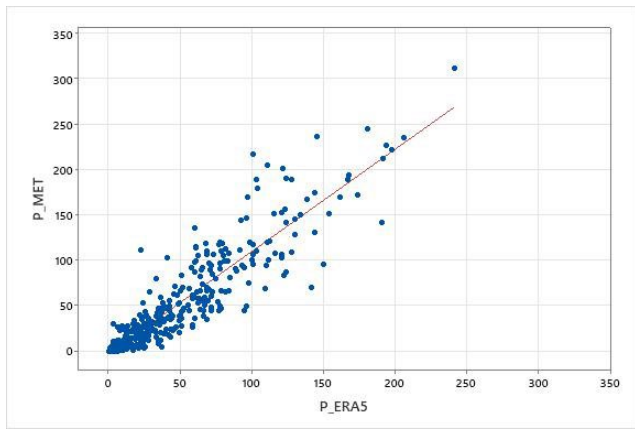
Veri setlerinden edinilen aylık toplam yağışlara ait box-plot grafiği Şekil 9'de, saçılım grafiği ise Şekil 10'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde gerek istasyon gerekse Era-Land verilerinin istatistiksel açıdan birbirine yakın diziler olduğu gözlenmektedir.



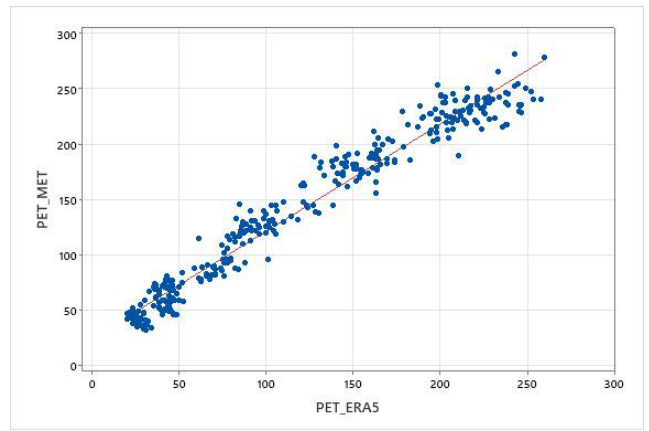
Şekil 9- ERA5-Land ve meteoroloji istasyonu yağışlarının box-plot grafiği



Şekil 11- Era5-Land ve Meteoroloji verileri ait PET değerlerinin box-plot grafiği



Şekil 10- Era5-Land ve meteoroloji istasyonu yağışlarının saçılım grafiği



Şekil 12- Era5-Land ve Meteoroloji verileri ait PET değerlerinin saçılım grafiği

Era5-Land veri setinden edinilen potansiyel evapotranspirasyon ve meteoroloji istasyonlarından edinilen sıcaklık verileri kullanılarak Hargreaves metodu ile hesaplanan potansiyel evapotranspirasyona ait box-plot grafiği Şekil 11'da, saçılım grafiği ise Şekil 12'de verilmiştir.

Bölüm 2.3 de Era5-Land veri setinde potansiyel evapotranspirasyonun(pev) nasıl belirlendiği verilmiştir. Meteoroloji verileri ile potansiyel evapotranspirasyonun belirlenmesinde kullanılan Hargreaves eşitliğinin girdileri sıcaklık ve güneş radyasyonu verileridir. Ülkemizde yağış ve sıcaklık verileri meteoroloji istasyonu ölçeğinde sağlanabilmektedir. Ancak güneş radyasyonu verileri için aynı durum mümkün olmamaktadır [14]. Bu nedenle Hargreaves eşitliğinde girdi olarak kullanılan radyasyon enleme bağılı olarak ifade edilen eşitlik sonucu belirlenmiştir [29]. Güneş radyasyonun bölgesel çapta ölçülmemesinden ötürü çalışma alanının temsilinde ölçülmüş yağış ve sıcaklık verilerine göre zayıf kalmaktadır. Bununla birlikte iki veri setinde potansiyel evapotranspirasyon verilerinin belirlendiği yöntemler farklı olduğundan bu verilerde yağış verilerine oranla istatistiksel olarak daha belirgin farklılık görülmüştür.

Çalışmada kullanılan hidrolojik modelin, çalışma alanının hidrolojik davranışını temsilindeki başarısını test etmek adına yerel istasyonlardan elde edilen meteoroloji verileri ve gözlenen akım verileri kullanılarak model akımları üretilmiştir. Model performansının değerlendirilmesinde Nash Sutcliffe katsayısı esas alınmıştır. Nash performans değeri 1'e yaklaştıkça model performansı iyileşmektedir (Tablo 2) [30]. Meteoroloji istasyonlarından sağlanan veriler kullanılarak elde edilen model sonucu Nash=0,916 performans değeri sağlanmış, sonuç olarak modelin Gördes Alt Havzası'ndaki aylık yağış-akış ilişkisini başarı ile temsil ettiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 2. Nash-Sutcliffe ve PBIAS performans derecelendirmesi [30].

Performans Değerlendirmesi	Nash-Sutcliffe (NS)	PBIAS (%)
Çok İyi	$0.75 < NS \leq 1$	$PBIAS < \pm 10$
İyi	$0.65 < NS \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Yeterli	$0.50 < NS \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
Yeterli Değil	$NS \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$

ERA5-Land veri setinden edinilen aylık toplam yağış (Pt) ve aylık potansiyel evapotranspirasyon (PETt) verileri içerisinde 1962-1993 yılları arasındaki 372 zaman serisi model girdisi olarak alınmış, ilk 186 veri kalibrasyon aşamasında, diğer 186 veri ise verifikasyon aşamasında kullanılmıştır. PSO algoritmasına ait kod içerisinde ABCD model kodu çalıştırılarak modele ait dört parametrenin en iyi performans sonucunu veren optimum değerleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak elde edilen model parametreleri Tablo 3’de, model performansları ise Tablo 4’de verilmiştir. Yapılan kontrollerle model kalibrasyon sürecinde, Okkan ve Kırdemir [20] çalışmasında da belirtildiği üzere modelin d parametresinin 0’a yakınsadığı durumlarda hata azalmaktadır. Bunun sonucunda PSO algoritmasında d parametresi 0.001 olarak tanımlandığında hatanın azaldığı gözlenmiş ve optimum model parametreleri belirlenmiştir.

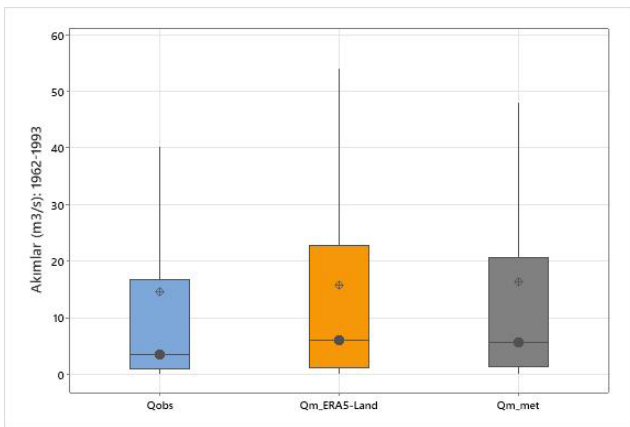
Tablo 3. Era5-Land ve Meteoroloji verilerine ait optimum parametreler

Parametreler	a	b	c	d	NS
ERA5-Land	0.934	218.48	0.173	0.001	0.721
Meteoroloji	0.975	352.51	0.133	0.001	0.916

Tablo 4. Kalibrasyon ve verifikasyon dönemi model performansları

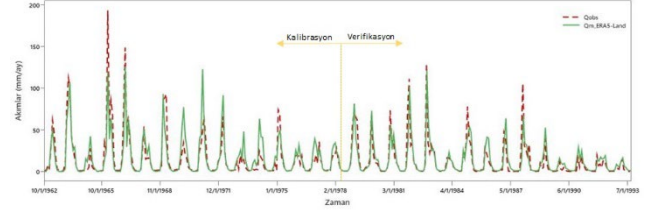
	RMSE (mm)	R2 (-)	NS (-)	MAE (-)	PBIAS (%)
Meteoroloji Cal	8.05	0.917	0.916	4.82	4.19
Meteoroloji Ver	8.450	0.869	0.838	4.870	17.82
ERA5-Land Cal	14.644	0.724	0.721	8.137	7.49
ERA5-Land Ver	8.757	0.826	0.825	4.743	4.82

Model sonucunda elde edilen akımların medyan ve kartil istatistiklerinin görsel olarak dağılımını gösterebilmek için bu akımlara ait box-plot grafiği Şekil 13 verilmiştir.

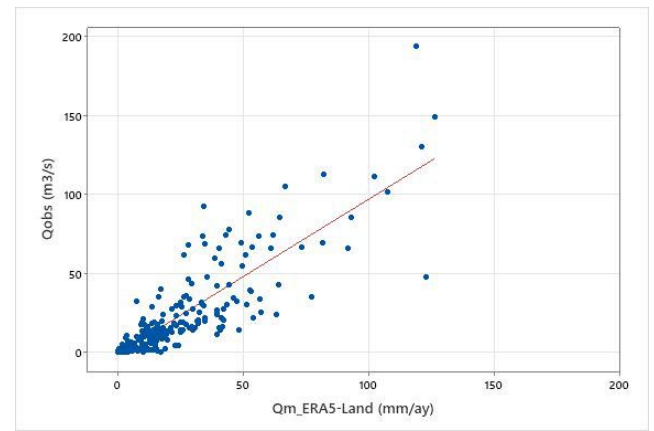


Şekil 13- Gözlemler ile model sonuçlarının box-plot grafiği

ERA5-Land verileri kullanılarak elde edilen model sonuçları ve gözlenmiş akımlara ait gidiş grafiği Şekil 14’de, saçılım grafiği ise Şekil 15’de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere Era5-Land verilerine dayalı model sonuçlarının gözlemlerle uyumlu olduğu görülmektedir.

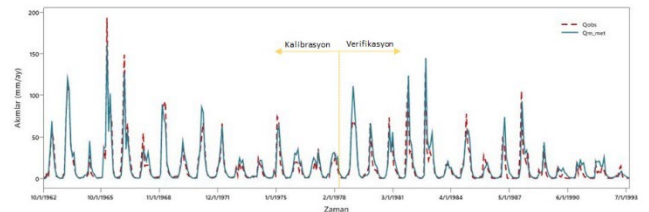


Şekil 14- Gözlenen akımlar ve Era5-Land verilerinden elde edilen serinin gidiş grafiği

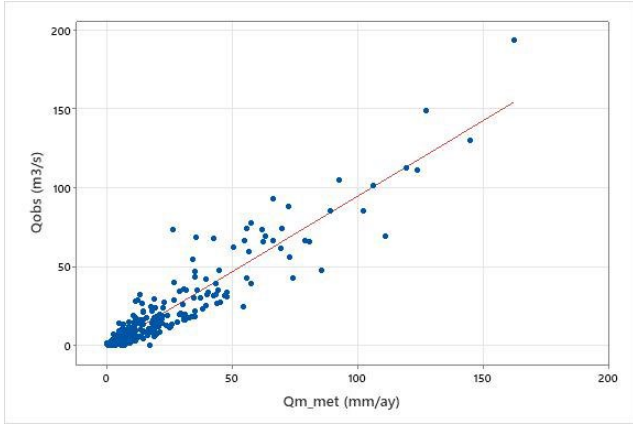


Şekil 15- Gözlemler ve ERA5-Land verilerinden elde edilen serinin saçılım grafiği

Meteoroloji verileri kullanılarak elde edilen model sonuçları ve gözlenmiş akımlara ait gidiş grafiği Şekil 16’de, saçılım grafiği ise Şekil 17’de verilmiştir. Meteoroloji verileri yerel istasyonlardan sağlandığı için model performans değeri oldukça yüksek olup model sonuçları gözlenmiş akımlar ile yüksek tutarlılıktadır.

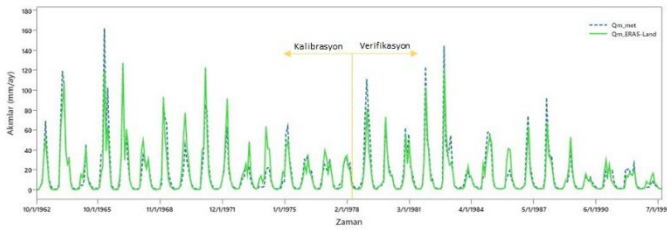


Şekil 16- Gözlenen akımlar ve meteoroloji verilerinden elde edilen serinin gidiş grafiği



Şekil 17- Gözlemler ve meteoroloji verilerinden elde edilen serinin saçılım grafiği

Şekil 18’de her iki veri seti ile elde edilen model sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 18- ERA5-Land ve meteoroloji verilerine ait model sonuçlarının gidiş grafiği

SONUÇ

Sunulan çalışmada, ABCD hidrolojik modelinin Gördes Alt Havzası’ndaki istatistiksel performansına bakıldığında, bu bölgenin aylık yağış-akış ilişkisini başarıyla temsil ettiği görülmektedir. Çalışmada kullanılan Era5-Land küresel veri setinden ve yerel istasyonlardan edinilen aylık toplam yağışlar kıyaslanmış, istatistiksel olarak benzer özelliklerde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Era5-Land küresel veri setinden elde edilen aylık potansiyel evapotranspirasyon verileri ve yerel istasyonlardan temin edilen sıcaklık verileri ile Hargreaves yöntemi kullanılarak hesaplanan potansiyel evapotranspirasyon değerleri kıyaslanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda potansiyel evapotranspirasyon verileri kıyaslandığında kartil ve medyan değerlerinde yağış verilerine oranla belirgin farklılıklar gözlenmiştir. Bu durumun potansiyel evapotranspirasyon ölçüm ve hesap tekniklerinin farklı olmasından ve Hargreaves yönteminde kullanılan güneş radyasyonu verilerinin ölçülememesinden kaynaklı bölge temsiliyetinde zayıf kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte bu veriler kullanılarak model kalibre edildiğinde nash değerinin 0.721 olduğu tespit edilmiş, bu değer model performans derecelendirmesinde iyi derece sınırında kaldığı

belirlenmiştir. Model sonuç üretirken performans fonksiyon değerini iyileştirmek için d parametresinin bölüm 2.4’de belirtilen alt sınıra dayandığı görülmüştür. Bu durumun güneş radyasyon verilerinin bölge temsiliyetinin zayıf olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çalışma sonucunda, hidrolojik model kalibrasyonunun potansiyel evapotranspirasyon değerlerindeki farklılıkların model sonuçlarına yansımalarına engel olduğu, dolayısıyla PET modellerinin hidrolojik modellemede akımlar üzerinde etkilerinin kısıtlı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte Era5-Land veri setine erişimin oldukça kolay olduğu ve bu verilerin bölgedeki havza özelliklerini yansıtmakta iyi performans sergilediği tespit edilmiş, Ege Bölgesi’nde yer alan havzaların hidrolojik süreçlerinin modellenmesinde bu veri setinin kullanılmasının uygulama kolaylığı sağlayacağı belirlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Uchenna, U. P., Lancia, M., Viaroli, S., Ugbaja, A. N., Galluzzi, M., & Zheng, C. “Groundwater sustainability in African Metropolises: Case study from Calabar, Nigeria”, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45, 101314, 2023.
- [2] Anteneh, Y., Alamirew, T., Zeleke, G., & Kassawmar, T. “Modeling runoff-sediment influx responses to alternative BMP interventions in the Gojeb watershed, Ethiopia, using the SWAT hydrological model” *Environmental Science and Pollution Research*, 30(9), 22816-22834, 2023
- [3] Singh, V. P., & Frevert, D. K. “Watershed modeling” In *World water & environmental resources congress 2003* (pp. 1-37), 2003.
- [4] Fıstıkoğlu, O., “Hidrolojik modeller” *Türkiye İnşaat Mühendisliği 15. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı* içinde (799-809). Ankara, 1999.
- [5] Fıstıkoğlu, O., & Okkan, U. “Statistical downscaling of monthly precipitation using NCEP/NCAR reanalysis data for Tahtalı River Basin in Turkey” *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(2), 157-164, 2011.
- [6] Girgin, G., & Şen, Ö. L. “GRIDDED PRECIPITATION DATASETS: HOW CONSISTENT ARE THEY FOR TURKEY, A COUNTRY WITH COMPLEX TOPOGRAPHY?” In *This 8th Atmospheric Sciences Symposium; ATMOS2017* built upon the series that began at Istanbul Technical University, Department of Meteorological Engineering in 1981. Subsequent meetings have been held in 1991; 2003; 2008; 2011; 2013 and 2015 in Istanbul, Turkey. And it is not just enough to produce scientific data for people but it is also necessary to process the data and share the results of those data as a source for students and a starting point for all., November 2017.
- [7] Yang, Y., Li, Q., Song, Z., Sun, W., & Dong, W. “A comparison of global surface temperature variability, extremes and warming trend using reanalysis datasets and CMST-Interim”, *International Journal of Climatology*, 42(11), 5609-5628, 2022.

- [7] Nacar, S., Kankal, M., & Okkan, U. "Evaluation of the suitability of NCEP/NCAR, ERA-Interim and, ERA5 reanalysis data sets for statistical downscaling in the Eastern Black Sea Basin, Turkey" *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(2), 39, 2022.
- [8] Essou, G. R., Sabarly, F., Lucas-Picher, P., Brissette, F., & Poulin, A. (2016). Can precipitation and temperature from meteorological reanalyses be used for hydrological modeling?. *Journal of Hydrometeorology*, 17(7), 1929-1950
- [9] Tarek, M., Brissette, F. P., & Arsenault, R. (2020). Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2527-2544.
- [10] Gomis-Cebolla, J., Rattayova, V., Salazar-Galán, S., & Francés, F. (2023). Evaluation of ERA5 and ERA5-Land reanalysis precipitation datasets over Spain (1951–2020). *Atmospheric Research*, 284, 106606
- [11] Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., ... & Thépaut, J. N. "ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications" *Earth System Science Data*, 13(9), 4349-4383, 2021
- [12] Okkan, U., Fistikoglu, O., Ersoy, Z. B., & Noori, A. T. "Investigating adaptive hedging policies for reservoir operation under climate change impacts" *Journal of Hydrology*, 619, 129286, 2023.
- [13] Okkan, U., & Kiyamaz, H. (2020). Questioning of empirically derived and locally calibrated potential evapotranspiration equations for a lumped water balance model. *Water Supply*, 20(3), 1141-1156.
- [14] Talebmorad, H., Ahmadnejad, A., Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., & Singh, V. P. "Evaluation of uncertainty in evapotranspiration values by FAO56-Penman-Monteith and Hargreaves-Samani methods" *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 10(2), 135-147, 2020.
- [15] Çaktu, Y. "Identifying impacts of climate change on water resources using CMIP6 simulations Havran basin case" Master's thesis, Middle East Technical University, 2022.
- [16] Sabater, J. M. "ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present" Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 10, 2019.
- [17] Thomas, H.A., "Improved methods for national water assessment: Final report" U.S. Geol. Surv. Water Resour. Contract WR15249270, 44.PP, 1981.
- [18] Wang, D., & Tang, Y. "A one-parameter Budyko model for water balance captures emergent behavior in Darwinian hydrologic models", *Geophysical Research Letters*, 41(13), 4569-4577, 2014.
- [19] OKKAN, U., & KIRDEMİR, U. "BAYES MODEL ORTALAMASI YÖNTEMİYLE KAVRAMSAL YAĞIŞ-AKIŞ MODELİ ÇIKTILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ" *DSI Technical Bulletin/DSI Teknik Bülteni*, (121), 2016.
- [20] Bai, P., Liu, X., & Liu, C. "Improving hydrological simulations by incorporating GRACE data for model calibration" *Journal of Hydrology*, 557, 291-304, 2018.
- [21] Alley, W. M. "Water balance models in one-month-ahead streamflow forecasting" *Water Resources Research*, 21(4), 597-606., 1985.
- [22] Al-Lafta, H. S., Al-Tawash, B. S., & Al-Baldawi, B. A. (2013). Applying the "abcd" monthly water balance model for some regions in the United States. *Advances in Physics Theories and Applications*, 25(1), 36-47
- [23] Bai, Q. "Analysis of particle swarm optimization algorithm" *Computer and information science*, 3(1), 180, 2010.
- [24] Eberhart, R., & Kennedy, J. "A new optimizer using particle swarm theory" In *MHS'95. Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science* (pp. 39-43). Ieee, October 1995.
- [25] Okkan, U., & Kırdemir, U. "Budyko yaklaşımına dayanan bir su bütçesi modeli ve parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile kalibrasyonu" *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2(1), 1-10, 2016.
- [26] Tayfur, G. "Modern optimization methods in water resources planning, engineering and management" *Water Resources Management*, 31, 3205-3233, 2017.
- [27] Afshar, A., Shojaei, N., & Sagharjooghifarahani, M. "Multiobjective calibration of reservoir water quality modeling using multiobjective particle swarm optimization (MOPSO)". *Water resources management*, 27, 1931-1947, 2013.
- [28] Yates, D., & Strzepek, K. M. (1994). Potential evapotranspiration methods and their impact on the assessment of river basin runoff under climate change.
- [29] Suryaningtyas, L. S., Ery, S., & Rispiningtati, R. "Hydrological analysis of TRMM (Tropical rainfall measuring mission) data in lesti sub watershed", *Civil and Environmental Science Journal Vol. III, No. 01*, pp. 018-030, 2020
- [30] Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations" *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900, 2007.