

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜRESEL HİDRO-METEOROLOJİK VERİ
SETLERİ İLE AYLIK AKIŞLARIN YAYILI
MODELLENMESİ**

Destina Dilan EKİNCİ

Eylül, 2024

İZMİR

**KÜRESEL HİDRO-METEOROLOJİK VERİ
SETLERİ İLE AYLIK AKIŞLARIN YAYILI
MODELLENMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

**İnşaat Mühendisliği, Anabilim Dalı, Hidrolik Hidroloji ve Su Kaynakları
Programı**

Destina Dilan EKİNCİ

Eylül, 2024

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

DESTİNA DİLAN EKİNCİ tarafından PROF.DR. OKAN FISTIKOĞLU yönetiminde hazırlanan “KÜRESEL HİDRO-METEOROLOJİK VERİ SETLERİ İLE AYLIK AKIŞLARIN YAYILI MODELLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Okan FISTIKOĞLU

Danışman

Prof.Dr.Sevinç ÖZKUL

Jüri Üyesi

Prof.Dr.Umut OKKAN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında ve tamamlanmasında emeği geçen, desteğini esirgemeyen birçok kişiye teŗekkür etmeyi bir borç bilirim.

Öncelikle, tez danışmanım Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU'na, akademik yolculuğum boyunca gösterdiği sabır, rehberlik ve bilgi birikimini paylaşarak tezimin Őekillenmesine katkıda bulunduğu için en içten teŗekkürlerimi sunarım. Değerli zamanını ve desteğini esirgemeyen hocamın yönlendirmeleri, bu çalışmanın temel taşlarından birini oluşturmuştur.

Ayrıca, akademik kariyerime devam etmem konusunda beni yüreklendiren, bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, bu yolda karşılaşılan her türlü problemin çözülebilir olduğuna beni inandıran, Prof. Dr. Umut OKKAN'a sonsuz teŗekkürlerimi sunarım. Kendisi, bu süreçte bana verdiği destekle, ilerlemem için büyük bir motivasyon kaynağı olmuştur.

Ailem, bu süreçte her zaman yanımda olmuş ve beni her daim desteklemiştir. Onların sevgisi, sabrı ve fedakârlığı olmadan bu noktaya gelmem mümkün olmazdı. En zor anlarımda bile yanımda oldukları için minnettarım.

Son olarak, bu uzun ve zorlu süreçte yanımda olan, moral ve motivasyon sağlayan dostlarıma da teŗekkür ederim. Onların arkadaşlığı ve desteği, bu yolculuğu daha anlamlı ve katlanılabilir kıldı.

Herkese en içten teŗekkürlerimle...

Destina Dilan EKİNCİ

KÜRESEL HİDRO-METEOROLOJİK VERİ SETLERİ İLE AYLIK AKIŞLARIN YAYILI MODELLENMESİ

ÖZ

Hidrolojik modeller; su kaynaklarının kullanımı ile ilgili stratejilerin belirlenmesi, iklim değişikliğinin akarsular üzerindeki etkilerin tespiti ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan aylık yağış akış modelleri, aylık yağış girdisini aylık akış çıktısına dönüştürmekte olup ortalanan bir yapıya sahiptirler. Ortalanmış modeller, veri sadeliği ve kullanım kolaylığı sağlamalarının yanı sıra havzanın karakteristik fiziksel özelliklerini dikkate almazlar. Bu durum su kaynakları planlama stratejilerinin geliştirilmesi için yapılan çalışmalarda, alansal olarak farklılık gösteren fiziksel unsurların dikkate alınmasını zorlaştırmaktadır. Sunulan çalışmada, ortalanan yapıda olan ABCD aylık yağış akış modeli raster katmanları çalıştırabilecek şekilde Matlab ortamında yeniden düzenlenmiştir. Model parametrelerinin belirlenmesinde etkili olan arazi kullanımı verileri, toprak yapısı verileri ve jeolojik formasyon verileri ise ArcMap ortamında bu modele entegre şekilde çalışabilecek raster katmanlar olarak düzenlenmiştir. Geliştirilen model, ArcMap ortamında hazırlanmış raster verileri kullanarak model sonucunu yayılı bir şekilde vermektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen model çalıştırılırken hem DSİ ve DMİ tarafından sağlanan meteoroloji istasyonu verileri hem de küresel hidrometeorolojik veri seti olan Era5 Land verileri kullanılmıştır. Böylelikle ortalanan ve yayılı model performanslarının değerlendirilmesinin yanı sıra Era5 Land veri setinin havza temsiliyeti de değerlendirilmiştir. Modelin optimum parametreleri, sezgisel bir optimizasyon algoritması olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile belirlenmiştir. Uygulama alanı olarak Türkiye'nin batısında yer alan Gediz Havzası'nın alt havzası olan Gördes Havza'sı seçilmiştir. Model performansı değerlendirilirken Nash Shutcliffe katsayısı dikkate alınmıştır.

Çalışma sonucunda, yayılı ABCD modelinin ortalanmış ABCD modeline göre daha iyi NASH değeri yakaladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte Gördes Havzası'nın aylık akımlarının modellenmesinde, Era5 Land küresel veri setinin havzanın hidrolojik özelliklerini etkili bir şekilde temsil etmesinden dolayı kolaylaştırıcı ve tercih edilebilir olduğu ifade edilmiştir.

Anahtar kelimeler: ABCD hidrolojik modeli, Ortalanmış model, Yayılı model, Era5 land, Gördes Havzası, PSO



DISTRIBUTED MONTHLY RUNOFF MODELING USING GLOBAL HYDRO-METEOROLOGICAL DATASETS

ABSTRACT

Hydrological models are frequently utilized in studies aimed at determining strategies for the management of water resources, assessing the impacts of climate change on rivers, and ensuring the sustainability of water resources. Monthly precipitation-runoff models used in these studies convert monthly precipitation inputs into monthly runoff outputs and are characterized by a lumped structure. Although lumped models provide simplicity in data usage and ease of application, they do not account for the characteristic physical features of the watershed. This limitation makes it challenging to consider spatially varying physical factors in studies that develop water resource planning strategies. In the presented study, the lumped ABCD monthly precipitation-runoff model was restructured in MATLAB to operate with raster layers. Land use data, soil structure data, and geological formation data, which influence the determination of model parameters, were prepared as raster layers in ArcMap that can be integrated into this model. The developed model provides a distributed output using raster data prepared in ArcMap. For model implementation, meteorological station data provided by the General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ) and the General Directorate of Meteorology (DMİ), as well as global hydrometeorological data from the ERA5 Land dataset, were used. In this way, both the performance of lumped and distributed models were evaluated, and the basin representation capability of the ERA5 Land dataset was assessed. The model's optimal parameters were determined using Particle Swarm Optimization (PSO), a heuristic optimization algorithm. The selected application area was the Gördes Basin, a sub-basin of the Gediz Basin located in western Turkey. In evaluating model performance, the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient was taken into consideration.

The results of the study indicated that the distributed ABCD model achieved a better Nash-Sutcliffe value compared to the lumped ABCD model. Furthermore, it was noted that the ERA5 Land global dataset is a facilitative and preferable option for modeling the monthly flows of the Gördes Basin, as it effectively represents the hydrological characteristics of the basin.

Keywords: ABCD hydrological model, Lumped model, Distributed model, Era5 land, Gördes basin, PSO



İÇİNDEKİLER

	Page
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ	xii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Amaç ve Kapsam	4
BÖLÜM İKİ - HİDROLOJİK MODEL KAVRAMI	6
BÖLÜM ÜÇ - ABCD YAĞIŞ AKIŞ MODELİNİN YAPISI VE ERA5 LAND VERİ SETİ.....	9
3.1 ABCD Yağış Akış Modeli	9
3.2 Era5 Land Veri Seti.....	13
BÖLÜM DÖRT – PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (PSO) ALGORİTMASI	16
BÖLÜM BEŞ – YAYILI ABCD MODEL PARAMETRELERİNİN VE MODEL GİRDİLERİNİN CBS ORTAMINDA HAZIRLANMASI.....	21
BÖLÜM ALTI - ABCD MODELİNİN YAYILI TASARIMININ MATLAB İLE ENTEGRASYONU.....	28

BÖLÜM YEDİ - MODELİN UYGULAMASI VE PERFORMANS ANALİZİ.....	29
7.1 Çalışma Alanı.....	31
7.2 Kullanılan Veri Setleri.....	32
7.2.1 Meteoroloji İstasyonu Verileri	32
7.2.2 Era5 Land Verileri.....	35
7.2.3 Veri Setlerinin Değerlendirmesi	37
7.3 Havzanın Arazi Kullanımı Dağılımı, Toprak Yapısı ve Jeolojik Formasyon Dağılımı	38
7.4 Ortalanmış Modelin Çalıştırılması Ve Performans Değerlendirmesi	40
7.5 Yayılı Modelin Çalıştırılması Ve Performans Değerlendirmesi.....	46
7.5.1 Yayılı Model İle Meteoroloji İstasyonu Verilerinin Uygulaması ve Performans Değerlendirmesi	46
7.5.2 Yayılı Model İle Era5 Land Verilerinin Uygulaması ve Performans Değerlendirmesi	48
BÖLÜM SEKİZ – BULGULAR.....	51
BÖLÜM DOKUZ – SONUÇLAR.....	56
KAYNAKLAR.....	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sistem Şeması.....	6
Şekil 2.2 Hidrolojik sistem olarak havza.....	7
Şekil 3.1 ABCD modelinin işleyiş mekanizması.....	9
Şekil 3.2 ABCD modelinde Y ve W grafiği.....	10
Şekil 4.1 PSO algoritması akış şeması.....	18
Şekil 5.1 Gediz Havzası akarsu ağının belirlenmesi.....	22
Şekil 5.2 Gediz Havzası SYM.....	22
Şekil 5.3 Gördes Havzası SYM.....	23
Şekil 5.4 Gördes Havzası thiessen poligonu.....	24
Şekil 5.5 Türkiye'nin CORINE arazi kullanımı haritası.....	25
Şekil 5.6 GSD tarafından sağlanan toprak yapısı haritası.....	26
Şekil 5.7 GSD tarafından sağlanan Türkiye toprak yapısı haritası.....	27
Şekil 6.1 Yayılı ABCD modelinin akış şeması.....	29
Şekil 7.1 Gediz Havzası ve Gördes Havzası sınırları.....	31
Şekil 7.2 Gördes Havzası thiessen poligonları.....	32
Şekil 7.3 Gördes Havzası'nı kapsayan Era5-Land gridleri.....	35
Şekil 7.4 Gördes Havzası'nı kapsayan Era5-Land pev gridleri.....	36
Şekil 7.5 Gördes Havzası'nı kapsayan Era5-Land tp gridleri.....	36

Şekil 7.6 Veri setlerine ait yağış verilerinin (a) box-plot ve (b) saçılım grafikleri.	37
Şekil 7.7 Veri setlerine ait PET verilerinin (a) box-plot ve (b) saçılım grafikleri.....	38
Şekil 7.8 Gördes Havzası'na ait CORINE arazi haritası.....	39
Şekil 7.9 Gördes Havzası'na ait GSD toprak bünyesi haritası	39
Şekil 7.10 Gördes Havzası'na ait jeolojik formasyon haritası.....	40
Şekil 7.11 Gözlemler ile model sonuçlarının box-plot grafiği	43
Şekil 7.12 Gözlenen akımlar ve meteoroloji verilerinden elde edilen serinin gidiş grafiği	44
Şekil 7.13 Gözlemler ve meteoroloji verilerinden elde edilen serinin saçılım grafiği	44
Şekil 7.14 Gözlenen akımlar ve Era5-Land verilerinden elde edilen serinin gidiş grafiği	45
Şekil 7.15 Gözlemler ve ERA5-Land verilerinden elde edilen serinin saçılım grafiği	45
Şekil 7.16 ERA5-Land ve meteoroloji verilerine ait model sonuçlarının gidiş grafiği	46
Şekil 8.1 Gördes Havzasına ait (a) SYM, (b) CORINE, (c) GSD ve (d) hidrojeolojik özellik haritaları.....	51
Şekil 8.2 Ulusal veri seti ile çalıştırılan yayılı model sonuçlarına göre (a) akış, (b) gerçekleşen evapotranspirasyon, (c) yeraltı suyu beslenimi ve (d) yeraltı suyu depolaması haritaları.....	52
Şekil 8.3 Era5 Land veri seti ile çalıştırılan yayılı model sonuçlarına göre (a) akış, (b) gerçekleşen evapotranspirasyon, (c) yeraltı suyu beslenimi ve (d) yeraltı suyu depolaması verilerinin uzun yıllar ortalaması	54

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 ERA5-Land ile sunulan veri listesi	15
Tablo 4.1 PSO varyantları.....	19
Tablo 7.1 Nash-Shutcliffe performans değerlendirmesi	42
Tablo 7.2 Optimum ortalananmış model parametreleri.....	42
Tablo 7.3 Ortalanmış modelde veri setlerine ait kalibrasyon ve verifikasyon dönemi istatistikleri.....	43
Tablo 7.4 Meteoroloji istasyonu verileri ile çalıştırılan modelin kalibre edilen parametreleri.....	47
Tablo 7.5 Meteoroloji istasyonu verileri ile çalıştırılan modele ait istatistikler	48
Tablo 7.6 Era5 Land verileri ile çalıştırılan modelin kalibre edilen parametreleri	49
Tablo 7.7 Era5 Land verileri ile çalıştırılan modele ait istatistikler	50
Tablo 8.1 Arazi örtüsüne göre ulusal veri seti ile çalıştırılan yayılı model sonuçlarının uzun yıllar ortalamaları.....	53
Tablo 8.2 Arazi örtüsüne göre Era5 Land veri seti ile çalıştırılan yayılı model sonuçlarının uzun yıllar ortalamaları.....	55

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Genel

Yenilenebilir ancak sınırlı bir kaynak olan su, tüm canlılar için hayati öneme sahiptir. Nüfus artışı etkisiyle suya olan talebin artması, su kaynaklarının sürdürülebilirliğini kritik hale getirmektedir. Sürdürülebilirliğin ana itici güçlerinden biri olan nehir akışı yönetimi, çevre üzerindeki kötü etkilerden toplulukları korumak için hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle, hidrolojik süreçte nehir akışını modelleme ve tahmin etme, su kaynaklarının etkili planlanması, yönetimi ve sürdürülebilir kullanımını açısından daha da önemli bir noktaya taşınmaktadır (Kilinc, H. C.,2022).

Tarihsel hidrometeorolojik veriler, artan insan nüfusu, kentsel genişleme ve iklim değişikliğinin temiz su kaynakları üzerindeki baskıyı artırdığını ortaya koymaktadır. Bu baskılar, su miktarındaki azalmalar nedeniyle hem kırsal bölgelerde yaşayan insanlar hem de alternatif su kaynaklarına erişimi sınırlı olan kent nüfusu için kaygı verici bir durum yaratmaktadır. (Uchenna, U. P. vd., 2023). Bunun yanı sıra toprak profilinin bozulması, erozyon etkisinin şiddetlenmesi ve azalan toprak verimliliği de bu durumu endişe verici hale getirmektedir. Tüm bu etkilerin sonucunda gıda güvenliği sorunlarının tekrarlanması toplum açısından ciddi sonuçlar doğurmaktadır (Anteneh, Y., Alamirew, T., Zeleke, G., & Kassawmar, T., 2023). Bu aşamada doğru anlaşılacak hidrometeorolojik süreçler, su kaynaklarının miktarı ve dağılımının doğru tespit edilebilmesi, sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde dünyanın karşı karşıya olduğu en büyük çevresel tehditlerin başında iklim değişikliği gelmektedir. Bu olgu, atmosferik koşullarda iklim sistemlerinde önemli değişikliklere neden olmaktadır. Sıcaklık artışı, yağış desenlerindeki değişimler, buzulların erimesi, deniz seviyesindeki yükselme gibi durumlar hidrolojik döngü üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bununla birlikte, zamanla değişen iklim ve farklılaşan arazi kullanımları gibi yerel ölçekte ve küresel ölçekte etkili olan değişikliklerden dolayı, havzaların gelecek dönemlerdeki hidrolojik davranışları farklılaşmaktadır. Havzanın gelecekteki davranışlarının doğru tahmini su

kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve doğal afetlerle mücadele gibi alanlarda önem arz etmekte olup bu aşamada hidrolojik model kullanımı kaçınılmaz olmaktadır.

Hidrolojik modeller, su kaynakları politikalarının belirlenmesi ve su döngüsünün doğru anlaşılmasını sağlayan önemli araçlardır. Modelleme, yağış, buharlaşma, sızma, yüzey akışı ve yeraltı suyu akışı gibi havza ölçeğinde meydana gelen hidrolojik süreçleri inceleyerek, bu süreçleri belirli bir ölçek içinde taklit eden basit denklemlere dayanmaktadır. Hidrolojik modelleme, su kaynaklarının sürdürülebilirliğini test etme, su kalitesini ve miktarını tahmin etme, iklim değişikliğinin hidrolojik sistemler üzerindeki etkilerini analiz etme gibi çeşitli alanlarda su kaynakları araştırmacılarına katkı sağlamaktadır. Literatürde, havzalarda meydana gelen hidrolojik döngüleri simüle eden, farklı zaman ve mekân çözünürlüklerine sahip, çeşitli denklemler ve parametreler içeren birçok model bulunmaktadır (Fistikoglu, O,1999).

Hidrolojik modeller, parametrik (kavramsal) modeller ve kapalı kutu (kara kutu) modeller olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılabilir. Parametrik modellerde, hidrolojik döngü içerisinde yer alan sızma, yeraltı akışı, yüzeysel akış gibi unsurların aralarındaki etkileşimi fiziksel açıdan ayrıntılı bir şekilde tanımlanmakta olup suyun davranışına bağlı olarak model unsurları arasındaki fiziksel etkileşim belirlenmektedir. Bu modeller belli parametrelere sahip olup bu parametrelerin değerleri havza özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Havza için uygun parametrelerin belirlenebilmesi için havzada gözlenmiş hidrograflar yeterli bir yaklaşımla modelden elde edilinceye kadar deneme yapılarak belirlenir (Bayazıt, M.,1998). Kapalı kutu modellerde ise havzanın hidrolojik döngüsü içerisinde yer alan unsurlar detaylı olarak ele alınmamakta, havza yağışı akışa çeviren bir kapalı kutu olarak kabul edilmektedir. Bu modeller hidrolojik döngüyü tam olarak temsil edememektedir. (Bayazıt, M.,1998) Literatüre bakıldığında, model parametrelerinin deneme yanılma yöntemiyle belirlenebilmesinin yanı sıra bunun için sıklıkla kullanılan optimizasyon algoritmaları da mevcuttur. Bu algoritmalar modele bağlı tanımlanan hata fonksiyonunu kabul edilebilir sınırlara çekecek optimum model parametrelerini tespit edebilmektedir. Böylelikle çalışılan havza için söz konusu modele ait optimum parametreler belirlenebilmektedir.

Hidrolojik çevrim temsiliyeti kabul görmüş birçok model mevcut olup çalışma alanı için uygun modelin seçiminde en az sayıda parametre kullanarak en tutarlı sonucu elde eden tutumlu modeller belirleyici bir rol oynamaktadır. Ayrıca, bu modellerin veri gereksinimleri ve uygulama kolaylığı, model seçiminde belirleyici bir kriter haline gelmektedir (Fistikoglu, O., & Okkan, U. ,2011).

Modellemenin başarısı, sadece modelin doğru bir şekilde kurulmasına bağlı olmayıp, aynı zamanda kullanılan verilerin havzanın hidrometeorolojik özelliklerini en iyi biçimde yansıtmasına bağlıdır. Bu nedenle, modelleme çalışmalarında genellikle yerel hidrometeorolojik istasyon verilerinden yararlanılmaktadır. Ancak, bu istasyon verilerine erişim bazen zor olabilmekte ve çeşitli nedenlerle eksik veya hatalı verilerle karşılaşılabilir. Son yıllarda, erişimi daha kolay olan ve eksik verileri içermeyen küresel veri setlerinin modelleme çalışmalarında kullanımı artış göstermiştir. Bu veri setleri, istasyon gözlemleri, uydu görüntüleri ve hidrometeorolojik model çıktıları gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen verilerin küresel ölçekte tutarlı hale getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bununla birlikte, bazı durumlarda bu küresel veri setleri, çalışma alanının hidrometeorolojik koşullarını tam olarak yansıtamadığı için doğrudan kullanıldıklarında istenen sonuçları vermemektedir. (Fistikoglu, O., & Okkan, U.,2011). Bu nedenle, seçilen küresel veri setinin çalışma bölgesini yeterli doğruluk ve çözünürlükle temsil edebilmesi gerektiği mutlaka değerlendirilmelidir. Günümüzde, çeşitli kaynaklardan elde edilen birçok küresel veri seti bulunmaktadır ve bu veri setleri, oluşturulurken kullanılan interpolasyon yöntemleri ve istasyon sayılarındaki farklılıklar nedeniyle değişkenlik göstermektedir (Girgin, G., & Şen, Ö. L. ,1981). Modelleme çalışmalarında, seçilen havza ve model için en iyi performansı sağlamak amacıyla kullanılan küresel veri setlerinin uygunluğunun dikkatlice değerlendirilmesi önemlidir (Yang, Y. vd., 2022). Araştırmacılar, bu küresel veri setlerinin istatistiksel analizleri ve çeşitli çalışma alanlarına uygunluğunu belirlemeye yönelik birçok çalışma gerçekleştirmiştir (Nacar, S., Kankal, M., & Okkan, U. ,2022). Yapılan araştırmalar, küresel veri setleri arasında European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) tarafından sağlanan ERA-Interim'in en iyi performansı gösteren veri setlerinden biri olduğunu ortaya koymuştur (Tarek, M., Brisette, F. P., & Arsenault, R. ,2020). Ancak güncel araştırmalara bakıldığında, ECMWF tarafından sağlanan veri setleri arasında yer alan

ERA5 ve ERA5-Land veri setlerinin, ERA5-Interim veri setine kıyasla daha iyi bir performans sergilediği tespit edilmiştir (Gomis-Cebolla, J., Rattayova, V., Salazar-Galán, S., & Francés, F.,2023) (Muñoz-Sabater, J. vd., 2021). ERA5-Land veri seti, ERA5'in çözünürlük açısından geliştirilmesiyle elde edilmiş bir veri seti olup arazi yüzeyi ile ilgili bilgi akışı sağlamaktadır. Modelleme çalışmalarında, arazi yüzeyi su ve enerji akımlarının bütçe hesaplamalarının yapıldığı kritik bir biriktirme unsuru olarak önemli bir rol oynamaktadır. (Okkan, U., Fistikoglu, O., Ersoy, Z. B., & Noori, A. T. ,2023)

Bu çalışma kapsamında, ortalanmış yapıdaki ABCD modeli, Matlab ortamında yeniden düzenlenerek yayılı formatta çalışabilecek şekilde kurgulanmıştır. ABCD modelinin girdileri olan yağış ve potansiyel evapotranspirasyon değerleri ile model parametrelerini oluşturan arazi kullanımı, toprak yapısı ve jeolojik formasyon verileri ArcMap ortamında Matlab ile entegre çalışabilecek şekilde hazırlanmıştır. Düzenlenen bu veriler, yayılı ABCD modeli ile akışa dönüştürülmüştür. Düzenlenen yayılı modelden sonuç olarak yüzeyde ve yer altında oluşan akış bileşenleri ile toplam akış bileşeninin alansal dağılımları elde edilmiştir.

1.2 Amaç ve Kapsam

Sunulan çalışmada, ortalanmış yapıdaki ABCD yağış-akış modelinin alansal dağılımlı olarak çalışabilecek şekilde kurgulanması hedeflenmiştir. Model hücresel (raster) formatta çalışabilecek şekilde geliştirilmiş, model kodları Matlab kullanılarak yazılmıştır. Geliştirilmiş olan modelin girdilerinin ve parametrelerinin alansal dağılımlı olarak dikkate alınması amaçlanmıştır.

Model girdilerini oluşturan yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verileri ile model parametreleriyle doğrudan ilişkili olan arazi kullanımı haritaları, toprak yapısı haritaları ve jeolojik formasyon verileri ArcMap ortamında işlenmiştir. Elde edilen Arcmap çıktıları yayılı ABCD modeli ile akışa dönüştürülmüştür.

Modele ait parametreler havzanın fiziksel özellikleriyle (arazi kullanımı, toprak yapısı, jeolojik formasyon) doğrudan ilişkili olup model parametrelerinin bu özelliklere entegre edilebilmesi için havzaya ait haritalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak ülkemizde bu verilerle ilgili sağlıklı bir bilgi akışı sağlanamamaktadır.

Söz konusu çalışmada kullanılmak üzere toprak yapısı ile ilgili veriler Dünya Tarım Örgütü'nün Global Soil Database (FAO,1992) veri setinden, arazi kullanımı ile ilgili veriler CORINE veri setinden (CORINE,2018) ve jeolojik formasyon ile ilgili verileri ise Maden Tetkik Arama Kurumu (MTA) tarafından 1988 tarihinde düzenlenmiş jeolojik formasyon haritalarından edinilmiştir.

Yayıllı model çalıştırılırken, ulusal hidrometeorolojik veri setleri ile ECMWF tarafından sağlanan yüksek çözünürlüklü ERA5-Land arazi yüzeyi küresel veri seti kullanılmıştır. Yayıllı model çalıştırılmadan önce ortalanmış modele ait optimum parametreler Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Yayıllı model parametreleri, her bir parametre için raster verilerin havza genelindeki ortalamaları, modelin optimum parametrelerine yakınsayacak şekilde belirlenmiştir.

Uygulama alanı olarak Gediz Havzası'nın Gördes alt havzası seçilmiştir. Uygulama havzasının 1962-1992 yılları arasında ulusal meteoroloji istasyonları tarafından ölçülmüş yağış ve sıcaklık verileri derlenmiş, model girdisi olan potansiyel evapotranspirasyon değerleri ise derlenen sıcaklık verileri kullanılarak Hargreaves Metodu ile belirlenmiştir. Aynı havza için 1962-1992 yıllarını kapsayan ERA 5 Land veri setinden edinilen yağış ve PET verileri derlenmiştir. Her iki veri seti için yayıllı model akışı ayrı ayrı elde edilmiştir. Çalışma sonucunda yayıllı model her iki veri seti ile çalıştırılarak hem yayıllı model ile ortalanmış modelin performansları kıyaslanmış hem de ERA5 Land veri setinin havza temsiliyeti irdelenmiştir.

BÖLÜM İKİ

HİDROLOJİK MODEL KAVRAMI

Hidroloji, yerkürede (atmosferde, yer yüzeyinde ve yeraltında) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilim dalıdır (Bayazıt,1998). Günlük kullanım, enerji üretimi, akarsu ulaşımı, tasarım, su kaynakları mühendisliği gibi birçok alanda hidrolojiden yararlanılmaktadır. (Bayazıt,2003)

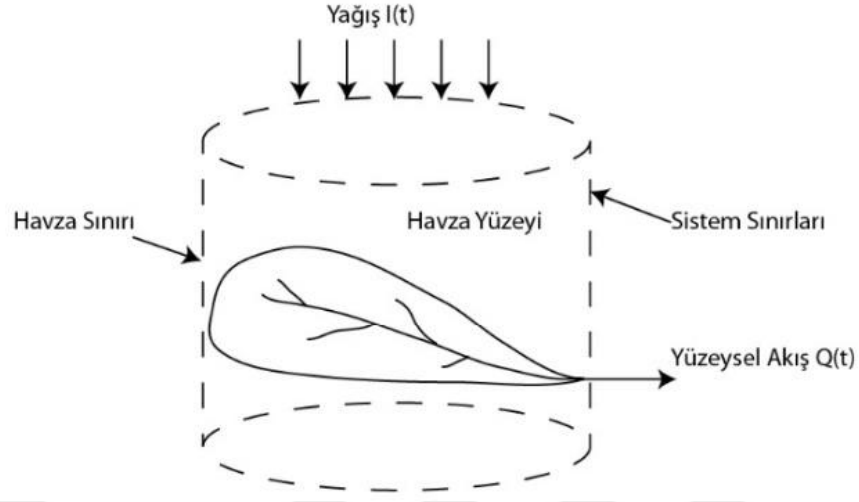
Hidrolojik modeller, hidrolojik süreçlerin belirli fiziksel kurallar kapsamında çeşitli koşullar altında matematiksel, istatistiksel ve yapay zeka araçları kullanılarak modellenmesi sonucunda geliştirilmiştir (Bayazıt,1998). Bu modeller, suyun çevrim basamaklarını ele alış biçimi, modelin içsel yapısı ve modelin alansal çözünürlüğü bakımından farklı şekillerde sınıflandırılabilir.

Sistem adı verilen kavram hidroloji alanında yapılan çalışmalar açısından önemli bir kavramdır. Sistem (Şekil 2.1), birbiriyle ilişkili olup belli sınırlar dahilinde çevresinden ayrılan unsurların bir araya gelmesi ile oluşur. (Bayazıt,1998)



Şekil 2.1 Sistem Şeması (Bayazıt,1998)

Hidrolojik çevrim, biriktirme sistemleri ile bu sistemlerin arasındaki fiziksel denklemlerle ifade edilebilecek girdi-çıkı ilişkisi olarak tanımlanabilmektedir. (Bayazıt,1998)



Şekil 2.2 Hidrolojik sistem olarak havza (Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W.,1988)

Model, karmaşık bir sistemin (Şekil 2.2) daha basit ifade edilmiş şeklidir. Bu sistemler fiziksel, matematiksel ya da mantıksal olarak ifade edilebilirler. Hidrolojik modeller ise hidrolojik çevrimin içerisinde gerçekleşen olayların modellenmesidir. Bu teknoloji, bilimsel çalışmalarda ve su kaynakları yönetimi çalışmalarında karşılaşılan belirsizliklerin tespit edilmesi, açıklanması ve alınan kararların teknik bir temele oturtulmasına yardımcı olmaktadır. (Fistikoglu, 1999).

Yağış akış modelleri, havzaya düşen yağış ve havzada oluşan kayıplar sonucunda model çıktısı olarak akışı oluşturan modellerdir.

Bölüm 1.1’de belirtildiği gibi literatürde geliştirilmiş birçok hidrolojik model yer almakta olup bu modeller farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Havzadaki bu dönüşümün modellenmesinde iki temel yaklaşım mevcuttur. Bunlar, veri analizini esas alan kapalı kutu modeller ile yağışı akışa dönüştürürken sistem içerisinde gerçekleşen süreçleri ve bu süreçlerin birbirleriyle olan fiziksel ilişkisini ele alan kavramsal modellerdir.

Ampirik modeller olarak da adlandırılan kapalı kutu modeller, havzanın kapalı bir kutu gibi kabul edildiği, havzaya düşen yağışın doğrudan akışa dönüştürüldüğü modellerdir. Bu modellerin basit ve kolay anlaşılır olması gibi avantajları varken genelleme yeteneğinin olmaması gibi dezavantajları da mevcuttur. Kapalı kutu modeller havzaya özgü olup daha önceden test edilmemiş havzalarda hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu modeller, yağışın düştüğü havzanın akışının tahmin edilmesini sağlar ancak havzanın bu süreçteki davranışı ile ilgili bilgi vermez. Yağışın havza içinde mekansal ve zamansal değişkenliğinin varlığı, akışa dönüşen yağışın kaynaklarının ve akış yollarının izlenmesinde bu tür modellerin kullanımında önemli zorluklar oluşabilmektedir (Kendall, C., McDonnell, J. J., & Gu, W.,2001).

Kapalı kutu modellerin hidroloji çalışmalarındaki kullanım alanlarına bakıldığında en çok kullanılan modelin birim hidrograf olduğu görülmektedir. Birim hidrograf, su toplama havzasını, artık yağışı dolaysız akışa dönüştüren lineer bir sistem olarak kabul eden havza modelidir.

Kavramsal hidrolojik modeller ise literatürde en yaygın karşılaşılan modeller olup yağışın akışa dönüş sürecini kavramsal olarak ele almaktadır. Model, döngü sürecinin parçası olan yüzeysel akış, sızma, yeraltı akışı, yeraltı biriktirmesi gibi bileşenleri basit matematiksel ifadelerle sürece dahil ederek akış miktarını belirler. Bu modeller belli parametreler içermekte olup parametrelerin ölçülmesi veya önceden belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Parametreler her havza için farklı değerler almakta olup çalışma alanını oluşturan havzaya göre belirlenmelidirler (Turan, M., & Doğan, E.,2015).

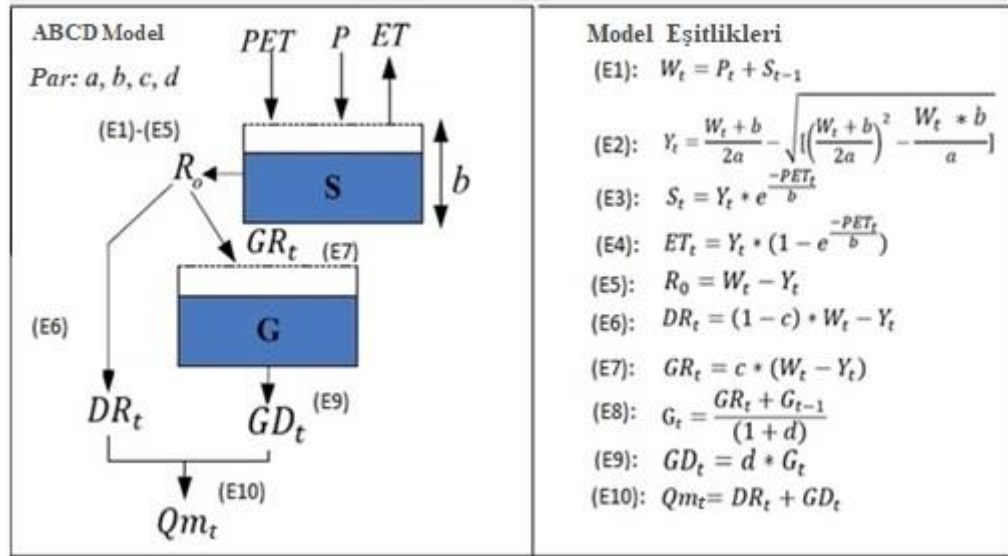
Havzaya ait parametre değerleri belirlenirken belli yıl aralıklarında söz konusu havzaya ait ölçülmüş değerler ile model sonuçları arasındaki hataları minimum yapan değerlerin belirlenmesi gerekir. Bu değerler optimum parametre değerleri olup belirlenmesinde manuel kalibrasyon veya otomatik kalibrasyon yöntemlerine başvurulmaktadır. Manuel kalibrasyon zor ve zaman alan bir yöntemdir. Otomatik kalibrasyon için ise literatürde geliştirilmiş birçok optimizasyon algoritması mevcuttur. (Turan, M., & Doğan, E.,2015).

BÖLÜM ÜÇ
ABCD YAĞIŞ AKIŞ MODELİNİN YAPISI
VE
ERA5 LAND VERİ SETİ

3.1 ABCD Yağış Akış Modeli

Thomas (1981) tarafından ulusal su rezervini tahmin etmek amacıyla önerilen ABCD modeli, 4 parametrelili bir hidrolojik modeldir (Wang, D., & Tang, Y., 2014). Model girdisi olarak aylık toplam yağış ve aylık potansiyel evapotranspirasyon verileri kullanılmakta olup model sonucunda aylık akış, zemin nemi, yeraltı suyu depolaması ve gerçekleşen evapotranspirasyon sonuçları elde edilmektedir (Okkan, U., & Kırdemir, U. 2016).

Modelin işleyiş şeması ve parametreleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 ABCD modelinin işleyiş mekanizması (Bai, P., Liu, X., & Liu, C. 2018)

Modelde yer alan W_t değişkeni toprakta bulunan kullanılabilir su miktarını temsil etmektedir. P_t yağışının gelmesi sonucunda zeminde önceki aydan mevcut olan zemin nemi S_{t-1} ‘e eklenerek toprakta bulunan kullanılabilir su miktarı belirlenmiş olur (Denklemler 3.1).

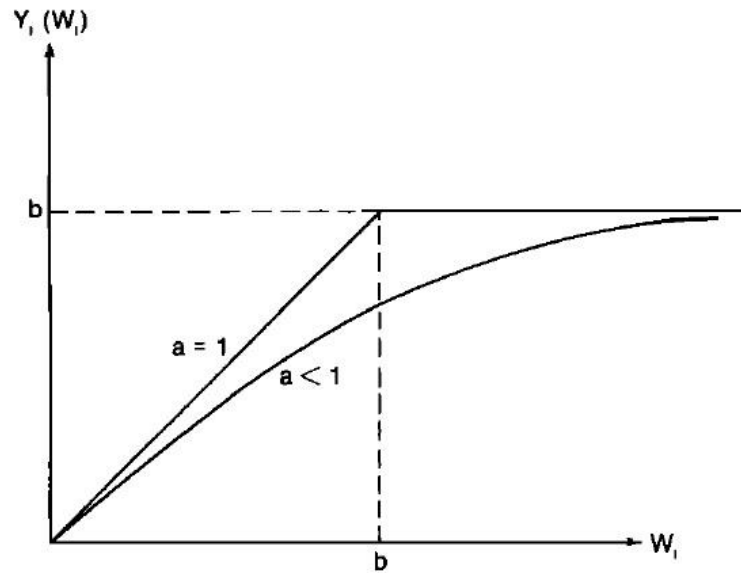
$$W_t = P_t + S_{t-1} \quad (3.1)$$

Modelde belirtilen Y_t değişkeni evaporasyon potansiyelini temsil etmektedir. Bu değişken a ve b parametreleri ile W değişkenine bağlı ifade edilebilmesi ile birlikte aylık gerçekleşen evapotranspirasyon ve o ayki zemin neminin toplamı olarak da ifade edilebilmektedir (Denklem 3.2 ve Denklem 3.3).

$$Y_t = \frac{W_t+b}{2a} - \sqrt{\left[\left(\frac{W_t+b}{2a}\right)^2 - \frac{W_t*b}{a}\right]} \quad (3.2)$$

$$Y_t = ET_t + S_t \quad (3.3)$$

Denklem içerisinde yer alan a parametresi, zeminin tam doygun hale gelmeden önceki akış oluşturma eğilimini ifade etmekte olup $0 < a \leq 1$ aralığında değer almaktadır (Okkan, U., & Kırdemir, U. 2016). Modelin b parametresi ise evapotranspirasyon ve toprak nemi depolamasının en üst limitine karşılık gelmektedir (Alley, W. M. 1984).



Şekil 3.2 ABCD modelinde Y ve W grafiği (Alley, W. M. 1984).

Y_t değişkeninin W_t değişkenine bağlı olarak ifade edildiği denklemin fonksiyonu incelendiğinde t periyodunda Y_t değişkeninin aldığı değerin üst sınırının b parametresine eşit olduğu gözlenmektedir (Alley, W. M. 1984). Şekil 3.2'deki grafikte de görüldüğü üzere a parametresinin 1'e eşit olması durumunda evapotranspirasyon potansiyelinin (Y_t) aldığı en yüksek değer b parametresine, yani toprağın üst katmanının su depolama kapasitesine eşit olmaktadır. Bunun yanı sıra a parametresinin 1'den küçük olması durumunda evapotranspirasyon potansiyeli hiçbir zaman b parametresine eşit olmamaktadır.

Modelde belirtilen S_t değişkeni zemin nemini ifade etmekte olup evapotranspirasyon potansiyeli (Y_t), b parametresi ve aylık potansiyel evapotranspirasyon (PET_t) değerlerine bağlı olarak ifade edilmektedir (Denklem 3.4).

$$S_t = Y_t * e^{\frac{-PET_t}{b}} \quad (3.4)$$

Gerçekleşen evapotranspirasyon ET_t , evapotranspirasyon potansiyelinden o ayki zemin neminin çıkartılması ile ifade edilmektedir (Denklem 3.5)

$$ET_t = Y_t * (1 - e^{\frac{-PET_t}{b}}) \quad (3.5)$$

R_0 akışa geçebilecek mevcut suyu ifade etmekte olup toprakta bulunan sudan (W_t) evapotranspirasyon potansiyelinin (Y_t) çıkartılmasıyla elde edilmektedir (Denklem 3.6)

$$R_0 = W_t - Y_t \quad (3.6)$$

Akışa geçebilecek mevcut suyun (R_0) $1-c$ kadarı yüzeysel akışa geçmekte olup (DR_t) c kadarı ise yer altı suyunu (GR_t) beslemektedir (Denklem 3.7 ve Denklem 3.8).

$$DR_t = (1 - c) * W_t - Y_t \quad (3.7)$$

$$R_0 = W_t - Y_t \quad (3.8)$$

Yer altı suyunun beslenimi sonucunda yer altı su depolamasının seviyesi değişmektedir. Yer altı suyunun yeni seviyesi Denklem 3.9 ile belirlenmektedir.

“ G_{t-1} ”, bir önceki ay yeraltında depolanan su miktarıdır.

$$G_t = \frac{GR_t + G_{t-1}}{(1 + d)} \quad (3.9)$$

Yer altında depolanan suyun (G_t) d kadarlık kısmı yer altında akışa geçerek toplam akışa dahil olmaktadır (Denklem 3.10).

$$GD_t = d * G_t \quad (3.10)$$

Modelin c parametresi yeraltı suyu geri beslenme katsayısı şeklinde ifade edilmekte olup $0 < c \leq 1$ aralığında değer almaktadır. Modelin d parametresi ise yeraltı suyu akışı durgunluk sabiti şeklinde ifade edilmekte olup $0 < d \leq 1$ aralığında değer almaktadır. Bu parametre, modelin en hassas parametresi olup, d parametresindeki küçük değişiklikler model sonuçlarında belirgin farklılıklara yol açmaktadır. (Al-Lafta, H. S., Al-Tawash, B. S., & Al-Baldawi, B. A. (2013).

Model sonucunda elde edilmek istenen toplam akış ise yüzeysel akışın (DR_t) ve yeraltı suyu akışının (GD_t) toplanmasıyla elde edilir. (Denklem 3.11).

$$Qm_t = DR_t + GD_t \quad (3.11)$$

Hidrolojik modelin havzayı klimatolojik ve hidrolojik açıdan temsiliyeti, modelin kullanılabilirliği açısından önem arz etmektedir. ABCD yağış akış modeli, literatürde havzanın akışının modellenmesinde ve su bütçesi çalışmalarında sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışmaların ciddi bir bölümü ise modelin çalışma bölgesini temsiliyetteki başarısı üzerine odaklanmaktadır.

Martinez, G. F., & Gupta, H. V. (2010) çalışmasında hidrojeolojik koşulların kapsamlı bir şekilde ele alındığı 764 havza için "abcd" modelini uygulayarak, Amerika Birleşik Devletleri için aylık su dengesi modellemesi yapmıştır. Çalışmada model performansının, parametreler ve hidroklimatik değişkenlerle ilişkili olduğu, her hidroklimatik bölge için uygun mekânsal ve zamansal ölçekle modellerin oluşturulması gerektiği belirtilmiştir. Sonuç olarak bu tür modellerin kıta ölçeğinde su dengesi dinamiklerini doğru bir şekilde çıkarmak veya model yapılarının ve parametrelerinin, henüz ölçülmemiş yerleri bölgeselleştirmek için güvenilir bir şekilde kullanılamayacağı belirtilmiştir.

3.2 Era5 Land Veri Seti

ECMWF tarafından sağlanan Era5-Land veri seti, arazi yüzeyi ile ilgili hidrometeorolojik bilgiler sunan bir yeniden analiz veri setidir ve çözünürlük açısından ERA5'in geliştirilmiş bir versiyonudur. Bu veri seti, küresel ölçekte çalışan model sonuçları ile yer gözlemlerinin birleşiminden oluşmaktadır. (Çaktu, Y. 2022).

ERA5-Land verileri hazırlanırken, ERA5'te olduğu gibi göl yüzey alanı, göl derinliği, toprak türü ve bitki örtüsü, yüzey albedosu ve yaprak alanı indeksi gibi çeşitli parametreler dikkate alınmıştır.

Bu veri seti, ERA5'teki en yakın yüzey seviyesinin (seviye 137) sağladığı sıcaklık, özgül nem, rüzgâr hızı ve yüzey basıncı gibi meteorolojik veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca, yaklaşık 31 km olan ERA5 çözünürlüğünden, yaklaşık 9 km olan ERA5-Land çözünürlüğüne geçiş için üçgen ağa dayanan bir lineer interpolasyon yöntemi uygulanmıştır. (Muñoz-Sabater vd.2021)

ERA5-Land, 50 farklı değişken üreterek (Tablo 3.2.1) birkaç on yıl boyunca yüzey seviyesinde su ve enerji döngülerinin tutarlı bir simülasyonunu sunmaktadır. Veri seti, 1950 yılından günümüze kadar, 1 saatlik zamansal çözünürlükte hazırlanmış aylık ortalamaları içermektedir. Ayrıca, yüzey seviyesinden 2 m yükseklikten 289 cm toprak derinliğine kadar dikey bir kapsama alanına sahiptir (Ekinci, D. D., & Fıstıkoğlu, O, 2023).

Literatüre bakıldığında, Era5-Land veri seti kullanılarak farklı iklim ve toprak yapısına sahip havzalarda uygulanmış birçok çalışma ile karşılaşılmaktadır. Zou, Jin, et al.(2022) çalışmasında, ERA5-Land'in mekânsal deseninin genel olarak istasyonlarla tutarlı olduğunu ancak kentsel alanlarda nispeten bu tutarlılığın zayıfladığını tespit etmiştir. Ayrıca, ERA5-Land günlük ve aylık değişimlerinin, aynı zamanda gün içi sıcaklık dalgalanmalarını uygun bir şekilde yakaladığını belirtmiştir. Bu sonuçlar, ERA5-Land'in kıyısal kentsel bölgelerde uygulanmasına yönelik bir referans sağlamaktadır. Yılmaz, M. (2023) çalışmasında, ERA5-Land ile gözlemler arasındaki eğilimlerin yüksek derecede tutarlılık gösterdiğini ve bu nedenle Era5-Land verilerinin gözlemlerin yerine kullanılabileceğini belirtmiştir. Gomis-Cebolla, J. vd., (2023) çalışmasında ise gözlemler ile ERA5-Land/ERA5 tahminleri arasında genel bir uyum olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca farklı mekânsal çözünürlüklere sahip ERA5-Land ve ERA5 verilerinin, tüm analizlerde çok benzer performans sergilediğini belirtmiş ancak ERA5-Land verilerinin düşük sıcaklıklarda yüksek sıcaklıklardan daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte istasyon seviyesinde, yaz aylarında korelasyonun kıyıya olan mesafe ile güçlü pozitif doğrusal bir ilişki gösterdiği ve yanlılığın yıl boyunca yükseklik arttıkça arttığını belirtmiştir.

Ekinci, D. D., & Fıstıkoğlu (2023) çalışmasında, ABCD modelinin kalibrasyonunun, potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerindeki farklılıkların model sonuçlarına etkisini sınırladığını ve dolayısıyla PET modellerinin hidrolojik modelleme üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca, Era5-Land veri setinin Gördes Havzası'nın hidrolojik özelliklerini temsil etmede iyi bir performans gösterdiğini belirtmiştir.

Era5 Land tarafından sunulan verilerin listesi Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 ERA5-Land ile sunulan veri listesi (Ekinci, D. D., & Fıstıkoğlu, O, 2023)

Atmosferik veriler	Birim	Era5-Land tarafından üretilen veriler	Birim
10m rüzgar u bileşeni	m s-1	2m çiğ 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 Örtüsünün Terlemesi ile Oluşan Buharlaşma	m Su Eşdeğeri
Yüzeysel Net Güneş Radyasyonu	J m-2	Tahmini Albedo	Boyutsuz
Yüzeysel Net Termal Radyasyon	J m-2	Gölnün Dip 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 Akısı	J m-2
		Yüzeysel Akış	m
		Yüzey Duyulur Isı Akısı	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

BÖLÜM DÖRT

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (PSO) ALGORİTMASI

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması, Eberhart ve Kennedy tarafından geliştirilen bir global optimizasyon tekniğidir (Bai, Q. 2010). Bu algoritma, sürüler halinde hareket eden hayvanların besin arama ve tehlikelerden kaçınma gibi yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için gösterdikleri davranışlardan ilham alınarak geliştirilmiştir. (Eberhart, R., & Kennedy, J. 1995). PSO, sürü içerisindeki bireyler arasında etkileşimden faydalanarak, her birini arama uzayındaki en uygun bölgeye yönlendiren bir algoritmadır. Bu süreçte, her birey diğerlerinin deneyimlerinden öğrenir ve kendisini en iyi çözümü bulmaya odaklar (Okkan, U., & Kırdemir, U. (2016)).

Algoritma ilk adımda rastgele atadığı bir başlangıç sürüsü tanımlar (Denklem 4.1) ve sürünün bir amaç fonksiyonu belirlenir. İlk atanan sürüde, sürüde bulunan her bir eleman bilinmeyen parametre adedine eşit olacak şekilde sonuç üretmektedir (Okkan, U., & Kırdemir, U. 2016).

$$x_{i,j} = x_j^{min} + rnd * [x_j^{max} - x_j^{min}] \quad (4.1)$$

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

npop; Topluluk (sürü) içerisinde yer alan parçacık adedi

npar; model içerisinde yer alan ve kalibre edilmesi gereken parametre adedi

rnd; 0~1 aralığında rastgele üretilmiş sayı

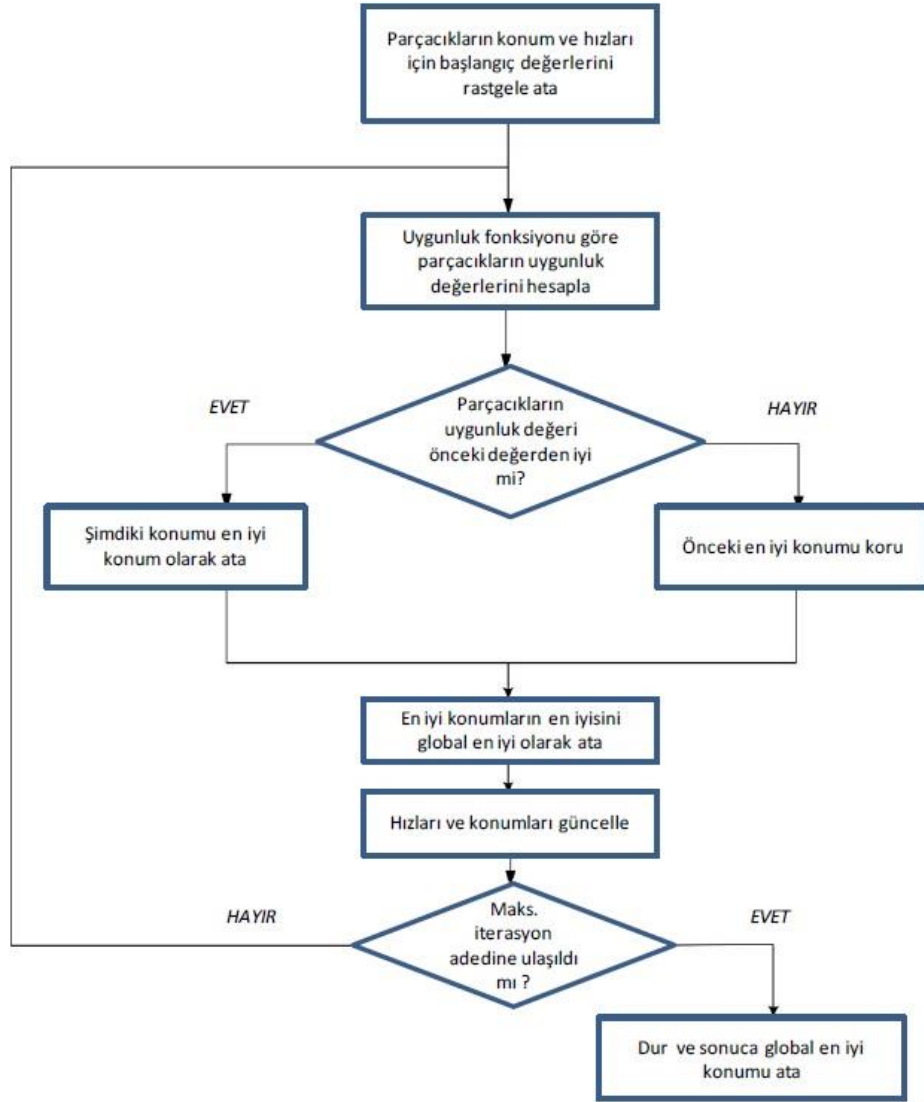
xjmin ve xjmax parametrelerin alt ve üst sınırları

Toplulukta yer alan her bir birey, elde bulunan problem için olası bir çözümü temsil etmektedir (Tayfur, G. 2017). Algoritma başlangıçta tüm parçacıkların hızını sıfır kabul eder. Bu parçacıklar topluluk içerisindeki konumlarını hız vektörü yardımı ile güncellerler (Denklem 4.2). Denklemde t iterasyon adımı, ω atalet, c ise ivmelenme katsayısını temsil etmekte olup bu katsayı genellikle 2 değerine eşit kabul edilir (Afshar, A., Shojaei, N., & Sagharjooghifarahani, M. 2013). Yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçlara bakıldığında, ω atalet değerinin 0.8-1.2 aralığında kabul edilmesi durumunda PSO algoritmasının yakınsama hızının en iyi seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir (Bai, Q. ,2010).

$$v_{i,j}(t + 1) = \omega * v_{i,j}(t) + \text{rnd} * c1 * (pb_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)) + \text{rnd} * c2 * (gb_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)) \quad (4.2)$$

Parçacık konumlarından en iyi amaç fonksiyonu değerini veren konum “pb”, bu konumun amaç fonksiyonu değeri ise “gb” ‘dir (Okkan, U., & Kırdemir, U. 2016). Algoritma, her iterasyon adımında bir önceki adımda belirlenen pb ve gb değerleri belleğinde tutmakta olup bu değerleri yürütülmekte olan iterasyon adımının konumlarına dahil ederek yeni pb ve gb değerlerini belirlemektedir.

Algoritma içerisinde tanımlanan maksimum iterasyon adedi kadar aynı işlem uygulanmaktadır (Okkan, U., & Kırdemir, U. ,2016). PSO algoritmasının akış şeması Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 PSO algoritması akış şeması (Okkan, U., & Kırdemir, U., 2016).

Jahandideh-Tehrani, M., Bozorg-Haddad, O., & Loáiciga, H. A. (2020) çalışmasında PSO algoritmasının arama stratejisinin nasıl olduğu ile ilgili genel bir bakış sunmuş ve PSO'nun su kaynakları mühendisliği optimizasyon problemlerindeki uygulamaları ve performans analizi üzerine çalışmıştır. Bu çalışma esnasında yapılan literatür araştırmalarında PSO'nun su kaynakları optimizasyon problemlerinde yaygın olarak uygulandığını görülmüştür. Bu çalışmada su kaynakları mühendisliğinin farklı alanlarında farklı PSO varyantlarının uygulamalarına dayalı yapılan kapsamlı literatür incelemesinin sonunda yirmi iki farklı PSO algoritması varyantının olduğu

belirlenmiştir (Tablo 4.1). PSO varyantlarının, hidrolojik modelleme, hidrolik modelleme, hazne işletme çalışmaları, yeraltı suyu modellemesi, su kalitesi ve su yönetimi gibi altı ana su mühendisliği alanında verimli bir şekilde performans gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca yapılan literatür çalışmaları sonucunda, PSO'nun diğer istatistiksel yöntemlerle (SVM, ANN ve ANFIS) ve evrimsel algoritmalarla (SA, GA, BA ve köpekbalığı algoritması) etkin bir şekilde birleştirilebildiği için hibritleşme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. PSO varyantlarının, geniş bir yelpazedeki su kaynakları problemlerini çözmek için önemli bir potansiyele sahip olduğu açık bir şekilde gösterilmiştir.

Tablo 4.1 PSO varyantları (Jahandideh-Tehrani, M., vd., 2020))

PSO Algoritması Varyantı	Kısaltması	Yılı	Referans
Discrete particle swarm optimization	DPSO	1997	Kennedy and Eberhart
Multi-objective particle swarm optimization	MOPSO	1999	Moore and Chapman
Particle swarm optimization based on artificial neural networks	PSO-ANN	2000	Zhang and Shao
Stretching particle swarm optimization	SPSO	2001	Parsopoulos
Hybrid particle swarm optimization and genetic algorithm	PSO-GA	2002	Robinson et al.
Non-dominated sorting particle swarm optimization	NSPSO	2003	Li
Multi-swarm particle swarm optimization-based optimization	MSPSO	2004	Blackwell and Branke
Hybrid particle swarm optimization and simulated annealing	PSO-SA	2004	Wang and Li
Quantum-behaved particle swarm optimization	QPSO	2004	Sun et al.
Chaotic particle swarm optimization	CPSO	2005	Liu et al.
Comprehensive learning particle swarm optimization	CLPSO	2006	Liang et al.
Adaptive neuro-fuzzy inference system and particle swarm optimization	ANFIS-PSO	2007	Ghomsheh et al.
Elitist-mutated particle swarm optimization	EMPSO	2007	Kumar and Reddy
Particle swarm optimization with mutation similarity	PSOMS	2007	Liu et al.
Particle swarm optimization based on support vector machine	PSO-SVM	2007	Chung-Jui et al.
Adaptive particle swarm optimization	APSO	2007	Li and Tang
Hybrid particle swarm optimization and differential evolution	PSO-DE	2008	Li et al.
Master-slave swarms shuffling evolution algorithm based on particle swarm optimization	MSSE-PSO	2010	Jiang et al.
Catfish effect particle swarm optimization algorithm	CE-PSO	2011	Chuang et al.
Constrained particle swarm optimization	Constrained PSO	2012	Afshar M. H.
Elite guide particle swarm optimization	EGPSO	2013	Zhang et al.
Hybrid bat algorithm and particle swarm optimization	BA-PSO	2018	Ehteram et al.

Okkan, U., & Kirdemir, U. (2020) çalışmasında ise meta-sezgisellerin en pratiklerinden biri olan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması seçilmiş ve bu algoritmanın yerel arama yeteneğini geliştirmek amaçlanmıştır. Bu bağlamda, PSO'nun Levenberg–Marquardt (LM) algoritması ile hibrit kullanımı düşünülmüştür. Dört farklı sel verisi için yapılan uygulamada, her rastgele deney sonucunda hibrit PSO–LM'nin kararlı küresel çözümler sağladığı tespit edilmiştir. Kararlı yönüyle öne çıkan PSO–LM, PSO ve mutasyona uğramış PSO adlı başka bir hibrit varyantla karşılaştırıldığında da hızlı yakınsama sağladığı tespit edilmiştir.



BÖLÜM BEŞ

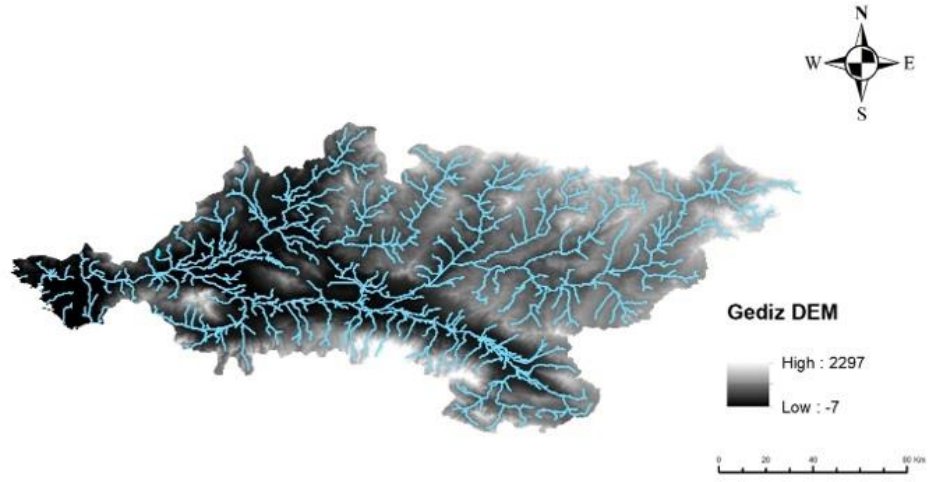
YAYILI ABCD MODEL PARAMETRELERİNİN VE MODEL GİRDİLERİNİN CBS ORTAMINDA HAZIRLANMASI

Hidroloji çalışmalarında havza alanının belirlenebilmesi için sayısal yükselti modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), arazi yapısının niceliksel bir temsilidir ve yer bilimleri ile hidrolojik uygulamalar için önemlidir. SYM, fotogrametri, interferometri, yer ve lazer ölçümleri gibi teknikler kullanılarak oluşturulabilir. ASTER, SRTM ve GTOPO 30 gibi bazı SYM'ler, ücretsiz olarak erişilebilen açık kaynaklı ürünlerdir. (Mukherjee, S., vd. (2013).

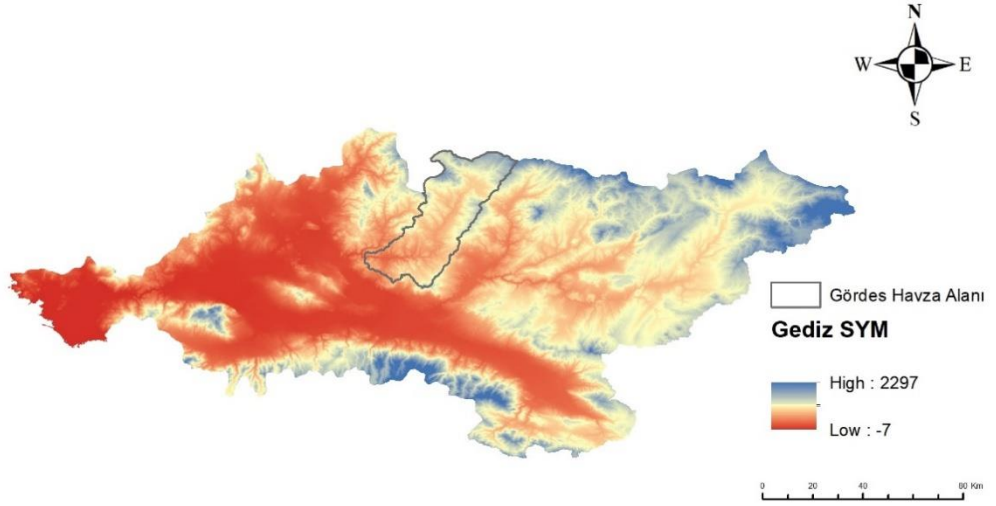
SYM terimi, geniş bir disiplin yelpazesinde yükseklik için bir CBS raster formatı olarak kabul edilmektedir (Guth, P. L. vd., 2021).

Çalışma kapsamındaki uygulama havzasının sınırlarını belirleyebilmek için ASTER tarafından sağlanan DEM (Digital Elevation Model, SYM) haritası kullanılmıştır. ArcGIS ile ASTER tarafından sağlanan SYM kullanılarak havzanın sınırları belirlenmiştir.

Havza alanı belirlenirken ArcMap'de yer alan “Spatial Analyst Tools” araçları kullanılmıştır. DEM raster verisi ArcMap'de tanımlandıktan sonra “Spatial Analyst Tools” içerisinde yer alan “Hydrology” sekmesi altında yer alan “Fill” komutu ile DEM içerisindeki boşluk, çukur, ani yükseklik gibi küçük kusurlar tespit edilerek düzeltilmiştir. Akış yönünün belirlenmesi için ise aynı sekme altında yer alan “Flow Direction” komutu kullanılmıştır. Sonrasında akış birikimini hesaplamak için aynı toolbox içerisinde yer alan “Flow Accumulation” komutundan yararlanılmış, sonrasında oluşan akışı sıralama için “Stream Order” komutu kullanılmıştır. Daha sonra akarsu ağı verilerinden elde edilen akarsu yollarını vektör formatında polyline özellik sınıfına dönüştürmek için “Stream to Feature” komutu kullanılmıştır. Bu adımlar tamamlandıktan sonra son olarak aynı toolbox içerisinde yer alan “Basin” komutu ile su toplama havzası elde edilmiştir. (Şekil5.1) (Şekil 5.2) (Şekil 5.3)



Şekil 5.1 Gediz Havzası akarsu ağının belirlenmesi



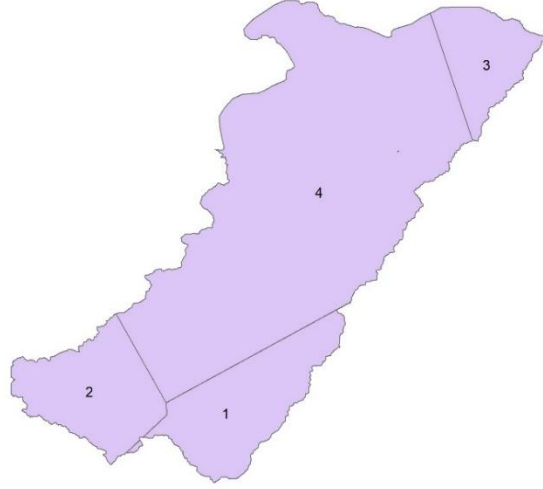
Şekil 5.2 Gediz Havzası SYM



Şekil 5.3 Gördes Havzası SYM

Model girdilerini yağış ve potansiyel evapotranspirasyon oluşturmaktadır. Ülkemizde yağış verileri DSİ ve DMİ tarafından sağlanmaktadır (Benli, K. ,2018). Modelin diğer girdisi olan potansiyel evapotranspirasyon ise Hargreaves yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu yöntem kullanılırken DSİ ve DMİ tarafından sağlanan maksimum (Tmax) sıcaklık, minimum sıcaklık (Tmin) ve ortalama sıcaklık (Tort) verileri kullanılmıştır.

İstasyonlardan elde edilen meteorolojik veriler ve bu veriler kullanılarak hesaplanan evapotranspirasyon değerleri, noktasal veriler olarak kabul edilmektedir. Bu noktasal verilerin alansal dağılımı sağlanırken Thiessen poligonları yöntemi kullanılmaktadır (Chow, V.T. vd., 1988). Thiessen poligonları ile yağışın ve potansiyel evapotranspirasyonun alansal dağılımları belirlenebilmesi için ArcGIS içerisindeki “Spatial Analyst Toolbox” içerisinde yer alan “Create Thiessen Polygons” komutu kullanılmıştır.



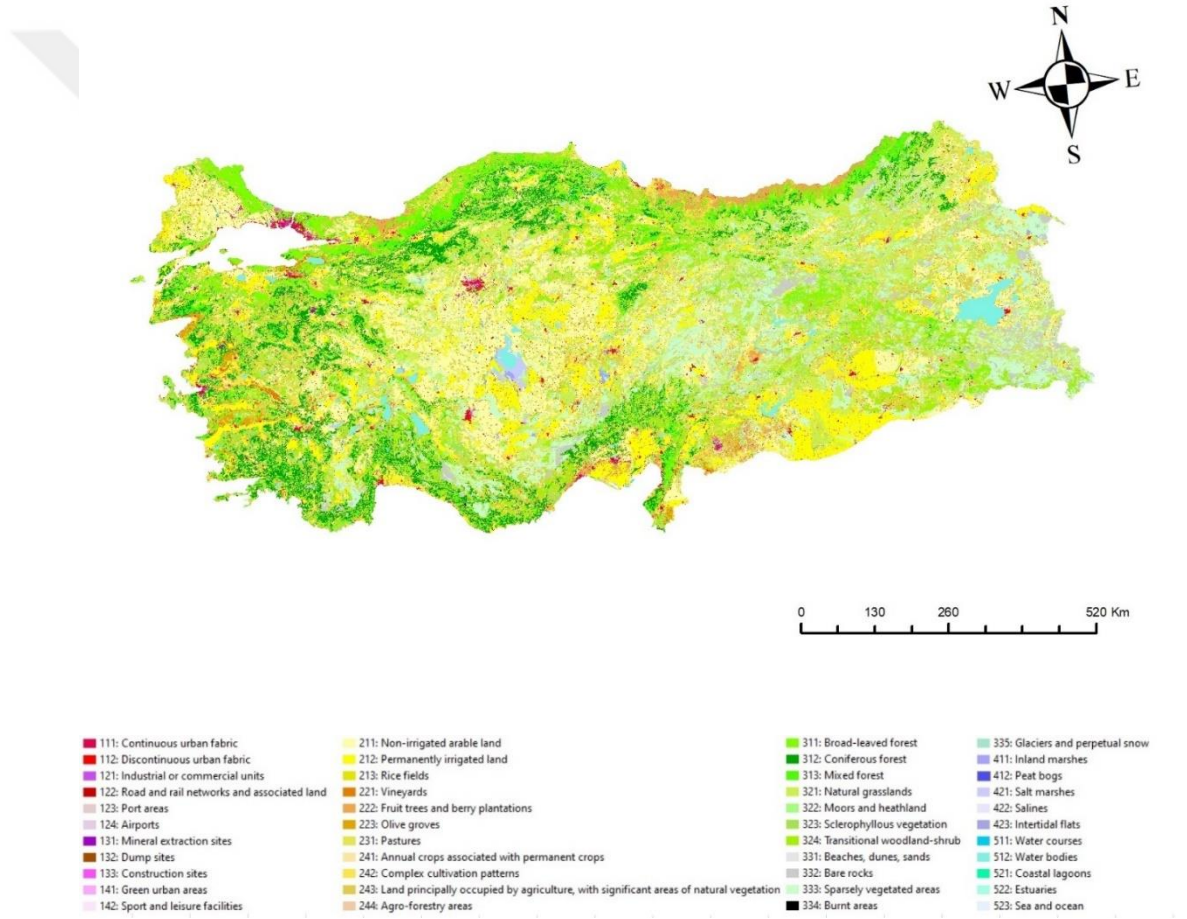
Şekil 5.4 Gördes Havzası Thiessen poligonu

Thiessen poligonları kullanılarak havzaya gelen yağışı ölçen 4 istasyon belirlenmiştir (Şekil 5.4). Bu istasyonlar Köprübaşı, Gölarmara, Demirci ve Gördes meteoroloji istasyonları olup yağış ve sıcaklık verileri DSİ ve DMİ tarafından sağlanan veri tabanından elde edilmiştir. Bu istasyonların Thiessen poligonlarına göre alansal ağırlıkları belirlenmiş, yağış ve sıcaklık değerleri havza alanına bu ağırlıkları ile orantılı olarak yayılmıştır.

Bölüm üç’de belirtildiği gibi ABCD modeli a,b,c ve d olmak üzere dört parametreye sahiptir. Bu parametrelerden a, havzanın arazi kullanımına, b ve c havzanın toprak yapısına, d ise havzanın jeolojik formasyonuna bağlıdır. Bu parametrelerin havza boyunca nasıl değiştiğini belirleyebilmek için havzanın toprak yapısı, arazi kullanımını ve jeolojik formasyonu ile ilgili verilerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

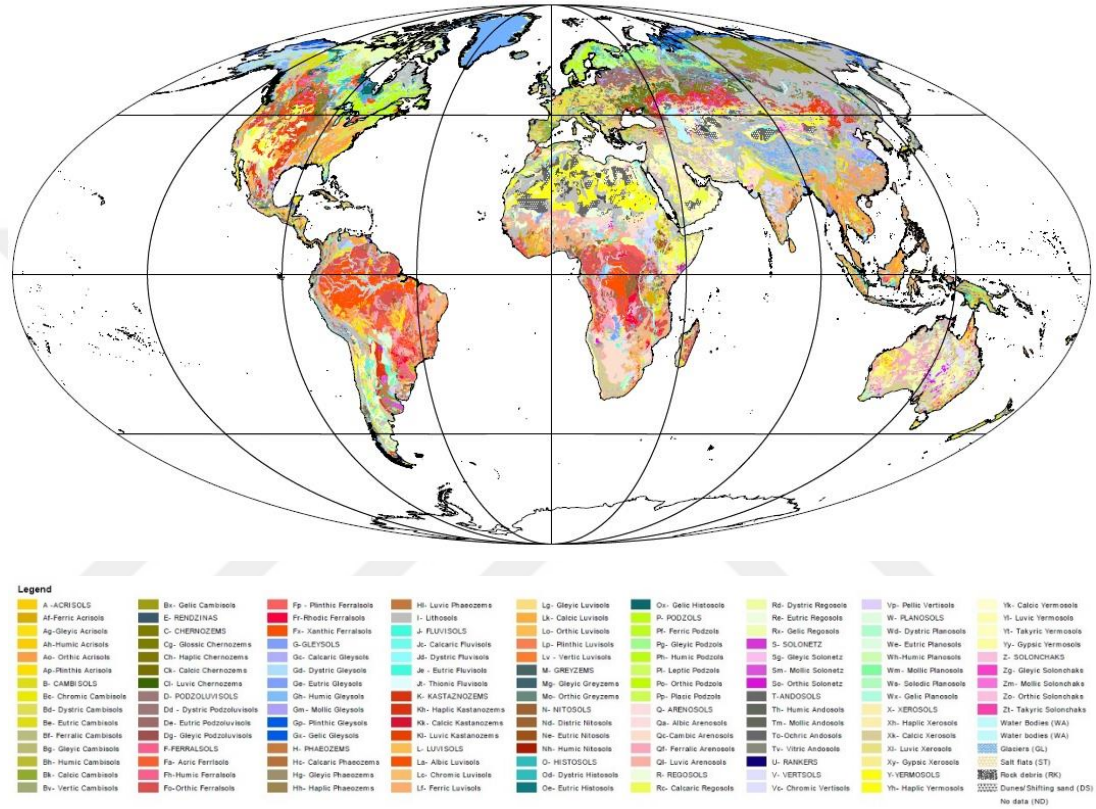
Ülkemizde toprak yapısı ve arazi kullanımı ile ilgili gerekli bilgilerin temin edilebileceği açık bir veri tabanı mevcut değildir. Bu nedenle verilerin temininde küresel veri tabanlarından faydalanılmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan arazi kullanımı ile ilgili veriler küresel CORINE (CORINE,2018) veri setinden elde edilmiştir.

Türkiye'ye ait CORINE arazi kullanımı haritası Şekil 5.5'de verilmiştir. Modelin a parametresi arazi kullanımına bağlı olarak değişmekte olup çalışma alanı içerisinde farklı kullanım şekline sahip her arazi kullanımı için farklı a değerleri belirlenmiştir.



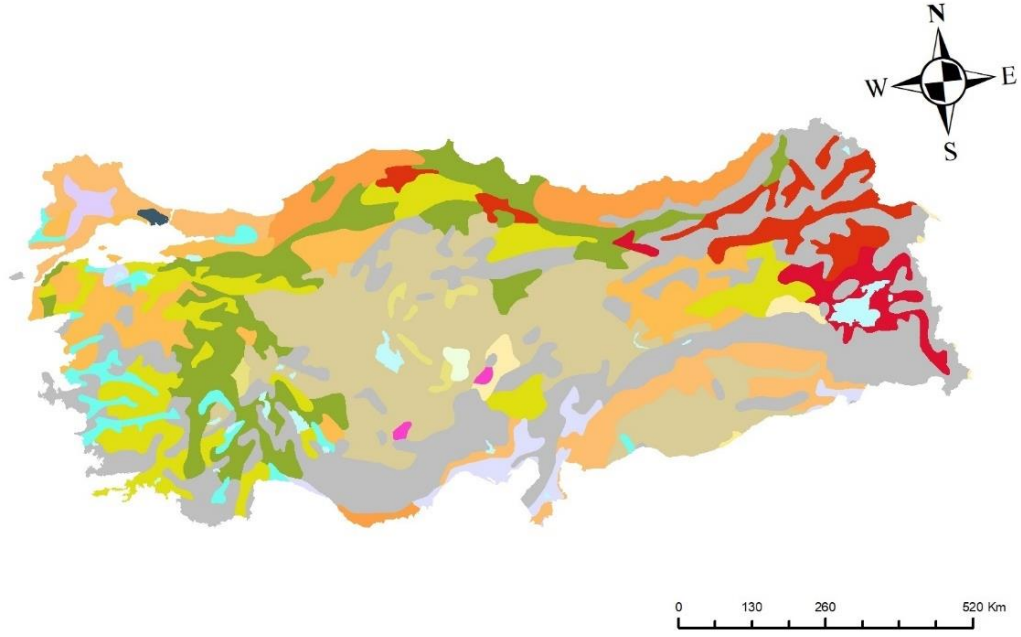
Şekil 5.5 Türkiye'nin CORINE arazi kullanımı haritası (CORINE,2018)

Bu çalışma kapsamın kullanılan toprak yapısı ile ilgili veriler Şekil 5.6'de gösterilen Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu (Food and Agriculture Organization of the United Nations) FAO'nun veri tabanından elde edilmiştir. (FAO,1992)



Şekil 5.6 GSD tarafından sağlanan toprak yapısı haritası (FAO, 1992)

Model içerisinde tanımlanan b ve c parametreleri toprak yapısına bağlı olarak değişmekte olup % kum, % silt, % kil oranları dikkate alınarak bu parametrenin her toprak çeşidindeki değeri belirlenmiştir. Geçirimsizliği yüksek, kum yüzdesi fazla olan toprak profilinde düşük b ve c değerleri, geçirimsizliği düşük, kum yüzdesi az olan toprak profilinde ise yüksek b ve c değerleri aldığı kabul edilmiştir. Türkiye'ye ait GSD toprak yapısı haritası Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7 GSD tarafından sağlanan Türkiye toprak yapısı haritası (FAO, 1992)

Havzanın yeraltı suyu (YAS) depolama kapasitesinin belirlenebilmesi için bölgenin jeolojik formasyon haritasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde MTA tarafından hazırlanan 1/100000 ölçekli jeolojik formasyon haritası mevcuttur. Bu haritaya göre havzanın hidrojeolojik yapısı verimli yeraltı suyu (YAS) bulduran birimler, sınırlı yeraltı suyu (YAS) bulduran birimler ve yeraltı suyu (YAS) buldurmeyen birimler şeklinde sınıflandırılmıştır.

Modelin d parametresi yeraltı suyu depolama kapasitesi ile ilgili olup, havzanın hidrojeolojik yapısı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Modelde yer alan d parametresi 0-1 aralığında değişen değerler almakta olup, verimli yeraltı suyu buldurma durumunda d parametresi düşük değerler almış, yeraltı suyu buldurmama durumunda d parametresi yüksek değerlere ulaşmıştır.

BÖLÜM ALTI

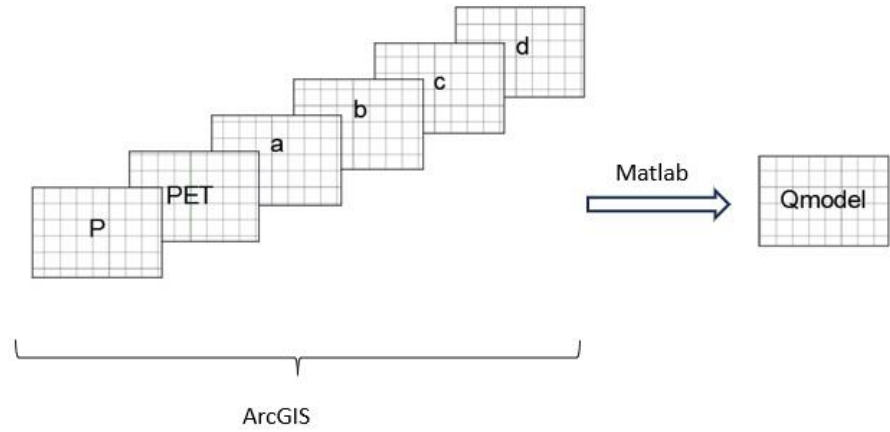
ABCD MODELİNİN YAYILI TASARIMININ MATLAB İLE ENTEGRASYONU

Bölüm 3 içerisinde detaylandırılan yağış akış modeli, girdi olarak kullandığı veri ve parametre değerlerinin havzaya ait ortalama değerler olması nedeniyle ortalanan yapıda bir model olarak tanımlanır. Doğal sisteme bakıldığında havzanın fiziksel özellikleri ve model girdilerinin değerleri alansal bazlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu nedenle model içerisinde tanımlanan parametrelerin de arazi örtüsü, toprak yapısı ve jeolojik formasyon gibi havzanın fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterecek şekilde tanımlanabilmesinin modelin temsiliyetini arttıracığı düşünülmektedir.

Havzanın akışını belirlemek için kullanılacak olan modelin havza temsiliyetinin iyi olması, model sonucunun güvenilirliğini arttırmaktadır. Modelin temsiliyetinin belirlenmesinde ise ortalanan hidrolojik modeller daha basit yapıda oldukları için sıklıkla tercih edilmektedirler.

Pellicer-Martínez, F., & Martínez-Paz, J. M. (2014) çalışmasında ortalanan yapıdaki abcd modeli geliştirilerek yarı yayılı olarak çalışabilecek şekilde düzenlenmiş olup havzalar arası yeraltı suyu akışları hidrolik simülasyona başarıyla entegre edilmiştir. Model, havzalar arası yeraltı suyu akışlarına izin verecek şekilde formüle edilmiştir. Yedi adet alt havzadan oluşan Segura Nehri Havzası (İspanya'nın güneydoğusu) sınırları içerisinde uygulanan yarı yayılı abcd modelinin, yeraltı suyu değişimlerinin eklenmesi ile mevcut verilere mükemmel uyum sağladığı tespit edilmiştir. Yarı yayılı model, iki havzadaki yeraltı suyunun akışa katkı sağlamadığı, üçünün toplayıcı havza olduğunu ve kalan ikisinin de akışa katkı sağlayan havzalar olduğunu gösterilmiştir. Bu bulgular, bölgenin hidrojeolojisiyle tutarlıdır ve bölgedeki iklimsel ve hidrolik veriler arasındaki tutarsızlıkları açıklamaya yardımcı olmuş, böylece metodolojinin güvenilirliği doğrulanmıştır. Bu çalışma ile hidrolojik modellemede havzalar arası yeraltı suyu akışlarının dikkate alınmasının önemini vurgulamakta ve özellikle akiferleri paylaşan havzalarda entegre su kaynakları yönetimi programlarının tasarımında bu bilgilere ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Modeli yayılı hale getirebilmek için, havzanın fiziksel özelliklerinin alansal olarak nasıl değiştiğini incelemek gerekmektedir. Modelleme alanında çalışan araştırmacılar için havzanın fiziksel özelliklerini incelemek açısından Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kolaylaştırıcı olmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak model girdileri ve model parametrelerin alansal dağılımları hücresel (raster) formatta ifade edilebilmektedir. Böylelikle bu raster formatındaki veriler iki boyutlu matris şeklinde ifade edilmiş olmaktadır. Matris formatında ifade edilen model girdileri ve model parametreleri, yayılı olarak tasarlanan ve Matlab ortamında ifade edilen modelin girdisi olarak kullanılabilir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Yayılı ABCD modelinin akış şeması

Sunulan çalışmada, havzanın fiziksel özelliklerini yansıtan; arazi örtüsü, toprak yapısı ve jeolojik formasyon haritaları, ArcMap ortamında raster formatında işlenmiştir. ABCD modelinin yayılı hale getirilmesi için, matris formunda çalışabilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu amaçla, yayılı model MATLAB ortamında yeniden düzenlenmiştir. Matlab ortamında kodlanan yayılı model, Excel ve ArcGIS (ArcMap) çıktısı olan ASCII formatlı katmanlar ile entegre çalışmaktadır.

Arazi kullanımı, toprak yapısı ve jeolojik formasyon haritaları ArcMap üzerinde raster veriye dönüştürüldükten sonra bu veriler “Clip Raster” komutu kullanılarak daha önceden belirlenen havza alanlarına göre havza sınırlarını kapsayacak şekilde kesilmiştir. Uygulama havzasını kapsayacak şekilde düzenlenmiş olan bu raster veriler kullanılarak “Conversation Toolbox” içerisinde “From Raster” sekmesi altında yer alan “Raster to ASCII” komutu ile ASCII çıktısı elde edilmiştir. ArcMap çıktısı olan ASCII formatı matlab tarafından okunabilmekte ve bu dosya içerisindeki veri matlab ortamında matris olarak tanımlanabilmektedir. Yayılı model çalıştırıldığında ASCII formatındaki matris okunmuş, her matris verisi için excelde belirlenen parametre değerleri alınarak havzanın tamamında parametrelerin farklı değerler aldığı yayılı parametre matrisi oluşturulmuştur. Böylelikle havzanın tamamında hem model girdileri hem de modele ait parametreler havzanın fiziksel özelliklerine göre farklı değerler almıştır. Yayılı modelin çalıştırılmasıyla, model akışını gösteren bir raster veri elde edilmiştir. Bu veri, ArcMap ortamına aktarılmış ve model akışının haritası oluşturulmuştur. Sonuç olarak, akış desenleri görselleştirilmiştir. Bu sayede havzanın hidrolojik davranışının detaylı bir şekilde analiz edilebileceği düşünülmektedir.

Literatüre bakıldığında, modelin optimum parametreleri belirlenirken birçok farklı optimizasyon algoritmasının kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmada ortalanmış yapıdaki ABCD modelinin optimum parametreleri Era5 Land ve istasyon verileri için bölüm 4’te detayları verilen PSO algoritması ile ayrı ayrı belirlenmiştir.

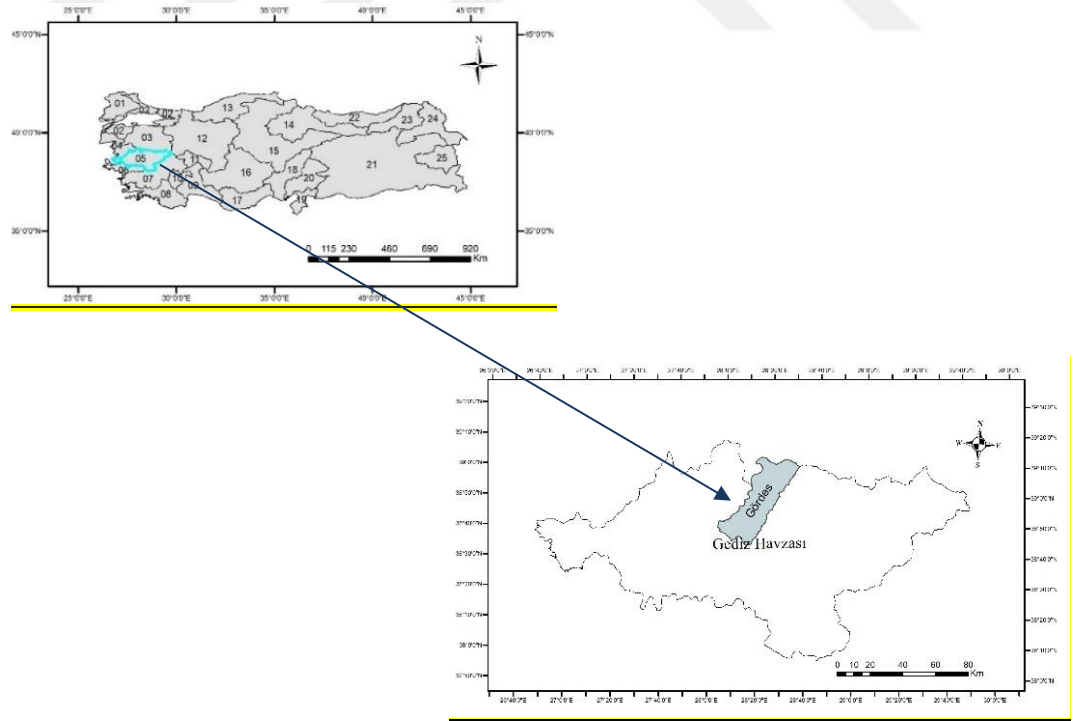
BÖLÜM YEDİ

MODELİN UYGULAMASI VE PERFORMANS ANALİZİ

7.1 Çalışma Alanı

Ülkemizde toplam yirmi beş adet akarsu havzası yer almakta olup her biri bulunduğu konum ve topografya itibariyle özgün iklim özelliklerine sahiptirler (Nacar, S. vd. ,2022). Uygulama alanı olarak seçilen havza, Türkiye'nin batısında yer alan Gediz Havzası'nın bir alt havzası olan, 1045 km² drenaj alanına sahip Gördes Havzası'dır (Şekil 7.1). Gördes Barajı, havzanın çıkış noktasında yer almakta olup, İzmir şehrine yıllık 63 milyon m³ ek su sağlaması ve çevredeki tarım alanlarına yıllık 72 milyon m³ sulama suyu temin etmesi amacıyla tasarlanmıştır (Okkan, U. vd., 2023). Havzanın alanının belirlenebilmesi için izlenmesi gereken adımlar bölüm beş'te verilmiştir. ASTER DEM haritası kullanılarak ArcMap üzerinden Gediz Havzası ve Gördes Alt Havzasına ait havza sınırları belirlenmiştir.

Şekil 7.1'de Gediz Havzası ve Gördes Havzası alan sınırları verilmiştir.

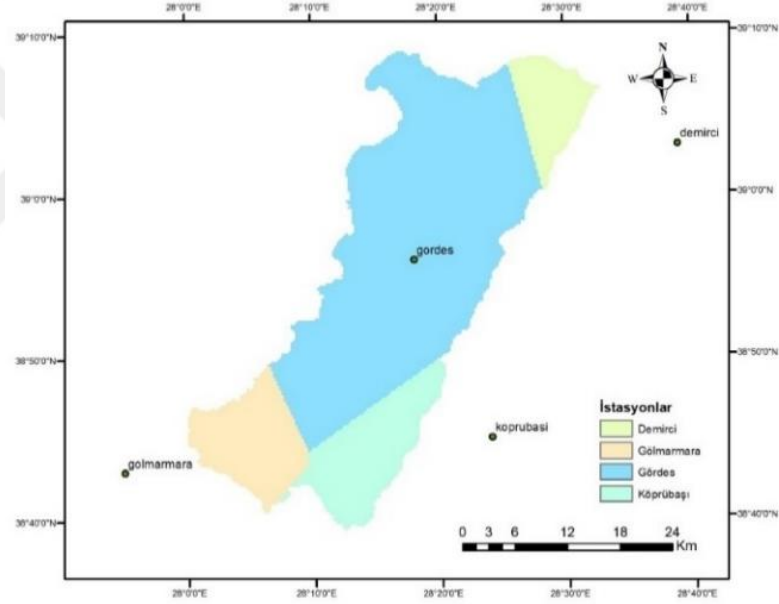


Şekil 7.1 Gediz Havzası ve Gördes Havzası sınırları

7.2 Kullanılan Veri Setleri

7.2.1 Meteoroloji İstasyonu Verileri

Havzadaki aylık yağış ve sıcaklık verilerini ölçen yerel istasyonlar, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilmektedir. Bu istasyonlar 17746-Demirci, 5273-Gölmarmara, 4930-Gördes ve 5278-Köprübaşı'dır. Havzanın çıkış akımları ise Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait D05A028 numaralı akım gözlem istasyonu tarafından izlenmektedir. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının alansal ağırlıkları Thiessen Poligonları Yöntemi ile hesaplanmış (Şekil 7.2), alansal ortalama yağış (P), ortalama sıcaklık (Tort), minimum sıcaklık (Tmin) ve maksimum sıcaklık (Tmax) verileri 1962-1993 su yılları arası dönem için derlenmiştir.



Şekil 7.2 Gördes Havzası thiessen poligonları

Hidrolojik modellerde en önemli girdilerden biri potansiyel evapotranspirasyon (PET) değeridir. Doğrudan ölçülemeyen bu değerlerin doğru tahmini, modelin performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Literatürde potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerinin hesaplanması için çeşitli yöntemler önerilmiştir.

Okkan, U., & Kiyamaz, H. (2020) çalışmasında, Penman–Monteith, Hargreaves, Blaney–Criddle, McGuinness–Bordne, Hamon gibi 21 farklı PET hesaplama yöntemi kullanarak Gediz Havzası'ndaki çeşitli akarsu kollarının PET değerlerini belirlemiş ve bu değerleri, kavramsal Dinamik Su Bütçesi Modeli girdisi olarak kullanarak değerlendirmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, radyasyon tabanlı McG-Bor yönteminin diğer yöntemlere kıyasla daha tutarlı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ancak, radyasyon tabanlı bu yöntemin uygulanabilirliği, ülkemizde radyasyon verilerinin doğrudan ölçülememesi nedeniyle kısıtlıdır; bu sebeple, benzer sonuçlar veren sıcaklık tabanlı Haml eşitliği önerilmiştir.

Literatürde, çalışma alanının iklim koşullarına bağlı olarak potansiyel evapotranspirasyon (PET) hesaplama yöntemlerinin performanslarının farklılık gösterdiği ve hangi ampirik formülün model sonuçlarının iyileştirilmesinde daha etkili olacağına dair kesin bir sonuca varılamadığı belirtilmektedir (Talebmorad, H., Ahmadnejad, A., Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., & Singh, V. P., 2020).

Yapılan çalışmada, potansiyel evapotranspirasyon değerleri, Hargreaves Metodu (Talebmorad, H., Ahmadnejad, A., Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., & Singh, V. P., 2020; Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A., 1985) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntemde temel girdiler sıcaklık ve güneş radyasyonudur. Ülkemizde meteoroloji istasyonları üzerinden yağış ve sıcaklık verileri elde edilebilse dahi, güneş radyasyonu verileri aynı şekilde sağlanamamaktadır (Okkan, U., & Kiyamaz, H., 2020). Bu nedenle, güneş radyasyonu enleme bağlı bir denklem kullanılarak hesaplanmaktadır (Yates, D., & Strzepek, K. M., 1994).

Bu yöntemde göre potansiyel evapotranspirasyon denklem 7.1 ile hesaplanmaktadır.

$$E_{pot} = \alpha \cdot R_a \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5} \cdot (T_{ort} + 17,8) \quad (7.1)$$

E_{pot} : Potansiyel evapotranspirasyon (mm/ay)

R_a : Extraterrestrial (atmosfer dışı) radyasyon (MJ/m²/gün)

T_{max} : Aylık maksimum hava sıcaklığı (°C/ay)

T_{min} : Aylık minimum hava sıcaklığı (°C/ay)

Tort : Aylık ortalama hava sıcaklığı (°C/ay)

α : 0,0023

Ra, atmosferin en üst seviyesine ulaşan güneş radyasyon değerini temsil etmektedir. Bu değer mevsim, güneşin geliş açısı ve günlerin uzunluğundan etkilenmekte olup denklem 7.2 ile hesaplanmaktadır.

$$Ra=24*60\pi*Gsc*dr*[ws*\sin(\varphi)*\sin(\delta)+\cos(\varphi)*\cos(\delta)*\sin(ws)] \quad (7.2)$$

Gsc : Solar sabit (0,0820MJ/m²*dk)

φ , radyan cinsinden enlemi ifade etmekte olup denklem 7.3 ile hesaplanmaktadır.

$$\varphi \text{ (radyan)} = \pi/180 \text{ (desimal derece)} \quad (7.3)$$

δ , solar desimal olarak ifade edilmekte olup denklem 7.4 ile hesaplanmaktadır.

$$\delta = 0,409* \sin(2\pi/365*j-1,39) \quad (7.4)$$

dr, güneş ile dünya arasındaki ters göreceli uzaklık olarak ifade edilmekte olup denklem 7.5 ile hesaplanmaktadır.

$$dr = 1+0,033*\cos(2\pi/365*j) \quad (7.5)$$

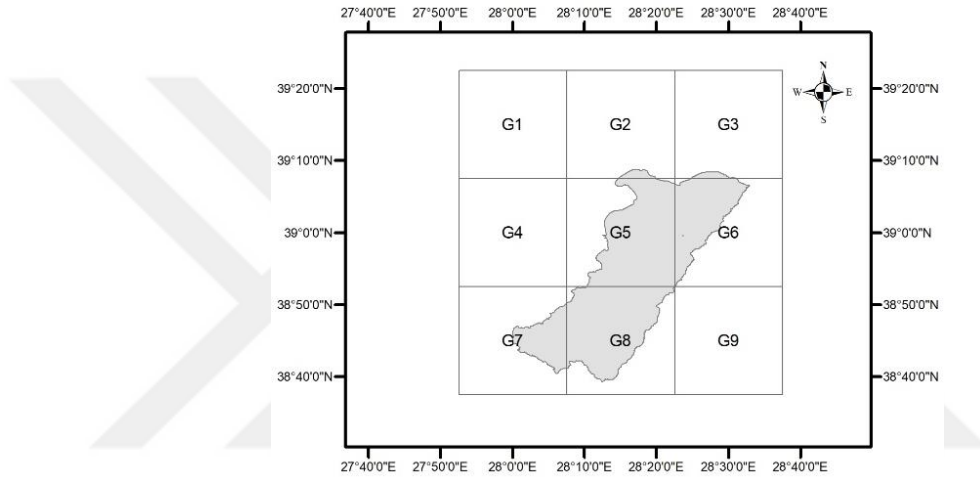
j : Günlere bağlı değer (1-365)

ws, radyan cinsinden günbatımı saati açısı olarak ifade edilmekte olup denklem 7.6 ile hesaplanmaktadır.

$$ws = \arccos[-\tan(\varphi)*\tan(\delta)] \quad (7.6)$$

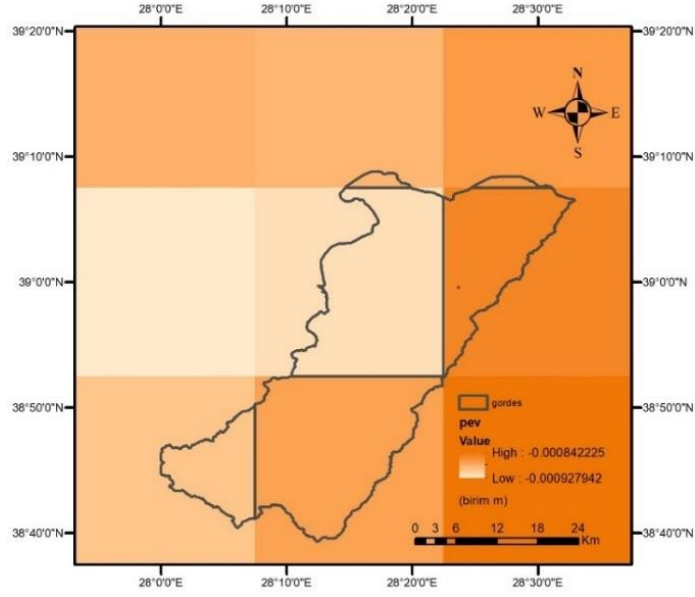
7.2.2 Era5 Land Verileri

Geliştirilmiş olan yayılı modelin girdilerini oluşturan aylık ortalama yağış ve aylık ortalama potansiyel evapotranspirasyon verileri ERA5 Land veri seti içerisinde netcdf formatında yer almaktadır. Bu verilere erişim Copernicus tarafından sağlanan veri erişim platformu ile sağlanmaktadır. Bu veriler ArcMap içerisinde yer alan “Multidimension Tools” içerisinde yer alan “Make NetCDF Raster Layer” komutu ile raster veriye dönüştürülmüştür. Gördes Havzası’nı kapsayan Era5-Land gridleri Şekil 7.3’de verilmiş olup 6 adet raster gridi ile çakışmaktadır.



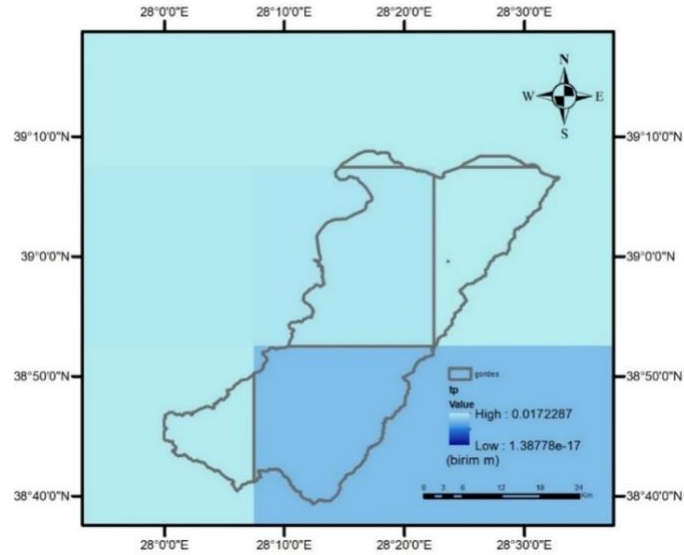
Şekil 7.3 Gördes Havzası'nı kapsayan Era5-Land gridleri

Bu çalışmada kullanılan ERA5 Land verilerinden, aylık potansiyel evapotranspirasyon şekil 7.4’de ve aylık toplam yağış şekil 7.5’de verilmiştir. Mevcut ECMWF Entegre Tahmin Sistemi’nde 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 gereksinimlerini tahmin etmek için tasarlanmış olmasına rağmen, kuru havalarda gerçekleşen aşırı buharlaşma nedeniyle bu yöntem kurak koşullarda gerçekçi olmayan sonuçlar verebilmektedir. (Sabater, J. M. 2019).



Şekil 7.4 Gördes Havzası'nı kapsayan Era5-Land pev gridleri

Era5-Land veri setinde yer alan toplam yağış (tp), Dünya yüzeyine düşen yağmur ve karın toplamı olarak, yani birikmiş sıvı ve donmuş su miktarı olarak tanımlanır. Bu veri, büyük ölçekli ve konvektif yağışların toplamını ifade eder ve birimi metredir. Ancak sis, çiy veya Dünya yüzeyine ulaşmadan önce atmosferde buharlaşan yağış bu tanıma dahil edilmemektedir (Sabater, J. M. 2019).

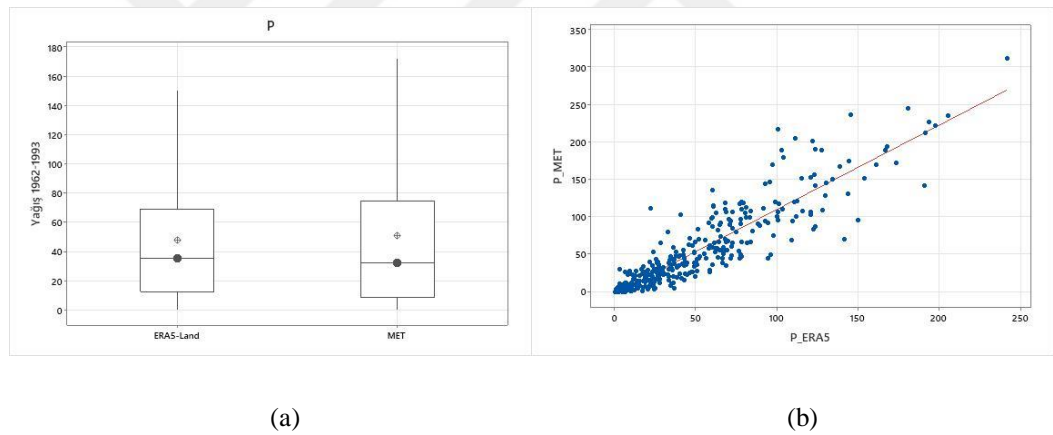


Şekil 7.5 Gördes Havzası'nı kapsayan Era5-Land toplam tp gridleri

7.2.3 Veri Setlerinin Değerlendirmesi

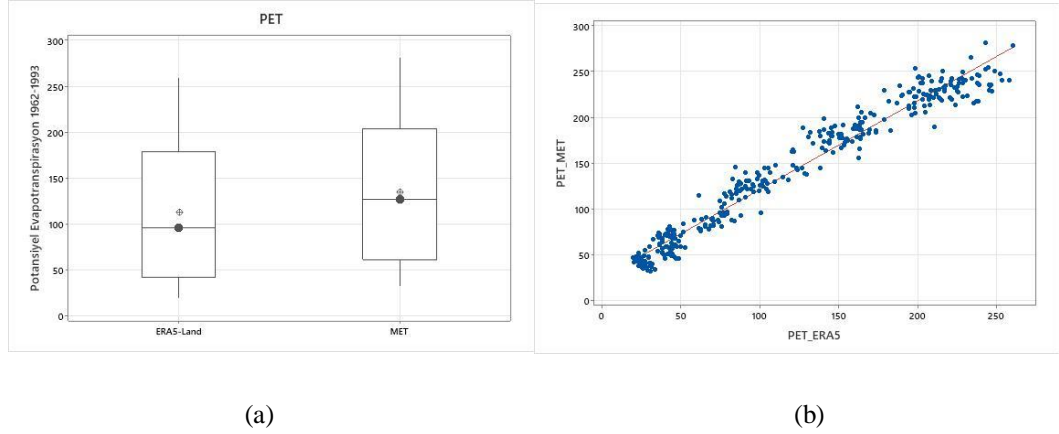
Yapılan çalışma kapsamında 1962-1993 yılları arasını kapsayan yerel istasyon verileri ve ERA5-Land verileri kullanılmıştır. Yerel istasyonlar tarafından sağlanan veri setinde çeşitli nedenlerden ötürü eksik veriler yer almaktadır. Bu eksik evriler Lineer Regresyon yöntemi kullanılarak tamamlanmıştır. Era5 Land veri seti ise çeşitli model ve gözlemlere dayalı olarak oluşturulmuş bir veri seti olduğundan eksik veri yer almamaktadır.

Veri setlerinden edinilen aylık toplam yağışlara ait box-plot grafiği Şekil 7.6(a)'da, saçılım grafiği ise Şekil 7.6(b)'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde gerek istasyon gerekse Era-Land verilerinin istatistiksel açıdan birbirine yakın diziler olduğu gözlenmektedir.



Şekil 7.6 Veri setlerine ait yağış verilerinin (a) box-plot ve (b) saçılım grafikleri

Era5-Land veri setinden edinilen potansiyel evapotranspirasyon verileri ve meteoroloji istasyonlarından edinilen sıcaklık verileri kullanılarak Hargreaves metodu ile hesaplanan potansiyel evapotranspirasyon verilerine ait box-plot grafiği Şekil 7.7(a)'da, saçılım grafiği ise Şekil 7.7(b)'de verilmiştir.

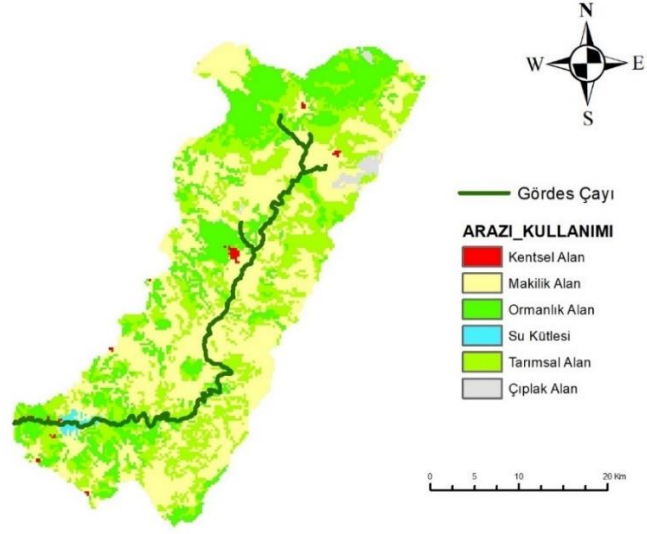


Şekil 7.7 Veri setlerine ait PET verilerinin (a) box-plot ve (b) saçılım grafikleri

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. Sonuç olarak 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 olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

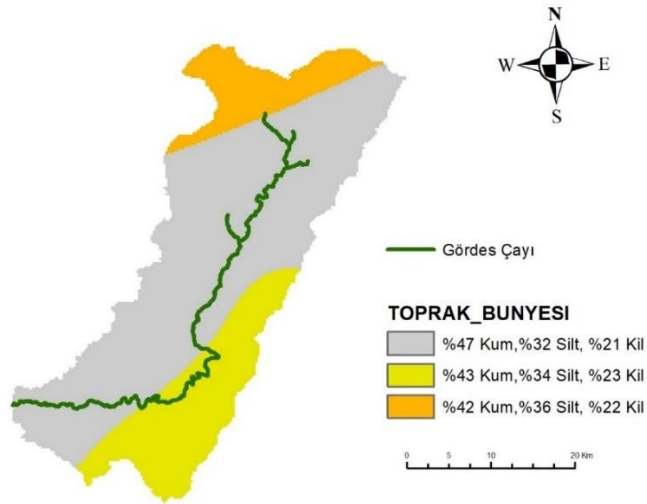
7.3 Havzanın Arazi Kullanımı Dağılımı, Toprak Yapısı ve Jeolojik Formasyon Dağılımı

ABCD modelinin “a” parametre değeri havzanın fiziksel özelliklerinden arazi kullanımına bağlı olarak değer almaktadır. Gördes Havzası'nın CORINE,2018'den temin edilen arazi kullanımı haritasının raster formatındaki görseli Şekil 7.8'de verilmiştir.



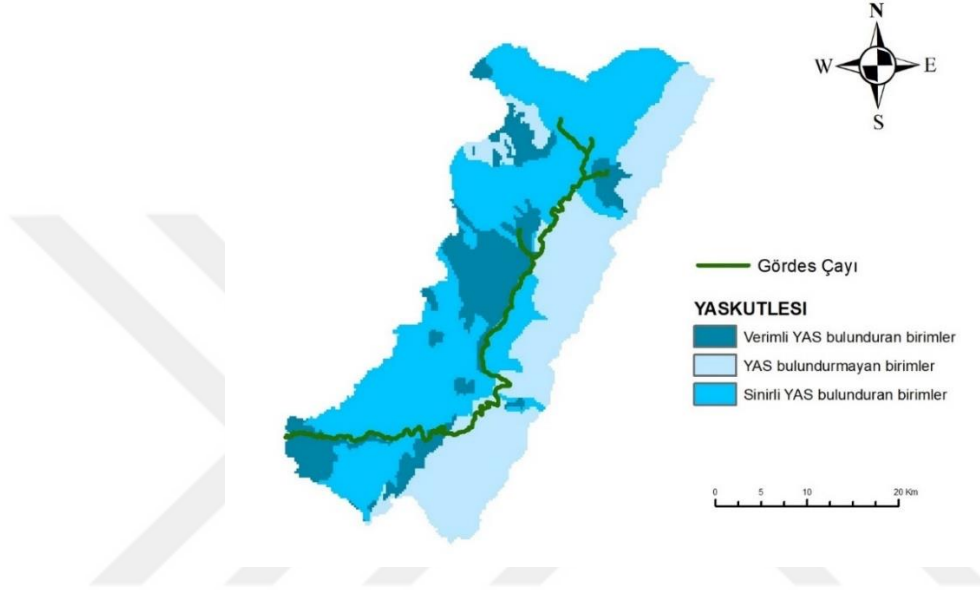
Şekil 7.8 Gördes Havzası'na ait CORINE arazi haritası

ABCD modelinin “b” ve “c” parametreleri havzanın toprak özelliklerine bağlı olarak değer almaktadır. Gördes Havzası'nın GSD (Global Soil Database) veri setinden edinilen (FAO, 1992) ve toprak özelliklerini gösteren haritasının raster formatındaki görseli Şekil 7.9'da verilmiştir.



Şekil 7.9 Gördes Havzası'na ait GSD toprak bünyesi haritası

ABCD modelinin “d” parametresi havzanın jeolojik özelliklerine (yer altı suyu depolama kapasitesine) bağlı olarak değer almakta olup Gördes Havzası’nın MTA tarafından sağlanan jeolojik formasyon verilerinden edinilen jeolojik formasyon haritasının raster formatındaki görseli Şekil 7.10’da verilmiştir.



Şekil 7.10 Gördes Havzası’na ait jeolojik formasyon haritası

7.4 Ortalanmış Modelin Çalıştırılması Ve Performans Değerlendirmesi

Belirtildiği üzere, tasarlanan ABCD yayılı modeli ArcMap ile entegre çalışan bir modeldir. Modelin girdilerini oluşturan, istasyon ölçeğinde hesaplanan aylık ortalama yağış ile Hargreaves metodu ile hesaplanan aylık potansiyel evapotranspirasyon verileri Thiessen poligonları yöntemi kullanılarak havza alanına yayılmıştır. Yayılı hale getirilen bu veriler ArcMap çıktısı olan ASCII formatında elde edilmiştir.

Modelin parametrelerini oluşturan a,b,c ve d parametrelerinin havza alanına yayılabilmesi için havzanın fiziksel özelliklerini yansıtan arazi kullanımı, toprak yapısı ve jeolojik formasyon haritaları kullanılmıştır. Söz konusu haritalar ArcMap kullanılarak hücresel veri (raster) formatına getirilmiş, böylelikle çalışılan havzanın sınırları içerisinde kalan alanın arazi kullanımı, toprak yapısı ve jeolojik formasyon

haritaları raster formatında elde edilmiştir. Havzanın özelliklerini yansıtan bu raster veriler ArcMap çıktısı olan ASCII formatında elde edilmiştir.

Matlab üzerinde kodlanan yayılı model çalıştırılırken, xlsread komutu ile model verileri ve parametre değerleri, arcgridread komutu ile ise havza alanına yayılmış olan thiessen poligonu ve havzanın fiziksel özelliklerini yansıtan ASCII dosyaları okutulmuştur. Okutulan ASCII dosyalarındaki değerlere karşılık Excel dosyasında belirtilen parametre değeri alınarak hem model girdilerinin hem de model parametrelerinin havza alanına yayılı halini yansıtan matrisler oluşturulmuştur. Bu matrisler ile model çalıştırıldığında model sonucu olan model akışı (Qmodel) elde edilmiştir.

Yağış-akış modellerinin performansını değerlendirmek için kalibrasyon dönemine dayalı olarak gözlenen veriler ve model verileri arasındaki ilişkiyi test etmek gerekir. Bu kalibrasyon sürecinden elde edilen parametreler, validasyon verilerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Modelin ne kadar doğru çalıştığını belirlemek, sistemin performansını anlamak açısından önemlidir. Optimizasyon işlemleri sırasında, amaç fonksiyonu olarak gözlenen veriler ile model verileri arasındaki Nash-Sutcliffe (NS) katsayısının kullanılmasına karar verilmiştir. Tablo 7.1’de belirtildiği üzere, Nash-Sutcliffe (NS) tanım aralığı $(-\infty, 1)$ olan bir performans ölçütüdür ve ideal değeri 1’dir. Yüzdesel yanlışlık oranı (Pbias), tanım aralığı $(-\infty, \infty)$ olan ve ideal değeri 0 olan bir başka performans ölçütüdür. Pbias’ın pozitif sonuçları modelin gözlenen değerlerin altında kaldığını, negatif sonuçları ise modelin gözlenen değerlerin üzerinde tahminleme yaptığını gösterir. N adet verinin girdi olarak verilmesiyle gözlenen akım ($Q_{g,i}$), gözlenen akımların ortalaması ($Q_{gort,i}$) ve model akımına ($Q_{m,i}$) bağlı olarak Nash-Sutcliffe katsayısı Denklem 7.3’de, Bias değeri ise Denklem 7.4’de verildiği şekilde hesaplanır (Altıntaş, S. ,2023).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i:1}^N (Q_{g,i} - Q_{m,i})^2}{\sum_{i:1}^N (Q_{g,i} - Q_{gort,i})^2} \quad (7.3)$$

$$Bias(\%) = \frac{\sum_{i:1}^N (Q_{g,i} - Q_{m,i})}{\sum_{i:1}^N Q_{g,i}} \times 100 \quad (7.4)$$

Tablo 7.1 Nash-Shutcliffe performans değerlendirmesi (Moriyasi, D. N. vd., 2007)

Performans Değerlendirmesi	Nash-Shutcliffe (NS) Değeri
Çok İyi	$0,75 < NS \leq 1$
İyi	$0,65 < NS \leq 0,75$
Yeterli	$0,50 < NS \leq 0,65$
Yeterli Değil	$NS \leq 0,50$

Literatürde çalışmalara konu olmuş birçok hidrolojik model yer almaktadır. Her modelin kendi farklı parametreleri bulunmaktadır. Havzanın akışının doğru şekilde modellenebilmesi için hem havzanın fiziksel özelliklerini doğru yansıtan bir model seçilmeli hem de havza için doğru model parametre değerleri belirlenmelidir. Model akımlarının gözlenmiş akımlara yakınsayacağı model parametrelerinin belirlenebilmesi için kullanılabilir algoritmalar mevcuttur. Ancak bu algoritmalar ortalanan modellerde sorunsuz çalışmasına rağmen yayılı modellerde henüz literatüre konu olmuş bir kullanımı mevcut değildir. Bu nedenle öncelikle ortalanan model PSO algoritması kullanılarak çalıştırılmış ve modele ait en iyi Nash değerini veren model parametreleri belirlenmiştir. Meteoroloji istasyonu verileri ve Era5 Land verilerine ait ortalanan model parametreleri Tablo 7.2’de, model performansları ise Tablo 7.3’de verilmiştir.

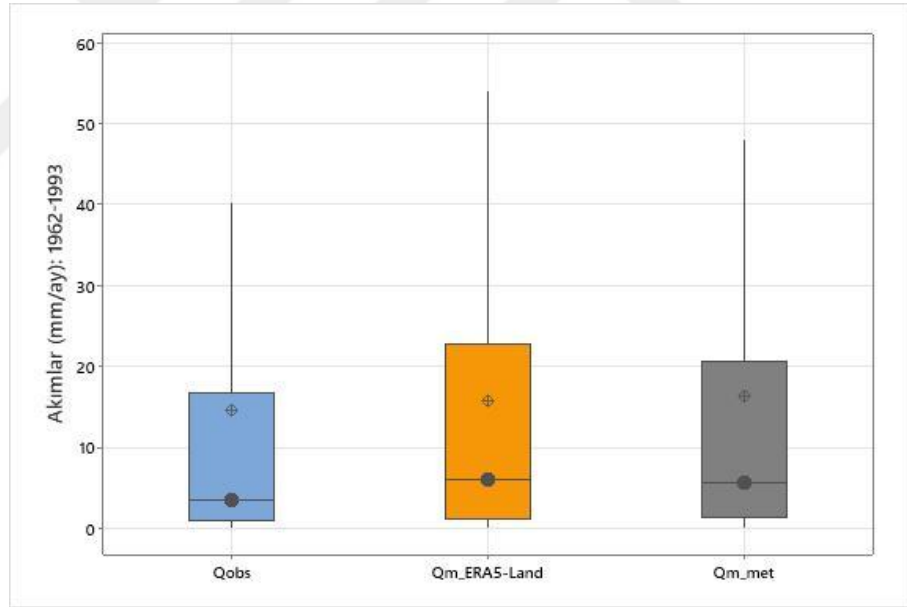
Tablo 7.2 Optimum ortalanan model parametreleri

PSO	Parametreler	a	b	c	d	NS
	Era5 Land Verileri Parametre Değerleri	0,934	218,48	0,173	0,001	0,721
Meteoroloji İstasyonu Verileri Parametre Değerleri	0,975	352,51	0,133	0,001	0,916	

Tablo 7.3 Ortalanmış modelde veri setlerine ait kalibrasyon ve verifikasyon dönemi istatistikleri

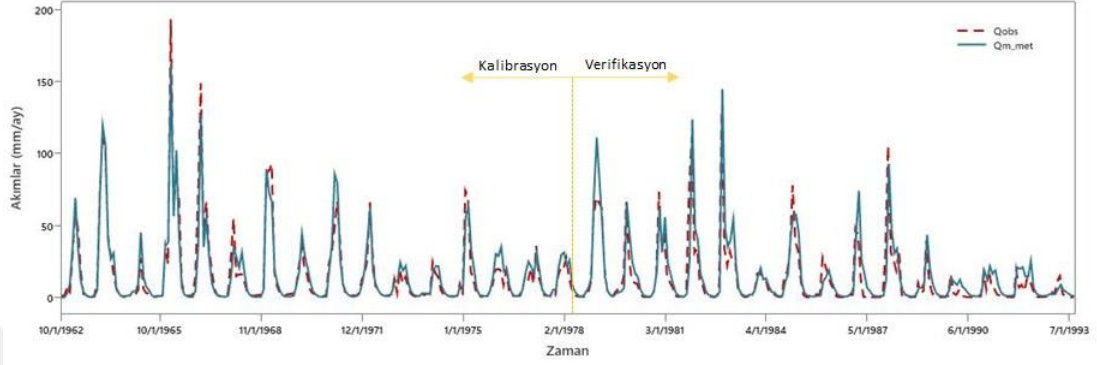
Veri Seti ve Dönemi		RMSE (mm)	R2 (-)	NS (-)	MAE (-)	PBIAS (%)
Meteoroloji İstasyonu Verileri	Kalibrasyon	8,05	0,917	0,916	4,82	4,19
	Verifikasyon	8,45	0,869	0,838	4,87	17,82
Era 5 Land Verileri	Kalibrasyon	14,644	0,724	0,721	8,137	7,49
	Verifikasyon	8,757	0,826	0,825	4,743	4,82

Model sonucunda elde edilen akımların medyan ve kartil istatistiklerinin görsel olarak dağılımını gösterebilmek için bu akımlara ait box-plot grafiği Şekil 7.11’de verilmiştir.

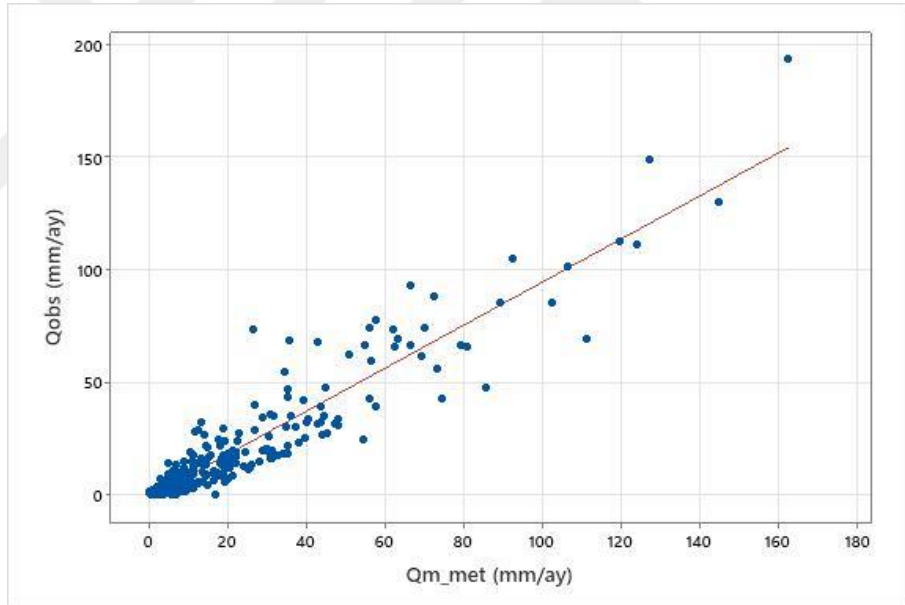


Şekil 7.11 Gözlemler ile model sonuçlarının box-plot grafiği

Meteoroloji verileri kullanılarak elde edilen model sonuçları ve gözlenmiş akımlara ait gidiş grafiği Şekil 7.12’de, saçılım grafiği ise Şekil 7.13’de verilmiştir. Meteoroloji verileri yerel istasyonlardan sağlandığı için model performans değeri oldukça yüksek olup model sonuçları gözlenmiş akımlar ile yüksek tutarlılıktadır.

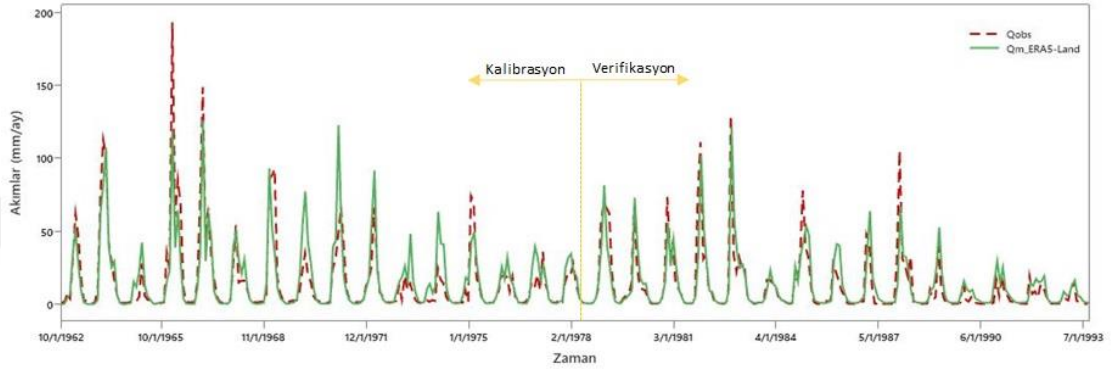


Şekil 7.12 Gözlenen akımlar ve meteoroloji verilerinden elde edilen serinin gidiş grafiği

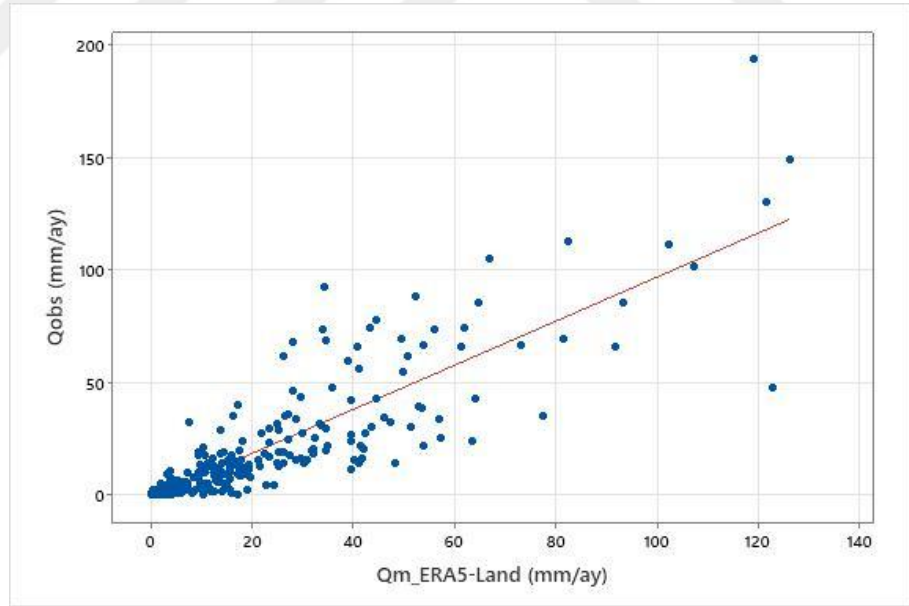


Şekil 7.13 Gözlemler ve meteoroloji verilerinden elde edilen serinin saçılım grafiği

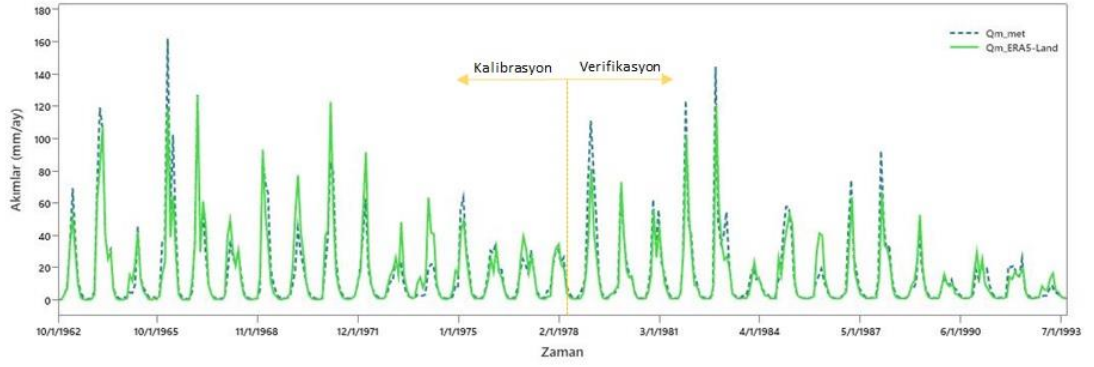
ERA5-Land verileri kullanılarak elde edilen model sonuçları ve gözlenmiş akımlara ait gidiş grafiği Şekil 7.14’de, saçılım grafiği ise Şekil 7.15’de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere Era5-Land verilerine dayalı model sonuçlarının gözlemlerle uyumlu olduğu görünmektedir. Şekil 7.16 da meteoroloji ve Era5 Land verilerine ait model sonuçlarının gidiş grafiği verilmiştir.



Şekil 7.14 Gözlenen akımlar ve Era5-Land verilerinden elde edilen serinin gidiş grafiği



Şekil 7.15 Gözlemler ve ERA5-Land verilerinden elde edilen serinin saçılım grafiği



Şekil 7.16 ERA5-Land ve meteoroloji verilerine ait model sonuçlarının gidiş grafiği

Çalışma sonucunda, hidrolojik model kalibrasyonunun potansiyel evapotranspirasyon değerlerindeki farklılıkların model sonuçlarına yansımaya engel olduğu, dolayısıyla PET modellerinin hidrolojik modellemede akımlar üzerinde etkilerinin kısıtlı olduğu görülmüştür. Ayrıca modelin performans fonksiyon değerini iyileştirmek için d parametresinin Tablo 7.2’de belirtildiği gibi alt sınıra dayandığı görülmüştür. Bu durumun güneş radyasyon verilerinin bölge temsiliyetinin zayıf olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

7.5 Yayılı Modelin Çalıştırılması Ve Performans Değerlendirmesi

7.5.1 Yayılı Model İle Meteoroloji İstasyonu Verilerinin Uygulaması ve Performans Değerlendirmesi

Yapılan çalışmada 1962-1993 yılları arasında 372 adet veri kullanılmakta olup bu verilerin 1962-1978 yılları arasının kapsayan 186 adedi ile model kalibre edilmiş ve model parametrelerinin değerleri belirlenmiş, 1978-1993 yılları arasını kapsayan 186 adet veri ile ise model sınanmıştır.

Ortalanmış modelin havza için optimum parametreleri belirlendikten sonra 250mx250m çözünürlüğe sahip alansal dağılımlı model girdileri ve alansal dağılımlı model parametreleri ile çalışan yayılı modele ait optimum parametreler deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Alansal dağılımı manuel olarak belirlenen yayılı parametreler Tablo 7.4’de verilmiştir.

Tablo 7.4 Meteoroloji istasyonu verileri ile çalıştırılan modelin kalibre edilen parametreleri

a parametresi		Arazi Kullanımı
0,9990		Kentsel Alan
0,9810		Tarımsal Alan
0,8600		Ormanlık Alan
0,9200		Makilik Alan
0,9980		Çıplak Alan
0,9750		Su Kütlesi
b/c parametreleri		Toprak Bünyesi
390/0,08		%42kum,%36silt,%22kil
326/0,04		%47kum,%32silt,%21kil
327/0,07		%43kum,%34silt,%23kil
d parametreleri		Jeolojik Formasyon
0,97		Verimli YAS bulunduran
0,99		YAS bulundurmayan
0,98		Sınırlı YAS bulunduran

Yukarıda belirtilen model parametreleri kalibrasyon dönemi için belirlenmiş olup bu parametreler verifikasyon dönemi verileri ile sınıanmıştır. Model sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 7.5’de verilmiştir.

Tablo 7.5 Meteoroloji istasyonu verileri ile çalıştırılan modele ait istatistikler

Kalibrasyon / 186 Ay			Verifikasyon / 186 Ay		
İstatistikler	Gözlem	Model	İstatistikler	Gözlem	Model
Ortalama (mm)	16,86	16,64	Ortalama (mm)	12,01	12,91
Standart Sapma (mm)	27,80	25,14	Standart Sapma (mm)	21,05	21,84
NS (-)	0,920		NS (-)	0,877	
LN Nash (-)	0,861		LN Nash (-)	0,817	
RMSE (mm)	7,994		RMSE (mm)	7,370	
MAE (-)	4,574		MAE (-)	3,927	
R2 (-)	0,920		R2 (-)	0,888	

7.5.2 Yayılı Model İle Era5 Land Verilerinin Uygulaması ve Performans Değerlendirmesi

Yapılan çalışmada kullanılacak küresel veri seti belirlenirken yüksek çözünürlüğe sahip güncel bir veri seti olmasına dikkat edilmiştir. Yapılan literatür çalışmalarına bakıldığında Era5 veri seti kullanılarak yapılan çalışmaların oldukça yaygın olduğu görülmüştür. Bu çalışmalarda Era5 veri setinin performans değerlendirmesine bakıldığında çalışma alanı olarak seçilen bölgede kullanılabileceği görülmüştür. Ancak bu veriler yayılı model çalıştırılırken kullanılacağından Era5 veri setinin geliştirilmiş versiyonu olan Era5 Land veri seti tercih edilmiştir. Veri seti içerisinde yer alan yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verileri Copernicus'un veri portalından alınmıştır. 1962-1993 yılları arasında yer alan 372 adet veri kullanılmış olup bu verilerin 1962-1978 yılları arasının kapsayan 186 adedi ile ortalanan model kalibre edilmiş ve model parametrelerinin değerleri belirlenmiş, 1978-1993 yılları arasını kapsayan 186 adet veri ile ise model sınanmıştır.

Sonrasında 250mx250m çözünürlüğe sahip veriler ile çalışan yayılı modele ait optimum parametreler deneme yanılma yoluyla, ortalanmış model parametrelerine yakınsayacak şekilde belirlenmiştir. Manuel olarak belirlenen yayılı parametreler Tablo 7.6'da verilmiştir.

Tablo 7.6 Era5 Land verileri ile çalıştırılan modelin kalibre edilen parametreleri

<u>a parametresi</u>		<u>Arazi Kullanımı</u>
0,9680		Kentsel Alan
0,9600		Tarımsal Alan
0,9400		Ormanlık Alan
0,9490		Makilik Alan
0,9670		Çıplak Alan
0,9340		Su Kütlesi
<u>b/c parametreleri</u>		<u>Toprak Bünyesi</u>
260/0,390		%42kum,%36silt,%22kil
250/0,310		%47kum,%32silt,%21kil
256/0,340		%43kum,%34silt,%23kil
<u>d parametreleri</u>		<u>Jeolojik Formasyon</u>
0,00002		Verimli YAS bulunduran
0,00004		YAS bulundurmayan
0,00003		Sınırlı YAS bulunduran

Yukarıda belirtilen model parametreleri kalibrasyon dönemi için belirlenmiş olup bu parametreler verifikasyon dönemi verileri ile sınıanmıştır. Model sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 7.7’de verilmiştir.

Tablo 7.7 Era5 Land verileri ile çalıştırılan modele ait istatistikler

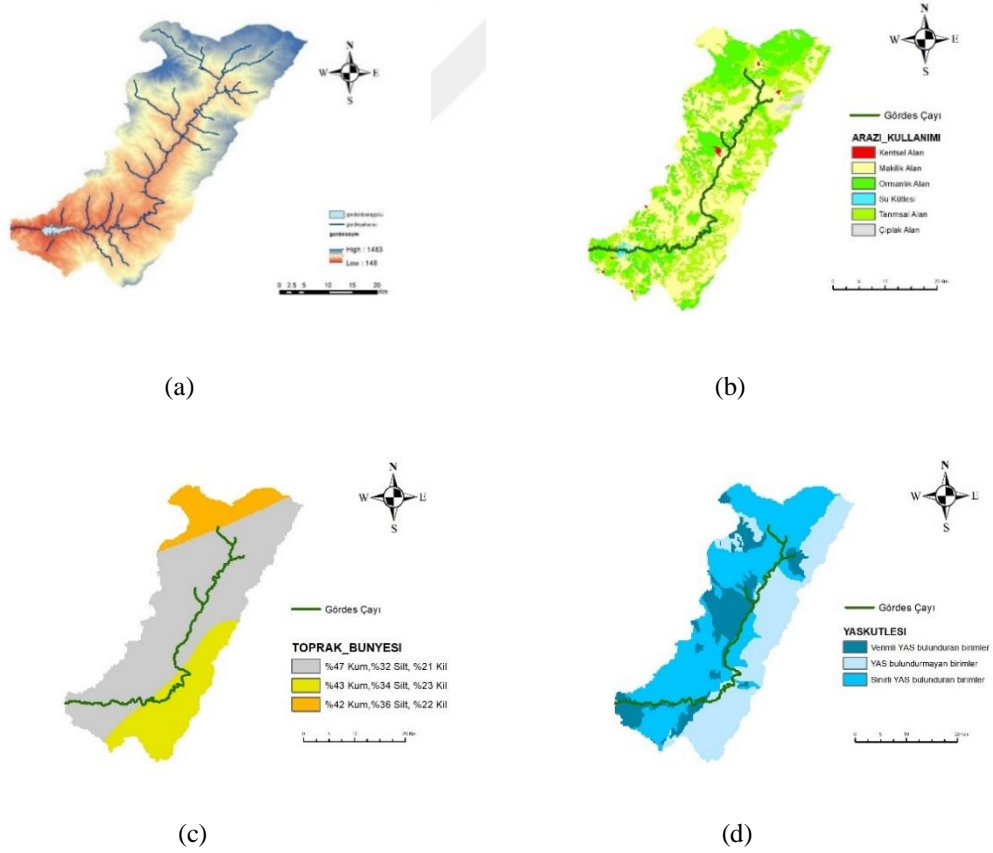
<u>Kalibrasyon / 186 Ay</u>			<u>Verifikasyon / 186 Ay</u>		
İstatistikler	Gözlem	Model	İstatistikler	Gözlem	Model
Ortalama (mm)	16,86	17,15	Ortalama (mm)	12,01	11,61
Standart Sapma (mm)	27,80	23,10	Standart Sapma (mm)	21,05	17,08
NS (-)	0,730		NS (-)	0,821	
LN Nash (-)	0,728		LN Nash (-)	0,823	
RMSE (mm)	15,199		RMSE (mm)	8,891	
MAE (-)	8,196		MAE (-)	4,646	
R2 (-)	0,700		R2 (-)	0,831	

BÖLÜM SEKİZ

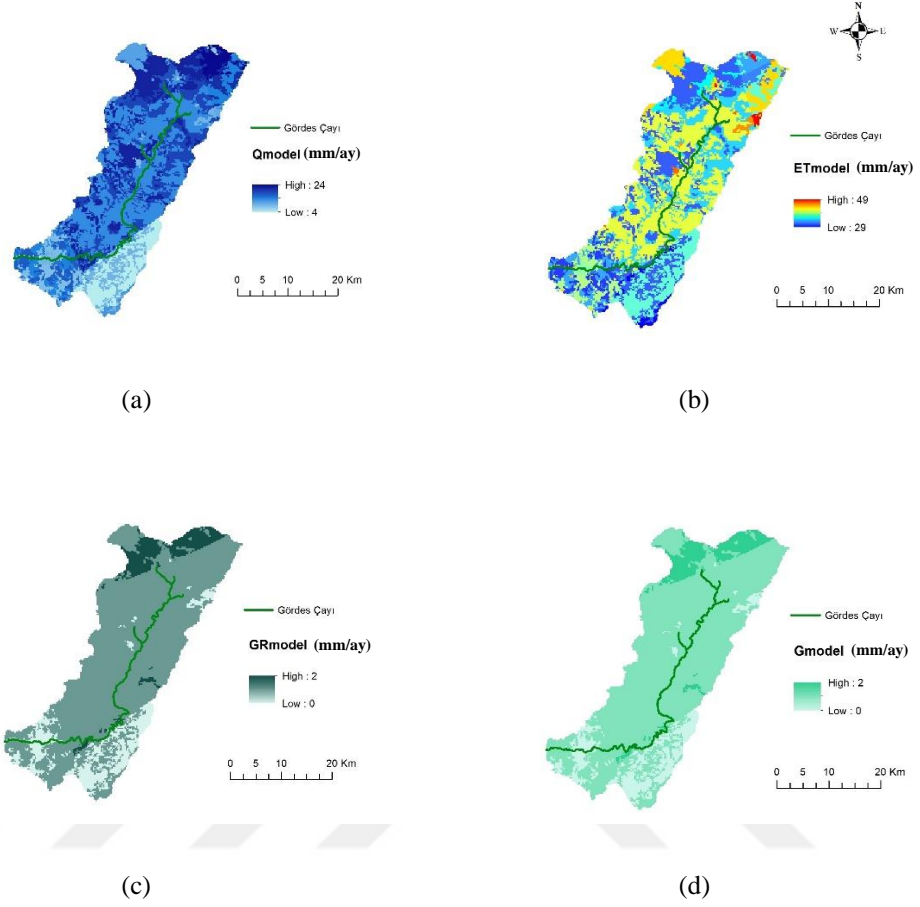
BULGULAR

Sunulan çalışmada ortalanan yapıdaki dört parametrelili ABCD yağış akış modeli alansal dağılımlı (raster) veri ve parametrelerle çalışacak şekilde düzenlenmiş; hem istasyon bazında gözlenmiş meteoroloji istasyonu verileri hem de Era5-Land küresel veri seti ile çalıştırılarak, Gördes Havzası'ndaki model akışları tahmin edilmiştir. Yayılı çalışabilecek şekilde düzenlenen hidrolojik model sayesinde, model çıktılarının aylık bazda ve alansal katmanlar halinde elde edilmesi mümkün hale getirilirken, uzun dönemlere ait ortalama sonuçlar da elde edilerek havza hidrolojisi ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir.

Çalışma alanı olarak seçilen Gördes Havzası'nın fiziksel özelliklerini yansıtan topoğrafya (SYM), arazi kullanımı (CORINE), toprak özellikleri (GSD) ve hidrojeolojik özellikleri, hücresel katmanlar halinde Şekil 8.1'de verilmiştir.



Şekil 8.1 Gördes Havzasına ait (a) SYM, (b) CORINE, (c) GSD ve (d) hidrojeolojik özellik haritaları



Şekil 8.2 Ulusal veri seti ile çalıştırılan yayılı model sonuçlarına göre (a) akış, (b) gerçekleşen evapotranspirasyon, (c) yeraltı suyu beslenimi ve (d) yeraltı suyu depolaması haritaları

Model sonuçları incelendiğinde, kentsel alanlarda toplam akışın kırsal alanlara oranla daha yüksek değerlere ulaştığı, makilik ve çıplak alanlarda ise yağışın akışa dönüşümünün düşük değerler seyrettiği görülmektedir. Ayrıca havzanın kuzeyindeki akış miktarının, güney kesimlere kıyasla daha yüksek değerlerde seyrettiği görülmektedir.

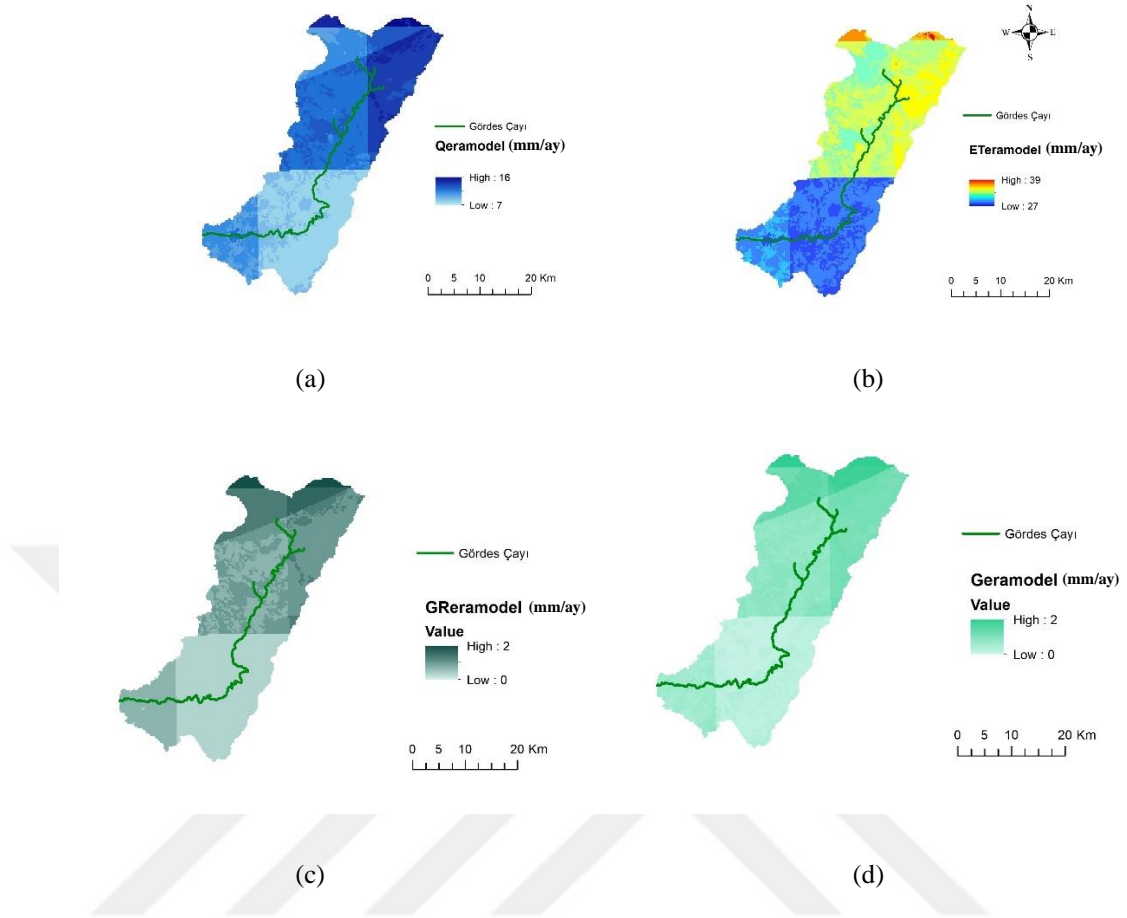
Ormanlık alanların yoğunlaştığı bölgelerde evapotranspirasyon miktarının kentsel ve çıplak alanlara kıyasla daha düşük değerlerde kaldığı görülmektedir. Yoğun bitki örtüsünün zeminden gerçekleşen buharlaşma açısından evapotranspirasyonu kısıtladığı, kentsel ve çıplak alanlarda ise yağışın hızla evapotranspirasyonla atmosfere geri döndüğü belirlenmiştir.

Toprak özellikleri açısından geçirimsizliği düşük ve YAS bulundurmeyen alanlarda düşük miktarda YAS depolaması gözlemlenmekle beraber yüksek geçirimsizliğe sahip alanlarda daha yüksek YAS depolaması gerçekleştiği görülmüştür. Bununla birlikte, geçirimsizliği yüksek olup verimli YAS bulunduran alanlarda ise geçirimsizliği düşük alanlara kıyasla çok daha yüksek miktarda YAS depolamasının gerçekleştiği belirlenmiştir.

Tablo 8.1’de yayılı modelin, istasyon bazında gözlenmiş meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak çalıştırılmasıyla elde edilen uzun dönemlere (1962-1993) ait ortalama sonuçlar verilmiştir.

Tablo 8.1 Arazi örtüsüne göre ulusal veri seti ile çalıştırılan yayılı model sonuçlarının uzun yıllar ortalamaları

Arazi Örtüsü	Kentsel Alan	Makilik Alan	Ormanlık Alan	Tarımsal Alan	Çıplak Alan	Su Kütlesi	Toplam
Alan (km ²)	4,7	501,6	244,6	281,1	11,0	8,1	1051,2
Alansal Oran (%)	0,005	0,477	0,233	0,267	0,011	0,007	1
Q (hm ³ /ay)	0,030	5,520	5,090	4,780	0,100	0,080	15,6
Q (%)	0,002	0,354	0,326	0,307	0,006	0,005	1
ET (hm ³ /ay)	0,210	19,820	7,520	9,420	0,530	0,300	37,8
ET(%)	0,006	0,524	0,199	0,249	0,014	0,008	1
GR (hm ³ /ay)	0,001	0,262	0,279	0,231	0,004	0,003	0,78
GR (%)	0,002	0,336	0,357	0,296	0,005	0,004	1
G (hm ³ /ay)	0,001	0,216	0,233	0,194	0,003	0,003	0,65
G (%)	0,002	0,332	0,358	0,299	0,005	0,004	1



Şekil 8.3 Era5 Land veri seti ile çalıştırılan yayılı model sonuçlarına göre (a) akış, (b) gerçekleşen evapotranspirasyon, (c) yeraltı suyu beslenimi ve (d) yeraltı suyu depolaması haritaları

Model sonuçları incelendiğinde, grid sınırlarının model sonuçlarında belirgin bir şekilde etkisini gösterdiği, gridler arasında homojen bir geçişin sağlanamadığı görülmüştür. Aynı grid sınırları içerisinde kalan bölgelerde kentsel alanlarda ve ormanlık alanlarda akışa dönüşen yağış miktarı makilik alanlara oranla daha yüksek değerler almaktadır . Ayrıca havzanın kuzeyindeki akış miktarının, güney kesimlere kıyasla daha yüksek değerlerde seyrettiği görülmektedir.

Aynı grid sınırları içerisinde kalan bölgelerde ormanlık alanların yoğunlaştığı bölgelerde evapotranspirasyon miktarının kentsel, çıplak ve makilik alanlara kıyasla daha düşük değerlerde kaldığı görülmektedir. Yoğun bitki örtüsünün zeminden gerçekleşen buharlaşma açısından evapotranspirasyonu kısıtladığı, kentsel ve çıplak alanlarda ise yağışın hızla evapotranspirasyonla atmosfere geri döndüğü düşünülmektedir.

Yağışın düşük olduğu gridlerde toprak özellikleri açısından geçirimsizliği düşük ve YAS buldurmeyen alanlarda düşük miktarda YAS beslenimi gözlemlenmekte, YAS depolaması düşük değerler almaktadır. Bununla beraber yağışın yüksek olduğu bölgelerde toprak geçirimsizliği düşük olması durumunda dahi yüksek değerlerde YAS beslenimi ve YAS depolaması olduğu belirlenmiştir.

Tablo 8.2’de yayılı modelin, Era5 Land verileri kullanılarak çalıştırılmasıyla elde edilen uzun dönemlere (1962-1993) ait ortalama sonuçlar verilmiştir.

Tablo 8.2 Arazi örtüsüne göre Era5 Land veri seti ile çalıştırılan yayılı model sonuçlarının uzun yıllar ortalamaları

Arazi Örtüsü	Kentsel Alan	Makilik Alan	Ormanlık Alan	Tarımsal Alan	Çıplak Alan	Su Kütlesi	Toplam
Alan (km ²)	4,7	501,6	244,6	281,1	11,0	8,1	1051,2
Alansal Oran (%)	0,005	0,477	0,233	0,267	0,011	0,007	1
Q (hm ³ /ay)	0,264	20,137	7,114	9,69	0,145	0,109	37,459
Q (%)	0,007	0,537	0,190	0,259	0,004	0,003	1
ET (hm ³ /ay)	0,155	15,971	7,6	8,810	0,394	0,231	33,161
ET(%)	0,005	0,480	0,230	0,266	0,012	0,007	1
GR (hm ³ /ay)	0,002	0,243	0,141	0,150	0,007	0,005	0,548
GR (%)	0,004	0,444	0,258	0,273	0,013	0,008	1
G (hm ³ /ay)	0,003	0,233	0,075	0,101	0,002	0,004	0,418
G (%)	0,006	0,556	0,180	0,244	0,004	0,010	1

BÖLÜM DOKUZ

SONUÇLAR

Hidrolojik modellemenin temel amacı, su döngüsü süreçlerini anlamak ve tahmin etmektir. Kavramsal modeller, bu süreçlerin basitleştirilmiş bir temsilini sunarak, su kaynaklarının yönetimi ve planlamasında karar alıcılara rehberlik etmektedir. Ortalanmış modeller, genel bir bakış açısı sağlarken, sistemin mekânsal ve zamansal heterojenliğini ihmal edebilmektedir. Buna karşın, yayılı modeller, su hareketlerini daha ayrıntılı ve mekânsal olarak dağıtılmış bir biçimde ele almakta; ancak veri yoğunluğu, hesaplama zorlukları ve model belirsizlikleri gibi önemli sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelmek için, modelleme sürecinde verilerin doğruluğu, ölçek uyumu ve hesaplama verimliliği gibi kritik unsurların titizlikle ele alınması gerekmektedir.

Çalışma sahasındaki hidrolojik model sonuçları incelendiğinde, Era5 Land veri setinin ortalanmış ve yayılı model sonuçlarının Nash değerlerinin 0,7'nin üstünde kaldığı dolayısıyla veri setinin bölge temsiliyetinin yeterince iyi olduğu belirlenmiştir. Bu veri setine erişimin kolaylığı ve bölgenin hidrolojik özelliklerini yansıtmadaki başarısı dikkate alındığında, bu bölge için modelleme çalışmalarında güvenle kullanılabileceği gösterilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan her iki veri seti ile modelin çalıştırılması sonucunda, yayılı model Nash değerinin ortalanmış model Nash değerinin az da olsa üzerinde kaldığı; bu durumun yayılı model verisi ve parametre entegrasyonunun model performansını olumlu yönde iyileştirdiği görülmektedir. Bu nedenle arazi kullanımı ve toprak yapısı gibi haritaların çalışma bölgesindeki doğruluklarının artması, modellerin performanslarında daha da artışa neden olacağı düşünülmektedir. Ayrıca yayılı kalibrasyonun manuel yapılmasından kaynaklı yanılma payının arttığı düşünülmekte, bu aşamada literatürde başarısı desteklenmiş bir optimizasyon algoritması kullanılması durumunda yayılı model nash değerlerinin daha belirgin farklarla ortalanmış model nash değerlerinin üzerine çıkacağı düşünülmektedir.

Ayrıca yayılı model kalibre edilirken kullanılan gözlenmiş akım değerleri tek istasyondan alınmış olup daha fazla akım gözlem istasyonu ile çalışılması durumunda model performansının artacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma ile, yayılı model uygulamalarının ortalananmış modellere kıyasla daha başarılı sonuçlar verdiği; model parametrelerin belirlenmesine esas olan toprak yapısı, hidrojeolojisi gibi fiziksel özelliklerin çalışma sahasını daha başarılı biçimde temsil etmesi halinde model performanslarının daha da artacağı gösterilmiştir. Geliştirilen yayılı model sayesinde yüzeysel akış, sızma, evapotranspirasyon gibi hidrolojik büyüklüklerin alansal dağılımlarıyla elde edilmesinin havza yönetiminde önemli bir karar desteği sağlayacağı düşünülmektedir. İlerde yapılacak çalışmalar esnasında yayılı model girdisi olan raster verilerin havza temsiliyetinin artırılması durumunda ve yayılı modelin optimizasyon algoritması kullanılarak kalibra edilmesi durumunda modelin çalıştırılması kolaylaştırılabilecektir.

KAYNAKLAR

- Anteneh, Y., Alamirew, T., Zeleke, G., & Kassawmar, T. (2023). 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.
- Alley, W. M. (1985). Water balance models in one - month - ahead streamflow forecasting. *Water Resources Research*, 21(4), 597-606.
- 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
- Altıntaş, S. (2023). Kavramsal aylık yağış-akış modellerinin kıyaslanması (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Afshar, A., Shojaei, N., & Sagharjooghifarahani, M. (2013). Multiobjective calibration of reservoir water quality modeling using multiobjective particle swarm optimization (MOPSO). *Water resources management*, 27, 1931-1947.
- Bai, Q. (2010). Analysis of particle swarm optimization algorithm. *Computer and information science*, 3(1), 180.
- Bai, P., Liu, X., & Liu, C. (2018). Improving hydrological simulations by incorporating GRACE data for model calibration. *Journal of Hydrology*, 557, 291-304.
- Bayazıt, M. (1998). Hidrolojik modeller. İTÜ.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Corine Land Cover Raster Data, European Environment Agency, (2018). <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018>
- Ekinci, D. D., & Fıstıkoğlu, O. (2023) Gördes Havzası Akışlarının Modellenmesinde Era5-Land Verilerinin Performans Değerlendirmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 14(3), 507-517.

- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995, October). 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.
- Çaktu, Y. (2022). Identifying impacts of climate change on water resources using CMIP6 simulations: Havran basin case (Master's thesis, Middle East Technical University).
- FAO. (1992). Global and National Soil and Terrain Database, World Soil Resources Report 74, FAO, Rome. 8 Ağustos 2018, <http://www.fao.org/uploads/media/glc-share-doc.pdf>
- Fıstıkoğlu, O., “Hidrolojik modeller” Türkiye İnşaat Mühendisliği 15. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı içinde (799-809). Ankara, 1999.
- Fistikoglu, O., & Okkan, U. (2011). Statistical downscaling of monthly precipitation using NCEP/NCAR reanalysis data for Tahtali River Basin in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(2), 157-164.
- Girgin, G., & Şen, Ö. L. (1981). 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.
- 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
- Guth, P. L., Van Niekerk, A., Grohmann, C. H., Muller, J. P., Hawker, L., Florinsky, I. V., ... & Strobl, P. (2021). Digital elevation models: Terminology and definitions. *Remote Sensing*, 13(18), 3581.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture*, 1(2), 96-99.

- Jahandideh-Tehrani, M., Bozorg-Haddad, O., & Loáiciga, H. A. (2020). Application of particle swarm optimization to water management: an introduction and overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(5), 281.
- Benli, K. (2018). Coğrafi bilgi sistemi tabanlı kavramsal aylık yağış-akış modelinin geliştirilmesi (Master's thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey)).
- Kendall, C., McDonnell, J. J., & Gu, W. (2001). A look inside ‘black box’ hydrograph separation models: a study at the Hydrohill catchment. *Hydrological Processes*, 15(10), 1877-1902.
- Kilinc, H. C. (2022). Daily streamflow forecasting based on the hybrid particle swarm optimization and long short-term memory model in the Orontes Basin. *Water*, 14(3), 490.
- Martinez, G. F., & Gupta, H. V. (2010). Toward improved identification of hydrological models: A diagnostic evaluation of the “abcd” monthly water balance model for the conterminous United States. *Water Resources Research*, 46(8).
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., ... & Thépaut, J. N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth system science data*, 13(9), 4349-4383.
- Mukherjee, S., Joshi, P. K., Mukherjee, S., Ghosh, A., Garg, R. D., & Mukhopadhyay, A. (2013). Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 205-217.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Nacar, S., Kankal, M., & Okkan, U. (2022). 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.

- Okkan, U., Fistikoglu, O., Ersoy, Z. B., & Noori, A. T. (2023). Investigating adaptive hedging policies for reservoir operation under climate change impacts. *Journal of Hydrology*, 619, 129286.
- 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.
- Okkan, U., & Kirdemir, U. (2016). Bayes model ortalaması yöntemiyle kavramsal yağış-akış modeli çıktılarının değerlendirilmesi.
- Okkan, U., & Kirdemir, U. (2016). Budyko yaklaşımına dayanan bir su bütçesi modeli ve parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile kalibrasyonu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2(1), 1-10.
- Okkan, U., & Kirdemir, U. (2020). Locally tuned hybridized particle swarm optimization for the calibration of the nonlinear Muskingum flood routing model. *Journal of Water and Climate Change*, 11(S1), 343-358.
- Pellicer-Martínez, F., & Martínez-Paz, J. M. (2014). Assessment of interbasin groundwater flows between catchments using a semi-distributed water balance model. *Journal of Hydrology*, 519, 1848-1858.
- 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.
- Talebmorad, H., Ahmadnejad, A., Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., & Singh, V. P. (2020). 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.
- Tayfur, G. (2017). Modern optimization methods in water resources planning, engineering and management. *Water Resources Management*, 31, 3205-3233.
- Thomas Jr, H. A. (1981). Improved methods for national water assessment, water resources contract: WR15249270. Harvard Water Resources Group.

- Turan, M., & Doğan, E. (2015). Kavramsal Hidrolojik Modellerin Farklı Optimizasyon Algoritmaları İle Kalibrasyonu-Calibration of Conceptual Hydrological Model by Different Optimization Algorithms. *Celal Bayar University Journal of Science*, 11(2).
- Uchenna, U. P., Lancia, M., Viaroli, S., Ugbaja, A. N., Galluzzi, M., & Zheng, C. (2023). Groundwater sustainability in African Metropolises: Case study from Calabar, Nigeria. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45, 101314.
- Wang, D., & Tang, Y. (2014). A one - parameter Budyko model for water balance captures emergent behavior in Darwinian hydrologic models. *Geophysical Research Letters*, 41(13), 4569-4577.
- Yang, Y., Li, Q., Song, Z., Sun, W., & Dong, W. (2022). A comparison of global surface temperature variability, extremes and warming trend using reanalysis datasets and CMST-Interim. *Int. J. Climatol*, 42(11), 5609-5628.
- Yates, D., & Strzepek, K. M. (1994). Potential evapotranspiration methods and their impact on the assessment of river basin runoff under climate change
- Yilmaz, M. (2023). Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. *Science of the Total Environment*, 856, 159182.
- Zou, J., Lu, N., Jiang, H., Qin, J., Yao, L., Xin, Y., & Su, F. (2022). Performance of air temperature from ERA5-Land reanalysis in coastal urban agglomeration of Southeast China. *Science of The Total Environment*, 828, 154459.