



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FİZİKSEL TABANLI GLOBAL BROOK90-R
HİDROLOJİK MODELİNİN TÜRKİYE'DE
BAZI NEHİR HAVZALARINDA
UYGULANABİLİRLİĞİ:
AKIM TAHMİN ÇALIŞMASI

Muhammet Cafer ÜLKER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammet Cafer ÜLKER tarafından hazırlanan “Fiziksel Tabanlı Global BROOK90-R Hidrolojik Modelinin Türkiye’de Bazı Nehir Havzalarında Uygulanabilirliği: Akım Tahmin Çalışması” adlı tez çalışması 03/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

.....

Danışman

Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Volkan YILMAZ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Muhammet Cafer ÜLKER

Tarih: 03.06.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

FİZİKSEL TABANLI GLOBAL BROOK90-R HİDROLOJİK MODELİNİN TÜRKİYE’DE BAZI NEHİR HAVZALARINDA UYGULANABİLİRLİĞİ: AKIM TAHMİN ÇALIŞMASI

Muhammet Cafer ÜLKER

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

2022, 72 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ
Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
Dr. Öğr. Üyesi Volkan YILMAZ**

Hidrolojik modellerin kullanımı havzalarda hidrolojik sürecin anlaşılması, hidrolik/hidrolojik değişenlerin tahmin edilmesi, su kaynakları üzerinde iklim değişikliği etkilerinin ortaya konulması, gelecek iklim projeksiyonlarının oluşturulması ve su yönetim stratejilerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada Türkiye’de ilk kez kullanılan fiziksel tabanlı Global BROOK90-R (GB90-R) hidrolojik modeli aylık akım miktarlarını tahmin etmek için Çarşamba Çayı, Karasu Çayı ve Körkün Çayı Havzalarına kurulmuştur. Modele girdi olarak meteorolojik (yağış, sıcaklık, rüzgar ve radyasyon) ve fiziksel (sayısal yükseklik haritası, arazi örtüsü ve toprak haritaları) veriler girilmiştir. Model, Çarşamba Çayı Havzası için 1977-2016, Karasu Çayı Havzası için 1979-2020 ve Körkün Çayı Havzası için 1992-2017 periyodunda çalıştırılmıştır. Her bir havza için elde edilen model sonuçlarının başarısı determinasyon katsayısı (R^2), Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (NSE), Kling-Gupta verimlilik katsayısı (KGE) ve bias yüzdesi (P_{Bias}) metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre GB90-R modeli ile aylık akım tahmininde en yüksek başarı NSE=0.570 değeri ile Karasu Çayı Havzası için elde edilmiştir. Modelin aylık akım tahmininde Çarşamba Çayı Havzasında (NSE=0.521 değeri ile) elde ettiği başarı ise Karasu Çayı’nda elde edilen başarıya oldukça yakındır. GB90-R modeli ile aylık akım tahmininde en düşük performans NSE=0.337 değerine sahip Körkün Çayı Havzasında elde edilmiştir.

Çalışmada ayrıca GB90-R modelinin akım dışındaki diğer çıktıları olan evaporasyon (EVPP), toprak nemi (SWATT) ve kar (SNOW) her üç havza için su bütçesi açısından değerlendirilmiştir. GB90-R modelinin en önemli avantajı, girdi olarak sadece havza konumunu talep ederken çıktı olarak detaylı hidrolojik parametreler sunmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Global BROOK90-R, Fiziksel tabanlı modeller, RStudio, Su bütçesi, Uzaktan algılama

ABSTRACT

MS THESIS

THE APPLICABILITY OF THE GLOBAL BROOK90-R PHYSICALLY-BASED HYDROLOGIC MODEL IN SOME RIVER BASIN IN TURKEY: FLOW ESTIMATION STUDY

Muhammet Cafer ÜLKER

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

2022, 72 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ
Assoc. Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
Asst. Prof. Dr. Volkan YILMAZ**

The use of hydrological models is very important in terms of understanding the hydrological process in the basins, estimating the hydraulic/hydrological variables, revealing the effects of climate change on water resources, creating future climate projections and determining water management strategies.

In this study, the physically based Global BROOK90-R (GB90-R) hydrological model, which was used for the first time in Turkey, was established in the Çarşamba Stream, Karasu Stream and Körkün Stream Basins to predict monthly streamflow amounts. Meteorological (precipitation, temperature, wind speed and solar radiation) and physical data (digital elevation map, land cover and soil maps) were entered as input to the model. The model was run for the period 1977-2016 for the Çarşamba Stream Basin, 1979-2020 for the Karasu Stream Basin and 1992-2017 for the Körkün Stream Basin. The success of the model results obtained for each basin was evaluated using the coefficient of determination (R^2), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) coefficient, Kling-Gupta Efficiency (KGE) coefficient and percent bias (PBias) metrics. According to the results obtained, the highest success in monthly streamflow estimation with the GB90-R model was obtained for the Karasu Stream Basin with NSE=0.570 value. The success of the model in the monthly flow estimation in the Çarşamba Stream Basin (with a value of NSE=0.521) is very close to the success of the Karasu Stream. The lowest performance in monthly flow estimation with the GB90-R model was obtained in the Körkün Stream Basin with NSE=0.337 value.

In the study, evaporation (EVPP), soil moisture (SWATT) and snow (SNOW), other outputs of the GB90-R model other than flow, were evaluated in terms of water budget for all three basins. The most important advantage of the GB90-R model is that it requests only the basin location as input, while providing detailed hydrological parameters as output.

Keywords: Global BROOK90-R, Physically-based models, Remote Sensing, RStudio, Water Budget

ÖNSÖZ

Bu çalışma boyunca desteğini ve tecrübesini paylaşmaktan çekinmeyen danışman hocam Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ'a ve saygıdeğer Arş. Gör. Cihangir KÖYCEĞİZ hocama sonsuz minnetlerimi sunarım.

Muhammet Cafer ÜLKER
KONYA-2022



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
3.1. Çalışma Alanı ve Veriler	16
3.1.1. Sayısal yükseklik modeli (DEM).....	22
3.1.2. Arazi kullanım – bitki örtüsü haritası (Land use/cover)	24
3.1.3. Hidrometeorolojik veriler	26
3.1.4. Toprak özellikleri haritası	28
3.2. BROOK90 Modeli	32
3.2.1 Global BROOK90-R modeli	39
3.3 Performans Metrikleri ve Su Bütçesi	42
4. UYGULAMA ve ARAŞTIRMA SONUÇLARI	46
4.1. Uygulama.....	46
4.2. GB90-R Model Sonuçları	48
4.3. Su Bütçesi Analizi	55
5. TARTIŞMA.....	61
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

ψ	: Matrik su potansiyeli
θ	: Topraktaki su içeriği
Δ	: Günlük sıcaklık aralığı
σ	: Standart sapma
μ	: Ortalama değer
I0	: Potansiyel güneşlenme
ΔS	: Rezervuardaki su değişimi
AGİ	: Akım gözlem istasyonu
AWS	: Amazon Web Service
BM	: Birleşmiş Milletler
BYLF	: Bypass akış
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CC	: Kar paketi ısı parametresi
CDS	: Climate Data Store
CUP	: Kalibrasyon ve belirsizlik programı
DEM	: Sayısal yükseklik modeli
ECMWF	: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ERA5	: Yeniden analiz meteorolojik veri seti modeli
EVAP	: Evapotranspirasyon
EVPP	: Evaporasyon
FLOW	: Akım
GB90-R	: Global BROOK90 R
GWAT	: Yer altı suyu
GWFL	: Yer altı suyu akışı
HBV	: Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning
HRU	: Hidrolojik tepki birimleri (hydrological response units)=HRU)
INFL	: Sızma oranı
INTR	: Tutulan yağış
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
IRVP	: Tutulan yağmurdan buharlaşma
ISVP	: Tutulan kardan buharlaşma
K	: Hidrolik iletkenlik

KGE	: Kling-Gupta Verimlilik Katsayısı
LAI	: Yaprak alanı indeksi
LNGNET	: Uzun dalga radyasyonu
MGM	: Meteoroloji genel müdürlüğü
mHM	: The Mesoscale Hydrologic Model
MPR	: Çok ölçekli parametre bölgeselleştirme (multiscale parameter regionalization)
NCEP	: Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri
NCAR	: Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi
NSE	: Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı
PBIAS	: Bias yüzdesi
PET	: Potansiyel evapotranspirasyon
PREC	: Yağış
PSIF	: Toprak kapasitesindeki matrik potansiyel
PSIM	: Toprak yüzeyi katmanındaki matrik potansiyel oranı
R	: Günlük solar radyasyon
R²	: Determinasyon katsayısı
RN	: Net radyasyon
RNET	: Toprağa düşen net yağmur
RSS	: Toprak yüzey buharlaşma direnci parametresi
RSSA	: Toprak kapasitesindeki toprak yüzey buharlaşma direnci
RSSB	: Boyutsuz, üstel düzeltme parametresi
RSTEMP	: Kar-yağmur geçişi için temel sıcaklık
Q_g	: Gözlemlenen akım
Q_s	: Tahmin edilen akım
SAI	: Stem alanı indeksi
SCADIS	: Scalar Distribution
SEEP	: Derin sızma
SLFL	: Yüzey akışı
SLVP	: Toprak yüzeyinden toprak nemi buharlaşması
SMLT	: Kar erimesi
SNOW	: Kar
SNVP	: Kardan buharlaşma
SOLNET	: Bir eğimdeki ortalama gündüz güneş radyasyonu

SWAT	: Soil and Water Assessment Tool
SWATT	: Toprak nemi
SWAP	: The Soil Water Atmosphere Plant
SUFI-2	: Sequential Uncertainty Fitting Ver.-2
W	: Doygunluk oranı
WBM	: Water Balance Model
WoSIS	: World Soil Information Service
TMAX	: Günlük maksimum sıcaklık
TMIN	: Günlük minimum sıcaklık
TRANI	: Kök içeren her toprak katmanında gerçekleşen transpirasyon
TSNOW	: Kar paketi sıcaklığı

1. GİRİŞ

Su, geçmiş ve günümüz medeniyetlerinin vazgeçilmez unsurlarından biri olmuştur. Medeniyetler daima suya erişimin kolay olduğu, elverişli noktalara yerleşmeyi seçmiştir. Özellikle insanlık için su, diğer canlılardan farklı olarak sadece fizyolojik ihtiyaçların giderilmesi için değil aynı zamanda tarım, teknoloji, ulaşım gibi faaliyetleri de yürütebilmek için vazgeçilmez olmuştur. Bununla birlikte, yerleşik hayata geçen medeniyetler sel, kuraklık ve iklim değişikliğine bağlı oluşabilecek sorunları öngörme ihtiyacı hissetmişlerdir. Bu sebeple su kaynaklarının planlanması geçmişten günümüze önemli bir çalışma alanı olmuştur. Günümüzde artan nüfusla birlikte gerçekleşen insan faaliyetleri, sanayileşme ile gelişen teknoloji ve iklim değişikliğiyle beraber artış gösteren sel ve kuraklık şiddeti/sıklığı gibi etkiler (IPCC, 2019) su ve su kaynaklarına erişimi kısıtlamakta ve su kaynaklarının optimum şekilde kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple su kaynakları araştırmaları büyük önem taşımaktadır. Yapılan araştırmalardan elde edilecek sonuçlara göre geliştirilecek su kaynakları stratejileri, ülkelere ekonomik ve sosyal faydalar sağlamaktadır.

İklim değişikliği temelde insan kaynaklı sorunlardan biridir. 20. yüzyılın ortaları itibariyle atmosferde gerçekleşen ısınmanın büyük bir bölümü insan faaliyetlerine dayalı gerçekleşmiştir (IPCC, 2019). Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok ülke bu sorunun önüne geçmek ve sera gazı emisyonlarını sınırlandırmak amacıyla Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine katılmıştır. Fakat günümüzde halen iklim değişikliği kaynaklı su tehdidi gerçek bir sorundur. Özellikle iklim değişikliği ve artan su ihtiyacı ile birlikte bu alanda oldukça titiz davranılması gerekmektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) raporunda iklim, su tüketimi davranışındaki değişiklikler ve özellikle su kaynaklarına göre nüfus artışının etkileri nedeniyle, su kıtlığı 1900'lerde küresel nüfusun %14'ü iken, 2000'lere gelindiğinde bu oran %58'e ulaşmıştır (IPCC, 2018). Her ülke için olduğu gibi Türkiye için de su, temel öneme sahip bir doğal kaynaktır. Su kaynakları açısından yarı-kurak olarak değerlendirilen Türkiye'nin bazı nehir havzalarında bu kaynakların potansiyelinin, su ihtiyaçlarını gidermede şimdiden yetersiz kaldığı görülmektedir. Zira su kaynakları bakımından zengin bir görüntü çizen Türkiye gerçekte kişi başına düşen 1519 m³'lük su miktarı ile "su sıkıntısı çeken" bir ülke kabul edilmektedir. 2030 yılında, kişi başına düşen su miktarının 1120 m³/yıl olması beklenmektedir (Ormancılık ve Su Şurası 2013). İklim değişikliği; yazın sıcaklık

artışı, kışın yağışlarda azalma ve kuraklık dönemlerinin sıklaşması, yüzey sularında kayıp, toprakta bozulma, orman yangınları, kıyı erozyonu ve taşkın gibi etkilerle, Türkiye'deki su kaynaklarını ve onlara erişimi doğrudan tehdit etmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016). Artan şehirleşme ve nüfus ile birlikte bu sorunun büyüyeceği öngörülmektedir. Bu sebeple su kaynaklarının bilinçli kullanılması ve geleceğe yönelik planların yapılması, mevcut sorunlara çözümlerin üretilmesi gerekmektedir.

Bu doğrultuda su sektörü üzerindeki iklim değişikliği etkilerinin belirlenmesi ve iklim değişikliğine uyum çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Bir havzaya dair verimli su yönetim politikalarının geliştirilmesi, hidrolojik çevrimin iyi anlaşılmış olmasının yanı sıra o havzaya ait arazi ve iklim verilerinin değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda hidrolojik modellerden ve yazılım programlarından faydalanılmaktadır. Hidrolojik modeller, hidro-meteorolojik parametreler arasında ilişkiler kurarak fiziksel süreçler hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Başarılı hidrolojik modellerin geliştirilmesi ile birlikte, verimli su kaynakları yönetim stratejileri geliştirilmektedir. Ayrıca yapılan tahmin çalışmalarının verimliliği de geliştirilen modellerin başarısı ile doğru orantılıdır. Hidrolojik modellerin başarısı farklı yöntemlerle değerlendirilebilmektedir.

Su kaynaklarının optimum şekilde yönetilmesi ve sürdürülebilir stratejilerin belirlenmesinde, kullanılan hidrolojik modele bağlı olarak çalışılan havzanın hem coğrafik özelliklerini hem de hidrolojik özelliklerini tanımak oldukça önemlidir. Havzaya ait doğru, güvenilir ve güncel verinin kullanılması kullanılan hidrolojik modelin başarısında önemli bir faktördür (WMO, 1999), Dolayısıyla hidrolojik modellerde verinin önemi oldukça fazladır. Su bütçesi denkleminde bağlı olarak, çalıştırılan hidrolojik modeller genel olarak başarılı bir yağış-akış ilişkisi kurulması prensibine dayanır. Bu prensibe bağlı olarak hidrolojik süreci etkileyen diğer parametreler hakkında da bilgi elde edilmektedir. Bu sebeple genel su bütçesi bakış açısı ile geliştirilen yağış-akış modellerinde akım, ölçümlenebilir olması sebebiyle model başarısının değerlendirilmesinde sıkça tercih edilmektedir.

Yapılan bir hidrolojik modelleme çalışması havzaya dair kimi zaman zor coğrafi koşullar sebebiyle elde etmesi zor verileri sunarken kimi zaman da transpirasyon ve toprak nemi gibi gözlemlenmesi kolay olmayan hidrolojik çıktılar sunmaktadır. Ayrıca gelecek zaman periyotları için düşünülen senaryoların model üzerinde incelenmesi ileriki dönemler için de fayda sağlayacak planlamaların yapılmasına imkan sağlamaktadır.

Su kaynakları potansiyelinin değerlendirilmesinde ve su yapılarının planlanmasında akım tahmini çalışmaları oldukça önemlidir. Su yapılarının uzun yıllar verimli olarak çalışması hedeflendiğinden tutarlı ve istikrarlı akım tahmin çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Ayrıca tarım stratejilerinin geliştirilmesi, şehir ve bölge planlarının oluşturulması, taşkın ve kuraklık gibi afetlere karşı önlem politikalarının ortaya konmasında yine akım tahmin çalışmaları belirleyici rol oynamaktadır.

Yağış-akış modelleri, oluşturdukları su bütçesini esas olarak yağış girdisine karşı akışı çıktı olarak vermeyi hedefler. Çeşitli uygulama ve amaçlar doğrultusunda farklı yaklaşımlar sergileyen toplu kavramsal Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning (HBV) (Bergström, 1992) modelinden fiziksel tabanlı alansal dağınık Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Arnold ve ark., 1998) modeline kadar geliştirilmiş ve literatürde çalışılmış pek çok yağış-akış modellerine rastlamak mümkündür (Lupakov ve ark., 2021; Saadi ve ark., 2021; Noon ve ark., 2022; Shakarneh ve ark., 2022; Jaiswal ve ark., 2020) Bu modeller yağış-akış ilişkisinin çözümüne odaklandıkları gibi aynı zamanda farklı parametre ve süreçlerin değerlendirilmesine de olanak sağlamaktadır. Her bir modelin diğerine kıyasla avantajlı ve dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Bu sebeple yapılacak çalışmaya göre en uygun modelin değerlendirilerek tercih edilmesi gerekmektedir.

Veri odaklı yağış-akış modelleri yapay zeka ve derin öğrenme metotlarıyla meteorolojik girdiyi, istatistiksel başarısı yüksek akım sonuçlarına çevirebilmektedir. Fakat detaylı ve fiziksel olarak anlamlı hidrolojik parametreler üretememektedirler. Ayrıca değişen durumlar karşısında tepki vermekte zorlanmaktadırlar.

Son yıllarda hidrolojik süreçlerin fiziksel denklemler yardımıyla simüle edildiği fiziksel tabanlı modellerin kullanımı giderek artmaktadır (Koch ve ark., 2022; Leonarduzzi ve ark., 2021; Li ve Fang, 2021; Li ve ark., 2021; Vorobevskii ve ark., 2021a, Vorobevskii ve ark., 2021b). Fiziksel tabanlı modellerin avantajlarının başında hidrolojik parametrelerin detaylı olarak incelenebilmesi ve parametreler arası ilişkilerin gözlemlenebilmesi gelmektedir. Detaylı modelleme stratejisi, sürecin simüle edilmesi için gereken bilgilerin artışı beraberinde getirmektedir. Ancak ölçümleme teknolojisinin gelişmesi ile doğadan elde edilebilecek bilginin alansal ve zamansal çözünürlüğü artmıştır.

Fiziksel tabanlı modellerden biri olan BROOK90 modeli pek çok kez hidrolojik çalışmalarda kullanılmış, temelde yağış girdi, akışı ve evapotranspirasyonu çıktı olarak

kabul eden bir modeldir. Süreç odaklı yaklaşım kullanarak tüm havzalar ve coğrafi koşullar için günlük evapotranspirasyonu ve dikey toprak su hareketini simüle etmektedir (Federer, 2002). BROOK90 modeli, çalışmak için birçok parametreye ihtiyaç duymaktadır. Fakat sonuçta, tutulma, buharlaşma ve erime süreçlerine dair detaylı çıktılar üretmektedir.

Türkiye’de detaylı fiziksel parametreye ihtiyaç duyan modellerle yapılan çalışma sayısı azdır. Bunun en büyük sebebi olarak bu modellerin gerektirdiği çalışma sahasına ait verilerin elde edilmesindeki zorluk gösterilebilir. Fiziksel tabanlı modellerin yaygın olarak kullanılmaya başlanmasının, bölgenin daha detaylı analiz edilmesini sağlayacağı ve yapılan çalışmalara değer katacağı düşünülmektedir. Günümüzde Türkiye’de BROOK90 modeli ile yapılmış sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Candaş, 2017). Ancak bu modelin detaylı fiziksel çıktılar vermesi seçilen havzalarda öncesinde yapılan çalışmalara kıyasla daha detaylı yorum yapabilme imkanı tanımaktadır. Ayrıca ürettiği çıktılar farklı disiplinler tarafından da değerlendirilebilmektedir. Böyle bir modelin Türkiye’de daha sık kullanılmaya başlanması Türkiye su kaynakları stratejilerinin gelişmesine ve havza potansiyellerinin anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

Global BROOK90-R (GB90-R), herhangi bir konumda bulunan bir havza için yağış-akış prensibine bağlı kalarak su dengesini simüle eden bir BROOK90 eklentisidir. Bu model kullanıcıdan sadece konum bilgisi ve çalışılmak istenen periyot aralığını girdi olarak talep etmektedir. Gerekli diğer veri setlerini (yükseklik, toprak örtüsü/kullanımı, toprak karakteristiği ve meteorolojik veriler) otomatik olarak indirmektedir (Vorobevskii ve ark., 2020). Böylece yüksek efor ve maliyet harcanmaksızın kapsamlı sonuçlar veren fiziksel tabanlı bir model, özellikle veri sıkıntısı çekilen bölgelerde uygulanabilir hale gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, fiziksel tabanlı GB90-R hidroloji modelinin Türkiye’de uygulanabilirliği test edilmiştir. Yapılan literatür çalışmasına göre, bu modelin Türkiye’nin bütününde veya herhangi bir havzasında uygulamasının bulunmaması çalışmanın özgünlüğü olarak ifade edilebilir. GB90-R modelinin Türkiye’de bulunan bir veya birkaç havzaya kurulması ve doğruluğunun test edilmesi hedeflenmektedir. Tez çalışmasının amaçları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- GB90-R modelinin Türkiye’de Konya Kapalı Havzası’ndaki Çarşamba Çayı D16A115 Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) drenaj alanı, Karasu Havzası’ndaki Karasu Çayı D21A168 AGİ drenaj alanı ve Seyhan Havzası’ndaki Körkün Çayı E18A020 AGİ

drenaj alanına kurulması ve böylece modelin Türkiye’de iklim ve coğrafi özellikler bakımından farklı özelliklerdeki havzalarda uygulanabilirliğinin test edilmesi

- Geliştirilen hidrolojik modelin söz konusu havzalardaki akım tahmin başarısının test edilmesi
- Modelin ürettiği diğer çıktıların detaylı olarak değerlendirilmesi ve yorumlanması

Fiziksel tabanlı hidrolojik modellerin kullanımının son zamanlarda tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlandığı düşünüldüğünde, yapılan bu tez çalışması ile bu modelin Türkiye’de ilk kez uygulanmış olması literatüre önemli katkı sağlayacaktır. Fiziksel tabanlı hidrolojik modellerin önemli avantajlarından biri olan detaylı simülasyon mekanizması, kapsamlı bilgilerin elde edilmesine olanak sağlayacak ve bu duruma bağlı olarak çalışma alanlarında süregelen hidrolojik sürece ışık tutacaktır.

Çalışma, fiziksel tabanlı modellerin ihtiyaç duyduğu parametrelerin temininde alternatif imkanlar sunması ve gelecekte Türkiye’de yapılacak hidrolojik çalışmalarda fiziksel tabanlı modellemenin yaygınlaşmasında rol oynaması bakımında büyük öneme sahiptir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Modern dünyanın en büyük problemlerinden biri olan küresel iklim değişikliği; karasal, tatlı su, kıyı ve açık okyanus deniz ekosistemlerinde önemli hasarlara ve giderek artan ve geri dönüşü olmayan büyük kayıplara neden olmaktadır (IPCC, 2022). IPCC son raporuna göre Avrupa için iklim değişikliğinin beraberinde getirdiği riskler arasında insanları, altyapıları ve ekonomileri tehdit eden taşkın riski, birbiriyle bağlantılı birden fazla sektörde su kıtlığı riski ve karmaşık sıcaklık, kuraklık ve aşırı hava koşullarına bağlı ziraat kayıpları vardır. İklim değişikliği etkilerinin kapsamı ve büyüklüğü, önceki değerlendirmelerde tahmin edilenden daha büyüktür (IPCC, 2022). Bu sebeple hidrometeorolojik modelleme çalışmalarının artırılması ve geliştirilmesi önemlidir. Fiziksel tabanlı modellerin hidrolojik süreci rahat anlaşılabilir şekilde sunması, iklim değişikliği ve afet çalışmalarında bu modellerin kullanımını ön plana çıkartmaktadır.

Kremsa ve ark. (2015), Finlandiya’da ladin ormanı ve yerel, açık otlakları kar erimesi etkilerine göre karşılaştırmışlardır. BROOK90 modelini bölgedeki potansiyel su kaynaklarının akışını ve taşkın riskini analiz etmek için kullanmışlardır. Normal iklim şartları altında kar erimesinden meydana gelen akışın, ormanlık alanda açık otlak alana göre %22 daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Bir başka çalışmada ise Tahir (2012), güney Almanya’da yer alan Hartheim ormanı ile İsveç merkezde yer alan Norunda ormanlarını iklimsel olarak farklı olmaları dolayısıyla seçmiştir. Bu iki ormanlık alana BROOK90 modeli kurulmuş ve gelecekteki iklim değişikliğinin etkisini test etmek için dört farklı senaryo belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda İsveç merkezde yer alan Norunda ormanının hava sıcaklığındaki artışa, Almanya’nın güneyinde yer alan Hartheim ormanına göre daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

Şen ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada Fırat-Dicle Havzasında bulunan sekiz istasyona ait hidrolojik akış-zaman serisini incelemiş ve meteorolojik bir değerlendirme yapmışlardır. Fırat ve Dicle nehirlerinin akış zamanlarında yıl içerisinde geçici kaymalar yaşandığını tespit etmişlerdir. Tespit ettikleri kaymaları iki kısımda incelemişlerdir. Öncelikle akıştaki değişimin zamana entegre edilmiş bir portresini sunan merkezi zaman metodunu uygulamışlardır. Sonrasında ise geniş ölçekli yüzey ve atmosferik alanlardaki değişiklikleri araştırabilmek için Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri ve Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezinin (NCEP/NCAR) yeniden analiz verilerini kullanmışlardır. Ortalama 5 gün erken meydana gelen kar erimesine

sebebi olan ısı artışının Karadeniz ve Batı Anadolu üzerinden kuzeydoğudan güneybatıya doğru geçiş yapan hava akımı ile ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Dünyada pek çok farklı model hidrolojik çalışmalarda kullanılmaktadır. Kumar ve ark. (2010) çalışmalarında, hidrolojik sürecin mekânsal temsili, parametreleştirme metodu, ve kalibrasyon için kullanılan tahmin edicinin türü faktörlerinin ekstrem akarsu akışı karakteristiğine olan muhtemel etkilerinin araştırmışlardır. Bunun için Almanya'da bulunan ve büyüklükleri 58 ile 4000 km² arasında değişen 22 havzaya Mesoscale Hydrologic Modeli (mHM) hem toplu hem de dağınık olarak kurulmuştur. mHM modelinin dağınık versiyonu hidrolojik tepki birimleri (hydrological response units=HRU) ve çok ölçekli parametre bölgeselleştirme (multiscale parameter regionalization=MPR) yöntemleri ile parametrelendirilmiştir. Her iki model versiyonunun parametreleri, yüksek akışları, düşük akışları ve her ikisinin kombinasyonunu kapsayan üç amaç fonksiyonu ile kalibre edilmiştir. Elde edilen sonuçlar hem günlük hem de mevsimlik akış özellikleri ile değerlendirilen model performansının tahmin edicinin türüne, uzaysal ayrıklaştırma ve kullanılan parametreleştirme yöntemine duyarlı olduğunu göstermiştir. Modelin toplu versiyonunun, belirtilen faktörlere duyarlılığı en fazla olurken MPR metodu ile parametreleştirilen dağınık mHM versiyonu için tam aksi davranış tespit edilmiştir. Ayrıca, MPR ile parametrelenen modelin verimliliğinin, HRU parametreleştirmesiyle elde edilen model verimliliğinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Avrupa'da yapılan bir diğer çalışmada Cerkasova ve ark. (2016) SWAT modelini Curonian Lagünü'ne su yönetimi problemlerine çözüm arayışı amacıyla kurmuşlardır. Nemunas ve Minija Nehirlerinde hazırladıkları iklim değişikliği senaryolarının akışa etkisini gözlemlemişlerdir. Model kurulup kalibre edildikten sonra determinasyon katsayısı (R^2) ve Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (NSE) kullanılarak değerlendirilmiştir. Nemunas ve Minija Nehirleri için sırasıyla kalibrasyon performansı $NSE=0.84-0.76$, $R^2=0.85-0.77$ olarak bulunmuştur. Curonian Lagünü drenaj alanı modeli validasyon sonuçları, aylık bazda model için tatmin edici değerlere karşılık gelen $R^2=0.679$ ve $NSE=0.602$ 'dir. Ayrıca IPCC 5. Raporu'nda (2014) tanımlandığı gibi optimistik ve pesimistik senaryolar geliştirmişlerdir. Buna göre her iki senaryo için de akışta benzer sonuçlar elde edilmiştir; Akışta, kışın %22'ye kadar çıkan güçlü bir artış (özellikle Şubat ayında), sonbaharda ise hafif bir artış (%10'a kadar) meydana gelirken ilkbahar ve yaz aylarında sırasıyla %10 ve %18'e kadar azalma oluşmuştur.

BROOK90 dünyanın birçok noktasında havzalara, su bütçesi, kuraklık ve orman parametrelerine dair yorumlar yapabilmek adına kurulmuştur. Model bu çalışmalara sıklıkla ürettiği toprak nemi, kar erimesi ve akış parametreleri ile katkıda bulunmuştur. McHale ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada toprak nemi ve yer altı suyu nitrat salınımını incelemişlerdir. Çalışmalarında Penman-Monteith yaklaşımının Shuttleworth ve Wallace (1985) modifikasyonunu kullanan BROOK90 modelini evapotranspirasyonu (ET) hesaplamak için kullanmışlardır.

BROOK90 orman ve bitki çalışmalarında da sıkça kullanılmaktadır. Vilhar (2021), Slovenya'daki Dinar Alplerindeki köknar ormanlarında orman karakteristik yapısının boşluklardaki su tutma kapasitesine etkisinin çeşitliliğini incelemiştir. Deneysel yıpranmış, yok edilmiş orman boşluk oluşumları ile yakınlarındaki eski ve yeşermekte olan orman boşluk oluşumları 13 yıllık periyot için bölgeye kurulan BROOK90 modeli, drenaj akışı, yeşil alan tutulması, terleme ve topraktan buharlaşma parametreleri kullanılarak kıyaslanmıştır. Ayrıca Vilhar akış simülasyonu da yapmıştır. Çalışmanın sonucunda köknar ormanlarında büyük orman boşluk oluşumlarının meydana getirilmesinin, başarılı yeniden yeşerme için elverişsiz ortamlar oluşturmaya sebebiyle toprak ve bitki örtüsü su tutma kapasitesinde uzun süreli azalmaya sebep olacağını göstermiştir. Bir başka orman çalışmasında Armbruster ve ark. (2004), BROOK90 modelini Almanya'da bulunan Schluchsee ve Rotherdbach ormanlık havzalarındaki mevcut silvikültürel dönüşümün potansiyel hidrolojik etkilerini değerlendirmek için kullanmıştır. Panferov ve ark. (2009) çalışmalarında temelde iklim değişikliğinin rüzgar kaynaklı ağaç kırılma/sökülmelerinin değişimini araştırmışlardır. Oluşturdıkları 2 gelecek senaryosunu, BROOK90 modelini türbulans modeli olan Scalar Distribution (SCADIS) ile birleştiren bir modelleme metodu ile incelemişlerdir. Sonuçta Almanya'da yer alan Solling yaylalarında ladin ve çam ormanı meşcereleri için rüzgar kaynaklı kırılma/sökülme riskinin 21. yüzyılda önemli ölçüde artacağını belirtmişlerdir. Schaetzl ve ark. (2014), pedolojik çalışmalarında kar paketi dinamiklerini ve toprak nemi akışlarını simüle etmek için BROOK90 kullanmışlardır.

Federer ve ark. (2003), çoklu toprak katmanlarına sahip olan BROOK90 modeli ile tek toprak katmanı kullanan Water Balance Model (WBM) kullanılarak yıllık buharlaşma parametresini sınımlamışlardır. Sonuçta öncelik bütçe ise yıllık buharlaşmayı küresel ölçekte simüle etmek için çok katmanlı bir modelin gerekli olmadığını tespit etmişlerdir.

Wahren ve ark. (2007), Almanya’da Saksonya eyaletinde yer alan Central Ore Dağlarındaki bir havzada arazi kullanım değişikliklerinin su tutulmasına etkisini model tabanlı olarak BROOK90 ile değerlendirmişlerdir.

Canfield ve Lopes (2000), Güney Doğu Arizona’daki yarı kurak bir su toplama havzasında toprak nemindeki değişimi tahmin etmek için BROOK90 modelini kurmuşlardır. Gauss-type downhill arama algoritması ve en düşük kareler yöntemleri kullanılarak evapotranspirasyon (EVAP) ve toprak nemine göre modeli kalibre etmişlerdir. Sonuçta 15 cm toprak derinliği için toprak nemi değişimi çalışmalarının BROOK90 ile yapılabileceği önerisinde bulunmuşlardır.

Literatürde BROOK90 modelinin kuraklık çalışmalarına da katkı sağladığı görülmektedir. Vilhar (2016), yaptığı çalışmada kök bölgesindeki su içeriğine bağlı toprak nemi ve gerçek ve potansiyel terleme oranına bağlı terleme indekslerini hesaplamıştır. Bu iki indeksi de BROOK90 kullanarak hesaplamıştır. Sonuçta toprak nemine bağlı indeksin tatmin edici kuraklık stresi sonuçları verdiğini fakat orman boşluk oluşumlarında terlemeye bağlı indekse kıyasla daha az kapsamlı olduğunu belirtmiştir. Yine de terlemeye bağlı indeksin daha fazla girdi verisine ihtiyaç duyuyor olmasından dolayı bu indeksin daha karmaşık bir araç olduğunu ifade etmiştir. Bir diğer kuraklık çalışmasında Wellpott ve ark. (2005), 1978-2001 periyodu için güney üst Rhine düzlüğünde bulunan meteorolojik deney ormanı Hartheim’e BROOK90 modelini kurmuşlardır. Sarıçam ormanında kuraklık simülasyonu gerçekleştirmeyi hedefleyen çalışmada kuraklık indeksi olarak seçilen terleme indeksinin sadece hava koşullarına değil, aynı zamanda yaprak iletkenliği ve yaprak alanı indekslerine de bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

BROOK90 modeli yüzey ve yer altı suyu gibi akış bileşenlerini çıktı olarak sunması dolayısıyla su bütçesi çalışmalarında literatürde yerini almaktadır. Combalicer ve ark. (2008), BROOK90 modelin performansını değerlendirmek ve yağışın akarsu akışı, evapotranspirasyon ve yer altı suyu akışına dönüşen kısımlarını belirlemek için Kore’de bulunan Bukmoongol Havzasına modeli kurmuş ve kalibre etmiştir. Kalibrasyon ve validasyon aşamalarında sırasıyla $R^2 = 0.82 - 0.84$ ve $NSE = 0.69 - 0.81$ olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda havzaya yağın yıllık yağışın %46’sının ET, %39’unun akış ve %15’inin sızmaya dönüştüğünü bulmuşlardır. Doğu Kolombiya’da yapılan bir diğer su bütçesi çalışmasında ise Molina ve ark. (2019), iklim değişikliğine bağlı olarak su bütçesinde oluşabilecek değişimleri öngörmeyi hedeflemişlerdir. BROOK90 kullanarak Doğu Kolombiya’daki dört farklı su bölgesini

temsil eden dört farklı bölgede su dengesi bileşenlerindeki değişiklikleri belirlemişlerdir. Çalışma sonuçları, su dengesi bileşenlerinin zamansal ve mekansal dağılımının değişen iklimden büyük ölçüde etkilendiğini göstermiştir.

Schaffrath ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada, Moğolistan'ın iç Özerk Bölgesindeki tipik bozkır havzalarından biri olan Xilin Nehir Havzası'nda BROOK90 modelini kurmuş ve mekânsal yağış, EVAP yorumu yapmışlardır. Modelin günlük girdi verileri, yağış ($R^2=0.76$), min-maks sıcaklık (sırasıyla, $R^2= 0.92$ ve $R^2= 0.88$) MODIS yaprak alanı indeksi (LAI) ve yüzey sıcaklığı verisinden manipüle ederek türetmişlerdir. Çalışma sonucunda, Kuzey-batı bölgesi için yağışı 52 mm, doğu bölgesi için ise 293 mm bulunurken, ortalama yağış 145 mm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bahar ayları için hesaplanan EVAP düşük ($<0.8 \text{ mm d}^{-1}$) gelirken, evaporasyonun transpirasyona baskın geldiği ve mekânsal farklılıkların az olduğunu bulmuşlardır. Haziran ayı ile birlikte EVAP maksimum (2 mm/gün) değerine ulaşırken mekânsal farklılıklar belirgin hale gelmiştir. Temmuz ayından itibaren transpirasyon, azalan evaporasyona baskın gelmeye başlamış ve Ağustos ayında mekânsal farklılıklar azalmıştır.

BROOK90 geçmişten günümüze birçok alanda geniş uygulamaya sahip fiziksel tabanlı, kapsamlı bir modeldir. Federer tarafından ilk kez Fortran ile yazılan modelde sonrasında güncellemeler yapılmıştır. Kronenberg ve ark. (2019), web teknolojilerindeki model uygulamaları gibi güncel kullanıcı taleplerinin orijinal model versiyonları ile zor gerçekleştirildiğini ve günümüzde kullanıcıların iyi bir dokümantasyona sahip BROOK90 uygulamasına ihtiyaç duyduklarını ifade ederek BROOK90 modelinin R uygulamasını geliştirmişlerdir.

BROOK90-R paketi kullanıcı taleplerine karşılık vermeye çalışsa da halen gereken çok sayıdaki girdi, model tercihindeki negatif yönlerden biridir. Bu soruna çözüm üretme çabası içerisinde olan Vorobevskii ve ark. (2020), küresel açık kaynak kodlu veri setlerinin BROOK90 modelinin R paketine entegre edilmesi ile modeli globalleştirmeyi ve kolay uygulanabilir hale getirmeyi hedeflemiştir. Global BROOK90-R paketi gerekli verileri otomatik olarak indirdikten sonra belirtilen havza için bu veri setlerini işler, belirli hidrotoplar oluşturur ve BROOK90 modeline uygular. Böylelikle kullanıcıyı minimum zahmete sokarak detaylı ve fiziksel olarak anlamlı çıktılar üreten bir modelin kurulumunu istenilen herhangi bir bölge için mümkün kılmışlardır.

Vorobevskii ve ark. (2021a), çeşitli coğrafi koşullarda (yani iklim, topoğrafya, arazi örtüsü ve toprak yapısı) tüm dünyadaki küçük havzalardan alınan verileri

kullanarak modellenen akış ile gözlemlenen akışı karşılaştırarak Global BROOK90 modelini doğrulamayı amaçlamış ve bunun için 190 küçük havza (ortalama 60 km²) seçmişlerdir. Bu havzalar 1979-2020 yılları arası akış gözlem verilerini model sonuçları ile kıyaslamış ve değerlendirme yapmışlardır. Modellenen toplam akış, günlük ve aylık sonuçlar için MAE, NSE, KGE ve KGE_{SS} metrikleri kullanılarak gözlemlenen akış ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda 190 havzanın %75'inden fazlasında kalibre edilmemiş simülasyon iyi bir performans (KGE_{SS}>0) göstermiştir. Orta Avrupa, ABD ve Kanada'nın ılıman iklim bölgelerindeki havzalar en iyi sonuçları gösterirken, en kötü performans Afrika, orta ABD ve Kanada, Avustralya ve doğu Rusya'nın kurak bölgelerinde bulunmuştur. KGE'nin ayrıştırılması, performansa çoğunlukla korelasyon bileşeninin ve havzaların çoğunda pozitif bir sapmanın hakim olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca modelin aylık ölçekte günlük ölçekten daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

Vorobevskii ve ark. (2021b) tarafından, buharlaşma simülasyonları ile ilgili olarak BROOK90 modeli belirsizliklerinin analiz edildiği çalışmada modelin parametre setine mi yoksa meteorolojik girdiye mi daha duyarlı olduğu incelenmiştir. Yapılan çalışmada buharlaşmayı ve bileşenlerini simüle etmek için dört farklı BROOK90 kurulumu (Manuel parametrelendirmeli Global BROOK90, EXTRUSO, BROOK90 ve kalibre edilmiş BROOK90) ve küresel, bölgesel ve yerel ölçeği temsil eden üç veri seti (ERA5, RaKliDa, yerinde ölçümler) kullanılmıştır. Bunların çapraz kombinasyonları incelenmiş ve uzun vadeli eddy-kovaryans ölçümleriyle kapsanan Almanya'daki Saksonya bölgesinde bulunan beş konum (otlak-Grillenbourg, ekili alan-Klingenberg, yaprak döken geniş yapraklı orman-Hetzdorf ve yaprak dökmeyen iğne yapraklı orman-Tharandt, Oberbaerenbourg) için buharlaşma bileşenleri modellenmiştir. Çalışma sonucunda tüm kurulumların 0.35-0.80 arasında değişen KGE değerleriyle günlük ölçekte bile iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. KGE ayrıştırması, otlak, ekili alan ve yaprak döken orman performansının yüksek korelasyon katsayıları ile BIAS ve varyans oranlarından etkilendiğini, buna karşılık yaprak dökmeyen ormanda her üç bileşenin de büyük ölçüde değiştiğini göstermiştir. Tüm kurulumlar arasında en yüksek ve en düşük değerler, sırasıyla Hetzdorf ve Grillenbourg'da Global BROOK90 ve ERA5'in aynı kombinasyonu ile elde edilirken, modelin kalibrasyonunun özellikle Grillenbourg ve Tharandt için KGE'yn önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Ayrıca yapılan çalışmada yıllık toplam buharlaşmanın % 90-95'inin gözlemlendiği vejetasyon döneminde, kış dönemine göre gözlemlerle çok daha yüksek uyum tespit edilmiştir.

Türkiye’de ise yaptığı jeolojik çalışmasında Candaş (2017), BROOK90 modelinin aylık kar çıktısını kullanmış ve bunu MATLAB kodu ile hesapladığı buzul kütle dengesi model çıktıları ile kıyaslamıştır. Yaz aylarında ufak farklılıklar görse de buzul kütleinin önemli olduğu kış aylarında iki model çıktısı arasında farkın olmadığını tespit etmiştir.

Ülkemizde BROOK90 çalışmalarına henüz yaygın olarak rastlanmasa da diğer hidrolojik modelleme çalışmalarına ulaşmak mümkündür. Özkan (2019), çalışmasında uydu verilerini kullanarak toprak nemi ve kar verileri elde etmiş ve yaklaşık 2764 km² alana yayılan Yukarı Aras Havzasına kurduğu kavramsal HBV modelini sadece akım çıktısına göre değil, aynı zamanda kar ve toprak nemi verilerine göre de değerlendirmiştir. Modelin kalibrasyonunu Genetik Algoritma optimizasyonu ile yapmıştır. Kalibre edilen model ile kısa dönemli akım tahmin çalışması yapmıştır. Uydu kar verileri ve kavramsal modeller kullanılarak yapılan bir başka çalışmada ise Coşkun (2016), MODIS, MSG-SEVIRI ve IMS uydularına ait Türkiye’nin doğusunda bulunan Karasu ve Murat Havzaları için kar çıktıları kullanarak yapmıştır. Verilerin güvenilirliğini arttırmak için harmanlama çalışması yapmıştır. Karla kaplı alanları da girdi parametresi olarak alan kavramsal Snowmelt Runoff Model (SRM) hidrolojik modelini her iki havza için de kurmuştur. Sonuçta MODIS ve IMS verilerinin hidrolojik modellemede her iki havza için de MSG-SEVIRI verilerine kıyasla daha başarılı olduğu görülmüştür.

Ülkemizde fiziksel tabanlı modellerle yapılan çalışmalarda mevcuttur. Gölpınar (2017), fiziksel tabanlı SWAT modelini Çukurova Bölgesi, Aşağı Seyhan Ovası’na kurmuştur. 10487 ha’lık alana kurduğu SWAT modelinin kalibrasyonunu SWAT-Kalibrasyon ve Belirsizlik Programları (SWAT-CUP) eklentisi ile Sıralı Belirsizlik Uydurma 2. versiyon (SUFI-2) algoritması çalıştırarak yapmıştır. Çalışmasında model sonuçlarının yeterli olduğuna karar verdikten sonra araştırma sahasındaki ölçüm verisi olmayan alt havzalar için akım tahmini yapmıştır.

Droogers ve ark. (2000), Türkiye’nin batısındaki Gediz Havzasına dahil olan Salihli sağ sahil sulama sisteminde dağıtılmış tarımsal-hidrolojik modelleme çalışması yapmışlardır. Fiziksel tabanlı tarımsal-hidrolojik model olan The Soil Water Atmosphere Plant (SWAP) modeli, bölgedeki su dengesinin tüm terimlerini ortaya çıkartmak için 1985-1996 periyodu için kurulmuştur. Bu periyot içerisinde bulunan 1988 kuraklık öncesi yıl ve 1989 kurak yıl detaylı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda SWAP modelinin dağıtılarak kullanıldığı takdirde sulama sistemleri için tüm su dengesi bileşenlerinin analizinde yararlı bir araç olduğu sonucuna varılmıştır.

Türkiye'nin doğusunda bulunan Yukarı Fırat Havzasına bağlı Karasu Havzası bugüne kadar çok sayıda çalışma için araştırma sahası olmuştur. Akkol (2016), bu havzaya 2002-2008 ve 2009-2013 periyotları için HBV modelini kurmuş ve kalibre etmiştir. Model tahminini iyileştirmek için veri asimilasyonu tekniği uygulamış ve modeli buna göre düzenlemiştir. Çalışma sonucuna göre veri asimilasyonu tekniği akım tahmini çalışmasında dikkate değer iyileştirmeler kazandırmıştır. Busari ve ark. (2021), çalışmalarında fiziksel olarak dağınık mHM modelinde uydu bazlı toprak kullanım/örtüsü haritalarını kullanarak, potansiyel evapotranspirasyonu (PET) yaprak alanı indeksi (Leaf Area Index, LAI) ile eş zamanlı düzeltmeyi ve performansı arttırmayı amaçlamışlardır. 4 farklı senaryo için 1990-2006 yılları arasında kalibrasyon ve 2007-2010 yılları arasında validasyon yapmışlardır. Sırasıyla model performans metriği NSE değerleri kalibrasyon için 0.23 ile 0.42, validasyon için 0.13 ve 0.39 arasında çıkmıştır. Çalışma sonucunda en başarılı model sonuçlarının, toprak örtüsü verilerinin modele verildiği ve LAI kullanılarak PET düzeltilmesi yapıldığı senaryoda ortaya çıktığı saptanmıştır.

Seyhan Havzası hidrolojik, jeolojik ve tarımsal açıdan Türkiye'nin önemli havzalarından biridir. Bu bölgede sıklıkla iklim değişikliği, toprak örtüsü ve su kaynakları çalışmaları yapılmıştır. Gürkan (2005) çalışmasında, fiziksel tabanlı matematiksel Avrupa Hidrolojik Sistem Modelini (the Système Hydrologique Européen- MIKE SHE) Seyhan Havzasına kurmuştur. Model kalibrasyonu su bütçesine dayandırılmıştır. 2 farklı senaryo ile havzadaki iklim değişikliği etkileri analiz edilmiştir. Sonuç olarak havzanın yağış ve sıcaklık parametrelerine bağlı iklim değişikliği senaryolarına yüksek hassasiyetle yüzey suyu potansiyeli ve yeraltısuyuna sızma parametreleri üzerinden yanıt verdiği görülmüştür.

Bir diğer çalışmada Askar (2020), Seyhan Havzasına SWAT modelini kurmuş ve 1988-1997 yılları için modeli kalibre etmiştir. 1998-2000 periyoduna göre validasyon yapmıştır. Model performansı kalibrasyon aşaması için $NSE=0.63$ elde edilirken validasyon aşaması için ufak bir miktar daha düşük bulunmuştur. Yapılan iklim değişikliği analizinde artan sıcaklık ve azalan yağışlarla birlikte akışta anlamlı bir azalmanın beklendiği sonucuna varılmıştır. El-Sadek ve Irvem (2014) ise çalışmalarında, Seyhan Havzasındaki akışı ve sedimenti SWAT modeli kullanarak simüle etmiştir. 3 farklı toprak örtüsü verisi kullanılmıştır. Çalışma sonunda SWAT modelinin farklı çözünürlükteki toprak örtüsü veri setlerine duyarlılığının oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Seyhan Havzasında yapılan bir diğer çalışmada Dönmez

(2012) tarafından, Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Yukarı-Seyhan Havzası'nda orman verimliliği üzerinde hidrolojik bileşenlerin etkileri incelenmiştir. J2000 hidrolojik modelleme sistemi ile hidrolojik bileşenler modellenirken, BIOME-BGC modeli ile Net Birincil Üretim (NBÜ) modellenmiş ve bu iki modelin sonuçları orman verimliliği ve hidrolojik bileşen arasındaki etkileşim ve sezon değişimlerinin belirlenmesi için birleştirilmiştir. Sonuç olarak, kullanılan modellerin farklı yüksekliklerde karbon ve su döngülerinin hesaplanmasındaki ana fiziksel süreçleri kabul edilebilir doğrulukta tahmin edebildiği görülmüştür.

Konya Kapalı Havzası ülkemiz adına özellikle sulama ve tarım faaliyetleri sebebiyle büyük önem taşımaktadır. Bu havzada Koycegiz ve Buyukyildiz (2019), iki aşamalı akım tahmin çalışması yürütmüştür. Birinci aşamada SWAT modelini havzaya 2003-2015 yılları için kurmuştur. Modeli SUFI-2 algoritması kullanarak kalibre etmişlerdir. İkinci aşamada 2 yapay zeka metodu SWAT modeli ile kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmada yapay zeka metotlarının daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmekle birlikte SWAT modelinin avantaj ve dezavantajları da yorumlanmıştır. Modelin farklı senaryolar durumunda tutarlı çözümler üretmesi pozitif olarak yorumlanırken çok fazla girdiye ihtiyaç duyması modelin negatif yönü olarak belirtilmiştir.

İklim; havzaların en önde gelen karakteristik özelliklerinden bir tanesidir. Havzada direkt olarak meteorolojik verileri etkilemesinin yanı sıra bölgedeki toprak örtüsü ve canlılığın da belirlenmesinde büyük paya sahiptir. Bu sebeple hidrolojik modellerin, özellikle fiziksel tabanlı olanların, bölge iklimini yeterince başarılı şekilde değerlendirmesi kritiktir. Konya Kapalı Havzası, Seyhan Havzası ve Karasu Havzaları, Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına (Kottek ve ark. 2006) göre Türkiye'nin hakim 5 iklim sınıfından 3'ünü temsil etmektedirler. Dünyada Türkiye'deki bu 3 havzaya benzer iklim koşulları olan havzalarda yapılan çalışmalarda Wahren ve ark. (2015), Konya Kapalı Havzasına iklimsel benzerlik gösteren ve veri kıtlığı bulunan Kuzey Portekiz'deki Águada Havzasında The Soil Land Inference Model (SoLIM) yaklaşımını kullanarak etütlerden elde edilen verilerle bölgeye ait toprak özellikleri haritası oluşturmuş ve SWAT modelinde girdi seti olarak kullanmışlardır. İki farklı toprak veri seti ile çalıştırılan SWAT modeli her ikisi için de günlük akış tahmininde tatmin edici başarı elde etmeyi başarmış olsa da SoLIM ile türetilen toprak veri setinin kurak dönem sonrasında zirve akışlarını daha başarılı temsil ettiği gözlemlenmiştir. Çalışmalarında mekansal dağınık toprak bilgisinin önemini vurgulamayı hedeflemişlerdir. Graham ve

Bergst rm (2001) yaptıkları çalışmada ise, Karasu Havzasına benzer iklimsel özellikler taşıyan Gulf of Finland Drainage Havzasının da içinde bulunduğu Baltık Havzasına geniş çaplı hidrolojik ve meteorolojik modeller kurmuşlar ve hem hidrolojik hem de meteorolojik yaklaşımlarla su dengesi analizi yapmışlardır. Kavramsal hidrolojik HBV-Baltic modelini havza çapında su dengesi simülasyonu ve atmosferik iklim modelinin kara yüzeyi bileşenlerini değerlendirmek için bölgeye kurmuşlardır. Kavramsal hidrolojik modellerle ilgili her ne kadar tamamlanmış olmaktan uzak olsalar da büyük ölçekte birçok alt havzanın dahil olduğu hidrolojik modellemede önemli rol oynadıkları çıkarımında bulunmuşlardır.

Demirel ve ark. (2009), Portekiz'in ortasında yer alan Pracana Havzasında SWAT modelini Yapay Sinir Ağları (YSA) metotları ile kıyaslamıştır. Sonuçta her ne kadar SWAT modeli daha iyi bir ortalama karesel hata çıkartsa da günlük tepe akışlarının tahmininde YSA modelinin SWAT modelinden daha başarılı olduğunu bulmuşlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı ve Veriler

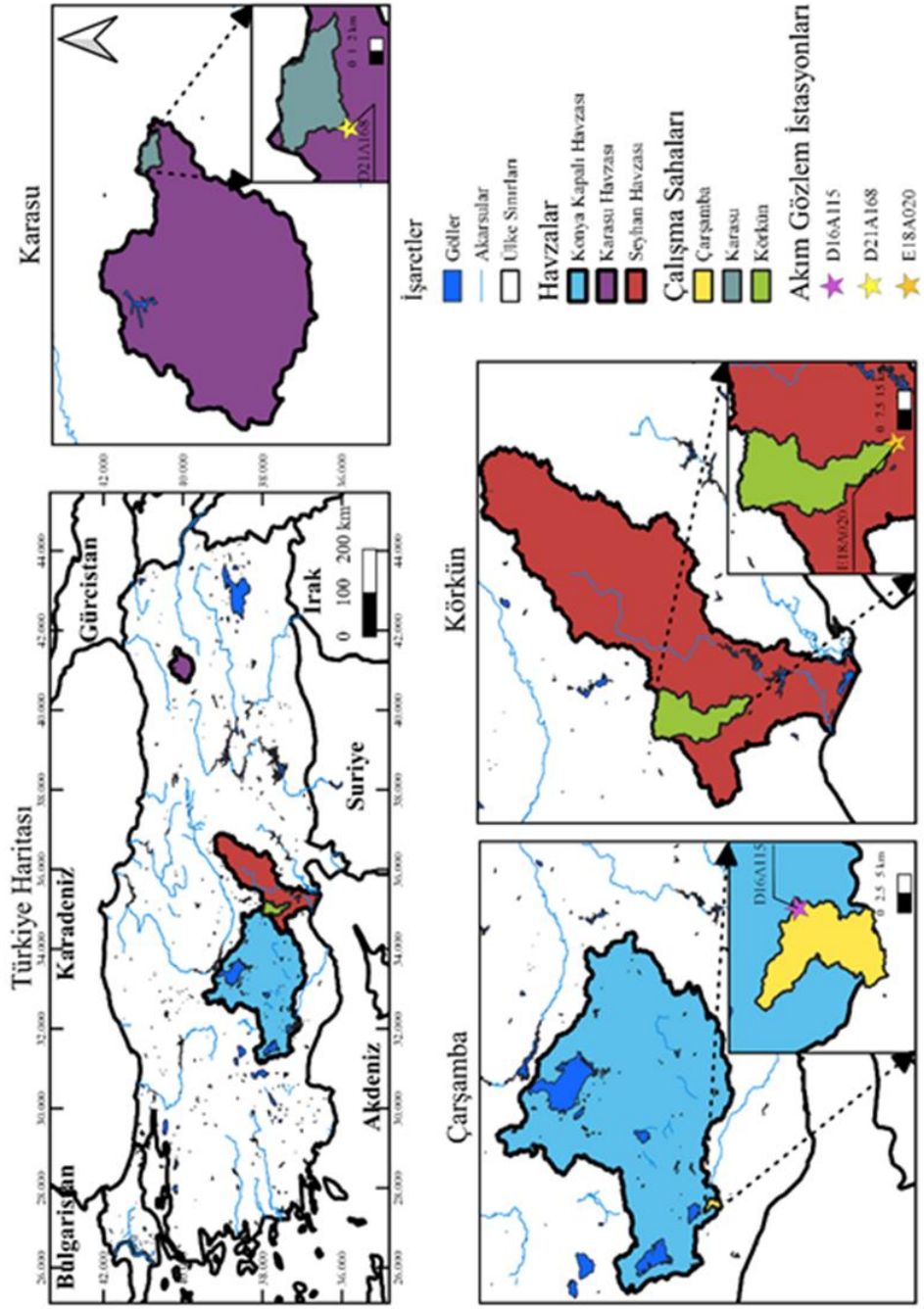
Yapılan bu çalışmada Konya Kapalı Havzasında bulunan Çarşamba Çayı Alt Havzası, Seyhan Havzasında bulunan Körkün Çayı Alt Havzası ve Fırat-Dicle Havzasında bulunan Karasu Çayı Alt Havzası, akım tahmin çalışması yapılmak üzere çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 3.1). Havzaların Türkiye'nin farklı coğrafi ve iklimsel özelliklere sahip bölgelerinden olmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca her üç havza da birbirinden farklı büyüklüktedir. Böylece GB90-R modelinin akım tahminindeki performansının değişken koşullar altındaki başarısı değerlendirilmiştir. Seçilen alt havzaların karakteristikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.2'de ise seçilen havzalar iklim haritası üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Seçilen alt havzaların karakteristikleri

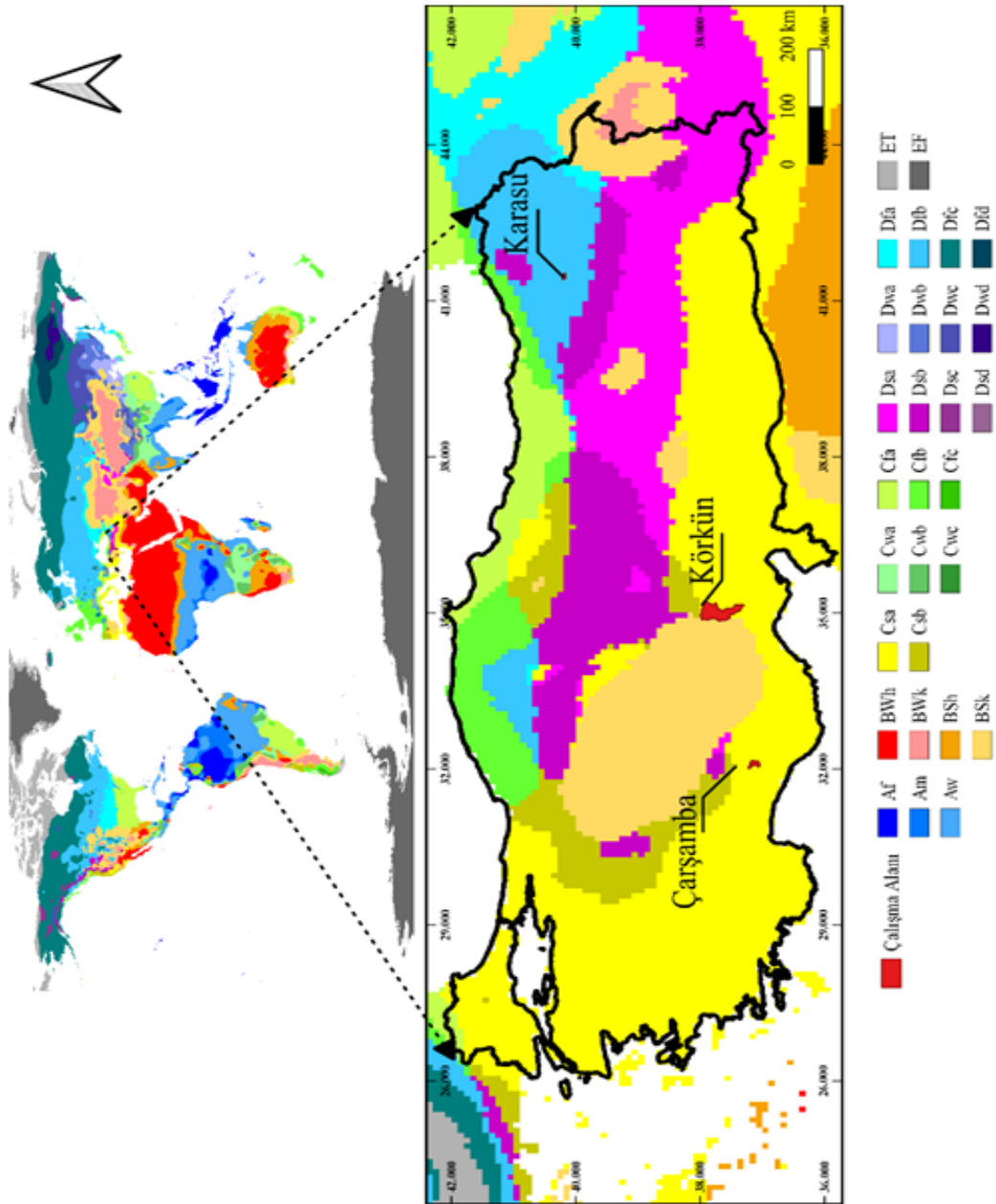
Alt Havza	Alan (km ²)	Yükselti (m)	Aylık Ortalama Yağış (mm)	İklim*		
				Tipi	Yağış (mm)	Sıcaklık (°C)
Çarşamba	153.87	1258-2470	56.48	CSA	$P_{yk} < P_{ks}/3$	$T_{mak} > 10$ $0 < T_{min} < 18$
Körkün	1440.8	170-3694	100.43	CSA-CSB	$P_{yk} < 40$	$T_{mak} \geq 22$
Karasu	43.95	1961-2889	36.72	DFB	$P_{yk} > 40$ $P_{kk} > P_{vs}/10$	$T_{mak} > 10$ $T_{min} \leq 0$

***CSA:** Kış ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi), **CSB:** Kış ılık, yazı sıcak ve kurak iklim, **DFB:** Kış şiddetli, her mevsim yağışlı, yazı serin, P_{yk} : en kurak yaz ayında düşen yağış, P_{kk} : en kurak kış ayında düşen yağış, P_{ys} : en ıslak yaz ayında düşen yağış, P_{ks} : en ıslak kış ayında düşen yağış, T_{mak} : en sıcak ayın sıcaklığı, T_{min} : en soğuk ayın sıcaklığı (Peel ve ark., 2007).

153.87 km² alana yayılmış olan Çarşamba Çayı drenaj alanı Konya ve Antalya il sınırları içerisinde bulunmaktadır. Çarşamba Çayı Alt Havzasının kaynağında D16A115 numaralı akım gözlem istasyonu yer almaktadır. Bu alt havzanın drenaj alanının maksimum yüksekliği 2470 m olarak hesaplanırken alanın minimum yüksekliği 1258 m olarak belirlenmiştir. Çalışılan alan Konya Kapalı Havzasında bulunsu da Toros Dağlarına yakın olması sebebiyle iklimsel farklılıklar göstermektedir. Konumu sebebiyle hem İç Anadolu'ya hem de Akdeniz Bölgesi'ne özgü iğne yapraklı ve geniş yapraklı bitki örtüsüne rastlamak mümkündür. Bölgenin çetin iklimsel ve coğrafi şartları nedeniyle tarım faaliyetleri ilkbahar ve yaz aylarında artış göstermektedir (Köyceğiz, 2018).



Şekil 3.1 Çalışma sahaları



Ahırlı ilçesinin güneyinde bulunan Hacıömer Dağı'nda doğan Çarşamba Çayı'nın en yüksek ve en düşük debileri sırasıyla $32.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ile $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ iken ortalama debisi $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Çarşamba Çayının üzerinde Apa Barajı bulunmaktadır. Köppen-Geiger iklim haritasına göre havza sınırlarının tamamı CSA sınıfı (Kış ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim) iklim etkisi altındadır. Bu sınıfa göre en kurak yaz aylarında bölgeye düşen yağış en sulak kış aylarında düşen yağışın üçte birinden az iken yılın en sıcak ayında termometreler 22°C 'nin üzerinde seyretmektedir. Bölge bu kriterlere göre ılıman olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3.2).

Seyhan Havzası Türkiye'nin önemli havzalarından biridir. Seyhan Havzasında bulunan Körkün Çayı Alt Havzası da bu çalışma için seçilmiştir. Seyhan Havzasının dört ana alt havzasından biri olan Seyhan Barajı-Zamantı Göksu Birleşim Yeri Alt Havzasının güneyinde bulunan Körkün Çayı Alt Havzası bu çalışmada kullanılan üç havzadan en büyük alana sahip olan havzadır. Körkün Çayı Alt Havzasında yükselti 170-3694 m arasında değişmekte olup ortalama yükseklik 1752 m'dir. E18A020 numaralı akım gözlem istasyonu seçilen havzanın çıkışında, Adana ili Karaisalı ilçesinin 12 km kuzeydoğusunda Körkün Çayı'nın üzerindeki Hacılı Köyü Köprüsünde bulunmaktadır. Çarşamba ve Karasu Çayı alt havzalarına oranla çok daha büyük drenaj alanına sahip olan Körkün Çayı Alt Havzası 1440.8 km^2 boyunca uzanmaktadır. Körkün Çayı Havzası Adana ve Niğde il sınırları içerisinde bulunmaktadır. Seyhan Havzasının kurak kuzey ve kıyı kesimi arasında kalan, Toros Dağları yüzünden yüksekliği fazla olan orta kesiminin iklimi havzanın geri kalanına kıyasla daha yağışlı ve daha soğuktur. Hakim bitki örtüsü Akdeniz iklimine özgü çalı-maki olsa da meşe çalısına da rastlanmaktadır. Körkün Şelaleleri'nin de içerisinde bulunduğu çalışma alanı özellikle kampçılar için önemli bir turistik ziyaret noktasıdır. Havza sınırları içerisinde bulunan birçok baraj ve gölet, sağladıkları sulama ve içme suyu sayesinde bölgede önemli rol oynamaktadırlar. Körkün Çayı Niğde ilinin doğusunda Çamardı ilçesinde Toros Dağları'nın kuzey yamacında doğar. Ardından güneye, Adana ili sınırları içerisine girer. Maksimum $41.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ve minimum $0.687 \text{ m}^3/\text{s}$ aylık ortalama akıma sahip olan Körkün Çayı'nın bir kısmı çay üzerine kurulmuş olan Karakuz Barajı ve Hidroelektrik Barajı Santrali'ne yönlendirilir. Kalan kısım Toros Dağlarını geçtikten sonra Seyhan Barajı'nın batı ucuna kadar ilerler ve baraja dökülür. Bölgenin batı sınırı Köppen-Geiger iklim haritasına göre kurak bozkır ve soğuk (yıllık ortalama sıcaklık $< 18^\circ\text{C}$) olarak sınıflandırılırken havzanın geri kalanı ılıman (Csa) olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.2).

Erzurum'da bulunan Karasu Havzası'nın kuzey doğusunda bulunan ve bu tez çalışması için seçilen Karasu Çayı drenaj alanı 43.95 km²'dir. Çalışma havzasının ağzında D21A168 numaralı akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Havzanın maksimum yüksekliği 2889 m iken minimum yüksekliği 1961 m'dir. Çalışma alanın kuzeyinde Tortum, güneyinde Kırkgöze konumlanmıştır. Drenaj alanının sınırları içerisinde Şenyurt ve Karagöbek mahalleleri bulunmaktadır. Yükseltisi dolayısıyla sert karasal iklimin yaşandığı bir bölgedir. Bölgede kar yağışı yılın yaklaşık 140-150 günü görülmektedir. Ekim ortası geçtikten sonra başlayan kar yağışı, Mayıs ortasına kadar devam etmektedir. Genellikle dağ çayırları ve iğne yapraklılardan oluşan bir bitki örtüsü vardır. Karasu Çayı, Fırat nehrinin önemli kollarından biridir. Erzurum'un kuzeydoğusundaki Dumludağı'nın eteklerinde doğan Karasu Çayı sonrasında doğuda bulunan Kargapazarı Dağlarından gelen ufak bir dere ile birleşerek Keban barajına kadar 460 km uzanır. Çalışılan havzanın maksimum ve minimum aylık ortalama debileri 4.78 m³/s ve 0.057 m³/s'dir. Havza sınırlarının tamamı Köppen-Geiger iklim haritasına göre soğuk (DFB) iklim sınıfına girmektedir. Bu sınıfın tanımına göre bölgede yaz ve kış aylarının hiçbirinde yağış bakımında kurak geçen bir döneme rastlanmamaktadır. Bölgede yıl boyunca 10°C sıcaklığı geçen ay sayısı dörtten fazla iken 22°C sıcaklık sınırı aşılmamaktadır. Bölgede soğuk aylarda sıcaklık 0°C'nin altına inmektedir.

BROOK90 fiziksel tabanlı hidrolojik bir modeldir. Dolayısıyla çalışılan havza karakteristiğine dair detaylı verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu her ne kadar kullanıcı için zahmetli gibi dursa da çıktı olarak elde edilen detaylı veriler, havzanın tanınmasında ve bölgedeki hidrolojik sürecin anlaşılmasında etkili rol oynamaktadır. Tam da bu noktada GB90-R modeli kullanıcıya temininde zahmet verecek verilere ulaşma kolaylığı sağlarken detaylı çıktılar üretmeye devam etmektedir. Modelin girdi olarak kullandığı fiziksel veriler; sayısal yükseklik modeli (DEM), arazi kullanım/bitki örtüsü haritaları ve toprak haritalarıdır. Fiziksel verilerin yanı sıra model simülasyonu başlatmak ve sürdürmek için meteorolojik verilere de ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca bu çalışmada model performansını sınavabilmek için hidrolojik veriler kullanılmıştır.

GB90-R modelinin kurulması ve değerlendirilmesi için gereken meteorolojik, hidrolojik ve fiziksel veriler Tablo 3.2'de verilmiştir. Veriler kamu kurumlarından ve uluslararası geçerliliği olan kurumlardan temin edilmişlerdir.

Tablo 3.2. Çalışma kapsamında kullanılan veriler ve temin edildiği kurum/program

Veriler	Tür	Temin Edinilen Kurum	Çözünürlük
Sayısal yükseklik modeli (DEM)	Fiziksel	Mapzen Amazon Web Services	3 m – 2.5 km
Arazi kullanım – bitki örtüsü haritası	Fiziksel	Copernicus programı ve Global Land Service	100 x 100 m
Toprak özellikleri haritası	Fiziksel	ISRIC	250 x 250 m
Yağış, sıcaklık, rüzgar hızı, solar radyasyon	Meteorolojik	ERA5	25° x 25° saatlik
Yağış	Meteorolojik	Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)	-
Akım	Hidrolojik	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)	-

MGM ve DSİ’den meteorolojik ve hidrolojik verilerin temin edildiği meteoroloji gözlem istasyonları ve akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler havzalara göre Tablo 3.3’te verilmiştir.

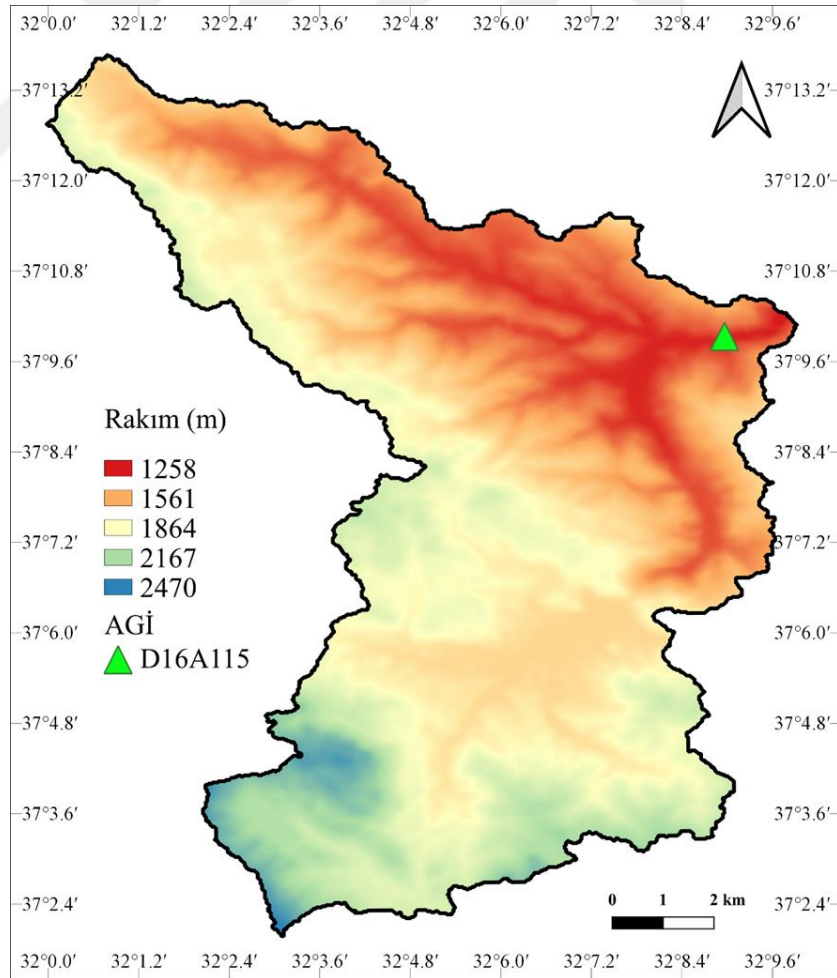
Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan hidrolojik ve meteorolojik istasyonlar

Alt Havzalar	İstasyon No	İstasyon Adı	Rakım (m)	Enlem	Boylam	Periyot
Çarşamba Havzası	D16A115 (AGİ)	Çarşamba Çayı	1150	37°10' K	32°09' D	01.1977 – 07.2016
	17898 (MGİ)	Seydişehir	1129	37°25' K	31°50' D	1977 – 2016
	17928 (MGİ)	Hadim	1552	36°59' K	32°27' D	1977 – 2016
Körkün Havzası	E18A020 (AGİ)	Körkün Suyu Hacılı Köprüsü	167	37°17' K	35°09' D	02.1992 – 09.2017
	17936 (MGİ)	Karaisalı	237	37°15' K	35°03' D	1992 – 2017
Karasu Havzası	D21A168 (AGİ)	Karagöbek Büyük Ç.	2000	40°09' K	41°26' D	01.1979 – 09.2020
	17688 (MGİ)	Tortum	1583	40°18' K	41°32' D	1979 – 2020

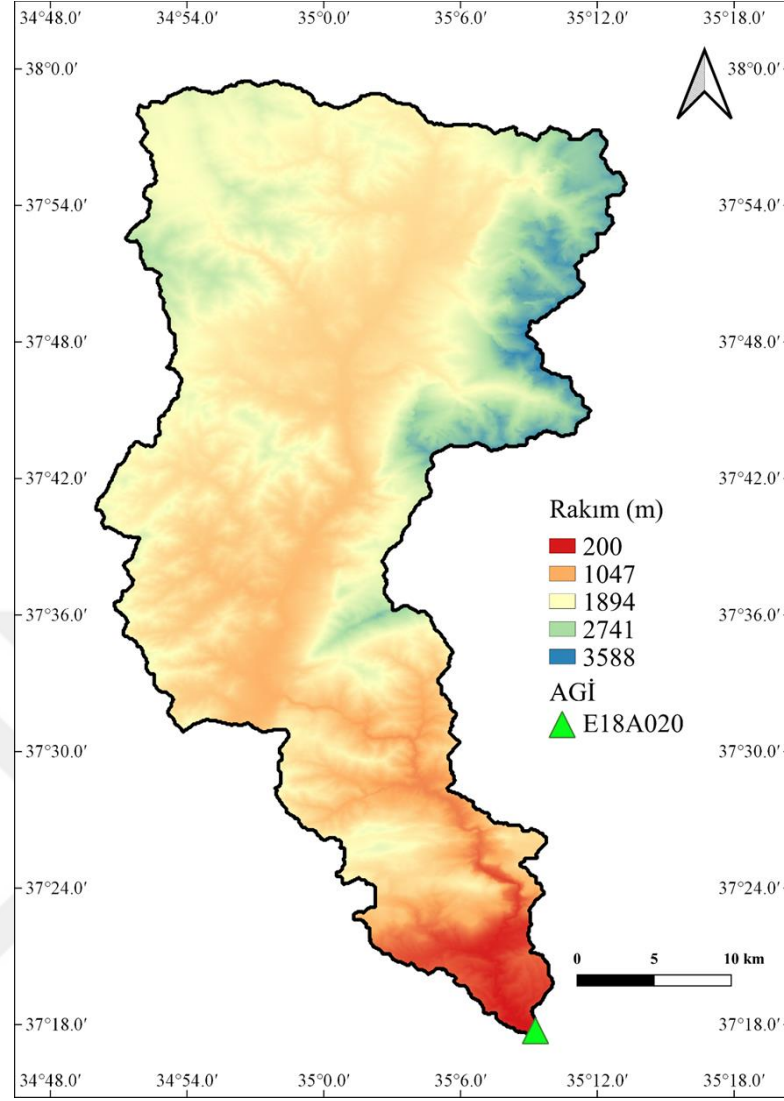
GB90-R modeli indirilip (Vorobevskii ve ark., 2021c) çalıştırıldıktan sonra üç temel veri setini indirerek sürece başlamaktadır. Bu veri setleri meteoroloji, yüzey kullanım ve toprak girdileri olarak kullanılmaktadır (Tablo 3.2).

3.1.1. Sayısal yükseklik modeli (DEM)

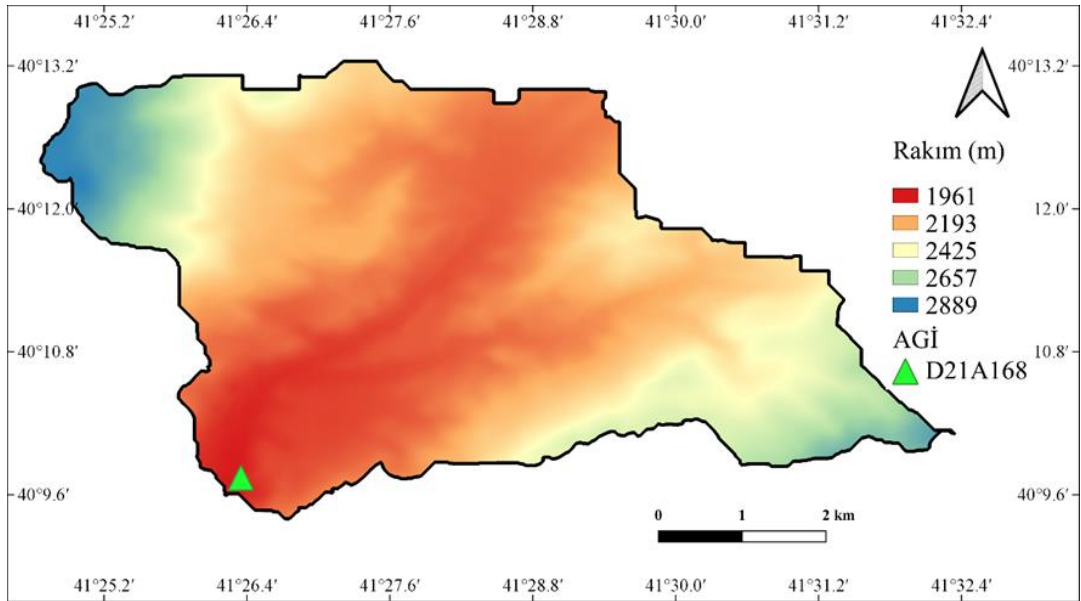
DEM haritaları, havza sınırlarını belirlemek ve akım ağının çıkartılmasını sağlamanın yanı sıra, GB90-R modeli içerisinde havzanın eğim ve cephe gibi orografik özelliklerini elde etmek için kullanılmaktadır. Model bu sayede solar radyasyonu sınırlayan bir katsayıya ulaşarak evapotranspirasyon ve kar erimesi değişkenlerini tahmin etmektedir. Her 3 çalışma havzası için DEM haritaları, havza sınırlarından itibaren yaklaşık 1 km tampon bölge eklenerek Amazon Web Service (AWS) (2022) tarafından indirilmiştir (Şekil 3.3-3.5). İndirilen DEM haritaları kullanılan veri setine göre 3 m ile 2.5 km arasında değişen çözünürlüğe sahiptir.



Şekil 3.3 Çarşamba Çayı drenaj sahası DEM haritası



Şekil 3.4 Korkun Çayı drenaj sahası DEM haritası



Şekil 3.5 Karasu Çayı drenaj sahası DEM haritası

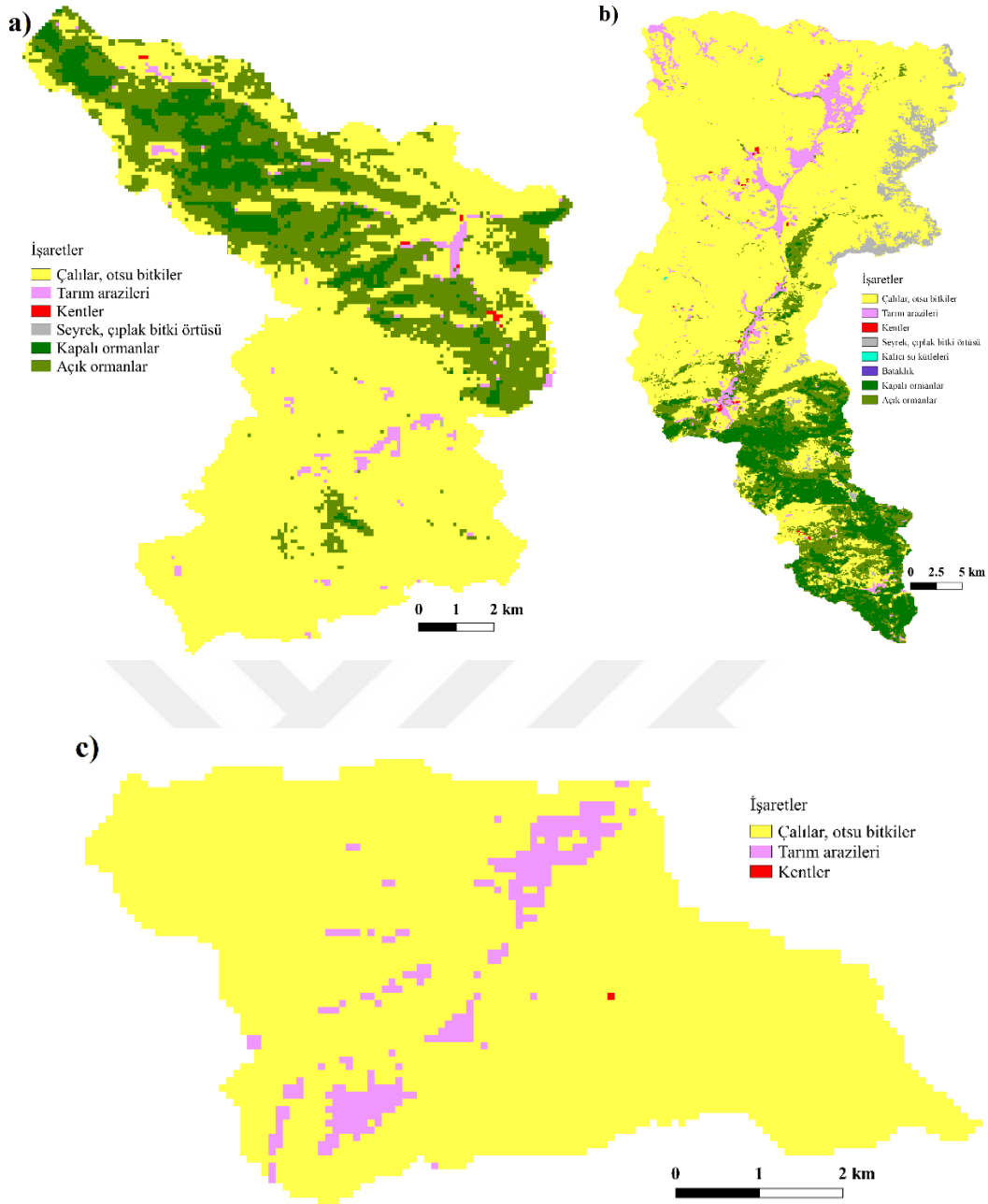
3.1.2. Arazi kullanım – bitki örtüsü haritası (Land use/cover)

Arazi kullanım-bitki örtüsü haritaları; bölge üzerine saçılmış ormanlık, kayalık ve açık su yüzeyleri gibi fiziksel arazi türlerini belirten haritalardır. Copernicus Global Land Service (Buchhorn ve ark., 2019) programı, uydu ve yer ölçüm cihazlarının kombinasyonu ile arazi yüzeyleri hakkında bilgileri sağlayan Avrupa servsidir. 23 ayrı sınıfı içinde barındırmaktadır. Veri seti, PROBA-V uydu zaman serisi, Geo-Wiki ve Google/Bing görüntüleri ile oluşturulan küresel eğitim verileri ve biyom-küme sınıflandırma algoritmaları kullanılarak elde edilmiştir (Vorobevskii ve ark., 2020).

Arazi kullanım-bitki örtüsü haritaları bitki yaprak alan indeksinin (LAI) belirlenmesi ve yansıtıcılığın (albedo) hesaplanması gibi birçok parametrenin tespiti için model tarafından kullanılmaktadır. Albedo ve LAI yüzeye gelen enerjinin ve bitkilerde terlemenin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu veriler Copernicus Global Land Service programına ait Land Cover 100 m veri setinden temin edilmektedir (Buchhorn, ve ark., 2019). İndirilen arazi kullanım-bitki örtüsü haritaları Şekil 3.6'da verilmiştir. Havzaların arazi kullanım-bitki örtüsü sınıfı oranları ise Tablo 3.4 ile verilmiştir.

Modelin indirdiği haritaya göre Çarşamba Çayı drenaj alanındaki hakim bitki örtüsü %65.53'lük oran ile çalılık ve otsu bitkilerdir (Şekil 3.6a). Kuzeye doğru gidildikçe bu bitki örtüsü yerini kapalı ormanlara (%7.86) ve açık ormanlara (%24.42) bırakmaktadır. Güneye gidildikçe havzada yükseltisi artmaktadır (Şekil 3.3). Bu sebeple ormanlık alanların azalması mantıklıdır. Bölgede ayrıca tarım alanları (%2.07) ve kentsel alanlar da (%0.11) bulunmaktadır.

Körkün Çayı drenaj sahası diğer çalışma sahalarına kıyasla daha büyük olduğundan daha fazla sınıfı harita üzerinde görmek mümkündür (Şekil 3.6b). Bu bölgede de çalılar/otsu bitkiler (%70.16) çoğunlukta olsalar da yaprak dökmeyen iğne yapraklı kapalı ormanlar (%9.66) ve açık ormanları da (%11.75) görmek mümkündür. %5.12 oranında tarım arazisi, %3.15 oranında seyrek, çıplak bitki örtüsü, %0.14 kentsel alanlar bulunmaktadır. Ayrıca az da olsa sulak bataklık alanları ve kalıcı su kütleleri de Körkün Çayı havzasında yüzey örtüsü olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.6 a) Çarşamba Çayı; b) Körkün Çayı; c) Karasu Çayı drenaj sahası arazi kullanım/bitki örtüsü haritası (Sınıflar basitleştirilmiştir) (Buchhorn ve ark., 2019).

Karasu Çayının drenaj alanı için modelin temin ettiği arazi kullanım-bitki örtüsü haritası (Şekil 3.6c) görüldüğü üzere 3 sınıftan oluşmaktadır. Diğer seçilen havzalara göre daha küçük olması ve Türkiye'nin doğusunda konumlanması, dolayısıyla yükseltinin fazla olması sebebiyle ormanlık alanlar görülmemektedir. Bunun yerine hakim bitki örtüsü çalılık/otsu bitkilerdir (%93.81). Bölgedeki ufak yerleşim yeri (%0.02) ve tarım sahaları (%6.17) da haritadan okunabilmektedir.

Tablo 3.4. Arazi kullanım/bitki örtüsü için kodlar ve oranları (Buchhorn ve ark., 2020)

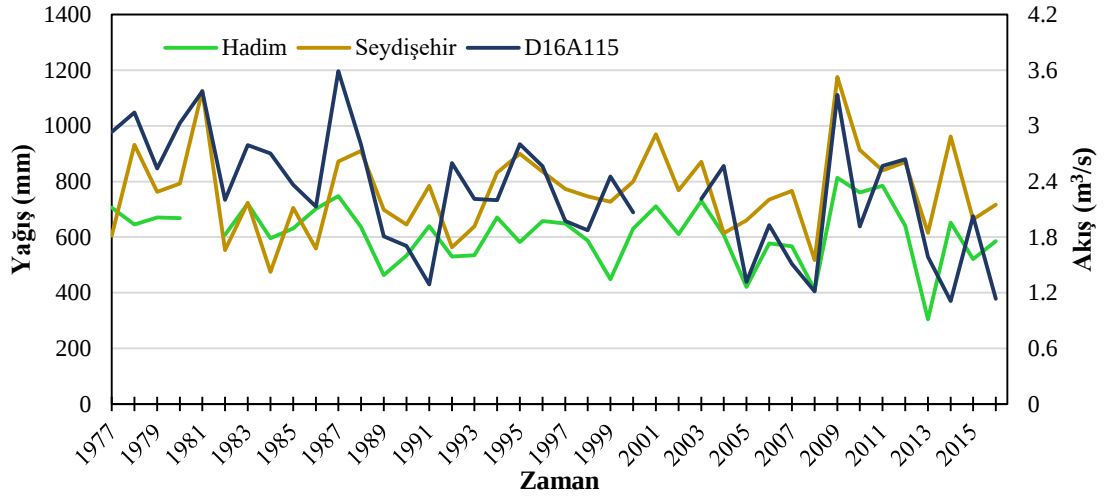
Arazi Kullanım/Bitki Örtüsü Kodları	Çarşamba (%)	Körkün (%)	Karasu (%)
Kapalı Ormanlar	7.86	9.66	-
Açık Ormanlar	24.42	11.75	-
Çalılar, Otsu Bitkiler	65.53	70.16	93.81
Bataklık	-	< 0.01	-
Seyrek, Çıplak Bitki Örtüsü	0.01	3.15	-
Tarım Arazileri	2.07	5.12	6.17
Kentler	0.11	0.14	0.02
Kalıcı Su Kütlesi	-	0.02	-

3.1.3. Hidrometeorolojik veriler

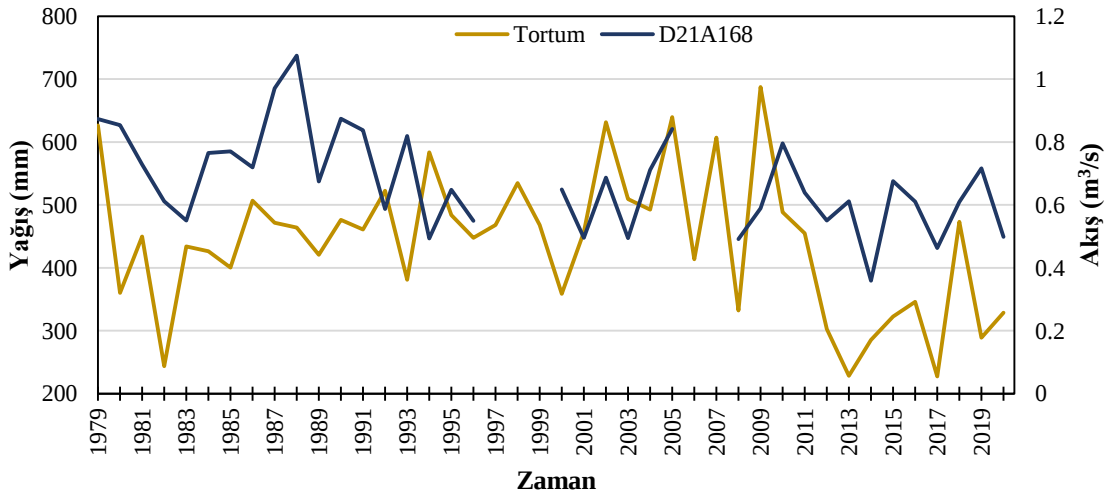
Noktasal günlük meteorolojik veriler MGM gözlem istasyonlarından ve alansal dağınık meteorolojik veriler ise ERA5 üzerinden saatlik olarak elde edilmiştir. ERA5 küresel iklim ve hava durumu için, küresel sayısal hava tahminleri ve çeşitli veriler üreten ve Avrupa Birliği tarafından finanse edilen bir araştırma enstitüsü ve servisi olan Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi'nin (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts-ECMWF) (Copernicus Climate Change Service, 2018) beşinci nesil yeniden analizidir. Yeniden analiz veri setleri, model verilerinin fizik kurallarını ve geçmişteki gözlem verilerini birleştirerek küresel olarak eksiksiz ve tutarlı bir veri kümesi oluşturulmasını sağlar.

Havzaya düşen yağış (mm), buharlaşma ve terlemeyi belirleyen 2 metredeki hava sıcaklığı (Kelvin), yüzey net solar radyasyonu (J/m^2) ve rüzgar hızı (m/s) verileri meteorolojik verilerdir. ERA5'ten elde edilen alansal dağınık veriler modelde girdi olarak, MGM istasyonlarından elde edilen meteorolojik veriler ise su bütçesi analizi için kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarına ait yağış-akış verileri Şekil 3.7-3.9'da verilmiştir.

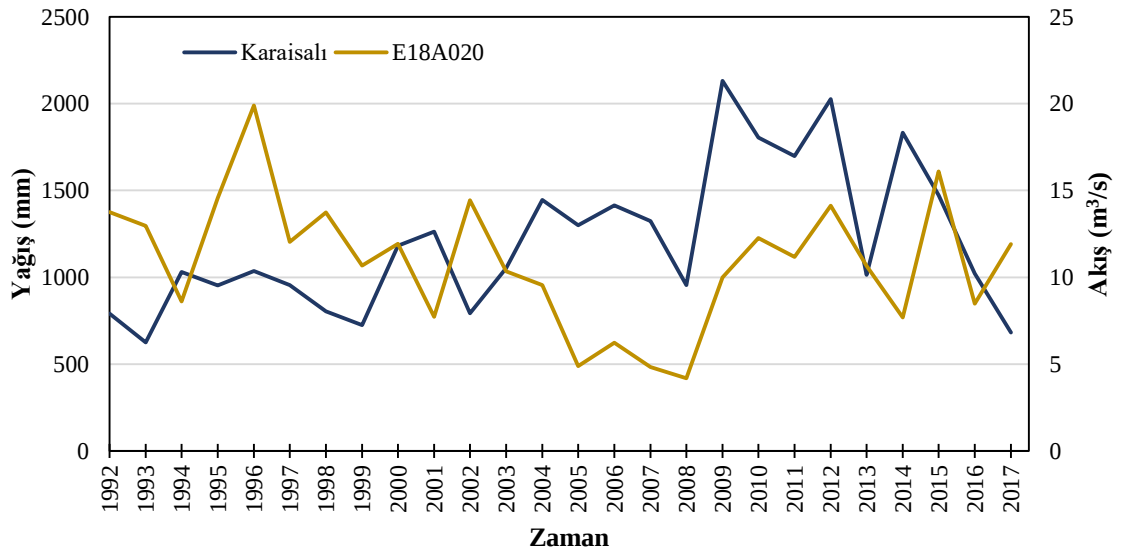
Hidrolojik veriler AGİ'lerden elde edilen akım (m^3/s) verileridir. Elde edilen veriler sonrasında modelin akış çıktısı ile kıyaslanarak model performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 3.7 Hadim ve Seydişehir Meteoroloji ve D16A115 AGİ istasyonlarına ait yıllık yağış-akış zaman serisi

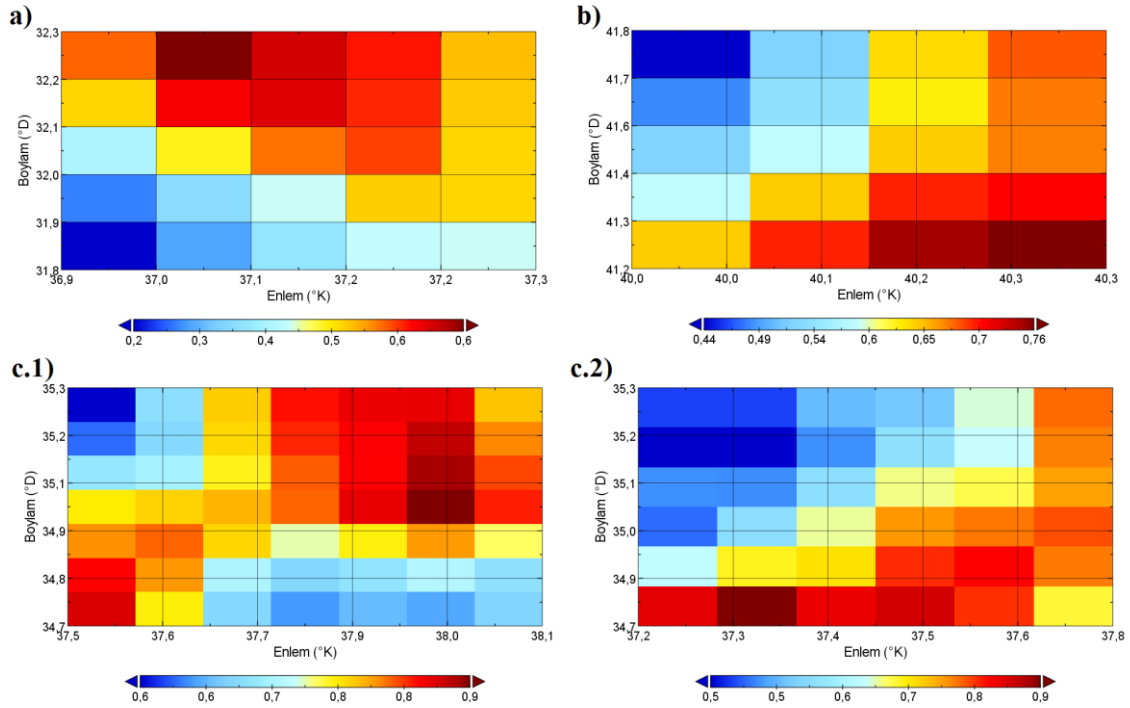


Şekil 3.8 Tortum Meteoroloji ve D21A168 AGİ istasyonlarına ait yıllık yağış-akış zaman serisi



Şekil 3.9 Karaisalı Meteoroloji ve E18A020 AGİ istasyonlarına ait yıllık yağış-akış zaman serisi

Şekil 3.10'da her üç havza için örnek olarak ERA5'ten elde edilen alansal dağılık saatlik yağış (mm) haritaları verilmiştir.



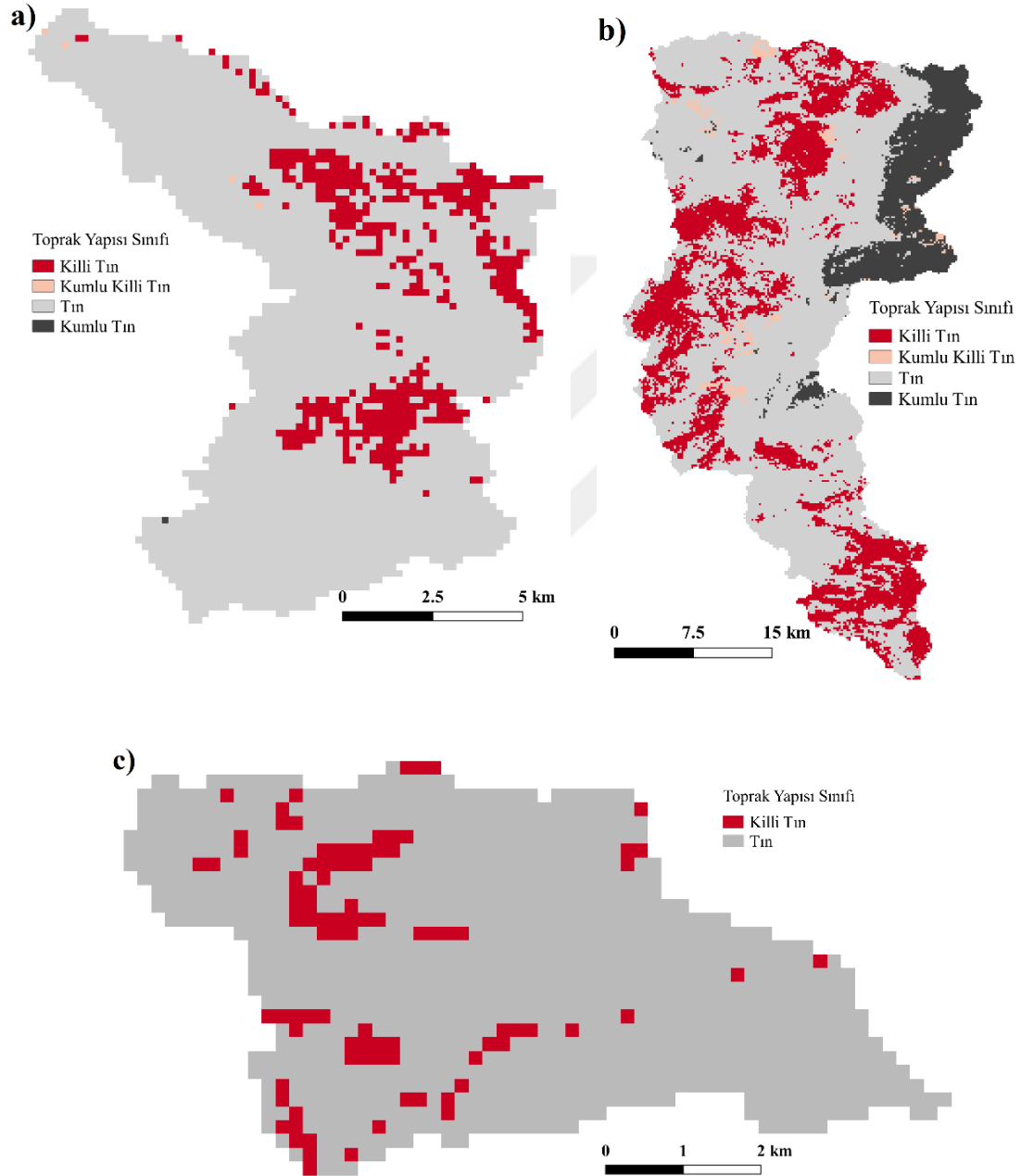
Şekil 3.10 ERA5 alansal dağılık saatlik yağış (mm) haritası **a)** Çarşamba - 1 Ocak 1992; **b)** Karasu - 1 Ocak 1992; **c.1)** Körkün - 1 Ocak 1992; **c.2)** Körkün - 1 Ocak 1992

3.1.4. Toprak özellikleri haritası

Toprak özellikleri haritası, çalışılan bölgenin zeminine ait özellikleri barındıran haritadır. GB90-R modelinde, toprak özellikleri haritaları SolidGrids™ global dijital toprak haritalama projesi üzerinden elde edilmiştir. SolidGrids™, Dünya toprak Bilgi Sistemi (World Soil Information Service-WoSIS) veri setlerinin derlemesini içeren Uluslararası Toprak Referans ve Bilgi Merkezi (International Soil Reference and Information Centre-ISRIC) servisi ve 250 m uzamsal çözünürlükle standart toprak özellikleri hakkında küresel bilgi sağlar (Hengl ve ark., 2017).

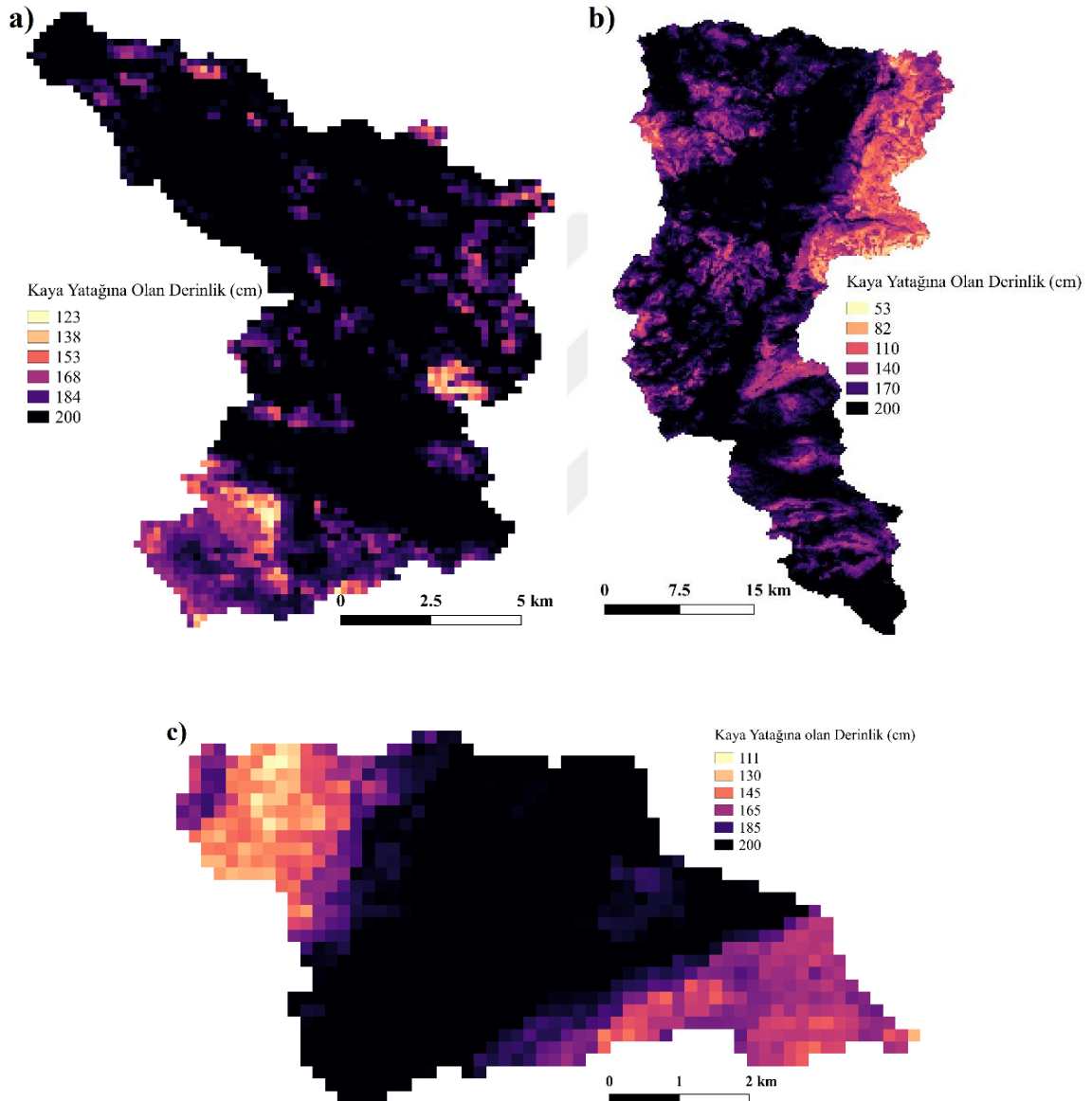
Bu çalışmada model toprak haritaları girdisi olarak 3 farklı kategoride veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar toprak yapısı, taş kırığı oranı (%) ve kaya yatağına olan derinliktir (cm). Toprak yapısı; kum, tınlı kum, kumlu tın, tın, kumlu killi tın, siltli tın, silt, siltli killi tın, killi tın, kumlu kil, siltli kil ve kil olmak üzere 12 sınıfa ayrılmaktadır. Taş kırığı oranı ve toprak yapısı 7 toprak katmanı için ayrı ayrı modele girdi olarak verilir. Havzalara ait toprak haritaları Şekil 3.11-3.13 ile verilmiştir.

Çarşamba ve Karasu Çayı drenaj sahalarında tın hakim toprak sınıflıyken dikkate değer oranda killi tın da mevcuttur. Körkün Çayı drenaj sahasında killi tın ve tın yoğunluktadır. Havzanın Kuzey-Doğu tarafında kumlu tın olduğu görülmektedir. Ayrıca bölgenin merkezinde az miktarda kumlu killi tın olduğu görülmektedir (Şekil 3.11).



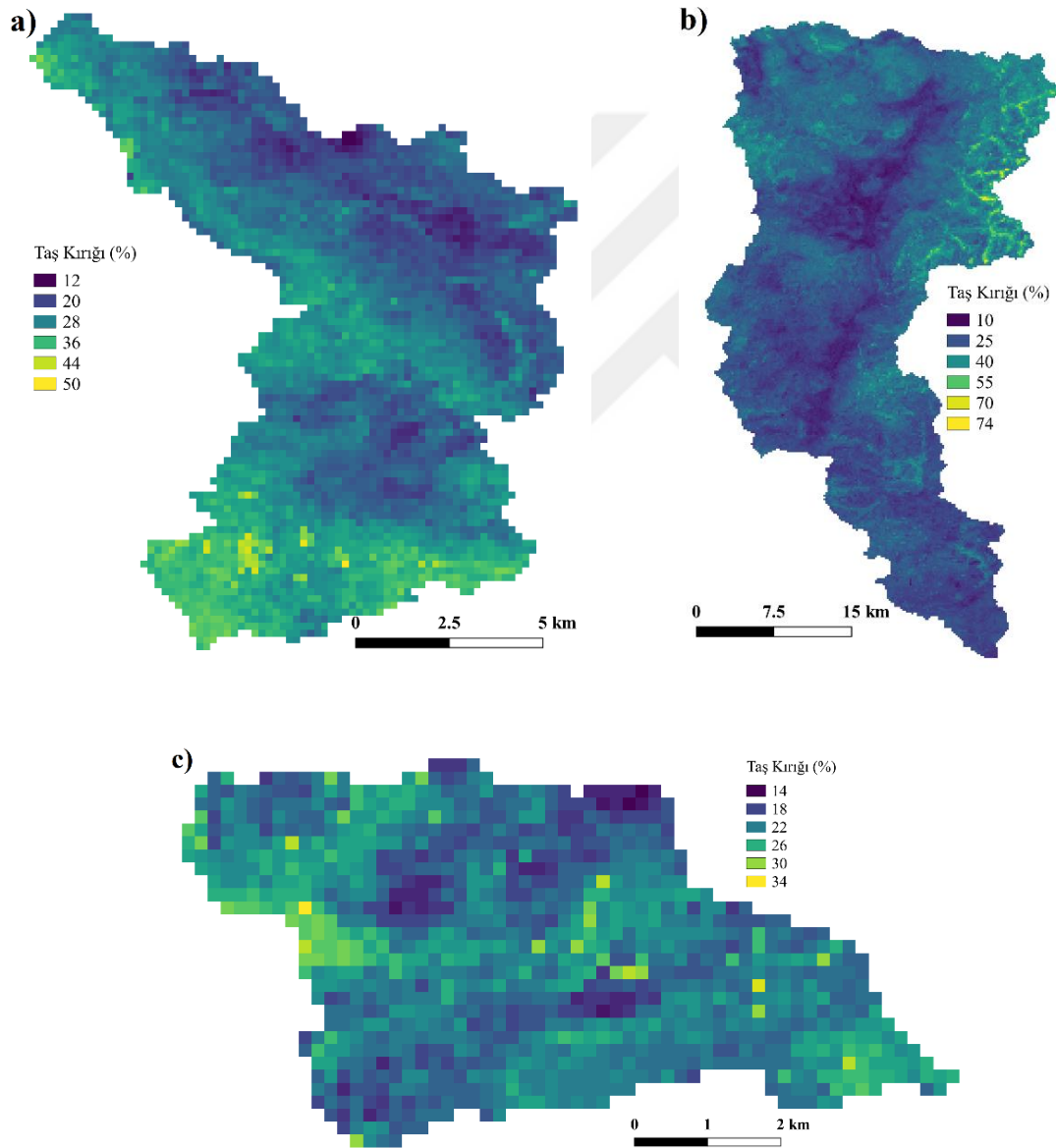
Şekil 3.11 a) Çarşamba Çayı; b) Körkün Çayı; c) Karasu Çayı drenaj alanı toprak yapısı haritası (URL1)

Ana kayaya olan derinlik toprak haritaları incelendiğinde (Şekil 3.12) Çarşamba Çayı havzasında genellikle 200 cm'ye yakındır. Havzada Güney'e gidildiğinde bu derinlik bir miktar azalmıştır. Körkün Havzası'nda ise genel olarak derinlik daha azdır. Bölgenin kumlu tın toprak yapısına sahip olan Kuzey-Doğu bölgesinde derinlik daha da azdır. Karasu Çayı havzasında derinlik Güneyden Kuzeye bir şerit halinde fazlayken Doğu ve Batı taraflarında derinlik nispeten azdır.



Şekil 3.12 a) Çarşamba Çayı; b) Körkün Çayı; c) Karasu Çayı drenaj alanı kaya yatağına olan derinlik haritası (URL1)

Şekil 3.13 ile verilen taş kırığı toprak haritaları incelendiğinde taş kırığı oranının hem kaya yatağına olan derinlik haritalarıyla (Şekil 3.12) hem de sayısal yükseklik haritaları (Şekil 3.3-3.5) ile benzeştiği görülmektedir. Bu haritalara göre rakım arttıkça kaya yatağına olan derinliğin azaldığı, taş kırığı oranının ise arttığı söylenebilir. Çarşamba Çayı havzasında rakımın fazla olduğu Güney sınıra gidildikçe taş kırığı oranı 50%'ye yaklaşmaktadır. Körkün Havzası için ise Güney'e inildikçe taş kırığı oranı azalmaktadır. Çarşamba ve Körkün Havzaları'nda taş kırığı oranı Karasu Havzası'na göre daha geniş aralıkta değerler almıştır.



Şekil 3.13 a) Çarşamba Çayı; b) Körkün Çayı; c) Karasu Çayı drenaj alanı taş kırığı oranı haritası (URL1)

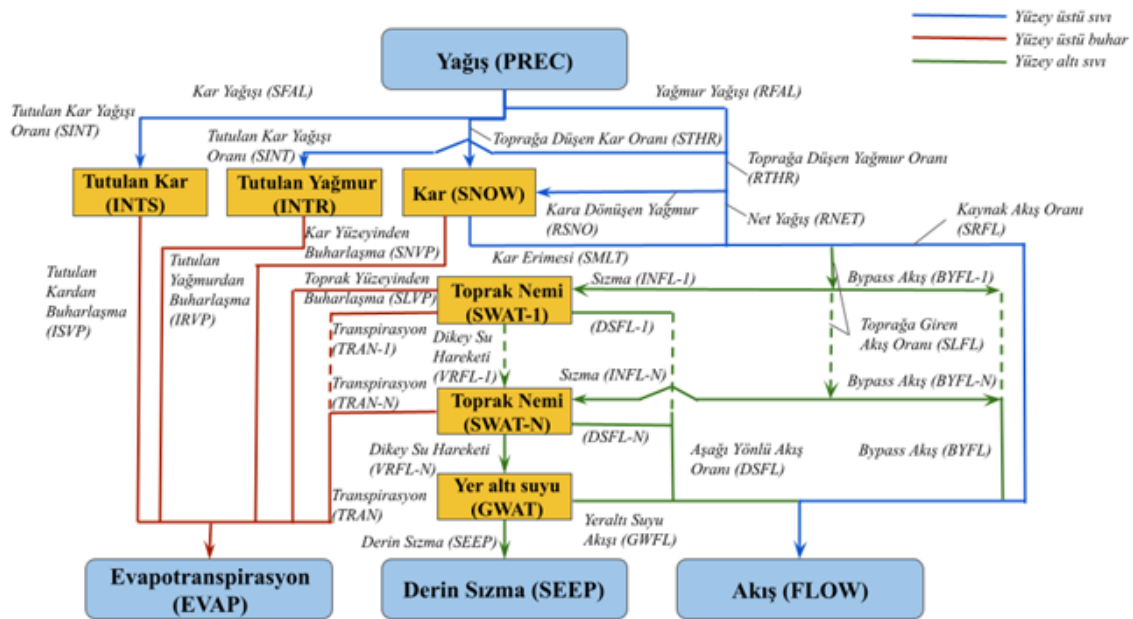
3.2. BROOK90 Modeli

Federer (2002) tarafından geliştirilen BROOK90, toprak-su-bitki sistemi içindeki dikey su akımlarının tek bir yerde ayrıntılı bir şekilde temsil edilmesine odaklanan fiziksel tabanlı toplu bir modeldir. BROOK90 modelinin asıl amacı, fiziksel olarak anlamlı parametrelere sahip süreç odaklı bir yaklaşım kullanarak yılın her döneminde, tüm kara yüzeylerinde işe yarayacak, günlük buharlaşma ve toprak suyu hareketi modeli üretmektir (Federer ve ark., 1996; Federer ve ark., 2003). BROOK90 modeli, Penman-Monteith (Penman, 1948) potansiyel buharlaşmasında Shuttleworth-Wallace modifikasyonu, potansiyel evapotranspirasyon için kullanılır (Shuttleworth ve Wallace, 1985). Darcy yasası ile toprak içinde, doymuş ve doymuş olmayan alanlarda, suyun hareketi hesaplanır (Federer, 2002). BROOK90 modeli su bütçesini Denklem 3.1 ile verilen eşitlikten hesaplamaktadır.

$$PREC = EVAP + FLOW + SEEP \quad (3.1)$$

Burada PREC yağışı, EVAP evapotranspirasyonu, FLOW akışı ve SEEP yer altı suyundan meydana gelen derin sızma kaybını ifade etmektedir.

Model, standart meteorolojik girdi değişkenleri olarak günlük zaman ölçeğinde yağışı, maksimum ve minimum hava sıcaklığını, güneş radyasyonunu, buhar basıncını ve rüzgar hızını gerektirmektedir. Model, toprak ve kar buharlaşmasını, kar birikmesini ve erimesini ve toprak-su hareketini tahmin eder. Model suyu havzada tutulan yağmur, tutulan kar, yüzeyde biriken kar, toprak nemi ve yer altı suyu olarak tutmaktadır. Kar erimesini günlük sıcaklığa göre hesaplamaktadır. Süreç sonunda yağış olarak giren su, evapotranspirasyon, derin sızma veya akış olarak sistemden ayrılır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 BROOK90 modeli genel akış şeması (Federer, 2002)

- ✓ katmanlara sızma oranını (INFL) hesaplayabilmek için gerekli parametreleri hesaplayan INFPAR,
- ✓ katmanlardaki toplam tutulan suyu hesaplayan SRFPAR ve
- ✓ her katmanda bulunan görelî kök yoğunluğunu hesaplayan RTDEN,

modeli ilk çalıştırmada, solar radyasyon, toprak nemi, sızma, topraktaki kök dağılımı gibi parametreleri hesaplamak için çağırılırlar.

Meteorolojik veriler girdi dosyasından okunur ve işlenir. Yılın hangi günü olduğuna bağlı olarak farklılık gösteren solar radyasyon, bitki örtüsü yapısı, pürüzlülük, bitki direnci değişkenleri, ilgili alt rutinler yardımıyla hesaplanır. Meteoroloji parametreleri ile ilgili eksiklikler ve düzeltmeler WEATHER alt rutini çağırılarak yapılır. SNOFRAC alt rutini günlük yağışın kar oranını belirler. Eğer kar yağışı yok ise Shuttleworth-Wallace toprak yüzey buharlaşma direnci parametresi (RSS) Denklem 3.2’de verilen eşitlik ile hesaplanır

$$RSS = RSSA \times \left(\frac{PSIM}{PSIF} \right)^{RSSB} \quad (3.2)$$

Burada;

PSIM: toprak yüzeyi katmanındaki matrik potansiyel oranı

PSIF: toprak kapasitesindeki matrik potansiyel

RSSA: toprak kapasitesindeki toprak yüzey buharlaşma direnci

RSSB: boyutsuz üstel bir parametredir.

RSSB parametresinin neye göre değiştiğine dair net bir bilgi bulunmamakla beraber burada parametre 1 değerine sabitlenmiştir. Parametrenin 1 olması RSS’yi PSIM ile doğru orantılı yaparken 0 kabul edilmesi halinde RSS değerini RSSA’ya eşit hale getirir.

Zeminde kar bulunması halinde ise kar paketi ısı parametresi (CC) kullanılarak kar paketi sıcaklığı (TSNOW) hesaplanır. Kardan buharlaşma oranını SNOVAP alt rutini hesaplar. SNOENRGY alt rutini kar erimesi için uygun enerjiyi bulur. Kar erimesi, yaprak ve gövde alan indeksleri (sırasıyla LAI ve stem alanı indeksi (SAI)) tarafından belirlenen şekilde gölgelik (kanopi) örtüsü için değiştirilir.

Model MSBDAYNIGHT alt rutinini evaporasyonun bileşenlerini hesaplamak için çağırır. Gece-gündüz döngüsünü dikkate alarak potansiyel evaporasyon oranları Penman-Monteith denkleminin Shuttleworth ve Wallace modifikasyonu kullanılarak hesaplanır.

Toprağa düşen net yağmur (RNET) ve kar erimesi (SMLT), toprağın ilk katmanını nemlendirebilir, toprağın derin katmanlarına sızabilir, baypass akış (BYLF) ile akışa dahil olabilir veya doymuş toprak yüzeyi sebebiyle sızamaz ve doğrudan akışa katılabilir.

Her katmana dahil olan net akışı hesaplamak için INFLOW alt rutini çağırılırken, GWATER alt rutini ise yer altı suyu akışı (GWFL) ve derin sızmayı (SEEP) hesaplamak için çağırılır.

Model her günü (iterasyonu) bitirirken her katmandaki toprak nemini (SWAT) günceller. Tüm zaman adımlarını (iterasyonları) derler ve çıktı üretir. BROOK90 modeli bu hidrolojik süreci 6 temel rutin kullanarak hesaplamaktadır.

- 1) Radyasyon
- 2) Potansiyel Evaporasyon
- 3) Tutma ve Transpirasyon
- 4) Toprak Nemi Özellikleri
- 5) Topraktaki Suyun Hareketi
- 6) Kar Birikmesi ve Erimesi

Radyasyon: Yatay yüzeye düşen günlük solar radyasyon BROOK90 modelinin tercihe bağlı bir girdisidir. Bu girdi modele verilmediği takdirde model bu parametreyi tahmin etmektedir. Basitten karmaşığa çeşitli tahmin metotları literatürde kullanılmaktadır. Tahmin metotlarından biri (Bristow ve Campbell, 1984) günlük sıcaklık aralığının genellikle bulutlu günlere göre açık günlerde daha büyük olduğu gerçeğini kullanır (Federer, 2002). Bristow ve Campbell metodu Denklem 3.3 ile verilmiştir.

$$\frac{R}{I_0} = a[1 - \exp(-b\Delta^c)] + d \quad (3.3)$$

Burada;

R: günlük solar radyasyon,

I₀: potansiyel güneşlenme ve

Δ: günlük sıcaklık aralığıdır.

a, b, c ve d: bölgeye göre değişen ampirik katsayılarıdır.

d katsayısını Federer, Δ değerinin sıfır çıkması durumunda günlük solar radyasyonun sıfırdan büyük olması için formüle dahil etmiştir.

Girdi olarak modele verilen veya tahmin metodu ile hesaplanan günlük solar radyasyon alt rutinlerde model tarafından işleme sokulur. Bu alt rutinler, eğim ve cepheye göre radyasyon düzeltmesi, yılın hangi günü olduğuna ve bölgenin konumuna bağlı düzeltme ve kanopi altındaki ve üstündeki mevcut enerji tahminleridir. Sonuçta net radyasyon (RN) hesaplanır (Denklem 3.4).

$$RN = SOLNET + LNGNET \quad (3.4)$$

Burada;

SOLNET: verilen eğimdeki ortalama gündüz güneş radyasyonu ve albedoya bağlı olarak hesaplanan net solar radyasyondur.

LNGNET: uzun dalga radyasyonudur.

Potansiyel Evaporasyon: Model, evaporasyonun hesaplanmasında Shuttleworth ve Wallace (1985) tarafından modifiye edilmiş Penman-Monteith (Penman, 1948) eşitliğini kullanmaktadır. Penman-Monteith denklemi aşağıda verilmiştir.

$$L_v \rho_w E = \frac{\Delta(R_n - S) + c_p \rho \frac{D_a}{r_a}}{\Delta + \gamma + \gamma \left(\frac{r_c}{r_a} \right)} \quad (3.5)$$

Shuttleworth ve Wallace (1985), Penman-Monteith yöntemini topraktan ve yapraklardan gelen farklı su buharı ve hissedilebilir ısı yollarını ayrı ayrı hesaba katacak

şekilde değiştirmişlerdir. Penman-Monteith denklemindeki referans yükseklikteki aerodinamik direnç (r_a) ve kanopi direnci (r_c) yerine Shuttleworth ve Wallace şu beş ifadeyi tanımlamıştır; kanopi yüzey direnci (r_{sc}), atmosferik aerodinamik direnç (r_{aa}), kanopi aerodinamik direnci (r_{ac}), zemin aerodinamik direnci (r_{as}) ve toprak yüzeyi direnci (r_{ss}) (Federer, 2002).

Model buharlaşmayı 5 bileşende incelemektedir;

- tutulan yağmurdan buharlaşma (IRVP),
- tutulan kardan buharlaşma (ISVP),
- kardan buharlaşma (SNVP),
- toprak yüzeyinden toprak nemi buharlaşması (SLVP) ve
- kök içeren her toprak katmanında gerçekleşen transpirasyon (TRANI).

Bu buharlaşma değerleri gündüz ve gece için ayrı elde edilir ve daha sonra günlük değerlerde birleştirilir. Ardından sırayla bir dizi alt rutin devreye girer. Sıcaklık parametresinden elde edilen doymuş buhar basıncı alt rutini, sıcaklık parametresinden elde edilen doymuş buhar basıncı alt rutini, toprak neminin az olduğu durumda terlemenin de azalacağı veya sıfır olacağı ilişkisini gözeterek topraktan buharlaşma ve terleme miktarlarını düzenleyen alt rutin (Shuttleworth-Wallace yaklaşımı), Shuttleworth-Wallace aerodinamik direnç birimlerinin (r_{aa} , r_{ac} , r_{as}) hesaplandığı rutin, bitkiye dair yükseklik, yaprak alanı, kök uzunluğu gibi parametrelerin hesaplandığı rutin, kanopi yüksekliğe bağlı olarak pürüzlülük hesabının yapıldığı rutin, kanopi direncinin hesaplandığı rutin ve gündüz ve gece değerlerine ayrılma da dahil olmak üzere, giriş hava durumu verilerinin tüm ayarlamalarını içeren rutin (Federer, 2002).

Tutma ve Transpirasyon: BROOK90 modelinin bu rutinindeki aşamalar tutma ve gerçek transpirasyonla alakalıdır. INTER ve INTER24 alt rutinleri bitki örtüsü tarafından yağmur ya da kar tutulmasının hesaplandığı rutinlerdir. INTER24 rutini, günlük yağış aralıkları sayısı parametresi NPINT=1 olduğunda ve yağış günde bir kez girildiğinde kullanılır. INTER rutini ise NPINT parametresi 1'den büyük olduğu zaman devreye girer. Her iki alt rutin de farklı çağırma parametreleri ile hem kar hem de yağmur için kullanılır. PLNTRES alt rutini, rizosfer, kök ve ksilem direnci ile ilgili parametreleri hesaplar ve her günün başında bir kez çalışır. TBYLAYER alt rutini ise sıvı haldeki suyun hangi oranda transpirasyon yapan yapraklara ulaştırıldığını belirler

ve potansiyel transpirasyon hızıyla karşılaştırır. Gerçek transpirasyonu bu kıyasın sonucunda belirler ve ardından transpirasyonu toprak katmanları arasında dağıtır (Federer, 2002).

Toprak Nemi Özellikleri: Toprak suyu modellemesi yapılırken, topraktaki su içeriği (θ), matrik su potansiyeli (ψ) ve hidrolik iletkenlik (K) daima gerekli parametrelerdir. BROOK90, Campbell (1974) ifadelerinin Clapp ve Hornberger'in (1978) doymunluğa yakın enterpolasyonu ile bir modifikasyonunu kullanır (Federer, 2002). SOILPAR alt rutini, model ilk çalıştırıldığında modele girdi olarak verilen toprak parametrelerinden yararlanarak gerekli olan diğer toprak parametrelerini üretir. SOILVAR alt rutini ise model ilk çalıştırıldığında ve her iterasyon sonunda çağrılır. Bu alt rutin matrik su potansiyeli (ψ), doymunluk oranı (W) ve tüm toprak katmanlardaki toplam su miktarını kullanarak (SWAT) diğer toprak suyu değişkenlerini hesaplar (Federer, 2002).

Topraktaki Suyun Hareketi: Bu rutinde suyun toprak içindeki hareketi hesaplanmaktadır. BROOK90 modeli bu hesaplamayı yaparken geçirimsiz alandaki kar erimesini, değişken doymuş alanlardaki kar erimesi ve yağışı doğrudan akışa geçirmektedir. Geriye kalan kar erimesi ve yüzey akışı, dikey borular veya makro gözenekler yoluyla ya tüm katmanlar ya da birkaç katman boyunca sızdırmaktadır. Eğer bypass akış, kullanıcı tarafından kapatılmadıysa sızan akışın bir kısmı borulardaki bypass akış olarak doğrudan yüzey akışına dahil edilebilmektedir. Ayrıca model şu temel hareketleri hesaplamaktadır. Zemin katmanları arasında oluşan klasik dikey akış, suyun yatay veya aşağı eğimli hareket ile direkt akışa geçmesi, suyun yer altı suyuna dikey drenajı, yer altı suyundan akışa geçiş ve yer altı suyundan derin sızma kaybı.

Kar Birikmesi ve Erimesi: BROOK90 klasik derece-gün metodunu kullanarak kar enerji dengesini tahmin etmektedir. Model ‘karın su eş değeri’ değişkenini kullanarak kar paketini tanımlar ve hesaplamaları buna göre yapar. Karın su eş değeri, tüm kar birikmesi eritilirse üretilcek olan su derinliğidir. Günlük yağışın kar oranı SNOFRAC alt rutinlerden biridir ve Denklem 3.6 ile hesaplanır.

$$SNOFRC = \frac{(RSTEMP - TMIN)}{(TMAX - TMIN)} \quad (3.6)$$

Burada;

RSTEMP: kar-yağmur geçişi için temel sıcaklık,

TMIN: günlük minimum sıcaklık,

TMAX: günlük maksimum sıcaklıktır.

SNOVAP alt rutini, kar yüzeyinden buharlaşma ve yoğunlaşmayı aerodinamik akı denklemi kullanarak değerlendirir. Kar yüzeyinde olan enerji akısı yoğunluğu SNOENRGY alt rutinde hesaplanır. Kanopi, gün uzunluğunun yarısı (güneşlenme süresi), bölgenin eğim ve cephe özellikleri bu alt rutinde kullanılmaktadır. Son olarak SNOWPACK alt rutini eğer ortamda kar veya kar yağışı var ise çağrılır. Bu alt rutin yağışı kar paketine dönüştürür ve bundan kar erimesini, kar buharlaşmasını ve sıvı suyun drenajını çıkartarak kar paketinin yeni miktarını hesaplar.

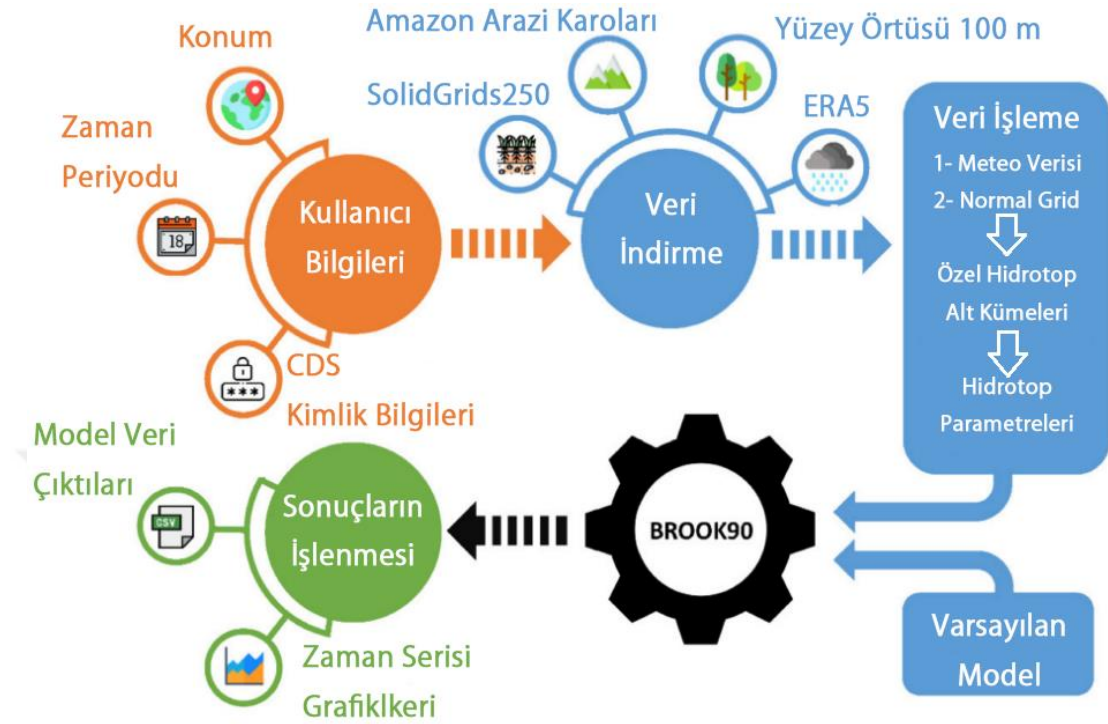
Kar buharlaşması veya yoğunlaşması, aerodinamik dirençlere ve buhar gradyanına bağlıdır, bununla birlikte bir azaltma faktörü gereklidir.

3.2.1 Global BROOK90-R modeli

Bu tez çalışmasında, BROOK90 hidrolojik modelinin R paketine güncelleme getiren Vorobevskii ve ark. (2020) tarafından geliştirilen Global BROOK90-R modeli kullanılmıştır. Bu model kullanıcıdan sadece çalışılacak bölgeye ait konum bilgilerini, modelin çalışması istenen zaman aralığını ve açık kaynak kodlu veri indirilen sitelere ait üyelik bilgileri istemektedir. Model fiziksel tabanlı olmasına rağmen ekstra fiziksel parametre girişi talep etmemektedir. Gerekli tüm verileri belirtilen konum için kendisi indirip çalıştırmaktadır. Vorobevskii ve ark. (2020) çalışmalarını sunarken “Sadece bir havzayı modele dahil et ve model sonuçlarını elde et” sloganını benimsemişlerdir. Hedefleri talep ettiği girdilerden dolayı kısıtlı kitlelere ulaşmayı başarmış BROOK90 modelinin topluluğunu genişletmek ve açık kaynaklı hidrolojik modelleme alanında bilim camiasına katkıda bulunmaktır.

Model; girdilerin eklenmesi, veri indirme, verilerin işlenmesi, BROOK90 modelinin uygulanması, çıktıların işlenmesi ve sunulması olmak üzere 5 adımdan oluşmaktadır (Şekil 3.15). Temel fonksiyonlar; kullanıcı bilgileri (brook90.framework),

veri indirme (downloadinput), veri işleme (data.processing) ve brook90.run.subcatchment'tır.



Şekil 3.15 Global BROOK90-R modelinin sistematik şeması (Vorobevskii ve ark., 2020)

Kullanıcı Bilgileri (brook90.framework): Modelin en temel fonksiyonudur ve kullanıcıdan şu bilgileri talep eder: Havzaya ait shapefile (".shp") dosyasının konumu, iklim veri deposu (Climate Data Store-CDS) kimlik bilgileri ve modelin çalışması istenen zaman aralığı. Aynı zamanda bu fonksiyon indirilen meteorolojik, toprak, arazi kullanım ve DEM haritalarını depolar, model çıktılarını virgül ile ayrılmış (".cvs") ve resim dosyası (".png") formatlarında sunar (Şekil 3.16).

```
catchment_path = '../havza_shapefile.shp'
time_start = '01/01/1950' # min: 01/01/1950
time_end = '31/12/2020' # maks: günümüzden 7 gün öncesine kadar

cds_user = 'XXXXX' # ERA5 kullanıcı ID
cds_key = 'XXXXXXXX-XXXX-XXXX-XXXX-XXXXXXXXXXXX' # ERA5 anahtarı (pass)

### Run framework ###
brook90.framework (catchment_path=catchment_path,
                   cds_user=cds_user, cds_key=cds_key,
                   time_start=time_start, time_end=time_end,
                   # isteğe bağlı tercihler
                   model_dir = NA,
                   output_variables = c('swatt','floww','precc','evpp'), # model çıktı dosya adresi
                   cut_warmup_period = 30, # seçenekler arttırılabilir
                   meteo_dataset = 'era5', # ısınma periyodu, gün
                   hourly_P=T, # ya da merri2
                   check_packages_updates=F) # ağırlıklı ortalama/ortalama/en yakın grid
                                           # model saatlik yağış ile çalışır (sadece era5)
                                           # R-libs güncellemelerini kontrol et (zaman alır)
```

Şekil 3.16 Model framework ara yüzü

Veri İndirme (*download.landcover/download.soil/download.dem/download.meteo*):

Bu fonksiyon öbeği gerekli verileri indirir. DEM, arazi kullanımı ve toprak haritalarını “.tiff” formatında indirirken yağış, sıcaklık, solar radyasyon ve rüzgar hızı meteorolojik verilerini netCDF4 (“.ncdf4”) formatında indirir.

Veri İşleme (*data.processing*): Öncelikle havza üzerinde düzenli gridler çizer ve hidrotop alt kümeleri oluşturur. Sonrasında ise işlenmiş meteorolojik veriyi ve hidrotop parametrelerini BROOK90 için hazırlar.

brook90.run.subcatchment: Bu fonksiyon BROOK90 modelini her bir özel hidrotop için çalıştırır ve talep edilen değişkenler için günlük çıktı üretir.

Kullanıcı ayrıca, çıktı olarak hangi değişkenleri istediğini ve meteorolojik ortalama metodunu (ağırlıklı ortalama, ortalama, en yakın grid) belirleyebilir. Bu çalışmada ağırlıklı ortalama metodu kullanılmıştır.

Kullanıcı modele gerekli girdileri sağladıktan sonra ilk kez çalıştırdığında model ihtiyaç duyduğu verileri indirmeye başlar. İndirilen verilerin model adresinde bulunan ilgili klasörlerde saklanır. ERA5, indirme talebi başına maksimum veri sınırlaması uyguladığından model fazladan indirme taleplerinde bulunur (Vorobevskii ve ark., 2020).

Meteorolojik verilerin hazırlanması süreci verinin havza için ortalamasının alınması ile başlar. Bu işlem için havzanın geometrik merkezine en yakın gridin seçildiği, indirilen tüm verilerin ortalamasının alındığı veya normal ERA5 gridlerine göre alana bağlı ağırlıklı ortalamasının alındığı 3 metottan biri kullanıcı tarafından tercih edilebilir. Ardından günlük maksimum ve minimum sıcaklık verileri, rüzgar ve solar radyasyon verileri işlenir. Son olarak saat bazında havzanın bulunduğu konuma göre gerekli düzeltmeler yapılır.

Model hidrotoplar üzerinden tüm hidrolojik süreci işler. Hidrotoplar arazi kullanım ve toprak haritalarını içeren bilgiler saklamaktadır. Arazi kullanım ve toprak haritalarının çözünürlükleri aynı olmadığından 50 x 50 m gridler havzanın konumuna ait enlem ve boylamlara esnetilecek şekilde düzenlenir. Ayrıca toprak haritalarında saklanan verilerin birimleri farklı olduğu için Vorobevskii ve ark. (2020) kendi önerdikleri bir algoritmayı kullanarak işlenebilir hidrotoplar oluşturmayı başarmışlardır.

Bitki örtüsü hidrotopları, toprak kullanım haritası kullanılarak parametreleştirilmiştir. Model tarafından okunan bitki örtüsü parametreleri şunlardır;

- ✓ nispi yükseklik,
- ✓ nispi yaprak alanı indeksi,
- ✓ toprak ve kar albedosu,
- ✓ uzun kanopilerde kar yüzeyinden buharlaşmayı azaltma katsayısı,
- ✓ zemin yüzey pürüzlülüğü,
- ✓ maksimum yıllık bitki boyu,
- ✓ maksimum yıllık yaprak alanı indeksi,
- ✓ birim zemin alanı başına maksimum ince kök uzunluğu,
- ✓ bitki direnci ksilem katsayısı,
- ✓ maksimum yaprak iletkenliği,
- ✓ ortalama yaprak genişliği,
- ✓ kanopideki fotosentetik aktif radyasyon için yok olma katsayısı,
- ✓ belirli bir katmandaki ince veya emici köklerin nispi yoğunluğu,
- ✓ geçirimsiz toprak oranı (Vorobevskii ve ark., 2020).

Bir hidrotopun toprak hidrolik özellikleri, model dökümantasyonundaki tavsiyelere uygun olacak şekilde toprak doku sınıfları üzerinden parametrelendirilmiştir (Vorobevskii ve ark., 2020; Federer, 2002).

Meteorolojik, fiziksel ve model varsayılan verileri ile oluşturulan havza BROOK90 modeline sürülür. Kronenberg ve Oehlschlägel (2019) tarafından R diline entegre edilen BROOK90 modelinde çalıştırılır. En sonunda model çıktısı klasörüne model sonuçları depolanır. Tüm süreçler ve çıktılar RStudio konsol panelinden takip edilebilir.

3.3 Performans Metrikleri ve Su Bütçesi

GB90-R modelinin seçilen havzalarda çalıştırılmasının ardından simülasyon performansının değerlendirilmesi gerekmektedir. Performans metrikleri temelde iki seriyi kıyaslar ve birbirlerine ne kadar benzediklerini tespit eder.

Bu tez çalışmasında modelin performansını değerlendirmede kullanılan metrikler şunlardır;

- ❖ Determinasyon Katsayısı (R^2)
- ❖ Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (NSE)
- ❖ Kling-Gupta Verimlilik Katsayısı (KGE)
- ❖ Bias Yüzdesi (PBIAS)

Determinasyon Katsayısı (R^2)

R^2 , simülasyon sonucu elde edilmiş veriler ve gözlem verileri arasındaki bağımlılığı ifade eden bir katsayıdır (Moriassi ve ark., 2007). R^2 Denklem 3.7 ile verilmiştir.

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{gi} - \overline{Q_g})(Q_{si} - \overline{Q_s})]^2}{\sum_i (Q_{gi} - \overline{Q_g})^2 \sum_i (Q_{si} - \overline{Q_s})^2} \quad (3.7)$$

Burada Q_g ölçülen akım verilerini, Q_s modelin ürettiği akım verilerini ifade etmektedir. $\overline{Q_g}$ ve $\overline{Q_s}$ ise sırasıyla gözlem verilerinin ve model verilerinin ortalamasını ifade etmektedir. Elde edilen R^2 değerinin 1'e yakın olması modelin başarılı olduğunu ifade ederken 0'a yakın olması daha fazla hatanın olduğunu belirtmektedir.

Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (NSE)

NSE, metoda ait varyansın ölçülen verilerin varyansına kıyasla göreceli büyüklüğünü belirleyen normleştirilmiş bir istatistiktir (Nash ve Sutcliffe, 1970). NSE metriğine ait eşitlik Denklem 3.8 ile verilmiştir.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_i (Q_{gi} - Q_{si})^2}{\sum_i (Q_{gi} - \overline{Q_g})^2} \right] \quad (3.8)$$

Burada Q_g ölçülen, Q_s simüle edilen akım verilerini, $\overline{Q_g}$ ise gözlem akım verilerinin ortalamasını ifade etmektedir. Sonuç 1'e yaklaştıkça model başarısının arttığı,

sonuç $-\infty$ 'a ıraksadıkça modelin başarısız olduğu kabul edilmektedir (Nash ve Sutcliffe, 1970).

Kling-Gupta Verimlilik Katsayısı (KGE)

Gupta ve ark. (2009), NSE metriğinde bulunan eksikliklere işaret ederek KGE metriğini geliştirmişlerdir. NSE'de olduğu gibi KGE için de çıkan negatif değer, ölçüm verisinin ortalamasının model çıktılarından daha başarılı olduğunu, kısaca modelin kötü sonuçlar verdiğini ifade eder. Sonuç 1 değerine yaklaştıkça modelin başarılı olduğu kabul edilir. KGE metriği Denklem 3.9 ile verilmiştir.

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_g} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_s}{\mu_g} - 1\right)^2} \quad (3.9)$$

Burada r ölçülen veri ile model çıktısı arasındaki lineer korelasyonu, σ_s model çıktılarının standart sapmasını, σ_g ölçüm verilerinin standart sapmasını, μ_s model çıktılarının ortalamasını, μ_g ölçüm verilerinin ortalamasını ifade etmektedir.

Bias Yüzdesi (PBIAS)

Yüzdelik olarak ifade edilen PBIAS modelin fazla mı eksik mi tahmin ettiğinin tayininde oldukça kullanışlı bir metriktir. %0 değeri en başarılı model tahminini ifade ederken pozitif değerler eksik tahmini, negatif değerler fazla tahmini ifade etmektedir. PBIAS Denklem 3.10 ile verilmiştir.

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{g,i} - Q_{s,i}) \times 100}{\sum_{i=1}^n (Q_{g,i})} \right] \quad (3.10)$$

NSE ve PBias performans metriklerine göre GB90-R modelinin akım tahminindeki başarısını değerlendirmek için Tablo 3.4'te akım parametresi için verilen model performans derecelendirmeleri dikkate alınmıştır

Tablo 3.4. NSE ve PBias değerine göre model performans dereceleri (Moriasi ve ark., 2007)

Performans Derecesi	NSE	PBias (%)
Çok iyi	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBias < \pm 10$
İyi	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBias < 15$
Yeterli	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBias < 25$
Yetersiz	$NSE \leq 0.50$	$Pbias \geq \pm 25$

Su Bütçesi (ΔS)

Su bütçesi bir havzaya giren ve çıkan su ilişkisinin bir analizidir. Yıllık hesaplanacak su bütçesi havzaların yaşanan ya da gelecekte yaşanabilecek kuraklık sorununu gün yüzüne çıkartabilir. Ayrıca yer altı suyu gibi ölçülmesi ve takibi zahmetli parametreler hakkında fikir verir. Uzun periyotlar için bir havza dahil olan su ile havzayı terk eden su miktarının denge halinde olduğunu yani rezervuardaki değişimin sıfır olduğunu kabul edebiliriz. Bu çalışmada Denklem 3.11 ile su bütçesi hesaplanmıştır.

$$PREC + GWFL_{giren} - (EVAP + GWFL_{çıkan} + SRFL) = \Delta S \quad (3.11)$$

Burada; GWFL yer altı suyu akışını ve SRFL yüzey akışı ifade eder. $GWFL_{giren}$ havzaya giren yer altı suyu akışının tespiti çok zor olduğundan ihmal edilebilir. $GWFL_{çıkan}$ ve SRFL havza parametrelerini toplamda FLOW olarak ifade edebiliriz.

4. UYGULAMA ve ARAŞTIRMA SONUÇLARI

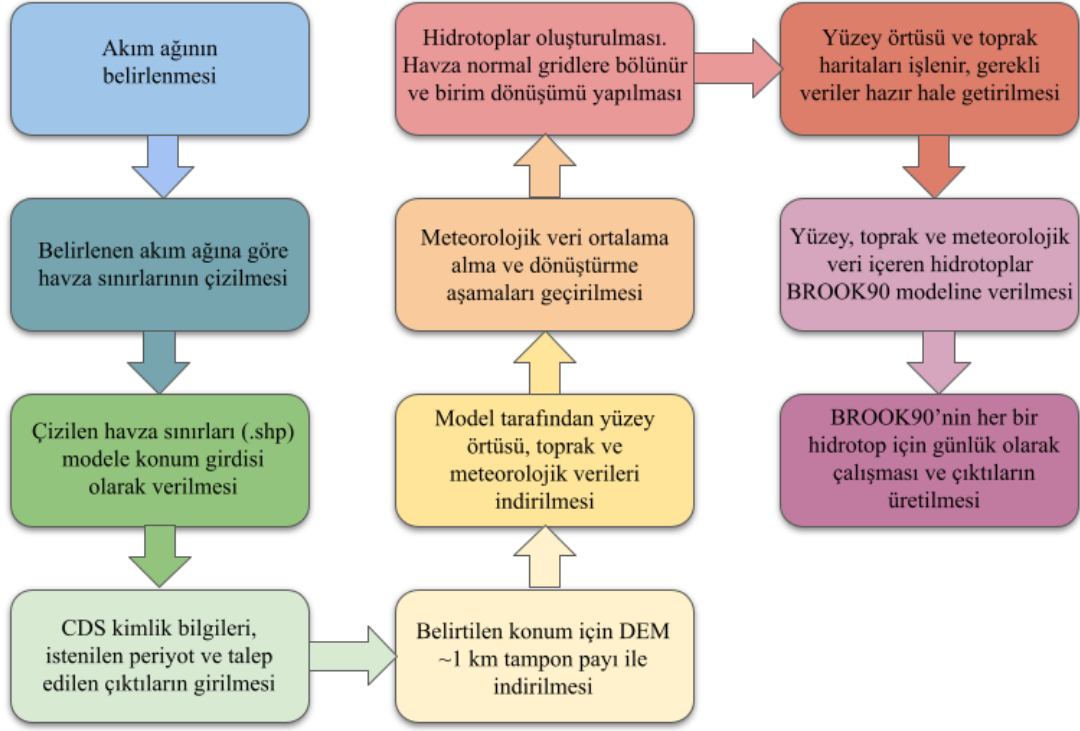
4.1. Uygulama

Bu çalışmada aylık akım tahmini yapmak amacıyla GB90-R modeli Türkiye’deki iklimsel ve coğrafi koşullar bakımından birbirinden farklı özelliklere sahip 3 farklı havzaya uygulanmış ve modelin bu havzalardaki tahmin başarısı değerlendirilmiştir. GB90-R modeli tüm iklimler ve coğrafyalar için teknik yeterlilik sınırını minimuma indirerek kolayca hidrolojik modelleme yapılabilmesi için geliştirilen bir modeldir. Model yakın zamanda araştırmacıların hizmetine sunulmuş ve halen ek geliştirmeler almaktadır. Fakat kullanıcıdan az sayıda girdi talep etmesine rağmen karmaşık ve detaylı sonuçlar üretebilen fiziksel tabanlı bir model çalıştırması dolayısıyla GB90-R hidrolojik modelinin literatürde giderek popülerleşeceği ön görülmektedir.

GB90-R hidrolojik modeli temelde, fiziksel tabanlı BROOK90 modeline ihtiyaç duyduğu girdileri uzaktan algılama ile gerekli veri setlerinden sağlayan ve bu süreci kullanıcı için iyileştiren bir modeldir. GB90-R modelinin akış diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir. BROOK90 modeli ilk kez Fortran (Federer ve ark., 2003) üzerinden geliştirilmiş olsa da günümüzde daha yaygın olarak kullanılan ve temiz bir ara yüz sunan Rstudio’ya aktarılmıştır (Kronenberg ve Oehlschlägel, 2019). GB90-R modelinin de BROOK90-R modelini çalıştırdığı için Rstudio ara yüzünden erişimi sağlanmaktadır. Ayrıca modele kullanıcıdan talep ettiği konum (.shp) dosyasının oluşturulması için bir Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) programı kullanılmıştır.

Şekil 4.1’de GB90R modelinin akış diyagramı görülmektedir. Öncelikle kullanılan üç havzaya ait akım ağı DEM haritası kullanılarak çıkartılmıştır (Şekil 3.3-3.5). Çıkartılan bu akım ağı üzerinden, DSİ akım gözlem istasyonlarının konumları da dikkate alınarak havza sınırları ve alt havzalar oluşturulmuştur.

Oluşturulan havza sınırları “.shp” formatında modele girdi olarak verildikten sonra CDS kimliği tanımlanmış, modelin çalışması istenilen zaman aralığı (minimum 01/01/1950 tarihi, maksimum mevcut günden 1 hafta öncesi) belirlenmiş ve çıktı olarak talep edilen değişkenler belirtilerek model çalıştırılmıştır.



Şekil 4.1 Global BROOK90-R modeli işlem akış diyagramı

Model ilk etapta her üç havzaya ait yaklaşık 1 km tampon kenarlara sahip, “.tiff” formatındaki DEM haritasını Amazon Web Service (AWS) Arazi Karoları hizmetini kullanarak indirmiştir. Sistem seçilen bölgeye göre en iyi çözünürlüğe sahip veri setini seçer. Daha sonra indirilen DEM haritaları ile aynı formattaki yüzey örtüsü ve toprak haritaları, meteoroloji (yağış (mm), 2 metredeki hava sıcaklığı (Kelvin), yüzey net solar radyasyonu (J/m^2) ve rüzgar hızı (m/s)) verileri indirilmiştir.

Meteorolojik veriler “netCDF4” formatında olup, 3 boyutlu matris şeklinde saklanan verilerdir. Bu veriler model tarafından kullanılmadan önce havzayı temsil edecek şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla model ile, yağış için ağırlıklı ortalama metodunu kullanarak 2 boyutlu zaman serisine çevrilmiş, sıcaklık, rüzgar ve solar radyasyon için saatlik veriler günlüğe çevrilirken, ortalama rüzgar hızı ve gerçek buhar basıncı hesaplanmıştır. Böylece veriler hazır hale getirilmiştir.

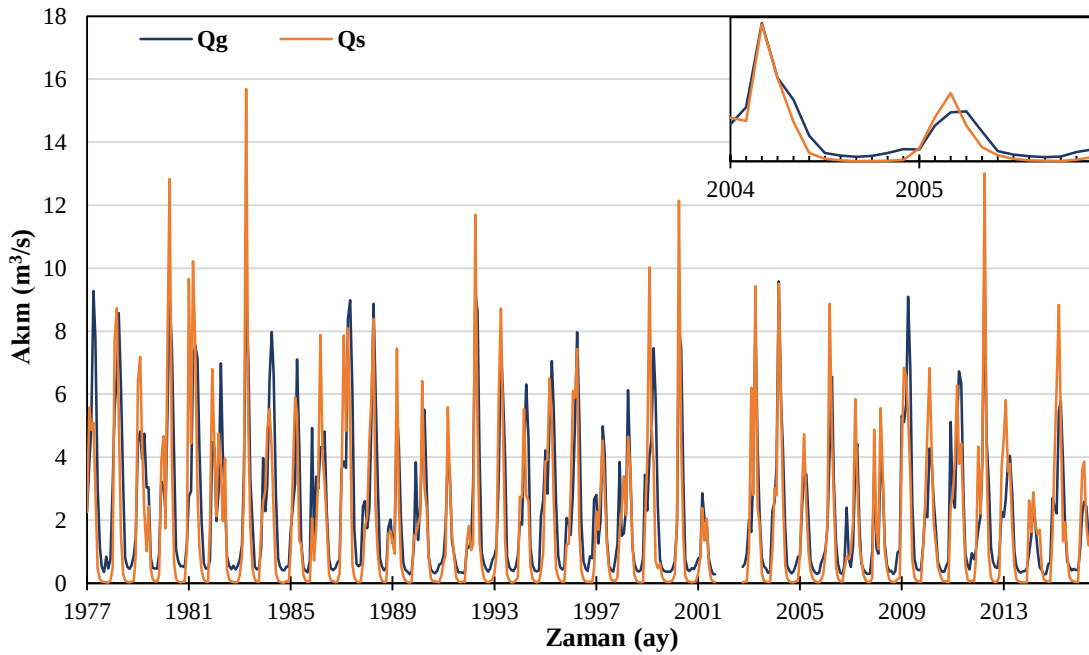
Özel hidrotoplar seçilen havza için arazi kullanım/bitki örtüsü ve toprak haritaları verilerini içerecek şekilde tanımlanır. Arazi kullanım/bitki örtüsü ve toprak haritaları farklı çözünürlüklere sahip oldukları için $50 \times 50 m$ normal grid oluşturulmuştur. Gerekli düzenlemeler ve birim dönüşümleri yapıldıktan sonra bu iki harita parametreleri hidrotoplara işlenmiş ve modele sunulmuştur.

Arazi örtüsü ve toprak haritaları tarafından tanımlanan hidrotoplar hazırlanan meteorolojik verilerle beraber GB90-R modeline girdi olarak sunulduktan sonra model tüm özel hidrotoplar için günlük olarak çalıştırılmış ve sonuçları kaydedilmiştir. En son hidrotopu da çalıştıran model, tüm çıktıları derleyerek “.csv” formatında sayısal ham veri ve “.png” formatında görsel zaman serisi grafiklerini sunmuştur.

4.2. GB90-R Model Sonuçları

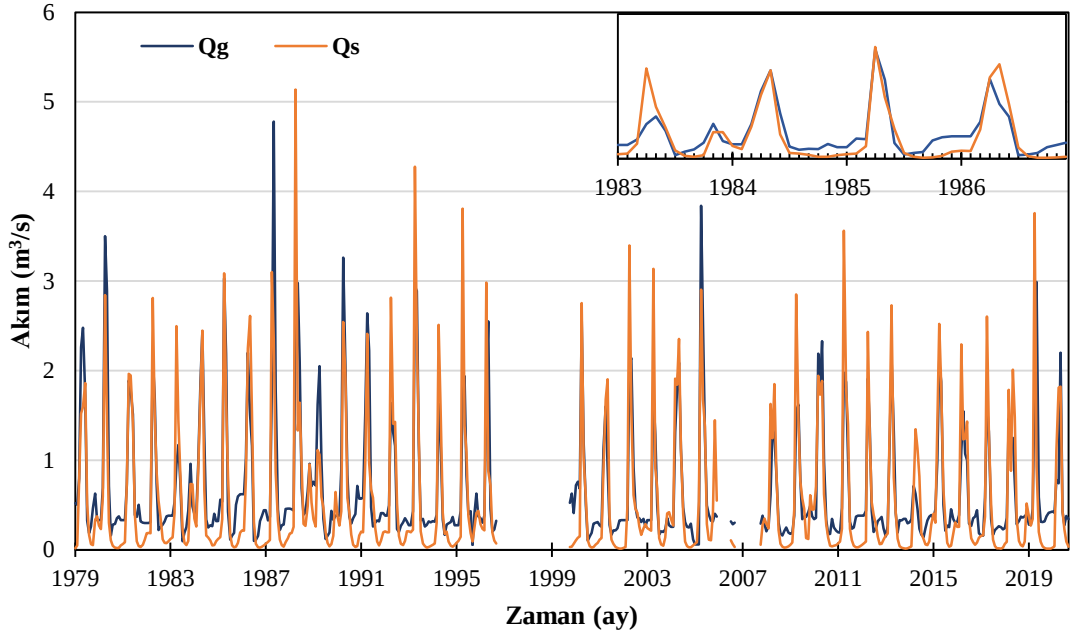
GB90-R modeli; Çarşamba, Körkün ve Karasu havzalarına kurulmuş ve performansı değerlendirilmiştir. Modelin performansı DSİ akım gözlem istasyonları (AGİ) tarafından ölçülen akım değerleri ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Sonrasında detaylı model çıktıları kullanılarak analizler yapılmıştır.

Şekil 4.2’de Çarşamba Çayı için gözlem (D16A115 AGİ) ve simülasyon (model) akım-zaman grafiği verilmiştir. Şekil 4.2 incelendiğinde modelin aylık akımların davranışını başarılı şekilde temsil ettiği görülmektedir. Model, yüksek akımları tahmin etmede düşük akımlara kıyasla daha başarılı olmuştur. Özellikle 2004-2005 yılları arasında yakaladığı başarı oldukça dikkat çekicidir. Model 2004 yılının ilk aylarında meydana gelen yüksek akımı çok iyi takip etmiştir. Bu başarıyı 2005 yılında da elde ettiğini görmek mümkündür.



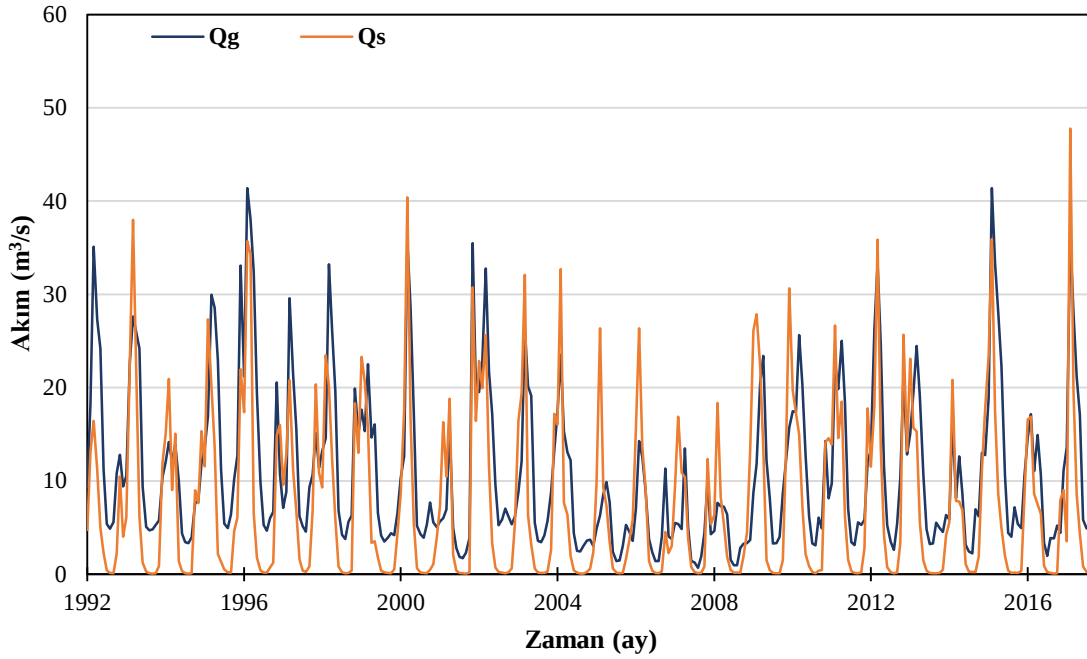
Şekil 4.2 Çarşamba Çayı gözlem ve model akım-zaman grafiği

Karasu Çayı için gözlem (D21A168 AGİ) ve model akım-zaman grafiği Şekil 4.3 ile verilmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde model yüksek akımlarda ve akımın davranışını tahmin etmede genel olarak başarılı olmuştur. Fakat düşük akımları tahmin etmede zorlanmıştır. Burada görüldüğü üzere en büyük etken sonbahar ve kış aylarında meydana gelen ani akım artışıdır. Model genel olarak bu ani akım artışına ya eksik tepki vermiş ya da hiç tepki vermemiştir. Öte yandan model, 1983 yılı Ekim-Kasım aylarında meydana gelen ani akışı yakalamakta başarılı olmuştur.



Şekil 4.3 Karasu Çayı gözlem ve model akım-zaman grafiği

Şekil 4.4 ile Körkün Çayı (E18A020 AGİ) akım gözlem verileri ile GB90-R modeline ait akım-zaman grafiği verilmiştir. Model yüksek akımları tahmin etmede düşük akımlarla kıyaslandığında daha başarılı olmuştur. Model akım davranışını diğer iki havzada olduğu kadar başarılı olamasa da tutturmayı başarmıştır. Fakat akım desende bir miktar kayma görülmektedir.



Şekil 4.4 Körkün Çayı gözlem ve model akım-zaman grafiği

Model performansı, performans metrikleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 4.1’de verilmiştir. GB90-R modeli aylık akım tahmininde, bütün performans metrikleri için Karasu Çayı havzasında en yüksek başarıyı elde ederken Körkün Çayı havzasında diğer iki havza kadar başarılı olamamıştır. Modelin küçük havzalarda başarılı sonuçlar verdiği bilinmektedir (Vorobevskii ve ark., 2020) ve Karasu Çayı’nın performans metriklerine göre başarısının en büyük sebeplerinden birinin havzanın drenaj alanının diğer iki havzaya göre daha küçük olması söylenebilir (Tablo 3.1).

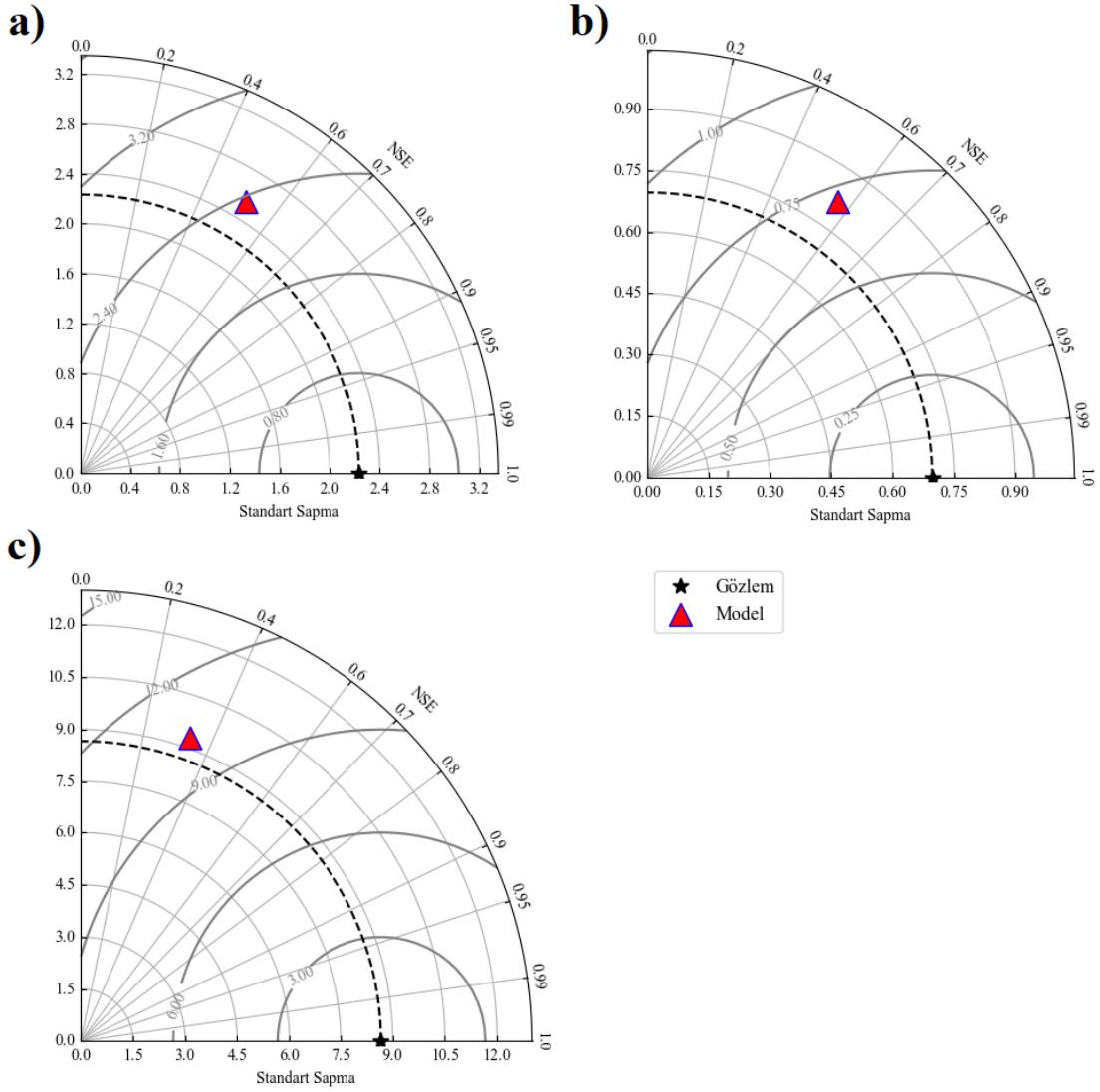
Tablo 4.1. GB90-R modelinin performans değerleri

Havza	R^2	NSE	KGE	PBIAS (%)
Karasu	0.702	0.570 (Yeterli)	0.722	+ 13.59 (İyi)
Çarşamba	0.654	0.521 (Yeterli)	0.721	+14.42 (İyi)
Körkün	0.576	0.337 (Yetersiz)	0.613	+29.39 (Yetersiz)

Moriasi ve ark. (2007) tarafından NSE ve PBias için verilen (Tablo 3.4) model performans dereceleri sınıflandırmasına göre, GB90-R modeli akım tahmininde Karasu ve Çarşamba Havzaları için sırasıyla NSE=0.570 ve NSE=0.521 değerleri ile “yeterli”, Körkün Havzasında ise NSE=0.337 değeri ile “yetersiz” tahmin başarısı göstermiştir.

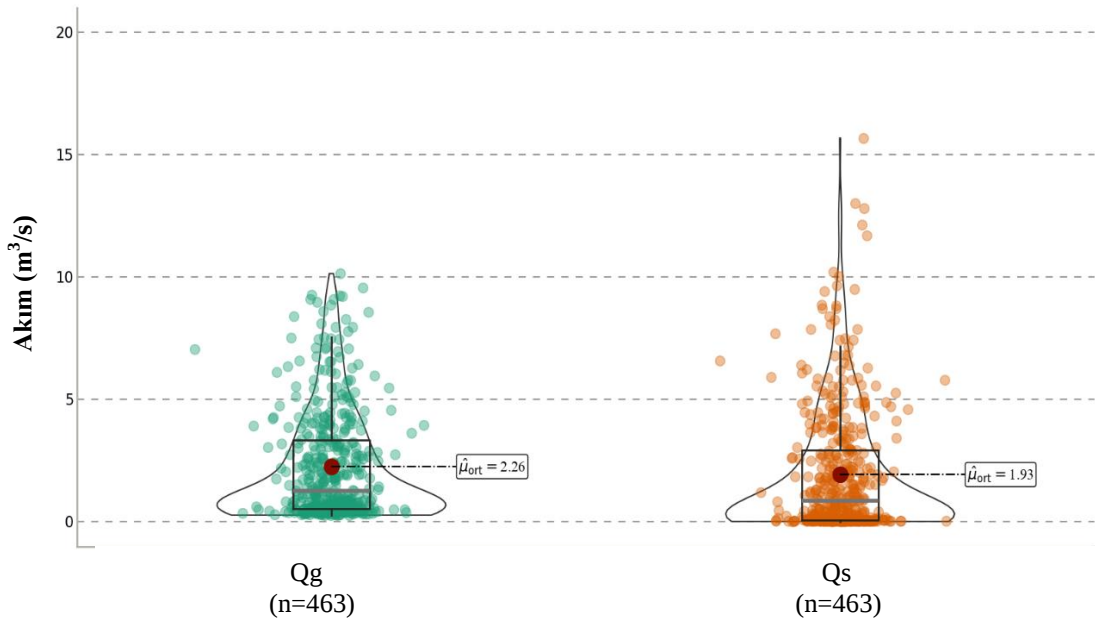
PBias metriğine göre ise, Karasu için PBias=%13.59 ve Çarşamba Havzası için PBias=%14.42 değerleri ile “iyi”, Körkün Havzası için ise PBias=%29.39 değeri ile “yetersiz” tahmin başarısı elde edilmiştir. Ayrıca PBIAS metriği dikkate alındığında her üç havza da akımı genel olarak eksik tahmin etmiştir. Bu durum akım-zaman grafiklerinde özellikle düşük akımlar incelendiğinde rahatlıkla görülmektedir.

Şekil 4.5 ile her havzaya ait Taylor grafikleri verilmiştir (Taylor, 2001). Bakıldığında modelin Körkün Çayı performansı NSE metriğine göre düşük olsa da standart sapma değeri gözlem verisine oran olarak diğer havzalardan daha yakındır. Bu sonuç modelin Körkün Çayı için ürettiği çıktıların gözlem verilerine benzer açıklıkta saçıldığını göstermektedir.



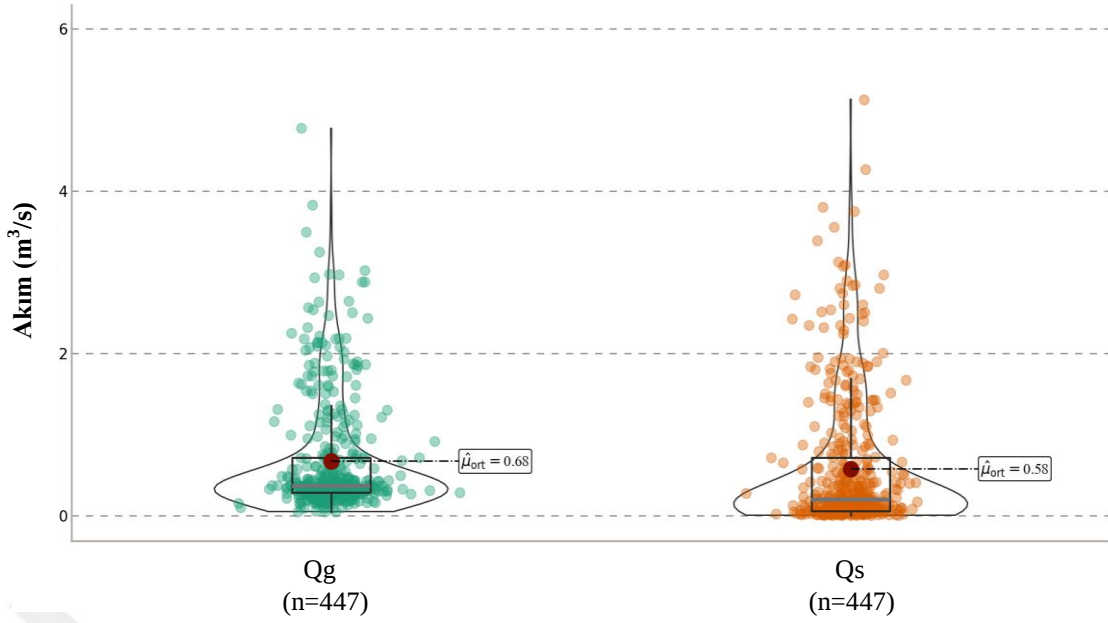
Şekil 4.5 a) Çarşamba Çayı; b) Karasu Çayı; c) Körkün Çayı gözlem ve model Taylor grafiği

Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de her bir havza için akıma ait gözlem verisi ve model çıktısının kıyası iç içe keman ve kutu grafikleri ile sunulmuştur. Verilen grafiklere göre tüm havzalar için model, gözlem verisinin pozitif çarpıklığını genel olarak yakalamayı başarmıştır. Çarşamba Çayı Havzası (Şekil 4.6) için model, gözlem verilerine kıyasla daha pozitif çarpık dağılmıştır. Bu modelin eksik tahmin ettiğini ifade etmektedir ve havza için elde edilen pozitif PBias değerlerinden de (Tablo 4.1) görülmektedir. Gözlem verilerinin aksine GB90-R modeli ile Çarşamba Çayı Havzası için $10 \text{ m}^3/\text{s}$ akım değerini geçen akımlar tahmin edilmiştir. Şekil 4.6’daki keman diyagramı da buna paralel olarak model verileri için daha uzundur. Fakat kutu diyagramlarına bakıldığında modelin, gözlem verilerine benzer şekilde saçıldığı görülmektedir.

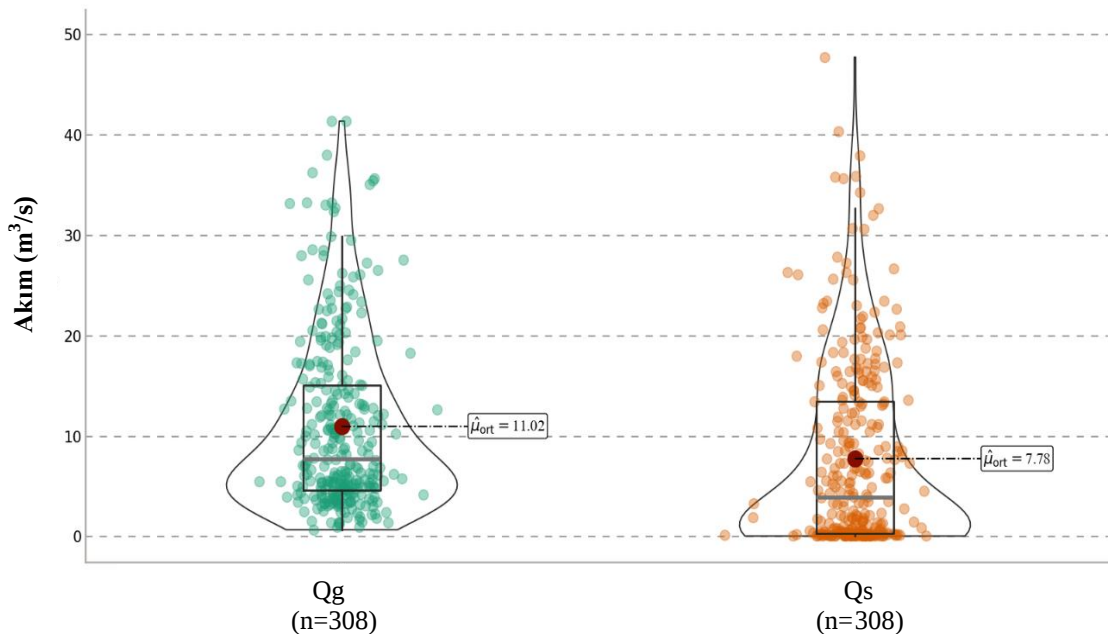


Şekil 4.6 Çarşamba Çayı gözlem ve model keman ve kutu grafiği

Şekil 4.7’ye göre Karasu Çayı Havzası için –akıma ait gözlem verileri ve model çıktıları düşük değerlerde yığılmıştır. Her iki keman diyagramı da benzer uzunluktadır. Kutu diyagramlarına bakıldığında model çıktılarının gözlem verilerine kıyasla daha çok saçıldığı görülmektedir. Birinci dörtte-birlik ve minimum değerleri arasındaki fark model çıktıları için oldukça küçük iken gözlem verileri için belirgin bir büyüklüğe sahiptir. Bu durum keman diyagramından da görülebileceği üzere model çıktılarının gözlem çıktılarına göre biraz daha aşağıda yığıldığını, yani küçük akım değerlerini modelin daha az tahmin ettiğini göstermektedir. Bu durum Karasu Havzası için verilen Şekil 4.3’deki akım zaman grafiğinde de açık bir şekilde görülmektedir.

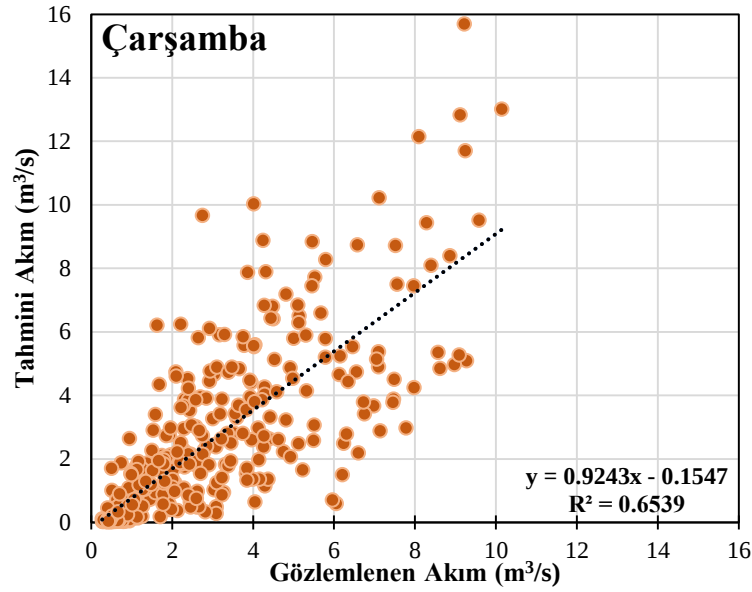


Şekil 4.8’de Körkün Çayı için verilen keman ve kutu diyagramlarına bakıldığında model çıktıların önceki iki havzaya oranla daha üniform bir dağılım sergiledikleri söylenebilir. Kutu diyagramı dikkate alındığında model çıktıların daha fazla saçıldığı görülmektedir. Her iki veri seti de pozitif çarpıktır

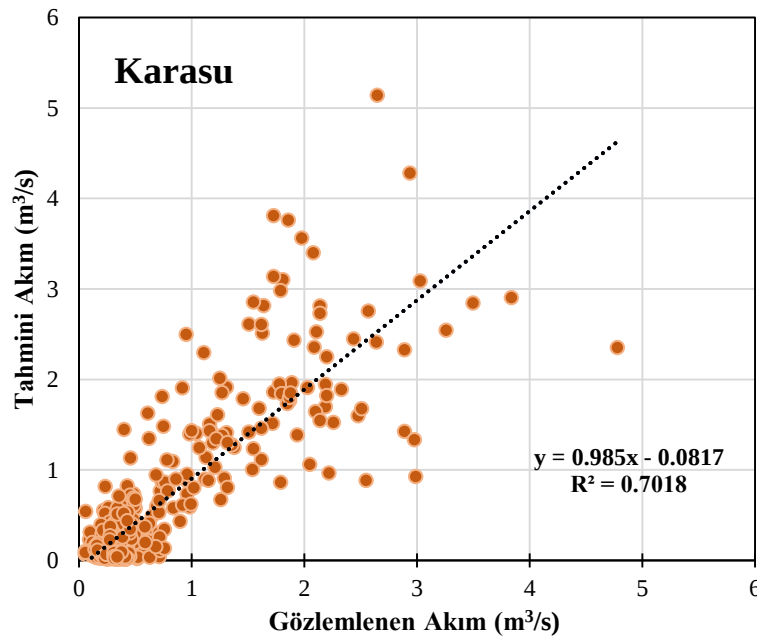


Karasu Havzasında olduğu gibi Körkün  ayı havzasında da  ekil 4.8'deki keman diyagramından da görülebileceği üzere, model çıktılarının gözlem çıktılarına göre biraz daha aşağıda yığıldığını, yani küçük akım değerlerini modelin daha az tahmin ettiğini söylemek mümkündür. Bu durum Körkün Havzası için verilen  ekil 4.4'deki akım zaman grafiğinde de açık bir şekilde görülmektedir.

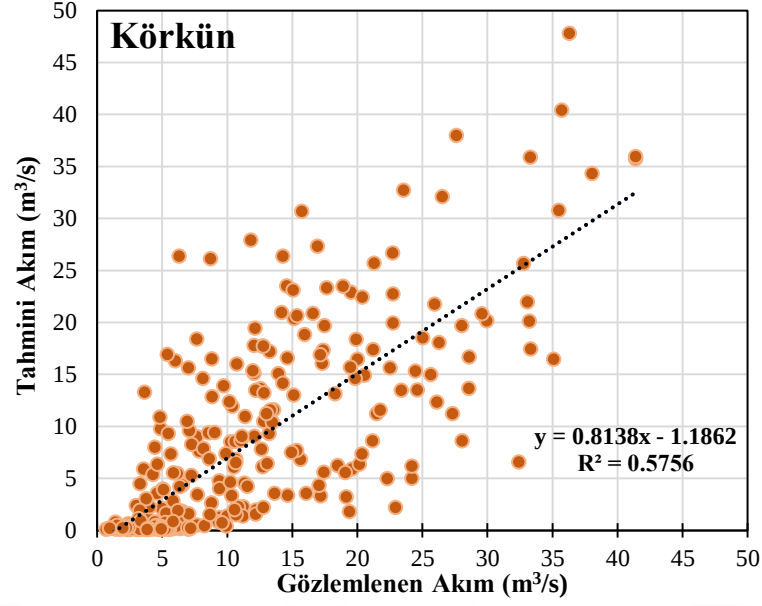
 ar amba, Karasu ve Körkün  ayı Havzalarında GB90-R modeline ait saçılım diyagramları sırasıyla  ekil 4.9,  ekil 4.10 ve  ekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.9  ar amba  ayı gözlem ve model saçılım diyagramı



Şekil 4.10 Karasu  ayı gözlem ve model saçılım diyagramı



Şekil 4.11 Körkün Çayı gözlem ve model saçılım diyagramı

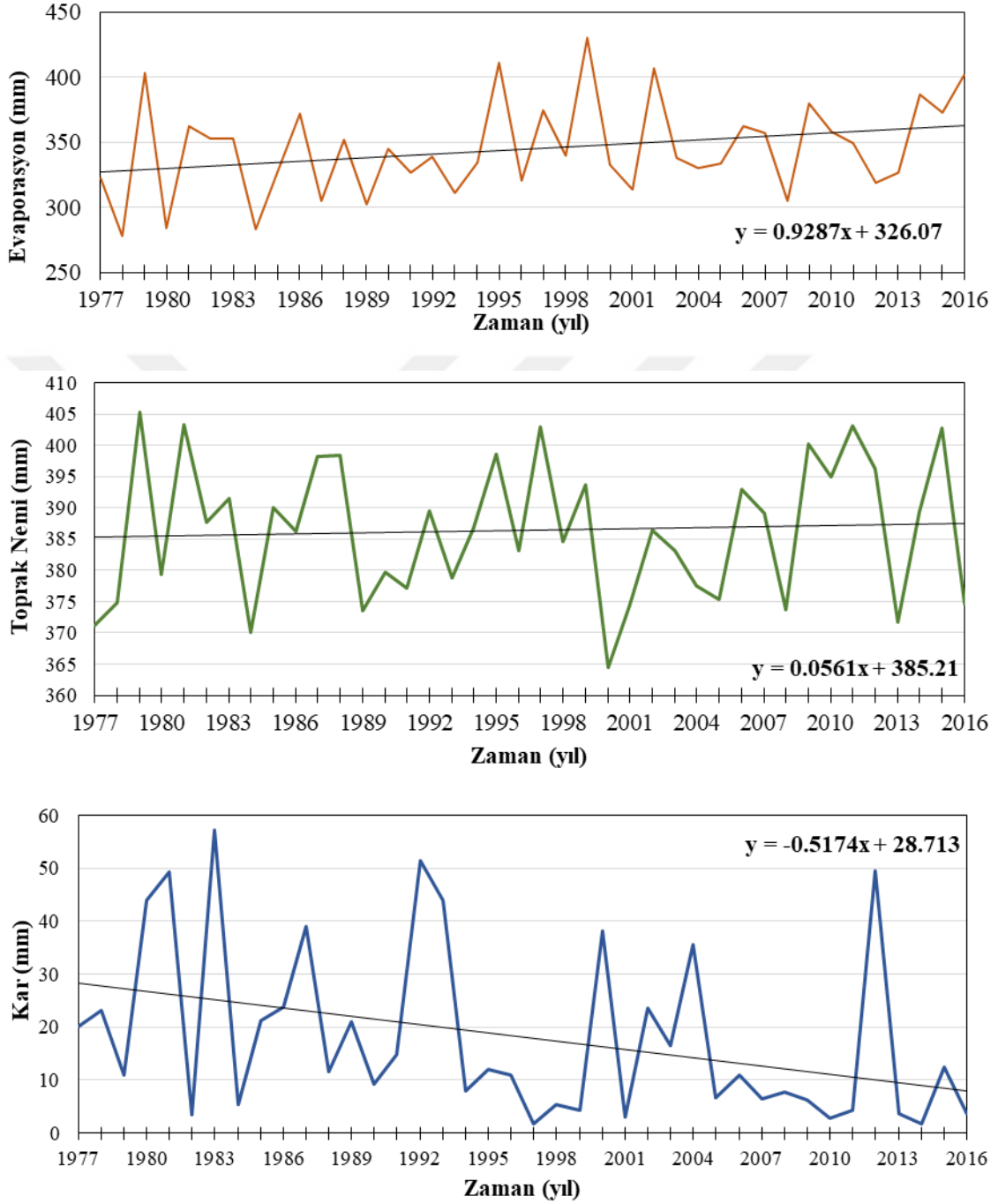
4.3. Su Bütçesi Analizi

GB90-R modeline ait akım sonuçlarının, çalışmanın 4.2 başlığı altında değerlendirilmesinin ardından bu bölümde modelden elde edilen diğer çıktılar değerlendirilmiştir.

Fiziksel tabanlı modellerin avantajlı yanlarından biri olan detaylı çıktı üretebilme kapasitesi GB90-R modeli için de geçerlidir. GB90-R modeli bu çalışmada, uygulandığı her üç havzaya ait evaporasyon (EVPP), toprak nemi (SWATT) ve kar (SNOW) çıktıları da üretmiştir. Ancak bu tez çalışmasında GB90-R modelinin sadece akım tahminindeki başarısı test edilmiş olup, diğer ürettiği çıktılardaki tahmin başarısı hakkında herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır. GB90-R model çıktılarından olan EVPP, SWATT ve SNOW parametrelerinin sadece yıllara göre değişimi ve birbirlerine göre göstermiş olduğu tepkileri değerlendirmek amacıyla; Çarşamba, Karasu ve Körkün havzaları için yıllık ortalama EVPP, SWATT ve SNOW zaman serileri sırasıyla Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de verilmiştir.

Şekil 4.12 incelendiğinde Çarşamba Çayı Havzası için EVPP yıllara göre ani değişimler gösterirken Karasu Çayı (Şekil 4.13) ve Körkün Çayı (Şekil 4.14) Havzaları için çok daha stabil bir davranış sergilemektedir. Çarşamba Çayı Havzası hem daha önce belirtildiği üzere Konya Kapalı Havzasında bulunmasına rağmen Toros Dağları’na yakınlığı sebebiyle hem de Körkün Havzası’na kıyasla birbirine yakın drenaj alanlarına sahip olmaları sebebiyle, Doğu Anadolu’da bulunan Karasu Çayı Havzasına benzer

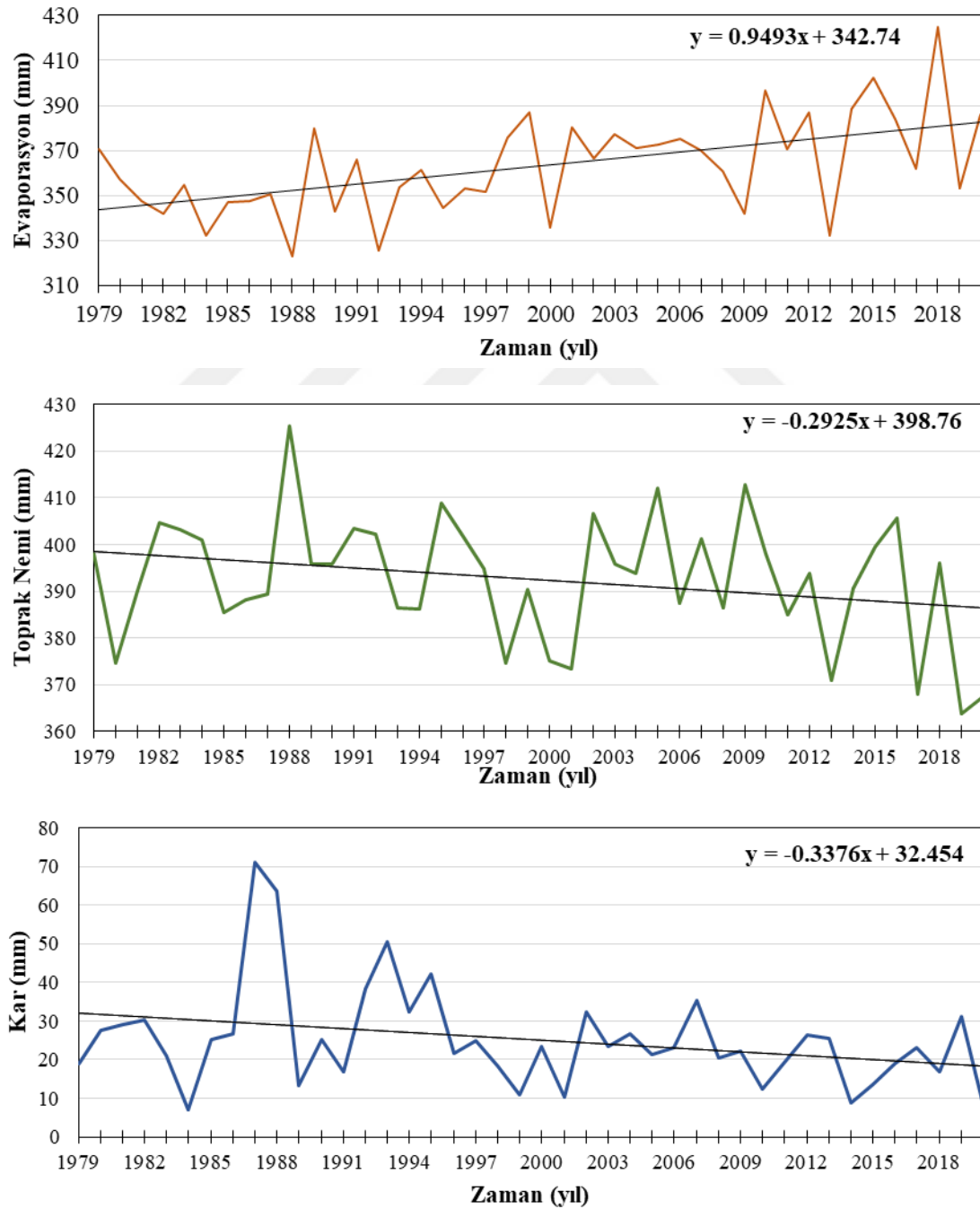
EVPP değerlerine ulaşılmış olması anlamlıdır. Öte yandan Körkün Çayı Havzası, beklenildiği üzere daha yüksek EVPP değerleri almıştır (Şekil 4.14). Bu noktada modelin fiziksel olarak mantıklı EVPP sonuçları verdiği söylenebilir.



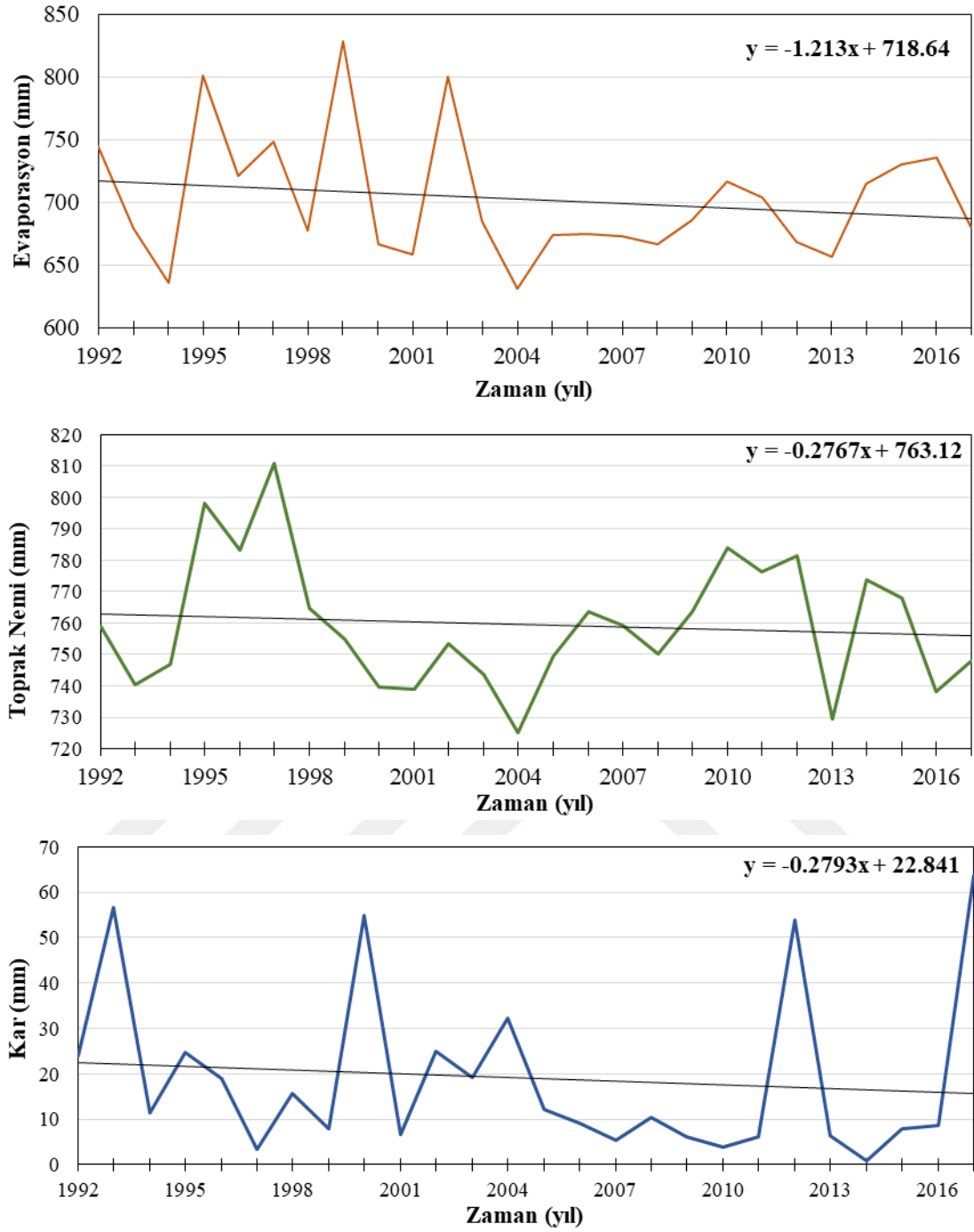
Şekil 4.12 Çarşamba Çayı için yıllık ortalama EVPP, SWATT ve SNOW zaman serileri

Çarşamba Çayı Havzası için Şekil 4.12’de verilen SWATT ve SNOW parametreleri incelendiğinde EVPP’de olduğu gibi ani ve seri değişimleri gözlemlemek mümkündür. Özellikle EVPP’nin zirve yaptığı 1999 yılının ardından SWATT sert düşüş göstermiştir. Karasu Çayı Havzası için de benzer bir yorum yapmak mümkündür (Şekil

4.13). Karasu Havzası için EVPP'nin minimum değere ulaştığı 1988-1989 yılları arasında SWATT değeri maksimuma ulaşmıştır. SNOW 1987-1988 yılları arasında zirve değerine ulaşırken 1989 yılında yeniden artmaya başlayan ve yerel pik yaşayan EVPP ile birlikte ani düşüş yaşamıştır. Körkün Çayı Havzasında genel olarak SNOW değerlerinin zirve yaptığı yıllar EVPP değerlerinin en aza indiği veya azalmaya başladığı yıllar olarak belirlenmiştir (Şekil 4.14). Ayrıca Körkün Çayı Havzasında EVPP azalan bir trend sergilerken, Çarşamba ve Karasu Çayı havzalarında bu parametrenin arttığı söylenebilir.

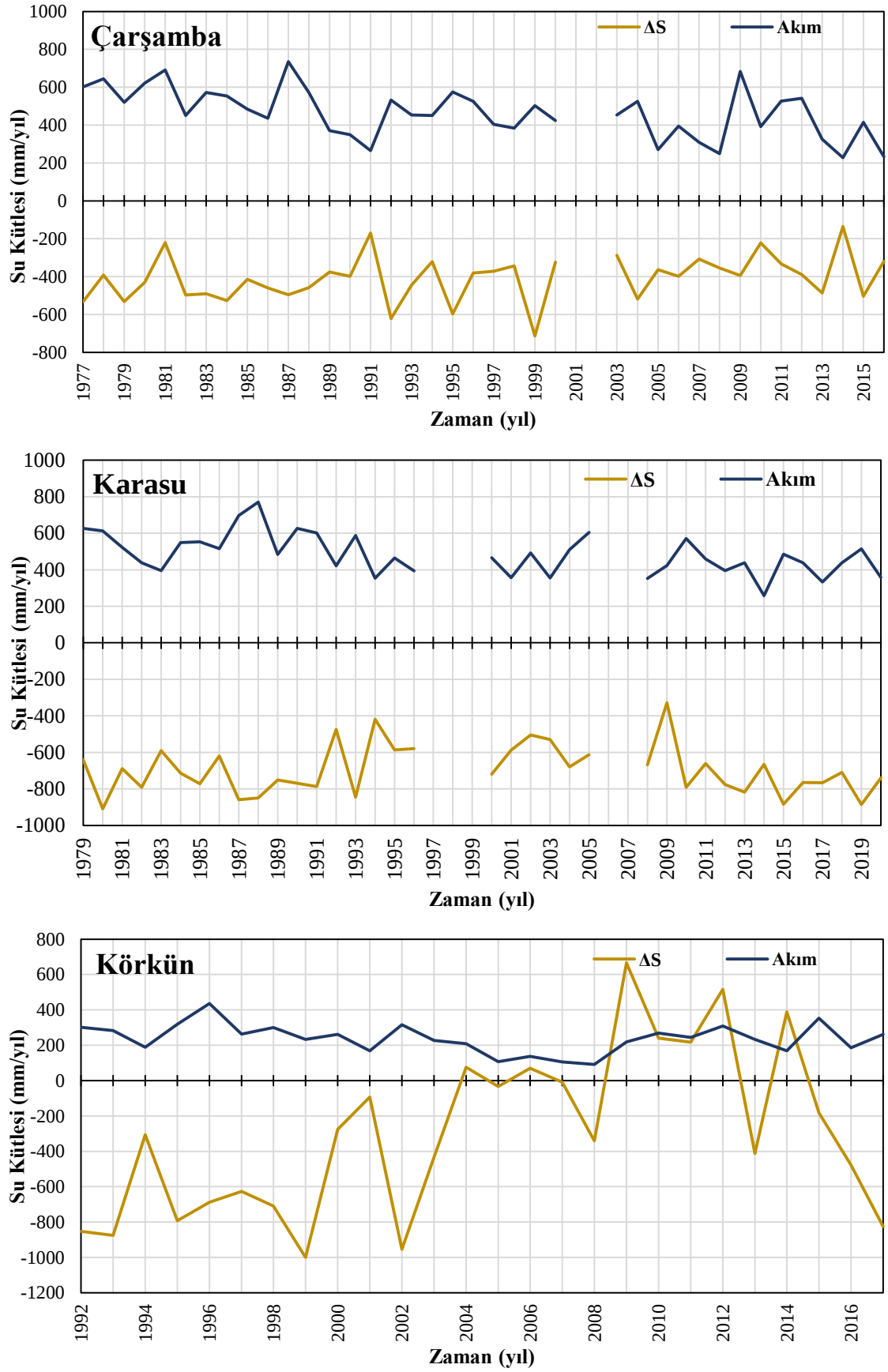


Şekil 4.13 Karasu Çayı için yıllık ortalama EVPP, SWATT ve SNOW zaman serileri



Şekil 4.14 Korkun Çayı için yıllık ortalama EVPP, SWATT ve SNOW zaman serileri

Modelden elde edilen EVAP ve gözlemlenen akım Denklem 3.11’de yerine yazılarak her havza için yıllık su bütçesi hesaplanmıştır. Su bütçesi sonuçları Şekil 4.15 ile verilmiştir.



Şekil 4.15 Çalışılan havzalar için yıl bazında su bütçesi zaman serileri

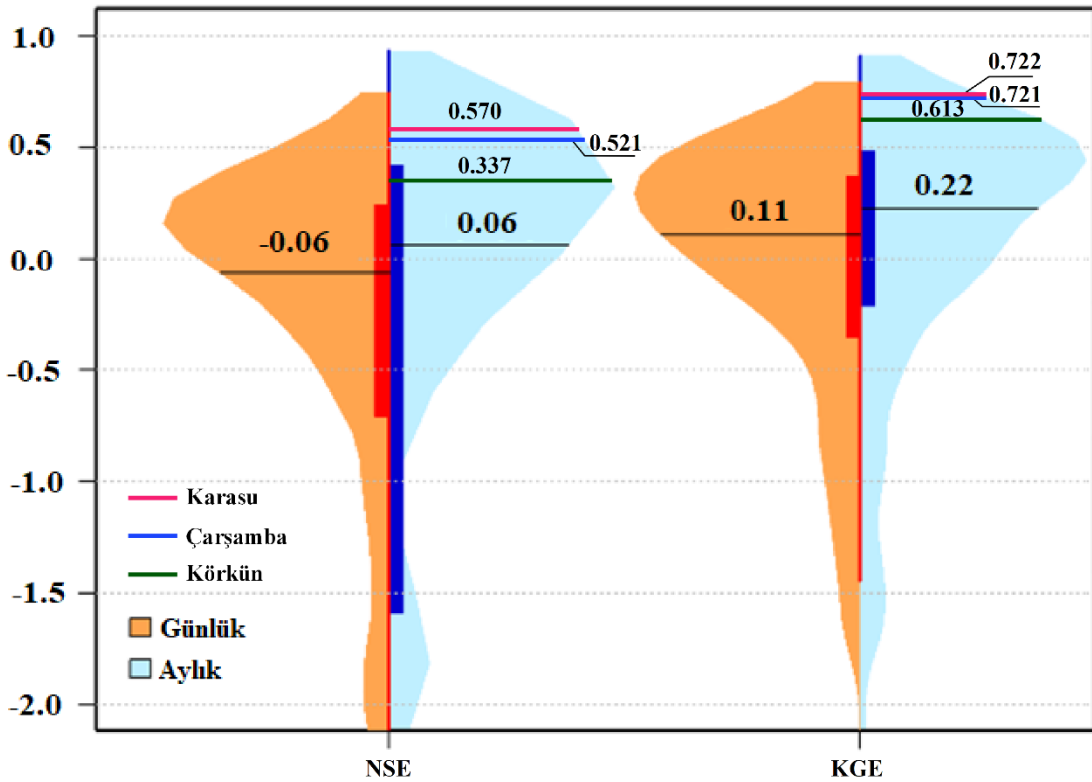
Su bütçesinin hesaplandığı periyotlar dikkate alındığında hidrolojik olarak en sulak yıllar Çarşamba Çayı, Karasu Çayı ve Körkün Çayı Havzaları için sırasıyla 1987, 1988 ve 1996 yıllarıdır. 1988 yılı Karasu Çayı Havzası için en sulak yıl olmasına rağmen havza rezervuarındaki su miktarının en fazla azalış gösterdiği yıllardan biridir. 1980, 2015, 2019 yıllarına bakıldığında aynı akım- ΔS ilişkisine rastlamak mümkündür. Bu bakımdan Karasu Çayı Havzası için rezervuardaki değişimi en çok etkileyen faktörün akışa geçen su miktarı olduğu söylenebilir. Çarşamba Çayı Havza rezervuarındaki değişim Şekil 4.15'e göre devamlı negatif olmuştur. 1981, 1991, 2010 ve 2014 yılları havza rezervuarındaki negatif değişimin en az olduğu yıllardır. Bu yıllardan olan 2010 yılı ΔS değerinin sebebi, yüksek yağış miktarı olarak söylenebilir. Ayrıca o yılın Aralık ayında bölgede meydana gelen yoğun kar ve yağmurdan dolayı bir taşkın yaşandığı da bilinmektedir (Buldur ve Sarı, 2012). 1981 yılında meydana gelen rezervuardaki düşük azalmaya, düşen yüksek yağış sebep olurken 1991 ve 2014 yılları için en önemli etkenin düşük akım olduğu söylenebilir. 1991 ve 2014 yılları için akım ortalamadan sırasıyla 43% ve 51% daha az meydana gelmiştir. Körkün Çayı havzası rezervuarındaki değişim 2004-2015 yılları arasında dikkate değer şekilde pozitif yönde artış göstermiştir. Bakıldığında 2004-2015 yılları arasında toplam akımda azalmanın olduğu görülüyor olsa da bu yıllardaki pozitif ΔS değerlerinin ana kaynağının yağış olduğu düşünülmektedir. Yağış bu dönemde, diğer dönemlerin ortalama bir buçuk katından daha fazla gerçekleşmiştir. Bu durum havzaya rezervuarında artış olarak yansımıştır. Dikkat edildiğinde Körkün Çayı havzası yağış ve ΔS zaman serilerinin oldukça benzer desenler yakaladığı görülecektir (Şekil 3.9). Buna göre havzanın rezervuarına en büyük etkenin yağış olduğu ifade edilebilir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada aylık ortalama akım tahmini yapmak amacıyla Türkiye’de bulunan farklı coğrafik ve iklim özelliklerine sahip 3 alt havza için fiziksel tabanlı GB90-R modeli kurulmuştur. Modelden elde edilen sonuçlar ile gözlem verileri her alt havza için karşılaştırılmış ve GB90-R modelinin akım tahminindeki başarısı performans metriklerine göre değerlendirilmiştir.

Bu bölümde ise öncelikle GB90-R modelinin bu çalışmada kullanılan havzalardaki başarısı, dünya genelindeki diğer havzalarda GB90-R modelinden elde edilen başarılar ile kıyaslanmıştır. Daha sonra ise bu çalışmada kullanılan üç havzada başka hidrolojik modellerle yapılmış literatürdeki diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile GB90-R modelinin performansı karşılaştırılmıştır.

Vorobevskii ve ark. (2021a) yaptıkları geniş kapsamlı çalışmada dünya genelinde 190 farklı havzada GB90-R modelini kurmuş ve çıktılarını değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre 190 havzanın NSE ve KGE performansı Şekil 5.1’de sunulmuştur.



Şekil 5.1 GB90-R modelinin 190 havza için performans özeti (Vorobevskii ve ark., 2021a)

Şekil 5.1'deki grafiklerin üzerinde belirtilen -0.06, 0.06, 0.11 ve 0.22 değerleri sırasıyla 190 havzada kurulan GB90-R modelinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen NSE ve KGE metriklerine göre günlük ve aylık medyan istatistiğini ifade etmektedir. Grafik üzerindeki diğer değerler ise bu tez çalışmasında kullanılan havzalara ait NSE ve KGE sonuçlarıdır. Şekil 5.1'den görüldüğü üzere her iki performans metriği için de 190 havzaya ait NSE ve KGE değerlerindeki yığılma, performansın yüksek olduğu yöndedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan her 3 havza için GB90-R modelinin performansı (Tablo 4.1) Şekil 5.1'de verilen 190 havzaya ait değerlerle kıyaslandığında, 3 havza için de elde edilen başarının hem NSE hem de KGE metriklerine göre medyan değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Dahası bu tez çalışmasındaki tüm havzalar KGE metriğine göre 0.5 değerini geçmiş ve verilen grafikteki 190 havzanın en çok yığılma yaptığı değerden daha yüksek başarıyı elde etmiştir. NSE metriğine göre de Karasu Çayı ve Çarşamba Çayı Havzalarında model performansı yığılmanın en çok olduğu değeri geçmeyi başarmış, Körkün Havzasında ise yığılmanın en fazla olduğu bölgenin hemen üzerinde kalmıştır.

Kullanılan 3 havzaya ait GB90-R model başarısı, söz konusu havzalarda çalışılmış, tespit edilebilen diğer model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Koycegiz ve Buyukyildiz (2019) çalışmalarında Çarşamba Çayı Havzasına SWAT hidrolojik modelini kurmuş ve kalibre etmiştir. Aynı havzada farklı bir fiziksel tabanlı modelin kurulmuş olması, GB90-R modelinin başarısı hakkında fikir vermesi açısından güzel bir fırsattır. Koycegiz ve Buyukyildiz (2019) tarafından SWAT modeli ile validasyon-kalibrasyon aşamalarında elde edilen performans başarılarını, bu çalışmada kullanılan GB90-R modelinin performansı ile karşılaştırmak amacıyla SWAT modelindeki validasyon ve kalibrasyon periyotları için GB90-R modeli performans metrikleri hesaplanmış ve sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Çarşamba Çayı Havzası için GB90-R ve SWAT modelleri performans değerleri

Model	Periyot	R ²	NSE	PBIAS (%)
GB90-R	1978-2016	0.654	0.521	+14.42
	2006-2011	0.680	0.606	+10.33
	2012-2015	0.754	0.483	-9.39
SWAT (Koycegiz ve Buyukyildiz, 2019)	Kalibrasyon (2006-2011)	0.787	0.779	-7.567
	Validasyon (2012-2015)	0.508	0.502	-8.163

GB90-R modeli SWAT validasyon periyodu için kıyaslandığında R² metriğine göre daha başarılı olurken NSE dikkate alındığında GB90-R modelinin başarısı SWAT modeline göre bir miktar düşüktür. SWAT modeli hem validasyon hem de kalibrasyon aşamalarında PBIAS metriğine göre daha başarılıdır. GB90-R kalibrasyon periyodunda havzada akımı eksik tahmin ederken SWAT modeli akımı fazla tahmin etmiştir. Ayrıca SWAT kalibrasyon periyodunda R² ve NSE metriklerine göre daha başarılı olmuştur. Fakat GB90-R modelinin kalibrasyon süreci geçirmediği unutulmamalıdır. Kalibre edilmemiş GB90-R modeli, aynı havza ve periyot için kalibre edilmiş SWAT modelinin başarısına önemli ölçüde yaklaşmıştır.

İrvem ve El-Sadek (2018) tarafından Seyhan Havzası'na kurulan SWAT modeli ile dört AGİ'nin aylık akışlarının simüle edildiği çalışmada ise 1820 nolu Körkün İstasyonunda 2001-2007 periyodunda SUFI-2, GLUE ve PARASOL metotları kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyon aşamasında R² ve NSE değerleri, her üç kalibrasyon metodu için sırasıyla 0.55-0.52, 0.51-0.46 ve 0.57-0.53 olarak elde edilmiştir. Körkün Çayı Havzası için elde edilen bu sonuçlar ile bu tez çalışmasında aynı havza için GB90-R modeli ile elde edilen akım tahmin başarılarının karşılaştırılması amacıyla, İrvem ve El-Sadek (2018) çalışmasındaki kalibrasyon periyodu olan 2001-2007 periyodu için GB90-R modeli ile elde edilen model sonuçları kullanılarak R² ve NSE hesaplanmış ve 2001-2007 periyodunda GB90-R modelinde R²=0.573, NSE=0.346 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre R² metriğine göre her iki modelde de benzer başarılarla ulaşılrken GB90-R modelinin NSE'ye göre daha düşük performans gösterdiği görülmektedir.

Yapılan modelleme çalışmalarında, modellerin R², NSE, KGE gibi istatistiksel metriklerle değerlendirilmesi "ne kadar yakın-uzak", "nerede başarılı-başarısız" gibi

soruların yanıtlarında yardımcı olurken “niçin” sorusuna yanıt vermekte yetersiz kalmaktadır (Vorobevskii ve ark., 2021a). Akım-zaman serilerinin çizilmesi, istatistiksel metriklerden elde edilmesi güç fiziksel yorumların yapılmasına olanak sağlamaktadır. Şekil 4.2-4.4 bu kapsamda incelendiğinde tüm havzalarda model yüksek akımları tahmin etmede düşük akımlardan daha başarılı olmuştur. Model genelde gerçekleşen zirve akımları tahmin etmeyi başarmış ve akım davranışını başarılı şekilde simüle etmiştir. Körkün Çayı Havzasında ilkbahar sonrası desende kaymalar görülürken havzaların genelinde özellikle sonbahar ve kış aylarında eksik akım tahmini gözlemlenmektedir. Bunun sebebi don olayları ve kar erimelerini olabilir. Körkün Çayı ve özellikle Çarşamba Çayı Havzalarında düşük akımlarda desenin Karasu Çayına kıyasla başarılı tahmini bu görüşü desteklemektedir (Tablo 3.1). Burada modelin kar parametrelerini yakalamakta zorlandığı söylenebilir. Ayrıca bu durumun olası nedenlerinden biri olarak model meteorolojik girdisi olarak kullanılan ERA5 verilerinin çözünürlüğü gösterilebilir (Vorobevskii ve ark., 2021a). GB90-R modeli ile aylık akımların tahmininde Körkün Çayı Havzasında diğer iki havzaya göre daha düşük tahmin başarısı elde edilmesinin diğer bir sebebinin ise havzada bulunan memba barajları ve rezervuarları ile, havzada yoğun olarak gerçekleştirilen tarımsal faaliyetlerde kullanılmak üzere Körkün Çayından alınan sulama suyu nedeniyle etkinin hesaba katılmadığı sapmaların ve düzenlemelerin olduğu düşünülmektedir

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Global BROOK90-R modeli fiziksel tabanlı toplu bir hidrolojik modeldir. Bu çalışma kapsamında, Çarşamba Çayı, Karasu Çayı ve Körkün Çayı drenaj sahalarına akım tahmini amacıyla Türkiye’de ilk defa GB90-R modeli kurulmuştur. Modele girdi olarak toprak haritaları, arazi kullanım/bitki örtüsü haritaları gibi fiziksel, yağış, sıcaklık, rüzgar hızı, solar radyasyon gibi meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bu veriler modelin avantaj olarak sunduğu üzere global servislerden uzaktan algılama ile temin edilmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen 3 havzada GB90-R modelinin akım tahminindeki başarısı R^2 , NSE, KGE, PBIAS metrikleri ile aylık ölçekte değerlendirilmiştir.

Kalibre edilmemiş GB90-R modelinin söz konusu havzalarda akım tahmininde başarılı olduğu söylenebilir (tüm havzalarda KGE>0.6). Model Karasu Çayı Havzasında en iyi sonuçları verirken Körkün Çayı Havzasında diğer iki havza kadar başarılı olamamıştır. Bu çalışmada en yüksek başarının diğer iki havzaya göre daha küçük drenaj alanına sahip olan Karasu alt havzasında elde edilmiş olması model başarısında havza drenaj sahası büyüklüğünün etkili olduğunu göstermektedir. GB90-R modeli Vorobevskii ve ark. (2020) tarafından belirtildiği üzere küçük ölçekli havzalarda daha yüksek başarı göstermektedir. Ayrıca Körkün havzasında yer alan kontrollü yapıların sayısı ve büyüklüğünün de bu havzada model başarısını negatif etkilediği düşünülebilir.

GB90-R modelinin bu tez çalışmasında Türkiye’deki 3 farklı havzada yakaladığı başarı, dünyanın farklı bölgelerindeki 190 havzada yapılan çalışmayla (Vorobevskii ve ark., 2021a) kıyaslandığında tatmin edici bir başarı elde edilmiştir. Ayrıca GB90-R modelinin başarısı, SWAT modeli kullanılarak Çarşamba Çayı üzerinde (Koycegiz ve Buyukyildiz, 2019) ve Körkün Çayı üzerinde (İrvem ve El-Sadek, 2018) yapılan hidrolojik modelleme çalışmaları ile kıyaslandığında da GB90-R modeli ile akım tahmininde tatmin edici başarılar elde edildiği belirlenmiştir.

Modelin detaylı hidrolojik çıktıları değerlendirilmiştir. Bu aşamada model her bir havza için evaporasyon, kar ve toprak nemi yorumu yapılmasına olanak sağlamıştır. Her üç havza için de azalan kar parametresine işaret etmiştir.

Bu tez çalışmasının tamamı değerlendirildiğinde şunlar ifade edilebilir;

- ❖ Model global çapta hidrolojik modelleme sürecini kolaylaştırmayı ve veri eksikliği olan bölgelerde yeni fırsatlar oluşturmayı hedeflemiştir. Bu doğrultuda Türkiye’de ilk kez 3 farklı havzaya bu model kurulmuştur.

- ❖ Model tatmin edici sonuçlar vermiştir. Bu değerlendirmenin kullanıcıdan olabildiğince az girdi talep eden kalibre edilmemiş fiziksel tabanlı global bir model için yapıldığı unutulmamalıdır.
- ❖ Ürettiği detaylı çıktılar havzalardaki hidrolojik sürecin anlaşılmasına katkıda bulunmakta ve detaylı su bütçesi analizlerini mümkün kılmaktadır. Kullanıcıdan az girdi talep eden fiziksel tabanlı bir model için yüksek değerlerde sonuçlar üretmektedir.

Ayrıca modeli kısıtlayan faktörler de şu şekilde belirtilebilir;

- Havza drenaj sahası alanı büyüdükçe, küçük havzalarda ($<100 \text{ km}^2$) elde ettiği başarıyı yakalayamamaktadır.
- Model, havzadaki çevresel etkileri yansıtmakta zorlanmaktadır. Kontrollü su yapılarının bulunduğu bölgelerde çalıştırıldığında modelin ürettiği sonuçları değerlendirmenin karmaşık bir hal alabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.
- Modelin çalışılan havza için hidrotopları hesaplaması dikkate değer bir zaman almaktadır. Bu durumun iyileştirilmesi ve modelin, havza parametrelerinin kullanıcı tarafından manuel olarak düzenlenmesine izin vermesi kalibrasyona olanak sağlayacaktır.

Ek olarak şu hususa da değinilmelidir; girdi verilerinin iyileştirilmesi ve temin etme hızının artırılması model başarısını ve literatürdeki yerini olumlu etkileyecektir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar için iyi sonuç potansiyeli olan araştırma konularının şunlar olabileceği düşünülmektedir;

- 1) Türkiye'nin yoğun yağış alan Karadeniz bölgesinde modelin kurulması ve değerlendirilmesi,
- 2) Model parametrelerinde hassasiyet çalışması,
- 3) Model girdilerinin manuel temini (Lokal ölçekte havzaya özgü girdilerin temini),
- 4) Havzada yer alan kontrollü yapıları modele tanıtabilecek metotların geliştirilmesi.

KAYNAKLAR

- Akkol, B., 2016, Improving runoff prediction by data assimilation in HBV hydrological model for upper Euphrates Basin, Master of Science Thesis, *Anadolu University, Eskişehir, Turkey*.
- Amazon, 2022, *Amazon Web Services* [online], https://aws.amazon.com/tr/?nc2=h_lg [Ziyaret Tarihi: Mayıs 2022]
- Armbruster, M., Seegert, J. and Feger, K. H., 2004, Effects of changes in tree species composition on water flow dynamics–Model applications and their limitations. *Plant and Soil*, 264(1), 13-24.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. and Williams, J. R., 1998, Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89.
- Askar, M.A.A., 2020, İklim değişikliğinin seyhan havzası su kaynakları üzerindeki etkilerinin swat modeli ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Adana, Turkey*.
- Bergström, S., 1992, The HBV model - its structure and applications, *Swedish Meteorological and Hydrological Institute*.
- Bristow, K. L. and Campbell, G. S., 1984, On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature, *Agricultural and Forest Meteorology*, 31(2), 159-166.
- Buchhorn, M., Smets, B., Bertels, L., Lesiv, M., Tsendbazar, N. E., Herold, M. and Fritz, S., 2019, Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 2: epoch 2015: Globe (V2.0.2) [Data set]. ESA Living Planet Symposium 2019 (LPS2019), Milan, Italy. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3243509> [Ziyaret Tarihi: Mayıs 2022]
- Buchhorn, M., Smets, B., Bertels, L., De Roo, B., Lesiv, M., Tsendbazar, N. E., et al., 2020, Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Version 3 Globe 2015-2019: Product User Manual. Geneve, İsviçre - Zenodo.
- Buldur, A. D. and Sarı, S., 2012, Çarşamba Çayı'nın 15 Aralık 2010 Tarihli Taşkını ve Bozkır'daki (Konya) Etkisi, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 81-107.
- Busari, I. O., Demirel, M. C. and Newton, A., 2021, Effect of Using Multi-Year Land Use Land Cover and Monthly LAI Inputs on the Calibration of a Distributed Hydrologic Model, *Water*, 13(11), 1538.
- Campbell, G. S., 1974, A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data, *Soil Science*, 117(6), 311-314.
- Candaş, A., 2017, Reconstruction of the Paleoclimate on Dedegol Mountain With Paleoglacial Records and Numerical Ice Flow Models, Master of Science Thesis *Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey*.
- Canfield, H.E. and Lopes, V. L., 2000, Simulating Soil Moisture Change in a Semiarid Rangeland Watershed With a Process-Based Water-Balance Model. In: *Proceedings of the Conference on Land Stewardship in the 21st Century: The Contributions of Watershed Management*, P. Ffolliott and

- Malchus B. Baker, Jr.(Editors). U.S. Forest Service Rocky Mountain Research Station,Ft. Collins, Colorado, RMRS P-13:316-320.
- Čerkasova, N., Ertürk, A., Zemlyls, P., Denisov, V. and Umgiesser, G., 2016, Curonian Lagoon drainage basin modelling and assessment of climate change impact. *Oceanologia*, 58(2), 90-102.
- Clapp, R. B. and Hornberger, G. M., 1978, Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resources Research*, 14(4), 601-604.
- Combalicer, E. A., Lee, S. H., Ahn, S., Kim, D. Y. and Im, S., 2008, Modeling water balance for the small-forested watershed in Korea. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 12(5), 339-348.
- Copernicus Climate Change Service., 2018, *ERA5: Fifth Generation of ECMWF Atmospheric. ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present* [online] <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form> [Ziyaret Tarihi: Mayıs 2022]
- Coşkun, C., 2016, Comparative analysis of various satellite products through hydrological modeling, Master of Science Thesis *Anadolu University, Eskişehir, Turkey*.
- Demirel, M. C., Venancio, A. and Kahya, E., 2009, Flow forecast by SWAT model and ANN in Pracana basin, Portugal, *Advances in Engineering Software*, 40(7), 467-473.
- Dönmez, C., 2012, İklim Değişikliğinin Etkisi Altında Seyhan Üst Havzası Ekosistem Bileşenlerinin Modellenmesi ve Etkileşim Düzeylerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye*.
- Droogers, P., Bastiaanssen, W. G., Beyazgül, M., Kayam, Y., Kite, G. W. and Murray-Rust, H., 2000, Distributed agro-hydrological modeling of an irrigation system in western Turkey, *Agricultural Water Management*, 43(2), 183-202.
- El-Sadek, A. and Irvem, A., 2014, Evaluating the impact of land use uncertainty on the simulated streamflow and sediment yield of the Seyhan River basin using the SWAT model, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(4), 515-530.
- Federer, C. A., 2002, *The BROOK90 Hydrologic Model For Evaporation, Soil Water, and StreamA* [online] <http://www.ecoshift.net/brook/brook90.htm> [Ziyaret Tarihi: Mayıs 2022]
- Federer, C. A., Vörösmarty, C. and Fekete, B., 1996, Intercomparison of methods for calculating potential evaporation in regional and global water balance models, *Water Resources Research*, 32(7), 2315-2321.
- Federer, C. A., Vörösmarty, C. and Fekete, B., 2003, Sensitivity of annual evaporation to soil and root properties in two models of contrasting complexity, *Journal of Hydrometeorology*, 4(6), 1276-1290.
- Gölpınar, M. S., 2017, Determination of surface flow with SWAT model: A case study in the Akarsu Irrigation District, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova University, Adana, Turkey*.
- Graham, L. P. and Bergström, S., 2001, Water balance modelling in the Baltic Sea drainage basin–analysis of meteorological and hydrological approaches, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 77(1), 45-60.

- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K. and Martinez, G. F., 2009, Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling, *Journal of Hydrology*, 377(1-2), 80-91.
- Gürkan, D., 2005, Seyhan havzasında iklim değişimlerinin yüzeysel su kaynaklarına olan etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. *Hacettepe Üniversitesi*, Ankara, Türkiye.
- Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G. B., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., ... and Kempen, B., 2017, SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning, *PLoS One*, 12(2), e0169748.
- IPCC Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects (eds Field, C. B. et al.) (Cambridge Univ. Press, 2014).
- IPCC, 2018, IPCC Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Org., Geneva, Switzerland, 32 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019, Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, *Report, Intergovernmental Panel on Climate Change, Switzerland*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, *Cambridge University Press*. In Press.
- İrvem, A. and El-sadek, A., 2019, Evaluation of Streamflow Simulation By SWAT Model for The Seyhan River Basin, *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 33 (2), 99-110.
- Jaiswal, R. K., Ali, S. and Bharti, B., 2020, Comparative evaluation of conceptual and physical rainfall-runoff models, *Applied Water Science*, 10(1), 1-14.
- Kremsa, J., Křeček, J. and Kubin, E., 2015, Comparing the impacts of mature spruce forests and grasslands on snow melt, water resource recharge, and run-off in the northern boreal environment, *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 50-56.
- Koch, J., Demirel, M. C. and Stisen, S., 2022, Climate Normalized Spatial Patterns of Evapotranspiration Enhance the Calibration of a Hydrological Model, *Remote Sensing*, 14(2), 315.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. and Rubel, F., 2006, World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorol. Zeitschr.*, 15, 259–263.
- Koycegiz, C. and Buyukyildiz, M., 2019, Calibration of SWAT and two data-driven models for a data-scarce mountainous headwater in semi-arid Konya Closed Basin, *Water*, 11(1), 147.

- Köyceğiz, C., 2018, SWAT ve yapay zekâ metotları ile akım tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya, Türkiye.
- Kronenberg, R. and Oehlschlägel, L. M., 2019, *GitHub*. [github.com/rkronen: https://github.com/rkronen/Brook90_R](https://github.com/rkronen/Brook90_R) [Ziyaret Tarihi: Mayıs 2022].
- Kronenberg, R., Oehlschlägel, L. M., Bernhofer, C. and Luong, T. T., 2019, Introducing an implementation of Brook90 in R, *Geophysical Research Abstracts (Vol 21)*.
- Kumar, R., Samaniego, L. and Attinger, S., 2010, The effects of spatial discretization and model parameterization on the prediction of extreme runoff characteristics, *Journal of Hydrology*, 392(1-2), 54-69.
- Leonarduzzi, E., Maxwell, R. M., Mirus, B. B. and Molnar, P., 2021, Numerical analysis of the effect of subgrid variability in a physically based hydrological model on runoff, soil moisture, and slope stability, *Water Resources Research*, 57(4), e2020WR027326.
- Li, C. and Fang, H., 2021, Assessment of climate change impacts on the streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT model, *Catena*, 201, 105199.
- Li, M., Di, Z. and Duan, Q., 2021, Effect of sensitivity analysis on parameter optimization: case study based on streamflow simulations using the SWAT model in China, *Journal of Hydrology*, 603, 126896.
- Lupakov, S.Y., Bugaets, A.N. and Shamov, V.V., 2021, Application of Different Structures of HBV Model to Studying Runoff Formation Processes: Case Study of Experimental Catchments, *Water Resources*, 48(4), 512-520.
- McHale, M. R., McDonnell, J. J., Mitchell, M. J. and Cirimo, C. P., 2002, A field-based study of soil water and groundwater nitrate release in an Adirondack forested watershed, *Water Resources Research*, 38(4), 2-1.
- Molina, O., Luong, T. T. and Bernhofer, C., 2019, Projected Changes in the Water Budget for Eastern Colombia Due to Climate Change, *Water*, 12(1), 65.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. L., 2007, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V., 1970, River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.
- Nooni, I. K., Tan, G., Hongming, Y., Saidou Chaibou, A. A., Habtemicheal, B. A., Gnitou, G. T. and Lim Kam Sian, K. T., 2022, Assessing the Performance of WRF Model in Simulating Heavy Precipitation Events over East Africa Using Satellite-Based Precipitation Product, *Remote Sensing*, 14(9), 1964.
- Ormancılık ve Su Şurası, 2013, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi: Taşkın ve Kuraklık Çalışma Grubu Raporu.
- Özkan, D., 2019, Yukarı Aras Havzası'nda otomatik kalibrasyon yöntemi ile çok kriterli hidrolojik modelleme ve tahmin çalışması, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*, Eskişehir, Türkiye.
- Panferov, O., Doering, C., Rauch, E., Sogachev, A. and Ahrends, B., 2009, Feedbacks of windthrow for Norway spruce and Scots pine stands under changing climate, *Environmental Research Letters*, 4(4), 045019.

- Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A., 2007, Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633-1644.
- Penman, H. L., 1948, Natural evaporation from open water, bare soil and grass, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.
- Saadi, M., Oudin, L. and Ribstein, P., 2021, Physically consistent conceptual rainfall–runoff model for urbanized catchments, *Journal of Hydrology*, 599, 126394.
- Schaetzl, R. J., Luehmann, M. D. and Rothstein, D., 2015, Pulses of podzolization: The relative importance of spring snowmelt, summer storms, and fall rains on Spodosol development, *Soil Science Society of America Journal*, 79 (1), 117-131.
- Schaffrath, D., Vetter, S. H. and Bernhofer, C., 2012, Spatial precipitation and evapotranspiration in the typical steppe of Inner Mongolia, China - A model based approach using MODIS data, *Journal of Arid Environments*, 88, 184-193.
- Shakarneh, M. O. A., Khan, A. J., Mahmood, Q., Khan, R., Shahzad, M. and Tahir, A. A., 2022, Modeling of rainfall–runoff events using HEC-HMS model in southern catchments of Jerusalem Desert-Palestine, *Arabian Journal of Geosciences*, 15(1), 1-19.
- Shuttleworth, W. J. and Wallace, J. S., 1985, Evaporation from sparse crops—An energy combination theory, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 111(469), 839-855.
- Şen, Ö. L., Unal, A., Bozkurt, D. and Kindap, T., 2011, Temporal changes in the Euphrates and Tigris discharges and teleconnections, *Environmental Research Letters*, 6(2), 024012.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü., 2016, *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarının Etkisi Projesi - Proje Nihai Raporu*.
- Tahir, B., 2012, Comparison of the water balance of two forest stands using the BROOK90 model, Master Thesis, *Lund University*, Sweden.
- Taylor, K. E., 2001, Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7), 7183-7192.
- URL1- <https://www.isric.org>
- Vilhar, U., 2016, Comparison of drought stress indices in beech forests: a modelling study, *iForest*, 9(4), 635-642.
- Vilhar, U., 2021, Water Regulation Ecosystem Services Following Gap Formation in Fir-Beech Forests in the Dinaric Karst, *Forests*, 12(2), 224.
- Vorobevskii, I., Kronenberg, R. and Bernhofer, C., 2020, Global BROOK90 R Package: An Automatic Framework to Simulate the Water Balance at Any Location, *Water*, 12(7), 2037.
- Vorobevskii, I., Kronenberg, R. and Bernhofer, C., 2021a, On the runoff validation of ‘Global BROOK90’ automatic modeling framework, *Hydrology Research*, 52(5), 1083-1099.

- Vorobevskii, I., Luong, T. T., Kronenberg, R., Grünwald, T. and Bernhofer, C., 2021b, Modelling evaporation with local, regional and global BROOK90 frameworks: importance of parameterization and forcing, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1-52.
- Vorobevskii, I., Kronenberg, R., & Bernhofer, C., 2021c, *Global_BROOK90*. github.com [online] https://github.com/hydrovorobey/Global_BROOK90 [Ziyaret Tarihi: Mayıs 2022].
- Wahren, A., Schwärzel, K., Feger, K. H., Münch, A. and Dittrich, I., 2007, Identification and model based assessment of the potential water retention caused by land-use changes, *Advances in Geoscience*, 11, 49-56.
- Wahren, F. T., Julich, S., Nunes, J. P., Gonzalez-Pelayo, O., Hawtree, D., Feger, K.-H., et al., 2015, Combining digital soil mapping and hydrological modeling in a data scarce watershed in north-central Portugal, *Geoderma*, 264, 350-362.
- Wellpott, A., Imbery, F., Schindler, D. and Mayer, H., 2005, Simulation of drought for a Scots pine forest (*Pinus sylvestris* L.) in the southern upper Rhine plain, *Meteorologische Zeitschrift*, 143-150.
- WMO, 1999, Early Warning Systems for Drought and Desertification: Role of National Meteorological and Hydrological Services. WMO No. 906, World Meteorological Organization, Switzerland