

Akarçay Havzası Hidrolojisinin SWAT Modeli ile Değerlendirilmesi

Zeliha SELEK¹ , Cihangir ARSLAN^{2*} 

¹ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

² Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği (Teknoloji Fakültesi) Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

Article Info

Research article
Received: 15/03/2025
Revision: 09/05/2025
Accepted: 26/05/2025

Keywords

Akarçay Basın
Hydrological Processes
SWAT Model
Sustainability of Water and
Soil Resources

Makale Bilgisi

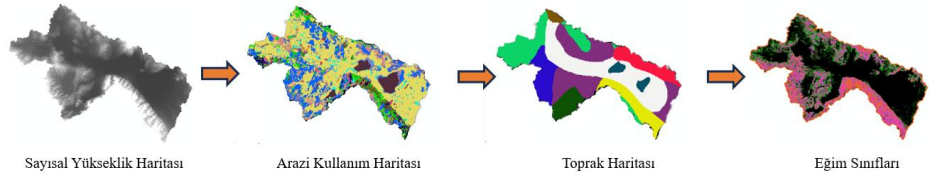
Araştırma makalesi
Başvuru: 15/03/2025
Düzeltilme: 09/05/2025
Kabul: 26/05/2025

Anahtar Kelimeler

Akarçay Havzası
Hidrolojik Süreçler
SWAT Modeli
Su ve Toprak
Kaynaklarının
Sürdürülebilirliği

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Çalışma kapsamında SWAT modeli ile Akarçay Havzası'nın hidrolojik süreçleri simüle edilmiş, su kaynakları üzerindeki etkiler değerlendirilmiştir. Kalibrasyon ve validasyon başarıyla tamamlanmış, kritik parametreler tespit edilmiştir. Sürdürülebilir su yönetimi için bilimsel temelli öneriler geliştirilmiştir. / Within the scope of the study, hydrological processes of Akarçay Basin were simulated with SWAT model and impacts on water resources were evaluated. Calibration and validation were successfully completed and critical parameters were identified. Scientifically based recommendations have been developed for sustainable water management.



Şekil A: Akarçay Havzası SWAT Model Aşamaları / **Figure A:** Akarçay Basin SWAT Model Stages

Önemli noktalar (Highlights)

- SWAT modeli, Akarçay Havzası'nda yüksek doğrulukla akım simülasyonu gerçekleştirmiştir. / The SWAT model has simulated flow in the Akarçay Basin with high accuracy.
- Toprak profili ve yeraltı suyu parametreleri hidrolojik süreçlerde en hassas faktörler olarak belirlenmiştir. / Soil profile and groundwater parameters were identified as the most sensitive factors in hydrological processes.
- Kalibrasyon (NSE: 0.71) ve validasyon (NSE: 0.65) sonuçları modelin başarılı olduğunu göstermiştir. / Calibration (NSE: 0.71) and validation (NSE: 0.65) results showed that the model was successful.

Amaç (Aim): Bu çalışma, Akarçay Havzası'nda SWAT modelini kullanarak çeşitli yönetim senaryolarının etkilerini değerlendirmeyi ve havzanın hidrolojik süreçlerini incelemeyi amaçlamaktadır. / This study aims to evaluate the impacts of various management scenarios using SWAT model in Akarçay Basin and to examine the hydrological processes of the basin.

Özgünlük (Originality): Çalışma, Akarçay Havzası özelinde yüksek çözünürlüklü mekânsal ve meteorolojik verilerle yapılan detaylı kalibrasyon ve hassasiyet analizi ile bölgeye özgü öneriler sunmaktadır. / The study provides region-specific recommendations for the Akarçay Basin through detailed calibration and sensitivity analysis with high-resolution spatial and meteorological data.

Bulgular (Results): Modelin kalibrasyon döneminde NSE değeri 0.71, validasyon döneminde 0.65 olarak elde edilmiştir. En hassas parametreler arasında CN2, ESCO, SOL_AWC, SOL_Z ve REVAPMN yer almıştır. Tarımsal uygulamaların yüzey akışı ve su kalitesi üzerinde belirgin etkileri gözlemlenmiştir. / The NSE value of the model was 0.71 in the calibration period and 0.65 in the validation period. The most sensitive parameters were CN2, ESCO, SOL_AWC, SOL_Z and REVAPMN. Significant impacts of agricultural practices on runoff and water quality were observed.

Sonuç (Conclusion): SWAT modeli Akarçay Havzası'nda başarılı bir şekilde uygulanmış, modelleme sonuçları sürdürülebilir su yönetimi için güvenilir bir temel oluşturmuştur. Bölgesel düzeyde modern sulama, arazi kullanımı planlaması ve iklim senaryolarına dayalı yönetim stratejileri önerilmektedir. / The SWAT model has been successfully applied in the Akarçay Basin and the modeling results have provided a reliable basis for sustainable water management. Modern irrigation, land use planning and management strategies based on climate scenarios are proposed at the regional level.



Akarçay Havzası Hidrolojisinin SWAT Modeli ile Değerlendirilmesi

Zeliha SELEK ¹ , Cihangir ARSLAN ^{2*}

¹ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

² Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği (Teknoloji Fakültesi) Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 15/03/2025
Düzeltilme: 09/05/2025
Kabul: 26/05/2025

Anahtar Kelimeler

Akarçay Havzası
Hidrolojik Süreçler
SWAT Modeli
Su ve Toprak
Kaynaklarının
Sürdürülebilirliği

Öz

Bu araştırma, Akarçay Havzası'ndaki su ve toprak kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde korunması ve yönetilmesi için SWAT (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı) modelinin kullanımını ve bölgeye özgü su ve toprak kaynaklarının değerlendirilmesini tartışmaktadır. Akarçay Havzası, geniş tarım arazileri ve su kaynaklarının önemi nedeniyle Türkiye'nin stratejik öneme sahip havzalarından biridir. Ancak bölgedeki su ve toprak kaynaklarının sürdürülebilirliği; artan tarımsal faaliyetler, nüfus alanlarının büyümesi ve iklim değişikliği nedeniyle tehdit altındadır.

Çalışma kapsamında havzanın hidrolojik özelliklerini ve toprak-su dinamiklerinin modele tanımlanması amacıyla meteorolojik veriler, arazi kullanım haritaları, toprak yapısı ve hidrolojik parametreler ilgili kurum ve kuruluşlardan veriler temin edilerek hidrolojik süreçlerin simüle edildiği SWAT modeli oluşturulmuş ve söz konusu model ile su kaynakları yönetiminin etkileri incelenmiştir. Kalibrasyon ve doğrulama prosedürleri için SWAT-CUP yazılımı kullanılmış ve modelin doğruluğunu artırmak için performans metrikleri (NSE, RSR, vb.) değerlendirilmiştir.

Bulgular, havzanın tarımsal uygulamaların su kalitesini nasıl etkilediğini ve arazi kullanımındaki potansiyel değişikliklerin hidrolojik süreçleri nasıl etkileyebileceğini göstermiştir. Akarçay Havzası hassasiyet analizi sonucunda en duyarlı unsurların toprak profili parametreleri (SOL_Z, SOL_AWC), yeraltı suyu katsayısı (REWAPMN), toprak buharlaşma dengeleme faktörü (ESCO) ve yüzey suyu akış miktarını etkileyen eğri katsayısı (CN2) olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın ortaya koyduğu öneriler, ulusal ve bölgesel su yönetimi düzenlemelerinin oluşturulmasına yardımcı olacaktır. Sonuçlar, Akarçay Havzası'ndaki konut, ticari ve tarımsal faaliyetlerin daha sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için bilimsel bir temel sunmaktadır.

Evaluation of Akarçay Basin Hydrology with SWAT Model

Article Info

Research article
Received: 15/03/2025
Revision: 09/05/2025
Accepted: 26/05/2025

Keywords

Akarçay Basin
Hydrological Processes
SWAT Model
Sustainability of Water
and Soil Resources

Abstract

This research discusses the use of SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model for sustainable conservation and management of water and soil resources in Akarçay Basin and the assessment of water and soil resources specific to the region. Akarçay Basin is one of the strategically important basins of Turkey due to its large agricultural lands and the importance of water resources. However, the sustainability of water and soil resources in the region is under threat due to increasing agricultural activities, population growth and climate change.

Within the scope of the study, meteorological data, land use maps, soil structure and hydrological parameters were obtained from relevant institutions and organizations in order to define the hydrological characteristics of the basin and soil-water dynamics to the model, and a SWAT model was created to simulate hydrological processes and the effects of water resources management were examined with the model. SWAT-CUP software was used for calibration and validation procedures and performance metrics (NSE, RSR, etc.) were evaluated to improve the accuracy of the model.

The findings showed how the basin's agricultural practices affect water quality and how potential changes in land use can affect hydrological processes. As a result of the sensitivity analysis of Akarçay Basin, it was determined that the most sensitive elements are soil profile parameters (SOL_Z, SOL_AWC), groundwater coefficient (REWAPMN), soil evaporation compensation factor (ESCO) and curve coefficient affecting the amount of surface water runoff (CN2). The recommendations of this study will help to establish national and regional water management regulations. The results provide a scientific basis for more sustainable management of residential, commercial and agricultural activities in the Akarçay Basin.

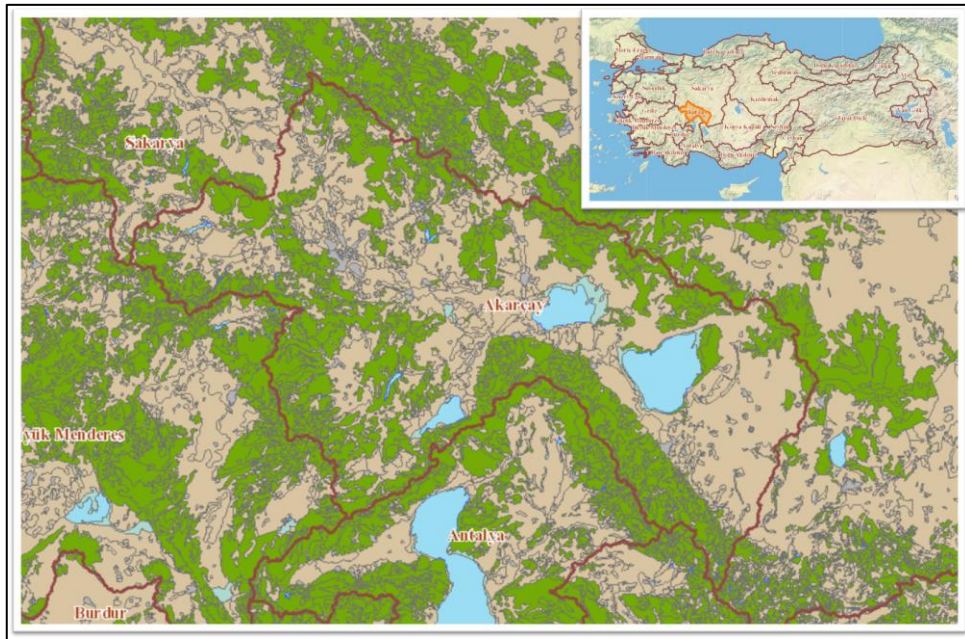
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hem insan faaliyetlerinin devamı hem de doğal yaşamın sürdürülebilirliği toprak ve su kaynaklarına bağlıdır. Ancak dünya nüfusunundaki artış, hızlı kentleşme, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi nedenlerle bu kaynakların korunması ve sürdürülebilir yönetimi konusunda önemli kısıtlamalar bulunmaktadır. Türkiye, bol miktarda doğal kaynağa sahip olmasına rağmen kişi başına kullanılabilir su potansiyeline bakıldığında su baskısı yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Sürdürülebilir kaynak yönetimi, özellikle tarımsal faaliyetlerin yüksek olduğu ve su kaynaklarının kıt olduğu bölgelerde hayati önem taşımaktadır. Akarçay Havzası hem tarımsal üretim hem de yerleşim için hayati bir su kaynağı olduğundan, sürdürülebilir su kaynaklarının yönetimi açısından özellikle önemlidir.

İleri modelleme teknikleri ve bilimsel temelli yaklaşımlar, su kaynaklarının yönetiminde karar verme sürecine yardımcı olan önemli araçlardır. Hidrolojik modeller, havza ölçeğinde yüzey akışı, yeraltı suyu hareketi, tortu taşınımı ve besin döngüsü gibi önemli süreçleri modelleyerek su ve toprak kaynaklarını daha iyi anlamamıza yardımcı olur [1]. Bu modeller yönetim planları oluşturmak ve arazi kullanımı değişiklikleri, iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin su havzaları üzerindeki etkilerini tahmin etmek için yararlı bir araç sunmaktadır [2]. Karar vericiler, çeşitli yönetim senaryolarının etkilerini simüle etmek için hidrolojik modelleri kullanarak daha iyi planlama kararları alabilirler [3].

Fiziksel tabanlı SWAT (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı) modeli, havza düzeyinde insan etkilerini ve hidrolojik süreçleri değerlendirmek için dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır. SWAT modeli Arnold ve arkadaşları (1998) tarafından uzun vadeli planlama ve sürdürülebilir su kaynakları yönetimi düşünülmek üzere oluşturulmuştur. Meteorolojik veriler, toprak özellikleri, arazi kullanımı ve bitki örtüsü gibi girdileri kullanan model, su akışı, tortu taşınımı ve besin maddesi transferi gibi hidrolojik süreçleri doğru bir şekilde simüle etmektedir. [1]. SWAT'ın uyarlanabilirliği, çeşitli arazi kullanım senaryolarının, yönetim yaklaşımlarının ve iklim değişikliği tahminlerinin su havzasını nasıl etkilediğini araştırma şansı sunmaktadır. [4]. Ayrıca, SWAT modeli hem yüzey hem de yeraltı suyu süreçlerini simüle edebildiğinden, geniş havzalarda karar desteği için yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır [3].

Bu çalışma, Akarçay Havzası'nda SWAT modelini kullanarak çeşitli yönetim senaryolarının etkilerini değerlendirmeyi ve havzanın hidrolojik süreçlerini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, havzanın toprak ve su kaynaklarının mevcut durumunu ortaya koymakta ve değişen arazi kullanımı, toprak yapısı gibi senaryoların etkilerini analiz etmektedir. Çalışma bulgularının tarım, su yönetimi ve ekosistemin korunmasına yönelik politikaların oluşturulmasına yardımcı olmasının yanı sıra, havzanın sürdürülebilir yönetimi için bilimsel bir temel oluşturması amaçlanmaktadır.



Şekil 1. Akarçay Havzası çalışma alanı (Akarçay Basin study area) [6]

2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Akarçay Havzası ekolojik önemi, su kaynaklarının çeşitliliği ve tarımsal faaliyet düzeyi ile tanınmaktadır. Havzanın büyük bölümü Afyonkarahisar ili sınırları içinde yer alırken, küçük bir bölümü de Konya ve Eskişehir illerine uzanmaktadır. Akşehir ve Eber Gölleri, toplam yüzölçümü yaklaşık 7.979 km² olan havzanın birincil su toplama bölgesini oluşturmaktadır. Bölgenin ekolojik ve ekonomik dengesi bu göllere bağlıdır. Havza geniş düzlükler, alçak platolar ve yüksek dağlardan oluşmaktadır. Bataklıklar, ormanlar ve tarım bölgeleri de dahil olmak üzere çeşitli coğrafi türleri kapsar ve 1000m (Sincanlı Ovası) ile 2500 m (Sultan Dağları) arasında değişen yüksekliklere sahiptir. Birkaç küçük dere ve çay yardımıyla havzanın ana nehri olan Akarçay Nehri su ulaşım ağını oluşturmaktadır [5].

Havzanın yıllık ortalama sıcaklığı 11-13°C ve yıllık yağış miktarı 400-600 mm'dir ve bunların tümü İç Anadolu Bölgesi'nin tipik karasal ikliminin bir göstergesidir. Tipik olarak, ilkbahar ve Ekim ayları en fazla yağışın görüldüğü aylardır. Havzanın su rejimi ve hidrolojik döngüsü bu iklim koşulları tarafından belirlenmektedir. Yeraltı suyu kaynakları tarımsal sulama için çok önemli olsa da, aşırı kullanım su seviyelerinin düşmesine neden olmaktadır. Akşehir ve Eber Gölleri gibi sulak alanlara sahip olan Akarçay Havzası, su kuşları da dahil olmak üzere çok sayıda bitki ve hayvan türüne ev sahipliği yapmaktadır [5].

Ancak bölgenin biyolojik dengesi, kirlilik ve göllerin azalan su seviyeleri nedeniyle tehlike altındadır. Havza, tarım ve hayvancılık faaliyetleri nedeniyle yerel halk için de önemli bir gelir kaynağıdır. Tahıllar, şeker pancarı ve yem bitkileri başlıca ürünlerdir. Balıkçılık da birçok yerel halk için bir gelir kaynağıdır [5].

Havza, toprak erozyonu, yeraltı su seviyesinin düşmesi, su kirliliği ve tarımdan kaynaklanan kimyasal kirlenme gibi çevresel sorunlarla boğuşmaktadır. Uygunsuz arazi kullanımı toprak kaybına ve ekosistemin zarar görmesine neden olurken, yoğun sulama faaliyetleri yeraltı su kaynaklarının tükenmesi tehlikesini artırmaktadır. Bu sorunlar nedeniyle havza kaynak yönetimi sürdürülebilir olmalıdır. Bu özellikler, SWAT modelini uygulamak ve Akarçay Havzası'nın mevcut durumunu anlamak için gereken temel

bilgileri oluşturmaktadır. Sürdürülebilir su ve arazi yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi, havzanın hidrolojik ve çevresel dinamiklerinin anlaşılmasını gerektirmektedir [5].

2.2. SWAT Hidrolojik Modeli (SWAT Hydrological Model)

SWAT (Soil and Water Assessment Tool), büyük ve karmaşık havzaların uzun dönemli hidrolojik süreçlerini simüle etmek amacıyla geliştirilmiş, fizik tabanlı ve yarı dağıtılmış bir modeldir. ABD Tarım Bakanlığı'na bağlı Tarımsal Araştırma Servisi (USDA-ARS) tarafından geliştirilmiştir [1]. Model, toprak, arazi kullanımı, topografya, iklim ve yönetim uygulamalarını dikkate alarak su akışı, sediment taşınımı, besin maddeleri ve pestisitlerin taşınımı gibi süreçleri simüle etmektedir.

Modelin en belirgin avantajlarından biri, büyük ölçekli havzaların uzun süreli hidrolojik simülasyonlarının yapılabilmesidir. SWAT, onlarca yıl sürebilecek süreçleri, yıllık, aylık veya günlük zaman adımlarıyla modelleyebilir. Bu özellik, özellikle iklim değişikliği, arazi kullanım senaryoları ve su yönetimi politikalarının uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesinde modelin güçlü bir araç haline gelmesini sağlamaktadır [1,2].

Bir diğer önemli avantajı, çok sayıda fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreci aynı anda modelleyebilmesidir. SWAT, sadece yüzey akışı değil; aynı zamanda yeraltı suyu akışı, sediment taşınımı, azot ve fosfor gibi besin maddelerinin döngüsü, pestisitlerin taşınımı gibi süreçleri de entegre şekilde ele alabilmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, havza ekosisteminin farklı bileşenleri arasındaki ilişkilerin daha doğru bir şekilde temsil edilmesine olanak tanımaktadır [2].

SWAT modelinin en önemli sınırlılıklarından biri, giriş verilerine olan yüksek bağımlılığıdır. Modelin doğru ve güvenilir sonuçlar verebilmesi, büyük ölçüde sağlanan meteorolojik, hidrolojik, topografik, arazi kullanımı ve toprak özellikleri verilerinin kalitesine ve çözünürlüğüne bağlıdır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde ve veri sıkıntısı yaşanan bölgelerde, bu tür verilerin yetersizliği modelin çıktılarında ciddi belirsizliklere neden olabilmektedir. Düşük çözünürlüklü DEM (sayısal yükseklik modeli) verileri, yanlış akarsu yönlendirmelerine ve eğim hesaplamalarına yol açarken; eksik yağış ve sıcaklık verileri, su bütçesi hesaplarında önemli sapmalara neden olabilir [2].

Ayrıca SWAT modelinin çok sayıda parametreye dayalı olması, kalibrasyon ve validasyon süreçlerini karmaşık hale getirmektedir. Modelin her bileşeni

(hidroloji, sediment, besin maddeleri vb.) kendi içinde parametre setlerine sahiptir. Bu durum, parametreler arası etkileşimlerin karmaşıktığı ve kümülatif hata riskinin arttığı anlamına gelir. Uygun kalibrasyon yapılmadığında, modelin sonuçları güvenilirliğini kaybedebilir. Bu sebeple kalibrasyon çok fazla önem arz etmektedir [2].

Gassman ve arkadaşları (2007), SWAT ile yapılmış 300'den fazla uygulamayı analiz etmiş, modelin özellikle su bütçesi, sediment ve besin yüklerinin simülasyonunda etkin olduğunu belirtmiştir. Ancak veri yetersizliğinde modelin performansının zayıfladığı da vurgulanmıştır [2]. Korkmaz (2014) tarafından yapılan çalışmada Gediz Havzası için SWAT uygulanmış ve model, aylık akım simülasyonlarında $NSE > 0.6$ ile orta-yüksek doğrulukta sonuçlar vermiştir [7]. Özcan ve arkadaşları (2011), Seyhan Havzası'nda SWAT modelini kullanarak farklı arazi kullanım senaryolarının (ormanlaştırma, tarım alanı artışı vb.) yüzey akışı ve sediment taşınımı üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Tarım alanlarının artması ile birlikte sediment yüklerinin yükseldiği, ormanlaştırmanın ise su kalitesi ve miktarı üzerinde olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir [8].

Fiziksel tabanlı bir hidrolojik model olan SWAT modeli havza üzerinde etkili olan temel parametreleri uzun vadeli dönemde simüle etmektedir. Aşağıdakiler yer alan maddeler modelin birincil girdileridir:

- Meteorolojik Veriler: Yağış, sıcaklık, rüzgar hızı, güneş ışığı ve bağıl nem verileri,
- Toprak Haritaları: Bölgenin toprak türleri ve özelliklerinin haritaları,
- Arazi Kullanım Haritaları: Ormanlar, tarımsal alanlar, yerleşim alanları ve diğer arazi türleri,
- Hidrolojik Veriler: Su kalitesi ölçümleri ve akış verileri [9].

SWAT modelinin su bütçesini belirlemek için kullanılan su hareketlerini temsil eden denklem aşağıda verilmiştir [10]:

$$SWt = SWo + \sum_{i=1}^t (Rday - Qsurf - Ea - Wseep - Qgw) \quad (1)$$

SWt : t zamanında topraktaki su (mm)

SWo : toprağın başlangıç su içeriği (mm)

$Rday$: günlük yağış miktarı (mm)

$Qsurf$: yüzey akışı (mm)

Ea : buharlaşma miktarı (mm)

$Wseep$: toprak derinliklerine sızma (mm)

Qgw : yeraltı akışı (mm)

Modelin yüzey akışını belirlemek için aşağıdaki formül kullanılmaktadır [10]:

$$Qsurf = \frac{(Rday - Ia)^2}{(Rday - Ia + S)} \quad (2)$$

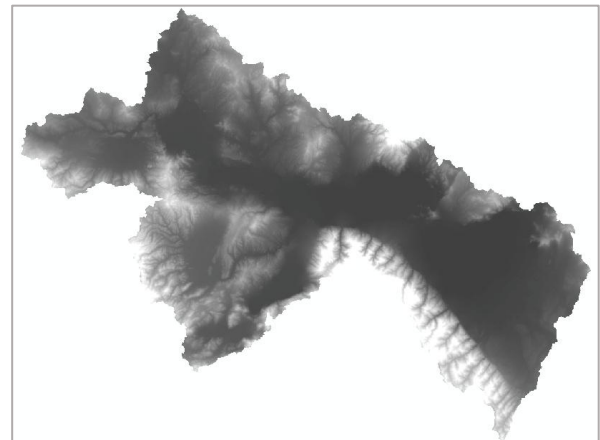
Ia : ilk tutulma (mm)

S : mümkün olan maksimum depolama (mm)

2.3. SWAT Verilerinin Toplanması ve Değerlendirilmesi (Collection and Evaluation of SWAT Data)

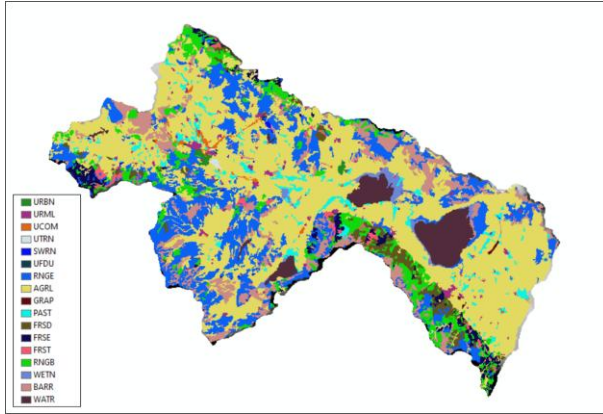
SWAT modeli, havzanın fiziksel parametrelerine dayalı olarak alt birimlere ayrılan Hidrolojik İşlem Birimlerinin (HRU'lar) kullanımı yoluyla hidrolojik süreçlerin kapsamlı bir şekilde modellenmesini sağlamaktadır [3]. Toprak ve arazi kullanım haritaları gibi temel girdiler HRU'ların geliştirilmesi için çok önemlidir. Hassas hidrolojik süreç modellemesi için gereken temel özellikler bu haritalar tarafından sağlanmaktadır.

30°- 32° doğu boylamları ile 38°- 39° kuzey enlemleri arasında yer alan Akarçay Havzası Havzasının sayısal yükseklik modeli (DEM) açık kaynak olan USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) web sitesinden elde edilmiştir [11]. USGS'nin sunduğu DEM verileri genellikle SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (25m çözünürlük), ASTER GDEM (27 m çözünürlük), ALOS – PALSAR (12,5 m çözünürlük) ve COVARAGEMAP (83 m çözünürlük) gibi kaynaklardan elde edilmektedir. Çalışma kapsamında çeşitli veri kaynakları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Akarçay havzası SWAT modelinin oluşturulmasında 25 m çözünürlüklü SRTM datasının kullanılması kararlaştırılmıştır. Akarçay Havzası sayısal yükseklik haritası Şekil (2)'de gösterilmektedir.



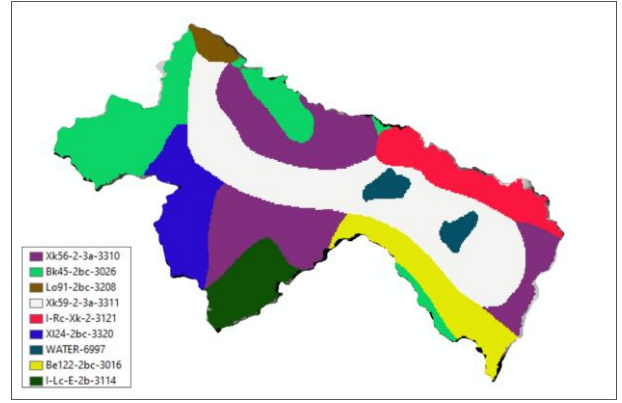
Şekil 2. Akarçay Havzası sayısal yükseklik haritası (Digital elevation map of Akarçay Basin)

Bir havza içindeki çeşitli arazi kullanım kategorileri (yerleşim alanları, ormanlık alanlar, tarım arazileri ve su yüzeyleri gibi) arazi kullanım haritalarında gösterilmektedir. Bu haritalar, insan faaliyetlerinin hidrolojik sistemleri nasıl etkilediğini incelemeyi mümkün kılmaktadır. Arazi kullanımının türü erozyon, buharlaşma ve yüzey akışı gibi süreçler üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Örneğin, gelişmiş bölgelerde yüzey akışı yükselerek sel tehlikesini artırırken, ormanlık bölgeler suyun toprağa sızmasına izin vermektedir [2]. Bu çalışmada söz konusu arazi kullanım haritası CORINE (Coordination of Information on the Environment) verilerinden temin edilmiştir. CORINE, Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırmasına göre uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar destekli görsel yorumlama metodu ile üretilen arazi örtüsü/kullanımını verisidir [12,13]. Akarçay Havzası arazi kullanım haritası Şekil (3)'de gösterilmektedir.



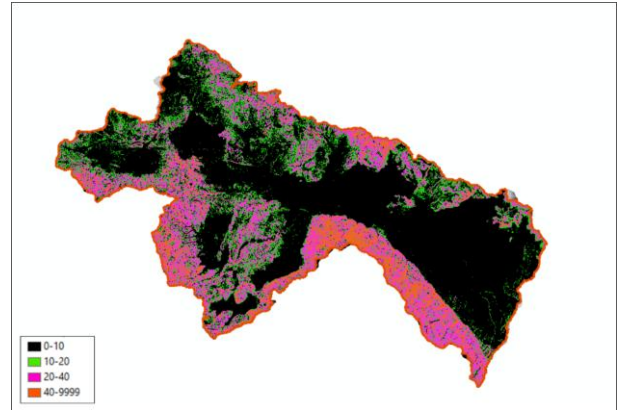
Şekil 3. Akarçay Havzası arazi kullanım haritası (Land use map of Akarçay Basin)

Havzaların toprak çeşitliliği ve özellikleri toprak haritalama yoluyla tespit edilmektedir. SWAT modelinde su geçirgenliği, su tutma kapasitesi ve erozyona yatkınlık gibi toprakların fiziksel özelliklerini hesaba katmak için toprak haritalarını kullanılmaktadır [1]. Hidrolojik süreçler modellenirken, kum, silt ve kil miktarlarının yanı sıra organik madde içeriği ve katman kalınlıkları da çok önemlidir. Yeraltı suyu akışı ve su infiltrasyon oranları toprak derinliği ve türünden doğrudan etkilenmektedir. Veri toplama aşamasında toprak haritası Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) veri tabanından temin edilmiş ve modele uygun hale getirilmiştir [14,15,16]. Akarçay Havzası toprak haritası Şekil (4)'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Akarçay Havzası toprak haritası (Soil map of Akarçay Basin)

Akarçay havzasında 4 adet eğim sınıfı tanımlaması yapılmıştır. Eğim sınıfları Şekil (5)'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Akarçay Havzası eğim sınıfları (Akarçay Basin slope classes)

HRU'ları oluşturmak için, arazi kullanımı, toprak tipi ve eğim sınıflandırmaları birleştirilerek havza içinde tek tip özelliklere sahip alt bölgeler tanımlanmaktadır. Modelin doğruluğu, bu prosedürde kullanılan toprak ve arazi kullanım haritalarının çözünürlüğünden doğrudan etkilenmektedir [1]. Hidrolojik süreçlerin daha gerçekçi ve derinlemesine modellenmesi için harita çözünürlüklerinin kaliteli ve birbirleriyle benzer olması modelleme aşamasında hata oranını en aza indirmektedir.

Sonuç olarak, SWAT modeli toprak ve arazi kullanım haritalarını entegre ederek havza düzeyinde hidrolojik süreçleri doğru bir şekilde simüle edebilmektedir. Bu haritalar aynı zamanda modelin doğrulama ve kalibrasyon prosedürleri için de gereklidir. Havza özelliklerinin haritalar üzerinde doğru bir şekilde gösterilmesi, modelin tahmin yeteneğini geliştirmekte ve daha verimli su kaynakları yönetim planlarının oluşturulmasını mümkün kılmaktadır.

2.4. Model Performansının Değerlendirilmesi

Amacıyla Kullanılan İstatistiksel Ölçütler

(Statistical Measures Used to Evaluate Model Performance)

Özellikle SWAT modeli, çeşitli istatistiksel metrikler kullanarak hidrolojik modellerin performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu metrikler, modelin çıktısının gerçek değerlerle ne kadar iyi eşleştiğini belirlemek için oluşturulmuştur [17]. Literatürde sıklıkla kullanılan birincil göstergeler, formülleri ve açıklamaları ile birlikte aşağıda listelenmiştir.

2.4.1. NSE - Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı

(Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient)

Modelin gözlemlere uyumu, bir performans ölçütü olan NSE ile ölçülmektedir. Değer 1'e yaklaştıkça model daha iyi performans göstermektedir. NSE 0'dan küçük olduğunda model, verilerin ortalama değerinden daha kötü performans gösterdiğini göstermektedir [18,19].

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (3)$$

$Q_{obs,i}$: i . gözlemlenen değer

$Q_{sim,i}$: i . simüle edilen değer

$\bar{Q}_{obs}$: i . gözlemlenen değerlerin ortalaması

n : veri sayısı

$Q_{obs,s}$: gözlemlenen değer standart sapma

2.4.2. RSR - Ortalama Hatanın Karekökünün Standart Sapmaya Oranı

(Ratio of the Root Mean Square Error to the Standard Deviation of Measured Data)

Model performansını değerlendirmek için kullanılan istatistiksel metriklerden biri de RSR'dir. RSR, model hatasını gözlemlenen verilerin değişkenliği ile karşılaştırarak modelin performansının değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır [20].

RSR, gözlemlenen verilerin standart sapmasının (STDEV) Ortalama Hatanın Karekökü'ne (RMSE) bölünmesiyle hesaplanır:

$$RSR = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}}{Q_{obs,s}} \quad (4)$$

2.4.3. PABIAS Yüzde Sapma (Percent Bias)

PABIAS adı verilen istatistiksel bir diğer metrik, gözlemlenen verileri model tahminlerindeki sistematik hata miktarıyla karşılaştırmaktadır. Modelin tahminleri, PABIAS kullanılarak gözlemlenen değerlerle karşılaştırılarak fazla veya eksik tahmin edilip edilmediğine bakılır. Özellikle mühendislik, hidroloji ve çevresel modellemelerde sıklıkla kullanılmaktadır [21].

$$PABIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i})} \times 100 \quad (5)$$

Yukarıda bahsi geçen istatistiksel ölçütlerin genel tablosu Tablo 1'de gösterilmektedir.

2.5. Kalibrasyon ve Validasyon (Calibration and Validation)

SWAT modelinin etkinliğini artırmak ve doğru sonuçlar üretmek için modelleme süreci boyunca iki önemli eylem gerçekleştirilmelidir. Bunlar doğrulama ve kalibrasyon aşamalarıdır. Kalibrasyon sürecinde model parametreleri yerel koşulları hesaba katacak şekilde değiştirilir. Model çıktıların gözlemlenen hidrolojik verilerle uzlaştırmak için bu prosedür tekrar tekrar gerçekleştirilmiştir. Toprak doygunluk su içeriği (SOL_AWC), yüzey akış katsayısı (CN2) ve yeraltı suyu parametreleri (GW_DELAY, GWQMN) gibi önemli faktörler Akarçay Havzası'nda bu amaçla kullanılan ölçütler arasındadır.

Kalibrasyon işlemi, SUFI-2 algoritmasını içeren SWAT-CUP (SWAT-Calibration and Uncertainty Program) yazılımı aracılığıyla yürütülmüştür. Program özellikle havza alanı büyük ve karmaşık bir yapıya sahipse kalibrasyon sırasında zaman açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır. SWAT-CUP yazılımı ücretsiz iken 2020 yılı sonrası ücretli hale gelmiştir. Fakat akademik alanda çalışılacak olmasından dolayı yetkililerle iletişime geçilmiş ve programdan ücretsiz bir şekilde yararlanılmıştır. Bu yazılım, gözlemlenen veriler ve model çıktıları arasındaki farkı en aza indirerek parametre aralıklarını optimize etmektedir [20]. Her iterasyon sonunda model sonuçları, gözlemlenen verilerle karşılaştırılarak parametre ayarları güncellenmiştir [23].

Tablo 1. İstatistiksel göstergelerin değerlendirilme kriterleri (Criteria for evaluation of statistical indicators)

Ölçüt	Değer Aralığı	Model Performansı	Yorum
NSE	NSE = 1	Mükemmel	Model gözlenen verileri mükemmel tahmin ediyor.
	NSE > 0.75	Çok iyi	Model oldukça başarılı.
	$0.5 \leq \text{NSE} \leq 0.75$	Kabul edilebilir	Modelin performansı yeterli düzeyde.
	$0 \leq \text{NSE} < 0.5$	Zayıf	Model düşük güvenilirlikte tahmin yapıyor.
	NSE < 0	Başarısız	Model, gözlenen verilerin ortalamasından bile kötü tahmin yapıyor.
RSR	RSR = 0	Mükemmel	Modelin hata oranı sıfır.
	$0 \leq \text{RSR} < 0.5$	Çok iyi	Model yüksek doğrulukla tahmin yapıyor.
	$0.5 \leq \text{RSR} < 0.6$	İyi	Model yeterince başarılı.
	$0.6 \leq \text{RSR} < 0.7$	Orta	Modelin performansı orta düzeyde.
	$0.7 \leq \text{RSR} < 1.0$	Zayıf	Modelin tahmin hataları yüksek.
	RSR > 1.0	Başarısız	Model başarısız, hata oranı çok yüksek.
PBIAS	$ \text{PBIAS} < \%10$	Çok iyi	Model tahminleri gözlenen verilere çok yakın.
	$\%10 \leq \text{PBIAS} < \%20$	İyi	Model küçük bir sistematik hata içeriyor.
	$\%20 \leq \text{PBIAS} < \%30$	Orta	Modelde orta düzeyde hata mevcut.
	$ \text{PBIAS} \geq \%30$	Kötü	Model tahminleri büyük ölçüde yanlış.

Tablo 2. SWAT modeli kalibrasyon parametreleri (SWAT model calibration parameters)

	PARAMETRE	AÇIKLAMA	MİN	MAX	KALİBRE DEĞERİ
1	r_CN2.mgt	İlk SCS akış eğrisi numarası (ortalama değer)	-0.35	0	-0.23625
2	r_GW_DELAY.gw	Yeraltı suyu gecikme süresi (gün)	90	200	197.25
3	r_GWQMN.gw	Geri dönüşün gerçekleşmesi için gereken sığ akiferdeki su eşik derinliği (mm H2 O)	-0.3	0.3	0.255
4	r_GW_REVAP.gw	Yeraltı suyu “revap” katsayısı	-0.4	0.4	0.22
5	r_REVAPMN.gw	Sığ akiferdeki “derinleşme” ya da oluşacak derin akiferin süzülmesi için su derinliğinde eşik derinliği (mm H2 O)	-0.4	0.4	0.02
6	v_ALPHA_BF.gw	Baz akım alfa katsayısı	1.3	1.45	1.31875
7	v_RCHRG_DP.gw	Derin akifer sızdırma fraksiyonu	0	0.5	0.2125
8	r_SOL_AWC(n).sol	Toprak tabakasının mevcut su kapasitesi	-0.25	0.25	0.2125
9	r_SOL_Z.sol	toprak yüzeyinden tabakanın altına kadar olan derinlik (mm)	-0.35	0.2	-0.00625
10	r_ESCO.hru	Toprak evapotranspirasyon faktörü	-0.3	0.3	0.165
11	r_SLSUBBSN.hru	Ortalama şev uzunluğu (m)	-0.19	0	-0.17575
12	r_CANMX.hru	Maksimum örtü deposu	0	100	12.5
13	r_CH_N2.rte	Kanal hidrolik iletkenlik değeri	-0.25	0.25	0.0125
14	r_CH_K2.rte	Ana dere için Manning “n” değeri	-0.3	0.3	-0.165
15	r_SURLAG.bsn	Yüzeysel akış gecikme katsayısı	1	24	11.925

Tablo 2’de yer aldığı üzere 15 parametrede kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerden 6’sı yeraltı suyu (.gw), 4’ü en küçük işlem birimleri (.hru), (.mgt), 2’si nehir özellikleri (.rte), 2’si toprak özellikleri (.sol), 1’i ise havza özellikleri (.bsn) ile ilgilidir. Bu parametrelere yönelik hassasiyet analizi bir sonraki bölümde incelenmektedir [3].

Kalibrasyon 2015 ile 2019 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Modelin başlangıç koşullarının dengelenmesi ve belirli bir denge durumuna ulaşması için kullanılan ve modelin daha doğru ve güvenilir sonuçlar üretmesini sağlayan ısınma (warm-up) periyodu 3 yıl olarak belirlenmiştir.

Validasyon aşaması ise, kalibrasyonda optimize edilen parametrelerin bağımsız bir veri seti kullanılarak test edilmesini kapsamaktadır. Validasyon verileri, ısınma (warm-up) periyodu 2

yıl olmak üzere kalibrasyon verilerinden farklı bir dönemden seçilmiş (2020 – 2023) ve modelin genelleme kapasitesini değerlendirmek için kullanılmıştır.

2.6. Hassasiyet Analizi (Sensitivity Analysis)

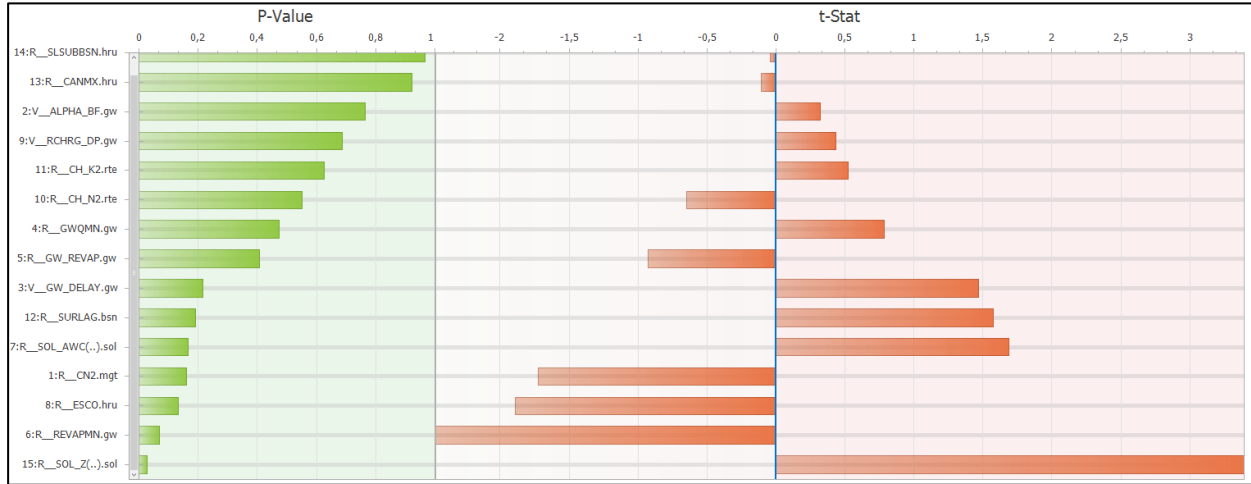
Hassas parametreler, SUFI2 kalibrasyon prosedüründeki global ve zamansal teknikler kullanılarak belirlenmektedir. Bu çalışmalar kapsamlı parametre seti içinde en hassas ve en az hassas parametreleri belirleyerek parametre sayısının azaltılmasını sağlamaktadır. Hassasiyet analizi çalışmanın verimliliğini artırırken zamandan da tasarruf sağlamaktadır [3].

Global duyarlılık analizinde P-değeri t-istatistiği ile karşılaştırılmaktadır. Bir parametrenin katsayısının standart hatasına bölünmesi t-istatistiğini vermekte olup bu değer regresyon katsayısının ne kadar iyi

hesaplandığının bir göstergesidir. P-değeri ise her bir parametrenin katsayısının sıfıra eşit olup olmadığını belirlemektedir. Bir analizde parametre ne kadar hassas olursa, mutlak değer olarak t-istatistiği değeri o kadar büyük ve p-değeri o kadar küçük olur [24].

Diğer tüm parametreler belirli bir değerde sabit tutulduğunda, zamansal duyarlılık analizi bir değişkenin bir parametredeki değişikliklere ne kadar duyarlı olduğunu göstermektedir.

Şekil 6’da görüldüğü üzere duyarlılık çalışmasına göre en hassas unsurlar toprak profili parametreleri (SOL_Z, SOL_AWC), yeraltı suyu katsayısı (REWAPMN), toprak buharlaşma dengeleme faktörü (ESCO) ve yüzey suyu akış miktarını etkileyen eğri katsayısıdır (CN2). Söz konusu parametrelerin sayısal değerleri Tablo 3’te yer almaktadır.



Şekil 6. Akarçay Havzası SWAT modeli kalibrasyon parametreleri hassasiyet analizi p-değeri ve t-istatistiği karşılaştırması (Akarçay Basin SWAT model calibration parameters sensitivity analysis p-value and t-statistics comparison)

Tablo 3. Akarçay Havzası SWAT modeli kalibrasyon parametreleri hassasiyet analizi p-değeri ve t-istatistiği değerleri (Akarçay Basin SWAT model calibration parameters sensitivity analysis p-value and t-statistic values)

Parametre Adı	t-İstatistigi	P-Değeri
14:r_SLSUBBSN.hru	-0.04331	0.96752
13:r_CANMX.hru	-0.10469	0.92166
2:v_ALPHA_BF.gw	0.32170	0.76379
9:v_RCHRG_DP.gw	0.43338	0.68709
11:r_CH_K2.rte	0.52514	0.62725
10:r_CH_N2.rte	-0.64745	0.55262
4:r_GWQMN.gw	0.78772	0.47492
5:r_GW_REVAP.gw	-0.92716	0.40632
3:v_GW_DELAY.gw	1.46846	0.21590
12:r_SURLAG.bsn	1.57378	0.19065
7:r_SOL_AWC	1.68758	0.16677
1:r_CN2.mgt	-1.72085	0.16039
8:r_ESCO.hru	-1.89015	0.13173
6:r_REVAPMN.gw	-2.46635	0.06922
15:r_SOL_Z(..).sol	3.39399	0.02743

3. BULGULAR (RESULTS)

Daha önce de belirtildiği gibi, bir modelin kabul edilebilir olması için performansının belirli gereklilikleri karşılaması gerekmektedir. Bu çalışmada modelin etkinliğini değerlendirmek için Nash-Sutcliffe Etkinlik Katsayısı (NSE), RSR (Ortalama Karesel Hatanın Standart Sapmaya Oranı) ve PBIAS (Yüzde Sapma) istatistiksel göstergeleri kullanılmıştır.

Şekil 7'deki grafik, kalibrasyon dönemi boyunca simüle edilen ve gerçek akış değerlerini göstermektedir. Kalibrasyon döneminde PBIAS değeri -32.9, RSR değeri 0.54 ve NSE değeri 0.71 olarak gerçekleşmiştir.

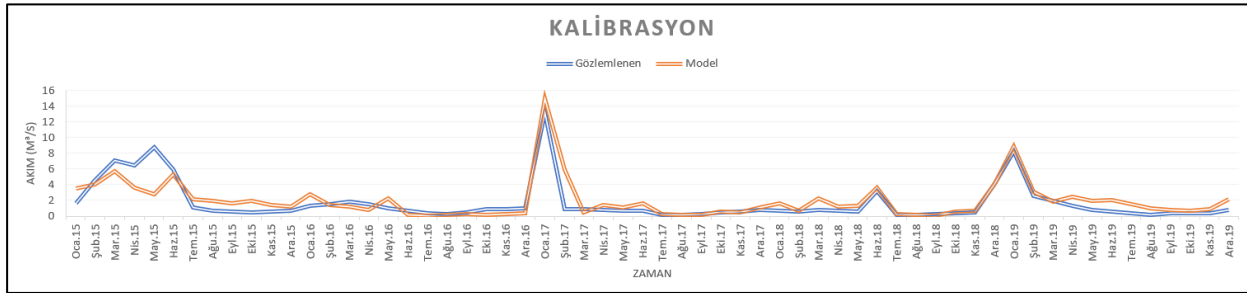
Şekil 8'deki grafik, doğrulama dönemi için simüle edilen ve gözlenen akış değerlerini göstermektedir. Bu değerler doğrulama dönemi boyunca NSE değeri 0.65, RSR değeri 0.59 ve PBIAS değeri -18.2 olarak belirlenmiştir. Bu ölçütler, modelin hidrolojik süreçleri ne kadar doğru bir şekilde yakaladığını göstermektedir. (Tablo 4)

Kalibrasyon ve doğrulama bulgularına göre SWAT modelinin, Akarçay Havzası'nda su kaynakları

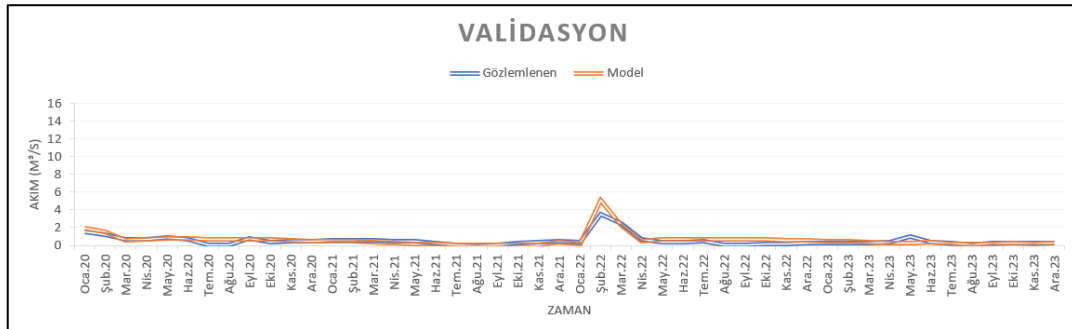
yönetimi ve erozyon kontrolü de dahil olmak üzere çevresel değerlendirmelerde güvenle kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Hassasiyet analizine göre en hassas parametreler toprak profili parametreleri (SOL_Z, SOL_AWC), yeraltı suyu katsayısı (REWAPMN), topraktaki buharlaşma dengeleme faktörü (ESCO) ve yüzey suyu akış miktarını etkileyen eğri katsayısıdır (CN). Bu göstergelerden biri (REVAPMN) taban akışı ile ilişkiliyken, diğer dördü (CN2, ESCO, SOL_AWC ve SOL_Z) yüzey akışı ile ilişkilidir.

Toprağın su tutma kapasitesini ölçen SOL_AWC değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu parametrenin düşük olması durumunda bitkiler kurak dönemlerde su sıkıntısı çekerken yüksek olması durumunda suyun daha fazla tutulmasını sağlamaktadır. Özetle söz konusu parametre tarımsal verimin ve su döngüsünün üzerinde oldukça etkilidir [23]. SWAT modelinin hidrolojik bileşeninin duyarlılık analizi, SOL_AWC'yi tüm toprak türleri için -%25 ila %25 arasında değiştirmiştir. Bu parametrede %21'lik bir artışın en iyi NSE'yi ürettiği keşfedilmiştir.



Şekil 7. Kalibrasyon döneminde model akış ve gözlemlenen akış değerleri (Model flow and observed flow values during the calibration period)



Şekil 8. Validasyon döneminde model akış ve gözlemlenen akış değerleri (Model flow and observed flow values during the validation period)

Tablo 4. İstatistiksel göstergelere göre model performansı (Model performance according to statistical indicators)

	NSE	RSR	PBIAS
Kalibrasyon Dönemi (2015 ~ 2019)	0.71	0.54	-32.9
Validasyon Dönemi (2020 ~ 2023)	0.65	0.59	-18.2

Toprak buharlaşma telafi faktörü veya ESCO, toprak yüzeyinden gerçekleşen buharlaşmanın ne kadarının sınırlanacağını belirleyen bir faktördür. Toprak buharlaşmasının derinlik dağılımını gösteren 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir. Düşük ESCO değerleri, bitkilerin su kullanımını artırırken yüzeyden doğrudan buharlaşmayı azaltır. Yüksek ESCO değerleri ise tersine, bitki köklerinden alınan suyun azalmasına ve daha fazla doğrudan buharlaşmaya yol açabilir [26]. Bu parametrede 0.165 değeri en iyi NSE değerini vermektedir.

Sığ akiferin REVAPMN değeri, yeniden buharlaşmanın gerçekleşmesi için gereken en düşük su derinliğidir. Su, sığ akiferden bu bariyerin altındaki doymamış bölgeye akamaz. Bu parametre 0,02 ile 0,2 arasında değişir. 0'a ne kadar yakınsa, suyun yüzeyel akiferden yukarı doğru hareketi o kadar azalır [25]. Bu parametrenin 0 değerine yakın kalibresi Akarçay Havzasında yağış sonrası suyun yeraltına sızmasının daha erken gerçekleştiği ve bu sebeple yüzey akışının azaldığı anlamına gelmektedir.

Yüzey akışını etkileyen en önemli parametrelerden biri olan CN2 parametresi arazi kullanımına, toprak özelliklerine ve nem durumuna göre değişkenlik göstermektedir. CN2 değeri yüksekse, yüzey akışı artar ve suyun toprak içine sızma oranı azalır. Düşük CN2 değerleri ise infiltrasyonu artırarak yüzey akışını azaltır [25]. Bu çalışma SWAT modeli tarafından CN2 değerinin düşük olması durumunda en iyi verimin ortaya çıktığını göstermiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Akarçay Havzası'nın hidrolojik süreçlerini anlamak ve su kaynaklarını daha etkin yönetmek amacıyla SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modeli kullanılarak bir simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Modelin oluşturulmasında, sayısal yükseklik modeli (DEM), toprak haritası ve arazi kullanım haritası gibi mekânsal veriler temel bileşenler olarak kullanılmıştır. Sayısal yükseklik modeli, havzanın eğim, akış yönü ve akarsu ağının belirlenmesinde kritik rol oynamıştır. Toprak haritası, su tutma kapasitesi ve infiltrasyon gibi hidrolojik süreçlerin modellenmesini sağlamıştır. Arazi kullanım haritası ise, tarım alanları, ormanlık alanlar ve yerleşim yerlerinin su bütçesine etkisini analiz etmek için kullanılmıştır. Bu mekânsal veriler, modelin doğru şekilde yapılandırılmasını ve hidrolojik süreçlerin gerçeğe en yakın şekilde temsil edilmesini sağlamıştır.

Modelleme sürecinde havzanın topoğrafik, iklimsel, hidrolojik ve arazi kullanımına ilişkin verileri kullanılarak kalibrasyon ve doğrulama işlemleri yapılmıştır. Model sonuçları, SWAT'ın Akarçay Havzası'ndaki akım tahminlerinde güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir. Kalibrasyon ve doğrulama aşamalarında elde edilen istatistiksel performans kriterleri (NSE (0.71,0.65), RSR (0.54, 0.59) ve PBIAS (-32.9, -18.2)) modelin iyi bir performans sergilediğini ortaya koymuştur. Modelin mevsimsel akım değişimlerini başarılı bir şekilde yansıttığı görülmüştür.

Hassasiyet analizi sonuçlarına göre, modelde en hassas parametreler toprak profili parametreleri (SOL_Z, SOL_AWC), yeraltı suyu katsayısı (REVAPMN), topraktaki buharlaşma dengeleme faktörü (ESCO) ve yüzey suyu akış miktarını etkileyen eğri katsayısıdır (CN). Bu parametrelerden REVAPMN taban akışı ile ilişkilendirilirken, CN2, ESCO, SOL_AWC ve SOL_Z yüzey akışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu durum, havzadaki yüzey ve taban suyu dengesinin modellenmesinde bu parametrelerin doğru şekilde kalibre edilmesinin kritik olduğunu göstermektedir.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli husus, yerel düzeyde daha spesifik veriler kullanıldığında modelin performansının çok daha fazla arttığıdır. Meteoroloji istasyonları, büyük ölçekli havzaların hidrolojik modellemesi için genellikle yetersizdir [27,28]. Yüksek çözünürlüklü meteorolojik veri setleri, özellikle hidrolojik modelleme gibi kapsamlı çalışmalarda giderek daha gerekli hale gelmektedir [28]. Bu çalışma iyi sonuçlar vermiş olmasına rağmen havzanın genişliği göz önüne alındığında, daha fazla istasyona ihtiyaç olduğu söylenebilir.

Ayrıca model sonuçlarına göre havzanın mevcut su kaynaklarının, hem tarımsal sulama hem de içme suyu temini açısından yüksek baskı altında olduğu belirlenmiştir. Model sonuçları, su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için bölgesel planlama ve politika geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde, koruma tarımı tekniklerinin uygulanması ve bitki örtüsünün artırılması sağlanmalıdır. Su kaynaklarının verimli kullanımı için modern sulama tekniklerinin teşvik edilmesi gereklidir. Ayrıca, yeraltı suyu rezervlerinin korunması amacıyla su çekim sınırlarının belirlenmesi ve yerel halkın bilinçlendirilmesi önem arz etmektedir. Yağış rejimindeki değişikliklere bağlı olarak ortaya çıkan riskler, iklim değişikliği senaryoları dikkate

alınarak yeniden değerlendirilmelidir. Bölgesel uyum stratejileri geliştirilerek su yönetiminde iklim değişikliği etkileri minimize edilmelidir. Havza genelinde sürekli veri toplama ve izleme çalışmaları yapılmalıdır. Daha yüksek doğruluk sağlayan meteorolojik ve hidrolojik veri setleri, model sonuçlarının güvenilirliğini artıracaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Çalışmada kullanılan verilerin temin edilmesini sağlayan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

We would like to thank the General Directorate of State Hydraulic Works and the General Directorate of Meteorology for providing the data used in the study.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Zeliha SELEK: Modelin oluşturulması, sonuçların analizi ve yorumlanmasında katkıları olmuştur.

She contributed to the creation of the model, analysis and interpretation of the results.

Cihangir ARSLAN: Modellemeyi yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He created the model, analyzed the results and performed the writing process.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. Journal of the American Water Resources Association, 34(1), 73–89.
- [2] Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., & Arnold, J. G. (2007). The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications, and future research directions. Transactions of the ASABE, 50(4), 1211–1250.
- [3] Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Texas Water Resources Institute.
- [4] Arnold, J. G., & Fohrer, N. (2005). SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. Hydrological Processes, 19(3), 563–572.
- [5] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, (2013). Akarçay Havzası Master Plan Çalışmaları Nihai Master Plan Raporu; Üçer Müşavir Mühendislik A.Ş., DSİ Raporu, Ankara, 61-1797.
- [6] İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, URL: <https://usbs.tarimorman.gov.tr/>, Erişim Tarihi:13.01.2025
- [7] Korkmaz, M. (2014). Evaluation of SWAT performance for monthly streamflow simulation in the Gediz Basin. Turkish Journal of Water Science and Management, 1(1), 15–25.
- [8] Özcan, M., Kocaman, S., & Yavuz, O. (2011). Use of SWAT Model for Hydrological Modeling in Seyhan Basin. International Journal of Water Resources Development, 27(4), 657–673.
- [9] Behera, S., & Panda, R. K. (2006). Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process-based model. Agricultural Ecosystems & Environment, 113(1-4), 62-72.
- [10] Abbaspour, K. C., Vaghefi, S., & Srinivasan, R. (2018). A guideline for successful calibration and uncertainty analysis for soil and water assessment: A review of papers from the 2016 International SWAT Conference. Water, 10(1), 6.
- [11] İnternet: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu, URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, Erişim Tarihi:11.03.2024
- [12] İnternet: Avrupa Çevre Ajansı, URL: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>, Erişim Tarihi:21.08.2024
- [13] Bossard, M., Feranec, J., Otahel, J., 2000. CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. Technical report no 40, European Environmental Agency, Copenhagen.
- [14] FAO/UNESCO (1990), Soil Map of the World, Revised Legend. World Soil Resources Report 60, Rome.

- [15] FAO, 2015. World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- [16] İnternet: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, URL: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/>, Erişim Tarihi:18.06.2024
- [17] Willmott, C. J. (1981). On the validation of models. *Physical Geography*, 2(2), 184-194.
- [18] Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.
- [19] Legates, D. R., & McCabe Jr, G. J. (1999). Evaluating the use of goodness-of-fit measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, 35(1), 233-241.
- [20] Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- [21] Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & 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.
- [22] Abbaspour, K. C., Vejdani, M., & Haghighat, S. (2007). SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT. MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation.
- [23] Arnold, J. G., & Fohrer, N. (2005). SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrological Processes*, 19(3), 563-572.
- [24] Song, X., Zhang, J., Zhi, W., & Xie, H. (2015). Parameter sensitivity analysis of SWAT model based on SUFI-2 algorithm. *Water Science and Engineering*, 8(2), 107-117.
- [25] Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R. D., van Griensven, A., Van Liew, M. W., Kannan, N., & Jha, M. K. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508.
- [26] Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, R. Srinivasan, and J. R. Williams. 2002. Soil and Water Assessment Tool, User Manual, Version 2000. Temple, Tex.: Grassland, Soil and Water Research Laboratory.
- [27] Kışlıoğlu, H.E., Kaplan Bekaroglu, ŞŞ., Dadaser-Celik, F., (2024). Güney Marmara Havzası'nda SWAT+ Modeli ile Hidrolojik Modelleme, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 12(3), 531-543.
- [28] Probst, E., & Mauser, W. (2022). Ecological sustainability assessment of water distribution for the maintenance of ecosystems, their services, and biodiversity. *Ecological Indicators*, 142, 109217.