

## Küçük Menderes Alt Havzası'nın SWAT ile Modellenmesi

Mohammad Matin SADDIQI<sup>1</sup>, Mahmut Ekrem KARPUZCU<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>*İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

*Geliş tarihi: 26.09.2019*

*Kabul tarihi: 20.12.2019*

### Öz

Antropojenik aktiviteler ve iklim değişikliği Küçük Menderes Havzası'nın su kaynaklarını olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Nüfus artışı ve kontrolsüz su kullanımları havzayı su fakiri haline getirmiştir. Havzadaki problemlere çözüm sunabilecek modelleme çalışmaları gereklidir. Bu çalışmada, SWAT (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı) yazılımı kullanılarak Küçük Menderes Alt Havzası için hidrolojik model oluşturulmuştur. Modelin kalibrasyonu ve duyarlılık analizi SUFI-2 (Sıralı Belirsizlik Uygunluğu) metodu kullanılarak SWAT-CUP (SWAT-Kalibrasyon Belirsizlik Programları) ile yapılmıştır. Model en çok CN2, SOL\_BD (katman#), RCHRG\_DP ve SOL\_K (katman#) parametrelerine duyarlı olmuştur. Modelin performansı P-faktör, R-faktör ve objektif fonksiyonlarla değerlendirilmiştir. P-faktör değeri %61 ile %80 aralığında izlemeleri eşlemiştir. Objektif fonksiyonlara göre model performansının yeterli seviyede olduğu değerlendirilmiştir. Bu çalışma, havzada iklim değişikliğinin ve en iyi yönetim uygulamalarının etkisini anlamak için yapılan çalışmalar için ve su kalitesi modellemesi çalışmaları için bir altlık oluşturmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Küçük Menderes Havzası, Havza yönetimi, Hidrolojik modelleme, SWAT Modeli, SUFI-2

### Modeling Kucuk Menderes Watershed with SWAT

#### Abstract

Water resources in Kucuk Menderes Watershed have been adversely affected by anthropogenic activities and climate change. Increasing population and uncontrolled water uses have transformed the watershed into a water-stressed watershed. Modeling studies in water resources are required to solve these problems in the watershed. In this study, a hydrological model for the watershed was established using SWAT (Soil and Water Assessment Tool). The model calibration and sensitivity analysis were performed by SWAT-CUP (SWAT-Calibration Uncertainty Programs) using Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) method. The model was mostly sensitive to CN2, SOL\_BD (layer#), RCHRG\_DP and SOL\_K (layer#) parameters. The performance of the model was evaluated with P-factor, R-factor and objective functions. P-factor values were in the range of 61-80%, meaning that the monitoring data were matched by the model within this range. According to the objective functions, the model performance was evaluated as satisfactory. The results of this study could serve as a base for a wide range of studies in the watershed such as effects of climate change, the effectiveness of Best Management Practices (BMPs) on water resources and water quality modeling.

**Key Words:** Kucuk Menderes Watershed, Watershed management, Hydrological models, SWAT, SUFI-2

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): M. Ekrem KARPUZCU, [karpuzcu@itu.edu.tr](mailto:karpuzcu@itu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Su hayatın ana unsurudur. Nüfus artışı, artan şehirleşme ve sanayileşme, küresel ısınma ve antropojenik aktiviteler dünyanın her yerinde hem miktar hem de kalite açısından su sıkıntısı yaşanmasına sebep olmaktadır [1]. Bu faktörlerin etkilerini belirlemek için havza ölçeğinde hidrolojik süreçleri birleştiren bütünsel bir yaklaşım kullanılması gereklidir. Havza modellenmesi, bu bütünsel yaklaşım kapsamında, yüzey ve yer altı su hareketlerini ve bu su kütleleri arasındaki etkileşimi daha iyi anlamak ve insan müdahalelerinin ve iklim değişikliğinin kaçınılmaz etkilerinin havza hidrolojisi üzerindeki etkilerini tahmin etmek için bir araç olarak kullanılmaktadır [2,3].

En yaygın kullanılan simülasyon modelleme araçları arasında SWAT (Soil and Water Assessment Tool-Toprak ve Su Değerlendirme Aracı) yazılımı bulunmaktadır [4,5]. Türkiye'de SWAT modeli uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Literatür araştırması sonucu Türkiye genelinde SWAT modeli uygulamalarıyla ilgili 17 adet akademik makale tespit edilmiştir [6-22].

Türkiye'de yapılan çalışmalar kapsamında, Bucak ve arkadaşları [8], Beyşehir gölünde gelecekteki su mevcudiyetinin risk altında olduğunu SWAT simülasyonları ile kanıtlamıştır [8]. Başka bir çalışmada Ertürk ve arkadaşları [18] SWAT modelini kullanarak Dalyan bölgesi için yeraltı suyunun dış etkilere karşı hassasiyetini değerlendirmiştir [18]. 2017 yılında yapılan diğer bir çalışmada SWAT modeli kullanılarak İstanbul'un Su Kaynakları Potansiyeli değerlendirilmiştir [12].

Bir diğer çalışmada ise, Melen Havzası'nda SWAT kullanılarak akış tahmini ve modellenmesi yapılmıştır [6]. Küçük Menderes Havzası'nda ise şu ana kadar herhangi bir SWAT uygulaması bulunmamaktadır. Bunun en büyük sebebi, havzanın ileri derecede yönetilen bir havza olması ve bu durumun modellemede yarattığı zorluklar olabilir. İleri derecede yönetilen havzadan kasıt, insan müdahalesinin aşırı derecede olmasıdır. Küçük Menderes Havzası'nda, su kütlelerin

doğallığı çeşitli müdahalelerle sürekli değiştirilmektedir. Havzada işletmede olan çok sayıda baraj ve göletin yanısıra, birçok baraj ve gölet de ya inşaat ya da planlama aşamasındadır. Bunlara ek olarak, havza içerisinde su transferi için kullanılmak üzere yapılmış regülatörler bulunmaktadır. Havzada 10000'i aşkın kayıtlı yeraltı suyu kuyusu mevcuttur [23]. Kayıtlı kuyulardan başka çok sayıda kaçak kuyu mevcuttur ve bu kuyularla yapılan aşırı su çekimleri havzadaki hidrolojik süreçleri olumsuz şekilde etkilemektedir. Kuyuların işletilmesi ile ilgili veri eksikliği model kurulumunu ve kalibrasyon işlemini daha da zorlaştırmaktadır. Küçük Menderes Alt Havzası, Türkiye'nin batısında Gediz ve Büyük Menderes Havzalarının arasında ve Küçük Menderes Havzası'nın doğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Havzadaki su kaynakları iklim değişikliği, yoğun tarım, hayvancılık ve düzensiz yapılaşma nedeniyle hem kalite hem de miktar açısından ciddi risk altındadır [23].

Küçük Menderes Havzası'nda iklim değişikliği sonucu gelecekte ortalama sıcaklığın 3-5 °C artacağı ve yağışların ise %10-20 aralığında azalacağı beklenmektedir [24]. Bunun yanı sıra, havzanın su fakiri olduğu ortaya konmuştur [25].

Havzadaki su kaynakları, havzada yapılan yoğun tarım sonucu en çok sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Havzada DSİ, sulama kooperatifleri, özel işletmeler ve halk sulamaları olmak üzere dört kesim tarafından sulama yapılmaktadır. Tarımsal sulamanın %92,7'si yeraltı suyu ile yapılmaktadır. Son yıllarda aşırı su çekiminden dolayı kuyulardaki su seviyeleri ciddi anlamda düşmüştür [23].

Havzadaki mevcut problemler hem hidrolojik modelleme hem de su kalitesi modellenmesi çalışmalarının yapılmasını gerektirmektedir. Gelecekte hem miktar hem de kalite açısından su durumunun tahmini, yapılacak su tahsisleri ve suyun hem miktar hem de kalite açısından korunması için alınacak önlemlerin belirlenmesi açısından çok önemlidir. Bu çalışmanın ana amacı, Küçük Menderes Alt Havzası için SWAT ile bir hidrolojik modelin kurulması ve bölgenin

hidrolojisini etkileyen faktörlerin ortaya konmasıdır. Ortaya konulan model, havzadaki su miktarının korunması ve dengeli bir şekilde tahsis için alınması gereken önlemlerin belirlenmesinde kullanılabilir, bunun yanı sıra gelecekte yapılacak su kalitesi modelleme çalışmaları için de altlık olacaktır.

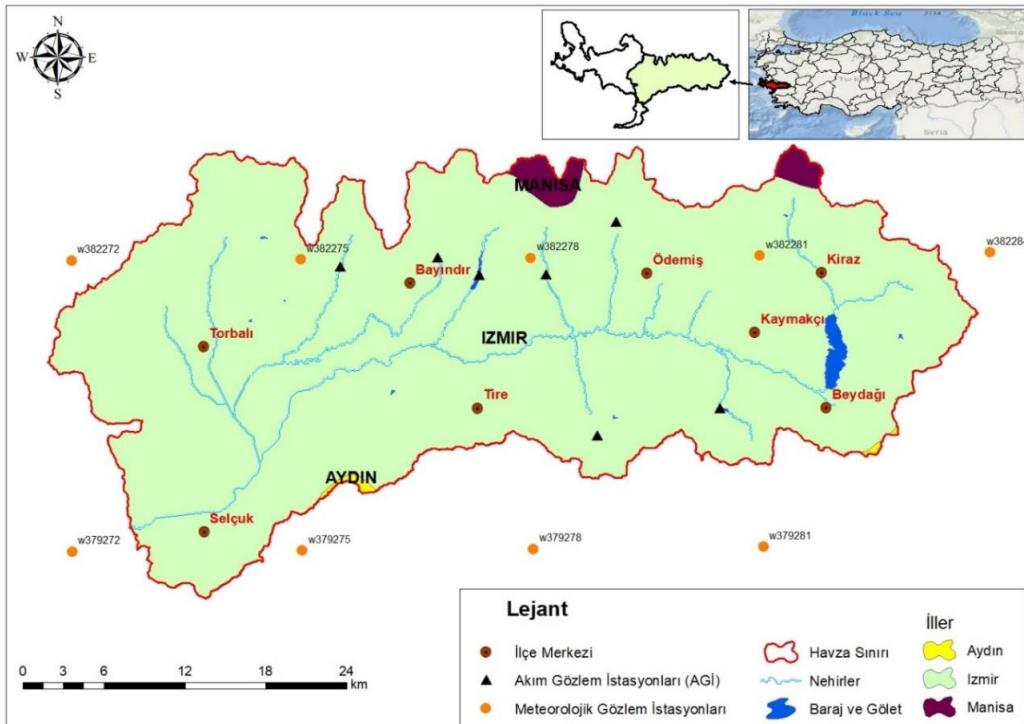
## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi olarak, Küçük Menderes Havzası'nın doğusunda  $37^{\circ} 53' 4.07''$  ve  $38^{\circ} 21' 56.24''$  kuzey enlemleri ile  $27^{\circ} 8' 51.9''$  ve  $28^{\circ} 25' 12.02''$  doğu boylamları arasında yer alan Küçük Menderes Alt Havzası seçilmiştir (Şekil 1). Havzanın drenaj alanı Küçük Menderes Nehri'nin drenaj alanından oluşmaktadır. Havzada İzmir İli'nin yanı sıra Aydın ve Manisa illerinin de bir bölümü yer almaktadır, ancak İzmir İli havza alanının yaklaşık %98'lik kısmını kapsamaktadır.

Küçük Menderes Alt Havzası'nın alanı 345,701 ha olup, bu alan Türkiye'nin yüzölçümünün %0,44'üne karşılık gelmektedir. Havzanın nüfusu 2016 yılı itibarıyla 480,656'dır. Küçük Menderes Nehri havzanın en önemli akarsuyudur ve onu besleyen kollar Fetrek Çayı, Uladı Deresi, Ilıca Deresi, Değirmen Dere, Aktaş Deresi, Rahmanlar Deresi, Pirinççi Deresi, Yuvalı Dere, Ceriközkaya Deresi, Eğridere, Birgi Çayı, Çevlik Çayı ve Keles Çayı'dır [23].

Bozdağ, Karadağ ve Gediktepelerden akan derelerden beslenen ve menbasını Kiraz ovasından alan Küçük Menderes Nehri, kuzey-güney istikametinde devam ettikten sonra Beydağ ilçesinden itibaren doğu-batı yönünde akıp, Torbalı'nın doğusunu geçtikten sonra tekrar kuzey-güney istikametinde Belevi Boğazı'ndan Selçuk Ovası'na kavuşur ve doğu-batı yönünde devam ettikten sonra Ege Denizi'ne delta oluşturarak dökülür. Ege Denizi'ne ulaşmaya kadar 129 km yol kat eder [26].



Şekil 1. Çalışma bölgesi olarak seçilen Küçük Menderes Alt Havzası

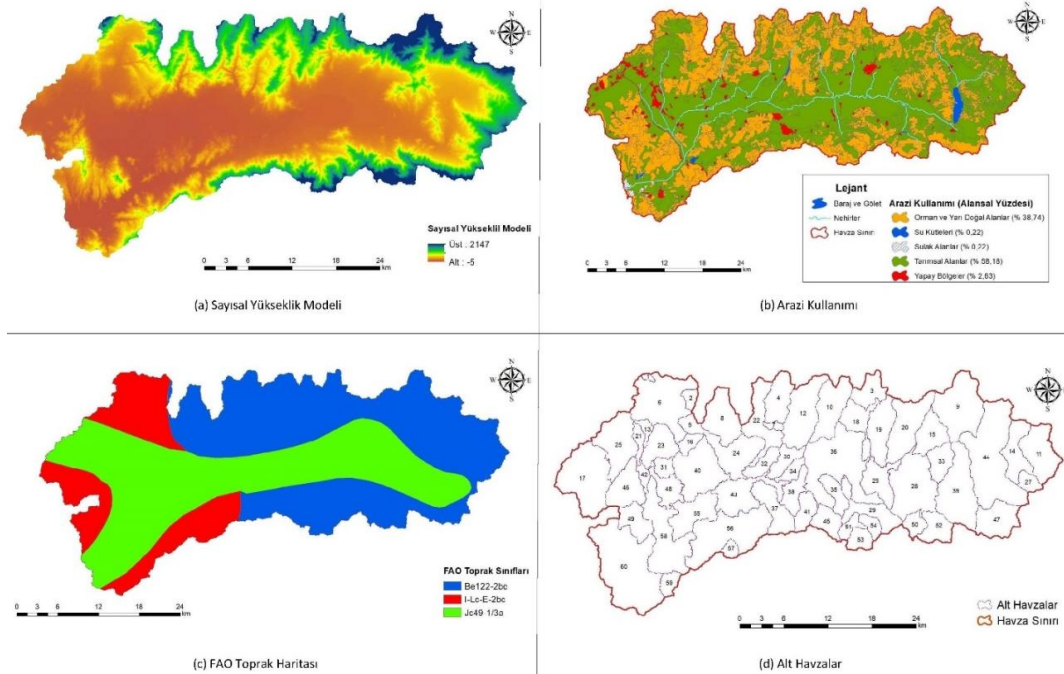
Havzanın arazi kullanımı incelendiğinde, arazinin büyük kısmını tarım alanlarının teşkil ettiği görülmektedir. Tarım alanlarını orman ve yarı doğal alanlar takip etmektedir. Tarım arazilerinin %52'si kuru ve %48'i sulu tarım alanı olarak kullanılmaktadır. Kuru tarım alanları Tire çevresinde, sulu tarım alanları ise eğimin az olduğu havza tabanında ve vadi boylarında yayılış göstermektedir. Küçük Menderes Nehri etrafındaki bölgelerde yapılan tarımın Türkiye ortalamasının üzerinde olduğu görülmektedir. Küçük Menderes Nehri etrafındaki Bayındır, Beydağ, Kiraz, Ödemiş, Selçuk, Tire ve Torbalı ilçelerinde tarım arazisi dağılımına bakıldığında, toplam tarım alanı %49, tarla alanı %22, zeytin alanı %12, sebze alanı %9, meyve alanı %4, tarıma elverişli boş arazi %2, bağ ve kavaklık alan %1 oranında dağılmaktadır. Havzada bağ ve bahçe tarımının önemini meyve ve sebze bahçeleriyle birlikte zeytinliklerin geniş yer tutması göstermektedir [27].

Havzada Akdeniz iklim özelliklerine rastlanmaktadır. Kurak ve sıcak yazlara, ılık ve yağışlı kışlara sahip olan havzada yıllık toplam yağışın yaklaşık yarısı kışın düşmektedir. Yüksek

kesimlerde kışlar karlı ve soğuk geçerken, kıyıya doğru kar yağışı ve don olayları azalır. Küçük Menderes Alt Havzası'nda kuraklık fazla değildir. Yarı nemli kuşakta bulunan Küçük Menderes Alt Havzası'nda İzmir'in doğusunda Torbalı-Bayındır'dan itibaren Küçük Menderes Ovası'na içine alan bölümde toplam yağış miktarı bölgenin diğer kısımlarına göre fazlalık göstermektedir. Havzanın en az yağış aldığı ay Ağustos ayı, en fazla yağış aldığı ay ise Aralık ayıdır [24,26].

## 2.2. Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi

Sayısal yükseklik modeli (DEM), arazi kullanımı haritası, toprak haritası, günlük iklim verisi, kalibrasyon ve validasyon için gerekli olan akım gözlem verisi, bu çalışma için gerekli verilerdir. Gerekli veriler farklı kaynaklardan elde edilmiştir. Havzanın topoğrafik karakterizasyonu ile ilgili bilgi edinmek üzere kullanılan sayısal yükseklik modeli (DEM) (Şekil 2c) açık kaynak olan USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) web sitesinden elde edilmiştir.



Şekil 2. (a) Sayısal yükseklik modeli, (b) Arazi kullanımı, (c) FAO toprak haritası, (d) Alt havzalar

SWAT modeli DEM verisini kullanarak havza sınırını, havzanın jeomorfolojik parametrelerini ve alt havzaları oluşturmaktadır. Havzanın arazi kullanımı durumunun belirlenmesinde CORINE-2012 veri tabanı dikkate alınmıştır. CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu) verisi, görsel yorumlama yöntemiyle uydu görüntüleri üzerinden üretilen sınıflandırılmış arazi örtüsü/kullanımı verisidir.

Bu sınıflandırma, Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırmasına göre yapılmaktadır [28]. Veri tabanında 4 düzey sınıflandırma bulunmaktadır. 1. düzey sınıflandırmasına göre arazi örtüsü/kullanımı yapay alanlar, tarımsal alanlar, orman ve yarı doğal alanlar, sulak alanlar ve su kütleleri sınıflarına ayrılmaktadır. 2. düzey sınıflandırmasına göre arazi örtüsü/kullanımı 15 sınıfa, 3. düzey sınıflandırmasına göre 44 sınıfa ve 4. düzey sınıflandırmasına göre ise 164 sınıfa ayrılmaktadır [28].

CORINE arazi kullanımı kodları, SWAT veri tabanında bulunan arazi kullanımı kodları ile uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 2 (b)'de çalışma bölgesinin arazi örtüsü/kullanımı verilmektedir.

Toprak verisi ise Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO/UNESCO) dünya toprak haritasından elde edilmiştir [29]. Toprak verisi de SWAT veri tabanı ile uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 2 (d)'de çalışma bölgesinin toprak haritası verilmektedir.

Meteorolojik veriler, SWAT için küresel iklim verisi web sitesinden (<https://globalweather.tamu.edu/>) elde edilmiştir [30]. Elde edilen veriler günlük bazdadır ve 1979 ile 2013 yıllarını kapsamaktadır. Model simülasyon için günlük yağış, maksimum ve minimum sıcaklık, solar radyasyon, rüzgar hızı ve bağıl nem verilerine de ihtiyaç duymaktadır. Çalışma alanı içerisinde ve etrafında SWAT kapsamında kullanılacak CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) tarafından belirlenen 9 tane istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonlar gerçekte mevcut olmayıp son derece gelişmiş veri asimilasyon teknikleri ile hem yersel meteorolojik gözlem istasyonlarından elde edilen veriler hem de uydu radyasyonları ile üretilen veriler kullanılarak üretilmektedir [31]. Akım gözlem istasyonu verisi de Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan temin edilmiştir. Meteorolojik gözlem istasyonları ve akım gözlem istasyonları Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2'de ise istasyonlara ait bilgiler verilmektedir.

**Çizelge 1.** Akım ve meteorolojik gözlem istasyonları

İstasyon	İl	İlçe	Kot (m)	X (m)	Y (m)
Akım Gözlem İstasyonları					
D06-A042	İzmir	Tire	380	578969,81	4212510,76
D06-A026	İzmir	Ödemiş	250	593649,93	4215772,32
D06-A013	İzmir	Bayındır	130	564960,54	4231603,69
D06-A012	İzmir	Ödemiş	130	572935,52	4231692,44
D06-A025	İzmir	Bayındır	120	548424,73	4232629,98
D06-A027	İzmir	Bayındır	140	559978,42	4233731,47
D06-A011	İzmir	Ödemiş	220	581220,79	4237941,20
Meteorolojik Gözlem İstasyonları					
w379275	Aydın	Germencik	330	543978,29	4199017,80
w379278	Aydın	İncirliova	797	571483,35	4199211,53
w379281	Aydın	Köşk	1154	598901,06	4199496,60
w382272	İzmir	Menderes	162	516491,40	4233534,50
w382275	İzmir	Bayındır	559	543791,95	4233635,94
w382278	İzmir	Ödemiş	478	571180,32	4233830,19
w382281	İzmir	Kiraz	583	598481,68	4234116,02
w382284	İzmir	Kiraz	1108	625871,24	4234495,30

### 2.3. Model Kurulumu ve Yaklaşımı

SWAT yazılımı, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) büyük ve karmaşık su havzalarında arazi kullanımı ve yönetiminin su miktarı ve kalitesi üzerindeki uzun vadeli etkisini değerlendirmek üzere geliştirilmiştir [32]. Model, sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanarak havza sınırını çizdikten sonra havzayı birbirleriyle bağlantılı alt havzalara bölmektedir. Daha sonra bu alt havzalar toplu, etkileşimli olmayan Hidrolojik İşlem Birimlerine (HİB) bölünmektedir. Alt havzalar, topoğrafyaya göre oluşturulur, böylece aynı akış segmentine akan alanları temsil ederler.

HİB'ler, bir alt havza içindeki benzersiz arazi kullanımı, toprak ve eğim kombinasyonlarını temsil eder. Şöyle ki, model aynı arazi kullanımına, toprak sınıfına ve eğime sahip olup alt havza içerisinde dağılmış bölgeleri homojen, uzamsal olarak açık olmayan bir HİB'de toplamaktadır. Akış ağı, en az bir ana kanal ve alt havza başına bir yan kanal ile temsil edilmektedir. Ek olarak, göletler, sulak alanlar ve rezervuarlar tanımlanabilir. SWAT'taki simülasyonlar iki ana bölümden oluşur: toprak aşaması ve yönlendirme aşaması. Toprak aşamasındaki simülasyonlar, her HİB için günlük olarak hesaplanan su dengesi denkleminde göre yapılır (Eşitlik 1).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (P - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

$SW_t$  toprağın nihai su içeriğini [mm],  $SW_0$  toprağın başlangıç su içeriğini [mm],  $t$  zamanı [gün],  $P$  yağış miktarını [mm],  $Q_{surf}$  yüzeysel akışı [mm],  $E_a$  evapotranspirasyonu [mm],  $W_{seep}$  toplam sızıntı suyunu [mm],  $Q_{gw}$  ise baz akışı [mm] göstermektedir. Yönlendirme aşaması olan ikinci aşamada, bu yükler ana kanal ağı üzerinden havzanın çıkışına yönlendirilir. Bu arada, suyun buharlaşması, partiküllerin çökmesi, kirleticilerin bozulması gibi prosesler göz önünde bulundurularak, kütlelerin korunumu ilkesi uygulanır [33]. Yüzeysel akış, USDA Doğal Kaynakların Korunması Hizmeti eğrisi sayısı yöntemi [34] veya Green ve Ampt infiltrasyon modeli [35] kullanılarak simüle edilebilir.

Evapotranspirasyon Hargreaves, Priestly-Taylor ve/veya Penman-Monteith yöntemi kullanılarak tahmin edilebilir [36,37].

Gerekli veriler modelin formatına uyumlu şekilde getirildikten sonra, model ara yüzü olarak ArcSWAT 2012 [38] versiyonu kullanılmıştır. Havza ileri derecede yönetilen bir havza olduğu için bazı akarsular kanala çevrilmiş ve hatta Küçük Menderes Nehri yatağı da büyük ölçüde değiştirilmiştir. Bu değişikliklerin modele tanıtılması gerekmektedir. Havza sınırının belirlenmesi aşamasında ArcSWAT programının "burn-in" (var olan verileri DEM verisine gömmek) özelliği kullanılmıştır. Bu özellik sayesinde Google Earth programı [39] ile belirlenen değişiklikler modele tanıtılabilmektedir. Buna ek olarak, akarsu ağının yüksek doğrulukta belirlenmesi için drenaj alanın eşik değeri 200 ha olarak belirlenmiştir. Alt havza çıkışı belirlenirken izleme istasyonları ve mevcut baraj ve göletler dikkate alınmıştır. Toplamda 60 alt havza (Şekil 2) ve 208 HİB oluşturulmuştur. Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen verilere göre baraj ve gölet verisi girilmiştir. Baraj ve göletlere ek olarak, halk sulamaları için çekilen su miktarları da modele tanıtılmıştır. İklim verisi 1979 ile 2013 yılları arasında kapsamaktadır. Ancak Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen akım gözlem verisi 1987 ile 2013 yılları arasında olduğundan, ısınma süresi olarak modele 8 yıl girilmiştir ve simülasyonlar ay bazında yapılmıştır.

### 2.4. Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması

SWAT modeli, SWAT-CUP (SWAT Calibration Uncertainty Procedures) [40] yazılımında SUFI-2 algoritması kullanılarak kalibre edilmiştir. SWAT-CUP duyarlılık analizi, çok alanlı kalibrasyon ve belirsizlik analizi için kullanılabilir. SUFI-2 tekrarlamalı (iteratif) bir algoritmadır ve tüm model belirsizliklerini parametre aralıklarına eşler. Sonuçtaki toplam belirsizlik, bir çıktı değişkeninin kümülatif dağılımının %2,5 ve %97,5 seviyesinde hesaplanan %95 öngörü belirsizliği (95PPU) ile belirlenir [41]. SWAT girdi parametreleri süreç tabanlıdır ve gerçekçi bir belirsizlik aralığında tutulmalıdır. SWAT programında kalibrasyon ve doğrulama işleminde ilk adım, belirli bir havza için

en hassas parametrelerin belirlenmesidir. Kullanıcı, uzman görüşüne veya duyarlılık analizine göre hangi değişkenlerin ayarlanacağını belirler. Duyarlılık analizi, model girdilerindeki (parametreler) değişikliklere göre model çıktısındaki değişim oranını belirleme işlemidir. SUFI-2 algoritmasında duyarlılık analizi t-testi vasıtasıyla yapılmaktadır. Buna göre, t-testi değeri ne kadar büyük olursa, parametre o kadar hassas olur; p-değeri t-değerinin önemini gösterirken, p-değeri ne kadar küçük olursa, bir parametrenin yanlışlıkla hassas olarak atanması o kadar az olur.

Bu çalışma kapsamında, p-değeri analizine göre herhangi bir parametrenin p-değeri değeri 0,05 değerinden küçük olduğu sürece model sonuçlarını etkilemektedir ve sıfıra yaklaştıkça etkileme derecesi artmaktadır. İkinci adım kalibrasyon işlemidir. Kalibrasyon işlemi tüm istasyonlar için tek seferde veya ayrı ayrı yapılabilir.

Bu çalışma kapsamında her istasyon için kalibrasyon ayrı bir şekilde yapılmıştır. Son adım, doğrulama (validasyon) işlemidir. Doğrulama, belirli bir sahaya özgü modelin yeterince doğru simülasyonlar yapabildiğini gösterme işlemidir, ancak "yeterince doğru" kavramı projenin hedeflerine göre değişebilir. Doğrulama işleme, kalibrasyon işlemi sırasında belirlenen

parametreleri kullanarak modeli çalıştırmayı ve kalibrasyonda kullanılmayan gözlemlenen veriler ile tahminleri karşılaştırmayı içerir [42]. Literatürde SUFI-2 uygulanması adım adım farklı çalışmalarda anlatılmaktadır [41-45].

SUFI-2 algoritması kapsamında ilk olarak SWAT modeli kurulmasının simülasyonu kontrol edilir. Model başlangıç parametreleriyle çalıştırılır ve 95PPU grafiği çizilir ve böylelikle genel olarak modelin doğru kurulup kurulmadığı anlaşılır. Daha sonra tüm süre kalibrasyon ve validasyon sürelerine ayrılır ve duyarlılık analizi yapılır. Bir sonraki adımda model her iterasyonda 500 ile 1000 kez olacak şekilde iterasyonlar yapılır.

Son olarak, modelin performansı objektif fonksiyonlar, P-faktör ve R-faktör ile belirlenir. P-faktör ve R-faktör endeksleri modelin uyum iyiliğini ve belirsizlik durumunu belirler. P-faktör, 95PPU tarafından sarılmış izleme verilerinin yüzdesidir. R-faktör ise 95PPU bandının ortalama kalınlığının izleme verisinin standart sapmasına bölünmesiyle elde edilir. Simülasyonun izleme verileriyle tam olarak eşleştiği ideal durumda, P-faktör ve R-faktör sırasıyla %1 ve 0 olma eğilimindedir, ancak farklı kaynaklardan gelen hatalardan dolayı gerçek durumlar için bu değerler elde edilemez [45].

**Çizelge 2.** Objektif fonksiyonlar

(Q: değişken, m: ölçülmüş, s: simüle edilmiş,  $\bar{Q}$ : ortalama, r: doğrusal regresyon katsayısı,  $\alpha$  simülasyon ve ölçülmüş değerlerinin standart sapmalarının oranını ve  $\beta$  ise simülasyon ve ölçülmüş ortalamasının oranını göstermektedir)

1) R <sup>2</sup>	Determinasyon katsayısı	$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2}$
2) NSE	Nash-Sutcliffe Yeterliliği	$NSE = 1 - \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2}$
3) PBIAS	Mevcut Sapma	$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_s)_i}{\sum_{i=1}^n Q_{m,i}}$
4) KGE	Kling- Gupta Yeterliliği	$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 - (\alpha-1)^2 - (\beta-1)^2}$

Debi için P-faktör değerinin 0,6-0,8 aralığında olması, R-faktör için ise 1 değeri önerilmektedir. Ancak çalışma alanına ve parametre girdilerine bağlı olarak P-faktörü için 0,5'ten büyük ve R-faktör için 1,5'ten küçük değerler yeterli olacaktır [46].

Bu indislere ek olarak, simülasyon ile izleme verilerin arasındaki uyum iyiliğini belirlemek için objektif fonksiyonlar kullanılabilir. SWAT kalibrasyon ve validasyonunu değerlendirmek için SWAT-CUP programı kapsamında farklı objektif fonksiyonlar mevcuttur. Objektif fonksiyonlara ait

bilgiler SWAT-CUP kullanım kılavuzunda ve farklı çalışmalarda bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan ve SWAT-CUP kullanım kılavuzunda anlatılan objektif fonksiyonlar Çizelge 2'de verilmektedir [45].

Şimdiye kadar, kalibrasyon ve validasyon için bildirilen en yaygın kullanılan objektif fonksiyonlar  $R^2$  ve NSE'dir [42] Kalibrasyon sonuçlarının uygunluğunu farklı kaynaktan elde edilen literatür değerleriyle karşılaştırmak için Çizelge 3'deki değerler kullanılmıştır.

**Çizelge 3.** Model sonuçlarının değerlendirilmesi [47-49]

Performans Derecelendirilmesi	Çok iyi	İyi	Yeterli	Yetersiz
$R^2$	$0,75 < R^2 \leq 1$	$0,65 < R^2 \leq 0,75$	$0,5 < R^2 \leq 0,65$	$R^2 \leq 0,5$
NSE	$0,75 < NSE \leq 1$	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$0,5 < NSE \leq 0,65$	$NSE \leq 0,5$
PBIAS	$PBIAS < +10$	$+10 \leq PBIAS < +15$	$+15 \leq PBIAS < +25$	$PBIAS \geq +25$
KGE	$0,9 \leq KGE \leq 1$	$0,75 \leq KGE < 0,9$	$0,5 \leq KGE < 0,75$	$KGE < 0,5$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Her istasyon için yapılan ayrı ayrı kalibrasyon işleminde aynı parametreler ve başlangıç aralıkları girilmiştir. Kalibrasyon işlemi için 21 parametre kullanılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 5'te her istasyon için duyarlılık analizi yapılmış ve parametrelerin hassasiyeti derecelendirilmiştir. P-değeri duyarlılık analizine göre havzanın kuzeyinde kalan istasyonlar toplam 7 parametreye duyarlı iken, güneydoğuda kalan istasyonlar (D06-A026 ve D06-A042) toplam 9 parametreye duyarlıdır. Modelin en çok duyarlı olduğu parametre CN2 parametresini (istasyon D06-A042 hariç), SOL\_BD(katman#), RCHRG\_DP ve SOL\_K(katman#) parametreleri takip etmektedir. CN2, SCS eğrisi numarası, toprağın geçirgenliğinin, arazi kullanımının ve

topraktaki mevcut su miktarının bir fonksiyonudur. CN2 değeri 35 ile 98 aralığındadır. SOL\_BD (katman#), nemli kütle yoğunluğu, katı partiküllerin kütlelerinin toplam hacime oranını ifade eder. SOL\_BD (katman#) değeri  $0,9 \text{ g/cm}^3$  ile  $2,5 \text{ g/cm}^3$  arasında olması gerekiyor.

RCHRG\_DP, Derin akifer perkolasyon oranı, derin akiferleri yeniden beslemek üzere kök bölgesinden sızma oranını ifade etmektedir. RCHRG\_DP değeri 0,0 ile 1,0 aralığında tutulmalıdır. SOL\_K(katman#), Doymuş hidrolik iletkenlik, topraktaki su akış hızını (akış yoğunluğunu) hidrolik gradyanla ilişkilendirir ve toprağın içindeki su hareketinin kolaylığının bir ölçüsüdür. SOL\_K(katman#) değeri 0,0 ile 2000 aralığında olabilir. Parametreler ile ilgili aralıklara SWAT girdi/çıktı dokümantasyonlarında ve SWAT-CUP programı ara yüzünde erişilebilir.



**Çizelge 4.** Kalibrasyon ve validasyon için kullanılan parametreler ve kalibrasyon için başlangıç aralıkları

İlgili Parametre ve Tanımı (İngilizce)	İlgili Parametre ve Tanımı	Parametre İşlemi	Başlangıç Aralığı	
			Alt Sınır	Üst Sınır
<b>CN2:</b> initial SCS runoff curve number for moisture condition II	<b>CN2:</b> Nem durumu II için başlangıç SCS akış eğrisi numarası	a_CN2.mgt	-30	15
<b>SOL_AWC:</b> Available water capacity of the soil layer (mm H <sub>2</sub> O/mm soil)	<b>SOL_AWC:</b> Toprak tabakasının mevcut su kapasitesi	r_SOL_AWC(katman #).sol	-0,4	0,4
<b>ESCO:</b> Soil evaporation compensation factor	<b>ESCO:</b> Toprak buharlaşma kompanzasyon faktörü	v_ESCO.hru	0,8	1
<b>EPCO:</b> Plant uptake compensation factor	<b>EPCO:</b> Bitki alımı kompanzasyon faktörü	v_EPCO.hru	0,01	1
<b>OV_N:</b> Manning's "n" value for overland flow	<b>OV_N:</b> Yüzeysel akışı için Manning "n" katsayısı	r_OV_N.hru	-0,2	0,6
<b>SURLAG:</b> Surface runoff lag time	<b>SURLAG:</b> Yüzeysel akış gecikme süresi	v_SURLAG.bsn	0,05	20
<b>ALPHA_BF:</b> Baseflow alpha factor (1/days)	<b>ALPHA_BF:</b> Baz akış alfa faktörü (1/gün)	v_ALPHA_BF.gw	0	1
<b>GW_REVAP:</b> Groundwater "revap" coefficient	<b>GW_REVAP:</b> Yeraltı suyu "revap" katsayısı	v_GW_REVAP.gw	0,02	0,1
<b>REVAPMN:</b> Threshold depth of water in the shallow aquifer for "revap" to occur (mm H <sub>2</sub> O)	<b>REVAPMN:</b> Sığ akiferdeki "revap" durumunun meydana gelmesi için suyun eşik derinliği (mm H <sub>2</sub> O)	a_REVAPMN.gw	-30	30
<b>GW_DELAY:</b> Groundwater delay (days)	<b>GW_DELAY:</b> Yeraltı suyu gecikmesi (gün)	v_GW_DELAY.gw	20	400
<b>GWQMN:</b> Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur (mm H <sub>2</sub> O)	<b>GWQMN:</b> Geri dönüşün gerçekleşmesi için gereken sığ akiferdeki su eşik derinliği (mm H <sub>2</sub> O)	v_GWQMN.gw	500	1500
<b>RCHRG_DP:</b> Deep aquifer percolation fraction	<b>RCHRG_DP:</b> Derin akifer perkolasyon oranı	v_RCHRG_DP.gw	0	1
<b>CH_N2:</b> Manning's "n" value for the main channel	<b>CH_N2:</b> Ana kanal için Manning "n" katsayısı	v_CH_N2.rte	0	0,3
<b>CH_K2:</b> Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium (mm/hr)	<b>CH_K2:</b> Ana kanal alüvyonunda etkin hidrolik iletkenlik (mm/sa)	v_CH_K2.rte	0	50
<b>CH_L2:</b> Length of main channel (km)	<b>CH_L2:</b> Ana kanalın uzunluğu (km)	v_CH_L2.rte	0	200
<b>CH_D:</b> depth of main channel from top of bank to bottom (m)	<b>CH_D:</b> Ana kanalın bankın tepesinden dibe kadar derinliği (m)	v_CH_D.rte	0,1	10
<b>SOL_K:</b> Saturated hydraulic conductivity (mm/hr)	<b>SOL_K:</b> Doymuş hidrolik iletkenlik (mm/sa)	r_SOL_K(katman#).sol	-0,8	0,8
<b>SOL_BD:</b> Moist bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	<b>SOL_BD:</b> Nemli kütle yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	r_SOL_BD(katman#).sol	-0,5	0,6
<b>SOL_Z:</b> Depth from soil surface to bottom of layer (mm)	<b>SOL_Z:</b> Yüzey topraktan alt katmana kadar derinlik (mm)	r_SOL_Z(katman#).sol	-0,3	0,3
<b>HRU_SLP:</b> Average slope steepness (m/m)	<b>HRU_SLP:</b> Ortalama eğim dikliği (m/m)	r_HRU_SLP.hru	-0,2	0,2
<b>SLSUBBSN:</b> Average slope length (m)	<b>SLSUBBSN:</b> Ortalama eğim uzunluğu (m)	r_SLSUBBSN.hru	-0,2	0,2

**Not:** v\_\_: mevcut parametre değerinin belirli bir sayı ile değiştirileceği anlamına gelir, a\_\_: belirli bir değer için mevcut parametre değerine ekleneceği anlamına gelir, r\_\_: mevcut bir parametre değerinin (1 + verilen değer) ile çarpımını göstermektedir.

**Çizelge 5.** Duyarlılık ve belirsizlik analizi

İstasyon Parametre	D06-A011	D06-A012	D06-A013	D06-A025	D06-A026	D06-A027	D06-A042
	İstasyon Bazlı Belirsizlik Derecelendirmesi						
a_CN2.mgt	1	1	1	1	2	1	20
r_SOL_AWC().sol	5	7	5	4	7	5	8
v_ESCO.hru	8	5	6	6	6	6	5
v_EPCO.hru	19	20	14	19	13	14	13
r_OV_N.hru	17	16	20	21	17	18	14
v_SURLAG.bsn	16	18	9	9	19	9	16
v_ALPHA_BF.gw	15	13	12	10	11	10	11
v_GW_REVAP.gw	14	12	10	11	5	21	4
a_REVAPMN.gw	11	14	16	12	18	12	19
v_GW_DELAY.gw	3	21	11	17	4	15	2
v_GWQMN.gw	20	9	13	13	12	16	10
v_RCHRG_DP.gw	2	3	3	5	8	4	6
v_CH_N2.rte	12	19	19	18	16	20	12
v_CH_K2.rte	9	10	15	14	21	11	18
v_CH_L2.rte	10	8	8	8	14	8	15
v_CH_D.rte	18	11	17	15	15	13	17
r_SOL_K().sol	7	4	4	3	3	3	3
r_SOL_BD().sol	4	2	2	2	1	2	1
r_SOL_Z().sol	6	6	7	7	9	7	7
r_HRU_SLP.hru	13	15	18	16	10	17	9
r_SLSUBBSN.hru	21	17	21	20	20	19	21

Çizelge 6 ve Şekil 3 ise her istasyon için kalibrasyon sonuçlarını göstermektedir. D06-A013 istasyonu hariç diğer istasyonlarda olmak üzere 2 iterasyon yapılmıştır. D06-A013 istasyonu için 3 iterasyon yapılmıştır. Her iterasyon, modelin 500 kere çalıştırılmasını kapsamaktadır. Hangi istasyonda kaç kez iterasyon yapılması gerektiğini P-faktör değerine göre karar verildi. Validasyon süresi için kalibre edilmiş bir modelin alt ve üst sınırlarının uygun olabilmesi için P-faktör değeri 0,6'dan olması gerekmektedir. Validasyon işlemi, kalibre edilmiş modelin validasyon süresi için ayrılmış izleme verileri kullanılarak 500 kez çalıştırılmak üzere bir iterasyon ile yapılmıştır. Çizelge 7 modelin performansını göstermektedir.

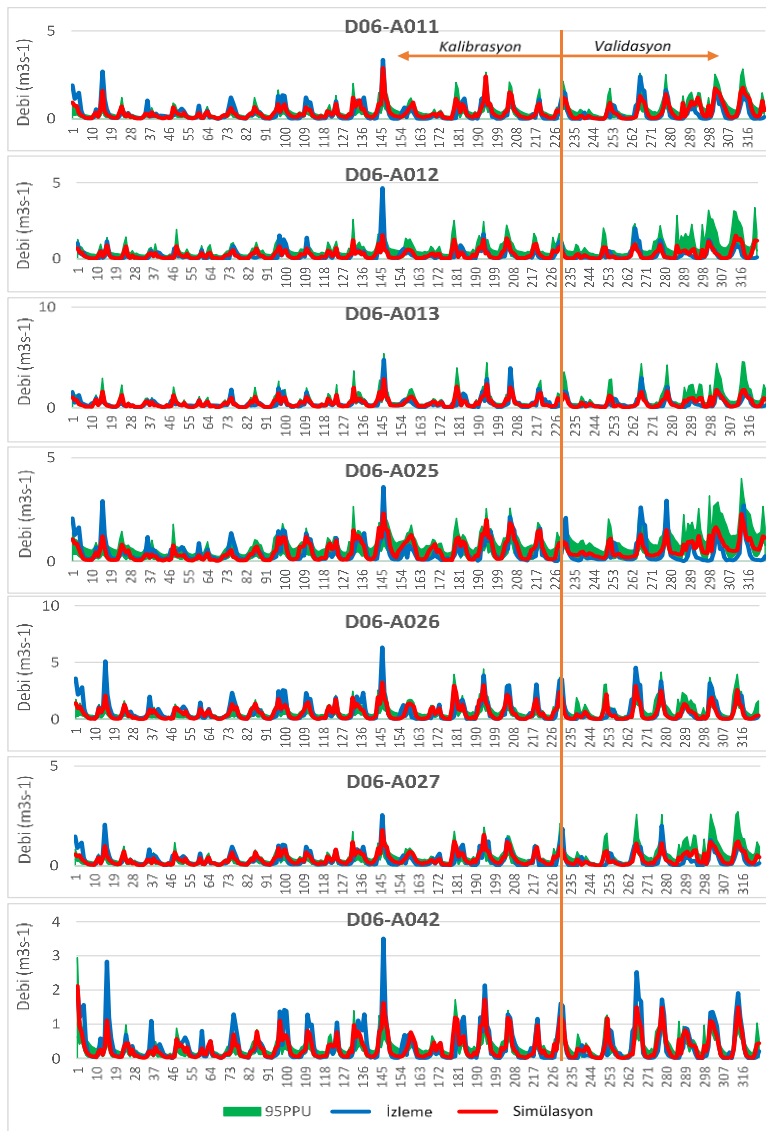
Modelin performansı P-faktör, R-faktör ve Çizelge 2'de verilen objektif fonksiyonlarla belirlenmiştir. R<sup>2</sup> değerleri kalibrasyon için 0,45 ile 0,69 aralığında iken, validasyon için 0,36 ile 0,79 aralığındadır. NSE değerleri ise kalibrasyon için 0,44 ile 0,69 aralığında değişiklik gösterirken, validasyon için 0,18 ile 0,76 aralığındadır. PBIAS değerleri kalibrasyon için D06-A026 istasyonu hariç 10'un altındadır. D06-A026 istasyonunda ise PBIAS değeri 14'tür. Validasyon için PBIAS değerleri 5,8 ile -43,6 aralığında değişmektedir. KGE değerleri kalibrasyon için 0,52 ile 0,73 aralığında iken, validasyon için 0,33 ile 0,69 aralığındadır.

**Çizelge 6.** Kalibre edilmiş modelin alt ve üst sınır aralıkları

İstasyon Parametre	D06-A011		D06-A012		D06-A013		D06-A025		D06-A026		D06-A027		D06-A042	
	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır
a_CN2.mgt	-44,07	-4,68	-43,93	-4,64	-47,16	-16,62	-41,91	-3,96	-44,07	-4,68	-50,14	-6,71	-44,07	-4,68
r_SOL_AWC().sol	0,35	0,25	-0,06	-0,29	0,14	0,57	-0,11	0,48	-0,65	0,05	-0,04	0,67	-0,65	0,05
v_ESCO.hru	0,89	1,00	0,86	0,97	0,74	0,87	0,86	0,97	0,89	1,00	0,89	1,00	0,89	1,00
v_EPCO.hru	0,30	0,89	0,35	1,04	0,25	0,76	0,16	0,89	0,30	0,89	0,37	1,00	0,30	0,89
r_OV_N.hru	0,03	0,50	-0,51	0,23	0,08	0,48	0,37	1,10	0,03	0,50	0,03	0,50	0,03	0,50
v_SURLAG.bsn	9,71	29,05	0,00	12,15	7,31	15,52	0,00	12,19	9,71	29,05	0,00	12,87	9,71	29,05
v_ALPHA_BF.gw	0,47	1,00	0,27	0,80	0,00	0,36	0,00	0,65	0,47	1,00	0,00	0,66	0,47	1,00
v_GW_REVAP.gw	0,04	0,09	0,06	0,13	0,09	0,16	0,05	0,11	0,04	0,09	0,03	0,08	0,04	0,09
a_REVAPMN.gw	-1,30	56,14	-13,54	19,42	11,51	52,27	-17,08	14,32	-1,30	56,14	-11,50	25,54	-1,30	56,14

**Çizelge 6. (Devam)**

v_GW_DELAY.gw	0,00	216,69	147,83	403,65	199,30	363,87	181,27	503,97	0,00	216,69	0,00	240,25	0,00	216,69
v_GWQMN.gw	13,40	1004,6	934,40	1803,6	1110,9	1546,4	67,40	1022,6	13,40	1004,6	960,40	1881,6	13,40	1004,6
v_RCHRG_DP.gw	0,00	0,61	0,00	0,52	0,02	0,41	0,10	0,70	0,00	0,61	0,00	0,60	0,00	0,61
v_CH_N2.rte	0,03	0,21	0,00	0,16	0,00	0,11	0,11	0,32	0,03	0,21	0,00	0,18	0,03	0,21
v_CH_K2.rte	0,00	33,28	0,00	26,48	13,03	47,60	18,22	54,68	0,00	33,28	23,47	70,43	0,00	33,28
v_CH_L2.rte	0,00	118,72	83,08	249,32	38,41	106,90	21,48	140,52	0,00	118,72	0,00	114,12	0,00	118,72
v_CH_D.rte	3,86	11,37	0,78	6,93	3,69	6,64	4,04	11,94	3,86	11,37	4,56	13,48	3,86	11,37
r_SOL_K().sol	-0,27	0,80	-0,64	0,32	0,21	0,14	-0,90	0,23	-0,27	0,80	-0,38	0,45	-0,27	0,80
r_SOL_BD().sol	-0,53	0,22	-0,22	0,35	-0,08	0,38	-0,40	0,27	-0,53	0,22	-0,49	0,24	-0,53	0,22
r_SOL_Z().sol	-0,04	0,49	-0,02	0,54	0,04	0,38	-0,05	0,45	-0,04	0,49	-0,14	0,19	-0,04	0,49
r_HRU_SLP.hru	-0,23	0,06	-0,08	0,15	-0,16	0,09	-0,36	0,01	-0,23	0,06	-0,13	0,09	-0,23	0,06
r_SLSUBSN.hru	-0,21	0,06	-0,03	0,33	-0,08	0,11	-0,08	0,16	-0,21	0,06	-0,13	0,09	-0,21	0,06



**Şekil 3. Her istasyon için kalibrasyon ve validasyon sonuçları**

Çizelge 3'de verilen kriterlere göre modelin performansı değerlendirildiğinde, kalibrasyon sonuçları için D06-A012, D06-A013, D06-A025, D06-A026 ve D06-A027 istasyonlarında  $R^2$ , NSE ve KGE objektif fonksiyonlarına göre model iyi seviyede iken, PBIAS'e göre, D06-A026 hariç, model çok iyi seviyededir. D06-A026 istasyonunda PBIAS'e göre model iyi seviyededir. D06-A011 ve D06-A042 istasyonunda ise modelin performansını belirleyen istatistiklere dayalı model performansı iyi ve çok iyi seviyeleri arasında değişmektedir. Validasyon için değerlendirmeler yapıldığında, D06-A011, D06-A013, D06-A026, D06-A027 ve D06-A042 istasyonlarında modelin performansı çok iyi, iyi ve yeterli olarak derecelendirilmektedir. D06-A011 istasyonunda PBIAS'e göre model yetersiz kalmış olsa da genel olarak performansı etkilememektedir. D06-A012 istasyonunda KGE'e göre model yeterli seviyede olsa bile, D06-A012 ve D06-A025 istasyonlarında model sonuçları yetersiz seviyededir. Bu iki istasyonda modelin yetersiz kalmasına mevcut model belirsizlikleri sebep olmaktadır. Bu belirsizliklerden en önemlisi bölgede inşaat edilmekte olan barajlardan ötürü kaynaklanan belirsizliklerdir. Su çekimlerinden kaynaklanan belirsizlikler de tüm istasyonlarda modelin performansını olumsuz şekilde etkilemektedir. P-faktör ve R-faktör değerleri kalibrasyon ve

validasyon için literatürde verilen kabul edilebilir değerler aralığındadır [50]. Model sonuçları genel olarak literatürde verilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir seviyededir. Modelin D06-A012 ve D06-A025 istasyonlarında validasyon için yeterli sonuç vermemesinin sebebi istasyonlarda artış gösteren belirsizliklerdir. R-faktör değeri kalibrasyon için 0,57 ile 1,23 arasında değişmektedir ve validasyon için R-faktör değeri artış göstermektedir (0,58-2,23). Yüksek bir R-faktör değeri belirsizliğin arttığının bir göstergesidir. Havzada son yıllarda yapılan baraj ve göletler, regülatörler ve dere islahları, validasyon sürecindeki belirsizliklerin artmasına sebep olmuştur.

Genel olarak, model belirsizlikleri şu faktörlerden kaynaklanmaktadır: (i) kavramsal basitleştirmeler (örneğin, akış partiyonu için SCS eğrisi numarası yöntemi), (ii) havzada gerçekleşen, ancak programa dahil edilmeyen süreçler (örneğin rüzgar erozyonu) (iii) programa dahil edilen, ancak su havzasındaki durumları, veri sınırlandırması nedeniyle modelci tarafından bilinmeyen veya hesaplanamayan bileşenler (örneğin, barajlar ve rezervuarlar, su transferleri, su kalitesini etkileyen hayvan çiftliklerinin yönetimi vb.) ve (iv) girdi veri kalitesi [50].

**Çizelge 7.** Modelin performansını belirleyen istatistiklere ait sonuçlar

İstasyon	Kalibrasyon						Validasyon					
	P-Faktör	R-Faktör	$R^2$	NSE	PBIAS	KGE	P-Faktör	R-Faktör	$R^2$	NSE	PBIAS	KGE
D06-A011	0,68	0,9	0,69	0,69	0,4	0,73	0,49	1,2	0,59	0,51	-31,9	0,6
D06-A012	0,68	1,23	0,45	0,44	-7,6	0,52	0,56	2,23	0,36	0,18	-24,6	0,53
D06-A013	0,66	0,93	0,56	0,56	-5,7	0,68	0,58	1,63	0,53	0,47	-14,4	0,69
D06-A025	0,8	1,36	0,57	0,56	-4,4	0,72	0,44	1,58	0,39	0,29	-43,6	0,33
D06-A026	0,61	0,57	0,61	0,58	14	0,55	0,55	0,59	0,78	0,71	21,7	0,59
D06-A027	0,62	0,93	0,62	0,61	-7,4	0,71	0,39	1,36	0,56	0,52	-23,9	0,6
D06-A042	0,64	0,58	0,67	0,65	4,8	0,62	0,42	0,59	0,79	0,76	5,8	0,69

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada SWAT modeli kullanılarak Küçük Menderes Alt Havzası için hidrolojik modelleme yapılmıştır. Model SWAT-CUP programı kullanılarak her istasyon için ayrı ayrı kalibre

edilmiştir. SUFI-2 metodu ile kalibre edilen model en çok CN2, SOL\_BD(katman#), RCHRG\_DP ve SOL\_K(katman#) parametrelerine duyarlı olduğu saptanmıştır. SUFI-2 izleme verilerini iyi bir şekilde yakaladığını P-faktör değeri kanıtlamaktadır. Kalibrasyon için P-faktör değeri 0,61 ile 0,8 aralığında değişmektedir. Objektif

fonksiyonlara göre kalibrasyon işlemi değerlendirildiğinde, modelin genel olarak yeterli seviyede olduğu tespit edilmiştir. Havzanın ileri derecede yönetilen bir havza olması çalışmadaki belirsizliklerin de artmasına sebep olmaktadır. Programa dahil edilen, ancak su havzasındaki durumları, veri sınırlandırması nedeniyle modelci tarafından bilinmeyen veya hesaplanamayan bileşenler havzada en çok belirsizliklere sebep olan faktörlerdir ve bunun neticesinde modelin sonuçları olumsuz şekilde etkilenmektedir. Küçük Menderes Havzası'nda nüfusun artışı, tarım faaliyetlerin yoğun olması, hayvancılık faaliyetlerin bulunması gibi faktörler su ihtiyacını artırmaktadır. Su ihtiyacının fazla olmasına rağmen havzada kişi başına düşen su miktarı yıllık 500 m<sup>3</sup> 'ün altındadır. Su fakiri olan havzada iklim değişikliği ve kontrolsüz su çekimleri bu durumu daha da zorlaştırmaktadır. Su sıkıntısı yaşayan Küçük menderes gibi bir havzada su kaynaklarının yönetiminin en uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Su kaynakları hem miktar hem de kalite açısından yönetilmelidir. Bu çalışma, havzada iklim değişikliğinin ve en iyi yönetim uygulamalarının etkisini anlamak için yapılan çalışmalarda ve su kalitesi modellemesi gibi farklı çalışmada kullanılabilir. Bu çalışma havza için ilk modelleme çalışmalarından olduğu için su kaynakları yönetiminde yapılacak farklı çalışmalara katkı sağlayacaktır. Bu çalışmanın devamı olarak SWAT modeli kullanılarak besi maddesi taşınımı ve akıbeti için su kalitesi modellemesi yapılacaktır.

#### 4. KAYNAKLAR

1. Daniel, E.B., Camp, J.V., LeBoeuf, E.J., Penrod, J.R., Dobbins, J.P., Abkowitz, M.D., 2011. Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review, The Open Hydrology Journal, 5(1), 26-50.
2. Singh, V.P., Frevert, D.K., 2010. Watershed Models. NY: CRC Press. 28, 678-678.
3. Arceo, M.G.A.S., Cruz, R.V.O., Tiburan Jr, C.L., Balatibat, J.B., 2018. Modeling the Hydrologic Responses to Land Cover and Climate Changes of Selected Watersheds in the Philippines Using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model, DLSU Business & Economics Review, 28, 84-101.
4. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., 1998. Large area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development "Basin Scale Model Called SWAT (Soil and Water Speed and Storage, Advanced Software Debugging Policy to Meet the Needs, and the Management to the Tank Model).", American Water Resources Association, 34, 73-89.
5. USDA ve Texas A. M., U. SWAT | Soil & Water Assessment Tool. Available from: <https://swat.tamu.edu/>. 16, 11, 2018.
6. Akiner, M.E., Akkoyunlu, A., 2012. Modeling and Forecasting River Flow Rate from the Melen Watershed, Journal of Hydrology, Turkey, 456-457:121-129.
7. Başkan, O., Özcan, Z., Düzgün, H.Ş., Kentel, E., Alp, E., 2017. A Pollution Fate and Transport Model Application in a Semi-arid Region: Is Some Number Better Than no Number?, Science of The Total Environment, 595: 425-440.
8. Bucak, T., Trolle, D., Andersen, H.E., Thodsen, H., Erdoğan, Ş., Levi, E.E., Filiz, N., Jeppesen, E., Beklioğlu, M., 2017. Future Water Availability in the Largest Freshwater Mediterranean Lake is at Great Risk as Evidenced from Simulations with the SWAT Model, Science of The Total Environment, 581-582: 413-425.
9. Bucak, T., Trolle, D., Tavşanoğlu, N., Akıroğlu, A.İ., Zen, A., Jeppesen, E., Beklioğlu, M., 2018. Modeling the Effects of Climatic and Land Use Changes on Phytoplankton and Water Quality of the Largest Turkish Freshwater Lake: Lake Beyşehir, Science of The Total Environment, 621(802-816 Contents): 802-816.
10. Bulut, E., Aksoy, A., 2008. Impact of Fertilizer Usage on Phosphorus Loads to Lake Uluabat, Desalination, 226(1-3), 289-297.
11. Coppens, J., Zen, A., Tavşanoğlu, N., Erdoğan, Ş., Levi, E.E., Yozgatlıgil, C., Jeppesen, E., Beklioğlu, M., 2016. Impact of Alternating Wet and Dry Periods on Long-term Seasonal Phosphorus and Nitrogen Budgets of Two

- Shallow Mediterranean Lakes, *Science of the Total Environment*, 563-564: 456-467.
12. Cuceloglu, G., Abbaspour, K.C., Ozturk, I., 2017. Assessing the Water-Resources Potential of Istanbul by Using a Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Hydrological Model, *Water*, 9(10), 814.
  13. Duru, U., Wohl, E., Ahmadi, M., 2017. Factors Controlling Sediment Load in the Central Anatolia Region of Turkey: Ankara River Basin, *Environmental Management*, 59(5), 826-841.
  14. Duru, U., Arabi, M., Wohl, E.E., 2018. Modeling Stream Flow and Sediment Yield Using the SWAT Model: A Case Study of Ankara River basin, Turkey, *Physical Geography*, 39(3), 264-289.
  15. El-Sadek, A., 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.
  16. Irvem, A., El-Sadek, A., 2018. Evaluation of Streamflow Simulation By SWAT Model for The Seyhan River Basin Seyhan, Çukurova J. Agric. Food Sci., 33(2), 99-110.
  17. Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Guzel, C., Gönenç, E., 2014. Evaluating the Impact of Climate Change on Groundwater Resources in a Small Mediterranean Watershed, *Science of the Total Environment*, 499, 437-447.
  18. Ertürk, A., Ekdal, A., Gurel, M., Karakaya, N., Cuceloglu, G., Gönenç, E., 2017. Model-based Assessment of Groundwater Vulnerability for the Dalyan Region of Southwestern Mediterranean Turkey, *Regional Environmental Change*, 17(4), 1193-1203.
  19. Güngör, Ö., Göncü, S., 2013. Application of the Soil and Water Assessment Tool Model on the Lower Porsuk Stream Watershed, *Hydrological Processes*, 27(3), 453-466.
  20. Gungor, K., Karakaya, N., Evrendilek, F., Akgul, S., Baskan, O., Cebel, H., Farhoud, H.J., Turkecan, O., Yasar, S., Gumus, O., 2016. Spatiotemporal Modeling of Watershed Nutrient Transport Dynamics: Implications for Eutrophication Abatement, *Ecological Informatics*, 34, 52-69.
  21. Özcan, Z., Kentel, E., Alp, E., 2017. Evaluation of the Best Management Practices in a Semi-arid Region With High Agricultural Activity, *Agricultural Water Management*, 194, 160-171.
  22. Tufekcioglu, M., Yavuz, M., Zaimes, G.N., Dinc, M., Koutalakis, P., Tufekcioglu, A., 2017. Application of Soil Water Assessment Tool (SWAT) to Suppress Wildfire at Bayam Forest, Turkey, *Journal of Environmental Biology*, 38(5), 719-726.
  23. Şahin, Y., Baba, A., Tayfur, G., 2018. Küçük Menderes Havzası Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 2, 955-962.
  24. Akyüz, Y., Atış, E., 2018. Küçük Menderes Havzasında İklim Değişikliğinin Olası Etkileri ve Üreticilerin Konuya İlişkin Farkındalıkları, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21, 109-115.
  25. Muluk, Ç.B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M.A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U., 2013. Türkiye'de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif: İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği-Doğa Koruma Merkezi.
  26. S.Y.G.M., 2019. Küçük Menderes Havzası Taslak Nihai Nehir Havza Yönetim Planı, Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı.
  27. Ç.Y.G.M., 2016. Küçük Menderes Havza Kirlilik Önleme Eylem Planı, Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
  28. Çivi, A., Akgündüz, E., Kalaycı, K., İnan, Ç., Sarıca, E., Toru, E., 2009. Corine (Coordination of Information on the Environment) Projesi, in TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, TMMOB.
  29. FAO ve UNESCO. Soil Map of the World (Europe). Available from: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/faunesco-soil-map-of-the-world/en/>. 16, 04, 2003.
  30. CFSR. Global Weather Data for SWAT. Available from: <https://globalweather.tamu.edu/>. 17, 04, 2019.

31. Dile, Y.T., Srinivasan, R., 2014. Evaluation of CFSR Climate Data for Hydrologic Prediction in Data-scarce Watersheds: An Application in the Blue Nile River Basin, *Journal of the American Water Resources Association*, 50(5), 1226-1241.
32. Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., 2012. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation, *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1509-1522.
33. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009: Texas Water Resources Institute Technical Report.
34. Mockus, V., 2004. Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, in *Hydrology National Engineering Handbook*, W.J. Gburek, et al., Editors. United States Department of Agriculture: Washington DC, USA, 79.
35. Heber Green, W., Ampt, G.A., 1911. Studies on Soil Physics, *The Journal of Agricultural Science*, 4(1), 1-24.
36. Howell, T.A., Evett, S., 2004. The Penman-Monteith Method, *USDA-Agricultural Research Service Conservation & Production Research Laboratory*, 806.
37. Priestley, C.H.B., Taylor, R.J., 1972. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters, *Monthly Weather Review*, 100(2), 81-92.
38. Winchell, M., Srinivasan, R.A., 2013. ArcSWAT Interface for SWAT2012: User's Guide, Texas Agricultural Experiment Station and United States Department of Agriculture, Temple, TX.: 464.
39. Google, Google Earth. 2001: USA.
40. Abbaspour, K.C., 2011. SWAT-CUP4: SWAT Calibration and Uncertainty Programs-a User Manual, *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag*: 106.
41. Abbaspour, K.C., Johnson, C.A., Van Genuchten, M.T., 2010. Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure, *Vadose Zone Journal*, 3(4), 1340-1352.
42. Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., 2012. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation, *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1509-1522.
43. Yang, J., Reichert, P., Abbaspour, K.C., Xia, J., Yang, H., 2008. Comparing Uncertainty Analysis Techniques for a SWAT Application to The Chaohe Basin in China, *Journal of Hydrology*, 358(1-2), 1-23.
44. Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., Srinivasan, R., 2007. Modelling Hydrology and Water Quality in the Pre-alpine/alpine Thur Watershed Using SWAT, *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 413-430.
45. Abbaspour, K.C. SWAT-CUP4: SWAT Calibration and Uncertainty Programs–A User Manual. Available from: [http://swat.tamu.edu/media/114860/usermanual\\_swatcup.pdf](http://swat.tamu.edu/media/114860/usermanual_swatcup.pdf). 20, 11, 2011.
46. Kamali, B., Abbaspour, K.C., Yang, H., 2017. Assessing the Uncertainty of Multiple Input Datasets in the Prediction of Water Resource Components, *Water (Switzerland)*, 9(9).
47. Kouchi, D.H., Esmaili, K., Faridhosseini, A., Sanaeinejad, S.H., Khalili, D., Abbaspour, K.C., 2017. Sensitivity of Calibrated Parameters and Water Resource Estimates on Different Objective Functions and Optimization Algorithms, *Water (Switzerland)*, 9(6), 1-16.
48. Moriasi, D.N., Arnold, J.G.A., 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
49. Thiemi, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M.A., 2013. Hydrological Evaluation of Satellite-based Rainfall Estimates Over the Volta and Baro-Akobo Basin, *Journal of Hydrology*, 499, 324-338.
50. Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., Kløve, B., 2015. A Continental-scale Hydrology and Water Quality Model for Europe: Calibration and Uncertainty of a High-resolution Large-scale SWAT Model, *Journal of Hydrology*, 524, 733-752.

