

DERLEME MAKALE

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Modeline Genel Bir Bakış ve Modelin Türkiye'deki Uygulamaları

İsmail Bilal PEKER¹, Gökhan CÜCELOĞLU²

Yazışma yazarı:

İsmail Bilal PEKER,
pekerbilal@iuc.edu.tr¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpasa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul, Türkiye.
ORCID:0000-0001-9133-6797²Oxford Üniversitesi, Environmental Change Institute, Oxford, Birleşik Krallık. ORCID: 0000-0002-9534-250X

Referans:

Peker, İ.B. ve Cüceloğlu, G., (2022), Makale Başlığı, Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik, 1(1) 9–26.

Makale Gönderimi : 13 ARALIK 2021
Online Kabul : 10 ŞUBAT 2022
Online Basım : 30 MAYIS 2022

Özet USDA (Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı) tarafından yaklaşık 40 yıldır geliştirilmekte olan SWAT (Soil and Water Assessment Tool) dünyanın farklı bölgelerinde yaygın olarak kullanılan bir havza modelleme aracıdır. SWAT ile ilgili literatürde yer alan makaleler ve uluslararası konferans bildirileri modelin dünya çapında kabul gördüğünü göstermektedir. Son yıllarda, SWAT modelinin ülkemizde yapılan araştırmalardaki uygulamaları da giderek hız kazanmıştır. Bu araştırmalar çoğunlukla bilimsel makaleler ve tezler ile yayınlanmaktadır. Mevcut çalışmanın amacı SWAT modeli hakkında genel bir bilgi vererek modelin Türkiye'deki uygulamalarını içeren bir literatür taramasına ait analizleri paylaşmaktır. Bu çalışma ile araştırmacılar için SWAT modelinin 2008 - 2022 yılları arasında ülkemizin farklı havzalarında yapılan uygulamalarına kolay erişilebilir bir kaynak hazırlanması hedeflenmektedir. Bu kapsamda 46 makale ve 19 tez çalışması olmak üzere toplam 65 çalışma incelenmiş olup bu çalışmalarda kullanılan farklı veri setleri ve kaynakları sunulmaktadır. İncelenen çalışmalar, genel kapsamı bakımından hidroloji (%69) ve su kalitesi (%31) odaklı çalışmalar olarak iki sınıfta ele alınmaktadır. Bu sınıflar mevcut durum (günümüz veya geçmiş tarihli) ve gelecek dönem (iklim ve arazi kullanımı değişikliği) için yapılan yüzey suyu, yer altı suyu, kirlilik ve sediment ile ilgili çalışmalar olarak alt sınıflarda incelenmektedir. Çalışmalarda, SWAT modelinin ihtiyaç duyduğu sayısal yükseklik haritası, arazi kullanımı ve toprak çeşidi mekânsal girdileri için sırasıyla SRTM (%31), CORINE (%43) ve FAO-UNESCO (%60) verileri en çok tercih edilen veri kaynaklarıdır. Çoğunlukla, zamansal model girdisi olan iklim verileri için MGM (%65), model kalibrasyonunda kullanılan akım verileri için ise DSİ (%65) kurumuna ait veri kaynakları tercih edilmektedir. Çalışmalarda gerçekleştirilen kalibrasyon ve validasyonların çoğunda yaygın olarak tanınan performans göstergelerine dayalı olarak tatmin edici sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: SWAT, Türkiye, Havza modelleme, Hidroloji, Su Kalitesi.

An Overview of SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Model and Its Applications in Turkey

Abstract SWAT (Soil and Water Assessment Tool) is a hydrological modeling tool widely used in different parts of the world developed by the USDA (United States Department of Agriculture) for nearly 40 years. Numerous papers in the literature and international conference papers on the SWAT model show that the model is accepted worldwide. In recent years, the applications of the SWAT model in Turkey have also gained momentum. These studies are published as scientific articles and theses. The main objective of the present study is to provide general information about the SWAT model and share the results of a literature review, including the applications of the model in different basins of Turkey. In this context, a total of 65 studies, including 46 articles and 19 theses, were examined between the years 2008 and 2022, and different data sets and sources used in these studies are presented. In terms of their scope, the reviewed studies are generally in two categories as hydrology (69%) and water quality (31%) focused studies. These categories are examined in sub-classes as studies on surface water, groundwater, pollution and sediment for the current situation (present and past date) and future period (climate or land use change). In the studies, SRTM (31%), CORINE (43%) and FAO-UNESCO (60%) data are the most preferred data sources for the digital elevation map, land use, and soil type spatial inputs required by the SWAT model, respectively. For the climate data, which is the temporal model input, data sources belonging to MGM (65%) are mostly used. Also, DSI data source is the most preferred (65%) one for flow data to calibrate the model. Most of the calibration and validation results for these studies show satisfactory results based on widely recognized performance indicators.

Keywords: SWAT, Turkey, Watershed modelling, Hydrology, Water Quality.

1. Giriş

Su havzaları içerisindeki toprak-su-hava ilişkisini ortaya koymak, havzanın iyi tanınması ve geleceğe yönelik yönetim planlarının belirlenebilmesi açısından önemlidir. Bir havzadaki hidrolojik süreçlere ait mekanizmaları açıklamak ve havza sisteminin farklı girdiler altında vereceği tepkileri tahmin edebilmek için matematiksel modellere ihtiyaç duyulmaktadır (Fıstıkoğlu, 1999). Hidrolojik modeller, bir su havzasındaki hidrolojik döngüyü ve buna bağlı fiziksel süreçleri doğru analiz edebilmek için kullanılan en önemli araçlardır. Bu ihtiyaca yönelik oluşturulan modeller karmaşık bir yapıda olan havza sistemini basitleştirmek için kullanılmaktadır. 19. yüzyılda Mulvaney (1850) tarafından ortaya atılan rasyonel metot hidrolojik modellerin en eski türlerinden birisidir. Havza sisteminin bilgisayar ortamında matematiksel ifadelerle temsil edilmesi 1960'lı yıllarda Crawford ve Linsley (1966) tarafından geliştirilen SWM (Stanford Watershed Model) ile başlamıştır. Sonraki yıllarda ise havza sistemini farklı amaç ve metotlar ile temsil edebilmek için birçok bilgisayar destekli hidrolojik model geliştirilmiştir (Singh ve Woolhiser, 2002).

Hidrolojik modeller, literatürde farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Chow ve diğ. (1988) hidrolojik modelleri, deterministik ve stokastik olarak iki ana sınıfa ayırarak bunları da kendi içerisinde tümsel, dağılımlı, kararlı akım, kararsız akım, zaman ve yere bağlılık olarak gruplandırmıştır. Bir başka sınıflandırma da tümsel, yarı dağılımlı ve tam dağılımlı olarak Cunderlik (2003) tarafından yapılmıştır. Devia (2015) tarafından ampirik (kapalı kutu), kavramsal ve fiziksel tabanlı modeller olarak genel bir sınıflandırma yapılmıştır. Günümüzde, dünyanın farklı bölgelerinde farklı hidrolojik modeller kullanılarak yapılan çok sayıda araştırma çalışması bulunmaktadır.

Su kaynaklarının planlanması ve tasarımı aşamalarında, geçmişte geniş bir kullanım alanına sahip olan istatistiksel modellerin yerini günümüzde bilgisayar destekli matematiksel modeller almıştır. Literatüre bakıldığında birçok farklı matematiksel model, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ortamlarında çalıştırılıp kullanılabilir (Singh ve Woolhiser, 2002). Ayrıca, uzaktan algılama metotlarının bu modeller ile bütünleşik kullanımı da son zamanlarda sıkça uygulanmaktadır (Thakur ve diğ., 2016). Fiziksel tabanlı girdiler ile CBS ortamlarında çalışabilen bir yazılıma sahip SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modeli, içerisinde çeşitli bütünleşme uygulamaları geliştirilebilen bir havza modeli örneğidir.

SWAT modeli gerek hidrolojik süreçlerin modellenmesinde gerekse havzadaki kirlilik taşınımına ait süreçleri içermesi sebebiyle son yıllarda en yaygın kullanılan modellerden biri olmuştur. Literatürde SWAT modeli kullanılarak farklı ülkelerdeki su havzalarında yapılan birçok modelleme çalışması farklı odaklarda birleştirilerek değerlendirilmiştir. Gassman ve diğ. (2007) yaptıkları geniş çaplı derlemede 250 farklı makale çalışmasının analizi ile bu çalışmalarını kapsamları bakımından özetleyerek SWAT'ın üstünlük ve eksikliklerini ortaya koymaktadır. Bressiani ve diğ. (2015) Brezilya'da, Tan ve diğ. (2019) Güneydoğu Asya'da, Akoko ve diğ. (2021) Afrika kıtasında yapılan SWAT ile ilgili çalışmaları değerlendirmiştir. Van Griensven ve diğ. (2012) Nil Nehri havzaları özelindeki SWAT çalışmalarının başarısını analiz etmiştir. Francesconi ve diğ. (2016), daha önce yapılan SWAT inceleme çalışmalarını göz önünde bulundurarak çalışma kapsamlarını sistematik olarak tartışmıştır. Brighenti ve diğ. (2019) günlük zaman adımından daha küçük zaman adımında gerçekleştirilen 28 farklı SWAT çalışmasını kapsamları bakımından incelemiştir. Tan ve diğ. (2021) farklı küresel iklim verilerinin SWAT modelinde kullanılabilirliğini

126 farklı makale çalışmasını inceleyerek değerlendirmiştir. Böylece, çalışmalarda kullanılan küresel iklim girdisinin ülkelerdeki dağılımını ortaya koyarak, verilerin kullanımına ilişkin gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur. Yapılan tüm derleme çalışmalarında, SWAT modelinin dünya üzerinde farklı özellikteki birçok havzada, farklı birçok çalışma kapsamı için başarılı bir şekilde uygulanabilir olduğu görülmektedir.

Dünya genelinde yaygın bir kullanıma sahip olan SWAT modelinin ülkemizde yapılan havza modelleme çalışmalarındaki kullanımı da giderek artmaktadır. Bu makalede SWAT modelinin Türkiye'deki uygulamaları dikkate alınmıştır. Makale kapsamında öncelikle SWAT modelinin tarihçesi, genel özellikleri ve kullanıma yardımcı araçlar tanımlanmış daha sonra modelin ülkemizdeki uygulamaları değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, modelin uygulandığı havzalar, kullanılan veri setleri, kalibrasyon yardımcı yazılımları ve çalışma kapsamı bakımından incelenmiştir. İncelenen modelleme çalışmalarına ait kalibrasyon ve validasyon (model performans) sonuçları yaygın olarak tanınan ve literatürde önerilen (Moriasi ve diğ., 2007) performans göstergeleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, SWAT modelinin Türkiye'deki uygulamalarının genel çerçevesi, uygulama yöntemi ve çalışma kapsamı çeşitliliği açısından modelin üstünlük ve eksiklikleri tartışılmıştır. Bu çalışmanın bir diğer amacı ise SWAT modeli hakkındaki genel bilgilerin ana dilimizde verilerek modelin Türkiye'de yapılmış uygulamalarını içeren sistematik bir kaynak oluşturulmasıdır.

2. SWAT Modeli

2.1 Modelin tarihsel gelişimi

SWAT modeli USDA (Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı) tarafından geliştirilmiş fiziksel tabanlı, sürekli (ıslak ve kurak dönemleri kapsayan uzun bir periyotta sonuçlar veren) ve yarı dağılımlı (mekânsal olarak alt havza ve daha küçük işlem birimleri bazında sonuçlar verebilen) bir havza modelidir (Arnold ve diğ., 1998; Neitsch ve diğ., 2011; Neitsch ve diğ., 2012). Dünya genelinde SWAT modelinin, farklı iklim kuşaklarındaki değişik coğrafi koşullara sahip, tarla ölçeğinden havza ölçeğine değişen boyutlardaki alanlarda farklı disiplinlerce başarılı uygulamaları ortaya konulmuştur. SWAT modeli, su kaynakları modellemesi, iklim ve arazi kullanımı değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkisinin incelenmesi, yayılı yük hesaplamaları ve en iyi yönetim uygulamaları ile su kalitesi odaklı araştırmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Gassman ve diğ., 2007).

SWAT yaklaşık 40 yıldır geliştirilmekte olan bir model olup modelin temeli daha önce USDA tarafından geliştirilmiş olan CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems) (Knisel, 1980), GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems) (Leonard ve diğ., 1987) ve EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) (Williams, 1990; Izaurrealde ve diğ., 2006) modellerine dayanmaktadır. Mevcut SWAT modelinin temeli ise akım gözlem istasyonu bulunmayan kırsal havzalardaki uygulamaların havza hidrolojisi üzerine etkilerinin ve sediment hareketlerinin incelenmesi amacıyla geliştirilen SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins) modeline (Arnold ve Williams, 1987) dayanmaktadır. Modele Arnold ve diğ. (1995) tarafından geliştirilen öteleme bileşeni ROTO (Routing Outputs to the Outlet) ve su kalitesi bileşeni QUAL2E (Enhanced Stream Water Quality Model) (Brown ve Barnwell, 1987) eklenmiştir. SWAT modelinin tarihsel gelişimi Şekil 1'de gösterilmektedir (Gassman ve diğ., 2007). SWAT modeli havzadaki akım ve kirlenim taşınımının ve en iyi yönetim uygulamalarının daha başarılı

modellenebilmesi için yeniden yapılandırılarak SWAT+ adı altında geliştirilmeye devam etmektedir (Bieger ve diğ., 2017).

2.2 Modelin genel özellikleri

SWAT modeli temel girdileri mekânsal ve zamansal olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Topoğrafya, arazi kullanımı ve toprak haritaları mekânsal veri setleri olup HİB (Hidrolojik İşlem Birimi) adı verilen en küçük model bileşenlerini oluşturmak için kullanılmaktadır. HİB, bu üç mekânsal girdiye bağlı olarak oluşturulan, modelin su bütçesi hesaplarını yaptığı en küçük alansal bileşendir. Bunun yanında SWAT modeli iklim zaman serilerine ihtiyaç duymaktadır. Bu veriler yağış, en yüksek/en düşük sıcaklık, nispi nem, güneş ışınımı ve rüzgâr hızıdır. Bahsi geçen dört temel veri (topoğrafya, arazi kullanımı, toprak haritası ve iklim) modelin çalıştırılabilmesi için gereklidir.

SWAT modeli, kara süreçleri ve öteleme fazı olmak üzere temel olarak iki kısımda hidrolojik süreçleri simüle etmektedir. Modelde dikkate alınan hidrolojik döngüye ait fiziksel süreçler Şekil 2'de gösterilmektedir.

SWAT modelinde hidrolojik döngüyü temsil eden su dengesi eşitliği Denklem 1'deki gibidir (Neitsch ve diğ., 2011). Modelde dikkate alınan temel hidrolojik süreçler Şekil 3'te basitleştirilerek gösterilmektedir.

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

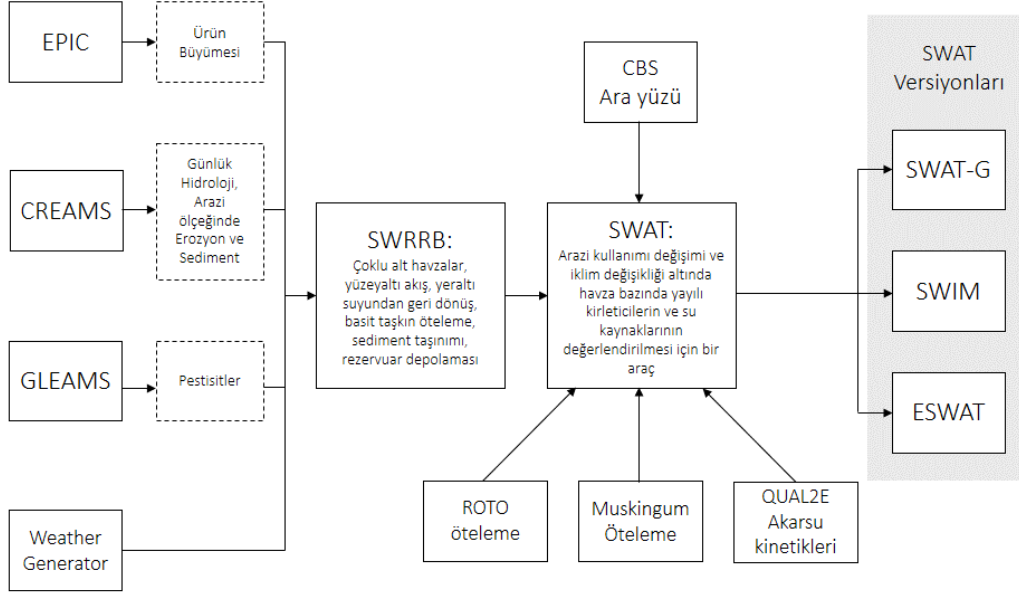
Bu eşitlikte yer alan SW_t toprağın su içeriğini (mm); SW_0 başlangıçtaki toprağın su içeriğini (mm); R_{day} yağış miktarını (mm); Q_{surf} yüzeyel akışa geçen su miktarını (mm); E_a evapotranspirasyon (terleme ve buharlaşma) miktarını (mm); ω_{seep} vadoz zona sızan su miktarını (mm); Q_{gw} yer altı su beslemesini (mm) ifade etmektedir.

SWAT modeli yüzeyel akışı SCS (Soil Conservation Service) yöntemi veya Green-Ampt sızma denklemi ile hesaplayabilmektedir (Neitsch ve diğ., 2011). Modelde süzülme (perkolasyon) her bir toprak tabakası için hesaplanmaktadır. SWAT yanal yüzey altı akışı ve sığ akiferden akarsuya katılan akışı simüle edebilmektedir. SWAT modelinde potansiyel evapotranspirasyon

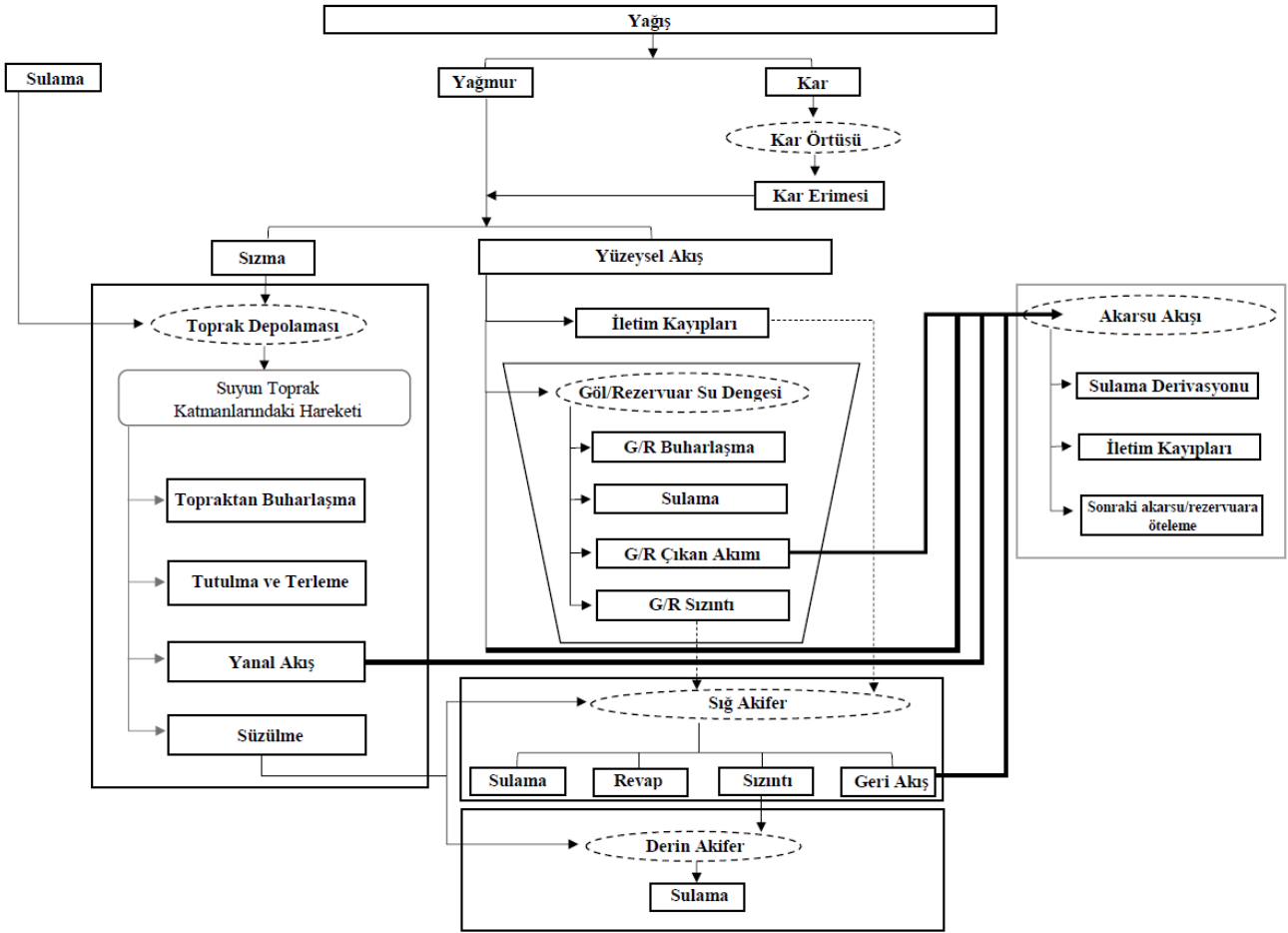
hesaplamaları için Hargreaves (Hargreaves ve diğ., 1985), Priestly-Taylor (Priestly ve Taylor, 1972) ve Penman-Monteith (Monteith, 1965) yöntemleri bulunmaktadır. SWAT kar erimesi, akarsu kanalından sızma, su biriktirme ve göletlerden sızma süreçlerini de modelleyebilmektedir. SWAT modeli ile ilgili daha fazla bilgi ve ayrıntı modelin teorik dokümantasyonu (Neitsch ve diğ., 2011) ve kullanım kılavuzunda (Neitsch ve diğ., 2012) verilmektedir.

SWAT modeli, su bütçesi hesaplamalarının (yüzeysel ve yer altı suyu bileşenleri) yanında nütrient (azot ve fosfor gibi), sediment ve pestisit değişkenlerini de modelleme kapasitesine sahip bir modeldir. Azot döngüsü su, atmosfer ve toprak fazlarında gerçekleşen dinamik bir sistem olup özellikle bitki büyüme süreçlerinde önemli bir yer tutmaktadır. SWAT modelinde azot döngüsüne ait biyokimyasal süreçler toprakta ve sığ akiferde hesaplanmaktadır. Modelin dikkate aldığı azot döngüsü Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu kapsamda nitrifikasyon, denitrifikasyon, mineralizasyon, amonyak uçuculuğu, azot fiksasyonu, gübreleme, yer altı suyuna sızma süreçleri dikkate alınmaktadır. Bitki büyüme süreçlerinde fosfor, en az azot kadar önemli ve gerekli bir besin elementi olup özellikle enerji elde edilmesi ve depolanmasında kritik bir rol oynamaktadır. SWAT modeli fosfor döngüsü ve süreçleri Şekil 5'te gösterilmektedir. Nütrient (azot ve fosfor) ve pestisit modelleme süreçlerine ait matematiksel denklemler model teorik dokümantasyonu (Neitsch ve diğ., 2011) ve kullanım kılavuzunda (Neitsch ve diğ., 2012) ayrıntıları ile verilmektedir.

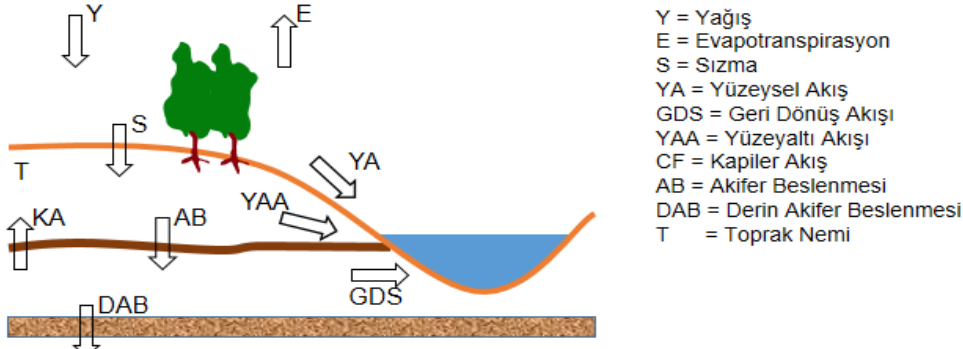
SWAT modeli için gerekli olan iklim girdileri saatlik veya günlük zaman periyodunda olabilmektedir. Ancak modelde çoğunlukla tercih edilen SCS yöntemi model için gerekli olan yağış verisini günlük zaman adımında kullanmaktadır. Model, yağış ve sıcaklık verilerinin yanında isteğe bağlı olarak nispi nem, güneş ışınımı ve rüzgâr hızı verilerine de ihtiyaç duymaktadır. Bu veri setleri potansiyel evapotranspirasyon hesaplama seçeneklerinden Penman-Monteith yönteminin tercih edilmesi durumunda gereklidir. Diğer yöntemler (Priestly-Taylor ve Hargreaves) yalnızca minimum ve maksimum sıcaklık girdileri ile çalışabilmektedir. Bu model girdileri, her havza modelinde olduğu gibi SWAT modeli için de çalışma alanlarındaki hidrolojik çevrim süreçlerini temsil edecek matematiksel denklemlerin ortaya konulmasında gereklidir.



Şekil 1. SWAT modelinin tarihsel gelişimi ve modelin bazı adaptasyonları.

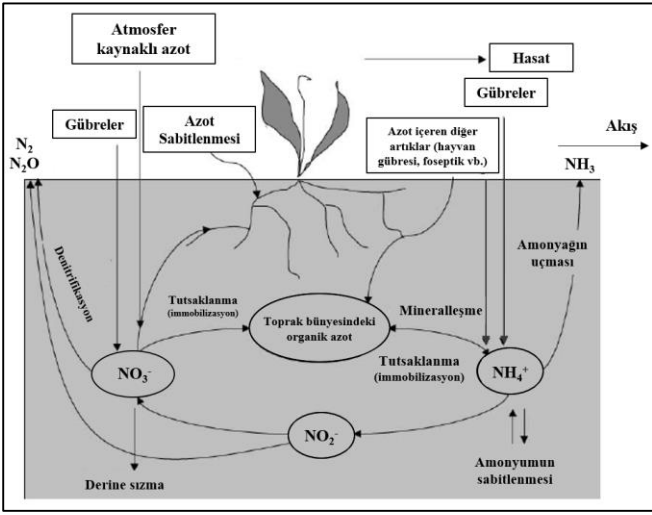


Şekil 2. SWAT modelinde dikkate alınan fiziksel süreçler (Neitsch ve diğ., 2011).



Şekil 3. SWAT modelinde dikkate alınan temel hidrolojik süreçler (Cüceloğlu, 2019).

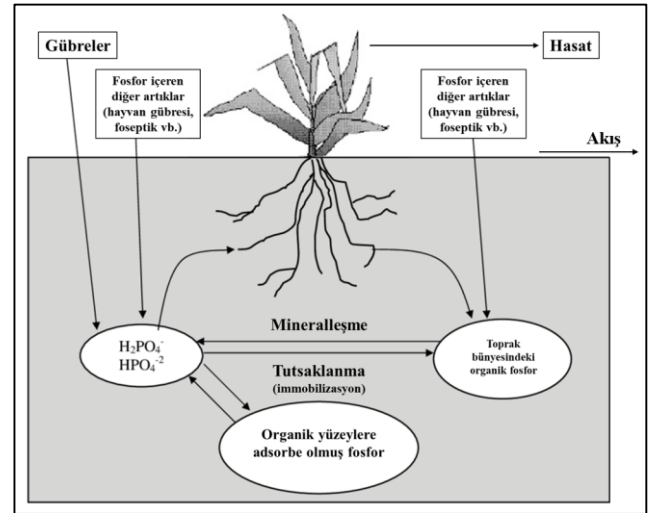
(Geographic Resources Analysis Support System) (Srinivasan and Arnold, 1994) yazılımının ardından MWSWAT, ArcSWAT ve QSWAT kullanıcılara sunulmuştur. MWSWAT arayüzü açık kaynak kodlu ve ücretsiz olarak dağıtılan MapWindow CBS yazılımı üzerinde çalışmaktadır. Ancak bu arayüzün geliştirilme süreci durdurulmuştur ve yazılım güncellenmemektedir. MWSWAT'ın özellikleri QSWAT arayüzüne aktarılmış olup model geliştiricileri tarafından bu sürümün kullanılması önerilmektedir. ArcSWAT ve QSWAT günümüzde en sık tercih edilen grafiksel kullanıcı arayüzleridir. ArcSWAT, ESRI (Environmental Systems Research Institute) tarafından geliştirilen ve ücretli bir yazılım olan ArcGIS CBS programı üzerinde bir eklenti olarak çalışmaktadır. Bir diğer yazılım QSWAT (Dile ve diğ., 2016), QGIS ortamı üzerinde çalışmaktadır. QGIS ortamının açık kaynak kodlu ve ücretsiz olması, ayrıca son yıllarda bu arayüzde karşılaşılan problemlerin azaltılması ile birlikte QSWAT'ın geniş bir kullanıcı kitlesi olmuştur. Söz konusu arayüzlerden ArcSWAT yalnızca Windows işletim sistemi üzerinde çalışırken QSWAT hem Windows hem de diğer (Linux ve Mac-OS) işletim sistemleri üzerinde çalışmaktadır.



Şekil 4. SWAT modelinde dikkate alınan azot döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011).

2.3 Model arayüzleri ve kalibrasyon yardımcı yazılımları

SWAT modeli FORTRAN (FORMula TRANslation) dilinde yazılmış olup bu dildeki kodların derlenmesi sonucu oluşturulan .exe uzantılı dosya ile çalıştırılabilmektedir. Sözü edilen .exe uzantılı dosya ise gerekli girdi dosyaları (file.cio, .fig, .mgt, .hru vb.) ile birlikte çalıştırılmaktadır. Bu girdi dosyalarının içerikleri, formatları ve model parametreleri ile ilgili ayrıntılar modele ait girdi/çıkış dokümantasyonunda verilmektedir (Neitsch ve diğ., 2012). SWAT modelinin çalıştırılabilmesi için gerekli girdi dosyaları bir metin düzenleyicisi aracılığı ile oluşturulabilir. Bunun yanı sıra geliştirilen yazılım veya araçlar ile model girdi/çıkış dosyalarına müdahale edilebilmektedir. Cercosova ve diğ. (2018) tarafından geliştirilen MATLAB kodları (SWAT-LAB) ile HİB'ler oluşturabilmekte, ayrıca model kalibrasyonu sırasında ilgili parametreler bu araç yardımı ile değiştirilebilmektedir. SWAT modelinin metin dosyaları üzerinden oluşturulması kodlama becerisi ve SWAT modeli girdi/çıkış düzenine üst derecede hâkim olmayı gerektirmektedir.



Şekil 5. SWAT modelinde dikkate alınan fosfor döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011).

Gelişen coğrafi bilgi sistemi teknolojilerine paralel olarak SWAT modelinin CBS ortamlarında kolaylıkla kullanımına olanak sağlayan çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Kolay kullanılabilir arayüzleri sayesinde model kurulumu, parametre değişiklikleri ve model sonuçlarının gösterimi CBS ortamları üzerinden gerçekleştirilebilmektedir. Bu yazılımlar kullanıcıdan aldıkları verileri SWAT modeli (.exe dosyası) için uygun formatta yazabilmektedir. Kullanım kolaylığı ve görselleştirme işlemlerine olanak sağlaması sebebi ile modelin kullanıcıları çoğunlukla bu arayüzleri tercih etmektedirler. İlk CBS arayüzü olan SWAT/GRASS

SWAT modelinin kalibrasyonu manuel veya otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Kullanıcılar, model parametrisasyonunu model girdi dosyaları üzerinden veya arayüz seçeneklerini kullanarak el ile yapabilmektedir. Ancak SWAT modelinin çok sayıda parametre ve model girdi dosyasına sahip olması otomatik olmayan yöntemlerle model kalibrasyonunu güçleştirmektedir. Bu güçlüklerin önüne geçebilmek amacıyla, model kalibrasyonunu otomatik gerçekleştirebilen yazılımlar geliştirilmiştir. Bu yazılımların büyük kısmı kullanıcıların kendi yazılım tekniklerini ve

Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik

optimizasyon algoritmalarını kullanarak geliştirdikleri programlar olup genellikle diğer kullanıcıların kullanımına açık olmamaktadır.

SWAT-CUP (SWAT-Calibration and Uncertainty Program) (Abbaspour ve diğ., 2007; Abbaspour, 2015), SWAT modeline özel kalibrasyon, parametre hassasiyeti ve belirsizlik analizleri yapılmasına olanak sağlayan bir programdır. Bu program kullanıcı dostu arayüzü, detaylı dokümantasyonu, birden çok optimizasyon algoritmasını bünyesinde barındırması ve ücretsiz olması sebebi ile (2020 yılına kadar) kullanıcılar tarafından en çok tercih edilen programdır. SWAT-CUP, SUFI2 (Sequential Uncertainty Fitting 2) (Abbaspour ve diğ., 2004; Abbaspour ve diğ., 2007), ParaSol (Parameter Solution) (van Griensven ve Meixner, 2006), PSO (Particle Swarm Optimization), GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) (Beven ve Binley, 1992) ve MCMC (Markov Chain Monte Carlo) (Kuczera ve Parent, 1998; Vrugt ve diğ., 2003; Marshall ve diğ., 2004; Yang ve diğ., 2007) optimizasyon algoritmaları ile çalışabilmektedir. SWAT-CUP programı kaynak kodları açık kaynak kodlu olmamakla birlikte yazılım yalnızca Windows işletim sisteminde çalışmaktadır.

Son yıllarda kullanımı yaygınlaşan SWATplusR programı (Schuerz, 2019) R dilinde geliştirilmiş hem SWAT2012 (temel SWAT sürümü) hem de SWAT+ (güncel sürüm) modelinin kalibrasyonunda ve hassasiyet analizlerinde kullanılan bir yazılımdır. Yazılım açık kaynak kodlu ve ücretsiz dağıtılmaktadır. SWAT+ modeli ile birlikte varsayılan bir kalibrasyon aracı da sağlanmaktadır. Söz konusu son iki kalibrasyon aracının birden çok işletim sisteminde çalışabilmesi ve diğer kullanıcılar tarafından da geliştirilebilmesi gibi özellikler sayesinde yaygın kullanıma ulaşacağı beklenmektedir.

SWATshiny (<https://github.com/tamnva/SWATshiny>) interaktif web tabanlı geliştirilen açık kaynak kodlu, ücretsiz bir diğer kalibrasyon yazılımıdır. Yazılımın grafik arayüzü kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır. SWATshiny başlangıç seviyesindeki kullanıcılardan ileri seviyedeki kullanıcıların kullanabileceği şekilde tasarlanmıştır. 2022 yılı itibarı ile program ile ilgili bir makale bulunmamaktadır. SWAT modeline ait internet sayfasındaki yardımcı araçlar kısmından programa ulaşabilmektedir.

IPEAT+ (Integrated Parameter Estimation and Uncertainty Analysis Tool Plus), SWAT2012 ve SWAT+ programları için geliştirilen bir diğer otomatik kalibrasyon ve belirsizlik analiz programıdır (Yen ve diğ., 2019). Yazılım açık kaynak kodlu ve ücretsizdir. IPEAT+ yazılımının en önemli üstünlüğü SWAT modeli geliştirici ekibi ile birlikte SWAT+ modeline bütünlük bir biçimde geliştirilmiş olmasıdır. Bu kapsamda yazılım FORTAN dilinde yazılmış, model kodlarının içine bütünlüklerle ve SWAT+ modeli ile birlikte derlenerek tek bir yürütülür dosya ile çalıştırılmaktadır. Bu da model kalibrasyonunun oldukça hızlı gerçekleştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. IPEAT+ ile ilgili daha fazla ayrıntı Yen ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada verilmektedir.

2.4 Model sürümleri

SWAT modelinin temelinde SWAT2012 ve SWAT+ olmak üzere iki ana sürümü bulunmaktadır. Bu sürümlere ait alt sürümler de bulunmaktadır ancak bu alt sürümlerde yapısal ve formatsal büyük farklılıklar vardır. SWAT modeli sürümlerinin gelişmeleri modele ait web sayfası (<https://www.swat.tamu.edu/>) üzerinden takip edilebilmektedir. SWAT2012 ve SWAT+ sürümlerinin model girdi/çıkı düzeni tamamen farklıdır. SWAT+ modelinde havza sisteminin mekânsal temsili daha ayrıntılı hale getirilmiştir. SWAT+ modelinde veri girdi yapısı değiştirilmiş ve algoritma kodları optimize edilerek model hızı artırılmıştır (Bieger ve diğ., 2017). Model arayüzü (QSWAT+) mevcut durumda yalnızca QGIS

programı üzerinde çalışmaktadır. SWAT+ modeli ve model kalibrasyon sürecine yardımcı programların geliştirilme süreci devam etmektedir (Arnold ve diğ., 2018; Yen ve diğ., 2019; Bieger ve diğ., 2019).

3. Literatür Araştırması

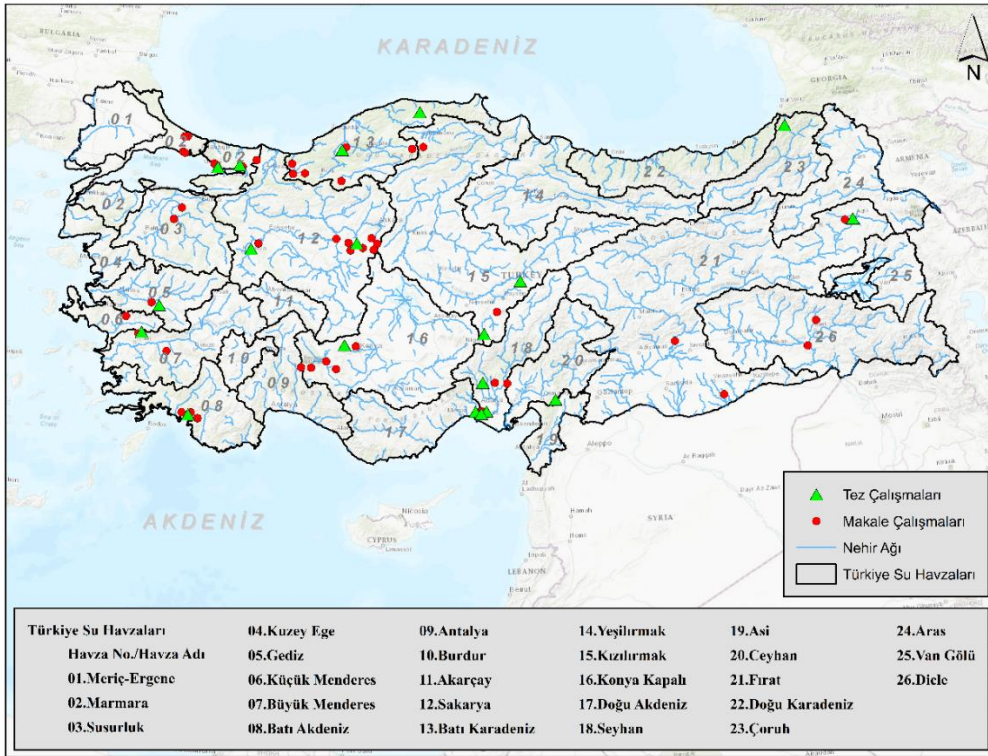
Bu çalışmada SWAT modelinin Türkiye'deki uygulamaları, ulusal tez veri tabanında yer alan çalışmalar (yüksek lisans veya doktora tezleri) ile ulusal/uluslararası hakemli bilimsel dergilerde yayınlanmış makaleler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Farklı kapsam ve amaçları olan bu yayınların tümünde havza modelleme aracı olarak SWAT tercih edilmiştir. Akademik tarama indeksleri dışındaki yayınlar ve çeşitli bölgesel konferans ve toplantılarda yapılan bildirimler bu çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır. Şekil 6'da Türkiye'deki 26 ana su havzasına ait sınırlar ve incelenen tüm çalışmalara ait uygulama alanları gösterilmektedir. Şekil 7'de yıllara göre dağılımı gösterilen bu çalışmalar, 2008 ve 2022 yılları arasında yayınlanan 46 makale ve 19 tez çalışması olmak üzere toplam 65 bilimsel çalışmadan oluşmaktadır (Tablo 1). Literatür araştırmasında dikkate alınan yayınlar kullanılan veri kaynakları, modelleme çalışmalarının kapsamı ve model performansı olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir.

3.1 Kullanılan veri kaynakları

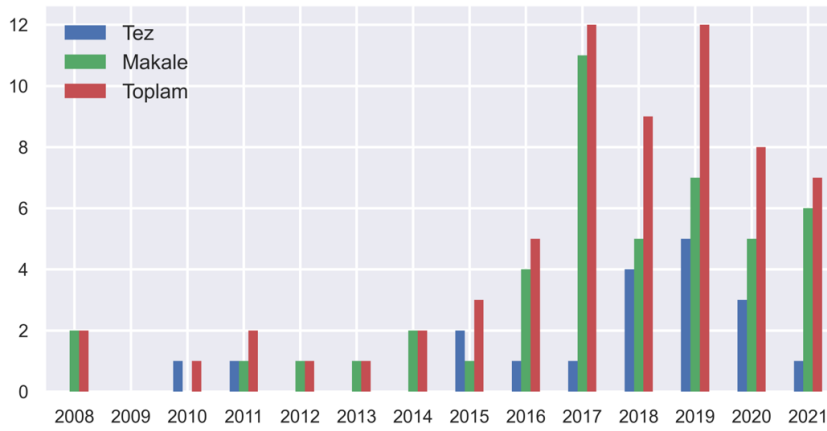
Temel olarak mekânsal (topoğrafya, arazi kullanımı ve toprak tipi) ve zamansal (yağış, en yüksek/en düşük sıcaklık, nispi nem, güneş ışınımı ve rüzgâr hızı) SWAT modeli girdileri için araştırmacılar, uygulama alanlarında özel ölçümler yapmanın yanı sıra küresel veya bölgesel çapta üretilmiş açık kaynaklı veri setlerinden de faydalanmıştır (Tablo 2). Ayrıca, Türkiye'deki çeşitli bakanlık ve kuruluşlar tarafından üretilmiş, bilimsel çalışmalarda kullanılmak üzere temin edilebilen veri setleri de bu çalışmalarda model girdisi olarak kullanılmıştır (Tablo 3). Ancak kullanılan verilerin çoğunluğunun özellikle küresel veya bölgesel çapta üretilmiş açık kaynaklı veriler olduğu görülmüştür. SWAT modeli için hazırlanmış veya daha önce başarı ile kullanılmış veri setleri hem kullanım kolaylığı hem de daha az ön işlem gerektirmesi sebebi ile kullanıcılar tarafından tercih edilmiştir. Bu bölümün alt başlıklarında model kurulumu için gerekli olan veri setleri incelenmiştir.

3.1.1 Sayısal yükseklik verisi

SWAT model kurulumunda, havza drenaj ağının belirlenebilmesi (akarsu çizgileri, eğim ve uzunlukları vb.) ve buna bağlı olarak alt havzalara bölünme şeklinin ortaya konabilmesi için bir SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) verisi gereklidir. Ayrıca, modelin su bütçesi bileşenlerini hesaplamak için kullandığı HİB'lerin oluşturulmasındaki katmanlardan birisi, modele girilen SYM'den üretilen eğim haritasıdır. Bu katman sayesinde her bir HİB için eğim hesaplanabilmektedir. Türkiye'ye ait açık kaynaklı ve ücretsiz bir SYM veri tabanının bulunmaması araştırmacıları farklı ülkeler tarafından sağlanan kaynaklara yönlendirmiştir. Ülkemizdeki SWAT modeli uygulamalarında, SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ASTER-GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model) ve USGS (United States Geological Survey) verilerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Şekil 8-a). Bu sayısal yükseklik modelleri ücretsiz paylaşılmaktadır. Çözünürlükleri 30 m ve 90 m olan bu verilerin çoğunun çalışma alanında yeterli olduğu görülmüştür. Genellikle yüz ölçümü küçük olan çalışma alanlarında ise kullanılan SYM verisinin çözünürlüğü nehir drenaj ağını doğrudan etkilemektedir. Bu tür çalışma alanlarında araştırmacılar kendi ürettikleri veriyi veya yerel belediyeler tarafından üretilmiş verileri tercih etmektedirler. Bu verilerin haricinde, HGM (Harita Genel Müdürlüğü) tarafından üretilmiş çözünürlüğü yüksek dijital arazi modeli de bazı



Şekil 6. Türkiye'de SWAT kullanılarak yapılan inceleme dahilindeki çalışmaların konumları.



Şekil 7. Dikkate alınan çalışmaların yıllara göre dağılımı (2008'den günümüze).

3.1.2 Arazi kullanımı ve toprak tipi verisi

SWAT modeli kurulumunda topoğrafyaya bağlı eğim verisinin yanında arazi kullanımı ve toprak tipi verileri, modele ait HİB'lerin oluşturulması için gereklidir. Yüzeysel akış, sızma, yer altı suyu akışı gibi önemli hidrolojik süreçleri doğrudan etkileyecek olan arazi kullanımı ve toprak özellikleri, çalışma alanının SWAT modeli ile temsil edilebilme kabiliyetini artıran fiziksel tabanlı model girdileridir. İncelenen çalışmalarda araştırmacıların SWAT modeli kurulumunda arazi kullanımı verisi elde edebilmek için çeşitli uzaktan algılama yöntemlerini kullandıkları görülmüştür. Bunlar arasında, LANDSAT, IKONOS (Yunanca 'img'e') ve SPOT7 (Satellite Pour l'Observation de la Terre) gibi uyduların sağladıkları görüntüler kullanılmıştır (Şekil 8-b). Ayrıca, CORINE (Coordination of Information on the Environment), GLC2000 (Global Land Cover 2000) ve GLOBCOVER (Global Land Cover Map) verileri sıkça tercih edilen açık kaynaklı arazi kullanımı verileridir. TOB (Tarım ve Orman Bakanlığı), OSİB

(Orman ve Su İşleri Bakanlığı) veya KHGM (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü) tarafından temin edilmiş arazi örtüsü haritaları da bazı çalışmalarda girdi olarak tercih edilmiştir. Göz önünde bulundurulmuş modellerde, arazi kullanımı bilgisi için en sık tercih edilen veri kaynağının EEA (European Environment Agency) tarafından sağlanan CORINE verisi olduğu belirlenmiştir (Şekil 8-b).

Dikkate alınan çalışma alanlarındaki toprak özelliklerinin incelenmesinde ise en sık kullanılan açık kaynaklı veri FAO-UNESCO (Food and Agricultural Organization-United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) tarafından üretilmiş HWSD (Harmonized World Soil Database) verisidir. Bazı çalışmalarda ise araştırmacılar, çalışma alanlarında kendi yaptıkları özel ölçümler ile toprak özelliklerini belirlemişlerdir. Ayrıca TOB, OSİB veya KHGM ve Büyükşehir Belediyeleri tarafından üretilmiş haritaların da çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir (Şekil 8-c). Her ne kadar Türkiye'de bulunan BTG (Büyük Toprak Grupları) ülke düzeyinde haritalanmış ve alansal dağılımları hesaplanmış olsa da

Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik

(Karabalut ve diğ., 2011), araştırmacıların SWAT modeli için bu veri kaynağı yerine FAO tarafından sağlanan veriyi tercih ettikleri görülmüştür. FAO verisine ait toprak özelliklerinin

SWAT modeline entegrasyonunun nispeten daha kolay yapıyor olması bu durumun sebebi olarak düşünülmektedir.

Tablo 1. İncelenen çalışmalara ait bilgiler.

Yazar(lar) ve yayın yılı	Tür	Çalışma Alanı	Ana Havza
Dogan ve Karpuzcu (2021)	Makale (Uluslararası dergi)	Terkos Havzası	Marmara Havzası
Oruç (2021)	Yüksek Lisans Tezi	Saz Deresi Havzası	Marmara Havzası
Özdemir (2021)	Makale (Ulusal dergi)	Yuvacık Havzası	Sakarya Havzası
Koycegiz ve diğ. (2021)	Makale (Uluslararası dergi)	Çarşamba Çayı Havzası	Konya Kapalı Havzası
Swalih ve Kahya (2021)	Makale (Uluslararası dergi)	İkizdere Havzası	Doğu Karadeniz Havzası
Peker ve Sorman (2021)	Makale (Uluslararası dergi)	Murat ve Karasu Havzaları	Fırat Havzası
Cuceloglu ve diğ. (2021)	Makale (Uluslararası dergi)	Ömerli Barajı Havzası	Marmara Havzası
Esen ve Hein (2020)	Makale (Uluslararası dergi)	Büyük Menderes Havzası	Büyük Menderes Havzası
Coppens ve diğ. (2020)	Makale (Uluslararası dergi)	Mogan Gölü Havzası	Sakarya Havzası
Yalçın, E. (2020)	Makale (Ulusal dergi)	Bitlis Çayı Havzası	Dicle Havzası
Akbas, M.A.A. (2020)	Makale (Uluslararası dergi)	Susurluk Havzası	Susurluk Havzası
Donmez, C. ve diğ. (2020)	Makale (Uluslararası dergi)	Aşağı Seyhan Havzası	Seyhan Havzası
Dutal, H. (2020)	Doktora Tezi	Körsulu Deresi Havzası	Ceyhan Havzası
Peker, İ.B. (2020)	Yüksek Lisans Tezi	Murat ve Karasu Havzaları	Fırat Havzası
Askar, M.A.A. (2020)	Yüksek Lisans Tezi	Seyhan Havzası	Seyhan Havzası
Ajaaj, A.A. ve diğ. (2019)	Makale (Uluslararası dergi)	Dicle Havzası	Dicle Havzası
Özdemir, K. ve Güngör, Ö. (2019)	Makale (Ulusal dergi)	Filyos Çayı Havzası	Batı Karadeniz Havzası
Cuceloglu, G. ve Ozturk, I. (2019)	Makale (Uluslararası dergi)	Melen Havzası	Sakarya Havzası
Saddiçi, M.M. ve Karpuzcu, M.E. (2019)	Makale (Ulusal dergi)	Küçük Menderes Alt Havzası	Küçük Menderes Havzası
Yalcin, E. (2019)	Makale (Uluslararası dergi)	Garzan Çayı Havzası	Dicle Havzası
Sertel, E. ve diğ. (2019)	Makale (Uluslararası dergi)	Büyükçekmece Gölü Havzası	Marmara Havzası
Koycegiz, C. ve Buyukyildiz, M. (2019)	Makale (Uluslararası dergi)	Çarşamba Havzası	Konya Kapalı Havzası
Kabal, C. (2019)	Yüksek Lisans Tezi	Gürdük Havzası	Gediz Havzası
Cüceloğlu, G. (2019)	Doktora Tezi	İstanbul Su Havzaları	Marmara Havzası
Baltacı, E. (2019)	Yüksek Lisans Tezi	İnebolu Havzası	Batı Karadeniz Havzası
Saddiçi, M.M. (2019)	Yüksek Lisans Tezi	Küçük Menderes Alt Havzası	Küçük Menderes Havzası
Jouma, N. (2019)	Yüksek Lisans Tezi	Develi Havzası	Kızılırmak Havzası
İrvem, A. ve El-Sadek, A. (2018)	Makale (Ulusal dergi)	Seyhan Havzası	Seyhan Havzası
Jouma, N. ve Dadaşer-Çelik, F. (2018)	Makale (Ulusal dergi)	Develi Havzası	Kızılırmak Havzası
Duru, U. ve diğ. (2018)	Makale (Uluslararası dergi)	Ankara Çayı Havzası	Sakarya Havzası
Ozdemir, A. ve Leloglu, U.M. (2018)	Makale (Uluslararası dergi)	Sarısu-Eylıklar Havzası	Konya Kapalı Havzası
Bucak, T. ve diğ. (2018)	Makale (Uluslararası dergi)	Beyşehir Gölü Havzası	Konya Kapalı Havzası
Sarı, Ö. (2018)	Yüksek Lisans Tezi	Aşağı Seyhan Havzası	Seyhan Havzası
Yıldırım, S. (2018)	Yüksek Lisans Tezi	Borçka Barajı Havzası	Çoruh Havzası
Köyceğiz, C. (2018)	Yüksek Lisans Tezi	Çarşamba Havzası	Konya Kapalı Havzası
Güngör, Ö. (2018)	Doktora Tezi	Filyos Çayı Havzası	Batı Karadeniz Havzası
Tufekcioglu, M. ve diğ. (2017)	Makale (Ulusal dergi)	Bayam Ormanı Drenaj Alanı	Kızılırmak Havzası
Ozcan, Z. ve diğ. (2017a)	Makale (Uluslararası dergi)	Mogan Gölü Havzası	Sakarya Havzası
Cuceloglu, G. ve diğ. (2017)	Makale (Uluslararası dergi)	İstanbul Su Havzaları	Marmara Havzası
Ertürk, A. ve diğ. (2017)	Makale (Uluslararası dergi)	Köyceğiz-Dalyan Havzası	Batı Akdeniz Havzası
Kaya, S. ve Kutukcu, A. (2017)	Makale (Uluslararası dergi)	Büyük Menderes ve Gediz Havzaları	Büyük Menderes ve Gediz Havzaları
Elçi, A. (2017)	Makale (Uluslararası dergi)	Nif Çayı Havzası	Gediz Havzası
Duru, U. ve diğ. (2017)	Makale (Uluslararası dergi)	Ankara Çayı Havzası	Sakarya Havzası
Özcan, Z. ve diğ. (2017b)	Makale (Uluslararası dergi)	Mogan Gölü Havzası	Sakarya Havzası
Ozdemir, A. ve diğ. (2017)	Makale (Uluslararası dergi)	Sarısu-Eylıklar ve Namazgah Baraj Gölü Havzaları	Konya Kapalı/Sakarya Havzaları
Daggupati, P. ve diğ. (2017)	Makale (Uluslararası dergi)	Fırat Havzası'nın bir kısmı	Fırat Havzası
Bucak, T. ve diğ. (2017)	Makale (Uluslararası dergi)	Beyşehir Gölü Havzası	Konya Kapalı Havzası
Gölpınar, M.S. (2017)	Yüksek Lisans Tezi	Aşağı Seyhan Havzası	Seyhan Havzası
Özcan, Z. ve diğ. (2016)	Makale (Uluslararası dergi)	Mogan ve Eymir Gölü Havzaları	Sakarya Havzası
Zaimes, G.N. ve diğ. (2016)	Makale (Uluslararası dergi)	Bayam Ormanı Drenaj Alanı	Kızılırmak Havzası
Gungor, K. ve diğ. (2016)	Makale (Uluslararası dergi)	Yeniçağa Gölü Havzası	Batı Karadeniz Havzası
Coppens, J. ve diğ. (2016)	Makale (Uluslararası dergi)	Mogan ve Eymir Gölü Havzaları	Sakarya Havzası
Özcan, Z. (2016)	Yüksek Lisans Tezi	Mogan Gölü Havzası	Sakarya Havzası
Bar, R. ve diğ. (2015)	Makale (Uluslararası dergi)	Karadeniz Bölgesi Havzaları	Karadeniz Bölgesi Havzaları
Akgül, M.A. (2015)	Yüksek Lisans Tezi	Aşağı Seyhan Havzası	Seyhan Havzası
Azgin, Ş.T. (2015)	Doktora Tezi	Palas Ovası	Kızılırmak Havzası
El-Sadek, A. ve İrvem, A. (2014)	Makale (Ulusal dergi)	Seyhan Havzası	Seyhan Havzası
Ertürk, A. ve diğ. (2014)	Makale (Uluslararası dergi)	Köyceğiz-Dalyan Havzası	Batı Akdeniz Havzası
Güngör, Ö. ve Gönçü, S. (2013)	Makale (Uluslararası dergi)	Aşağı Porsuk Çayı Havzası	Sakarya Havzası
Akiner, M.E. ve Akkoyunlu, A. (2012)	Makale (Uluslararası dergi)	Melen Havzası	Sakarya Havzası
Ekdal, A. ve diğ. (2011)	Makale (Uluslararası dergi)	Köyceğiz-Dalyan Havzası	Batı Akdeniz Havzası
Güngör, Ö. (2011)	Yüksek Lisans Tezi	Aşağı Porsuk Çayı Havzası	Sakarya Havzası
Güzel, Ç. (2010)	Yüksek Lisans Tezi	Köyceğiz-Dalyan Havzası	Batı Akdeniz Havzası
Jones, C. ve diğ. (2008)	Makale (Uluslararası dergi)	Fırat ve Dicle Havzaları	Fırat ve Dicle Havzaları
Bulut, E. ve Aksoy, A. (2008)	Makale (Uluslararası dergi)	Uluabat Gölü Havzası	Susurluk Havzası

Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik

Tablo 2. İncelenen çalışmalarda kullanılan açık kaynaklı girdi veri setleri ve kaynakları.

Veri Sağlayıcı	Veri İsmi	Veri Tipi	Veri Kaynağı
NASA (National Aeronautics and Space Administration)	SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)	Topoğrafya	https://srtm.csi.cgiar.org/
USGS (United States Geological Survey)	ASTER-GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model)	Topoğrafya	https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp
USGS (United States Geological Survey)	USGS (United States Geological Survey)	Topoğrafya	https://earthexplorer.usgs.gov/
FAO-UNESCO (Food and Agricultural Organization-United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)	HWSD (Harmonized World Soil Database)	Toprak	http://www.fao.org/soils-portal/
USGS (United States Geological Survey)	LANDSAT	Arazi kullanımı	https://earthexplorer.usgs.gov/
ESA (European Space Agency)	SPOT7 (Satellite Pour l'Observation de la Terre)	Arazi kullanımı	https://earth.esa.int/eogateway/missions/spot
ESA (European Space Agency)	RAPIDEYE	Arazi kullanımı	https://earth.esa.int/eogateway/missions/rapideye
SIC (Satellite Imaging Corporation)	IKONOS (Yunanca "imge")	Arazi kullanımı	https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos/
EEA (European Environment Agency)	CORINE (Coordination of Information on the Environment)	Arazi kullanımı	https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/
EC-JRC (European Commission-Joint Research Center)	GLC2000 (Global Land Cover 2000)	Arazi kullanımı	https://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/products.php
ESA (European Space Agency)	GLOBCOVER (Global Land Cover Map)	Arazi kullanımı	http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php
USGS (United States Geological Survey)	GLCC (Global Land Cover Characterization)	Arazi kullanımı	https://earthexplorer.usgs.gov/
NCDC-NOAA (National Climatic Data Center-National Oceanic and Atmospheric Administration)	CFSR (Climate Forecast System Reanalysis)	Meteoroloji	https://cfs.ncep.noaa.gov/cfsr/
UEA (University of East Anglia)	CRU (Climate Research Unit)	Meteoroloji	https://sites.uea.ac.uk/cru/

Tablo 3. İncelenen çalışmalarda sıkça kullanılan bakanlık/kuruluş kaynaklı ver setleri.

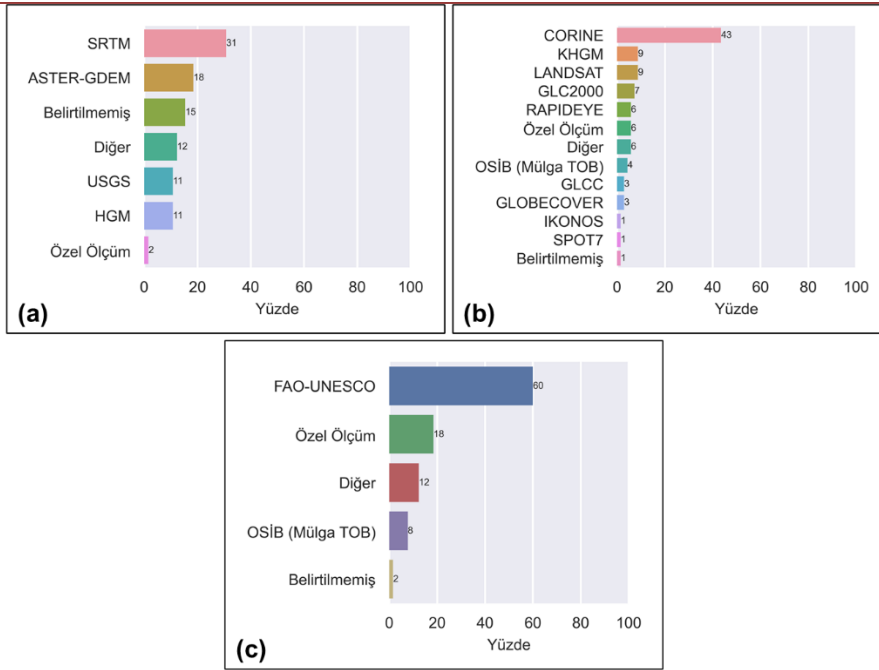
Bakanlık/Kuruluş İsmi	İnternet sitesi	Veri Tipi
HGM (Harita Genel Müdürlüğü)	https://www.harita.gov.tr/	Topoğrafya
TOB (Tarım ve Orman Bakanlığı)	https://www.tarimorman.gov.tr/	Arazi kullanımı/Toprak
OSIB (Orman ve Su İşleri Bakanlığı)	Mülga TOB sitesi	Arazi kullanımı/Toprak
KHGM (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü)	İl Özel İdareleri ile birleştirildi.	Arazi kullanımı/Toprak
MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü)	https://www.mgm.gov.tr/	Meteoroloji
DSİ (Devlet Su İşleri)	https://www.dsi.gov.tr/	Akım

3.1.3 Hidro-meteorolojik veriler

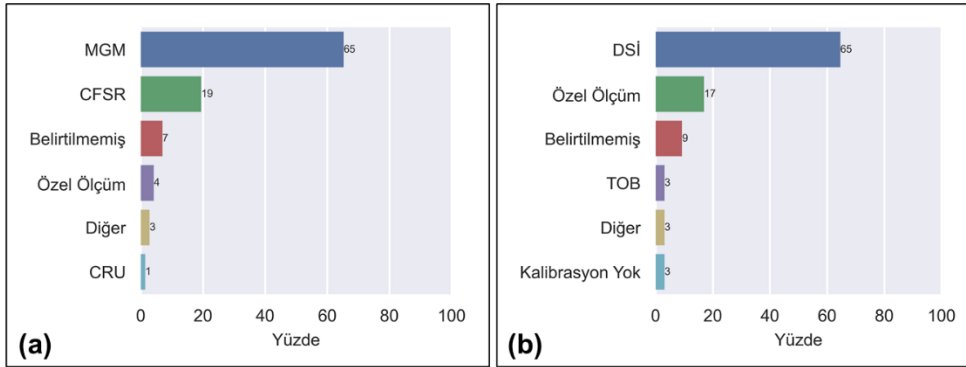
İncelenen çalışmalardaki iklim verileri için genellikle çalışma alanlarına yakın konumlandırılmış ölçüm yapan meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilen veriler tercih edilmiştir. (Şekil 9-a). Yayınlarda kullanılan yerel iklim gözlem verileri MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) tarafından sağlanmakta olup modelin uygulamalarında en çok tercih edilen veri kaynağı olduğu görülmektedir. MGM verilerinin yanı sıra açık kaynaklı olarak paylaşılan iklim verileri de Türkiye'deki SWAT modeli çalışmalarında sıklıkla girdi olarak kullanılmıştır. Bu veriler uydu gözlemlerine veya yer gözlem istasyonlarına ait veriler baz alınarak çeşitli interpolasyon yöntemleri ile türetilmiştir. Bu veri setlerinin çalışmalardaki havzalar için kullanılabilir olduğu görülmektedir. Bunlar arasında en sık kullanılan veri kaynağı CFSR (Climate Forecast System

Reanalysis) verisidir (Şekil 9-a). Bu veri kaynağının kullanılmasındaki en büyük etken veriye erişim kolaylığı ve SWAT modeline uygun formatta kullanıma hazır olarak elde edilebilir olmasıdır (<https://globalweather.tamu.edu/>).

Çalışmalarda yapılan hidrolojik modelin başarısını gözetmek için araştırmacıların modellenen akım çıktılarına gözlenmiş akım verileri ile kıyaslaması gerekmektedir. İncelenen çalışmalarda, SWAT modeline ait akım çıktılarının ölçüm verileri ile karşılaştırılmasında, ağırlıklı olarak DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından paylaşılan akım gözlem verilerinin kullanıldığı görülmektedir (Şekil 9-b). Bununla birlikte, önemli sayıda yayında, kalibrasyon için çalışma kapsamında ölçülen akım verilerinin kullanılması dikkat çekmektedir. Bazı çalışmalarda ise akım için model kalibrasyon verisine çalışma kapsamı gereği ihtiyaç duyulmadığı belirtilmiştir.



Şekil 8. İncelenen çalışmalarda (a) SYM, (b) arazi kullanımı ve (c) toprak tipi için kullanılan veri kaynaklarının dağılımı.



Şekil 9. İncelenen çalışmalarda (a) meteoroloji ve (b) akım için kullanılan veri kaynaklarının dağılımı.

3.2 Çalışmaların kapsamları

Tablo 1’de verilen SWAT modelinin Türkiye’deki uygulamaları kapsamı bakımından hidroloji ve su kalitesi olmak üzere iki ana sınıfta incelenmiştir. Hidroloji odaklı yapılan çalışmalar yüzey suyu ve yer altı suyu olarak alt sınıflarda incelenirken su kalitesi odaklı çalışmalar sediment ve kirlilik alt sınıflarına ayrılarak kategorize edilmiştir. Ayrıca, her bir alt sınıf mevcut durum (geçmiş dönem) ve iklim değişikliği (gelecek dönem) çalışmaları olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre, SWAT modeli kullanılarak yapılan hidroloji odaklı mevcut durumdaki yüzey suyu ile ilgili çalışmalar tüm çalışmaların %66’sını oluşturmaktadır (Şekil 10).

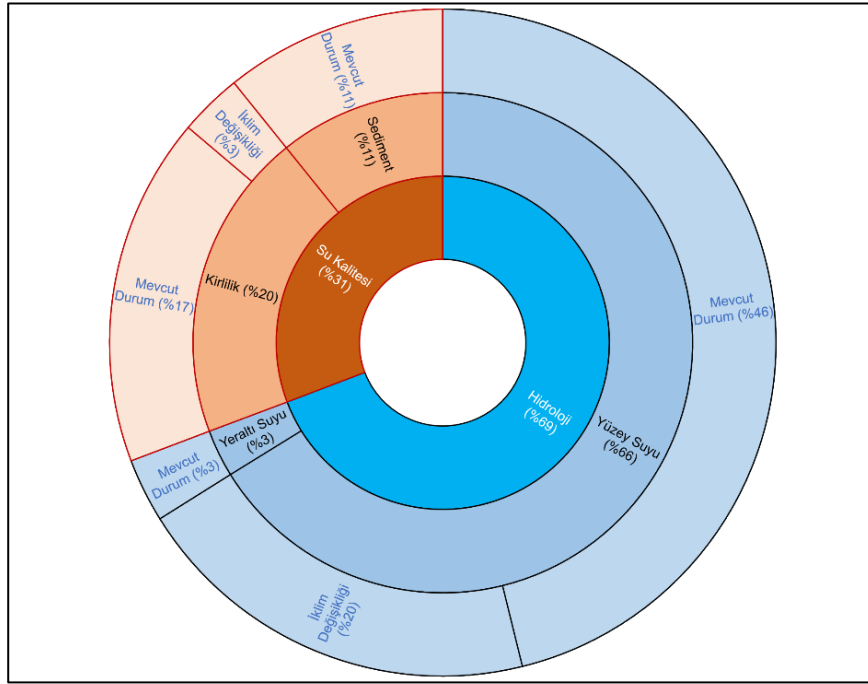
Çalışmalar kapsamı bakımından değerlendirildiğinde hidroloji odaklı çalışmalar %69, su kalitesi üzerine yapılan çalışmalar %31 oranındadır. Araştırmacılar tarafından en fazla yapılan çalışma (%66) yüzey suyu modellemesidir (Şekil 10). Yer altı suyu odaklı ve iklim değişikliğinin kirlilik üzerine etkileri ile ilgili yapılan çalışmalar en azdır (%3). Mevcut durum için yapılan çalışmalar iklim değişikliği üzerine yapılan çalışmalara göre daha fazladır. Fakat son yıllarda iklim değişikliği üzerine yapılan çalışmaların sayıca arttığı gözlemlenmiştir.

Ülkemizde hidro-meteorolojik verilere ilgili kaynaklardan hızlı bir şekilde ulaşılabilmesi ve SWAT modelinin güçlü bir yeraltı

suyu akım modeline sahip olmaması (Bailey ve diğ., 2016) sebepleriyle modelin ülkemizdeki uygulamalarının daha çok yüzey suyu araştırmaları kapsamında kaldığı düşünülmektedir. Çalışma kapsamı bakımından yapılan sınıflandırmada (Şekil 10) görülebileceği üzere yer altı suyu ile ilgili çalışmalar oldukça azdır. İncelenen çalışmalar arasında iklim değişikliğinin yer altı suyuna etkisini konu alan bir çalışma bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra gözlemi ve ölçümü daha zor olan nütrient, pestisit veya sediment gibi su kalitesi verileri ile ilgili erişilebilir kaynaklar kısıtlıdır. Bu durum araştırmacıları su kalitesi kapsamında çalışmalar yapmak için zahmetli ve uzun süren arazi çalışmalarına yönlendirmektedir. Bu sebeple su kalitesi ile ilgili çalışmaların daha az olduğu düşünülmektedir.

3.3 Model performansı

SWAT modelinin ülkemiz havzalarındaki performansı, çalışmaların kalibrasyon ve validasyon sonuçları incelenerek değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamı gereği akım veya su kalitesi çıktıları için model kalibrasyonuna ihtiyaç duyulmadığı belirtilen dört makale performans için yapılan analizde yer almamaktadır. Ayrıca, makale çalışmaları ile ilişkili olan ve dolayısıyla tekrar eden sonuçlara sebep olacak tez çalışmaları da bu analize dahil edilmemiştir. Böylece, model performansı için yapılan analiz 42 makale çalışmasını kapsamaktadır.



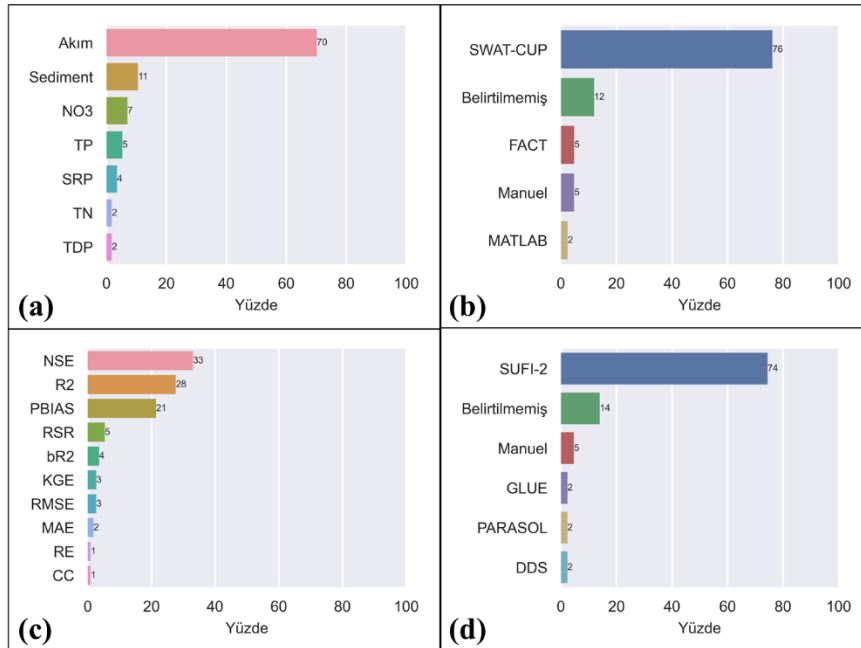
Şekil 10. İncelenen çalışmaların kapsamı.

İncelenen çalışmalarda kalibrasyon için en fazla kullanılan model çıktısının akım olduğu görülmektedir (Şekil 11-a). Bunun yanında bazı çalışmalarda sediment, NO₃, TN (toplam azot), TP (toplam fosfor) ve SRP (çözünbilir reaktif fosfor) gibi su kalitesi değişkenleri de kalibre edilen diğer model çıktılarıdır.

Kalibrasyon işlemi için araştırmacıların büyük çoğunlukla SWAT-CUP programını tercih ettikleri görülmektedir (Şekil 11-b). Ayrıca, bazı araştırmacılar kendi geliştirdikleri kalibrasyon yazılımını kullanırken bazıları ise kalibrasyon işlemi manuel olarak gerçekleştirmiştir. En sık kullanılan kalibrasyon yöntemi SUFI-2 algoritmasıdır (Şekil 11-d). Kalibrasyonlarda GLUE, ParaSol ve DDS (Dynamically Dimensioned Search) yöntemleri de kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda kalibrasyon

için kullanılan yazılım ve algoritmaların belirtilmediği dikkat çekmektedir.

Model performansının değerlendirilmesinde en sık kullanılan performans göstergesinin NSE (Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı) ve R² (determinasyon katsayısı) olduğu görülmektedir (Şekil 11-c). PBIAS (yüzde eğilim), bR² (ölçüm verileri ile simülasyon sonuçlarının keşimi sıfıra eşit olan lineer regresyon çizgisinin eğiminin çarpımı), RSR (RMSE'nin gözlem verisi standart sapmasına oranı), KGE (Kling-Gupta verimlilik katsayısı), RE (rölatif hata), CC (korelasyon katsayısı), RMSE (kök ortalama kare hata) ve MAE (ortalama mutlak hata) kalibrasyonlarda gözetilen diğer performans göstergeleridir.



Şekil 11. İncelenen çalışmalarda (a) kalibre edilen model çıktıları, (b) kullanılan kalibrasyon yazılımları, (c) performans göstergeleri ve (d) kalibrasyon yöntemleri.

Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik

Bu bölümde, su kalitesi ile ilgili yapılan çalışmaların ve sonuçların az olması sebebi ile kalibrasyonda en sık kullanılan model çıktısı olan akıma ait göstergeler dikkate alınmıştır. İncelenen SWAT uygulamalarına ait kalibrasyon ve validasyon için kullanılan toplam istasyon sayıları ve bu istasyonlara ait NSE ve R² değerlerinin dağılımları Tablo 4'te sunulmaktadır. Tablo 4 değerlendirilirken, bazı çalışmalarda birden fazla akım istasyonu kullanıldığı, bazı çalışmalarda ise bir istasyonun birden fazla optimizasyon algoritması ile kalibre edildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, Tablo 4 SWAT modelinin kalibrasyon ve validasyon performansında kullanılan tüm gözlem istasyon sonuçlarını toplu bir şekilde sunmakta olup genel bir değerlendirmeye olanak sağlamaktadır.

Bu tabloda verilen istatistikler aylık ve günlük zaman adımı olmak üzere iki ayrı kategoride değerlendirilmiştir. Genel olarak, SWAT modelinin Türkiye'deki uygulamalarının aylık zaman ölçeğinde daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Bu durum uluslararası literatürdeki diğer çalışmalara ait bulgularla da benzerlik göstermektedir (Gassman ve diğ., 2007; Douglas-Mankin ve diğ., 2010; Gassman ve diğ., 2014; Tan ve diğ., 2019).

SWAT modeli performansının değerlendirilmesinde Moriasi ve diğ. (2007) tarafından önerilen parametre aralıkları (aylık zaman) dikkate alındığında, ülkemizde gerçekleştirilen SWAT modeli uygulamalarına ait kalibrasyon sonuçlarının yaklaşık %75'i tatmin edici seviyenin üzerindedir (NSE>0.5).

Tablo 4. NSE ve R²'ye göre belirlenen değer aralıklarında model kalibrasyon ve validasyon sonuçlarının dağılımı.

Değer Aralığı	Aylık				Günlük			
	Kalibrasyon		Validasyon		Kalibrasyon		Validasyon	
	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²
0.90–1.00	4	2	3	1	1	0	0	0
0.80–0.89	14	14	14	15	2	3	8	7
0.70–0.79	40	31	28	24	4	3	1	4
0.60–0.69	51	34	40	15	9	4	9	3
0.50–0.59	33	21	21	18	6	6	4	1
0.40–0.49	20	2	14	3	6	5	2	2
0.30–0.39	11	5	10	4	2	3	1	2
0.20–0.29	3	0	6	0	6	6	1	2
0.10–0.19	4	0	3	0	3	2	3	2
0.00–0.09	5	0	0	0	1	2	1	3
<0	3	0	3	0	3	0	5	0
Toplam	188	109	142	80	43	34	35	26

3.4 Modelin tercih edilme sebepleri

SWAT modeli son yıllarda araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Model ile ilgili yayınlanan tüm çalışmalar sitesinde yer alan güncel veri tabanından erişilip incelenebilir (CARD, 2022). SWAT açık kaynaklı bir hidrolojik modeldir. Diğer havza modellerine kıyasla SWAT, düzenli bir kullanıcı kılavuzuna sahiptir ve sistemli teknik raporları kolaylıkla elde edilebilmektedir. Ayrıca, model kullanıcıları için çevrimiçi tartışma ortamları bulunmaktadır. Tüm bunlar SWAT modelinin dünya genelinde tercih edilmesindeki temel nedenler olarak gösterilebilir. Bahsedilen üstünlükleri sayesinde SWAT modelinin ülkemizdeki uygulamalarında da bir artış görülmektedir (Şekil 7).

SWAT modeli diğer havza modelleri ile kıyaslandığında birçok üstünlüğe sahiptir. Modelin üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir (Fontaine ve diğ., 2002; Gassman ve diğ., 2007; Neitsch ve diğ., 2011; Neitsch ve diğ., 2012; Abbaspour, 2015):

- ❖ Açık kaynaklı yazılım oluşu
- ❖ CBS ortamları ile bütünleşik çalışabilmesi
- ❖ Yeni kullanıcılar için sistemli teknik dokümanlara sahip olması
- ❖ Kullanıcıların tartışabildiği aktif internet gruplarının bulunması
- ❖ Topoğrafya verisi ile modelin orografik etkileri daha iyi temsil edebiliyor olması
- ❖ Uzun dönemli analizler için istatistiksel üretilmiş meteoroloji verisinin bulunması
- ❖ Yıllık, aylık, günlük veya daha küçük zaman adımları ile çalıştırılabilmesi
- ❖ Tarla ölçeğinden havza ölçeğine dek çalışma alanlarında iyi sonuçlar vermesi
- ❖ Hem su bütçesi hem de su kalitesi modelleme

kapasitesinin olması

- ❖ Birden fazla yağış-akış ve evapotranspirasyon yöntemlerini içermesi
- ❖ Tarımsal arazileri mevcut havzalarda yönetim uygulamalarına müsaade etmesi
- ❖ Model özelinde geliştirilen otomatik kalibrasyon yazılımlarının bulunması

Birçok üstünlüğe sahip olmasına rağmen SWAT modelinin bazı eksiklikleri de mevcuttur. Modelin çok fazla parametreye sahip olması, kalibrasyon aşamasında kabul edilebilir ve anlamlı sonuçlar elde edilebilmesi için zorlaştırıcı bir süreç gerektirmektedir. Modelin birbiri ile ilişkili, kalibre edilebilecek çok fazla parametreye sahip olması bu süreci zorlaştırmaktadır. SWAT modelinin bir diğer eksikliği verinin yetersiz olduğu havzalarda model kurulmasının zor olmasıdır. Genellikle SYM, arazi kullanımı ve toprak tipi veri setlerine ulaşımın kısıtlı olduğu çalışma alanlarında SWAT model çatisinin oluşturulması güçtür. Ayrıca SWAT, iklim verilerine günlük zaman adımında ihtiyaç duyduğu için güvenilir ve sık ölçüm yapılan istasyon verilerine ulaşılması gerekmektedir.

Hidrolojik işlem birimlerinin (HİB) mekânsal dağılımının gerçekçi olmaması da özellikle havzada yayılı yük kaynaklarının kontrolünde uygulanan en iyi yönetim uygulamalarının gerçeğe yakın bir şekilde uygulanmasını güçleştirmektedir. SWAT+ modelinde HİB'lerin topolojik ilişkileri ve modelin mekânsal çözünürlüklerinin artırılarak bu durumun giderilmesi amaçlanmaktadır. Buna ek olarak SWAT eski sürümleri model için gerekli girdileri (zaman serileri, parametreleri vd.) çok sayıda dosya üzerinden okumaktadır. Bu durum model çalışma süresini ve dolaylı olarak model kalibrasyon sürecini uzatmaktadır. Bu eksiklik SWAT+ modelinde girdi dosya düzeninin değiştirilmesi ile giderilmiştir.

Model verilerinin elde edilmesi gelişmiş ülkelerde sistemli ve düzenli bir şekilde gerçekleştirilip kullanıcılara sunulmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde ise SWAT modeli girdilerine ulaşmakta zorluk yaşanmaktadır. Bu durumda araştırmacılar zorlu ve maliyetli özel ölçümlere ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanında, en sık kullanılan CBS arayüzü ArcGIS'in ücretli olmasının özellikle öğrenci statüsündeki araştırmacılar üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu söylenebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada havza modelleme çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılan, ülkemizde de uygulama çalışmaları artmakta olan SWAT modeline ait genel bilgiler verilmiş ve ülkemizde gerçekleştirilen çalışmalar değerlendirilmiştir. Bu derleme çalışması ile özellikle modeli kullanmak isteyen araştırmacılara kısa bir ön bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Modelin ülkemizdeki uygulamaları bu makalede incelenerek SWAT modeli ile ilgili literatür taraması çalışmalarına yardımcı olması hedeflenmiştir. Ayrıca İngilizce ve Türkçe yayımlanan eserlerin toplu bir analizi yapılarak genel bir değerlendirme sunulmuştur.

Yapılan derleme sonucunda kullanılan veriler açısından genel olarak yurtdışı kaynaklı mekânsal verilerin (SYM, toprak ve arazi kullanımı) tercih edildiği görülmektedir. Sayısal yükseklik haritası için SRTM (%31), arazi kullanımı için CORINE (%43) ve toprak haritası için FAO-UNESCO (%60) verileri en çok kullanılan yurt dışı kaynaklı verilerdir. İklim verileri için çoğunlukla (%65) MGM tarafından üretilmiş meteorolojik zaman serilerinden faydalanılmıştır. Model kalibrasyonunda kullanılan akım verileri için ise DSI'ye ait akım rasatları en çok (%65) tercih edilen veri kaynağıdır.

Çalışma kapsamı bakımından mevcut durumdaki yüzey suyu ile ilgili çalışmaların en fazla (%66) olduğu görülmektedir. Mevcut durum için yer altı suyu ile ilgili (%3) ve iklim değişikliğine bağlı kirlilik üzerine yapılan çalışmalar (%3) sayıca en azdır.

Kalibrasyon çalışmalarında 2021 yılına kadar ücretsiz dağıtılan ve yaygın kullanıma sahip olan SWAT-CUP yazılımı en çok tercih edilen kalibrasyon aracı olmuştur. SWAT-CUP gibi modele özgü bir programın oluşu SWAT modelinin tercih edilme sebepleri arasında sıklıkla belirtilmektedir. Ancak son yıllarda kalibrasyon ve belirsizlik analizi yapan birçok yeni program geliştirilmiştir. Bu programların SWAT-CUP'a kıyasla farklı işletim sistemlerinde çalışabilmesi, ücretsiz ve açık kaynak kodlu olması gibi bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Dolayısıyla yakın gelecekte SWAT-CUP programından daha yaygın bir kullanıma sahip olmaları beklenmektedir. Ayrıca, SWAT-CUP'ın 2020 yılı itibari ile yalnızca ücretli sürümünün dağıtılıyor olması bu program için bir eksiklik olarak düşünülmektedir.

Çalışmalarda en çok kalibre edilen model çıktısı akımdır. Buna göre yapılan kalibrasyon ve validasyon sonuçlarının çoğu tatmin edici seviyenin üzerindedir (0,5'in üzerinde R² ve NSE değerleri). Bu durum, Türkiye'de bu çalışma kapsamındaki havzalar için SWAT modelinin kabul edilebilir sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Araştırmacıların ülkemize ait havzalarda gerçekleştirdikleri modelleme çalışmalarında yurt dışı kaynaklı veri setlerine yöneldiği görülmektedir. Ülkemiz havzalarında kullanılan SWAT modelinin performansının artırılabilmesi için mevcut çalışmalarda söz edilen bazı eksiklerin giderilmesi ve mekânsal çözünürlüğü daha yüksek olan yerel veri setlerinin üretilmesi büyük önem taşımaktadır.

Analiz edilen bazı çalışmalarda model kurulumunda kullanılan

veri setlerinin kaynağının belirtilmediği görülmüştür. Bununla birlikte, bazı makalelerde kalibrasyon ve validasyon süreçleri iyi bir şekilde bildirilmemiştir. Güvenilir verilerin mevcudiyeti, SWAT kullanıcılarının karşılaştığı ana sorunlardan biridir, çünkü bu veriler bazı ülkelerde ya serbestçe erişilebilir değildir ya da kamu erişiminden kısıtlanmıştır. Bu nedenle, SWAT modellemesi için güvenilir girdi verilerinin belirlenmesi ve geliştirilmesi konusunda gelecekteki çalışmalar düşünülmelidir. Bu belirsiz durum, çalışmada oluşturulan modelin detayı hakkında yeterli kadar bilgi vermeyerek, model başarısı ve sonuçlarının kullanılabilirliği ile ilgili kaygılara yol açabilmektedir. Konu ile ilgili gerçekleştirilecek çalışmalarda, model kurulumu için kullanılan veri kaynaklarının açıkça belirtilmesi diğer araştırmacılara ve havzada yapılacak diğer çalışmalara da faydalı olacaktır.

Bu makale kapsamında toplanan çalışmaların gelecekte de değerlendirilerek güncel bir veri tabanının oluşturulması önerilmektedir. Bu veri tabanının ilgili yayınlara erişmek için harcanan sürenin azaltılmasında önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, Türkiye'de yapılan havza çalışmalarında kat edilen yolun belirlenmesinde etkili olacaktır. Bu kapsamda gelecek yıllarda bu veri tabanının ve çalışmanın güncellenerek ilgili eserlere ulaşım bağlantılarının sağlanacağı bir internet ortamının geliştirilmesi planlanmaktadır.

SWAT modeli, geliştirilen tüm diğer modeller gibi bazı üstünlükleri ve eksikleri olan bir modeldir. Tüm havza modellemesi çalışmalarında istenilen bütün çözümleri sunamayacağı da bir gerçektir. Ancak genel itibari ile eksiklikleri ve üstünlükleri belirtilerek kendini dünyada kanıtlamış bir model olduğu görülmektedir. Ülkemizdeki araştırmacıların diğer havza modelleme araçlarının seçiminde olduğu gibi SWAT modelini tercih ederken de modelin üstün ve zayıf yanlarını dikkatli bir şekilde analiz etmesi ve çalışmanın amacı doğrultusunda karar vermesi tavsiye edilmektedir.

Son olarak, SWAT gibi diğer havza modelleri için de ilgili araştırmacıları bilgilendirmek amacıyla yapılacak derleme çalışmalarının faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, bu kapsamdaki çalışmaların ülkemizdeki havza modelleme yönetim çalışmalarında karşılaşılan güçlüklerin çözümüne önemli ölçüde katkı sunacağı düşünülmektedir.

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

5. Kaynaklar

- Abbaspour, K.C. (2015) *SWAT-CUP: SWAT calibration and uncertainty programs user manual*. Dübendorf, Zürich: EAWAG.
- Abbaspour, K.C., Johnson, C.A. and van Genuchten, M. T. (2004) Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure. *Vadose Zone Journal*, 3(4), 1340 - 1352. doi:10.2136/vzj2004.1340
- Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and 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. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.09.014
- Ajaaj, A.A., Mishra, A.K. and Khan, A.A. (2019) Evaluation of Satellite and Gauge-Based Precipitation Products through Hydrologic Simulation in Tigris River Basin under Data-Scarce Environment, *Journal of Hydrologic*

- Engineering, 24(3), 05018033. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001737
- Akbas, A., Freer, J., Ozdemir, H., Bates, P.D. and Turp, M.T. (2020) What about reservoirs? Questioning anthropogenic and climatic interferences on water availability. *Hydrological Processes*, 34(26), 5441–5455. doi:10.1002/hyp.13960
- Akgül, M.A. (2015) Aşağı Seyhan Ovası Sol Sahil Sulaması, Su ve Nitrat Bütçesinin Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Akiner, M.E. and Akkoyunlu, A. (2012) Modeling and forecasting river flow rate from the Melen Watershed, Turkey. *Journal of Hydrology*, 456-457, 121-129. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.06.031
- Akoko, G., Le, T.H., Gomi, T. and Kato, T. (2021) A Review of SWAT Model Application in Africa. *Water*, 13(9),1313. doi:10.3390/w13091313
- Arnold, J.G. and Williams, J.R. (1987) Validation of SWRRB— Simulator for Water Resources in Rural Basins. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 113(2), 243-256. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(1987)113:2(243)
- Arnold, J.G., Srinivasan R., Mutiah R.S. and 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. doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x
- Arnold, J.G., Williams, J.R. and Maidment, D.R. (1995) Continuous-Time Water and Sediment-Routing Model for Large Basins. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(2), 171-183. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:2(171)
- Arnold, J.G., Bieger, K., White, M.J., Srinivasan, R., Dunbar, J.A. and Allen, P.M. (2018) Use of Decision Tables to Simulate Management in SWAT+. *Water*, 10(6), 713. doi:10.3390/w10060713
- Askar, M.A.A. (2020) İklim değişikliğinin Seyhan havzası su kaynakları üzerindeki etkilerinin SWAT modeli ile değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Azgin, Ş.T. (2015) Palas ovasında arazi örtüsü değişimlerinin belirlenmesi ve yayılı kirlenici yüklerin SWAT ile modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Bailey, R.T., Wible, T.C., Arabi, M., Records, R.M. and Ditty, J. (2016) Assessing regional-scale spatio-temporal patterns of groundwater–surface water interactions using a coupled SWAT-MODFLOW model. *Hydrological Processes*, 30(23), 4420 - 4433. doi:10.1002/hyp.10933
- Baltacı, E. (2019) İnebolu havzasında yüzeysel akış ve sediment yükünün tahmin edilmesinde SWAT modelinin uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Bär, R., Rouholahnejad, E., Rahman, K., Abbaspour, K.C. and Lehmann, A. (2015) Climate change and agricultural water resources: A vulnerability assessment of the Black Sea catchment. *Environmental Science & Policy*, 46, 57-63. doi:10.1016/j.envsci.2014.04.008
- Beven, K. and Binley, A. (1992) The Future of Distributed Models - Model Calibration and Uncertainty Prediction. *Hydrological Processes*, 6(3), 279-298. doi:10.1002/hyp.3360060305
- Bieger, K., Arnold, J.G., Rathjens, H., White, M.J., Bosch, D.D., Allen, P.M., Volk, M. and Srinivasan, R. (2017) Introduction to SWAT+, a Completely Restructured Version of the Soil and Water Assessment Tool. *Journal of the American Water Resources Association*, 53(1), 115– 130. doi:10.1111/1752-1688.12482
- Bieger, K., Arnold, J.G., Rathjens, H., White, M.J., Bosch, D.D. and Allen, P.M. (2019) Representing the Connectivity of Upland Areas to Floodplains and Streams in SWAT+. *Journal of the American Water Resources Association*, 55(3), 578– 590. doi:10.1111/1752-1688.12728.
- Bressiani, D.A., Gassman, P.W., Fernandes, J.G., Garbossa L.H.P., Srinivasan, R., Bonumá, N.B. and Mendiando, E.M. (2015) Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(3), 9–35. doi: 10.3965/j.ijabe.20150803.1765
- Brighenti, T.M., Bonumá, N.B., Srinivasan, R. and Chaffe, P.L.B (2019) Simulating sub-daily hydrological process with SWAT: a review, *Hydrological Sciences Journal*, 64(12), 1415-1423. doi: 10.1080/02626667.2019.1642477
- Brown, L.C. and Barnwell, J.T.O. (1987) *The enhanced water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and user manual*. Athens, Ga.: USEPA.: EPA.
- Bucak, T., Trolle, D., Andersen, H.E., Thodsen, H., Erdoğan, Ş., Levi, E.E., Filiz, N., Jeppesen, E. and 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.12.149
- Bucak, T., Trolle, D., Tavşanoğlu, Ü.N., Çakıroğlu, A.İ., Özen, A., Jeppesen, E. and 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.11.258
- Bulut, E. and Aksoy, A. (2008) Impact of fertilizer usage on phosphorus loads to Lake Uluabat. *Desalination*, 226(1–3), 289-297. doi:10.1016/j.desal.2007.02.112
- CARD (2020) SWAT Literature Database for Peer-Reviewed Journal Articles. Center for Agricultural and Rural Development: Iowa State University, Ames, IA, USA.
- Cerkasova, N., Umgieser, G. and Ertürk, A. (2018) Development of a hydrology and water quality model for a large transboundary river watershed to investigate the impacts of climate change – A SWAT application. *Ecological Engineering*, 124, 99-115. doi:10.1016/j.ecoleng.2018.09.025

- Coppens, J., Özen, A., Tavşanoğlu, U.N., Erdoğan, Ş., Levi, E.L., Yozgatlıgil, C., Jeppesen, E. and 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.04.028
- Coppens, J., Trolle, D., Jeppesen, E. and Beklioğlu, M. (2020) The impact of climate change on a Mediterranean shallow lake: insights based on catchment and lake modelling. *Regional Environment Change*, 20(2), 62. doi:10.1007/s10113-020-01641-6
- Crawford, N.H. and Linsley, R.K. (1966) Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV. *Contemporary Hydrology*, Technical report 39, 158-160.
- Cuceloglu, G. and Ozturk, I. (2019) Assessing the Impact of CFSR and Local Climate Datasets on Hydrological Modeling Performance in the Mountainous Black Sea Catchment. *Water*, 11(11), 2277. doi:10.3390/w11112277
- Cuceloglu, G., Abbaspour K.C. and 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. doi:10.3390/w9100814
- Cunderlik, M.J. (2003) Hydrologic model selection for the CFCAS project: Assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions. Project report 1, 38.
- Cüceloğlu, G., Şeker, D., Tanık, A. and Öztürk, İ. (2021) Analyzing Effects of Two Different Land Use Datasets on Hydrological Simulations by Using SWAT Model. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(2), 172-185. doi:10.30897/ijegeo.828112
- Cüceloğlu, G. (2019) İklim değişikliğinin İstanbul'un yüzeysel su kaynaklarına etkisi ve kuraklık dirençli bütünleşik su yönetimi, *Doktora Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Daggupati, P., Srinivasan, R., Dile, Y.T. and Verma, D. (2017) Reconstructing the historical water regime of the contributing basins to the Hawizeh marsh: Implications of water control structures. *Science of the Total Environment*, 580, 832-845. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.12.029
- Devia, G.K., Ganasri, B.P. and Dwarakish, G.S. (2015) A review on hydrological models. *Aquatic Procedia, International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering*, 4, 1001-1007. doi:10.1016/j.aqpro.2015.02.126
- Dile, Y.T., Daggupati, P., George, C., Srinivasan, R., and Arnold, J. (2016) Introducing a new open source GIS user interface for the SWAT model. *Environmental Modelling & Software*, 85, 129-138. doi:10.1016/j.envsoft.2016.08.004
- Dogan, F.N. and Karpuzcu, M.E. (2021) Effect of land use change on hydrology of forested watersheds. *Ecohydrology*, e2367. doi:10.1002/eco.2367
- Douglas-Mankin, K.R., Srinivasan, R. and Arnold, J.G. (2010) Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model: Current developments and applications. *Transactions of the ASABE*, 53(5), 1423-1431. doi:10.13031/2013.34915
- Donmez, C., Sari, O., Berberoglu, S., Cilek, A., Satir, O. and Volk, M. (2020) Improving the Applicability of the SWAT Model to Simulate Flow and Nitrate Dynamics in a Flat Data-Scarce Agricultural Region in the Mediterranean. *Water*, 12(12), 3479. doi:10.3390/w12123479
- Duru, U., Arabi, M. and 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. doi:10.1080/02723646.2017.1342199
- Duru, U., Wohl, E. and Ahmadi, M. (2017) Factors Controlling Sediment Load in The Central Anatolia Region of Turkey: Ankara River Basin. *Environmental Management*, 59(5), 826-841. doi:10.1007/s00267-016-0818-8
- Dutal, H. (2020) Körsulu deresi yağış havzasının WEPP (Water Erosion Prediction Project) and SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modelleri kullanılarak havza amenajmanı bakımından planlanması üzerine araştırmalar, *Doktora Tezi*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Ekdal, A., Gurel, M., Guzel, C., Ertürk, A., Tanik, A. and Gönenç, İ.E. (2011) Application of WASP and SWAT models for a Mediterranean Coastal Lagoon with Limited Seawater Exchange. *Journal of Coastal Research*, 64, 1023-1027.
- Elçi, A. (2017) Evaluation of nutrient retention in vegetated filter strips using the SWAT model. *Water Science & Technology*, 76(10), 2742-2752. doi:10.2166/wst.2017.448
- El-Sadek, A. and İrvem, 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. doi:10.3906/tar-1309-89
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gurel, M., Karakaya, N., Cuceloglu, G. and Gönenç, E. (2017) Model-based assessment of groundwater vulnerability for the Dalyan Region of southwestern Mediterranean Turkey. *Regional Environment Change*, 17(4), 1193-1203. doi:10.1007/s10113-017-1106-8
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gurel, M., Karakaya, N., Guzel, C. and 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.07.001
- Esen, S.E. and Hein, L. (2020) Development of SEEA water accounts with a hydrological model. *Science of the Total Environment*, 737, 140168. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140168
- Fıstıkoğlu, O. (1999) Hidrolojik Modeller. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 15. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, 799-809, Ankara.

- Francesconi, W., Srinivasan, R., Pérez-Miñana, E., Willcock, S.P. and Quintero, M. (2016) Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to model ecosystem services: A systematic review. *Journal of Hydrology*, 535, 625-636. doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.01.034
- Fontaine, T., Cruickshank, T., Arnold, J. and Hotchkiss, R. (2002) Development of a snowfall - Snowmelt routine for mountainous terrain for the soil water assessment tool (SWAT). *Journal of Hydrology*, 262, 209-223.
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H. and Arnold, J.G. (2007) The soil and water assessment tool: Historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*, 40(4), 1211-1250. doi:10.13031/2013.23637
- Gassman, P.W., Sadeghi, A.M. and Srinivasan, R. (2014) Applications of the SWAT Model Special Section: Overview and Insights. *Journal of Environmental Quality*, 43(1), 1-8. doi:10.2134/jeq2013.11.0466
- Gölpınar, M.S. (2017) Yüzev akışlarının SWAT modeli ile belirlenmesi: Akarsu Sulama Birliği Sahası örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Gungor, K., Karakaya, N., Evrendilek, F., Akgul, S., Baskan, O., Cebel, H., Farhoud, H.J., Turkecan, O., Yasar, S. and Gumus, O. (2016) Spatiotemporal modeling of watershed nutrient transport dynamics: Implications for eutrophication abatement. *Ecological Informatics*, 34, 52-69. doi:10.1016/j.ecoinf.2016.04.012
- Güngör, Ö. (2011) Aşağı Porsuk çayı havzasında askıda katı madde taşınımının belirlenmesi ve modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Güngör, Ö. (2018) SWAT modeli kullanılarak Filyos çayı havzasının hidrolojik analizi, *Doktora Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Güngör, Ö. and Göncü, S. (2013) Application of the soil and water assessment tool model on the Lower Porsuk Stream Watershed. *Hydrological Processes*, 27(3), 453-466. doi:10.1002/hyp.9228
- Güzel, Ç. (2010) Application of SWAT model in a watershed in Turkey, *M.Sc. Thesis*. Istanbul Technical University Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Hargreaves, G.H. and Allen, R.G. (2003) History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129, 53-63. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:1(53)
- Izaurrealde, R.C., Williams, J.R., McGill, W.B., Rosenberg, N.J. and Jakas, M.C.Q. (2006) Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data. *Ecological Modelling*, 192(3-4), 362-384. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.07.010
- İrvem, A. and El-Sadek, A. (2018). Evaluation of Streamflow Simulation By SWAT Model for The Seyhan River Basin. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 33(2), 99-110.
- Jones, C., Sultan, M., Yan, E., Milewski, A., Hussein, M., Al-Dousari, A., Al-Kaisy, S. and Becker, R. (2008) Hydrologic impacts of engineering projects on the Tigris-Euphrates system and its marshlands. *Journal of Hydrology*, 353(1-2), 59-75. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.01.029
- Jouma, N. (2019). Sultan Sazlığı'nda iklim değişikliği ve arazi kullanımı/örtüsü değişimlerinin etkilerinin SWAT ile modellenmesi, *Doktora Tezi*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Jouma, N. and Dadaser Celik, F. (2018) Develi Ovası'nda Sulama ve Rezervuar Depolamasının SWAT ile Simülasyonu. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1. *Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı*, 468-476.
- Kabal, C. (2019). Evaluation of the alternatives to improve water quality in gürdük watershed using SWAT model, *M.Sc. Thesis*, Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Karabulut, A., Elbaşı, F., Ustaoglu S. and Yatman, D. (2011) Türkiye büyük toprak grubu haritası, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Mekanizasyon ve Bilişim Teknolojileri Bölümü, Ankara.
- Kaya, S. and Kutukcu, A. (2017) Investigation of morphometric and hydrological characteristics of a water basin using numerical models. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(1), 360-368.
- Knisel, W.G. (1980) CREAMS, a field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. Washington, D.C.: USDA.
- Koycegiz, C., Buyukyildiz, M. and Kumcu, S.Y. (2021) Spatio-temporal analysis of sediment yield with a physically based model for a data-scarce headwater in Konya Closed Basin, Turkey. *Water Supply*, 21 (4): 1752-1763. doi:10.2166/ws.2021.016
- Koycegiz, C. and Buyukyildiz M. (2019) Calibration of SWAT and Two Data-Driven Models for a Data-Scarce Mountainous Headwater in Semi-Arid Konya Closed Basin. *Water*, 11(1), 147. doi:10.3390/w11010147
- Köyceğiz, C. (2018) SWAT ve yapay zekâ metotları ile akım tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kuczera, G. and Parent, E. (1998) Monte Carlo assessment of parameter uncertainty in conceptual catchment models: the Metropolis algorithm. *Journal of Hydrology*, 211(1-4), 69-85. doi:10.1016/S0022-1694(98)00198-X
- Leonard, R.A., Knisel, W.G. and Still, D.A. (1987) GLEAMS: Groundwater loading effects of agricultural management systems. *Transactions of the ASAE*, 30, 1403-1418. doi:10.13031/2013.30578
- Marshall, L., Nott, D. and Sharma, A. (2004) A comparative study of Markov chain Monte Carlo methods for conceptual rainfall-runoff modeling. *Water Resources Research*, 40(2). doi:10.1029/2003WR002378
- Monteith, J.L. (1965) Evaporation and the Environment. 19th Symposia of the Society for Experimental Biology, 19, 205-234.

Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik

- Mulvaney, T.J. (1850) On the use of self-registering rain and flood gauges. *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*, 4(2), 1-8.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R. (2011) Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Temple, Texas 76502: USDA-153 ARS Grassland Soil and Water Research Laboratory, and Texas A&M University, Blackland Research and Extension Center.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R. and Williams, J.R. (2012) Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation. Temple, Texas: USDA-ARS: USDA-ARS Grassland, Soil and Water Research Laboratory.
- Oruç, H.N. (2021) Evaluating the effects of soil data quality on the swat model runoff prediction performance in a highly industrialized catchment; case study in Saz-Çayırova stream, Turkey, *M.Sc. Thesis*, Gebze Technical University Institute of Earth and Marine Science, Gebze.
- Ozdemir, A. and Leloglu, U.M. (2018) A fast and automated hydrologic calibration tool for SWAT. *Water and Environment Journal*, 33(4), 488-498. doi:10.1111/wej.12419
- Ozdemir, A., Leloglu, U.M. and Abbaspour, K.C. (2017) Hierarchical approach to hydrological model calibration. *Environmental Earth Sciences*, 76, 318. doi:10.1007/s12665-017-6560-6
- Özcan, Z. (2016) Evaluation of the best management practices to control agricultural diffuse pollution in lake Mogan watershed with SWAT model. *M.Sc. Thesis*, Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Özcan, Z., Kentel, E. and Alp, E. (2016) Determination of unit nutrient loads for different land uses in wet periods through modelling and optimization for a semi-arid region. *Journal of Hydrology*, 540, 40-49. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.05.074
- Özcan, Z., Başkan, O., Düzgün, H.Ş., Kentel, E. and Alp, E. (2017a) 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.03.240
- Özcan, Z., Kentel, E. and Alp, E. (2017b) Evaluation of the best management practices in a semi-arid region with high agricultural activity. *Agricultural Water Management*, 194, 160-171. doi:10.1016/j.agwat.2017.09.007
- Özdemir, A. (2021) İklim Değişikliğinin Havza Ölçeğinde Akım ve Sediman Miktarına Etkilerinin Değerlendirilmesi: Yuvacık Baraj Gölü Havzası, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 45(1), 129-154, doi:10.24232/jmd.941528
- Özdemir, K. and Güngör, Ö. (2019) Filyos Çayı Havzasında SWAT Modelinin Uygulaması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 90-102.
- Peker, I.B. and Sorman A.A. (2021) Application of SWAT Using Snow Data and Detecting Climate Change Impacts in the Mountainous Eastern Regions of Turkey. *Water*, 13(14), 1982. doi:10.3390/w13141982
- Peker, I.B. (2020) Türkiye'deki dağlık havzalarda uygulanan SWAT modeli ile iklim değişikliğinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.
- Priestley, C.H.B. and Taylor, R.J. (1972) On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), 81-92. doi: 10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2
- Saddiği, M. and Karpuzcu, M. (2019) Küçük Menderes Alt Havzası'nın SWAT ile Modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(4), 55-70. doi:10.21605/cukurovaummfd.702065
- Saddiği, M.M. (2019) Modelling Küçük Menderes watershed using Soil and Water Assessment Tool (SWAT), *M.Sc. Thesis*, Istanbul Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology, Istanbul.
- Sarı, Ö. (2018) Aşağı Seyhan Havzası hidrolojik dinamiklerinin SWAT model yaklaşımı ile modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Schuerz, C. (2019) chrisschuerz/SWATplusR: SWATplusR 0.2.7 (0.2.7). Zenodo. doi:10.5281/zenodo.3373859
- Sertel, E., Imamoglu, M.Z., Cueloglu, G. and Erturk, A. (2019) Impacts of Land Cover/Use Changes on Hydrological Processes in a Rapidly Urbanizing Mid-latitude Water Supply Catchment. *Water*, 11(5), 1075. doi:10.3390/w11051075
- Singh, V.P. and Woolhiser, D.A., (2002) Mathematical Modeling of Watershed Hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(4), 270-292. doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:4(270)
- Srinivasan, R. and Arnold, J.G. (1994) Integration of a basin-scale water quality model with GIS. *Water Resources Bulletin*, (30)3, 453-462. doi:10.1111/j.1752-1688.1994.tb03304.x
- Swalih, S.A. and Kahya, E. (2020) Hydrological model optimization using multi-gauge calibration (MGC) in a mountainous region. *Journal of Hydroinformatics*, 23 (2): 340–351. doi:10.2166/hydro.2020.034
- Tan, M.L., Gassman, P.W., Srinivasan, R., Arnold, J.G. and Yang, X. (2019) A Review of SWAT Studies in Southeast Asia: Applications, Challenges and Future Directions. *Water*, 11(5),914. doi:10.3390/w11050914
- Tan, M.L., Gassman, P.W., Liang, J. and Haywood, J.M. (2021) A review of alternative climate products for SWAT modelling: Sources, assessment and future directions. *Science of The Total Environment*, 795, 148915 doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148915
- Thakur, J.K., Singh, S.K. and Ekanthalu, V.S. (2016) Integrating remote sensing, geographic information systems and global positioning system techniques with hydrological modeling. *Applied Water Science*, 7(4), 1595–1608. doi:10.1007/s13201-016-0384-5
- Tufekcioglu, M., Yavuz, M., Zaimes, G.N., Dinc, M., Koutalakis, P. and 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. doi:10.22438/jeb/38/5/MRN-331
- van Griensven, A. and Meixner, T. (2006) Methods to quantify and identify the sources of uncertainty for river basin water quality models. *Water Science & Technology*, 53(1), 51-59. doi:10.2166/wst.2006.00
- van Griensven, A., Ndomba, P., Yalew, S., and Kilonzo, F. (2012) Critical review of SWAT applications in the upper Nile basin countries, *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 3371–3381, doi: 10.5194/hess-16-3371-2012
- Vrugt, J.A., Gupta, H.V., Bouten, W. and Sorooshian, S. (2003) A shuffled complex evolution metropolis algorithm for estimating posterior distribution of watershed model parameters. In Q. Duan, H. V. Gupta, S. Sorooshian, A. N. Rousseau, & R. Turcotte (Eds.), *Calibration of Watershed Models* (pp. 105-112): Washington DC: American Geophysical Union.
- Williams, J.R. (1990) The Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC) Model: A Case History. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 329(1255), 421-428. doi:10.1098/rstb.1990.0184
- Yalcin, E. (2019) Estimation of irrigation return flow on monthly time resolution using SWAT model under limited data availability. *Hydrological Sciences Journal*, 64(13), 1588-1604. doi:10.1080/02626667.2019.1662025
- Yalçın, E. (2020) Karlı Dağlık Bir Havzada Günlük ve Aylık Akım Değerlerinin SWAT Modeliyle Değerlendirilmesi: Bitlis Çayı Havzası Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4). doi:10.35414/akufemubid.710126
- Yang, J., Reichert, P., Abbaspour, K. C. and Yang, H. (2007) Hydrological modelling of the Chaohe Basin in China: Statistical model formulation and Bayesian inference. *Journal of Hydrology*, 340(3-4), 167-182. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.04.006
- Yen, H., Park, S., Arnold, J.G., Srinivasan, R., Chawanda, C.J., Wang, R., Feng, Q., Wu, J., Miao, C., Bieger, K., Daggupati, P., Griensven, A.v., Kalin, L., Lee, S., Sheshukov, A.Y., White, M.J., Yuan, Y., Yeo, I.-Y., Zhang, M. and Zhang, X. (2019) IPEAT+: A Built-In Optimization and Automatic Calibration Tool of SWAT+. *Water*, 11, 1681. doi:10.3390/w11081681
- Yıldırım, S. (2018) Borçka barajı havzasında su rejimi, su kalitesi ve sediment veriminin SWAT kullanarak belirlenmesi ve modellenmesi, *Doktora Tezi*, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Zaimes, G.N., Tufekcioglu, M., Tufekcioglu, A., Zibtsev, S., Corobov, R., Emmanouloudis, D., Uratu, R., Ghulijanyan, A., Borsuk, A. and Trombitsky, I. (2016) Transboundary Collaborations to Enhance Wildfire Suppression in Protected Areas of the Black Sea Region. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 9(1), 108-114. doi:10.25103/jetsr.092.18