

Filyos Çayı Havzasında SWAT Modelinin Uygulaması

Kadir ÖZDEMİR^{1*} , Ömer GÜNGÖR² 

¹ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, Türkiye

² Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, Türkiye

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

(Geliş/Received: 14.03.2019; Kabul/Accepted: 13.09.2019; Online baskı/Published online: 09.12.2019)

ÖZET

Bu çalışmada, Batı Karadeniz Bölgesinin en büyük havzası plan Filyos Çayı havzasının hidrolojik bileşenlerinin belirlenmesi için Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) modeli kullanılmıştır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), arazi kullanımı, toprak ve meteorolojik veriler kullanılarak bir hidrolojik model oluşturulmuştur. Kurulan model, SWAT-Cup otomatik kalibrasyon programı kullanılarak, 1988-1993 yılları arasındaki dönemde kalibre edilmiş, 1988-2000 yılları arasındaki dönemde de doğrulanmıştır. Filyos Çayı havzasının hidrolojik bileşenler incelendiğinde, tüm çıktılar 1979-2013 döneminde azalma eğilimindedir. Su veriminde % 35, sızma miktarında % 41 ve yeraltı suyu miktarında% 34 gibi ciddi azalmalar dikkat çekmektedir. Diğer yandan SWAT modeli kalibrasyon dönemi için aylık Nash-Sutcliffe, Standard Deviation of the Measured Data (RSR) ve percentage bias (PBIAS) performans göstergeleri sırasıyla 0.67, 0.57 ve -14.3, validasyon dönemi için 0.72, 0.52 ve -18.9 olarak tespit edilmiştir. Bu veriler, Morisia vd. (2007) tarafından geliştirilen performans kriter tablosu ile karşılaştırıldığında, SWAT kalibrasyon ve validasyon performanslarının oldukça iyi olduğu ortaya koyulmuştur. Aynı zamanda bu çalışma Filyos Çayı havzasındaki hidrolojik prosesleri tahmin etmek için geliştirilen SWAT'ın oldukça iyi ve güvenli bir model olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolojik bileşenler, Filyos Çayı Havzası, SWAT modeli, Kalibrasyon, Validasyon

SWAT Model on Filyos Creek Basin

ABSTRACT

In this study, the hydrology of the Filyos Creek Basin was modeled using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to determine the hydrological components. In the first phase of the study, a hydrological model was established using digital elevation model, land use, soil and meteorological data. The model was calibrated during the period 1988-1993 using the SWATCup automatic calibration program and verified during the period 1988-2000. When the hydrological components are investigated, all hydrological output tends to decrease in the period 1979-2013. Serious decreases such as 35 % in water yield, 41 % in infiltration amount and 34% in groundwater amount are remarkable. As the observations are compared with model results, the monthly NashSutcliffe, RSR and PBIAS performance indicators for the calibration period at Filyos Creek basin have been 0.67, 0.57 and -14.3, respectively and for the validation period, 0.72, 0.52 and 18.9 respectively. It is reported that when these data are compared with the performance criteria table performed by Morisa et al. (2007), the results of calibration and validation for SWAT are very good. Further, the results of this current study demonstrate that SWAT is very satisfactory model for predicting to the hydrological processes in Filyos Creek basin.

Key Words: Hydrological components, Filyos Creek basin, SWAT model, Calibration, Validation.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Temiz su kaynaklarının mevcudiyeti, halk sağlığı, gıda güvenliği, insan refahı ve ekosistem için temel bir ihtiyaçtır. Hayat standartlarının yükselmesi, nüfus değişimine bağlı göçler, arazi ve su kullanımı ile diğer dış etkenler; sulama, enerji üretimi, endüstriyel ve evsel faaliyetler için gerekli olan ulusal ve uluslararası su kaynaklarının dengeli ve sürdürülebilir kullanımı üzerindeki etkisini gittikçe artırmaktadır [1,2]. Diğer yandan temiz su kaynakları ile ilgili

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: kadir.ozdemir@beun.edu.tr / Tel: +90 372 291 2568

tahmin edilemeyen ve sıkça meydana gelen değişimler su yönetimi için önemli belirsizlikler meydana getirmektedir [3]. Aynı zamanda bu belirsizliklere iklim değişikliği gibi yeni nesil belirsizliklerin eklenmesi, gelecekte özellikle tarım ve enerji gibi su tüketiminin fazla olduğu üretim sektörlerinin su ihtiyaçlarının karşılanmasında büyük sorunlara yol açması beklenmektedir [4]. Başka bir ifade ile; gelecekteki su ihtiyacının karşılanma konusundaki belirsizlik devam ettikçe dünyadaki su kaynaklarını kullanma ve yönetimi ile ilgili kaygı giderek artmaya devam edecektir [5]. Bu sorun özellikle Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen Rio Zirvesinin en önemli konusu olarak ele alınmıştır [6, 7, 8]. Ayrıca bu konferansta gelecekte dengeli ve sürdürülebilir bir su bütçesi, su kalitesi, su miktarı ve arazi kullanımı konularının birlikte ele alınmasının gerekliliği vurgulanmıştır [9]. Son on yıl içinde temiz su kaynaklarının etkili kullanımı ve uzun süreli sürdürülebilirliğinin sağlanması konusunda havza ölçekli bir yönetim planına geçilmesi ile ilgili bir konsensüs sağlama çabaları giderek artmaktadır [10].

Su kaynakları yönetimi ve arazi kullanımı konusunda günümüzde en uygun yönetim şekli olarak bütünleşik havza yönetiminin planlanmasının uygulanması sosyal ve doğa bilimleri üzerinden bir politika oluşturma ve karar verme gibi farklı açılardan önemli faydalar sağlamakla beraber aynı zamanda çevresel bilginin gelişimi için bir alt yapı oluşturmaktadır. Diğer yandan, bütünleşik havza yönetimi sadece yüzey suyu akışı, sediment birikimi ve nutrient konsantrasyonları gibi çevresel parametrelerin etkilerini değerlendirmek için değil, aynı zamanda havza ölçekli ekonomik ve sosyal değerlerin etkisini göstermede önemli bir rol oynamaktadır [10]. Bununla beraber bütünleşik havza yönetimi uygulamalarından, ekosistem servisleri [11], ortalama akım [12], sediment kirliliği ve su taşkınları [13], toprak kaybının önlenmesi [14] ile su bütçesi [15] ve su kalitesinin [16] artırılması konularında etkin bir faydalanılabilmektedir.

Hidrolojik modeller, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve planlanması için geliştirilmiş önemli araçlardır [17, 18]. Dünyada kullanılabilir su kaynakları hakkında ilk çalışmalar 1970'lerin başında başlamıştır [19, 20]. Ülkesel ve küresel bazda su kaynaklarının mevcudiyeti üzerine yapılan çalışmalar, dünya hidrolojik ağı veri merkezi, genel çevrim modelleri ve hidrolojik modeller üzerinden ortaya konulmuştur.

Hidrolojik modelleme, hidrolojik bileşenlerin tahmin edilmesi veya öngörülmesi için kullanılan temel tekniklerden birisidir. Genellikle modelleme çalışmaları yağış alanı ölçeğinde yürütülmektedir. Hidrolojik modellerin hedefi, havza çıkışında, çeşitli meteorolojik değişkenlere (yağış, sıcaklık) bağlı olarak ortaya çıkan akış bileşenlerini simüle etmektir. Yağış ana belirleyici değişken olduğu için, hidrolojik modeller çoğu zaman yağış-yüzeysel akış modelleri olarak da anılmaktadır [21]. Bununla beraber Arnold vd. [22] iyi bir hidrolojik modelde olması gereken karakteristik özellikleri; mekânsal detay, kolaylıkla ulaşılabılır veriler, sürekli zaman gösterimi, arazi yönetim senaryolarını simüle etme kabiliyeti ve makul sonuçlar sağlama kabiliyeti olarak tanımlamışlardır. Diğer yandan son yıllarda hidrolojik model çalışmalarında coğrafî bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknikleri kullanılmaya başlanmıştır [23]. CBS yardımı ile havzadaki bütün farklılıklar modele kolayca aktarılmakta ve model parametreleri değiştirilerek model çalışmaları daha detaylı bir şekilde sürdürülebilmektedir [23].

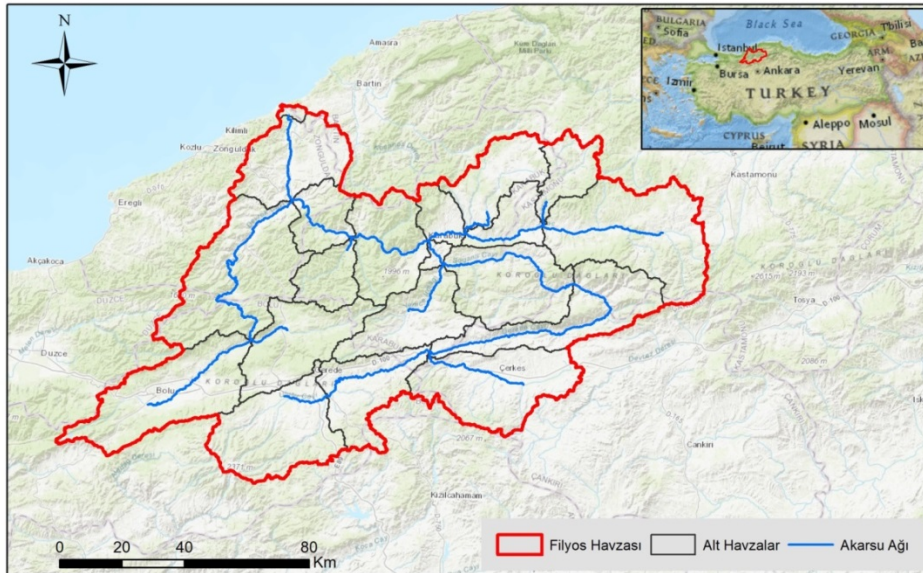
Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan önemli hidrolojik modellerden biri olan Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modeli ilk olarak Arnold vd. [22] tarafından geliştirilmiştir. Geçmiş yıllarda farklı çevresel koşullar altında SWAT modeli kullanılarak yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar ortaya konulmuştur [24, 25, 26, 27,28]. Srinivasan vd. [29], Yukarı Mississippi Nehri havzasında SWAT modelini kullanarak hidrolojik bütçe ve ürün verimini incelemek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmadaki kritik nokta model için herhangi bir kalibrasyon ve validasyon süreçlerinin gerçekleştirilmemiş olmasıdır. Wu ve Chen [30], Muson ikliminin baskın olduğu Çin'in güneyinde, kıyı bölgeye yakın mesafede bulunan Doęu Nehri havzasını etkileyen doğal ve insan kaynaklı süreçleri ortaya koymak için SWAT modelini kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Tao vd. [31], Doęu Çin'deki Poyang Gölü havzasında SWAT modeli kullanarak farklı arazi kullanımı senaryolarının hidrolojik süreçler üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Kalibrasyon sürecinde 12 parametre kullanılmış olup, model 1982 – 1988 yılları arasında kalibre, 1991-1998 yılları arasında valide edilerek bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmadaki genel hedef SWAT model yaklaşımı ile kirleticilerin uzun vadedeki etkilerini ortaya koymak olmuştur. Sonuç olarak, model sonuçları sayesinde havza çıkışındaki sediment miktarında % 3 ile % 37 oranında, toplam azot yükünde % 1 ile % 24 oranında azalma gerçekleştiği tespit edilmiştir. Güngör ve Göncü [32], Aşağı Porsuk Çayı Havzası'nda en iyi su yönetimi stratejilerini belirlemek için SWAT modeli ile bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında havza için 1978 – 2009 yılları arasında detaylı bir hidrolojik model oluşturulmuştur. Akyüz vd. [33], tarafından Filyos Çayı'nda yapılan çalışmada, nümerik bir model kullanılarak, akarsu akış hızları hesaplanmış ve bunun yardımıyla taşkın risk alanları belirlenmiştir. Özellikle Düzce civarındaki meteorolojik verilerin eksikliği ve yetersizliği nedeniyle SWAT modeli yardımıyla eksik veriler tamamlanmıştır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı Batı Karadeniz Havzası'nın önemli bir alt havzası olan ve tüm havza alanının yarısını kapsayan Filyos Çayı Havzası'nda SWAT modeli kullanılarak hidrolojik olarak su bütçesinin ortaya konması olacaktır. Bu çalışma kapsamında, SWAT

modelinin kalibrasyonu ve validasyonun gerçekleştirilmesi ile model sonuçlarının hidrolojik bileşenler bazında değerlendirilmesi konuları sunulmuştur. Filyos Çayı havzasında SWAT modeli kullanılarak yapılan hidrolojik çalışmalar kısıtlı sayıdadır. Bu kapsamda, Filyos Çayı Havzası'nın bir bütün halinde ele alındığı detaylı bir hidrolojik model çalışması bulunmamaktadır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Filyos Çayı Havzası Batı Karadeniz bölgesinin en büyük havzalarından biri olup Bolu, Kastamonu, Karabük ve Bartın ili sınırları içerisinde geçmektedir. Filyos Çayı alt havzası, Melen Çayı havzası, Devrakani Çayı Alt Havzası ve Bartın Çayı Alt Havzası ile birlikte Batı Karadeniz Havzasını oluşturmaktadır. Batı Karadeniz Havzasının yağış alanının % 45'ini kaplayan Filyos havzası, aynı zamanda Batı Karadeniz Havzası içerisinde yaşayan nüfusun %55'ine de sahiptir. Batı Karadeniz Havzası'nda içme ve kullanma suyu olarak kullanılan miktar yıllık 110 milyon m³ olup, bu miktarın yaklaşık % 64'lük (70 milyon m³) bölümü de çalışma alanı olan Filyos Çayı Havzası'nda kullanılmaktadır [34]. Batı Karadeniz Havzası'nın en büyük akarsuyu olan Filyos Çayının su toplama havzasının alanı 13319 km²'dir. Yıllık ortalama 104,6 m³/s olan nehrin debisi Nisan ayında 230 m³/s ile en yüksek, Ağustos ayında ise 28 m³/s ile en düşük seviyededir. Çalışma alanının konumu, havza sınırları ve akarsu ağı Şekil (1)'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Filyos Çayı havzası çalışma alanı.
(Figure 1. Study area Filyos Creek basin)

2.2. Modelin Tanımlanması (Model Description)

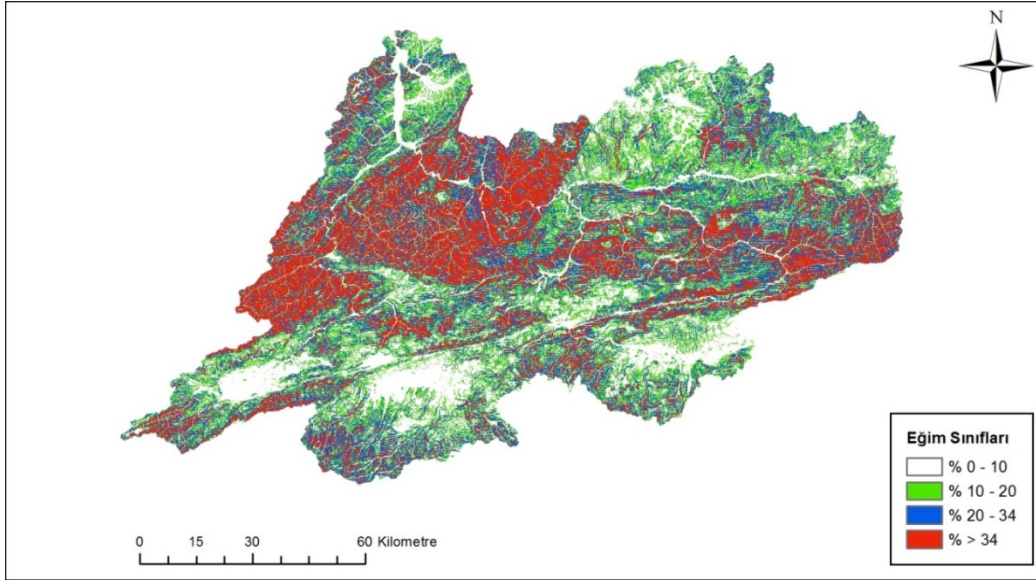
SWAT, farklı çevresel koşullardaki hidrolojik olayları detaylandırarak simüle edebilme yeteneğine sahip bir hidrolojik modeldir [35]. SWAT arazi kullanımı, toprak ve toprak sınıfları, yüzey akışı, sediment birikimi ve nütrient konsantrasyonları gibi önemli havza bileşenlerinin zaman içerisindeki hareketini ve değişimlerini gösterme kabiliyetine sahiptir. SWAT içerisinde kullanılan sayısal yükseklik programı (SYP) ile havza alt havzalara bölünmektedir. SYP, havzayı her yönü ile tanımlamak ve özellikle arazi üzerindeki her bir bileşeni detaylandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Aynı zamanda SWAT modelinde özellikle toprak çeşidini ve diğer arazi kullanım detay bilgilerini tanımlamak için dijital arazi kullanım haritalarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer yandan bir havzanın temelde su bütçesini oluşturmak için kullanılan hidrolojik işlem birimleri (HİB) (arazi kullanımı, toprak özellikleri, eğim sınıfları, yağış miktarı, yüzey akışı ve sıcaklık değişimleri gibi) ile birden fazla bileşene ayrılmaktadır. Bir havzanın su bütçesi aşağıdaki matematiksel ifade ile ortaya konulmaktadır;

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

Burada SW_t; toplamda toprağın su içeriği (mm H₂O), SW_o; başlangıçta toprağın su içeriği (mm H₂O), t; zaman (gün); R_{day}; günlük yağış miktarı (mm); Q_{surf}; günlük yüzey akışı miktarı (mm), E_a; günlük bitki su tüketim miktarı (mm), w_{seep}; günlük olarak topraktan doygunluk bölgesine giren su miktarı (mm), Q_{gw}; günlük geri akış miktarı (mm).

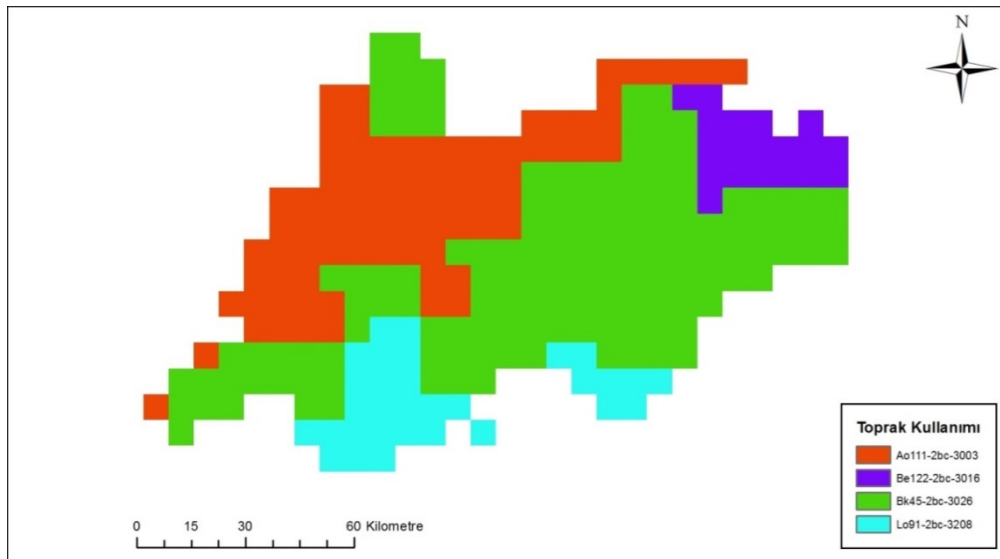
2.3. Hidrolojik İşlem Birimleri (Hydrologic Response Unit)

Hidrolojik işlem birimleri (HRU) söz konusu havza ile ilgili daha fazla bilgi toplayarak tanımlamak ve detaylandırmak için yararlanılan havza bileşenleridir. Yukarıda açıklandığı üzere arazi kullanımı, toprak özellikleri, eğim sınıfları, yağış miktarı, yüzey akışı ve iklim değişimleri gibi unsurlar bir havzayı tanımlamada kullanılan temel bileşenlerdir. Buna göre, ilk olarak Filyos Çayı Havzası'nın, havza sınırları ve akarsu ağ yapısı belirlendikten sonra, eğim sınıfları tespit edilmiştir. Bu işlem sırasında havza alanının dört eşit parçaya bölünmesi dikkate alınarak %0-10, %10-20, %20-34 ve %34'ten büyük olmak üzere dört farklı eğim sınıfı oluşturulmuştur (Şekil 2). Havza alanının %25'inin eğiminin %34'ten daha yüksek olması yükseklik farkını bir kez daha ortaya koymaktadır.



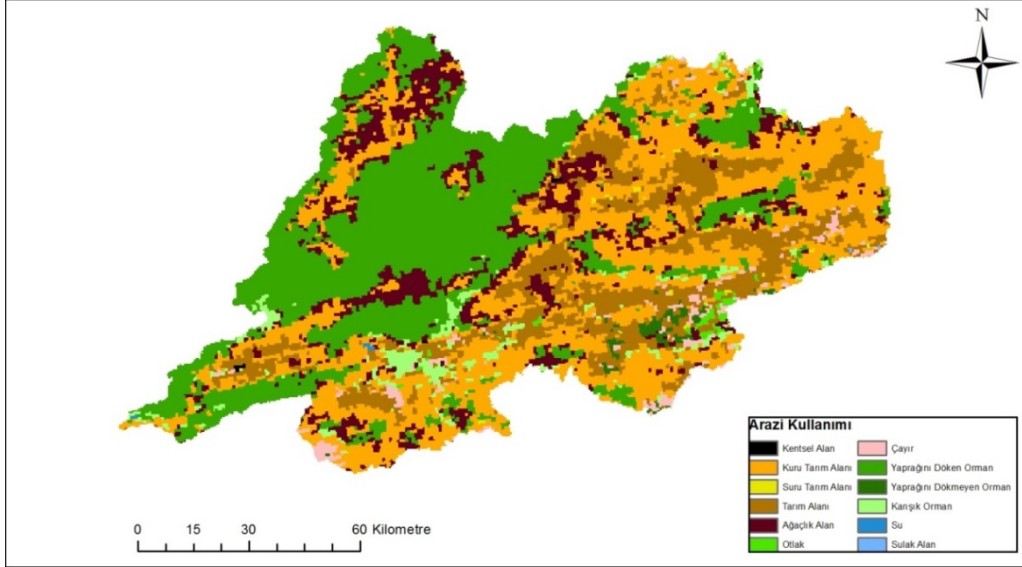
Şekil 2. Filyos Çayı Havzası eğim sınıfları
(Figure 2. Filyos Creek Basin slope classes)

Bir diğer girdi, toprak tekstürü ve su tutma kapasitesi, hidrolik iletkenlik gibi fiziko-kimyasal özellikleri gösteren toprak haritalarıdır. Bu özellikler için de Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından modele uygun formatta oluşturulan toprak haritaları kullanılmıştır. Çalışma alanının içerisinde yer alan ve FAO tarafından sınıflandırılan dört farklı toprak tipi olmakla birlikte buna ait harita Şekil (3)'de gösterilmektedir. Buna göre çalışma alanının tamamındaki toprak tipi killi toprak olarak tanımlanmaktadır. Filyos Çayı Havzası alanının % 88'inin hidrolojik toprak grubu C iken, kalan%12'lik kısım D grubudur. Bu tip topraklardaki sızma hızı düşük olduğu için, yüksek yüzeysel akış potansiyellerine sahiptirler.



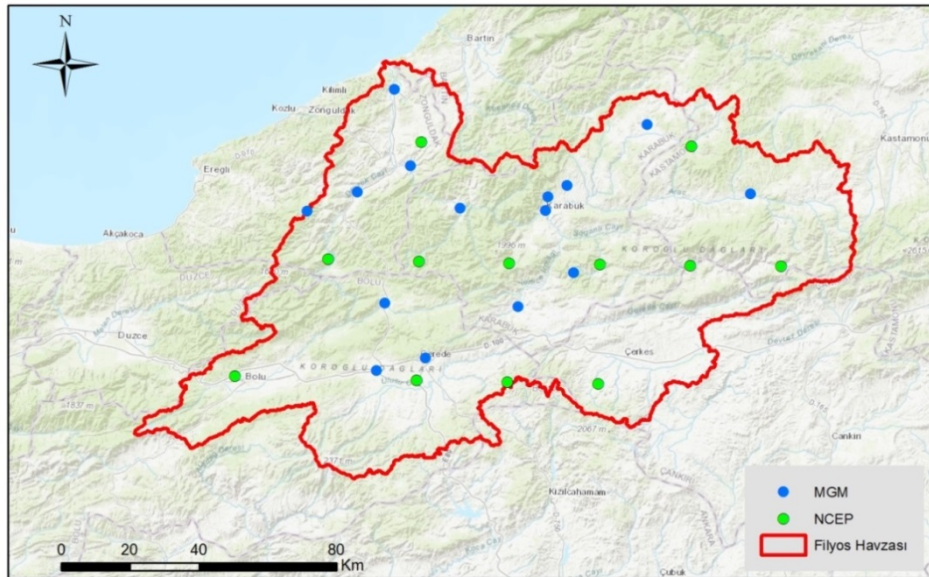
Şekil 3. Filyos Çayı Havzası toprak tipleri (FAO, 2003)
(Figure 3. Filyos Creek Basin soil types (FAO,2003))

Diğer yandan havzada oluşan yüzeysel akış, buharlaşma, terleme ve taşınacak sediment miktarını büyük oranda etkileyen arazi kullanımı haritaları da Avrupa Çevre Ajansı'ndan (EEA) sağlanmıştır. Filyos Çayı Havzası arazi kullanım haritası Şekil (4)'de gösterilmektedir. Filyos Çayı Havzası'nın büyük bir kısmı tarım ve orman arazileri ile kaplıdır. Havzanın %48'i orman arazilerinden, %49,5'i tarım arazilerinden, kalan kısımda ova, mera, kentsel alan, su ve sulak alanlardan oluşmaktadır.



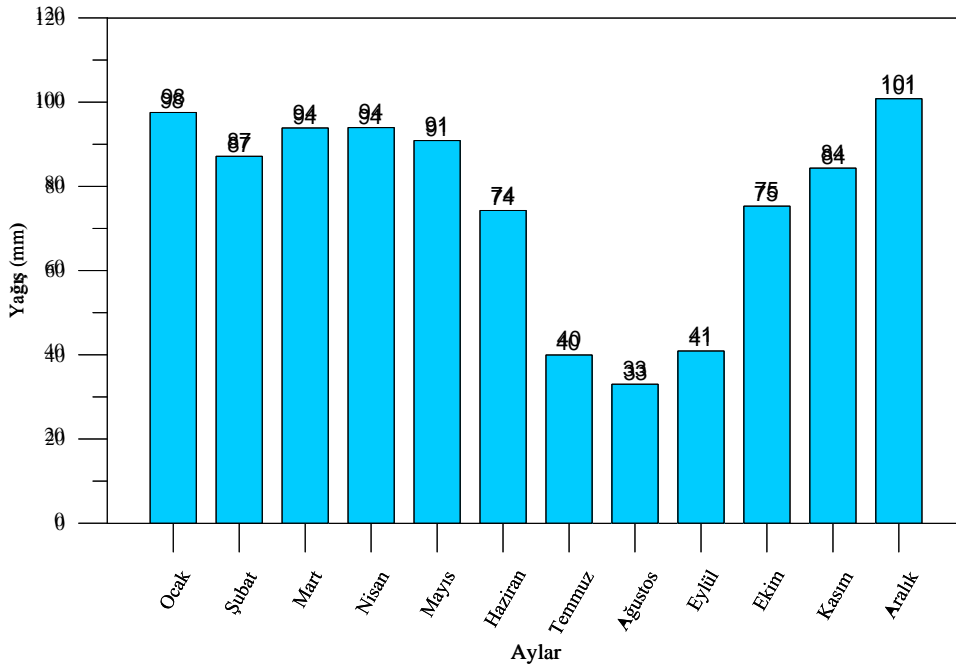
Şekil 4. Filyos Çayı Havzası arazi kullanımı (USGS 2000)
(Figure 4. Filyos Creek Basin landuse (USGS,2000))

Hidrolojik bir modeli oluşturmada en önemli adım meteorolojik gözlem istasyonlarıdır. Filyos Çayı Havzası içerisinde yer alan meteoroloji istasyonlarına ilişkin bilgiler Şekil (5)'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Filyos Çayı Havzası meteoroloji istasyonları
(Figure 5. Filyos Creek Basin meteorological stations)

Bununla beraber Filyos Çayı Havzası Karadeniz Bölgesi'nde yer aldığı için yılın tamamında yağış almaktadır. Havzanın toplam yıllık yağış miktarının uzun dönem ortalaması 912 mm'dir. 1979-2013 yılları arasında minimum yıllık toplam yağış 693 mm, maksimum yıllık toplam yağış ise 1269 mm olarak gerçekleşmiştir. Uzun dönem ortalamada aylık ortalama yağışın en fazla düştüğü ay 101 mm ile Aralık ayı olurken, aylık ortalama yağış miktarının en düşük olduğu ay ise 33 mm ile Ağustos ayıdır. Aylık ortalama yağış miktarı değişimi Şekil (6)'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Aylık ortalama yağış miktarı (1979-2013)
(Figure 6. Mean monthly rainfall (1979-2013))

Yıllık maksimum sıcaklık ortalamalarındaki durum, güneydoğu yönünden kuzey batı yönüne doğru gidildikçe 17 °C'den 13 °C değerine doğru azalmaktadır. Bunun en önemli sebebi, havzanın güneyi ile kuzeyi arasındaki yükseklik farkıdır. Yıllık minimum sıcaklık ortalamaları da benzer özellik gösterip havzanın güneyinden kuzeyine doğru 13 °C ile 2 °C arasında değişmektedir. Buradaki farkın maksimum sıcaklığa göre daha büyük olmasının sebebi, havzanın güneyinde 2000 metreden daha yüksek alanların bulunmasıdır.

2.4. Model Kalibrasyonu ve Validasyonu (Model Calibration and Validation)

SWAT modelinde yer alan hidrolojik ve meteorolojik dataların simülasyonunu gerçekleştirmeden önce Filyos Çayı Havzasını temsil eden önemli model parametrelerin kalibrasyon ve validasyon prosesleri ile tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada SWAT modelinin kalibrasyon periyodunda ve belirsizliklerin analizinde Abbasour vd. [36] tarafından geliştirilen SWAT-CUP (SWAT-Calibration and Uncertainty Program) isimli bir model programı kullanılmıştır. Diğer yandan bu çalışmada diğer yöntemlere göre daha az sayıda simülasyon gereksinimi duyması ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi nedeniyle SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting) algoritması tercih edilmiştir [37]. Özellikle havza alanı büyük ve karmaşık bir yapıya sahipse bu yöntem kalibrasyon sırasında zaman açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır [36]. Kalibrasyon prosesinde modifiye edilmiş SWAT model parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'de verilen bu parametreler çalışma alanı içerisinde maksimum ve minimum değer aralıkları arasında kalibrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kalibrasyon 1988 ile 1993 yılları arasında gerçekleştirilmiş olup, 1988 ile 2000 yılı aralığı da validasyon için kullanılmıştır. Modellerin performansları nitel olarak zaman serisi grafikleri, nicel olarak ise gözlem ve model verilerinin karşılaştırılmalarıyla hesaplanan belirleme katsayısı (R2), Nash-Sutcliffe verim katsayısı (NSE), yüzde sapma (PBIAS) gibi istatistiksel indeksler yardımıyla değerlendirilmektedir [38].

Modellerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan NSE ölçülen verilerin varyansı ile hata varyansının mutlak büyüklüğünü karşılaştıran normalize edilmiş bir istatistiksel ifadedir [39]. NSE katsayısı aşağıda denklem (2) ile gösterilen şekilde hesaplanmaktadır;

$$NSE = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2 \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{mean,i})^2 \right]} \quad (2)$$

Burada, NSE; Nash Sutcliffe Etkinlik katsayısı, Q_{obs} : Akarsu gözlem debisi (m^3/s), Q_{sim} : Akarsu model debisi (m^3/s) ve Q_{min} : İncelenen zaman aralığındaki ortalama akarsu gözlem debisi'dir (m^3/s). NSE $-\infty$ ile 1 arasında değişim göstermektedir. Bu katsayı için en uygun değer 1 olup, genel bakışa göre 0-1 aralığındaki NSE kabul edilebilir bir

sonuçken, NSE katsayısı ≤ 0 olduğu durumlarda model sonuçlarının kabul edilemeyecek performansa sahip olduğu düşünülmektedir [40].

Çizelge 1. Model kalibrasyonu için kullanılan parametrelerin değişim aralığı ve kalibrasyon değerleri
(Table 1. Variation range and calibration values of parameters used for model calibration)

Parametre	Tanım	Değişim Aralığı	Kalibre edilen değer
r__CN2.mgt	Nem durumu II için SCS akış eğrisi sayısı	-0,35 – 0	-0,21
r__GWQMN.gw	Geri akış için sığ akiferdeki suyun eşik derinliği (mm)	-0,3 – 0,3	-0,06
r__GW_REVAP.gw	Yeraltı suyu katsayısı	-0,4 – 0,4	0,32
r__REVAPMN.gw	Sığ akiferdeki eşik derinliği	-0,4 – 0,4	-0,16
r__SOL_AWC(n).sol	Sığ akiferdeki eşik derinliği	-0,25 – 0,25	0,21
r__ESCO.hru	Topraktaki buharlaşma kompanzasyon faktörü	- 0,3 – 0,3	0,23
r__GW_DELAY.gw	Yeraltı suları gecikme süresi (gün)	-0,3 – 0,1	-0,15
v__RCHRG_DP.gw	Derin akifer sızdırma fraksiyonu	0 – 0,5	0,34
r__CH_N2.rte	Ana kanal için Manning faktörü	-0,25 – 0,25	0,23
r__CH_K2.rte	Ana kanaldaki etkili hidrolik iletkenlik (mm/sa)	-0,3 – 0,3	0,08
r__SURLAG	Yüzey akışı gecikme süresi	1-24	5,98
r__CANMX mm	Maksimum örtü deposu	0 - 100	10,6

“v_” niteleyicisi, bir parametrenin verilen aralıktaki bir değerle değiştirilmesini belirtirken, “r_” verilen aralıktaki değerlere 1 eklenerek elde edilen faktör ile çarpım işleminin gerçekleştirilmesini ifade eder.

PBIAS ise simulasyon değerlerinin ortalamadan ne kadar büyük veya küçük olduğunu ifade eden bir istatistiksel bir göstergedir. Denklem (3)'de gösterilen şekilde hesaplanmaktadır;

$$PBIAS = 100 \times \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i})} \right) \quad (3)$$

Burada; *PBIAS* : Ortalamadan sapma yüzdesi, *Q_{obs}* : Akarsu gözlem debisi (m³/s) ve *Q_{sim}* : Akarsu model debisidir (m³/s). *PBIAS* için en uygun değer sıfırdır. Bu değer sıfırdan büyük ise model sonuçları, gözlem verilerinden daha düşük tahmin edilmekte sıfırdan küçük ise model sonuçları, gözlem verilerinden daha yüksek tahmin edilmektedir [41].

RSR ise, hata indeks istatistiği olan hataların ortalama karekökünün (RMSE), gözlem verilerinin standart sapmasına (STDEV_{obs}) oranlanmasıyla hesaplanan bir istatistiksel indekstir. RSR denklem (4)'te gösterilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$RSR = \left(\frac{RMSE}{STDEV_{obs}} \right) = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(Q_{obs,i} - Q_{sim,i})}}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{mean,i})} \quad (4)$$

Burada, *RSR* : Hata istatistiği katsayısı, *Q_{obs}* : Akarsu gözlem debisi (m³/s) ve *Q_{sim}* : Akarsu model debisidir (m³/s). Aynı zamanda SWAT modeli çalışmalarında gerçekleştirilen kalibrasyon ve validasyon prosedürlerinin değerlendirme sonucunu gösteren ve Moriasi vd. [40] tarafından geliştirilen performans kriteri tablosu Çizelge.2'de verilmektedir.

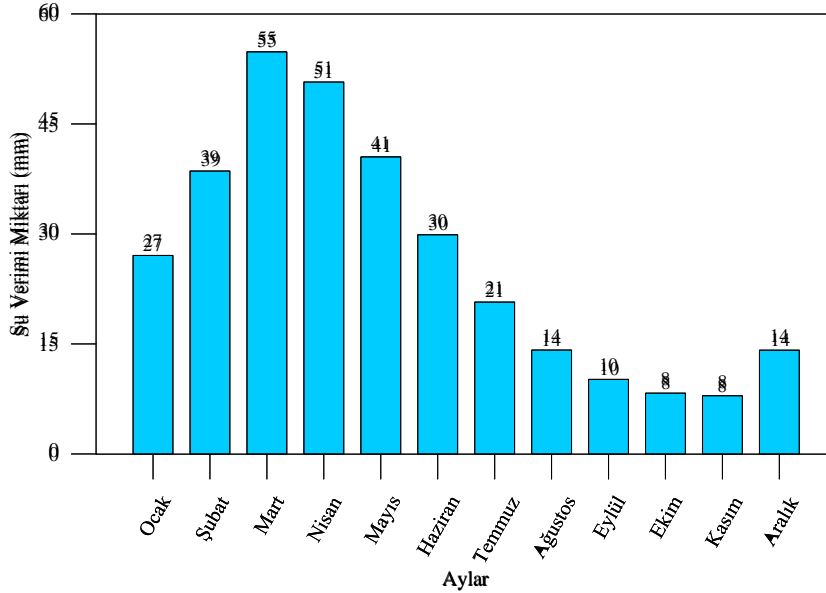
Çizelge 2. SWAT modeli kalibrasyon ve validasyon performanslarının değerlendirilme kriteri (Moriasi vd. 2007)
(Table 2. Evaluation criteria of SWAT model calibration and validation performances (Moriasi et al. 2007))

Performans kriteri	NSE	RSR	PBIAS (%)
Çok iyi	0,75 < NSE ≤ 1,00	0,00 ≤ RSR ≤ 0,50	PBIAS < ±10
İyi	0,65 < NSE ≤ 0,75	0,50 < RSR ≤ 0,60	±10 ≤ PBIAS < ±15
Kabul edilebilir	0,50 < NSE ≤ 0,65	0,60 < RSR ≤ 0,70	±15 ≤ PBIAS < ±25
Kabul edilemez	NSE ≤ 0,50	RSR > 0,70	PBIAS ≥ ±15

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada ilk olarak Filyos Çayı Havzası'nın toplam yağış miktarları değerlendirilmiştir. Çalışma alanı Batı Karadeniz Havzası'nda yer almasından dolayı yılın tüm aylarında yağış almaktadır. Sadece Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yaklaşık 35-40 mm aralığında yağış alan bölge yılın diğer aylarında 75 mm altına düşmemekte, Aralık ve Ocak aylarında bu miktar 100 mm'lere kadar çıkmaktadır. Diğer hidrolojik bileşenlerden birisi su verimi, ana kanalı besleyen su miktarı olarak ifade edilmektedir. Sürdürülebilir su kaynakları yönetimi için tahmin edilmesi önemli olan bir parametredir. SWAT modeli; su verimi miktarını, yüzeysel akış, yüzeysel altı akış ve yeraltı suyunun akarsuyu beslediği miktarı toplar, sonrasında bu iletimler sırasında oluşan kayıpları çıkartarak hesaplamaktadır. Çalışma alanı için su verimi miktarının aylara göre değişimi Şekil (7)'de gösterilmektedir.

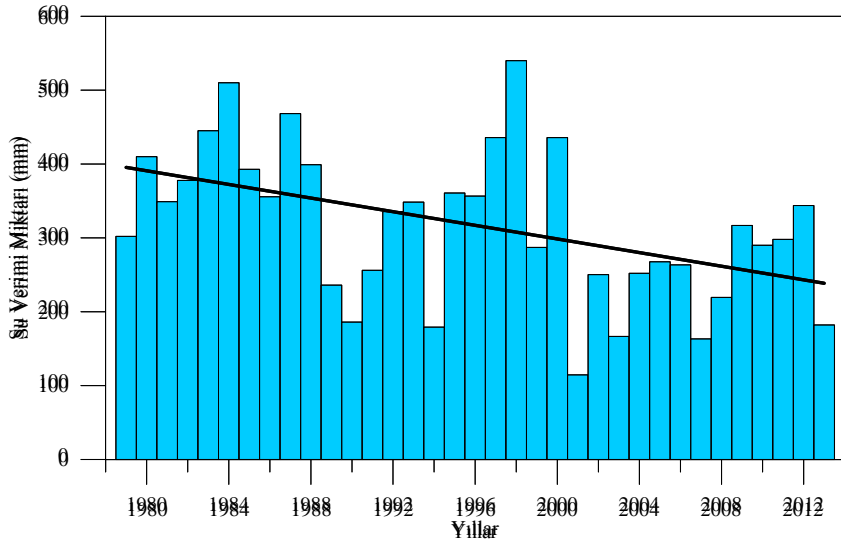
Model sonuçlarına göre, uzun dönem ortalamalarda yıllık toplam su verimi miktarı 318 mm'dir. Bu miktarın % 76'lık kısmı Ocak-Haziran ayları arasında gerçekleşirken, maksimum miktar 55 mm ile Mart ayında oluşmaktadır. Bunun en temel nedeni Mart ayında 21 mm ile eriyen kar miktarının maksimumda olmasıdır. Yılın tamamı incelendiğinde toplam yağış miktarı 912 mm olurken, bu yağışın %35'i olan 318 mm'lik su verimi miktarı gerçekleşmektedir. Havza içerisinde Ekim ayından başlayarak Haziran ayına kadar yoğun bir şekilde devam eden yağış, özellikle Ocak ayından sonra toprak neminin maksimuma ulaşmasını sağlamaktadır. Çalışma alanı için su verimi miktarının yıllara göre değişimi Şekil (8)'de gösterilmektedir. 1979 ile 1988 arasındaki 10 yıllık periyot ve 2004 ile 2013 arasında dönem karşılaştırıldığında gerçekleşen yıllık ortalama su verimi miktarı sırasıyla 401 mm ve 260 mm olmaktadır. Buda yaklaşık olarak % 35'lik bir azalmaya karşılık gelmektedir. Bunun temel nedeni bu bölgelerin daha fazla yağış alması ve yüksekliğe bağlı olarak yağış tipinin de kar olmasıdır.



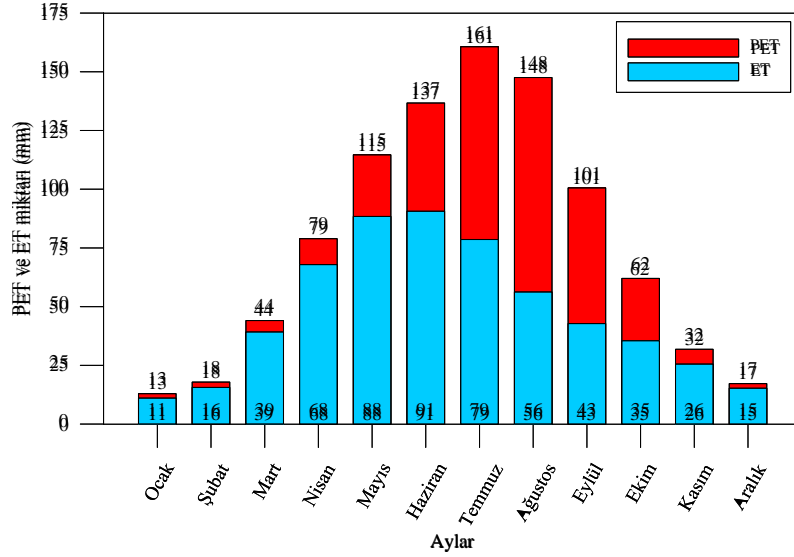
Şekil 7. Çalışma alanı için su verimi miktarının aylara göre değişimi (1979-2013)
(Figure 7. Variation of the water yield for the study area by months (1979-2013))

Diğer bir önemli hidrolojik bileşen evapotranspirasyon (ET) ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) miktarlarıdır. ET, buharlaşma ve terleme toplamı, PET ise toprakta su kısıtlaması olmaksızın, düzenli olarak alanın tamamına dağılmış bitki örtüsü koşullarında gerçekleşecek maksimum buharlaşma ve terlemenin toplamıdır. Çalışma alanı için PET ve ET miktarlarının aylara göre değişimi Şekil (9)'de gösterilmektedir.

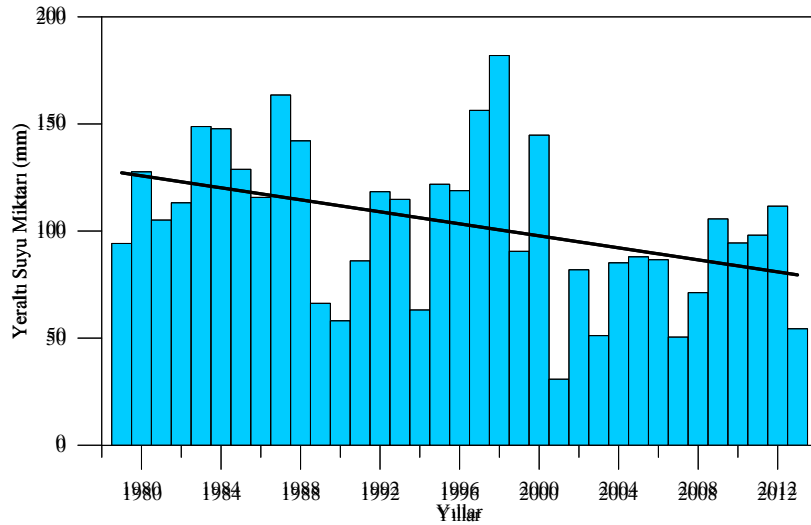
Önemli hidrolojik bileşenlerden birisi de yer altı suyu miktarıdır. Yer altı suyu, sızma sırasında toprak içerisinde kalan toprak nemi ve yüzeysel akışı besleyen kısım çıkarıldıktan sonra derin akifere ulaşan miktardır. Yeraltı suyu miktarının yıllara göre değişimi ise Şekil (10)'de gösterilmektedir. Yıllık toplam yeraltı suyuna ulaşan miktar 103 mm olup yıllık toplam yağışın %11,3'üne karşılık gelmektedir Modelin çalışma süresindeki (1979-2013) ilk 10 yıllık ve son 10 yıllık dönem arasındaki azalma değişiminin % 34 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8. Çalışma alanı için su verimi miktarının yıllara göre değişimi (1979-2013)
(Figure 8. Variation of the water yield for the study area by years (1979-2013))

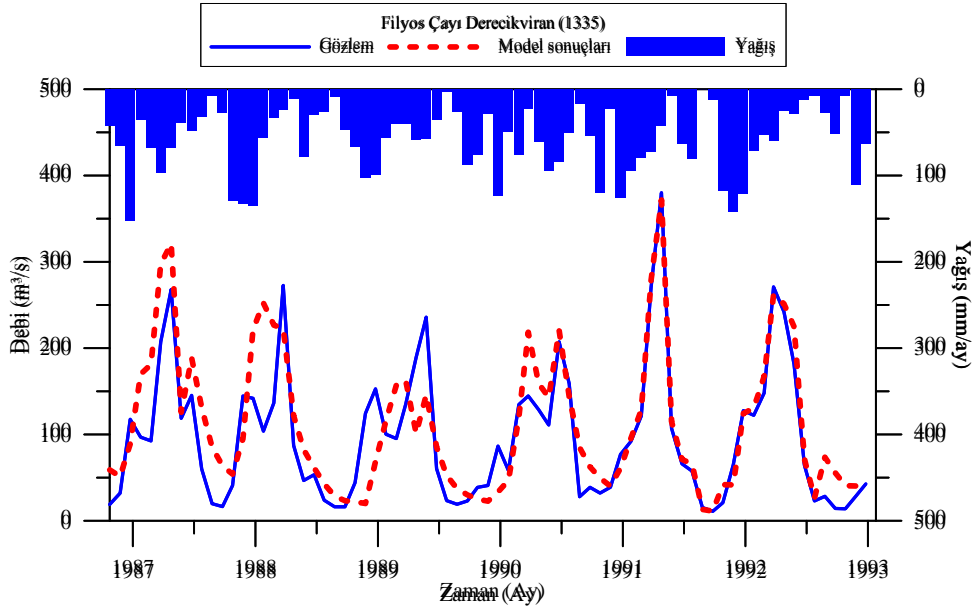


Şekil 9. Çalışma alanı için PET ve ET miktarlarının aylara göre değişimi (1979-2013)
(Figure 9. Variation of the PET and ET for the study area by months (1979-2013))



Şekil 10. Çalışma alanı için yeraltı suyu miktarının yıllara göre değişimi (1979-2013)
(Figure 10. Variation of the groundwater for the study area by years (1979-2013))

Filyos Çayı Havzası akım gözlem istasyonu verileri ve hidrolojik model sonuçları arasındaki karşılaştırmanın yapıldığı grafik Şekil (11)'de gösterilmektedir.



Şekil 11 Filyos Çayı Havzası gözlem verileri ile model sonuçlarının karşılaştırılması
(Figure 11. Comparison of Filyos Creek Basin observation data and model results)

İstatistiksel indekslere göre yapılan değerlendirmede ise NSE değerinin 0,67, PBIAS'ın -14,3 ve RSR'nin 0,57 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre model performansının iyi ve çok iyi sınıfına girdiği görülmektedir [40]. Çizelge 3'de Filyos Çayı havzası için kalibrasyon ve validasyon sürecindeki SWAT modelinin hidrolojik performans sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3. Kalibrasyon ve validasyon sürecindeki SWAT modelinin hidrolojik performansı
(Table 3. Hydrological performance of SWAT model during calibration and validation)

	Filyos Çayı Havzası		
	NSE	RSR	PBIAS(%)
Kalibrasyon (1988 - 1993)	0,67	0,57	-14,3
Validasyon (1994 - 1999)	0,72	0,52	-18,9

Sonuç olarak her iki tablodaki NSE, RSR ve PBIAS değerlerine göre; Filyos Çayı havzası için SWAT modeli kalibrasyon ve validasyon süreçlerinin oldukça iyi bir performansa sahip oldukları anlaşılmıştır. Şekil (11)'de kalibrasyon ve validasyon periyodunda Filyos Çayı Havzası akım ve yağış değerleri için verilen hidrografta, gözlenen ve model ile bulunmuş değerlerin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Başka bir ifade ile; bu sonuç Filyos Çayı Havzasındaki hidrolojik süreçleri tahmin etmek için geliştirilen SWAT'ın oldukça iyi ve güvenli bir model olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, Batı Karadeniz Havzası'nın en büyük havzası olan Filyos Çayı Havzası için SWAT modeli kullanılarak bir hidrolojik model altyapısı oluşturulmuştur. Kurulan bu model altyapısı sayesinde öncelikle su verimi, eriyen kar miktarı, potansiyel evapotranspirasyon, yeraltı suyu akışı gibi birçok hidrolojik bileşenin sonuçları elde edilerek, bu sonuçlar üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Hidrolojik bileşenlerin tamamında 1979-2013 yılları arasındaki uzun dönemde azalma eğilimindedir. Su veriminde %35, sızma miktarında %41, yeraltı suyu miktarında ise %34 gibi ciddi azalmalar dikkat çekmektedir. Diğer yandan bu çalışmada Filyos Çayı havzası için geliştirilen SWAT modelinin kalibrasyonu ve validasyonu istatistiksel indeksler; NSE, RSR ve PBIAS parametre değerleri baz alarak gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon ve validasyon süreçlerinde bulunan NSE, RSR ve PBIAS değerleri Morris ve vd. 2007 tarafından geliştirilen performans kriter tablosu (Çizelge 2) ile karşılaştırılmış ve SWAT kalibrasyon ve validasyon süreçlerinin oldukça iyi bir performansa sahip oldukları ortaya konulmuştur. Neticede bu çalışma SWAT modelinin Filyos Çayı havzasındaki su akımı ve yağış gibi hidrolojik

proseslerin tahmininde kullanılabilecek güvenli ve iyi bir araç olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Bununla beraber herhangi bir su toplama havzasındaki hidrolojik prosesler ve su kaynaklarının yönetiminin birçok parametre içeren karmaşık modellerden kullanmadan daha güvenli ve basit bir şekilde SWAT modeli ile gerçekleştirilebilir. Bu çalışmanın sonuçları aynı zamanda gelecekte su havzalarının yönetimi konusunda iklim değişikliğinin hidrolojik bileşenlere etkisi ile beraber sediment başta olmak üzere havzadaki su kaynaklarında bulunan azot ve fosfor gibi su kalitesi bileşenlerinin miktar ve etkileri ile ilgili yaklaşımlarda SWAT modelinin kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda konu ile ilgili geçmişte yapılan araştırmalar bu çalışmanın sonuçlarını doğrulamaktadır [42, 43, 44].

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] AM. Melesse, D. Webber, A. Haiduk, SG. Seteng, X. Wang, ME. McClain, Modeling hydrological variability of fresh water resources in the Rio Cobre watershed, Jamaica. *Catena.*, 120 (2014) 81-90. doi: 10.1016/j.catena.2014.04.005
- [2] KC. Abbaspour, E. Rouholahnejad, S. Vaghefi, R. Srinivasan, H. Yang, B. Klove, A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *J. Hydrol.*, 524 (2015) 733-752. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.03.027
- [3] B. Klove, P. Ala-Aho, G. Bertrand, JJ. Gurdak, H. Kupfersberger, J. Kvorner, T. Muotka, H. Mykrä, E. Preda, P. Rossi, C. Bertacchi Uvo,, E. Velasco, P. Wachniew, M. Pulido-velázquez, Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *J. Hydrol.*, 518 (2014) 250–266. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.06.037
- [4] H. Yang, P. Reichert, KC. Abbaspour, AJB. Zehnder, A water resources threshold and its implications for food security. *Environ. Sci. Technol.*, 37 (14) (2003) 3048–3054. doi: 10.1021/es0263689
- [5] UN Report. 2012. Managing Water Under Uncertainty and Risk. The United Nations World Water Development Report 4, vol. 1. UNESCO Publishing.
- [6] P.R. Ehrlich, P.M. Kareiva, G.C. Daily, Securing natural capital and expanding equity to rescale civilization. *Nature.*, 486 (2012) 68–73. doi: 10.1038/nature11157
- [7] S. Suweis, A. Rinaldo, A. Maritan, P. D'Odorico, Water-controlled wealth of nations. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110 (2013) 4230–4233.
- [8] B. Wible, Science for sustainable development. *Science.*, 336 (2012) 1396–1398. doi: 10.1126/science.1224530
- [9] J. Alcamo, C.J. Vörösmarty, R.J. Naiman, D. Lettenmaier, C.Pahl-Wostl, A grand challenge for freshwater research: understanding the global water system. *Environ. Res. Lett.*, 3 (2008) 1–6. doi: 10.1088/1748-9326/3/1/010202
- [10] H. Qi, M.S. Altinakar, A conceptual framework of agricultural land use planning with BMP for integrated watershed management. *J. Environ. Manag.*, 92 (2011) 149–155. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.08.023
- [11] S. Polasky, E. Nelson, D. Pennington, K.A. Johnson, The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota. *Environ. Resour. Econ.*, 48 (2011) 219–242. doi: 10.1007/s10640-010-9407-0
- [12] X. Zhang, L. Zhang, J. Zhao, P. Rustomji, P. Hairsine, Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China. *Water Resour. Res.*, 44 (2008). doi: 10.1029/2007WR006711
- [13] M.I. Mahmoud, H.V. Gupta, S. Rajagopal, Scenario development for water resources planning and watershed management: methodology and semi-arid region case study. *Environ. Model. Softw.*, 26 (2011) 873–885. doi: 10.1016/j.envsoft.2011.02.003
- [14] Z.H. Shi, L. Ai, N.F. Fang, H.D. Zhu, Modeling the impacts of integrated small watershed management on soil erosion and sediment delivery: a case study in the Three Gorges Area, China. *J. Hydrol.*, 438 (2012) 156–167. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.03.016
- [15] H. Bormann, L. Breuer, T. Gräff, J.A. Huisman, Analysing the effects of soil properties changes associated with land use changes on the simulated water balance: a comparison of three hydrological catchment models for scenario analysis. *Ecol. Model.*, 209 (2007) 29–40. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2007.07.004
- [16] Zampella, R.A., Procopio, N.A., Lathrop, R.G., Dow, C.L. 2007. Relationship of land-use, land-cover patterns and surface-water quality in the Mullica River Basin. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 43 (2007) 594–604. doi:10.1111/j.1752-1688.2007.00045.x
- [17] M. Arabi, R.S. Govindaraju, M.M. Hantush, Role of watershed subdivision on evaluation of long-term impact of best management practices on water quality. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 42 (2006) 513–528. doi: 10.1111/j.1752-1688.2006.tb03854.x
- [18] K.R. Douglas-Mankin, R. Srinivasan, J. Arnold, Soil and water assessment tool (SWAT) model: current developments and applications. *Trans. ASABE.*, 53 (2010) 1423–1431. doi: 10.13031/2013.34915

- [19] M.I. Lvovitch, The global water balance. *Trans. Am. Geophys. Union.*, 54 (1973) 28–42. doi: 10.1029/EO054i001p00028
- [20] A. Baumgartner, E. Reichel, *The World Water Balance*. Elsevier, New York, (1975) 182.
- [21] B. Hingray, C. Picouet, A. Musy, *Hydrology A Science for Engineers*, ISBN: 9781466590595, CRC Press Taylor & Francis Group, USA. (2015).
- [22] J.G. Arnold, R. Srinivasan, R.S. Muttiah, J.R. Williams, Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 34 (1) (1998)73–89. doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x
- [23] C. He, Integration of geographic information systems and simulation model for watershed management. *Environ. Model. Softw.*, 18 (2003) 809–813. doi: 10.1016/S1364-8152(03)00080-X
- [24] T.J. Baker, S.N. Miller, Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. *J. Hydrol.*, 486 (2013) 100-111. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.01.041
- [25] J. Brzozowski, Z. Miatkowski, D. Śliwiński, K. Smarzyńska, M. Śmietanka, Application of SWAT model to small agricultural catchment in Poland. *J. Water Land Dev.*, 15 (2011) 157–166. doi: 10.2478/v10025-012-0014-z
- [26] L. Cheng, Z.X. Xu, R. Luo, Y.J. Mi, SWAT Application in arid and semi-arid regions: a case study in Kuye River basin. *Geogr. Res.*, 28 (2009) 65–74. doi: 10.11821/yj2009010009
- [27] G.O. Gül, D. Rosbjerg, Modelling of hydrologic processes and potential response to climate change through the use of a multisite SWAT. *Water Environ. J.*, 24 (2010) 21–31. doi: 10.1111/j.1747-6593.2008.00146.x
- [28] S.G. Thampi, K.Y. Raneesh, T.V. Surya, Influence of scale on SWAT model calibration for streamflow in a river basin in the humid tropics. *Water Resour. Manag.*, 24: (2010)4567–4578. doi:10.1007/s11269-010-9676-y
- [29] R. Srinivasan, X. Zhang, J. Arnold, Swat Ungauged: Hydrological Budget and Crop Yield Predictions in the Upper Mississippi River Basin. *Trans. Asabe.*, 53 (5) (2010) 1533-1546. doi:10.13031/2013.34903
- [30] Y P. Wu, J. Chen, Analyzing the Water Budget and Hydrological Characteristics and Responses to Land Use in a Monsoonal Climate River Basin in South China. *Environ. Manage.*, 51 (6) (2013) 1174-1186. doi: 10.1007/s00267-013-0045-5
- [31] C. Tao, X L. Chen, J Z. Lu, P W. Gassman, S. Sabine, S P. Jose-Miguel, Assessing impacts of different land use scenarios on water budget of Fuhe River, China using SWAT model. *Int. J. Agr. Biol. Eng.*, 8 (3): (2015) 95-109. doi: 10.3965/j.ijabe.20150803.1132
- [32] Ö. Güngör, S. Göncü, Application of the soil and water assessment tool model on the Lower Porsuk Stream Watershed. *Hydrol. Process.*, 27 (3) (2013) 453-466. doi: 10.1002/hyp.9228
- [33] D E. Akyüz, S. Kaya, D Z. Seker, S. Kabdasli, Definition of Flood Risky Areas with Calculation of Stream Water Velocity Via Using Numerical Model: Case Study of Filyos River, Turkey. *Fresen Environ Bull.*, 23 (12) (2014) 3022-3028.
- [34] TÜBİTAK-MAM,. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Batı Karadeniz Havzası Proje Nihai Raporu, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Kocaeli. (2013).
- [35] JG. Arnold, N. Fohrer, SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling. *Hydrol. Process.*, 19(3) (2005) 563-572. doi: 10.1002/hyp.5611
- [36] K C. Abbaspour, C A. Johnson, M T. Van Genuchten, Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone J.*, 3 (4) (2004) 1340-1352. doi: 0.2113/3.4.1340
- [37] J. Yang, P. Reichert, K C. Abbaspour, J. Xia, H. Yang, Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. *J. Hydrol.*, 358 (1-2) (2008) 1-23. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.05.012
- [38] B A. Tolson, C A. Shoemaker, Cannonsville Reservoir Watershed SWAT2000 model development, calibration and validation. *J. Hydrol.*, 337 (1–2) (2007) 68-86. doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.01.017
- [39] J E. Nash, J V. Sutcliffe, River flow forecasting through conceptual models, I, A discussion of principles. *J. Hydrol.*, 10: (1970) 282-290. doi: 10.1016/0022-1694(70)90255-6
- [40] D N. Moriasi, J G. Arnold, M W. Van Liew, R L. Bingner, R D. Harmel, T L. Veith, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE.*, 50 (3): (2007) 885-900. doi: 10.13031/2013.23153

- [41] H V. Gupta, S. Sorooshian, P O. Yapo, Status of Automatic Calibration for Hydrologic Models: Comparison with Multilevel Expert Calibration. *J. Hydrol. Eng.*, 4 (2) (1999) 135-143. doi: 10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135)
- [42] M.A. Andrade, C.R. Mello, S. Beskow, Hydrological simulation in a watershed with predominance of Oxisol in the Upper Grande river region, MG — Brazil. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.*, 17 (2013) 69–76. doi:10.1590/S1415-43662013000100010
- [43] M.R. Viola, C.R. Mello, M. Giongo, S. Beskow, A.F. Santos, Hydrological modeling in a watershed of the Lower Araguaia River Basin, TO. *J. Biotechnol. Biodivers.*, 3: (2012) 38–47.
- [44] R. Aragão, M.A.S. Cruz, J.R.A. Amorim, L.C. Mendonça, E.E. Figueiredo, V.S. Srinivasan, Sensitivity analysis of the parameters of the SWAT model and simulation of the hydrosedimentological processes in a watershed in the northeastern region of Brazil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.*, 37 (2013) 1091–1102. doi: 10.1590/S0100-06832013000400026