Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Yıl 2020 Cilt: 39-2

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SEYHAN HAVZASI SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN SWAT MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ[1]

AssessIng Climate Change Impacts on Water resources of Seyhan RIver BasIn by UsIng SWAT Model

Mustafa Abbas Askar ASKAR
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Mesut BAŞIBÜYÜK
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Su kaynakları gerek ekolojik fonksiyonları korumada gerekse de sosyal ve ekonomik kalkınmayı sürdürmede önemli bir role sahiptir. Bu rol; özellikle iklim değişikliğinin Seyhan havzası gibi su kaynakları üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu, Akdeniz bölgelerinde geçerliliğini korumaktadır. Bu çalışmada, Seyhan havzasının su kaynakları üzerindeki gelecekte iklim değişikliğinin yarattığı değişimleri Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) kullanılarak ölçümlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Seyhan Havzası'ndan gelen aylık akarsu akımı SWAT modeline göre simüle edilmiştir. Model parametrelerini kalibre etmek için 1988–1997 serisinden akış ölçümleri ve 1998–2000 serisinden ölçümler model validasyonu için kullanılmıştır. SWAT modeli performansı kalibrasyon [korelasyon katsayısı (R^2) = 0.69, Nash Sutcliffe verimliliği (NSE) = 0.63,] ve validasyonda (R^2 = 0.70, NSE = 0.60) bu sonuçlar, oluşturulan modelin akım simülasyonlarına başarıyla uygulanabileceğini göstermiştir. Hidrolojik modelleme için IPSL-CM5 Modeli verileri kullanılarak beş bayas düzeltme yöntemi kullanılarak, değerlendirilmiştir. En iyi performansı gösteren dağılım haritalaması (DM) ve Yağışta Güç Dönüşümü (PT) daha ileri analizler için kullanılmıştır. Model sonuçları, Seyhan Havzasının ortalama akarsu akımının gelecek dönem için (2045-2080) RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında normal değerlerinden sırasıyla % 65 ve % 85' e kadar düşebileceği, verilerden elde edilen anlamlı sonuçlara göre analiz edilerek, öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: SWAT, İklim değişikliği, Seyhan Havzası, Su kaynakları

ABSTRACT

Water resources play an important role in maintaining ecological functions and sustainable social and economic development. This is especially true for Mediterranean regions where climate change has a major impact on water resources such as the Seyhan basin. This study was conducted to evaluate the future of climate change, impacts on water resources of the Seyhan basin by using Soil and Water

[1] Aynı başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Assessment Tool (SWAT). The sequential uncertainty fitting (SUFI-2) algorithm has been applied for model calibration, validation and uncertainty analysis. The monthly streamflow from the Seyhan basin was simulated. Streamflow measurements from the 1988–1997 time series and measurements from the 1998–2000 time series were used for model calibration and validation respectively. SWAT model performance calibration [correlation coefficient (R2) = 0.69, Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) = 0.63,] and validation (R2 = 0.70, NSE = 0.60). These results showed that the model created can be successfully applied to current simulations. Five bias correction methods were evaluated using IPSL-CM5 Model data for hydrological modeling. The best performing distribution mapping (DM) and Power Transformation in Rainfall (PT) were used for further analysis. Model results predicted that the average streamflow of the Seyhan basin will decrease by 65% and 85% for the next period (2045-2080) under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, respectively.
Keywords: SWAT Model, Climate change, Seyhan basin, Water resources

Giriş

Küresel iklim değişikliği ve su kaynakları üzerindeki etkisi, önemli çevresel ve ekonomik etkilerden dolayı tüm dünyadaki toplumların dikkatini çekmiştir (Jasper ve ark. 2004; Zhang ve ark. 2008). Antropojenik aktivitelerden kaynaklanan CO_2 ve diğer sera gazı konsantrasyonlarının artması, iklim sisteminin radyatif enerji bütçesini değiştirerek küresel iklimin ısınmasına neden olmuştur (Houghtonetal, 2001). Su ve enerji dengesi arasındaki eşleşme nedeniyle iklimdeki herhangi bir değişiklik hidrolojik çevrimi ve yağışın mekânsal ve zamansal dağılımını ve yoğunluğunu etkileyecektir (Immerzeel, 2008)**.** Akdeniz bölgesi, dünyadaki iklim değişikliğinden en çok etkilenen bölgelerden biri olarak kabul edilmektedir (IPCC 2007b). İklimsel modellerin ve senaryoların çoğu, Akdeniz bölgesinde, her şeyden önce yılın en sıcak altı ayı boyunca daha az yağış ve daha yüksek ortalama ve maksimum sıcaklıklar olduğunu tahmin etmektedir (IPCC 2007b). Haliyle, Seyhan havzasının su kaynakları, iklim değişikliğinden etkilenmesi beklenmektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), su ile ilgili risklerde (örneğin kuraklık ve sel) bir artış olduğunu, yerel yağış ve sıcaklık gibi iklim değişiklikleriyle ilişkilendirilebileceğini bildirdi. Bu nedenle, gelecekteki su kaynaklarının iklim değişikliği altında değerlendirilmesi, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SDG) ulaşmak için daha iyi su yönetim sistemleri ve iklim adaptasyon stratejileri geliştirmek için önemlidir.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi'nin (CMIP5) beşinci aşamasında geliştirilen Genel Sirkülasyon Modelleri (GCM'ler) hem mevcut hem de gelecekteki iklim değişikliği tahminleri için şu anda mevcut olan en gelişmiş araçlardır (Wilby ve Wigley, 1997). Bununla birlikte, kaba çözünürlüklerinden (yaklaşık 150–300 km) dolayı, birleşmiş iklim hidrolojik

sistemlerinin bölgesel ölçekte çalışılmasına izin vermezler (Lespinas et al., 2014) Bundan dolayı, GCM'lerin yerel veya bölgesel ölçeklerde Bölgesel İklim Modelleri (RCM'ler) ile sonuçlanan daha ince çözünürlüklerle (genellikle 10-50 km) küçültülmeleri gerekir (Yang et al., 2010). Her ne kadar Bölgesel İklim Modelleri ((RCM'ler) yerel iklimleri yansıtmada daha iyi performans gösterseler de, GCM menşeleri ile ilgili hatalar önemini korumaktadır (Chen ve diğerleri, 2013b; Durman ve diğerleri, 2001). Örneğin, Bölgesel İklim Modelleri (RCM) simülasyonlu yağış çıktıları genellikle düşük yoğunluklu yağışları fazla ve yüksek yoğunluklu yağışları küçümser (Teutschbein ve Seibert, 2012). Ayrıca, diğer model uygulamalarındaki hatalar belirsizliklere aktarılacağından, Bölgesel İklim Modelleri (RCM) çıkışlarının hidrolojik etki değerlendirme çalışmalarında doğrudan kullanımı zor olmaya devam etmektedir (Casanueva ve diğerleri, 2016). Bu nedenle, RCM çıkışlarının bayas düzeltme yoluyla düzeltilmesi önemlidir. Değişen iklim koşulları altında, bir havza hidrolojisindeki olası değişiklikleri incelemek ve iklim değişikliğinden kaynaklanan su kaynakları üzerindeki olası etkileri tahmin etmek için hidrolojik modelleme önemlidir (Singh ve Woolhiser 2002). İklimdeki gelecekteki değişiklikler bölgesel hidrolojik koşulları değiştirecek ve daha sonra hem miktar hem de kalitelik bakımından bölgesel su kaynaklarını etkileyecektir (Jyrkama ve Sykes 2007). Bölgesel iklim değişikliği, havzadaki akış miktarını ve zamanlamasını büyük ölçüde değiştirebilir ve havzanın hidrolojik özellikleri üzerine önemli bir etkiye sahiptir (Ma ve ark. 2009).

Su akışı simülasyonları iklim değişikliği çalışmalarında önemli bir rol oynar. Simülasyon verileri, birçok hidrolojik problemin çözülmesinde temel teşkil edebilir. Son yıllarda, küresel olarak farklı havzalara temsili bir hidrolojik model-toprak ve su değerlendirme aracı (SWAT) uygulanmaktadır. Başarılı bir şekilde uygulanması nedeniyle, SWAT modeli, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerini değerlendirmede yaygın olarak uygulanmaktadır (Gassmann ve diğerleri, 2007). Ayrıca SWAT modeli küresel olarak çok sayıda havzalardaki deşarjı tahmin etmek için şu ana kadar başarıyla kullanılmıştır (Abbaspour ve ark., 2007; Baker ve Miller, 2013). Bu çalışmada SWAT modeli (Arnold ve ark. 1998; Neitsch ve ark. 2002) Seyhan havzası nehrinin su kaynaklarını simüle etmek için uygulanmıştır. Kalibrasyon, validasyon ve belirsizlik analizi için Sıralı Belirsizlik Artırma (SUFI-2) algoritması kullanılmıştır. Abbaspour ve diğ. (2007) SUFI' yı hassasiyet analizi, kalibrasyonu ve belirsizlik analizi için bir araç olarak geliştirmiştir. Yang ve diğ. (2008), SUFI-2'nin iyi bir kalibrasyon ve tahmin belirsizliği sonuçları elde etmek için en az sayıda model çalışması gerektirdiğini tespit etmiştir. Ek olarak, SUFI-2 bir arayüz aracılığıyla SWAT (SWAT-CUP yazılımında; Abbaspour ve diğerleri 2007) ile bağlantılıdır.

Bu çalışmanın temel amacı, iklim değişikliğinin Seyhan havzasındaki su kaynakları üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Bu çalışmanın bulgularının Seyhan Nehri Havzasında iklim değişikliğine uyum çalışmaları için ve iklim değişikliğinin

benzer havzalardaki su kaynakları üzerindeki genel etkilerini anlamak için bilgilendirici ve faydalı olacağı düşünülmektedir.

Materyal ve Metot

Materyal

SWAT modelini çalıştırmak için, uzamsal olarak dağıtılmış birkaç veri seti hazırlamak gerekmektedir. ArcSWAT arayüzü, Dijital Yükseklik Modeli (DEM), toprak verisi, arazi kullanım verileri ve iklim verilerini gerektirir. Son olarak, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından elde edilen akış verileri kalibrasyon ve validasyon için kullanılmıştır.

Metot

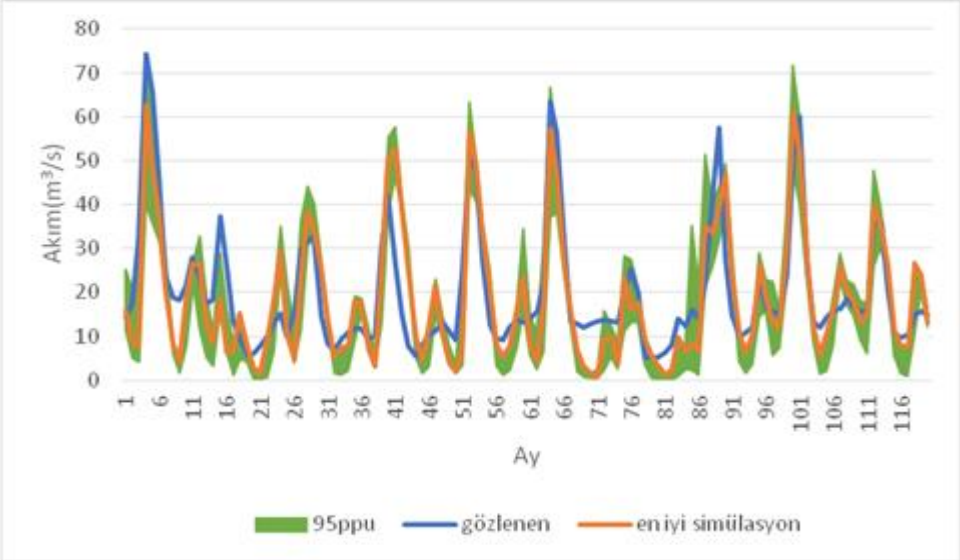
SWAT Modeli

Modeli çalıştırmak için gerekli mekansal veri katmanları ve veri tabanları hazırlanmıştır. Dijital Yükseklik Modeli (DEM), havza yapılandırması ve topografik parametre eştirme için kullanılmıştır. Havzanın yüksekliği 0 m ile 3701m arasında değişmektedir. Benzer şekilde, 10 farklı arazi kullanım sınıfı ve 10 farklı toprak tipi tanımlanmış ve bunların nispi veri tabanları SWAT modeli tarafından istenildiği şekilde hazırlanmıştır. Havza, 19.472,99 Km^2'lık eşik alanlı bir modelleme çalışması için 7 alt havzaya bölünmüştür. Hidrolojik müdahale birimlerini (HRU'ları) tanımlamak için, Dijital Yükseklik Modelinden (DEM'den) bir eğim haritası çıkarılmış ve % 5,% 10,% 15 ve% 20 aralıklar vererek 4 sınıfa ayırılmıştır. Strauch ve ark. (2015) tarafından önerildiği gibi, arazi kullanımı, eğim ve toprak için sırasıyla %10, % 10 ve % 10 eşiklerini kullanılmıştır**.** Bu toplam 69 HRU vermiştir. Günlük meteorolojik veriler daha sonra modele beslenmiştir. Meteoroloji genel müdürlüğü (MGM) tarafından kaydedilen 6 istasyondan günlük yağış, nisbi nem, rüzgar hızı ve maksimum ve minimum sıcaklık verileri kullanılmıştır. Mevcut arazi kullanım özelliklerinin, gelecek simülasyon dönemleri için aynı olduğu varsayılmıştır, çünkü gelecekteki arazi kullanım özelliklerini farklı ekstrapolasyon yöntemleri ile tahmin etmek çok zordur. İlk 3 yıllık simülasyon modeli dengelemek için bir ısınma süresi olarak kabul edilmiştir.

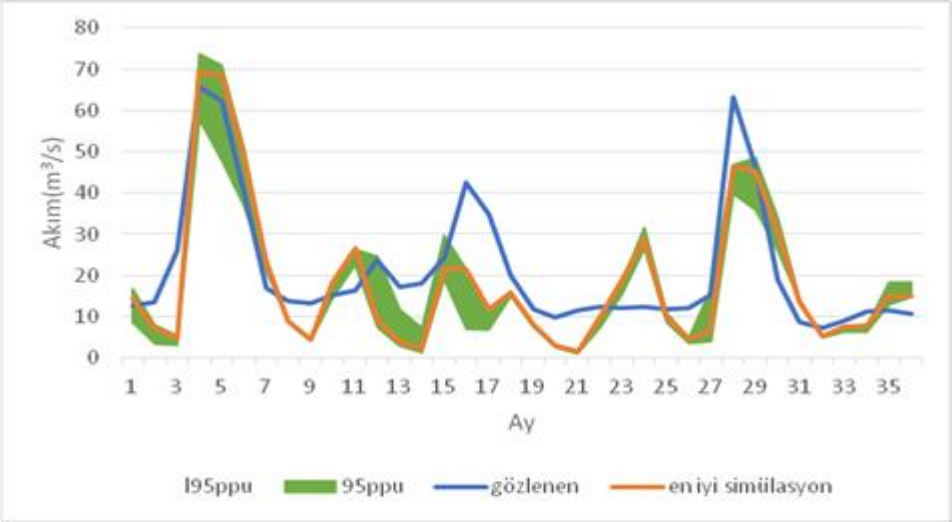
Araştırma Bulguları

Şekil 1 ve şekil 2, hem kalibrasyon hem de validasyon periyotları için gözlenen ve simüle edilmiş akış hidrograflarının neredeyse benzer dağılımını göstermektedir. Kalibrasyon ve validasyon periyotları sırasında NSE (Nash-Sutcliffe Verimliliği) değerleri sırasıyla 0.63 ve 0.60'dir, bu da model performansının aylık zaman adımında oldukça tatmin edici olduğunu gösterir. Benzer şekilde, daha yüksek R^2 değerleri (kalibrasyon ve validasyon için sırasıyla 0.69 ve 0.70), gözlemlenen ve simüle edilen akışlar arasında iyi bir

korelasyon olduğunu doğrular. Ayrıca, model sonuçları için% 95 Tahmin Belirsizlik bandı (95PPU, çıktı değişkenlerinin kümülatif dağılımının% 2.5 ve% 97.5 seviyelerinde hesaplanmıştır), Şekil 1 ve 2'de gösterilmektedir; burada gölgeli yeşil bölgeler simülasyon ile% 95 tahmin belirsizliğini (95PPU) gösterir. Kalibrasyon için modelin gücü, P faktörü ve R faktörü olmak üzere iki farklı istatistik kullanılarak ölçülmüştür. P faktörü,% 95 tahmin belirsizliği (95PPU) ile parantez içinde ölçülen verilerin yüzdesi olarak tanımlanırken, R faktörü, 95PPU bandının ortalama kalınlığının, ölçülen verilerin standart sapmasına bölünmesiyle elde edilir. P faktörünün (Aralık =% 0-100) değeri% 100 veya birliğe eşittir ve sıfıra yakın R faktörünün (Aralık = 0 - ∞) değeri, gözlemlenen ve simüle edilen sonuçların tam olarak eşleştiği ideal bir durumu gösterir (Abbaspour.2011). Model performansı metrik değerleri ve P faktörü ve R faktörü, modelin Seyhan Havzası akımını simüle etmede güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, model kalibrasyonu için bu çalışmada kullanılan SUFI-2 tekniğinin, hem kalibrasyon hem de validasyon periyotları boyunca gözlemlenen akımın tatmin edici bir şekilde yakaladığını göstermektedir.

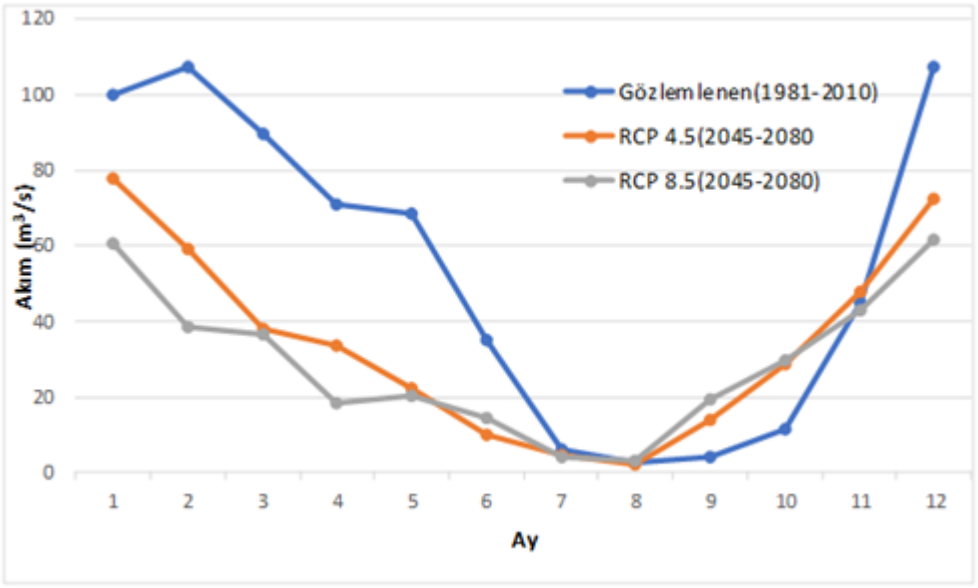


Şekil 1. Kalibrasyondan sonra (1987-1998) Gözlemlenen akış,% 95 model belirsizliği ve en simülasyon



Şekil 2. Validasyondan sonra (1998-2000) Gözlemlenen akış,% 95 model belirsizliği ve en iyi simülasyon

Bu çalışmada, IPSL-CM5 modelinin verilerini kullanarak, iklim değişikliği senaryoları (RCP4.5 Ve RCP8.5) SWAT modeli ile Seyhan Nehri Havzası için değerlendirilmiştir; bu, aylık akıştaki değişikliklerin değerlendirilmesini içermekteydi. 2045-2080 dönemi için beklenen yağmur miktarının azalması ve sıcaklığın artması olumsuz etkiler yaratır. Dolayasıyla Seyhan havzasının su kaynaklarının azalmasına yol açar. Arcswatla simüle edilen yağmur ve sıcaklık verileri RCP4.5 senaryosu altında havzadaki akımın % 65e kadar düşmesi ve bu rakamın RCP8.5 altında % 85e kadar yükselmesi öngörülmektedir. Şekil 3, aylık ortalama akımın güz mevsiminde (Eylül, Ekim ve Kasım) diğer mevsimlerin aksine artacağını göstermektedir. Bununda nedeni bu aylarda yağmurun artışı ve sıcaklığın düşmesinden kaynaklıdır. Ayrıca su veriminin gelecek dönem için (2045-2080),geçmiş zamanla (1981-2010) kıyasladığımız da Rcp4.5 ve Rcp8.5 senaryoları altında sırasıyla %-74 ve %-95 bir değişiklik göstermektedir.



Şekil 3. Gözlemlenen (1981-2010) ve RCP 4.5, RCP 8.5 gelecek (2045-2080) ortalama aylık Akım (m^3/s değerleri)

Sonuçlar Ve Öneriler

Bu çalışmada, iklim değişikliğinin havzanın su kaynakları üzerindeki etkilerini farklı zamansal ve mekânsal ölçeklerde ölçümü gerçekleştirmek için Seyhan Nehri Havzası'nda bir Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) modeli oluşturulmuş, kalibre edilmiş ve validasyonu yapılmıştır (doğrulanmıştır). Dijital yükseklik modeli (DEM), arazi kullanımı, toprak tipi ve meteorolojik veriler dahil edilerek, bu bölgedeki aylık akışı simüle etmek için SWAT modeli Seyhan Nehri Havzası'na uygulanmıştır. SWAT modeli, R2 ve NSE değerleri 0.6'dan daha yüksek olan havza için aylık ölçeklerde hidrolojik modelleme için iyi performans göstermiştir. Oluşturulan SWAT modeli, bayas düzeltilmiş CORDEX Akdeniz projeksiyonları çıktılarını kullanarak gelecekteki iklim değişikliklerinin (yani sıcaklık ve yağış değişiklikleri) havzadaki akış üzerindeki etkilerini araştırmak için kullanılmıştır. Sonuçlar, genel olarak, yağış akışının etkisinin hava sıcaklığından daha yüksek olduğunu göstermiştir. Artan sıcaklık veya yağışlardaki azalma, akışta azalmaya neden olur.

Ortalama aylık minimum ve maksimum sıcaklıktaki artış ve yağıştaki düşüş, ortalama evapotranspirasyon'nın (ET) azalması, ortalama toprak suyu içeriği ve yeraltı suyu şarjının azalmasına neden olmuştur. Sıcaklığın artması ve yağmurun düşüşü, kış,

bahar ve yaz mevsimlerinde ortalama toplam su veriminde ve akışında bir azalmaya neden oldu, ancak güz mevsiminde arttığını göstermektedir. Gelecek dönemde (2045-2080) evapotranspirasyon (ET) beklenen azalma bitki örtüsünün büyümesini, gelişmesini ve dağılımını etkileyecektir. Ayrıca, kıyısal ekosistemlerin kalitesi, ekolojik akışların altındaki akış akışlarının sıklığı nedeniyle bozulacaktır.

Bu çalışmanın sonuçları, su yöneticilerinin iklim değişikliğinin bölgesel ve yerel ölçeklerde su kaynakları üzerindeki önemli etkilerini belirlemesi için ayrıntılı ve yerel bilgiler sunmaktadır. Bu etki tanımlama ve miktar belirleme, iklim değişikliği tehditleriyle yüzleşmek için uyum önlemleri tasarlamanın anahtarıdır.

Böyle bir modelleme aracının mevcudiyetinin ve iklim kaynaklı hidrolojik değişimler bilgisinin gelecekte su kaynaklarının dağılımını ve kullanılabilirliği anlamada yardımcı olabileceğine ve makul yönetim seçeneklerinin oluşturulmasına yardımcı olacağına inancı kanıtlamaktadır.

KAYNAKLAR

Abbaspour, K.C., et al., 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. J. Hydrol. 333 (2–4):413–430. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.014.

Arnold, J.G., et al., 2012. SWAT:model use, calibration, and validation. Am. Soc. Agric. Biol.Eng. 55 (4), 18.

Baker, T.J., Miller, S.N., 2013. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. J. Hydrol. 486,10 https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.041.

Casanueva, A., Kotlarski, S., Herrera, S., Fernández, J., Gutiérrez, J.M., Boberg, F., et al., 2016.Daily precipitation statistics in a EURO-CORDEX RCM ensemble: added value of rawand bias-corrected high-resolution simulations. Clim. Dyn. 47, 719–737. https://doi.org/10.1007/s00382-015-2865-

Chen, J., Brissette, F.P., Chaumont, D., Braun, M., 2013b.Performance and uncertaintyevaluation of empirical downscaling methods in quantifying the climate changeimpacts on hydrology over two North American river basins. J. Hydrol. 479,200–214.

Durman, C., Gregory, J.M., Hassell, D.C., Jones, R., Murphy, J., 2001.A comparison of ex-treme European daily precipitation simulated by a global and a regional climatemodel for present and future climates. Q. J. R. Meteorol. Soc. 127, 1005–1015.

Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G., 2007. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. Trans.ASABE 50 (4), 1211–1250.

Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C., 2001. Climate Change 2001:The Scientific Basis, vol. 881. Cambridge University Press, Cambridge.

Immerzeel, W.W., 2008. Historical trends and future predictions of climate variability in the Brahmaputra basin. Int. J. Climatol.28 (2), 243–254.impact studies: Review and evaluation of different methods. J. Hydrol. 2012, 456, 12–29. [CrossRef]

IPCC, 2007b. Climate change 2007: the physical science basis. S.Solomon, et al., eds. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press

Jasper, K., Calanca, P., Gyalistras, D., Fuhrer, J., 2004. Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine river basins. Clim. Res. 26, 113–129. https://doi.org/10.3354/cr026113.

Jyrkama MI, Sykes JF (2007) The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the Grand River watershed (Ontario). J Hydrol 338(3–4):237–250. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.02.036

Lespinas, F., Ludwig, W., Heussner, S., 2014. Hydrological and climatic uncertainties asso-ciated with modeling the impact of climate change on water resources of small Med-iterranean coastal rivers. J. Hydrol. 511, 403–422.https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.033

Ma X, Xu J, Luo Y, Agarwal SP, Li J (2009) Response of hydrological processes to landcover and climate changes in Kejie watershed, Southwest China. Hydr Procs 23(8):1179–1191. doi:10.1002/hyp.7233

Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry J, Srinivasan R, Williams JR (2002) Soil and water assessment tool user manual. Texas Water Resources Institute, College Station, TWRI Report TR-192

Singh VP,Woolhiser DA (2002) Mathematical modeling of watershed hydrology. J Hydrol Eng 7(4):270–292.doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:4(270)

Strauch, M., Otto, R., Volk, M., 2015. HRU Aggregation and Its Effects on Model Outputs,2015 International SWAT Conference, Sardinia, June 24–25.

Teutschbein, C.; Seibert, J. Bias correction of regional climatemodel simulations for hydrological climate-change

Wilby, R.L., Wigley, T., 1997.Downscaling general circulation model output: a review ofmethods and limitations. Prog. Phys. Geogr. 21, 530–548.

Yang J, Reichert P, Abbaspour KC, Yang H (2008) Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to Chaohe Basin in China. J Hydrol 358:1–23. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.05.012

Zhang, Q., Xu, C.-Y., Zhang, Z., Ren, G., Chen, Y., 2008. Climate change or variability? The case of Yellow river as indicated by extreme maximum and

minimum air temperature during 1960–2004. Theor. Appl. Climatol. 93, 35–43. https://doi.org/10.1007/s00704-007-0328-y