

Estimation of water balance components by river hydrological simulation using SWAT model (case study: Balkhlochai watershed)

Shapur Pilpayeh  | Babak Aminnejad   | Amirpouya Sarraf 

Civil Engineering Department, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran
E-mail: babak1409@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 29 Jul. 2023

Revised: 16 Nov. 2023

Accepted: 24 Nov. 2023

Published online: 18 Apr. 2024

Keywords:

SUF12 algorithm,

Water balance,

Hydrological simulation,

SWAT model.

Abstract

Sustainable use of fresh water resources and analysis of the hydrological behavior of the basin for water resources management requires knowledge of the state of water balance components. The main goal of the research is to estimate the water balance components of the Balkhlochai catchment area with an area of 567 square kilometers. Therefore, necessary information such as meteorological parameters, monthly discharge, as well as required maps were prepared and introduced to the model. In order to test and validate the model, SUFI2 algorithm was used. The period of 2003 to 2013 was considered for the validation period and 2014 to 2018 for validation. The results showed that the Nash-Sutcliffe and Coefficient of determination were 0.52 and 0.60 respectively for the validation period and 0.60 and 0.65 respectively for the validation period. Also, the balance components of the basin showed that 69% of precipitation enters the atmosphere through evaporation and transpiration. About 16% enters waterways as surface runoff, lateral flow, and return flow, and 15% of it also infiltrates. The results of the research show the good performance of the SWAT model in simulating the water balance of the Balkhlochai watershed. One of the most important reasons for the decrease in the efficiency of the model can be attributed to the incompleteness of the snow melting coefficients, the less compatible initial assumptions of the model, for the simulation of water flow at high altitudes and frozen layers, and the lack of necessary information regarding the simulation of underground water cited.



Cite this article: Pilpayeh, S., Aminnejad, B., Sarraf, A.P. (2024). Estimation of water balance components by river hydrological simulation using SWAT model (case study: Balkhlochai watershed). *Journal of Range & Watershed Management*, 77 (1), 107-120. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.364045.1723>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

برآورد مولفه‌های بیلان آب با شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه آبریز بالخلوچای)

شاپور پیل‌پایه  | بابک امین‌نژاد  | امیریویا صراف 

گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی رودهن، رودهن ایران
رایانامه: babak1409@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

استفاده پایدار از منابع آب شیرین و تحلیل رفتار هیدرولوژیکی حوضه جهت مدیریت منابع آب مستلزم شناخت از وضعیت مولفه‌های بیلان آب است. هدف اصلی پژوهش برآورد مولفه‌های بیلان آب حوزه آبخیز بالخلوچای با مساحت ۵۶۷ کیلومتر مربع می‌باشد. بنابراین اطلاعات لازم از قبیل پارامترهای هواشناسی، دبی ماهانه و همچنین نقشه‌های مورد نیاز تهیه و به مدل معرفی شد. به منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل، از الگوریتم SUFI2 استفاده شد. بازه زمانی سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ برای دوره واسنجی و ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد ضرایب نش-ساتکلیف و تبیین برای دوره واسنجی به ترتیب ۰/۵۲، ۰/۶۰ و برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۶۰ و ۰/۶۵ استخراج گردید. همچنین مولفه‌های بیلان حوضه نشان داد ۶۹ درصد بارش از طریق تبخیر و تعرق وارد اتمسفر می‌شود. در حدود ۱۶ درصد به صورت رواناب سطحی و جریان جانبی و جریان بازگشتی وارد آبراهه‌ها شده و ۱۵ درصد آن نیز نفوذ پیدا می‌کند. نتایج حاصل از پژوهش، نشان دهنده کارایی خوب مدل SWAT در شبیه‌سازی بیلان آب حوزه آبخیز بالخلوچای است. از مهمترین دلایل افت کارایی مدل می‌توان به ناکامل بودن ضرایب ذوب برف، کمتر سازگار بودن فرضیات اولیه مدل برای شبیه‌سازی جریان آب در ارتفاعات زیاد و لایه‌های یخ زده و کمبود اطلاعات لازم در خصوص شبیه‌سازی آبهای زیرزمینی اشاره نمود.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰

کلیدواژه‌ها:

الگوریتم SUFI2

بیلان آب،

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی،

مدل SWAT

استناد: پیل‌پایه، شاپور؛ امین‌نژاد، بابک؛ صراف، امیریویا (۱۴۰۳). برآورد مولفه‌های بیلان آب با شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه آبریز بالخلوچای).

نشریه مرتع و آبخیزداری، ۱۷۷(۱)، ۱۲۰-۱۰۷.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.364045.1723>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

رفاه و سلامت انسان، عملکرد بهینه اکوسیستم‌ها و رشد اقتصادی یک کشور ارتباط مستقیمی با میزان حفاظت از منابع آبی و خاکی یک کشور دارد. با این حال استفاده بیش از حد از منابع آبی و سو مدیریت در بهره‌برداری و حفاظت از آن همراه با تغییرات جمعیتی، تغییر سیاست‌های استفاده از زمین و آب و تغییرات آب و هوایی، کیفیت و کمیت منابع آبی را که برای توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست و رفاه ملی امری ضروری است تحت تاثیر قرار داده است (بیستس و همکاران، ۲۰۰۸). لذا در راستای تحقق استفاده پایدار از منابع آب شیرین و حل مسائل مدیریت آب در زمینه‌های مختلف مصرف و بهره‌برداری از این منابع، شناخت و آگاهی از وضعیت مولفه‌های بیلان آب و تحلیل رفتار هیدرولوژیکی حوضه جهت سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در مقیاس جهانی، ملی و حوزه آبخیز از اهمیت بالایی برخوردار است.

جهت برآورد اجزای بیلان آب حوزه‌های آبخیز مطالعات متعددی در سطوح بین‌المللی و داخلی با استفاده از انواع مختلفی از مدل‌ها صورت گرفته است. مدل‌های هیدرولوژیکی با ماهیت نیمه توزیعی یکی از ابزارهای مناسب جهت شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی از جمله بیلان آب است. در این بین مدل هیدرولوژیکی SWAT^۱ یکی از این مدل‌های نیمه توزیعی است که در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته است (دی اولیویرا سرائو و همکاران، ۲۰۲۲). از جمله تحقیقات داخلی و خارجی صورت گرفته در مورد کارایی مدل SWAT در برآورد بیلان آب حوزه‌های آبخیز می‌توان به تحقیق ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد. آن‌ها در تحقیق خود به بررسی کارایی مدل SWAT و قابلیت استفاده از آن در شبیه‌سازی جریان حوزه آبخیز نکا در مازندران پرداختند. بدین منظور مدل را برای دوره ۱۳۸۲-۱۳۷۳ واسنجی و برای دوره ۱۳۸۳-۱۳۸۷ اعتبارسنجی کردند. نتایج کلی واسنجی تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل می‌تواند ابزار مناسبی در رابطه با شبیه‌سازی رواناب در حوزه آبخیز نکا باشد (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۷). در تحقیق دیگری پرویزی و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی بیلان آبی حوزه آبخیز فخرآباد با استفاده از مدل SWAT پرداختند و مدل را برای بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۴ واسنجی و اعتبارسنجی کردند. آن‌ها در تحقیق خود به منظور بررسی کارایی مدل از ضریب نش و ضریب تبیین استفاده کردند که برای دوره واسنجی به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۷۳ و برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۵۴ بدست آمد. نتایج نهایی تحقیق آن‌ها نشان داد که به طور متوسط حدود ۶۷ درصد بارش بصورت تبخیر و تعرق وارد اتمسفر شده و ۲۳ درصد آن بصورت رواناب سطحی و جریان زیرسطحی به آبراه‌ها وارد می‌شود. نتایج حاصل نشان دهنده کارایی مدل سوات در شبیه‌سازی بیلان آبی حوضه فخرآباد است (پرویزی و همکاران، ۲۰۲۲).

دهامی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود به مطالعه بیلان آبی حوضه رودخانه کارنالی در نپال با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که متوسط حجم رواناب سالانه در خروجی حوضه در حدود ۴۷/۱۶ میلیارد متر مکعب است که از این میزان حدود ۱۲ درصد آن ناشی از ذوب برف می‌باشد. همچنین از میزان بارندگی سالانه بر روی حوضه مورد مطالعه ۲۵ درصد آن بصورت تبخیر و تعرق از حوضه مورد مطالعه خارج می‌شود (دهامی و همکاران، ۲۰۱۸). عدنان و همکاران (۲۰۱۹) نیز به شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل بیلان آبی دریاچه نمکو^۲ با استفاده از مدل SWAT پرداختند. آن‌ها مدل را برای دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ صحت‌سنجی و واسنجی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از آن بود که افزایش بارندگی همراه با ذوب یخچال‌ها از عوامل مهم و تاثیرگذار در افزایش تراز آبی دریاچه مورد مطالعه است (عدنان و همکاران، ۲۰۱۹).

در مطالعه گوپتا و همکاران (۲۰۲۰) اجزای بیلان آب و کارایی مدل SWAT در بخش فوقانی حوضه صبارماتی^۳ در هند مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور آن‌ها مدل را برای سال ۱۹۹۹-۱۹۹۲ کالیبره و برای سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۰ اعتبارسنجی کردند. نتایج تحقیق

¹ Soil and Water Assessment Tool

² Nam Co

³ Sabarmati

آن‌ها نشان داد که رواناب و تبخیر و تعرق بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۵ روند کاهشی داشته است. همچنین مدل از کارایی خوبی در منطقه برخوردار بوده است (گوپتا و همکاران، ۲۰۲۰). ارکان و همکاران (۲۰۲۰) نیز به بررسی تغییرات بیلان آبی حوزه آبخیز نتوس^۱ در کارولینای شمالی با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از آن بود که در حوضه مورد مطالعه بارندگی به میزان ۷/۷ درصد افزایش و تبخیر و تعرق به میزان ۵/۵ درصد کاهش خواهد یافت که نتیجه چنین تغییراتی افزایش عملکرد آب در منطقه مورد مطالعه است (ارکان و همکاران، ۲۰۲۰).

همچنین با بررسی نتایج تحقیقات خارجی متعدد از قبیل آشوو و همکاران (۲۰۲۰)، کیم (۲۰۱۲)، تو و همکاران (۲۰۱۶) و پلنگ و همکاران (۲۰۲۰) مشخص گردید که مدل SWAT در ارتباط با بررسی شرایط هیدرولوژیکی و برآورد بیلان آبی حوضه‌های داخل و خارج کشور از کارایی مطلوبی برخوردار است اما تعمیم صد درصدی این موضوع به تمام حوضه‌ها با خصوصیات فیزیکی و شرایط اقلیمی متفاوت نیازمند بررسی و مدلسازی است.

از آنجا که سد یامچی (سد مخزنی که در این حوضه واقع شده است)، به عنوان تامین کننده قسمت اعظم آب شرب اردبیل و بسیاری از شهرها و روستاهای اطراف اردبیل، دارای اهمیت بسزایی در منطقه است لذا در این تحقیق به شبیه‌سازی حوضه مورد نظر بر اساس نقشه‌ها و آمار جدید پرداخته شده و سعی شده است تا اهداف زیر محقق گردند:

- ۱- دقت مدل SWAT در حوزه آبخیز بالخلوچای استان اردبیل مورد سنجش قرار گیرد.
- ۲- مولفه‌های بیلان آب شامل اجزای تبخیر/تعرق، نفوذ و رواناب سطحی، که هر یک دارای اجزای کوچکتری نیز هستند، استخراج گردد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز بالخلوچای به طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی، به عنوان بخشی از حوزه آبخیز قره‌سو است. جدول ۱ خصوصیات فیزیوگرافی حوزه و شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت حوزه آبخیز بالخلوچای، موقعیت سد یامچی، ایستگاه‌های هیدرومتری داخل حوضه، به همراه شبکه آبراهه‌های آن است. تغییرات ارتفاعی حوضه بین ۱۵۵۷ تا ۴۳۸۳ متر است. همچنین طول کل آبراهه‌ها به ۴۱۹ کیلومتر و طول شاخه اصلی به ۴۴ کیلومتر می‌رسد (رتوف و میرزایی، ۲۰۱۹).

۲-۲ تئوری مدل SWAT

SWAT یک مدل مفهومی - نیمه توزیعی با بازده محاسباتی بالا می‌باشد (۳). در مدل SWAT هر حوضه به چندین زیرحوضه و هر زیرحوضه به واحدهای واکنش هیدرولوژیک (HRU^۲)، که از نظر کاربری اراضی و ویژگی‌های خاک و توپوگرافی همگن هستند تقسیم می‌شوند. شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژی در حوضه در دو مرحله صورت می‌گیرد. نخستین مرحله فاز زمین چرخه هیدرولوژی است. فاز زمین چرخه هیدرولوژی، کنترل‌کننده مقدار آب و رسوب در کانال اصلی و در هر زیرحوضه است. مرحله دوم، فاز روندیابی چرخه هیدرولوژی است که شامل حرکت آب، رسوب و غیره در طول شبکه کانال حوضه تا خروجی آن می‌باشد.

اساس چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT، رابطه بیلان آبی است که طبق رابطه (۱) محاسبه می‌گردد (آرنولد و همکاران، ۲۰۱۲):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{SURF} - E_0 - W_{seep} - Q_{GW}) \quad (\text{معادله ۱})$$

^۱ Neuse

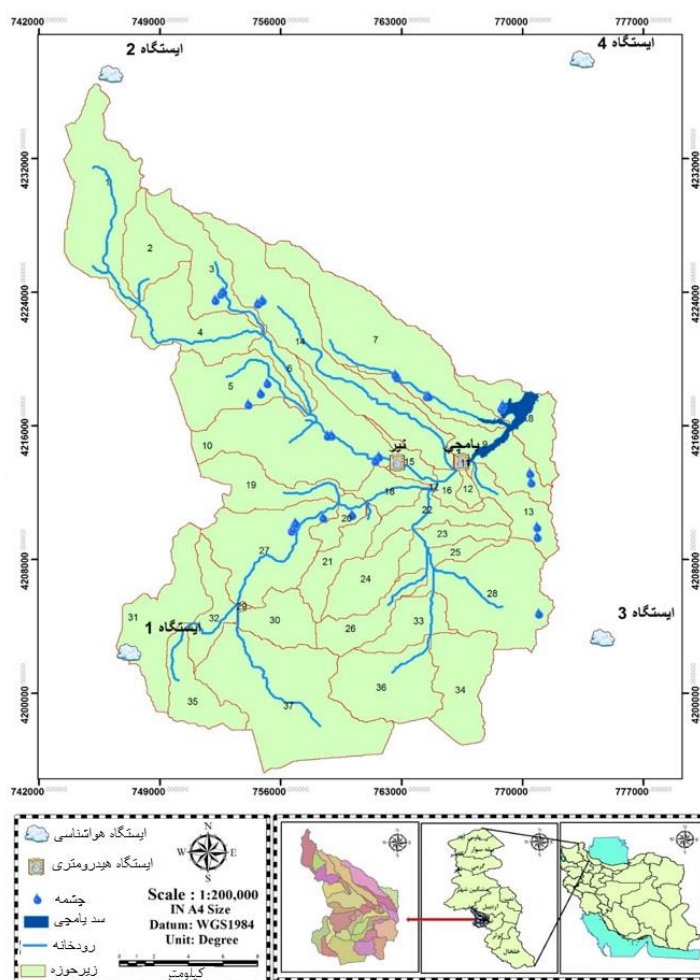
^۲ Hydrologic Response Unit

که در آن SW_t : مقدار نهایی آب در خاک در روز t ام (برحسب میلی‌متر آب)، SW_0 : مقدار اولیه آب در خاک (برحسب میلی‌متر آب)، t : زمان بر حسب روز، R_{day} : مقدار بارندگی در روز i ام (برحسب میلی‌متر آب)، R_{surf} : مقدار رواناب سطحی در روز t ام (برحسب میلی‌متر آب)، E_a : مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (برحسب میلی‌متر آب)، W_{seep} : آب نفوذ یافته از خاک به لایه آب غیراشباع در روز t ام (میلی‌متر آب)، Q_{gw} : مقدار جریان برگشتی در روز t ام (برحسب میلی‌متر آب) می‌باشد.

عملکرد رسوب، تعادل مواد مغذی، رشد گیاهی و محتوای آب و خاک و فعالیت‌های مدیریتی برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی شبیه‌سازی شده و توسط میانگین‌گیری وزنی به کل زیرحوضه‌ها و در نهایت به کل حوضه نسبت داده می‌شود.

جدول ۱. خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبریز بالخلوچای

پارمتر	مساحت (Km ²)	محیط (Km)	ضریب گراویلیوس (-)	شیب متوسط حوضه (%)	شیب متوسط رودخانه اصلی (%)	طول آبراهه اصلی (Km)
مقدار	۵۶۷	۱۷۴	۲/۰۵	۱۵	۶/۱	۴۴



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبریز بالخلوچای

۲-۳. مدلسازی هیدرولوژیکی

به منظور مدلسازی شرایط هیدرولوژیکی حوضه آبریز، از مدل SWAT استفاده شد. برای این کار از آمار ۱۶ ساله دبی‌های اندازه‌گیری شده رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری یامچی استفاده شد. اولین ورودی به مدل جهت شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مدل رقومی ارتفاع (DEM¹) است. داده‌های مورد استفاده برای مدل SWAT، که دارای طیف گسترده‌ای می‌باشد، از منابع مختلف استخراج گردید و مطابق با جدول ۲، برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸، در مدل مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های هواشناسی نیز مانند بارش روزانه، حداقل و حداکثر دما، تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی، اندازه‌گیری شده در ایستگاه نیر، برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ به فرمت قابل قبول مدل، به مدل SWAT معرفی گردید. به منظور برآورد تبخیر و تعرق نیز از روش پریستلی - تیلور استفاده شد. نقشه خاک‌شناسی و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، از روی نقشه کلی موجود برای کل کشور استخراج گردید. مطابق با نقشه‌های خاک‌شناسی و کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه، مشخص می‌گردد که نوع خاک غالب حوضه بالخلوچای، در ارتفاعات شمالی و جنوبی دارای خاک‌های با عمق بسیار کم است که بر اساس طبقه‌بندی فائو از نوع خاک‌های Lithic Leptosols است.

جدول ۲. داده‌های ورودی به مدل SWAT

مرجع	سال آماری	داده‌های ورودی به مدل
سازمان هواشناسی کشور	۱۳۸۱-۱۳۹۶	داده‌های اقلیمی نظیر بارش و دما (ایستگاه نیر)
شرکت آب منطقه‌ای اردبیل	۱۳۸۱-۱۳۹۶	پارامترهای هیدرومتری نظیر رواناب (ایستگاه یامچی)
سازمان نقشه برداری کشور	۱۳۹۷	نقشه‌های مورد نیاز
رئوف (۲۰۲۳)	۱۳۹۶-۱۳۹۲	الگوی کشت منطقه
رئوف (۲۰۲۳)	۱۳۹۶-۱۳۹۲	اطلاعات مربوط به آب آبیاری
سازمان جهاد کشاورزی اردبیل	۱۳۹۵	اطلاعات مربوط به کود زراعی

همچنین بخش‌های کم ارتفاع و کم شیب دارای خاک‌های عمیق به همراه مواد آهکی می‌باشد که بر اساس طبقه‌بندی فائو این خاک از نوع Calcaric Regosols است. از نظر کاربری اراضی نیز حوضه به ۵ کلاس کاربری، شامل ۴۲/۹ درصد کشت دیم، ۴۷/۸۴ درصد مرتع، ۳/۸۷ درصد باغات، ۳/۲۵ درصد کشت آبی و ۲/۱۴ درصد مسکونی تقسیم‌بندی شده است.

۲-۴. واسنجی و صحت سنجی مدل SWAT

واسنجی و صحت سنجی مدل SWAT بخشی از چالش‌های موجود در مدلسازی است. بدین منظور از نرم افزار SWAT-CUP برای واسنجی استفاده شد. به منظور واسنجی مدل نیز ابتدا ۲۱ پارامتر که بیشترین تاثیر را بر شبیه‌سازی دبی حوزه آبخیز بالخلوچای داشتند انتخاب و بعد از انجام تحلیل حساسیت (تعداد ۱۱ تکرار و در هر تکرار تعداد شبیه‌سازی‌ها متفاوت بودند)، ۱۰ پارامتر به عنوان موثرترین پارامترها انتخاب شدند. برای انتخاب محدوده بهینه پارامترها از الگوریتم SUFI-2 و روش هر بار یک پارامتر استفاده شد. تعیین دامنه عدم قطعیت پارامترها با دو شاخص P-Factor و R-Factor صورت گرفت. تعیین محدوده بهینه پارامترها تا زمانی ادامه می‌یابد که P-Factor به یک و R-Factor به صفر میل کند اما به دلیل وجود خطاهای آماری در داده‌ها و عدم قطعیت مدل‌های مفهومی، هیچگاه این مقادیر برای دو پارامتر فوق‌الذکر به دست نمی‌آید. همچنین به منظور ارزیابی عملکرد مدل در تخمین مولفه‌های بیلان از ضرایب تبیین (R²) (معادله ۲) و نش-ساتکلیف (NS) (معادله ۳) استفاده گردید. مقدار ضریب تبیین بین صفر تا یک بوده و نشان می‌دهد بین

¹ Digital Elevation Model

داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده چقدر همخوانی وجود دارد. ضریب نش- ساتکلیف نیز اختلاف نسبی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند که مقدار بیشتر از ۰/۵ این فاکتور نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب توسط مدل است (مختومی و همکاران ۲۰۲۰).

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_{obs,i} - \overline{P_{obs}})(P_{sim,i} - \overline{P_{sim}})}{[\sum_{i=1}^n (P_{obs,i} - \overline{P_{obs}})^2]^{0.5} [\sum_{i=1}^n (P_{sim,i} - \overline{P_{sim}})^2]^{0.5}} \right)^2 \quad (\text{معادله ۲})$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_{obs,i} - P_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{obs,i} - \overline{P_{obs}})^2} \quad (\text{معادله ۳})$$

۳. نتایج

۳-۱. نتایج مدل‌سازی هیدرولوژیکی

در شکل ۲ از تلفیق سه نقشه خاک، کاربری اراضی و شیب، نقشه زیر حوضه‌ها و HRU استخراج گردید. پس از وارد کردن مدل رقومی ارتفاع با دقت ۳۰ متر، حوزه آبخیز به ۱۰ زیرحوضه و ۵۷ واحد پاسخ هیدرولوژیکی تقسیم شد. سپس شبکه آبراهه‌ها ترسیم و ایستگاه هیدرومتری یا مچی به مدل معرفی شد. در شکل ۲ نقشه زیرحوضه‌ها، شبکه آبراهه‌ها، واحد پاسخ هیدرولوژیکی همراه با نقشه کاربری اراضی و نوع خاک نشان داده شده است. درصد مساحت و نوع کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ و شکل ۲ ارائه شده است. بیشترین درصد مساحت تحت پوشش در منطقه مربوط به اراضی مرتع و دیم می‌باشد. این دو کاربری در مقدار خاک فرسایش یافته در اثر آب (فرسایش آبی) کاملاً متفاوت عمل می‌کنند. اراضی مرتعی دارای فرسایش آبی بسیار کم و اراضی دیم دارای فرسایش آبی بسیار زیاد می‌باشد (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۴۰۰). اراضی مسکونی دارای کمترین مساحت می‌باشد. این اراضی دارای بیشترین تولید رواناب در واحد سطح می‌باشند. کشت آبی و باغات نیز دارای مساحت تقریباً مشابهی هستند که هر دو به واسطه شیب کم دارای پتانسیل تولید رواناب بسیار پایینی هستند. بیشترین مساحت خاک حوضه، مربوط به خاک در کلاس ۴ و با مساحت ۱۹/۹۸ درصد است که این خاک نقش مهمی را در فرایند شبیه‌سازی دارد. از لحاظ جرم مخصوص، این خاک جرم مخصوص ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب را دارد همچنین هدایت هیدرولیکی ۱۱ میلی‌متر بر ساعت دارد. از لحاظ بافت خاک نیز می‌توان چنین بیان کرد که این خاک حاوی ۳۲/۱۱ درصد رس، ۲۹/۲۵ درصد شن و ۳۸/۶۲ درصد سیلت را دارا است. به عبارت دیگر بافت خاک لومی رسی بوده و مربوط به گروه هیدرولوژیکی B است. ظرفیت آب قابل دسترس از این خاک در حدود ۰/۱۴ می‌باشد. کمترین مساحت خاک نیز مربوط به خاک با شماره ۶ است که مساحت آن در حدود ۰/۱۵ درصد است. تغییرات شیب این خاک بین ۲۵ تا ۴۰ درصد است. همچنین در این مناطق پوشش خاک بسیار کم عمق است. از نظر پوشش گیاهی نیز این خاک در پوشش‌های کم گیاهی و چراگاه‌ها و اراضی بایر دیده می‌شود. با توجه به نقشه شیب منطقه، مشاهده می‌شود که بیشترین مساحت حوضه در کلاس ۱ و با شیب کم واقع شده است. همچنین کم‌ترین مساحت حوضه در شیب بیشتر از ۶۰ درصد واقع شده است. بقیه شیب‌ها نیز به این مقدار نزدیک بوده و می‌توان چنین بیان کرد که ۱۱۳/۶۵ کیلومترمربع در کلاس شیب ۲۰-۱۰ درصد، ۱۳۱/۹ کیلومترمربع در کلاس شیب ۴۰-۲۰ و ۱۳۴/۸۴ کیلومترمربع در کلاس شیب ۶۰-۴۰ درصد واقع شده است.

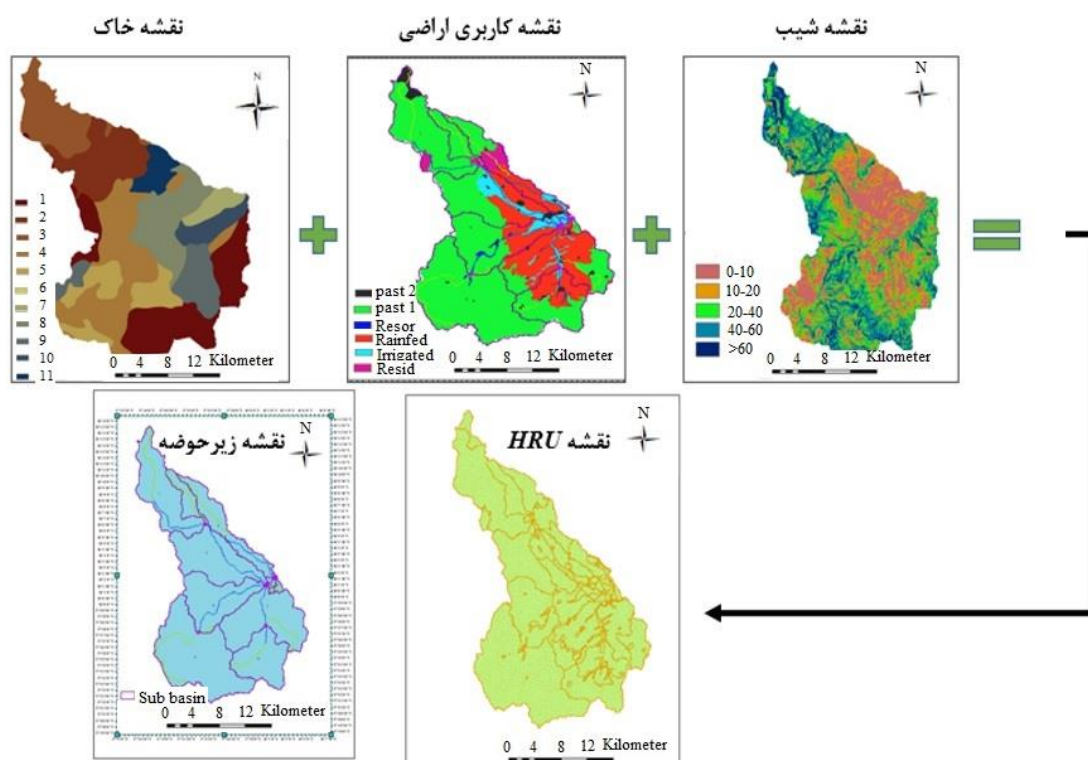
۳-۲. استخراج و بهینه‌سازی ضرایب مورد نیاز مدل

پس از اجرای مدل SWAT خروجی‌های مدل از جمله رولناب، جریان زیرسطحی و آب زیرزمینی به دست آمد. همچنین پارامترهای حساس و محدوده‌های نهایی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SWAT-CUP برآورد شد که در جدول ۴ ارائه شده است. همان طور که از جدول ۴ مشخص است ضریب شماره منحنی یکی از پارامترهای مهم در شبیه‌سازی حوضه مورد مطالعه است. بر اساس جدول ۴ در مرحله

تعیین و تحلیل حساسیت پارامترها، بعد از پارامتر شماره منحنی (CN)، ضریب مانینگ برای رودخانه اصلی (CH-N2) و دمای ریزش برف (SMTMP)، به ترتیب با t-test های برابر با ۲/۵۹، ۲/۵ و ۲/۴۵ به عنوان موثرترین پارامترها در شبیه‌سازی حوزه آبریز بالخلوچای شناخته شدند. همچنین مقادیر p-Value برای این پارامترها به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۰۱۲ و ۰/۰۱۵ به دست آمد که همگی مقادیر پایین و قابل قبول می‌باشند. بر اساس جدول ۴ می‌توان استنباط نمود که پارامترهای عمق اولیه آب در آبخوان سطحی (SHALLST)، آستانه عمق آب در آبخوان سطحی برای وقوع آب برگشتی (GWQMN) و آستانه عمق آب در آبخوان سطحی برای وقوع تبخیر (REVAPMN)، با مقادیر t-test به ترتیب ۱/۵۱، ۱/۷ و ۱/۷۷ و مقادیر p-Value به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۶ و ۰/۰۵۱، به ترتیب دارای کمترین تاثیرگذاری در شبیه‌سازی می‌باشند.

جدول ۳. درصد و نوع کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

نوع کاربری	علامت اختصاری در نقشه	درصد مساحت	مساحت (هکتار)
شهری	URBN	۲/۱۴	۱۱۹۸/۸۸
مرتج	PAST	۴۷/۸۴	۲۳۰۵۹/۸۲
باغات	ALMD	۳/۸۷	۱۲۳۶۱/۱۶
دیم	GAND	۴۲/۹	۱۸۰۳۴/۲۱
کشت آبی	WWHT	۳/۲۵	۱۸۳۵/۹۲۵
سایر کاربری‌ها	OTH	تقریباً صفر	-
جمع	-	۱۰۰	۵۶۴۹۰



شکل ۲. موقعیت زیرحوضه‌ها و نقشه کاربری و خاک منطقه مورد مطالعه

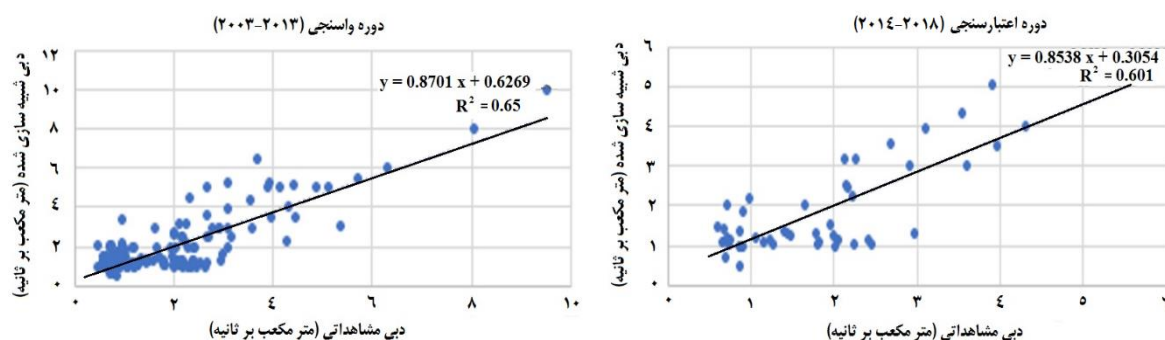
ناگفته نماند که تمام پارامترهای موجود در جدول ۴ روی مولفه‌های بیلان آب منطقه مورد مطالعه تاثیرگذار هستند، اما میزان تاثیرگذاری آن‌ها متفاوت می‌باشد. رثوف و همکاران (۲۰۱۸) طی تحقیق روی حوزه آبخیز اهرچای، به ترتیب پارامترهای نرخ ذوب برف، ضریب تاخیر رواناب سطحی و نرخ افت دما را به عنوان مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در شبیه‌سازی حوضه با استفاده از مدل سوات ذکر نمودند. عابدی و همکاران (۲۰۱۵)، طی تحقیق که روی اثر سد یامچی روی پارامترهای معادله بیلان انجام دادند، نتیجه گرفتند که در دوره قبل از احداث سد، پارامترهای شماره منحنی، دمای بارش برف و ضریب تاخیر رواناب سطحی، به عنوان مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در شبیه‌سازی حوضه با استفاده از مدل SWAT می‌باشند.

جدول ۴. پارامترهای موثر بر شبیه‌سازی حوضه مورد مطالعه

Rank	T_stat	P_Value	Fitted Value	Unit	Description	File Input	Parameter
۵	۲/۲	۰/۰۳	-۰/۰۱۷	-	ضریب جبران تبخیر خاک	.hru	ESCO
۴	۲/۴۵	۰/۰۱۵	-۰/۴۹۱	°C	دمای ریزش برف	.bsn	SMTMP
۱۰	۱/۵۱	۰/۰۶	۳۶۵۷۸/۳	mm	عمق اولیه آب در آبخوان سطحی	.gw	SHALLST
۹	۱/۷	۰/۰۶	۳۰۰۳/۱	mm	آستانه عمق آب در آبخوان سطحی برای وقوع آب برگشتی	.gw	GWQMN
۶	۲/۱	۰/۰۳۹	۱۰/۳۲	-	ضریب تبخیر آب زیرزمینی	.gw	GW_REVAP
۷	۱/۷۷	۰/۰۵۱	۲۵۶/۸	mm H ₂ O/km	آستانه عمق آب در آبخوان سطحی برای وقوع تبخیر	.gw	REVAPMN
۸	۱/۸	۰/۰۵۲	-۰/۲۳۴	g/cm ³	چگالی حجمی رطوبت خاک	.sol	SOL_BD()
۳	۲/۳۵	۰/۰۱۸	-۰/۱۸۶	mm H ₂ O /mm soil	ظرفیت آب در دسترس در خاک	.sol	SOL_AWC()
۲	۲/۵	۰/۰۱۲	-۰/۰۰۳۳	m ^{-1/3} s	ضریب مانینگ برای رودخانه اصلی	.rte	CH_N2
۱	۲/۵۹	۰/۰۱	-۰/۰۸۱	-	شماره منحنی تحت شرایط رطوبتی متوسط	.mgt	CN2

۳-۳. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی

واسنجی مدل برای دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ و اعتبارسنجی آن در طی بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ در ایستگاه هیدرومتری یامچی صورت گرفت. نمودار همبستگی رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در شکل ۳ برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی ارائه شده است. جدول ۵ مقادیر ضرایب ارزیابی مدل، شامل R²، NS، P-factor و R-factor را در شبیه‌سازی حوضه آبریز بالخلوچای نشان می‌دهد. همان طور که از جدول ۵ مشخص است، مقدار ضریب تبیین در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی بالاتر از ۰/۶ می‌باشد.



شکل ۳. نمودار همبستگی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی و اعتبارسنجی

جدول ۵. مقادیر ضرایب ارزیابی مدل در شبیه سازی حوضه آبریز بالخلوچای

مرحله	R ²	NS	P-factor	R-factor
واسنجی	۰/۶۵	۰/۵۲	۰/۵	۰/۲۵
اعتبارسنجی	۰/۶۱	۰/۶	۰/۴۳	۰/۳۱
حد آستانه (مختومی و همکاران ۲۰۲۰)	>۰/۶	>۰/۵	>۰/۷	<۱/۵

بنابراین، ضریب تبیین در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی قابل قبول بوده و همبستگی قابل قبول بین دبی‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مقدار ضریب نش- ساتکلیف در مرحله واسنجی ۰/۵۲ و اعتبارسنجی ۰/۶ (هر دو بالاتر از ۰/۵)، محاسبه شده است که نشان می‌دهد کارایی مدل قابل قبول بوده و می‌توان به نتایج شبیه‌سازی اعتماد نمود. مقادیر ضرایب R² و NS و دامنه فاکتورهای P و R در حالت کلی نشان از همخوانی خوب بین مقادیر دبی رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی (برای هر دو حالت) در حوضه آبریز بالخلوچای است. شاول و همکاران (۲۰۱۳) در شبیه‌سازی حوضه آبریز کوهستانی شایا در جنوب شرقی اتیوپی، ضریب تعیین و نش ساتکلیف را برای دوره کالیبراسیون ۰/۷۱ و ۰/۷۰ و برای اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۷۵ به دست آوردند. مختومی و همکاران (۲۰۲۰) نیز مقادیر R²، NS، P-factor و R-factor را برای حوضه Choctawhatchee آمریکا، برای مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۸۹، ۰/۸۸، ۰/۶۸ و ۰/۶۹ و برای مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۸۶، ۰/۵ و ۰/۴۲ به دست آوردند که با نتایج این تحقیق همخوانی نشان می‌دهد.

هیدروگراف دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، به همراه محدوده‌های عدم قطعیت پیش‌بینی ۹۰ درصد، برای دوره آماری ۱۶ ساله نیز در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به شکل ۴ و مقایسه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در طی دوره واسنجی مشاهده می‌شود که در برخی از ماه‌های سال برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی نقاط پیک تا حدودی همبستگی کمتری با دوره مشاهداتی دارد. ممکن است دلایل مختلفی باعث این نتیجه‌گیری گردد که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

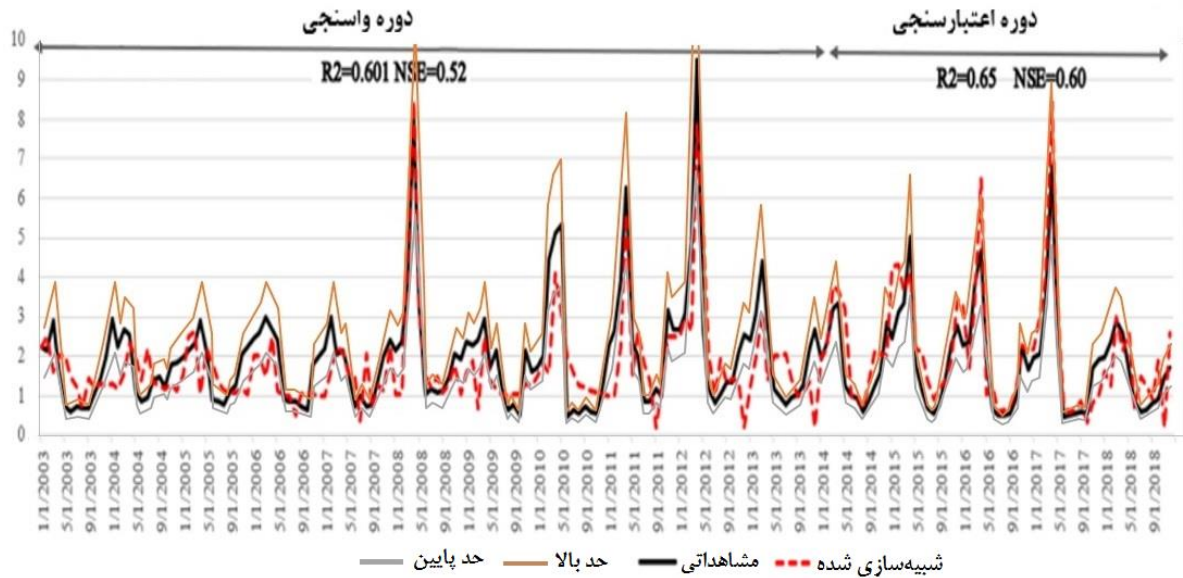
۱- یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه بالخلوچای، رودخانه نیر می‌باشد که قسمت مهمی از آب رودخانه اصلی حوضه را تامین می‌کند. در منطقه نیر، یک مجموعه گردشگری (به نام بولاخار) وجود دارد که در آن چندین مجموعه پرورش ماهی هم قرار دارد. اگر چه مصرف آب در این مجموعه نمی‌تواند قابل توجه باشد (زیرا آب از یک طرف وارد و از طرف دیگر خارج می‌گردد)، اما تاخیر زمانی ایجاد شده در همین مجموعه گردشگری قابل توجه است و ممکن است روی نتایج شبیه‌سازی و عدم همخوانی زمانی دبی‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده تاثیر گذار باشد.

۲- وجود چشمه‌های فراوان در حوزه آبریز بالخلوچای از دیگر عوامل موثر در وجود اختلاف دبی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده حوضه می‌باشد.

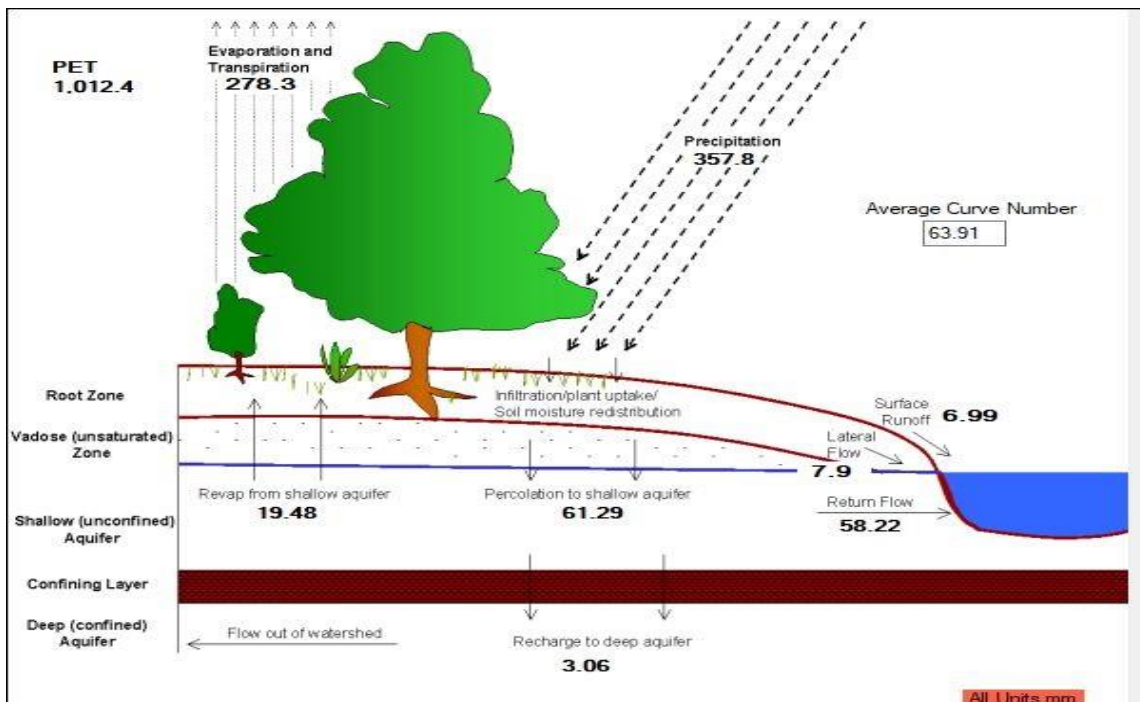
نتایج مشابهی نیز در کارهای محققان دیگر مانند ناصرآبادی و همکاران (۲۰۱۶)، علی اوغلی و همکاران (۲۰۲۱)، حاج حسینی و همکاران (۲۰۲۰) وایت و همکاران (۲۰۱۱) ملاحظه می‌شود.

مولفه‌های بیلان آب نظیر بارش، رواناب سطحی، تبخیر و تعرق نیز با مدل SWAT شبیه‌سازی شده است که متوسط مقادیر بیلان آب حوزه آبریز بالخلوچای بر اساس نتایج شبیه‌سازی مدل در طی دوره آماری ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ در شکل ۵ و جدول ۶ نشان داده شده است. با وجود اینکه تبخیر و تعرق پتانسیل، بر اساس رابطه پریستلی - تیلور، بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر تخمین زده شده است، اما با توجه به محدود بودن منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه، تمام تبخیر و تعرق پتانسیل به وقوع نپیوسته است. جدول ۶ همچنین مقادیر و درصد هر یک از مولفه‌های بیلان آب حوزه آبریز بالخلوچای را نشان می‌دهد. از آنجا که میزان نفوذ آب در خاک و رواناب سطحی هر دو مستقیماً از نزولات جوی (بارش باران و ذوب برف) تامین می‌گردد، در حدود ۱۷/۱۳ درصد از بارندگی در خاک نفوذ کرده و تنها ۱/۹۵

درصد آن تبدیل به رواناب می‌گردد. یکی از مهم‌ترین دلایل بالا بودن میزان تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه این است که بارش‌های قابل توجهی در ماه‌های گرم سال اتفاق می‌افتد که در این ماه‌ها پتانسیل تبخیر و تعرق بالا می‌باشد.



شکل ۴. هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای حوزه آبخیز بالخلوچای به همراه محدوده‌های عدم قطعیت پیش‌بینی ۹۰ درصد



شکل ۵. مولفه‌های بیلان آب حوزه آبخیز بالخلوچای

جدول ۶. مقادیر و درصد مولفه‌های بیلان آب حوزه آبخیز بالخلوچای

پارامتر	مقدار پارامتر (mm)	درصد از کل بارش (%)
بارش	۳۵۷/۸	۱۰۰
برف	۱۵۳/۴	۴۲/۸۷
رواناب سطحی	۶/۹۹	۱/۹۵
جریان جانبی	۷/۹	۲/۲
تبخیر و تعرق واقعی	۲۷۸/۳	۷۷/۷۸
تبخیر و تعرق پتانسیل	۱۰۱۲/۴	-
نفوذ	۶۱/۲۹	۱۷/۱۳
تغذیه آب زیرزمینی	۳/۰۶	۰/۸۵
جریان برگشتی	۵۸/۲۲	۱۶/۳۷

همچنین به دلیل اینکه قسمت قابل توجهی از بارش‌ها نیز به شکل برف نزول می‌کند و در روی زمین باقی می‌ماند در طول ماندگاری و تا زمان ذوب شدن آن، فرصت تبخیر و تصعید از سطح برف فراهم می‌باشد. مقدار نفوذ بیشتر از رواناب سطحی برآورد شده است. یکی از دلایل این امر پایین بودن شیب اراضی در بیشتر مساحت منطقه مورد مطالعه می‌باشد. هرچه شیب زمین کمتر باشد پتانسیل تولید رواناب کاهش و پتانسیل و فرصت ایجاد نفوذ افزایش می‌یابد. مقدار جریان زیرزمینی برابر ۵۸/۲۲ میلی‌متر برآورده شده که معادل ۱۶/۳۷ درصد بارش می‌باشد. این جریان تلفیقی از بارندگی باران، ذوب برف و حرکت آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین از مقدار آب نفوذ یافته و آب زیرزمینی موجود در منطقه، حدود ۱۹/۵ میلی‌متر، معادل ۵/۴ درصد کل بارش آب صعود کرده به بالا و تبخیر شده از سطح خاک اتفاق افتاده است که خود بیشتر از مقدار رواناب تخمین زده شده است. در نهایت اینکه مقدار تغذیه آب زیرزمینی بسیار کم بوده و حدود ۳ میلی‌متر (معادل کمتر از یک درصد بارش کل) برآورده شده است. یکی از دلایل تغذیه بسیار کم آب زیرزمینی در منطقه، پایین بودن سطح آب زیرزمینی، در اکثر نقاط منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این منطقه، در دشت اردبیل، دارای ارتفاع بالایی بوده و شیب لایه آبدار از سمت منطقه مورد مطالعه، به طرف فرودگاه اردبیل و سپس به سمت نمین، گردنه حیران و سپس آستارا و در نهایت دریای خزر می‌باشد. در نتایج استخراج شده، بالا بودن تبخیر و تعرق نگران کننده و پایین بودن رواناب امیدوارکننده می‌باشد. پایین بودن رواناب نشان از آن دارد که ضریب نگهداشت حوضه بالا بوده و لذا بیشتر آب نزول کرده در سطح حوضه بصورت سطحی یا زیرزمینی در حوضه ذخیره شده است که خود بهترین نوع ذخیره آب در هر منطقه به شمار می‌رود. متوسط شماره منحنی (CN)، برابر ۶۳/۹۱ برآورد گردیده است که نشان از آن دارد که نفوذپذیری منطقه مورد مطالعه بالا بوده و توضیحات قبل را تایید می‌نماید. شماره منحنی هر چه به ۱۰۰ نزدیکتر گردد بیانگر غیر قابل نفوذ بودن سطح می‌باشد (رئوف و همکاران ۲۰۱۸). عابدی (۲۰۱۵) گزارش نمودند که احداث سد یامچی، اثر معنی داری روی پارامترهای بیلان آب در حوضه منتهی به سد یامچی نداشته و در هر دو حالت (قبل و بعد از احداث سد)، تبخیرتعرق بیشترین و تغذیه آب زیرزمینی کمترین سهم را از بارندگی کل دریافت داشته‌اند. رئوف و همکاران (۲۰۱۸)، بیان کردند که در حوضه اهرچای نیز بیشترین و کمترین سهم از بارش کل، مربوط به تبخیرتعرق و تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

به منظور شبیه‌سازی مولفه‌های بیلان آب حوزه آبخیز بالخلوچای از مدل SWAT استفاده شد. مدل با استفاده از داده‌های ایستگاه هیدرومتری یامچی واسنجی و اعتبارسنجی گردید. با مقایسه نمودار پراکندگی و همچنین هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی و بر اساس شاخص عددی ارزیابی کارایی مدل یعنی ضرایب نش و تبیین با مقدار تقریبی ۰/۶۰ مشخص شد که مدل SWAT از کارایی

مناسبی برای شبیه‌سازی هیدرولوژی حوزه آبخیز بالخلوچای برخوردار است. بر این اساس از مقدار تقریبی $357/8$ میلی‌متر بارش در حدود ۶۹ درصد آن از طریق تبخیر و تعرق وارد اتمسفر شده و از دسترس خارج می‌شود. از مقدار باقی‌مانده در حدود ۱۶ درصد بصورت رواناب سطحی و جریان جانبی و همچنین جریان بازگشتی مجدداً به آبراهه وارد می‌شود. ۱۵ درصد نیز بصورت نفوذ وارد لایه‌های خاک شده و به سفره‌های زیرزمینی می‌پیوندد. در مجموع نتایج حاصل بیانگر قابلیت مدل SWAT در شبیه‌سازی بیلان آب حوضه مورد مطالعه است. لازم به ذکر است که از نتایج مطالعه حاضر می‌توان برای پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم و اقدامات مدیریتی قابل اجرا در قالب سناریوهای مختلف اقلیمی و کاربری اراضی و یا ترکیبی از هر دو استفاده کرد.

References

- Abedi, A., Raouf, M., Ahmadzadeh, Gh., & Salahshoor, A. (2015). Yamchi Dam Effects on water balance equation parameters Balykhluhay basin using SWAT model. M. Sc. Thesis, *University of Mohaghegh Ardabili*. (In Persain)
- Adnan, M., Kang, S., Saifullah, M., Liu, S., Zhang, G., Zhao, Q., & Zaman, M. (2021). Prediction of changes in water balance of Nam Co Lake under projected climate change scenarios. *Hydrological Sciences Journal*, 66(11), 1712-1727.
- Ali Oghli, S., Morid, S., & Mian Abadi, H. (2018). "Evaluation of regime and environmental flow of Hirmand River under the influence of Kamal-Khan dam operation using international conventions capacity ". M. SC. Thesis, *Tarbiat Modares University*. (In Persain)
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., & Jha, M. K. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508.
- Asghari Sarasekanrood, S.,omidifar, M. & Ghale, E. 2021. Investigation of land use changes in Givi Chay catchment and its effect on erosion using RS and GIS. *Environmental science studies*. 6 (1): 3466-3477. (In Persain)
- Ashu, A. B., & Lee, S. I. (2020). Assessing climate change effects on water balance in a monsoon watershed. *Water*, 12(9), 2564.
- Change, O. C. (2007). Intergovernmental panel on climate change. *World Meteorological Organization*, 52, 1-43.
- De Oliveira Serrão, E. A., Silva, M. T., Ferreira, T. R., de Ataíde, L. C. P., dos Santos, C. A., de Lima, A. M. M., ... & Gomes, D. J. C. (2022). Impacts of land use and land cover changes on hydrological processes and sediment yield determined using the SWAT model. *International Journal of Sediment Research*, 37(1), 54-69.
- Dhami, B., Himanshu, S. K., Pandey, A., & Gautam, A. K. (2018). Evaluation of the SWAT model for water balance study of a mountainous snowfed river basin of Nepal. *Environmental Earth Sciences*, 77(1), 1-20.
- Ebrahimi, P., Salimi Kouchi, J., & Mohseni Saravi, M. (2017). Calibration and validation of SWAT Model in runoff simulation, case study: Neka Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 10(3), 1-15. (In Persain)
- Ercan, M. B., Maghami, I., Bowes, B. D., Morsy, M. M., & Goodall, J. L. (2020). Estimating potential climate change effects on the upper neuse watershed water balance using the SWAT model. *Journal of the American Water Resources Association*, 56(1), 53-67.
- Gupta, A., Himanshu, S. K., Gupta, S., & Singh, R. (2020). Evaluation of the SWAT model for analysing the water balance components for the upper Sabarmati Basin. *In Advances in Water Resources Engineering and Management* (pp. 141-151).
- Hajihosseini, M., Hajihosseini, H., Morid, S., Delavar, M., & Booj, M. J. (2020). Impacts of land use changes and climate variability on transboundary Hirmand River using SWAT. *Journal of Water and Climate Change*, 11(4), 1695-1711.
- Kim, Y. (2012). Water balance change under climate and landuse/landcover variability in the North Carolina Piedmont (Doctoral dissertation, The University of North Carolina at Chapel Hill). 36 pp.
- Makhtoomi, Y., Li, S., Ibeanusi, V., & Chen, G. (2020). Evaluating Water Balance Variables under Land Use and Climate Projections in the Upper Choctawhatchee River Watershed, in Southeast US. *Water j*. doi:10.3390/w12082205
- Naserabadi, F., Esmaliouri, A., Akbari, H., & Rostamian, R. (2016). River flow simulation using SWAT model (Case study: Ghareh Su river in Ardabil Province-Iran). *Watershed Engineering and Management*. 5 (4): 255-265. (In Persain)
- Pang, J., Zhang, H., Xu, Q., Wang, Y., Wang, Y., Zhang, O., & Hao, J. (2020). Hydrological evaluation of open-access precipitation data using SWAT at multiple temporal and spatial scales. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(7), 3603-3626.
- Parvizi, S., Talebi, A., & Mandegar, A. (2022). Investigation of the water balance of Fakhrabad watershed using SWAT model. *Journal of Arid Biome*, 12(1), 21-33.

Raof, M. (2023). Investigating the Irrigation Hydromodul Changes in Different Climatic Conditions and Cultivation Patterns. *Water and Soil Science*, 33(4), 85-99.

Raof, M., & Mirzaei, S. (2019). Determination of the Most Appropriate Geostatistical Method of Spatial Interpolation for Maximum Daily Rainfalls in Atashgah Basin in the Ardabil Province. *Water and Soil Science*, 29 (3): 13-25 (In Persian)

Raof, M., Hoseini, Y., Atfi, Gh., & Esmali Ouri, A. (2018). Simulation of Aharchai basin water level using SWAT model. *Watershed Research*. 119: 50-63. (In Persian)

Tuo, Y., Duan, Z., Disse, M., & Chiogna, G. (2016). Evaluation of precipitation input for SWAT modeling in Alpine catchment: A case study in the Adige river basin (Italy). *Science of the total environment*, 573, 66-82.

White, E. D., Easton, Z. M., Fuka, D. R., Collick, A. S., Adgo, E., McCartney, M., & Steenhuis, T. S. (2011). Development and application of a physically based landscape water balance in the SWAT model. *Hydrological Processes*, 25(6), 915-925.