

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی رواناب در حوضه آبخیز مهاباد با استفاده از مدل SWAT

پریسا صدیقی حمیدی^۱، سینا بشارت^{۲*}، وحید رضوردی نژاد^۳، ابوالفضل ناصری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۴- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s.besharat@urmia.ac.ir

چکیده

اندازه‌گیری شدت رواناب، به دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی و شرایط سخت فیزیکی، همواره دشوار بوده است. برای مقابله با این مشکلات استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی بسیار رایج می‌باشد، که امروزه بسیار توسعه یافته‌اند. شبیه‌سازی بهتر فرآیندهای هیدرولوژیکی مستلزم این است که داده‌های ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی بتوانند به خوبی شرایط واقعی حوضه آبریز را بیان کنند. هدف از این پژوهش مقایسه کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبریز مهاباد در استان آذربایجان غربی است. واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از مدل SUFI-2 انجام پذیرفت. آمار رواناب سه ایستگاه هیدرومتری (گردیعقوب، بیطاس و کوتر) برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل به کار برده شد. مدل با استفاده از داده‌های دما و بارش روزانه به مدت ۱۷ سال (۱۹۹۶-۲۰۱۲) اجرا شد. سال‌های (۱۹۹۹-۲۰۰۹) برای واسنجی و سال‌های (۲۰۱۰-۲۰۱۲) برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. از شاخص‌های عدم قطعیت (d-factor, p-factor)، ضریب تبیین (R^2)، نش ساتکلیف (NS) و خطای نسبی (E_{rel}) به منظور ارزیابی توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب سه ایستگاه استفاده گردید. نتایج این شبیه‌سازی‌ها برای واسنجی خروجی حوضه (ایستگاه گردیعقوب) به ترتیب ۰/۸۴، ۱/۳، ۰/۷۱، ۰/۷۰، ۰/۱۲ و برای اعتبارسنجی این شاخص‌ها برابر ۰/۹۰، ۰/۸۵، ۰/۴۸، ۰/۵۰، ۰/۲۷ بود، همچنین این نتایج برای ورودی حوضه (ایستگاه بیطاس و کوتر) در مرحله واسنجی برای بیطاس به ترتیب برابر ۰/۹۷، ۰/۸۹، ۰/۷۰، ۰/۷۹، ۰/۱۶ و برای اعتبارسنجی ۰/۷۸، ۰/۹۸، ۰/۶۲، ۰/۶۵، ۰/۲۱ بود و برای ایستگاه کوتر در مرحله واسنجی برابر ۱/۱، ۰/۸۶، ۰/۶۸، ۰/۸۴، ۰/۲۴ و برای اعتبارسنجی برابر ۰/۸۲، ۱، ۰/۶۵، ۰/۶، ۰/۱۹ بوده است. نتایج کلی شبیه‌سازی نشان داد که مدل SWAT می‌تواند ابزار مناسبی در رابطه با شبیه‌سازی رواناب باشد.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، حوضه مهاباد، رواناب، مدل SWAT، مدل SUFI_2، واسنجی

Simulation of Runoff in MAHABAD Basin using SWAT Model

Parisa Sadighi Hamidi¹, Sina Besharat^{2*}, Vahid Reza Verdinejad³, Abolfazl Nasser⁴

Received: January 30, 2021 Accepted: May 14, 2021

1 M.Sc. Graduate Student, Dept. of Water Engineering, Urmia University, Iran

2 Assoc. Prof., Dept. of Water Engineering, Urmia University, Iran

3 Prof., Dept. of Water Engineering, Urmia University, Iran

4 Assoc. Prof., Research Center for Agriculture and Natural Resources, Tabriz, Iran

* Corresponding Author, E-mail: s.besharat@urmia.ac.ir

Abstract

Runoff measurement has always been difficult due to financial and time constraints and severe physical conditions. To cope with these problems, the use of hydrological models is very common, which has been developed today. Better simulation of hydrological processes requires the input data of hydrological models which be able to accurately describe the actual conditions of the catchment area. The purpose of this study was to compare the efficiency of SWAT model in simulation of runoff in Mahabad watershed in West Azerbaijan province. Calibration and validation of the model were performed using the SUFI_2 model. The runoff statistics of three hydrometric stations (Gherdeyaghub, Bitas and Kuter) have been used to calibrate and validate the model. The model was performed using temperature and precipitation data for 17 years (1996-2012). Years (1999-2009) for calibration and years (2010-2012) were considered for model validation. The indicators of p-factor, d-factor, R², NS and E_{rel} were used to assess the ability of the SWAT model to simulate the runoff of the three stations. The results of these simulations to calibrate the outlet of the basin (Gherdeyaghub Station) were 0.70, 0.71, 1.3, 0.84, 0.12 and 0.5, 0.48, 0.85, 0.9, 0.27 and also the results for the basin entrance (the Bitaz Station and the Kuter Station) in the calibration phase for Bitaz were 0.79, 0.70, 0.97, 0.89, 0.16 respectively, and for validation 0.65, 0.62, 0.78, 0.98, 0.24 and for the Kuter Station at the calibration stage, it was equal to 0.84, 0.68, 1.1, 0.86, 0.24 and 0.6, 0.65, 0.85, 1, 0.19 for validation. The overall simulation results showed that the SWAT model could be a suitable tool for runoff simulation.

Keywords: Calibration, Mahabad basin, Sufi-2 model, SWAT model, Runoff, Validation

مقدمه

مکانی، بسیار متفاوت اند. تفاوت شرایط و اطلاعات ناقص و نامناسب باعث می شود اعتبار مدل و اثبات تطابق آن با واقعیت امری دشوار و نسبی شود و بیان اینکه مدلی دقیقاً بیانگر واقعیت است غیرممکن گردد (عباسپور و همکاران ۲۰۰۷). با این وجود واسنجی مدل های مفهومی که به صورت حل مسأله بهینه سازی از طریق مدل سازی معکوس است، در دهه های اخیر به عنوان یک چالش مطرح بوده است (رفاهی ۲۰۰۳). این مدل ها از تعدادی پارامتر برخوردارند که چکیده ای از ویژگی های حوضه هستند و اغلب این پارامترها از ویژگی های

اغلب آبخیزهای ایران، به ویژه آبخیزهای کوهستانی، فاقد ایستگاه های اندازه گیری، به میزان مورد نیاز است. از آنجا که از آمار و اطلاعات این ایستگاه ها در بخش های مختلف مدیریت آبخیز استفاده می شود، شبیه سازی پدیده های هیدرولوژی آبخیزها راه حل بهینه ای برای این مشکل است (رستمیان ۲۰۰۶). مدل های زیادی برای شرح و پیش بینی هیدرولوژی حوضه های آبخیز پیشنهاد شده که، از نظر اهداف، مقیاس زمانی و

اصلی و فرعی رودخانه سامبیای تانزانیا برآورد کردند. جبرمیکائل و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی مقدار جریان روناب و بار رسوب را در بالادست حوضه نیل آبی بررسی کردند که نتایج رضایت بخش ارزیابی شد. با توجه به تحقیقات انجام گرفته در اکثر نقاط دنیا در استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT، کارایی آن به صورت زمانی و مکانی در حوضه بررسی شده است. این تحقیقات در شرایط مختلف حوضه مورد ارزیابی قرار گرفته است. ولی در تحقیقات محدودی، داده‌های ناقص ایستگاه‌های هیدرومتری، تاثیر مخزن و تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفته است. در ضمن می توان گفت که هر کدام از حوضه های استفاده شده در تحقیقات به صورت کامل رفتاری متفاوت از همدیگر دارند. هدف از این تحقیق بررسی کارایی مدل SWAT در شبیه سازی دبی ماهانه جریان خروجی حوضه مهاباد بوده است. دلیل انتخاب مدل SWAT در این حوضه، مشکل بودن اندازه گیری مستقیم بسیاری از پارامترها و کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری بوده است.

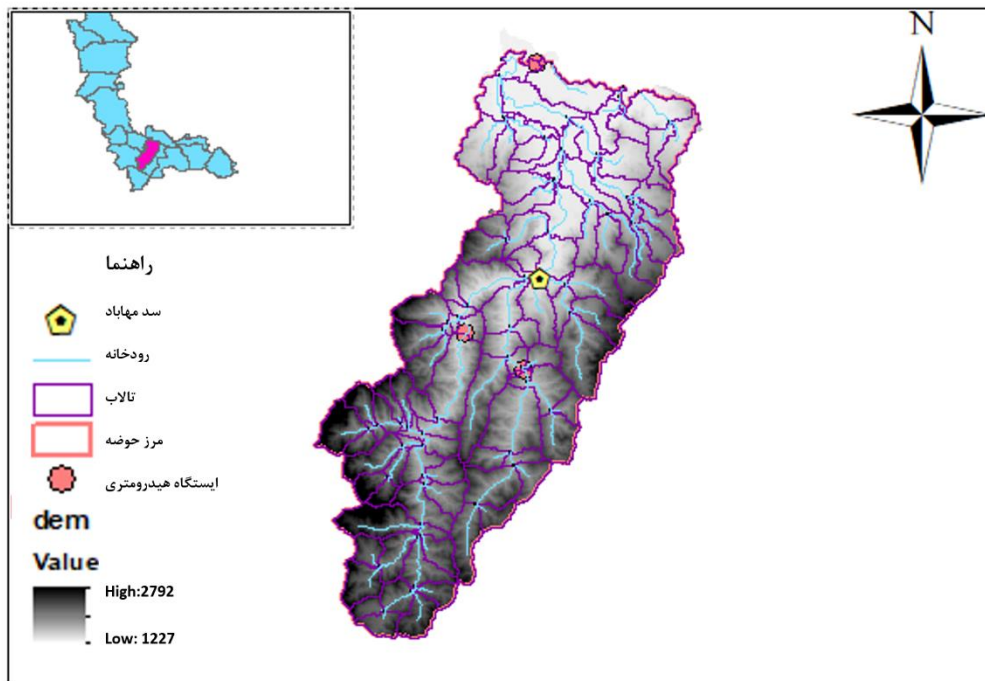
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و داده‌ها

زیرحوضه مهاباد، یکی از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است. که در موقعیت $45^{\circ} 71'$ طول جغرافیایی و $36^{\circ} 76'$ عرض جغرافیایی قرار دارد. وسعت این حوضه بالغ بر 1507 km^2 می‌باشد. سد مهاباد تنها سد اصلی مورد بهره‌برداری در این حوضه بوده و از آن برای مصارف کشاورزی و شرب استفاده می‌شود. این حوضه، از شمال به جلگه مهاباد، از شرق به حوضه آبریز سیمینه رود، از غرب به حوضه آبریز رودخانه قادر و از جنوب غرب به حوضه آبریز رودخانه زاب محدود است. در شکل ۱ نقشه حوضه مهاباد و ایستگاه‌های منتخب نشان داده شده است.

حوضه به دست نمی‌آیند و لازم است از راه واسنجی مدل برآورد شوند (نتیج و همکاران ۲۰۰۳). نخستین بار انگلیسون (۱۹۸۶) نیاز به مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس را بیان کرد. این مدل‌ها علاوه بر اینکه در حوضه های آبخیز با وسعت زیاد کاربرد بسیار مناسبی دارند در سطح حوضه‌های مطالعاتی (حوضه کوچک مقیاس) نیز قابلیت خوبی دارند (آرنل و همکاران ۱۹۹۹). مدل SWAT یکی از مدل‌هایی است که در کشورهای مختلف محققان از آن در زمینه‌های مختلف هیدرولوژی و مدیریت آبخیز استفاده کرده اند، از جمله (هیمانشو و همکاران ۲۰۱۷) به مطالعه روناب و رسوب حوضه‌ها پرداخته‌اند. در سال‌های گذشته از مدل SWAT در مدیریت حوضه‌های آبخیز ایران استفاده شده است. مانند حوضه آبخیز اهرچایی در استان تبریز (عطفی ۲۰۱۴) و حوضه آبخیز هراز در استان مازندران (گلشن ۲۰۱۳). در حوضه آبخیز اهرچای (عطفی ۲۰۱۴)، مقادیر مولفه های OV-N بین ۱ تا ۶ و Sol-K بین ۰/۰۵ تا ۲/۲ برای شبیه سازی رسوب به دست آمد که به مقادیر بهینه مرفه‌های حوضه آبخیز هراز نزدیک است. گلشن و همکاران (۲۰۱۳) کارایی الگوی SWAT در شبیه سازی دبی جریان حوضه آبخیز چلاو واقع در حوضه آبخیز هراز را ارزیابی کردند؛ ضرایب R^2 و NS به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۵۵ به دست آمد که نشان دهنده قابلیت این الگو برای شبیه سازی روناب در حوضه‌های کوچک است.

الانصاری و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از الگوی SWAT مقدار بار رسوب و دبی وارد شده از ساحل سمت چپ سد موصل را برای دوره آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸ بررسی کردند، نتایج نشان داد که متوسط جریان آب و بار رسوب سالانه به ترتیب $13/8$ میلیون مترمکعب و 702 میلیون مترمکعب است که با داده‌های مشاهداتی مطابقت داشت. ون گرینسون و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از الگوی SWAT مقدار بار رسوب را در شناخته



شکل ۱- نقشه حوضه مهاباد و ایستگاه‌های هیدرومتری.

مدل SWAT

جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوزه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است. لذا در برنامه‌ریزی‌ها و ارزیابی‌های مختلفی که در سطح حوزه انجام شده می‌تواند بسیار موثر باشد. کوچکترین واحد کاری در این مدل واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی می‌باشد که از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، کاربری اراضی و خاک حاصل می‌شود (آرنولد و همکاران ۲۰۰۹).

با اندازه پیکسل ۳۰ در ۳۰ متر از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه که از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی تهیه شده بود، استخراج شد. نقشه‌های کاربری اراضی حوزه آبخیز مورد مطالعه با پنج کاربری، اراضی آبی، اراضی دیم، مرتع، شهری و جنگل تهیه شدند. از نقشه خاک همراه با نقشه کاربری اراضی برای تقسیم‌بندی حوضه به زیرحوضه و واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی استفاده گردید.

مدل SWAT یک مدل مفهومی نیمه توزیعی در مقیاس حوزه‌ای است که دارای بازده محاسباتی بالا بود. این مدل یک مدل پیوسته زمانی بود که در گام‌های زمانی ساعتی، روزانه و یا طولانی مدت‌تر اجرا می‌شود. مدل با تقسیم یک حوضه به تعداد زیادی زیرحوضه جزییات مکانی را شبیه‌سازی می‌کند (آرنولد و همکاران ۲۰۰۹).

مدل SWAT توسط سرویس تحقیقاتی کشاورزی آمریکا برای پیش بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر

داده‌های اطلاعاتی مورد استفاده در مدل SWAT

در این تحقیق داده‌های اقلیمی روزانه در طول دوره آماری ۱۷ ساله از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۲ به مدل معرفی شد. در زمان انجام طرح این بازه زمانی از داده‌ها در دسترس قرار گرفت که برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل قابل قبول است. اطلاعات هواشناسی مورد استفاده در مدل SWAT شامل بارش، دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی، سرعت باد، نقطه شبنم و تابش خورشیدی به صورت روزانه بود. نقشه مدل ارتفاعی رومی (DEM)

ارزیابی مدل

مقدار برای ضریب NS ، یک است و در صورتی که مقدار آن بیشتر از $0/5$ باشد، نشاندهنده این است که شبیه سازی با استفاده از الگویی خوب انجام گرفته است. بهترین مقدار برای E_{rel} در حالتی است که مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی به هم نزدیک باشند و این مقدار به صفر نزدیک شود.

همچنین، p -factor عبارت است از درصد داده‌های مشاهده‌ای پوشش داده‌شده مساوی باند تخمین عدم قطعیت 95 درصد ($95PPU$) و d -factor نیز عبارت است از درصد داده‌های مشاهده‌ای پوشش داده‌شده مساوی باند تخمین 95 درصد. با توجه به اینکه با افزایش p -factor، مقدار d -factor نیز افزایش می‌یابد، محاسبه‌ها تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تعادلی بین این دو شاخص برقرار شود و این زمانی رخ می‌دهد که بیشتر داده‌های مشاهداتی در باند تخمین $95PPU$ واقع شود.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2

در این تحقیق آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از برنامه $SUFI_2$ در نرم افزار $SWAT-CUP$ و آمار مشاهده‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری گردیعقوب، کوتر و بیطاس انجام گردید. اندازه‌گیری پارامترهای ورودی مدل به‌طور مستقیم دشوار و در حوضه‌های بزرگ بسیار هزینه بر است، بنابراین پارامترهای ورودی مدل باید تحت فرآیند واسنجی، بهینه‌سازی شوند. بنابراین منظور از واسنجی مدل، بهینه‌سازی پارامترهای تاثیرگذار مدل است به طوری که خروجی‌های شبیه‌سازی شده بتوانند روند و تغییرات داده‌هایی مشاهداتی را در بازه مورد نظر توجیح کنند. اعتبارسنجی بررسی صحت مدل واسنجی شده در بازه زمانی دیگر می‌باشد به طوری که در آن متغیرهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بدون تصحیح هیچ پارامتری مقایسه شوند. به عبارت دیگر، اعتبارسنجی،

برای ارزیابی کارایی الگو و برای به دست آوردن بهترین واسنجی و محدود کردن جواب‌ها به سمت جواب یگانه، گاهی لازم است چندین معیار آماری استفاده شود. در این پژوهش، ارزیابی الگو به کمک ضریب نش ساتکلیف (NS)، خطای نسبی (E_{rel})، ضریب تبیین (R^2)، d -factor و P -factor انجام گرفت.

ضریب همبستگی (R^2) نشاندهنده قسمتی از تغییرات کل یا واریانس کل مقادیر مشاهده‌ای است که به وسیله مقادیر شبیه سازی شده توجیه می‌شود. این ضریب بین صفر تا یک متغیر است؛ چنان چه مقادیر پیش بینی شده و اندازه‌گیری شده برابر باشند، مقدار آن برابر با یک است.

[۱]

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - \bar{Q}_i^{sim})(Q_i^{obs} - \bar{Q}_i^{obs})]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - \bar{Q}_i^{sim})^2 \sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \bar{Q}_i^{obs})^2}$$

که در آن n تعداد مشاهدات؛ O_i و P_i مقادیر متناظر مشاهده و پیش بینی شده؛ \bar{O} و \bar{P} نیز میانگین ریاضی مقادیر مشاهده و پیش‌بینی شده است.

NS و E_{rel} ضرایبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده را نشان می‌دهد. محققان از این شاخص برای ارزیابی الگوها استفاده کرده‌اند. این ضریب با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad [2]$$

$$E_{rel} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad [3]$$

که در آن، O_i مقادیر مشاهده شده؛ P_i مقادیر شبیه سازی شده؛ \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده است. مقدار NS بین یک تا منفی بینهایت تغییر میکند. بهترین

ممکن کوچک شود (d-factor). مهم‌ترین پارامترهای به‌کار رفته در مدل و محدوده تغییرات آن‌ها با درجه حساسیت در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس آنالیز حساسیت و بررسی نتایج منابع مختلف مشخص شد که پارامتر شماره منحنی نفوذ در شرایط متوسط رطوبتی (CN2) بیشترین تاثیر را بر دبی خروجی حوضه دارا بود و پارامترهایی که تاثیر بیشتری بر حوضه دارند دارای بیشترین t-stat و کمترین مقدار p-value را نشان می‌دهند و مقادیر آنها به ترتیب ۴/۱۰ و صفر بدست آمده است. پس از CN2، پارامترهای ESCO و SOL-BD، که به ترتیب ضریب جبران تبخیر خاک و چگالی ظاهری خاک در لایه سطحی هستند، در رتبه‌های بعدی قرار دارند (نوریکا و همکاران ۲۰۲۰).

اعتمادپذیر بودن مدل واسنجی شده را برای استفاده در هر بازه زمانی دیگر تعیین می‌کند. واسنجی احتیاج به تغییر پارامترها دارد که با افزایش مقدار پارامترها در مقیاس‌های بزرگ بسیار زمان‌بر خواهد بود. پارامترهای حساس براساس تجربیات و اندازه‌گیری انجام شده در مطالعات قبلی و از مقاله‌ها انتخاب شوند. در برنامه SUFI-2 یک دامنه بزرگ عدم قطعیت برای هر پارامتر فرض می‌شود (سائو و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین در ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح ۹۵ ppu (۹۵ درصد محدوده عدم قطعیت پیش‌بینی) قرار می‌گیرند و سپس این عدم قطعیت در گام‌های متوالی کاهش می‌یابند تا دو شرط زیر برقرار شود. شرط اول (اکثر داده‌های مشاهداتی در سطح ۹۵ ppu واقع شوند (p-factor). شرط دوم (فاصله متوسط بین حد بالا و پایین ۹۵ درصد تا حد

جدول ۱- پارامترهای به‌کار رفته در مدل SWAT و نتایج تحلیل حساسیت.

ردیف	پارامتر	علامت اختصاری پارامتر	t-stat	p-value	درجه حساسیت
۱	شماره منحنی در روش SCS	r-CN2.mgt	۴/۱۰	۰/۰۰	۱
۲	فاکتور جبران کننده تبخیر از خاک	v-ESCO.hru	۳/۸۵	۰/۰۴	۲
۳	جرم مخصوص ظاهری خاک	v-SOL-BD().sol	۳/۵۱	۰/۰۴	۳
۴	عمق آستانه آب در آبخوان کم‌عمق برای- جریان برگشتی (m)	v_GWQMN.gw	۲/۹۶	۰/۰۶	۴
۵	ضریب آلفای جریان پایه برای ذخیره (day)	v-ALPHA-BNK.rte	۱/۸۵	۰/۲۵	۵
۶	ضریب زبری مانینگ برای جریان در کانال اصلی	v-CH-N2.rte	۰/۹۵	۰/۳۸	۶
۷	ثابت کاهش جریان پایه	v-ALPHA-BF.gw	۰/۸۶	۰/۴۱	۷
۸	ضریب آبی که از سفره‌های کم‌عمق به پروفیل خاک بر می‌گردد	v_GW_REVAP.gw	۰/۷۸	۰/۴۶	۸
۹	هدایت هیدرولیکی اشباع خاک	r-SOL-K.sol	۰/۶۸	۰/۴۹	۹
۱۰	متوسط آب قابل استفاده	r_SOL_AWC.sol	۰/۴۶	۰/۶۴	۱۰
۱۱	زمان تاخیر برای تغذیه آبخوان	v-GW-DELAY.gw	۰/۴۴	۰/۶۶	۱۱
۱۲	دمای بارش برف	v_SFTMP.bsn	۰/۴۱	۰/۷۸	۱۲
۱۳	هدایت هیدرولیکی موثر در کانال	v-CH-K2.rte	۰/۳۸	۰/۸۴	۱۳

ایجاد و تولید رواناب بوده است. اکثر این پارامترهای مهم مانند CN2 (شماره منحنی اولیه)، ESCO (عامل جبران-کننده تبخیر از خاک)، Sol-BD (جرم مخصوص ظاهری

در این پژوهش در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در ابتدا ۱۳ پارامتر با حساسیت بالا انتخاب شد. انتخاب این ۱۳ پارامتر بر اساس نقش و اهمیت این عوامل در

٠/٧ بود كه نشان دهنده شبيه سازى خوب مدل برآى هر سه ايستگاه در دوره واسنجى مى باشد. با بررسى سوابق تحقيق مختلف در اين زمينه مقادير بالآى ٠/٧ برآى ضريب NS رضآيت بخش و مقادير ٠/٥ تا ٠/٧ مقدار متوسط در نظر گرفته شده است. فصل بارندگى در حوضه مهآباد عمدتآ از مهر تا خرداد مى باشد كه حداكثر رواناب در سرشاخه ها از آبآن تا دى برآثر بارندگى و از اسفند تا اوآيل خرداد بر آثر ذوب برف رخ مى دهد. از علت هاى ضعف مدل در شبيه سازى رواناب در بعضى از ماه ها مى توان به شبيه سازى ضعيف ذوب برف برآى اين حوضه كوهستانى در نظر گرفت (ونق و همكاران ٢٠٠٥). بر اساس نتآيج خطآى نسبى به ترتيب برآى ايستگاهها ٠/١٢، ٠/١٦ و ٠/٢١ محاسبه گرديد كه بر اساس بررسى تحقيقات مختلف مى توان گفت كه خطآى نسبى مدل در بازه مناسبى قرار دارد.

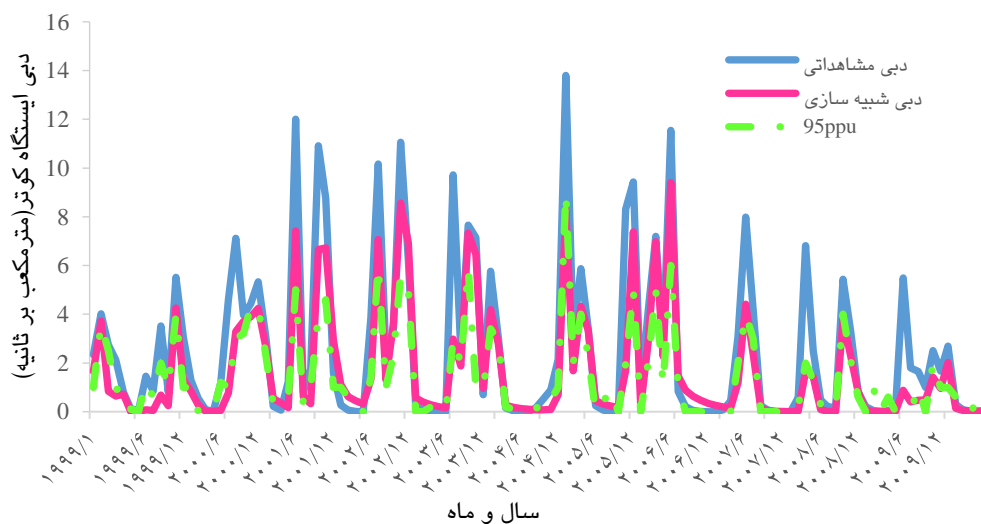
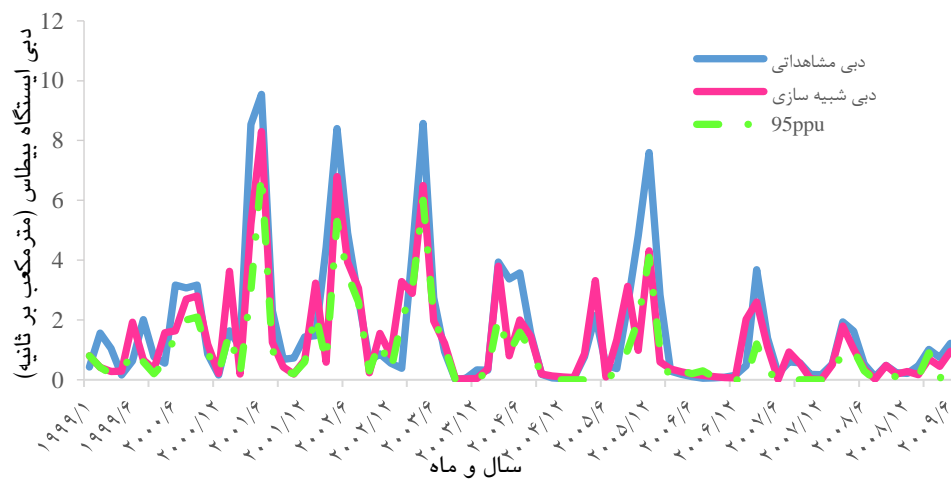
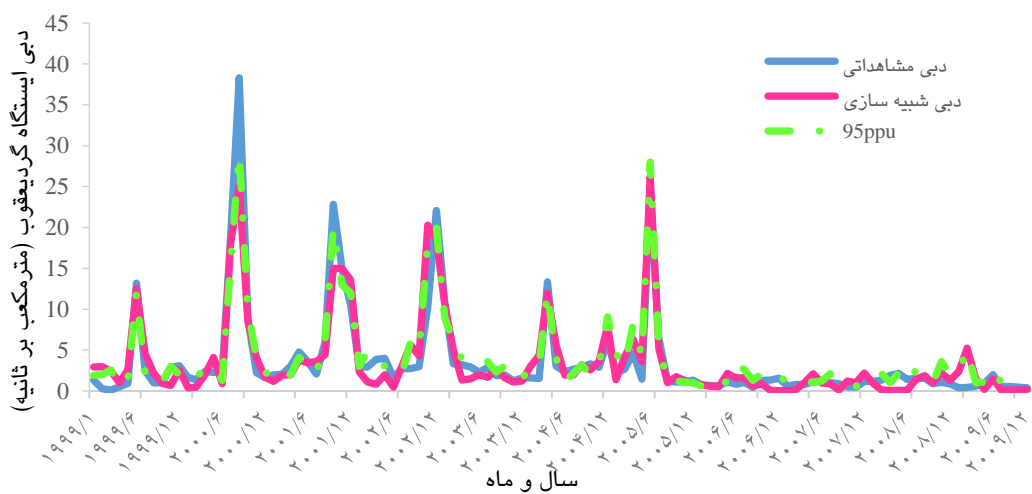
خاك) و GWQMN (عمق آستانه آب در آبخوان) در پژوهش هاى قبلى به عنوان پارامترهاى حساس برآى رواناب خروجى در نظر گرفته شده است مانند پژوهش سلمانى و همكاران (٢٠١٢) كه از ٢٧ پارامتر حساس برآى شبيه سازى رواناب استفاده نموده اند.

نتآيج و بحث

نتآيج واسنجى رواناب ماهانه برآى سه ايستگاه گرديعقوب، كوتر و بيطاس در شكل ٢ و جدول ٢ ارائه شده است. نتآيج نشان مى دهد كه دبى ها بيشينه با دقت كمترى شبيه سازى شده است كه با بررسى هاى انجام شده و استفاده از نتآيج تحقيقات مشخص گرديد به علت وجود رسوبات فراوان در هنگام وقوع دبى بيشينه مقادير شبيه سازى ها از دقت پآيين ترى برخوردار هستند. مقادير شاخص هاى P اين سه ايستگاه به ترتيب ٨٤، ٨٩، ٨٦ درصد و ضريب NS به ترتيب ٠/٨٤، ٠/٧٩،

جدول ٢- نتآيج واسنجى رواناب ماهانه.

ايستگاه	طول دوره آمارى	ضريب تبين	ضريب نش ساتكليف	خطآى نسبى	d-factor	p-factor
گرديعقوب	١٩٩٩-٢٠٠٩	٠/٧١	٠/٧٠	٠/١٢	١/٣٠	٠/٨٤
بيطاس	١٩٩٩-٢٠٠٩	٠/٧٠	٠/٧٩	٠/١٦	٠/٩٧	٠/٨٩
كوتر	١٩٩٩-٢٠٠٩	٠/٦٨	٠/٨٤	٠/٢١	١/١٠	٠/٨٦



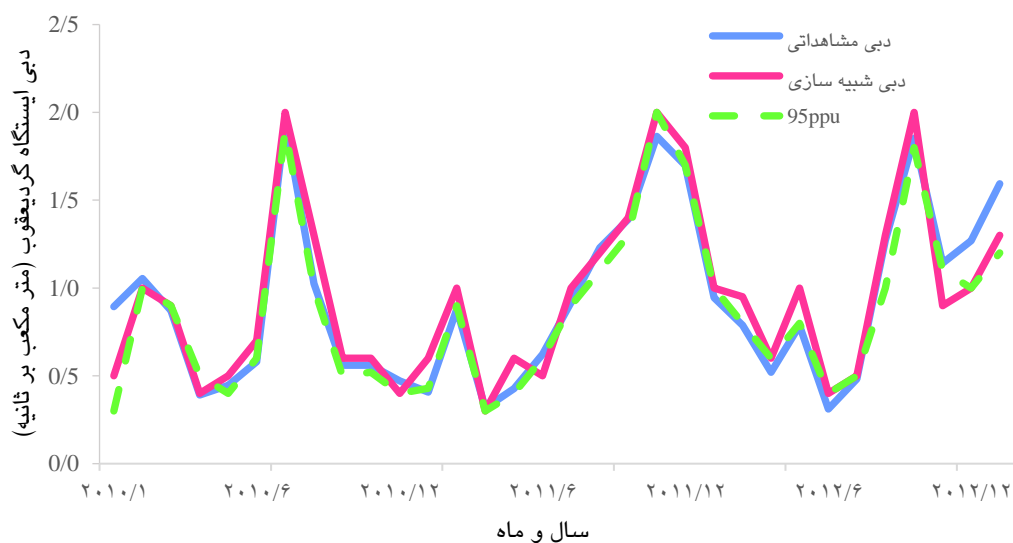
شکل ۲- نتایج واسنجی مدل به ترتیب در سه ایستگاه گردیعقوب، بیطاس و کوتر.

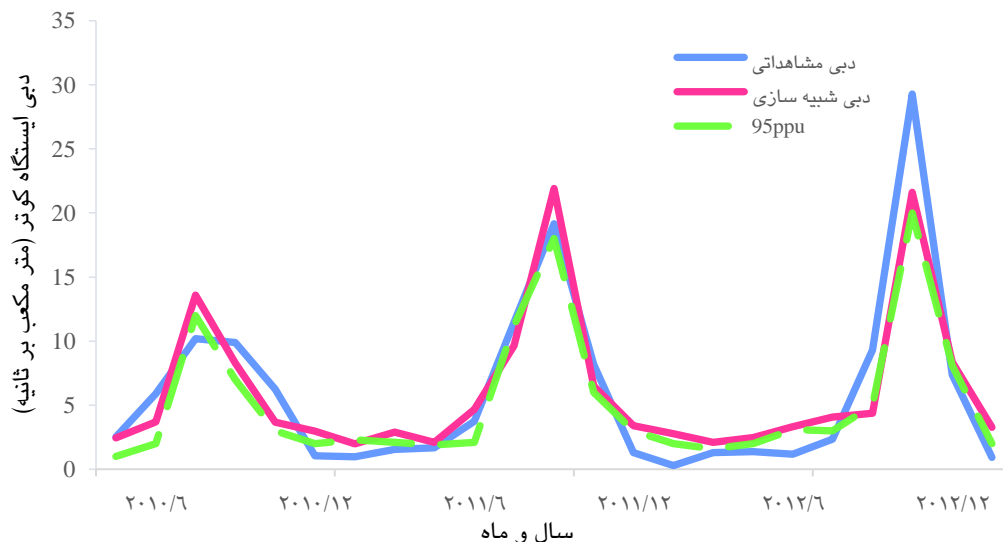
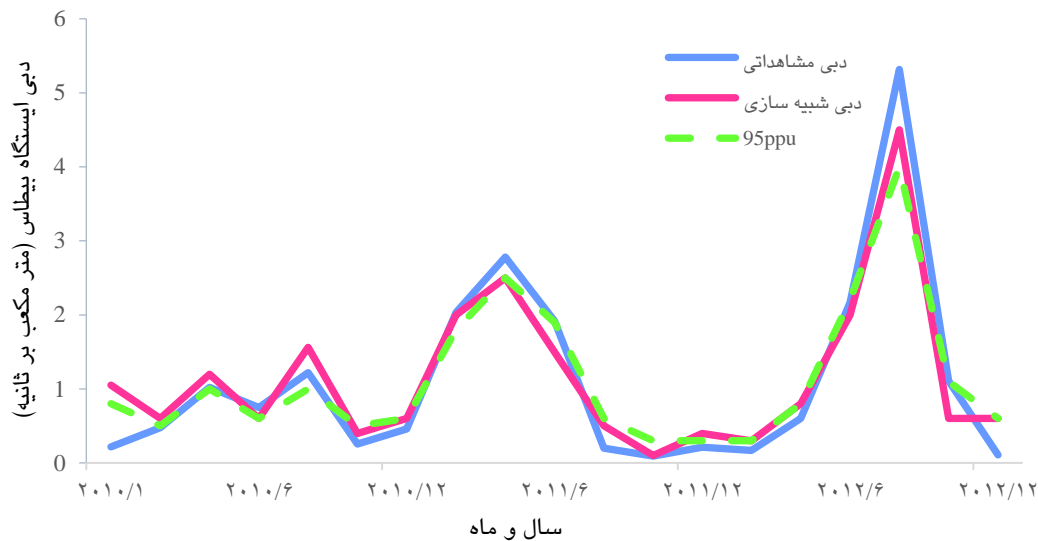
۳ ارائه شده است. مقادیر پارامترهای P این سه ایستگاه به ترتیب ۰/۹۰، ۹۸،۱۰۰ درصد و ضریب NS به ترتیب ۰/۶، ۰/۶۵، ۰/۵ بود که نتایج پارامترهای پیش بینی شده روناب متوسط ارزیابی می‌گردد. خطای نسبی محاسبه شده به ترتیب ۰/۲۷، ۰/۲۴ و ۰/۱۹ محاسبه گردید.

اعتبارسنجی مدل با لحاظ کردن سه سال (۲۰۱۰-۲۰۱۲) برای آموزش مدل با تکرار فرآیندی همانند واسنجی انجام گردید. با این تفاوت که در اعتبارسنجی پارامترهای ورودی بهینه نشدند بلکه از پارامترهای بهینه شده مرحله واسنجی استفاده گردید. نتایج اعتبارسنجی روناب ماهانه برای هر سه ایستگاه در شکل ۳ و جدول

جدول ۳- نتایج اعتبارسنجی روناب ماهانه.

ایستگاه	طول دوره آماری	ضریب تبیین	ضریب نش‌ساتکلیف	خطای نسبی	d-factor	p-factor
گردیعقوب	۲۰۱۰-۲۰۱۲	۰/۴۸	۰/۵۰	۰/۲۷	۰/۸۵	۹۰
بیطاس	۲۰۱۰-۲۰۱۲	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۲۴	۰/۷۸	۹۸
کوثر	۲۰۱۰-۲۰۱۲	۰/۶۵	۰/۶	۰/۱۹	۰/۸۲	۱۰۰





شکل ۳- نتایج اعتبارسنجی مدل در سه ایستگاه گردیعقوب، بیطاس و کوتر.

نتیجه‌گیری کلی

از این مقدار ارتقاء بخشید. بر همین اساس و عدم وجود برداشت‌ها برای دو ایستگاه بالادست سد مهاباد (بیطاس و کوتر) نتایج شبیه‌سازی رواناب بسیار خوب و رضایت بخش بود، همچنین نتایج مدل نشان داد که مدل تهیه شده قادر به شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر نیست، از علت‌های ضعف مدل در شبیه‌سازی رواناب در بعضی از ماه‌ها می‌توان به فرضیه‌های مدل در انتقال جریان در لایه‌های یخ‌زده و اشباع، کمبود ایستگاه‌های باران‌سنجی و کلیماتولوژی در نقاط مختلف حوضه، دقت نکردن در

براساس خروجی‌های مدل SWAT و انتخاب پارامترهای مناسب می‌توان نتیجه گرفت دبی جریان ماهانه برای سه ایستگاه گردیعقوب، بیطاس و کوتر با دقت بالا شبیه‌سازی شده است. با توجه به وجود مخزن در حوضه مورد مطالعاتی و برداشت آب شرب و مصرف کشاورزی، نتایج شبیه‌سازی مدل در ایستگاه پایین دست از دقت کمتری نسبت به ایستگاه‌های دیگر بدست آمد. به دلیل عدم وجود برنامه دقیق و مشخص در خصوص این برداشت‌ها نمی‌توان دقت مدل را بیشتر

مسایل، ابزار مناسبی برای مدیریت اراضی در جهت کاهش رواناب و رسوب می‌باشد. مهندسين منابع آب و مديران اجرایی با استفاده از مدل SWAT می‌توانند سناریوهای مختلف مدیریتی را در زمان کوتاه و بدون صرف هزینه زیاد مورد ارزیابی قرار داده و بهترین تصمیم را اتخاذ نمایند.

ثبت داده‌ها و عدم ثبت داده‌ها در نقاط و زمان‌های مختلف منحنی هیدروگراف وقایع سیلابی جریان رودخانه اشاره کرد. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی نشان داد که مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیکی مناسب جهت تعیین مقادیر رواناب حوضه می‌باشد. استفاده از این مدل به دلیل کوهستانی بودن منطقه، کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری، و به‌ویژه به دلیل کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل

منابع مورد استفاده

- Abbaspour KC, Yang J, Maximov I, Siber R, Bogner K, Mieleitner J, Zobrist J and Srinivasan R, 2007. Modelling hydrology and water quality in Thepre-Alpine/Alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology* 333:413-430.
- Al-Ansari N, Ezz-Aldeen M and Knutsson S, 2013. Application of swat model to estimate the sediment load from the left bank of Mosul Dam. *Advanced Science and Engineering Research* 3:47-61.
- Arnell NW, 1999. Water balance model for the simulation of stream flow over a large geographic domain. *Journal of Hydrology* 3:314-335.
- Arnold JG, Muttiah RS, Srinivasan R and Allen PM, 2009. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin. *Journal of Hydrology* 227:21-40.
- Atfi Gh, 2014. Flow and sediment yield prediction using SWAT model and ArcGIS in Ahar chai. Pp. 60-200, M.Sc. Thesis, University of Ardabil, Mohaghegh Ardabili.
- Eagleson PS, 1986. The emergence of global-scale hydrology. *Water Resources Research* 10:1029.
- Gebremicael TG, Mohamed YA, Betrie GD, van der Zaag P and Teferi E, 2013. Trend analysis of runoff and sediment fluxes in the Upper Blue Nile basin: A combined analysis of statistical tests. *Physically-based models and land use maps. Hydrology* 482:57-68.
- Golshan M, 2013. Flow and sediment yield prediction using SWAT model in Haraz watershed, Mazandaran Province, M.Sc. Thesis, University of Sari, Agriculture Science and Natural Resources.
- Himanshu SK, Pandey A and Shrestha P, 2017. Application of SWAT in an Indian river basin for modeling runoff, sediment and water balance. *Environmental Earth Sciences* 17:76:99.
- Neitch SL, Arnold JG, Kiniry J and Williams JR, 2003. *Soil and Water Assessment Tool, User's Manual, Version, 2000.*
- Noreika N, Li T, Zumd D, Krasa J, Dostal T and Srinivasan R, 2020. Farm-scale biofuel crop adoption and its effects on in-basin water balance. *Sustainability* 12:105-96.
- Refahi H, 2003. *Water Erosion and Conservation, University of Tehran Press.*
- Rostamian R, 2006. Assessment of runoff and sediment in Beheshtabad watershed, Northern Karun by SWAT 2000. M.Sc. Thesis. Irrigation and Drainage Faculty, Isfahan University of Technology.
- Salmani H, Rostamikhajaj M, Mohseni Saravi R and Salajeghe A, 2010. Optimization of affect parameter on runoff-precipitation in SWAT model (case study: Ghazaghely Watershed of Golestan Province). *Quarterly Natural Ecosystemsofiran*. 13:85-100.
- Sao D, Kato T, Tu LH, Thouk P, Fitriyah A and Oeurng Ch, 2020. Evaluation of different objective functions used in the SUFI-2 calibration process of SWAT-CUP on water balance analysis: A Case Study of the Pursat River Basin, Cambodia. *Water* 12:1-22.
- Van-Griensven A, Popescu I, Abdelhamid MR, Ndomba P and Beevers L, 2013. Comparison of sediment transport computations using hydrodynamic versus hydrologic models in the Simiyu River in Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth* 61:12-21.
- Wang X and Melesse A, 2005. Evaluation of the SWAT models snowmelt hydrology in a northwestern Minnesota watershed. *Transactions of the ASABE* 48:1359-1376.