Archive of SID

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره نه، آذر ماه ۹۸

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز طالقان با استفاده از مدلSWAT

مهسا آقاخانی[۱]

تورج نصرآبادی[۲]*

tnasrabadi@ut.ac.ir

علیرضا وفائی نژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۵ تاریخ پذیرش:۹۶/۵/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه های آبخیز نقش مهی در مطالعه، توسعه و مدیریت منابع آب دارد. با توجه به اهمیت حوضه آبخیز طالقان به‌عنوان تامین‌کننده بخش مهمی از منابع آب استان‌های البرز و تهران، در این پژوهش، شبیه‌سازی هیدرولوژیک آب-های سطحی در این حوضه مورد مطالعه قرار گرفته است.

روش بررسی: شبیه‌سازی هیدرولوژیکی با به‌کارگیری مدل نیمه‌توزیعی فیزیکی SWAT (Soil and Water Assessment Tool) انجام گرفت. هم‌چنین واسنجی و آنالیز حساسیت مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2 صورت پذیرفت. کارایی مدل با استفاده از شاخص-های آماری نش- ساتکلیف (NS) و ضریب تعیین (R^2) مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: آنالیز حساسیت نشان داد که مدل نسبت به پارامترهای شماره منحنی (CN)، ضریب تبخیرخاک و ظرفیت آب قابل دسترس خاک دارای بیش‌ترین حساسیت می‌باشد. ضرایب NS و R^2 در ایستگاه گلینک (خروجی حوضه) پس از کالیبراسیون به‌ترتیب برابر ۰/۸۴ و ۰/۸۷ و در صحت سنجی برابر ۰/۷۹ و ۰/۸۴ برآورد گردید.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج نشان‌دهنده دقت مناسب شبیه‌سازی حوضه آبخیز مورد مطالعه دارد. هم‌چنین نشان داده شد که مدل قابلیت بالایی برای پیش‌بینی میزان رواناب ماهانه حوضه طالقان دارد. به‌کارگیری این مدل به‌دلیل کاهش هزینهٔ عملیات میدانی به‌منظور اندازه‌گیری مولفه‌های مورد نیاز و به‌ویژه به‌دلیل کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل مسایل، جهت ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ محیط زیست کارآمد می‌باشد.

واژه های کلیدی: مدل‌سازی هیدرولوژیک، حوضه آبخیز، مدل SWAT، الگوریتم SUFI-2

۱- دکترای مدیریت محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران، *(مسوول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

www.SID.ir

Archive of SID

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.9, November, 2019

Hydrological Simulation of Taleqan Watershed Using SWAT

Mahsa Aghakhani[1]
Touraj Nasrabadi[2]*
tnasrabadi@ut.ac.ir
Alireza Vafaei Nejad[3]

Admission Date:August16, 2017 Date Received: May 5, 2017

Abstract

Background and Objective: Hydrological modeling of watersheds plays a significant role in study, development and management of water resources. Based on importance of Taleqan Watershed as a main supplier of Alborz and Tehran Provinces water resources, in this study, surface water hydrological simulations in this basin are investigated.

Method: Hydrological simulations were performed by applying physical semi-distributed SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model. Moreover, model calibration and sensitivity analysis were done using SUFI-2 algorithm. Model performance is evaluated by means of statistical indicators such as Nash-Sutcliffe (NS) and coefficient of determination (R^2).

Findings: Sensitivity analysis showed that the parameters of the curve number (CN), soil evaporation compensation, and soil available water capacity are the most important factors to control the flow in the basin. At Gelinak station (watershed outlet), NS and R^2 coefficients values after calibration are 0.84 and 0.87, respectively. These values in validation interval were obtained as 0.79 and 0.84.

Discussion and Conclusion: The results show good performance of the watershed simulations. Moreover, it was shown that the model has good capability for monthly surface runoff prediction of the Taleqan basin. Due to reducing field operations costs of required components measurements and especially due to reducing the time required to analyze issues, applying this model is efficient for improving water resource management and environmental protection.

Key words: Hydrological Modeling, SUFI-2 Algorithm, SWAT Model, Watershed.

1- PhD., Department of Environmental Management, Faculty of the Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Department of Environmental Planning, Management, and Education, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, *(Corresponding Author).
3- Assistant Professor, Faculty of the Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

رواناب ایجاد شده در یک حوضه از مهم‌ترین موضوعات در مطالعات هیدرولوژیکی حوضه آبخیز می‌باشد، چرا که اکثر فرآیندهای هیدرولوژیکی به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم با آن در ارتباط هستند و به‌نوعی متاثر از آن می باشند. شناخت فرآیندهای هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی آن‌ها در مقیاس حوضه آبخیز و پیش‌بینی تغییرات این فرآیندها در آینده همواره از چالش‌های پیش‌روی هیدرولوژیست‌ها می‌باشد.

از این‌رو در سال‌های اخیر مدل‌های هیدرولوژیکی به‌عنوان ابزاری برای شناخت فعالیت‌های طبیعی و انسانی موثر بر سیستم هیدرولوژی حوضه و مدیریت و برنامه‌ریزی آن‌ها، به‌طور گسترده توسط مدیران و هیدرولوژیست‌ها به‌کار گرفته می‌شوند. مدل‌هایی از قبیل HSPF، EPIC، AGNPS، CREAMS و SWRRB در زمینه آنالیز کیفیت آب و هیدرولوژی در مقیاس حوضه آبخیز توسعه یافته‌اند. اگرچه این مدل‌ها در بسیاری موارد مفید و کاربردی هستند ولی جهت مدل سازی حوضه آبخیز محدودیت‌هایی نیز دارند. از آن‌جا که حوضه های آبخیز بزرگ از طیف وسیعی از پارامترهای اکولوژیکی، توپوگرافی، تنوع بالای خاک، پوشش زمین و تغییرات اقلیم در بازه‌های زمانی و مکانی مختلف برخوردار هستند، که بر فرآیندهای بارش-رواناب تاثیرگذار می‌باشد، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی نسبت به مدل‌های فشرده توصیه شده است (۱).

در این مطالعه جهت مدل‌سازی حوضه آبخیز، از ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) استفاده می‌گردد. عملکرد خوب این مدل برای ارزش‌یابی اثرات عملیات مدیریت زمین بر آب، رسوب و محصولات کشاورزی در حوضه‌های آبخیز پیچیده و بزرگ با خاک‌های متغیر، کاربری اراضی، شرایط مدیریتی متغیر در طول دوره‌های زمانی و شرایط توپوگرافی متفاوت اثبات شده است (۲).

در کنار کاربردهای موفقیت آمیز مدل مذکور، به دلیل دارا بودن برخی نواقص، انجام برخی پردازش‌های عددی مانند کالیبراسیون پارامتر و آنالیز حساسیت نیز ضروری می‌باشد. با آنالیز حساسیت پارامترهای مدل، شناسایی پارامترهای حساس با توجه به اثرات‌شان بر خروجی‌های مدل امکان‌پذیر می‌باشد. شناسایی پارامترهای حساس، به کاهش عدم قطعیت و به شبیه‌سازی بهتر منتهی می گردد (۳).

Alansi (۲۰۰۹) با استفاده از مدلSWAT اقدام به شبیه-سازی رواناب و بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی بالادست حوضه برنام در کشور مالزی نمود (۴). Fadil (۲۰۱۱) تحقیقی با هدف مدوله کردن هیدرولوژی در یک حوضه واقع در قسمت مرکزی- شمالی مراکش، Bouregreg، با استفاده ازSWAT به منظور آگاهی از فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز انجام داد (۵). Ghoraba (۲۰۱۵) تحقیقی با هدف مدل سازی حوضه آبخیز سد Simly پاکستان با استفاده از SWAT انجام داد. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SWAT نسبت به تخمین حجم ماهانه جریان آب ورودی به سد و تعیین بیلان آبی اقدام نمودند (۶). Akhavan (۲۰۱۰) به‌منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی در نیترات آب شویی شده در حوضه آبخیز همدان از مدل SWAT براساس داده‌های رواناب و عملکرد محصول استفاده کرد (۷).

Park (۲۰۱۷) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی اثرات مدیریت چرای جایگزین بر کیفیت آب در مقیاس حوضه آبخیز و همچنین مقیاس مزرعه در حوضه Clear Creek در قسمت های شمالی و مرکزی تگزاس با استفاده از نرم‌افزار SWAT انجام دادند و از طریق تدوین سناریوهای مختلف تاثیر روش های مختلف چرا را بر میزان فسفر و نیتروژن کل بررسی نمودند (۸). همچنین Kundu (۲۰۱۷) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر بیلان آب بخشی از رودخانه Narmada هند انجام داد. شبیه سازی با SWAT نشان داد که تغییرات کاربری بر کاهش تبخیر و تعرق و افزایش رواناب در زیر حوضه های مختلف تاثیر گذار بوده است (۹).

در این مطالعه، از نرم‌افزار SWAT برای مدل‌سازی حوضه آبخیز طالقان واقع در شمال غرب کلان‌شهر کرج که یکی از مهم ترین منابع تامین آب استان تهران می‌باشد استفاده گردید.

www.SID.ir

اهداف این مطالعه شبیه‌سازی رواناب سطحی و شناسایی پارامترهای حساس هیدرولوژیکی مرتبط با آن و هم‌چنین کالیبراسیون و صحت سنجی مدل برای رواناب می باشد. پارامترها نیز بر اساس بزرگی حساسیت پاسخ متغیر به هریک از پارامترهای مدل، به حساسیت‌های بالا و پایین رتبه‌بندی شد. سپس مدل SWAT براساس تغییرات مقادیر پارامترهای حساس درون مقادیر مجاز آن‌ها کالیبره شد. کالیبراسیون و صحت سنجی مدل به کمک نرم‌افزار SWAT-CUP و با استفاده از اطلاعات برداشت شده از ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوضه انجام شده است. در این تحقیق از الگوریتم SUFI2 استفاده شده است که قادر است عدم دقت در متغیرهای سریع (مثل بارش) و عدم دقت در مدل مفهومی، عدم دقت در تخمین پارامترها و در داده‌های اندازه‌گیری شده را در نظر گیرد. سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر اندازه-گیری شده رواناب در خروجی حوضه آبخیز مقایسه گردید. شایان ذکر است که مدل‌سازی این حوضه با دقت و حساسیت بسیار در فراهم نمودن داده‌ها، نقشه‌ها و اطلاعات ورودی به مدل و مقداردهی پارامترهای مدل‌سازی با توجه به منطقه مورد مطالعه به انجام رسید که حاصل آن یک مدل قابل اعتماد جهت انجام مطالعات علمی و آزمودن سناریوهای مدیریتی می‌باشد. بنابراین بدون هدررفت هزینه و وقت و بدون نگرانی از رخداد نتایج نامطلوب احتمالی محیط زیستی و اجتماعی می‌توان تصمیمات اخذ شده را پیش از اجرا، ارزیابی نمود.

مواد و روش‌ها

- ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز طالقان در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز و در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال غربی تهران واقع است. در مجموع منطقه‌ای کوهستانی با شیب‌های تند در اطراف طالقان‌رود قرار دارد. بیشینه و کمینه بارش متوسط سالیانه به ترتیب ۸۱۴ و ۴۵۴ میلی متر در ایستگاه‌های گلینک و دیزان ثبت شده است، متوسط درجه حرارت سالانه ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد، و اقلیم غالب منطقه سرد و نیمه مرطوب می‌باشد. بیش‌ترین بارش در این منطقه به‌شکل برف می باشد. هیدرولوژی غالب بر حوضه شامل حجم بالای رواناب در فصل بهار به‌دلیل ذوب برف، با ماکزیمم رواناب ناشی از بارش‌های بهاری می باشد (۱۰). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه واقع در بالادست سد طالقان، در حوضه آبخیز طالقان را نشان می‌دهد که در ´۰۴ °۳۶ تا ´۲۱ °۳۶ عرض شمالی و ´۳۸ °۵۰ تا ´۱۲ °۵۱ درجه طول شرقی قراردارد. کاربری عمده از نوع مرتعی می‌باشد. بخشی از اراضی نیز تحت پوشش کاربری کشاورزی آبی و دیم می‌باشد. بافت خاک حوضه نیز عمدتاً لومی و سیلت لومی می‌باشد. در این مطالعه ایستگاه پیمایش خروجی ایستگاه گلینک با مساحت حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. دو ایستگاه پیمایش دیگر، به نام ایستگاه جوستان (میانه حوضه) و ایستگاه گته‌ده (ابتدای حوضه)، جهت مقایسه نتایج با نتایج حاصل از گلینک انتخاب گردید.

- روش تحقیق

در این تحقیق جهت شبیه‌سازی پاسخ هیدرولوژی حوضه آبخیز طالقان از مدل SWAT که قابلیت اتصال به نرم‌افزار ArcView دارد، استفاده گردید. در مدل SWAT ابتدا حوضه آبخیز اصلی براساس نقشه DEM به تعدادی زیر-حوضه که از طریق شبکه آبراهه‌ها به یکدیگر متصل شده-اند، تقسیم می‌شود، سپس بر مبنای نقشه‌های خاک و کاربری اراضی زیرحوضه ها نیز به واحدهای کوچک‌تری تحت عنوان "HRU[1]" تقسیم می‌شوند. هرHRU دارای ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش و کاربری اراضی همگن می‌باشد. برای هر واحد هیدرولوژیک، میزان آب و رسوب و چرخه عناصر و تلفات تعیین می‌شود و برای هر زیرحوضه نیز متوسط وزنی محاسبه می‌گردد. آن‌گاه پس از جمع شدن این مقادیر در مسیر شبکه رودخانه تا محل خروجی حوضه با یکدیگر، مقدار نهایی برای حوضه تعیین می‌شود (۱۱).

این مدل ارایه سناریوهای متنوع براساس تغییرات ورودی‌هایی از قبیل پوشش زمین، کاربری اراضی، اقلیم بر چرخه مواد

1 -Hydrological Response Unit

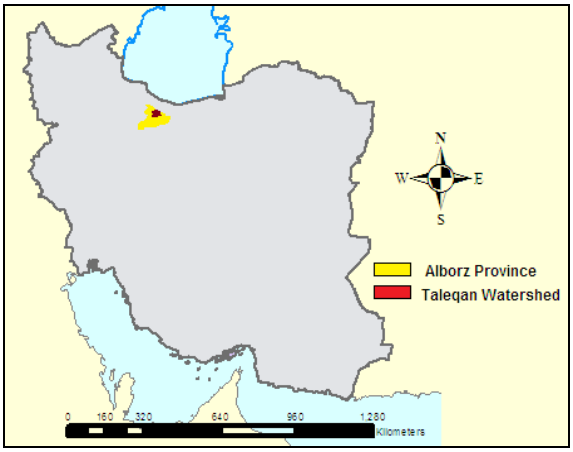
www.SID.ir

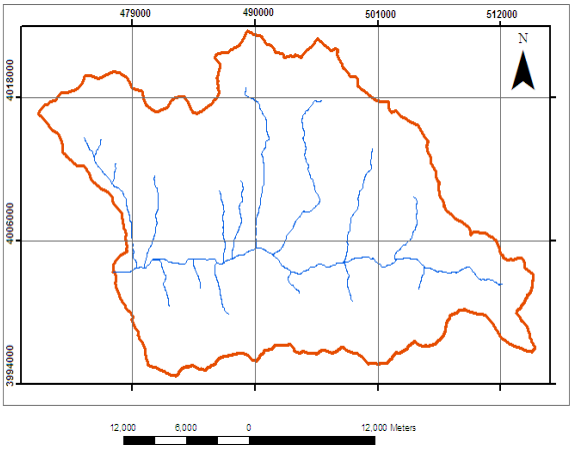
Archive of SID

مغذی، کیفیت و کمیت آب را برای کاربران ممکن می‌سازد. در مدل SWAT چرخه هیدرولوژی بر اساس معادله بیلان آب شبیه‌سازی می‌شود (رابطه ۱).

$$SW_t = SW_O + \Sigma\left(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}\right) \quad (۱)$$

که در آن: SW_t مقدار نهایی آب موجود در خاک (میلی‌متر)، SW_0 مقدار اولیه آب موجود در خاک (میلی‌متر)، t زمان برحسب روز، R_{day} مقدار بارش در روز i (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i (میلی متر)، W_{seep} مقدار آب نفوذی به لایه فوقانی خاک در روز i (میلی‌متر) و Q_{gw} مقدار آب زیرزمینی برداشت شده در روز i (میلی‌متر) می باشد (۱۲).





شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1. The watershed geographical location

- لایه های اطلاعاتی مورد استفاده در مدل SWAT

داده های ورودی مورد نیاز مدل SWAT شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع، داده‌های خاک، داده های بارش، دما، هواشناسی، نقشه خاک و نقشه کاربری اراضی می باشد.

الف -داده های هواشناسی: در این تحقیق داده‌های هواشناسی به شکل جداگانه ماهانه و روزانه در طول دوره ۱۵ ساله آماری از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ به مدل معرفی گردید. داده‌های روزانه شامل بارش و درجه‌حرارت حداقل و حداکثر روزانه می‌باشند. این اطلاعات از سازمان هواشناسی و شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ گردید. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی، مطابق جدول ۱ می باشد.

ب -نقشه مدل ارتفاع رقومی (DEM): جهت تهیه این نقشه، از نقشه‌های توپوگرافی رقومی سال ۲۰۱۳ حوضه مطالعاتی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مربوط به سازمان نقشه‌برداری کل کشور استفاده گردید. مدل مورد نظر، از این نقشه جهت محاسبه خصوصیات مورفومتری حوضه، زیرحوضه‌ها و آبراهه اصلی استفاده می‌کند (۱۳).

ج - نقشه کاربری اراضی: به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های کاربری اراضی رقومی به‌روز شده توسط تصاویر ماهواره ای ETM (۲۰۱۳) مربوط به مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری استفاده گردید.

د - نقشه خاک: جهت تهیه نقشه رقومی خاک و اطلاعات مربوط به خاک شناسی حوضه از نقشه‌ها و گزارش‌های خاک‌شناسی مربوط به حوضه طالقان استفاده شد. جهت تدقیق پارامترهای خاک، مهم‌ترین پارامترهای خاک مؤثر بر خروجی های مدل، در مرحله واسنجی دخالت داده شدند و مقادیر بهینه آن‌ها تعیین گردید.

www.SID.ir

جدول۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سنجش دما و بارش

Location of rainfall and temperature stations Table 1.

نام ایستگاه	Y (UTM)	X (UTM)	ارتفاع (m)
حسنجون	۴۰۰۹۶۳۹	۴۷۷۲۶۶	۱۹۹۰
جوستان	۴۰۰۴۵۵۱	۴۹۰۹۵۶	۲۲۲۰
نسا	۳۹۹۸۷۳۶	۴۹۰۸۳۵	۲۳۱۰
دهدر	۴۰۰۴۴۹۰	۵۰۵۷۹۶	۲۴۰۰

شکل ۲ – نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز

Figure 2. The watershed land use map

اجرای مدل و استخراج خروجی‌های مدل

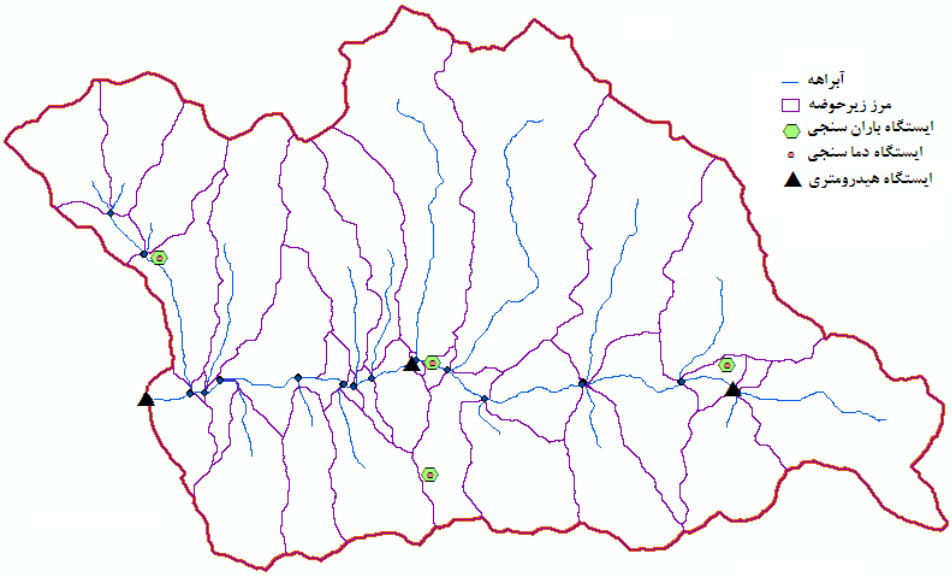
اولین مرحله در مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه توسط SWAT، تقسیم حوضه به زیرحوضه‌ها و تقسیم هر زیرحوضه به واحدهای پاسخ هیدرولوژی (HRU) می‌باشد (۱۴). از این رو جهت اجرای مدل، لایه های اطلاعاتی به مدل معرفی و حوضه به ۳۵ زیرحوضه و هر زیرحوضه به تعدادیHRU تقسیم‌بندی شد. در شکل ۳ نقشه حوضه مورد مطالعه به‌همراه زیرحوضه‌ها، ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در مدل نشان داده شده است. با توجه به فیزیکی بودن این مدل، لازم است که پارامترها منطبق با شرایط منطقه تعریف شود. از پارامترهای به‌کار رفته در مدل که قبل از انجام عمل واسنجی با توجه به گزارش‌های موجود مقدار پیش فرض آن ها تغییر داده شد که عبارت از: تغییر دما با ارتفاع، دمای متوسط هوا برای بارش برف و ضریب مانینگ بستر رودخانه می باشند. جهت دست یابی به قطعیت بیش‌تر در نتایج شبیه سازی هیدرولوژیکی حوضه توسط مدل این اطلاعات تهیه و به مدل معرفی گردید.

به منظور بررسی کیفی و کمی کارایی مدل، به مقایسه بصری پلات های سری زمانی و شاخص‌های آماری هم‌چون شاخص کارایی مدل یا معیار نش-ساتکلیف (NS) و ضریب تعیین (R^2) پرداخته شد. مقدار معیار نش-ساتکلیف از منفی بی‌نهایت تا ۱ متغیر است؛ و ۱ یعنی برازش عالی؛ مقدار بزرگ‌تر از ۰/۷۵ یعنی نتایج شبیه سازی خوب، و بین ۰/۳۶ -۰/۷۵ یعنی رضایت بخش و پذیرفتنی بودن نتایج است. شاخص کارایی نشان‌دهنده عملکرد نسبی مدل است (۱۵). R^2 بیان‌گر واریانس تعیین شده به وسیله مجموعه متغیرهاست، که ضریب تعیین نام دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد کیفیت شبیه سازی بالاتر است (۱۲).



شکل ۳-حوضه آبخیز طالقان، رواناب سطحی، ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

Figure 3. Taleqan watershed,stream flow,weather stations and hydrometric stations

نتایج

نتایج آنالیز حساسیت، واسنجی و صحت سنجی مدل

اهمیت نسبی پارامترهای ورودی مدل با توجه به خروجی آن، به‌طور معمول با استفاده از تحلیل حساسیت ارزیابی می‌شود. پارامترهای زیادی در مدل SWAT برای شبیه سازی بارش-رواناب نقش دارند. قبل از کالیبراسیون با توجه به داده‌های در دسترس، داشتن درک درست از مشخصات حوضه آبخیز و فرآیندهای هیدرولوژیکی مورد نظر، اهمیت دارد. بنابراین کاهش تعداد پارامترها با حذف پارامترهای کم تاثیرتر ضروری است (۷). پس از انجام آنالیز حساسیت با نرم‌افزار SWATCUP، ۱۸ پارامتر به‌عنوان پارامترهایی که مدل نسبت به آن‌ها حساسیت بیش‌تری دارند، تعیین گردید. با انجام تحلیل حساسیت، مشخص شد که پارامتر شماره منحنی (CN) مهم ترین فاکتور است؛ و پارامترهای ضریب تبخیر خاک (ESCO)[1] و ظرفیت آب قابل دسترس خاک (SOL_AWC)[2]، به ترتیب در زمره مهم ترین فاکتورهای کنترل کننده دبی جریان در حوضه طالقان اند. رتبه حساسیت پارامترهای مهم در این تحقیق، در جدول ۲ نشان داده شده است.

کالیبراسیون و صحت سنجی

پس از تعیین حساس ترین پارامترهای مدل، واسنجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2 (۱۶) برای سال های آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با استفاده از داده‌های دبی مشاهداتی سه ایستگاه هیدرومتری که مشخصات آن‌ها در شکل ۳ آمده است، انجام پذیرفت. این سه ایستگاه به نام‌های گته ده، جوستان و گلینک به‌ترتیب در ابتدا، میانه و انتهای حوضه آبریز واقع می-باشند. داده‌های رواناب روزانه از این سه ایستگاه توسط موسسه تحقیقات آب ایران جمع آوری شده است. مقدار بهینه پارامترها پس از واسنجی مدل در جدول ۲ ارایه گردیده است.

نتایج واسنجی رواناب مدل در این سه ایستگاه در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد مقادیر شبیه سازی، مقادیر مشاهده‌ای را چه از لحاظ میزان رواناب و چه از لحاظ زمان وقوع اوج‌ها (پیک‌ها) به خوبی دنبال می‌نمایند. مقادیر شاخص‌های آماری شامل ضریب نش-ساتکلیف (NS) و

1 - Soil evaporation compensation factor
2 - Available water capacity of the soil layer

www.SID.ir

ضریب تعیین R^2 قبل و بعد از کالیبراسیون در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد مقادیر این ضرایب پس از کالیبراسیون در مقایسه با مقادیر آن‌ها پیش از واسنجی بسیار متفاوت است. ضرایب NS در ایستگاه گته ده، جوستان و گلینک به ترتیب برابر ۰/۸۰، ۰/۷۸ و ۰/۸۴ و مقادیر ضریب تعیین R^2 برای این سه ایستگاه به ترتیب برابر ۰/۸۶، ۰/۸۱و ۰/۸۷ برآورد گردیده است. مقادیر این ضرایب نشان‌دهنده کیفیت مناسب شبیه سازی حوضه آبخیز مورد مطالعه دارد.

جدول ۲- رتبه بندی حساسیت پارامترها

Table 2. Parameters sensitivity ranking

رتبه بر اساس حساسیت	حوزه	پارامتر	مقدار نهایی
۱	.mgt	CN2	-۰/۲۹۱
۲	.hru	ESCO	۰/۹۶۵
۳	.sol	SOL_AWC	۰/۳۷۹
۴	.gw	GW_DELAY	۵۶/۲۱۳
۵	.bsn	SNO50COV	۰/۵۷۸
۶	.gw	ALPHA_BF	۰/۱۴۲
۷	.bsn	SNOCOVMX	۴۴۶/۱۱۶
۸	.bsn	SMTMP	-۶/۲۹۷
۹	.sub	SNO_SUB	۹۶/۰۴۰
۱۰	.bsn	SFTMP	۲/۹۰۲
۱۱	.rte	ALPHA_BNK	۰/۰۷۸
۱۲	.gw	GWQMN	۰/۴۵۱
۱۳	.hru	EPCO	۰/۳۸۷
۱۴	.sol	SOL_CBN	۱۳/۱۶۰
۱۵	.bsn	SURLAG	۱۶/۰۶۲
۱۶	.sol	SOL_BD	۰/۸۷۹
۱۷	.gw	GW_REVAP	۰/۳۱۷
۱۸	.sol	SOL_K	۰/۳۷۶

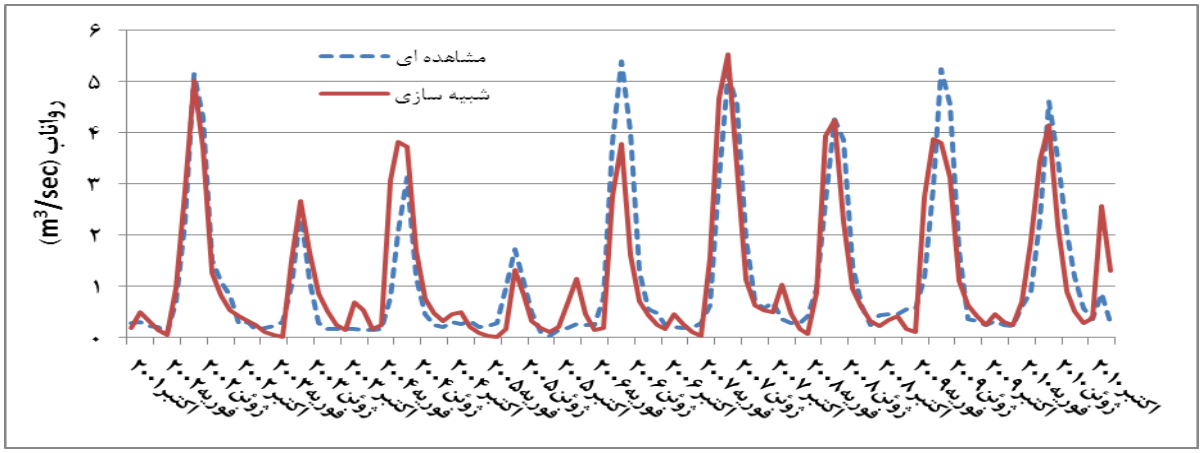
جدول ۳- شاخص‌های آماری نش ساتکلیف و R^2 قبل و بعد از واسنجی

Table 3. Nash–Sutcliffe and R^2 statistical indexes before and after calibration interval

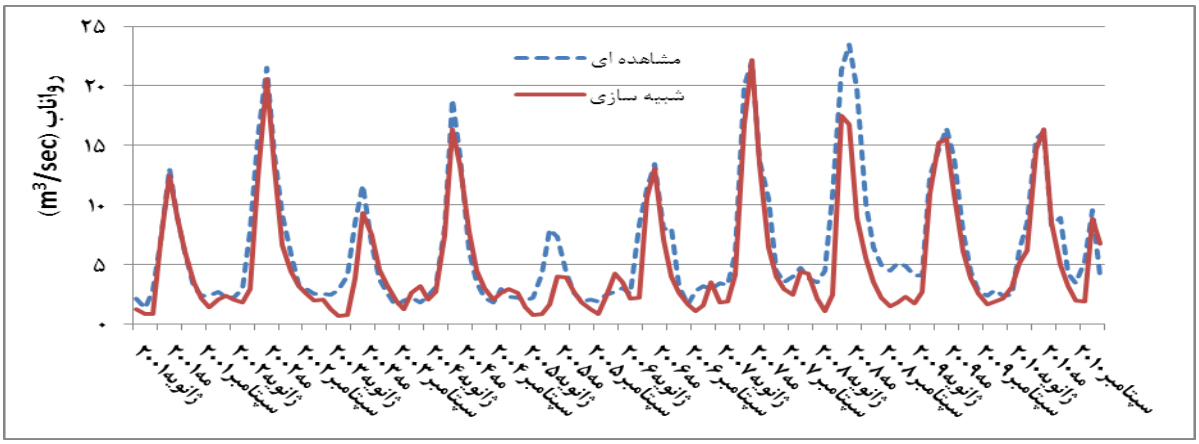
نام ایستگاه	پیش از واسنجی		پس از واسنجی	
	R^2	NS	R^2	NS
گته ده	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۸۶	۰/۸۰
جوستان	۰/۴۶	۰/۲۷	۰/۸۱	۰/۷۸
گلینک	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۸۷	۰/۸۴

www.SID.ir

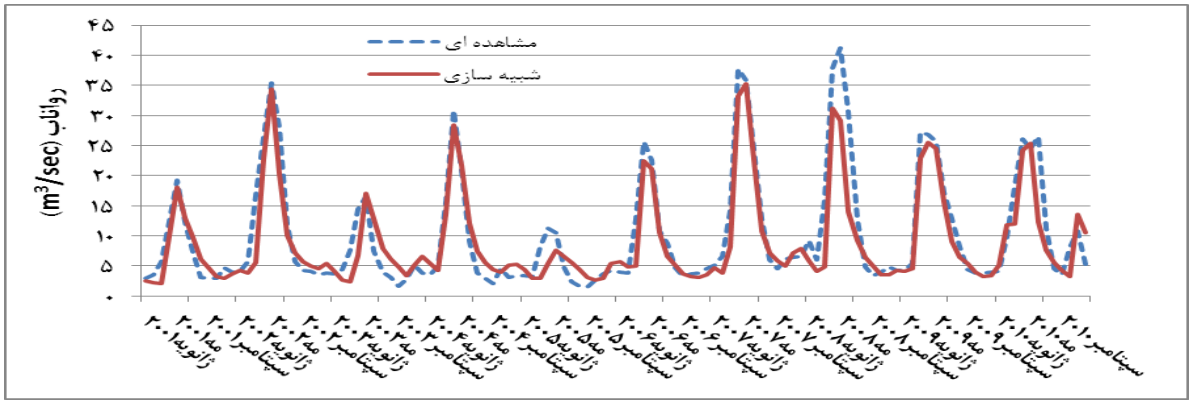
Archive of SID



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴- رواناب سطحی شبیه سازی و مشاهده شده در دوره واسنجی در الف)ایستگاه گته ده؛ ب)ایستگاه جوستان؛ ج) ایستگاه گلینک

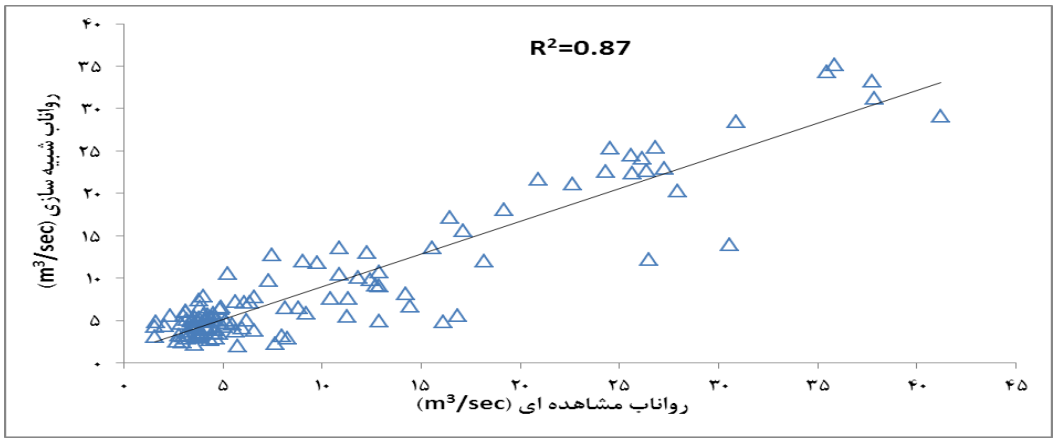
Figure 4. Monthly observed and simulated surface runoff in calibration period in (a) Gatehdeh station; (b) Joestan station; (c) Gelinak station

در شکل ۵ نمودار مقایسه مقادیر رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی در ایستگاه گلینک نشان داده شده است. با توجه به این نمودار همبستگی بالایی میان مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی ملاحظه می‌گردد که مشخص کننده مدل سازی مناسب حوضه آبخیز مورد مطالعه می باشد.

پس از واسنجی مدل، لازم است جهت اطمینان از کیفیت مدل-سازی به صحت سنجی مدل پرداخته گردد. صحت سنجی

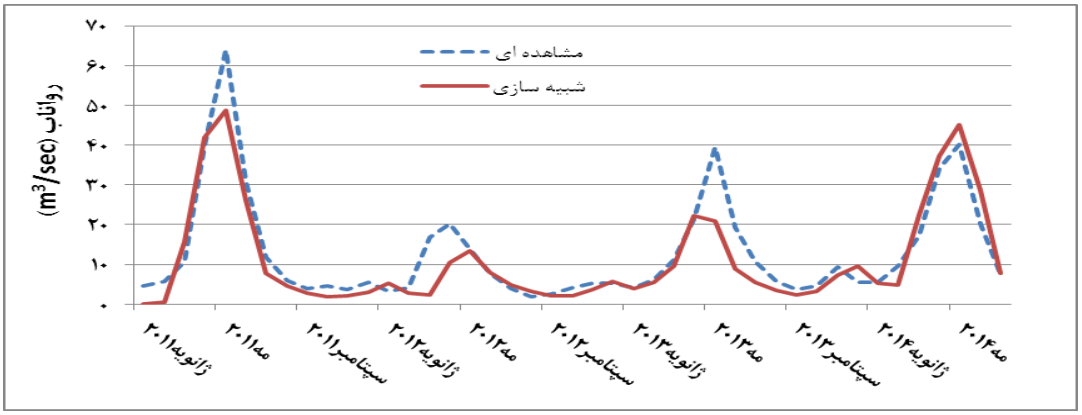
www.SID.ir

مدل با استفاده از داده های مشاهداتی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ و با استفاده از مقادیر پیشنهادی پارامترها در دوره واسنجی انجام می‌پذیرد. نتایج صحت‌سنجی مدل در ایستگاه هیدرومتری گلینک (خروجی اصلی حوضه) در شکل ۶ نشان داده شده است. هم‌چنین مقادیر شاخص‌های آماری ضرایب نش- ساتکلیف (NS) و ضریب تعیین R^2 در این دوره در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر شاخص‌های آماری مشاهده می گردد که اگرچه در دوران صحت سنجی مقادیر پارامترها همان مقادیر حاصل از دوره واسنجی قرار داده شده و در شرایط جدید تنظیم نگردیده اند، اما ضرایب NS و R^2 مقـادیر بسـیار مناسـبی را نشان می‌دهند. به عـنوان مثال در ایسـتگاه گـلینک که خروجی حوضـه می‌باشد، این ضـرایب به ترتیب برابر ۰/۷۹ و ۰/۸۴ می باشد که نشان از کیفیت مدل-سازی و تنظیم مناسب پارامترها در دوره واسنجی دارد. در شکل ۷ نمودار پراکنشی مقادیر رواناب مشاهده ای و شبیه سازی برای ایستگاه گلینک در دوره صحت سنجی نشان داده شده است که نشان‌گر همبستگی مناسب میان مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی می باشد.



شکل ۵-رواناب مشاهده شده نسبت به رواناب شبیه سازی شده در دوره واسنجی در ایستگاه گلینک

Figure 5. Observed runoff due to simulated runoff values in calibration period for Gelinak station



شکل ۶- رواناب سطحی مشاهده و شبیه سازی شده ماهانه در مرحله صحت سنجی در ایستگاه گلینک

Figure 6. Monthly observed and simulated surface runoff in validation period in Gelinak station

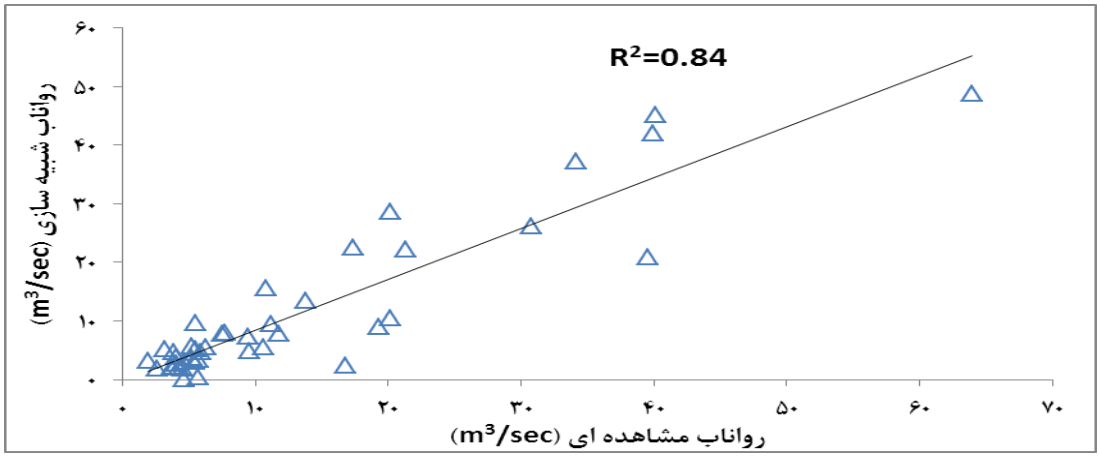
جدول ۴- شاخص‌های آماری نش-ساتکلیف و R^2 در دوره صحت سنجی

Table 4. Nash–Sutcliffe and R^2 statistical indexes for validation interval

نام ایستگاه	R^2	NS
گته ده	۰/۸۵	۰/۷۶
جوستان	۰/۷۵	۰/۷۳
گلینک	۰/۸۴	۰/۷۹

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- نمودار پراکنشی مقادیر رواناب مشاهده شده در دوره صحت سنجی در ایستگاه گلینک

Figure 7. Scatter chart of observed runoff due to simulated runoff values in validation period in Gelinak station

نتیجه گیری

مدل‌های بارش- رواناب، ابزارهای مهمی در مطالعات منابع آبی به شمار می‌آیند.کارایی مدل‌های مذکور به انتخاب مناسب پارامترهای مدل بستگی دارد. در این مطالعه مدل-سازی حوضه آبخیز طالقان، با استفاده از ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) مورد مطالعه قرار گرفت. جهت انجام این کار، اطلاعات مختلفی از قبیل نقشه مدل رقومی ارتفاع، داده های خاک، داده های بارش، دما و هواشناسی و نقشه خاک و کاربری اراضی در فرمت استاندارد به عنوان ورودی به مدل داده شد. پس از انجام آنالیز حساسیت، تعداد ۱۸ پارامتر به عنوان پارامترهایی که مدل نسبت به آن‌ها حساسیت بیش‌تری دارد، تعیین گردید. با انجام تحلیل حساسیت، مشخص شد که پارامتر شماره منحنی (CN) مهم ترین فاکتور است؛ و پارامترهای ضریب تبخیر خاک (ESCO) و پارامتر ظرفیت آب قابل دسترس خاک (SOL_AWC)، به ترتیب در زمره مهم ترین فاکتورهای کنترل کننده میزان رواناب در حوضه آبخیز می باشند. پس از تعیین حساس ترین پارامترهای مدل، واسنجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2 برای سال‌های آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با استفاده از داده های دبی مشاهداتی سه ایستگاه هیدرومتری در داخل حوضه انجام پذیرفت. ملاحظه گردید مقادیر شبیه سازی، مقادیر مشاهده ای را چه از لحاظ میزان رواناب و چه از لحاظ زمان وقوع پیک‌ها به خوبی دنبال می نمایند. مقادیر شاخص‌های آماری شامل ضریب نش-ساتکلیف (NS) و ضریب تعیین R^2 پس از کالیبراسیون در ایستگاه گته ده، جوستان و گلینک (خروجی حوضه) به ترتیب برابر ۰/۸۰، ۰/۷۸ و ۰/۸۴ و مقادیر ضریب تعیین R^2 برای این سه ایستگاه به ترتیب برابر ۰/۸۶، ۰/۸۱ و ۰/۸۷ برآورد گردیده است. مقادیر این ضرایب نشان دهنده دقت مناسب شبیه سازی حوضه آبخیز مورد مطالعه دارد.

پس از واسنجی مدل، جهت اطمینان از کیفیت مدل‌سازی به صحت سنجی مدل با استفاده از داده های مشاهداتی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ و با استفاده از مقادیر پیشنهادی پارامترها در دوره واسنجی پرداخته شد. نتایج صحت سنجی مدل نشان از کیفیت مدل‌سازی و تنظیم مناسب پارامترها در دوره واسنجی دارد. همچنین مقادیر شاخص‌های آماری ضرایب نش-ساتکلیف (NS) و ضریب تعیین R^2 مقادیر بسیار مناسبی را نشان می دهند. به عنوان مثال در ایستگاه گلینک که خروجی حوضه می باشد، این ضرایب به ترتیب برابر ۰/۷۹ و ۰/۸۴ می-باشد. هم‌چنین نمودار پراکنشی مقادیر رواناب مشاهده ای و شبیه سازی برای این سه ایستگاه در دوره صحت سنجی نشان داده شده است که نشان‌گر همبستگی مناسب میان مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی می باشد.

به‌کارگیری این مدل به دلیل کاهش هزینهٔ عملیات میدانی به-منظور اندازه‌گیری مولفه های مورد نیاز و به‌ویژه به‌دلیل کاهش زمان موردنیاز برای تحلیل مسایل، جهت ارتقای سطح مدیریت

www.SID.ir

منابع آب و حفظ محیط زیست بسیار کارآمد می باشد. علاوه بر این، با استفاده از این ابزار این امکان برای پژوهش‌گران و مدیران اجرایی به وجود می‌آید تا برنامه‌های مختلف مدیریتی را که امکان اجرای آن‌ها در کوتاه مدت و با هزینه‌های معقول وجود ندارد، را ارزیابی کرده و با تحلیل نتایج بهترین تصمیم را اتخاذ کنند.

Reference

1. Khalighi Sigarudi, Sh.,ZinatiShoae, T.,Salajeghe, A.,Kohandel , A., Mortezaei Gh., 2009.Simulating runoff using semi-distributed method in watershed with limited data, case study: Latian watershed. Proceedings of 5th National Conference of Watershed Management Sciences and Engineering (Sustainable Management of Natural Hazard), Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, pp. 180-188.
2. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams J.R. & King, K.W., 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation—version 2009, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Blackland Research Center-Texas AgriLife Research.
3. Pisinaras, V., Petalas, C., Gikas, G.D., Gemitzi, A., Tsihrintzis, V.A., 2010. Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the soil and water assessment tool (SWAT). Desalination, vol. 250, pp. 274-286.
4. Alansi, A.W., Amin, M.S.M., Abdul Halim, G., Sharif, H.Z.M., Aimrun, W., 2009. Validation of SWAT Model for stream flow simulation and forcasting in upper Bernam humid tropical river basin, Malaysia. Hydrology and Earth System Sciences, Discuss,Vol. 6, pp. 7581-7609.
5. Fadil, A., Rhinane, H., Kaoukaya, A., Kharchaf, Y., Bachir O., 2011. Hydrologic Modeling of the Bouregreg Watershed (Morocco) Using GIS and SWAT Model. Journal of Geographic Information System, Vol. 4, pp. 279-289.
6. Ghoraba, S.M., 2015. Hydrological modeling of the Simly Dam watershed using GIS and SWAT model. Alexandria Engineering Journal. Vol. 54, No. 3, pp. 583–594.
7. Akhavan, S., Abedi-Koupai, J., Mousavi, S.F., Afyuni, M., Eslamian, S.S., Abbaspour, K.C., 2010. Appication of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan-Bahar watershed, Iran. Agriculture, Ecosystemes and Environment, Vol. 139, pp. 675-688.
8. Park, J.Y., Ale, S., Teague, W.R., 2017. Simulated water quality effects of alternate grazing management practices at the ranch and watershed scales. Ecological Modelling, Vol. 360, No. 24, pp. 1-13.
9. Kundu, S., Khare, D., Mondal, A., 2017. Past, present and future land use changes and their impact on water balance. Journal of Environmental Management, Vol.197, pp. 582-596.
10. Rostami Kolour, M., Dahrazma, B., Rahimi, M., 2015. Water quality assessment of Taleghan river using NSFWQI index. First National Conference on New Developments in Biological and Agricultural Sciences, Tehran, Iran. (Persian)
11. Santos, R.M., Sanches Fernandes, L.F., Moura, J.P., Pereira, M.G., Pacheco, F.A.L., 2014. The impact of climate change, human interference, scale and modeling uncertainties on the estimation of aquifer properties and river flow

www.SID.ir

Archive of SID

components. Journal of Hydrology, Vol. 519, pp. 1297-1314.

12. Rahman, K., Maringantic, H., Beniston, M., Widmer, F., Abbaspour, K., Lehmann, A., 2013. Streamflow modeling in a highly managed mountainous glacier watershed using SWAT: The Upper Rhone River watershed case in Switzerland. Water Resources Management, Vol. 27, No. 2, pp. 323-339.
13. Di Luzio, M., Srinivasan, R., Arnold, J.G., 2002. Integration of watershed tools and SWAT model into basins. Journal of the American Water Resources Association, Vol. 38, No. 4, pp.1127-1141.
14. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., 2000. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. Journal of American Water Resources Association, Vol. 34, No. 1, pp.73-89.
15. Santhi, C., Arnold, J.G., Williams, J.R., Dugas, W.A., Srinivasan, R., Hauck, L.M., 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. Journal of American Water Resources Association, Vol. 37, No. 5, pp.1169–1188.
16. Abbaspour, K.C., 2008. SWAT-CUP2: SWAT calibration and uncertainty programs—a user manual. Department of Systems Analysis, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.

www.SID.ir