Archive of SID

شبیه سازی رواناب حوضه آبخیز رود زرد با استفاده از مدل Arc Swat

محمدرضا انصاری[1]، منوچهر گرجی[2*]، غلام عباس صیاد[3]، مهدی شرفا[4] و کاظم حمادی[5]

۱- دانشجوی دکتری فیزیک وحفاظت خاک گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران و مربی دانشگاه کشاورزی و منابع‌طبیعی‌رامین خوزستان

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- دانشیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران

۵- دکترای هیدرولوژی سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۳

چکیده

بسیاری از حوضه‌های آبخیز در ایران فاقد ایستگاه‌های هیدرومتری کافی می باشند. همچنین به علت کمبود داده‌های هیدرولوژیکی کافی در اغلب ایستگاه‌ها ، مدل‌سازی حوضه نقش مهمی در توسعه منابع آب داشته و از عدم قطعیت بالایی برخوردار می باشد. در این تحقیق از مدل سوات برای شبیه سازی رواناب حوضه رود زرد استفاده شد. تحلیل حساسیت، واسنجی، عدم قطعیت و اعتبار سنجی مدل با استفاده از برنامه SUFI-2 انجام شد. آمار رواناب دو ایستگاه هیدرومتری (ماشین و پل منجنیق) برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل به‌کار برده شد. مدل با استفاده از داده‌های دما و بارش روزانه هفت ایستگاه باران سنجی و سینوپتیک حوضه برای مدت ۱۵ سال (۲۰۰۹-۱۹۹۵) اجرا شد. سال های۲۰۰۳-۱۹۹۷میلادی برای واسنجی و سال های ۲۰۰۹-۲۰۰٤ میلادی برای اعتبار سنجی مدل در نظر گرفته شد. از شاخص‌های عدم قطعیت (p-factor و d-factor)، ضریب تعیین (R^2) و ناش ساتکلیف (NS) به منظور ارزیابی توانایی مدل سوات در شبیه‌سازی رواناب هردو ایستگاه استفاده گردید. نتایج این شاخص‌ها برای دوره واسنجی ایستگاه ماشین به ترتیب ۰/۹۲- ۱/۱-۰/۸۵ و۰/۸۵ و در دوره اعتبار سنجی شامل ۰/۹۲- ۰/۸۵-۰/۹۲و ۰/۹۲ بود. همچنین این نتایج برای دوره واسنجی ایستگاه پل منجنیق به ترتیب شامل۰/۷۲-۰/۹۹-۰/۸۳و۰/۸۲ و برای دوره اعتبارسنجی آن، شامل ۰/۷۰-۰/۷٦-۰/۷۹و ۰/۷۸ بوده است. از دلایل ضعف مدل در شبیه‌سازی رواناب در بعضی از ماه‌های سال می‌توان به شبیه‌سازی ضعیف ذوب برف برای این حوضه کوهستانی، عدم سازگاری فرضیات مدل در انتقال جریان در لایه‌های اشباع و یخزده و همچنین تعداد کم و عدم قطعیت داده‌ها اشاره کرد. در مجموع نتایج مطالعه نشان داد که مدل سوات رواناب را برای هر دو ایستگاه به خوبی شبیه سازی نموده است. توصیه می شود ازاین مدل به جای مدل‌های تجربی، برای برآورد رواناب و رسوب حوضه‌های آبخیز کشور استفاده شود.

کلید واژه ها: رواناب، مدل SWAT، تحلیل حساسیت، واسنجی، اعتبار سنجی، عدم قطعیت، حوضه رود زرد.

Simulation of Runoff in Rood Zard Basin using Arc Swat Model

M.R. Ansari[1], M. Gorji[2*], G.A. Sayyad[3], M. Shorafa[4] and K. Hammadi[5]

1- Ph.D. Student of Soil Physics and Conservation, Department of Soil Science Engineering, Tehran University and Instructor of Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khouzestan.
2*-Associate Professor, Department of Soil Science Engineering, Tehran University
3- Assistant Professor, Department of Soil Science Engineering, Shahid Chamran University of ahvaz
4-Associate Professor, Department of Soil Science Engineering, Tehran University
5-Assistant Professor, Khouzestan Water and power organisation

Received:26 February 2014 Accepted: 15 October 2014

Abstract

A lot of watersheds in Iran do not have sufficient hydrometry stations. Also because of limited accessibility to hydrologic data in more stations, watershed modeling plays a vital role

www.SID.ir

Archive of SID

in development of water resources, and this is a subject to large uncertainties. In this research, Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model was used for runoff simulation of Rood Zard basin. Model sensitivity analysis, calibration, uncertainty and validation analysis was carried out using Sequential Uncertainty Fitting, version2 (SUFI-2) program. The runoff data of hydrometric stations (Machin and Pol Manjanigh) were used for calibration and validation of the model.The model was run using daily precipitation and temperature data of seven rain gauge and synoptic stations for 15 years (1995-2009). The years (1997-2003) were used for calibration and of (2004-2009) were used for validation of the model. Uncertainty indexes (p-factor and d-factor), the coefficient of determination (R^2) and Nash Sutcliffe (NS) were used to evaluate the ability of the SWAT model in simulation of runoff for both stations. These factors for calibration period at the Machin station were 0.92, 1.10, 0.85, and 0.85, respectively, and for the validation period, these statistics were 0.92, 0.85, 0.92, and 0.92 respectively.These factors at the Pol Manjanigh station for calibration period were 0.72, 0.99, 0.83, and 0.82, respectively, and for the validation period, these statistics were 0.70, 0.76, 0.79, and 0.78, respectively. The reasons for the weak simulation of runoff at some months of the year might be due to weak simulation of snowmelt in this mountainous watershed, disconformity of model's suppositions to transfer flow in saturated and frozen soil layers, as well as uncertainty and lack of enough data. Overall results showed that the model can simulate the runoff properly in both stations. It is recommended to use this model instead of empirical models for estimating runoff and sediment basins country.

Keywords: Runoff, SWAT model, Sensitivity analysis, Calibration, Validation, Uncertainty, Rood Zard basin.

مقدمه

افزایش جمعیت و عدم توجه کافی در برنامه ریزی های مربوط به مدیریت حوضه آبخیز طی سال‌های اخیر از یک سو و نیاز به تأمین غذا از سوی دیگر باعث گردیده که ساکنان حوضه های آبخیز، با تغییرکاربری‌های موجود سبب وقوع انواع سیلاب شوند (لال[۱]، ۲۰۰۵). مدیریت صحیح حوضه های آبخیز یکی از مهم ترین اقدامات در استفاده بهینه از منابع آب و خاک می باشد. در کشور ما اکثر حوضه های آبخیز، به ویژه حوضه های آبخیز کوهستانی، فاقد ایستگاه های هیدرومتری به تعداد کافی می باشند و هر گونه برنامه ریزی عمرانی و مدیریتی را با مشکل مواجه می سازند. برای مقابله با این معضل متخصصین آبخیزداری، هیدرولوژی ومحققین منابع آب راه حل های مختلفی مانند فرمول تجربی و مدل های ریاضی و کامپیوتری عرضه کرده اند که هیچ یک نتوانسته اند راه حل مطلوبی ارائه دهند. شبیه سازی پدیده های هیدرولوژی در حوضه های آبخیز و استفاده از روش‌های دقیق و کم هزینه برای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب و زمین به منظور برآورد پیامدها، خسارات و ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش این خسارات امری ضروری است. اولین گام در این خصوص، شناخت دقیق وضعیت هیدرولوژیکی و فیزیکی منطقه می باشد (میشرا و همکاران[۲]، ۲۰۰۷). مدل سوات[۳] ابزاری است برای ارزیابی کیفیت و کمیت آب و خاک حوضه رودخانه یا آبخیزکه توسط آرنولد در دهه ۱۹۹۰برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا توسعه یافته است. این مدل قابلیت اتصال به نرم افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی[۴] را دارا بوده و محدودیتی از نظر ورود حجم وسیعی از اطلاعات در مورد حوضه های وسیع را ندارد. مدل نیمه توزیعی سوات درشبیه سازی رواناب، فرسایش و تولید رسوب یک حوضه آبخیز، در سال‌های اخیر مورد توجه و استفاده زیادی قرار گرفته است. در تحقیقی که رستمیان و همکاران[۵] (۲۰۰۷)، از مدل سوات و برنامه برازش عدم قطعیت (نسخه۲)[۶] برای مدل سازی رواناب و رسوب حوضه‌های آبخیز بهشت آباد (۳۸۶۰ کیلومترمربع) و حوضه ونک (۳۱۹۸ کیلومتر مربع) استفاده نمودند. برای ارزیابی واسنجی و عدم قطعیت از شاخص هایP و d در سطح احتمال ۹۵ درصد استفاده گردید. در کل نتایج واسنجی و محاسبه عدم قطعیت مدل در این حوضه‌ها نسبتاً خوب به دست آمد. تامپی و همکاران[۷] (۲۰۱۰) رواناب حوضه رودخانه چالیار هندوستان را در دو مقیاس متفاوت منطقه ای با مساحت ۲۳۶۱/۵۸ و ۱۰۱۳/۱۵ کیلومتر مربع با استفاده از مدل سوات تخمین زدند، به طوری که پارامترهایی از قبیل نوع خاک، کاربری اراضی، توپوگرافی وفعالیت های مدیریتی در این مقیاس‌ها مشابه بودند. نتایج نشان داد که مدل سوات می تواند رواناب را در هر دو مقیاس به طور معقول و با اختلاف خیلی کمی بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه شده برآورد کند و با افزایش اندازه حوضه عدم قطعیت مدل افزایش می یابد. همچنین در مطالعات

1- Lal
2- Mishra *et al.*
3- Soil and Water Assessment Tool (SWAT)
4- Geografic Information System (GIS)
5- Rostamian *et al.*
6- Sequential Uncertainty Fitting Ver.2 (SUFI-2)
7- Thampi *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

دو و همکاران[1] (۲۰۰۹) در شبیه سازی جریان پیوسته روزانه یک حوضه آبخیز با استفاده از مدل سوات، مقادیر ضریب راندمان ناش- ساتکلیف و میانگین خطای نسبی برای دوره واسنجی به ترتیب ۰/۶۶ و ۱۵ درصد و برای اعتبار سنجی ۰/۵۶ و ۴ درصد به دست آمد. از میان پنج ایستگاه آبراهه اصلی، چهار ایستگاه رابطه آماری خوبی بین جریان‌های پیش بینی شده و اندازه گیری شده نشان دادند. عباسپور وهمکاران[2] (۲۰۰۷) از مدل سوات برای شبیه سازی تمام فرایندهای موثر بر کیفیت آب، رسوب و چرخه عناصر غذایی حوضه رودخانه تور، در شمال شرقی کشور سوئیس، با مساحتی حدود ۱۷۰۰ کیلومتر مربع، استفاده کردند. این مطالعه نتایج بسیار خوبی برای شبیه سازی رواناب و نیترات و نتایج نسبتاً خوبی برای شبیه سازی دو هفته یک بار غلظت رسوب و کل فسفر داشت. شفرد و همکاران[3] (۱۹۹۹) توانایی مدل سوات را درشبیه سازی شرایط هیدرولوژیک و کیفیت آب در یک حوضه کشاورزی در ناحیه ای از مریلند مورد بررسی قرار دادند. آنها بزرگ مقیاس بودن، توزیعی بودن و هم آهنگ بودن مدل با سامانه اطلاعات جغرافیایی را از مزیت های این مدل معرفی کردند. در حوضه آبخیز رود زرد به دلیل سازندهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش و با توجه به احداث سد جره لازم است که رواناب آن به دقت بررسی و اندازه‌گیری گردد. برآورد صحیح رواناب ممکن است سطح زیر کشت شبکه‌های آبیاری رامهرمز را که دردست اجرا می باشد کاهش و یا افزایش دهد، که این مهم در میزان توسعه کشاورزی و اقتصادی منطقه بسیار تأثیرگذارخواهد بود. با توجه به تحقیقات انجام گرفته در اکثر نقاط دنیا در استفاده از مدل نیمه توزیعی سوات و کارایی آن در نشان دادن وضعیت زمانی و مکانی حوضه از نظر تولید رواناب، هدف از این تحقیق بررسی کارایی این مدل در شبیه سازی دبی ماهانه جریان رودخانه زرد از حوضه آبخیز مارون و جراحی بوده است. دلیل انتخاب مدل سوات در این حوضه، کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری با توجه به وسعت منطقه و کوهستانی بودن حوضه بوده است. در این تحقیق تحلیل حساسیت، واسنجی، اعتبار واسنجی و عدم قطعیت نتایج پیش بینی مدل با استفاده از برنامه SUFI-2 در نرم افزار Swat-Cup و آمار مشاهده ای ایستگاه های هیدرومتری منجنیق و ماشین انجام گردید.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد تحقیق

حوضه آبخیز رودخانه رود زرد با مساحت ۸۸۲/۴۹ کیلومترمربع و محیط ۲۰۷/۹۳ کیلومتر در جنوب غربی ایران و شرق استان خوزستان و در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی رامهرمز واقع شده است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این منطقه یکی اززیرحوضه های آبخیز بزرگ مارون- جراحی در استان خوزستان می باشد. که درطول جغرافیایی″۴۷ ′۳۹ °۴۹ تا ″۳۸ ′۱۰ °۵۰ شرقی وعرض جغرافیایی″ ۷۸ ′ ۲۲ °۳۱ تا ″ ۵۲ ′ ۴۲ °۳۱ شمالی قرار گرفته است. سیمای طبیعی حوضه آبریز در شمال کوهستانی و در میانه دشت و کوهپایه و در جنوب خشک و کوهستانی است. رود زرد یا جره به طول نزدیک به ۸۴ کیلومتر از شمال به جنوب، از کوه‌های شمالی حوضه آبخیز (رشته کوه منگشت) سرچشمه می گیرد و در پایین دست سدجره به رود اعلا می پیوندد. حوضه آبخیز رود زرد از سرچشمه های این رودخانه تا محل تلاقی با رودخانه اعلا می باشد. ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه در نرم افزار Arc GIS تعیین گردید (جدول ۱). در این تحقیق از پنج ایستگاه باران سنجی (بارانگرد، ماشین، دلی بختیار، باغملک و مال آقا) و دو ایستگاه سینوپتیک (ایذه و رامهرمز) استفاده گردید (جدول۲). داده‌های اقلیمی شامل بارندگی و دمای حداکثر و حداقل روزانه این ایستگاه‌ها، همچنین داده های رواناب روزانه دو ایستگاه هیدرومتری منجنیق و ماشین (خروجی حوضه) برای دوره آماری ۱۵ سال (۲۰۰۹-۱۹۹۵) از سازمان آب و برق استان خوزستان تهیه گردید. داده‌ها پس از اصلاحات آماری، در مدل استفاده شدند.

تهیه و آماده سازی لایه های اطلاعاتی

اطلاعات مورد نیاز مدل سوات شامل (نیتچ و همکاران[4]، ۲۰۰۵):

- لایه‌های اطلاعاتی شامل نقشه رستری الگوی رقومی ارتفاع[5]، لایه شبکه آبراهه‌ها، نقشه کاربری اراضی و خاک‌شناسی.
- پارامترهای ورودی شامل هواشناسی، خاک‌شناسی، مشخصات رودخانه ها، پارامترهای مؤثر در تعیین رواناب سطحی، پارامترهای مؤثر در شبیه سازی فرسایش.
- فایل های ورودی شامل داده های هواشناسی روزانه (بارش و دمای حداکثر و حداقل)، پارامترهای هواشناسی ماهانه شامل متوسط و انحراف معیار درجه حرارت حداقل و حداکثر، متوسط ، انحراف معیار و ضریب چولگی بارش، احتمال یک روز تر به دنبال یک روز خشک، متوسط درجه شبنم و متوسط سرعت باد برای هر ماه. با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه، الگوی رقومی ارتفاع با اندازه سلول ۳۰ مترساخته شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست$^{+}$ETM سال ۲۰۰۲ تهیه شد. به منظور دقت بیشتر و بروز بودن واحدهای مختلف، این نقشه مجدداً از طریق مطالعات میدانی، تکمیل و کنترل شد. نقشه طبقات شیب با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع و درپنج طبقه شیب ۵-۰، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰، ۴۰-۲۰ و بالاتر از ۴۰ درصد با استفاده از مدل سوات و در محیط ArcGIS تهیه گردید. سپس با استفاده از نقشه های شیب، ژئومورفولوژی و زمین شناسی منطقه نقشه خاک شناسی در

1- Du *et al.*
2- Abbaspour *et al.*
3- Shepherd *et al.*
4- Neitsch *et al.*
5- Digital Elevation Model (DEM)

www.SID.ir

Archive of SID

مقیاس اجزای واحد اراضی حوضه تعیین شد. نقشه های خاک شناسی و کاربری اراضی منطقه نیز در قالب فایل های وکتوری در محیط ArcGIS 10 تهیه و سپس به صورت لایه های رستری با اندازه سلول۳۰ متر به مدل معرفی شدند. در مرحله بعد با استفاده از ترکیب نقشه های خاک، کاربری اراضی و طبقات شیب، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی[1] که شرایط همگنی از لحاظ خاک، کاربری اراضی و طبقات شیب دارند، تهیه گردید. و در نهایت ۲۰ زیر حوضه و ۲۳۲ واحد پاسخ هیدرولوژیکی تعیین گردید.

معرفی مدل سوات

سوات یک مدل هیدرولوژیکی است که توسط سازمان تحقیقات کشاورزی آمریکا توسعه داده شده است. فرآیندهای هیدرولوژیکی اصلی که توسط مدل شبیه سازی می شوند شامل تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، ذوب برف، نفوذ سطحی، نفوذ عمقی و جریان آب زیرزمینی و جریان‌های زیر سطحی می باشد. شکل (۲) چرخه هیدرولوژیکی مدل سوات را نشان می‌دهد. در این مدل جریان رودخانه توسط سه منبع اصلی تأمین می گردد که عبارتند از رواناب سطحی، جریان زیر سطحی و جریان پایه یا همان جریان آب زیرزمینی از سفره آب زیرزمینی غیر محصور می باشد. مدل سوات اساس فیزیکی دارد و در حوضه‌های آبخیزی که فاقد آماربرداری منظمی هستند قابل استفاده می‌باشد. این مدل از نظر زمانی پیوسته و برای مدل‌سازی‌های بلندمدت می‌باشد و برای شبیه‌سازی رخدادهای سیلابی منفرد طراحی نشده است. در مدل سوات هر حوضه به چند زیر حوضه و هر زیر حوضه به چند واحد واکنش هیدرولوژیک تقسیم می شود. در ابتدا آب موجود در خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی و سپس برای هر زیر حوضه به صورت متوسط وزنی محاسبه می شود (نیتچ و همکاران، ۲۰۰۵). چرخه هیدرولوژیکی شبیه‌سازی شده توسط مدل سوات براساس معادله بیلان آب به شکل معادله ذیل می‌باشد:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t} (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \qquad (۱)$$

که در آن SW_t: مقدار نهایی آب موجود در خاک برحسب میلی‌متر، SW_o: مقدار اولیه آب موجود در خاک برحسب میلی‌متر (تا عمق ۳۰ سانتی‌متری)، t: زمان برحسب روز، R_{day}: مقدار بارش در روز i برحسب میلی‌متر، Q_{surf}: مقدار رواناب سطحی در روز i برحسب میلی‌متر، E_a: مقدار تبخیر و تعرق واقعی در روز i برحسب میلی‌متر، W_{seep}: مقدار آب نفوذ کرده به لایه بالایی خاک (منطقه غیراشباع) در روز i برحسب میلی‌متر و Q_{gw}: جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه در روز i برحسب میلی‌متر است.

در مدل سوات دو روش برای تخمین رواناب سطحی وجود دارد: روش شماره منحنی و رابطه نفوذ گرین- آمپت . در این تحقیق از روش شماره منحنی استفاده شد. حداکثر رواناب، شاخصی برای توانایی فرسایش سیلاب است و برای پیش بینی دبی رسوب استفاده می شود. سوات حداکثر رواناب را با استفاده از روش منطقی (استدلالی) محاسبه می کند:

$$q_{peak} = \frac{CIA}{3.6} \qquad (۲)$$

که در آن q_{peak}: حداکثر سیلاب (متر مکعب بر ثانیه)، C: ضریب رواناب، I: شدت بارش (میلی متر بر ساعت) و A: مساحت زیر حوضه (کیلومتر مربع) است. در این مطالعه برای تعیین تبخیر و تعرق از روش هارگریوز- سامانی استفاده شد. جریان آب در کانال باز، دارای سطح آزاد می باشد. سوات از رابطه مانینگ برای تعیین سرعت جریان استفاده می کند. همچنین برای روندیابی جریان در آبراهه، از روش ماسکینگام استفاده گردید.

تحلیل حساسیت

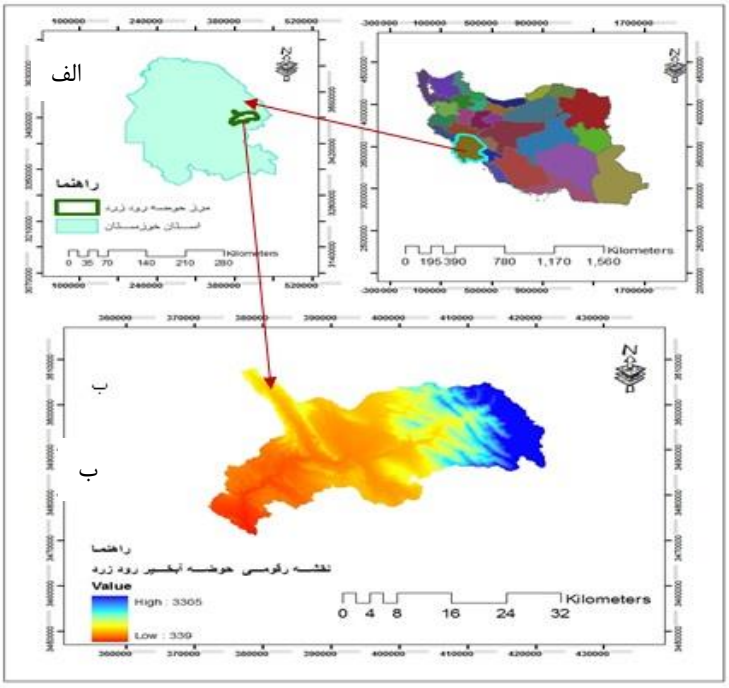
برای انجام تحلیل حساسیت مدل به پارامتر های ورودی و تعیین پارامترهای موثر در شبیه سازی جریان از روش یک پارامتر در هر مرتبه[2] استفاده شد. در این روش در هر مرتبه اجرای مدل یک پارامتر تغییر کرده و بقیه پارامتر ها ثابت می‌مانند و اثر آن تغییر بر خروجی مدل (در این مطالعه میزان جریان)، حساسیت پارامتر را مشخص می‌کند. در این تحقیق در دو مرحله تحلیل حساسیت انجام گردید. مرحله اول قبل از واسنجی مدل و برای شناخت مقدار حساسیت پارامترها و نحوه تأثیر آنها بر تولید رواناب بود و مرحله دوم بعد از واسنجی مدل و برای شناخت مقدار حساسیت نسبی مدل نسبت به هر یک از پارامترها در مقایسه با دیگر پارامترها بر دقت شبیه‌سازی انجام شد. بنابراین با توجه به تحقیقات گذشته در خصوص پارامترهای موثر در شبیه سازی جریان حوضه، در ابتدا۳۰ پارامتر در نظر گرفته شد. پس از انجام تحلیل حساسیت از میان ۳۰ پارامتر مورد بررسی، ۱۹ پارامتر موثر تشخیص داده شد. ترتیب پارامترهای حساس مدل در منطقه مطالعاتی بعد از واسنجی در جدول شماره (۳) آورده شده‌اند. پارامتری که در دامنه تغییرات خود بیشترین تأثیر را بر خروجی مدل داشت به‌عنوان پارامتر حساس‌تر انتخاب شد. با توجه به نتایج این بخش، حساسیت پارامترها بررسی شدند. پارامترهای حداقل عمق مورد نیاز سطح ایستابی در سفره کم عمق برای وقوع جریان بازگشتی (GWQMN)، حداقل مقدار ذخیره آب درسفره کم عمق برای شروع تبخیر آب زیر زمینی از طریق مویینگی یا تغذیه سفره عمیق (REVAPMN)، شیب متوسط هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU_SLP) و شماره منحنی در شرایط متوسط رطوبتی خاک (CN2) به ترتیب بیشترین حساسیت را در شبیه سازی جریان حوضه داشتند.

1- Hydrologic Response Unit (HRU)

2- One Factor at a Time (OAT)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز رود زرد در استان خوزستان (الف) و نقشه رقومی ارتفاعی (ب)

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه رود زرد

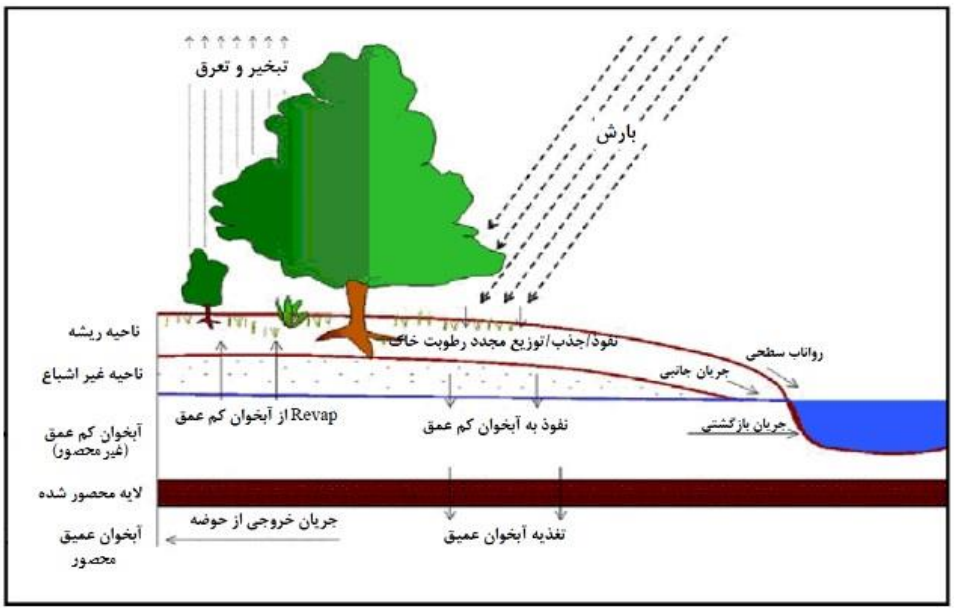
ویژگی	ایستگاه ماشین (خروجی حوضه)	ایستگاه پل منجنیق	واحد
مساحت	۸۸۲/۴۹	۲۸۱/۲۳	کیلومتر مربع
محیط	۲۰۷/۹۳	۹۲/۹۷	کیلومتر
ضریب فشردگی	۱/۹۶	۱/۵۵	-
طول مستطیل معادل	۹۴/۶۵	۳۹/۳۳	کیلومتر
عرض مستطیل معادل	۹/۳۲	۷/۱۵	کیلومتر
ضریب شکل	۰/۱	۰/۱۸	-
قطر دایره همسطح	۳۳/۵۳	۱۸/۹۳	کیلومتر
نسبت گردی	۰/۲۶	۰/۴۱	-
نسبت طولی	۰/۳۵	۰/۴۸	-
زمان تمرکز	۷/۵۶	۳/۸	ساعت
حداقل ارتفاع حوضه	۳۳۹	۶۶۲	متر
حداکثر ارتفاع حوضه	۳۳۰۵	۳۳۰۵	متر

جدول۲- موقعیت ایستگاه های مورد استفاده در تحقیق

نام ایستگاه	طول شرقی (ثانیه- دقیقه- درجه)	عرض شمالی (ثانیه- دقیقه- درجه)	ارتفاع (متر)	دوره آماری	نوع ایستگاه
باغملک(منجنیق)	۴۹°۵۱′۰۱″	۳۱° ۳۲ ′ ۰۰ ″	۶۷۵	۱۹۹۵-۲۰۰۹	باران سنجی- هیدرومتری
ایذه	۴۹°۵۱′۰۱″	۳۱° ۵۱ ′ ۰۰ ″	۷۶۴	۱۹۹۵-۲۰۰۹	سینوپتیک
رامهرمز	۴۹°۳۴′۰۲″	۳۱° ۱۸ ′ ۰۰ ″	۱۵۰	۱۹۹۵-۲۰۰۹	سینوپتیک
بارانگرد	۴۹°۴۸′۰۱″	۳۱° ۴۲ ′ ۰۱ ″	۸۲۵	۱۹۹۵-۲۰۰۹	باران سنجی
ماشین	۴۹°۴۲′۰۱″	۳۱° ۲۱ ′ ۰۱ ″	۳۵۴	۱۹۹۵-۲۰۰۹	باران سنجی- هیدرومتری
مال آقا	۵۰°۰۱′۰۱″	۳۱° ۳۴ ′ ۰۱ ″	۱۱۵۰	۱۹۹۵-۲۰۰۹	باران سنجی
دلی بختیار	۴۹°۴۵′۰۱″	۳۱° ۳۶ ′ ۰۱ ″	۸۵۰	۱۹۹۵-۲۰۰۹	باران سنجی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT

جدول ۳- پارامترهای حساس به کار رفته در مدل SWAT CUP ، محدوده تغییرات و مقدار بهینه آنها

درجه حساسیت	پارامتر	حد بالا	حد پایین	مقدار بهینه	توضیحات
۱	v*__GWQMN.gw	۵۰۰۰	۰	۲۸۶/۶۷	حد اقل عمق مورد نیاز سطح ایستابی در سفره های کم عمق برای و قوع جریان باز گشتی (میلی متر)
۲	v__REVAPMN.gw	۵۰۰	۰	۴۰۲/۹۱	حد اقل مقدار ذخیره آب در سفره کم عمق که برای شروع تبخیر آب زیر زمینی از طریق مویینگی یا تغذیه سفره عمیق لازم است (میلی متر آب)
۳	r**__HRU_SLP.hru	۰/۵	-۰/۵	-۰/۴۶	شیب متوسط هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی
۴	r__CN2.mgt	۰/۴۵	-۰/۶۵	-۰/۲۲	شماره منحنی برای شرایط رطوبتی متوسط
۵	v__ALPHA_BNK.rte	۱	۰	۰/۷	ضریب آلفا جریان پایه برای ذخیره کناری (روز)
۶	v__SURLAG.bsn	۱۲	۰	۴/۸۷	ضریب تاخیر رواناب سطحی (روز)
۷	v__CH_K2.rte	۱۵۰	۰	۱۳۰/۲۹	هدایت هیدرولیکی موثر بستر در کانال اصلی (میلی متر بر ساعت)
۸	v__CANMX.hru	۱۰۰	۰	۵۷/۶۶	حد اکثر آب نگه داشته شده توسط پوشش گیاهی یا بر گاب (میلی متر)
۹	r__SOL_AWC().sol	۱	-۰/۹	-۰/۷۱	متوسط آب قابل استفاده (میلی متر بر میلی متر)
۱۰	v__ALPHA_BF.gw	۱	۰	۰/۸	پارامتر آلفا در جریان بازگشتی
۱۱	r__SLSUBBSN.hru	۰/۵	-۰/۵	۰/۰۶	متوسط طول شیب زمین
۱۲	v__GW_REVAP.gw	۰/۲	۰	۰/۱۴	ضریب تعیین نفوذ به سفره آب زیر زمینی عمیق یا صعود مویینگی از سفره کم عمق
۱۳	v__EPCO.hru	۱/۵	۰	۰/۶۶	فاکتور جبران جذب آب توسط گیاه
۱۴	r__SOL_K().sol	۰/۸	-۰/۸	۰/۰۶	هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (میلی متر بر ساعت)
۱۵	v__RCHRG_DP.gw	۱	۰	۰/۲۲	درصد تغذیه سفره عمیق از سفره کم عمق یا غیر محصور
۱۶	v__ESCO.hru	۱	۰	۰/۷۱	فاکتور جبران کننده تبخیر از خاک
۱۷	v__GW_DELAY.gw	۵۰۰	۰	۱۰۵/۰۵	زمان تاخیر برای تغذیه آبخوان (روز)
۱۸	v__GW_SPYLD.gw	۱	۰	۰/۲۴	آبدهی ویژه از آبخوان کم عمق (متر بر متر)
۱۹	r__SOL_BD().sol	۰/۶	-۰/۵	-۰/۲۲	جرم مخصوص ظاهری خاک

* v: به این معنی است که مقدار پارامتر با مقدار بهینه جدید جایگزین شود ** r: به این معنی است که پارامتر در (۱+ مقدار بهینه) ضرب شود

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل عدم قطعیت

مدل های هیدرولوژی و کیفیت آب، به پارامترهای ورودی زیادی نیاز دارند که تعداد آنها با قطعیت کامل معلوم نیستند (هان و همکاران[1]، ۱۹۹۸). به دلیل این عدم قطعیت، مدل ها قادر به توصیف دقیق فرایندهای هیدرولوژیک و شیمیایی تحت شرایط طبیعی نمی باشند. علی رغم توسعه و کاربرد فراوان مدل ها، توجه نسبتاً کمی به بررسی اهمیت عدم قطعیت که تغییر پذیری در مقادیر پارامترهای ورودی را پیش بینی می کند، شده است. بیون[2] (۱۹۹۳) پیشنهاد کرد که عدم قطعیت باید در فعالیت های مدل سازی وارد شود. در این مطالعه، مقدار پارامترهای متفاوتی که در مدل به کار برده می شوند، با استفاده از روش مدل سازی معکوس و با استفاده از برنامه SUFI-2 تعیین شدند.

این برنامه، واسنجی و عدم قطعیت را ترکیب می کند و سعی می کند عدم قطعیت پارامترها را به نحوی پیدا کند که اکثر داده های اندازه گیری شده (در این مطالعه میزان رواناب خروجی در طول دوره)، درناحیه عدم قطعیت پیش بینی مدل قرار گیرند (عباسپور و همکاران، ۱۹۹۷). در برنامه SUFI-2 یک دامنه بزرگ عدم قطعیت برای هر پارامتر فرض می شود و در هر بار به روش لاتین هایپرکیوب از آن نمونه برداری انجام می شود. بنابراین در ابتدا داده های اندازه گیری شده در سطح ۹۵ درصد عدم قطعیت پیش‌بینی[3] قرار می گیرند و سپس این عدم قطعیت در گام های متوالی کاهش می یابد تا دو شرط زیر برقرار شود:

- اکثر داده های مشاهده ای در سطح ۹۵ درصد عدم قطعیت پیش‌بینی واقع شوند (p-factor).
- فاصله متوسط بین حد بالا و حد پایین ۹۵درصد ($\bar{d}_x$) تقسیم بر انحراف معیار داده های اندازه گیری شده (σ_x) تا حد ممکن کوچک شود (d-factor).

$$\bar{d}_x = \frac{1}{k}\sum_{l=1}^{k}(X_U - X_L)_l \qquad (۳)$$

$$d - factor = \frac{\bar{d}_x}{\sigma_x} \qquad (۴)$$

که در آن k: تعداد نقاط مشاهده‌ای می‌باشد. حالت بهینه زمانی است که ۱۰۰درصد نقاط اندازه‌گیری شده در ناحیه ۹۵ درصد عدم قطعیت پیش‌بینی قرار گیرند و مقدار($\bar{d}_x$) نزدیک صفر باشد. ولی به خاطر خطاهای اندازه‌گیری و عدم قطعیت مدل، مقدار مناسب به دست نمی آید. سال‌های۱۹۹۷- ۱۹۹۵برای دوره گرم شدن[4] مدل، سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۷ برای واسنجی و ۲۰۰۹-۲۰۰۴ برای اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گرفته شد. از الگوریتم SUFI-2 برای ۱۹ پارامتر مؤثر در شبیه سازی رواناب برای تابع هدف ناش- ساتکلیف استفاده گردید. به منظور ارزیابی توانایی مدل سوات در شبیه سازی دبی رواناب از ضرایب تعیین و ناش ساتکلیف و شاخص‌های عدم قطعیت p و d استفاده گردید. ضریب تاثیر ناش ساتکلیف ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد.

محققین مختلف از این شاخص برای ارزیابی مدل‌ها استفاده کرده اند. این ضریب به طریق زیر محاسبه می شود:

$$NS=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2} \qquad (۵)$$

که درآن Q_i: مقادیر دبی رواناب مشاهده شده، P_i: مقادیر دبی رواناب پیش‌بینی شده و $\overline{Q}$: میانگین مقادیر دبی رواناب مشاهده شده می باشند. مقدار این ضریب بین منفی بینهایت تا یک تغییر می‌کند. بهترین مقدار برای این ضریب یک است. مقدار ضریب تاثیر بیشتر از ۰/۷۵ نشان دهنده نتایج خوب، مقادیر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ نتایج قابل قبول و مقادیر کمتر از ۰/۳۶ نشان از نتایج غیر قابل پذیرش می باشد (موتوویلوف و همکاران[5]، ۱۹۹۹). ضریب تعیین، نشان دهنده قسمتی از تغییرات کل (یا واریانس کل) مقادیر مشاهده ای است که توسط مقادیر پیش‌بینی شده توجیه می شود. آماره ضریب تعیین نسبت پراکندگی بین مقادیر پیش بینی شده و اندازه‌گیری شده را نشان می دهد. مقدار ضریب تعیین بین صفر تا یک متغیر است، چنانچه کلیه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند مقدار ضریب تعیین برابر یک می‌باشد:

$$R^2=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[(Q_{m,i} - \overline{Q}_m).(Q_{s,i} - \overline{Q}_s)\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{m,i} - \overline{Q}_m)^2 . \sum_{i=1}^{n}(Q_{s,i} - \overline{Q}_s)^2} \qquad (۶)$$

Q_m و Q_s: به ترتیب دبی جریان اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده و $\overline{Q}_m$ و $\overline{Q}_s$: به ترتیب میانگین ریاضی مقادیر دبی جریان مشاهده شده و پیش بینی شده برای مرحله واسنجی رواناب ماهانه، ۱۵۰۰ مرحله پیش‌بینی در پنج مرحله تکرار انجام پذیرفت. بعد از این که دامنه پارامترها تا حدودی کاهش یافت، تحلیل حساسیت مطلق (تغییر یک پارامتر به شرط ثابت نگه داشتن سایر پارامترها) انجام گردید و به این ترتیب تأثیر هر پارامتر در میزان رواناب شبیه سازی شده به وسیله مدل سنجیده شد. پس از آن مدل با مجموعه جدید پارامترها مجدداً در ۱۵۰۰ مرحله شبیه سازی در سه تکرار اجرا شد و در هر تکرار دامنه پارامترها تعدیل گردید. جدول (۳) نوع پارامتر، دامنه عدم قطعیت (حد پایین و حد بالا) و مقدار بهینه آنها را در واسنجی نشان می‌دهد.

1- Haan *et al.*
2- Beven
3- 95 Percent Predication Uncertainty (95PPU)
4- Warm Up
5- Motovilov *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- نتایج واسنجی رواناب ماهانه

ایستگاه	طول دوره آماری	ضریب تعیین (٪)	ناش ساتکلیف	d-factor	p-factor (٪)
منجنیق	۱۹۹۷-۲۰۰۳	**۸۳	۰/۸۲	۰/۹۹	۷۲
ماشین	۱۹۹۷-۲۰۰۳	**۸۵	۰/۸۵	۱/۱	۹۲

** در سطح یک درصد معنی‌دار است

نتایج و بحث

نتایج واسنجی رواناب ماهانه برای دو ایستگاه ماشین و پل منجنیق در شکل (۳) و جدول (۴) ارائه شده است. مقادیر شاخص‌های p این دو ایستگاه به ترتیب ۹۲ و ۷۲ درصد، ضریب تعیین آنها ۸۵ و۸۳ درصد و ضریب ناش ساتکلیف آنها ۰/۸۵ و ۰/۸۲ بود که نشان دهنده شبیه سازی خوب مدل برای هر دو ایستگاه در دوره واسنجی می‌باشد. همچنین نتایج اعتبار سنجی رواناب ماهانه برای دو ایستگاه ماشین و پل منجنیق در شکل (۴) و جدول (۵) گزارش شده است. مقادیر پارامترهای p این دو ایستگاه به ترتیب ۹۲ و۷۰ درصد، ضریب تعیین آنها ۹۲ و ۷۹ درصد و ضریب ناش ساتکلیف آنها ۰/۹۲ و ۰/۷۸ بود که نتایج پارامترهای پیش‌بینی رواناب همانند دوره واسنجی خوب ورضایت بخش بود. مدل سوات در شبیه سازی رواناب بعضی از ماه های سال (بهمن، اسفند ، فروردین و اردیبهشت) برای هر دو ایستگاه، نتوانسته به خوبی عمل نماید. با توجه به شکل (۳) مدل سوات جریان های حداکثر را اکثراً کمتر از حد اندازه گیری شده تخمین زده است. اکثر جریان هایی که مدل قادر به شبیه سازی آنها نبوده، در اواخر زمستان و در فصل بهار بوده اند. یکی از دلایل ضعف مدل در تخمین حداکثر جریان رواناب، استفاده از مدل سازمان حفاظت خاک[1] در محاسبه رواناب بوده، که این مدل نمی‌تواند به خوبی رواناب حاصل از ذوب برف را شبیه‌سازی کند. اخوان و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که اکثر جریان هایی که مدل قادر به شبیه سازی آنها نبوده در فصل بهار اتفاق می افتد. مدل سوات بارش را با استفاده از متوسط دمای روزانه به صورت باران یا برف تقسیم بندی می کند. با توجه به ضعف مدل در شبیه سازی رواناب ماهانه اسفند، فروردین و اردیبهشت و تقدم جریان شبیه سازی شده فروردین در بعضی از سال ها، می توان نتیجه گرفت که مدل تهیه شده قادر به شبیه سازی کامل ذوب برف نبوده و مقادیر حداکثر رواناب را برای این حوضه کوهستانی در ماه‌های مذکور خوب شبیه سازی نکرده است. در مدل سوات هنگامی که رطوبت موجود در هر لایه خاک از گنجایش زراعی بیشتر باشد، مقداری از این آب اضافی باعث ایجاد جریان جانبی می شود و قسمتی هم به لایه بعدی نفوذ می کند. اما هنگامی که لایه ای از خاک یخ زده باشد، مدل فرض می کند که هیچ جریان جانبی اتفاق نمی افتد و لایه خاک می تواند آب اضافه بر گنجایش زراعی را تا زمانی که اشباع شود، در خود نگه دارد. سپس فرض می کند که رطوبت مازاد بر گنجایش زراعی می تواند از لایه اشباع یخ زده به لایه بعدی نفوذ کند. این فرضیه‌ها باعث انتقال بخش زیادی از بارش زمستان به جریان سطحی در اوایل بهار می شود. بنابراین، یکی از دلایل شبیه سازی جریان بیش از مقدار مشاهده شده در اوایل بهار می تواند فرضیه‌هایی باشد که مدل در انتقال جریان در لایه های یخ زده واشباع در نظر می گیرد. تولسون و شومیکر[2] (۲۰۰۴) گزارش کردند که مدل سوات برای شبیه سازی وقایع شدید طراحی نشده، و معمولاً بزرگ ترین وقایع جریان را کمتر از مقدار اندازه گیری شده تخمین می زند.

چو و شیرمحمدی (۲۰۰۴) با استفاده از مدل سوات در یک حوضه آبریز در مریلند نشان دادند که مدل قادر نیست شرایط هیدرولوژیک را در دوران ترسالی شبیه سازی کند و ذوب سریع برف نیز در هیدروگراف سیل شبیه سازی ناهماهنگی ایجاد می نماید. از جمله دلایل دیگر ضعف مدل، در نظر نگرفتن درصد تراکم پوشش گیاهی می باشد وصرفاً به نوع پوشش گیاهی اشاره شده است. افزایش تراکم پوشش گیاهی باعث افزایش برگاب، مواد آلی خاک و نفوذ آب به خاک شده که این موضوع باعث کاهش رواناب شبیه سازی شده می شود. احتمال قطعیت داده ها بین ۹۲/۵ درصد تا ۹۷/۵ درصد تعیین و باند عدم قطعیت مورد نظر دبی شبیه سازی شده طبق نمودار شکل‌های (۳) و (۴) برای دوره های واسنجی و اعتبارسنجی هر دو ایستگاه تعیین گردید. از آنجا که نمودار دبی مشاهده‌ای و شبیه سازی شده در داخل باند ۹۵ درصد عدم قطعیت قرارگرفته‌اند (زیاد بودن عامل P)، نتایج خروجی مدل با خطای قابل قبولی به دست آمده است. برای بررسی دقت شبیه سازی مدل، نمودار رگرسیون مقادیر جریان شبیه سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی نسبت به هم رسم شد. مقادیر ضریب تعیین نمودار رگرسیون دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی هر دو ایستگاه، توافق مناسب را بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده نشان می دهد (شکل های ۵ و۶). در ایستگاه ماشین نمودار شبیه سازی رواناب برخی از ماه‌های پاییز و تابستان، کمتر از نمودار رواناب مشاهده ای بوده، که ورود آب زهکش مزارع و فاضلاب روستاها به درون رودخانه باعث اختلاف مقادیر مشاهده ای و پیش‌بینی شده بوده است. همچنین در ایستگاه منجنیق، نمودار پیش‌بینی رواناب برخی از ماه‌های تابستان، با لاتر از نمودار رواناب مشاهده ای بوده، که پمپاژ آب از رودخانه جهت آبیاری مزارع برنج حاشیه رودخانه می تواند از دلایل اختلاف مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی شده باشد.

1- Soil Conservation Service (SCS)

2- Tolson and Shoemaker

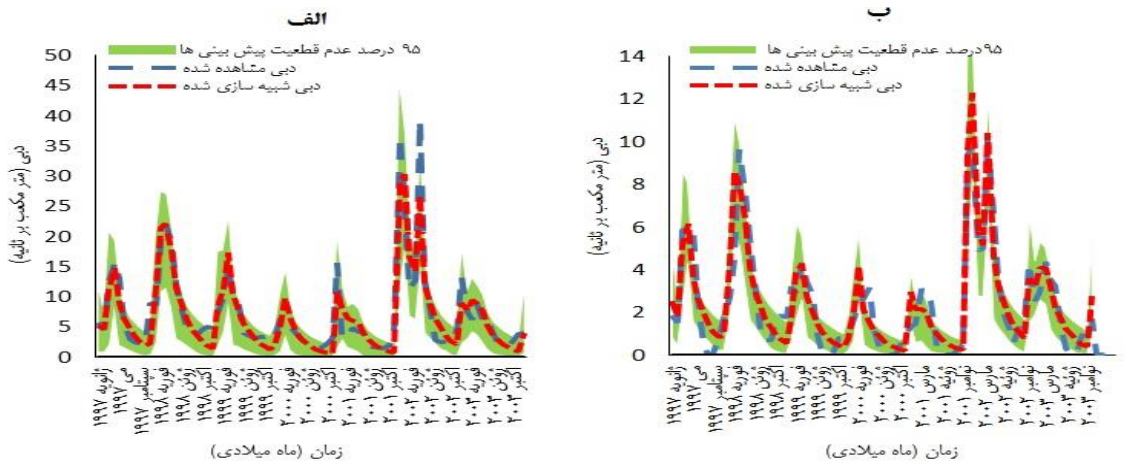
www.SID.ir

Archive of SID

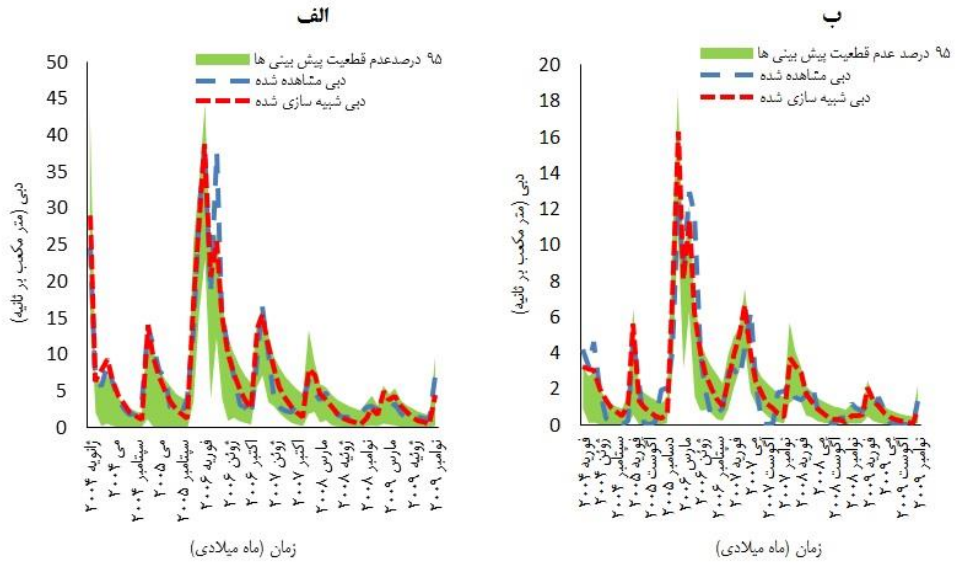
جدول ۵- نتایج اعتبار سنجی رواناب ماهانه

ایستگاه	طول دوره آماری	ضریب تعیین (٪)	ناش ساتکلیف	d-factor	p-factor (٪)
منجنیق	۲۰۰۴-۲۰۰۹	**۷۹	۰/۷۸	۰/۷۶	۷۰
ماشین	۲۰۰۴-۲۰۰۹	**۹۲	۰/۹۲	۰/۸۵	۹۲

** در سطح یک درصد معنی‌دار است



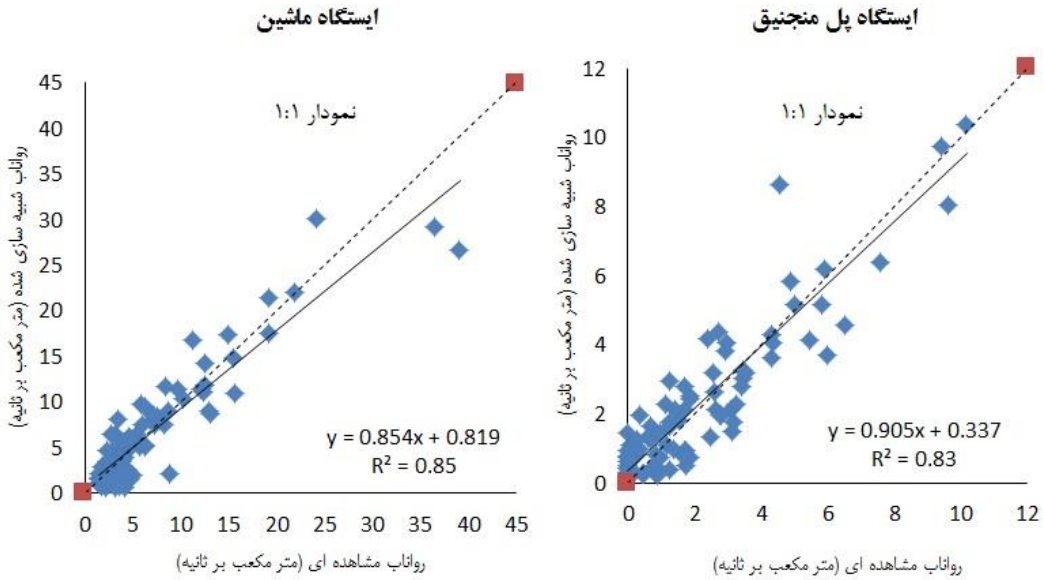
شکل ۳- نمودارنتایج واسنجی و باند عدم قطعیت مدل در ایستگاه ماشین (الف) و پل منجنیق (ب)



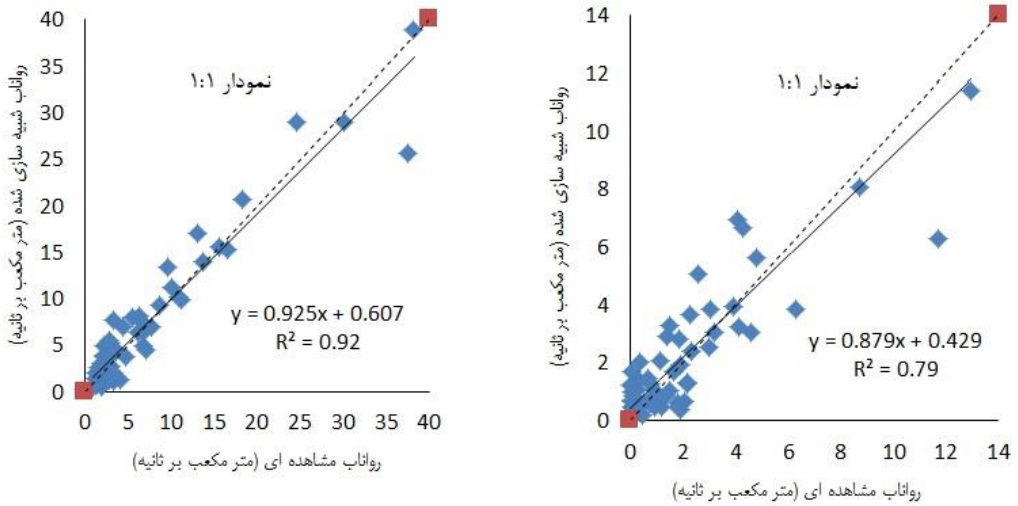
شکل ٤- نمودارنتایج اعتبار سنجی و باند عدم قطعیت مدل در ایستگاه ماشین (الف) و پل منجنیق (ب)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- مقایسه مقادیر رواناب مشاهده و پیش‌بینی شده در مرحله واسنجی(ایستگاه‌های ماشین و پل منجنیق)



شکل ٦- مقایسه مقادیر رواناب مشاهده و پیش‌بینی شده در مرحله اعتبار سنجی(ایستگاه‌های ماشین و پل منجنیق)

نتیجه گیری

در این تحقیق، مدل سوات متوسط رواناب ماهانه را برای دو ایستگاه ماشین و پل منجنیق در مرحله واسنجی و اعتبار سنجی به صورت رضایت‌بخشی شبیه‌سازی کرد. مدل به خوبی تغییرات مکانی و زمانی میزان رواناب را در حوضه شبیه سازی نمود. نتایج نشان داد که مدل تهیه شده قادر به شبیه سازی جریان های حداکثر نیست.از علت‌های ضعف مدل در شبیه سازی رواناب در بعضی از ماه‌ها می توان به شبیه سازی ضعیف ذوب برف برای این حوضه کوهستانی، فرضیه‌های مدل در انتقال جریان در لایه‌های یخ زده و اشباع ، کمبود ایستگاه‌ها ی باران سنجی و کلیماتولوژی در نقاط مختلف حوضه، دقت نکردن در ثبت داده ها وعدم ثبت داده ها در نقاط و زمان‌های مختلف منحنی هیدروگراف وقایع سیلابی جریان رودخانه اشاره کرد. همچنین یکی از محدودیت‌های این مطالعه کمبود اطلاعات مربوط به برداشت و مصارف آب از رودخانه‌های موجود در منطقه بود، که در صورت موجود بودن این اطلاعات، شبیه‌سازی جریان پایه بهتر صورت می گرفت. با توجه به ضعف مدل‌های تجربی در برآورد رواناب و رسوب وکمبود ایستگاه‌های هیدرومتری در اکثر حوضه‌های آبخیز، لازم است از مدل‌هایی که مبنای فیزیکی دارند مانند مدل سوات استفاده شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱- اخوان، س.، عابدی کوپایی، ج.، موسوی، س. ف.، عباس پور، ک.، افیونی، م. و س. س. اسلامیان. ۱۳۸۹. تخمین آب آبی و آب سبز با استفاده از مدل swat در حوضه همدان- بهار . مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۴ (۳) : ۲۳- ۹.

2- Abbaspour, K. C., Van Genuchten, M. Th., Schulin, R. and E. Schlappi. 1997. A sequential uncertainty domain inverse procedure for estimating subsurface flow and transport parameters. Water Resources Research, 33(8): 1879-1892.

3- Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and R. Srinivasan. 2007. Modelling hydrology and water quality in thepre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT . Journal of Hydrology, 333: 413– 430.

4- Beven, K. J. 1993. Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrologic modelling. Advances in Water Resources,16: 41-51.

5- Chu, T. W. and A. Shirmohammadi. 2004. Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the piedmont physiographic region of Maryland. Transactions of the ASAE, 47(4): 1057-1073.

6- Du, B., Ji, X., Harmel, R. D. and L. M. Hauck. 2009. Evaluation of a watershed model for estimating daily flow using limited flow measurements. Journal of the American Water Resources Association, 45(2): 475-484.

7- Haan, C. T., Storm, D. E., Al-Issa, T., Prabhu, S., Sabbagh, G. J. and D. R. Edwards. 1998. Effect of parameter distributions on uncertainty analysis of hydrologic models. Transactions of the ASAE, 41(1): 65-70.

8- Lal, R. 2005. Soil erosion and carbon dynamics. Soil and Tillage Research, 81(2): 137-142.

9- Mishra, A., Kar, S. and V. P. Singh. 2007. Determination of runoff and sediment yield from a small watershed in sub-humid subtropics using the HSPF model. Hydrological Processes, 21(22): 3035-3045.

10- Motovilov, Y. G., Gottschalk, L., Engeland, K. and A. Rodhe. 1999. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. Agricultural and Forest Meteorology, 98-99: 257-277.

11- Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., Williams, J. and K. King. 2005. Soil and water assessment tool: Theoretical documentation, version 2005. Texas, USA.

12- Rostamian, R., Jaleh, A., Afyunia, M., Mousavian, S.F., Heidarpour, M., Jalalian, A. and K. Abbaspour. 2010. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. Hydrological Sciences Journal, 53(5): 977 – 988.

13- Shepherd, B., Harper, D. and A. Millington. 1999. Modelling catchment-scale nutrient transport to watercourses in the U.K. Hydrobiologia, 395-396: 227-238.

14- Thampi, S., Raneesh, K. and T. V. Surya. 2010. Influence of scale on SWAT model calibration for stream flow in a river basin in the humid tropics. Water Resources Management, 24(15): 4567-4578.

15- Tolson, B. A. and C. A. Shoemaker. 2004. Watershed modeling of the cannonsville basin using SWAT2000: Model development, calibration and validation for the prediction of flow, sediment and phosphorus transport to the Cannonsville reservoir. Technical Report, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell Univ., Ithaca, N. Y.

www.SID.ir