

ارزیابی کارائی مدل نیمه توزیعی SWAT در شبیه سازی جریان رودخانه ای (مطالعه موردی حوضه آبخیز تالار استان مازندران)

عباس غلامی^{۱*}، کاکا شاهی^۲، محمود حبیب نژاد روشن^۳، مهدی وفاخواه^۴، کریم سلیمانی^۵

۱. دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و عضو هیات علمی دانشگاه شمال، آمل

۲. دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

۳. استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

۴. دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۵. استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۷/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۸/۸)

چکیده

در این تحقیق به منظور ارزیابی کارائی و بررسی پارامترهای مؤثر بارش-رواناب در حوضه تالار استان مازندران از مدل SWAT استفاده شده است. واسنجی با کمک این مدل با استفاده از مقادیر بارش روزانه ۸ ایستگاه باران سنجی، مقادیر دمای روزانه ۵ ایستگاه تبخیر سنجی و با خروجی دبی در ایستگاه شیرگاه- تالار انجام شده است. نحوه انجام کالیبراسیون و اعتبار سنجی با استفاده از این مدل بدین صورت بوده است که در ابتدا بر اساس ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا، مدل شبیه سازی شد. در مرحله اعتبار سنجی ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا، بررسی شاخص های p -Value و t -State نیز نشان-دهنده رفتار و حساسیت پارامترها در این مرحله می باشد. در این مرحله نیز پارامتر CN2-MGT با کمترین مقدار شاخص p -Value و بالاترین مقدار شاخص t -State به عنوان حساس ترین پارامتر مورد شناسایی قرار گرفته است. نتایج مرحله اول کالیبراسیون مدل نشان داد که مدل دارای ضعف هایی در شبیه سازی می باشد که این موضوع به خوبی در ضرایب p -factor، α -factor، R^2 و $N.S$ به ترتیب با ۰/۰۴، ۳/۹۱، ۰/۰۱ و ۴۴/۱۵- نشان داده شده است. با توجه به این مسائل بر اساس بررسی نتایج مرحله اول این مطالعه، اقدام به واسنجی ۸ پارامتر حساس از میان ۲۱ پارامتر اولیه شده است تا تطابق بهتری بین دبی های مشاهده ای و شبیه سازی شده بوجود آید. در مرحله اعتبار سنجی ۸ پارامتر منتخب و حساس در سطح اعتماد ۹۵٪، تطابق بالایی بین دبی های مشاهده ای و شبیه سازی شده بوجود آمد که نتایج پلاتهای نقطه ای این مرحله نیز به این موضوع اشاره می نماید مقایسه ضرایب p -factor، α -factor، R^2 و $N.S$ این مرحله نیز به ترتیب با ۰/۹۸، ۰/۷۹، ۰/۹۳ و ۰/۹۳ نیز نشان از بهبود شبیه سازی مدل در این مرحله دارد که سبب افزایش کارائی مدل جهت شبیه سازی می باشد.

واژه های کلیدی: برنامه SUFI2، پارامترهای حساس، کالیبراسیون، اعتبارسنجی

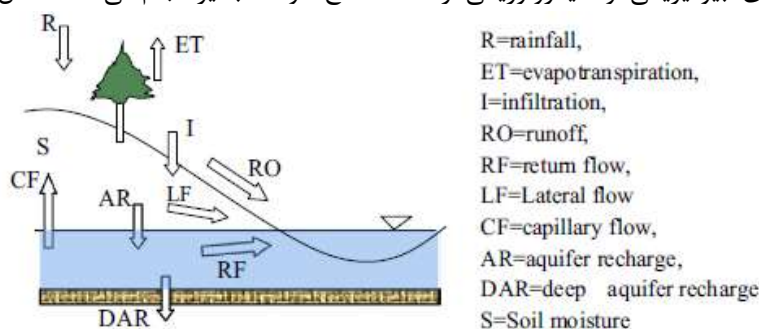
مقدمه

استانداردهای بالاتر زندگی، تغییرات جمعیتی، سیاست های استفاده از آب و زمین و دیگر عوامل بیرونی سبب افزایش فشار در مقیاس محلی، منطقه ای و ملی بر تدارک آب برای آبیاری، تولید انرژی، استفاده های صنعتی، مصارف خانگی و محیط زیست می شود (Abbaspour et al., 2015). مدل های هیدرولوژی ابزارهای مهمی برای برنامه ریزی پایدار استفاده از منابع آبی در برخورد با تغییرات تقاضای آنها می باشند. مدل SWAT (The Soil and Water Assessment Tool) نشان داد که ابزار مناسبی

برای مدیریت منابع آبی در اقصی نقاط جهان می باشد (Arnold et al., 1998). در مدل SWAT چهار مرحله هیدرولوژیکی که شامل رواناب سطحی، جریان پایه، تبخیر مجدد آب زیرزمینی و تراوش آب در سفره زیرزمینی می باشد با استفاده از یک گروه از معادلات تجربی مدل بندی می شود (Chen and Yiping, 2012). مدل SWAT به منظور ارزیابی اثرات عملیات مدیریت زمین بر منابع آبی، رسوب و خروجی مواد شیمیائی از مزارع در حوضه های آبخیز بزرگ و پیچیده با خاکها، کاربری ها و شرایط مدیریتی متفاوت در دوره های طولانی مدت توسعه پیدا کرده است. مدل SWAT به اطلاعات ویژه ای در مورد آب و هوا، ویژگی های خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عملیات مدیریت

* نویسنده مسئول: Gholami@shomal.ac.ir

برای مراتع علف بلند تحت چرای متوسط و مناطق جنگلی بکار بردند که می‌تواند برای کالیبراسیون دیگر مدلها همراه با صحت‌سنجی‌ها و استفاده‌های آتی در مجموعه مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد. (Mirsane *et al* (2009) با استفاده از مدل SWAT به برآورد رواناب در حوضه آبخیز رودخانه کرخه اقدام کردند. نتایج مطالعه در خروجی دو ایستگاه هیدرومتری کاکارضا و پل‌کشکان نشان داد که ایستگاه پ‌کشکان با قرارگرفتن در قسمت پایین دست حوضه و داشتن وسعت بیشتر نسبت به ایستگاه کاکارضا از دقت بیشتری برخوردار است. (Rostameian *et al* (2008) با استفاده از مدل SWAT به شبیه‌سازی رواناب در حوضه آبخیز بهشت‌آباد رودخانه کارون اقدام کردند که این مطالعات در شش زیرحوضه انجام شد و کیفیت شبیه‌سازی مدل با استفاده از ضرایب p-factor، d-factor، ضریب R2 و ضریب NS ارزیابی شد. مقادیر این ضرایب آماری در ایستگاه بهشت‌آباد با بیشترین مساحت به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۴۸، ۰/۸۵ و ۰/۷۵ به دست آمد که نسبت به بقیه ایستگاه‌ها بیشترین دقت را دارد و در ایستگاه دهنو (با کمترین مساحت) مقادیر این ضرایب به ترتیب ۰/۴۲، ۰/۰۴، ۰/۵۷ و ۰/۴۷ به دست آمد که نسبت به بقیه ایستگاه‌ها کمترین دقت را دارد. (Omani *et al* (2006) با استفاده از مدل SWAT دبی جریان ماهانه رودخانه کارون را شبیه‌سازی کردند. در مرحله واسنجی مدل، مقدار ضریب R2 و ضریب NS در ایستگاه ماهی دشت ۰/۸۹ و ۰/۸۸ و در ایستگاه سنجابی ۰/۸۱ و ۰/۸۰ به دست آمد. نتایج نشان داد که زیرحوضه ماهی دشت با داشتن مساحت بیشتر نسبت به ایستگاه سنجابی دقت بیشتری دارد. در سال‌های گذشته از مدل SWAT در مدیریت حوضه‌های آبخیز ایران استفاده شده است مانند حوضه آبخیز اهرچایی در استان تبریز (Atfi, 2014)، حوضه آبخیز گرگان‌رود (Salmani, 2011) و حوضه آبخیز هراز در استان مازندران (Golshan, 2013). بسته نرم‌افزاری SWAT محاسبات واضحی از اجزای تشکیل‌دهنده موازنه آبی و منابع آبی متعاقب آن (آب سبز و آب آبی) را در سطح حوضه آبخیز انجام می‌دهد (شکل ۱).



شکل ۱. نمودار خلاصه شده‌ای از موازنه آبی مفهومی در مدل SWAT

زمین که در حوضه آبخیز رخ می‌دهد، نیازمند است (*et al.*, Neitsch 2005). این مدل به‌طور موفقیت‌آمیزی برای شبیه‌سازی رواناب، مقدار رسوب و بار مغذی خاک در بسیاری از حوضه‌ها در سراسر آمریکا، آسیا و اروپا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Di Luzio *et al.*, 2004). (Fukunaga *et al.* (2015) کارآئی مدل SWAT را در حوضه آبخیز Itampermirim از مناطق استوایی برزیل بکار بردند. در این تحقیق داده‌های سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۰ به‌منظور کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل استفاده شد. نتایج ارزیابی این محققان نشان داد که مدل در کالیبراسیون اولیه به جریان پایه بسیار حساس است. نتایج آنالیز اعتبارسنجی با ضریب ناش- ساتکلیف با مقدار ۰/۶۷ نشان داد که کاربرد مدل در این منطقه رضایت‌بخش می‌باشد. مطالعات دیگری نیز توسط (Aragão *et al.*, Andrade *et al.* (2013)، (Durães *et al.*, (2013)، و سایرین در برزیل مخصوصاً در حوضه‌های آبخیزی با داده‌های زیست‌محیطی اندک و همچنین در نقاط دیگر جهان توسط (Baker and Miller (2013) (Thampi *et al* (2010)، (Brzozowski *et al* (2011) به نتایج رضایت‌بخشی در استفاده از این مدل رسیدند. در تحقیق دیگری (Wellen *et al.* (2014) مدل SWAT را برای ارزیابی عدم قطعیت منابع آلاینده غیر نقطه‌ای در حوضه آبخیز Red hill creek و Grindstone Creek کانادا بکار بردند. این محققان به‌طور کلی در استفاده‌های آتی از این مدل، روشی را پیشنهاد نمودند تا عدم قطعیت منابع مختلف کاهش یابد. در مطالعه دیگری، (Lei Qiao *et al.* (2015) مدل SWAT را برای کالیبراسیون مناطق جنگلی تبدیل‌شده به مراتع در حوضه آبخیز Cimarron در شمال ایالت اکلاهما ایالات متحده آمریکا بکار بردند. متوسط ضریب ناش-ساتکلیف (NSCE) در دوره کالیبراسیون مدل برای رواناب روزانه و ماهانه در حوضه آبخیز آزمایشی به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۹۷ و برای مراتع و برای مناطق جنگلی ۰/۹۰ و ۰/۸۴ و همین‌طور متوسط مقدار ضریب ناش- ساتکلیف برای رواناب ماهانه در یک دوره ۲۲ ساله به ۰/۷۹ رسید. آنها جزئیات پارامترهای بیوفیزیکی و هیدرولوژیکی را

می‌شود. عامل P-factor که درصد داده‌های اندازه‌گیری شده‌ای است که در محدوده بازه عدم قطعیت ۹۵٪ (۹۵ppu) پیش‌بینی مدل قرار می‌گیرند. بر این اساس همه مراحل ورودی‌های مدل همانند توزیع بارندگی و دما که در خروجی مدل آشکار می‌شوند (که با همان خطاها اندازه‌گیری شده‌اند) اصلاح می‌گردند. این موارد در آن حد است که نمی‌توان در اندازه‌گیری آن را محاسبه کرد، چونکه در پیش‌بینی، نامشخص است و در مدل ایجاد خطا می‌نماید. بنابراین، درصد داده‌های بدست آمده بوسیله پیش‌بینی عدم قطعیت یک اندازه‌گیری برای محاسبه در طی این دوره مفید می‌باشد. محدوده ۹۵٪ بوسیله سطوح ۲/۵٪ و ۹۷/۵٪ توزیع جمعی متغیر خروجی به‌دست‌آمده بوسیله تابع نمودار لاتین هایپرکیوب (Latin Hypercube) به دست می‌آید. خارج از محدوده ۵٪ نشان‌دهنده شبیه‌سازی نادرست می‌باشد. به خاطر اینکه همه انواع عدم قطعیت در متغیرهای اندازه‌گیری، نمودار می‌گردد (مانند دبی)، لذا عدم قطعیت پارامترها در سطح اعتماد ۹۵٪ برای همه عوامل ایجادکننده آن محاسبه می‌شود. پائین آوردن عدم قطعیت کلی به داخل اجزای متنوع، بسیار جالب می‌باشد، اما انجام آن کاملاً فرق دارد و بایستی دقت نمود که روش آشکار و واضحی در این زمینه هنوز وجود ندارد. یکی دیگر از ابزارهای اندازه‌گیری در طی دوره کالیبراسیون و آنالیز عدم قطعیت، پارامتر R-factor است که متوسط محدوده ۹۵٪ است که بوسیله انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده تقسیم می‌شود. بر این اساس که sufi2، بیشترین داده‌های اندازه‌گیری شده را با کوچکترین محدوده عدم قطعیت ممکن ایجاد می‌نماید. بهبود تناسب و درجه‌ای که با آن مدل کالیبراسیون شده است برای موارد عدم قطعیت بوسیله دو عامل اندازه‌گیری و توضیح داده‌شده در بالا محاسبه می‌شود. به‌صورت تئوری، مقدار p-factor بین ۰ و ۱۰۰٪ و پیرو آن مقدار R-factor بین صفر و بی‌نهایت می‌باشد. یک شبیه‌سازی با P-factor مساوی ۱ و R-factor مساوی صفر نشان‌دهنده این است که داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده کاملاً مطابق هم می‌باشند. هر چقدرکه از این محدوده‌ها دورتر شویم مبنایی برای قضاوت ما در این زمینه می‌باشد. با یک P-factor بزرگتر، یک R-factor بزرگتر نیز بدست می‌آید. بنابراین بایستی یک تعادل بین این دو عامل بوجود آید. زمانی که مقادیر قابل قبول R-factor و P-factor بدست می‌آید نشان‌دهنده این است که عدم قطعیت پارامترها در محدوده قابل قبول می‌باشند. از دیگر عوامل تعیین‌کننده صحت تناسب، مقادیر R2 و ضریب ناش- ساتکلیف (N.S) بین مشاهدات و بهترین شبیه‌سازی نهائی می‌باشد.

چرخه هیدرولوژیکی در SWAT بر اساس معادله موازنه آبی ذیل شبیه‌سازی می‌شود:

(رابطه ۱)

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{sep} - Q_{gw})$$

که SW_t ظرفیت نهائی آب در خاک در روز به میلی‌متر، t زمان (روز)، R_{day} مقدار بارش در روز i (به میلی‌متر)، E_a و Q مقدار تبخیر و تعرق در روز I ام (به میلی‌متر)، w_{sep} مقدار آب ورودی به لایه آبی از پروفیل خاک در روز I ام (به میلی‌متر) و Q_{gw} مقدار آب جریان برگشتی در روز I ام به میلی‌متر است. بارش در SWAT به شکل بارندگی و برف تقسیم می‌شود. یک الگوریتم سه گانه برای بارش برف در دسترس است که شامل درجه روز (D.D). (Fontaine et al., 2002). محدوده ارتفاع مازاد DD و موازنه انرژی بر اساس مدل‌های SNOW17 می‌باشد. (Zhang et al, 2008). مقدار رواناب سطحی با استفاده از نسخه تغییر یافته سرویس حفاظت خاک (SCS) از شماره منحنی (CN) محاسبه می‌شود. برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق، سه روش در SWAT در دسترس است. روش پنمن-مانتیس، پریستلی-تیلور و هارگریوز. (Neitsch et al, 2005). روندیابی کانال رودخانه‌ای به روش‌های ذخیره متغیر و ماسکینگ انجام می‌شود. جریان خروجی از یک کانال برای انتقال هدر رفت، تبخیر، کانال‌های فرعی و جریان برگشتی اصلاح می‌شود (Arnold et al, 1998). به‌منظور کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل SWAT از بسته نرم‌افزاری SWAT CUP (SWA Calibration and uncertainty program) استفاده می‌شود. نرم‌افزار الحاقی SWAT-CUP دارای برنامه‌های گوناگونی مانند Parasol، Glue، SUFI2 و MCMC و غیره می‌باشد که هرکدام از این بسته‌ها قابلیت کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل SWAT را به‌منظور به دست آوردن بهترین شبیه‌سازی را دارا می‌باشند (Abbaspour et al., 2008). در آنالیز حساسیت مدل با استفاده از شاخص‌هایی مانند P-Value و t-State می‌توان حساس‌ترین پارامترها را شناسایی نمود و با استفاده از شاخص‌های ارزیابی مدل مانند R2، Ens، P-factor و R-factor می‌توان کارائی مدل را مورد سنجش و ارزیابی قرار داد (Salmani et al, 2012) که در تحقیق حاضر از بسته نرم‌افزاری SWAT-CUP و برنامه SUFI2 به‌منظور به دست آوردن و سنجش پارامترهای فوق‌الذکر استفاده گردید.

در برنامه SUFI2، عدم قطعیت پارامترها برای همه منابع عدم قطعیت همانند عدم قطعیت در متغیرهای همراه آن (مانند بارش)، مدل‌های مفهومی، پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود. عدم قطعیت با استفاده از دو شاخص، کمی

در شرایطی خاص که سیستم‌های فشار زیادی که بر روی این دریا قرار می‌گیرند موجب رانش هوا به سمت رشته کوه‌های البرز شمالی می‌شود و در هنگام عبور از روی دریا رطوبت لازم به آن تغذیه می‌گردد و در همین صعود از روی کوه‌های البرز، ابرهای اوروگرافیکی تشکیل و موجب بارندگی در منطقه مطالعاتی و نواحی مشابه کرانه‌های جنوبی دریای مازندران می‌گردد. رودخانه تالار پس از خروجی حوضه حدود ۵۰ کیلومتر را در دشت قائم‌شهر - بابل طی نموده و به دریای خزر می‌ریزد. از شهرها و روستاهای مهم درون حوضه می‌توان به پل سفید، ورسک، آلاشت، گدوک، دوآب، زیرآب، طالع رودبار و سفیدارگله اشاره نمود. رژیم بارندگی منطقه مورد مطالعه کاملاً مدیترانه‌ای است. بارندگی فصلی کاملاً متغیر است. ۳۳/۲ درصد بارش در زمستان، ۱۷/۲ درصد در تابستان، ۲۴/۲ درصد در پائیز و ۲۵/۴ درصد در بهار حادث می‌شود. شکل (۲) موقعیت تقریبی حوضه تالار در استان مازندران و کشور ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۲. موقعیت حوضه تالار در استان مازندران و کشور ایران

اطلاعات مورد نیاز مدل

به منظور آماده‌سازی، واسنجی و اعتبار سنجی مدل SWAT در

در اینجا بایستی توجه نمود که هدف این نیست که بهترین شبیه‌سازی بر اساس یک اندازه‌گیر آماری را به دست آوریم بلکه می‌خواهیم بهترین راه‌حل که واقعاً در محدوده قابل قبول پارامتر باشد را به دست آوریم. آنالیز حساسیت در مدل SWAT-CUP نیز با دو روش انجام می‌شود. روش اول روش به اصطلاح One-at-a-time می‌باشد که در آن فقط تغییرات یک پارامتر خروجی مورد بررسی قرار می‌گیرد و روش دوم، روش کلی یا به اصطلاح Global Sensivity Analysis است که همزمان تمام پارامترها تغییر کرده و تغییرات خروجی مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و در نهایت پارامترهای حساس رده‌بندی می‌شود. (Abbaspour, 2007)

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز تالار در البرز مرکزی و در دو طرف جاده آسفالتی تهران، قائم‌شهر واقع گردیده و دارای $52^{\circ}35'22''$ و $35^{\circ}44'23''$ طول جغرافیایی شرقی و $36^{\circ}19'16''$ عرض جغرافیایی شمالی است و توسط یک رودخانه اصلی بنام تالار که امتداد جنوب به شمال زهکش می‌گردد و از سرشاخه‌های مهم آن می‌توان به رودخانه‌های سرخ‌آباد، شورآب، کبیر، بزلا، چرات و شش رودبار اشاره کرد. رودخانه اصلی این حوضه دارای طول کل حدود ۱۰۰ کیلومتر بوده و در نزدیکی خروجی حوضه با رودخانه کسلیان تلاقی می‌کند و مساحت کل حوضه $210088/7$ هکتار می‌باشد. حوضه آبخیز تالار که بین حداقل و حداکثر ارتفاع در حدود ۳۶۹۵ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد دارای ارتفاعات مهمی همچون پاجون وزراک، چیلکا شمعدان، چماز، سامان سی، چهار تب، سفید لت، تروا، کند دره، سیاه کوه، بشم، سیاه دره، آسمان لو، شاه محمد قله، علم‌دار می‌باشد. بلندترین ارتفاع در منتهی‌الیه شمال غربی حوضه، قله شلجمار زردین با ارتفاع ۳۹۱۰ متر و پست‌ترین نقطه در خروجی حوضه با ارتفاع ۲۱۵ متر از سطح دریای آزاد قرار گرفته‌اند. حوضه مورد مطالعه عمدتاً دارای الگوی آبراه‌های شاخه درختی، موازی و ندرتاً انشعابی است. شکل عمومی حوضه پهن و دارای امتداد شمالی جنوبی می‌باشد. اراضی پست حدود ۲۲ درصد و اراضی متوسط حدود ۷۰/۲ درصد و اراضی مرتفع حدود ۷/۸ درصد از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. از لحاظ اقلیمی علاوه بر سیستم‌های جوی که اکثر مناطق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند به علت اینکه منطقه مطالعاتی در نزدیکی دریای مازندران واقع شده است لذا

اقلیمی مورد نیاز نیز از اداره کل هواشناسی، سازمان آب منطقه- ای استان مازندران تهیه گردید. در ابتدا جهت انتخاب ایستگاه- های مناسب به منظور اهداف این تحقیق نمودارهای میله‌ای مربوط به دمای روزانه، دبی روزانه، بارش روزانه ایستگاه‌های منطقه رسم شد که در نهایت از میان ۱۴ ایستگاه دارای آمار بارش روزانه، تعداد هشت ایستگاه و برای دمای روزانه از میان شش ایستگاه، تعداد پنج ایستگاه و برای دبی روزانه نیز ایستگاه شیرگاه تالار که در نزدیکی خروجی حوضه می‌باشد انتخاب شدند. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های انتخاب شده جهت انجام این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های انتخاب شده جهت انجام پژوهش

ارتفاع	عرض جغرافیائی	طول جغرافیائی	نام حوضه آبریز اصلی	نام رودخانه	نام ایستگاه
۲۲۰	۵۷-۱۷-۳۶	۱۰-۵۳-۵۲	تالار	تالار	شیرگاه
۱۱۰۶	۴۶-۰۵-۳۶	۲۴-۱۰-۵۳	تالار	کسیلیان	ولیک بن
۲۲۰	۰۵-۱۸-۳۶	۱۴-۵۳-۵۲	تالار	کسیلیان	شیرگاه
۵۸۰	۴۴-۰۶-۳۶	۳۱-۰۳-۵۳	تالار	تالار	پل سفید
۱۲۱۸	۱۳-۰۱-۳۶	۰۸-۵۴-۵۲	تالار	شش رودبار	پالندروبار
۲۲۰	۵۷-۱۷-۳۶	۱۰-۵۳-۵۲	تالار	تالار	شیرگاه
۱۵۰۰	۵۵-۰۵-۳۶	۰۰-۱۳-۵۳	تالار	کسیلیان	ولیک چال
۵۸۰	۲۴-۰۶-۳۶	۵۵-۰۳-۵۳	تالار	تالار	پل سفید
۱۵۵۷	۱۱-۰۴-۳۶	۴۵-۰۹-۵۳	تالار	کسیلیان	کله
۱۲۵۰	۴۵-۰۵-۳۶	۲۶-۱۱-۵۳	تالار	کسیلیان	سودکلا
۱۳۰۰	۰۸-۰۴-۳۶	۱۴-۱۲-۵۳	تالار	کسیلیان	درزیکلا
۱۶۸۰	۱۰-۰۴-۳۶	۲۱-۵۰-۵۲	تالار	تالار	آلاشت
۱۲۲۵	۱۳-۰۱-۳۶	۱۱-۵۴-۵۲	تالار	شش رودبار	پالندروبار
۲۵۹	۲۰-۱۸-۳۶	۳۰-۵۳-۵۲	تالار	تالار	شیرگاه
۱۳۳۷	۳۶-۰۳-۳۶	۴۲-۱۳-۵۳	تالار	کسیلیان	سنگده

ابتدا نقشه DEM حوضه آبخیز تالار با قدرت تفکیک ۵۰ متر از سازمان‌های ذیربط تهیه شد. این یک نقشه پایه جهت تهیه سایر نقشه‌های مرتبط می‌باشد. سایر نقشه‌های موردنیاز شامل نقشه شیب، کاربری اراضی حوضه از روی اطلاعات موجود در نقشه DEM به شرح ذیل تهیه گردید. در ابتدا نقشه کلاسه‌بندی شیب در پنج کلاس مختلف تهیه گردید. نقشه کاربری حوضه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و استفاده از اطلاعات میدانی در شش کلاس مختلف تهیه شد. نقشه خاک‌شناسی و قابلیت‌اراضی حوضه نیز با استفاده از گزارش‌های خاکشناسی و قابلیت‌اراضی مطالعات توجیهی حوضه آبخیز استان مازندران در ۳۶ کلاس مختلف تهیه گردید. داده‌های

خاک‌شناسی آماده می‌نماید. پس از انجام این مراحل برای حوضه مورد مطالعه، خروجی مدل SWAT به دست می‌آید. در این پژوهش سال آبی ۲۰۰۳-۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶-۲۰۰۷ به مدت ۴ سال برای کالیبراسیون و سال آبی ۲۰۰۸-۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰-۲۰۰۹ به مدت ۲ سال برای اعتبار سنجی مدل در بسته نرم‌افزاری SWAT-CUP استفاده شد. با توجه به اینکه داده‌های مورد استفاده دبی در این نرم‌افزار به صورت روزانه در سال‌های در نظر گرفته شده بوده است، لذا مبنایی برای تحلیل صورت گرفته بوده است.

نتایج و بحث

در این پژوهش مدل SWAT بر اساس مقادیر بارش روزانه هشت ایستگاه باران‌سنجی، مقادیر دمای روزانه ۵ ایستگاه تبخیر

در این پژوهش سعی شده است که ایستگاه‌هایی انتخاب شوند که دارای آمار کامل و نزدیک به زمان حال باشند. لذا سال آماری ۲۰۰۳-۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹-۲۰۱۰ به عنوان سال مشترک آماری انتخاب شد. پس از آماده‌سازی نقشه‌ها و اطلاعات اقلیمی پایه موردنیاز، مدل SWAT برای این حوضه آبخیز به اجرا درآمد. این مدل در ابتدا با مینا قرار دادن نقشه DEM و ترسیم شبکه‌های رودخانه‌ای و مشخص کردن ایستگاه خروجی، اجرای مدل را آغاز می‌نماید؛ و سپس با تلفیق نقشه‌های خاک‌شناسی، شیب و کاربری اراضی، نقشه پایه اولیه را ترسیم می‌نماید و سپس (HRU (Hydrological Response Unite) یا واحد پاسخ هیدرولوژیکی که یکی از واحدهای مهم در مدل SWAT را بر اساس سهم هر یک از عوامل شیب، کاربری اراضی و

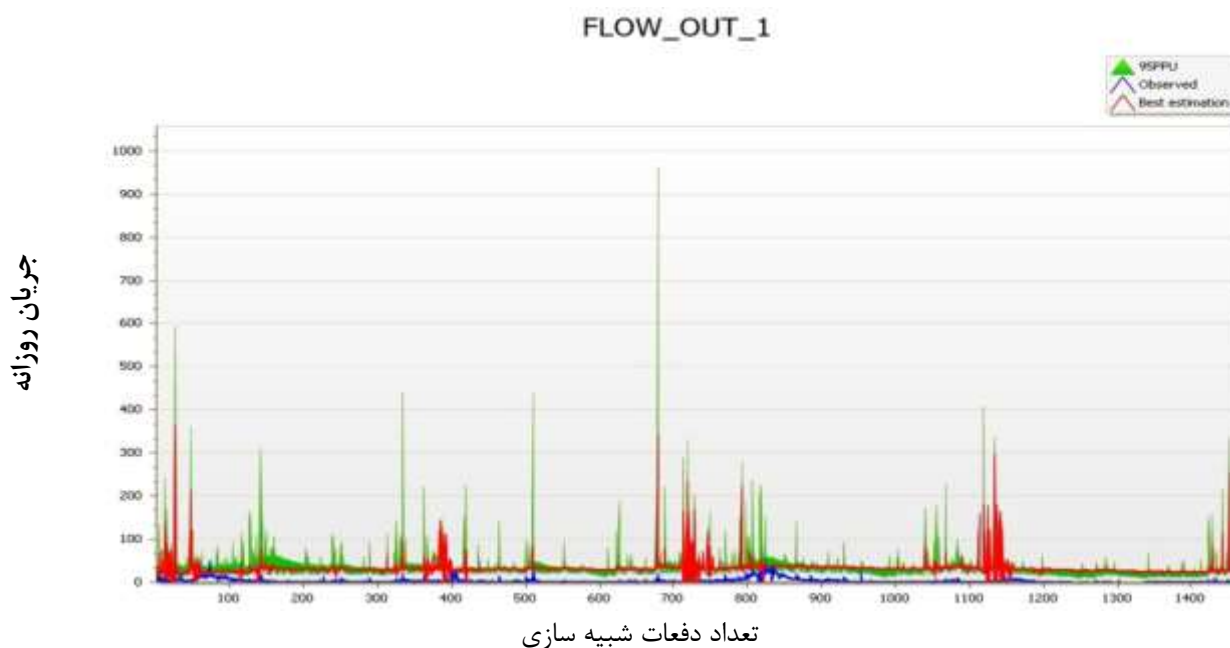
جدول ۲. پارامترهای با حساسیت بالای جریان روزانه رودخانه‌ای و محدوده تغییرات آن، استخراج شده از کالیبراسیون مدل SWAT CUP با استفاده از نرم افزار الحاقی SUFI2

شماره ردیف	نام پارامتر	حداقل مقدار	حداکثر مقدار
۱	r_CN2.mgt	-۰/۲	۰/۲
۲	v_ALPHA_BF.gw	۰	۱
۳	v_GW_DELAY.gw	۳۰	۴۵۰
۴	v_GWQMN.gw	۰	۲
۵	r_GW_REVAP.gw	۰/۰۹	۰/۲۷۴
۶	r_ESCO.hru	۰/۸۷۸	۱/۰۳۸
۷	r_CH_N2.rte	۰/۱۱۴	۰/۳۴۸
۸	r_CH_K2.rte	-۲۲/۲۷۸	۷۹/۷۷۸
۹	r_ALPHA_BNK.rte-	-۰/۲۴۹	۰/۵۸۹
۱۰	r_SOL_K().sol	-۰/۸	۰/۸
۱۱	r_SOL_AWC().sol	-۰/۲	۰/۲
۱۲	r_EPCO.hru	۰/۰۱	۱
۱۳	r_PLAPS.sub	۰	۱۰۰
۱۴	r_RCHRG_DP.gw	۰	۱
۱۵	r_REVAPMN.gw	۰	۵۰۰
۱۶	r_SFTMP.bsn	-۵	۵
۱۷	r_SMFMN.bsn	۰	۱۰۰
۱۸	r_SMTMP.bsn	-۵	۵
۱۹	r_TIMP.bsn	۰/۰۱	۱
۲۰	r_TLAPS.sub	-۱۰	۰
۲۱	r_SMFMX.bsn	۰	۱۰۰

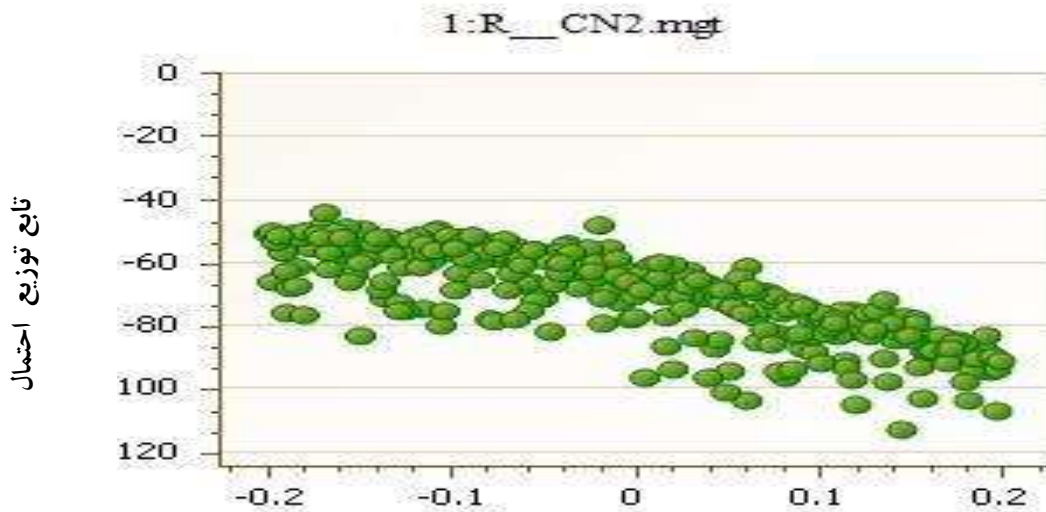
سنجی با خروجی دبی در ایستگاه شیرگاه- تالار واسنجی شد. مدل SWAT-CUP یک نرم‌افزار الحاقی به مدل SWAT می‌باشد که قابلیت کالیبراسیون و اعتبار سنجی دوره‌های شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار SWAT را دارد که از برنامه‌های مختلفی مانند SUFI2، PARASOL، GLUE، MCMC استفاده می‌نماید. در این تحقیق جهت صحت‌سنجی و اعتبارسنجی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده از برنامه SUFI2 استفاده شده است. نحوه انجام کالیبراسیون و اعتبار سنجی با استفاده از این نرم‌افزار بدین صورت بود که در ابتدا بر اساس ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا به شرح جدول (۲)، مدل شبیه‌سازی شد.

شکل شماره (۳) نمودار جریان روزانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ۲۱ پارامتر حساس اولیه را نشان می‌دهد. نظر به اینکه جریان‌های حداکثر پدیده‌های نادری می‌باشند که این مسئله باعث می‌شود که آنها به خوبی مدل‌بندی نشوند.

نمودار نقطه‌ای دو شاخص t-stat و p-value در مرحله کالیبراسیون اولیه در شکل‌های شماره (۴ و ۵) نشان داده شده است. به عنوان نمونه شکل شماره (۴) نمودار نقطه‌ای پارامتر R-CN2.mgt و شکل شماره (۵) نیز خلاصه‌ای از نمودار نقطه‌ای ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا در مرحله کالیبراسیون با نرم‌افزار الحاقی SUFI2 مدل SWATCUP را نشان می‌دهد. شکل شماره (۶) نیز جریان روزانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده از ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا در مرحله اعتبارسنجی مدل SWATCUP با استفاده از نرم‌افزار الحاقی SUFI2 را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمودار جریان روزانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده از ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا در مرحله کالیبراسیون مدل SWATCUP با استفاده از نرم‌افزار الحاقی SUFI2



حداقل و حداکثر مقدار پارامتر

شکل ۴. نمودار نقطه‌ای پارامتر R-CN2.mgt در مرحله کالیبراسیون با نرم‌افزار الحاقی SUFI2 مدل SWATCUP

شکل شماره (۱۱) مقایسه دبی برآوردی و مشاهداتی در مرحله اعتبار سنجی هشت پارامتر حساس را نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه شکل شماره (۱۲) ترسیم نقطه‌ای پارامتر R-CN2.mgt و شکل شماره (۱۳) نیز خلاصه‌ای از ترسیم نقطه‌ای هشت پارامتر با حساسیت بالا در مرحله اعتبارسنجی با نرم‌افزار الحاقی SUFI2 مدل SWATCUP را نشان می‌دهد. جدول (۴) حساس‌ترین پارامترهای محاسبه‌شده این هشت پارامتر با حساسیت بالا در مرحله اعتبار سنجی مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۳. هشت پارامتر حساس جریان روزانه رودخانه‌ای، استخراج‌شده از مرحله اول کالیبراسیون مدل

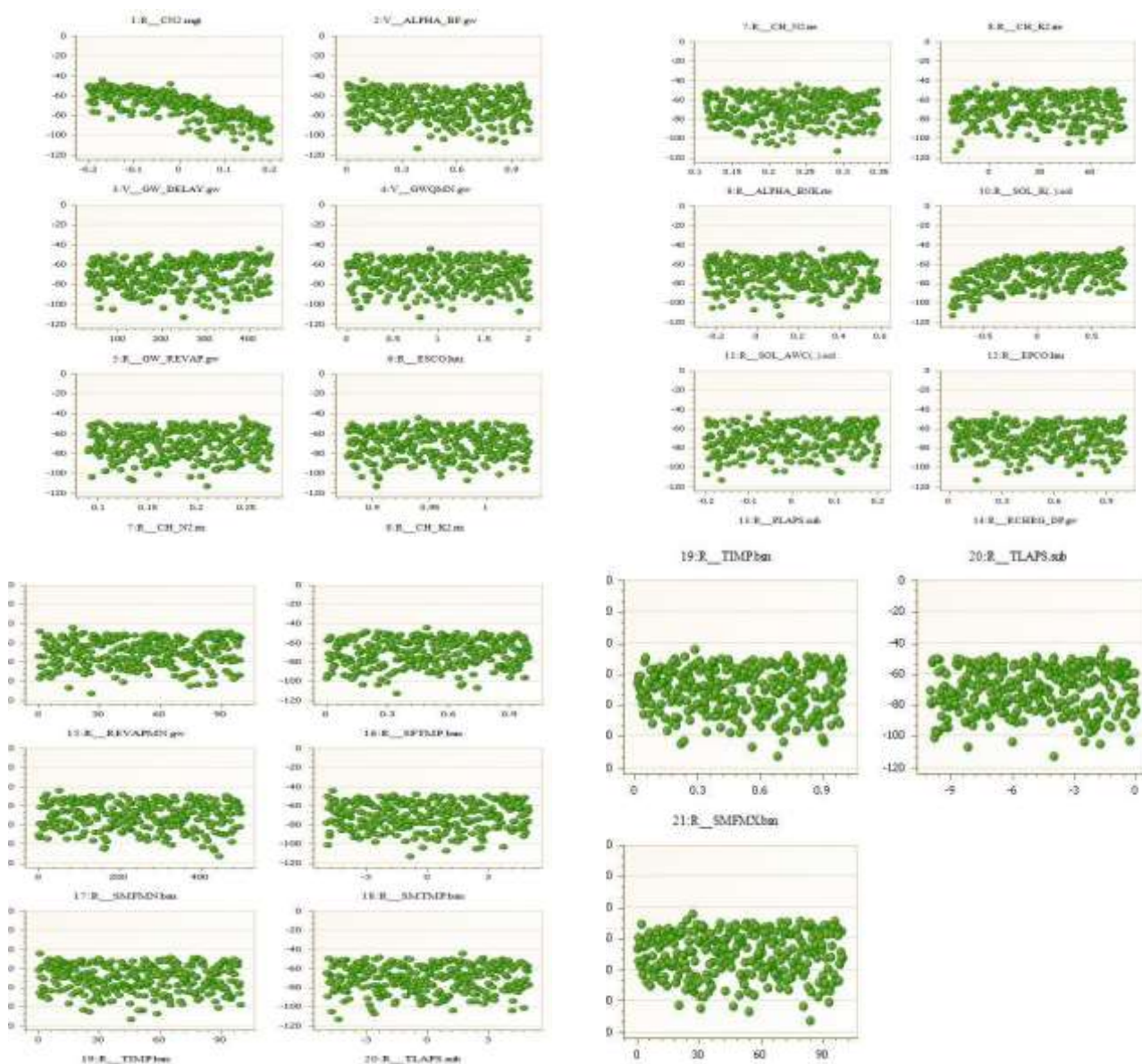
SWAT CUP با استفاده از نرم‌افزار الحاقی SUFI2	
نام پارامتر	شماره ردیف
r_CN2.mgt	۱
v_GW_DELAY.gw	۲
v_GWQMN.gw	۳
r_CH_K2.rte	۴
r_SOL_K().sol	۵
r_SOL_AWC().sol	۶
r_RCHRG_DP.gw	۷
r_TLAPS.sub	۸

با توجه به پائین بودن ضرایب R2 با ۰/۰۱ و ضریب ناش-ساتکلیف ۴۴/۱۵-، اقدام به اعتبار سنجی مدل شد که در اینجا ضرایب R2 و ناش-ساتکلیف به ترتیب به ۰/۷۹ و ۰/۷۸ ارتقاء یافت. به‌عنوان نمونه شکل شماره (۷) ترسیم نقطه‌ای پارامتر R-CN2.mgt و شکل شماره (۸) نیز خلاصه‌ای از ترسیم نقطه‌ای پارامتر با حساسیت بالا در مرحله اعتبارسنجی با نرم‌افزار الحاقی SUFI2 مدل SWATCUP را نشان می‌دهد. شکل شماره (۹) نیز جریان روزانه مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده از ۲۱ پارامتر اولیه در مرحله اعتبارسنجی مدل SWATCUP با استفاده از نرم‌افزار الحاقی SUFI2 را نشان می‌دهد.

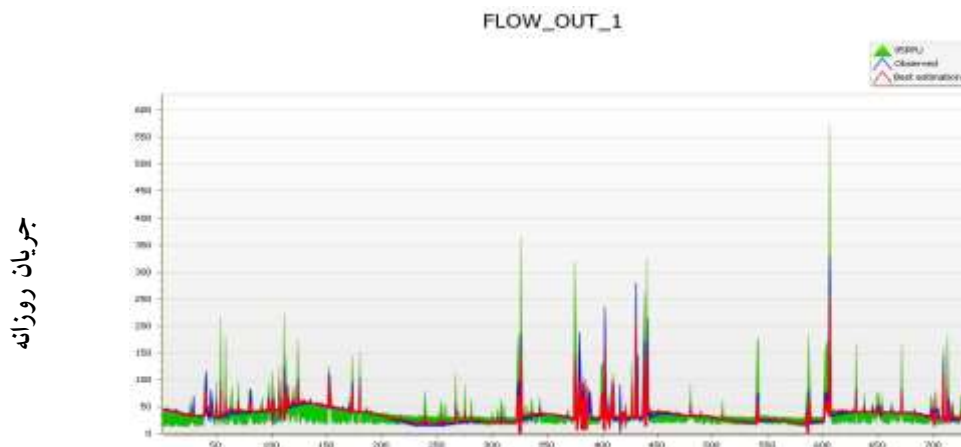
با توجه به نتایج مرحله اول کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل در مرحله بعد از میان ۲۱ پارامتر حساس اولیه، تعداد هشت پارامتر دارای بیشترین حساسیت به شرح جدول (۳)، صحت سنجی و اعتبار سنجی مجدد شد.

شکل (۱۰) مقایسه دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله کالیبراسیون اولی هشت پارامتر با بالاترین حساسیت را نشان می‌دهد.

توضیح اینکه در مرحله ابتدائی کالیبراسیون هشت پارامتر حساس ضرایب R2 و N.S به ترتیب ۰/۰۲ و ۳۸/۲۸- به دست آمد. به‌منظور بهبود شبیه‌سازی و تطابق بهتر پارامترهای مشاهداتی و شبیه‌سازی اقدام به اعتبار سنجی هشت پارامتر با حساسیت بالا گردید که در نهایت ضرایب R2 و N.S هر دو به ۰/۹۳ ارتقاء یافت که در محدوده قابل قبول شبیه‌سازی می‌باشد.

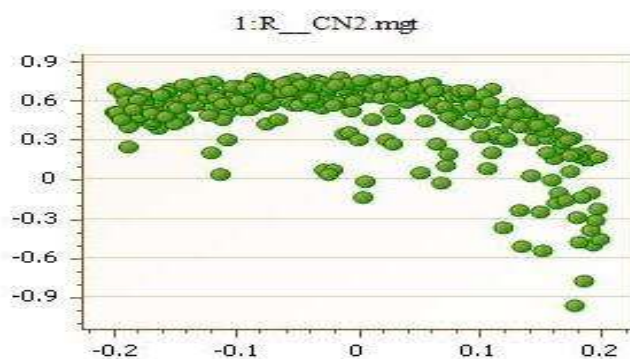


شکل ۵. ترسیم نقطه‌ای ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا در مرحله کالیبراسیون با نرم‌افزار الحاقی SUFI2 مدل SWATCUP



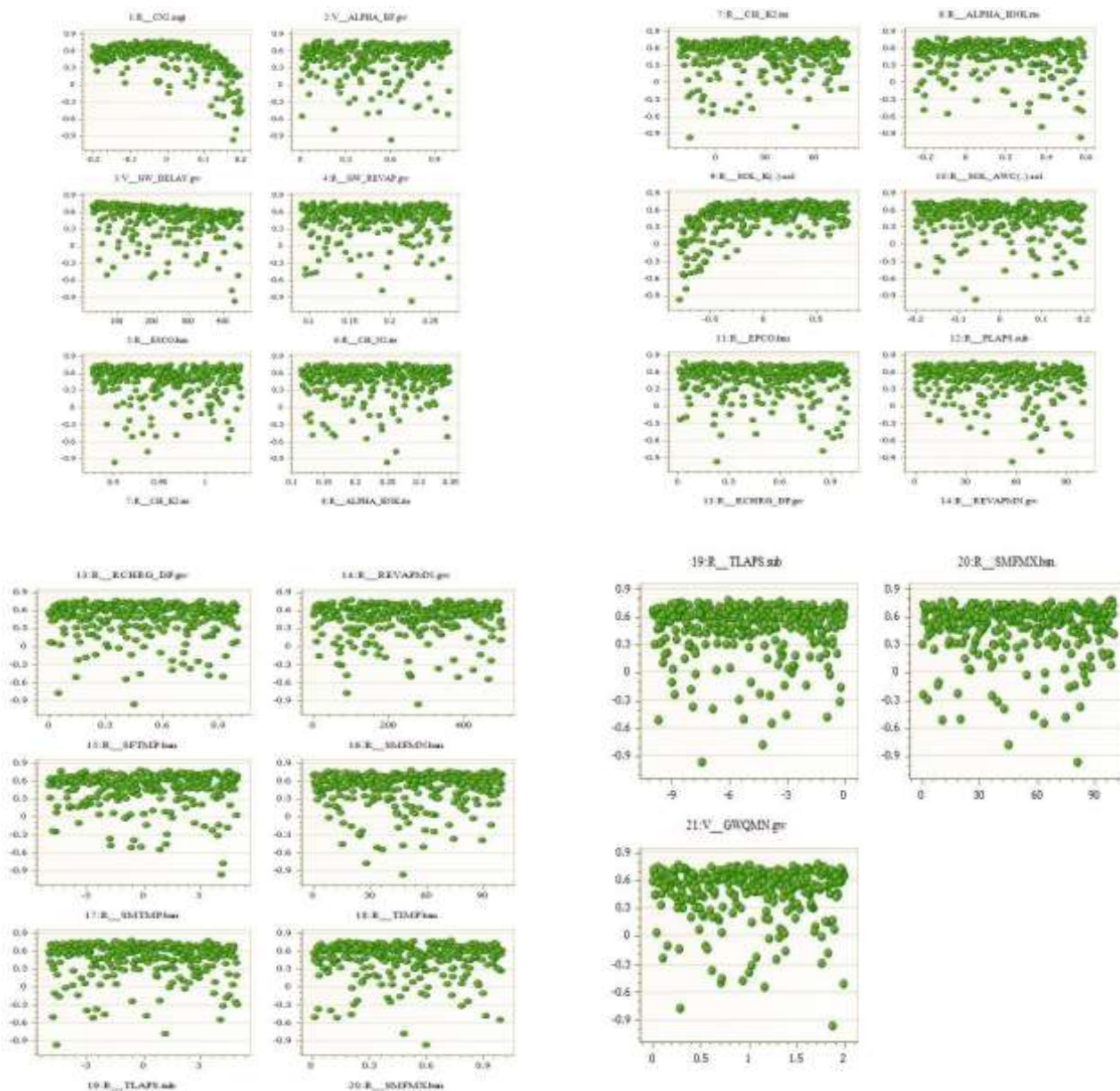
شکل ۶. نمودار جریان روزانه مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده از ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا در مرحله اعتبارسنجی مدل SWATCUP با استفاده از نرم‌افزار الحاقی SUFI2

تابع توزیع احتمال

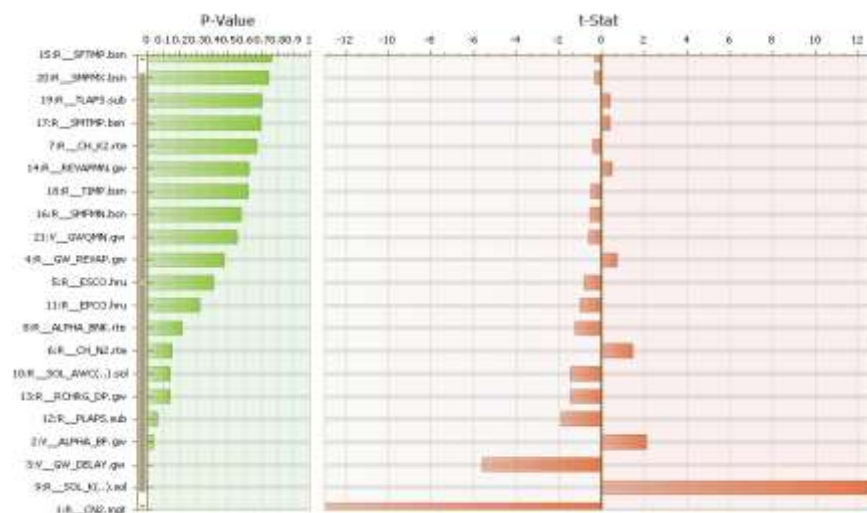


حداقل و حداکثر مقدار پارامتر

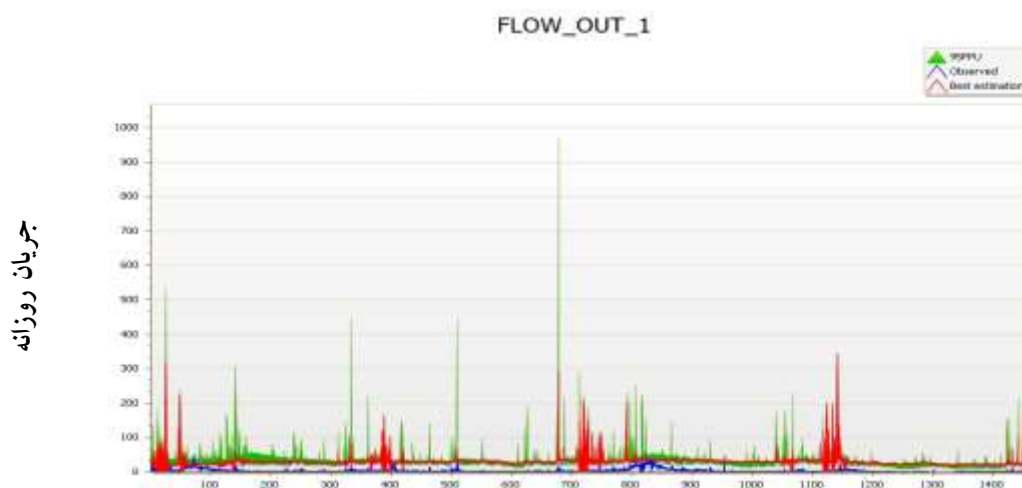
شکل ۷. ترسیم نقطه‌ای پارامتر R-CN2.mgt در مرحله اعتبارسنجی با نرم‌افزار الحاقی SUFI2 مدل SWATCUP



شکل ۸. ترسیم نقطه‌ای ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا در مرحله اعتبارسنجی مدل



شکل ۹. نمودار شاخص‌های P-Value و t-Stat محاسبه شده در مرحله اعتبار سنجی از ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا

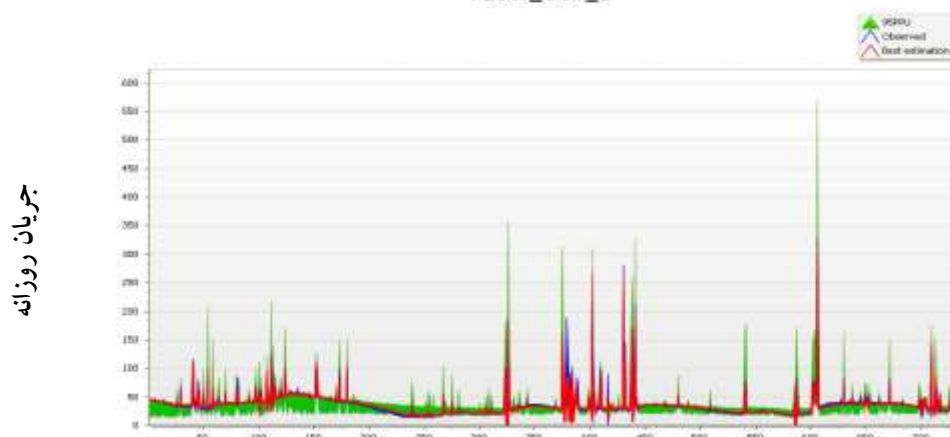


تعداد دفعات شبیه‌سازی

شکل ۱۰. نمودار جریان روزانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده از هشت پارامتر با بیشترین حساسیت در مرحله کالیبراسیون مدل SWATCUP با استفاده از

نرم‌افزار الحاقی SUFI2

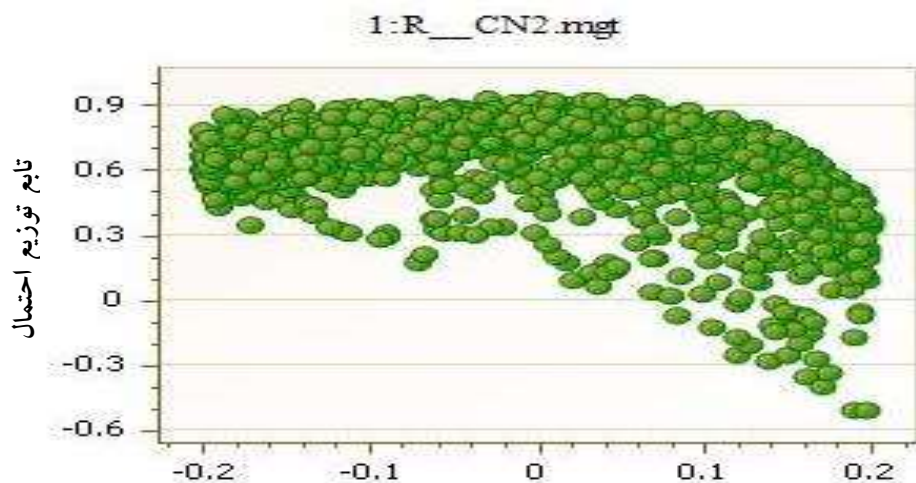
FLOW_OUT_1



تعداد دفعات شبیه‌سازی

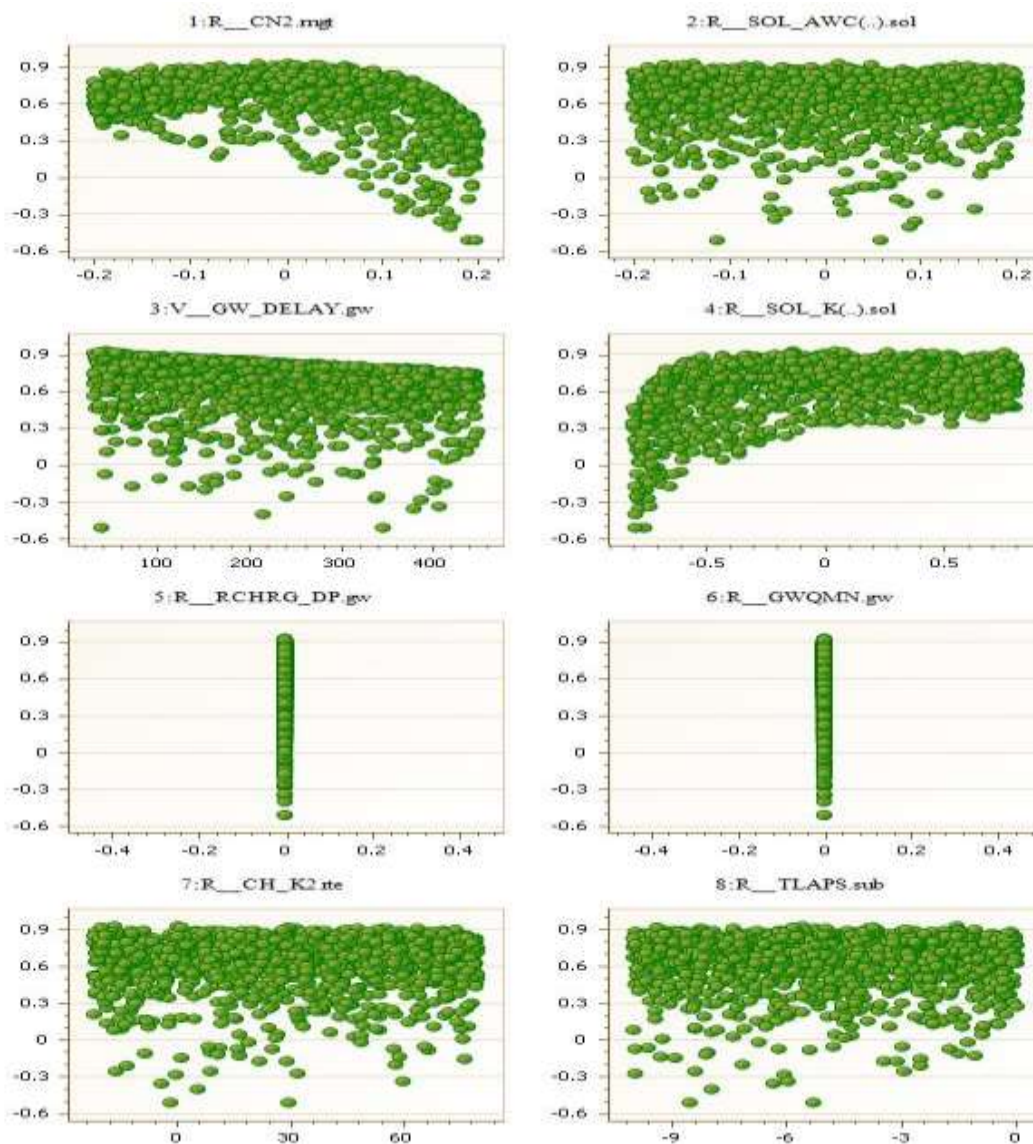
شکل ۱۱. نمودار جریان روزانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده از هشت پارامتر با حساسیت بالا در مرحله اعتبار سنجی مدل SWATCUP با استفاده از نرم‌افزار

الحاقی SUFI2



حداقل و حداکثر مقدار پارامتر

شکل ۱۲. ترسیم نقطه‌ای پارامتر R-CN2.mgt در مرحله اعتبارسنجی با نرم‌افزار الحاقی SUFI2 مدل SWATCUP



شکل ۱۳. ترسیم نقطه‌ای هشت پارامتر حساس در مرحله اعتبارسنجی

جدول ۴. پارامترهای محاسبه شده هشت پارامتر با بیشترین حساسیت در مرحله اعتبارسنجی مدل

Goal-type=Nash-sutcliff	No-sims=۱۵۰۰	Best-sim-no =۱۴۱	Best-goal=۹/ ۳۲۱۲۳۷ e -۰,۰۰۱
نام پارامتر	مقدار مناسب	حداقل مقدار	حداکثر مقدار
R-CN2.mgt	۰/۰۰۲۲۲۶۷	-۰/۲۰۰۰۰۰	۰/۲۰۰۰۰۰
۲-R-SOL-AWC (..) sol	۰/۰۱۴۲۶۷	-۰/۲۰۰۰۰۰	۰/۲۰۰۰۰۰
۳- V-GW_DELLAY.gw	۴۱/۳۴۰۰۰۰	۳۰/۰۰۰۰۰۰	۴۵/۰۰۰۰۰۰
4-R_SOL_K (..)sol	۰/۰۴۳۲۰۰	-۰/۸۰۰۰۰۰	۰/۸۰۰۰۰۰
5- R_RCRG_DP.gw	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰
6- R_GWQMIN.gw	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰
7- R_CH_K2.rte	۰/۱۴۰۳۰۱	-۲۲/۲۷۸۰۰۰	۷۹/۷۷۸۰۰۰
8- R_TLAPS.sub	-۵/۵۹۰۰۰۰	-۱۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰

نتیجه گیری کلی

(Lian 2013)، از ۱۷ پارامتر استفاده نمودند. بررسی پژوهش‌های این محققان و سایر پژوهشگران نشان می‌دهد که مشابهت بالائی در انتخاب پارامترهای حساس وجود دارد، به‌عنوان مثال در اکثر این تحقیقات پارامتر CN2 (شماره منحنی SCS) حضور مهمی دارد. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر از برنامه SUFI2 جهت اعتبارسنجی و تعیین عدم قطعیت مدل SWAT استفاده شده است، در نحوه انتخاب نوع برنامه‌های الحاقی SWAT-CUP نیز تنوع زیادی در بین محققان وجود دارد. به‌عنوان مثال (Xie Hua and Lian 2013) از برنامه SWAT-CUP، GLUE استفاده نمودند و یا (Singh *et al.* 2013) از برنامه SUFI2 و GLUE برای اندازه‌گیری پارامترها و تعیین عدم قطعیت در حوضه آبخیز تنگابهدرا هندوستان استفاده نمودند. با توجه به جداول و اشکال موجود می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که در مرحله کالیبراسیون اولیه ۲۱ پارامتر حساس با توجه به شکل (۳) مشخص می‌شود که دبی مشاهداتی در اکثر موارد کمتر از دبی شبیه‌سازی شده می‌باشد که این موضوع نشان می‌دهد که مدل در این مرحله دارای بیش تخمینی در سطح اعتماد ۹۵٪ می‌باشد. بررسی شاخص‌های p-factor و r-factor به ترتیب با ۰/۰۴ و ۳/۷۹ در این مرحله و مقایسه آن با دوره اعتبارسنجی این ۲۱ پارامتر حساس به ترتیب با ۰/۹۴ و ۰/۶۸ نیز نشان از بهبود این دو شاخص آماری در این مرحله می‌باشد. بررسی نمودار مقایسه شاخص‌های p-

در این پژوهش در مرحله کالیبراسیون و اعتبارسنجی در ابتدا ۲۱ پارامتر با حساسیت بالا انتخاب شد. انتخاب این ۲۱ پارامتر بر اساس نقش و اهمیت این عوامل در ایجاد و تولید رواناب بوده است. اکثر این پارامترهای مهم مانند CN2، شماره منحنی SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط Sol(k) (هدایت الکتریکی اشباع لایه‌های خاک)، CH(K2) (هدایت الکتریکی مؤثر بستر رودخانه)، ALPHA(BF) (پارامتر آلفا در جریان پایه روز)، GW(REVAP) (ضریب تعیین نفوذ به سفره آب زیرزمینی عمیق یا صعود مؤثنتگی از سفره آب عمیق)، ESCO (عامل جبران‌کننده تبخیر از خاک)، EPCO (عامل جبران جذب آب توسط گیاه) در پژوهش‌های سایر محققان نیز به‌عنوان عوامل مؤثر بدان اشاره شده است مانند مطالعات (Salmanni *et al.* 2012) که از ۲۷ پارامتر حساس جهت بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر بارش- رواناب در مدل نیمه توزیعی SWAT در حوضه آبخیز قزاقلی استان گلستان استفاده نمودند. Chen and (Yiping, 2012) نیز در مقایسه‌ای بین مدل TOPMODEL و SWAT از پارامترهایی مانند CN2 (درصد شماره منحنی SCS اصلاح‌شده)، Surlag (زمان تأخیر رواناب سطحی)، CH(K2) (هدایت الکتریکی کانال)، Sol-AWC (ظرفیت آب در دسترس خاک) و غیره استفاده نمودند. سایر محققان نیز مانند (Wangpimool *et al.* 2012) از ۱۰ پارامتر، Xie Hua and

مراحل و روشها باعث کاهش عدم قطعیت مدل شده است و باعث گردیده است که مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای به انطباق تقریباً قابل قبولی برسند. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج سایر پژوهشگران مانند Zhixiang *et al* (2015) که در تحقیقات‌شان ضریب R2 را ۰/۸۱ و ضریب ناش-ساتکلیف را ۰/۹۴ بدست آوردند مقایسه شد. باتوجه به اینکه تحقیق این پژوهشگران در منطقه ای با شرایط اقلیمی تقریباً مشابه با تحقیق حاضر انجام شده است لذا از این لحاظ قابل بررسی و مقایسه می باشد. این تحقیق می-تواند در تحقیقات بعدی قابلیت شبیه‌سازی مدل در حوضه مورد پژوهش مورد استفاده قرار گیرد.

Value و t-Stat (شکل ۱۱) نیز نشان می‌دهد که در مرحله کالیبراسیون پارامترهای CN2-MGT، Sol-k.sol، GW-GWQMN.gw، RCHR.GDP، Sol-awc.sol، Delay.gw، TLAPS-sub تقریباً در محدوده قابل قبول این شاخص‌ها قرار دارند. در مرحله اعتبارسنجی ۸ پارامتر دارای بیشترین حساسیت در سطح اعتماد ۹۵٪ تطابق بالائی بین دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بوجود می‌آید که نتایج ترسیم نقطه‌ای این مرحله نیز به این موضوع اشاره می نماید (اشکال ۱۲ و ۱۳). مقایسه ضرایب p-factor، r-factor، R2 و N.S این مرحله نیز به ترتیب با ۰/۷۹، ۰/۹۳، ۰/۹۳ و نیز نشان از بهبود شبیه‌سازی مدل در این مرحله دارد که سبب افزایش کارآئی مدل جهت شبیه‌سازی می‌باشد. استفاده از این

REFERENCES

- Abbaspour, K.C. E Rouholahnejad S. Vaghefi ,R. Srinivasan ,H. Yang a, B. Kløve. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT mode. *Journal of Hydrology* 524 ,733–752
- Abbaspour K.C *et al*. (2008) . *SWAT-CUP2: SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A User Manual*. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland,95pp
- Abbaspour,K.C.(2007) *user manual for SWAT-CUP,SWAT calibratin and uncertainty analysis programs:EAWAG: Swiss Fed.inst.of Aquat.Sci and Technol., Du"bendorf,Switzerland.93p.*
- Aragão, R., Cruz, M.A.S., Amorim, J.R.A., Mendonça, L.C., Figueiredo, E.E., Srinivasan, V.S.(2013). Sensitivity analysis of the parameters of the SWAT model and simulation of the hydrosedimentological processes in a watershed in the northeastern region of Brazil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 37, 1091–1102 (in Portuguese).
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R.(1998). Large area hydrologic modeling and assessment – part 1: model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34 (1) 73–89.
- Andrade, M.A., Mello, C.R., Beskow, S.(2013). Hydrological simulation in a watershed with predominance of Oxisol in the Upper Grande river region, MG—Brazil. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient* .17, 69–76 (in Portuguese).
- Atfi, Gh. (2014). *Flow and sediment yield prediction using SWAT model and ArcGIS in Ahar chai*, Ms.c. dissertation, University of Ardabil, Mohaghegh Ardabili. (in Farsi)
- Baker, T.J., Miller S.N. (2013). Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. *J. Hydrol.* 486, 100–111
- Brzozowski, J., Miatkowski, Z., Śliwiński, D., Smarzyńska, K., Śmietanka, M.(2011). Application of SWATmodel to small agricultural catchment in Poland. *J. Water Land Dev.* 15, 157–166.
- Chen ,Ji a, Yiping Wua,b.(2012). Advancing representation of hydrologic processes in the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) through integration of the TOPographic MODEL(TOPMODEL) features, *Journal of Hydrology.* 420–421, 319–328
- Di Luzio, M. and J.G. Arnold. (2004). Formulation of a hybrid calibration approach for a physically based distributed model with NEXRAD data input. *Journal of hydrology.* 298(1-4),136-154.
- Durães, F.,Mello, C.R.,Naghattini, M.(2011). Applicability of the SWAT model for hydrologic simulation in Paraopeba river basin, *MG. Cerne.* 17, 481–488.
- Fontaine, T.A., Cruickshank, T.S., Arnold, J.G., Hotchkiss, R.H.(2002). Development of a snowfall-snowmelt routine for mountainous terrain for the soil water assessment tool (SWAT). *Journal of Hydrology.* 262,209–223.
- Fukunaga Danilo Costa , Roberto Avelino Cecílio ,Sidney Sára Zanetti ,Laís Thomazini Oliveira , Marco Aurélio Costa Caiado. (2015). Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil ,*Catena.* 125, 206–213.
- Golshan, M. (2013). *Flow and sediment yield prediction using SWAT model in haraz watershed, Mazandaran Province*, MS.c dissertation, University of Sari, Scince agriculture and nathral resource. (In Farsi)
- Lei Qiao ↑, Chris B. Zou, Rodney E. Will, Elaine Stebler(.2015). Calibration of SWAT model for woody plant encroachment using paired experimental watershed data. *Journal of Hydrology.*523 , 231–239
- Mirsane, S., Kavianpor, Z. and Delavar, M. (2009). Assessment impact of Hydrological various

- parameters on watershed runoff by SWAT model, In Proceedings: *Eighth the Civil Engineering International Congress*, May 11-13., Shiraz, Iran, PP. 1-9. (In Farsi)
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., King, K.W., Williams, J.R.(2005 a). Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Theoretical Documentation. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Temple, Texas (BRC Report02-05).
- Omani, N., Tajrishi, M. and Abrishamchi, A. (2006). Simulating of Runoff by SWAT & GIS, In Proceedings; *Seventh international seminar of river engineering*, January 14-16., Ahvaz, Iran, PP. (in Farsi)
- Rostameian, R., mosavi, S.F., Manochehr, H., Afyoni, M. and Abaspor, K.(2008). Evaluation of runoff and sediment Yield using SWAT2000 model in the North Karon in Beheshtabad watershed, *Journal Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 48, 531-517.(In Farsi)
- Salmani, H.(2011). Optimization of the parameters affecting the rain fall-run off in SWAT semi distributive model (case study of Ghazaghli subwatershed, (Gorganrood waterhed), MS.c dissertation, University of Tehran.
- Salmani,h.m.rostami khalaj,m.mohseni saravi,r.hamed and a.salajeghe .(2012). Optimimization of afecte parameter on runoff-precipitatuion in SWAT model(case study in ghazaghely watershed of golestan province). *QUARTERLY NATURAL ECOSYSTEMS OF IRAN*.vol3(2).85-100(In Farsi)
- Singh Vishal, Niteenkumar Bankar, Sagar S. Salunkhe, Apurba K. Bera and J. R. Sharma.(2013). Hydrological stream flow modelling on Tungabhadra catchment: parameterization and uncertainty analysis using SWAT CUP, *CURRENT SCIENCE*, VOL. 104, NO. 9
- Thampi, S.G., Raneesh, K.Y., Surya, T.V.(2010). Influence of scale on SWAT model calibration for streamflow in a river basin in the humid tropics. *Water Resour. Manag.* 24:, 4567–4578.
- Wangpimool, Winai,Kobkiat Pongput,Chinnapat Sukvibool, Samran Sombatpanit,and Philip W. Gassman.(2013). The effect of reforestation on stream flow in Upper Nan river basin using Soil and Water Assessment Tool(SWAT)model, *International Soil and Water Conservation Research*,Vol 1,No 2, pp. 53 63
- Wellen ,Christopher ,George B Arhonditsis ,Tanya Long, Duncan Boyd.(2014). Quantifying the uncertainty of nonpoint source attribution in distributed water quality models: A Bayesian assessment of SWAT's sediment export Predictions ,*Journal of Hydrology*. 519 ,3353–3368
- Xie Hua a, Yanqing Lian b.(2013).Uncertainty-based evaluation and comparison of SWAT and HSPF applicationsto the Illinois River Basin, *Journal of Hydrology* ,481,119–131
- Zhang -Xuesong , Raghavan Srinivasan , David Bosch .(2009).Calibration and uncertainty analysis of the SWAT model using Genetic Algorithmsand Bayesian Model Averaging. *Journal of Hydrology*. 374 , 307–317
- Zhang, X., Srinivasan, R., Debele, B., Hao, F.(2008a) . Runoff simulation of the Headwaters of the Yellow River using the SWAT model with three snowmelt algorithms. *Journal of the American Water Resources Association*. 44 (1), 48–61. doi:10.1111/j.1752-1688 00137.x.
- Zhixiang Lu a,b, Songbing Zou a, Honglang Xiao a, Chunmiao Zheng c,d, Zhenliang Yin a, Weihua Wang a,b.(2015). Comprehensive hydrologic calibration of SWAT and water balance analysis in mountainous watersheds in northwest China, *Physics and Chemistry of the Earth*. 79, 76-85