نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۵، پاییز ۱۳۹۲، صفحات ۴۱-۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۰۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۰۳/۰۸

ارزیابی مولفه‌های جریان با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبخیز طالقان

مجید حسینی[۱]
محمد غفوری[۲]
محمود رضا طباطبایی[۳]
مسعود گودرزی[۴]
سیداسدالله حجازی[۵]

چکیده

در چند دهه اخیر برآورد درست و به موقع از وضعیت کمی و کیفی رواناب یکی از دغدغه‌های مدیریت‌های کلان کشور به حساب می‌آید. عدم وجود اطلاعات هیدروکلیماتولوژی در برخی از حوضه‌ها و نبود اطلاعات به‌موقع بر این دغدغه می‌افزاید. یکی از راه‌های پیش‌بینی رواناب بهره‌گیری از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی موجود است. در تحقیق حاضر با هدف پیش‌بینی رواناب و بررسی روند تغییرات جریان سطحی، زیرسطحی و زیرزمینی در حوضه آبخیز طالقان از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) استفاده می‌گردد. بهره‌گیری از نقشه‌های خاک، پوشش گیاهی و DEM و تلفیق آنها با اطلاعات هیدروکلیماتولوژی در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان یکی از شاخصه‌های مدل در برآورد رواناب نسبت به سایر مدل‌ها محسوب می‌گردد. به منظور ارزیابی مدل با استفاده از روش‌های آماری، پارامترهای حاصل از واسنجی مدل با بکارگیری در دوره صحت‌سنجی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی سالانه و ماهانه نشان می‌دهد که مقادیر مشاهداتی و محاسباتی در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی با

۱ـ عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کم آبی و خشکسالی. Email:mjhossani@yahoo.com
۲ـ استادیار و عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی.
۳ـ عضو هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
۴ـ عضو هیأت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
۵ـ استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه تبریز. Email:s_hejazi@tabrizu.ac.ir.

Archive of SID
www.SID.ir

احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. بنابراین می‌توان گفت که مدل مذکور در دوره‌های زمانی سالانه و ماهانه نتایج مطلوبی در برآورد مولفه‌های جریان در حوضه طالقان از خود نشان می‌دهد. نتایج سالانه رواناب طی سال‌های ۱۹۸۷ الی ۲۰۰۷ حاکی از افزایش تصاعدی جریان سطحی به میزان ۷/۳ درصد و کاهش جریانات زیر قشری به میزان ۱۱/۳ درصد و زیرزمینی به میزان ۱۱ در صد نسبت به سال پایه می‌باشد.

واژگان کلیدی: SWAT مولفه‌های جریان، مدل، طالقان.

مقدمه

در عصر حاضر علاوه بر عامل همیشگی دخالت‌های بشر در عرصه‌های منابع طبیعی، که همیشه تغییرات بیلان آبی را به همراه داشته است، موضوع تغییر اقلیم نیز پیچیدگی این تغییرات را دو چندان نموده است. امروزه یکی از بحث‌برانگیزترین مسائل اقلیم‌شناسان و آب‌شناسان موضوع تأثیر تغییر اقلیم در مناطق مختلف آب و هوایی دنیا و به تبع آن تأثیر بر روی مولـفه‌های جریان و همچنین برآورد به هـنگام مولفه‌های جریان مـی‌باشد. جامعه اقلیم‌شناسان بر یک عقیده مهم متفق‌القول است که اگر نشر گازهای گلخانه‌ای گسترش یابد، تغییرات آب و هوایی رخ خواهد داد و پیامدهای احتمالی آن بر روی بیلان آبی بسیار جدی خواهد بود. ممکن است میزان این تغییرات آب و هوایی بقدری سریع باشد که در بسیاری از اکوسیستم‌ها تنش شدیدی ایجاد شود. دغدغه هیدرولوژیست‌ها دقیقاً از جایی شروع می‌شود که فرضیه اقلیم‌شناسان در موضوع تغییر آب و هوا قطعیت یابد. ضرورت مدیریت موثر و بموقع منابع آبی مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک با پیچیدگی‌های پدیده تغییر اقلیم همراه است (Sorooshian et al., ۲۰۰۳). اثرات تغییر اقلیم روی رواناب و رطوبت خاک در ۲۸ حوضه آبخیز استرالیا به کمک مدل بارش- رواناب مورد بررسی قرار گرفته است به‌طوری که در مناطق حاره ای و مرطوب تا ۲۵٪ افزایش رواناب در سال ۲۰۳۰ پیش بینی شده و در مناطق خشک تا ۳۵٪ کاهش رواناب مورد انتظار است (Chiew ۱۹۹۵ et al.,). از آنجایی که تحقیقات فوق مبین تغییر اقلیم در بسیاری نقاط دنیا می‌باشد لذا

Archive of SID

www.SID.ir

تجهیز هیدرولوژیست‌ها به مدل‌ها و تکنیک‌های فیزیکی، پیوسته و کارآمد جدید در برآورد مولفه‌های جریان امری اجتناب‌ناپذیر به حساب می‌آید.

با پیشرفت و گسترش علم هیدرولوژی دانشمندان این علم بر این باورند که اثرات متقابل فرایندهای هیدرولوژیکی به کمک مدل‌سازی پیوسته و فیزیکی قابل تجزیه و تحلیل و بررسی است. اگر چه پیش نیاز این‌گونه مدل‌ها اطلاعات کامل و دقیقی از خصوصات خاک، وضعیت کاربری اراضی و اطلاعات هیدروکلیماتولوژی منطقه است لیکن خروجی‌های مطلوبی از کمیت و کیفیت مولفه‌های جریان را به همراه دارد.

مدل‌سازی پیوسته و فیزیکی علاوه بر بررسی کمیت منابع آب حوضه و امکان بهره‌برداری و توسعه آن، زمینه مناسبی برای بررسی تغییرات کیفیت آب را نیز فراهم می‌نماید. علاوه بر آن، این‌گونه مدل‌های هیدرولوژیکی قابلیت بررسی و مطالعه اثرات عملیات آبخیزداری بر روی مولفه‌های جریان در حال و آینده را نیز دارا می‌باشند و ابزار مناسبی برای بهینه‌سازی این عملیات به‌شمار می‌رود. با بهره‌گیری از چنین مدل‌های هیدرولوژیکی پیوسته و فیزیکی اثرات هر گونه عملیات توسعه‌ای در حوضه آبخیز قابل تشخیص بوده و در توسعه پایدار حوضه آبخیز با رعایت مسائل اقتصادی و اجتماعی نقش مؤثری ایفا می‌نماید. در دهه اخیر با توجه به شرایط ناپایدار اقلیمی و تغییرات بیلان آبی حاصل از تغییر اقلیم، مدل‌های هیدرولوژیکی در برآورد کمی و کیفی جریان های سطحی و زیرزمینی جای خود را باز کرده‌اند و به عنوان ابزار کارآمدی در برنامه‌ریزی و پیشگیری از مواجهه با بحران آب مطرح هستند.

تاریخچه‌ای از مدل‌های هیدرولوژیکی حاکی از آن است که هدف مدل‌های هیدرولوژیکی ساده‌سازی جنبه‌های مهارتی سیستم‌ها در برآورد جزئی اتفاقات می‌باشد (Anderson, ۱۹۸۵). تاکنون تعداد بی‌شماری از تکنیک‌ها و روش‌های مدل‌سازی توسعه یافته‌اند. اولین مدل هیدرولوژیکی مدل حوضه استانفورد می‌باشد که توسط سینگ (Singh,۱۹۹۵) به انجام رسیده است. در طول دهه گذشته به‌دلیل پیشرفت‌های گسترده در تکـنولوژی رایانه‌ای مدل‌های هیدرولوژیکی به‌طور قابل ملاحظه‌ای پیشرفت کرده‌اند. با بهره‌گیری از ابزاری همچون GIS و RS مدل‌ها روز به روز در حال پیشرفت هستند. در طول دهه گذشته

Archive of SID

www.SID.ir

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به مدل‌های هیدرولوژیکی ملحق شده‌اند اما مدل‌های محیطی و GIS به خوبی تلفیق نشده‌اند بلکه فقط با هم تجمیع شده‌اند. اگر چه GIS برای نمایش نتایج از پردازشگرهای قوی استفاده می‌کند لیکن روش‌های مدل‌های هیدرولوژی بسیار ساده است. هرچه ورودی‌های مدل کم‌ارزش و فاقد اعتبار باشد بالالطبع خروجی آن هم بی‌ارزش و فاقد اعتبار خواهد بود. عباسپور و همکارانش (Abbaspour et al., ۲۰۰۸) با بهره‌گیری از فایل‌های خروجی مدل SWAT[1] چهار برنامه به نام‌های SUFI2[2]، ParaSol[3]، GLUE[4] و MCMC[5] را بـه مدل مذکور ملحق کردنـد که بکارگیری آنها در یافـتن مـحدوده‌های پارامترهای جریان، رسوب، کیفیت و... به منظور واسنجی مدل بسیار موثر می‌باشد. قابل ذکر است که برای دستیابی به بیلان آبی بایستی مستقیماً از مدل SWAT بهره جست که برنامه ParaSol بر روی آن متصل می‌باشد.

در چند دهه اخیر مدل‌های متنوعی برای برآورد کمی و کیفی جریان‌های سطحی و زیرزمینی طراحی شده‌اند لیکن مدل‌های فیزیکی و پیوسته بدلیل انطباق‌شان با خصوصیت‌های تئوری حوضه از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند. لذا در تحقیق حاضر از مدل SWAT که یک مدل فیزیکی با قابلیت بهره‌گیری از سری‌های زمانی می‌باشد برای پیش‌بینی رواناب و بررسی روند تغییرات جریان سطحی، زیر سطحی و زیرزمینی انتخاب گردید.

مواد و روش‌ها

موقعیت عمومی حوضه آبریز رودخانه طالقان

حوضه آبخیز طالقان تاخروجی ایستگاه گلینک دارای مساحتی معادل ۸۰۰۲۶ هکتار می‌باشد.

حوضه مذکور بین طول شرقی ´۳۶ °۵۰ و ´۱۰ °۵۱ و عرض شمالی ´۰۵ °۳۶ تا ´۲۱ °۳۶ واقع گردیده و از شمال به حوضه الموت و سرداب و از جنوب به کردان و زیاران واز شرق به حوضه کرج و چالوس و از غرب به حوضه زیاران و الموت محدود می‌شود. (شکل ۱).

1- Soil and Water Assessment Tools
2- Sequential Uncertainty Fitting
3- Parameter Solution
4- Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
5- Marcov chain Montcarlo

Archive of SID

www.SID.ir

مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیکی است که توسط سازمان تحقیقات کشاورزی آمریکا توسعه داده شده است. فرآیندهای هیدرولوژیکی اصلی که توسط مدل شبیه‌سازی می‌شوند شامل تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، ذوب برف، نفوذ سطحی، نفوذ عمقی و جریان آب زیرزمینی و جریان‌های زیر سطحی می‌باشد. لایه‌های اصلی مورد نیاز عبارتند از لایه DEM، لایه خاک به همراه خصوصیات آن در واحدهای مختلف و لایه کاربری اراضی می‌باشد. اطلاعات هیدروکلیماتولوژی مشتمل بر داده‌های آب سنجی در خروجی حوضه، داده‌های بارندگی روزانه در داخل و اطراف حوضه و اطلاعات حداقل یک ایستگاه ثبات در داخل و یا نزدیکی حوضه می‌باشد. مدل SWAT به معنی ابزاری برای ارزیابی آب و خاک می‌باشد که ابتدا بوسیله آزمایشگاه تحقیقاتی آب و خاک تکزاس USDA[1] در اراضی چمنی بکار گرفته و توسعه داده شد. اساس مدل فرمول تعادل آبی می‌باشد. مدل SWAT حاصل تلفیق و اصلاح دو مدل SWRRB و ROTO می‌باشد و کاربرد آن در حوضه‌های پیچده و بزرگ می‌باشد. مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیکی است که توسط سازمان تحقیقات کشاورزی آمریکا توسعه داده شده است فرآیندهای هیدرولوژیکی اصلی که توسط مدل‌سازی می‌شوند شامل تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، ذوب برف، نفوذ سطحی، نفوذ عمقی و جریان آب زیرزمینی و جریان‌های زیر سطحی می‌باشد. این مدل از اطلاعات پایه زمینی USDA و چندین نوع اطلاعات دیگر که بر اساس مفاهیم تجربی استوار است برای ایالات متحده آمریکا طراحی و توسعه داده شده است. لایه‌های اصلی مورد نیاز مدل عبارتند از لایه DEM، لایه خاک به همراه خصوصیات آن در واحدهای مختلف و لایه کاربری اراضی می‌باشد. اطلاعات هیدروکلیماتولوژی مشتمل بر داده‌های آب‌سنجی در خروجی حوضه، داده‌های بارندگی روزانه در داخل و اطراف حوضه و اطلاعات حداقل یک ایستگاه ثبات در داخل و یا نزدیکی حوضه می‌باشد. مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی با پایه فیزیکی است که به‌صورت پیوسته و با مقیاس زمانی روزانه کار می‌کند. این مدل در مقیاس حوضه طراحی و برای پیش‌بینی بیلان آبی و کیفیت آب در حوضه‌های بزرگ و ناهمگن با هر وسعتی برای آبدهی درازمدت به‌کار می‌رود (Arnold et al.,۱۹۹۸).

1- United State Department of Agriculture

Archive of SID

www.SID.ir

داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی توسط مدل عبارت‌اند از توپوگرافی، خاک، کاربری و اطلاعات هیدروکلیماتولوژی می‌باشد. اطلاعات توپوگرافی به صورت مدل رقومی DEM با پیکسل سایز ۸۵ متر، نقشه خاک با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، نقشه کاربری ۱/۵۰۰۰۰ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری مربوط به سه سال ۱۹۸۷، ۲۰۰۰و ۲۰۰۷ مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای Landsat و IRS تهیه شد. همچنین اطلاعات هیدروکلیماتولوژی روزانه از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۴ میلادی از مرکز مطالعات پایه منابع آب کشور تهیه و به فرمت مورد نیاز مدل تبدیل شد. در این تحقیق از اطلاعات هیدرومتری ایستگاه گلینک و ایستگاه‌های بارانسنجی روزانه مندرج در جدول شماره ۱ استفاده شد. مقادیراطلاعات هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک قزوین و کرج استفاده و بازسازی شد.

دوره آماری تحقیق حاضر از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۴ می‌باشد. با توجه به آمار موجود ۱۰ سال به عنوان دوره گرم کردن مدل یا Setup، پنج سال برای واسنجی یا کالیبراسیون و سه سال پایانی برای اعتبارسنجی انتخاب شد.

جدول (۱) موقعیت ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی استفاده شده در حوضه آبخیز طالقان

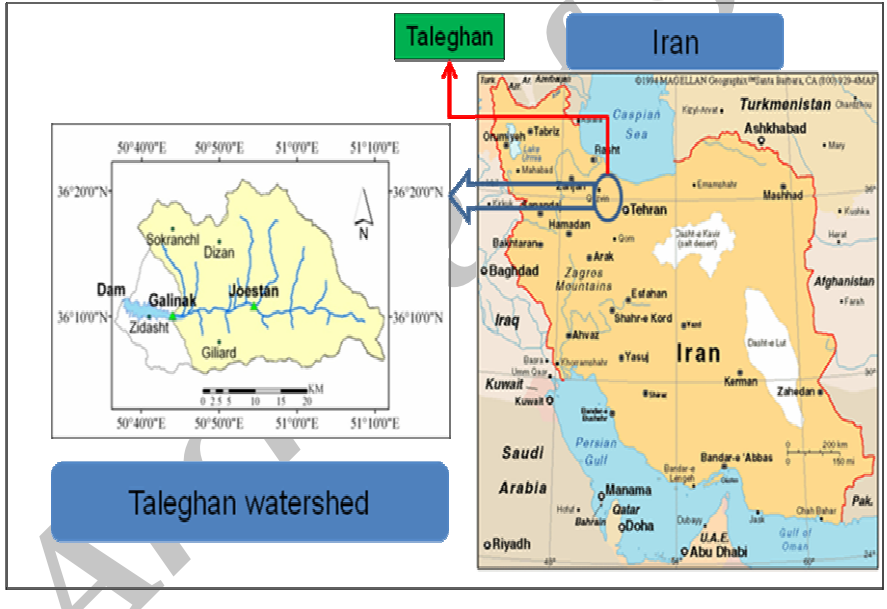
ایستگاه	عرض جغرافیایی(°)	طول جغرافیایی(°)	ارتفاع (m)	متوسط بارش سالانه (mm)
زیدشت	۵۶/۶۸	۳۶/۱۷	۱۷۵۰	۴۷۸/۸
گلینک	۵۰/۷۷	۳۶/۱۷	۱۷۵۰	۴۵۴/۵
آسارا	۵۱/۲۰	۳۶/۰۳	۱۹۵۰	۵۶۲/۹
جوستان	۵۰/۹۰	۳۶/۲۰	۱۹۹۰	۵۴۷/۲
گیلیرد	۵۰/۸۳	۳۶/۱۳	۲۱۵۰	۵۶۰/۳
نسا	۵۱/۳۳	۳۶/۰۸	۲۲۱۰	۶۶۰/۹
دیزان	۵۰/۸۳	۳۶/۲۷	۱۹۵۰	۸۱۴/۵
سکرانچال	۵۰/۷۳	۳۶/۲۸	۱۵۸۸	۵۰۲/۶

آنالیز حساسیت به ارزیابی کمی و کیفی مدل حاصل از مقادیر ورودی از منابع مختلف می‌پردازد و به عنوان پیش‌نیاز ساخت مدل‌های تشخیصی و پیش‌بینی در هر حوضه

Archive of SID

www.SID.ir

تحقیقاتی محسوب می‌گردد (Saltelli et al., ۲۰۰۸). عباسپور (۲۰۰۸) هم ارزیابی حساسیت مدل را قبل از انجام واسنجی توصیه می‌کند. بنابراین قبل از واسنجی مدل ابتدا حساسیت پارامترهای جریان رتبه‌بندی شد. بهینه‌سازی اتوماتیک پارامترهای مدل از قابلیت جایگزینی هوشمند با دانش و بینش فیزیکی حاصل از تأثیرات پارامترهای سیستم را دارا نمی‌باشد لذا قبل از بهینه‌سازی پارامترهای مدل، حساسیت هر کدام از آنها رتبه‌بندی شد و پارامترهای مهم‌تر انتخاب گردید. تحلیل حساسیت با ثابت نگه داشتن کلیه پارامترها و تغییر پارامتر مورد نظر اجرا می‌شود.



شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز طالقان

برای ارزیابی آماری در روش SWAT از میانگین اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی استفاده می‌شود به‌طوری که مقادیر اختلاف میانگین بیشتر از حساسیت بالاتری برخوردارند.

به منظور ارزیابی نتایج واسنجی مدل از سه روش آماری ذیل استفاده شده است.

www.SID.ir

خطای نسبی میانگین قدر مطلق (MARE)

در این روش از فرمول (۱) استفاده می‌شود:

$$MARE = \sum_{i=1}^{n} \left| X_i^{'} / X_i - 1 \right| / n \qquad (۱)$$

که در آن X و 'X به ترتیب برابر مقادیر مشاهده‌ای و واسنجی می‌باشد. مقادیر نزدیک به صفر این معیار شرایط بهینه را به همراه دارد.

ضریب تعیین R^2

در این روش از معادله همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و واسنجی استفاده می‌شود (فرمول ۲)

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_i - \bar{Q})(Q_i^{'} - \bar{Q}')}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (Q_i - \bar{Q})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (Q_i^{'} - \bar{Q}')^2}} \right]^2 \qquad (۲)$$

که در آن Q و 'Q به ترتیب مقادیر جریان مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد و $\bar{Q}$ و $\bar{Q}$ مقادیر میانگین آنهاست. این روش آماری بهترین برازش مقادیر مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهد. مقادیر R^2 نزدیک به عدد یک بهترین و مقادیر نزدیک به صفر کمترین کارایی را در نمایش همبستگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی را نمایش می‌دهند.

ضریب تأثیر Nash-Sutcliffe (ENS)

به منظور دستیابی به این ضریب از فرمول زیر استفاده می‌شود (فرمول ۳).

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_i - Q_i^{'})^2}{\sum_{i=1}^{n} (Q_i - \bar{Q})^2} \qquad (۳)$$

Archive of SID

www.SID.ir

در این معادله هر چه میزان ضریب E_{NS} به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد نتایج حاصله از تأثیر بیشتری برخوردار است. Motovilov و همکارانش (۱۹۹۹) ضریب تاثیر بیشتر از ۰/۷۵ را خوب و مقادیر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ را قابل قبول و مقادیر کمتر از ۰/۳۶ را غیرقابل پذیرش تلقی کرده‌اند.

یافته‌ها و نتایج

نتایج حاصل از واسنجی، رتبه‌بندی و بهینه‌سازی پارامترهای مدل برای دوره ماهانه حاکی از آن است که از مجموع ۲۷ پارامتر موجود، تعداد ۱۰ پارامتر از حساسیت نسبتاً بالایی برخوردار است که رتبه‌بندی و بهینه‌سازی آنها با استفاده از مدل انجام و در جدول شماره ۲ خلاصه گردید.

نتایج آماری حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل در دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی به صورت سالانه، ماهانه و روزانه از سال ۱۹۹۷تا سال ۲۰۰۴ با استفاده از معیارهای ارزیابی در جدول ۳ خلاصه شده است. نتایج حاصل حاکی از خطای کم نسبی قدرمطلق میانگین (MARE) در بازه زمانی سالانه در هر دو مقطع واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد. این خطا به مراتب در پریود زمانی کمتر همچون ماهانه و روزانه افزایش می‌یابد. چنین تحلیلی برای ضریب تعیین R^2 مصداق دارد به طوری که همبستگی مقادیر مشاهداتی و واسنجی شده در دوره‌های زمانی مختلف از سالانه به ماهانه و روزانه تقلیل می‌یابد. این ضریب نشان می‌دهد دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی اعم از سالانه، ماهانه از همبستگی بسیار خوبی برخوردار است اما برای مقادیر روزانه حاکی از همبستگی کم آن در دوره‌های کوتاه‌مدت می‌باشد. معیار ارزیابی ضریب تأثیر E_{NS} نیزحاکی از نتایج نسبتا مطلوب در پریود زمانی سالانه و ماهانه می‌باشد به‌طوری که این ضریب در دوره واسنجی برای دوره‌های سالانه و ماهانه به ترتیب برابر ۰/۸ و ۰/۵۸ و در دوره اعتبار سنجی بابر ۰/۷۲ و ۰/۸۴ می‌باشد. بازه زمانی روزانه در دوره‌های زمانی واسنجی و اعتبارسنجی از دقت کمتری برخوردار می‌باشد (جدول ۳). نتایج حاصل از جریان حداکثر در دوره زمانی ماهانه حاکی از مطابقت نسبتاً مناسب در روند جریان در دوره واسنجی (شکل ۲) و صحت سنجی (شکل ۳) می‌باشد. نتایج آماری

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه مقادیر ماهانه فوق با استفاده از نرم‌افزار SPSS در جداول ۴ و ۵ خلاصه شده است. این نتایج حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار در دوره واسنجی و صحت‌سنجی ماهانه و سالانه با احتمال ۹۵ درصد می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که مدل مذکور در دوره‌های زمانی سالانه و ماهانه جهت برآورد رواناب از کارایی نسبتاً خوبی برخوردار است اما برای دوره‌های زمانی روزانه فاقد کاربرد است.

جدول (۲) واسنجی، رتبه‌بندی و بهینه‌سازی پارامترهای مدل برای دوره ماهانه

پارامتر	علامت اختصاری پارامتر	رتبه حساسیت	حداقل	حداکثر	مقادیر بهینه پارامتر
ضریب تأخیر جریان سطحی	Surlag	۱	۰	۵	۰/۰۲۹۹۱*
درجه حرارت ذوب برف (درجه سانتیگراد)	Smtmp	۲	۵-	۵	۵ *
فاکتور جبران تبخیر از خاک	Esco	۳	۰/۷	۱	۰/۹۹۴۱۶*
شماره منحنی SCS	Cn2	۴	۵-	۵	۵***
هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع (mm/h)	Sol_K	۵	۳۰-	۰	۲۹/۲۴۶- ***
ظرفیت آب قابل دسترس در لایه خاک (mm)	Sol_Awc	۶	۵-	۵	۵- ***
زمان تأخیر جریان زیر زمینی (روز)	Gw_Delay	۷	۱۰	۲۰	۱۳ /۶۰۲ **
فاکتور ضریب جریان پایه (روز)	Alpha_Bf	۸	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۶۳۹۴*
ضریب مانینگ در کانال اصلی	Ch_N2	۹	۰/۰۲۵	۰/۰۶۵	۰/۰۳۴۶۸*
درجه حرارت ریزش برف (درجه سانتی‌گراد)	Sftmp	۱۰	۰	۵	۲/۵۴۰۴ *
ضریب تبخیر آب زیر زمینی	Gw_Revap	۱۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳۲۶۴*

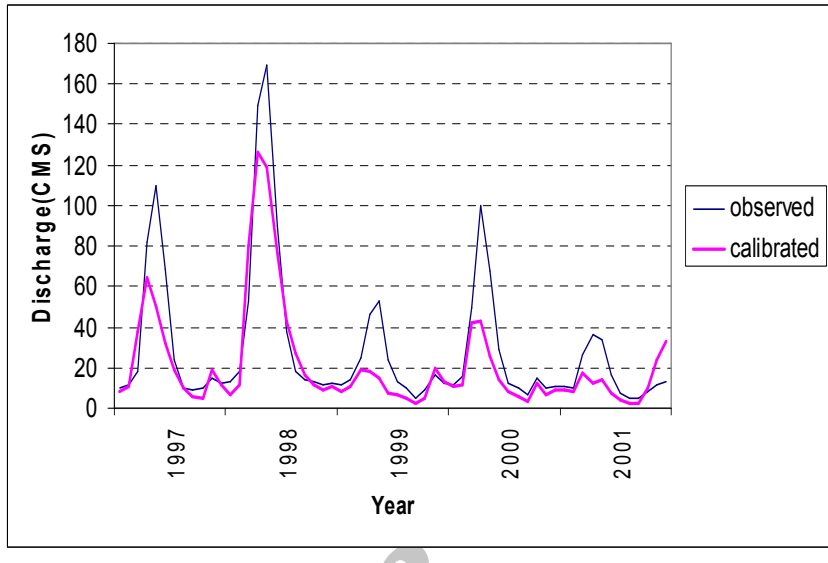
***جایگزین مقادیرپارامتر ** اضافه کردن به مقادیرپارامتر *** ضرب در مقادیرپارامتر (درصد)**

جدول (۳) نتایج ارزیابی مدل در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی

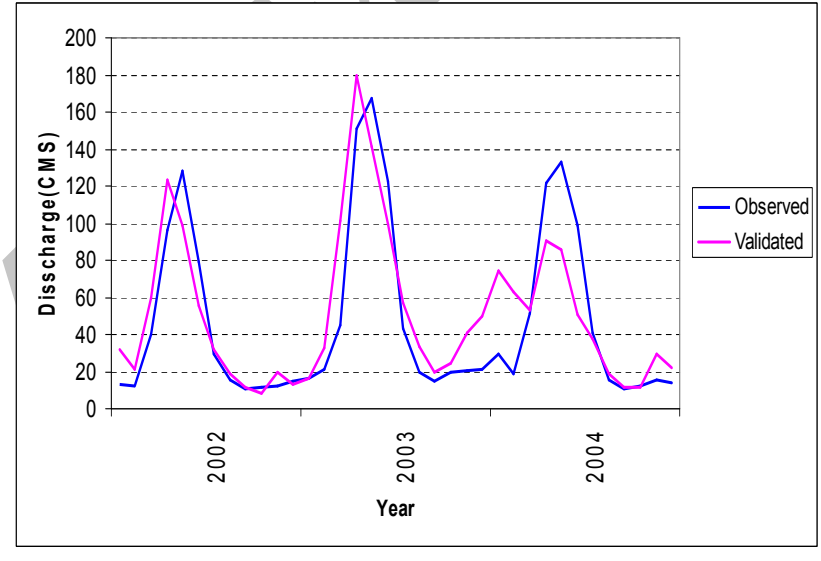
معیار ارزیابی	سالانه		ماهانه		روزانه	
	واسنجی	اعتبارسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی
MARE	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۳۸	۰/۵	۰/۴۷	۰/۵۸
R^2	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۶۴	۰/۶۷
E_{NS}	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۵۸	۰/۸۴	۰/۵۸	۰/۶۷

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۲)مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی جریان ماهانه در دوره واسنجی مدل



شکل (۳) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی جریان ماهانه در دوره صحت‌سنجی مدل

www.SID.ir

جدول (۴) نتایج آزمون t جفت برای مقادیر جریان سالانه در دوره واسنجی و صحت‌سنجی

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	&Calibrated Predicted	31.99	65.03	24.57	-28.14	92.14	1.30	6	0.241
Pair 1	Calibrated & Validated	50.23	87.43	33.04	-30.63	131.09	1.52	6	.1790

جدول (۵) نتایج آزمون t جفت برای مقادیر جریان ماهانه در دوره واسنجی و صحت‌سنجی

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	&Calibrated Predicted	7.71	16.48	2.13	3.45	11.97	3.62	59	.111
Pair 1	Calibrated & Validated	-4.18	23.40	3.90	-12.10	3.73	-1.07	35	.291

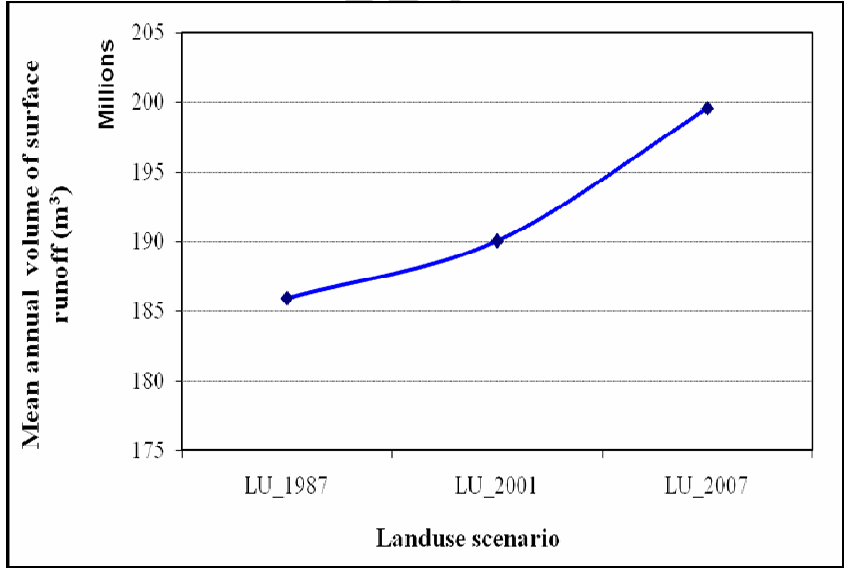
نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی رواناب ماهانه در ایستگاه خروجی (گلینک) مقادیر متوسط مشاهداتی و محاسباتی را برای دوره واسنجی به ترتیب معادل ۱۱/۵۳ و ۱۱/۶۷ مترمکعب بر ثانیه و برای دوره صحت‌سنجی معادل ۱۲/۰۸ و ۱۱/۴۴ مترمکعب را نشان می‌دهد. تغییرات ماهانه رواناب نشان می‌دهد که از ماه آوریل (فروردین) تا پایان می (اردیبهشت) بیشتر رواناب حاصل توأمان افزایش درجه حرارت و رگبارهای بهاری بر روی برف انباشته می‌باشد. اما جریان‌های سطحی ماه ژوئن (خرداد) تا پاییز به صرفاً ذوب برف ناشی از افزایش درجه حرارت سالانه است. چرا که در ماه‌های گرم سال بندرت بارش‌های تابستانی اتفاق می‌افتد. همین بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر رواناب حاصل از ذوب برف در ماه‌های گرم سال مربوط به برف‌های انباشته در ارتفاعات حوضه است.

Archive of SID

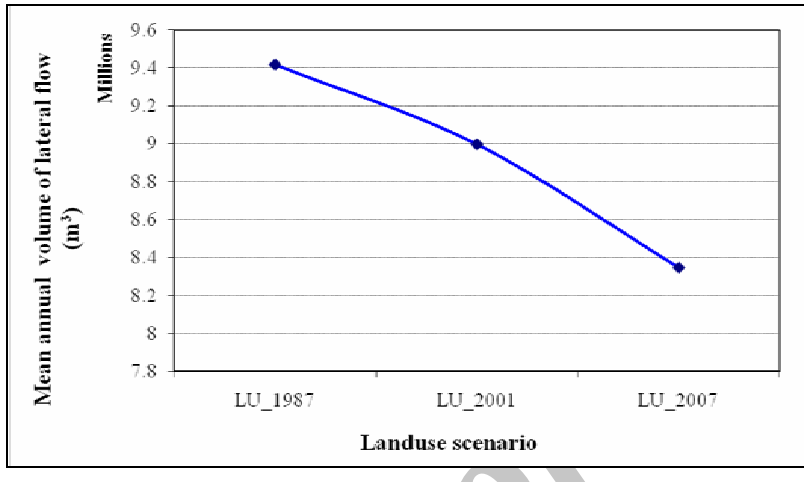
www.SID.ir

نتایج سالانه حاصل از برآورد رواناب طی سال‌های ۱۹۸۷ الی ۲۰۰۴ حاکی از به ترتیب افزایش ۲/۲ و ۷/۳ درصدی جریان سطحی در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۷ در مقایسه با سال ۱۹۸۷ می‌باشد (شکل ۴). همین بررسی نشان می‌دهد مقادیر سالانه جریان زیر قشری به ترتیب در سال‌های مذکور به میزان ۴/۵ درصد و ۱۱/۳ درصد کاهش یافته است (شکل ۵). نتایج حاصل از بررسی جریان‌های زیر زمینی نیز موید کاهش این مولفه طی سال‌های مذکور می‌باشد به‌طوری که میزان این کاهش در سال ۲۰۰۱ معادل ۳/۲ درصد و در سال ۲۰۰۷ معادل ۱۱ در صد در مقایسه با سال پایه می‌باشد (شکل ۶). بنابراین می‌توان اذعان داشت به دو دلیل عمده دخالت‌های بشری در عرصه‌های منابع طبیعی و همچنین تغییر اقلیم روند افزایش جریانات سطحی به‌طور فزاینده‌ای رو افزایش و جریانات زیر قشری و زیر زمینی رو به کاهش است. بنابر این لازم است مدیریت منابع طبیعی به منظور جلوگیری از روند نا متعارف موجود، برنامه‌ریزی مناسبی را در در جهت تعادل بهینه مدیریت منابع آب موجود در برنامه کار خود داشته باشد.

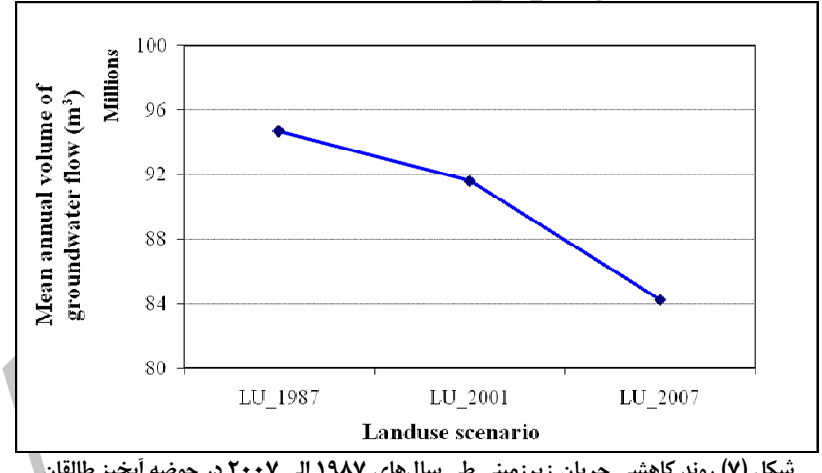


شکل(۵) روند افزایشی جریان سطحی طی سال‌های ۱۹۸۷ الی ۲۰۰۷ در حوضه آبخیز طالقان

www.SID.ir



شکل(۶) روند کاهشی جریان زیر قشری طی سال‌های ۱۹۸۷ الی ۲۰۰۷ در حوضه آبخیز طالقان



شکل (۷) روند کاهشی جریان زیرزمینی طی سال‌های ۱۹۸۷ الی ۲۰۰۷ در حوضه آبخیز طالقان

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری‌های آقای دکتر کریم عباسپور در برگزاری کارگاه آموزشی مدل SWAT و همچنین آقایان مهندس محمودرضا طباطبایی و دکتر علی‌اکبر نوروزی در رابطه با همکاری صمیمانه در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) کمال تشکر را دارم.

www.SID.ir

منابع

1- Abbaspour, K.C., (2008), "SWAT-CUP2: SWAT Calibration and Uncertainty Programs, A User Manual", Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modeling (SIAM), Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, 95pp.

2- Anderson, M.G., and Burt, T.P., (1985), "***Hydrological Forecasting***", John Wiley & Sons Ltd. Chichester, UK.

3- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., (1998), "Large area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development, ***Journal of the American Water Resource Association***, 34 (1): 73-89.

4- Chiew F.H.S., P.H. Whetton, T.A. McMahon and A.B. Pittock, (1995), "Simulation of the Impacts of Climate Change on Runoff and Soil Moisture in Australian Catchments", ***Journal of Hydrology***, Volume 167, Issues 1-4, May 1995, Pages 121-147.

5- Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K., and Rodhe, A., (1999), "Validation of a Distributed Hydrological Model against Spatial Observations", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 98-99, 257-277.

6- Saltelli, A., Ratto M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M., Tarantola, S., (2008), "***Global Sensitivity Analysis***", The Primer, John Wiley & Sons, England.

7- Singh, V.P., (1995), "Watershed Modeling", In: ***Computer Models of Watershed Hydrology***, Singh, V.P (ed.). Chapter 1, Water Resources Publications, Colorado, 1-22.

8- Sorooshian S., Bisher Imam, Shayesteh Mahani, Thomas Pagano and Martha Whitaker, (2003), "Hydrologic Sciences and Water Resources Management Issues in a Changing World", ***Developments in Water Science***, Volume 50, Pages 83-92.

Archive of SID

www.SID.ir