

نشریه مرتع و آبخیزداری
دوره ۶۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲
۴۳۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۲

شبیه‌سازی رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT در

آبخیز چهل‌چای استان گلستان

- ❖ اکرم عارفی اصل*: کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- ❖ علی نجفی‌نژاد: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- ❖ فرشاد کیانی: استادیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- ❖ عبدالرسول سلمان ماهینی: دانشیار گروه محیط زیست دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

اندازه‌گیری رواناب و رسوب، به دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی و شرایط سخت فیزیکی، همواره، دشوار بوده است. به منظور مقابله با این مشکلات استفاده از مدل‌ها ضروری می‌نماید. از طرفی، بررسی صحت و دقت مدل‌هایی که در خارج از کشور طراحی شده‌اند برای شرایط ایران الزامی است. هدف مطالعه حاضر بررسی کارایی مدل SWAT^۱ در برآورد دبی متوسط روزانه و غلظت رسوب و واسنجی و اعتبارسنجی این مدل در آبخیز چهل‌چای در شرق استان گلستان است. برای واسنجی نتایج مدل از الگوریتم SUFI2^۲ استفاده شد. معیار ناش - ساتکلیف، به عنوان تابع هدف، در مرحله واسنجی (۲۰۰۱-۲۰۰۵) و اعتبارسنجی (۲۰۰۹-۲۰۰۶) برای دبی متوسط روزانه به ترتیب برابر ۰/۵ و ۰/۴ و برای غلظت رسوب برابر ۰/۷۱ و ۰/۹۲ به دست آمد که، با توجه به معیارهای مورد استفاده در تحقیقات گذشته، پذیرفتنی ارزیابی شد. با توجه به اینکه SWAT مدلی مدیریتی است و در این حوزه کارایی مقبولی داشته، پیشنهاد می‌شود در بررسی اثر اقدامات مدیریتی در آبخیز چهل‌چای از آن استفاده شود.

واژگان کلیدی: اعتبارسنجی، آبخیز چهل‌چای استان گلستان، واسنجی، SWAT، SUFI2.

مقدمه

اکثر آبخیزهای کشور ما، به‌ویژه آبخیزهای کوهستانی و صعب‌العبور، فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری، به میزان موردنیاز، است. از آنجا که از آمار و اطلاعات این ایستگاه‌ها در بخش‌های مختلف مدیریت آبخیز استفاده می‌شود، شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی آبخیزها راه‌حل بهینه‌ای برای این فقدان است [۲۳]. مدل‌های زیادی برای شرح و پیش‌بینی هیدرولوژی آبخیز پیشنهاد شده که، از نظر اهداف و مقیاس زمانی و مکانی، بسیار متفاوت‌اند [۲۶]. تفاوت شرایط و اطلاعات ناقص و نامناسب باعث می‌شود اعتبار مدل و اثبات تطابق آن با واقعیت امری دشوار و نسبی شود و بیان اینکه مدلی دقیقاً بیانگر واقعیت است غیرممکن گردد [۲۲]. شرایط فیزیکی آبخیز چهل‌چای، واقع در استان گلستان، مانند کوهستانی و پُرشیب‌بودن، و نحوه مدیریت نامطلوب اراضی، مانند قطع و بهره‌برداری جنگل در سطح وسیع، و گسترش اراضی دیم همراه با شخم در جهت شیب زمین را برای ایجاد سیل و تخریب خاک فراهم می‌کند. به منظور کاهش خطرها و خسارات ناشی از این امر و انجام‌دادن اقدامات مدیریتی مناسب، برآورد رواناب و رسوب و پیش‌بینی شرایط آبی در این آبخیز امری ضروری است. مدل SWAT یکی از مدل‌هایی است که در کشورهای مختلف محققان از آن در زمینه‌های مختلف هیدرولوژی و مدیریت آبخیز استفاده کرده‌اند، از جمله [۴]، [۱۲]، [۲]، [۱۰]، [۱۷]، [۱۱]، [۸]، [۲۱]، [۶]، [۷]، [۲۸] و [۱۳] به مطالعه رواناب و رسوب حوضه‌ها پرداخته‌اند. در ایران نیز بسیاری از محققان از مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب آبخیزهایی با وسعت مختلف استفاده کرده و کارایی این مدل را پس از واسنجی تأیید نموده‌اند. از میان

آن‌ها می‌توان به [۲۵]، [۲۳]، [۲۰]، [۵]، [۲۷]، [۱۴] اشاره کرد. عموم تحقیقات گذشته حاکی از کارایی این مدل در حوضه‌هایی با شرایط توپوگرافی، اقلیمی، و کاربری‌های مختلف است. در بیشتر این مطالعات از معیار ناش-ساتکلیف، به عنوان تابع هدف، و از الگوریتم‌هایی مانند SUFI2 و GLUE^۱ برای واسنجی استفاده شده است. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر واسنجی و اعتبارسنجی رواناب و رسوب مدل SWAT در آبخیز چهل‌چای استان گلستان، با کمک الگوریتم SUFI2 است تا، در صورت اثبات کارایی این مدل، از آن همچون ابزاری مدیریتی در آبخیز چهل‌چای استفاده شود.

روش‌شناسی

مطالعه حاضر در آبخیز چهل‌چای در استان گلستان انجام پذیرفت. این منطقه با مساحتی بالغ بر ۲۵ هزار هکتار در بین طول‌های جغرافیایی شرقی ۳۰°، ۲۲°، ۵۵° الی ۳۰°، ۳۷°، ۵۵° و عرض‌های جغرافیایی شمالی ۳۰°، ۵۷°، ۳۶° الی ۱۵°، ۳۷° واقع شده و از زیرحوضه‌های گرگان‌رود است. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در آن حدود ۱۹۰ تا ۲۵۵۵ متر است و طبقه شیب ۳۰-۵۰ درصد با ۳۹/۲۴ درصد شیب غالب منطقه را تشکیل می‌دهد. وضعیت کوهستانی، با شیب‌های تند، شبکه آبراهه‌ای شاخه درختی پیچیده‌ای در محیط ایجاد کرده است. [۳] نقشه کاربری اراضی آبخیز چهل‌چای را، با استفاده از تصویر IRS سنجنده LissIII، مربوط به ۱۷ ژوئن ۲۰۰۶، با قدرت تفکیک ۲۴/۵ متری به‌روزرسانی کردند. نقشه تهیه‌شده با کمک پیمایش صحرائی تأیید و تکمیل شد. با توجه به این نقشه، ۷ طبقه کاربری

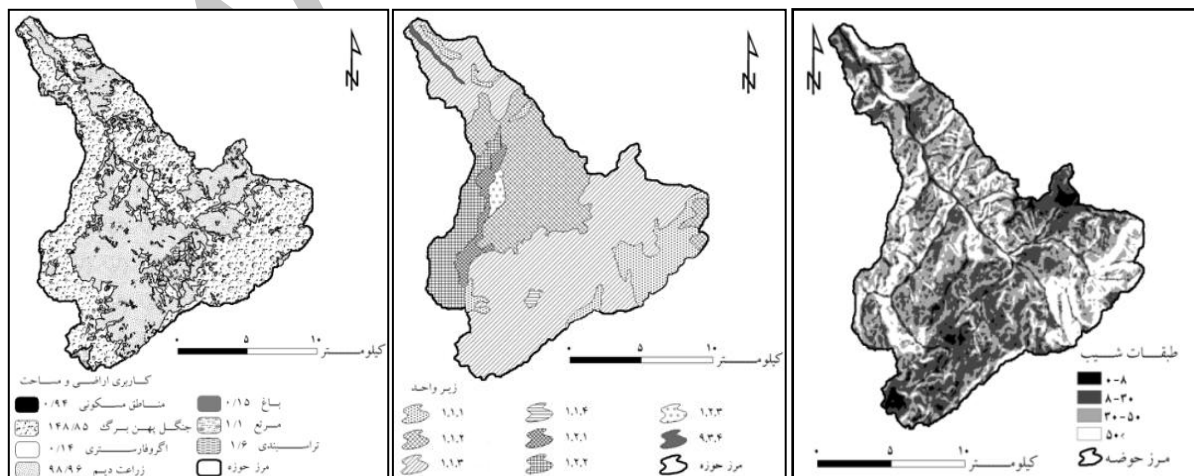
1. Generalized Likelihood Uncertainty Estimation

شد. شکل ۱ موقعیت حوضه، محل ایستگاه‌های دما، بارش (لزوره، نراب، و دوزین) و شکل ۲ نقشه شیب، کاربری اراضی، و اجزای اراضی را نشان می‌دهد. در جدول ۱ نیز برخی نمایه‌های آب و هوایی ارائه شده است. آمار و اطلاعات ۳۴ نمونه غلظت رسوب و دبی متوسط روزانه مورد استفاده در مطالعه مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ ایستگاه هیدرومتری لزوره است که از سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان دریافت شد.

اراضی - مناطق مسکونی (۰/۹۴ کیلومتر مربع)، جنگل پهن‌برگ (۱۴۸/۸۵)، آگروفارستری (۰/۱۴)، زراعت دیم (۹۸/۹۶)، باغ (۰/۱۵)، مرتع (۱/۱)، و تراسبندی (۱/۶) - برای منطقه به‌دست آمد. برای نقشه خاک‌شناسی از داده‌های حاصل از پروفیل‌های برداشتی به منظور تهیه نقشه اجزای واحد اراضی در طرح جنگل‌داری چندمنظوره [۲۴] استفاده شد. در محدوده مورد مطالعه، ۳ ایستگاه هواشناسی (لزوره، نراب، و دوزین) وجود دارد که از داده‌های بارش و حداقل و حداکثر دمای روزانه این ایستگاه‌ها استفاده



شکل ۱. موقعیت آبخیز چهل‌چای استان گلستان و ایستگاه‌های هواشناسی منطقه



شکل ۲. از راست: نقشه شیب، نقشه اجزای واحد اراضی، و نقشه کاربری اراضی آبخیز چهل‌چای

جدول ۱. برخی نمایه‌های دما (درجه سانتی‌گراد) و بارش (میلی‌متر) ایستگاه نزوره (سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۰)

نمایه آب و هوایی	کمترین بارش روزانه در روزهای دارای بارش (میلی‌متر)	بیشترین بارش روزانه (میلی‌متر)	حداکثر دمای روزانه (درجه سانتی‌گراد)	حداقل دمای روزانه (درجه سانتی‌گراد)	بارندگی متوسط سالانه (میلی‌متر)
مقدار	۰/۵	۷۳/۵	۴۳	-۹	۸۴۸

معرفی مدل SWAT

مدل SWAT مدلی مفهومی - نیمه‌توزیعی، دارای بازده محاسباتی بالا، و یک مدل پیوسته زمانی است. این مدل مجموعه‌ای است از معادلات ریاضی و فرمول‌های تجربی متعدد. سازمان تحقیقات کشاورزی آمریکا، در ۱۹۹۸، مدل SWAT را برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت در جریان، رسوب،

عناصر غذایی، و بیلان مواد شیمیایی در حوزه‌هایی با خاک، کاربری اراضی، و شرایط مدیریتی مختلف برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه کرد [۱۹]. در این مطالعه، از نسخه SWAT 2009 استفاده شد. SWAT هیدرولوژی آبخیز را در دو بخش بررسی می‌کند: فاز زمینی (با استفاده از بیلان آبی، رابطه (۱))؛ فاز رونیدیابی (به روش ماسکینگام).

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

استفاده از فرمول مانینگ (کانال و دامنه)، تخمین زده می‌شود. در این مطالعه، روش هارگریوز-سامانی برای برآورد تبخیر و تعرق انتخاب شد که فقط به داده دما نیاز دارد. تعرق واقعی نیز تابعی از تعرق پتانسیل و آب در دسترس خاک است. این مدل، فرسایش و بار رسوب هر واحد پاسخ هیدرولوژی را با استفاده از معادله جهانی فرسایش USLE اصلاح شده تخمین می‌زند. مدل هیدرولوژی تخمین‌های حجم رواناب و نرخ اوج رواناب را ذخیره می‌کند که با سطح زیرحوزه برای محاسبه متغیر انرژی فرساینده رواناب استفاده می‌شود. مدل رونیدیابی رسوب هم شامل دو جزء است: تخریب؛ ته‌نشست^۲ - که همزمان عمل می‌کند. در این مدل، حداکثر رسوبی که در مسیر می‌تواند منتقل شود تابعی از حداکثر سرعت جریان در نظر گرفته می‌شود. درباره تئوری مدل توضیحات بیشتر را می‌توان در [۱۸] مشاهده کرد.

در این رابطه SW_t مقدار نهایی آب در خاک (میلی‌متر)، SW_0 مقدار اولیه آب در خاک (میلی‌متر)، R_{day} مقدار بارندگی در روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i ام (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر)، W_{seep} مقدار آبی که از پروفیل خاک به ناحیه غیراشباع در روز i ام وارد می‌شود (میلی‌متر)، و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در روز i ام (میلی‌متر) است. رواناب سطحی نیز با استفاده از مقادیر روزانه یا کمتر از روزانه^۱ داده هواشناسی، حجم‌های رواناب سطحی و نرخ‌های رواناب اوج برای هر واحد پاسخ هیدرولوژی (اراضی دارای شیب، کاربری، خاک، و مدیریت همگن در هر زیرحوزه) شبیه‌سازی می‌شود. در مطالعه حاضر، به دلیل محدودیت داده، از روش شماره منحنی استفاده شد. پیش‌بینی نرخ اوج رواناب (به عنوان شاخصی برای توانایی فرسایش سیلاب) نیز با استفاده از روش استدلالی اصلاح می‌شود و زمان تمرکز زیرحوزه، با

1. sub daily

2. degradation & deposition

آماده‌سازی مدل و فرایند اجرا

با توجه به راهنمای مدل [۲۹]، نخست مدل رقومی ارتفاع محل به مدل معرفی شد و، سپس، شبکه آبراهه طراحی شد. در مرحله بعد، حداقل مساحت ممکن برای تشکیل زیرحوزه‌ها (۱۰۰۰ هکتار)، با در نظر گرفتن محدودیت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، تعیین شد. محل ایستگاه هیدرومتری لزوره به عنوان خروجی آبخیز تعریف و مرز حوزه تشکیل شد. در مراحل بعدی، نقشه کاربری اراضی با ۷ طبقه و خاک با ۸ طبقه به کمک کدهایی به مدل معرفی شد. سپس، به کمک مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب با ۴ طبقه تهیه شد. از تلفیق این سه لایه نقشه واحدهای پاسخ هیدرولوژی به دست آمد. مدل SWAT به داده بارش و حداقل و حداکثر دمای روزانه نیاز دارد. از داده دما و بارش ایستگاه‌های لزوره، نراب، و دوزین استفاده شد. بدین منظور، مختصات و ارتفاع محل قرارگیری ایستگاه‌ها و نیز محل ایستگاه تولیدکننده اقلیمی (ایستگاه لزوره به دلیل طولانی‌تر بودن دوره آماری موجود) وارد مدل شد. سپس، برنامه مدیریت اراضی زراعی، مانند زمان کشت، زمان و مقدار کوددهی، و زمان و وسیله شخم و زمان برداشت - که در پوشش منطقه و غیرمستقیم در هیدرولوژی و فرسایش آبخیز مؤثر است - با توجه به شرایط محلی، برای مدل تعریف گردید. در مرحله بعد، تعداد سال‌های مدنظر برای شبیه‌سازی (۲۰۰۵-۲۰۰۱ در واسنجی و ۲۰۰۹-۲۰۰۶ در اعتبارسنجی) انتخاب و مدل اجرا شد که در آن سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ دوره تعادل‌جویی^۱ تعیین شدند.

الگوریتم SUFI2

در این مطالعه، از الگوریتم SUFI2 به منظور تسهیل واسنجی مدل استفاده شد. در برنامه SUFI2 فرض می‌شود که هر پارامتر ناشناخته به طور یکنواخت در یک دامنه با عدم قطعیت معین توزیع شده است. حد بالا و پایین این دامنه را می‌توان بر اساس تجربیات، آزمایش‌ها، و یا اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در مطالعات پیشین و منابع علمی انتخاب کرد. الگوریتم SUFI2 طی ۹ گام اجرا می‌شود که عبارت‌اند از: تعریف تابع هدف^۲ (در مطالعه حاضر معیار ناش - ساتکلیف)، تعریف حد بالا و پایین دامنه هر پارامتر، آنالیز حساسیت مطلق^۳ برای همه پارامترها، تعیین نخستین دامنه عدم قطعیت هر پارامتر برای نمونه‌برداری لاتین هایپرکیوب، نمونه‌برداری به روش لاتین هایپرکیوب در هر مرحله شبیه‌سازی، محاسبه تابع هدف انتخابی در گام اول برای هر مرحله شبیه‌سازی، محاسبه حساسیت نسبی، محاسبه عدم قطعیت، پیشنهاد دامنه جدید برای هر پارامتر به منظور کاهش عدم قطعیت توسط الگوریتم. تغییرات پارامترها باید مفهوم فیزیکی داشته باشد و فاکتورهای فیزیکی، مثل ارتفاع، نوع خاک، و کاربری اراضی، را دربر گیرد. توضیحات بیشتر درباره الگوریتم SUFI2 را می‌توان در [۱] مشاهده کرد.

از آنجا که اندازه‌گیری مستقیم بسیاری از پارامترها در وسعت حوزه امکان‌پذیر نیست، لازم است مدل برای حوزه موردنظر واسنجی شود. در این مطالعه، از الگوریتم SUFI2 برای واسنجی مدل استفاده شد، زیرا به راحتی به SWAT می‌پیوندد، تعداد زیادی از پارامترها را پردازش می‌کند، و این امکان را فراهم می‌سازد که واسنجی پارامترها بر اساس داده‌های

1. Warm Up
3. Absolute Sensitivity Analysis

2. Objective Function

آن از ۰٫۵ بیشتر باشد، مدل شبیه‌سازی خوبی داشته است و در صورت منفی شدن آن بهتر است که به نتایج مدل بسنده نشود و از متوسط مقادیر مشاهده‌ای استفاده شود [۱۶]. [۹] مقادیر ناش - ساتکلیف بیشتر از ۷۵ درصد را عالی و مقادیر بین ۰٫۳۶ و ۰٫۷۵ را رضایت‌بخش بیان می‌کنند.

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_o - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{oi} - Q_o)^2} \quad (3)$$

معیار ناش - ساتکلیف لگاریتمی برای ارزیابی جریان‌های پایین: در شبیه‌سازی کامل میزان این معیار برابر ۱ است.

$$NSL = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [\ln(Q_{si}) - \ln(Q_{oi})]^2}{\sum_{i=1}^n [\ln(Q_{oi}) - \ln(Q_{oi})]^2} \quad (4)$$

معیار ناش - ساتکلیف برای ارزیابی جریان‌های بالا: مقدار بهینه این معیار نیز ۱ است [۳۰].

$$NSH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} + \bar{Q}_o)(Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} + \bar{Q}_o)(Q_{oi} + \bar{Q}_o)^2} \quad (5)$$

معیار جمعی^۱: این معیار نشان‌دهنده میزان تفاوت‌هایی، از قبیل اندازه، شکل، و حجم، بین هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده است که از تأثیر معیار ناش - ساتکلیف، ضریب همبستگی اصلاح‌شده (r_{mod})، و انحراف مدل (MB) حاصل می‌شود.

$$AM = \frac{r_{mod} + NS + (1 - |MB|)}{3} \quad (6)$$

مقدار ۱، نشان‌دهنده تطابق کامل دو هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده است. جدول ۲ کلاس‌بندی معیار جمعی را نشان می‌دهد [۳۰].

اعتبارسنجی

اعتبارسنجی اجرای مدل با استفاده از مقادیر بهینه‌شده در مرحله واسنجی است. هدف از اعتبارسنجی اطمینان یافتن از این است که مدل واسنجی شده

اندازه‌گیری شده در متغیرهای مختلف همزمان انجام گیرد [۲۳]. [۳۱] نیز گزارش کردند که این برنامه، نسبت به سایر روش‌ها، به تعداد مراحل شبیه‌سازی کمتری نیاز دارد تا به نتایج مشابهی برسد. در استفاده از SUFI2 تعداد و دامنه پارامترهای تعیین‌شده برای واسنجی به علاوه تعداد شبیه‌سازی‌ها و تعداد نمونه‌برداری لاتین هاپیرکیوب در هر بار اجرای SUFI2 مهم است. در این مطالعه، با توجه به محدودیت توان سیستم رایانه‌ای در دسترس در پردازش حجم وسیع اطلاعات حاصل از هر اجرای SUFI2 و تجربه سایرین در استفاده از SUFI2 و متخصصان امر، از ۵۰۰ شبیه‌سازی و ۵۰۰ نمونه‌برداری در هر بار اجرا استفاده شد. با توجه به نحوه انتخاب مقادیر توسط الگوریتم، تعداد بیشتر شبیه‌سازی با تعداد بیشتر نمونه‌برداری فرصت دستیابی به ترکیب بهتری از مقادیر پارامترها را فراهم می‌کند که مقادیر خروجی شبیه‌سازی، به کمک آن‌ها، بهتر دربرگیرنده مقادیر مشاهداتی باشد. آخرین شبیه‌سازی ۵۰۰ تایی به کمک دامنه مقادیر تعیین‌شده برای ۱۹ پارامتر، که تابع هدف قابل قبول و دامنه عدم قطعیت محدودتری داشت، نتیجه واسنجی خودکار تعیین شد.

شاخص‌های آماری ارزیابی مدل

ضریب تبیین: در آن \bar{Q}_o میانگین مقادیر مشاهداتی و \bar{Q}_s میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده است. ضریب تبیین بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند و مقدار بهینه آن ۱ است.

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{oi} - \bar{Q}_o)(Q_{si} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 \sum_i (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2} \quad (2)$$

ضریب ناش - ساتکلیف: مقدار ضریب ناش - ساتکلیف بین ۱ تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند. مقدار بهینه این شاخص ۱ است. مقادیر بین صفر و ۱ قابل قبول بوده و کمتر از صفر پذیرفتنی نیست. اگر میزان

1. aggregated measure

با استفاده از دامنه مقادیر پارامترهای حاصل از واسنجی، برای سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ همراه با یک سال دوره تعادل جوی (۲۰۰۶) اجرا شد.

می‌تواند به درستی شرایط منطقی را برای سری‌های متفاوتی از محیط تعمیم دهد. به منظور اعتبارسنجی، الگوریتم SUFI2 در ۵۰۰ تکرار و ۵۰۰ نمونه‌برداری،

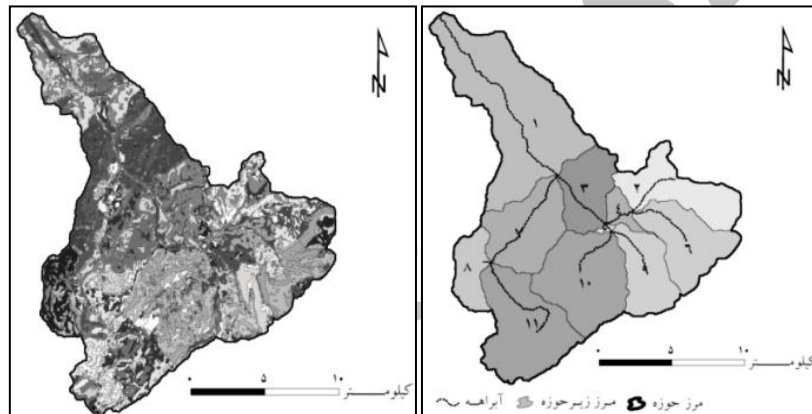
جدول ۲. دسته‌بندی کارایی مدل بر اساس معیار جمعی

دسته‌بندی	عالی	خیلی خوب	خوب	ضعیف	خیلی ضعیف
معیار جمعی	$> 0/85$	$0/85-0/7$	$0/7-0/55$	$0/55-0/4$	$< 0/4$

به دست آمد. شکل ۳ مرز، زیرحوزه‌ها و شبکه آبراهه تعیین شده و واحدهای پاسخ هیدرولوژی را نشان می‌دهد.

نتایج

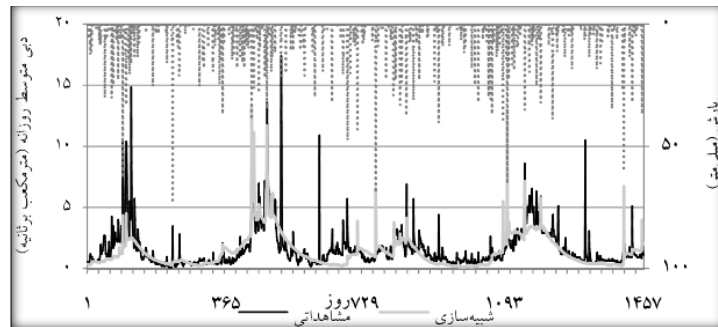
با توجه به شرایط تعیین شده، طی تنظیم و اجرای مدل، ۱۱ زیرحوزه و ۳۳۴ واحد پاسخ هیدرولوژی



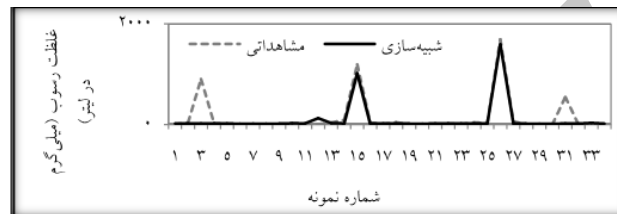
شکل ۳. از راست: زیرحوزه‌ها و شبکه آبراهه، واحدهای پاسخ هیدرولوژی آبخیز چهل‌چای در ArcSWAT

جدول ۴ حساسیت نسبی پارامترهای منتخب را در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. پس از واسنجی خودکار تغییرات اندکی نیز به صورت دستی در بهترین مقادیر به دست آمده از واسنجی خودکار برای بهینه‌سازی واسنجی و افزایش دقت صورت گرفت. در جدول ۵ مقادیر اولیه این پارامترها، دامنه تعیین شده برای آن‌ها، و بهترین مقادیر تعیین شده برای آن‌ها طی واسنجی خودکار و مقادیر بهینه شده ارائه شده است. شکل‌های ۴ و ۵ نیز هیدروگراف جریان و غلظت رسوب به دست آمده از مقادیر نهایی پارامترها در مرحله واسنجی را نشان می‌دهد.

مقادیر ناش - ساتکلیف به دست آمده قبل از واسنجی برای دبی متوسط روزانه و غلظت رسوب به ترتیب برابر ۱/۳۲- و ۳/۴۴- به دست آمد که بر لزوم واسنجی مدل تأکید می‌کند. SUFI2، به دفعات، با شرایط گفته شده برای حدود ۸۰ پارامتر مدل SWAT اجرا شد. دامنه عدم قطعیت و حساسیت نسبی پارامترها در هر بار شبیه‌سازی مورد توجه قرار گرفت و پارامترهایی که حساسیت زیادی نداشتند به منظور کاهش تعداد پارامترها و افزایش سرعت شبیه‌سازی‌ها از فهرست پارامترهای مد نظر برای واسنجی حذف شدند که نهایتاً ۱۹ پارامتر (جدول ۳) واسنجی شد.



شکل ۴. دبی شبیه‌سازی شده با تغییرات نهایی پارامترهای واسنجی (۲۰۰۲-۲۰۰۵)



شکل ۵. غلظت رسوب شبیه‌سازی شده با تغییرات نهایی در مرحله واسنجی

جدول ۳. تعریف پارامترهای استفاده شده در واسنجی

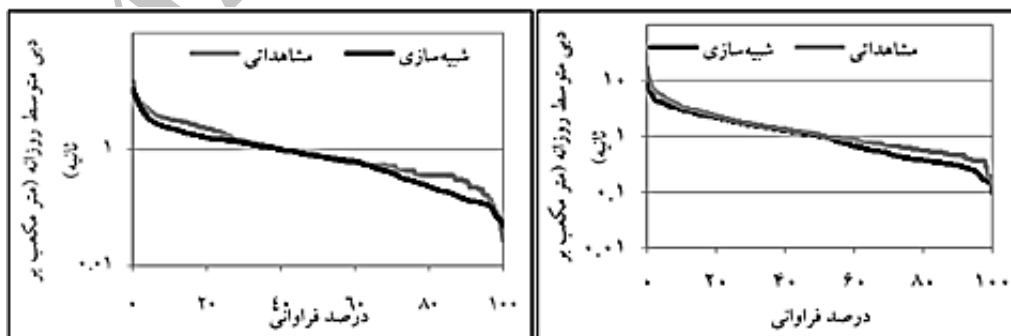
نام پارامتر	شرح پارامتر
SMTMP	دمای پایه ذوب برف (درجه سانتیگراد)
ALPHA_BNK	فاکتور آلفای جریان پایه برای ذخیره کناری (روز)
CH_K2	هدایت هیدرولیکی موثر در آبرفت‌های کانال اصلی (میلیمتر بر ساعت)
SOL_K	هدایت هیدرولیکی اشباع (میلیمتر بر ساعت)
CANMX	حداکثر ذخیره تاجی (میلیمتر آب)
OV_N	ضریب زبری مانینگ برای جریان روی دامنه
ESCO	فاکتور جبران تبخیر خاک
PRF	فاکتور تعیین نرخ اوج برای روندیابی رسوب در کانال اصلی
GW_DELAY	زمان تأخیر آب زیرزمینی (روز)
ALPHA_BF	فاکتور آلفای آب پایه (روز)
USLE_K	فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در معادله جهانی فرسایش
MSK_CO2	ضریب واسنجی برای کنترل تأثیر ثابت زمان ذخیره برای جریان پایین (جریان ۰/۱ از عمق کامل رودخانه)
CH_N2	ضریب زبری مانینگ در کانال اصلی
SMFMX	فاکتور ذوب برف در ۲۱ ژوئن (میلیمتر آب بر درجه سانتیگراد در روز)
SNOCVMX	حداقل محتوای آب برف که مربوط به ۱۰۰ درصد پوشش برف است (میلیمتر آب)
SMFMN	فاکتور ذوب برف در ۲۱ دسامبر (میلیمتر آب بر درجه سانتیگراد در روز)
MSK_CO1	ضریب واسنجی برای کنترل تأثیر ثابت زمان ذخیره برای جریان نرمال (جریان نرمال زمانی است که رودخانه کاملاً پر است)
SFTMP	دمای بارش برف (درجه سانتیگراد)
CN2	شماره منحنی برای شرایط رطوبتی ۲

جدول ۴. حساسیت نسبی پارامترها در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی حاصل از اجرای SUFI2

نام پارامتر	واسنجی		اعتبارسنجی	
	t-Stat	P-Value	t-Stat	P-Value
v_SMTMP.bsn	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۵۶	۰/۵۸
v_ALPHA_BNK.rte	-۰/۰۸	۰/۹۴	۱/۶۶	۰/۱
v_CH_K2.rte	۰/۱۷	۰/۸۷	-۳/۶۷	۰
r_SOL_K(1).sol	۰/۱۹	۰/۸۵	۱/۰۹	۰/۲۷
v_CANMX.hru	-۰/۲۳	۰/۸۲	۱/۷۱	۰/۰۹
r_OV_N.hru	-۰/۵۱	۰/۶۱	-۰/۰۴	۰/۹۶
v_ESCO.hru	۰/۵۹	۰/۵۵	۳/۶۸	۰
v_PRF.bsn	۰/۷۶	۰/۴۵	-۱/۹۴	۰/۰۵
v_GW_DELAY.gw	-۰/۸۳	۰/۴	۰/۰۵	۰/۹۶
v_ALPHA_BF.gw	-۰/۹۲	۰/۳۶	۰/۹۳	۰/۳۵
r_usle_k(1).sol	-۰/۹۷	۰/۳۳	-۱/۴۱	۰/۱۶
v_MSK_CO2.bsn	۱/۴۷	۰/۱۴	-۰/۵۴	۰/۵۹
v_CH_N2.rte	۱/۵۹	۰/۱۱	۲/۶۲	۰/۰۱
v_SMFMX.bsn	-۱/۶۵	۰/۱	۰/۹۷	۰/۳۳
v_SNOCOVMX.bsn	۱/۸۳	۰/۰۷	-۲/۱۹	۰/۰۳
v_SMFMN.bsn	-۲/۲۵	۰/۰۳	۳/۰۹	۰
v_MSK_CO1.bsn	-۲/۶۳	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۹۳
v_SFTMP.bsn	-۲/۹۷	۰	۰/۸	۰/۴۲
r_CN2.mgt	۴/۱۷	۰	-۱۴/۳۰	۰

شبهه‌سازی شده را نشان می‌دهد. در این نمودار کم‌تخمینی یا بیش‌تخمینی‌های مدل را می‌توان ملاحظه کرد.

به منظور ارزیابی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل از معیارهایی استفاده شد که برخی از آن‌ها در SUFI2 و برخی به صورت جداگانه محاسبه گردید (جدول ۶). شکل ۶ مقایسه فراوانی داده‌های مشاهداتی و



شکل ۶. از راست: مقایسه دبی شبهه‌سازی و مشاهداتی بر اساس درصد فراوانی در مرحله واسنجی، اعتبارسنجی

جدول ۵. پارامترهای تعیین‌شده برای واسنجی، مقادیر اولیه، حداقل و حداکثر و مقادیر نهایی آن‌ها در واسنجی

پارامتر	مقدار اولیه پارامتر	حداقل	حداکثر	بهترین مقادیر در کالیبراسیون خودکار	مقادیر نهایی پارامتر
r_SOL_K(1).sol	۲۸/۱۷ تا ۷/۴	-۰/۵	۰	-۰/۳۶۷۵	-۰/۴۹۴۵
v_CH_K2.rte	۰	۲۰	۴۰	۲۹/۰۵۹۹۹	۳۶/۷۷۵۰۰۲
v_CANMX.hru	۰	۳۰	۶۰	۴۱/۶۶۹۹۹۸	۵۰/۸۴۹۹۹۸
v_CH_N2.rte	۰/۰۱۴	۰	۰/۱	۰/۰۶۵۱	۰/۰۶
v_MSK_CO1.bsn	۰	۰	۵	۲/۷۵۵	۱/۹۵۵
v_MSK_CO2.bsn	۳/۵	۰	۵	۰/۳۶۵	۰/۲۶۵
v_ALPHA_BNK.rte	۰	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۴۷۷۳	۰/۰۴۹۲۷
v_SFTMP.bsn	۱	-۲	۲	-۰/۶۲۸	-۰/۹۹۶
v_SMTMP.bsn	۰/۵	-۲	۲	۱/۳۸	-۰/۳۷۲
v_SMFMX.bsn	۴/۵	۰	۱	۰/۳۷۵	۰/۰۷۵
v_SMFMN.bsn	۴/۵	۰	۱	۰/۶۹۷	۰/۸۹۱
r_CN2.mgt	۸۴ تا ۴۵	-۰/۱۵	-۰/۳۵	-۰/۱۸۹۸	-۰/۱۵۱
v_ALPHA_BF.gw	۰/۰۴۸	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۵۹۳۵	۰/۰۴۶۹۱
v_GW_DELAY.gw	۳۱	۲۰	۵۵	۳۷/۴۶۵	۴۵/۷۹۵
v_ESCO.hru	۰	۰/۷	۱	۰/۹۵۸۹	۰/۹۸۷۵
r_OV_N.hru	۰/۱۵ تا ۰/۰۹	۰	۰/۵	۰/۰۴۲۵	۰/۳۲۸۵
v_SNOCOVMX.bsn	۱	۵۰	۲۰۰	۱۲۰/۰۵	۱۹۶/۲۵
v_PRF.bsn	۱	۰/۸	۱/۵	۱/۲۶۲۷	۱/۳
r_USLE_K(1).sol	۰/۴۶ تا ۰/۱۵	-۰/۱۵	۰/۱۵	-۰/۰۳۲۷	۰/۱۵

r: مقدار پارامتر ضرب در +۱ مقدار تعیین‌شده، v: مقدار تعیین‌شده جایگزین مقدار قبلی پارامتر

جدول ۶. مقادیر معیارهای ارزیابی کارایی مدل در واسنجی و اعتبارسنجی مدل

معیار	واسنجی تلفیقی		واسنجی خودکار		اعتبارسنجی	
	دبی	رسوب	دبی	رسوب	دبی	رسوب
NS	۰/۵	۰/۷۱	۰/۴۹	۰/۷۲	۰/۴	۰/۹۲
NSL	۰/۲۵۳	-۰/۰۵	۰/۲۵	-۰/۰۰۸	۰/۴۷	۰/۳۰۲
NSH	۰/۴۶۲	۰/۸۴	۰/۴۵۹	۰/۸۰۶	۰/۲۵۵	۰/۹۵۸
R ²	۰/۵۲	۰/۷۱	۰/۵۴	۰/۷۳	۰/۴۵	۰/۹۳
فاصله بالا و پایین دامنه عدم قطعیت	-	-	۰/۷۴	۰/۴۴	۰/۵	۱/۹۵
AM	۰/۶۴	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۵۳	۰/۸۶

بیان آب حوضه

طول گام زمانی از واحد پاسخ هیدرولوژی خارج می‌شود و به کانال اصلی وارد می‌شود و از مجموع هدررفت انتقالی، جریان جانبی سهمیم در آبراهه، آب زیرزمینی سهمیم در آبراهه، و رواناب سطحی به‌دست می‌آید.

شکل ۷ میانگین سالانه مقادیر متوسط وزنی اجزای بیان آب شبیه‌سازی‌شده به وسیله مدل SWAT برای آبخیز چهل‌چای را نشان می‌دهد. منظور از کل محصول آب در این نمودار کل مقدار آبی است که در



شکل ۷. اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده به وسیله مدل SWAT (مقادیر بر حسب میلی‌متر)

رسوب- به تعداد واحدهای پاسخ هیدرولوژی بیش از تعداد زیرحوزه حساس هستند. [۱۳] نیز بیان می‌کنند که گاهی تقسیم‌بندی آبخیز به وسیله مدل SWAT بیشتر از تعیین پارامترها در خروجی مدل مؤثر است. افزایش تعداد زیرحوزه و واحدهای پاسخ هیدرولوژی دقت پیش‌بینی‌های جریان SWAT را بهبود می‌بخشد. زمانی که مدل SWAT برای آبخیزهای پُرشیب به کار می‌رود، تأثیرات تقسیم‌بندی آبخیز در شبیه‌سازی رسوب بیشتر می‌شود. [۲۶] بیان کردند که جریان آب حساسیت بیشتری به تعریف واحدهای پاسخ هیدرولوژی نسبت به زیرحوزه دارد. بنابراین، در مطالعه حاضر سعی شد، به کمک آزمون و خطا، حداکثر تعداد زیرحوزه، با توجه به توانایی سیستم رایانه در پردازش اطلاعات، مراحل کار انتخاب شود. نهایتاً، مقدار آستانه ۱۰۰۰ هکتار، که به تعیین ۱۱ زیرحوزه منجر می‌شود، برای زیرحوزه‌بندی تعیین شد. حاصل تلفیق لایه‌های رقومی ۳۳۴ واحد پاسخ هیدرولوژی بود که به منظور حفظ اثر کاربری‌های با مساحت کم هیچ آستانه مساحتی برای واحدها در نظر گرفته نشد. در نخستین اجرای مدل با شرایط تعیین شده برآوردهای دبی و رسوب بسیار بیشتر از واقعیت تخمین زده شد که بر لزوم واسنجی مدل برای حوزه مذکور تأکید دارد. پس از واسنجی (۲۰۰۱-

بحث و نتیجه‌گیری

آبخیز چهل‌چای با خصوصیتی همچون متوسط شیب بیش از ۳۰ درصد و تغییر شدید کاربری جنگل به زراعت دیم مستعد سیل و فرسایش است و مطالعه رواناب و رسوب در آن برای مدیریتی جامع و همه‌سویگر ضروری به نظر می‌رسد. [۲۳] توانایی SWAT را برای این هدف تأیید نموده است. به علاوه، محققانی همچون [۶] و [۲۱] بر توانایی کاربرد این مدل در آبخیزهای کوهستانی، پُرشیب، و جنگلی تصریح نموده‌اند. اما، با بررسی‌هایی که در مطالعات مختلف صورت گرفت، چنین به نظر می‌رسد که مدل SWAT در آبخیزهایی با مساحت بزرگ‌تر و دوره‌های آماری طولانی‌تر و با گام‌های زمانی ماهانه و بیشتر نتایج مطلوب‌تری داشته است. [۲۵] نیز بیان می‌کند که مدل به دوره‌های آبی و مدت دوره حساس است. آستانه مساحت برای تعیین زیرحوزه‌ها نکته مهم دیگری است و [۲۳] بر آن است که زیرحوزه‌بندی تأثیر بسیار کمی در پیش‌بینی جریان آب و تأثیر متفاوتی در رسوب و عناصر غذایی دارد. همچنین، انتقال رسوب را به تعداد زیرحوزه‌ها حساس می‌داند و رواناب را غیرحساس. آزمون و خطا نشان می‌دهد که دو عامل- فرسایش و

جریان در لایه‌های یخ‌زده، و اشباع و طول دوره آماری کوتاه دانسته است. با توجه به شرایط برف‌گیر آبخیز چهل‌چای و شیب زیاد، که می‌تواند باعث سیلاب‌های شدید شود، موارد مذکور در این حوزه نیز صادق است. نمودار بیلان آب (شکل ۷) مقدار بسیار کم رواناب سطحی در مقایسه با سایر بخش‌های بیلان را نشان می‌دهد که، با توجه به شرایط حوضه، برخلاف انتظار است و می‌تواند موارد فوق را تأیید کند.

نکته درخور توجه دیگر اینکه درصد فراوانی وقوع دبی در شکل ۶ نشان می‌دهد که مقادیر دبی بالا و پایین چندان خوب شبیه‌سازی نشده است و بیشتر داده‌های با مقدار متوسط توسط مدل شناسایی شده‌اند. دقت در پارامترهای مورد استفاده برای واسنجی نشان می‌دهد بیشتر این پارامترها بر جریان‌های زیرزمینی مؤثر است؛ شاید دلیل کم‌تخمینی رواناب سطحی تحت تأثیر این امر باشد. با این همه، باید توجه داشت که ضعف در شبیه‌سازی جریان، تعداد کم داده رسوب، احتمال عدم صحت داده رسوب، و پیوسته نبودن اطلاعات رسوب می‌تواند بر شبیه‌سازی رسوب مؤثر باشد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود یک دوره داده پیوسته و دقیق داده دبی و رسوب از این حوضه تهیه شود و مدل برای آن مجدداً واسنجی شود تا نتایج قابل اعتمادتری در دسترس قرار گیرد. در مجموع، مدل SWAT توانست پس از واسنجی، به کمک الگوریتم SUFI2، پیش‌بینی رضایت‌بخشی از دبی روزانه و پیش‌بینی خوب تا عالی از رسوب حوضه داشته باشد. الگوریتم SUFI2 در این مطالعه توانست با واسنجی سریع مدل محقق را یاری کند. با توجه به نتایج، پیشنهاد می‌شود از مدل SWAT واسنجی شده برای بررسی اثر اقدامات مدیریتی در حوزه چهل‌چای استفاده کرد.

۲۰۰۵)، معیار ناش- ساتکلیف برای دبی متوسط روزانه ۰/۴۹ و برای غلظت رسوب روزانه ۰/۷۲ به دست آمد. این معیار در اعتبارسنجی (۲۰۰۹-۲۰۰۶) برای دبی و رسوب به ترتیب برابر ۰/۴ و ۰/۹۲ به دست آمد. [۱۶] مقادیر بین ۰ و ۱ را قابل پذیرش دانسته‌اند. [۹] نیز معیار ناش- ساتکلیف بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ را رضایت‌بخش اعلام کردند. بنابراین، نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل در مجموع قابل قبول ارزیابی شد. معیار جمعی نیز، که تحت تأثیر هر سه معیار ناش- ساتکلیف، انحراف مدل، و ضریب همبستگی اصلاح شده است، با توجه به جدول ۲، خوب تا عالی ارزیابی شد. [۱۵] بر آن است که مطلوبیت شبیه‌سازی رسوب وابسته به کیفیت شبیه‌سازی دبی است. آنچه در اینجا بر اساس معیار ناش- ساتکلیف ملاحظه می‌شود این است که رسوب بهتر از دبی شبیه‌سازی شده است. با توجه به اینکه معیار ناش- ساتکلیف از توان دوم اختلاف مقادیر استفاده می‌کند، به مقادیر بالا حساسیت نشان می‌دهد که در رسوب اختلاف مقادیر بسیار بیشتر از دبی است و ممکن است نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. از طرفی، بررسی هیدروگراف جریان در سال‌های شبیه‌سازی اوج‌هایی را نشان می‌دهد که در هیچ یک از تکرارهای صورت گرفته توسط مدل شناسایی نشده است. احتمال خطا در داده این مقادیر اوج می‌تواند باعث کاهش مقدار ناش- ساتکلیف در شبیه‌سازی‌ها باشد. البته، محققانی همچون [۲۳] بزرگ‌ترین خطای مدل را در شبیه‌سازی اوج جریان گزارش کردند و ابراز داشتند که مدل برای شبیه‌سازی وقایع شدید طراحی نشده و، معمولاً، بزرگ‌ترین وقایع جریان را کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده تخمین می‌زند. علاوه بر آن، دلیل ضعف مدل در شبیه‌سازی دبی را شبیه‌سازی ضعیف ذوب برف در حوزه کوهستانی، فرضیات مدل در انتقال

References

- [1]. Abbaspour, K.C. (2009). SWAT-CUP, SWAT Calibration and Uncertainty Programs, Version 2 (user manual), EAWAG, 105p.
- [2]. Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and Srinivasan, R. (2007). Modeling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of hydrology*, 333, 413–430.
- [3]. Bai, M., Saadoddin, A. and Mahini, A. (2011). Assessment of reclamation vegetation impact in edge river on ecological structure in chehel Chai Watershed, Golestan Province. Student National conference on range, watershed and desert, sustainable development, Tehran University.
- [4]. Birhanu, B.Z., Ndomba, P.M. and Mtalo, F.W. (2007). Application of SWAT model for mountainous catchment. *Catchment and Lake Research*, 182-187.
- [5]. Faramarzi, M., Abbaspour, K.C., Schulin, R. and Yang, H. (2009). Modeling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrol Process*, 23, 486–501.
- [6]. Flynn, K. and Liew, V.M. (2009). Validation of the SWAT model for sediment prediction in a mountainous snowmelt-dominated catchment. 2009 international SWAT conference, conference proceedings, Texas A&M University.
- [7]. Folle, S.M. and Mulla, D.J. (2009). Modeling upland and channel sources of sediment in the Le Sueur river watershed, Minnesota. 2009 international SWAT conference, conference proceedings, Texas A&M University.
- [8]. Gessese, A. and Yonas, M. (2008). Prediction of sediment inflow to Legedadi reservoir using SWAT watershed and CCHE1D sediment transport models. *Nile basin water engineering scientific magazine*, 1, 65-74.
- [9]. Geza, M. and McCray, J.E. (2008). Effects of soil data resolution on SWAT model stream flow and water quality predictions. *Journal of Environmental Management*, 88, 393–406.
- [10]. Green, C.H., Arnold, J.G., Williams, J.R., Haney, R. and Harmel, R.D. (2007). Soil and water assessment tool hydrologic and water quality evaluation of poultry litter application to small scale sub watershed in Texas. *Transactions of the ASABE*, 50 (4), 1199-1209.
- [11]. Green, C.H. and Griensven, A. (2008). Auto calibration in hydrologic modeling: using SWAT2005 in small-scale watersheds. *Environmental Modelling & Software*, 23, 422-434.
- [12]. Kannan, N., White, S.M., Worrall, F. and Whelan, M.J. (2007). Sensitivity analysis and identification of the best evapotranspiration and runoff options for hydrological modelling in SWAT2000. *Journal of Hydrology*, 332, 456–466.
- [13]. Kim, J.G., Park, Y., Yoo, D., Kim, N.W., Engel, B.A, Kim, S.J, Kim, K.S. and lim ,K.J. (2009). Development of a SWAT patch for better estimation of sediment yield in steep sloping watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*, 45 (4), 963-972.
- [14]. Moftian, S., Kiani, F., Afyuni, M., Mosaedi, A. and Dordipoor, E. (2010). Calibration of a SWAT hydrologic model for the Tamer watershed in northern Iran. 2010 international SWAT conference, Seoul.
- [15]. Morgan, R.P.C. (2005). Soil erosion and conservation. Black well publication, 304p.
- [16]. Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van liew, M.W., Bingener, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50 (3), 885-900.

- [17]. Ndomba, P., Mtalo, F. and Killingtveit, A. (2008). SWAT model application in a data scarce tropical complex catchment in Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, 626–632.
- [18]. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R. (2005). Soil and water assessment tool theoretical documentation, version 2005, Grassland, soil and water research laboratory, Agricultural research service, 476p.
- [19]. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R. and Williams, J.R. (2010). Soil and water assessment tool, input/output documentation, version 2009, Texas Water resources institute technical report, 365, 604p.
- [20]. Omani, N., Tajrishy, M. and Abrishamchi, A. (2007). Modeling of a river basin using SWAT model and GIS. 2nd international conference on managing rivers in the 21st century: solutions towards sustainable river basins, Malaysia.
- [21]. Ouyang, W., Hao, F.H., Wang, X.L. and Cheng, H.G. (2008). Nonpoint Source Pollution Responses Simulation for Conversion Cropland to Forest in Mountains by SWAT in China. *Environmental Management*, 41, 79–89.
- [22]. Refahi, H. (2003). *Water Erosion and Conservation*, University of Tehran press, 671p.
- [23]. Rostamian, R. (2006). Assessment of runoff and sediment in Beheshtabad watershed, Northern Karun by SWAT 2000. M.Sc. Thesis. irrigation and drainage Faculty, Isfahan University of Technology. 192pp.
- [24]. Runoff Consulting Engineers (2005). Multi-objective forestry project, Chelchay watershed. Department of Agriculture of Gorgan and Gonbad, Golestan, Iran, 2, 52p.
- [25]. Saadati, H., Gholami, Sh.A., Sharifi, F. and Ayyoubzadeh, S.A. (2006). Assesment of land use change impact on surface runoff simulation model. *journal of Iranian Natural Resource*, 59 (2), 301-313.
- [26]. Setegn, S.G., Srinivasan, R. and Dargahi, B. (2008). Hydrological Modelling in the Lake Tana Basin, Ethiopia Using SWAT Model. *The Open Hydrology Journal*, 2, 49-62.
- [27]. Talebizadeh, M., Morid, S., Ayyoubzadeh, S.A. and Ghasemzadeh, M. (2010). Uncertainty analysis in sediment load modeling using ANN and SWAT model. *Water Resource Manage*, 24, 1747–1761.
- [28]. Van Liew, M.W. (2009). Stream flow, sediment and nutrient simulation of the Bitterroot watershed using SWAT. 2009 international SWAT conference, Texas A&M University.
- [29]. Winchell, M., Srinivasan, R., Di luzio, M. and Arnold, J. (2009). ArcSWAT 2.3 Interface for SWAT 2005, User, s guide, Black land research center, 465p.
- [30]. Yaghoubi, F. (2010). River flow simulation by WetSpa model in ChehelChai watershed, Golestan province. M.Sc. Thesis. Range and watershed management faculty, University of Gorgan. 131pp.
- [31]. Yang, J., Reichert, P., Abbaspour, K.C., Xia, J. and Yang, H. (2008). Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. *Journal of Hydrology*, 358, 1–23.