

## شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه اترک با استفاده از مدل SWAT، مطالعه موردی: حوزه آبخیز مراوه‌تپه استان گلستان

شعبانعلی غلامی<sup>۱\*</sup> و معصومه نصیری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران و <sup>۲</sup> کارشناس ارشد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۱۰

### چکیده

حیات بشر، شاهد حوادث مختلف هیدرولوژیکی نظیر سیل، کمبود آب، خشکسالی، آلودگی‌های کیفی آب، وقوع بهمن و غیره بوده است که دامنه خطر آنها تابع رفتار متغیرهای هیدرولوژیکی و خصوصیات حوزه‌های آبخیز است. فقدان آمار و اطلاعات یا کافی نبودن آمار درست و مناسب سبب شده است تا بررسی و شناخت رفتار متغیرهای هیدرولوژیکی و خصوصیات حوزه‌های آبخیز با دقت قابل قبولی صورت نگیرد. در این رابطه، مدل‌هایی هستند که قادرند رفتار و خصوصیات حوضه را تقلید نموده و مقادیر رواناب و رسوب و سایر مؤلفه‌های بیلان حوضه را برآورد و یا شبیه‌سازی نمایند. یکی از مدل‌های هیدرولوژیکی مهم مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) می‌باشد. در تحقیق حاضر، شبیه‌سازی جریان رودخانه اترک، با استفاده از این مدل و بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در آبخیز مراوه‌تپه استان گلستان به صورت ماهانه انجام شد. اطلاعات مورد نیاز برای این تحقیق شامل نقشه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی و اطلاعات خاکشناسی و همچنین، اطلاعات آب و هوا شامل داده‌های روزانه بارش، دما، رطوبت نسبی و رواناب جریان تهیه شد. به منظور مشخص کردن عوامل مهم و حساس مدل، تحلیل حساسیت مدل با استفاده از روش "هر بار یک عامل" (OAT<sup>۱</sup>) انجام شد. بر اساس نتایج در این مرحله، عوامل شماره منحنی، هدایت هیدرولیکی کانال، ضریب تاخیر رواناب سطحی، ثابت تخلیه آب زیرزمینی و عامل جبران تبخیر در خاک در بخش‌های مختلف بیشترین تاثیر را داشتند. واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از برنامه SUFI2 به ترتیب برای سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ صورت پذیرفت. دقت شبیه‌سازی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تبیین در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۵۴ و در دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۴۶ برآورد شد که کارایی مدل SWAT را در برآورد رواناب را با مطلوبیت نسبتاً خوبی نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** اعتبارسنجی، رواناب، شاخص‌های ارزیابی نش-ساتکلیف، مدل‌های هیدرولوژیکی، واسنجی

### مقدمه

برنامه‌ریزی عمرانی و مدیریتی را با معضل و یا حتی شکست مواجه می‌کند (Khalighi Sigarudi و همکاران، ۲۰۰۹). از این رو، می‌توان با شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوزه‌های آبخیز با استفاده از

در کشور ما، اکثر حوزه‌های آبخیز، به‌ویژه حوزه‌های آبخیز کوهستانی، فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی هستند که هر گونه

<sup>۱</sup> One factor at A Time

\* مسئول مکاتبات: ali\_gholami@hotmail.com

مدل SWAT یک مدل‌های جامع در زمینه مطالعات آب و خاک می‌باشد که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های کلان در اراضی وسیع مورد استفاده قرار گیرد. شایان توجه است که تامین آمار روزانه و به‌صورت پیوسته در همه ایستگاه‌های اندازه‌گیری هیدرومتریک امکان‌پذیر نیست، به‌ویژه داشتن آمار رسوب، جریان رودخانه و رواناب روزانه در برنامه حوضه حائز اهمیت فراوانی است. قابل ذکر است که این مدل امکان شبیه‌سازی داده‌های خروجی هیدرومتریک را برای دوره طولانی فراهم می‌سازد که از نظر آماری اهمیت فراوان اقتصادی دارد. در زمینه شبیه‌سازی و بررسی کارایی مدل SWAT تحقیقات زیادی انجام شده است که از بین آن‌ها می‌توان به تحقیقات Hosseini و همکاران (۲۰۱۲)، Bekiaris و همکاران (۲۰۰۵)، Feyereisen و همکاران (۲۰۰۷) و Alansi و همکاران (۲۰۰۹) اشاره نمود. در این پژوهش نیز کارایی مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه اترک در شمال شرق کشور مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** حوزه آبخیز مراوه‌تپه در مختصات جغرافیایی  $37^{\circ} 43'$  تا  $38^{\circ} 02'$  عرض شمالی و  $55^{\circ} 34'$  تا  $56^{\circ} 17'$  طول شرقی قرار گرفته است. این حوضه در شمال شرقی استان گلستان واقع شده و از نظر تقسیمات سیاسی جزء شهرستان کلاله و یکی از زیرحوضه‌های آبخیز اترک می‌باشد. منطقه مورد مطالعه دارای مساحتی بالغ بر ۱۲۰۸۸۲ هکتار می‌باشد. محیط حوضه برابر با ۱۹۳۲۶۱ کیلومتر و کمینه و بیشینه ارتفاع حوضه به ترتیب ۱۴۰ و ۱۳۶۰ متر می‌باشد. از مراکز مهم سکونت‌ی حوضه آبخیز مراوه‌تپه می‌توان به مراوه‌تپه و یکه‌چنار اشاره کرد. راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه از طریق جاده آسفالت‌گراگان، کلاله، مراوه‌تپه به سهولت فراهم می‌باشد.

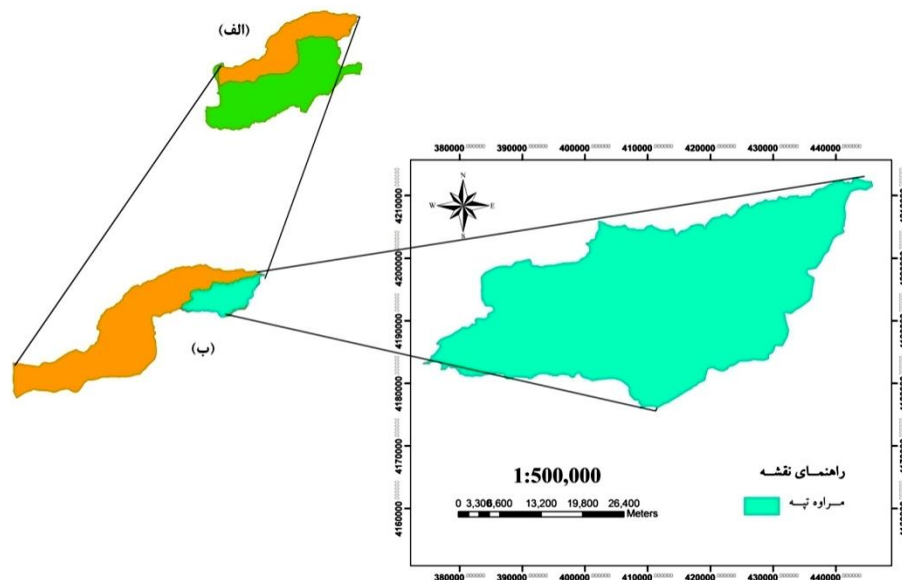
بارندگی سالانه در این حوضه از کمینه ۱۷۵/۹ میلی‌متر تا بیشینه ۸۵۶/۶ میلی‌متر در نوسان است.

مدل‌های هیدرولوژیکی تا حدی بر این مشکل غلبه نمود (Rostamian, ۲۰۰۶). مدل‌های حوزه آبخیز با دو هدف اساسی طراحی می‌شوند. هدف اول، درک بهتر از رفتارهای هیدرولوژیکی و نحوه تغییر رفتارها و اثرات آن‌ها و هدف دوم سنتز داده‌های هیدرولوژیکی به‌منظور طراحی منابع آب، کنترل سیل، تعدیل جریان آب، مدل‌سازی برنامه‌ریزی و پیش‌بینی جریان می‌باشد (Khalighi Sigarudi و همکاران، ۲۰۰۹).

مدل‌ها در حوزه‌های آبخیز، امکان پیش‌بینی اثرات عوامل مختلف، مقایسه سطوح تنش جریان بر بستر خاک، اولویت‌بندی نقاط بحرانی در حوزه‌های آبخیز، بررسی روند وقایع موجود از طریق برون‌یابی داده‌های اندازه‌گیری شده و ارزیابی سیستم‌ها را فراهم می‌نمایند. تاکنون مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی مختلفی بسط داده شده‌اند که به داده‌ها و اطلاعات اندازه‌گیری شده فراوانی نیاز دارند که در حوزه‌های آبخیز بسیاری از کشورها از جمله ایران، چنین داده‌های اندازه‌گیری شده‌ای وجود ندارند و به همین دلیل، کاربرد این مدل‌ها را با مشکل مواجه می‌شود. بنابراین، در انتخاب مناسب‌ترین مدل به‌منظور شبیه‌سازی فرایندهای حوزه آبخیز، باید به مؤلفه‌هایی مانند ویژگی‌های حوزه آبخیز مورد مطالعه، توزیع یا یکپارچه بودن، فیزیکی یا تجربی بودن ساختار مدل، ساده یا پیچیده بودن و در دسترس بودن یا نبودن داده‌های مورد نیاز به‌عنوان ورودی مدل و یا واسنجی آن، توجه داشت (Zeinivand, ۲۰۰۹).

مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی، بر پایه مفهوم فیزیکی عوامل ورودی آن‌ها که تغییرات مکانی را نشان می‌دهند، برای حل مسائل مربوط به منابع آب، شامل تاثیرات محیطی تغییر کاربری اراضی، اثر تغییر اقلیم بر منابع آب، آمایش آب و مدیریت در آبخیز، به‌طور رو به رشدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به هر حال، مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی با مشکلات کمبود داده‌های کافی برای شناساندن کامل تغییرات مکانی، مشکلات مقیاس برای اندازه‌گیری عوامل صحرایی و اجزای مدل و ترسیم کامل فرایندهای واقعی در مدل، روبه‌رو هستند. این عوامل نیاز واسنجی و اعتبارسنجی مدل را فراهم می‌کنند (Refsgaard, ۲۰۰۷).

سانتی‌گراد است که متعلق به ایستگاه رباط قره‌بیل بوده که در دی‌ماه به‌وقوع پیوسته است. به‌طور کلی در منطقه مطالعاتی گرم‌ترین ماه‌ها، تیر و مرداد و سردترین ماه‌ها دی و بهمن می‌باشند. در شکل ۱، نقشه موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز مراوه‌تپه در استان گلستان و آبخیز اترک نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز مراوه‌تپه در استان گلستان (الف) و آبخیز اترک (ب)

بررسی دمای هوا در قلمرو مطالعاتی نشان می‌دهد که متوسط دمای منطقه از ۱۱/۹ تا ۲۰/۲ درجه سانتی‌گراد متغیر است. بیشینه مطلق دمای ثبت شده منطقه متعلق به مراوه‌تپه (نیرو) می‌باشد که به میزان ۴۹/۵ درجه سانتی‌گراد و در تیرماه به‌وقوع پیوسته است و کمینه مطلق دمای ثبت شده نیز ۲۹- درجه

باید SWAT را یک مدل نیمه توزیعی<sup>۲</sup> به‌شمار آورد. از نظر زمانی نیز فرایندهای مختلف بیان شده را می‌توان در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و یا سالانه شبیه‌سازی کرد. اجرای این مدل در محیط مشترک با نرم‌افزار ArcGIS باعث کاربرد آسان و افزایش قابلیت‌های این مدل شده است. نقشه‌های پایه مورد نیاز شامل نقشه مدل ارتفاع رقومی یا DEM، نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک و نقشه پوشش گیاهی می‌باشند که هر سه باید در قالب رستری به مدل ارائه شوند (Neitch و همکاران، ۲۰۰۵). سایر اطلاعات مربوط به داده‌های جامع هواشناسی، کیفیت آب، عوامل موثر بر جریان سطحی و کانال، آب زیرزمینی، برداشت آب، مدیریت اراضی، اطلاعات جامع مربوط به کیفیت آب، مخازن و برخی زمین‌های دیگر با توجه به هدف پژوهش باید در مدل وارد شوند (Neitch و همکاران، ۲۰۰۵).

**معرفی مدل SWAT:** نام این مدل که مخفف عبارت Soil and Water Assessment Tool می‌باشد، مدلی در مقیاس آبخیز بزرگ و یا زیرحوضه می‌باشد که توسط Arnold برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شده و از زمان ایجاد آن در اوایل ۱۹۹۰، قابلیت‌های آن به‌طور پیوسته در حال توسعه می‌باشد. جدیدترین نسخه از نرم‌افزارهای آن SWAT2009 می‌باشد که این نسخه و SWAT2005 بر روی ArcGIS9.3 و نسخه قبلی یعنی AVSWAT بر روی ArcView قابل نصب هستند. این مدل یک ابزار مناسب برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی، کیفیت آب، فرسایش خاک، تولیدات زراعی، مدیریت مرتع و اثرات تغییر اقلیم می‌باشد. کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی یا HRU<sup>۱</sup> می‌باشد که از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، کاربری اراضی و خاک حاصل می‌شود. بر این اساس،

<sup>2</sup> Semi distributed

<sup>1</sup> Hydrological Response Units

عوامل مربوط به اطلاعات برداشت آب از کانال، زمان-بندی و نوع مدیریت اراضی، خصوصیات مخازن موجود در آبخیز و برخی موارد دیگر که در فایل‌های Wus، Mgt و Pnd قرار دارند، نیز توجه شود.

**اجرای مدل SWAT:** در این پژوهش، نسخه SWAT 2009.93.7b که به صورت Extention قابل نصب بر روی ArcGIS9.3 می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. قبل از اجرای مدل داده‌های ورودی شامل داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی، نقشه‌های توپوگرافی، خاکشناسی، کاربری اراضی، شبکه آبراه‌های و مرز زیرحوضه‌ها آماده‌سازی شدند. برای شروع کار با مدل، ابتدا نقشه DEM که قبلاً تهیه شده است، به محیط نرم‌افزار فراخوانده می‌شود. در این مرحله، محدوده آبخیز و زیرحوضه‌ها و خصوصیات فیزیکی آبخیز به وسیله مدل محاسبه می‌شود. نقشه زیرحوضه‌های ترسیم شده برای حوزه آبخیز مراوه تپه در شکل ۲ نشان داده شده است.

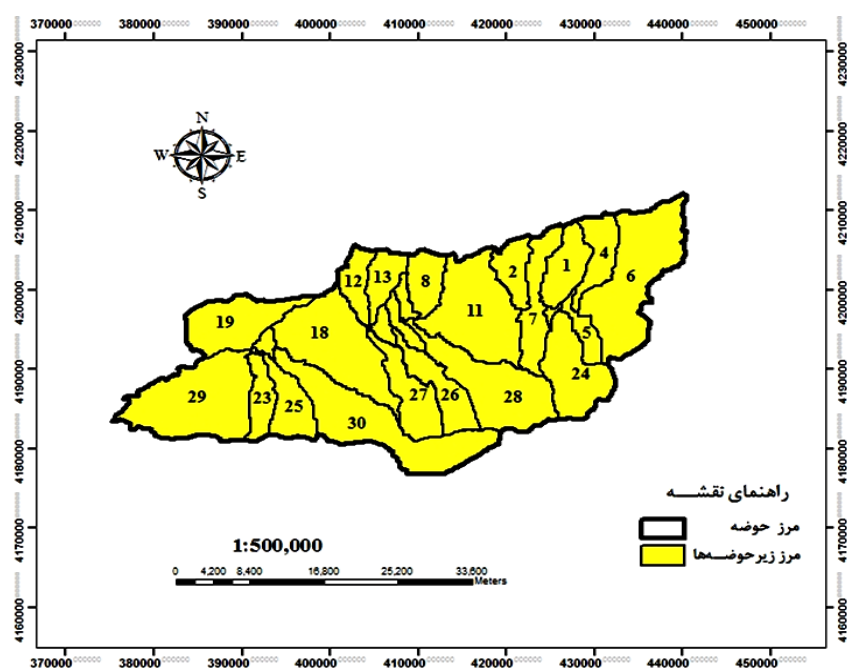
در مرحله بعد، با استفاده از نقشه‌های خاک (شکل ۳)، کاربری اراضی (شکل ۴) و طبقات شیب، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی تعریف شدند که حاصل کار این مرحله همان تشکیل HRU بوده است.

در این مدل، شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیکی را می‌توان به دو بخش فاز زمین که انتقال آب، رسوب، مواد مغذی و آفت‌کش به درون کانال اصلی را در هر زیرحوضه کنترل می‌کند، و فاز آب یا روندیابی که می‌تواند به صورت حرکت آب، رسوب، مواد مغذی و آلاینده‌ها در کانال به خروجی آبخیز تعریف شود، تقسیم کرد. روابط استفاده شده برای برآورد رواناب سطحی به صورت زیر می‌باشد.

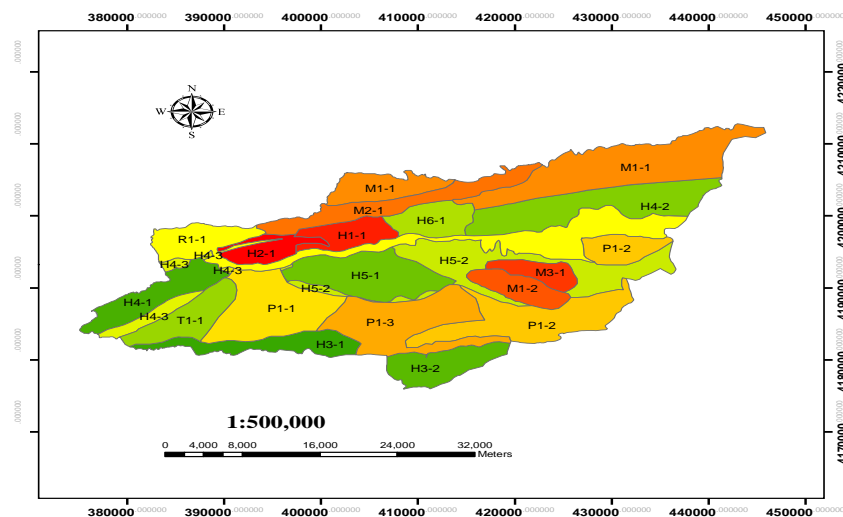
$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (1)$$

که در آن،  $Q_{surf}$  مقدار رواناب یا بارش مازاد،  $R_{day}$  مقدار بارش در روز مورد نظر،  $I_a$  جذب اولیه (که شامل ذخیره سطحی، ذخیره لاشبرگ و نفوذ قبل از شروع رواناب می‌باشد)، و  $S$  عامل نگهداشت می‌باشد که همگی واحد یکسانی از مقدار آب دارند. عامل نگهداشت خود تابعی از متغیرهای مکانی شامل خصوصیات خاک، کاربری اراضی، مدیریت و شیب زمین و متغیر وابسته به زمان یعنی محتوای آب قابل دسترس خاک است.

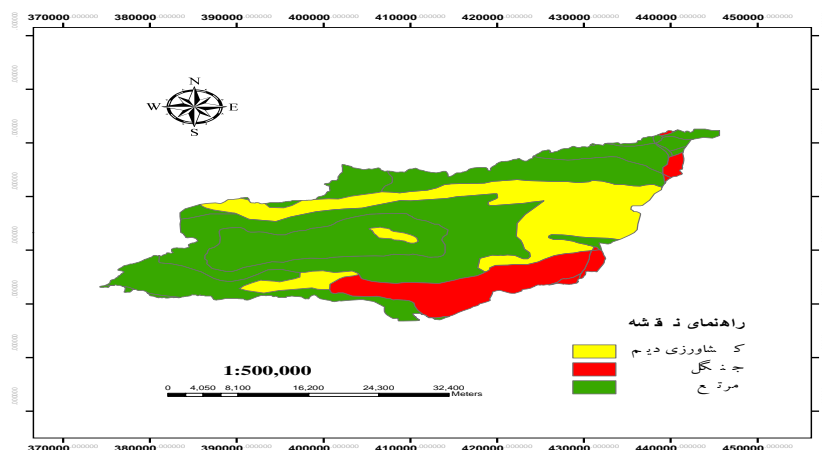
برای شبیه‌سازی مناسب جریان رودخانه باید به



شکل ۲- نقشه زیرحوضه‌های ترسیم شده برای حوزه آبخیز مراوه تپه



شکل ۳- نقشه اطلاعات خاکشناسی منطقه



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز مراوه‌تپه

حساسیت برای تعیین این که یک مدل چقدر به تغییر مقدار امتیاز عاملی از آن، و تغییر در ساختار مدل حساس است، انجام می‌شود (در این تحقیق فقط به بررسی حساسیت عوامل پرداخته شده است). در مدل‌های توزیعی مانند SWAT با اجرای یک مکانیزم مناسب می‌توان تعداد عوامل را برای فرایند واسنجی کاهش داد. هدف اصلی از آنالیز حساسیت، تعیین ورودی‌هایی است که مشارکت بیشتری در تغییر خروجی دارند و این که کدام عامل همبستگی بیشتری با خروجی دارد. با انجام تحلیل حساسیت می‌توان عوامل مهم و حساس را شناخته و با تمرکز بر روی آن‌ها واسنجی مدل را سریع‌تر انجام داد.

پس از تعریف HRUها داده‌های هواشناسی وارد مدل شدند (جدول ۱). در این مرحله مشخصات یک ایستگاه مرجع یعنی ایستگاه مراوه‌تپه که داده‌های آماری بلندمدت آن قبلاً در پایگاه داده مدل وارد شده است، به همراه مشخصات و داده‌های یک ایستگاه باران‌سنجی قازانقایه به مدل معرفی شد. پس از این مرحله، دستور اجرای مدل داده شد و نتایج استخراج شدند. بر اساس این تجربه و با توجه به زیاد بودن داده‌های ورودی، مشخص شد که برای شناخت کامل مدل و انجام موفق مرحله واسنجی، لازم است تا برای عوامل مدل تحلیل حساسیت انجام شود.

آنالیز حساسیت بر اساس اجزای بیلان آب: آنالیز

جدول ۱- آماره‌های مورد نیاز مدل برای ایستگاه مرجع هواشناسی

ردیف	نام عامل	مشخصه عامل
۱	میانگین بیشینه دمای روزانه در هر ماه	TMPMX
۲	میانگین کمینه دمای روزانه در هر ماه	TMPMN
۳	انحراف معیار بیشینه دمای روزانه در هر ماه	TMPSTDMX
۴	انحراف معیار کمینه دمای روزانه در هر ماه	TMPSTDMN
۵	میانگین مجموع بارش در هر ماه	PCPMM
۶	انحراف معیار بارش روزانه در هر ماه	PCPSTD
۷	ضریب چولگی بارش روزانه در هر ماه	PCPSKW
۸	احتمال روز بارانی پس از یک روز خشک، در ماه	PR_W1
۹	احتمال روز بارانی پس از یک روز بارانی، در ماه	PR_W2
۱۰	میانگین روزهای بارانی در ماه	PCPD
۱۱	بیشینه بارش نیم‌ساعته در کل دوره آمار برداری	RAINHHMX
۱۲	میانگین تابش روزانه خورشید در هر ماه	SOLARAV
۱۳	میانگین دمای نقطه شبنم روزانه در ماه	DEWPT
۱۴	میانگین سرعت باد روزانه در ماه	WNDVA

محدوده منطقی و مناسب برای هر یک از عوامل مدل توسط کاربر (که بایستی با دقت کارشناسی و در نظر گرفتن شرایط فیزیکی منطقه انجام شود) و تعیین تعداد تکرار شبیه‌سازی، برنامه با نمونه‌گیری لاتین هایپرکیوب در فضای عوامل (بازه تعیین شده برای هر یک از عوامل) به صورت تصادفی مقادیری برای عوامل انتخاب می‌کند. بدین ترتیب، اگر  $n$  تکرار برای اجرای مدل در نظر گرفته شود،  $n$  ترکیب مختلف از عوامل ایجاد می‌شود. سپس مدل SWAT،  $n$  بار اجرا می‌شود و سری زمانی خروجی‌های مدل در فایل‌هایی ذخیره می‌شود. در ادامه، معیارهای برآورد عدم قطعیت و شاخص‌های نیکویی برازش مانند ضریب تعیین، ضریب نش-ساتکلیف و ... برای بهترین شبیه‌سازی محاسبه می‌شوند.

با استفاده از نتایج تحلیل حساسیت مدل، عوامل مهم و موثر شناسایی شده و در بهینه کردن مدل مورد استفاده قرار گرفت. سپس اعتبارسنجی مدل با استفاده از مقادیر عوامل اصلاح شده در مرحله واسنجی و بر اساس آمار سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ صورت گرفت.

Feyereisen و همکاران (۲۰۰۷)، در پژوهش خود حساس‌ترین عوامل برای مجموع تولید آب در مدل SWAT را عوامل شماره منحنی، آب قابل دسترس خاک و شاخص جبران تبخیر از لایه‌های خاک، به دست آوردند.

در این پژوهش، برای انجام تحلیل حساسیت روش OAT مورد استفاده قرار گرفت که متعارف‌ترین روش برای این کار می‌باشد. در این روش در هر بار اجرای مدل یک عامل تغییر کرده و بقیه ثابت می‌مانند و اثر آن تغییر بر تابع هدف، حساسیت عامل را مشخص می‌کند.

**واسنجی و اعتبارسنجی مدل:** واسنجی مدل SWAT به دو صورت دستی و یا با استفاده از روش‌های اتوکالیبراسیون امکان‌پذیر است. در پژوهش حاضر، این مرحله به صورت اتوکالیبراسیون و با استفاده از برنامه SUFI2 و بر اساس آمار سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ انجام شد. SUFI2 یک الگوریتم نیمه اتوماتیک مدل‌سازی معکوس است. مراحل اجرای برنامه SUFI2 بدین صورت است که پس از تعیین

## نتایج و بحث

پس از اجرای مدل SWAT خروجی‌های مدل شامل مولفه‌های رواناب، جریان زیرسطحی، آب زیرزمینی و غیره به صورت فایل متنی حاوی اطلاعات به دست آمد. بررسی و مقایسه اولیه نتایج نشان داد که مهم‌ترین خطاهای نتایج بالا بودن حجم رواناب کل، عدم هماهنگی شاخه نزولی هیدروگراف‌ها و کم بودن حجم آب پایه می‌باشند. با استفاده از نتایج تحلیل حساسیت مدل، مطابق جدول ۲، ۱۵ عامل به عنوان عوامل حساس شناسایی شدند.

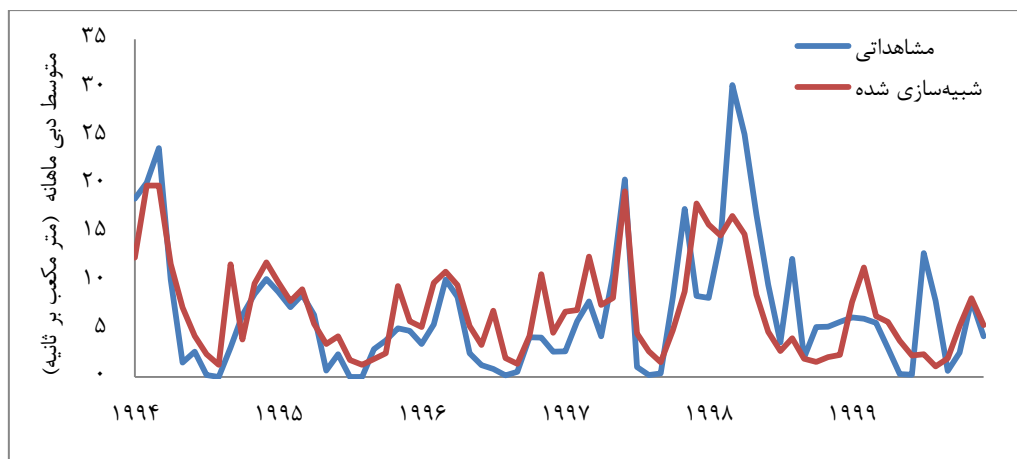
**ارزیابی کارایی مدل:** فرایند ارزیابی کارایی مدل نه تنها در جریان توسعه مدل و فرایند واسنجی، بلکه در زمان ارائه نتایج به سایر محققین نیز از اهمیت اساسی برخوردار است (Schaeffli و Gupta، ۲۰۰۷). شاخص‌های مختلفی برای این منظور ارائه شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش نتایج شبیه‌سازی‌ها در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل با شاخص‌های  $R^2$  (ضریب همبستگی)،  $br^2$  (ضریب همبستگی وزنی)، NS (نش-ساتکلیف) مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۲- ترتیب عوامل حساس مدل در منطقه مطالعاتی

مشخصه عامل	واحد	نام عامل	ترتیب حساسیت
CN2	-	شماره منحنی روش SCS	۱
ch-k2	میلی‌متر در ساعت	هدایت هیدرولیکی کانال	۲
surlag	ساعت	ضریب تاخیر رواناب سطحی	۳
Alpha-bf	روز	ثابت تخلیه آب زیرزمینی	۴
esco	-	عامل جبران تبخیر در خاک	۵
Sol-awc	میلی‌متر در میلی‌متر	آب قابل دسترس خاک	۶
Sol_z	میلی‌متر	ضخامت لایه‌های خاک	۷
Sol_k	میلی‌متر در ساعت	هدایت هیدرولیکی اشباع	۸
Gw-delay	روز	زمان تاخیر آب زیرزمینی	۹
Gw-revap	-	ضریب تبخیر آب زیرزمینی	۱۰
Sftmp	درجه سانتی‌گراد	دمای ذوب برف	۱۱
Smtmp	درجه سانتی‌گراد	دمای بارش برف	۱۲
Smfmn	درجه سانتی‌گراد	کمینه نرخ ذوب برف	۱۳
Smfmx	درجه سانتی‌گراد	بیشینه نرخ ذوب برف	۱۴
Sol-bd	گرم در سانتی‌متر مکعب	چگالی توده خاک	۱۵

است. در جدول ۴، مقادیر عامل حساس مدل در بهترین حالت واسنجی آورده شده است. در ستون دوم جدول ۴ (علامت اختصاری)،  $r$  نشان‌دهنده روش Multiple و  $v$  نشان‌دهنده روش Replace در واسنجی می‌باشد. این روش‌ها برای سهولت تغییر مقدار عوامل در واسنجی ابداع شده‌اند. در روش Replace، مقدار اولیه عامل مورد نظر با ارزش داده شده جایگزین می‌شود، اما در روش Multiple، مقدار اولیه عامل در (مثبت یک ارزش داده شده) ضرب می‌شود.

**مقایسه هیدروگراف‌های شبه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی و اعتبارسنجی با پایه زمانی ماهانه و ارزیابی کارایی مدل:** در این پژوهش از آمار ۱۵ سال (۱۹۹۴-۲۰۰۸) برای اجرای مدل استفاده شد. لذا، از این ۱۵ سال آمار در نظر گرفته شده، شش سال اول (۱۹۹۴-۱۹۹۹) برای واسنجی و نه سال بقیه (۲۰۰۰-۲۰۰۸) برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت که نتایج حاصل از مقایسه هیدروگراف شبه‌سازی شده و مشاهداتی در مرحله واسنجی و نتایج ارزیابی کارایی مدل در این دوره به ترتیب در شکل ۵ و جدول ۳ نمایش داده شده



شکل ۵- مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی بر پایه زمانی ماهانه

جدول ۳- ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی

مقدار	مشخصه	معیار ارزیابی
۰/۵۴ (رضایت‌بخش)	NS	ضریب نش-ساتکلیف
۰/۵۴	R <sup>2</sup>	ضریب تعیین
۰/۰۳	E <sup>2</sup>	خطای شبیه‌سازی
۱۹/۰۰	RMSE	ریشه میانگین مربعات خطا
۰/۵۴	wr <sup>2</sup>	ضریب تعیین وزنی

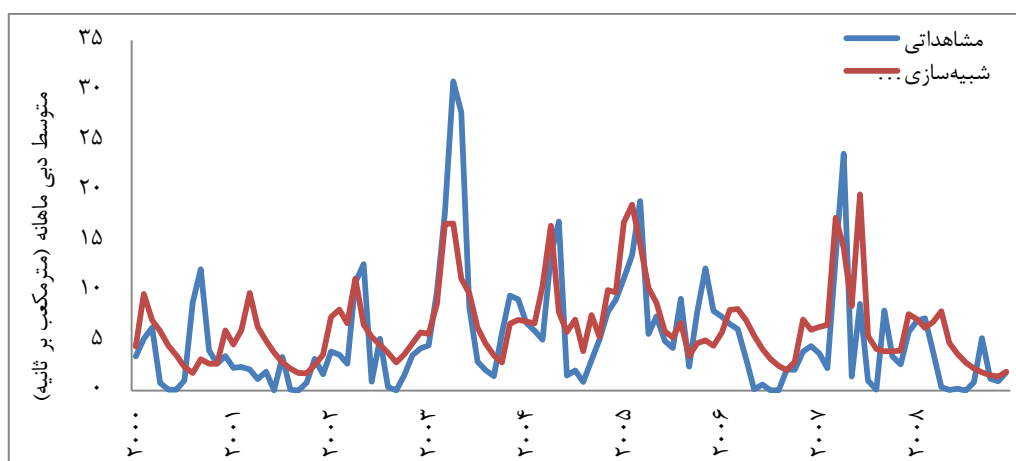
جدول ۴- مقادیر بهینه عوامل حساس بعد از واسنجی برای منطقه مطالعاتی

مقدار بهینه	محدوده تغییرات	نام عامل	مشخصه عامل	ردیف	
-۰/۰۹۲	-۰/۱۵۶	-۰/۰۴۲	شماره منحنی روش SCS	r_CN2.mgt	۱
۸/۷۸۰	۰	۵۰/۷۵۷	هدایت هیدرولیکی کانال	v_CH_K2.rte	۲
۹/۷۴۵	۷/۶۶۵	۱۰/۵۵۸	ضریب تاخیر رواناب سطحی	v_SURLAG.bsn	۳
۰/۵۹۰	۰/۴۶۱	۰/۶۲۸	ثابت تخلیه آب زیرزمینی	v_ALPHA_BF.gw	۴
۰/۸۵۸	۰/۸۵۳	۰/۹۰۷	عامل جبران تبخیر در خاک	v_ESCO.hru	۵
-۰/۳۶۸	-۰/۴۶۹	-۰/۰۵۶	آب قابل دسترس خاک	r_SOL_AWC(1).sol	۶
۰/۶۴۷	۰/۲۶۹	۰/۶۷۶	ضخامت لایه‌های خاک	r_SOL_Z(1).sol	۷
-۰/۳۲۷	-۰/۴۱۲	-۰/۲۰۹	هدایت هیدرولیکی اشباع	r_SOL_K(1).sol	۸
۴۴/۸۹۹	۳۵/۹۲۲	۴۵/۴۴۲	زمان تاخیر آب زیرزمینی	v_GW_DELAY.gw	۹
-۰/۰۱۹	-۰/۰۳۶	۰/۰۰۰	ضریب تبخیر آب زیرزمینی	v_GW_REVAP.gw	۱۰
-۲/۸۳۱	-۳/۰۷۳	-۰/۵۸۳	دمای ذوب برف	v_SFTMP.bsn	۱۱
-۰/۵۱۸	-۱/۲۶۶	۲/۲۱۲	دمای بارش برف	v_SMTMP.bsn	۱۲
۴/۴۰۷	۴/۳۹۸	۵/۴۲۴	کمینه نرخ ذوب برف	v_SMFMN.bsn	۱۳
۶/۱۴۸	۵/۶۱۱	۶/۲۴۹	بیشینه نرخ ذوب برف	v_SMFMX.bsn	۱۴
۰/۳۵۷	-۰/۰۱۷	۰/۳۵۷	چگالی توده خاک	r_SOL_BD(1).sol	۱۵



مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۷۵ تا ۰/۳۶ باشد، رضایت‌بخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد، غیر قابل قبول فرض می‌شود (Nash و Sutcliffe، ۱۹۷۰). بر اساس این مطلب، می‌توان نتیجه گرفت که مدل SWAT قابلیت شبیه‌سازی جریان رودخانه اترک با دقت مناسب را دارد. به‌طور کلی مقادیر همه شاخص‌های ارزیابی بیانگر دقت قابل قبول مدل در شبیه‌سازی جریان رودخانه اترک می‌باشد. از این‌رو فرضیه موجود در این پژوهش، در زمینه قابلیت مدل برای شبیه‌سازی جریان ماهانه در این منطقه تأیید می‌شود.

شکل ۶، هیدروگراف شبیه‌سازی شده و هیدروگراف مشاهداتی در دوره اعتبارسنجی (سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۹) را نشان می‌دهد. همچنین، در جدول ۵، نتایج ارزیابی کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی آورده شده است. برای شبیه‌سازی جریان، مقدار معیارهای نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برآورد شده در مرحله واسنجی به ترتیب معادل ۰/۵۴ و ۰/۵۴ می‌باشد و در مرحله اعتبارسنجی معادل ۰/۴۶ و ۰/۴۶ می‌باشد. عموماً اگر شاخص نش-ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد،



شکل ۶- مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره اعتبارسنجی بر پایه زمانی ماهانه

جدول ۵- ارزیابی کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی

ردیف	معیار ارزیابی	مشخصه	مقدار
۱	ضریب نش-ساتکلیف	NS	۰/۴۶ (رضایت‌بخش)
۲	ضریب تعیین	R <sup>2</sup>	۰/۴۶
۳	خطای شبیه‌سازی	E <sup>2</sup>	۰/۰۹
۴	ریشه میانگین مربعات خطا	RMSE	۱۸/۳۲
۵	ضریب تعیین وزنی	Br <sup>2</sup>	۰/۲۱

نتایج سایر محققین در Hosseini و همکاران، ۲۰۱۲ ارائه شده است).

این مطالعه اطلاعات مفیدی را در مورد جریان رودخانه و بیلان آبی حوضه مراوه‌تپه فراهم نموده و به برنامه‌ریزی دقیق‌تر پروژه‌های منابع آب کمک می‌کند. از نتایج این مطالعه می‌توان برای پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم و اقدامات مدیریتی قابل اجرا در منطقه که

مقایسه نتایج به‌دست آمده با نتایج سایر تحقیقات مشابه صورت گرفته در سطح جهان (Bekiaris، ۲۰۰۵؛ Feyereisen، ۲۰۰۷؛ Alansi، ۲۰۰۹ و Sadeghi، ۲۰۱۰) نشان می‌دهد که با وجود چالش‌های مربوط به داده‌های ورودی برای آبخیز مورد مطالعه، دقت شبیه‌سازی قابل قبول و تقریباً مشابه با نتایج سایر محققین به‌دست آمده است (گزارشی از

به صورت سناریوهایی به مدل ارائه می شود، استفاده کرد.

#### منابع مورد استفاده

1. Alansi, A.W., M.S.M. Amin, G. Abdul Halim, H.Z.M. Shafri and W. Aimrun. 2009. Validation of SWAT model for stream flow simulation and forecasting in Upper Bernam humid tropical river basin, Malaysia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6: 7581-7609.
2. Bekiaris, I.G., I.N. Panagopoulos and N.A. Mimikou. 2005. Application of the SWAT model in the Ronnea catchment of Sweden. *Global NEST Journal*, 3(7): 252-257.
3. Feyereisen, G.W., T.C. Strickland, D.D. Bosch and D.G. Sullivan. 2007. Evaluation of SWAT manual calibration and input parameter sensitivity in the little river watershed. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50: 843-855.
4. Gholami, Sh. 2003. Simulating daily sediment load using distributed model of SWAT in mountainous watersheds (Emameh watershed). *Journal of Research and Development*, 59: 28-33.
5. Hosseini, M., A. Ghafari and B. Bayat. 2012. Simulating water balance in Karkheh great watershed. Final report of research project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran, 83 pages.
6. Khalighi Sigarudi, Sh., T. ZinatiShoae, A. Salajeghe, A. Kohandel and Gh. Mortezaei. 2009. Simulating runoff using semi-distributed method in watershed with limited data, case study: Latian watershed. *Proceedings of 5th National Conference of Watershed Management Sciences and Engineering (Sustainable Management of Natural Hazard)*, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 180-188.
7. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting though conceptual models. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
8. Neitch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry and J.R. Williams. 2005. Soil and water assessment tool theoretical documentation. Blackland Research Center, Temple, Texas, 494 pages.
9. Refsgaard, J.C. 2007. Hydrological modelling and river basin management. PhD Thesis, Geological Survey of Denmark and Greenland, Danish Ministry of the Environment, 90 pages.
10. Rostamian, R. 2006. Assessment of runoff and sediment in Beheshtabad Watershed, Northern Karun by SWAT2000. MSc Thesis, Faculty of Irrigation and Drainage, Isfahan University of Technology, 192 pages.
11. Sadeghi, S.H.R. 2010. Study and measurement of water erosion. Center of Scientific Work, Tarbiat Modares, 430 pages.
12. Schaefli, B. and H.V. Gupta. 2007. Do Nash values have value? *Hydrological Processes*, 21: 2075-2080.
13. Zeinivand, H. 2009. Development of spatially distributed hydrological WetSpa modules for snowmelt, soil erosion, and sediment transport. PhD Thesis, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universities, Brussel (VUB), 208 pages.

## Simulation of Atrak River monthly discharge using SWAT model, Case study: Maraveh Tappeh watershed, Golestan province

Shabanali Gholami<sup>\*1</sup> and Masoumeh Nasiri<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Mazandaran, Iran and <sup>2</sup> MSc

Received: 30 May 2014

Accepted: 21 August 2014

### Abstract

Human life is affected by different hydrological events such as floods, water storage, droughts, water pollutions, avalanche and etc. that the risk range of these events depends on the behavior of hydrological variables and watersheds characteristics. Lack of correct data and information or inadequate correct data is the important factor affects on recognition of the behavior of hydrological variables and watershed characteristics. In this regard, there are different models which could follow watershed characteristics and estimate or simulate runoff and sediment load and other water balance factors in watershed. SWAT model is one of the important hydrological models. In this research, Atrak River monthly runoff was simulated using this model based on collected data in Maraveh Tappeh watershed, Golestan province, Iran. Required information such as topography, land use, pedology and also, hydrological and meteorological data such as daily rainfall, temperature, relative humidity and runoff have been collected. To determine important and sensitive parameters, sensitivity analysis has been performed using one parameter at a time (OAT) method. The results indicated that curve number, channel hydraulic conductivity, surface runoff lag coefficient, base flow alpha factor and soil evaporation compensation factor have the most influence on different parts of water balance. Calibration and validation of the model were performed using the SUFI2 algorithm for the periods of 1994 to 1999 and 2000 to 2008, respectively. The simulation accuracy using Nash-Sutcliffe and coefficient of determination were 0.54 and 0.54 for the calibration period and 0.46 and 0.46 during the validation period, respectively. So, it can be concluded that the performance of the SWAT model for estimating monthly flow is quite good.

**Key words:** Calibration, Hydrological model, Nash-Sutcliffe, Runoff, Validation

---

\* Corresponding author: ali\_gholami@hotmail.com