Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هشتم، شماره دوم، ۱۳۹۷
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2017.10968.1639

مدل‌سازی هیدرولوژیکی تغییرات زمانی و مکانی منابع آب آبی و سبز در حوضه آبخیز جوانمردی با استفاده از مدل SWAT

نوید حسین‌زاده[۱]، محمدعلی حاج‌عباسی[۲] و *علی‌اصغر بسالت‌پور[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان،
[۳]پژوهشگر موسسه مدیریت منابع inter 3، برلین، آلمان

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۷

چکیده

ارزیابی جامع منابع آب با یک روش تقریباً مطمئن در مقیاس زمانی و مکانی، می‌تواند راهکاری مؤثر برای درک تجدیدپذیری منابع آب و مدیریت بهینه آن در حوزه‌های آبخیز را فراهم آورد. در این پژوهش، از مدل SWAT برای برآورد مؤلفه‌های منابع آب آبی و آب سبز (ذخیره و جریان آب سبز) در حوزه آبخیز جوانمردی استفاده شد. برای این منظور ابتدا شبیه‌سازی رواناب ماهانه با استفاده از این مدل انجام و سپس خروجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2 در بسته نرم‌افزاری SWAT-CUP مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی رواناب رضایت‌بخش بود به‌گونه‌ای که مقادیر ضریب تبیین و نش- ساتکلیف در مرحله اعتبارسنجی به‌ترتیب ۷۵ و ۷٤ درصد بود که نشان می‌دهد مدل به‌خوبی توانسته رواناب را شبیه‌سازی کند. مقدار آب آبی در مناطق مرکزی و شرقی حوزه، کم‌تر از ٤۰ میلی‌متر در سال بود در حالی‌که در ارتفاعات جنوبی، شمال‌غربی و بخش غربی حوزه آبخیز، بیش‌تر از ٦۰ میلی‌متر در سال به‌دست آمد. زیرحوزه‌های شمالی منطقه مورد مطالعه دارای کم‌ترین میزان جریان آب سبز (٤۰۰ تا ٤٥۱ میلی‌متر در سال) بودند و پس‌ازآن بخش مرکزی، دارای مقادیر جریان آب سبز بیش‌تری نسبت به نقاط شمالی بود. مقدار ذخیره آب سبز در بیش‌تر زیرحوزه‌ها بیش از ۸۱ میلی‌متر و مقدار بیشینه آن ۱٤۲ میلی‌متر در سال به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از برآورد مؤلفه‌های هیدرولوژیکی، اطلاعات مفیدی را در خصوص توزیع مکانی (در مقیاس زیرحوزه) و زمانی (سالانه و ماهانه) منابع آب ارائه می‌دهد که می‌توان از آن برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و مدیریت بهینه حوزه‌های آبخیز استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: منابع آب، مؤلفه‌های هیدرولوژیک، عدم قطعیت، الگوریتم SUFI-2

* مسئول مکاتبه: besalatpour@inter3.de

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آگاهی از منابع آب تجدیدپذیر، از جمله اطلاعات راهبردی است که هر کشوری جهت برنامه‌ریزی‌های بلندمدت منابع آب و امنیت غذایی به آن نیاز دارد (۷). همچنین حفاظت شایسته از منابع آب یکی از اقدامات ضروری جهت ادامه و بقای زندگی انسان و اکوسیستم‌ها است. از طرفی با رشد روزافزون جمعیت و توسعه اقتصادی اجتماعی، نیاز انسان به آب بیش‌ازپیش مشهود می‌شود و این به معنی کاهش منابع آب قابل‌دسترس برای اکوسیستم‌ها و تهدیدی برای سلامت آن‌ها است. این در حالی است که کاهش آب قابل‌دسترس برای فعالیت‌های ضروری موجود در حیات اکوسیستم‌ها می‌تواند سبب تخریب آن‌ها شود که برآیند اثرات آن تشدید شاخص کمبود آب[1] و تهدید سلامت اجتماعی انسان است (۵). در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، رقابت شدیدی بین انسان و اکوسیستم برای مصرف آب وجود دارد و از این‌رو، ارزیابی جامع منابع آب با یک روش مناسب در مقیاس زمانی و مکانی می‌تواند کلیدی برای درک تجدیدپذیری، مدیریت منابع آب و نیز بهبود کارایی استفاده از منابع آب محدود در آینده باشد (۱۵).

تاکنون بیش‌تر پژوهش‌های مربوط به مدیریت منابع آب، متوجه تعیین و معرفی آب آبی[2] بوده است و به آب سبز[3] که یک منبع تجدیدپذیر و مهم در کشاورزی، به‌ویژه در کشاورزی دیم است توجه خاصی نشده است. آب آبی مجموع رواناب سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی عمیق است و متفاوت از آب سبز و منابع آن است. در واقع منبع آب سبز ناشی از مدیریت منابع آب و نفوذ طبیعی آب به خاک است. بحث آب سبز و لزوم توجه به آن برای اولین بار در دو دهه پیش مطرح شد (٤). فالکن‌مارک و راکستروم (۲۰۰٦) آب سبز را شامل ترکیب دو مؤلفه متفاوت، منبع یا ذخیره آب سبز[4] و جریان آب سبز[5] دانسته‌اند. در تعریف آن‌ها، ذخیره آب سبز شامل رطوبت موجود در خاک و جریان آب سبز شامل تبخیر و تعرق واقعی است. این در حالی است که در برخی منابع، فقط از تعرق واقعی به‌عنوان آب سبز یادشده است در حالی‌که تبخیر و تعرق، دو فرآیند وابسته به هم هستند. همچنین از آب تبخیر شده نیز می‌توان به‌عنوان یک منبع آب تولیدکننده، استفاده کرد (٦). از این‌رو در این پژوهش هر دو فرآیند تبخیر و تعرق واقعی به‌عنوان جریان آب سبز در نظر گرفته شد.

لیو و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای در شمال چین دریافتند که تبدیل اراضی مرتعی و غرقاب به اراضی کشاورزی و جنگلی سبب کاهش تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح پوشش گیاهی شد (۸). زنگ و همکاران (۲۰۱۳) از مدل SWAT[6] جهت شبیه‌سازی جریان آب سبز و آب آبی استفاده و گزارش کردند که مقدار کمی جریان آب سبز و آب آبی به‌ازای هر واحد از حوزه مورد مطالعه از بالادست به پایین‌دست حوزه در مقیاس زمانی کاهش یافت. ایشان دلیل آن را کاهش بارش برف ناشی از اثر تغییر اقلیم دانستند (١٤). شول و همکاران (۲۰۰۸- ب) نیز از مدل SWAT جهت برآورد مؤلفه‌های منابع آب (آب آبی و سبز) و شاخص‌های کمبود آب در قاره آفریقا در سطح حوزه‌ای و در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه استفاده کردند و گزارش نمودند که نتایج حاصل از مدل، قابل‌قبول بود اگرچه در برخی موارد به سبب کمبود تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی، محدودیت دوره آماری داده‌ها، محدودیت اطلاعات مربوط به مدیریت‌های اعمال‌شده در زیرحوزه‌ها و

1- Water scarcity
2- Blue Water
3- Green Water
4- Green Water Resource or Storage
5- Green Water Flow
6- Soil and Water Assessment Tool, SWAT

www.SID.ir

Archive of SID

نبود اطلاعات مربوط به رطوبت خاک و عمق آب زیرزمینی، مدل دارای بیش برآورد بود (۱۳). اخوان و همکاران (۲۰۱۰) از مدل SWAT برای برآورد مؤلفه‌های منابع آب حوزه آبخیز همدان- بهار استفاده و گزارش کردند که نتایج حاصل از اعتبارسنجی و واسنجی خروجی حوزه برای شبیه‌سازی رواناب و نیز تخمین مؤلفه‌های منابع آب رضایت‌بخش بود. آن‌ها گزارش کردند که در خروجی حوزه نتایج حاصل از اعتبارسنجی بهتر از نتایج واسنجی بود و دلیل آن را تغییر کاربری اراضی در طول دوره اعتبارسنجی نسبت به دوره واسنجی عنوان کردند (۲). فرامرزی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مدل SWAT اقدام به بررسی مؤلفه‌های منابع آب قابل‌دسترس شامل آب آبی و آب سبز در مقیاس کشوری و استانی برای کل کشور ایران کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که عملیات آبیاری تأثیر چشمگیری در دقت محاسبه بیلان آب دارد، به‌گونه‌ای که با در نظر نگرفتن آبیاری در محاسبه بیلان آب، تخمین مقدار تبخیر و تعرق خیلی کم‌تر از واقعیت خواهد بود (۷). این مطالعه اطلاعاتی مفید و جامع را در مورد منابع آب در سطح هر استان فراهم می‌نماید ولی با توجه به این‌که این مطالعه در سطح کشوری است، بنابراین امکان بررسی جزئیات به‌علت بزرگی محدوده مطالعاتی نبوده و بنابراین از دقت مکانی مناسب در مقیاس زیرحوزه برخوردار نیست و به همین سبب، لازم است مطالعات دقیق‌تر در مقیاس زیرحوزه‌ای انجام گیرد .

آگاهی از توزیع زمانی و مکانی مؤلفه‌های منابع آب برای مشخص کردن مناطق بحرانی، به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب هر منطقه، امری اجتناب‌ناپذیر است. همچنین برای اعمال مدیریت بهینه در حوزه‌های آبخیز، نیاز به اطلاعات جامع و کامل از روش‌های مدیریتی و اجرایی و توزیع زمانی و مکانی منابع آب است. از جمله مدل‌هایی که اخیراً به شکل وسیعی در سرتاسر دنیا در پژوهش‌های فرسایش و رسوب، مدیریت حوزه‌های آبخیز و مطالعات مربوط به کیفیت و کمیت آب در مقیاس حوزه‌ای استفاده می‌شود، مدل SWAT است که پژوهشگران بسیاری نیز به قابلیت بالایی آن در مدل‌سازی رشد گیاهان و کیفیت آب (که خود بر روی تبخیر و تعرق تأثیرگذارند) اشاره داشته‌اند. (شول و همکاران، ۲۰۰۸- الف؛ فرامرزی و همکاران، ۲۰۰۹؛ زنگ و همکاران، ۲۰۱۳). در این پژوهش نیز قابلیت استفاده از مدل SWAT برای شبیه‌سازی آب آبی، جریان آب سبز و ذخیره آب سبز در حوزه آبخیز جوانمردی بررسی شد. تحلیل عدم قطعیت نتایج با استفاده از الگوریتم SUFI-2 و در محیط بسته نرم‌افزاری SWAT-CUP انجام شد. نتایج حاصل از این مطالعه برای بررسی تغییر الگوی کشت در راستای استفاده از مفهوم مبادله آب مجازی، سیاست‌گذاری استفاده صحیح از اراضی و انتخاب الگوی مناسب خاک‌ورزی و زمان کشت محصولات کشاورزی در این حوزه بسیار مناسب است.

مواد و روش‌ها

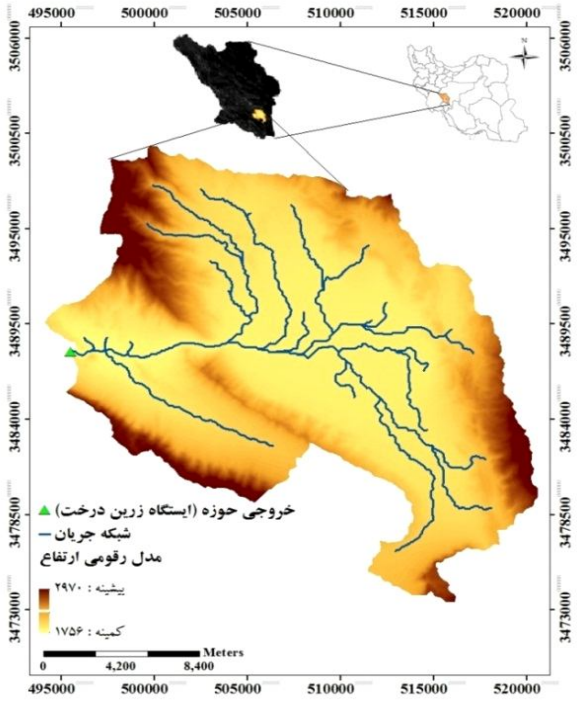
منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز جوانمردی با وسعت ۳۸۰/٦ کیلومترمربع، یکی از سه زیرحوزه اصلی حوزه آبخیز لردگان است که در بین طول‌های ۵۰ درجه و ٥٦ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۱ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوزه از دو بخش دشت و ارتفاعات تشکیل‌شده است که ارتفاع کمینه و بیشینه آن در دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب ۱۷٥٦ و ۲۹۷۰ متر از سطح دریا بوده و متوسط شیب حوزه ۱۸/٤ درصد است. میانگین بارندگی بلندمدت سالیانه در نقاط گوناگون آن ۵۰۰ تا ٦۰۰ میلی‌متر و متوسط

www.SID.ir

Archive of SID

درجه حرارت سالیانه بلندمدت اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه سینوپتیک لردگان، ۱۵/۲ درجه سلسیوس است. دشت‌های مهم حوزه از نظر کشاورزی، دشت جوانمردی و آلونی خانمیرزا می‌باشند و پوشش اصلی حوزه شامل جنگل بلوط، مرتع و زمین‌های کشاورزی تحت کشت آبی و دیم است. این حوزه از نظر هیدرولوژیک، آبریز رودخانه خان‌میرزا است.

مدل SWAT: مدل SWAT یک مدل پیوسته زمانی برای ارزیابی آب‌وخاک در حوزه رودخانه یا آبخیز است که در گام‌های زمانی ساعتی، روزانه و یا طولانی‌مدت‌تر اجرا می‌شود. در این مدل، هر حوزه به چند زیرحوزه و هر زیرحوزه به چند واحد واکنش هیدرولوژیک که از نظر کاربری اراضی و ویژگی‌های خاک همگن هستند، تقسیم می‌شود. این مدل یک مدل مفهومی- نیمه‌توزیعی و جامع و کامل در مقیاس حوزه‌ای است که دارای بازده محاسباتی بالا است که به تغییرات مدیریتی، اقلیمی و پوشش گیاهی حساس بوده و قادر است اثر این تغییرات را بر پارامترهایی همچون حرکت و کیفیت آب، رسوب و انتقال عناصر غذایی و آفت‌کش‌ها پیش‌بینی نماید. این مدل توسط سرویس پژوهش‌های کشاورزی آمریکا جهت پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و تعادل مواد شیمیایی در حوزه‌های آبخیز بزرگ و پیچیده با کاربری‌های اراضی، خاک و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی‌مدت، توسعه‌یافته است (۹).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه زرین‌درخت در خروجی حوزه.

Figure 1. The study area and Zarrin Derakht outlet station.

www.SID.ir

Archive of SID

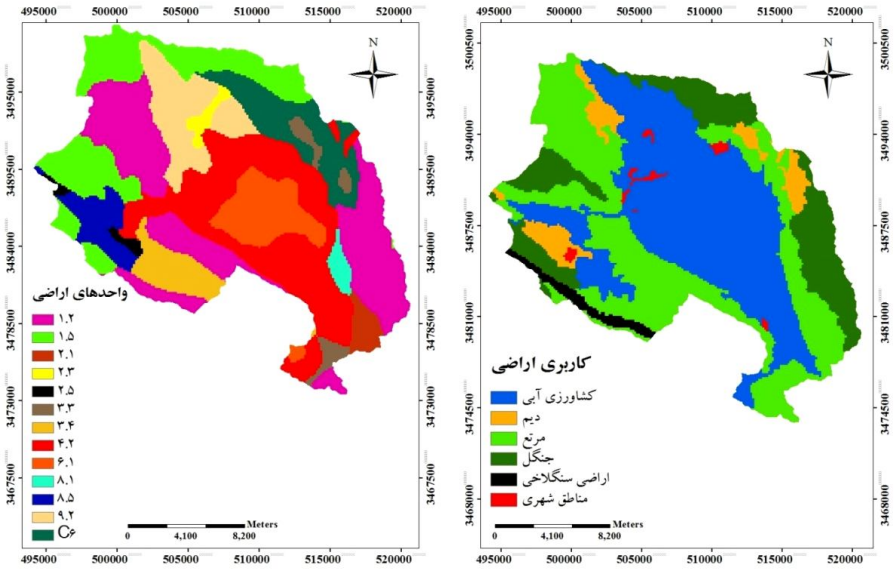
جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌های ورودی و تنظیمات مدل: مدل رقومی ارتفاعی (DEM) به همراه نقشه‌های کاربری اراضی و خاک از نقشه‌های ورودی اصلی به مدل SWAT می‌باشند که برای منطقه مورد مطالعه نقشه مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۱۰ متر و نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری و به مدل وارد شدند (شکل ۲). داده‌های خاک‌شناسی مورد نیاز برای اجرای مدل SWAT شامل ساختمان خاک، مقدار شن، سیلت و رس، کربن آلی، هدایت الکتریکی، تخلخل، رطوبت خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع، چگالی ظاهری و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک می‌باشند که با حفر خاکرخ‌ها و نمونه‌برداری خاک، این ویژگی‌های اندازه‌گیری و به مجموعه داده مدل وارد شدند. شایان ذکر است که برای تهیه داده‌های خاک‌شناسی اشاره شده، در هر یک از واحدهای اراضی (بر اساس نقشه واحدهای اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه دارای ۱۳ واحد اراضی می‌باشد) یک خاکرخ حفر گردید و نمونه‌برداری انجام گرفت. داده‌های بارش روزانه، کمینه و بیشینه درجه حرارت روزانه و دبی رودخانه برای دوره آماری سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۱ نیز به‌ترتیب از اداره هواشناسی و آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری و بر اساس ساختار مدل SWAT تهیه و به مدل وارد شدند. ساخت مدل در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.1 با استفاده از نسخه ArcSWAT 2012 و برای یک دوره ۱۶ ساله (از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۱) با در نظر گرفتن ۳ سال داده آموزشی (۱۹۹۳ تا ۱۹۹۶) انجام شد.

آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل: مدل SWAT فرآیندهای هیدرولوژیک حوزه را به‌صورت فیزیکی و واقعی شبیه‌سازی می‌کند. بنابراین لازم است پارامترهایی که خروجی مدل به دقت آن‌ها حساسیت بیش‌تری دارد مشخص و به‌منظور تعدیل آن‌ها، در واسنجی مدل از این پارامترها استفاده شود (۳). در این پژوهش از روش آنالیز حساسیت مطلق برای تعیین متغیرهای حساس استفاده شد که میزان تغییر در خروجی را با توجه به تغییر در مقدار ورودی توصیف می‌کند. پس از تعیین پارامترهای حساس در آنالیز حساسیت، واسنجی (دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱) و اعتبارسنجی (دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۱) مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده رواناب در ایستگاه زرین‌درخت (واقع در خروجی حوزه آبخیز) و در گام زمانی ماهیانه توسط الگوریتم SUFI-2 در محیط نرم‌افزار SWAT-CUP انجام شد. به‌منظور ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی رواناب ماهانه نیز از شاخص‌های R^2 (ضریب تبیین)، NS (ضریب نش- ساتکلیف)، R-factor و P-factor استفاده شد. در الگوریتم SUFI-2 یک دامنه عدم قطعیت برای هر پارامتر در نظر گرفته می‌شود که توسط دو فاکتور R-factor و P-factor محاسبه می‌شود. P-factor عبارت است از درصد داده‌های مشاهده‌ای که در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد[1] قرار گرفته‌اند و نزدیک بودن آن به عدد یک، نشان‌دهنده نتیجه مطلوب‌تر است. تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد در سطوح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد از توابع توزیع تجمعی متغیر خروجی که با روش نمونه‌برداری لاتین هایپرکیوب[2] به‌دست آمده است، توسط نرم‌افزار SWAT-CUP محاسبه می‌شود. R-factor نیز فاصله حد بالا و پایین محدوده عدم قطعیت است که حاصل تقسیم میانگین باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد بر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای است و باید سعی شود که به صفر نزدیک شود تا محدوده عدم قطعیت کوچک‌تر شود (۱).

1- 95% Prediction Uncertainty
2- Latin Hypercube

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- نقشه‌های ورودی به مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه و مؤلفه‌های هیدرولوژیک.

Figure 2. Input maps to SWAT model to simulate monthly runoff and hydrologic components.

نتایج و بحث

واسنجی و اعتبارسنجی مدل: شکل ۳ نمایانگر چگونگی شبیه‌سازی رواناب ماهانه توسط مدل SWAT بهینه‌شده با الگوریتم SUFI-2 در فرآیندهای واسنجی و اعتبارسنجی است. مقادیر بالای R^2 (برابر با ۰/۸۳) و NS (برابر با ۰/۸۳) در نتایج واسنجی، بیانگر دقت بالای مدل در شبیه‌سازی جریان در خروجی حوزه است. مقدار P-factor در مرحله واسنجی برابر ۰/٤۹بود که نشان می‌دهد مقدار کمی از داده‌های مشاهده‌ای دبی در خروجی حوزه، در محدوده باند عدم قطعیت مدل قرار گرفته‌اند که دلیل آن عدم توانایی مدل در شبیه‌سازی مناسب جریان پایه در فصل خشک در دوره‌های اخیر است چراکه در دهه‌های اخیر رودخانه زرین‌درخت فصلی شده و در فصل خشک مقدار جریان پایه آن صفر است و همچنین نبود اطلاعات از میزان برداشت آب‌های زیرزمینی و آب رودخانه برای مصارف کشاورزی در بالادست و مسیر رودخانه، از دیگر دلایل عدم توانایی مطلوب مدل در شبیه‌سازی جریان پایه است. اخوان و همکاران (۲۰۱۰) و شول و همکاران (۲۰۰۸- الف) نیز نتایج مشابهی را گزارش نمودند (۲ و ۱۲). مقدار R-factor نیز برای دوره واسنجی برابر با ۱/۰٦ به‌دست آمد که بیانگر واسنجی مناسب مدل است. در دوره اعتبارسنجی نیز مقادیر R^2 (برابر با ۰/۷۵) و NS (برابر با ۰/۷٤) به‌دست آمد که نتایج خوب و قابل‌قبولی است. مقدار P-factor در این مرحله (اعتبارسنجی) بیش‌تر از دوره واسنجی به‌دست آمد و برابر ۰/۷۵ بود که دلیل آن می‌تواند بهتر بودن وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه در گذشته (جریان دائمی آب در رودخانه اصلی) و در نتیجه بهبود شبیه‌سازی جریان پایه باشد. همچنین به‌علت بیش‌تر بودن مقدار R-factor (برابر با ۱/۱٦)، محدوده باند تخمین عدم قطعیت مدل نسبت به دوره واسنجی بزرگ‌تر بوده و داده‌های مشاهده‌ای بیش‌تری به‌ویژه در فصل خشک‌سال در محدوده باند عدم قطعیت قرار گرفته‌اند که دلیل دیگر بالاتر بودن مقدار P-factor در دوره اعتبارسنجی

www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج شاخص‌های سنجش کارایی مدل در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل، به‌نظر می‌رسد که مدل به‌خوبی قادر به شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیکی حوزه آبخیز مورد مطالعه باشد.

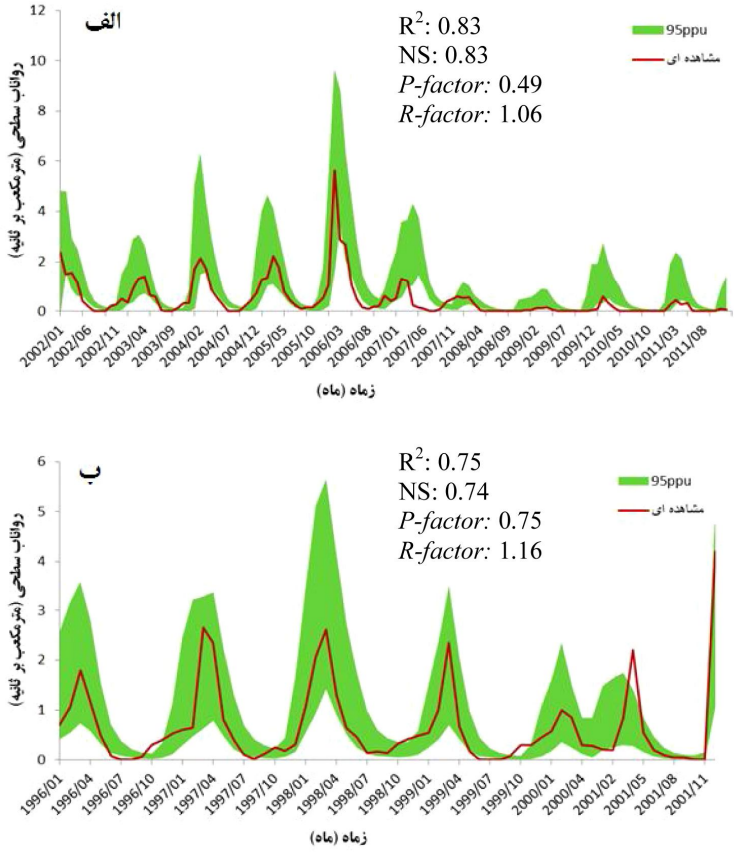
شبیه‌سازی آب آبی و آب سبز: بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، مقادیر آب آبی و آب سبز (جریان و ذخیره آب سبز) برای دوره آماری ۱۹۹٦ تا ۲۰۱۱ در گام‌های زمانی سالیانه و ماهیانه برای هر ٤٦ زیرحوزه محاسبه شد. شکل ٤ متوسط مقادیر سالانه (دوره ۱۹۹٦ تا ۲۰۱۱) بارندگی و آب آبی را نشان می‌دهد و در شکل ٥ نیز متوسط جریان آب سبز و ذخیره آب سبز سالانه برای دوره ۱۹۹٦-۲۰۱۱ ارائه شده است. علت ارائه بارندگی شبیه‌سازی‌شده، امکان بررسی دقیق مقدار دریافت بارش‌های آسمانی به‌ازای هر زیرحوزه و سهم آن در مقادیر هر یک از مؤلفه‌های آب است.

با توجه به شکل ٤، مقدار آب آبی در مناطق مرکزی و شرقی حوزه، کم‌تر از ٤٠ میلی‌متر در سال بود که می‌تواند به‌دلیل بیش‌تر بودن اراضی کشاورزی در این محدوده باشد. همچنین مقدار این مؤلفه منابع آب در ارتفاعات جنوبی، شمال‌غربی و نیز بخش غربی حوزه، بیش‌تر از ٦٠ میلی‌متر در سال به‌دست آمد. این مناطق از حوزه، عمدتاً دارای کاربری جنگل و مرتع می‌باشند و نیز میزان بارندگی و برف‌گیری در طول سال در این مناطق بیش‌تر است و سهم بیش‌تری از بارش‌های آسمانی را دریافت می‌کنند (شکل ٤). همچنین بخش جنوب‌غربی حوزه (زیرحوزه شماره ٤٠) از سرشاخه‌های رودخانه خانمیرزا است و این ویژگی‌ها می‌تواند از دلایل افزایش میزان آب آبی در هر یک از این نواحی حوزه آبخیز نسبت به مناطق مرکزی حوزه باشد.

زیرحوزه‌های شمالی حوزه آبخیز مورد مطالعه کم‌ترین میزان جریان آب سبز یعنی ٤٠٠ تا ٤٥١ میلی‌متر در سال را داشتند و پس از آن بخش مرکزی، دارای مقادیر جریان آب سبز نسبتاً بیش‌تری نسبت به نقاط شمالی بود ولی نسبت به بخش‌های جنوبی، غربی و شرقی حوزه، دارای مقادیر تبخیر و تعرق کم‌تری است (شکل ٥). با توجه به نقشه توزیع بارندگی، مشخص است که بخش‌های مرکزی و شمالی دارای سهم بارش‌های آسمانی کم‌تری بوده‌اند و از این‌رو مقادیر جریان آب سبز نیز کم‌تر از سایر نقاط حوزه بوده است. همچنین بخش مرکزی حوزه با این‌که میزان بارندگی یکسانی با شمال حوزه داشته است ولی مقدار جریان آب سبز بیش‌تری برای این مناطق به‌دست آمده است. دلیل این موضوع این است که بخش‌های شمالی حوزه عمدتاً دارای کاربری مرتع و جنگل هستند، اما زیرحوزه‌های مرکزی دارای کاربری کشاورزی آبی می‌باشند و در فصل‌های مختلف سال (به‌ویژه فصل‌های خشک‌سال) عملیات آبیاری در این مناطق انجام می‌گیرد بنابراین میزان تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد. بخش‌های جنوبی نیز با توجه به دریافت بیش‌ترین میزان بارندگی سالانه نسبت به سایر نقاط حوزه، دارای میزان تبخیر و تعرق بیشینه بوده است. البته تنها در یک زیرحوزه در بخش جنوبی، نتایج خلاف این موضوع است و مقدار تبخیر و تعرق، حداقل بوده است. دلیل میزان کم این مؤلفه منابع آب در این زیرحوزه، نوع خاک آن است چرا که با توجه به نقشه واحدهای اراضی منطقه مورد مطالعه نوع خاک این زیرحوزه، جزء واحد اراضی ۲/۱ است که عمدتاً درای خاک کم‌عمق و گهگاه تا ٤٠ درصد رخنمون سنگی و پوشش مرتع ضعیف هستند بنابراین مقدار نگهداشت آب کم‌تری در خاک داشته و پوشش مرتعی هم ضعیف است. میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق از پوشش گیاهی این زیرحوزه نیز کم‌تر بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- نتایج واسنجی (الف) و اعتبارسنجی (ب) مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI-2 برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه در ایستگاه زرین‌درخت.

Figure 3. The results of runoff simulation at Zarrin derakht station by SWAT model using SUFI-2 algorithm for both calibration (a) and validation (b).

مقدار ذخیره آب سبز در بیش‌تر زیرحوزه‌ها بیش از ۸۱ میلی‌متر و حداکثر ۱۴۲ میلی‌متر در سال به‌دست آمد. در بخش جنوبی منطقه میزان ذخیره رطوبت خاک بیشینه بود که با توجه به نقشه توزیع بارش در سطح حوزه آبخیز، این بخش از منطقه مورد مطالعه دارای بیش‌ترین سهم بارندگی بوده است و نیز نوع کاربری عمدتاً کشاورزی آبی است و بنابراین بیش‌تر بودن میزان آب خاک منطقی به‌نظر می‌رسد. البته در این بخش از منطقه مورد مطالعه هرچند میزان دریافت بارش‌های آسمانی بیش‌تر از سایر نقاط بوده اما وجود خاک کم‌عمق با پوشش گیاهی ضعیف (واحد اراضی ۲/۱) سبب شده که دو زیرحوزه مربوط به این نوع واحد اراضی، نسبت به سایر زیرحوزه‌های این بخش که خاک و کاربری متفاوتی دارند، مقدار ذخیره آب سبز کم‌تری داشته باشند. در بخش مرکزی حوزه مشاهده می‌شود که مقدار آب خاک به‌طورکلی نسبت به بخش شمالی بیش‌تر بوده است در صورتی‌که میزان دریافت بارش‌های آسمانی در هر دو بخش یکسان است. از دلایل این امر می‌توان به تفاوت نوع خاک و کاربری اشاره کرد. در بخش شمالی حوزه نوع خاک جزء واحد اراضی ۱/۵ است که شامل کوه‌ها با خاک کم‌عمق و گهگاه تا ۸۰ درصد رخنمون سنگی است ولی بخش مرکزی حوزه عمدتاً خاک‌های آبرفتی و اراضی پست و مسطح هستند که قابلیت بیش‌تری در ذخیره رطوبت دارند. در بخش شمالی کاربری اراضی حوزه مخلوط اراضی دیم، جنگل و

www.SID.ir

Archive of SID

به‌طور کم‌تر مرتع و کشاورزی آبی است ولی بخش مرکزی حوزه تماماً تحت کشت آبی است و عملیات آبیاری، به‌ویژه در فصل گرم سال که بارندگی رخ نمی‌دهد، سبب وجود اختلاف در میزان ذخیره رطوبتی خاک در این دو بخش از حوزه شده است. در بخش غربی منطقه موردمطالعه با این‌که میزان دریافت بارش‌های آسمانی بیش‌تر از مناطق مرکزی بوده است ولی بیش‌تر زیرحوزه‌ها میزان ذخیره آب سبز مشابه مناطق مرکزی داشته‌اند که احتمالاً به‌دلیل توسعه اراضی دیم و وجود اراضی سنگلاخی در آن‌ها زیرحوزه‌ها است اما سایر زیرحوزه‌ها که کاربری جنگل و کشاورزی آبی دارند میزان ذخیره آب سبز بیش‌تری نیز داشته‌اند.

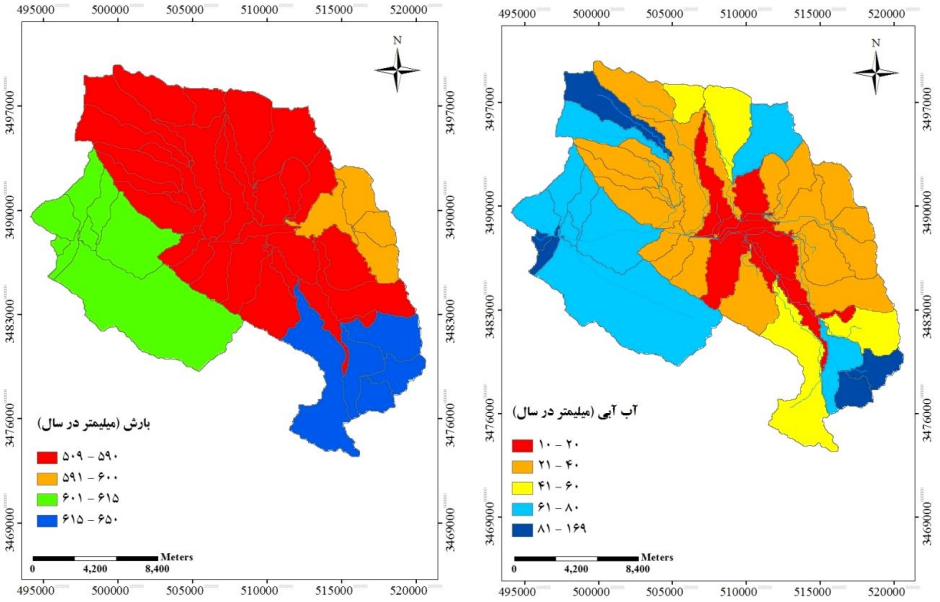
لی‌یو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تغییر کاربری اراضی از مرتع و علفزار به کشاورزی و جنگل در حوزه آبخیز مورد مطالعه ایشان، سبب افزایش ۰/۹۵ درصدی در تبخیر و تعرق و برعکس کاهش ۸/۷۱ درصدی آب آبی شده است. ایشان همچنین گزارش کردند که در این حوزه، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در اراضی جنگلی بیش‌تر از اراضی مرتعی علفزار بود (۸). نیکودل (۲۰۱۲) در پژوهش خود عنوان کرد که تغییرات مؤلفه‌های منابع آب در حوزه زاینده‌رود متأثر از تغییرات مکانی، زمانی، مدیریتی و اقلیمی بوده است به‌گونه‌ای که تغییرات مقادیر آب آبی و سبز از بالادست حوزه به پایین‌دست حوزه متناسب با تغییرات بارندگی و درجه حرارت بود. همچنین کشت آبی سبب افزایش میزان جریان آب سبز شده است و احداث سد زاینده‌رود، مدیریت‌های مختلف رودخانه و برداشت آب از رودخانه، تأثیرات معنی‌داری در مقادیر متوسط سالانه این مؤلفه‌های منابع آب در زیرحوزه‌های مربوطه داشته است. ایشان وجود خطا در نقشه خاک و عدم هماهنگی این نقشه با نقشه کاربری اراضی را یکی از دلایل عدم قطعیت مدل در تخمین مؤلفه‌های منابع آب در حوزه زاینده‌رود دانست (۱۰).

به‌منظور بررسی روند تغییرات ماهانه مؤلفه‌های آب آبی، ذخیره و جریان آب سبز در حوزه آبخیز مورد مطالعه، بازه عدم قطعیت مقادیر هر مؤلفه برای ۱۲ ماه سال برای کل منطقه مورد مطالعه استخراج و در شکل ٦ ارائه شده است. عدم قطعیت کم در شبیه‌سازی مؤلفه‌های مورد مطالعه با استفاده از مدل SWAT نمایانگر دقت نسبتاً بالای مدل در شبیه‌سازی مؤلفه‌های منابع آب حوزه آبخیز مورد مطالعه است.

با توجه به شکل ٦، میزان آب آبی در فصل‌های پاییز و زمستان بیش‌ترین مقدار را داشت و به‌تدریج در فصل بهار با کاهش ریزش‌های آسمانی، مقادیر عددی این مؤلفه منابع آب کاهش‌یافته و در فصل تابستان به کم‌ترین مقدار خود رسیده است. در فصل پاییز و اوایل زمستان که هوا سرد است و بارندگی نیز بیش‌تر به‌صورت باران است میزان تبخیر و تعرق کم بوده و به‌تدریج در فصل زمستان با شروع بارش برف و تبخیر تدریجی برف، میزان جریان آب سبز افزایش یافته است به‌گونه‌ای که در ماه اول بهار که فصل جوانه‌زنی، شروع فصل رویشی و تبخیر برف‌های ذخیره‌شده در ارتفاعات است، میزان تبخیر و تعرق به بیش‌ترین مقدار خود رسیده است و سپس در ماه‌های بعد روندی کاهشی داشته است. البته در نیمه دوم فصل بهار و نیمه اول فصل تابستان، عدم قطعیت مدل افزایش داشته است که دلیل آن می‌تواند نوع مدیریت‌های مختلف آبیاری و کشاورزی و نوع محصول زیر کشت در اراضی تحت کشت آبی در این حوزه باشد. میزان کمینه جریان آب سبز در این حوزه در اواخر تابستان و نیمه اول فصل پاییز بوده است که دلیل آن می‌تواند پایان فصل زراعی در این حوزه، خشک شدن مراتع، بارش بسیار ناچیز و کاهش ذخیره رطوبتی خاک در این بازه زمانی از سال باشد.

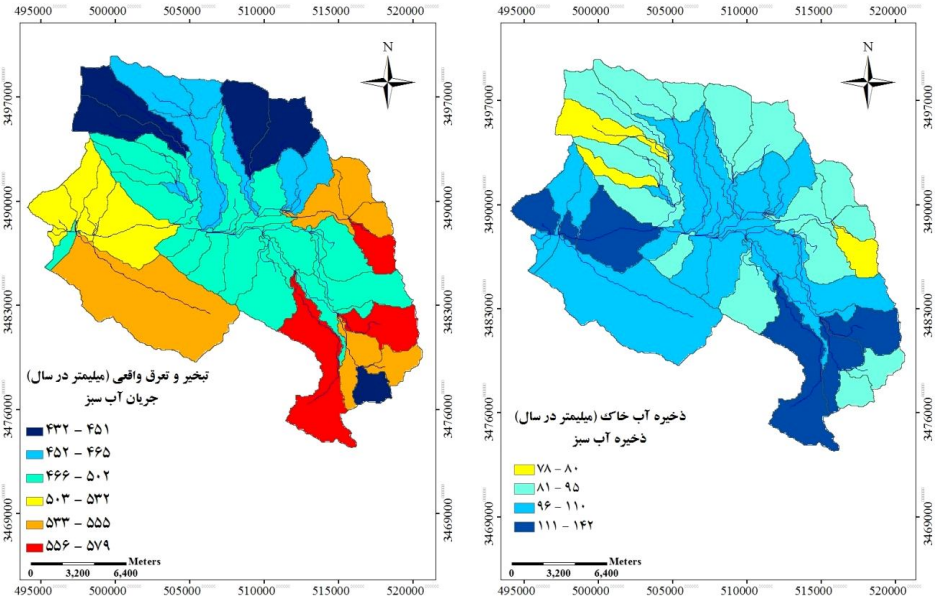
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- متوسط مقادیر سالانه بارندگی و آب آبی در حوزه مورد مطالعه در دوره ۱۹۹٦ تا ۲۰۱۱.

Figure 4. Average annual amounts of rainfall and blue water in the study area from 1996 to 2011.

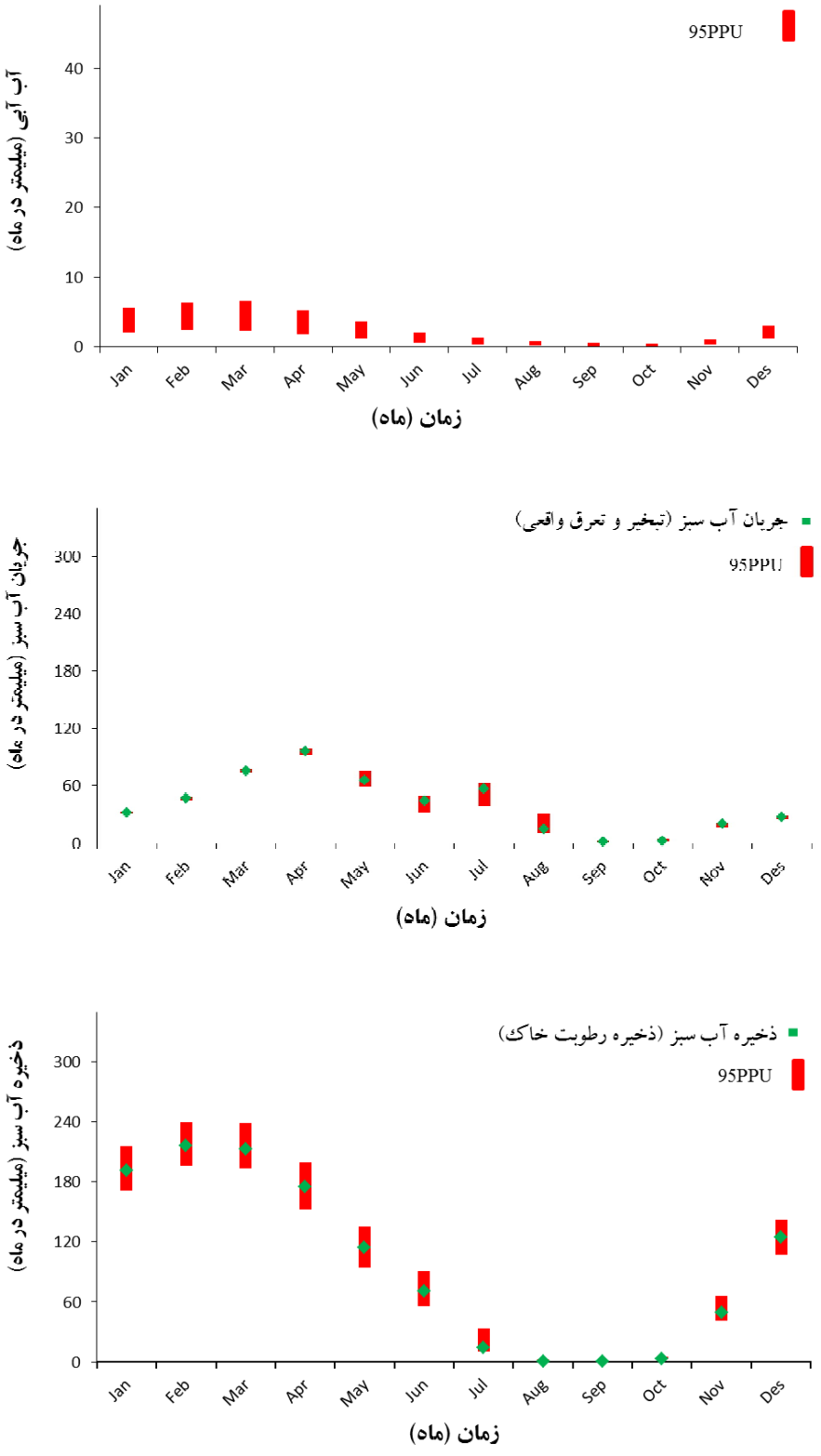


شکل ٥- متوسط مقادیر سالانه جریان و ذخیره آب سبز در حوزه مورد مطالعه در دوره ۱۹۹٦ تا ۲۰۱۱.

Figure 5. Average annual amounts of Green water flow and Green water storage in the study area from 1996 to 2011.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦- روند تغییرات ماهانه آب آبی، جریان آب سبز و ذخیره آب سبز در منطقه مورد مطالعه.

Figure 6. The trend of monthly changes in Blue water, Green water flow and Green water storage in the study area.

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی مقادیر عددی ذخیره آب سبز و بازه عدم قطعیت آن نیز نشان می‌دهد که روند تغییرات این مؤلفه هیدرولوژیک متناسب با فصل‌های سال است به شکلی که در اواسط پاییز به بعد که بارندگی در این حوزه رخ می‌دهد، میزان ذخیره آب سبز نیز افزایش یافته و در بهار با شروع فصل رویشی و استفاده گیاهان از ذخایر رطوبتی خاک، روند کاهشی بارندگی‌ها در این حوزه و افزایش تبخیر از سطح خاک، میزان ذخیره رطوبت خاک روندی کاهشی داشته است و در فصل تابستان که فصل خشک‌سال است و استفاده گیاه از ذخایر رطوبتی خاک بیشینه است، میزان ذخیره این مؤلفه منبع آب به کم‌ترین مقدار خود در طول دوره سال رسیده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه و برآورد مقادیر مؤلفه‌های منابع آب (آب آبی و آب سبز) در حوزه آبخیز جوانمردی استفاده شد. همچنین طیف عدم قطعیت نتایج در گام زمانی سالانه برای هر زیرحوزه و در گام زمانی ماهانه برای کل منطقه مورد مطالعه شبیه‌سازی شد که اطلاعات مفیدی در مورد وضعیت مکانی منابع آب فراهم نموده و می‌توان از آن برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت مدیریت منابع آب و کاربری اراضی (تشخیص مناطق مناسب جهت دیم‌کاری) استفاده کرد. با توجه به نتایج حاصله، بخش‌های جنوبی، شرقی و غربی حوزه دارای مقادیر بالای تبخیر و تعرق هستند که با مدیریت صحیح پوشش زمین، می‌توان از هدررفت آب به‌میزان بالایی جلوگیری کرد. همچنین بخش‌های جنوبی، غربی و مرکزی حوزه دارای مقادیر ذخیره رطوبتی قابل‌توجه هستند که با توجه به روند ذخیره رطوبت در خاک در مقیاس زمانی ماهانه، بهترین زمان کشت (به‌ویژه کشت دیم) در منطقه در اواخر مهر و اوایل آبان است. با توجه به این‌که شرایط اقلیمی یکی از فاکتورهای تأثیرگذار در توزیع زمانی و مکانی منابع آب آبی و آب سبز و به‌طورکلی هیدرولوژی حوزه است بنابراین در مطالعات دقیق با هدف برنامه‌ریزی‌های بلندمدت مدیریت منابع آب در حوزه، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1.Abbaspour, K. 2014. SWAT-CUP2012: SWAT Calibration and Uncertainty Programs-A User Manual. Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Department of Systems Analysis. Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Duebendorf, Switzerland.

2.Akhavan, S., Abedi Kopai, J., Mousavi, S.F., Abbaspour, K., Afuni, M., and Eslamian, S.S. 2010. Blue water and green water prediction in Hamedan-Bahar catchment using the SWAT model. J. Sci. Tech. Agr. Nat. Res. 53: 8-23.

3.Besalatpour, A. 2012. Modelling of soil erosion hazard in the Bazoft watershed using fuzzy logic algorithm, SAWT model and Genetic algorithm- Fuzzy clustering. Ph.D. thesis, Department of Soil science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian)

4.Falkenmark, M. 1997. Meeting water requirements of an expanding world population. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biol. Sci. 352: 929-936.

5.Falkenmark, M. 2003. Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biol. Sci. 358: 2037-2049.

www.SID.ir

Archive of SID

6.Falkenmark, M., and Rockström, J. 2006. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. J. Water Resour. Plan. Manag. 132: 129-132.
7.Faramarzi, M., Abbaspour, K.C., Schulin, R., and Yang, H. 2009. Modelling blue and green water resources availability in Iran. Hydrol. Proc. 23: 486-501.
8.Liu, X.F., Ren, L., Yuan, F., Singh, V., Fang, X., Yu, Z., and Zhang, W. 2009. Quantifying the effect of land use and land cover changes on green water and blue water in northern part of China. Hydrol. Earth Sys. Sci. 13: 735-747.
9.Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., and Williams, J. 2011. Soil and water assessment tool: theoretical documentation, version 2009, in Texas Water Resource Institute, USA, 618p.
10.Nikudel, M. 2012. Modeling of water yield in Zayandeh Rud River Basin using SWAT model, M.Sc. thesis, College of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian)
11.Oki, T., and Kanae, S. 2006. Global hydrological cycles and world water resources. Sci. 313: 1068-1072.
12.Schuol, J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R., and Yang, H. 2008a. Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model. J. Hydrol. 352: 30-49.
13.Schuol, J., Abbaspour, K.C., Yang, H., Srinivasan, R., and Zehnder, A.J. 2008b. Modeling blue and green water availability in Africa. Water Resour. Res. 44: 1-18.
14.Zang, C., Liu, J., Jiang, L., and Gerten, D. 2013. Impacts of human activities and climate variability on green and blue water flows in the Heihe River Basin in Northwest China. Hyd. Earth Sys. Sci. Dis. 10: 9477-9504.
15.Zang, C., Liu, J., Velde, M., and Kraxner, F. 2012. Assessment of spatial and temporal patterns of green and blue water flows under natural conditions in inland river basins in Northwest China. Hyd. Earth Sys. Sci. Dis. 16: 2859-2870.

www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 8(2), 2018
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2017.10968.1639

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Hydrological modeling of spatial and temporal changes of blue and green water resources in Javanmardi watershed using SWAT model

N. Hosseinzadeh[1], M.A. Hajabbasi[2] and *A.A. Besalatpour[3]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,
[2]Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,
[3]Researcher at inter 3 GmbH-Institute for Ressources Management, Berlin, Germany
Received: 09.27.2014; Accepted: 03.08.2015

Abstract
Background and Objectives: Comprehensive evaluation of water resources using an almost reliable method in spatial and temporal scales may provide an effective strategy to understand the renewable water resources and an optimal management of the watersheds. In this study, Soil Water Assessment Tool (SWAT) model was used to estimate the components of blue water and green water resources (green water storage and flow) in Javanmardi watershed (central Iran).
Materials and Methods: For this purpose, monthly runoff was first simulated using SWAT model and SUFI-2 algorithm of the SAWT-CUP package software was then used for the calibration and validation.
Results: Runoff simulation results were satisfactory such that the values of R^2 and NS values in the validation step were 0.75 and 0.74, respectively, showing that the model has properly simulated the monthly runoff. The amounts of blue water in the central and eastern parts of the watershed were less than 40 mm per year, whereas in the southern altitudes, northwest and western parts of the watershed, it was more than 60 mm per year. The northern sub-basins of the study area had the lowest values of green water flow (from 400 to 451 mm $year^{-1}$) and then the central parts had relatively greater values of green water flows than the northern parts. The simulated green water storage in most sub-basins was more than 81 mm where the maximum value of that was 142 mm $year^{-1}$.
Conclusion: The results of the hydrological component estimation provide valuable information about the spatial (in sub-basin scale) and temporal (annual and monthly) distribution of water resources which can be useful for long-term planning and optimal management of the watersheds.

Keywords: Water resources, Hydrological components, Uncertainty, SUFI-2 algorithm

* Corresponding Author; Email: besalatpour@inter3.de

www.SID.ir