Archive of SID

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iranian Journal of Watershed
Management Science & Engineering

سال چهاردهم- شماره ۴۸- بهار ۱۳۹۹ Vol. 14, No. 48, Spring 2020

شبیه‌سازی بیلان هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری با استفاده از مدل SWAT و الگوریتم SUFI2

فرناز براتی[۱]، مجید حسینی[۲]، علی صارمی [۳]و احمد مختاری[۴]

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۱۱/۱۶

چکیده

به منظور مدیریت حوزه‌های آبخیز، به ویژه در حوزه‌های کوهستانی که فاقد ایستگاه هیدرومتری به اندازه کافی هستند شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این تحقیق از مدل SWAT برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک حوزه اسکندری استفاده شد. واسنجی و اعتبارسنجی مدل به‌ترتیب برای دوره‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۱ و ۱۳۹۴-۱۳۸۸ با استفاده از الگوریتم SUFI2 در نرم‌افزار SWAT CUP انجام شد. برای ارزیابی نتایج در مرحله واسنجی ضرایب bR2،R2 و NS به‌ترتیب برابر ۰/۷۶، ۰/۵۳و ۰/۷۶ و در مرحله اعتبارسنجی برابر ۰/۵۶، ۰/۲۹ و ۰/۵۲ حاصل گردید. نتایج آنالیز حساسیت ۲۳ پارامتر موثر بر رواناب را نشان داد که شماره منحنی (CN2) به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر شناخته شد و هم‌چنین پارامترهای ثابت تخلیه آب زیرزمینی، زمان تاخیر آب زیرزمینی و آب قابل دسترس خاک به‌ترتیب حساسیت بیش‌تری داشتند. شاخص‌ها و نمودارها برای شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه، نشان می‌دهد که مدل در مرحله واسنجی موفق‌تر عمل کرده است. هم‌چنین مدل توانسته است زمان وقوع دبی اوج را به خوبی تعیین نماید ولی دبی‌های پیک را نسبت به مقادیر واقعی بیشتر تخمین زده است که علت این امر را می‌توان به چگونگی توزیع ایستگاه‌های باران‌سنجی و نحوه درون‌یابی بارندگی مرتبط دانست.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران.
۲- نویسنده مسئول و دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، پست الکترونیک: mjhossaini@gmail.com
۳- استادیارگروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.
۴- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

کلیدواژه‌ها: *مدل‌سازی هیدرولوژیک، SWAT[5]، الگوریتم SUFI2، حوزه آبخیز اسکندری.*

مقدمه

مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز از مهم‌ترین روش‌های استفاده بهینه از منابع آب و خاک به شمار می‌آید. در کشور ایران اکثر حوزه‌های آبخیز به ویژه حوزه‌های آبخیز کوهستانی، فاقد ایستگاه هیدرومتری به اندازه کافی هستند و همین امر هرگونه برنامه‌ریزی عمرانی و مدیریتی را با مشکل مواجه می‌سازد شایگان و همکاران[۱۹]. برای حل این مشکل، متخصصان علم آبخیزداری، هیدرولوژیست‌ها و محققان منابع آب راه حل‌های مختلفی مانند فرمول‌های تجربی و مدل‌های ریاضی و کامپیوتری را عرضه کرده‌اند که تاکنون هیچ یک نتوانسته است به نتیجه‌ای مطلوب بینجامد. عقیده بر این است که شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز می‌تواند راه حل بهینه‌ای برای آن‌ها باشد رستمیان و همکاران [۱۸]. ایده کاربرد مدل‌های هیدرولوژیکی برای فهم بهتر چرخه آب در محیط و به ویژه پیش‌بینی رواناب به چهار دهه گذشته برمی‌گردد. در سال‌های اخیر هیدرولوژیست‌ها به منظور شبیه‌سازی کارایی هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز روی مدل‌های موجود یا ایجاد مدل‌های جدید کار کرده‌اند. چنانچه قابلیت و کارایی این مدل‌ها برای مناطقی با شرایط متنوع و متفاوت خاک، توپوگرافی، کاربری اراضی و جز این‌ها مورد تایید قرار گیرد، می‌توان از این مدل‌ها به عنوان ابزاری برای مدیریت منابع آب و خاک در حوزه آبخیز استفاده کرد. یکی از مدل‌هایی که اخیرا در نقاط مختلف جهان به طور گسترده جهت شبیه‌سازی عوامل هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز، چه از نظر کمی و کیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل هیدرولوژیکی سوات می باشد. مدل سوات مدلی یکپارچه و نیمه فیزیکی و نیمه‌توزیعی در مقیاس حوزه است که توسط دپارتمان کشاورزی آمریکا تهیه شده است. فرامرزی و همکاران [۸]، در مطالعه‌ای با استفاده از مدل سوات در کنار SUFI2 برخی اجزای بیلان آب را در کل ایران شبیه‌سازی کرده و ارتباط آن‌ها با در نظر گرفتن عملکرد سدها و اقدامات آبیاری اراضی کشاورزی بررسی کردند. برای تعیین کارایی مدل، آنالیز عدم قطعیت نیز صورت گرفت. نتایج برای اکثر رودخانه‌های کشور قابل قبول بود. فاکوناگا و همکاران [۱۰] به ارزیابی مدل سوات در شبیه‌سازی

5. Soil and Water Assessment Tools

www.SID.ir

Archive of SID

دبی رواناب بین سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۰ در حوزه‌های آبخیز کشور بلژیک پرداخته و عدم قطعیت داده‌ها را توسط الگوریتم SUFI-2 مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها حاکی از توانایی مدل الگوریتم SUFI-2 در کاهش میزان عدم قطعیت در شبیه‌سازی بود.

زارع و طالبی [۲۵] در تحقیقی به شبیه‌سازی بیلان آبی حوزه قره‌سو استان گلستان با استفاده از مدل سوات پرداختند. هدف اصلی تحقیق، آزمون کارایی مدل و قابلیت استفاده از آن به عنوان شبیه‌ساز بیلان آب در آبخیز قره‌سو بود. نتایج تحقیق نشان داد که، مدل سوات برای شبیه‌سازی هیدرولوژی حوزه قره‌سو از کارایی مناسبی برخوردار است. دقت شبیه‌سازی دبی ماهانه در ایستگاه سیاه‌آب (خروجی حوزه) با استفاده از شاخص نش- ساتکلیف در دوره واسنجی ۰/۶۰ و با شاخص R2 ،۰/۶۵ ، و در دوره اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۶۲ بدست آمد. برای شاخص‌های ارزیابی عدم قطعیت نیز مقادیر قابل قبولی بدست آمد.P فاکتور و R فاکتور، برای دوره واسنجی به‌ترتیب ۰/۷۷ و ۱/۲۳ و برای دوره اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۹۷ و ۱/۷۳ محاسبه شد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی مدل، به‌طور متوسط حدود ۶۷ درصد بارش از طریق تبخیر و تعرق وارد اتمسفر میشود، ۱۷ درصد آن به صورت رواناب سطحی و جریان جانبی به آبراهه‌ها وارد میشود و ۱۶ درصد نفوذ یافته و وارد سفره زیرزمینی می‌شود. ویلایسان و همکاران [۲۲] دبی رواناب حوزه آبخیز اکسدون به مساحت ۷۲۲۴ کیلومترمربع را توسط مدل سوات مورد بررسی قرار داده و آنالیز عدم قطعیت در شبیه‌سازی رواناب را هم به صورت روزانه و هم ماهانه بررسی نمودند. نتایج ارزیابی آن‌ها حاکی از توانایی مدل سوات و الگوریتم SUFI-2 در شبیه‌سازی روزانه و ماهانه رواناب بود. بوسا و همکاران [۶] اثرات سه نوع متفاوت از نقشه خاک در شبیه‌سازی رواناب و رسوب توسط مدل سوات در حوزه آبخیز زوو در جمهوری بنین در غرب آفریقا را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها یک دوره آماری چهارساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴) را برای مرحله کالیبراسیون و یک دوره آماری دو ساله را (۲۰۰۵ تا ۲۰۰۶) را برای مرحله صحت‌سنجی در نظرگرفتند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که داده‌های خاک متفاوت وارد شده به مدل سوات مقادیر متفاوتی از پارامترها را در خروجی مدل خواهد داد. ابراهیمی [۷] به ارزیابی مدل سوات در شبیه‌سازی دبی رواناب و بار رسوب رودخانه آبخیز دویرج ایلام پرداخت. جهت تجزیه و تحلیل نتایج از شاخص‌های آماری R2، bR2 و ضریب نش ساتکلیف (NS) استفاده کردند. پس از واسنجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI2 ضرایب R2،bR2 و NS به‌ترتیب ۰/۷۵، ۰/۷۵ و ۰/۶۵ و برای مرحله اعتبارسنجی آن ۰/۸۶، ۰/۵۰ و ۰/۲۴ برآورد شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند بررسی نمودارهای مربوط به واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان داد که زمان وقوع دبی اوج و دبی پایه به خوبی مدل‌سازی شده است. شیملیس و همکاران [۲۰] با ارزیابی کاربرد مدل سوات در پیش‌بینی رواناب و محاسبه آنالیز عدم‌قطعیت حوزه آبخیز دریاچه تانا در اتیوپی تأثیر توپوگرافی، کاربری اراضی، خاک و شرایط اقلیمی بر روی هیدرولوژی این حوزه را به خوبی بررسی نمودند. آنالیز بیلان هیدرولوژیکی حوزه نشان داد که جریان پایه به عنوان جزء مهمی از دبی کل بیشتر از رواناب سطحی موثر است. مورتی و همکاران [۱۴] در مطالعه‌ای به کاربرد مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی سوات برای پیش‌بینی تعادل آب حوزه آبخیز کن[1] هند پرداختند. کالیبراسیون سالانه و ماهانه (۱۹۸۵-۱۹۹۶) و اعتبارسنجی (۱۹۹۷-۲۰۰۹) انجام شد. نتایج بررسی بیلان آبی آب نشان داد متوسط بارش سالانه در حوزه کن حدود ۱۱۳۲ میلی‌متر می‌باشد و حدود ۲۳ درصد به جریان سطحی، ۴ درصد به جریان آب زیرزمینی و حدود ۷۳ درصد به تبخیر و تعرق اختصاص یافته است.

در این تحقیق برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز اسکندری از مدل سوات استفاده شد. بعد از تهیه و آماده‌سازی داده‌ها طبق فرمت موردنظر، مدل اجرا شد. پس از تحلیل حساسیت و تعیین پارامترهای مهم، واسنجی و اعتبارسنجی مدل صورت پذیرفت. سپس نتایج به دو صورت کمی و کیفی مورد تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز اسکندری به وسعت ۱۸۴۷/۸۷ کیلومتر مربع در غرب استان اصفهان و در بالادست سد مخزنی زاینده‌رود واقع گردیده‌است و در محدوده‌ی جغرافیایی ۵۰ درجه و یک دقیقه تا ۵۰ درجه ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این حوزه حدود ۷ درصد از مساحت کل حوزه آبخیز سد زاینده‌رود را شامل می‌شود که مستقیما به سد زاینده‌رود وارد شده و منبع اصلی تامین آب کشاورزی، شرب و صنعت در منطقه و استان اصفهان می باشد. رودخانه پلاسجان که از ارتفاعات شهرستان فریدون‌شهر از توابع استان اصفهان سرچشمه می گیرد، در حوزه آبخیز اسکندری جاری می‌باشد. این رودخانه که بعد از زاینده‌رود مهم‌ترین شاخه حوزه آبخیز سد زاینده‌رود می‌باشد، در نزدیکی روستای علی‌آباد واقع در منتهی‌الیه غرب دریاچه سد زاینده‌رود، به رودخانه زاینده‌رود ملحق می‌شود. آب‌وهوای نیمه مرطوب سرد که قلمرو کوهستانی غرب و جنوب‌غربی اصفهان را در بر می‌گیرد. به نسبت افزایش ارتفاع، میزان بارندگی افزایش می‌یابد و از درجه گرمای هوا کاسته می‌شود. شکل ۱ موقعیت این حوزه را در ایران و استان اصفهان نشان می دهد.

مدل SWAT

مدل سوات برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز پیچیده و وسیع، با توجه به تغییرات خاک، کاربری اراضی و شرایط آب و هوایی در دوره‌های طولانی مدت کاربرد دارد. مدل سوات دارای بازده محاسباتی بالا می‌باشد. هم‌چنین این مدل یک مدل پیوسته زمانی است که در گام‌های زمانی ساعتی،

1. Ken

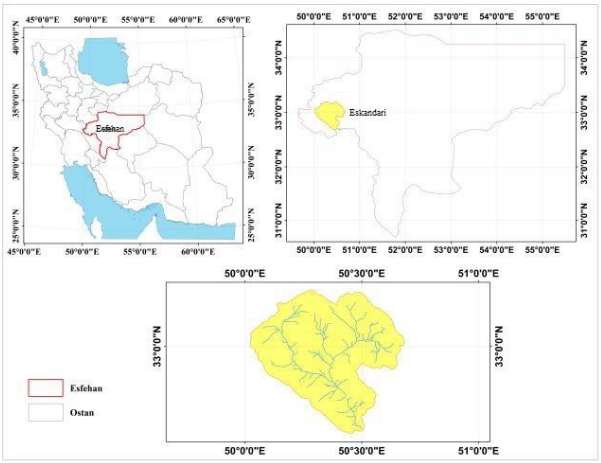
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده در منطقه

Table ۱. Characteristics of the hydrometric station used in the area

نام ایستگاه Station	نام رودخانه River	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع (متر) Elevation(m)
Eskandari	Pelasjan	50-25-51	32-49-19	2124



شکل۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان اصفهان

Fig 1. Location of study area in Iran and Isfahan province

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در منطقه

Table 2. Characteristics of rain gauge stations used in the area

ردیف Number	نام ایستگاه Station	نوع ایستگاه Station type	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation(m)	متوسط بارندگی(mm) Average rainfall
1	Ashen	Rain gauge	50º69	33º09	2243	216.937
2	Oregan	Rain gauge	50º44	32º59	2221	390.25
3	Bowen	Rain gauge	50º16	33º08	2449	255.875
4	Frieden›s domain	Rain gauge	50º50	33º01	2383	338.187
5	Dolatabad Frieden	Rain gauge	50º76	32º92	2300	293.875
6	GHale Shahrokh	Rain gauge	50º45	32º66	2109	383.062
7	Mirabad	Rain gauge	50º25	33º08	2540	303.343
8	Daran	Synoptic	50º36	32º96	2290	
9	Fereydoun Shahr	Synoptic	50º12	32º94	2490	

روزانه و یا سالانه اجرا می‌شود. اکثر روابط موجود در این مدل مبنای فیزیکی دارند و این نشان می‌دهد که تعداد متغیرهای لازم برای اجرای کامل و دقیق مدل زیاد است نیچ و همکاران [۱۷].

معادله بیلان آب که در مدل استفاده می‌شود به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$SW_t = SW_0 + \sum(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad \text{رابطه(۱)}$$

که در آن SWt محتوای آب نهایی در خاک، t زمان (روز)، SW0 مقدار آب اولیه موجود در خاک، Rday مقدار بارش در هر روز، Qsurf مقدار رواناب سطحی در هر روز، Ea مقدار تبخیر و تعرق روزانه، Wseep مقدار آب نفوذ کرده به منطقه زیرقشری و Qgw مقدار نفوذ به سفره زیرزمینی می‌باشد نیچ و همکاران [۱۷].

در این مدل هر حوزه به چند زیرحوزه و هر یک از زیرحوزه‌ها به چند واحد عکس‌العمل هیدرولوژیک[1] (HRU) که از نظر کاربری اراضی و خصوصیات خاک همگن هستند، تقسیم می‌شود. بر این اساس، منطقه مورد مطالعه به ۵۷ زیرحوزه و ۲۳۷ واحد عکس‌العمل هیدرولوژیکی (HRU) تقسیم گردید.

اطلاعات هواشناسی مورد نیاز مدل عبارت‌اند از بارش، دمای حداقل و حداکثر روزانه (دوره آماری ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۴) که به مدل معرفی شده‌است. سایر اطلاعات هواشناسی مورد نیاز عبارت‌اند از تابش، سرعت باد، رطوبت نسبی که در این تحقیق توسط مدل شبیه‌سازی شده‌اند. داده‌های بارندگی از آمار هفت ایستگاه باران‌سنجی اشن، اورگان، بوئین، دامنه فریدن، دولت‌آباد، قلعه شاهرخ و میرآباد و داده‌های دما از دو ایستگاه سینوپتیک داران و فریدون‌شهر بدست آمده‌است. هم‌چنین ایستگاه هیدرومتری اسکندری واقع در خروجی حوزه اسکندری به عنوان ایستگاه مبنا برای مشاهده تغییرات رواناب حوزه انتخاب گردید (جدول۱و۲).

واسنجی و اعتبارسنجی

مدل‌های هیدرولوژیک توزیعی باید یک فرایند موفق واسنجی را

1. Hydrological Response Unit

www.SID.ir

Archive of SID

به همراه آنالیزهای حساسیت، عدم قطعیت و آنالیز پیشگویانه[1] طی کنند تا بتوان از آن‌ها به عنوان ابزاری برای تصمیم‌سازی در مدیریت حوزه‌های آبخیز و مطالعه سناریوها استفاده کرد فرامرزی و همکاران [۸]. واسنجی مدل سوات به دو صورت دستی و یا با استفاده از روش‌های اتوکالیبراسیون امکان‌پذیر است. در تحقیق حاضر این مرحله به صورت اتوکالیبراسیون و با استفاده از برنامه SUFI2 و بر اساس آمار سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۵ انجام شد (سال ۱۳۷۱ به عنوان دوره Warm-up در نظر گرفته شد). در ابتدا سعی شد مدل برای شبیه‌سازی در پایه زمانی سالانه واسنجی شود تا پس از دستیابی به نتیجه قابل قبول اقدام به واسنجی مدل برای پایه زمانی ماهانه شود. با اجرای الگوریتم SUFI2 مقادیر بهینه پارامترهای حساس مدل تعیین می‌گردد. برای واسنجی مدل، این الگوریتم چندین بار اجرا می‌شود و در هر بار اجرا در صورت قابل قبول بودن نتایج بهینه‌سازی، از مقادیر بهینه پارامترها در مرحله اعتبارسنجی استفاده می‌شود.

مدل‌های هیدرولوژیک باید پس از فرایند واسنجی مورد ارزیابی قرار بگیرند تا بتوان از آن‌ها برای مطالعه سناریوها و تصمیم‌سازی در مدیریت حوزه‌های آبخیز استفاده کرد. اعتبارسنجی مدل عبارت است از فرآیندی پس از واسنجی که در آن قابلیت مدل برای پیش‌بینی صحیح دوره‌ای غیر از دوره واسنجی بررسی می‌شود. زمانی می‌توان گفت یک مدل اعتبارسنجی شده است که صحت و قابلیت پیش‌بینی آن در دوره اعتبارسنجی با مقدار خطای قابل قبول اثبات شده باشد زارع و طالبی [۲۵]. انجام مرحله اعتبارسنجی با استفاده از مقادیر پارامترهای اصلاح شده در مرحله واسنجی و بر اساس آمار سالهای ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ صورت گرفت.

نتیجه این بخش میزان اعتبار مدل واسنجی شده را نشان می‌دهد.

روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی مدل

در این تحقیق برای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی‌ها در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص‌های R2 (ضریب تبیین[2])، bR2 (ضریب همبستگی وزنی)، NS (نش- ساتکلیف) استفاده گردید.

ضریب تبیین

قسمتی از واریانس کل می‌باشد که به وسیله رابطه خطی موجود بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توجیه می‌گردد. ضریب تبیین بین صفر تا یک تغییر می‌کند و مقدار بهینه آن یک است.

ضریب bR2

اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده و هم‌چنین پویایی بین آن‌ها با استفاده از تابع bR2 نشان داده می‌شود. این تابع حاصل‌ضرب ضریب تبیین در ضریب رگرسیون می‌باشد.

ضریب رگرسیون (b)، اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده و ضریب تبیین (R2)، پویایی بین آن‌ها را نشان می‌دهد.

ضریب ناش- ساتکلیف[3]

این روش ابزار دیگری است که اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

راندمان NS به عنوان تابع هدف در هنگام واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. مقدار ضریب ناش- ساتکلیف بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند. مقدار بهینه این شاخص یک است. لازم به توضیح است که عموماً اگر شاخص نش- ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۷۵ تا ۰/۳۶ باشد، رضایت‌بخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد غیرقابل قبول فرض می‌شود، اندومبا [۱۶] و زاهدی [۲۴]. با توجه به زیاد بودن داده‌های ورودی، لازم است برای شناخت بهتر مدل و انجام موفق مرحله واسنجی، برای پارامترهای مدل آنالیز حساسیت انجام شود. هدف اصلی از آنالیز حساسیت تعیین ورودی‌هایی است که مشارکت بیش‌تری در تغییر خروجی دارند و اینکه کدام پارامتر همبستگی بیش‌تری با خروجی دارد زاهدی [۲۴]. با استفاده از داده‌های دبی جریان متوسط ماهانه بین سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۱، تحلیل حساسیت مدل انجام و تعداد۲۳ پارامتر با بیش‌ترین حساسیت انتخاب شدند.

نتایج

همان‌طور که اشاره شد با اجرای مدل، متوسط پارامترهای هر زیرحوزه محاسبه می‌شود. محاسبه این پارامترها از دو جهت حائز اهمیت فراوان است، اولا با محاسبه این پارامترها از محاسبات تکراری در برخی مراحل کالیبراسیون مدل جلوگیری می‌شود و در نتیجه مدت زمان لازم برای اجرای مجدد مدل جهت بهینه‌سازی پارامترهای عمومی مدل به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد و ثانیا این خروجی‌های میانی در علم هیدرولوژی بسیار مهم هستند چرا که این خروجی‌ها به عنوان ورودی بسیاری از مدل‌های توزیعی و نیمه‌توزیعی در علم هیدرولوژی هستند و با اجرای مدل سوات می‌توان این پارامترها را در هر حوزه محاسبه و در پروژه‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

مقایسه مقادیر ماهیانه دبی خروجی حوزه و مقادیر ماهیانه بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی موجود در طول دوره زمانی ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۵ نشان می‌دهد که دبی‌های اوج رودخانه اسکندری طی این دوره همزمان با ماه‌های پر باران اتفاق افتاده‌است (شکل۳). دبی‌های اوج شبیه‌سازی شده در طی اولین اجرای مدل سوات نیز در طی این دوره همزمان با ماه‌های پرباران رخ داده‌اند. هم‌چنین مقدار دبی در ماه‌های فاقد بارندگی بسیار ناچیز محاسبه گردیده‌است که نشان دهنده نادیده گرفتن جریان پایه و جریان آب‌های زیرزمینی توسط مدل می‌باشد. مهم‌ترین نکاتی که با بررسی نمودارها و ضرایب مربوط به اولین اجرای مدل سوات با مقادیر اولیه پارامترها بدست می‌آید به شرح زیر است:

دبی‌های اوج شبیه‌سازی شده همزمان با ماه‌های پرباران و دبی‌های

1. Predictive analysis
2. Coefficient of determination
3.Nash - Sutcliffe

www.SID.ir

Archive of SID

اوج واقعی نیز همزمان با ماه‌های پر باران اتفاق افتاده است که مدل از این نظر عملکرد مناسبی داشته است. زمان وقوع دبی‌های اوج شبیه‌سازی شده همزمان با دبی‌های اوج واقعی اتفاق افتاده‌اند. اما در ماه‌های فاقد بارندگی دبی خروجی در حد صفر برآورد گردیده‌است، به عبارت دیگر، دبی پایه دائمی رودخانه محاسبه نگردیده است.

واسنجی مدل

واسنجی مدل سوات به دو صورت دستی و هم‌چنین استفاده از برنامه SUFI2 که در قالب نرم‌افزار SWAT_ CUP به مدل سوات لینک شده است انجام گردید. جهت واسنجی مدل از آمار ۱۴ ساله اندازه‌گیری شده (۱۳۷۱ تا ۱۳۸۵)، بارندگی، دما و دبی روزانه استفاده شد. در این مرحله به دفعات مختلف اقدام به اجرای مدل نموده و هر بار با توجه به شاخص‌ها و معیارهای آماری، نتایج را مورد ارزیابی قرار گرفت. مهم‌ترین خطاهای نتایج اولیه عبارت بود از عدم هماهنگی نقاط اوج و شیب هیدروگراف‌ها و کم بودن حجم آب پایه. با استفاده از نتایج آنالیز حساسیت مدل، پارامترهای موثر در این بخش‌ها شناسایی شده و در بهینه کردن مدل مورد استفاده قرار گرفت. در هر بار تغییر پارامترها و اجرای مدل، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل، جریان پایه، رواناب سطحی، نسبت تبخیر به بارش، نسبت جریان رودخانه به بارش و ... در خروجی مدل با اطلاعات موجود و مطالعاتی که قبلاً در منطقه انجام شده بود (از جمله مطالعات بیلان آب توسط شرکت آب منطقه‌ای استان)، مقایسه می‌شد تا همه اجزای بیلان آبی شبیه‌سازی شده به طور کلّی با واقعیت مطابقت داشته باشند. خلاصه نتایج در مرحله واسنجی به شرح زیر می باشد:

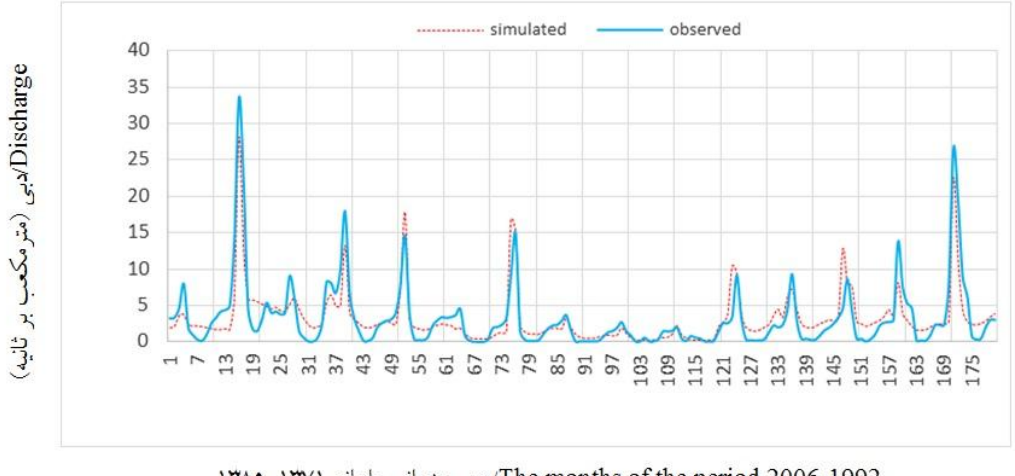
جدول ۳- ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی

Table3. Evaluation of the model performance in the calibration phase.

مقدار value	مشخصه Characteristic	معیار ارزیابی Evaluation criteria
0.76 (رضایت‌بخش)	NS	Nash - Sutcliffe
0.76	R2	Coefficient of determination
0.53	Br2	Weight determining coefficient
0.88	p-factor	*
1.57	r-factor	**

*P فاکتور عبارتست از درصد داده های مشاهده‌ای که در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گرفته‌اند.

** R فاکتور عبارتست از نسبت ضخامت باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد به انحراف معیار داده‌های اندازه گیری شده



شکل ۲- مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی با پایه زمانی ماهانه

Fig 2. Comparison of simulated and observed hydrographs in the calibration period with monthly time bases

www.SID.ir

Archive of SID

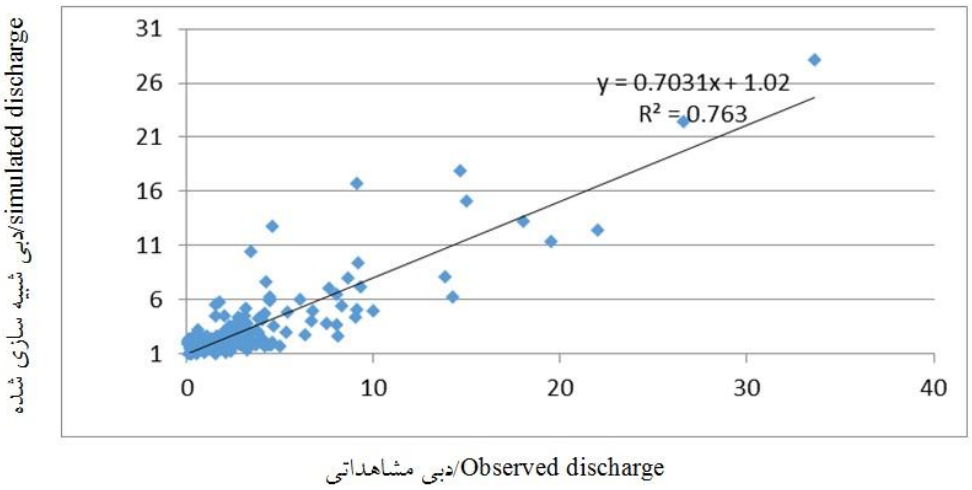
جدول ۴- نتایج تحلیل حساسیت مدل SWAT و مقدار بهینه پارامترهای مدل برای حوزه آبخیز اسکندری

Table 4. Results of SWAT Model Sensitivity Analysis and Optimal Value of Model Parameters for Eskandari Watershed

مقدار بهینه	محدوده بهینه		علامت اختصاری	نام پارامتر	
Optimal value	Optimal range		Symbol	Parameter	
-0.427	0.039	-0.684	r__CN2.mgt	Curve number	شماره منحنی روش SCS
0.267	0.285	0.131	v__ALPHA_BF.gw	Base flow alpha factor	ثابت تخلیه آب زیرزمینی
453.124	473.553	389.485	v__GW_DELAY.gw	Groundwater delay time	زمان تاخیر آب زیرزمینی
2405.629	2511.912	2119.724	v__GWQMN.gw	Threshold depth of water in the shollow aquifer required	حداقل مقدار ذخیره آب لازم در سفره برای رویداد جریان پایه (mmH2O)
4.151	5.468	1.956	v__SFTMP.bsn	Snowfall temprature	متوسط دمای هوا برای بارش برف
0.667	2.000	0.088	v__SMTMP.bsn	Snow melt base temperature	دمای ذوب توده برف (درجه سلسیوس)
5.150	7.447	4.903	v__SMFMX.bsn	Maximum melt rate for snow during year	حداکثر میزان ذوب برف در سال (H2O mm/°C-day)
8.385	8.625	6.296	v__SMFMN.bsn	Minimum melt rate for snow during year	حداقل میزان ذوب برف در سال (H2O mm/°C-day)
0.098	0.155	0.000	v__TIMP.bsn	Snow pack temperature lag factor	ضریب تأخیر زمانی برای دمای توده برف
141.162	150.000	99.495	v__REVAPMN.gw	Threshold depth of water in the shallow aquifer for «revap» to occur	حداقل مقدار ذخیره آب لازم در سفره برای شروع تبخیر از آن (mmH2O)
2766.778	2822.564	2376.281	v__SHALLST.gw	Nitrate concentration in shallow aquifer	مقدار ذخیره سفره کم عمق در ابتدای شبیه‌سازی (mmH2O)
0.095	0.161	0.000	v__RCHRG_DP.gw	Deep aquifer percolation fraction	درصد تغذیه سفره عمیق از سفره کم عمق یا غیر محصور
0.061	0.068	0.039	v__GW_REVAP.gw	Groundwater revap coefficient	ضریب تعیین نفوذ به سفره آب عمیق یا صعود موئینگی از سفره کم عمق.
0.084	0.189	0.000	v__EPCO.hru	Plant uptake compensation factor	فاکتور جبران نگهداشت گیاهی
0.113	0.194	0.000	v__ESCO.hru	Surface runoff lag coefficient	ضریب تبخیر خاک
116.225	134.175	114.297	v__SLSUBBSN.hru	Average slope length	متوسط طول شیب در هر m (HRU)
0.206	0.222	0.159	v__CH_N2.rte	Channel manning coefficient	ضریب مانینگ رودخانه اصلی
66.373	72.543	57.458	v__CH_K2.rte	Channel hydraulic conductivity	هدایت هیدرو لیکی موثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr)
7.228	12.133	4.713	v__SURLAG.bsn	Surface runoff lag coefficient	ضریب تأخیر رواناب (روز)
-0.256	-0.224	-0.414	r__SOL_BD().sol	Moist bulk density of soil layer	چگالی خاک در حالت مرطوب
-0.163	-0.030	-0.308	r__SOL_AWC().sol	Available water capacity of the soil layer	ظرفیت آب قابل دسترس خاک
0.245	0.489	0.206	r__SOL_K().sol	Saturated hydraulic conductivity	هدایت هیدرو لیکی خاک (mm/hr)
0.158	0.290	0.083	r__SOL_ALB().sol	Moisture albedo coefficient	ضریب آلبدوی خاک مرطوب

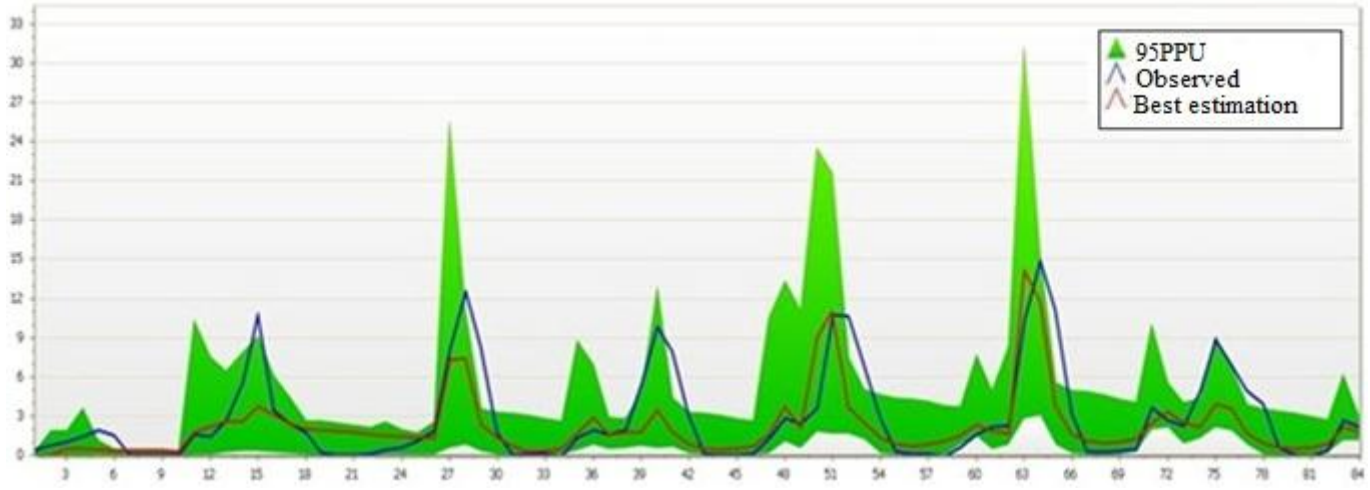
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- نمودار همبستگی مقادیر دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره واسنجی۱۳۸۵-۱۳۷۱

Fig 3. Correlation chart of the observed and simulated calibration discharge values for the period 1992-2006.



شکل ۴- نمودار عدم قطعیت در دوره واسنجی

Fig 4. Diagram of uncertainty in the calibration period

هیدروگراف شبیه‌سازی شده و هیدروگراف مشاهداتی ماهانه در دوره واسنجی به همراه نتایج شاخص‌های ارزیابی، در شکل ۲ ارائه شده است. مقادیرP فاکتور و R فاکتور برای دوره واسنجی به‌ترتیب ۰/۸۸ و ۱/۵۷ محاسبه شد. شاخص P فاکتور نشان می‌دهد که بیش از ۷۵ درصد داده‌های مشاهداتی در باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گرفته‌اند که این بیانگر واسنجی بسیارخوب مدل بر اساس این شاخص است (شکل ۴). شاخص R فاکتور که نماینده پهنای باند عدم قطعیت در واسنجی است نسبتاً زیاد و حدود ۱/۲۳ می باشد. طبق نظر عباس‌پور و همکاران (۲۰۰۷) در صورت دسترسی و استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده با کیفیت بالا، R فاکتور برابر یا کوچکتر از یک بیانگر عدم قطعیت نسبتاً کم و یک واسنجی مطلوب است. در این تحقیق، زیادتر بودن عدم قطعیت نسبت به حالت مطلوب، می‌تواند به دلیل کم بودن دقت داده‌های ورودی مدل و داده‌های دبی مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده برای واسنجی مدل باشد. شکل ظاهری هیدروگراف‌های مشاهداتی و بهترین شبیه‌سازی و شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل نشان می‌دهد که به طور کلّی تطابق زمانی نقاط اوج و فرود هیدروگراف خوب است به همین دلیل مقدار شاخص R2 نسبتاً زیاد (۰/۷۶) است (شکل ۳).

مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج سایر تحقیقات مشابه صورت گرفته در سطح جهان (از جمله بکی آریس [۴]، فیریسن[۹]، آلانسی [۲] و...) نشان می‌دهد، با وجود چالش‌های مربوط به داده‌های ورودی برای آبخیز مورد مطالعه، دقت شبیه‌سازی قابل قبول و تقریباً مشابه با نتایج سایر محققین به دست آمده است.

اعتبارسنجی مدل

بعد از مرحله واسنجی مدل، به ارزیابی مدل پرداخته شد. ارزیابی

www.SID.ir

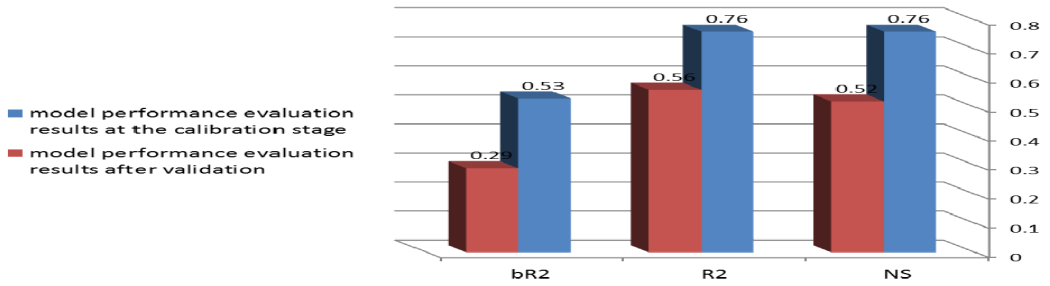
Archive of SID

مدل نیز نتایج قابل قبولی را در پی داشت (جدول ۵). هم‌چنین نمودار مقایسه‌ای معیارهای ارزیابی در مرحله واسنجی و بعد از اعتبار سنجی در شکل ۵ ارائه شده است. در این مرحله با توجه به پارامترهای کالیبراسیون بهینه شده برای منطقه مطالعاتی، با استفاده از باقی مانده آمار (۱۳۹۴-۱۳۸۸) اقدام به شبیه‌سازی جریان رودخانه شده و این نتایج به عنوان نتایج نهایی اعتبارسنجی مدل در ادامه ارائه شده است. لازم به ذکر است که مراحل واسنجی و اعتبارسنجی در ایستگاه هیدرومتری اسکندری و در مقیاس ماهانه صورت پذیرفت. شکل ۶ هیدروگراف شبیه‌سازی شده و هیدروگراف مشاهداتی ماهانه در دوره اعتبارسنجی را نشان می دهد.

جدول ۵- ارزیابی نهایی کارایی مدل بعد از اعتبار سنجی.

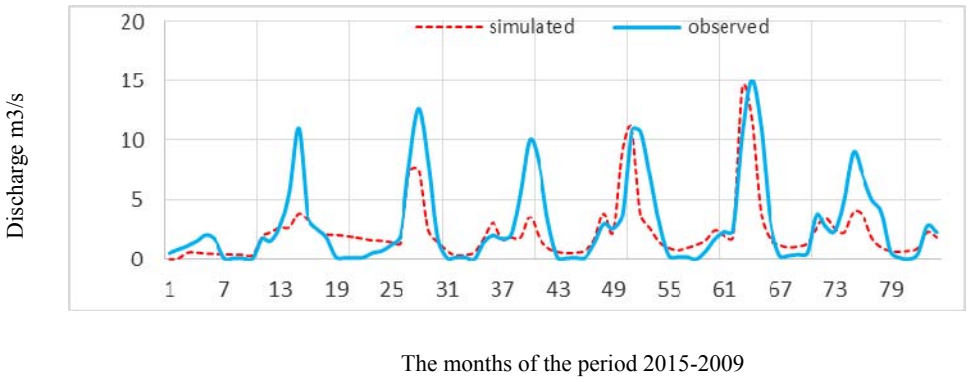
Table 5. Final evaluation of model performance after validation.

مقدار value	مشخصه Characteristic	معیار ارزیابی Evaluation criteria
0.52 (رضایتبخش)	NS	Nash - Sutcliffe
0.56	R2	Coefficient of determination
0.29	Br2	Weight determining coefficient
0.79	p-factor	
1.48	r-factor	



شکل ۵- مقایسه نتایج ارزیابی کارائی مدل در مرحله واسنجی و بعد از اعتبارسنجی

Fig 5. Comparison of model performance evaluation results at the calibration stage and after validation



شکل ۶- مقایسه هیدروگراف های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره اعتبارسنجی با پایه زمانی ماهانه.

Fig 6. Comparison of simulated and observed hydrographs in the validation period with monthly time base.

www.SID.ir

Archive of SID

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای واسنجی مدل از الگوریتم SUFI2 استفاده شد. دبی ماهانه سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۵ برای واسنجی و دبی ماهانه سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ برای اعتبارسنجی به کار رفت. به طور کلی نتایج حاصل از اولین اجرای مدل سوات و بررسی شاخص‌های ارزیابی دقت شبیه‌سازی این مدل نشان می‌دهند که مدل سوات توانسته‌است زمان وقوع دبی‌های اوج را از نظر انطباق با زمان ماه‌های پرباران و دبی‌های اوج واقعی مدل‌سازی کند که این موضوع با نتایج تحقیقات زاهدی [۲۴] و ابراهیمی [۷] همخوانی دارد. اما مدل دبی‌های پیک را نسبت به مقادیر واقعی بیشتر تخمین زده است که علت این امر را می‌توان به چگونگی توزیع ایستگاه‌های باران‌سنجی و نحوه درون‌یابی بارندگی مرتبط دانست که در تحقیق استلمن [۲۱] نیز بدان اشاره شده‌است. بدست آمدن مقادیر پایین شاخص‌های ارزیابی و برآورد غیرقابل قبول نسبت به مقادیر واقعی، دارای دقت قابل قبولی برای شبیه‌سازی دبی رواناب حوزه آبخیز رودخانه اسکندری نمی‌باشد و واسنجی این مدل می‌تواند به بهبود نتایج و افزایش دقت شبیه‌سازی آن کمک کند. بنابراین پس از این مرحله، اقدام به واسنجی مدل به منظور بهبود دقت شبیه‌سازی دبی رواناب در حوزه آبخیز رودخانه اسکندری گردید. مقایسه آماری این مدل‌سازی نتایج تقریباً قابل قبولی را نشان داده‌است به‌طوری‌که مقایسه آماری هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی به‌کار رفته در این تحقیق با معیار ناش ساتکلیف همبستگی حدود ۷۶ درصدی هیدروگراف‌ها را نشان می‌دهد. در مورد ویژگی‌های مهم هیدروگراف از قبیل دبی پیک لحظه‌ای، حجم رواناب و زمان رسیدن به دبی اوج، بین دو هیدروگراف تطابق مناسبی وجود دارد. بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که مدل فیزیکی سوات با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی، در حوزه اسکندری کارایی قابل قبولی دارد. شبیه‌سازی مدل در اولین اجرا دارای نتایج مناسب نبود مهم‌ترین دلیل این امر را می‌توان قرارگرفتن حوزه اسکندری در منطقه کوهستانی و رژیم برفی رودخانه و به دنبال آن ضعف مدل در شبیه‌سازی فرآیند ذوب برف دانست رستمیان و همکاران [۱۸]. شاخص‌ها و نمودارهای بدست آمده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه، نشان می‌دهد که مدل در مرحله واسنجی موفق‌تر عمل کرده است. به طور کلی نتایج بدست آمده نشان‌دهنده توانایی و دقت قابل قبول مدل سوات در شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه حوزه آبخیز اسکندری می‌باشد. بر اساس نتایج آنالیز حساسیت ۲۳ پارامتر موثر بر رواناب در مدل سوات شناخته شد که پارامترهای شماره منحنی (CN2)، ثابت تخلیه آب زیرزمینی (ALPHA_BF)، زمان تاخیر آب زیرزمینی (GW_DELAY) ظرفیت آب قابل دسترس خاک (SOL_AWC)، از پارامترهای بسیار مهم در تعین میزان دبی رواناب خروجی از حوزه شناخته شدند که از بین آن‌ها عامل شماره منحنی (CN2)، به عنوان حساس‌ترین پارامتر تشخیص داده شد. یافته‌های این تحقیق، نتایج مطالعات رستمیان و همکاران [۱۸]، شیمیلیس و همکاران [۲۰]، اندومبا و بیرهانو [۱۶]، بیرهانو و همکاران [۵]، که به طور کلی توانایی مدل سوات در شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوزه‌های مورد مطالعه را رضایت‌بخش اعلام کردند، تایید می‌کند. در مجموع نتایج تحقیق حاکی از آن است که مدل سوات قابلیت شبیه‌سازی بیلان آبی حوزه‌های آبخیز نسبتاً بزرگ با شرایط پیچیده و ناهمگن مانند حوزه اسکندری با دقت مناسب را دارد. البته به شرط این که داده‌های ورودی با دقت مناسب در مدل‌سازی استفاده شوند و نیز دقت و توجه کافی در واسنجی مدل صورت گیرد تا مدل هر چه بیشتر معرف شرایط واقعی حوزه باشد. این مطالعه اطلاعات مفیدی را در مورد جریان رودخانه و بیلان آبی حوزه اسکندری فراهم نموده و به برنامه‌ریزی دقیق‌تر پروژه‌های منابع آب کمک می‌کند. از نتایج این مطالعه می‌توان برای پیش‌بینی اثرات تغییراقلیم و اقدامات مدیریتی قابل اجرا در منطقه (که به صورت سناریوهایی به مدل ارائه می‌شود) استفاده کرد.

منابع

1. Abbaspour K.C, Yang J, Maximov I, Siber R, Bogner K, Mieleitner J, Zobrist J, Srinivasan R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology 333 (2-4), 413–430.

2. Alansi A.W, Amin M.S.M, Abdul Halim G, Shafri H.Z.M, Aimrun W. 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.

3. Bahremand, A., De Smedt, F., Corluy, J., Liu, Y.B., Poorova, J., Velcicka, L. and Kunikova, E., 2007. WetSpa model Application for assessing reforestation impacts on floods in Margecany Hornad watershed, Slovakia,Water Resource Management, 21, 1373-1391.

4. Bekiaris I.G, Panagopoulos I.N, Mimikou N.A. 2005. Application of the SWAT model in the Ronnea catchment of Sweden. Global NEST Journal 3 (7): 252-257.

5. Birhanu B Z, Ndomba P M and Mtalo, F W. 2007. Aplication of SWAT model for montanious catchment . Journal of Water for Arba Minch, 30:182-187.

6. Bossa, A.Y., Diekkrüger, B., Igué, A.M. and Gaiser, T., 2012. Analyzing the effects of different soil databases on modeling of hydrological processes and sediment yield in Benin (West Africa). Geoderma, 173:61–74.

7. Ebrahimi, h., 2010. Performance Evaluation of SWAT Model to Simulation of Runoff and Sediment Yield in Doiraj River Basin in Ilam Province. Watershed Master›s thesis, University of Zabol. (In Persian)

8. Faramarzi M, Abbaspour K C, Schulin R, and Yang H. 2009. Modelling blue and. green water resources availability in Iran. Hydrological processes. 23, P:486–501.

9. Feyereisen G.W, Strickland T.C, Bosch D.D, Sullivan D.G.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

10. Fukunaga, D.C., Cecílio, R.A., Zanetti, S.S. Oliveira, L.T. and Caiado, M.A.C., 2015. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. Catena, 125:206–213.

11. Gassman P.W, Reyes M.R, Green C.H, Arnold J.G. 2007. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. Transactions of the ASABE 50(4):1211–1250.

12. Guzha A.C., Hardy T.B., 2010, Application of the Distributed Hydrological Model, TOPNET, to the big darby Creek watershed, Ohio, USA, Water Resour Manage, 24: 979-1003.

13. Jiang R, Wang, Y, Li Q, Kuramochi K, Hayakawa A, Woli K P, Hatano R., 2011 Modeling the water balance processes for underestanding the components of river discharge in a non conservative watershed. Journal of Transactions of the ASABE. Vol 54. PP: 2171-2180

14. Murty P S, Pandey A, Suryavanshi P. 2013. Application of semi-distributed hydrological model for basin level water balance of the Ken basin of Central India. Article first published online: 19 JUL 2013. DOI: 10.1002/hyp.9950

15. Nash J E, and Sutcliffe J V. 1970. River flow forecasting though conceptual models. Part 1-A discussion of principles. Journal of hydrology, 10: 282-290.

16. Ndomba PM, and Birhanu BZ. 2008. Problems and Prospects of SWAT Model Applications in NILOTIC Catchments, Nile Basin Water Engineering Scientific Magazine, 1.

17. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., King, K.W., 2005, SWAT Theoretical Documentation Version 2005, Soil and Water Research Laboratory, ARS, Temple Texas, USA.

18. Rostamian R, Jaleh A, Afyuni M. Mousavi S F, Heidar pour M, Jalalian A, and Abbaspour K. 2008. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. Hydrological Sciences. 53, P:977-988., 41-52.

19. Shaygan, M., Alimohammadi, A., Rohani, H., 2010., The Taleghan watershed hydrological modeling in GIS environment using SWAT model., Journal of Remote Sensing and GIS Iran. third year. The second number. P 18-1.

20. Shimelis G, Dargahi D, Srinivasan R, and Melesse A M. 2010. Modeling of sediment yield from Anjeni-Gauged watershed, Ethiopia using SWAT model. Journal of the American water resources association, Vol. 46, No. 3. June 2010.

21. Stellman K, Fuelberg H, Garza R, Mullusky M. 2001, An Examination of Radar and Rain Gauge Derived Mean Areal Precipitation over Georgia Watersheds, Weather Forcast 16:133-144.

22. Vilaysanea, B., Takaraa, K., Luob, P., Akkharathc, I. and Duana, W., 2015. Hydrological stream flow modelling for calibration and uncertainty analysis using SWAT model in the Xedone river basin, Lao PDR. Procedia Environmental Sciences, 28:380–390.

23. Xu Z. X, Pang J P, Liu C M, and Li J. Y. 2009. Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SWAT model. Hydrological Processes. Hydrol. Process. 23, 3619.

24. Zahedi, e. 2013., Determining the suitable sites for groundwater dams construction using the water balance simulation (SWAT model) and analytical network process (ANP), Watershed Master›s thesis, University of Yazd.(In Persian)

25. Zare Garizi, A. Talebi, AS. 2016. Water balance simulation of watershed using SWAT model (Case study: Ghare Soo basin of Golestan province). Journal of Water Resources Engineering / Ninth Year / Fall 2016.(In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران

Iranian Journal of Watershed Management Science & Engineering

Vol. 14, No. 48, Spring 2020

سال چهاردهم- شماره ۴۸- بهار ۱۳۹۹

Simulation of Hydrological Balance in Eskandari Watershed Using SWAT Model and algorithms SUFI2

F. Barati[1], M.Hosseini[2], A. Saremi[3] and A. Mokhtari[4]

Received: 12-10-2019 Accepted: 05-02-2020

Abstract

In order to manage watersheds, especially in mountainous areas that are not adequately station hydrological phenomena simulation is important. In this study, the SWAT model used to simulate hydrologic basin Eskandari. Calibration and validation of models for the periods 2006-1992 and 2009-2015, respectively, using the algorithm SUFI2 in software SWAT CUP was done. To evaluate the simulation results of the index R2, bR2, NS was used. In the calibration coefficients, R2, bR2 and NS, respectively, 0.76, 0.53 and 0.76 in the validation, 0.56, 0.29 and 0.52 was obtained. Sensitivity analysis showed that 23 parameters affecting runoff curve number was identified as the most important parameters and parameters constant groundwater discharge, Groundwater delay time and soil available water to more sensitive respectively. Indicators and charts obtained simulate monthly runoff rate, indicating that the calibration of the model has been more successful. The model has been able to determine the time of peak flow well, but peak flow estimates are higher than the actual values, which can be attributed to the distribution of rain gauge stations and the interpolation of rainfall.

Keywords: Hydrological modeling, SWAT, Algorithms SUFI2, Eskandari watershed

1. Ph.D Student of Water Resources Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Food Technology, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran.

2. Corresponding Author and Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Email: mjhossaini@gmail.com

3. Assistant Professor, Department of Water science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran.

4. Assistant Professor, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran.

www.SID.ir