Archive of SID

مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵
ص ۵۴۱-۵۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۱۱
تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۰۸/۱۳

مقایسه دو مدل بارش- رواناب برای شبیه‌سازی جریان (مطالعه موردی: حوزه آبریز رودخانه دویرج در استان ایلام)

❖ **حیدر ابراهیمی؛** دانشجوی دکتری رشته علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه کاشان، ایران.

❖ **علیرضا مقدم نیا*؛** دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

❖ **حاجی کریمی؛** دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران.

چکیده

بیه‌سازی رواناب در یک حوزه آبخیز، درک و فهم فرآیندهای مؤثر بر تولید رواناب و ویژگی‌های جریان رودخانه مانند تغییرپذیری مکانی و زمانی آن را فراهم می‌کند. این بینش به مدیران و برنامه‌ریزان در تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب کمک می‌نماید. هدف از این پژوهش مقایسه کار آیی مدل پیچیده SWAT و مدل ساده IHACRES در شبیه‌سازی رواناب حوزه آبریز رودخانه دویرج در استان ایلام است. برای این منظور، مدل SWAT به‌واسطه تعداد زیاد پارامتر مؤثر بر جریان رودخانه و استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل IHACRES به‌واسطه داده‌های مورد نیاز اندک و سهل‌الوصول بسیار کاربردی می‌باشند. در این مطالعه از داده های دوره آماری ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۳ خورشیدی برای ارزیابی کارایی مدل‌های SWAT و IHACRES بر اساس معیارهای آماری R^2، bR^2 و NS استفاده گردید. ضرایب R^2، bR^2 و NS برای دوره واسنجی مدل IHACRES به ترتیب برابر ۰/۳۴، ۰/۱۱۲ و ۰/۳۳ و برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۴۷، ۰/۲۳۵ و ۰/۴۳ به دست آمد. همچنین این ضرایب برای دوره واسنجی مدل SWAT به ترتیب برابر ۰/۴۱، ۰/۳۱۴ و ۰/۱۲ و برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۶۸، ۰/۶۳۲ و ۰/۵۶ برآورد گردید. نتایج نهایی این تحقیق نشان داد که مدل SWAT نسبت به مدل IHACRES توانایی بیشتری در شبیه‌سازی رواناب روزانه در حوزه آبریز رودخانه دویرج دارد و می‌توان از آن برای شبیه‌سازی رواناب حوزه‌هایی با داده‌های محدود و شرایط طبیعی مشابه استفاده نمود.

واژگان کلیدی: شبیه‌سازی رواناب، واسنجی، اعتبارسنجی، حوزه دویرج ایلام، SWAT، IHACRES.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۹۱۵۱۴۴۱۳۸۱
Email: a.moghaddamnia@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

سیستم حوزه آبخیز تنظیم‌کننده کمیت و کیفیت چرخه آب است. مشکلاتی که در عصر حاضر در این چرخه پدیدار آمده است هزینه‌ای است که انسان به خاطر عدم شناخت صحیح این چرخه پیچیده و نیز نداشتن برنامه‌ریزی در طرح‌ها به لحاظ ارتباط بین مدیریت آب و تحولات جوامع متحمل شده است. برای مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز نیاز به اطلاعات جامع و کاملی از روش‌های اجرایی و مدیریتی متفاوت است. عقیده بر این است که شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوزه‌های آبخیز می‌تواند راه حل بهینه‌ای برای مدیریت صحیح آن‌ها باشد. شناخت چرخه هیدرولوژی در مقیاس حوزه‌ای برای مدیریت حوزه ضروری به نظر می‌رسد. مدل‌های هیدرولوژی برای مسائلی همچون توسعه و مدیریت حوزه و ارزیابی منابع آب از اهمیت خاصی برخوردارند.

دلایل متعددی برای پاسخ به این سؤال که چرا باید فرآیندهای هیدرولوژیکی بارش- رواناب را مدل‌سازی نمود وجود دارد. پاسخ اصلی این سؤال، محدود بودن روش‌های اندازه‌گیری در هیدرولوژی است. در حقیقت، دانستن هر چیزی راجع به سیستم‌های هیدرولوژیکی و اندازه‌گیری آن‌ها امکان‌پذیر نیست زیرا فقط تعداد محدودی از روش‌های اندازه‌گیری و همچنین دامنه‌ای محدود از اعداد در اختیار است. بنابراین به روشی احتیاج است تا به‌وسیله آن بتوان آمار موجود را برای حوزه‌های بدون آمار و یا مکان‌هایی که اندازه‌گیری در آن‌ها امکان‌پذیر نیست تعمیم داده و به تغییرات هیدرولوژیکی آینده دست پیدا کرد و این یک روش مؤثر برای توسعه علم است [۴]. در بین مدل‌های شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی، مدل SWAT[1] به دلیل بهره‌گیری از بیشترین تعداد پارامترهای مؤثر بر جریان و استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، همچنین مدل IHACRES[2] به دلیل نیاز به داده‌های اندک و دسترسی آسان و کم هزینه به این داده‌ها بسیار کاربردی می‌باشند [۱۳، ۱۴، ۲۰، ۲۲].

در سال ۲۰۰۴ مدل‌های SWAT و HSPF با استفاده از اندازه‌گیری‌های دبی، رسوب و مواد مغذی در ۵ حوزه آبخیز از حوزه رودخانه باسک[3] در تگزاس مرکزی واسنجی شد؛ نتایج نشان داد که متوسط جریان روزانه، متوسط میزان رسوب و مواد مغذی شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT در طول دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی مدل، نسبت به نتایج مدل HSPF به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر بوده است [۲۳]. همچنین جریان حوزه‌ای در فلات نیمه‌خشک چین که فرسایش خاک در آن به‌طور شدید اتفاق می‌افتد با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی شد و کالیبراسیون مدل بر اساس روش اتوماتیک و آنالیز حساسیت و اعتبار سنجی نیز صورت گرفت بر اساس نتایج، ضریب نش‌ساتکلیف در مراحل واسنجی و اعتبار سنجی به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۴۶ به دست آمد و درمجموع نتایج مدل رضایت‌بخش اعلام گردید [۷]. طی تحقیقی جهت مدل‌سازی جریان روزانه در مناطق شمالی ایتالیا، دو مدل IHACRES و شبکه عصبی مصنوعی را مورد استفاده قرار گرفت، نتایج آن‌ها نشان داد که وقتی داده‌های ورودی مناسب در دسترس است، عملکرد مدل‌های ساده مانند مدل IHACRES نسبت به یک مدل پیچیده بهتر است [۶]. از دیگر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به [۱۰، ۹، ۲، ۱۵، ۲۱] اشاره کرد. هدف از این پژوهش مقایسه عملکرد مدل پیچیده SWAT و مدل ساده IHACRES در شبیه‌سازی رواناب روزانه حوزه آبخیز رودخانه دویرج به‌منظور تعیین بهترین مدل جهت پیش‌بینی رواناب در این حوزه است.

1 - Soil and Water Assessment Tool
2 - Identification of unit Hydrographs And Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow data
3 - Bosque River Basin

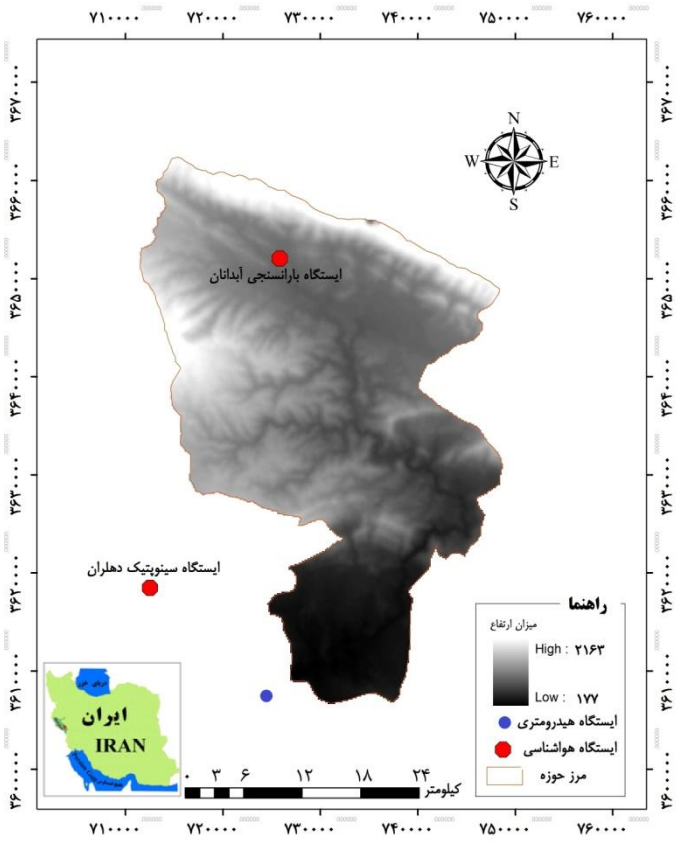
www.SID.ir

Archive of SID

۲. روش‌شناسی تحقیق

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه مورد مطالعه به نام حوزه آبخیز رودخانه «دویرج» با مساحت ۱۲۱۶۰۰ هکتار در جنوب شرقی استان ایلام واقع شده است که دارای مختصات جغرافیایی َ ۱۶ و ْ ۴۷ تا َ ۴۰ و ْ ۴۷ طول شرقی و َ ۳۴ و ْ ۳۲ تا َ ۰۵ و ْ ۳۳ عرض شمالی می‌باشد. که از شمال به «کبیرکوه» و در جنوب به «موسیان»، در شرق به کوه «دال پری» و حوزه آبخیز رودخانه «چیخواب» و از غرب به «دینارکوه» و دهلران محدود می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت حوزه دویرج در ایران و استان ایلام

بلندترین نقطه حوزه کبیرکوه با ارتفاع حدود ۲۲۰۰ متر و کمترین ارتفاع در خروجی آن با ارتفاع ۱۰۰ متر از سطح دریا است. بارندگی در حوزه آبخیز رودخانه دویرج عمدتاً در فصول پاییز و زمستان صورت می‌گیرد و متوسط بارندگی سالانه در این حوزه در حدود ۴۳۴/۴۳ میلی‌متر است. میانگین حداکثر درجه حرارت در این حوزه در حدود ۲۷/۶۹ درجه سلسیوس و میانگین حداقل ۱۳/۷۲ درجه سلسیوس است.

۲.۲. مدل IHACRES

مدل IHACRES یک مدل بارش- رواناب پیوسته و نیمه مفهومی است که به علت نیاز به داده‌های اندک، بدون صرف زمان و هزینه زیاد، کاربردهای بسیار فراوانی در بسیاری از حوزه‌های بزرگ با شرایط اقلیمی گوناگون و در رودخانه‌های دائمی و غیردائمی دارد [۸]. این مدل تنها به داده‌های بارندگی و درجه حرارت جهت

www.SID.ir

Archive of SID

شبیه‌سازی رواناب مشاهده‌ای جهت کالیبراسیون نیاز دارد؛ لذا می‌تواند برای استفاده در حوزه‌های آبخیز کشور که از لحاظ آماری با مشکل مواجه هستند و درنهایت برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی فاقد آمار به کار گرفته می‌شود [۸]. مزیت‌های این مدل شامل، سادگی آن و نتایج بر اساس پایگاه داده است، نیازی به تخمین مقادیر پارامترها به‌صورت ذهنی وجود ندارد، مدل به راحتی و به سرعت اجرا می‌شود، مدل در اندازه‌های مختلف حوزه آبخیز و در بازه‌های زمانی مختلف اجرا می‌شود، روابط آماری بر اساس خصوصیات حوزه آبخیز مورد مطالعه شناخته خواهد شد.

مدل IHACRES مانند سایر مدل‌ها دارای دو بخش است [۳]: الف) بخشی که بارش را در پایه زمانی k (r_k) به بارش مؤثر (u_k)، (بخشی از بارش که سرانجام وارد جریان رودخانه می‌شود) و بارش غیر مؤثر که سرانجام توسط تبخیر و تعرق از بین می‌رود (با فرض غیرقابل نفوذ بودن حوزه آبخیز)، تبدیل می‌کند؛ و ب) یک تابع تبدیل خطی که بارش مؤثر را به جریان مدل‌سازی شده (x_k) تبدیل می‌کند. در اینجا این بخش‌ها به ترتیب بخش تلفات و بخش تابع تبدیل (یا هیدروگراف واحد، UH) نامیده می‌شوند. بخش تلفات برای تمام فرآیندهای غیرخطی بارش- جریان در مقیاس حوزه آبخیز در نظر گرفته می‌شود، بخش تابع تبدیل مبتنی بر تئوری سیستم‌های خطی است [۵ و ۱۲]. مدل IHACRES دارای شش پارامتر است که سه پارامتر آن مربوط به بخش تلفات غیرخطی (c، T_w و f که به ترتیب ظرفیت ذخیره رطوبت حوزه آبخیز، مدت زمانی که طول می‌کشد حوزه آبخیز خشک شود و فاکتور تعدیل حرارت حوزه را نشان می‌دهند) و سه پارامتر مربوط به بخش تابع تبدیل خطی ($\tau^{(s)}$ و $\tau^{(q)}$ به ترتیب مدت زمانی که طول می‌کشد جریان سریع و آهسته کاهش یابد و $V^{(s)}$ حجمی از جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت دارد را نشان می‌دهند) است [۲۵].

۳.۲. مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل مفهومی – نیمه توزیعی در مقیاس حوزه‌ای است که دارای بازده محاسباتی بالا است. این مدل یک مدل پیوسته زمانی است که در گام‌های زمانی ساعتی، روزانه و یا طولانی مدت‌تر اجرا می‌شود. مدل با تقسیم کردن یک حوزه به تعداد زیادی زیرحوزه جزئیات مکانی را شبیه‌سازی می‌کند [۲۴].

بخش‌های اصلی مدل شامل هیدرولوژی، اقلیم، فرسایش، رشد گیاهان، عناصر غذایی، آفت‌کش‌ها، مدیریت اراضی و روند یابی جریان است. در این مدل هر حوزه به چند زیرحوزه و هر یک از زیرحوزه‌ها به چند واحد هیدرولوژیک (HRU) که از نظر کاربری اراضی و خصوصیات خاک همگن هستند، تقسیم می‌شود. این کار دقت محاسبات را افزایش داده و توصیف فیزیکی بهتری از بیلان آبی حوزه به دست می‌دهد. چرخه هیدرولوژی که به‌وسیله SWAT شبیه‌سازی می‌شود بر پایه رابطه بیلان آبی است. رابطه بیلان آبی به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \qquad (۱)$$

که در آن: SW_t= مقدار نهایی آب در خاک (میلی‌متر)، t = زمان (روز)، SW_0 = مقدار آب اولیه موجود در خاک (میلی‌متر)، R_{day} = مقدار بارش 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 آب نفوذ کرده به منطقه قشری در پروفیل خاک (میلی‌متر) و Q_{gw} = مقدار جریان برگشتی در روز i ام (میلی‌متر) می‌باشد.

نقشه‌های پایه مورد نیاز شامل نقشه مدل ارتفاعی رقومی (DEM)، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک می‌باشند که هر سه باید در قالب رستری به مدل معرفی شوند. سایر اطلاعات مربوط به داده‌های جامع هواشناسی، عوامل مؤثر بر جریان سطحی و کانال، آب زیرزمینی، برداشت آب، مدیریت اراضی، مخازن و برخی زمینه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

دیگر می‌باشد [۱۸].

۱.۳.۲. رواناب سطحی

رواناب سطحی در جایی اتفاق می‌افتد که میزان کاربرد آب در سطح زمین بیشتر از سرعت نفوذ باشد. در ابتدا، نفوذ به رطوبت خاک بستگی دارد. هنگامی‌که نفوذ ادامه می‌یابد رطوبت خاک افزایش و نفوذ کاهش می‌یابد. نفوذ نهایی آب به خاک معادل هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود. در SWAT دو روش الف) روش شماره منحنی[1] و ب) فرمول نفوذ گرین و امپت[2] برای تخمین رواناب سطحی وجود دارد که در این تحقیق روش شماره منحنی مورد استفاده قرار گرفت.

۴.۲. جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز

برای انجام این پژوهش، آمار و داده‌های اصلی مورد نیاز مدل SWAT شامل نقشه‌های DEM[1]، کاربری اراضی، خاک و داده‌های هواشناسی شامل بارش روزانه، دمای حداقل و حداکثر روزانه، رطوبت نسبی متوسط روزانه و سرعت متوسط باد روزانه می‌باشند. همچنین داده‌های مورد نیاز جهت اجرای مدل IHACRES شامل بارش روزانه[1]، دمای متوسط روزانه و دبی متوسط روزانه می‌باشد. نقشه توپوگرافی و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از اداره کل منابع طبیعی همچنین آمار و اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک دهلران (دما، بارش و رطوبت نسبی) و ایستگاه باران‌سنجی آبدانان از سازمان هواشناسی و آمار دبی ایستگاه هیدرومتری پل دویرج از شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام اخذ گردید (جدول ۱). نقشه DEM با استفاده از نقشه توپوگرافی ۲۰ متری در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد نقشه توپوگرافی مورد نیاز از اداره کل منابع طبیعی استان ایلام تهیه شدند. نقشه کاربری اراضی حوزه با بهره گرفتن از نقشه‌های پایه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و همچنین نقشه‌های تهیه شده در این سازمان (اداره کل منابع طبیعی استان ایلام)، توسط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. به‌منظور صحت‌سنجی نقشه کاربری تهیه شده، اقدام به استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین بازدید میدانی و انطباق اطلاعات گردید. نقشه خاک حوزه در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. دوازده کلاس خاک تعریف و برای تکمیل بخشی از اطلاعات خاک مورد نیاز مدل مانند بافت و ضریب فرسایش‌پذیری و هدایت هیدرولیکی خاک، از نقشه‌های تهیه شده در مطالعات قبلی [۱۶]، اطلاعات پروفیل‌های حفر شده و نرم‌افزار SHPC[3] استفاده گردید. پس از بررسی اولیه آمار هیدرومتری و هواشناسی تهیه شده یک دوره مشترک آماری ۱۱ ساله با در نظر گرفتن عدم وجود داده‌های ناقص بین سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۴ میلادی در نظر گرفته شد که ۷ سال ابتدایی آن به‌منظور واسنجی مدل‌ها و ۴ سال انتهایی آن به‌منظور ارزیابی کارایی مدل‌ها و اعتبار سنجی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های استفاده شده حوزه دویرج

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			سال تأسیس
		طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	
دهلران	سینوپتیک	۴۷ ۱۶ ۰۰	۳۲° ۴۱′ ۰۰″	۲۳۲	۱۹۸۷
آبدانان	باران‌سنجی	۴۵ ۲۵ ۰۰	۳۲° ۵۹′ ۰۰″	۹۴۰	۱۹۸۸
پل دویرج	هیدرومتری	۴۷ ۲۴ ۰۰	۳۲° ۳۵′ ۴۰″	۱۶۵	۱۹۷۲

1 Curve Number
2 Green & Ampt
3 Soil texture triangle Hydraulic Properties Calculator

www.SID.ir

Archive of SID

۳. نتایج

۱.۳. نتایج واسنجی و اعتبار سنجی مدل IHACRES

پس از وارد کردن داده‌های بارندگی، دما و دبی روزانه دوره زمانی ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۳ خورشیدی، ۷ سال ابتدایی آن به‌عنوان دوره واسنجی و بقیه به‌عنوان دوره ارزیابی در نظر گرفته شد. در بخش واسنجی ابتدا ضریب رواناب بارش و میزان تأخیر بین بارش و رواناب مشخص شد که رواناب تولید شده حاصل از بارش در این مرحله به مقدار قابل ملاحظه نبوده و مدل میزان تأخیر بین بارش و رواناب را یک روز برآورد نمود که این مدل تفاوتی بین یک و صفر برای این پارامتر قائل نشده است و می‌توان صفر را به‌عنوان میزان تأخیر بین بارش و رواناب در نظر گرفت [۱۱]. در مرحله بعد با استفاده از روش آزمون و خطا و بر اساس خصوصیات حوزه آبخیز و اقلیم منطقه مورد مطالعه و با توجه به دائمی بودن رودخانه اصلی، مقادیر بهینه پارامترهای مدل در دوره واسنجی تعیین گردید (جدول ۲).

جهت تجزیه‌وتحلیل نتایج از شاخص‌های آماری R^2 و bR^2 و ضریب NS بین مشاهدات و شبیه‌سازی استفاده شد. ضرایب R^2، bR^2 و NS[1] برای دوره واسنجی به ترتیب برابر ۰/۳۴، ۰/۱۱۲ و ۰/۳۳ و برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۴۷، ۰/۲۳۵ و ۰/۴۳ به دست آمد. نتایج شاخص‌های به دست آمده در دوره واسنجی و اعتبار سنجی نشان می‌دهد که مدل IHACRES در دوره ارزیابی نسبت به دوره واسنجی عملکرد بهتری داشته است جدول (۳). به‌منظور ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی دبی پایه و دبی اوج و همچنین بررسی انطباق زمانی آن‌ها با داده‌های واقعی، نمودارهای مربوط به دبی روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی رسم گردید شکل‌های (۲) و (۳).

جدول ۲. پارامترهای مؤثر در دبی رواناب و مقادیر بهینه آن‌ها در مدل IHACRES

ردیف	نام پارامتر	مقدار حداقل	مقدار حداکثر	مقدار بهینه
۱	ظرفیت ذخیره رطوبت حوزه آبخیز (1/C)	توسط مدل برآورد می‌شود		۰/۰۰۰۱۶۶
۲	ثابت زمانی خشک‌شدگی حوزه آبخیز (T_w) بر حسب روز	۰	۱۰۰۰	۹۹۲
۳	فاکتور تعدیل حرارت حوزه (f)	۰	۵	۰
۴	مدت زمانی که طول می‌کشد جریان سریع کاهش یابد ($\tau^{(q)}$) بر حسب روز	توسط مدل برآورد می‌شود		۲۹/۶۴۹
۵	مدت زمانی که طول می‌کشد جریان آهسته کاهش یابد ($\tau^{(s)}$) بر حسب روز	توسط مدل برآورد می‌شود		۰/۸۳۶
۶	حجمی از جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت دارد ($V^{(s)}$)	توسط مدل برآورد می‌شود		۰/۷۹۵

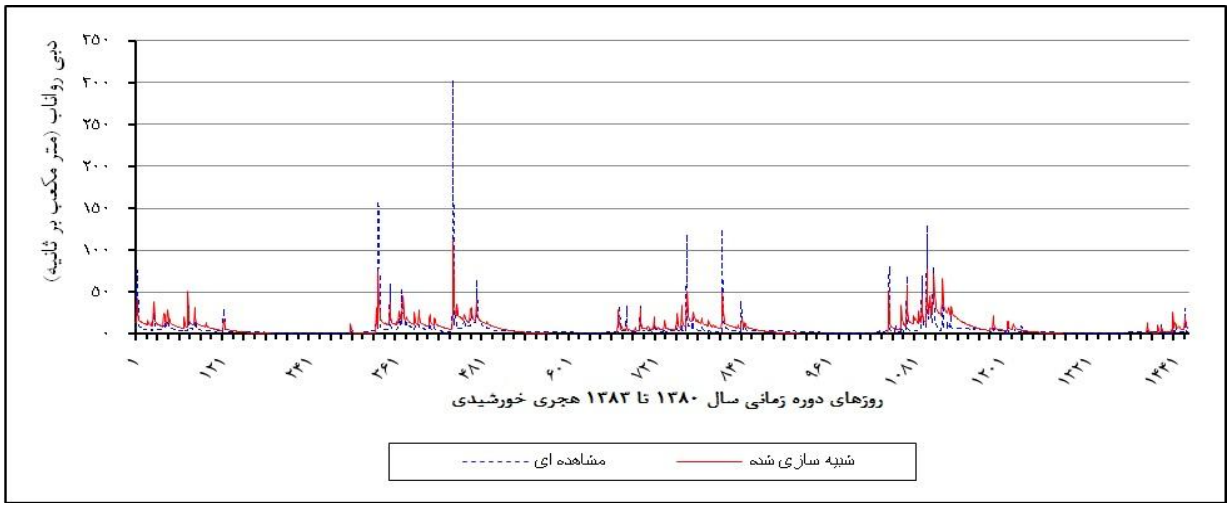
جدول ۳. مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل را در مراحل مختلف اجرای مدل IHACRES

شاخص‌های ارزیابی و مراحل اجرای مدل	مرحله واسنجی	مرحله اعتبار سنجی
ضریب تبیین (R^2)	۰/۳۴	۰/۴۷
ضریب نش- ساتکلیف (NS)	۰/۳۳	۰/۴۳
ضریب br^2	۰/۱۱۲	۰/۲۳۵

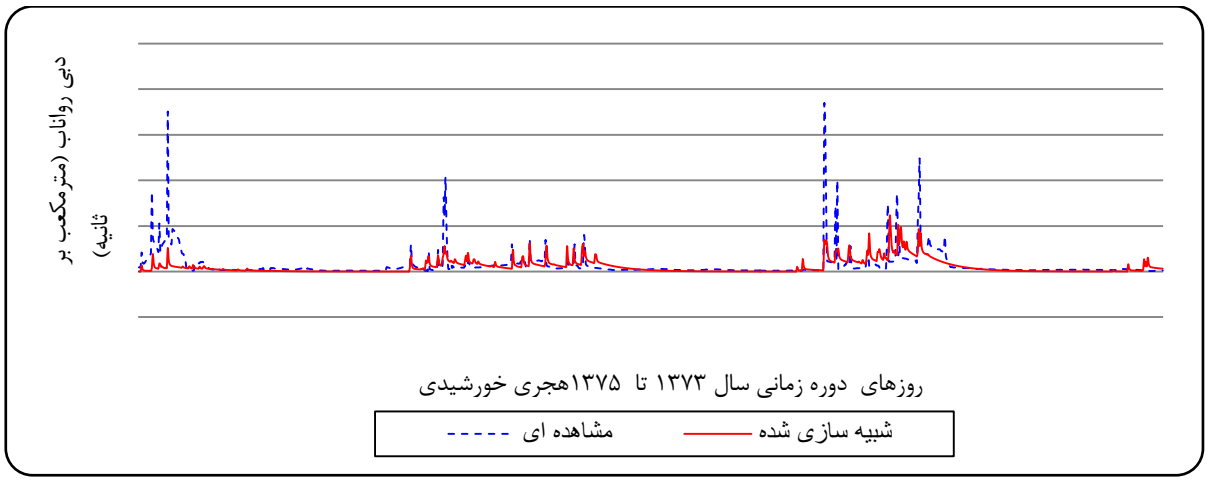
1 - Nash - Sutcliffe

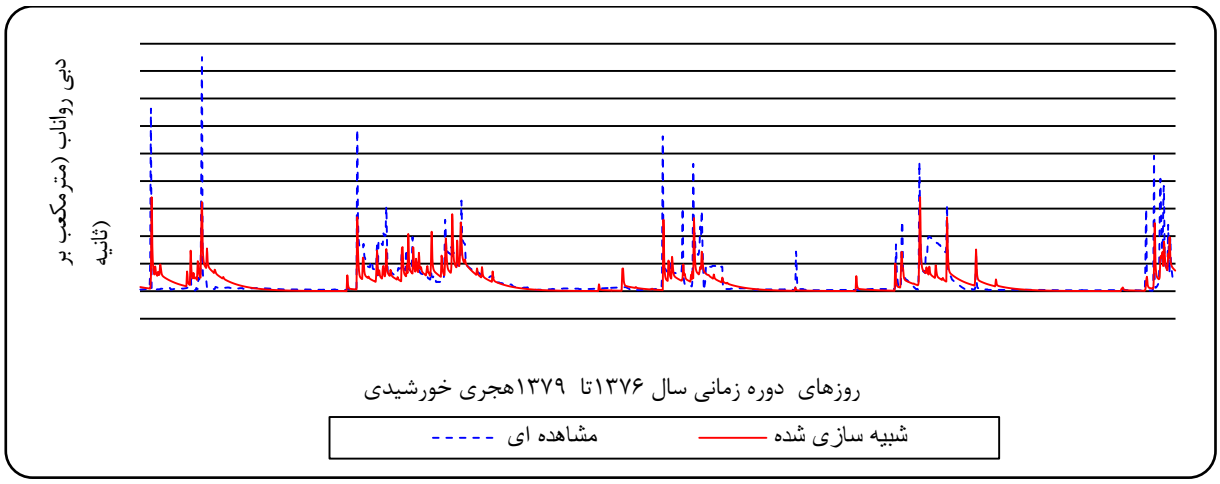
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. نمودار رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل واسنجی شده IHACRES
حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره اعتبارسنجی (سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ خورشیدی)





شکل ۳. نمودار رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده پس از واسنجی مدل IHACRES حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره زمانی ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۹ خورشیدی (به دلیل تعداد زیاد داده‌ها و برای وضوح بیشتر در دو نمودار نشان داده شده است)

www.SID.ir

Archive of SID

۲.۳. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

در این مطالعه پس از شبیه‌سازی دبی رودخانه حوزه آبخیز دویرج در ایستگاه خروجی با استفاده از مدل SWAT، اقدام به واسنجی و اعتبار سنجی مدل گردید. واسنجی با استفاده از آمار ۷ ساله دبی روزانه (۱۳۷۹-۱۳۷۳) و اعتبار سنجی آن با استفاده از آمار ۴ ساله دبی روزانه (۱۳۸۳-۱۳۸۰) انجام گرفت. به‌منظور واسنجی از برنامه SUFI2 استفاده شد که در بسته نرم‌افزاری[1] SWAT-CUP به مدل SWAT لینک شده است. جهت واسنجی مدل SWAT، ۲۶ پارامتر مؤثر در تولید رواناب حوزه آبخیز به همراه محدوده مجاز تغییرات آن‌ها در مدل وارد شدند. در مراحل مختلف به واقعی کردن پارامترها پرداخته شد و در نهایت مقدار بهینه پارامترها تعیین گردید (جدول ۴). ارزیابی دقت شبیه‌سازی با استفاده از ضرایب R^2، bR^2 و NS بین مشاهدات و شبیه‌سازی صورت گرفت. نتایج شاخص‌های به دست آمده در دوره واسنجی و اعتبار سنجی نشان می‌دهد که مدل SWAT در دوره ارزیابی نسبت به دوره واسنجی عملکرد بهتری داشته است. جدول (۵) مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل را در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. به‌منظور ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی دبی پایه و دبی اوج و همچنین بررسی انطباق زمانی آن‌ها با داده‌های واقعی، نمودارهای مربوط به مقادیر دبی روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل، در طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی رسم گردید که در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده‌اند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بررسی منابع نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای که به‌صورت ویژه عملکرد مدل SWAT و IHACRES را در یک حوزه آبخیز را با هم مقایسه کند انجام نشده است اما به‌صورت جداگانه کارایی این دو مدل در حوزه‌های آبخیز زیادی مورد ارزیابی قرار گرفته است. با نگاهی به نتایج حاصل از دو مرحله واسنجی و ارزیابی مدل IHACRES می‌توان دریافت که نتایج واسنجی این مدل ضعیف‌تر از نتایج مرحله ارزیابی بوده است که این نتیجه با نتایج حاصل از اجرای مدل IHACRES در حوزه آبخیز زیارت مطابقت دارد [۲۰]. همچنین مدل IHACRES در دوره واسنجی در حوزه آبخیز دویرج جریان روزانه را کمتر از جریان مشاهداتی شبیه سازی نموده که این عملکرد مدل، نتایج سایر محققان را تأیید می‌کند [۲۵] (شکل ۲). مقایسه گرافیکی دبی مشاهده‌ای شبیه سازی شده مدل IHACRES در دوره واسنجی (شکل ۲) نشان‌دهنده عدم توانایی مدل در شبیه سازی رواناب منطقه می‌باشد (تخمین دبی پیک و پایه کمتر از مقدار واقعی آن‌ها). مقایسه شاخص‌های آماری هم نشان از ضعف نتایج خروجی مدل در دوره و حوزه مورد مطالعه می‌باشد که این موضوع، شبیه سازی رواناب حوزه آبخیز وطنا را تأیید می‌نماید [۲۲]. عوامل متعددی در دقت نتایج مدل‌سازی دخالت دارند. دسته‌ای از این عوامل در ارتباط با شرایط محیطی حوزه و اطلاعات جمع‌آوری شده و دسته‌ای دیگر در ارتباط با ضعف‌های مدل در شبیه‌سازی بود.

با توجه به مقادیر حاصل از شاخص‌های ارزیابی R^2، bR^2 و NS در مرحله واسنجی و ارزیابی مدل SWAT می‌توان چنین بیان کرد که این مدل عملکرد مطلوبی در شبیه سازی جریان روزانه حوزه آبخیز دویرج داشته که در مرحله اعتبارسنجی عملکرد بهتری از خود نشان داده است که این نتیجه با نتایج حاصل از اجرای مدل SWAT به‌منظور شبیه سازی جریان رودخانه در حوزه آبخیز طالقان مطابقت دارد [۱۳]. این مدل در طول دوره شبیه-سازی دبی در حوزه آبخیز رودخانه دویرج زمان وقوع دبی‌های پیک را تا حد مطلوبی درست تشخیص داده است. همچنین نوسانات روزانه دبی در مدل SWAT به‌صورت مناسبی مدل شده است.

1 - SWAT- Calibration and Uncertainty Programs

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل را در مراحل مختلف اجرای مدل SWAT

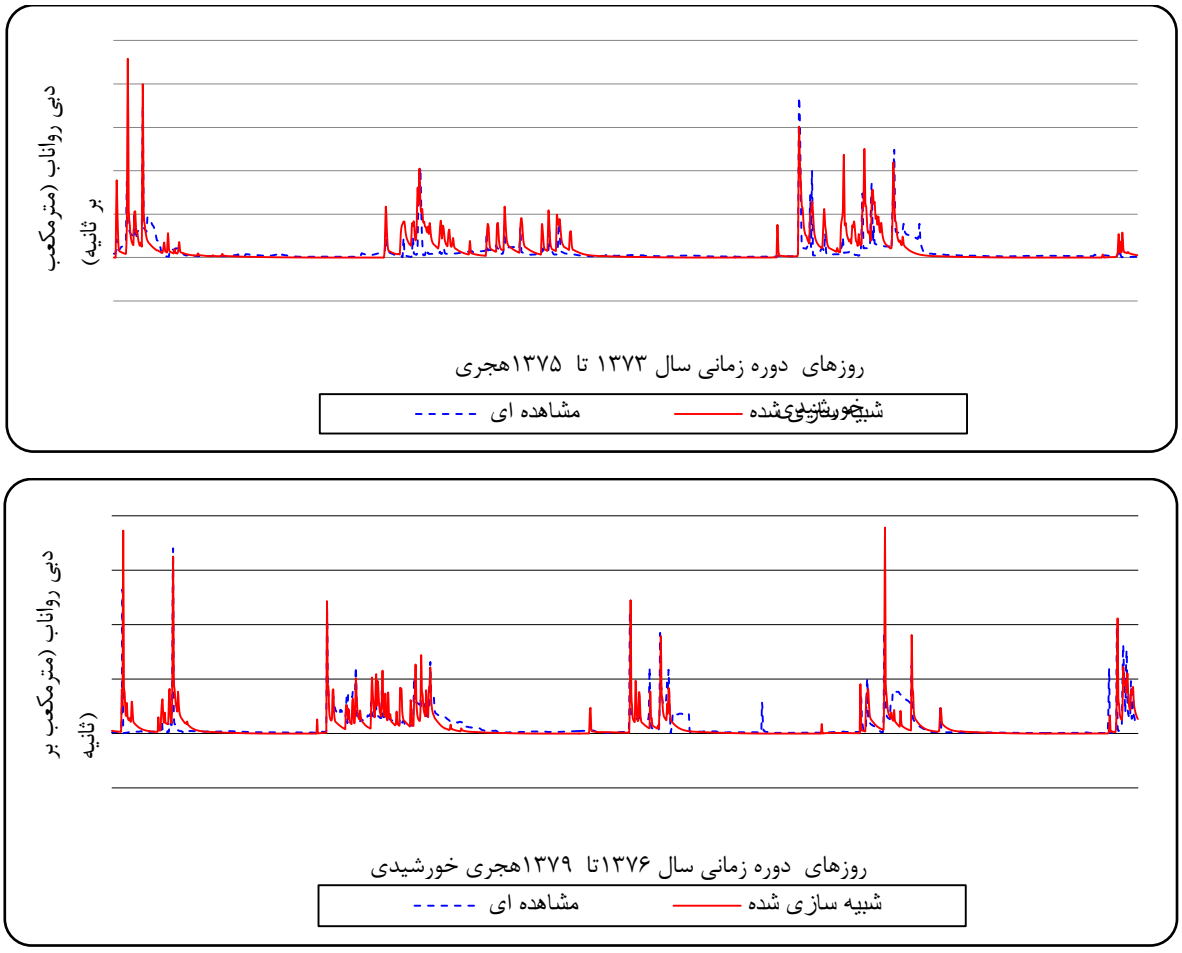
شاخص‌های ارزیابی و مراحل اجرای مدل	مرحله واسنجی	مرحله اعتبار سنجی
ضریب تبیین (R^2)	۰/۴۱	۰/۶۸
ضریب نش- ساتکلیف (NS)	۰/۱۲	۰/۵۶
ضریب Br^2	۰/۳۱۴	۰/۶۳۲

جدول ۴. پارامترهای مؤثر در دبی رواناب و مقادیر بهینه آن‌ها در مدل SWAT

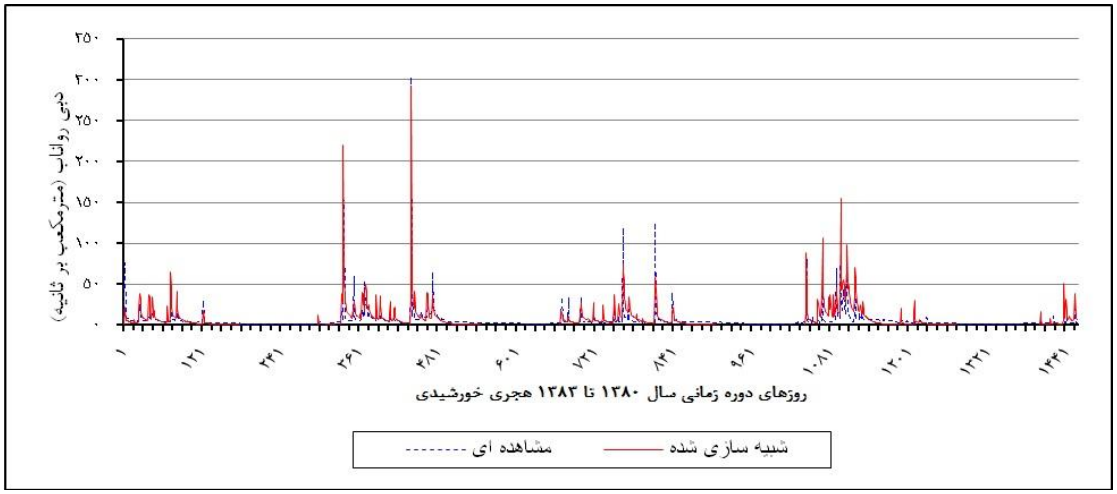
ردیف	نام پارامتر	نشان اختصاری پارامتر در مدل	مقدار حداکثر	مقدار حداقل	مقدار بهینه
۱	شماره منحنی در شرایط رطوبتی ۲	CN2	5	-5	-0.40305
۲	ضریب α آب پایه	ALPHA_BF	1	0	0.9315
۳	زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل خاک به سطح آب زیرزمینی (روز)	GW_DELAY	500	0	330.25
۴	ضریب مانینگ رودخانه اصلی	CH_N2	1	0	0.7615
۵	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr)	CH_K2	150	0	13.875001
۶	ظرفیت آب قابل دسترس خاک	SOL_AWC	1	-0.9	-0.14855
۷	هدایت هیدرو لیکی خاک (mm/hr)	SOL_K	50	-0.9	28.18935
۸	عمق خاک (mm)	SOL_Z	15	-0.9	10.88985
۹	ضریب تبخیر خاک	ESCO	1	0	0.1055
۱۰	متوسط دمای هوا برای بارش برف (درجه سلسیوس)	SFTMP	5	-5	1.335
۱۱	دمای ذوب توده برف (درجه سلسیوس)	SMTMP	5	-5	0.245
۱۲	حداکثر میزان ذوب برف در ۲۱ دسامبر (mmH_2O/°C-day)	SMFMX	10	-4	8.509001
۱۳	حداقل میزان ذوب برف در ۲۱ ژوئن (mmH_2O/°C-day)	SMFMN	10	-4	-1.249
۱۴	ضریب تولید ویژه سفره کم عمق	GW_SPYLD	1	0	0.1395
۱۵	حداقل ذخیره آب لازم در سفره برای رویداد جریان پایه (mmH_2O)	GWQMN	5000	0	4327.5
۱۶	مقدار ذخیره سفره کم عمق در ابتدای شبیه سازی (mmH_2O)	SHALLST	1000	0	101.5
۱۷	حداقل ذخیره آب لازم در سفره برای شروع تبخیر از آن (mmH_2O)	REVAPMN	500	0	49.75
۱۸	میزان تغییرات دما با ارتفاع در هر زیر حوزه (°C/km)	TLAPS	5	-5	-4.495
۱۹	ضریب تعیین نفوذ به سفره عمیق یا صعود موئینگی از سفره کم عمق.	GW_REVAP	0.2	0.02	0.17327
۲۰	فاکتور جبران نگهداشت گیاهی	EPCO	1.5	0	1.40625
۲۱	چگالی خاک در حالت مرطوب	SOL_BD	0.4	-0.2	0.2305
۲۲	ضریب مانینگ برای جریان سطحی	OV_N	30	0.01	2.844055
۲۳	آب نگه داشته شده توسط پوشش گیاهی یا برگاب (mmH_2O)	CANMX	10	0	0.195
۲۴	ضریب تأخیر رواناب (روز)	SURLAG	10	0	6.775
۲۵	درصد تغذیه سفره عمیق از سفره کم عمق یا غیر محصور	RCHRG_DP	1	0	0.8775
۲۶	ضریب α آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال	ALPHA_BNK	1	0	0.1265

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. نمودار رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده پس از واسنجی مدل SWAT حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره زمانی ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۹ خورشیدی (به دلیل تعداد زیاد داده‌ها و برای وضوح بیشتر در دو نمودار نشان داده شده است)



شکل ۵. نمودار رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده توسط مدل واسنجی شده SWAT حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره اعتبارسنجی (سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ خورشیدی)

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه شاخص‌های ارزیابی مدل به دست آمده از مدل SWAT و IHACRES در دوره اعتبار سنجی نشان می‌دهد که مقادیر این شاخص‌ها در مدل SWAT بیش از ۰/۲۰ بیشتر از مدل IHACRES می‌باشد. ازاین‌رو مدل SWAT نسبت به مدل IHACRES عملکرد مطلوب‌تری در شبیه‌سازی دبی روزانه حوزه آبخیز مورد مطالعه دارا می‌باشد. همچنین از منظر گرافیکی مقایسه نمودارهای به دست آمده از این دو مدل در طی دوره اعتبارسنجی نشان می‌دهد که در مدل IHACRES دبی‌های اوج و دبی پایه بسیار کمتر از مقادیر واقعی برآورد شده است درحالی‌که مدل SWAT مقادیر دبی‌های اوج و پایه را نزدیک به مقادیر واقعی برآورد نموده است. همچنین از نظر مدل کردن زمان وقوع دبی‌های اوج هر دو مدل موفق عمل کرده‌اند. با توجه به اطلاعات مورد نیاز مدل SWAT، این مدل را می‌توان برای شبیه‌سازی دبی در حوزه آبخیز ایران استفاده کرد، اگرچه عدم وجود نقشه‌های کاربری اراضی و خاک با دقت مناسب و متناسب با دوره شبیه‌سازی بر دقت نتایج تأثیر نامطلوبی دارد.

بنابراین نتایج نهایی این تحقیق نشان می‌دهد که مدل SWAT نسبت به مدل IHACRES توانایی بیشتری در شبیه‌سازی رواناب روزانه در حوزه آبخیز رودخانه دویرج دارد و می‌تواند رواناب حوزه‌های فاقد آمار با شرایط طبیعی مشابه با حوزه آبخیز رودخانه دویرج را با دقت بیشتری نسبت به مدل IHACRES شبیه‌سازی نماید.

www.SID.ir

Archive of SID

References

[1] Abbaspour, K. C., (2008). SWAT-CUP2 (SWAT Calibration and Uncertainty Programs, Version 2). Eawag; Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, 95pp.

[2] Anderson, R.M., Hobbs, B.F. and Koonce, J.F., (2006). Modeling effects of forest cover reduction on larva walleye survival in Lake Erie Tributary spawning basins. *Ecosystems*, 9, 725-739.

[3] Astatkie, T. and Watt, W.E., (1988). Multiple-input transfer function modeling of daily Streamflow series using non-linear inputs. *Water Resources Research*, 34 (10), 2717-2725.

[4] Beven. K.J., (2001). Rainfall-runoff modelling: the primer, Wiley, Chichester, UK. 361p.

[5] Box, G.E.P. and Jenkins, G.M., (1970). Time Series Analysis: Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco.

[6] Carla, C. E., Bartolini, P., Muselli, M. and Piroddi, L., (2008). Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows. *Journal of Hydrology*, 362, 291– 307.

[7] Changbin, L., Jiaguo, Q., Zhaodong, F., Runsheng, Y., Songbing, Z. and Feng, Z., (2010). Parameters optimization based on the combination of localization and auto-calibration of SWAT model in a small watershed in Chinese Loess Plateau. Front. *Earth Sci*. China, 4(3), 296–310.

[8] Croke, B.F.W. and Jakeman, A.J., (2004). A catchments moisture deficit module for the IHACRES rainfall– runoff model. *Environmental Modeling and Software*, 19, 1–5.

[9] Croke B.F.W., Letcher R.A. and Jakeman A.J., (2006). Development of a distributed flow model for underpinning assessment of water allocation options in the Naomi River Basin, Australia. *Journal of Hydrology*, 319, 51–71.

[10] Croke, B.F.W. and Jakeman, A.J., (2008). Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi-arid regions. *Cambridge University Press*, Cambridge, 41-48

[11] Croke, B.F.W. Andrews, F. Spate, J. and Cuddy, S.M., (2005). IHACRES User Guide. Technical Report 2005/19, second ed. ICAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra. <*http://www.toolkit.net.au/ihacres*>, 39 p.

[12] Dooge, J.C.I., (1973). Linear Theory of Hydrologic Systems. *Technical Bulletin* No. 1468. United States Department of Agriculture, Washington. DC, 327 p.

[13] Hosaini, M., Ghafoori, S.M., Soom, M.A., Ghazali, A. and Mohammadsharif, A., (2010). Calibration and validation of the SWAT model in Taleghan watershed. 6th national Conference on Watershed Management Sciences and Engineering and 4th national Conference on Soil Erosion and Sediment. Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

[14] Kavianpour, M.R., Mirsane, Z.S. and Mirsane, S.A., (2009). Evaluation of the uncertainty in simulated runoff using SWAT model. 8th International Conference on River Engineering. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

[15] Kisi, O., (2004). River flow Modeling using Artificial Neural Networks. *J. Hydrologic Engrg*. ASCE, 9, 60-63.

[16] Nazarian, Z., (2010). Assessment of Erosion and Sediment in Doiraj Basin With special attention to the role of geological formations in sediment production. Master's thesis. Islamic Azad University, Science and Research Branche, Tehran, Iran.

[17] Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R. and Williams, J.R., (2004). Soil and Water Assessment Tool input / output file documentation version 2005. USDA Agricultural Research Service.

[18] Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R., (2005). Soil and water assessment tool documentation, Version 2005, 494p.

[19] Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R., (2005). Soil and Water Assessment Tool, Theoretical documentation version 2005. Agricultural Research Service.

[20] Rahiminasab, A. Zareie, M., Yari, R., and Ebrahimi, H., (2010). Capability of a semi-conceptual *IHACRES* model to simulation of rainfall - runoff in mountainous and urban and flat watersheds. 7th national Conference on Watershed Management Sciences and Engineering. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

www.SID.ir

Archive of SID

[21] Rostamian, R., Jaleh, A., Afyuni, M., Mousavi, S.F., Heidarpour, 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, 977-988.

[22] Rouhani, H., Rahiminasab, A. and Ebrahimi, H., (2010). Capability of a semi-conceptual model to simulation of rainfall - runoff in mountainous and forested watersheds. 6th national Conference on Watershed Management Sciences and Engineering and 4th national Conference on Soil Erosion and Sediment. Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

[23] Saleh, A. and Du, B., (2004). Evaluation of SWAT and HSPF within basins program for the upper north Bosque river watershed in central Texas. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 47(4), 1039−1049.

[24] Winchell, M., Srinivasan, R., Luzio, M. and Arnold, J., (2007). ArcSWAT Interface for SWAT2005, Users's Guide. USDA Agricultural Research Service.

[25] Zarei. M., HabibnezhadRoshan, M., Shahedi, K. and Ghanbarpour., M.R., (2011). Calibration and Evaluation of IHACRES Hydrological Model for Daily Flow Simulation. *Journal of Water and Soil*, 25(1),104-114.

www.SID.ir