

مقایسه عملکرد مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی SWAT و مدل یکپارچه HEC-HMS در شبیه سازی دبی جریان (مطالعه موردی: حوضه آب بخشا)

محمدسهیل رضازاده^۱، معین گنجعلی خانی^۲، محمد ذونعمت کرمانی^{۳*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳. دانشیار، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۱۹ - تاریخ تصویب: ۹۴/۱۲/۲۰)

چکیده

مطالعات سیل و کنترل سیلاب یکی از مباحث اصلی مرتبط با علم هیدرواکولوژی است که از نتایج آن در مدیریت اراضی و تغییر کاربری مناطق مد نظر استفاده می شود. این در حالی است که مدل های هیدرولوژیکی ای که برای شبیه سازی حوضه های آبخیز استفاده می شوند عموماً به دو گروه یکپارچه و توزیعی تقسیم می شوند. به علت تفاوت مدل های هیدرولوژیکی در استفاده از داده ها و روش های مختلف برای شبیه سازی جریان، شناسایی مدلی کارآمد که با توجه به اینکه بیشتر حوضه های آبخیز کشور فاقد ایستگاه های اندازه گیری به تعداد کافی هستند، بتواند شبیه سازی را در کوتاه ترین زمان و با کمترین هزینه به طور مطلوب انجام دهد، امری ضروری است. در پژوهش حاضر به منظور مقایسه عملکرد مدل های نیمه توزیعی و یکپارچه در شبیه سازی حوضه های آبخیز از مدل SWAT در شبیه سازی دبی جریان رودخانه به عنوان یک مدل نیمه توزیعی و مدل HEC-HMS به عنوان مدل یکپارچه استفاده شد. بدین منظور از داده های ۳۱ ساله حوضه آبخیز آب بخشا واقع در شهرستان بردسیر استان کرمان شامل کلیه اطلاعات ایستگاه های هیدرومتری و هواشناسی منطقه استفاده شد. یافته های به دست آمده از پژوهش برتری نتایج مدل SWAT را نسبت به مدل HEC-HMS نشان می دهد. به طوری که مدل نیمه توزیعی SWAT در مرحله اعتبارسنجی با ضریب تعیین معادل ۰/۷۱ و ضریب راندمان برابر با ۰/۶۸ دقتی بیشتر از مدل HEC-HMS با ضریب تعیین معادل ۰/۵۸ و ضریب راندمان برابر با ۰/۴۸ را داراست. از مهم ترین دلایل برتری مدل نیمه توزیعی نسبت به مدل یکپارچه می توان به مواردی همچون داشتن مولد اقلیمی و امکان به کارگیری واحد پاسخ هیدرولوژیک در آن اشاره کرد.

کلیدواژگان: حوضه آبخیز آب بخشا، مدل نیمه توزیعی، مدل یکپارچه، SWAT، HEC-HMS.

مقدمه

بررسی فرسایش، بار رسوب و تبخیر- تعرق حوضه‌های آبخیز و رودخانه‌ها برای استفاده بهینه از منابع آب و خاک، از مهم‌ترین چالش‌های جدی مدیریت منابع آب کشور محسوب می‌شوند که در بهره‌برداری از تأسیسات آبی و سدها مؤثرند. برای انجام این مدل‌سازی‌ها، در دسترس بودن داده‌های مکانی و زمانی قابل قبولی از قبیل توپوگرافی، کاربری اراضی، جنس خاک، داده‌های هواشناسی و همچنین داده‌های هیدرومتری منطقه ضروری است. از طرفی نبود تعداد کافی ایستگاه‌های اندازه‌گیری در بیشتر حوضه‌های آبخیز کشور، موجب بروز مشکلات زیادی در برنامه‌ریزی عمرانی و مدیریتی شده است.

مدل‌های هیدرولوژیکی که برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز استفاده می‌شوند عموماً به دو گروه یکپارچه و توزیعی تقسیم می‌شوند. مدل‌های توزیعی اغلب به دلیل قابلیت اتصال به GIS^۱ قادرند تمامی تغییرات مکانی را در نظر بگیرند، اما اجرای آن‌ها مخصوصاً در حوضه‌های وسیع بسیار زمان‌بر خواهد بود. یکی از این مدل‌های نیمه‌توزیعی که در نقاط مختلف جهان استفاده شده، مدل هیدرولوژیکی SWAT^۲ است. SWAT اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط Jeff Arnold در سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا طراحی و پایه‌گذاری شد. از دیگر مدل‌های پرکاربرد شبیه‌سازی حوضه می‌توان به مدل HEC-HMS اشاره کرد که توانایی شبیه‌سازی حوضه به صورت یکپارچه و توزیعی را داراست.

در زمینه مدل‌سازی هیدرولوژیکی با مدل‌های یادشده، پژوهشگران داخل و خارج کشور تحقیقاتی انجام داده‌اند. مک‌کول و اگت [۱۲] به پیش‌بینی تغییر الگوی کاربری اراضی در حوضه Kitatis در ایالت واشینگتن طی سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ پرداختند. نتایج بیانگر قابلیت مدل HEC-HMS در پیش‌بینی الگوهای مختلف به‌ویژه در طراحی شهری و کاهش خسارات سیل- که در حوضه‌های شهری اهمیت به‌سزایی دارد- است. داسیلوا و همکارانش [۵] با به‌کارگیری مدل HEC-HMS به شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه رودخانه کلانی در سریلانکا اقدام کردند که نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی بیانگر دقت زیاد

مدل یادشده بود. همچنین سانتر و همکارانش [۱۶] با به‌کارگیری افزونه ArcSWAT در محیط ArcGIS توانستند با دقت زیادی فرایند بارش رواناب را در منطقه چیلیکا واقع در شرق هند شبیه‌سازی کنند. بررسی‌های صورت‌گرفته نشان‌دهنده تبدیل ۶۰ درصدی بارش به رواناب در این منطقه بود. عباسپور و همکارانش [۳] با استفاده از مدل SWAT به شبیه‌سازی تمام فرایندهای مؤثر بر کمیت آب، رسوب و بارهای مواد مغذی در حوضه تور با مساحتی حدود ۱۷۰۰ کیلومترمربع واقع در شمال شرق کشور سوئیس اقدام کردند. ایشان نتیجه گرفتند که در حوضه‌ای مانند تور که داده‌های اندازه‌گیری شده با کیفیت خوبی دارد، به‌خوبی می‌توان از مدل SWAT به‌عنوان یک مدل پیشرو در مطالعات مدیریت حوضه استفاده کرد. فرامرز و همکارانش [۶] با این دیدگاه که منابع قابل تجدید آب در ایران، از مهم‌ترین اطلاعات در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت ملی است از مدل SWAT به همراه برنامه SUFI-2^۳ برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی ایران براساس دبی رودخانه‌ها و عملکرد گندم با در نظر گرفتن فعالیت‌های سدهای بزرگ و شیوه‌های آبیاری استفاده کردند و نتایج قابل قبولی به دست آوردند. لیرونگ و جیونین [۱۱] تأثیر تغییرات آب و هوایی بر میزان رواناب و تبخیر و تعرق با مدل SWAT در حوضه بیانگ را بررسی کردند و با قراردادن ۱۵ سناریو در مدل کالیبره‌شده تحت کاربری اراضی ثابت به این نتیجه دست یافتند که تغییرات آب و هوا بر میزان رواناب حوضه مؤثر است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دما و تغییر نکردن بارش در یک سناریو، میزان تبخیر و تعرق زیاد و رواناب کاهش می‌یابد. افزون بر آن در سناریوی دیگر مشخص شد که با افزایش بارش و تغییر نکردن دما، میزان تبخیر و تعرق و رواناب بیشتر می‌شود. وانگ و همکارانش [۱۸] با مدل‌سازی اثر گزینه‌های مختلف کاربری اراضی در حوضه‌ای در چین به این نتیجه رسیدند که کاربری‌های اراضی مختلف تأثیرات مختلفی بر مقدار رواناب و آب زیرزمینی حوضه دارد و تبدیل اراضی مرتعی به اراضی جنگلی در حوضه به افزایش میزان رواناب سالانه و کاهش آب زیرزمینی بر اثر کاهش نفوذپذیری خاک و کاهش تعرق در حوضه منجر می‌شود. لی [۱۰] در

1. Geographic Information System
2. Soil and Water Assessment Tool

3. Sequential Uncertainty Fitting ver.2

خطر نشان کرد که این مدل جزء مدل‌های جدید محسوب می‌شود و قابلیت شبیه‌سازی جریان رودخانه را در طولانی‌مدت دارد، علاوه بر این مدل SWAT جزء مدل‌های بزرگ‌مقیاس است و برای مدیریت آب و خاک در حوضه‌های آبخیز مختلف دنیا استفاده می‌شود. بدین منظور از داده‌های ۳۱ ساله حوضه آبخیز آب‌بخشا شامل کلیه اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی منطقه واقع در شهرستان بردسیر استان کرمان استفاده شد.

مواد و روش‌ها

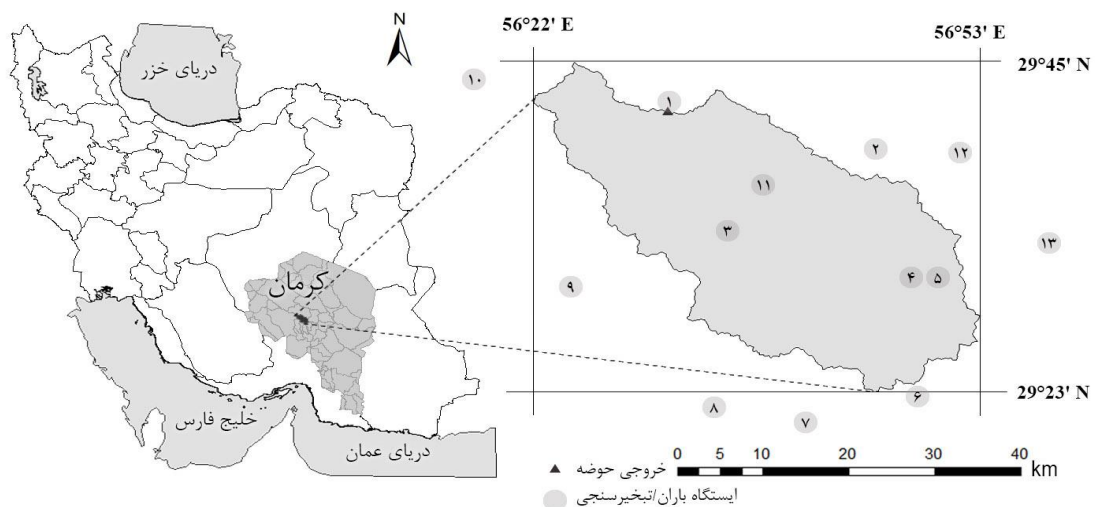
منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز آب‌بخشا با مساحت ۱۰۲۱ کیلومتر مربع در شهرستان بردسیر از استان کرمان واقع شده است. این منطقه اقلیمی نیمه‌خشک دارد که متوسط بارش سالانه آن ۲۱۲ میلی‌متر است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی این منطقه قابل مشاهده است. داده‌های دبی خروجی مشاهداتی روزانه، تبخیر و تعرق روزانه، بارش روزانه و همچنین مقدار متوسط بارش و تبخیر سالانه که مربوط به حوضه آبخیز آب‌بخشا طی سال‌های آب ۱۳۶۰-۱۳۶۱ تا ۱۳۹۱-۱۳۹۲ است، پس از تصحیحات لازم در این پژوهش استفاده شدند. موقعیت ایستگاه‌های یادشده در شکل ۱ قابل مشاهده است. همچنین مقدار متوسط بارش و تبخیر سالانه در جدول ۱ نشان داده شده است.

پژوهش خود در حوضه‌ای در غرب آفریقا با استفاده از مدل SWAT نشان داد که تغییر مناطق با کاربری جنگل، مرتع و بوته‌زار به اراضی کشاورزی و یا مناطق شهری سبب تغییر شرایط هیدرولوژی طبیعی در یک حوضه آبخیز می‌شود و نتیجه این تغییر به صورت افزایش حجم رواناب سطحی، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و آب پایه رودخانه‌ها و تغییر در مقدار و شدت فرسایش و رسوب است.

مطالعات سیل و کنترل سیلاب یکی از مباحث اصلی مرتبط با علم هیدرولوژی است که از نتایج آن در مدیریت اراضی و تغییر کاربری مناطق مد نظر استفاده می‌شود. سیلاب‌های جاری در یک منطقه، تأثیر مستقیم بر یک حوضه آبخیز، کشاورزی و اوضاع اجتماعی و اقتصادی آن دارد [۲].

در پژوهش حاضر به منظور مقایسه مدل‌های نیمه‌توزیعی و یکپارچه در شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز از مدل SWAT به عنوان یک مدل نیمه‌توزیعی و مدل HEC-HMS به عنوان مدل یکپارچه استفاده شد. نکته‌ای که در استفاده از مدل HEC-HMS اهمیت دارد، دادن نتایج خروجی در هر نقطه حوضه است که با این کار عنصر هیدرولوژیکی ایجادکننده خطا در نتایج مدل مشخص خواهد شد. از مزیت‌های دیگر مدل HEC-HMS آن است که می‌توان برای محاسبه پارامترهای مختلف نفوذ، آبدهی پایه و غیره از روش‌های مختلفی استفاده کرد و نتایج روش‌ها را با هم مقایسه و با آمار مشاهده‌ای تطبیق داد. درباره انتخاب مدل SWAT به عنوان مدل نیمه‌توزیعی باید



شکل ۱. منطقه مطالعه شده به همراه موقعیت ایستگاه‌های استفاده شده

مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

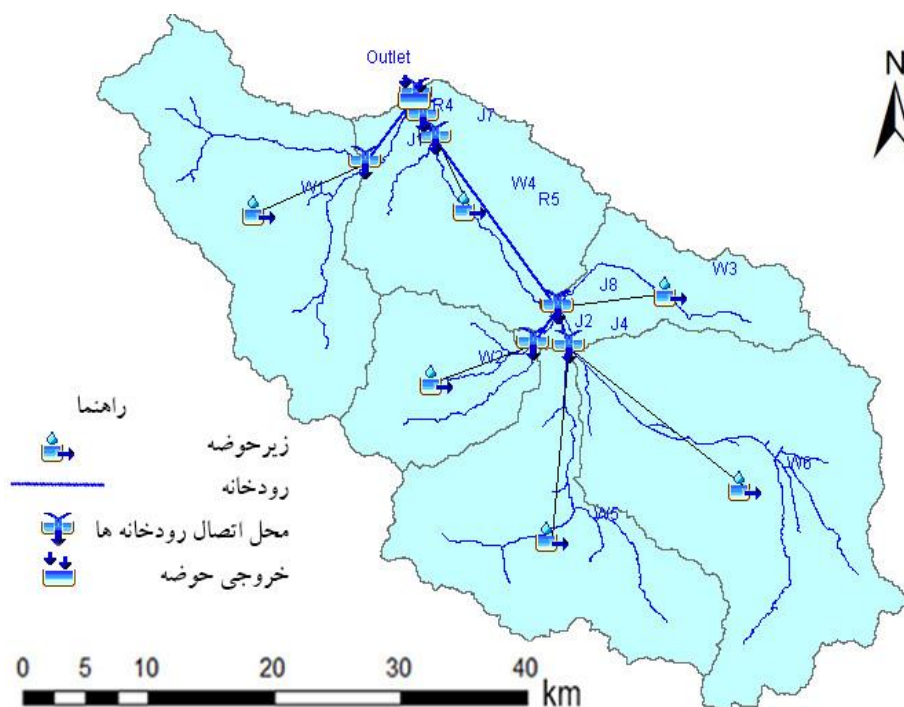
مدل HEC-HMS توسط مهندسان ارتش آمریکا توسعه داده شده است. این مدل برای شبیه‌سازی بارش رواناب حوضه‌هایی با شبکه آبراهه درختی طراحی شده است [۱۳]. مدل یادشده نیازمند پارامترهای مختلفی برای روش‌های متفاوتی، برای مدل‌سازی حوضه است. انتخاب این روش‌ها معمولاً براساس دقت مد نظر و محدودیت داده‌های موجود صورت می‌پذیرد. جدول ۲ نشان‌دهنده روش‌های مربوط به قسمت‌های مختلف مدل‌سازی حوضه است. شکل ۲ نیز مدل ساخته‌شده را در محیط HEC-HMS نشان می‌دهد.

جدول ۲. روش‌های مختلف مدل‌سازی در مدل HEC-HMS

روش استفاده‌شده	پارامتر مد نظر
پلی‌گون تیسن	بارش
شماره منحنی SCS	نفوذ
هیدروگراف واحد SCS	تبدیل بارش به رواناب
ماسکینگام	روندیابی
دبی ثابت ماهانه	جریان پایه

جدول ۱. ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی حوضه آبخیز آب‌بخشا

شماره	نوع	ایستگاه	متوسط سالانه (mm)
۱	باران‌سنجی	گذار زارچوئیه	۱۱۹/۴
۱	تبخیرسنجی	گذار زارچوئیه	۸۳/۲
۲	باران‌سنجی	سنگ صیاد	۱۸۲/۲
۳	باران‌سنجی	بیدخون	۲۸۶/۹
۴	باران‌سنجی	لاله‌زار	۱۸۳/۱
۴	تبخیرسنجی	لاله‌زار	۷۷/۵
۵	باران‌سنجی	جعفرآباد	۱۴۹/۳
۶	باران‌سنجی	رابر	۲۲۸/۰
۶	تبخیرسنجی	رابر	۸۵/۸
۷	باران‌سنجی	تلخه‌چار	۲۷۷/۳
۸	باران‌سنجی	کیسکان	۲۰۲/۷
۹	باران‌سنجی	چهارطاق	۲۷۱/۲
۱۰	تبخیرسنجی	آب تنگوئیه	۱۱۱/۲
۱۱	تبخیرسنجی	علی‌آباد	۷۷/۷
۱۲	تبخیرسنجی	چاری	۹۷/۸
۱۳	تبخیرسنجی	هفت‌کوسک	۷۳/۹



شکل ۲. مدل ساخته‌شده در محیط HEC-HMS حوضه آبخیز آب‌بخشا

مدل سازی نفوذ

روش شماره منحنی SCS^۱ اساساً یک روش تجربی است که براساس شماره منحنی خاک (CN) است. پارامتر CN^۲ براساس کاربری پوشش اراضی، گروه های خاک و شرایط هیدرولوژیکی خاک محاسبه می شود. روش SCS-CN بیشتر برای تخمین رواناب حاصل از بارش در مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه ها کاربرد دارد. دلیل استفاده از این مدل در پژوهش حاضر بیشتر این بوده است که این روش در نرم افزارهای مدیریت منابع آب تحت ویندوز از قبیل ArcGIS پردازش آسان تری دارند. در این تحقیق از روش یادشده، برای مدل سازی تکرخدهای هیدرولوژیکی استفاده شد. تمرکز مدل سازی تکرخدها روی درک چگونگی پاسخ سیستم به یک تک بارش و مشخص کردن پارامترهای هیدرولوژیکی وابسته به آن است. مدل SCS-CN را می توان با استفاده از روابط زیر تشریح کرد:

$$R = \frac{P_e^2}{P_e + S} \quad (۱)$$

که

$$P_e = P - I_a \quad (۲)$$

$$I_a = \alpha S \quad (۳)$$

$$S = \frac{2/540}{CN} - 25/4 \quad (۴)$$

که در آن R رواناب تجمعی، P بارش تجمعی، P_e بارش تجمعی مؤثر (P_e>0) در غیر این صورت (R=0) بیشترین نگهداشت خاک، I_a ذخیره اولیه خاک، α ضریب ذخیره اولیه خاک و CN شماره منحنی خاک است. مقدار پیش فرض α=0.2 است؛ که معادله ۱ به صورت زیر درمی آید:

$$R = \frac{(P - 50.8/CN + 5/0.8)^2}{P + 20.23/CN - 20/32} \quad (۵)$$

- مدل سازی بارش- رواناب

برای تبدیل بارش به رواناب از روش هیدروگراف واحد^۳ SCS و یا SCS-UH استفاده شد. در روش SCS-UH پارامتر دبی پیک یک پارامتر بدون بعد است. این روش به صورت زیر بیان می شود.

$$U_p = 2/0.8 \frac{A}{T_p} \quad (۶)$$

که پارامتر U_p دبی پیک، A مساحت حوضه و T_p زمان رسیدن به اوج است. در این معادله زمان رسیدن به اوج به صورت زیر بیان می شود:

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{\log} \quad (۷)$$

که در آن Δt زمان بارش تجمعی و t_{lag} زمان تأخیر حوضه است. در صورت معلوم بودن زمان تأخیر، براساس معادله ۷، T_p محاسبه می شود و با استفاده از معادله ۶، U_p به دست می آید. پس از محاسبه T_p و U_p، معادله شکل بدون بعد به خود می گیرد. برای حوضه هایی که در آن ها زمان تأخیر اندازه گیری نشده است می توان آن را با استفاده از زمان تمرکز T_c تخمین زد.

$$t_{\log} = 0.6 t_c \quad (۸)$$

در نهایت، هیدروگراف واحد از جدول بدون بعد که در آن مقادیر نسبت زمان (t/tp) در مقابل نسبت دبی هیدروگراف (U/U_p) داده شده است، به دست می آید (۱).

- مدل سازی روندیابی

برای روندیابی سیلاب در رودخانه ها از روش ماسکینگام استفاده شد. مدل روندیابی ماسکینگام از تقریب تفاضل محدود معادله پیوستگی استفاده می کند.

$$\left(\frac{I_{t-1} + I_t}{2} \right) - \left(\frac{O_{t-1} + O_t}{2} \right) = \left(\frac{S_t + S_{t-1}}{\Delta t} \right) \quad (۹)$$

در این مدل، ذخیره به دو صورت ذخیره منشوری و ذخیره تیغه ای است. ذخیره منشوری حجمی از آب است که به وسیله تراز سطح آب پروفیل جریان ماندگار آب مشخص می شود، در حالی که ذخیره تیغه ای حجم اضافه ای از آب است که زیر پروفیل موج سیلاب قرار می گیرد. در زمان افزایش تراز سطح سیلاب، ذخیره تیغه ای مثبت است و به ذخیره منشوری اضافه می شود و در زمان فروکش سیلاب ذخیره تیغه ای منفی است که از ذخیره منشوری کسر می شود.

مقدار حجم ذخیره منشوری برابر است با میزان دبی خروجی، O، ضرب در زمان گذر آب از رودخانه، K. در مقابل، مقدار حجم ذخیره تیغه ای برابر با حاصل ضرب اختلاف دبی ورودی و خروجی در ضرب در زمان گذر آب از رودخانه است. بنابراین، مدل ماسکینگام میزان ذخیره را به صورت زیر بیان می کند.

$$S_t = KO_t + KX (I_t - O_t) = K [XI_t + (1-X)O_t] \quad (۱۰)$$

1. Soil Conservation Services
2. Curve Number
3. Unit Hydrograph

پایین دست نیز قادر می‌سازد. برای مطالعه این مسائل، خروجی‌های مدل باید چندین دهه را شامل شوند. برای شبیه‌سازی، ابتدا یک حوضه باید به تعدادی زیرحوضه تقسیم شود. استفاده از زیرحوضه‌ها در شبیه‌سازی، به خصوص زمانی که مناطق مختلف حوضه خاک یا کاربری‌های گوناگون دارند که ناهمگنی و تفاوت آن‌ها می‌تواند در هیدرولوژی حوضه تأثیر داشته باشد، بسیار مفید است. تفکیک حوضه به زیرحوضه‌ها، مدل را قادر می‌سازد تا تفاوت در مقدار و شدت تبخیر - تعرق را برای گیاهان و خاک‌های مختلف منعکس کند. رواناب در هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی^۱ به‌طور مستقل محاسبه و روندیابی می‌شود تا در نهایت مقدار کل رواناب حوضه محاسبه شود. این روش دقت محاسبات را افزایش می‌دهد و توصیف فیزیکی بسیار بهتری از بیلان آبی حوضه را ارائه می‌کند. اطلاعات و داده‌های اساسی مدل شامل نقشه مدل رقومی ارتفاعی^۲، نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک، داده‌های هواشناسی از قبیل بارندگی، کمترین و بیشترین دمای روزانه، میزان رطوبت نسبی هوا، سرعت باد، میزان تشعشع نور خورشید در مقیاس روزانه و دبی رودخانه در ایستگاه هیدرومتری واقع در خروجی حوضه برای انجام مراحل واسنجی است. به‌دلیل برداشت‌نشدن اطلاعات دقیق از خاک منطقه، در این پژوهش از نقشه جهانی خاک فائو استفاده شد. براساس نقشه جهانی خاک فائو، ۲ کلاس بافت خاک در حوضه تشخیص داده شد.

همان‌طور که اشاره شد مدل SWAT برای اجرا به داده‌های هواشناسی نیاز دارد که برای این امر مدل دارای مولد داده‌های اقلیمی WXGEN^۳ است که از آن، برای تولید داده‌های روزانه و بازسازی آمار مفقودشده استفاده می‌شود [۱۷] ایستگاهی که در این قسمت به مدل معرفی می‌شود باید آمار بلندمدت از تمامی پارامترهای هواشناسی از قبیل بارندگی، کمترین و بیشترین دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی داشته باشد که در کشور ما محدود به ایستگاه‌های سینوپتیک هستند. ایستگاه استفاده‌شده در این پژوهش ایستگاه سینوپتیک بردسیر است. شایان ذکر است که این ایستگاه تنها زمانی در شبیه‌سازی استفاده شد که مدل در اطلاعات ایستگاه‌های

که در معادله بالا، K ضریب متناسب با زمان گذر آب از رودخانه و X یک ضریب بدون بعد است. ($0 \leq X \leq 0.5$) کمیت $XIt + (1-X) Ot$ همان میزان دبی است. اگر ذخیره کانال از پایین دست کنترل شود، مانند مخازن سدها، مقدار X برابر صفر خواهد بود که در این صورت معادله ۱۰ به صورت $S=KO$ در خواهد آمد که یک مدل خطی مخزن است. اگر $X=0.5$ باشد، وزن داده‌شده به دبی ورودی و خروجی یکسان خواهد بود و نتیجه آن یک موج پخش‌شونده یکسان خواهد بود که در طول رودخانه حرکت می‌کند.

با ترکیب معادلات ۹ و ۱۰ به معادله ۱۱ خواهیم رسید که با معلوم‌بودن مقادیر K و X می‌توان مقدار O_t را محاسبه کرد.

$$O_t = \left(\frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \right) I_t + \left(\frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \right) I_{t-1} + \left(\frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \right) O_{t-1} \quad (11)$$

به‌دلیل اینکه در این بازه آبی به رودخانه اضافه و یا از آن کاسته نمی‌شود و عرض رودخانه کم و رودخانه شیب متوسط دارد برای تمامی شبیه‌سازی‌ها ضریب X برابر ۰/۳ در نظر گرفته شد. برای پارامتر K ابتدا مقدار متوسط ۰/۳ در نظر گرفته شد که در انتها واسنجی شد و مقدار بهینه آن به دست آمد.

مدل هیدرولوژیکی SWAT

SWAT مدلی بزرگ‌مقیاس است که برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت اراضی بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی - کشاورزی در سطح حوضه‌های با خاک و کاربری اراضی مختلف در درازمدت طراحی شده است که براساس بیلان آبی استوار است. فرایندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، حرکت رسوبات، رشد گیاه، چرخه مواد مغذی و غیره در این مدل مستقیم از روی پارامترهای ورودی شبیه‌سازی می‌شوند. از مزایای مدل SWAT این است که حوضه‌هایی که فاقد داده‌های برداشت‌شده هستند نیز قابل شبیه‌سازی‌اند. این مدل کاربر را به مطالعه تأثیرات بلندمدت تغییرات آب و هوا روی مسائلی مانند تجمع تدریجی آلاینده‌ها و تأثیر آب‌های

1. HRU
2. DEM
3. Weather Generator

مقادیر اولیه برای پارامتر مد نظر، هیدروگراف بهینه‌سازی و مقدار تابع هدف محاسبه شد. در صورت برآورده نشدن تابع هدف مقادیر دیگری برای پارامترهای مد نظر در سعی و خطای بعدی در نظر گرفته می‌شود و تا زمان برآورده شدن تابع هدف این عمل تکرار می‌شود [۹]. در شکل ۳ دیگرام انجام مراحل مدل SWAT و HEC-HMS مشاهده می‌شود.

تابع هدف^۱ RMSE

این تابع روش میانگین ریشه مربعات خطاست. این تابع مقدار وزنی بیشتری را برای خطاهای بزرگ‌تر و مقادیر وزنی کمتری را برای خطاهای کوچک‌تر در نظر می‌گیرد و در مجموع وزن کلی بیشتری را برای خطاهای نزدیک به دبی اوج در نظر می‌گیرد. در این تابع یک ضریب وزنی براساس میانگین دبی برای اصلاح ریشه میانگین مربعات محاسبه می‌شود. این ضریب زمانی که مقدار دبی از دبی میانگین بیشتر باشد بزرگ‌تر از یک و در صورتی که کوچک‌تر از دبی میانگین باشد بین ۰/۵ تا ۱ در نظر گرفته می‌شود [۸]. تابع هدف یادشده به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$Z = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Q_o(t) - Q_s(t))^2 \frac{Q_o + Q_A}{2Q_A}}{N}} \quad (12)$$

در رابطه بالا Z مقدار تابع هدف، $Q_o(t)$ دبی مشاهداتی در هر زمان t، $Q_s(t)$ دبی محاسباتی در هر زمان t، Q_A دبی میانگین مشاهداتی و n تعداد داده‌های مشاهداتی است.

اعتبارسنجی مدل

برای ارزیابی عملکرد مدل از NS^2 (ضریب راندمان) و R^2 (ضریب تعیین) بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی استفاده شد که مقادیر آن به صورت زیر است [۱۵].

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (13)$$

که در این معادلات $Q_{obs,i}$ دبی مشاهداتی، $Q_{sim,i}$ دبی محاسباتی، \bar{Q}_{obs} میانگین دبی مشاهداتی و n تعداد نقاط داده‌های مشاهداتی یا محاسباتی است.

هواشناسی با داده‌های مفقود شده روبه‌رو و داده‌های مفقود با استفاده از مولد داده‌های اقلیمی بازسازی شد.

انجام آنالیز حساسیت به شناخت پارامترهایی منجر می‌شود که مدل نسبت به آن‌ها حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. در مدل‌هایی که تعداد پارامترها در آن‌ها زیاد است انجام آنالیز حساسیت سبب می‌شود که هنگام انجام عملیات واسنجی زمان کمتری صرف شود، زیرا در عملیات واسنجی تمام پارامترها کاربرد ندارد و فقط از پارامترهای حساس استفاده می‌شود. عمل واسنجی شامل تصحیح پارامترهای حساس در مدل است به طوری که نتایج خروجی را به داده‌های مشاهداتی نزدیک کند، این مهم فقط از طریق تغییر مکرر پارامترها به دست می‌آید. از آنجاکه این عمل بسیار زمان‌بر است، برای انجام این کار استفاده از یک برنامه واسط ضروری است که بدین منظور برنامه SWAT_CUP تدارک دیده شده است [۴]. در این پژوهش از روش SUFI_2 در برنامه SWAT_CUP استفاده شد. روش SUFI_2، تمام عدم قطعیت‌ها شامل عدم قطعیت ورودی‌ها، مدل مفهومی، پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری شده را در مدل‌سازی در نظر می‌گیرد. سنجش میزان عدم قطعیت که دربرگیرنده تمام موارد اشاره شده بالاست، توسط معیاری به نام P-Factor که بیانگر درصد داده‌های اندازه‌گیری شده که درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار می‌گیرند، صورت می‌گیرد. معیار عدم قطعیت در سطح ۹۵ درصد با محاسبه مقادیر متناظر احتمال ۲/۵ درصد به عنوان حد پایین و ۹۷/۵ درصد به عنوان حد بالا، با استفاده از نمونه‌برداری به روش لاتین هایپرکیوب و حذف ۵ درصد شبیه‌سازی‌های بسیار بد، به دست می‌آید. از آنجاکه اثر تمام عوامل عدم قطعیت در متغیر اندازه‌گیری شده منعکس می‌شود، pfactor معیار مناسبی برای سنجش قدرت آنالیز عدم قطعیت انجام شده است. بعد از مرحله واسنجی نوبت به اعتبارسنجی مدل می‌رسد. در اعتبارسنجی داده‌های شبیه‌سازی شده بعد از واسنجی، در بازه زمانی متفاوتی با داده‌های مشاهداتی مقایسه می‌شوند و دیگر هیچ تصحیحی روی پارامترها صورت نمی‌گیرد. اعتبارسنجی در واقع قابلیت اطمینان و اعتمادپذیری به مدل را مشخص می‌کند.

واسنجی مدل

بهینه‌سازی پارامترهای حوضه از طریق تابع هدف میانگین ریشه مربعات خطا صورت گرفت. بعد از مشخص کردن

1. Peak-Weighted Root Mean Square Error
2. Nash-Sutcliffe

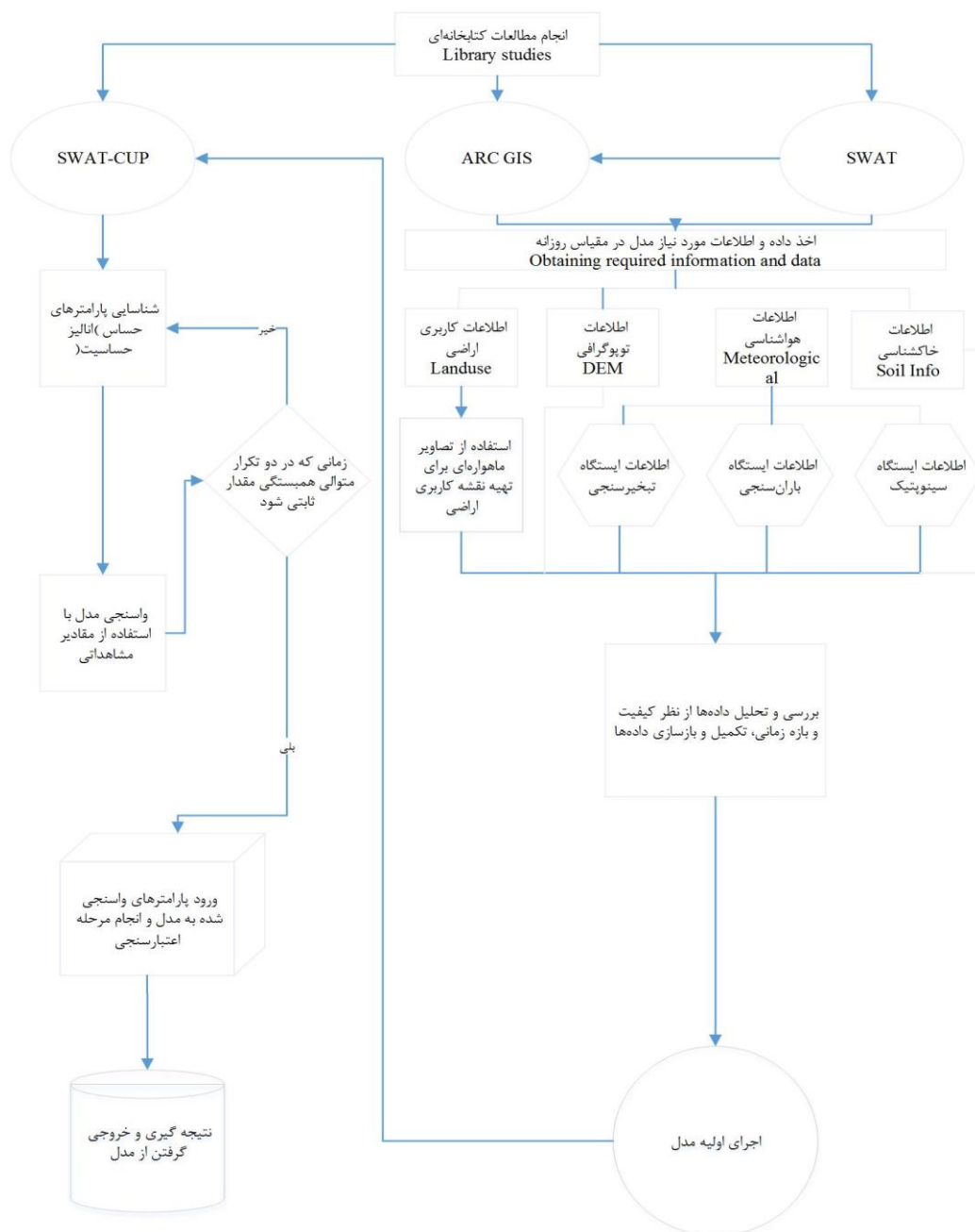
در معادله بالا، X_{ip} مقادیر پیش‌بینی شده و X_{im} مقادیر مشاهداتی هستند.

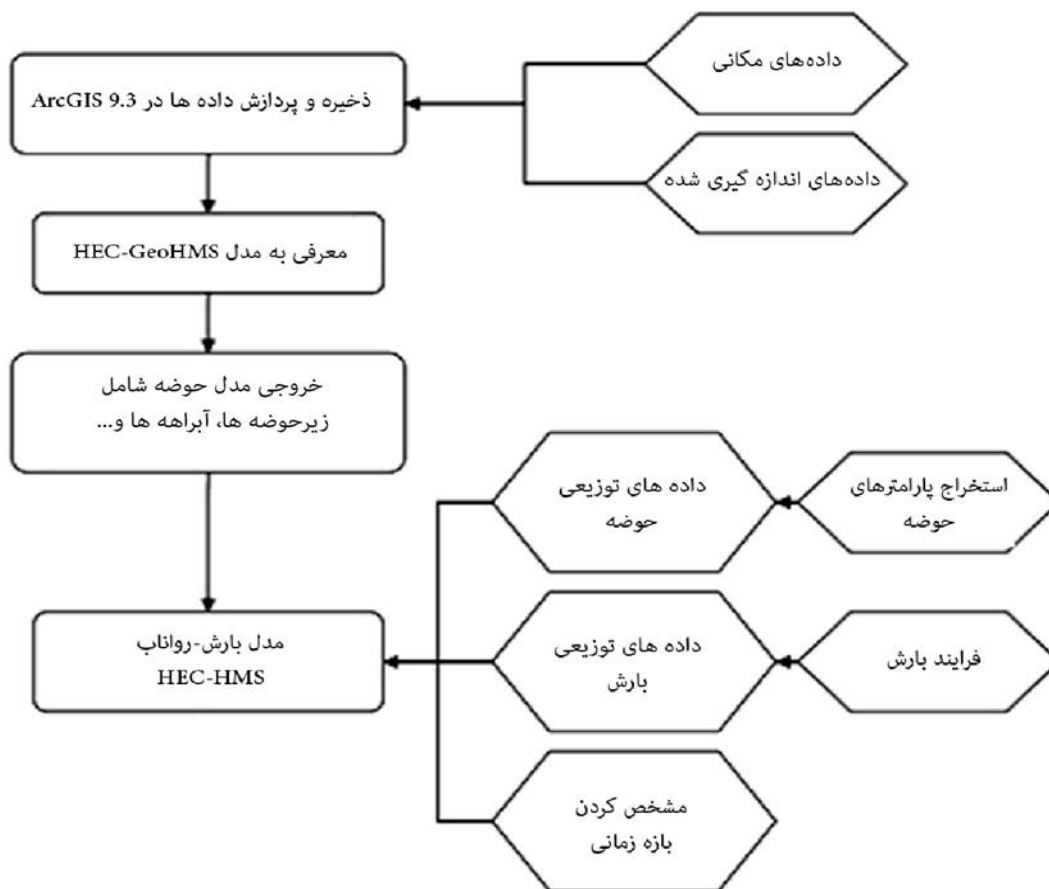
شاخص Bt^2 که در آن ضریب تبیین R^2 در ضریب خط رگرسیون بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ضرب شده است.

$$\phi = \begin{cases} |b|R^2 & \text{if } |b| \leq 1 \\ |b|^{-1}R^2 & \text{if } |b| > 1 \end{cases} \quad (15)$$

شاخص ضریب تبیین (R^2)، مشخص‌کننده میزان مناسب بودن برازش معادله رگرسیونی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی است. بهینه‌ترین مقدار R^2 برابر یک است که به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^N X_{ip}X_{im})^2}{\sum_{i=1}^N X_{ip}^2 \sum_{i=1}^N X_{im}^2} \quad (14)$$





شکل ۳. دیاگرام انجام مراحل کار در مدل های HEC-HMS و SWAT

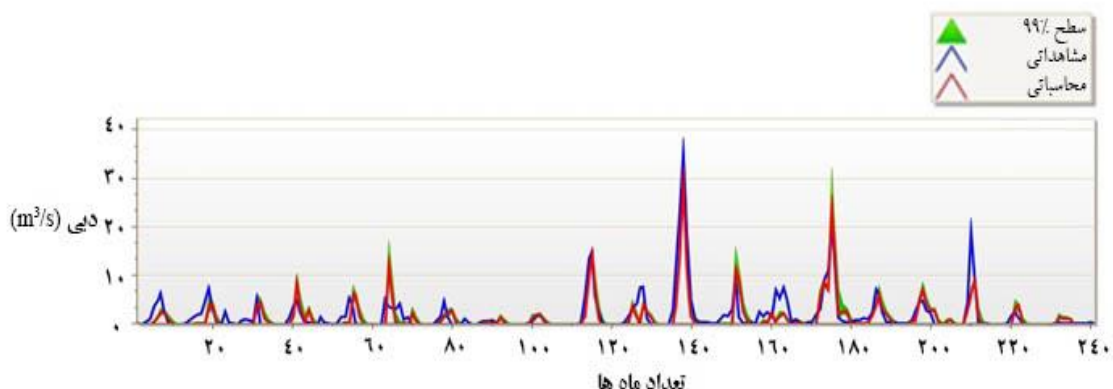
که از مدل SWAT انجام شده بود، ۴۰ پارامتر که در رواناب تأثیر داشتند، انتخاب شدند. پس از آنالیز حساسیت، ۲۱ پارامتر حساسیت بیشتری نشان دادند. پارامترهای منتخب به همراه مقادیر واسنجی شده در جدول ۳ آورده شده‌اند. مقادیر دبی شبیه‌سازی شده در طول دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۰۱ واسنجی شد. نتایج واسنجی مدل در بازه زمانی ۱۹۸۱-۲۰۰۱ در شکل ۳ آورده شده است.

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که مقادیر شبیه‌سازی تا حدود زیادی در ناحیه عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گرفته است که گویای همبستگی مناسب نتایج مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری دارد.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی برای دوره آماری ۳۱ ساله از ۲۳ سپتامبر ۱۹۷۹ تا ۲۲ سپتامبر ۲۰۱۰ انجام شد که دو سال ابتدا برای متعادل‌سازی مدل^۱ استفاده شد. برای تحلیل نتایج واسنجی از شاخص نش-ساتکلیف (NS) استفاده شد. تا کنون هیچ معیار خاصی درباره مقادیر مناسب برای شاخص نش-ساتکلیف (ضریب راندمان) ارائه نشده است؛ اما موریاسی و همکارانش [۱۴] پیشنهاد می‌کند که مقادیر NS در مطالعات هیدرولوژیک و همچنین فرایندهای مربوط به انتقال آلاینده‌ها در مقیاس ماهانه باید از ۰/۵ بزرگ‌تر باشد تا بتوان نتایج مدل را قابل قبول قلمداد کرد. در مرحله آنالیز حساسیت با توجه به مطالعات گذشته

1. Warm Up



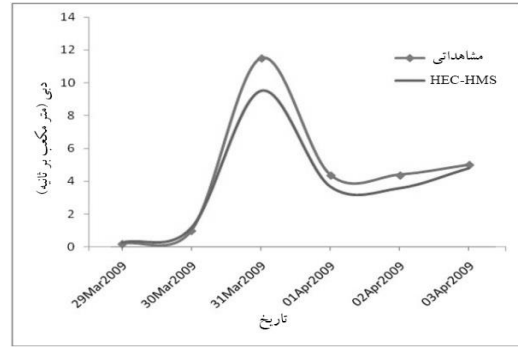
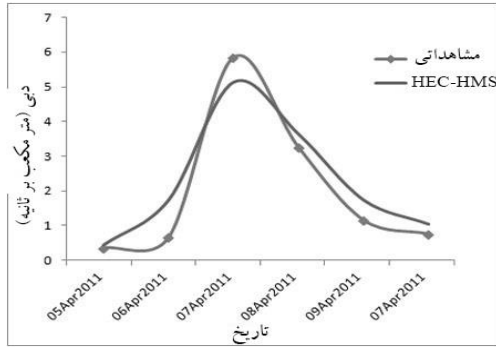
شکل ۴. مقادیر شبیه‌سازی رواناب بعد از واسنجی با استفاده از مدل SWAT

جدول ۳. پارامترهای حساس مدل و مقادیر بهینه آن‌ها

ردیف	پارامتر	مقدار واسنجی شده	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	توضیح پارامتر
۱	v__ALPHA_BF.gw	۰/۵۱۱۷	۰/۴۷۱۳	۰/۷۱۹۸	ضریب واکنش جریان آب زیرزمینی
۲	v__GW_DELAY.gw	۲۶۰/۶۲۴۷	۱۶۱/۱۸۶۱	۲۶۴/۴۹۸۹	زمان تأخیر تغذیه آب زیرزمینی
۳	v__GW_REVAP.gw	۰/۷۳۲	۷۷۷/۰	۸۳۷/۰	ضریب "Revap"
۴	v__ESCO.hru	۱/۲۵۷	۰/۹۹۶۴	۱/۵۳۵	ضریب تصحیح تبخیر از خاک
۵	v__CH_N2.rte	۰/۱۱۸۵	۰/۹۲۹	۰/۱۴۲۹	ضریب مانینگ آبراهه اصلی
۶	v__CH_K2.rte	۱۰۴/۶۵۲۸	۷۰/۸۰۰۶	۱۰۷/۸۹۹۰	هدایت هیدرولیکی آبراهه اصلی
۷	r__SOL_AWC().sol	۱۱۲	۲/۰	۱۷۵۱/۰	ظرفیت آب قابل دسترس
۸	r__SOL_BD().sol	۰/۲۳۱۸	۰/۱۵۰۰	۰/۴۶۱۵	چگالی ظاهری خاک
۹	r__SOL_ZMX.sol	۳۲۹۰/۸۴۷	۲۵۴۲/۸۵۶۰	۳۵۲۲/۸۲۸۱	بیشترین عمق ریشه در خاک
۱۰	r__SOL_z().sol	۱۵۲۶/۱۵۶۱	۱۳۲۳/۹۸۲۷	۱۸۴۵/۷۲۰۷	عمق از سطح خاک تا لایه زیرین
۱۱	v__CH_W2.rte	۶۱۵/۷۳۹۷	۵۹۶/۲۲۹۳	۸۱۹/۲۰۵۵	میانگین عرض آبراهه اصلی
۱۲	v__CH_D.rte	۳۴/۴۲۳۳	۲۸/۸۶۵۸	۳۹/۲۰۵۳	میانگین عمق آبراهه اصلی
۱۳	v__ALPHA_BNK.rte	۰/۲۱۵۹	۰/۱۳۳۲	۰/۳۲۲۳	ضریب القای جریان پایه برای ذخیره گودالی
۱۴	r__OV_N.hru	۹/۳۲۰۵	۰/۸۸۴۶	۹/۴۲۷۳	ضریب مانینگ برای جریان سطحی
۱۵	r__LAT_SED.hru	۷۵۶۸/۱۰۷۴	۶۴۴۲/۴۰۹۷	۸۷۵۱/۵۳۳۲	تمرکز رسوب در آبراهه‌های فرعی
۱۶	r__SLSOIL.hru	۱۳۳/۲۸۶۷	۷۷/۶۵۳۵	۱۵۵/۷۳۵۲	شیب طولی برای آبراهه فرعی
۱۷	r__SNO_SUB().sub	۸۷/۱۴۸۳	۴۴/۱۸۸۰	۹۱/۲۶۷۸	مقدار ذوب برف اولیه
۱۸	v__SFTMP.bsn	۱۵/۲۳۴۳	۸/۱۲۲۲	۱۸/۱۰۱۴	دمای برف
۱۹	v__SMFMX.bsn	۵/۷۵۱۴	۱/۵۲	۷/۳۲۱	عامل ذوب برف در ۲۱ جولای
۲۰	v__TIMP.bsn	۰/۹۰۲۳	۰/۶۹۵۷	۰/۹۲۸۴	ضریب تأخیر دمای توده برف
۲۱	v__SURLAG.bsn	۱۲/۶۶۸۹	۱۱/۲۱۲۸	۱۵/۵۲۱۷	ضریب تأخیر رواناب سطحی

مشاهده می‌شود. نتایج واسنجی مدل نیز در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج شبیه‌سازی صورت‌گرفته با مدل HEC-HMS به‌صورت تکرار خداد است. در شکل ۵ دو نمونه از رخدادهای سیلاب که برای واسنجی از آن‌ها استفاده شد،



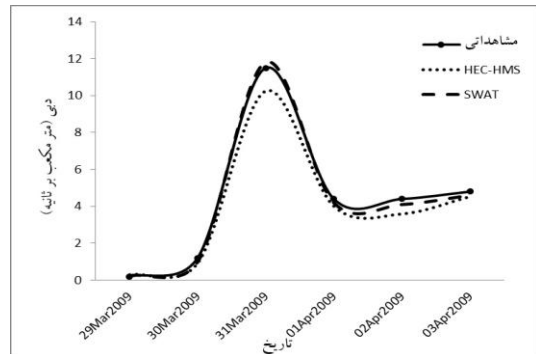
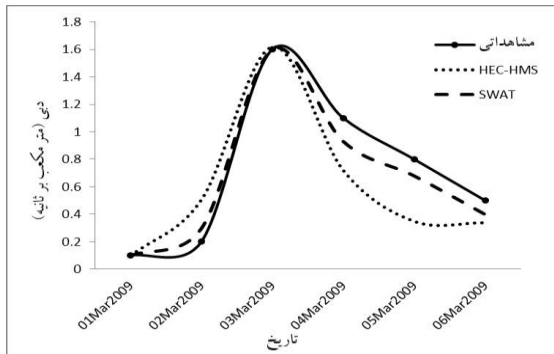
شکل ۵. هیدروگراف مربوط به دو تکرخداد شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در مرحله واسنجی

جدول ۴. سمت راست: مقادیر تصحیح شده CN؛ سمت چپ: مقادیر تصحیح شده K

آبراهه	K اولیه	K تصحیح شده	شماره منحنی اولیه	شماره منحنی تصحیح شده	زیرحوضه
R1	۰/۳	۰/۱۶	۵۸/۵۱۲	۶۱/۲۳	W1
R2	۰/۳	۰/۱۶	۴۶/۲۱۳	۴۶/۹۱۳	W2
R3	۰/۳	۰/۱۶	۷۸/۲۲۷	۵۴/۵۰۵	W3
R4	۰/۳	۰/۱۶۸۴	۵۴/۹۷۱	۵۷/۴۴۹	W4
R5	۰/۳	۰/۱۸۴۱	۶۶/۱۴۵	۶۰/۵۶۵	W5
R6	۰/۳	۰/۱۶	۴۲/۱۲۹	۶۲/۱۷۷	W6
R7	۰/۳	۰/۸۷			
R8	۰/۳	۰/۷۹۶			

زمان طی کرده آب در طول بازه (Reach) دانست [۱] با توجه به اینکه طول بازه‌های رود مشخص شده به جز در R4 و R5 بسیار کوتاه بوده است و در نتیجه باید انتظار مقادیر کوچکی را برای K در این بازه‌ها داشت که موضوع را به وضوح می‌توان در جدول ۴ مشاهده کرد. برای مقایسه و ارزیابی نتایج حاصل از دو مدل ابتدا تکرخدادهای متناظر از تکرخدادهای شبیه‌سازی شده توسط مدل HEC-HMS از خروجی مدل SWAT جداسازی شد. در شکل ۶ نتایج حاصل از شبیه‌سازی دو تکرخداد با استفاده از مدل‌های یادشده مشاهده می‌شود.

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۴ برای مقادیر اولیه و تصحیح شده شماره منحنی نشان می‌دهد که کمترین میزان تغییر در زیرحوضه W2 با مقادیر اندازه‌گیری شده مربوط به گروه هیدرولوژیک خاک است (۴۶/۹ در برابر ۴۶/۲). همچنین بیشترین میزان تغییر مربوط به زیرحوضه W6 است که بزرگ‌ترین و دورترین زیرحوضه مربوط به حوضه اصلی است (شکل ۳). تفاوت شایان توجه در نتایج جدول ۴ برای ضریب K قبل و بعد از تصحیح مبین این مطلب است که استفاده از مقدار اولیه K برابر با ۰/۳ در پژوهش حاضر بیشتر از حد معمول بوده است. ضریب K را می‌توان مبین



شکل ۶. هیدروگراف مربوط به دو تکرخداد اعتبارسنجی مدل‌های HEC-HMS و SWAT

جدول ۵. مقادیر آماره NS و R² برای دو مدل

اعتبارسنجی			واسنجی			مدل
R ²	Br ²	NS	R ²	Br ²	NS	
۰/۷۱	۰/۴۸۰۷	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۵۳۱۵	۰/۷۸	SWAT
۰/۵۸	۰/۴۱۰۶	۰/۴۸	۰/۶۶	۰/۴۷۵۶	۰/۷۰	HEC-HMS

نتیجه‌گیری

به‌علت تفاوت مدل‌های هیدرولوژیکی در شکل استفاده از داده‌ها و وجود روش‌های مختلف برای شبیه‌سازی جریان، شناسایی مدلی کارآمد که با توجه به اینکه بیشتر حوضه‌های آبخیز کشور فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی هستند، که توانایی شبیه‌سازی جریان را در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین هزینه به‌طور مطلوب انجام دهد امری ضروری است. از سوی دیگر صحت نتایج شبیه‌سازی شده نیز اهمیت دارد. با عنایت به اینکه یکی از معضلات و چالش‌های اساسی پیش روی پژوهشگران در زمینه مطالعات هیدرولوژیکی، فقدان مجموعه جامع و زمینی مطالعات هیدرولوژیکی، فقدان مجموعه جامع و کاملی از داده‌های هیدرولوژیکی است، بنابراین انتظار می‌رود که استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ‌مقیاس مانند SWAT به‌علت داشتن قابلیت مولد داده‌های اقلیمی WXGEN نسبت به مدل‌های یکپارچه مانند HEC-HMS ارجحیت داشته باشند. در این پژوهش دقت مدل نیمه‌توزیعی SWAT با مدل یکپارچه HEC-HMS در برآورد سیلاب حوضه آب‌بخشا بررسی و مقایسه شد. نتایج یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر بر برتری مدل SWAT نسبت به مدل HEC-HMS با توجه به بررسی شاخص‌های آماری مانند ضریب تعیین و ضریب راندمان صحت می‌گذارد. به‌طوری‌که مدل SWAT هم در مرحله واسنجی و هم در مرحله اعتبارسنجی نسبت به مدل HEC-HMS برتری داشته است.

یکی از دلایل این برتری را می‌توان در نیمه‌توزیعی بودن مدل SWAT که موجب افزایش دقت در خروجی‌های مدل شده است، جست‌وجو کرد. زیرا این ویژگی سبب می‌شود که دقت ورودی‌های مدل به‌علت توزیع مقادیر داده‌ها و استفاده نکردن مقادیر ثابت آن‌ها به‌عنوان ورودی، در کل حوضه افزایش یابد. در نهایت، این قابلیت مهم مدل SWAT در دریافت داده، موجب افزایش دقت این مدل در مقابل مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی

برای تحلیل و مقایسه نتایج به‌دست آمده، از آماره‌های نش-ساتکلیف (NS) و ضریب تبیین (R²) استفاده شد. در جدول ۵ مقادیر میانگین آماره‌های یادشده برای دو مدل قابل مشاهده است.

با توجه به جدول ۵ می‌توان به دقت بیشتر مدل نیمه‌توزیعی SWAT در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز مطالعه‌شده پی برد. از مهم‌ترین دلایل بیشتربودن دقت شبیه‌سازی مدل SWAT می‌توان به نیمه‌توزیعی بودن مدل اشاره کرد. همچنین مدل HEC-HMS در صورت مواجهه با داده‌های مفقود یا نداشتن داده، قادر به بازسازی و شبیه‌سازی داده نیست در صورتی که مدل SWAT به‌واسطه داشتن مولد داده‌های اقلیمی WXGEN قادر به شبیه‌سازی داده‌های برداشت‌نشده و یا مفقودشده در حوضه است. نوع و بافت خاک به همراه کاربری اراضی منطقه نیز نقش مهمی در میزان رواناب دارد. با توجه به این مطلب، مدل HEC-HMS این دو نوع داده را از طریق شماره منحنی (CN) که از تلفیق دو نقشه خاک و کاربری اراضی به دست می‌آید، به‌صورت میانگین وزنی برای هر زیرحوضه دریافت می‌کند، درحالی‌که مدل SWAT قادر به دریافت داده‌های خاک و کاربری اراضی به‌صورت نقشه و با اطلاعات توصیفی است. در مدل SWAT با توجه به همگن بودن مناطق از نظر بافت خاک، کاربری اراضی و شیب، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی را تعریف می‌کند و برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی یک شماره منحنی جداگانه محاسبه می‌شود. استفاده از واحد پاسخ هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی، به‌خصوص زمانی که مناطق مختلف حوضه خاک یا کاربری‌های گوناگون دارند که ناهمگنی و تفاوت آن‌ها می‌تواند در هیدرولوژی حوضه تأثیر داشته باشد، بسیار مفید است. رواناب در هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی به‌طور مستقل محاسبه و روندیابی می‌شود تا در نهایت مقدار کل رواناب حوضه محاسبه شود. این روش دقت محاسبات را افزایش می‌دهد و توصیف فیزیکی بسیار بهتری از بیلان آبی حوضه ارائه می‌کند.

- Antonio River Basin Summer 2002 storm event, *Journal of Environmental Management*, 75(4), 325-336.
- [10]. Li, K.Y. Coe, M.T. Ramankutty, N. and De Jong, R., 2007, Modeling the hydrological impact of land-change in West Africa, *J. of Hydro.*, 337: 258-268.
- [11]. Lirong, S. and Jianyun, Z., 2012, Hydrological Response to Climate Change in Beijiang River Basin Based on the SWAT Model, *Procedia Engineering* 28 (2012) 241 – 245
- [12]. McColl. Chris, & Aggett. Graeme, 2007, Land-use forecasting and hydrologic model integration for improved land-use decision support, *Journal of Environmental Management*, 84(4), 494-512.
- [13]. Meselhe. E, Habib. E, Oche. O, & Gautam. S, 2009, Sensitivity of Conceptual and Physically Based Hydrologic Models to Temporal and Spatial Rainfall Sampling, *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(7), 711-720.
- [14]. Moriasi, D. N. Arnold, J. G. Van Liew, M. W. Binger, R. L. Harmel, R. D. and Veith, T., 2007, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 50 (3), 885-900.
- [15]. Olivera, F., 2001, Extracting Hydrologic Information from Spatial Data for HMS Modeling, *Journal of Hydrologic Engineering*, 6(6), 524-530.
- [16]. Santra, Priyabrata. & Das, Bhabani Sankar., 2013, Modeling runoff from an agricultural watershed of western catchment of Chilika lake through ArcSWAT, *Journal of Hydro-environment Research*, 7(4), 261-269.
- [17]. Sharpley, A. N. and Williams, J. R., 1990, EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator, 1. Model documentation. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Tech. Bull. 1768.
- [18]. Wang, S. Shaozhong, K. Lu, Z. and Fusheng, L., 2008, Modelling hydrological response to different land-use and climate change scenarios in the Zamu River basin of northwest China. *J. Hydro. Proc.*, 22: 2502-2510.
- حوضه می‌شود. در مطالعات آینده می‌توان با نمونه‌برداری از منطقه داده‌های بافت خاک و کاربری اراضی مناسب‌تری را فراهم آورد و تأثیر آن‌ها را در افزایش دقت در برآورد سیلاب مشاهده کرد.
- ### منابع
- [۱]. علیزاده، امین، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ پنجم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۸۰، ۷۳۵ صفحه.
- [۲]. جهانگیر، محمدحسین؛ صادقی، سعید؛ سلیمانی، حدیث. ۱۳۹۳. «تخمین مقدار دبی حداکثر سیلاب با استفاده از روش SCS برای مدیریت اراضی زیرحوضه‌های منطقه کن»، *مجله اکوهیدرولوژی*، دوره ۱، ش ۱، صص ۴۷-۵۷
- [3]. Abbaspour, K. C. Yang, J. Maximov, I. Siber, R. Bogner, K. Mieleitner, J. Zobrist, J. and 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.
- [4]. Abbaspour, K. C., 2011, User Manual for SWAT-CUP4, SWAT Calibration and Uncertainty Analysis Programs, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Duebendorf. Switzerland, from <http://www.eawag.ch>.
- [5]. De Silva, M. Weerakoon, S. & Herath, S., 2014, Modeling of Event and Continuous Flow Hydrographs with HEC-HMS: Case Study in the Kelani River Basin, Sri Lanka. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(4), 800-806.
- [6]. Faramarzi, M. Abbaspour, K. C. Schulin, R. and Yang, H., 2009, Modelling blue and green water resources availability in Iran, *Hydrological Processes*, 23, 486-501.
- [7]. Fleming, M. & Neary, V., 2004, Continuous Hydrologic Modeling Study with the Hydrologic Modeling System, *Journal of Hydrologic Engineering*, 9(3), 175-183.
- [8]. Jahangeer, A. R., Raeini Sarjaz, M., & Ahmadi, M. Z. 2009. Comparison of artificial neural networks (ANN) simulation of rainfall-runoff process with HEC-HMS model in Kardeh watershed. *journal of Soil and Water*, 22(2), 72-84. (In Persian)
- [9]. Knebl, M. R, Yang, Z. L, Hutchison, K. & Maidment, D. R., 2005, Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San