پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال سیزدهم، شماره ۳، زمستان ۱۴۰۳
صص. ۱۱۹-۱۰۴

تخمین دبی روزانه با استفاده از مدل نیمه توزیعی IHACRES در حوضه آبخیز قره سو (کرمانشاه)

مریم بیاتی خطیبی* – استاد ژئومورفولوژی دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، گروه سنجش از دور، دانشگاه تبریز.
وحید کاکاپور – دانشجوی دکتری سنجش از دور ، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، گروه سنجش از دور، دانشگاه تبریز.
مریم صادقی – دانشجوی دکتری سنجش از دور ، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، گروه سنجش از دور، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۱۸ تائید نهایی: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

چکیده

در محدوده های نیمه خشک و خشک که گاه سیلاب های ناگهانی تغییرات عمده ای در بخش های پایین دست حوضه های زهشکی بوجود می آورند ،بررسی محدوده های در معرض خطر سیلاب با استفاده از مدل های هیدرولوژیکی و محاسبه روابط بارش –رواناب، از اهمیت زیادی برخوردار است.با توجه به پیشینه مطالعه می توان گفت که کاربرد مدل های هیدرولوژیکی در محدوده های فاقد ایستگاه های سنجش،مانند حوضه مورد مطالعه ،نتایج موفقیت آمیزداشته است. در حوضه سیل خیز قره سو،به عنوان محدوده مورد مطالعه،به علت فقدان اطلاعات فیزیکی لازم و همچنین عدم امکان اندازه‌گیری های میدانی،از مدل هیدرولوژیکی استفاده شد .در این بررسی،تخمین پارامترها بوسیله برازش خروجی مدل و داده های مشاهده‌ای در یک فرایند سعی و خطا انجام شد.با توجه به این که کاربرد موفقیت آمیز مدل های هیدورلوژیکی بستگی به دقت واسنجی مدل دارد، بنابراین قبل از به کار بردن نتایج مدل واسنجی به منظورافزایش قابلیت اطمینان مدل به دقت انجام شد. ابتدا مدل با داده‌های روزانه دبی ۲۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۰۰) واسنجی گردید و سپس در طول دوره آماری (۲۰۱۰-۲۰۰۱) مورد اعتبارسنجی قرارگرفت در این پژوهش سعی شد با استفاده از مدل بارش- رواناب IHACRES جریان رودخانه‌ای برای حوضه‌ی آبخیز قره‌سو در استان کرمانشاه شبیه‌سازی شود.در مدل IHACRES ۳ متغیر ورودی یعنی بارش روزانه، دمای روزانه و دبی روزانه در نظر گرفته شد .بکارگیری مدل و نتایج شبیه‌سازی بدست آمده نشان داد که در هردو دوره واسنجی و اعتبار سنجی ، مقادیر برآوردی مدل خصوصا در مقادیر دبی اوج کمتر از مقادیر مشاهداتی است. اما در مجموع با توجه به انحرافات کم مدل و شبیه سازی خوب مقادیر دبی حداقل و همچنین براساس دو پارامتر ضریب تعیین (R^2=۰/۶۴۰)در مرحله واسنجی و R^2=۰/۶۲۴ در مرحله اعتبار سنجی و ضریب کارایی C_E=۰/۶۳۹ در مرحله واسنجی وC_E=۰/۶۲۲ در مرحله اعتبار سنجی ،می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد مدل بکارگرفته شده در حوضه مورد مطالعه رضایت-بخش است.

واژگان کلیدی: مدل بارش- رواناب، IHACRES، شبیه سازی، دبی روزانه ، حوضه قره‌سو.

* نویسنده مسئول: E-mail: m_bayati@tabrizu.ac.ir

مقدمه

محدوده های نیمه خشک به دلیل شرایط محیطی،حساسیت زیادی به فرسایش حاصل از به راه افتادن رواناب های ناگهانی و شدید دارند .به راه افتادن رواناب های ناشی از وقوع بارش های گاه شدید می توانند فرسایش سطحی و آبراهه ای زیادی را پدیدآورند. در حوضه هایی که ویژگی های هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی مساعدت لازم را برای بروز سیلاب های بزرگ و ناگهانی فراهم می سازند ،آنچه که باید در مرحله نخست مورد توجه قرارگیرد ،بررسی فرایند بارش و رواناب در حیطه محلی و منطقه ای با توجه به ویژگی ها درگیر در روند جریان رواناب ها است(بیاتی خطیبی ،۱۳۹۹) .در بررسی محدوده های در معرض خطر سیلاب، تخمین دبی و محاسبه روابط بارش –رواناب ازاهمیت زیادی برخوردار است .فرآیند بارش – رواناب فرآیند پیچیده‌ای است که در آن عوامل زیادی دخیل هستند.در حوضه های زهکشی فاقد ایستگاه های سنجش، بررسی چنین فرایندهایی امکان پذیر نبوده مگر اینکه محقق متوسل به مدل های هیدرولوژیکی شود .در حوضه های مستعد که ویژگی های هیدرولوژیکی ،اقلیمی و ژئومورفولوژیکی و نحوه مدیریت زمین، کاملا مساعد برای بروز سیلاب های مهیب است،داشتن علم و آگاهی از نحوه فرآیند بارش –رواناب برای برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب ضروری به نظر می رسد . بنابراین به منظور درک درست این فرآیند باید از مدل سازی استفاده نمود تا با مستندات کمّی شده و در عین حال ساده شده ، مسایل مربوط به هیدروژئومورفولوژی و هیدرولوژی را حل نمود(زاهدی و بیاتی خطیبی ،۱۳۹۹بیاتی خطیبی و کرمی ،۱۳۹۰و زارع ،۱۳۹۰).درحوضه های زهکشی غرب کشورکه معمولا ایستگاه های هیدرومتری به مقدارکافی وجود ندارد،مدل سازی ها و شبیه سازی هیدرولوژیکی در بیشتر موارد تنها راه حل برای مستندسازی برای بررسی های بعدی است .

مدل ها را می توان به‌منظور بررسی و مدیریت منابع آب،برآوردجریان رودخانه،پیش‌بینی سیل و طراحی عملیات مهندسی به دو گروه مدل های یکپارچه و توزیعی طبقه‌بندی کرد(ابوشاندی و مرکل[۱] ،۲۰۱۱) که در بین این مدل ها،مدل IHACRES به دلیل داده های ورودی کم و صرف هزینه و زمان اندک در بسیاری از حوضه های آبخیز به کار برده می شود(لیتل وود و همکاران[۲] ،۱۹۹۷).براساس رویکرد مفهمومی مورد استفاده در مدل IHACRES ،این مدل می‌تواند برای اهدافی مانند بررسی اثرات متغیرهای اقلیمی مانند بارش،دما و نیز تغییرات ضریب جریان مورد استفاده قرار گیرد(کارلکارکانو و همکاران[۳] ،۲۰۰۸).

در زیر حوضه قره سو با توجه به ویژگی های ژئومورفولوژیکی،توپوگرافیکی،پدولوژیکی و هیدرولوژیکی،می توان گفت که ،رواناب سطحی، یکی از دلایل عمده در فرسایش و کاهش حاصل خیزی خاک، رسوب گذاری در مخازن و کاهش کیفیت آب رودخانه می باشد. بنابراین با توجه به ویژگی های ذکر شده از محدوده مورد مطالعه ،به نظر می رسد که ،پیش بینی دقیق پاسخ حوضه به رویدادهای بارش ضروری و از جمله بایدها است و با توجه به ویژگی های اقلیمی حوضه (اقلیم نیمه خشک)و ادامه روند خشکی در حوضه قره‌سو، بررسی فرایند بارش –رواناب بیشتر از پیش اهمیت دارد . علاوه بر موارد ذکر شده ،با توجه به کمبود ایستگاه های هیدرومتری در حوضه ی کوچکی مانند حوضه قره سو و همچنین بخش های بالادست های چنین حوضه ای ،توسعه مدل های که بتواند جریان را در مقیاس روزانه و در نقطه مورد نظر برآورد کند از موارد ضروری است .در حوضه مورد مطالعه که تمرکز مراکز سکونت های انسانی زیاد بوده و سازندهای سطحی هم بسیار فرسایش پذیر هست،مدل سازی های هیدرولوژیکی از نظر بهبود اهداف مدیریتی مرتبط با منابع آب بسیار مهم است.بنابراین می توان گفت که لزوم استفاده از مدل های هیدرولوژیکی در حوضه قره سو بیش از پیش باید مورد توجه

---

[۱] -Abushandi and Merkel

[۲] -Littlewood et al.,

[۳] -Carlacarcano et al.,

قرار گیرد تا بتوان اثرات ایجاد رواناب و وضعیت هیدروگراف های جریان رابرای اهداف بعدی مورد بررسی قرار داد. هدف از این پژوهش نیز مطالعه کارایی مدل IHACRES در بررسی فرآیند بارش -رواناب در مقیاس روزانه در حوضه آبخیز قره‌سو می‌باشد.

پیشینه تحقیق

با عنایت به کارایی مدل مذکور در انواع بررسی ها (با اهداف مختلف)،از مدل بارش –رواناب در بیشتر مناطق دنیا استفاده شده و نتایج قابل قبولی نیزتوسط محققین بدست آمده است .در این مورد به مطالعات دای و کروک[1] (۲۰۰۳)در آفریقای جنوبی می توان اشاره نمود .در این راستا پیش بینی دبی جریان رودخانه ای در حوضه های افریقا جنوبی با استفاده از مدل IHACRES صورت گرفته و کارایی مناسب مدل مذکور در پیش بینی جریان حوضه های کوچک، جریان های با سرعت کم و پیش‌بینی اثرات تغییر کاربری بر دبی مناسب ارزیابی شده است.آبوشاندی و بوردر و مرکل (۲۰۱۱) مدل IHACRES را برای حوضه آبخیز خشکی در شمال شرق اردن به کار بردند.آنها داده های بارش و رواناب ۱۹ واقعه رگبار را در طول سال های ۹۲-۱۹۸۶ در این پژوهش به کار بردند و در این بررسی ، برآورد سیل در مقیاس های روزانه و در مقیاس های واقعه رگبار انجام شد. نتایج برآوردها و بررسی ها نشان داد که عملکرد مدل در مقیاس روزانه ضعیف است ولی در وقایع رگباری توافق خوبی بین دبی مشاهده شده و محاسباتی وجود دارد. خیرفام و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی جریان رودخانه ای را برای حوضه آبخیز چهل چای (استان گلستان) با استفاده از مدل بارش- رواناب IHACRES مورد شبیه سازی قرار دادند. نتایج بررسی ها نشان داد که این مدل قادر به شبیه سازی دبی روزانه برای حوضه آبخیز چهل چای با ضریب همبستگی ۰/۵۱۴ می‌باشد. زارعی و همکاران (۱۳۹۰) طی پژوهشی به شبیه سازی جریان رودخانه در حوضه آبخیز کسیلیان با استفاده از مدل بارش- رواناب IHACRES پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که مدل توانایی شبیه سازی داده های روزانه و ماهانه را با دقت قابل قبولی دارد، ولی قابلیت شبیه سازی داده های سالانه را ندارد. گودرزی و همکاران (۱۳۹۰) برای پیش بینی سیلاب های شهری در حوضه رودخانه اعظم هرات یزد از مدل بارش- رواناب IHACRESاستفاده کردند. نتایج، کارایی ۶۰ درصدی مدل را در پیش بینی وقوع سیلاب در منطقه را نشان می دهد.قاسمیه و همکاران (۱۳۹۴)کارایی مدل IHACRES در شبیه‌سازی روزانه رواناب حوضه ناورود با استفاده از معیارهای ارزیابی ناش- ساتکلیف (NS) و میانگین خطای کل (Bias) مورد بررسی قرار گرفت، نتایج بررسی هانشان داد که مدل دارای دقت قابل قبولی در شبیه سازی جریان حوضه مورد مطالعه است.در سایر زیرحوضه های رودخانه بزرگ کرخه ،مانند رودخانه مرگ ،که تقریبا شبیه به حوضه رودخانه قره سو است ،مطالعاتی با استفاده از مدل Hec –Ras توسط پناهی و همکاران (۱۴۰۰)صورت گرفته است که نتایج نشان دهنده برآورد های مناسب با مدل های شبیه سازی است .

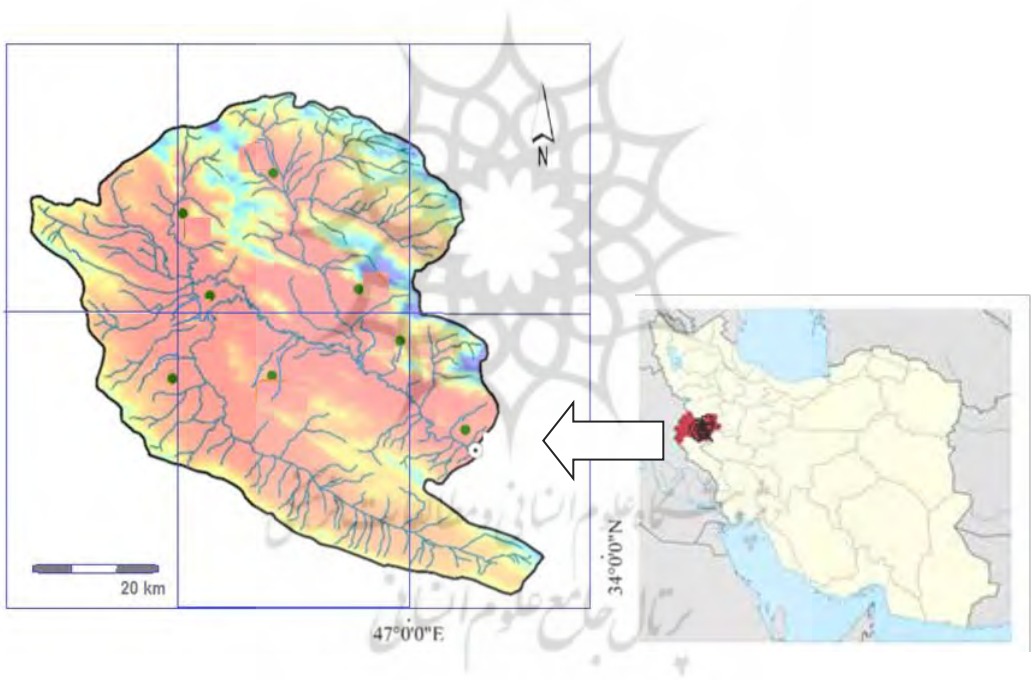
روش تحقیق

معرفی محدوده مورد مطالعه

زیرحوضه قره‌سو در شمال غربی حوضه کرخه و در غرب ایران واقع شده است . مساحت آن برابر ۵۳۵۴کیلومترمربع بوده و حداکثر و حداقل ارتفاع آن به‌ترتیب ۳۳۴۶ و ۱۱۸۰ متر است(شکل ۱). متوسط بارندگی سالیانه این حوضه بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر متغیراست که در دهه های اخیر به میزان قابل توجهی از مقدار آن کاسته شده است .

[1] -Dye and Crocke

رودخانه قره‌سو از به هم پیوستن چند رودخانه کوچک تشکیل می‌شود، اما می‌توان سراب روانسر را مهمترین و اصلی‌ترین سرچشمه آن دانست. رودخانه تشکیل شده از سراب روانسر بعد از طی کردن نزدیک به بیست کیلومتر در نزدیکی روستای شاه گدار به همراه چند رودخانه دیگر به هم می‌پیوندند و تشکیل قره سو را می‌دهند.رودخانه قره‌سو از سراب روانسر واقع در ۵۰ کیلومتری شمال غرب کرمانشاه سرچشمه می‌گیرد و با جهت شمال غربی به جنوب شرقی جریان پیدا می‌کند. در ۱۵ کیلومتری کرمانشاه رودخانه رازآور و شاخه‌های فرعی آن به قره‌سو می‌ریزد. سپس در سطح دشت جریان یافته و در نزدیکی روستای قزانچی رودخانه مِرگ نیز به آن متصل می‌شود. قره‌سو با یک شیب آرام از داخل شهر کرمانشاه عبور کرده (شکل ۲)و در این محدوده دو رودخانه چم‌بشیر و آبشوران نیز بدان می‌ریزند و در نهایت پس از عبور از کرمانشاه در نزدیکی فرامان به رودخانه گاماسیاب می پیوندد، این دو تشکیل رودخانه سیمره را می‌دهد. بعد از رسیدن به دریاچه سد کرخه به دو قسمت تقسیم شده و نیمی به سمت تالاب هورالعظیم در مرز ایران و عراق و نیم دیگر به سمت کارون سرازیر شده و به آبهای خلیج فارس سرازیر می‌شود.



شکل ۱:موقعیت حوضه مورود مطالعه

شکل ۲ :گذر رودخانه قره سو از کرمانشاه

حوضه رودخانه قره سو از سازندهای زمین شناسی متنوعی تشکیل شده است که کهن ترین واحد رخنمون یافته مربوط به سنگ های کرتاسه پایینی است .بخش پایین این واحد شامل دولومیت و سنگ های آهکی و دولومیتی و سنگ های آهکی همراه با آمونتیت های کوچک است .

خاک های بافت ریز با بیرون زدگی های سنگی محدوده قابل توجهی از حوضه را پوشانده اند و بیشتر خاک های محدوده مورد مطالعه Entisols و برونزدهای سنگی است. معمولا این نوع خاک ها که با پوشش گیاهی متراکم پوشیده نمی شوند در معرض فرسایش خندقی و فرسایش شیاری هستند(بیاتی خطیبی ،۱۳۹۰) .و در عین حال سریع تر رواناب ها را در سطح خود تشکیل می دهندو فرسایش می دهند(شکل۳) .البته در بخش هایی از حوضه می توان Inceptisols , Vertisols را هم مشاهده کرد که از نظر ویژگی های فرسایشی و هیدرولوژیکی چندان تفاوتی با خاک های نوع اول که ذکر شد ندارند.

شکل ۳ :خاک های محدوده مورد مطالعه

مراحل تحقیق

الف–داده های تحقیق

در حوضه آبخیز قره‌سو تعداد محدودی ایستگاه تبخیرسنجی و باران سنجی وجود دارد که در این پژوهش سعی شد از داده های آنها استفاده شود.. در این تحقیق داده‌های پایه مورد استفاده شامل داده‌های مشاهداتی دما، بارش و رواناب در

دوره ۱۹۸۱تا ۲۰۲۰ میلادی از ایستگاه‌های منتخب منطقه می‌باشد .برای متغیر دما داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه به عنوان مبنا انتخاب گردید .با توجه به اختلاف رقوم این ایستگاه و رقوم متوسط حوضه قره سو، با استفاده از گرادیان دما و ارتفاع، داده‌های دمای مربوط به متوسط حوضه محاسبه گردید. برای متغیر بارش نیز پس از کامل کردن داده‌های روزانه برای ۷ ایستگاه موجود، بارش روزانه متوسط حوضه از طریق لحاظ نمودن رقوم هر ایستگاه نسبت به رقوم متوسط حوضه بدست آمد.داده های هیدرومتری واقع در حوضه بخصوص ایستگاه خروجی مورد استفاده قرار گرفت .ایستگاه هیدرومتری قره‌باغستان واقع در خروجی حوضه قره‌سو به عنوان ایستگاه مبنا برای مشاهده تغییرات رواناب حوضه انتخاب گردید جدول(۱).در کل از داده های ۸ ایستگاه برداشت و سنجش داده ،بهره گیری شد که بخشی از این ایستگاه ها سینوپتیک،بخشی باران سنجی و ایستگاه خروجی هم هیدرومتری بود .

جدول ۱: نام ایستگاه‌ها در محدوده حوضه قره‌سو

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
اسلام‌آباد غرب	سینوپتیک	۴۶/۴۰	۳۴/۷۱	۱۳۴۹
کرمانشاه	سینوپتیک	۴۷/۰۹	۳۴/۲۱	۱۳۱۸
روانسر	سینوپتیک	۴۶/۳۹	۳۴/۴۳	۱۳۸۰
سر فیروزآباد	باران‌سنجی	۴۷/۳۵	۳۴/۰۶	۱۶۴۰
حجت‌آباد	باران‌سنجی	۴۷/۰۱	۳۴/۴۸	۱۳۳۰
کاشنبه لک	باران‌سنجی	۴۶/۶۳	۳۴/۲۸	۱۵۰۰
پل‌کهنه	باران‌سنجی	۴۷/۱۳	۳۴/۳۳	۱۲۸۴
قره‌باغستان	هیدرومتری	۴۷/۱۵	۳۴/۱۴	۱۲۸۰

ب–ساختار مدل IHACRES

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

IHACRES یک مدل یکپارچه مفهمومی و متریک برای شبیه سازی بارش–رواناب می‌باشد.که توسط جیمکن توسعه یافت.این مدل به پنج تا هفت متغیر برای واسنجی نیاز دارد و برای اجرای در حوضه های بزرگ مناسب است. در این مطالعه از نسخه ۲/۱ این نرم افزار استفاده شده است که برای حوضه های دارای داده های بارش پیوسته بارش، دما و رواناب کاربرد دارد.این مدل طبق شکل (۴) شامل دو بخش به هم پیوسته غیر خطی و خطی است که به ترتیب برای محاسبه ی تلفات و تبدیل بارش به رواناب کاربرد دارد(کروک و همکاران[۱] ۲۰۰۵ و مک اینتیره و القریشی[۲] ،۲۰۰۹). همانطور که از شکل(۴) مشخص است، این روش از مدل غیر خطی کاهش که طی آن بارندگی به بارندگی موثر تبدیل می‌شود و مدول خطی هیدروگراف که بارندگی موثر را به رواناب تبدیل می کند ،تشکیل شده است. در این روش ابتدا بارش rk و دما tk در هر گام زمانی k توسط مدول غیر خطی، به بارندگی موثر uk تبدیل شده و سپس بوسیله مدل خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در هر گام زمانی k تبدیل می‌شود.

شکل ۴: ساختار کلی مدل IHACRES ایوانتز و جیکمن (۱۹۹۸)

بخش غیر خطی (تبدیل بارندگی به بارش موثر)

در این بخش، بارش موثر از حاصل ضرب بارش کل در شاخص رطوبت خاک حوضه در هر بازه زمانی محاسبه می‌شود.رابطه (۱):

$$uk=[c(\emptyset k-l)]^{P}\times rk \qquad [۱]$$

که در آن c ضـــریب تعادل حجم بارش، l آســـتانه شـــاخص رطوبت خاک، P فاکتور واکنش غیر خطی و rk بارش مشاهداتی می‌باشد. $\emptyset k$ شاخص رطوبت خاک است که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می شود.

[۱] -Croke et al.,

[۲] -McIntyre and Al -Qureshi

$$\text{Øk}=\text{rk}+(1-\frac{1}{\tau k})\text{Øk-1} \quad [۲]$$

حاصل عبارت $[c(\text{Øk-l})]^{P}$ را می توان به عنوان ضریب رطوبتی کل حوزه در نظر گرفت (sk). مقدار این ضریب می تواند بین ۰ و ۱ متغیر باشد.هرچه حوزه قبل از بارندگی مرطوب تر باشد،مقدار تبدیل بارندگی به بارش موثر بیشتر خواهد بود. و در نتیجه ضریب sk به۱ نزدیکتر خواهد شد

در این رابطه τk پارامتر شدت خشکی خاک است و به عنوان تابعی از دما در نظر گرفته میشود .برای محاسبه آن از رابطه (۳) استفاده می‌شود.

$$\tau k=\tau we(f(Tref-Tk)\times 0.062) \quad [۳]$$

که در آن τw شدت خشکی خاک مبنا، f تابع تعدیل دما(تأثیر تغییر یک واحد دما بر تلفات)، $Tref$ دمای مرجع و Tk دما در بازه مورد نظر می‌باشند .بعد از محاسبه بارش مؤثر، هیدروگراف واحد کل با استفاده از بخش خطی در مدل محاسبه می‌گردد.

- بخش خطی (تبدیل بارش مؤثر به رواناب)

بخش خطی مدل IHACRES دارای سه پارامترTq ، Ts و Vs میباشد .ترکیب دو مؤلفه جریان سریع x_k^q و جریان آهسته x_k^s منجر به تولید رواناب xk می شود که بر اساس روابط(۴) تا (۶) قابل محاسبه است.

$$x_k=x_k^q+x_k^s \quad [۴]$$

$$x_k^s=-\alpha_s x_{k-1}^s+\beta_s u_k \quad [۵]$$

$$x_k^s=-\alpha_s x_{k-1}^s+\beta_s u_k \quad [۶]$$

که در این روابط، αq و βq به ترتیب ثابت زمانی جریان سریع و αs و βs ثابت زمانی جریان آهسته می‌باشند و با استفاده از روابط(۷) و(۸) قابل محاسبه هستند.

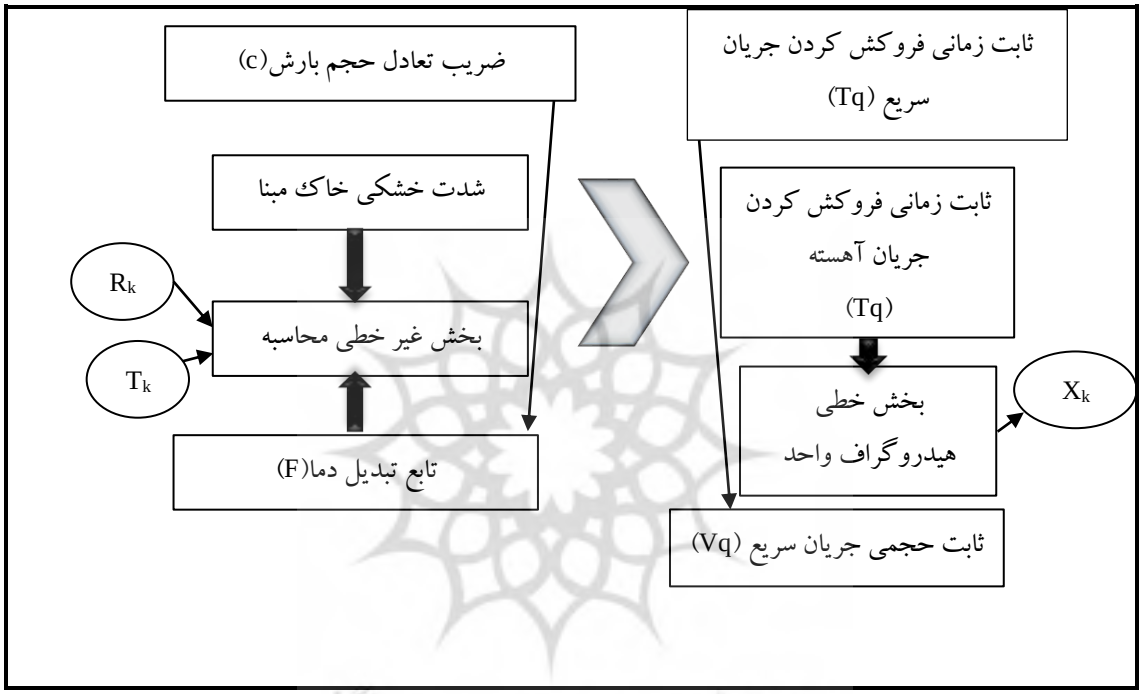
$$\tau_q=\frac{-\Delta}{\ln(-\alpha q)} \quad [۷]$$

$$\tau_s=\frac{-\Delta}{\ln(-\alpha s)} \quad [۸]$$

در روابط فوق، Δ بازه زمانی و τq و τs ثابت زمانی فروکش برای جریان سریع و آهسته در مخازن متوالی میبا شند .

درنهایت نسبت حجمی جریان سریع و آهسته، از رابطه (۹) محاسبه می‌گردد:

$$Vq=1-Vs=\frac{\beta q}{1+\alpha q}=1-\frac{\beta s}{1+\alpha s} \qquad [۹]$$



شکل ۵: مراحل مختلف شبیه‌سازی رواناب را با استفاده از مدلIHACRES

کلیه مراحلی که ذکر شد در شکل ۵ نشان داده شده است .

در واسنجی مدل IHACRES ، مقادیر ثابت زمانی خشکی حوضه (τw) فاکتور تعدیل دما (f) در بخش غیر خطی مدل به صورت دستی انتخاب شدند و مقادیر پارامترها در بخش شبیه‌سازی جریان و ثابت ذخیره حوضه$(\frac{1}{c})$ محاسبه گردیدند.

در ارزیابی نتایج شبیه‌سازی پیوسته جریان در مدل، از معیارهای آماری مختلفی استفاده شد که در روابط ارائه شده‌اند .در رابطه(۹) معیار ضریب تعیین بر اساس رابطه میان مجذور مربع خطا و واریانس مقادیر مشاهداتی بیان می‌گردد .این معیار برای ارزیابی مقادیر خطا در دبی‌های بالا به کار می‌رود .سایر معیارها بر اساس معیار ضریب تعیین استوار هستند، با این تفاوت که مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر ریشه مربعات رابطه (۱۰)، لگاریتم رابطه (۱۱) و عکس مقادیر رابطه (۱۲) جایگزین شده‌اند و برای ارزیابی مقادیر خطا در جریان های کم مناسب‌تر هستند(کروک و همکاران ،۲۰۰۸ و لیتلوود و همکاران ،۲۰۰۷). مقادیر معیارهای خطای نسبی و مجذور میانگین مربعات خطا در رابطه(۱۳) و(۱۴) محاسبه شده‌اند در معیار خطای نسبی، قدر مطلق اختلاف نسبی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به صورت درصد بیان می‌گردد .در هر دو

معیار مذکور، مقادیر کمتر نشان‌دهنده خطای پایین‌تر مدل در برآورد دبی جریان می‌باشد .در معیار ضریب کارایی رابطه (۱۵) هر چه مقدار ضریب محاسبه شده به ۱ نزدیکتر باشد، توانایی مدل را بهتر نشان خواهد داد.

$$Rsqrt=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i^o-Q_i^m)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i^o-\overline{Q^o})^2} \quad (۹)$$

$$R^2\ sqrt=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(\sqrt{Q_i^o}-\sqrt{Q_i^m})^2}{\sum_{i=1}^{n}(\sqrt{Q_i^o}-\overline{\sqrt{Q^o}})^2} \quad (۱۰)$$

$$R^2\log=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(\ln(Q_i^o+\varepsilon)-\ln(Q_i^m+\varepsilon))^2}{\sum_{i=1}^{n}(\ln(Q_i^o+\varepsilon)-\overline{\ln(Q^O+\varepsilon)})^2} \quad (۱۱)$$

$$R_{inv}^2=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(\frac{1}{Q_i^o+\varepsilon}-\frac{1}{Q_i^m+\varepsilon})^2}{\sum_{i=1}^{n}(\frac{1}{Q_i^o+\varepsilon}-\frac{1}{Q_i^m+\varepsilon})^2} \quad (۱۲)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i^o-Q_i^m)^2}{n}} \quad (۱۳)$$

$$MAE=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Q_i^m-Q_i^o\right| \quad (۱۴)$$

$$C_E=\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i^o-\overline{Q^o})^2-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i^o-\overline{Q_i^m})^2}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i^o-\overline{Q^o})^2} \quad (۱۵)$$

در این روابط، Qo داده‌های مشاهداتی، $\overline{Q_o}$ میانگین داده های مشاهداتی، Q_m داده های شبیه‌سازی شده، ε مقداری است که برای داده‌های صفر مشاهداتی در نظر گرفته می‌شود و n تعداد مشاهدات است .مقادیر عددی ضریب تعیین بین منفی به نهایت و ۱ متغیر است و مقدار ۱ نشان‌دهنده تطابق کامل داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد .هر چه مقادیر MAE و$RMSE$ به صفر و سایر ضرائب به ۱ نزدیکتر باشد، تناسب بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی بیشتر خواهد بود.

بحث و یافته‌ها

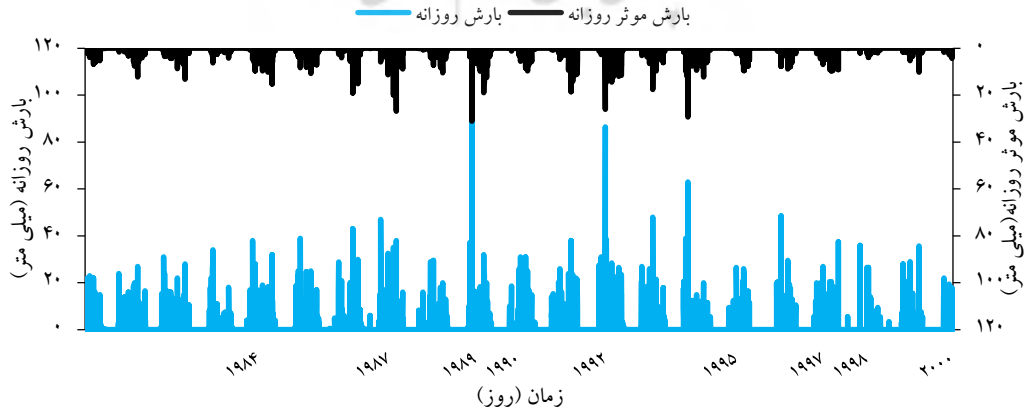
شکل های ،۷، ۶, ۸ نتایج اجرای مدل IHACRES را برای شبیه‌سازی رواناب در دوره واسنجی نشان داده است .در مرحله واسنجی از بین ۴۰ سال داده روزانه شبیه سازی شده ۲۰ سال به عنوان دوره واسنجی توسط مدل انتخاب شده است .مقادیر واقعی حجم جریان مشاهداتی در دوره زمانی ۲۰۰۰-۱۹۸۱ در این شکل به همراه مقادیر پیش‌بینی شده حجم جریان مشخص شده است .همچنین مقدار بارش مؤثر روزانه برای تمام روزها بر اساس پارامترهای تخمینی توسط مدل، تعیین‌شده است . مقادیر پارامترهای شدت خشکی، فاکتور تعدیل دما، رطوبت ذخیره‌ای، ثابت زمانی کاهش پاسخ جریان سریع، آستانه شاخص رطوبت خاک و نسبت حجمی جریان آهسته، مربوط به مرحله واسنجی در جدول (۲) ارائه شده اند. این پارامترها برای منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۴/۹ روز ،۲/۶ درجه سانتی‌گراد،۰/۱۳ میلی‌متر،۱۲/۴۳روز،۰/۱۱ و ۰/۹ محاسبه شده‌اند.

مقدار متو سط بارش مؤثرروزانه پیش‌بینی شده در مرحله وا سنجی مدل۰/۳۶میلی‌متر تخمین زده شد. در حالت کلی مقدار بارش مؤثر روزانه در این مرحله بین ۰ تا ۳۱/۱۲ میلی‌متر در نوسان بود که با شرایط طبیعی منطقه تطابق نزدیکی دارد.

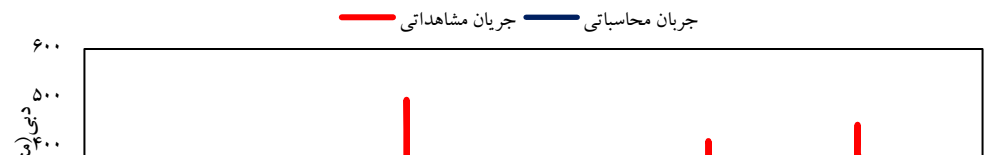
جدول ۲:جزئیات مقادیر پارامترهای به دست آمده در مرحله واسنجی مدلIHACRES

پارامتر	شدت خشکی (روز)	فاکتور تعدیل دما (^0C)	رطوبت ذخیره‌ای(mm)	ثابت زمانی کاهش پاسخ جریان سریع(روز)	شاخص آستانه رطوبت خاک (بدون بعد)	نسبت حجمی جریان آهسته (بدون بعد)
اندیس	τk	F	Q_k	Tq	l	Vs
مقدار	۴/۹	۲/۶	۰/۱۳	۱۲/۴۳	۰/۱۱	۰/۹

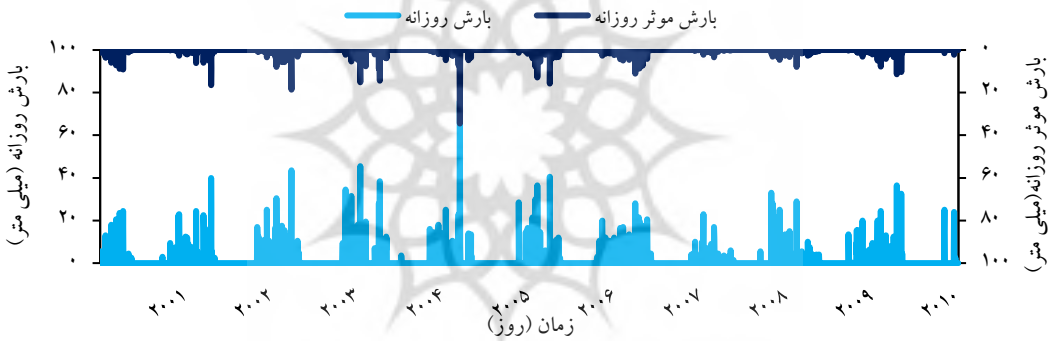
نتایج مربوط به مرحله صحت سنجی مدلIHACRES نیز در شکل(۶) و (۷) نشان داده شده است مقدارمتوسط بارش مؤثرروزانه به طور متوسط در مرحله صحت‌سنجی ۰/۲۳ میلی‌متر می‌باشد. نتایج ارزیابی آماری مربوط به مراحل واسنجی و صحت سنجی مدل IHACRES در جدول ۳مشخص شده است.



شکل۶: بارش روزانه مشاهداتی و بارش موثر مدل در مرحله واسنجی



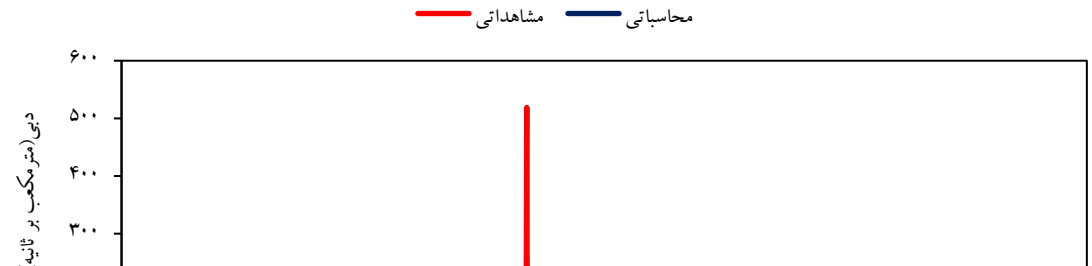
شکل ۷:. سری زمانی رواناب مشاهداتی و پیش‌بینی شده در مدل IHACRES برای مرحله واسنجی



شکل ۸: بارش روزانه مشاهداتی و بارش موثر مدل در مرحله صحت سنجی

جدول۳:مقادیر معیارهای ارزیابی مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES برای شبیه‌سازی رواناب

معیار ارزیابی	مرحله واسنجی	مرحله صحت‌سنجی
ضریب تعیین (R sqrt)	۰/۶۴۰	۰/۶۲۴
ریشه مربعات خطا (R2 sqrt)	۰/۷۰۹	۰/۵۸۴
لگاریتم مربعات خطا (R2 log)	۰/۶۷۱	۰/۴۹۷
عکس مربعات خطا (R2 inv)	−۰/۱۵۰	−۰/۶۸۵
میانگین قدر مطلق خطا (MAE)	۹/۳۲	۶/۴۰
مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)	۱۸/۹۱	۱۳/۰۴
ضریب کارایی (C_E)	۰/۶۳۹	۰/۶۲۲



شکل۹:سری زمانی رواناب مشاهداتی و پیش‌بینی شده در مدل IHACRES برای مرحله صحت سنجی

مقادیر جریان روزانه شبیه سازی شده و اندازه گیری شده برای مرحله واسنجی از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۱۰در شکل ۷ ارائه شده است.نتایج حاکی از این است که به غیر از سال های ۱۹۷۷،۱۹۹۴ و ۱۹۹۷ در تمامی سال ها ،نتایج مشاهداتی و نتایج محاسباتی انطباق مناسبی را نشان می دهد. بر اساس اطلاعات حاصل از شکل ۳می توان گفت که نتایج شبیه سازی مدل در ایستگاه های مختلف انتخابی دارای تطابق بیشتری است.در این تحقیق علاوه از شبیه سازی ،نتایج حاصل از شبیه سازی جریان در مرحله واسنجی مدل بر اساس روابطی که ارایه شد ،مورد ارزیابی قرارگرفت. با استفاده از اطلاعات مندرج در جدول ،۳در هر یک از ایستگاه ها مقادیر معیارهای ارزیابی قابل مشاهده است. با توجه به آستانه مقادیر مورد قبول ضریب تعیین در ارزیابی مدل می توان گفت که نتایج شبیه سازی قابل قبول میباشد. بنابراین، غیراز نتایج شبیه سازی بعضی از ایستگاه ها ،در سایر ایستگاه ها نتایج قابل قبول میباشد. نتایج مرحله واسنجی و اعتبارسنجی نشان میدهد که هیدروگراف های روزانه تخمینی و مشاهده ای در اکثر ایستگاه ها و در هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی، مقادیر برآوردی مدل خصوصاً در مقادیر دبی اوج کمتر از مقادیر مشاهداتی است. لازم به ذکر است که وجود خطا در روش های تعیین بارش منطقه ای مشکلی است که باید در استفاده از آن در مدلسازی جریان مورد توجه قرار گیرد که بخشی از خطای موجود در نتایج مدل را می توان به روش مورد استفاده در برآورد بارش منطقه ای و یا تراکم کم ایستگاه های بارانسنجی در منطقه مورد مطالعه این تحقیق نسبت داد.

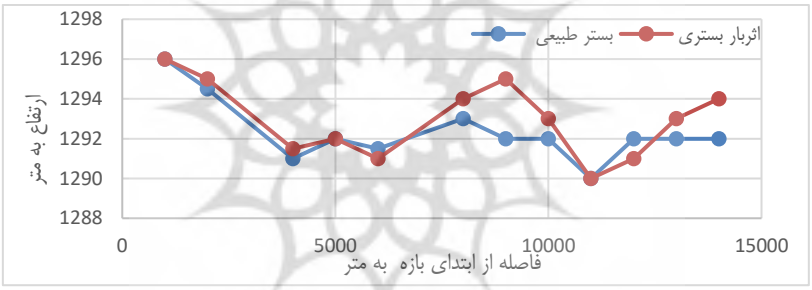
با توجه به نتایج حاصل می توان گفت که در حوضه زهکشی مانند قره سو که سیل خیز بوده و از نظر فرسایش سطحی و آبراهه ای در حد بسیار حساس قرار دارد و همچنین با در نظر گرفتن وجود مراکز تجمع انسانی که وقوع سیل را در مرکز توجه قرار می دهد ،استفاده از چنین مدلی که نتایج قابل قبولی ارایه می دهد، بسیار مناسب به نظر می رسد .علاوه براین می توان در مسایل مدیریت حوضه ها و فرسایش خاک که در کنار مسایل مهار سیلاب ها از اهمیت زیادی برخوردار است ،دبی را با توسل به مدل بارش – رواناب تخمین زد و بر اساس آن در حوضه های فاقد ایستگاه براساس سوابق وقوع بارش های رخداده ،در مورد رخداده های دبی منجر به سیل اظهار نظر نمود.

باید همواره در نظر گرفت که اوج سیلاب ها در حوضه های حفاظت نشده، با اوج فرسایش خاک ها نیز همراه هست .در محدوده های کوهستانی که شیب، انرژی کافی به فرسایش روانابی را می دهد ،فرسایش خاک از موضوعات مورد توجه در وقوع تغییرات ژئومورفولوژی در مسیر رودخانه ای مانند رودخانه قره سو است .در حوضه قره سو که خاک حوضه اصولا فرسایش پذیر است ،بارش های منجر به ایجاد رواناب،می توانند باربستری را افزایش دهد(جدول۴ و شکل۱۰)که این امر نیز موجب تغییر در بستر طبیعی در طول رودخانه می شود.تنگ شدگی ،بالاآمدگی بستر ،انحراف از مسیر اصلی

وفرسایش بستر از جمله این تغییرات است. در بخش های تنگ شدگی مسیر رودخانه (به هر علتی)قدرت سیلاب ها افزایش یافته و توان فرسایشی و تخریبی آن نیز صدچندان می شود. این سیلاب ها در مسیری از رودخانه قره سو که شهر کرمانشاه نیز در بخشی از آن قرار دارد، منجر به بروز خسارات سنگین ناشی از سیلاب و فرسایش می گردد. محاسباتی که در مسیر رودخانه قره سو از نظر حجم رسوبگذاری و فرسایش صورت گرفته و مطالعاتی که با هدف اثبات تغییراتی که در اثرافزایش باربستری در مسیر رودخانه رخداده انجام شده ،خود حاکی از بروز رواناب هایی ناشی از وقوع بارندگی ها و افزایش رسوب در حوضه های بشدت آشفته شده توسط انسان است که می توان با بکارگیری مدل های بارش –رواناب در چنین حوضه هایی برآوردهای اولیه از دبی رودخانه ها را ارایه داد .

جدول ۴:محاسبه حجم رسوبگذاری و فرسایش با روش های مختلف در بازه ۵ ساله درمسیرقره سو (قبادیان و رحیمی فر،۱۳۹۵ص۴۷)

روش	حجم فرسایش به مترمکعب	حجم رسوب به متر مکعب
پارکر	۹۸۵۱۶۰	۱۱۳۷۰۱۵
پیتر	۱۳۱۳۴۴۲	۱۴۵۸۱۶۷
ویلسون	۱۶۹۴۸۹۴	۱۸۷۴۱۰۰



شکل ۱۰:تغییرات در باربستر و بستر طبیعی در مسیر قره سو(برگرفته از قبادیان و رحیمی فر،۱۳۹۵ ص۴۷)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نتیجه گیری

به طورکلی مقادیر ضرائب آماری در مرحله واسنجی به دلیل طول دوره آماری بیشتر، مقادیر بهینه‌تری را نسبت به مرحله صحت‌سنجی از خود نشان دادند . مقدار ضرائب تعیین در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب۰/۶۴۰و ۰/۶۲۴به دست آمد. کیم [۱] بیان نموده است اگرمقدار ضریب تعیین در ارزیابی مدل بزرگتر و مساوی ۰/۷۵ باشد نتایج خوب واگراین مقادیر بین ۰/۳۶تا ۰/۷۵باشد نتایج قابل قبول خواهد بود. با توجه به این مسئله مدل توانسته جریان را تا حد قابل قبولی شبیه سازی کندکه با نتایج جیکمن و همکاران،کارلا کارکانو وهمکاران[۲] ، خیرفام و همکاران وگودرزی و همکاران مبنی بر کارایی مدل در شبیه سازی جریان مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که هیدروگراف‌های روزانه تخمینی

[۱] -Kim

[۲] -Carlacarcano et al.,

و مشاهده‌ای ایستگاه در هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی خصوصاً در مقادیر دبی اوج کمتر از مقادیر مشاهداتی است،،که شاید یکی از دلایل آن درنظر نگرفتن رواناب ناشی از ذوب برف توسط مدل در منطقه باشد که نتیجه مشابهی در این خصوص توسط خیرفام و همکاران و زارعی و همکارانگزارش شد. پارامتر $V(s)$ نشان دهنده مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه ای می باشد و مقادیر زیاد این پارامتردر این تحقیق نشان دهنده وجود جریان پایه بیش تر در رودخانه است. C حجم رطوبت ذخیره شده در حوزه بر حسب میلی متر است و نشان دهنده سرعت واکنش حوزه آبخیز نسبت به بارش می باشد .اگر مقدار پارامتر بالا کم تر باشد یعنی حوزه واکنش آهسته تری نسبت به بارش نشان می دهد .مقدار به دست آمده برای این عامل در این حوزه بالا بوده و بنابراین حوزه نسبت به بارش با سرعت بیشتری واکنش نشان می دهد، که علت آن را احتمالاً می توان تغییر کاربری حوزه دانست که باعث سرعت در تولید جریان می‌شود .زارعی و همکاران درکسیلیان و لیتلوود و همکاران[1] در برزیل به مقادیر بیش تری از این پارامتر دست یافته بودن که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. پارامترt^q (ثابت زمانی کاهش پاسخ جریان سریع) نشان دهنده مدت زمانی است که طول می کشد تا جریان سریع کاهش یابد، هرچه مقدار این پارامتر بیشتر باشد حوضه دیرتر به جریان پاسخ داده و دیرتر جریان سریع کاهش می یابد، این پارامتر برای حوضه مورد مطالعه ۱۲/۴۳ روز برآورد گردید از آنجا که پارامتر(ثابت زمانی کاهش پاسخ جریان آهسته)۲۵/۸۳ روز برآورد گردید بنابراین می توان نتیجه جریان آهسته در زمان کوتاه تری به جریان سریع پاسخ می دهد و مدت زمان بیشتری نیاز است تا جریان آهسته حوضه تقلیل یابد

بدیهی است پارامترهای به دست آمده توسط این مدل بر اساس شرایط مناطق مختلف باید به صورت جداگانه و بر اساس کالیبراسیون مجدد مدل تعیین گردند. در کل با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت که مدل جریان های کم حوضه را به خوبی شبیه سازی می‌کند، اما در شبیه سازی جریان های حداکثر توانایی کمی دارد و مقادیر کم تری را شبیه سازی می کند .اما در مجموع با توجه به انحرافات کم مدل و شبیه سازی خوب مقادیر حداقل می توان گفت عملکرد مدل در حوضه مورد مطالعه رضایت بخش می باشد و می توان از این مدل به دلیل کاربری آسان، ورودی های محدودتر و کاهش صرف زمان با توجه به سطح دقت نشان داده شده آن در این مطالعه در زمینه های مختلف از جمله ارزیابی و تخمین اثرات هیدرولوژی ،پیش بینی رواناب برای دوره های آتی استفاده نمود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- بیاتی خطیبی ،م و کرمی ،ف ،۱۳۹۰.ژئومورفولوژی خاک ،انتشارات سمت ،تهران ،ایران .(کتاب فارسی)
- زاهدی ،م و بیاتی خطیبی ،م ،۱۳۹۹.هیدرولوژی ،انتشارات سمت ،تهران ،ایران ،(کتاب فارسی).
- خیرفام، ح .، ر . مصطفی‌زاده و س .ح. ر. صادقی .۱۳۹۰. تخمین دبی روزانه با استفاده از مدل *IHACRES* در برخی از حوزه‌های آبخیز استان گلستان، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز۴:(۷) ۱۱۴ –۱۲۶
- سادات آشفته، پ .، ر. ع و . مساح بوانی. ۱۳۸۷. تأثیر تغییر اقلیم بر دبیهای حداکثر (مطالعه موردی حوضه آیدوغموش –آذربایجان شرقی)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک(۵۳) : ۳۹ –۲۵
- شاهویی ،و ، پرهمت ،ج .۱۳۹۰. ارزیابی و مقایسه دو مدل یکپارچه *AWBM* و نیمه توزیعی *SWAT* در شبیهسازی رواناب ماهانه رودخانه قرهسو در استان کرمانشاه،مجله محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۵، شماره ۱، صص ۲۰–۴۰.

[1] -Littlewood et al

- زارع، م. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل بارش–رواناب *IHACRES* در تعدادی از حوضه‌های آبخیز کشور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ، دانشکده منابع طبیعی
- زینی وند،ح .۱۳۹۳. تحلیل تأثیر مقادیر مختلف بارش روزانه بر مقدار رواناب در حوضهٔ آبخیز قره سو در استان کرمانشاه اکوهیدرولوژی،دورهٔ ۱، شمارهٔ ۲، پاییز ۱۳۹۳ ، ص ۱۴۳–۱۵۲
- قاسمیه، ه.، س.ه. صادقی و س.ج. ساداتی نژاد. ۱۳۹۴. ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژیکی *IHACRES* درمناطق مرطوب (مطالعه موردی حوضه ناورود، گیلان)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب وخاک(۱۹) : ۸۲ –۷۳
- قبادیان ،ر.،رحیمی فرح.۱۳۹۵.مدلسازی عددی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در رودخانههای آبرفتی (مطالعه موردی :رودخانه قرهسو در استان کرمانشاه).جلد۲۶،شماره ۳/۱ ،۳۵–۴۹.
- گودرزی، م ،. ر. ذهبیون، ب. مساح بوانی و ر. ع. کمال . ۱۳۹۱. مقایسه عملکرد سه مـدل هیـدرولوژی *IHACERS* ، *SWAT*، *SIMHYD* در شبیه‌سازی رواناب حوضه قره‌سو، مجله مدیریت آب و آبیاری ۲:(۱) ۴۰ –۲
- حسین بانژاد، ح ، کمالی،م ،امیر مرادی،ک ،۱۳۹۲. تخمین برخی پارامترهای کیفی رودخانه ها با استفاده از مدل هیبرید شبکه های عصبی– موجکی)منطقه مطالعاتی: رودخانه جاجرود تهران و قره سو کرمانشاه،مجله سلامت و محیط، فصلنامه ی علمی پژوهشی ،انجمن علمی بهداشت محیط ایران،دوره ششم, شماره سوم, پاییز ۱۳۹۲ , صص ۲۷۷ تا ۲۹
- حسینی ،م ، باقر ،ب ، زارع ،آ .۱۴۰۰.شبیه سازی بیلان آبی حوضه آبخیز قره سو استان کرمانشاه شبیهسازی سیلابهای رودخانه مِرگ با استفاده ازمدل هیدرولیکی *HEC_RAS* ،پژوهشهای دانش زمین، سال دوازدهم، شماره ۴۸ ، زمستان ۱۴۰۰ ، صفحات ۴۵–۶۰.
- محمدی ،غ،برنا،ر، اسدیان،ف .۱۳۹۹ . تحلیل پتانسیل سیلخیزی حوضهٔ آبریز قرهسو در استان کرمانشاه ،جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و ششم، – ۱ صص ۳۲ .
- *Abushandi, E. and B. Merkel. 2011. Rainfall Estimation over the Wadi Dhuliel arid Catchment, Hydrology. Earth System. Sci. Discuss. 8: 1665-1704.6*
- *Book: Beven, K. J. 2000. Rainfall-Runoff Modeling. John Willey and Sons Ltd, England, 200 pp*
- *291-307.*
- *Booij, M. J. 2002. Appropriate modeling of climate change impacts of river flooding, Ph.D. Thesis, University Twente, Netherlands, 179 pp.*
- *Carlacarcano, E. P. Bartolini., M. Muselli and L. Piroddi. 2008. Jordan recurrent Neural Network versus IHACRES in Modelling Daily Streamflows, J. of Hydrology 362: 291–307.*
- *Croke, B. F. W., F. Andrews., J. Spate and S. M. Cuddy. 2005. IHACRES user guide Technical Report. ICAM, School of Resources, Environment and Society, the Australian National University, Canberra.*
- *Croke, B. F. W. and A. J. Jakeman. 2008. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi-arid regions Cambridge University Press, Cambridge, pp. 41-48.*
- *Day, P.J. and Croke, B.F.W. 2003. Evolution of stream flow predictions by the IHACRES rainfall-runoff model in two South African catchments. J. Environ. Model. Software. 18: 705-712.*
- *Dye, P. J. and B. F. W. Crock. 2003. Evaluation of Stream flow Predictions by the IHACRES Rainfall-Runoff Model in two South African Catchments, Environmental Modelling & Software 18: 705-712*
- *Evans, J.P. and Jakeman, A.J. 1998. Development of a simple, catchment scale, rainfall evapotranspiration-runoff model. Environmental Modeling and Software, 13: 385-393.*
- *Jakeman, A.J. and Hornberger, G.M. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall runoff model Water Resources Research, 29: 2637-2649.*
- *Kim, H. S. 2015. Application of a base flow filter for evaluating model structure suitability of the IHACRES CMD. J. Hydro. 521: 543-555.*

- *Littlewood, I. G., R. T. Clarke, W. Collischonn and B. F. W. Croke. 2007. Predicting daily stream flow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments. Environ. Modell. Software. 22: 1229-1239.*
- *McIntyre, N. and A. Al-Qureshi. 2009. Performance of ten rainfall-runoff models applied to an arid catchment in Oman. Environ. Modell. Software. 24: 726-738.*
- *Zarei, M., M. Ghanbarpour, Habibnezhad Rohan, M. and K. Shahedi .2010. Calibration and evaluation of IHACRES hydrological model to simulate runoff, J. Water Soil Agric. Sci. Tech. 25: 104-114.*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی