

## 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 آمیز داشته است. در حوضه سیل خیز قره سو، به عنوان محدوده مورد مطالعه، به علت فقدان اطلاعات فیزیکی لازم و همچنین عدم امکان اندازه گیری های میدانی، از مدل هیدرولوژیکی استفاده شد. در این بررسی، تخمین پارامترها بوسیله برازش خروجی مدل و داده های مشاهده ای در یک فرایند سعی و خطا انجام شد. با توجه به این که کاربرد موفقیت آمیز مدل های هیدرولوژیکی بستگی به دقت واسنجی مدل دارد، بنابراین قبل از به کار بردن نتایج مدل واسنجی به منظور افزایش قابلیت اطمینان مدل به دقت انجام شد. ابتدا مدل با داده های روزانه دبی ۲۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۰۰) واسنجی گردید و سپس در طول دوره آماری (۲۰۱۰-۲۰۰۱) مورد اعتبارسنجی قرار گرفت در این پژوهش سعی شد با استفاده از مدل بارش-رواناب IHACRES جریان رودخانه ای برای حوضه ی آبخیز قره سو در استان کرمانشاه شبیه سازی شود. در مدل IHACRES ۳ متغیر ورودی یعنی بارش روزانه، دمای روزانه و دبی روزانه در نظر گرفته شد. بکارگیری مدل و نتایج شبیه سازی بدست آمده نشان داد که در هر دو 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 ( $R^2=0/640$ ) در مرحله واسنجی و  $R^2=0/624$  در مرحله اعتبار سنجی و ضریب کارایی  $CE=0/639$  در مرحله واسنجی و  $CE=0/622$  در مرحله اعتبار سنجی، می توان نتیجه گرفت که عملکرد مدل بکار گرفته شده در حوضه مورد مطالعه رضایت بخش است.

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

## 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 تواند فرسایش سطحی و آبراهه ای زیادی را پدید آورد. 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 قرار گیرد، 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 از اهمیت زیادی برخوردار است. فرآیند بارش - رواناب فرآیند پیچیده ای است که در آن عوامل زیادی دخیل هستند. در حوضه های زهکشی فاقد ایستگاه های سنجش، بررسی 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، کاملاً مساعد برای بروز سیلاب های مهیب است، داشتن علم و آگاهی از نحوه فرآیند بارش - رواناب برای برنامه ریزی 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 کمی شده و در عین حال ساده شده، مسایل مربوط به هیدروژئومورفولوژی و هیدرولوژی را حل نمود (زاهدی و بیاتی خطیبی، ۱۳۹۹). بیاتی خطیبی و کرمی، ۱۳۹۰ و زارع، ۱۳۹۰). در حوضه های زهکشی غرب کشور که معمولاً ایستگاه های هیدرومتری به مقدار کافی 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 به منظور بررسی و مدیریت منابع آب، برآورد جریان رودخانه، پیش بینی سیل و طراحی عملیات مهندسی به دو گروه مدل های یکپارچه و توزیعی طبقه بندی کرد (ابوشاندی و مرکل<sup>۱</sup>، 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<sup>۲</sup>، ۱۹۹۷). بر اساس رویکرد مفهومی مورد استفاده در مدل IHACRES، این مدل می تواند برای اهدافی مانند بررسی اثرات متغیرهای اقلیمی مانند بارش، دما و نیز تغییرات ضریب جریان مورد استفاده قرار گیرد (کارلکارکانو و همکاران<sup>۳</sup>، 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 قره سو، 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

<sup>۱</sup> -Abushandi and Merkel

<sup>۲</sup> -Littlewood et al.,

<sup>۳</sup> -Carlacarcano et al.,

قرار گیرد تا بتوان اثرات ایجاد رواناب و وضعیت هیدروگراف های جریان را برای 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 نیز توسط محققین بدست آمده است. در این مورد به مطالعات دای و کروک<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) در آفریقای جنوبی می‌توان اشاره نمود. در این راستا پیش بینی دبی جریان رودخانه ای در حوضه های آفریقا 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 پیش بینی 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 توافقی 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 کسلیان 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 IHACRES استفاده کردند. نتایج، کارایی ۶۰ درصدی مدل را در پیش بینی وقوع سیلاب در منطقه را نشان می‌دهد. قاسمیه و همکاران (۱۳۹۴) کارایی مدل IHACRES در شبیه سازی 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 تقریباً 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.

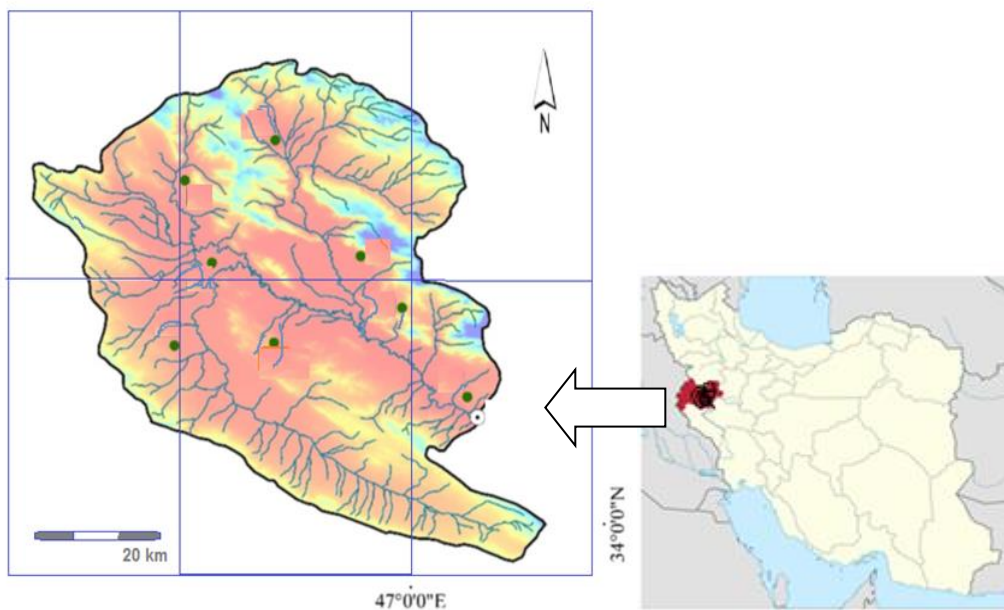
### روش تحقیق

#### معرفی محدوده مورد مطالعه

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

<sup>۱</sup> -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 شاه‌گذار به همراه چند رودخانه دیگر به هم می‌پیوندند و تشکیل قره‌سو 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 مرگ 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 می‌پیوندد، 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 حوزه مورد 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 آمونیت 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 خطی، ۱۳۹۰). در عین حال سریع تر رواناب ها را در سطح خود تشکیل می دهند و فرسایش می دهند (شکل ۳). 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 قره سو تعداد محدودی ایستگاه تبخیرسنجی و باران سنجی وجود دارد که در این پژوهش سعی شد از داده های آنها استفاده شود. در این تحقیق داده های پایه مورد استفاده شامل داده های مشاهداتی دما، بارش و رواناب در

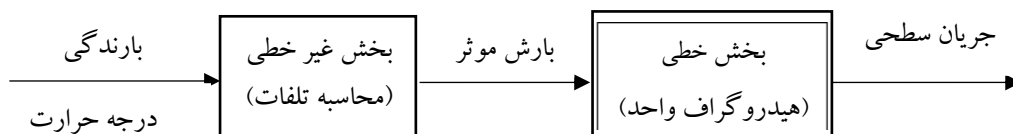
دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ میلادی از ایستگاه‌های منتخب منطقه می‌باشد. برای متغیر دما داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه به عنوان مبنا انتخاب گردید. با توجه به اختلاف رقوم این ایستگاه و رقوم متوسط حوضه قره سو، با استفاده از گرادیان دما و ارتفاع، داده‌های دمای مربوط به متوسط حوضه محاسبه گردید. برای متغیر 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. داده‌های 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 داده‌های ۸ ایستگاه برداشت و سنجش داده، بهره‌گیری شد که بخشی از این ایستگاه‌ها 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	باران سنجی	۴۷/۳۵	۳۴/۰۶	۱۶۴۰
حجت‌آباد	باران سنجی	۴۷/۰۱	۳۴/۴۸	۱۳۳۰
کاشنبه لک	باران سنجی	۴۶/۶۳	۳۴/۲۸	۱۵۰۰
پل کهنه	باران سنجی	۴۷/۱۳	۳۴/۳۳	۱۲۸۴
قره‌باغستان	هیدرومتری	۴۷/۱۵	۳۴/۱۴	۱۲۸۰

## ب- ساختار مدل IHACRES

IHACRES یک مدل یکپارچه مفهومی 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 تلفات و تبدیل بارش به رواناب کاربرد دارد (کروک و همکاران<sup>۱</sup> ۲۰۰۵ و مک اینتیر و القریشی<sup>۲</sup>، 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 می‌کند، 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 یوانتز و جیمکن (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):

$$uk = [c(\theta k - l)]^p \times rk \quad [1]$$

که در آن  $c$  ضریب تعادل حجم بارش،  $l$  آستانه شاخص رطوبت خاک،  $P$  فاکتور واکنش غیر خطی و  $rk$  بارش مشاهداتی می‌باشد.  $\theta k$  شاخص رطوبت خاک است که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

<sup>۱</sup> -Croke et al.,

<sup>۲</sup> -McIntyre and Al -Qureshi

$$\phi_k = \tau_k + (1 - \frac{1}{\tau_k}) \phi_{k-1} \quad [۲]$$

حاصل عبارت  $[c(\phi_k - 1)]^p$  را می توان به عنوان ضریب رطوبتی کل حوزه در نظر گرفت ( $s_k$ ). 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  $s_k$  به ۱ نزدیکتر خواهد شد در این رابطه  $\tau_k$  پارامتر شدت خشکی خاک است و به عنوان تابعی از دما در نظر گرفته میشود. برای محاسبه آن از رابطه (۳) استفاده می شود.

$$\tau_k = \tau_{we}(f(T_{ref} - T_k) \times 0.062) \quad [۳]$$

که در آن  $\tau_w$  شدت خشکی خاک مینا،  $f$  تابع تعدیل دما (تأثیر تغییر یک واحد دما بر تلفات)،  $T_{ref}$  دمای مرجع و  $T_k$  دما در بازه مورد نظر می باشند. بعد از محاسبه بارش مؤثر، هیدروگراف واحد کل با استفاده از بخش خطی در مدل محاسبه می گردد.

– بخش خطی (تبدیل بارش مؤثر به رواناب)

بخش خطی مدل IHACRES دارای سه پارامتر  $Tq$ ،  $TS$  و  $VS$  میباشد. ترکیب دو مؤلفه جریان سریع  $X_k^q$  و جریان آهسته  $X_k^s$  منجر به تولید رواناب  $X_k$  می شود که بر اساس روابط (۴) تا (۶) قابل محاسبه است.

$$X_k = X_k^q + X_k^s \quad [۴]$$

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

$$X_k^q = -\alpha_q X_{k-1}^q + \beta_q u_k \quad [۶]$$

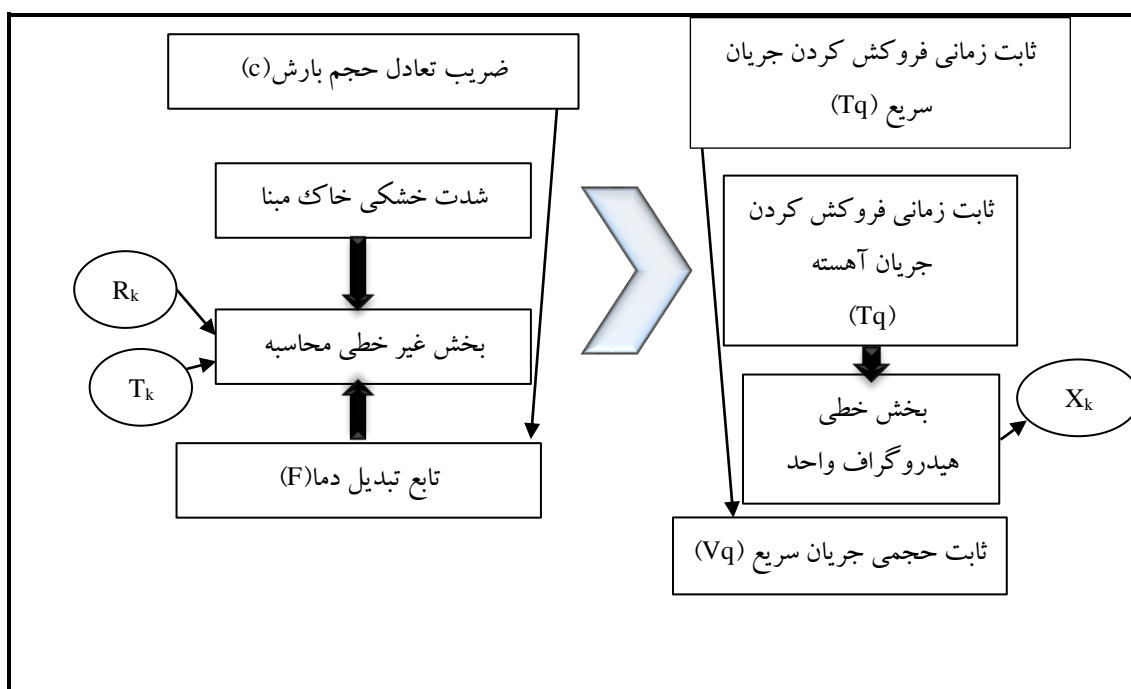
که در این روابط،  $\alpha_q$  و  $\beta_q$  به ترتیب ثابت زمانی جریان سریع و  $\alpha_s$  و  $\beta_s$  ثابت زمانی جریان آهسته می باشند و با استفاده از روابط (۷) و (۸) قابل محاسبه هستند.

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

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

در روابط فوق،  $\Delta$  بازه زمانی و  $Tq$  و  $TS$  ثابت زمانی فروکش برای جریان سریع و آهسته در مخازن متوالی میباشند. در نهایت نسبت حجمی جریان سریع و آهسته، از رابطه (۹) محاسبه می‌گردد:

$$Vq=1-Vs=\frac{\beta q}{1+\alpha q}=1-\frac{\beta s}{1+\alpha s} \quad [9]$$



شکل ۵: مراحل مختلف شبیه‌سازی رواناب را با استفاده از مدل IHACRES

کلیه مراحل که ذکر شد در شکل ۵ نشان داده شده است. در واسنجی مدل IHACRES، مقادیر ثابت زمانی خشکی حوضه ( $\tau W$ ) 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 جریان‌های کم مناسب‌تر هستند (کروک و همکاران، ۲۰۰۸ و لیتلود 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 نشان دهنده خطای پایین تر مدل در برآورد دبی جریان می باشد. در معیار ضریب کارایی رابطه (۱۵) هر چه مقدار ضریب محاسبه شده به ۱ نزدیکتر باشد، توانایی مدل را بهتر نشان خواهد داد.

$$R_{\text{sqrt}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^m)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - \bar{Q}^o)^2} \quad (9)$$

$$R^2_{\text{sqrt}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\sqrt{Q_i^o} - \sqrt{Q_i^m})^2}{\sum_{i=1}^n (\sqrt{Q_i^o} - \sqrt{\bar{Q}^o})^2} \quad (10)$$

$$R^2_{\text{log}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\ln(Q_i^o + \varepsilon) - \ln(Q_i^m + \varepsilon))^2}{\sum_{i=1}^n (\ln(Q_i^o + \varepsilon) - \ln(\bar{Q}^o + \varepsilon))^2} \quad (11)$$

$$R^2_{\text{inv}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{Q_i^o + \varepsilon} - \frac{1}{Q_i^m + \varepsilon} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{Q_i^o + \varepsilon} - \frac{1}{\bar{Q}^o + \varepsilon} \right)^2} \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^m)^2}{n}} \quad (13)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_i^m - Q_i^o| \quad (14)$$

$$C_E = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^o - \bar{Q}^o)^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^m)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^o - \bar{Q}^o)^2} \quad (15)$$

در این روابط،  $Q_0$  داده‌های مشاهداتی،  $\bar{Q}_0$  میانگین داده‌های مشاهداتی،  $Q_m$  داده‌های شبیه‌سازی شده،  $\varepsilon$  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 نشان دهنده تطابق کامل داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. هر چه مقادیر  $RMSE$  و  $MAE$  به صفر و سایر ضرائب به ۱ نزدیکتر باشد، تناسب بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی بیشتر خواهد بود.

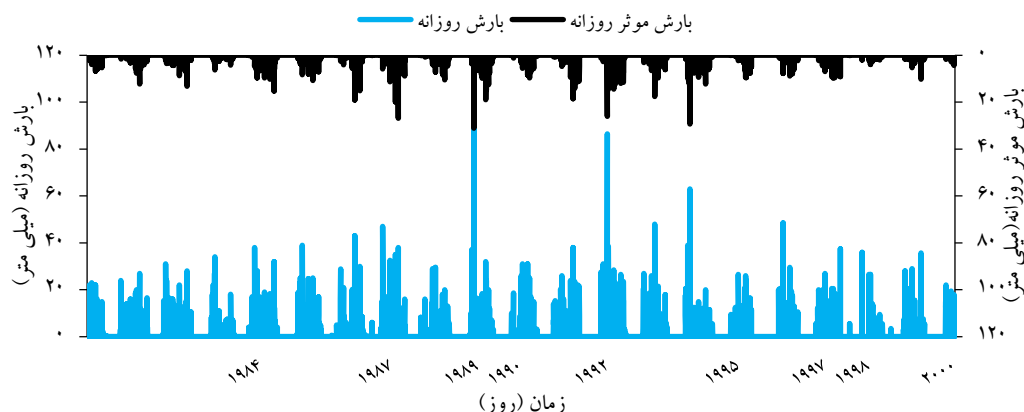
### بحث و یافته‌ها

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 ۱۹۸۱-۲۰۰۰ 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، تعیین شده 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، ۱۲/۴۳ روز، ۰/۱۱ و ۰/۹ محاسبه شده‌اند. مقدار متوسط بارش مؤثر روزانه پیش‌بینی شده در مرحله واسنجی مدل ۰/۳۶ میلی‌متر 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.

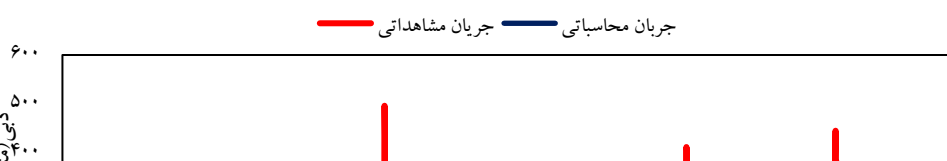
جدول ۲: جزئیات مقادیر پارامترهای به دست آمده در مرحله واسنجی مدل IHACRES

نسبت حجمی جریان آهسته (بدون بعد)	شاخص آستانه رطوبت خاک (بدون بعد)	ثابت زمانی کاهش پاسخ جریان سریع (روز)	رطوبت ذخیره‌ای (mm)	فاکتور تعدیل دما (°C)	شدت خشکی (روز)	پارامتر
Vs	l	Tq	Q <sub>k</sub>	F	τ <sub>k</sub>	اندیس
۰/۹	۰/۱۱	۱۲/۴۳	۰/۱۳	۲/۶	۴/۹	مقدار

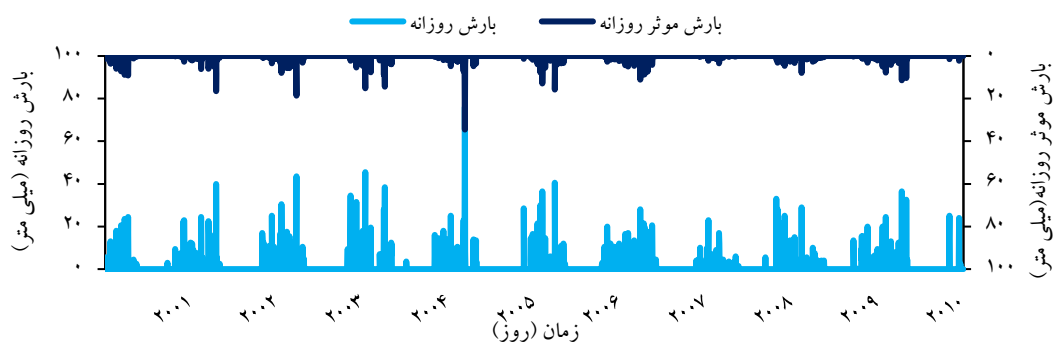
نتایج مربوط به مرحله صحت سنجی مدل IHACRES نیز در شکل (۶) و (۷) نشان داده شده است مقدار متوسط بارش مؤثر روزانه به طور متوسط در مرحله صحت‌سنجی ۰/۲۳ میلی‌متر می‌باشد. نتایج ارزیابی آماری مربوط به مراحل واسنجی و صحت سنجی مدل IHACRES در جدول ۳ مشخص شده است.



شکل ۶: بارش مؤثر روزانه مشاهداتی و بارش مؤثر مدل در مرحله واسنجی



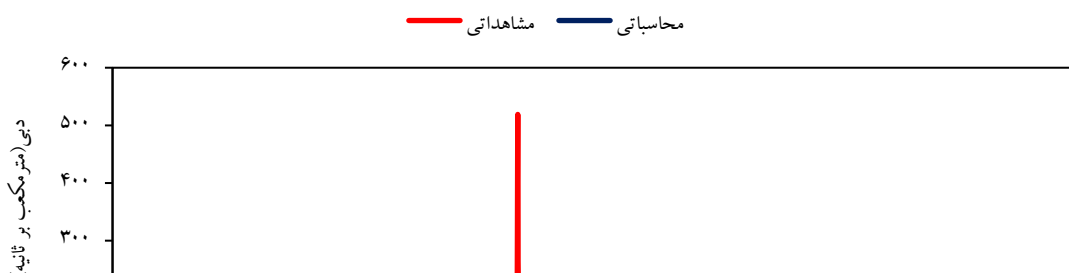
شکل ۷: سری زمانی رواناب مشاهداتی و پیش‌بینی شده در مدل IHACRES برای مرحله واسنجی



شکل ۸: بارش روزانه مشاهداتی و بارش موثر مدل در مرحله صحت‌سنجی

جدول ۳: 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
مجدور میانگین مربعات خطا (RMSE)	۱۸/۹۱	۱۳/۰۴
ضریب کارایی (CE)	۰/۶۳۹	۰/۶۲۲



### شکل ۹: سری زمانی رواناب مشاهداتی و پیش‌بینی شده در مدل IHACRES برای مرحله صحت‌سنجی

مقادیر جریان روزانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای مرحله واسنجی از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۱۰ در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج حاکی از این است که به غیر از سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۷۷ و ۱۹۹۷ در تمامی سال‌ها، نتایج مشاهداتی و نتایج محاسباتی انطباق مناسبی را نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات حاصل از شکل ۳ می‌توان گفت که نتایج شبیه‌سازی مدل در ایستگاه‌های مختلف انتخابی دارای تطابق بیشتری است. در این تحقیق علاوه از شبیه‌سازی، نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان در مرحله واسنجی مدل بر اساس روابطی که ارائه شد، مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از اطلاعات مندرج در جدول ۳، در هر یک از ایستگاه‌ها مقادیر معیارهای ارزیابی قابل مشاهده است. با توجه به آستانه مقادیر مورد قبول ضریب تعیین در ارزیابی مدل می‌توان گفت که نتایج شبیه‌سازی قابل قبول می‌باشد. بنابراین، غیر از نتایج شبیه‌سازی بعضی از ایستگاه‌ها، در سایر ایستگاه‌ها نتایج قابل قبول می‌باشد. نتایج مرحله واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد که هیدروگراف‌های روزانه تخمینی و مشاهده‌ای در اکثر ایستگاه‌ها 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 روش‌های تعیین بارش منطقه‌ای مشکلی است که باید در استفاده از آن در مدلسازی جریان مورد توجه قرار گیرد که بخشی از خطای موجود در نتایج مدل را می‌توان به روش مورد استفاده در برآورد بارش منطقه‌ای و یا تراکم کم ایستگاه‌های بارانسنجی در منطقه مورد مطالعه این تحقیق نسبت داد.

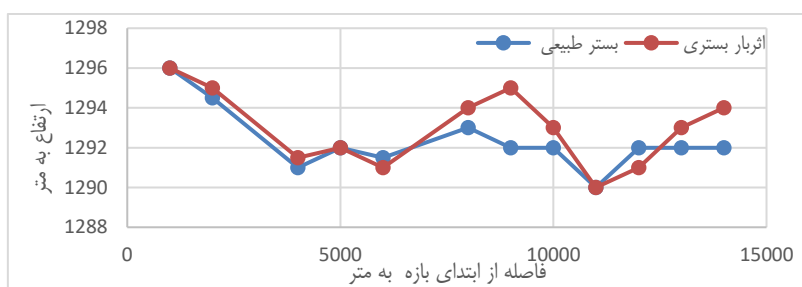
با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت که در حوضه زهکشی مانند قره‌سو که سیل خیز بوده و از نظر فرسایش سطحی و آبراهه‌ای در حد بسیار حساس قرار دارد و همچنین با در نظر گرفتن وجود مراکز تجمع انسانی که وقوع سیل را در مرکز توجه قرار می‌دهد، استفاده از چنین مدلی که نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد، بسیار مناسب به نظر می‌رسد. علاوه بر این می‌توان در مسایل مدیریت حوضه‌ها و فرسایش خاک که در کنار مسایل مهار سیلاب‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است، دبی را با توسل به مدل بارش - رواناب تخمین زد و بر اساس آن در حوضه‌های فاقد ایستگاه براساس سوابق وقوع بارش‌های رخ داده، در مورد رخ داده‌های دبی منجر به سیل اظهار نظر نمود.

باید همواره در نظر گرفت که اوج سیلاب‌ها در حوضه‌های حفاظت نشده، با اوج فرسایش خاک‌ها نیز همراه است. در محدوده‌های کوهستانی که شیب، انرژی کافی به فرسایش روانابی را می‌دهد، فرسایش خاک از موضوعات مورد توجه در وقوع تغییرات ژئومورفولوژی در مسیر رودخانه‌ای مانند رودخانه قره‌سو است. در حوضه قره‌سو که خاک حوضه اصولاً فرسایش پذیر است، بارش‌های منجر به ایجاد رواناب، می‌توانند باربستری را افزایش دهد (جدول ۴ و شکل ۱۰) که این امر نیز موجب تغییر در بستر طبیعی در طول رودخانه می‌شود. تنگ‌شدگی، بالآمدگی بستر، انحراف از مسیر اصلی

و فرسایش 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 اثر افزایش باربستری در مسیر رودخانه رخ داده 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 ارائه داد.

جدول ۴: محاسبه حجم رسوبگذاری و فرسایش با روش های مختلف در بازه ۵ ساله در مسیر قره سو (قبادیان و رحیمی فر، ۱۳۹۵، ص ۴۷)

روش	حجم فرسایش به متر مکعب	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، ص ۴۷)

## نتیجه گیری

به طور کلی مقادیر ضرائب آماری در مرحله واسنجی به دلیل طول دوره آماری بیشتر، مقادیر بهینه تری را نسبت به مرحله صحت سنجی از خود نشان دادند. مقدار ضرائب تعیین در دو مرحله واسنجی و صحت سنجی به ترتیب ۰/۶۴۰ و ۰/۶۲۴ به دست آمد. کیم<sup>۱</sup> بیان نموده است اگر مقدار ضریب تعیین در ارزیابی مدل بزرگتر و مساوی ۰/۷۵ باشد نتایج خوب و اگر این مقادیر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد نتایج قابل قبول خواهد بود. با توجه به این مسئله مدل توانسته جریان را تا حد قابل قبولی شبیه سازی کند که با نتایج جیکمن و همکاران، کارلا کارکانو و همکاران<sup>۲</sup>، خیرفام و همکاران و گودرزی و همکاران مبنی بر کارایی مدل در شبیه سازی جریان مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان می دهد که هیدروگراف های روزانه تخمینی

<sup>۱</sup> -Kim

<sup>۲</sup> -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 در نظر نگرفتن رواناب ناشی از ذوب برف توسط مدل در منطقه باشد که نتیجه مشابهی در این خصوص توسط خیرفام و همکاران و زارعی و همکاران گزارش شد. پارامتر  $V(s)$  نشان دهنده مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه ای می باشد و مقادیر زیاد این پارامتر در 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 می شود. زارعی و همکاران در کسلیان و لیتلوود و همکاران<sup>۱</sup> در برزیل به مقادیر بیش تری از این پارامتر دست یافته بودن که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. پارامتر  $t^q$  (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 می کند، 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.

## 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. مصطفی زاده و س. ج. ر. صادقی. ۱۳۹۰. تخمین دبی روزانه با استفاده از مدل *IHACRES* در برخی از حوزه های آبخیز استان گلستان، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز ۴: (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 شبیه سازی رواناب ماهانه رودخانه قرهسو در استان کرمانشاه، مجله محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۵، شماره ۱، صص ۲۰-۴۰.

<sup>۱</sup> -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
- زینی‌وند، ح. ۱۳۹۳. تحلیل تأثیر مقادیر مختلف بارش روزانه بر مقدار رواناب در حوضه آبخیز قره سو در استان کرمانشاه اکوهیدرولوژی، دوره ۱، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۳، ص ۱۴۳-۱۵۲
- قاسمیه، ه.، س. ه. صادقی و س. ج. ساداتی نژاد. ۱۳۹۴. ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژیکی *IHACRES* در مناطق مرطوب (مطالعه موردی حوضه ناورود، گیلان)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک (۱۹): ۸۲-۷۳
- قبادیان، ر.، رحیمی فر، ح. ۱۳۹۵. مدل‌سازی عددی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه‌های آبرفتی (مطالعه موردی: رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه). جلد ۲۶، شماره ۳/۱، ۳۵-۴۹.
- گودرزی، م.، ر. ذهبیون، ب. مساح بوانی و ر. ع. کمال. ۱۳۹۱. مقایسه عملکرد سه مدل هیدرولوژی *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 رودخانه‌ها با استفاده از مدل هیبرید شبکه‌های عصبی-موجکی (منطقه مطالعاتی: رودخانه جاجرود تهران و قره سو کرمانشاه، مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی، انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره ششم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۲، صص ۲۷۷ تا ۲۹
- حسینی، م.، باقر، ب.، زارع، آ. ۱۴۰۰. شبیه‌سازی بیلان آبی حوضه آبخیز قره سو استان کرمانشاه شبیه‌سازی سیلابهای رودخانه مرگ با استفاده از مدل هیدرولیکی *HEC\_RAS*، پژوهشهای دانش زمین، سال دوازدهم، شماره ۴۸، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۴۵-۶۰
- محمدی، غ.، برنار، اسدیان، ف. ۱۳۹۹. تحلیل پتانسیل سیلخیزی حوضه آبریز قره‌سو در استان کرمانشاه، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره 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.