بررسی دقت مدل IHACRES در برآورد جریان حداقل حوضه کن

باقر قرمزچشمه*[۱]، مرضیه حاجی محمدی[۲]،
۱*-استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، *baghergh@gmail.com*
۲-دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تهران، *mohammadi.mz@ut.ac.ir*

چکیده
فهم و درک رژیم جریان حداقل و ارزیابی آن، پیش نیاز مدیریت بهینه منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران است. از سوی دیگر بررسی تغییرات زمانی و روند دبی های حداقل، می تواند منجر به دستیابی به اطلاعات ارزشمندی برای استفاده در مدیریت منابع آب حوضه شود. در این تحقیق سعی شد مدل **IHACRES** برای شبیه سازی جریان حداقل مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور شبیه‌سازی رواناب توسط مدل فوق الذکر انجام شد و مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت. در نهایت جریان کم با تداوم‌های ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۵ و ۳۰ روزه محاسبه شد. دقت نتایج با استفاده از معیار های اندازه‌گیری خطا مانند **MBE** و **MAE** ارزیابی شد. نتایج مدل در پایه زمانی ماهانه و سالانه با دقت مناسبی شبیه سازی را انجام داد؛ همچنین مدل **IHACRES** دقت خوبی در شبیه سازی جریان حداقل داشت. بطوریکه در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۱ خطای نسبی کمتر از ۵۰ درصد را به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی
بارش- رواناب، جریان حداقل، حوضه کن، مدل IHACRES

مقدمه

تغییرات اقلیمی قادر است توزیع منابع آب کره زمین را عمیقاً تغییر داده و از این‌رو، تولیدات کشاورزی و صنایع را به شدت تحت تأثیر خود قرار دهد. نتایج اجرای مدل‌های گردش عمومی، در مناطق مختلف بیان می‌دارد که دمای بالاتر، افزایش احتمال وقوع خشکسالی‌ها یا سیلاب‌های شدید در بعضی مناطق و کاهش آن در مناطق دیگر را سبب می شود. با افزایش دما احتمال ریزش بارش‌های جوی به‌صورت باران به جای برف افزایش می‌یابد و ذوب برف زمستانی زودتر اتفاق می‌افتد، با توجه به اینکه آب حاصل از ذوب برف بخش مهمی از جریان پایه رودخانه را فراهم می‌کند افزایش دما احتمال وقوع مقادیر حدی از قبیل خشکسالی را در برخی مناطق افزایش می‌دهد.

خشکسالی‌ها با سه مقوله بارش(اقلیمی)، جریان رودخانه‌ای (هیدرولوژیکی) و رطوبت خاک (کشاورزی) و جوانب این سه مقوله در ارتباط هستند. خشکسالی به چهار گروه خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اقتصادی-اجتماعی تقسیم بندی شده است (دراکوب[1] و همکاران به نقل از ویل‌هایت و گلانتز، ۱۹۸۰). خشکسالی هیدرولوژیکی از طریق کاهش میزان ذخیره آب دریاچه‌ها، پایین رفتن سطوح آب زیرزمینی و کاهش دبی جریان رودخانه‌ای تشخیص داده می‌شود و معمولاً بر منطقه وسیعی تأثیر می‌گذارد.

اخیراً تحلیل فراوانی جریان‌های کم رودخانه‌ای در مطالعات خشکسالی هیدرولوژیک مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است. فرهنگ بین‌المللی هیدرولوژی (۱۹۷۴)، جریان‌های کم را به‌عنوان جریان آب رودخانه در طول آب و هوای خشک طولانی مدت تعریف می‌کند (اسماکتین[2] ۲۰۰۱). ولی تعریف عمومی‌تر آن کمترین جریان متوسط در چند روز پیاپی از قبیل ۵، ۷، ۳۰، ۶۰، ...، ۱۸۰ روزه در طول یک سال است (اسلامیان و همکاران، ۱۳۸۴). محاسبه جریان کم و یا در حقیقت همان حداقل آب جاری در رودخانه و همچنین دانستن ویژگی‌های آن در مطالعات هیدرولوژیکی مختلف مانند مدیریت کیفیت آب، تعیین حداقل دبی مورد نیاز جهت تولید

1- Dracup
2- Smaktin

برق، طراحی سیستم‌های آبیاری و ارزیابی تأثیر دوره‌های خشکی طولانی مدت بر اکوسیستم‌های آبی بسیار با اهمیت است.

واثقی و همکاران (۱۳۹۰)، رواناب حوضه قره‌سو را تحت تأثیر سناریوهای انتشار A2 و B1 با در نظر گرفتن دسته جمعی مدل‌های AOGCM بررسی کردند. آن‌ها در تحقیق خود توسط مدل LARS-WG دما و بارش را برای منطقه طرح ریزمقیاس و سپس با معرفی سری زمانی داده‌های فوق به مدل بارش-رواناب IHACRES، سری زمانی بلند مدت رواناب روزانه برای دوره‌های آتی تولید نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که رواناب در طول زمستان و تابستان افزایش و در پاییز کاهش یافته و در بهار تقریباً بدون تغییر خواهد بود.

صیاحی و همکاران (۱۳۹۶) اثر تغییر اقلیم بر رواناب ماهانه حوضه دز را با استفاده از مدل IHACRES پیش‌بینی کردند. مدل IHACRES با استفاده از داده‌های شبکه‌ای بارش APHRODITE و مجموعه داده‌های شبکه‌ای دمای CHCN-CAMS، مورد واسنجی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی رواناب حاکی از افزایش ۹/۷ درصدی متوسط رواناب سالانه نسبت به دوره مشاهداتی بود.

در مطالعه‌ای دیگر جاوید و کی وی[3] (۲۰۱۵) مدل IHACRES را به منظور شناسایی ویژگی‌های جریان در یک حوضه بدون ایستگاه بکار بردند. در این مطالعه از اطلاعات ۶ حوضه دارای ایستگاه به منظور شبیه سازی جریان برای یک حوضه بدون ایستگاه استفاده شد. برای این منظور ابتدا معادلات رگرسیونی بین ۶ پارامتر مدل و توصیفگرهای فیزیکی منتخب[4] (PCD) حوضه بدست آمد و سپس معادلات رگرسیونی توسعه داده شده بین مقادیر پارامترهای مدل و PCDها در مدل IHACRES مورد استفاده قرار گرفت و در دو مقیاس کوچک (۷/۶ کیلومترمربع) و بزرگ (۳۴۴۰ کیلومترمربع) ارزیابی شد. این مطالعه نشان داد که مدل IHACRES در زمینه شناسایی جریان با این روش در حوضه‌های فاقد ایستگاه با حداقل داده‌های ورودی به خوبی عمل می‌کند.

در مطالعه‌ای دیگر تولچا و والتنر[5] (۲۰۱۶) عملکرد مدل IHACRES را در حوضه‌ای که داده‌های هیدرولیکی محدود بود بررسی کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که IHACRES پتانسیل ایجاد اطلاعات مفیدی در زمینه پیش‌بینی جریان در حوضه‌های خشک و نیمه خشک اتیوپی دارد و معرفی اطلاعات کافی به مدل می‌تواند باعث بهبود عملکرد آن شود. بنابراین باوجود اینکه دقت داده‌های جهانی CFSR پایین‌تر از داده‌های مشاهداتی است در صورت وجود مشکل کمبود داده در حوضه مطالعاتی این داده‌ها می‌توانند به منظور مطالعات مدیریت منابع آب و حوضه آبخیز استفاده شود.

آیرند و دیکروگر[6] (۲۰۱۷) اثر حساسیت و عدم قطعیت پارامترهای سه مدل بارش- رواناب را در پیش‌بینی رواناب بالادست حوضه نیجریه تحت تأثیر تغییر اقلیم بررسی کردند. مدل‌های IHACRES-CMD، GR4J و Sacramento در این مطالعه انتخاب شدند. مقادیر بهینه پارامترها برای هر سه مدل از طریق واسنجی خودکار توسط الگوریتم fitByOptim، نرم افزار R، براساس ضریب نش ساتکلیف تعیین شد. تحلیل عدم قطعیت توسط روش GLUE[7] که براساس روش مونت کارلو می‌باشد انجام شد. نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مناسب بودن هر سه مدل را برای شبیه‌سازی رواناب حوضه مورد مطالعه نشان داد که بالاترین مقدار ضریب نش ساتکلیف برای مدل IHACRES-CMD بدست آمد. تجنج[8] و همکاران (۲۰۱۷) عملکرد دو مدل مفهومی ساده (GR4J و IHACRES) و یک مدل فیزیکی پیچیده (ArcSWAT) را برای شبیه‌سازی رواناب در چهار حوضه از منطقه مطالعاتی با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج مقایسه مدل‌ها نشان داد که مدل‌های مفهومی ساده برای شبیه سازی جریان در حوضه‌های کوچکتر بهتر عمل کردند درحالیکه مدل پیچیده برای بزرگترین حوضه آبخیز بهترین عملکرد را داشت. همچنین این مطالعه حساسیت عملکرد مدل پیچیده را در تعداد زیرحوضه مورد توجه قرار داد بطوریکه در بزرگترین حوضه عملکرد مدل SWAT با افزایش تعداد زیرحوضه بهبود یافت، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های توزیعی برای حوضه‌های پیچیده تر به دلیل ناهمگنی فیزیکی آن‌ها کاربرد دارند. در هرصورت در این مطالعه برتری هیچ‌یک از مدل‌ها نسبت به سایر آن‌ها تأیید نشد و در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استفاده از ترکیبی از نتایج مدل‌های مفهومی و فیزیکی پیشنهاد شد.

در اغلب منابع مورد بررسی دقت مدل IHACRES در مناطق مرفواقلیمی مختلف در شبیه سازی جریان از دقت مناسبی برخوردار بود ولی در منابع مورد بررسی دقت مدل در شبیه سازی بخشی از جریان مورد بررسی قرار نگرفته و یا کمتر به آن پرداخته شده است.

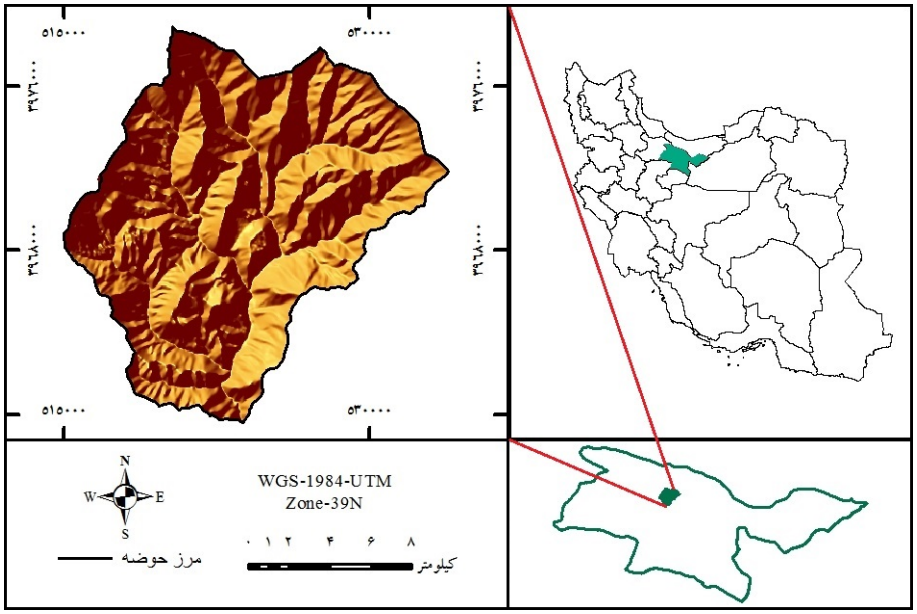
3 Javeed and kv
4 Physical Catchment Descriptors
5 Tolcha and Waltner
6 Oyerinde and Diekkrüger
7 Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
8 Tegenge

در این پژوهش، سعی شده است علاوه بر مدلسازی رواناب روزانه با IHACRES دقت آن در شبیه سازی جریان کم نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

موقعیت و شرح عمومی منطقه مورد مطالعه

حوضه کن که از زیر حوضه‌های مرکزی کشور محسوب می‌شود که با مساحت بیش از ۲۲۰ کیلومترمربع در طول جغرافیایی ′۱۱ °۵۱ تا ′۲۱ °۵۱ شمالی و عرض جغرافیایی ′۴۶ °۳۵ تا ′۵۵ °۳۵ شرقی واقع شده است. این حوضه با حوضه‌های صارک در غرب، جاجرود در شمال و شمال شرقی، سد کرج در شمال و شمال غرب، حوضه وردیج در شرق و شهر تهران در جنوب هم مرز می‌باشد. حوضه کن در یک منطقه کوهستانی قرار گرفته که اختلاف ارتفاع بین بلندترین و پست‌ترین نقطه ۲۴۰۰ متر می‌باشد، بطوری‌که بلندترین نقطه حدود ۳۸۰۰ و پست‌ترین نقطه در خروجی حوزه دارای ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. رژیم بارندگی منطقه مدیترانه‌ای بوده و فصل مرطوب بر دوره سرد سال و فصل خشک بر دوره گرم سال متمرکز است. متوسط بارندگی سالانه حوضه ۶۲۵ میلی‌متر است و براساس مطالعات موجود حداکثر، حداقل و متوسط درجه حرارت سالانه به ترتیب معادل ۱۳/۲، ۱/۶ و ۷/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (عباسی، ۱۳۸۸). این حوضه از پنج رودخانه به نام‌های امامزاده داود، رندان، تالون، کشار و سنگان تشکیل شده که در پایین دست حوضه (قبل از ورود به دشت) رودخانه کن را تشکیل می‌دهند. رودخانه کن پرآب‌ترین رود تهران است که دبی متوسط آن در یک دوره سی ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۱) برابر با ۲/۴۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (پایگاه اینترنتی شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران). شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را در کشور نشان می‌دهد.



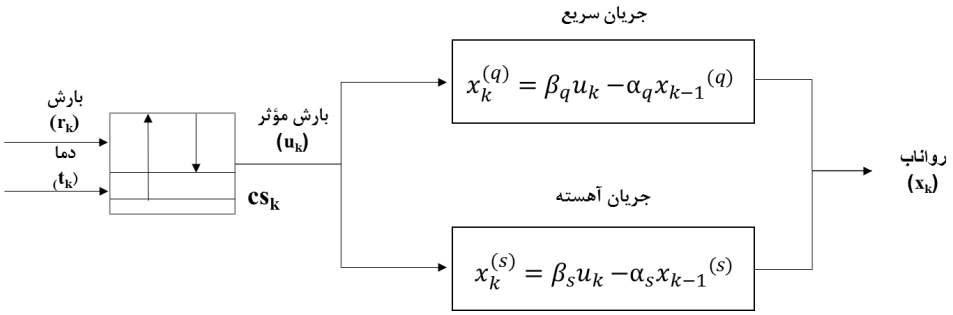
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

مدل بارش-رواناب[9] IHACRES

مدل IHACRES یک مدل یکپارچه مفهومی-متریک می‌باشد که ابتدا توسط جیکمن و همکاران در سال ۱۹۹۰ توسعه یافته است. هدف از ایجاد این مدل، بکارگیری آن در بخش‌های هیدرولوژی، مهندسی منابع آب و کمک به شناسایی ویژگی‌های رابطه دینامیکی میان بارش و رواناب است. این مدل برای حوزه‌های آبخیز با شرایط آب و هوایی متنوع از جمله خشک و نیمه خشک کاربرد دارد و به علت داده‌های اندک مورد نیاز در بسیاری از حوزه‌های آبخیز بدون صرف زمان و هزینه زیاد برای تهیه داده‌ها می‌تواند بکار برده شود.

[9] Identification of Hydrographs and Components from Rainfall, Evaporation and Stream

این مدل دارای دو بخش خطی و غیرخطی می‌باشد. بخش تلفات بارش غیرخطی مدل با استفاده از داده‌های درجه حرارت به عنوان یک شاخص از پتانسیل تبخیر و تعرق، سری زمانی بارش (r_k) را در پایه زمانی k به بارش مؤثر (u_k) تبدیل می‌کند و به سه پارامتر (τ_w، c، f) وابسته است. c حجم رطوبت ذخیره شده در حوضه بر حسب میلی‌متر، τ_w مدت زمانی که طول می‌کشد تا حوزه آبخیز خشک شود و f فاکتور تعدیل درجه حرارت حوزه است. بخش روندیابی خطی، بارش مؤثر را به جریان رودخانه (x_k) تبدیل می‌کند و به سه پارامتر τ_q (مدت زمانی که طول میکشد جریان سریع کاهش یابد)، τ_s (مدت زمانی که طول می‌کشد جریان آهسته کاهش یابد)، vs (حجمی از جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت دارد) وابسته است. شکل (۲) ساختار مدل IHACRES را نشان می‌دهد.



شکل ۲- ساختار مدل IHACRES (ایوانز و جیکمن، ۱۹۹۸)

داده‌های مورد نیاز مدل شامل داده‌های مربوط به بارش، دما و رواناب مشاهده‌ای می‌باشد. سری زمانی بارندگی و درجه حرارت به عنوان ورودی‌های مدل و برای شبیه‌سازی جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. درحالیکه داده‌های جریان مشاهده‌ای برای واسنجی مدل و بررسی دقت نتایج حاصل از شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به طورکلی اجرای مدل IHACRES در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارتند از : الف- آماده‌سازی داده‌ها ب- صحت‌سنجی مدل، ج- شبیه‌سازی مدل. برای این منظور سری زمانی روزانه برای هر سال تهیه و داده های افتاده شده بازسازی شد. دوره ۱۹۸۳ تا ۱۹۹۲ برای واسنجی مدل و ۳سال بعد ان نیز برای صحت سنجی در نظر گرفته شد.

نکته بسیار حائز اهمیت در اجرای مدل IHACRES، نحوه تعیین دوره واسنجی است. این دوره باید به گونه‌ای انتخاب شود که در آن، هم جریان‌های حداقل و هم جریان‌های حداکثر لحاظ شده باشد. البته این موضوع ممکن است عدم قطعیت در مدل را افزایش دهد، ولی در هر حال باید هر دو نوع جریان در نظر گرفته شود.

نتایج و بحث

به منظور شبیه‌سازی رواناب در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه ابتدا مدل IHACRES کالیبره شده و در مرحله بعد مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج حاصل از پارامترهای محاسبه شده مدل برای ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در مرحله واسنجی که با استفاده از روش سعی و خطا در دوره‌های مختلف صورت گرفت در جدول (۱) آورده شده است. مقدار پارامتر v_s نشان دهنده میزان مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه‌ای است به‌گونه‌ای که مقادیر زیاد این پارامتر نشان دهنده وجود جریان پایه بیش‌تر در رودخانه می‌باشد. مقادیر به‌دست‌آمده در این پژوهش حاکی از وجود جریان پایه‌ی نسبتاً متوسط در ایجاد جریان رودخانه‌ای می‌باشد. مقدار پارامتر c (ظرفیت نگهداری رطوبت حوضه) نشان‌دهنده‌ی سرعت واکنش حوضه آبریز نسبت به بارش می‌باشد، به‌گونه‌ای که هرچه این مقدار بیش‌تر باشد حوضه واکنش آهسته‌تری نسبت به بارش نشان می‌دهد؛ که بر اساس نتایج حاصل مقدار پارامتر یادشده بسیار کم است و بنابراین حوضه آبخیز مورد بررسی نسبت به بارش با سرعت زیادی واکنش نشان می‌دهد که ناشی از عدم و یا کمبود پوشش گیاهی و جنگلی و کاربری اراضی زراعی و مرتع است؛ چراکه کاربری جنگلی و پوشش گیاهی مناسب باعث نگه داشت بارش می‌شود تا با تأخیر به جریان رودخانه اضافه شود.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای به‌دست‌آمده از فرآیند واسنجی مدل IHACRES

متغیر / ایستگاه	t^s	v^s	b^s	a^s	f	tw	c
سولقان	۲۱/۵۱	۱	۰/۰۴۵	-۰/۹۵	۴	۲۷	۰/۰۰۳

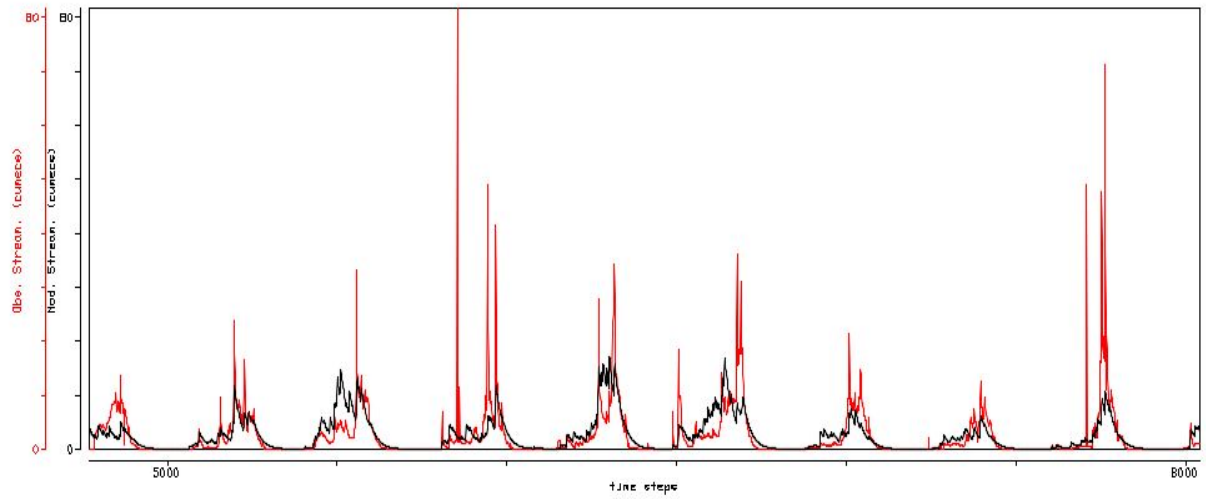
جدول (۲) وضعیت عملکرد مدل در دوره واسنجی و صحت سنجی را نشان می‌دهند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مدل با ضریب تعیین ۰/۴۲ به‌صورت روزانه و ۰/۶۲ به‌صورت ماهانه در دوره واسنجی و ضریب تعیین ۰/۳ به‌صورت روزانه و ۰/۴۶ به‌صورت ماهانه در دوره صحت‌سنجی به‌خوبی توانسته است الگوی تغییرات رواناب در حوضه مورد مطالعه را شبیه‌سازی کند. از طرفی دیگر بر اساس نتایج حاصل، دقت مدل در شبیه‌سازی جریان در مقیاس ماهانه نسبت به مقیاس روزانه بیشتر است و مدل نتایج قابل‌قبول و رضایت‌بخشی را بر اساس معیارهای مورد بررسی ارائه نموده است.

درمجموع با نگاهی به نتایج به‌دست‌آمده در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل (جدول ۲) در دو مقیاس روزانه و ماهانه می‌توان دریافت که نتایج صحت سنجی ضعیف‌تر از نتایج واسنجی مدل بوده و با این‌حال با استناد به مقادیر معیارهای مورد بررسی، نتایج ارزیابی مدل در مقیاس ماهانه مورد قبول است.

جدول۲-نتایج حاصل از دوره واسنجی و صحت سنجی مدل IHACRES در مقیااس ماهانه

معیارهای ارزیابی	واسنجی	صحت سنجی
ضریب تعیین (R sqrt)	۰/۴۲	۰/۳
ریشه مربعات خطا (R^2 sqrt)	۰/۷۴	۰/۵۲
لگاریتم مربعات خطا (R^2 log)	۰/۸۳	۰/۶۵
عکس مربعات خطا (R^2 Inv)	۰/۴۹	۰/۱۷
خطای بایاس (mm)	۳/۳	-۴۹/۴
ضریب تعیین ماهانه (R^2 Month)	۰/۶۲	۰/۴۶

جهت نمایش بهتر عملکرد مدل در مرحله کالیبراسیون نمودار حاصل از این مرحله در مقیاس روزانه آورده شده است. در این نمودارها جریان برحسب مترمکعب بر ثانیه و زمان نیز برحسب روز می‌باشد (شکل ۳).



شکل۳- جریان روزانه مشاهداتی و محاسبه‌شده در مرحله کالیبراسیون مدل (۱۹۹۲-۱۹۸۳)

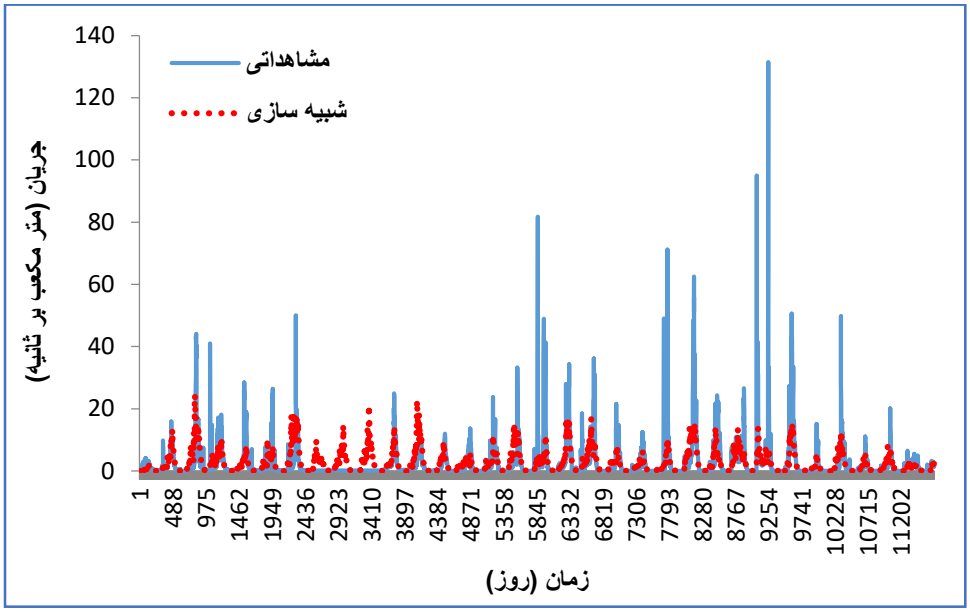
دقت مدل در مقیاس سالانه و ماهانه

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان برای کل دوره مورد بررسی (۲۰۰۱-۱۹۷۰) در مقیاس ماهانه نیز بر اساس معیارهای ارزیابی در جدول (۳) آورده شده است. با استناد به نتایج حاصل بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مقیاس ماهانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید؛ با این‌حال بر اساس نتایج حاصل و به ویژه ضریب کارآیی نش- ساتکلیف، مدل توانایی نسبتا مناسبی در شبیه‌سازی جریان در ایستگاه مورد بررسی دارد.

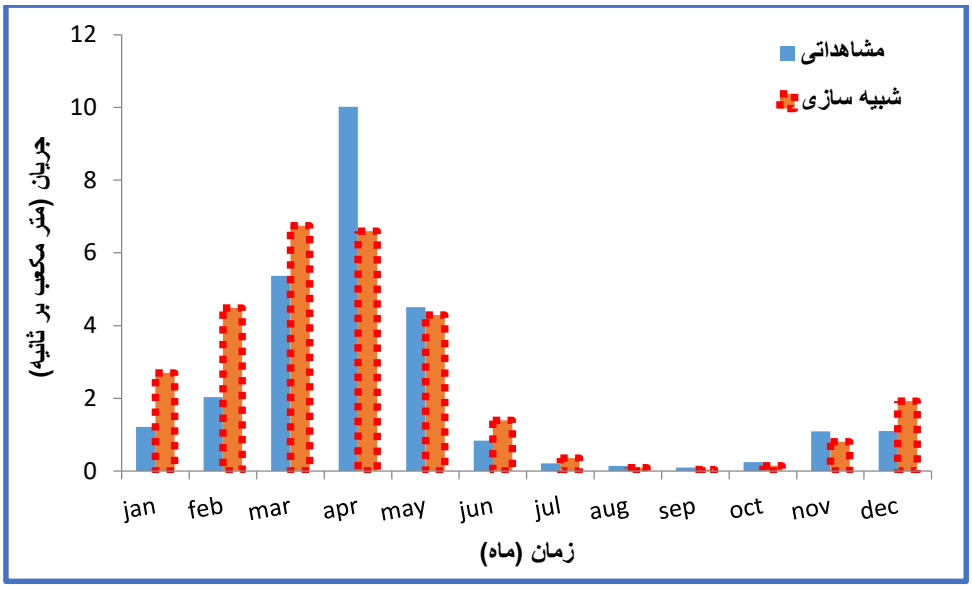
جدول۳- نتایج ارزیابی عملکرد در مقیاس ماهانه بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی در کل دوره

معیارهای ارزیابی	ضریب
ضریب تعیین (R^2)	۰/۷۷
ضریب همبستگی (R)	۰/۸۸
میانگین مربعات خطا (MSE)	۱/۹
مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)	۱/۴
میانگین قدر مطلق خطا (MAE)	۰/۹۱
درصد خطای نسبی (RE)	۱۱/۵
ضریب کار آیی نش- ساتکلیف (NSE)	۰/۷۷

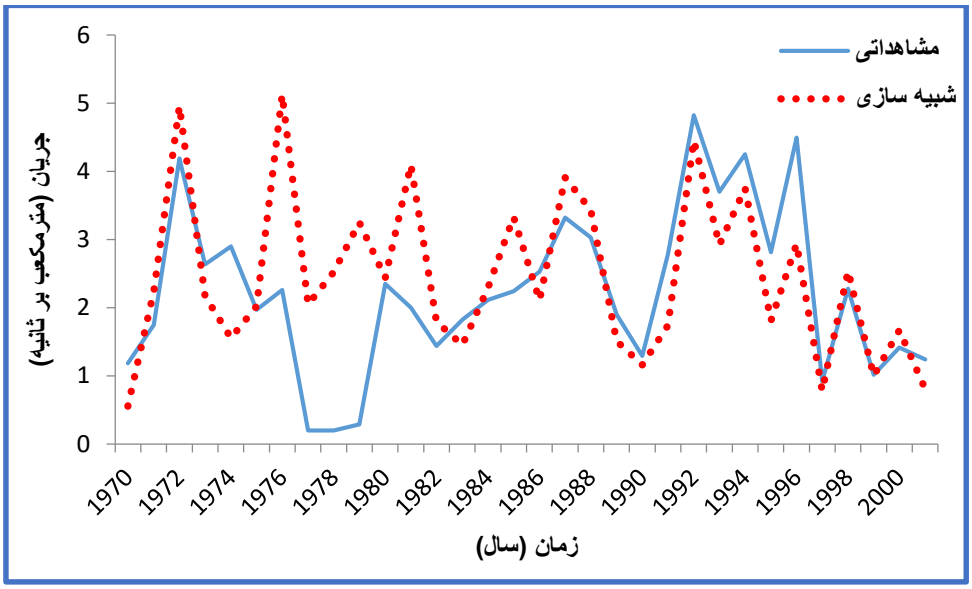
مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه سازی شده امکان ارزیابی کلی و سریع دقت مدل را فراهم می‌نماید به همین منظور، به مقایسه گرافیکی مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در سه مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه در کل دوره مورد بررسی (۲۰۰۱-۱۹۷۰) برای ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه پرداخته شد که نتایج حاصل در شکل‌های (۴ تا ۶) ارائه شده است.



شکل ۴-مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دوره پایه در مقیاس روزانه



شکل ۵- مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دوره پایه در مقیاس ماهانه



شکل ۶- مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دوره پایه در مقیاس سالانه

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی ایستگاه‌ها، مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی جریان‌های بالا و سیلابی نداشته است؛ درحالی‌که در مورد جریان کم یا به عبارتی دبی‌ها پایین تطابق نسبتا بیشتری دارد. همچنین با توجه بررسی صورت گرفته توانایی مدل در شبیه‌سازی جریان در حوضه‌های با مساحت کم‌تر نیز بیشتر است.

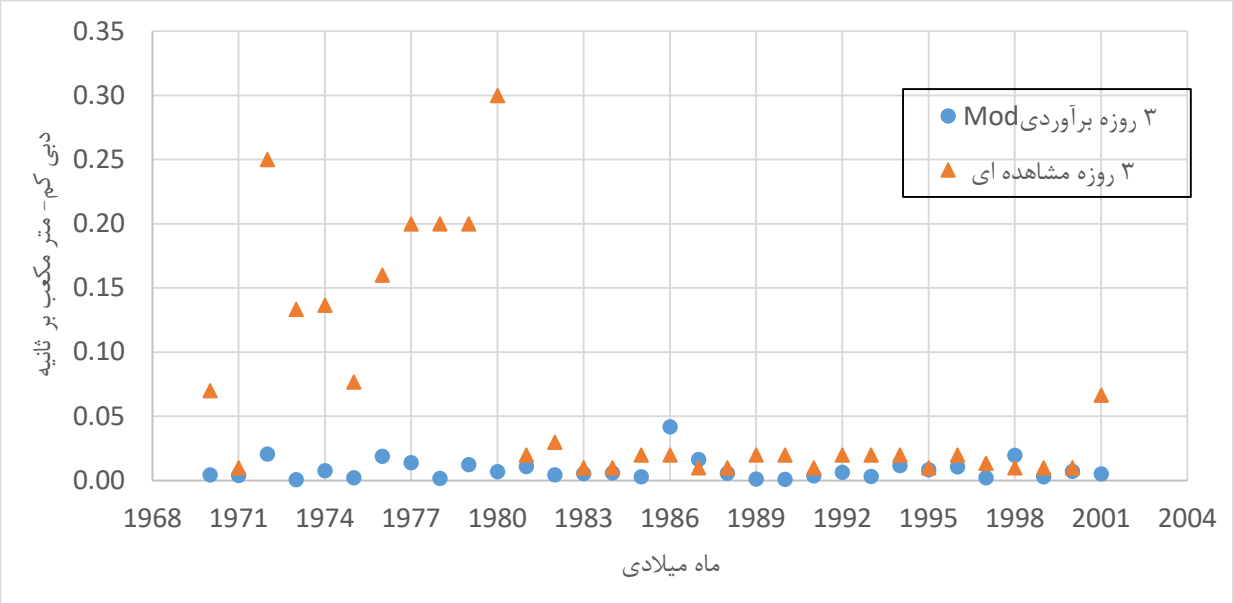
دقت مدل در برآورد جریان حداقل

یک مدل آماری و مبتنی بر داده های بارش و دما بوده و با برقراری روابط تجربی، رواناب را بصورت روزانه شبیه سازی می نماید. این مدل مقادیر جریان را در پایه زمانی ۳ روزه در دورهه ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ بسیار کم برآورد ولی در بعد از دوره ۱۹۸۰ نسبتا نزدیک به داده های مشاهده ای شبیه سازی نموده است (شکل ۷). بر اساس جدول (۴) متوسط کل دوره در کلیه پایه های زمانی نسبت به داده های مشاهده ای کمتر برآورد شده است، بطوریکه مقادیر بدست آمده حدود یک دهم داده های مشاهده ای بودند. مقادیر خطای نسبی کل دوره ۸۷ درصد کم برآورد و در دوره بعد از ۱۹۸۰ نیز ۵۳ درصد کم برآوردبدست آمد که حاکی از دقت نسبتا مناسب (لازم به توضیح است که با توجه با کم بودن جریان پایه در حد صدم متر مکعب بر پانیه، این دقت مناسب است) مدل را نشان داد. در این پایه

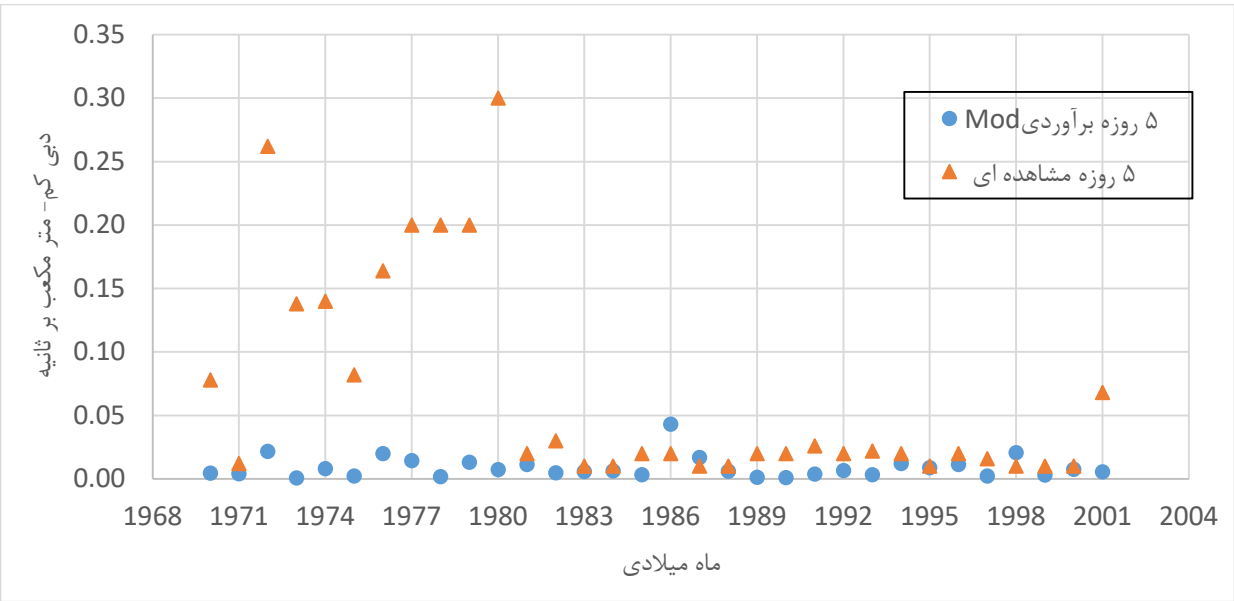
زمانی (۳ روزه) در طول دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۱ مقادیر برآوردی بین ۹۹ درصد کم برآورد تا ۱۰۹ درصد بیش برآورد تغییرات نشان داد.

در پایه زمانی ۵ روزه تا ۳۰ روزه نیز مقادیر برآوردی همانند پایه زمانی ۳ روزه بوده و با افزایش پایه زمانی جریان کم به ۳۰ روزه مقدار خطا کاهش را نشان داد. بر اساس جدول (۴)، مقدار خطای نسبی از ۸۷ در صد در پایه زمانی ۳ و ۵ روزه به ۸۰ در صد در پایه زمانی ۳۰ روزه کاهش یافت (جدول ۴).

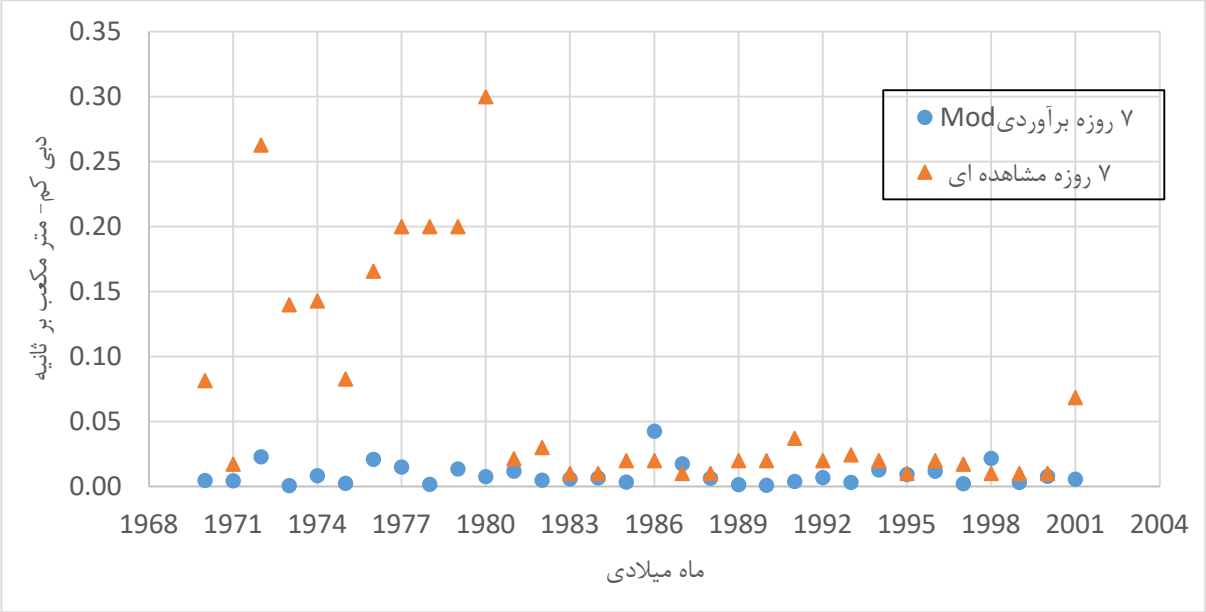
در دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۱ مقدار خطا کاهش محسوسی نشان داد ولی هنوز قابل توجه می باشد. خطای نسبی پایه زمانی ۳ روزه ۵۳ درصد و در پایه زمانی ۳۰ روزه به ۳۹ درصد رسید. این موضوع بیانگر آنست که مدل در شبیه سازی داده های کم دقت خیلی خوبی را ندارد. همان طور که در بخش های بالایی آورده شده است. در محاسبه دبی متوسط سالانه و ماهانه مدل به خوبی عمل نموده است و در مقیاس روزانه و دبی کم عملکرد خوبی را نشان نداد.



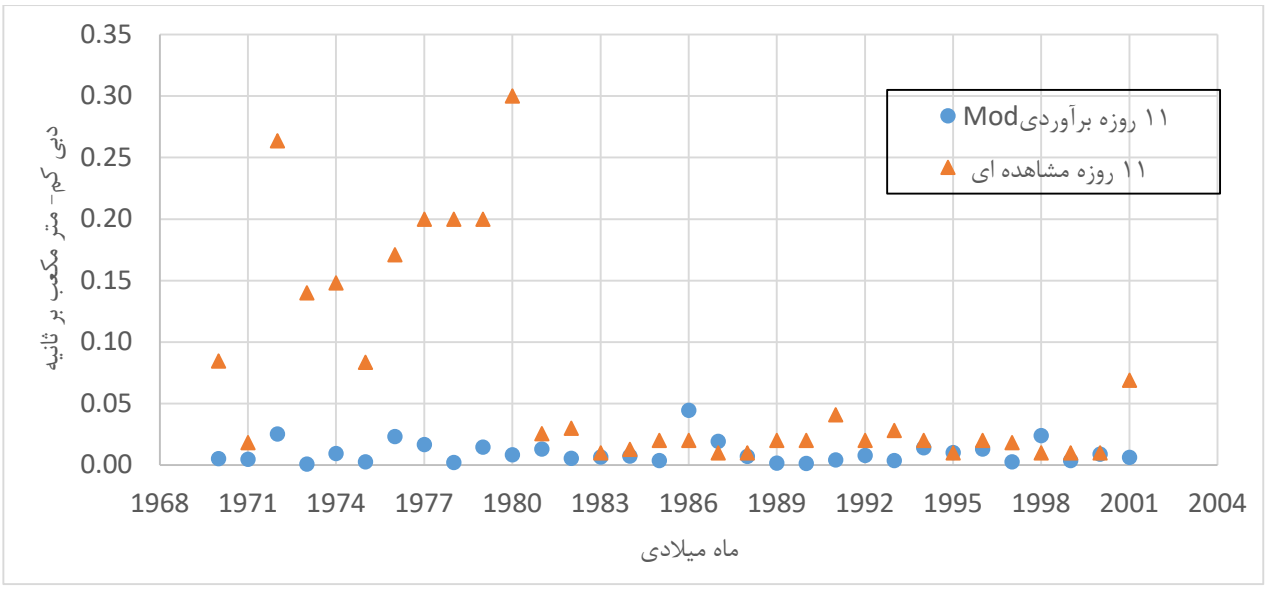
شکل ۷- مقادیر مشاهده ای و برآوردی مدل IHACRES در پایه زمانی جریان کم ۳ روزه در کل دوره حاضر



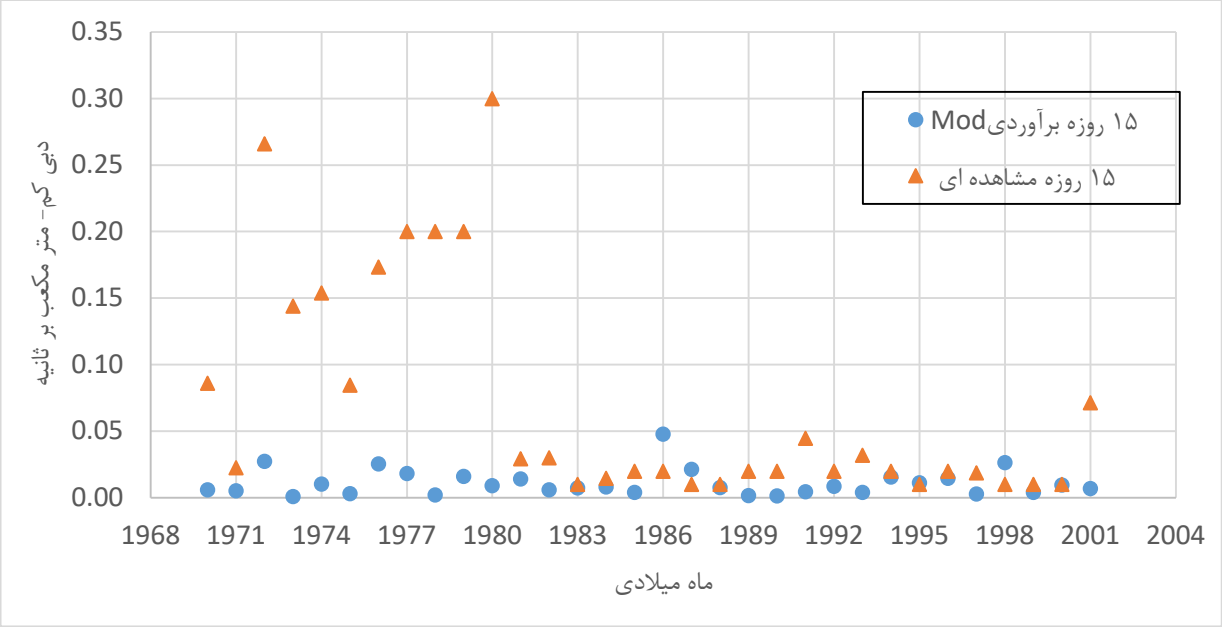
شکل ۸- مقادیر مشاهده ای و برآوردی مدل IHACRES در پایه زمانی جریان کم ۵ روزه در کل دوره حاضر



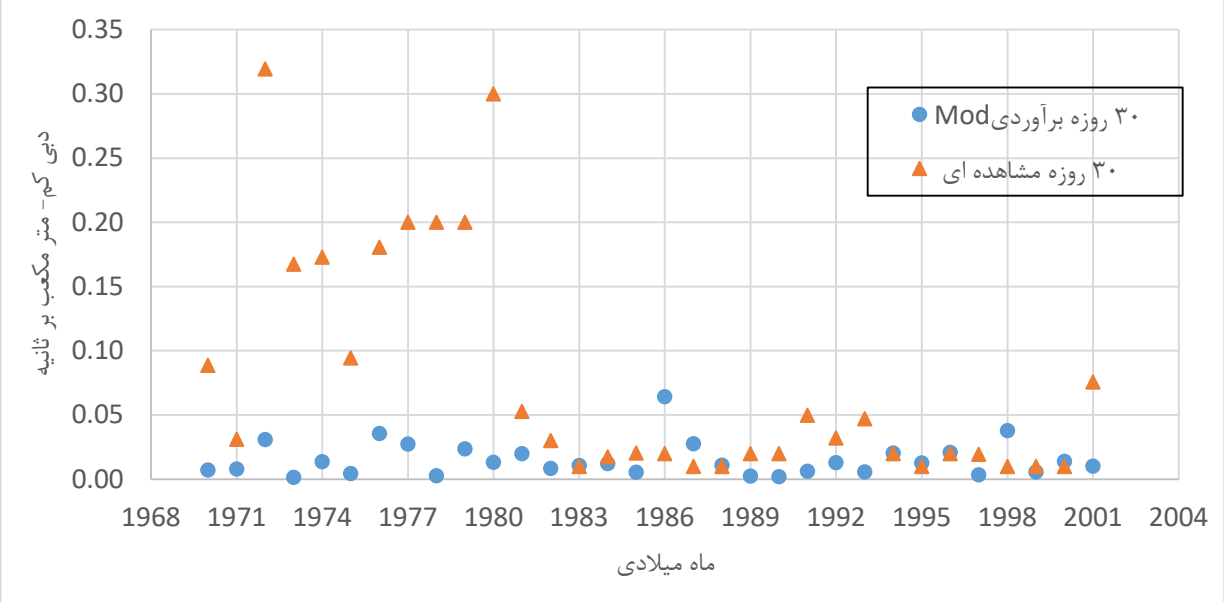
شکل ۹- مقادیر مشاهده ای و برآوردی مدل IHACRES در پایه زمانی جریان کم ۷ روزه در کل دوره حاضر



شکل ۱۰- مقادیر مشاهده ای و برآوردی مدل IHACRES در پایه زمانی جریان کم ۱۱ روزه در کل دوره حاضر



شکل ۱۱- مقادیر مشاهده ای و برآوردی مدل IHACRES در پایه زمانی جریان کم ۱۵ روزه در کل دوره حاضر



شکل ۱۲- مقادیر مشاهده ای و برآوردی مدل IHACRES در پایه زمانی جریان کم ۳۰ روزه در کل دوره حاضر

جدول ۴- آماره های داداه های مشاهده‌ای و برآوردی مدل IHACRES درجریان حداقل

داده	آماره	۳ روزه	۵ روزه	۷ روزه	۱۱ روزه	۱۵ روزه	۳۰ روزه
مشاهده ای (متر مکعب بر ثانیه)	متوسط	0.066	0.068	0.069	0.070	0.071	0.077
	متوسط بعد از ۱۹۸۰	0.018	0.019	0.020	0.021	0.021	0.024
	حداقل	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
	حداکثر	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.319
برآوردی (متر مکعب بر ثانیه)	متوسط	0.008	0.009	0.009	0.010	0.011	0.015
	متوسط بعد از ۱۹۸۰	0.008	0.009	0.009	0.010	0.011	0.015
	حداقل	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	حداکثر	0.042	0.043	0.043	0.044	0.048	0.064
مقدار خطا درصد نسبی	متوسط	-87.21	-87.03	-86.74	-85.73	-84.59	-80.52
	متوسط بعد از ۱۹۸۰	-53.35	-54.07	-54.41	-52.27	-49.51	-39.11
	حداقل	-99.47	-99.46	-99.44	-99.38	-99.33	-99.14
	حداکثر	108.78	115.60	117.55	140.30	163.68	277.95

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدل IHACRES در شبیه سازی ماهانه و سالانه از دقت خوبی برخوردار بود. بطوریکه خطای نسبی دبی سالانه ۱۱/۵ درصد و با قدر مطلق خطای ۰/۹۱با متر مکعب بر ثانیه در ماه آوریل با ۳/۴ متر مکعب بر ثانیه بیش برآورد و ماه ۱/۳ متر مکعب بر ثانیه کم برآورد بیشترین خطای برآورد ماهانه را به خود اختصاص دادند. مدل در فصل تابستان شبیه سازی بهتری داشته مقادیر خطای اوت تا سپتامبر کمتر از ۰/۰۱ مترمکعب بر پانیه را نشان داد. این مدل دبی حداقل را نیز حداقل را نیز با دقت خوبی شبیه سازی کرد. بطوریکه در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۱ دبی حداقل با پایه زمانی۳، ۵ ، ۱۱ ، ۱۵ و ۳۰ روزه به ترتیب ۵۳، ۵۴، ۵۲، ۵۴، ۴۹، ۳۹ درصد حاصل شد.

این مدل نسبت به SWAT از دقت کمتری برخوردار است ولی با توجه به اینکه مقدار دبی پایه خیلی کم بوده اختلاف کم نیز بصورت درصد بالا نشان داده شده است. از نظر مقدار خطای مطلق کمتز از ۰/۰۱ متر مکعب بر ثانیه در کلیه پایه های زمانی است.

منابع

- اسلامیان، س.، ع. زارعی، ا. ابریشمچی. (۱۳۸۳). برآورد منطقه ای جریان های کم رودخانه های حوزه‌های آبخیز مازندران. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی دانشگاه صنعتی اصفهان، جلد ۸، شماره ۱، ص۲۷-۳۸
- صیاحی، ث. شهبازی، ع. و خادمی، خ. ۱۳۹۶، پیش بینی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ماهانه حوضه دز با استفاده از مدل IHACRES، فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۷(۱۵)، ۷-۱۸.
- عباسی، م، (۱۳۸۸)، ارزیابی اقدامات فنی آبخیزداری به کمک مدل ریاضی HEC-HMS (مطالعه موردی: حوزه کن استان تهران)، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی.
- واثقی، ر. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر جمعی خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوس بر رواناب حوضه قره سو در دوره آتی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاداسلامی واحد علوم تحقیقات، صفحات ۸ تا ۲۵.
- Dracup, J. A. Seonglee, K. and Paulson, E. G. 1980. On the definition of droughts. Water resources research. 16(2):297-302.
- Javeed, Y. and K V, Apoorva. 2015, Flow Regionalization Under Limited Data Availability Application of IHACRES in the Western Ghats, Aquatic Procedia, 4, 933-941.
- Oyerinde, G. and Diekkruger, B. 2017, Influence of Parameter Sensitivity and Uncertainty on Projected Runoff in the Upper Niger Basin under a Changing Climate, Journal of Climate, 5 (67), doi:10.3390/cli5030067.
- Smaktin, V. U. 2001. Low Flow hydrological: overview. Journal of hydrology. Pp 147-186.
- Tegegne, G. Kwan Park, D. and Kim, Y. 2017, Comparison of hydrological models for the assessment of water

resources in a data-scare region, the Upper Blue Nile River Basin, Journal of Hydrology, 14, 49-66.
- Tolcha, W. and Waltner, I. 2016, Performance Assessment of the IHACRES Model in the Upper Catchment of Dawa Sub-basin, Borna Rangeland, Ethiopia, Engineering and Applied Sciences, 1(2): 13-19.