دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تخمین دبی روزانه با استفاده از مدل IHACRES در برخی از حوزه‌های آبخیز استان گلستان

حسین خیرفام[۱]، رئوف مصطفی زاده[۱] و سیّد حمیدرضا صادقی[۲]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرّس
۲- استاد دانشگاه تربیت مدرّس، (نویسنده مسوول: sadeghi@modares.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۰

چکیده

تعیین دقیق مقادیر دبی روزانه در آبخیزهای فاقد آمار از چالش‌های مهم در هیدرولوژی می‌باشد. مدل‌های متعددی برای تخمین دبی ارائه شده است که در این میان مدل IHACRES یکی از مدل‌های ساده با داده‌های ورودی کم برای تخمین دبی حوزه‌های آبخیز است. این در حالی است که ارزیابی دقت و کارآیی آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق شبیه‌سازی متوسط دبی روزانه جریان با استفاده از مدل IHACRES و ارزیابی کارآیی آن در هفت زیرحوزه رودخانه گرگان‌رود استان گلستان انجام شد. داده‌های روزانه بارش، دما و آبدهی در فاصله سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۶ برای تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مدل در هر یک از حوزه‌های مورد مطالعه، واسنجی و اعتبارسنجی گردید. ارزیابی نتایج مدل‌سازی دبی‌های جریان با استفاده از معیارهای کارآیی نشان داد که توانایی مدل مذکور در برآورد مقادیر بالای دبی روزانه تاحدی مناسب، ولی در اکثر حوزه‌ها، نتایج برآورد مقادیر دبی با فراوانی بیش از ۶۰ درصد، ضعیف بوده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها و در هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی، مقادیر برآوردی مدل خصوصاً در مقادیر دبی اوج کمتر از مقادیر مشاهداتی بود. در مجموع نتایج مدل IHACRES در تعدادی از زیرحوزه‌های مورد مطالعه با ضریب تعیین و کارآیی حداکثر به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۷۰ (P<۰/۰۵) نسبتاً قابل قبول ارزیابی گردید.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، دبی روزانه، مدل IHACRES، هیدرولوژی آبخیز

مقدمه

به دلیل محدودیت امکان اندازه‌گیری دبی جریان در زمان و مکان، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی می‌تواند ابزاری برای پیش‌بینی و تخمین باشد که به تصمیم‌گیری مناسب در مدیریت منابع آب سطحی کمک خواهد نمود (۴). در این راستا تحقیقات هیدرولوژیست‌ها بسیاری از پیچیدگی‌های فرآیندهای بارش-رواناب را روشن کرده است (۲۲). در این رابطه مدل‌سازی هیدرولوژیک، ابزار مفیدی در فراهم

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

نمودن بستر مدیریت پایدار منابع آب می‌باشد (۲۴). شناخت روابط بارش و روانآب و هم‌چنین اطلاع از توزیع زمانی و مکانی بارش و شناخت اثر آن روی دبی رودخانه از مواردی است که مدیران را در مدیریت صحیح منابع آب در یک حوزه آبخیز کمک می‌نماید (۱۸).

بر اساس رویکرد مفهومی مورد استفاده در مدل IHACRES[1]، این مدل می‌تواند برای اهدافی مانند بررسی اثرات متغیرهای اقلیمی مانند تغییرات بارش، دما و نیز تغییرات ضریب رواناب مورد استفاده قرار گیرد (۶). با توجه به کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری در حوزه‌های کوچک یا بالادست، توسعه آزمون‌هایی که بتواند آبدهی جریان را در مقیاس زمانی روزانه و در مکان دلخواه برآورد نماید از موارد ضروری است که به بهبود اطلاعات مورد نیاز برای اهداف مدیریتی مرتبط با منابع آب منجر می‌گردد. در این راستا پیش‌بینی دبی جریان رودخانه‌ای در حوزه‌های آفریقای جنوبی توسط دای و کروک (۱۰)، با استفاده از مدل IHACRES صورت گرفت و کارآیی مناسب مدل مذکور در پیش‌بینی جریان حوزه‌های کوچک، جریان‌های با سرعت کم و پیش‌بینی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر دبی مناسب ارزیابی شد. مکینتر و القریشی (۱۵) با هدف محاسبه دبی اوج و حجم جریان خروجی از حوزه وادی آهین[2] در کشور عمان با مساحت ۷۳۴ کیلومتر مربع از سه مدل IHACRES، KINEROS2[3] و رگرسیون استفاده و برتری نتایج مدل IHACRES نسبت به دو مدل دیگر را تایید نمودند. ویز و همکاران (۲۱) با استفاده از چهار مدل بارش- رواناب SIMHYD[4]، SACRAMENTO[5]، SMARG و IHACRES، تاثیرات تغییرات اقلیمی روی واکنش‌های هیدرولوژیکی ۶۱ حوزه جنوب شرق استرالیا را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که نتایج تخمینی مدل IHACRES مطابقت بیشتری با داده‌های مشاهداتی داشت. هم‌چنین در مطالعات متعددی از مدل IHACRES برای شبیه‌سازی جریان روزانه در نقاط مختلف جهان استفاده نموده‌اند، که می‌توان به مطالعات شرایدر و جیکمن (۱۹) در استرالیا، لیتل وود و همکاران (۱۳)، هاچینسون و همکاران (۱۱) در ایالات متحده کارکانو و همکاران (۶) و کروک و جیکمن (۷) در استرالیا اشاره نمود. در ایران نیز زارعی و همکاران (۲۳)، با استفاده از مدل IHACRES جریان آبخیز رودخانه کسیلیان در استان مازندارن را شبیه‌سازی نمودند و نتیجه گرفتند که توانایی مدل در برآورد دبی‌های ماهانه از دبی‌های روزانه بیشتر است و قابلیت شبیه‌سازی دبی‌های سالانه را نداشته است. آشفته و مساح بوانی (۱)، در بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر در آذربایجان شرقی، از مدل IHACRES در بخش شبیه‌سازی جریان استفاده نمودند و نتایج مدل را برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی، به ترتیب با مقادیر ضریب همبستگی ۷۹٪ و ۷۰٪ قابل قبول ارزیابی نمودند. با وجود این که مدل مفهومی IHACRES برای مناطق معتدل تهیه شده است، اما با توجه به عمومیت آن، امکان کاربرد

1- Identification of Hydrographs and Components for Rainfall, Evapotranspiration and Stream Flow Data
2- Wadi Ahin
3- Kinematic Runoff and Erosion
4- Simple Hydrologic Model
5- Sacramento Hydrologic Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

آن در حوزه‌ها و شرایط اقلیمی مختلف وجود دارد (۱۱، ۱۳، ۲۲). در شرایطی که داده‌های واقعی در یک دوره‌ی زمانی مناسب ثبت شده باشد، مدل‌هایی مانند TOPMODEL[1] و MIKE-SHE می‌توانند از داده‌های اقلیمی و خصوصیات حوزه برای نمایش تفصیلی فرآیندهای بارش- رواناب استفاده نمایند. این در حالی است که مدل‌هایی مانند IHACRES با وجود اینکه به داده‌های کمتری نیاز دارند، می‌توانند نتایج مناسبی را ارائه دهند (۶) لذا از آنجایی که داده‌های ورودی مورد نیاز IHACRES تنها بارش و دما در مقیاس روزانه بوده و در اکثر حوزه‌های آبخیز وجود دارد، می‌توان با اجرا و ارزیابی مدل در حوزه‌های دارای ایستگاه هیدرومتری، آن را برای سایر حوزه‌های فاقد آمار توصیه نمود (۱۳). بر این اساس و با توجه به وجود آمار دبی روزانه و نیز امکان انتخاب حوزه‌هایی با مساحت متفاوت، وجود آبخیزهایی با تنوع کاربری اراضی و تفاوت در رفتار هیدرولوژیک هر یک از حوزه‌ها، هدف تحقیق حاضر کاربرد مدل IHACRES در تخمین جریان رودخانه‌ای در تعدادی از حوزه‌های آبخیز رودخانه‌ی گرگانرود در استان گلستان است.

در این راستا نتایج مدل‌سازی جریان مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و میزان کارآیی مدل مذکور در برآورد دبی متوسط روزانه مشخص می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گرگان‌رود با مساحت ۱۱۴۱۱ کیلومتر مربع در استان گلستان و محدوده‌ی جغرافیایی ′۲۸ °۵۶ تا ′۰۰ °۵۴ طول شرقی و ′۴۸ °۳۷ تا′۳۵ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. در این تحقیق هفت زیر حوزه در حوزه آبخیز مورد مطالعه به دلیل برخورداری از خصوصیات فیزیوگرافی، پوشش گیاهی، بهره‌برداری و رفتار هیدرولوژیکی متفاوت به‌سبب وجود سد وشمگیر به عنوان عامل تعدیل کننده دبی جریان (بالا دست ایستگاه آق‌قلا) و نبود عامل مذکور (سایر ایستگاه‌ها) برای سنجش و تحلیل رفتار مدل IHACRES و مدل‌سازی دبی جریان انتخاب گردید که خصوصیات آنها در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه و هم‌چنین زیر حوزه‌های انتخابی را نمایش می‌دهد.

روش تحقیق

تهیه داده‌های ورودی مدل

داده‌های روزانه بارندگی (میلی‌متر) و دما (درجه سانتی‌گراد) به عنوان متغیرهای ورودی برای شبیه‌سازی جریان و داده‌های مشاهداتی دبی روزانه (مترمکعب در ثانیه) در ایستگاه‌های هیدرومتری برای سنجش دقت مدل IHACRES مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس آمار موجود سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۷

1- Topographic Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

به عنوان دوره‌ی آماری مشترک انتخاب گردید. با استفاده از روش تیسن مقادیر میانگین روزانه‌ی دما و بارش برای هر حوزه مشخص گردید (۲، ۶).

اجرای مدل هیدرولوژی IHACRES

IHACRES یک مدل یکپارچه مفهومی-متریک برای شبیه‌سازی بارش-رواناب می‌باشد که توسط جیکمن در سال ۱۹۹۰ توسعه یافت (۳). این مدل به پنج تا هفت متغیر برای واسنجی نیاز دارد و برای اجرا در حوزه‌های بزرگ مناسب است (۹). در این مطالعه از نسخه IHACRES v2.1 استفاده شده است که برای حوزه‌های دارای داده‌های پیوسته بارش، دما و رواناب کاربرد دارد. این مدل مطابق شکل ۲ شامل دو بخش به هم پیوسته غیرخطی و خطی است که به ترتیب برای محاسبه تلفات و تبدیل بارش موثر به رواناب تعریف شده است (۸، ۱۵).

تبدیل بارش به بارش موثر (بخش غیرخطی): در این بخش، بارش موثر از حاصل‌ضرب بارش کل در شاخص رطوبت خاک حوزه در هر بازه زمانی محاسبه می‌شود (رابطه‌ی ۱).

$$u_k = \left[c\left(\Phi_k - l\right)\right]^P r_k \qquad (۱)$$

که در آن c ضریب تعادل حجم بارش، l آستانه شاخص رطوبت خاک، P فاکتور واکنش غیرخطی و r_k بارش مشاهداتی می‌باشد. Φ_k شاخص رطوبت خاک است که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$\Phi_k = r_k + \left(1 - \frac{1}{{}^2{}_k}\right)\Phi_{k-1} \qquad (۲)$$

که در آن، ${}^2{}_k$ برابر شدت خشکی خاک و به عنوان تابعی از دما است که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$${}^2{}_k = {}^2{}_w \exp\left(f\left(T_{ref} - T_k\right) \times 0.062\right) \qquad (۳)$$

که در آن، ${}^2{}_w$ شدت خشکی خاک مبنا، f تابع تعدیل دما (تاثیر تغییر یک واحد دما بر میزان تلفات)، T_{ref} دمای مرجع و T_k دما در بازه زمانی مورد نظر هستند. بعد از محاسبه بارش موثر، هیدروگراف واحد کل با استفاده از بخش خطی در مدل محاسبه می‌گردد.

تبدیل بارش موثر به رواناب (بخش خطی): بخش خطی دارای سه پارامتر ${}^2{}_q$، ${}^2{}_s$ و V_s می‌باشد. ترکیب دو مولفه جریان سریع $x_k^{(q)}$ و جریان آهسته $x_k^{(s)}$ منجر به تولید رواناب x_k می‌شود که با استفاده از روابط (۴ تا ۶) محاسبه می‌گردد (۲۰).

$$x_k = x_k^{(q)} + x_k^{(s)} \qquad (۴)$$

$$x_k^{(q)} = -\sim_q x_{k-1}^{(q)} + {}_q u_k \qquad (۵)$$

$$x_k^{(s)} = -\sim_s x_{k-1}^{(s)} + {}_s u_k \qquad (۶)$$

که در آن، $\sim_q$ و ${}_q$ به ترتیب، ثابت زمانی جریان سریع و $\sim_s$ و ${}_s$ به ترتیب ثابت زمانی جریان آهسته می‌باشند که با استفاده از روابط (۷) و (۸) بدست می‌آیند.

$${}^2{}_q = \frac{-\Delta}{\ln\left(-\sim_q\right)} \qquad (۷)$$

$${}^2{}_s = \frac{-\Delta}{\ln\left(-\sim_s\right)} \qquad (۸)$$

که در آن، Δ بازه زمانی و ${}^2{}_q$ و ${}^2{}_s$ ثابت زمانی فروکش برای جریان سریع و آهسته در مخازن متوالی (بر حسب روز) می‌باشند. نسبت

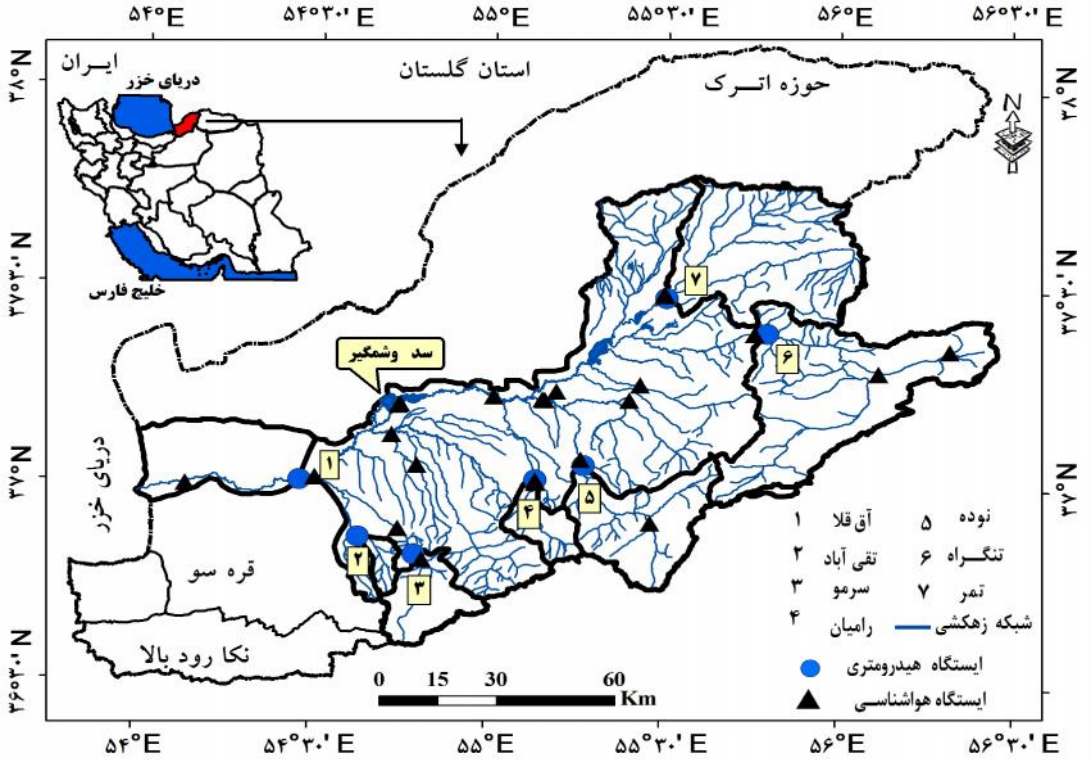
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

حجمی جریان سریع و آهسته به‌صورت رابطه (۹) درنظر گرفته می‌شوند.

$$V_q = 1 - V_s = \frac{q}{1+\sim_q} = 1 - \frac{s}{1+\sim_s} \qquad (۹)$$

واسنجی مدل

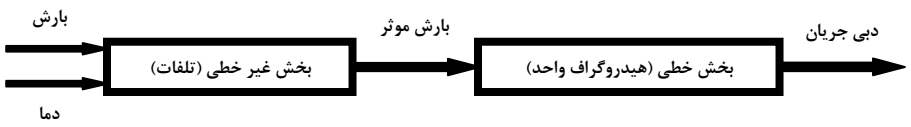
با تجزیه و تحلیل آمار هیدرومتری ایستگاه‌ها، دوره‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۷ به ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل انتخاب گردید. فرآیند واسنجی مدل شامل تخمین پارامترهایی است که حداقل تابع هدف را مشخص می‌نمایند (۲۲).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل ایستگاه‌های منتخب

جدول ۱- خصوصیات زیر حوزه‌های مورد مطالعه در حوزه آبخیز رودخانه گرگان‌رود (۱۲)

نام ایستگاه	آق‌قلا	نوده	رامیان	سرمو	تقی آباد	تمر	تنگراه
مساحت (کیلومترمربع)	۹۸۶۱/۱	۸۱۸/۲	۲۴۱/۹	۳۹۷/۴	۹۷/۸	۱۵۱۵/۲	۱۸۳۵/۵
ارتفاع متوسط (متر)	۱۷۹۴	۱۵۴۷	۱۵۲۹	۲۰۵۷	۱۳۲۱	۱۰۷۰	۱۳۹۸
متوسط سالانه دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۶/۹	۱۵/۳	۱۷/۳	۱۶/۳	۱۶/۶	۱۷/۴	۱۴/۳
متوسط سالانه بارش (میلی‌متر)	۵۲۹	۴۹۱	۷۲۰	۷۱۴	۶۵۷	۴۶۶	۴۲۵



شکل ۲- ساختار عملکرد مدل هیدرولوژیک IHACRES (۱۴)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

در واسنجی مدل IHACRES مقادیر ثابت زمانی خشکی آبخیز w^2 و فاکتور تعدیل دما f در بخش غیر خطی مدل به صورت دستی توسط کاربر انتخاب می‌شوند و مقادیر پارامترهای در بخش روندیابی خطی مدل و پارامتر $1/c$ (ثابت میزان ذخیره آبخیز) توسط خود نرم‌افزار محاسبه می‌شود. در این مرحله بهترین مدل بر اساس مقادیر معیارهای ارزیابی ضریب تعیین ساده و تبدیل شده (جذر، لگاریتم و معکوس) انتخاب می‌گردد.

ارزیابی و اعتبارسنجی مدل

در ارزیابی نتایج شبیه‌سازی پیوسته جریان در مدل از معیارهای آماری مختلفی استفاده می‌شود که در روابط ۱۰ تا ۱۶ ارائه شده است. در رابطه ۱۰، معیار ضریب تعیین[1] بر اساس رابطه میان مجذور مربعات 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 بنا نهاده شده‌اند، با این تفاوت مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر ریشه مربعات (رابطه ۱۱)، لگاریتم (رابطه ۱۲) و عکس مقادیر (رابطه ۱۳)، جایگزین شده‌اند و برای ارزیابی مقادیر خطا در جریان‌های کم مناسب‌تر هستند (۷، ۱۳). مقادیر معیارهای خطای نسبی[2] و مجذور میانگین مربعات خطا[3] بر اساس روابط ۱۴ و ۱۵ محاسبه شدند (۱۸). 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 کمتر مدل در برآورد دبی جریان می‌باشد. در معیار ضریب کارآیی[4]، (رابطه ۱۶)، هر چه مقدار عددی ضریب مذکور به عدد یک نزدیک‌تر باشد، حاکی از توانایی بالاتر مدل در شبیه‌سازی خواهد بود.

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

$$R^2 sqrt = 1 - \frac{\sum(\sqrt{Q_0} - \sqrt{Q_m})^2}{\sum(\sqrt{Q_0} - \overline{\sqrt{Q_0}})^2} \qquad (۱۱)$$

$$R^2 \log = 1 - \frac{\sum(\ln(Q_0 + £) - \ln(Q_m + £))^2}{\sum(\ln(Q_0 + £) - \overline{\ln(Q_o + £)})^2} \qquad (۱۲)$$

$$R_{Inv}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{Q_i^o + £} - \frac{1}{Q_i^m + £}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{Q_i^o + £} - \frac{1}{Q_i^m + £}\right)^2} \qquad (۱۳)$$

$$RE = \left|\frac{Y_O - Y_m}{Y_o}\right| \times 100 \qquad (۱۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_O - Q_m)^2}{n}} \qquad (۱۵)$$

$$C_E = \frac{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_O - Q_{\bar{O}})^2 - \frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_O - Q_m)^2}{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_O - Q_{\bar{O}})^2} \qquad (۱۶)$$

که در آن، Q_0 داده‌های مشاهداتی، $\overline{Q_o}$ میانگین داده‌های مشاهدات، Q_m داده‌های شبیه‌سازی شده، £ مقداری است که برای داده‌های صفر جریان مشاهداتی در نظر گرفته می‌شود و n تعداد مشاهدات است. مقدار عددی ضریب تعیین بین منفی بی‌نهایت تا

1- Coefficient of determination 2- Relative Error 3- Root Mean Squared Error
4- Coefficient of Efficiency

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

یک متغیر است و مقدار یک نشان‌دهنده تطابق کامل می‌باشد. هر چه مقادیر سایر ضرایب به عدد یک نزدیک‌تر باشد، تناسب بین داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی بیشتر خواهد بود (۵، ۱۷).

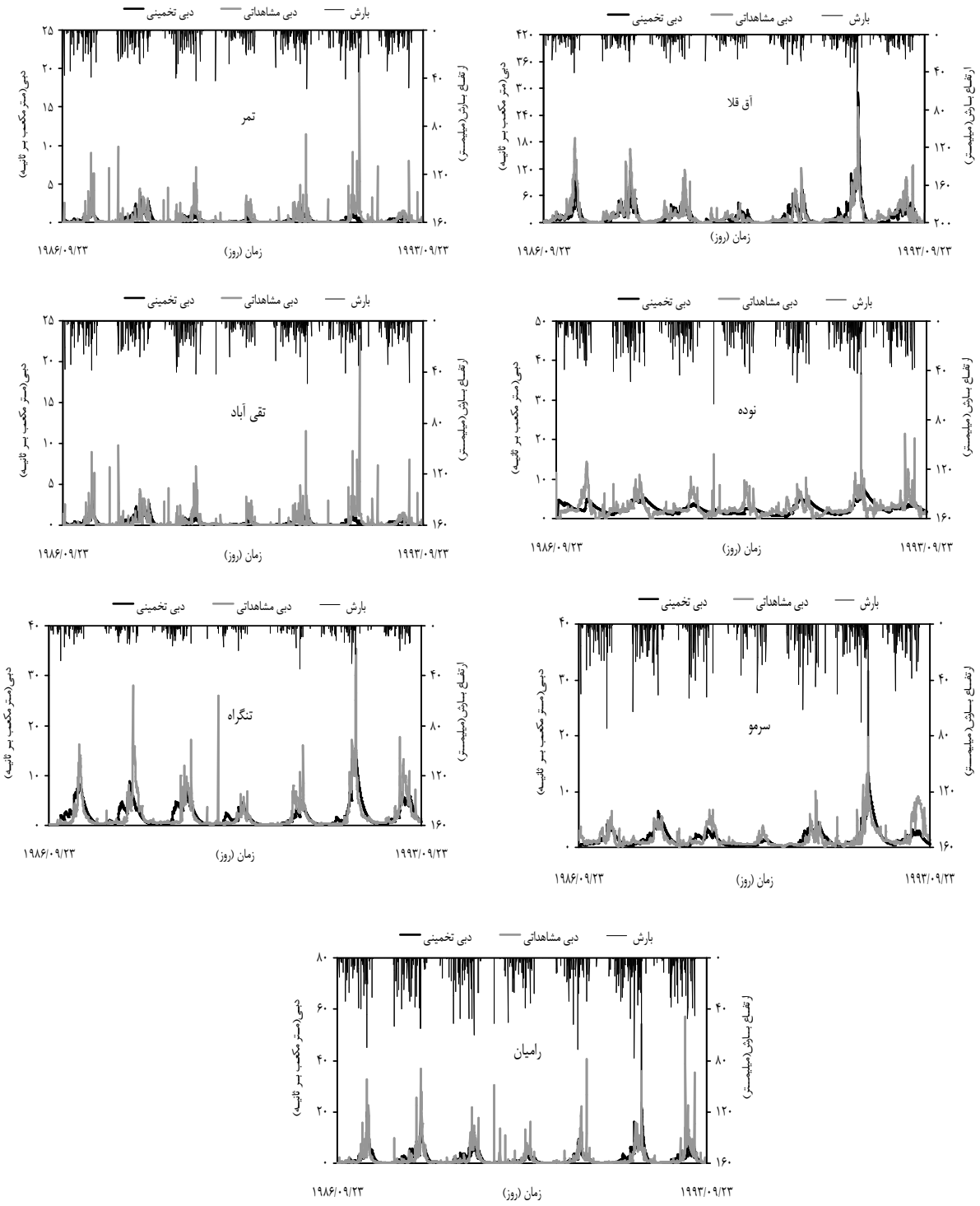
نتایج و بحث

پس از اجرای مدل برای حوزه‌ها و انجام واسنجی با روش دستی سعی و خطا با استفاده از آمار مشاهداتی ایستگاه‌های هیدرومتری، پارامترهای به‌دست آمده مدل برای ایستگاه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده امکان ارزیابی کلی و سریع دقت مدل را فراهم می‌نماید. بر این اساس، مقایسه گرافیکی مقادیر جریان روزانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای مرحله واسنجی در سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۳ در هر یک از ایستگاه‌ها در شکل ۳ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات شکل ۳ می‌توان گفت که نتایج شبیه‌سازی مدل در ایستگاه‌های آق‌قلا، تنگراه، سرمو و رامیان برای دوره واسنجی، در دبی‌های پایه دارای تطابق بیشتری است. این در حالی است که در ایستگاه‌های تقی‌آباد، تمر و نوده عدم تطابق میان نتایج شبیه‌سازی و داده‌های مشاهداتی وجود دارد. هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی جریان در مرحله واسنجی مدل بر اساس روابط ۱۰ تا ۱۳ مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۲- جزییات مقادیر پارامترهای به‌دست آمده از فرآیند واسنجی مدل IHACRES

متغیر / ایستگاه	شدت خشکی (روز)	فاکتور تعدیل دما (درجه سانتی‌گراد)	حجم رطوبت ذخیره‌ای (میلی‌متر)	ثابت زمانی‌کاهش پاسخ جریان سریع حوزه (روز)	آستانه شاخص رطوبت خاک (بدون بعد)	حجمی از جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت دارد (روز)
آق‌قلا	۴۰	۱	۰/۰۰۰۸۲۳	۱۲/۰۲۵	۰/۱	۱
نوده	۱	۳/۵	۰/۰۰۳۲۶۹	۱۰۸/۹۴۴	۰/۱	۱
رامیان	۲۹	۵	۰/۰۰۱۲۹۱	۱۵/۰۳۵	۰/۰۱	۱
سرمو	۴۰	۲	۰/۰۰۰۸۸۹	۴۹/۷۱۱	۰/۱	۱
تقی آباد	۱	۸	۰/۰۰۱۴۸۳	۱۳/۵۱۹	۰/۱	۱
تمر	۴	۲	۰/۰۰۱۸۳۱	۲۸/۴۴۳	۰/۱	۱
تنگراه	۹	۶/۵	۰/۰۰۱۹۷۰	۳۶/۱۸۶	۰/۱	۱

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]



شکل ۳- مقادیر جریان روزانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای مرحله واسنجی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

با استفاده از اطلاعات جدول ۳، در هر یک از ایستگاه‌ها مقادیر معیارهای ارزیابی قابل مشاهده است. موتوویلو و همکاران (۱۶) که مطالعه‌ای بر اساس ۷ سال داده انجام داده بودند، بیان نموده‌اند که اگر مقادیر ضریب تعیین در ارزیابی مدل بزرگتر یا مساوی ۰/۷۵

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

باشد، نتایج خوب و در صورتی که این مقدار بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، نتایج شبیه‌سازی قابل قبول می‌باشد. بنابراین، غیر از نتایج شبیه‌سازی ایستگاه‌های نوده، تقی‌آباد و تمر، در سایر ایستگاه‌ها نتایج قابل قبول می‌باشد.

در مرحله اعتبارسنجی نیز مقایسه ترسیمی و ارزیابی کمی مقادیر جریان روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نیز در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۷ برای هر یک از ایستگاه‌ها به ترتیب در شکل ۴ و جدول ۴ ارائه شده است.

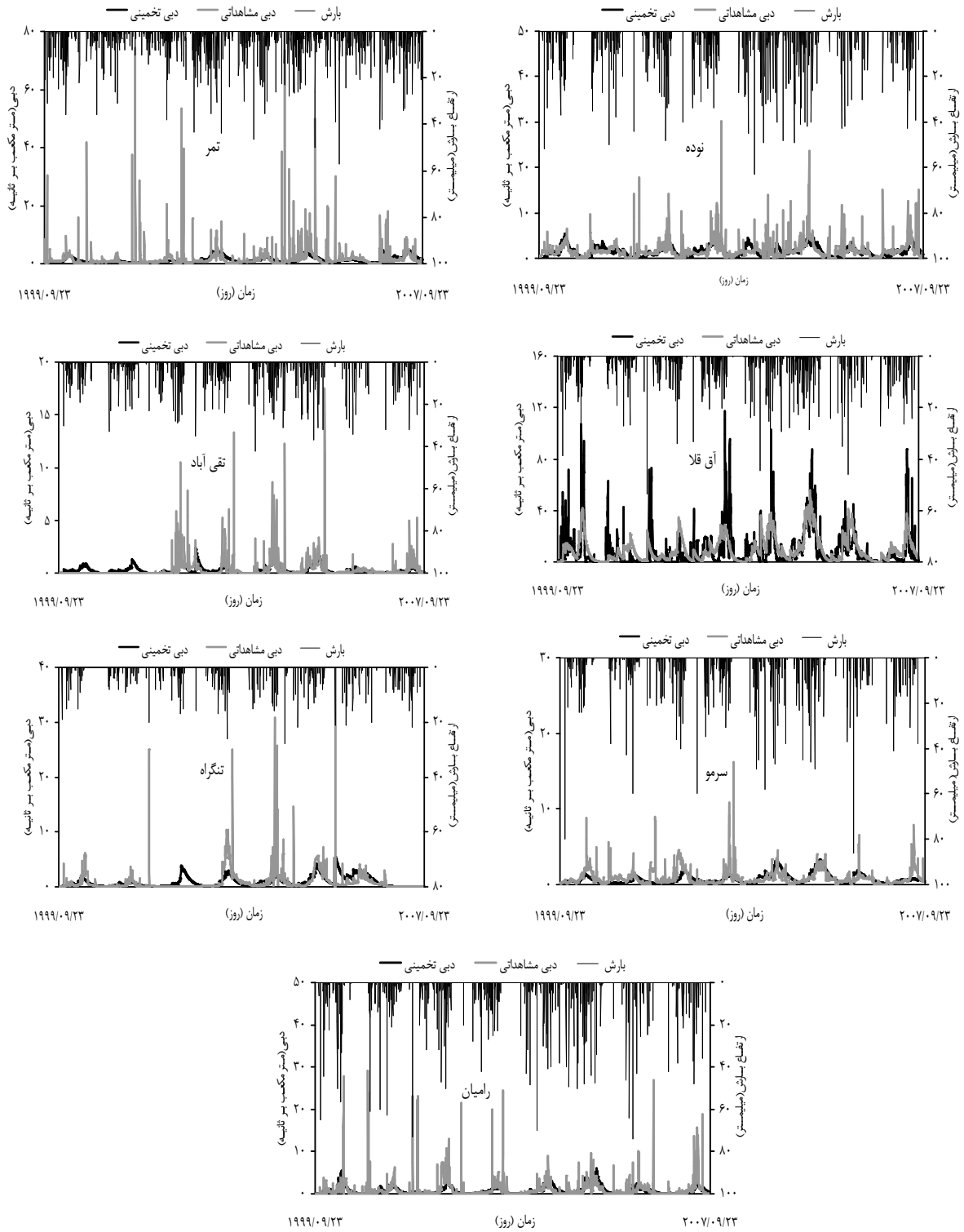
جدول ۳- مقادیر معیارهای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی جریان در مرحله واسنجی مدل IHACRES

معیار ارزیابی نتایج مدل	آق‌قلا	نوده	رامیان	سرمو	تقی‌آباد	تمر	تنگراه
ضریب تبیین ($R\ sqrt$)	۰/۶۷۲	۰/۲۵۵	۰/۴۵۳	۰/۵۰۷	۰/۲۲۰	۰/۳۳۲	۰/۵۷۴
ریشه مربعات خطا ($R^2\ sqrt$)	۰/۶۶۱	۰/۱۰۸	۰/۶۴۸	۰/۴۹۱	۰/۵۱۲	۰/۵۰۶	۰/۶۵۳
لگاریتم مربعات خطا ($R^2\ log$)	۰/۶۵۰	۰/۰۹۰	۰/۷۲۸	۰/۴۸۳	۰/۶۰۸	۰/۵۳۶	۰/۶۸۲
عکس مربعات خطا ($R^2\ Inv$)	۰/۵۳۲	۰/۰۴۰	۰/۵۵۹	۰/۴۵۵	۰/۶۳۲	۰/۴۷۶	۰/۶۳۲
درصد خطای نسبی (RE)	۹۵/۶	۹۶	۱۰۷/۴	۶۱/۲	۱۰۶/۹	۱۰۶/۹	۹۲/۰
مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE$)	۱۵/۲	۲	۲/۹	۱/۳	۰/۸	۰/۸	۱/۹
ضریب کارآیی (C_E)	۰/۷	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۶

بر اساس نتایج، مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی جریان در دوره‌های مرطوب یا به عبارتی دبی‌های بالا داشته است. این در حالی است که در مورد دبی‌های کم جریان این تطابق کم‌تر می‌باشد که با نتایج تحقیق یی و همکاران (۲۲) مطابقت دارد. با توجه به این‌که نتایج شبیه‌سازی جریان در این تحقیق در ایستگاه‌های آق‌قلا، تمر و تنگراه تقریباً مناسب است می‌توان گفت که توانایی مدل در تخمین دبی در حوزه‌هایی با مساحت بزرگ، بالاتر است، این در حالی است که دای و کروک (۱۰) در چند حوزه آبخیز آفریقای جنوبی نتایج عکس تحقیق حاضر را ارائه داده‌اند که دلیل آن را به تغییر شدید کاربری اراضی و خشکی طولانی مدت حوزه و وقوع بارش‌های با مدت کم و شدت زیاد نسبت داده‌اند که نشان از توانایی کم مدل در شبیه‌سازی دبی‌های سریع و سیلابی می‌باشد. از مجموع ایستگاه‌های موجود، تنها ایستگاه آق‌قلا پائین دست سد وشمگیر واقع شده است. بر همین اساس نقش کنترلی سد مذکور در تعدیل دبی‌های حدّی و طبعاً ایجاد تعادل جریانی مورد تأیید قرار می‌گیرد. قابل ذکر است که سد مذکور در ۱۳۴۹ احداث شده و طبعاً لحاظ نقش تعادل کننده آن بر داده‌های دبی پایین دست و از جمله ایستگاه آق‌قلا و طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه در تحقیق حاضر منطقی به‌نظر می‌رسد. 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، که نتیجه مشابهی در این خصوص توسط آشفته و مساح

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

بوانی (۱) در حوزه آیدوغموش آذربایجان شرقی گزارش شده است.



شکل ۴- مقادیر جریان روزانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

جدول ۴- مقادیر معیارهای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی جریان در مرحله اعتبارسنجی مدل IHACRES

معیار ارزیابی نتایج مدل	آق‌قلا	نوده	رامیان	سرمو	تقی‌آباد	تمر	تنگراه
ضریب تبیین ($R\ sqrt$)	۰/۳۹۵	۰/۲۲۰	۰/۱۳۹	۰/۱۲۳	۰/۲۱۲	۰/۳۸۰	۰/۱۵۹
ریشه مربعات خطا ($R^2\ sqrt$)	۰/۴۱۰	۰/۲۳۲	۰/۴۹۶	۰/۲۳۴	۰/۳۲۳	۰/۵۰۷	۰/۴۲۵
لگاریتم مربعات خطا ($R^2\ log$)	۰/۴۲۶	۰/۲۲۳	۰/۶۶۹	۰/۲۹۳	۰/۴۵۱	۰/۵۳۹	۰/۶۲۴
عکس مربعات خطا ($R^2\ Inv$)	۰/۳۴۵	۰/۱۳۵	۰/۶۰۶	۰/۲۴۷	۰/۵۱۰	۰/۴۹۹	۰/۶۶۸
درصد خطای نسبی (RE)	۱۲۰/۳	۷۰/۶	۱۷۰/۱	۶۱/۲	۲۸۸۱/۳	۸۳/۲	۱۹۰/۶
مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE$)	۱۱/۹	۱/۷	½	۱/۰	۰/۸	۳/۸	۲/۰
ضریب کارآیی (C_E)	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰	۰/۲

در مجموع می‌توان گفت که نتایج مدل IHACRES در تعدادی از حوزه‌های مورد مطالعه (آق‌قلا، رامیان، تمر و تنگراه) در حد نسبتاً قابل قبولی ارزیابی گردید. 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 (۶)، 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. نتایج تحقیق حاضر با نتایج زارعی و همکاران (۲۳) مبنی بر توانایی خوب مدل مذکور در حوزه آبخیز کسیلیان حدوداً همخوانی دارد که می‌توان دلیل آن را با تشابه حوزه‌های مورد مطالعه از نظر کاربری جنگلی توجیه نمود. این در حالی است که نتایج ارزیابی مدل در تحقیق حاضر در مقایسه با نتایج تحقیق آشفته و مساح بوانی (۱)، متفاوت است. که دلیل آن را می‌توان با تفاوت خصوصیات بارش، دما و اقلیمی در دو منطقه مورد مطالعه نسبت داد. هم‌چنین باید اشاره نمود که الگوی وقوع بارش و دبی‌هایی با مقادیر بالا در حوزه آیدوغموش با منطقه تحقیق حاضر متفاوت است که به تبع آن پاسخ هیدرولوژیک متفاوت از یکدیگر را باعث می‌گردد. با توجه به تعداد کم داده‌های ورودی مورد نیاز مدل IHACRES در شبیه‌سازی جریان، استفاده از آن برای بسیاری از هدف‌ها می‌تواند مفید باشد که نظر یی و همکاران (۲۲) را تایید می‌نماید. با توجه به این که داده‌های ورودی مورد نیاز (بارش و دما) در مقیاس روزانه که در اکثر حوزه‌های آبخیز وجود دارد، پیشنهاد می‌شود کارآیی مدل مذکور در سایر حوزه‌های آبخیز کشور مورد ارزیابی قرار گیرد. در صورت تناسب نتایج مدل مذکور، سادگی و در دسترس بودن متغیرهای آن از مزیت‌هایی است که کاربرد آن را برای حوزه‌های فاقد آمار در مطالعات هیدرولوژیک و محاسبه آبدهی جریان توجیه می‌نماید.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

منابع

1. Ashofteh, P.S. and A. Masah-Bavani. 2010. Effects of climate change on peak dicharges (Case Study: Aidoghmosh Watershed, East Azarbaijan Province). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 14(53): 25-39. (In Persian)
2. Bahremand, A. and F. DeSmedt. 2008. Distributed hydrological modeling and sensitivity analysis in torysa watershed, Slovakia. Water Resources Management, 22: 393-408.
3. Besaw, L.E., D.M. Rizzo, P.R. Bierman and W.R. Hackett. 2010. Advances in ungauged streamflow prediction using artificial neural networks. Hydrology, 386: 27-37.
4. Beven, K.J. 2001. Rainfall-runoff modelling: The Primer. John Wiley and Sons Press, 360 pp.
5. Blaker, R.S. and J.P. Norton. 2007. Efficient investigation of the feasible parameter set for large models. Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation, MODSIM: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 1526-1532.
6. Carcano, E.C., P. Bartolini, M. Muselli and L. Piroddi. 2008. Jordan recurrent neural vetwork versus IHACRES in modeling daily stream flows. Hydrology, 362: 291-307.
7. Croke, B.F.W. and A.J. Jakeman. 2008. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi arid regions. In: H.S. Wheater, S. Sorooshian and K.D. Sharma, (eds.) Hydrological Modelling in Arid and Semi-arid Areas. 41-48 pp., Cambridge University Press, Cambridge.
8. Croke, B.F.W., F. Andrews, J. Spate and S.M. Cuddy. 2005. IHACRES user guide. Technical Report 2005/19. Second Edition. iCAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra. http://www.toolkit.net.au/ihacres.
9. Croke, B.F.W. and A.J. Jakeman. 2004. A catchment moisture deficit module for the IHACRES rainfall-runoff model. Environmental Modelling and Software, 19: 1-5.
10. Dye, P.J. and B.F.W. Croke. 2003. Evaluation of stream flow predictions by the IHACRES rainfall-runoff model in two South African catchments. Environmental Modeling and Software, 18: 705-712.
11. Hutchinson, D., P.H. Whitfield and P. Allamano. 2006. Transferability of conceptual model parameters in mountainous rainfall-driven catchments. Proceedings of Water under Pressure: Balancing Values, Demands and Extremes. B.C. Branch, Canadian Water Resources Association Conference, Vancouver, BC.
12. Kankashe-omran Engineering Consulting Inc. 2008. Final report on water resources studies of the Gharesou-Gorganroud River basins Vol. 2 (Synthesis), 156 pp.
13. Littlewood, I.G., R.T. Clarke, W. Collischonn and B.F.W. Croke. 2007. Predicting daily streamflow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments. Environmental Modelling and Software, 22: 1229-1239.
14. Littlewood, I.G., K. Down, J. Parker and D. Post. 1997. IHACRES v1.0 user guide. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK and Integrated Catchment

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

Assessment and Management Centre, Australian National University, Canberra, 94 pp.
15. McIntyre, N. and A. Al-Qurashi. 2009. Performance of ten rainfall-runoff models applied to an aarid catchment in Oman. Environmental Modelling and Software, 24: 726-738.
16. Motovilov, Y.G., L. Gottschalk, K. Engeland and A. Rohde. 1999. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. Agricultural and Forest Meteorology, 98-99: 257-277.
17. Sadeghi, S.H.R., M. Mozayyan and H.R. Moradi. 2007: Development of hydrograph using different rainfall components in Kasilian Watershed. Journal of the Iranian Natural Resources, 60(1): 33-43. (In Persian)
18. Sadeghi, S.H.R., B. Yasrebi, and F. NoorMohammadi. 2005. Development and analysis of monthly precipitation runoff relationships for Haraz Watershed in Mazandaran Province. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of Khazar, 3(1): 1-12. (In Persian)
19. Schreider, S.Yu. and A.J. Jakeman. 2001. Streamflow modelling on a Sub-daily time step in the Upper Murray basin. Mathematical and Computer Modelling, 33: 659-663.
20. Taesombat, W. and N. Sriwongsitanon. 2010. Flood Investigation in the Upper Ping river basin using mathematical models. Kasetsart Natural Science, 44: 152-166.
21. Vaze, J., D.A. Post, F.H.S. Chiew, J.M. Perraud, N.R. Viney and J. Teng. 2010. Climate non-stationarity-validity of calibrated rainfall–runoff models for use in climate change studies. Hydrology, 394: 447-457.
22. Ye, W., A.J. Jakeman and P.C. Young. 1998. Identification of improved rainfall-runoff models for an ephemeral low-yielding Australian catchment. Environmental Modelling and Software, 13: 59-74.
23. Zarei, M., M.R. Ghanbarpour, M. Habibnezhad Roshan and K. Shahedi. 2009. Streamflow simulation using IHACRES rainfall-runoff model (case study: Kasilian Catchment). Iran-Watershed Management Science and Engineering, 3(8): 11-20. (In Persian)
24. Zlatunova, D., G. Gergov and I.G. Littlewood. 2002. Preliminary assessment of a unit hydrograph-based continuous simulation model for bulgarian rivers, Proceedings International Environmental Modelling and Software Society Conference, iEMSs. Lugano, Switzerland. Vol. I, 405-409 pp.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]

Daily Discharge Prediction Using IHACRES Model in Some Watersheds of Golestan Province

Hossein Kheirfam[1], Raoof Mostafazadeh[1] and Seyed Hamid Reza Sadeghi[2]

1- PhD Student, Tarbiat Modares University
2- Professor, Tarbiat Modares University, (Corresponding author: sadeghi@modares.ac.ir)
Received: 2, October, 2011 Accepted: 10, July, 2012

Abstract

Accurate prediction of daily discharge in ungauged watersheds is an important issue in hydrology. Several models have been developed for predicting discharge. The IHACRES is a friendly use model with limited input data which is being used for simulation of watershed outputs. The present study was conducted to assess the applicability of the IHACRES model to simulate daily mean discharge in seven sub-watersheds of Gorganrood in Golestan Province, Iran. Daily time series data of rainfall, stream flow and temperature were applied for the duration of 1986 to 2007. The model was calibrated and consequently validated for each study watershed. The results of the evaluation showed that the model performance in prediction of high flows was fairly good while its performance for flows with frequency of more than 60% was weak. The results also indicated that the simulated peak flows were lower than observed values in almost all stations and in both the calibration and validation periods. The efficiency of IHACRES model in predicting daily discharge was found to be fairly good with maximum and respective coefficients of determination and efficiency of 0.67 and 0.70 ($P<0.05$).

Keywords: Golestan Province, Daily Discharge, IHACRES Model, Watershed Hydrology

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-02]