



دانشگاه گیلان، دانشکده مهندسی عمران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره دوم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

استفاده از مدل نیمه مفهومی IHACRES در شبیه‌سازی جریان روزانه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تمر)

*مریم دوستی^۱، کاکا شاهی^۲، محمود حبیب‌نژاد روشن^۳ و میرحسن میریعقوب‌زاده^۴
^۱دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، آستادیار گروه آبخیزداری،
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۲دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
^۳دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۲۷

چکیده

بهره‌برداری و استفاده مطلوب از منابع آب و مدیریت بهینه آن مستلزم شناخت بهتر مدل‌های هیدرولوژی است. از آن‌جا که در حوزه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز برای بررسی عکس‌العمل حوزه امکان‌پذیر نمی‌باشد بنابراین انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار، با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز، پیش‌بینی با دقت قابل‌قبولی ارائه نماید، امری ضروری به‌نظر می‌رسد. در این پژوهش از مدل IHACRES برای مطالعه فرایند بارش- رواناب حوزه آبخیز تمر واقع در استان گلستان استفاده شده است. به‌منظور شبیه‌سازی رواناب در حوزه مورد مطالعه، مدل IHACRES کالیبره شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد با توجه به مقادیر خطا در حجم جریان ($BIAS=3/412$) در مراحل واسنجی و ($BIAS=0/416$) در مرحله ارزیابی، جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل IHACRES، کم‌تر از جریان مشاهداتی بوده است. اگرچه مدل نتوانسته است دبی‌های حداکثر را به‌خوبی شبیه‌سازی کند، اما در مجموع با توجه به انحرافات کم مدل و شبیه‌سازی خوب مقادیر حداقل و براساس دو پارامتر ضریب تعیین ($R^2=0/66$) در مرحله واسنجی و ($R^2=0/61$) در مرحله ارزیابی و میانگین خطای نسبی ($APRE=0/008$) در مرحله واسنجی و ($APRE=0/029$) در مرحله ارزیابی می‌توان گفت عملکرد مدل در حوزه مورد مطالعه رضایت‌بخش بوده است.

واژه‌های کلیدی: بارش- رواناب، شبیه‌سازی، IHACRES، حوزه آبخیز تمر، استان گلستان

*مسئول مکاتبه: m.dousti89@yahoo.com

مقدمه

یکی از مهم‌ترین محاسبه‌های هیدرولوژیکی برای یک حوزه، تعیین نحوه ارتباط بارش با رواناب تولید شده در آن می‌باشد. با افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌های اقتصادی در دشت‌های سیلابی و حاشیه رودخانه‌های اصلی، اهمیت مطالعات در مورد رواناب حداکثر، حجم آب به‌دست آمده، بده و فراوانی طغیان‌های رودخانه‌های مختلف افزایش می‌یابد. به‌علت لزوم این محاسبه‌ها، روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل بارندگی و رواناب ارائه شده است (برای مثال روش‌های تجربی بارش-رواناب، هیدروگراف واحد و مدل‌های بر پایه فیزیک) که با گذشت زمان، روش‌ها بهبود یافته و نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهند. از آن‌جا که در حوزه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز برای بررسی عکس‌العمل حوزه میسر نمی‌باشد، انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز، پیش‌بینی با دقت قابل‌قبولی را ارائه کند امری ضروری به‌نظر می‌رسد (شریفی و همکاران، ۲۰۰۴). یکی از این مدل‌ها، مدل IHACRES می‌باشد که به‌علت داده‌های کم‌تر مورد نیاز بدون صرف زمان و هزینه زیاد برای تهیه داده‌ها، به آسانی می‌تواند در بسیاری از حوزه‌های آبخیز به‌کار برده شود (دی و کروک، ۲۰۰۳). مدل IHACRES در دامنه وسیعی از مکان و اقلیم به‌کار برده می‌شود. وسعت حوزه مورد مطالعه در این مدل از بسیار کوچک در حد چند کیلومتر مربع تا ۱۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع می‌تواند تغییر کند (کروک و همکاران، ۲۰۰۵). دی و کروک (۲۰۰۳)، کارایی مدل بارش-رواناب IHACRES را در پیش‌بینی رواناب در حوزه‌های آفریقای جنوبی مورد بررسی قرار دادند. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای حوزه‌های Lambrechtsbos و Groot-Nylrivier در قبل و بعد از تغییرات کاربری اراضی (احداث جنگل)، نتایج نشان داد که جریان پیش‌بینی شده در حوزه Lambrechtsbo در دوره‌های قبل و بعد از جنگل‌کاری دقت قابل‌قبولی داشته است. در حوزه Groot-Nylrivier نیز در دوره‌های به‌نسبت کوتاه ۲ تا ۳ سال قابل‌قبول بوده، اما کارایی مدل در دوره‌های زمانی طولانی‌تر به‌دلیل پیش‌بینی‌های ضعیف در برخی سال‌های معین کاهش یافته بود. لیتل‌وود و همکاران (۲۰۰۷)، با استفاده از پیش‌بینی بارش، جریان روزانه رودخانه را برای دو حوزه در کشور برزیل شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که براساس دو مدل آماری به‌کار رفته برای این دو حوزه با رژیم جریان متفاوت، مدل ساده‌تر که مبتنی بر هیدروگراف واحد بوده و برای واسنجی تنها نیاز به داده‌های بارش، جریان و درجه حرارت دارد،

تقریباً به خوبی مدل‌های پیچیده‌تر حوزه که به اطلاعات اضافی مانند تصاویر ماهواره‌ای و نقشه رقومی ارتفاع، کاربری اراضی و خاک نیاز دارند، عمل می‌کند. همین‌طور کارلا کارکانو و همکاران (۲۰۰۸)، طی پژوهشی برای مدل‌سازی جریان روزانه در مناطق شمالی ایتالیا، دو مدل IHACRES و شبکه عصبی را مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که وقتی داده‌های ورودی مناسب در دسترس است، عملکرد مدل‌های ساده مانند IHACRES نسبت به یک مدل پیچیده بهتر است. در پژوهش دیگری مک‌اینتری و آل‌کوراشی (۲۰۰۹)، عملکرد ۱۰ مدل بارش-رواناب را در یک حوزه خشک در Wadi Ahin کشور عمان بررسی کردند. مساحت حوزه ۷۳۴ کیلومترمربع بوده و داده‌های ساعتی حاصل ۲۷ واقعه بارش-رواناب در حوزه می‌باشند. آن‌ها با استفاده از آنالیز حساسیت، نسخه ۹ پارامتره IHACRES (یه و همکاران، ۱۹۹۷)، را به نسخه‌های ۳، ۴ و ۵ پارامتره کاهش دادند و عملکرد هر کدام را بررسی کردند که نتایج بیانگر عملکرد بهتر مدل‌های نیمه‌توزیعی ۳ و ۴ پارامتره در پیش‌بینی حجم و پیک سیلاب است. همچنین این پژوهش نشان داد که مدل‌های یک و سه پارامتره برای پیش‌بینی زمان اوج بهتر می‌باشد. کروک و جیکمن (۲۰۰۸)، مدل IHACRES را برای ۴ حوزه آبخیز در استرالیا مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که براساس معیار نش و ساتکلیف (۱۹۷۰)، عملکرد مدل مناسب می‌باشد ولی در سال‌های خشک عملکرد ضعیفی مشاهده شده بود. جیسون و شریدر (۲۰۰۲)، برای بررسی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم بر جریان ورودی به منطقه شهری Perth واقع در غرب استرالیا از مدل بارش-رواناب IHACRES برای شبیه‌سازی رواناب به دست آمده از تغییرات متغیرهای اقلیمی استفاده کردند. آب‌شانندی و بوردر (۲۰۱۱)، مدل IHACRES را برای حوزه آبخیز خشک Wadi Dhuliel در شمال شرق اردن به کار بردند. آن‌ها داده‌های بارش و رواناب ۱۹ واقعه رگبار را در طول سال‌های ۹۲-۱۹۸۶ در این پژوهش به کار بردند. برآورد سیل در مقیاس‌های روزانه و در مقیاس‌های واقعه رگبار انجام شد. نتایج نشان داد عملکرد مدل IHACRES در مقیاس روزانه ضعیف است ولی در وقایع رگباری توافق خوبی بین دبی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد. خیرفام و همکاران (۲۰۱۱)، در پژوهشی جریان رودخانه‌ای را برای حوزه آبخیز چهل‌چای (استان گلستان) با استفاده از مدل بارش-رواناب IHACRES مورد شبیه‌سازی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل بارش-رواناب IHACRES قادر به شبیه‌سازی دبی روزانه برای حوزه آبخیز چهل‌چای با ضریب همبستگی ۰/۵۱۴ می‌باشد. زارعی و همکاران (۲۰۱۰)؛

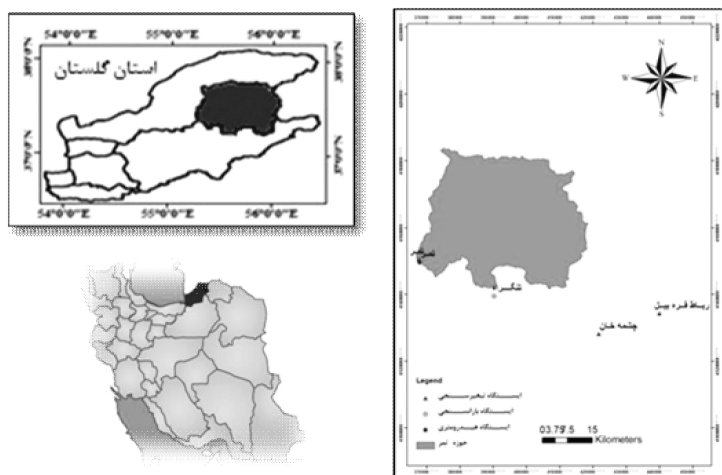
طی پژوهشی به شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوزه آبخیز کسلیان با استفاده از مدل بارش- رواناب IHACRES پرداختند. نتایج نشان داد که مدل توانایی شبیه‌سازی داده‌های روزانه و ماهانه را با دقت قابل‌قبولی دارد، ولی قابلیت شبیه‌سازی داده‌های سالانه را ندارد. گودرزی و همکاران (۲۰۱۰)؛ برای پیش‌بینی سیلاب‌های شهری در حوزه رودخانه اعظم هرات یزد از مدل بارش- رواناب IHACRES استفاده کردند. نتایج، کارایی ۶۰ درصدی مدل را در پیش‌بینی وقوع سیلاب در منطقه را نشان می‌دهد. رواناب سطحی، یکی از دلایل عمده در فرسایش و کاهش حاصل‌خیزی خاک، رسوب‌گذاری در مخازن و کاهش کیفیت آب رودخانه می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی دقیق پاسخ حوزه به رویدادهای بارش مهم می‌باشد و با توجه به غلبه اقلیم خشک و نیمه‌خشک در حوزه تمر این مسأله بیش‌تر دارای اهمیت می‌باشد. از طرف دیگر به‌علت کمبود ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری، امکان بررسی دقیق ارتباط بارش- رواناب براساس اطلاعات موجود ممکن نیست. بنابراین لزوم استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در این حوزه‌ها بیش‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد تا بتوان اثرات ایجاد رواناب و وضعیت هیدروگراف‌های جریان را مورد بررسی قرار داد. هدف از این پژوهش مطالعه کارایی مدل IHACRES در بررسی فرآیند بارش- رواناب در مقیاس روزانه در حوزه آبخیز تمر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز تمر یکی از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز گرگان‌رود می‌باشد که در استان گلستان واقع شده است. مساحت حوزه مورد مطالعه ۱۵۲۵/۳ کیلومترمربع و از نظر جغرافیایی در محدوده ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی قرار دارد. مرتفع‌ترین نقطه در منطقه خوش‌بیلاق در جنوب حوزه با ارتفاع ۲۰۹۸ متر و پست‌ترین نقطه محل سد گلستان ۲ با ارتفاع ۱۱۷ متر از سطح دریا می‌باشد (محمدی استادکلاهی، ۲۰۰۲). مرکز ثقل حوزه از نظر جغرافیایی دارای عرض شمالی ۳۷ درجه و ۳۶ دقیقه و ۱۹ ثانیه و طول شرقی ۵۵ درجه و ۴۷ دقیقه و ۴۶ ثانیه می‌باشد و در ارتفاع ۹۰۰ متری قرار دارد. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز تمر را در ایران و در استان گلستان نشان می‌دهد. در حوزه آبخیز تمر تعداد محدودی ایستگاه تبخیرسنجی و باران‌سنجی وجود دارد. بیش‌تر این ایستگاه‌ها دارای طول آماربرداری کوتاه‌مدت می‌باشند (حداکثر ۱۵ سال برای بارش و ۸ سال برای دما)، به‌جز ایستگاه تمر که دارای آمار ۴۰ ساله شامل داده‌های بارش و دمای روزانه می‌باشد. همچنین از آمار ایستگاه

هیدرومتری تمر واقع در خروجی حوزه به‌عنوان رواناب مشاهده‌ای برای واسنجی و ارزیابی مدل استفاده شد. مشخصات این دو ایستگاه در جدول ۱ آورده شده است. داده‌های دما و بارش ایستگاه تمر و همچنین داده‌های رواناب مشاهده‌ای در یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۱) استخراج گردید. برای متغیرهای دما و بارش ایستگاه تمر با توجه به وسعت حوزه و تنوع ارتفاع بخش‌های مختلف آن و این‌که ایستگاه مورد مطالعه در خروجی حوزه قرار گرفته، دما و بارش آن نمی‌تواند معرف کل منطقه باشد، با بررسی اختلاف رقوم این ایستگاه و رقوم متوسط حوزه تمر، با استفاده از گرادیان دمایی، داده‌های دمای مربوط به متوسط حوزه محاسبه شد. برای متغیر بارش نیز پس از تطویل و تکمیل داده‌های روزانه، بارندگی مربوط به متوسط حوزه از طریق رسم گرادیان بارش و بررسی رابطه‌های بین آن‌ها با در نظر گرفتن رقوم ایستگاه تمر به رقوم متوسط حوزه به‌دست آمد. برای انجام این کار از قانون اعداد بزرگ^۱ استفاده شد. این قانون بیان می‌کند که میانگین اعضای یک نمونه تصادفی از یک مجموعه بسیار بزرگ مقداری نزدیک به مقدار میانگین کل مجموعه می‌باشد (شینین، ۲۰۰۵؛ هاکینگ، ۱۹۸۳). بر این اساس در هر سال ۳۰ روز به‌طور تصادفی انتخاب شد و داده‌های دمای حداقل و حداکثر مربوط به روزهای انتخابی از بین آمارهای ایستگاه تمر و ایستگاه‌های رباط قره‌بیل و چشمه‌خان که در خارج از حوزه و در ارتفاعات مختلفی قرار دارند، استخراج گردید. برای متغیر بارش از داده‌های آماری ایستگاه تمر و ایستگاه‌های تنگراه، رباط قره‌بیل و چشمه‌خان در خارج از حوزه استفاده شد. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است. سپس با توجه به داده‌های به‌دست آمده گرادیان مربوط به ۳۰ روز در هر سال ترسیم شد و رابطه آن به‌دست آمد. در مجموع ۲۷۰۰ رابطه گرادیان برای ۳۰ سال و برای دماهای حداکثر و حداقل و بارش تولید شد. سپس با بررسی گرادیان‌های مربوط به هر سال بهترین رابطه گرادیان با ضریب همبستگی بالاتر برای هر سال انتخاب گردید که در نهایت ۳۰ گرادیان برای دمای حداقل، ۳۰ گرادیان برای دمای حداکثر و ۳۰ گرادیان برای بارش انتخاب گردید. سپس با توجه به رابطه گرادیان به‌دست آمده برای هر سال و با توجه به این‌که از نظر هیپسومتری بیش‌ترین درصد مساحت حوزه در ارتفاعی برابر مرکز ثقل حوزه (۹۰۰ متر) قرار دارد، داده‌های مربوط به دمای حداقل و حداکثر هر سال به مرکز ثقل حوزه منتقل شده و داده‌های متناظر با ارتفاع مرکز ثقل برای ورود به مدل هیدرولوژیکی به‌دست آمدند.

1- Law of Large Numbers



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز تمر و ایستگاه‌های مورد استفاده در استان گلستان و ایران.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در حوزه تمر.

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تمر	تبخیرسنجی	۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه و ۷/۶ ثانیه	۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۱ ثانیه	۱۳۲
تمر	هیدرومتری	۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه و ۲۱/۵ ثانیه	۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه و ۴/۶ ثانیه	۱۳۲

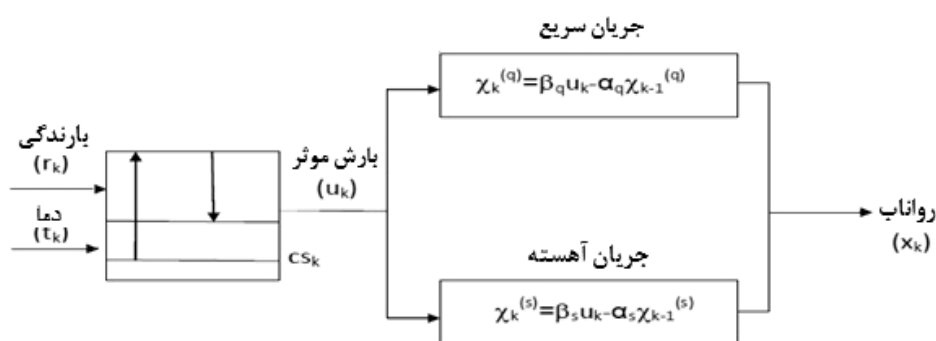
جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در بررسی گرادیان دما و گرادیان بارش.

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تنگراه	باران‌سنجی	۵۵ درجه و ۴۴ دقیقه	۳۷ درجه و ۳۹ دقیقه	۳۳۰
رباط قره‌بیل	تبخیرسنجی	۵۵ درجه و ۱۸ دقیقه	۳۷ درجه و ۲۱ دقیقه	۱۴۵۰
چشمه‌خان	تبخیرسنجی	۵۶ درجه و ۷ دقیقه	۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه	۱۲۵۰

ساختار مدل IHACRES: مدل IHACRES که توسط جیکمن و هورنبرگر (۱۹۹۳) ارائه شده، به‌طور مستمر در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته و تشریح شده است (جیکمن و همکاران، ۱۹۹۰؛ جیکمن و هورنبرگر، ۱۹۹۳؛ لیتلوود و جیکمن، ۱۹۹۴؛ پست و همکاران، ۱۹۹۸). در این پژوهش بسته نرم‌افزاری IHACRES که به‌وسیله کروک و همکاران (۲۰۰۶)، توسعه‌یافته بود، مورد

استفاده قرار گرفته است که به نام IHACRES Classic Plus شناخته شده است. اساس این روش از دو مدول غیرخطی (Non-linear module) و خطی (Linear unit hydrograph module) تشکیل می‌شود. به این منظور در ابتدا بارندگی (r_k) و دما (t_k) در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی، به بارندگی مؤثر u_k تبدیل شده و سپس به وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود. بخش اول، بخش تلفات و بخش دو بخش تابع تبدیل (هیدروگراف واحد) نامیده می‌شوند. بخش تلفات برای تمام فرایندهای غیرخطی بارش- رواناب در مقیاس حوزه آبخیز در نظر گرفته می‌شود، بخش تابع تبدیل مبتنی بر تئوری سیستم‌های خطی است (باکس و جنکینز، ۱۹۷۰؛ دوگ، ۱۹۷۳). شکل ۲ ساختار مدل IHACRES را نشان می‌دهد.

مدل IHACRES دارای ۶ پارامتر می‌باشد که ۳ پارامتر آن مربوط به بخش تلفات غیرخطی می‌باشد، C (حجم رطوبت ذخیره شده در حوزه بر حسب میلی‌متر)، τ_w (مدت زمانی که طول می‌کشد تا حوزه آبخیز خشک شود)، f (فاکتور تعدیل درجه حرارت حوزه) و ۳ پارامتر آن مربوط به تابع تعدیل می‌باشد، 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). داده‌های مورد نیاز مدل شامل داده‌های مربوط به بارش و دما و رواناب مشاهده‌ای می‌باشد. سری زمانی بارندگی و درجه حرارت به عنوان ورودی‌های مدل و برای شبیه‌سازی جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. ولی داده‌های دبی رواناب مشاهده‌ای برای واسنجی مدل و بررسی دقت نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



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

معیارهای ارزیابی: برای بررسی عملکرد مدل، از معیارهایی نظیر R^2 ، APRE و BIAS استفاده می‌شود.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (\sqrt{\phi_s} - \sqrt{\phi})^2}{\sum (\sqrt{\phi} - \sqrt{\phi})^2} \quad (1)$$

$$APRE = \left[\left(\frac{\sigma_{\alpha_1}}{\alpha_1} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\alpha_r}}{\alpha_r} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{b_1}}{b_1} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{b_r}}{b_r} \right)^2 \right] / \varepsilon \quad (2)$$

$$BIAS = \frac{\sum (\phi - \phi_s)}{N} \quad (3)$$

در رابطه‌های ۱ و ۳، ϕ : داده‌های مشاهده‌ای، ϕ_s : داده‌های شبیه‌سازی شده، $\bar{\phi}$: میانگین داده‌های مشاهداتی و N : تعداد داده‌ها می‌باشند. در رابطه ۲، σ : انحراف معیار، α_1 ، α_r ، b_1 و b_r پارامترهای مرتبه دوم تابع انتقال که براساس رابطه‌های زیر تعیین می‌شوند:

$$b_1 = b_r^{(q)} \alpha_1^{(s)} b_r^{(s)} \alpha_1^{(q)} \quad (4)$$

$$\alpha_1 = \alpha_1^{(q)} \alpha_1^{(s)} \quad (-1 < \alpha_1 < 0) \quad (5)$$

$$\alpha_r = \alpha_r^{(q)} \alpha_r^{(s)} \quad (-1 < \alpha_r < 0) \quad (6)$$

مقدار R^2 بیانگر ارتباط خطی بین داده‌های بزرگ مقیاس و کوچک مقیاس بوده که مقدار آن بین صفر و ۱ می‌باشد. هرچه مقدار R^2 به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده رابطه قوی بین داده‌ها می‌باشد. معیار ضریب تعیین به تنهایی نمی‌تواند بیانگر رابطه قوی بین داده‌ها باشد. به این منظور APRE (میانگین خطای نسبی) و BIAS (خطای کل در حجم جریان)، به‌عنوان دو معیار معتبر در کنار R^2 مورد استفاده قرار

-
- 1- Coefficient of Determination
 - 2- Average Relative Parameter Error
 - 3- Overall Error in Flow Volume

می‌گیرد. پارامترهای R^2 ، APRE و BIAS توسط خود مدل محاسبه می‌شوند. در کل هرچه مقادیر R^2 بیش‌تر و مقادیر پارامتر APRE کم‌تر باشد، نتایج مدل ایده‌آل‌تر است (لیتوود و همکاران، ۲۰۰۷). در شروع با WARM UP، مدل شبیه‌سازی را بر پایه جریان‌های غیرصفر آغاز می‌کند و براساس دوره‌ای که کاربر مشخص می‌کند برای رسیدن به شرایط حالت پایدار، قبل از شروع شبیه‌سازی واقعی، شروع به گرم شدن می‌کند.

بنابراین به‌منظور شبیه‌سازی جریان در مقیاس روزانه برای این حوزه، ابتدا دوره ۸۳-۱۹۸۱ برای WARM UP مدل در نظر گرفته شد. از آن‌جا که مدل IHACRES برای این‌که بتواند دبی‌های حداکثر را به‌خوبی شبیه‌سازی کند باید دوره واسنجی را به‌گونه‌ای در نظر گرفت که شامل تعداد کافی از این وقایع باشد (کروک و لیتوود، ۲۰۰۵). بنابراین با در نظر گرفتن این مطلب، در این پژوهش مدل IHACRES در سال‌های ۹۸-۱۹۸۸ واسنجی گردید. پارامترهای محاسبه شده برای حوزه تمر و همچنین نتایج مرحله واسنجی مدل در حوزه به‌ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است. در مرحله بعد، مدل واسنجی شده در در طول سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۷ مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای به‌دست آمده از مرحله واسنجی مدل IHACRES در حوزه آبخیز تمر.

پارامتر	$V(s)$ (روز)	$\tau(s)$ (روز)	$\tau(q)$ (روز)	c (دقیقه)	f (یک بر درجه سانتی‌گراد)	$\tau(w)$ (روز)
مقدار بهینه	۰/۹۴۲	۲۵/۱	-	۰/۰۰۰۲	۰/۵	۲۷

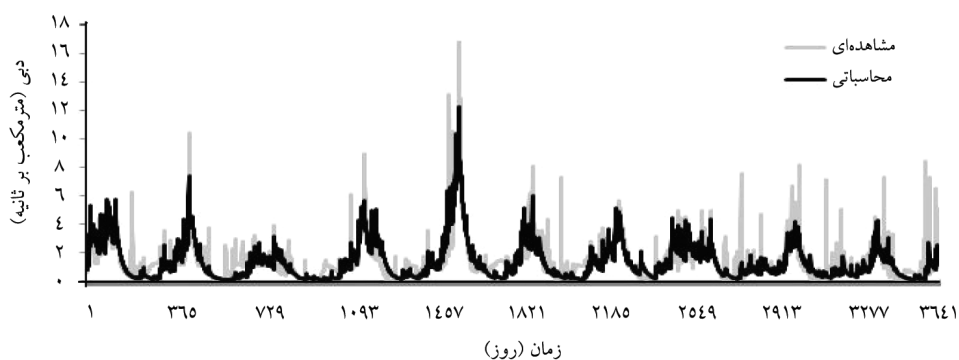
جدول ۴- نتایج عملکرد مرحله واسنجی و ارزیابی مدل IHACRES

دوره	R^2	APRE	BIAS
واسنجی	۰/۶۶	۰/۰۰۸	۳/۴۱۲
صحت‌سنجی	۰/۶۱	۰/۰۲۹	۰/۴۱۶

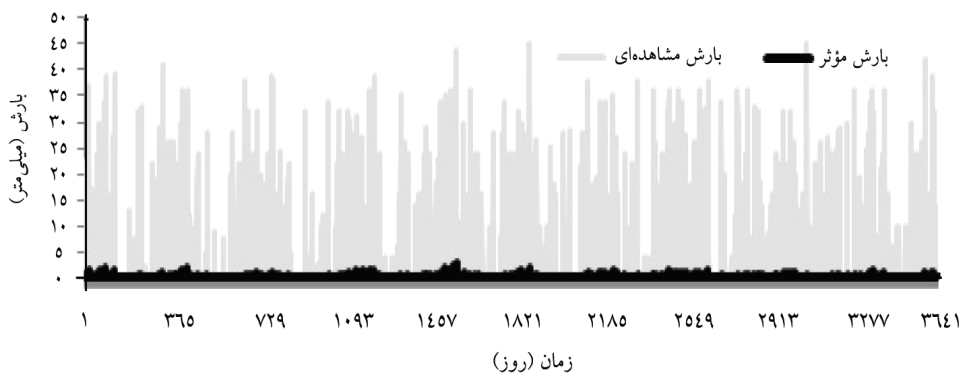
بحث و نتیجه‌گیری

محور این پژوهش شبیه‌سازی جریان روزانه با استفاده از مدل نیمه‌مفهومی IHACRES در حوزه آبخیز تمر استان گلستان می‌باشد. عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان حوزه آبخیز تمر در مرحله واسنجی در شکل ۳ آورده شده است. شکل ۴ نیز بارش مشاهده‌ای و بارش مؤثر محاسبه شده به‌وسیله مدل را در طول دوره واسنجی در مقیاس روزانه نشان می‌دهد.

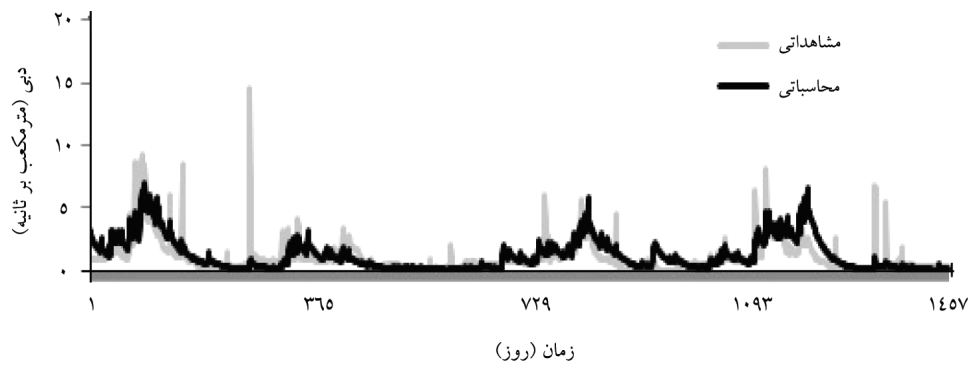
همچنین عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان حوزه آبخیز تمر در مرحله ارزیابی در شکل ۵ آورده شده است. شکل ۶ نیز بارش مشاهده‌ای و بارش مؤثر محاسبه شده به وسیله مدل را در طی دوره ارزیابی در مقیاس روزانه نشان می‌دهد.



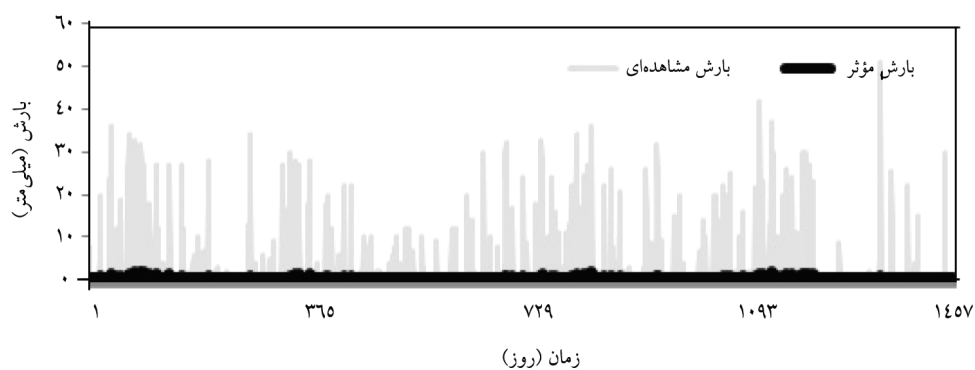
شکل ۳- رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده IHACRES در مرحله واسنجی.



شکل ۴- بارش روزانه (مشاهده‌ای) و بارش مؤثر مدل در مرحله واسنجی.



شکل ۵- رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده IHACRES در مرحله ارزیابی.



شکل ۶- بارش روزانه (مشاهده‌ای) و بارش مؤثر مدل در مرحله ارزیابی.

نتایج به‌دست آمده از مرحله واسنجی نشان می‌دهد اگرچه در بخش‌هایی از طول دوره آماری نتایج مدل IHACRES در شبیه‌سازی رواناب ضعیف می‌باشد، ولی براساس نتایج به‌دست آمده در جدول ۴، مدل IHACRES با ضریب تعیین $0/66$ توانسته است جریان را تا حد قابل‌قبولی شبیه‌سازی کند. در مرحله بعد به ارزیابی مدل کالیبره شده در حوزه تمر پرداخته شد. شکل ۶ عملکرد مدل را در شبیه‌سازی جریان در حوزه تمر در مرحله ارزیابی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج عملکرد مدل در دو مرحله واسنجی و ارزیابی می‌توان دریافت که عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان در مرحله ارزیابی ضعیف‌تر از مرحله واسنجی بوده است که این نتیجه با نتایج کروک و جیکمن (۲۰۰۸) و زارعی و

همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. پارامتر $v(S)$ نشان‌دهنده مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه‌ای می‌باشد و مقادیر زیاد این پارامتر نشان‌دهنده وجود جریان پایه بیش‌تر در رودخانه است. این نتیجه با نتایج زارعی و همکاران (۲۰۱۰) و خیرفام و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. C حجم رطوبت ذخیره شده در حوزه بر حسب میلی‌متر است و نشان‌دهنده سرعت واکنش حوزه آبخیز نسبت به بارش می‌باشد. اگر مقدار پارامتر بالا کم‌تر باشد یعنی حوزه واکنش آهسته‌تری نسبت به بارش نشان می‌دهد. مقدار به‌دست آمده برای این عامل در این حوزه بسیار کم بوده و بنابراین حوزه نسبت به بارش با سرعت کم‌تری واکنش نشان می‌دهد، که علت آن را احتمالاً می‌توان در وجود پوشش جنگلی در بخش‌هایی از حوزه دانست که باعث تاخیر در تولید جریان می‌شود. زارعی و همکاران (۲۰۱۰) در کسپیلیان و لیتلوود و همکاران (۲۰۰۷) در برزیل به مقادیر بیش‌تری از این پارامتر دست یافته بودند. مقادیر مثبت و منفی BIAS به ترتیب بیانگر کم‌تر و بیش‌تر بودن متوسط دبی محاسباتی نسبت به دبی مشاهده‌ای می‌باشد (کروک و همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به این نکته و نتایج جدول ۳ مشخص می‌شود که مدل دبی محاسباتی را کم‌تر از رواناب مشاهده‌ای برآورد کرده است، که شاید یکی از دلایل آن در نظر نگرفتن رواناب ناشی از ذوب برف توسط مدل در منطقه باشد. زارعی و همکاران (۲۰۱۰) نیز در حوزه آبخیز کسپیلیان به این نتیجه دست یافته بودند. در مجموع براساس نتایج به‌دست آمده، مدل IHACRES با ضریب تعیین ۰/۶۶ در دوره واسنجی و ۰/۶۱ در دوره ارزیابی می‌تواند الگوی تغییرات رواناب منطقه مورد مطالعه را تا حد قابل‌قبولی شبیه‌سازی کند. از طرف دیگر وجود خطای کم در شبیه‌سازی این مدل در دوره واسنجی (APRE برابر ۰/۰۰۸) و دوره ارزیابی (APRE برابر ۰/۰۲۹) نیز نشان‌دهنده انحرافات کم مدل در شبیه‌سازی مقادیر روزانه دبی در حوزه تمر دارد. اگرچه با توجه به نتایج به‌دست آمده در شکل ۳ در مرحله واسنجی و شکل ۶ در مرحله ارزیابی مشخص می‌شود که مدل توانایی کم‌تری در شبیه‌سازی دبی‌های حداکثر دارد. دی و کروک (۲۰۰۳) نیز طی پژوهشی در دو حوزه در آفریقای جنوبی و آشفته و مساح‌بوانی (۲۰۱۰) نیز در حوزه آیدوغموش آذربایجان شرقی به این نتیجه دست یافتند. در کل با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که مدل جریان‌های کم حوزه را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند، اما در شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر توانایی کمی دارد و مقادیر کم‌تری را شبیه‌سازی می‌کند. اما در مجموع با توجه به انحرافات کم مدل و شبیه‌سازی خوب مقادیر حداقل می‌توان گفت عملکرد مدل در حوزه مورد مطالعه رضایت‌بخش می‌باشد و

می‌توان از این مدل به‌دلیل کاربری آسان، ورودی‌های محدودتر و کاهش صرف زمان با توجه به سطح دقت نشان داده شده آن در این مطالعه در زمینه‌های مختلف از جمله ارزیابی و تخمین اثرات هیدرولوژی در تغییر پوشش زمین و مدیریت زمین، بررسی اثرات هیدرولوژیکی نوسانات اقلیمی، پژوهش‌های اکولوژی و پژوهش‌های کیفیت آب استفاده کرد.

منابع

1. Abushandi, E.H., and Broder, M. 2011. Application of IHACRES rainfall-runoff model to the Wadi Dhuliel arid catchment, Jordan. *J. Water Clim. Change*. 2: 56-71.
2. Ashofteh, P., and Massah Bovani, A. 2010. Impact of climate change on the peak discharge (Case study: Aydoghmosh, East Azarbayjan Province). *J. Sci. Tech. Agri. Natur. Resour.* 53: 25-39.
3. Box, G.E.P., and Jenkins, G.M. 1970. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day, San Francisco, 230p.
4. Carla Carcano, E., Bartolini, P., Muselli, M., and Piroddi, L. 2008. Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows. *J. Hydrol.* 362: 291-307.
5. Croke, B.F.W., and Jakeman, A.J. 2008. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi arid regions, P 41-48, In: Wheatear, H.S. Sorooshian, S. Sharma, K.D. (Eds.): *Hydrological Modelling in Arid and Semi-arid Areas*. Cambridge University Press, Cambridge.
6. Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J., and Cuddy, S.M. 2005. *IHACRES User Guide*. Technical Report 2005/19, 2nd Ed. ICAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra. 39p. <http://www.toolkit.net.au/ihacres>.
7. Croke, B.F.W., Letcher, R.A., and Jakeman, A.J. 2006. Development of a distributed flow model for underpinning assessment of water allocation options in the Naomi River Basin, Australia. *J. Hydrol.* 319: 51-71.
8. Croke, B.F.W., and Littlewood, I.G. 2005. Comparison Of Alternative Loss Modules In The IHACRES Model: An Application To 7 Catchments In Wales. *International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2005)*, 7p.
9. Day, P.J., and Croke, B.F.W. 2003. Evaluation of streamflow predictions by the IHACRES rainfall-runoff model in two South African catchments. *J. Environ. Model. Software.* 18: 705-712.
10. Dooge, J.C.I. 1973. *Linear Theory of Hydrologic Systems*. Technical Bulletin No 1468. United States Department of Agriculture, Washington DC, 327p.

11. 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.
12. Goudarzi, A., Dastourani, M., Masah Bovani, A., and Talebi, A. 2010. Efficiency Evaluation IHACRES Rainfall-Runoff Model in Forecasting urban floods (Case study: Azam River Basin, Harat-Yazd). National Seminar of Urban floods management. 8p. (In Persian)
13. Hacking, I. 1983. 19th-century Cracks in the Concept of Determinism. *J. History of Ideas*, 44: 455-475.
14. Jakeman, A.J., and Hornberger, G.M. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall runoff model. *Water Resources Research*, 29: 2637-2649.
15. Jakeman, A.J., Littlewood, I.G., and Whitehead, P.G. 1990. Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments. *J. Hydrol.* 117: 275-300.
16. Jason, E., and Schreider, S. 2002. Hydrological impacts of climate change on inflows to Perth, Australia. *Climate Change*, 55: 361-393.
17. Kheirfam, H., Asadi Nalivan, and Rohani, H. 2011. Simulated rainfall - runoff using IHACRES model. 7th International Seminar of Watershed Science and Engineering. Kerman. 7p. (In Persian)
18. Littlewood, I.G., and Jakeman, A.J. 1994. A new method of rainfall runoff modeling and its application in catchments hydrology. P 143-171, In: Zannetti, P. (eds.), *Environmental Modelling*, Vol. II. Computational Mechanics Publications, Southampton, UK.
19. Littlewood, L.G., Clarke, R.T., Collischonn, W., and Croke, B.F.W. 2007. Predicting daily Streamflow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments. *Environmental Modelling and Software*, 22: 1229-1239.
20. McIntyre, N., and Al-Qurashi, A. 2009. Performance of ten rainfall-runoff models applied to an arid catchment in Oman. *Environmental Modelling and Software*, 24: 726-738.
21. Mohammadi Ostad Kelaye, A. 2002. Relationship between water discharge and suspended sediment discharge in hydrometer stations in Gorgan River. M.Sc. Thesis, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University.
22. Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River forecasting through conceptual models. Part 1: a discussion of principles. *J. Hydrol.* 10: 282-290.
23. Post, D.A., Jones, J.A., and Grant, G.E. 1998. An improved methodology for predicting the daily hydrologic response of ungauged catchments. *Environmental Modeling and Software*, 13: 395-403.
24. Sharifi, F., Safarpour, Sh., and Ayoubzadeh, S.A. 2004. Evaluation of a computer AWBM2002 model to simulate hydrological processes in number of Iran basins. *J. Res. Cons. Resour.* 63: 35-42.

25. Sheynin, S. 2005. Jakob Bernoulli On the Law of Large Numbers. Translation of Pars Quarta tradens Usum and Applicationem Praecedentis Doctrinae in Civilibus. *J. Moralibus Oeconomicis*. 33p.
26. Ye, W., Bates, B.C., Viney, N.R., Sivapalan, M., and Jakeman, A.J. 1997. Performance of conceptual rainfall-runoff models in low-yielding ephemeral catchments. *J. Water Resour. Res.* 33: 153-166.
27. Zarei, M., Ghanbarpour, M., Habibnezhad Roshan, M., and Shahedi, K. 2010. Calibration and evaluation of IHACRES hydrological model to simulate runoff. *J. Water Soil Agric. Sci. Tech.* 25: 104-114.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(2), 2014
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Using IHACRES semi-conceptual model to simulate daily flow (Case study: Tamar Basin)

***M. Dousti¹, K. Shahedi², M. Habibnezhad Roshan³
and M.H. Miryaghoubzade⁴**

¹M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Ph.D. Student, Dept. of Watershed Management, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 10/02/2012; Accepted: 02/15/2013

Abstract

Optimum use of water resources and its optimal management requires a better understanding of the hydrologic models. Since it is not possible to measure all parameters needed to evaluate the response of a catchment, it is worthy to choose a model with simple structure and minimum input requirement while provides reasonably accurate prediction. In this study IHACRES model is used to study rainfall - runoff process in Tamar Basin located in Golestan Province. In order to simulate streamflow in this catchment, the IHACRES model was calibrated and evaluated. The results showed that with respect to the amount of overall error in flow volume (BIAS=3.412) in the calibration and (BIAS=0.416) in evaluation, simulated flow by the model is less than the observations. Although the model could not simulate the maximum discharges suitably, but in total with regard to low deviations and suitable simulation of the minimum discharges and based on two indices ($R^2=0.66$) in the calibration and ($R^2=0.61$) in evaluation and (APRE=0.008) in the calibration and (APRE=0.029) in evaluation, it can be said that the model performance in the studied basin was reasonable.

Keywords: Rainfall-runoff, Simulation, IHACRES, Tamar basin, Golestan province

* Corresponding Author; Email: m.dousti89@yahoo.com