

یادداشت فنی

ارزیابی کارایی مدل بارش- رواناب IHACRES در شبیه‌سازی جریان‌های روزانه و ماهانه حوزه آبخیز معرف ناورود استان گیلان

فروغ وردیان^۱، کاکا شاهدی^{۲*}، محمود حبیب‌نژاد روشن^۳ و مهدی زارعی^۴

چکیده

شبیه‌سازی جریان از مباحث اصلی هیدرولوژی است و برای مطالعه آن به طور معمول از مدل‌های بارش- رواناب استفاده می‌شود. در این پژوهش برای شبیه‌سازی جریان روزانه و ماهانه حوزه آبخیز معرف ناورود در استان گیلان از مدل IHACRES استفاده و کارایی آن براساس معیارهای مختلف ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مدل جریان روزانه و ماهانه را با دقت خوبی شبیه‌سازی می‌کند. در ضمن، در مقایسه بین جریان روزانه و ماهانه، نتایج شبیه‌سازی جریان ماهانه نسبت به روزانه دقیق‌تر بوده است. در مجموع با توجه به مقادیر خطا در حجم جریان، مدل در مرحله واسنجی در دوره‌های روزانه و ماهانه جریان را کمتر از جریان مشاهداتی (به طور متوسط $20/2 \text{ mm/y}$)، شبیه‌سازی کرده ولی در مرحله اعتبارسنجی جریان را بیش از جریان مشاهداتی (به طور متوسط $77/5 \text{ mm/y}$) شبیه‌سازی کرده است. طبق نتایج پژوهش، در کل دوره آماری، میزان بارش مؤثر به طور متوسط حدود دو سوم کل بارش حوزه آبخیز بوده است.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، گیلان، مدل بارش- رواناب، ناورود، IHACRES.

ارجاع: وردیان ف. شاهدی ک. حبیب‌نژاد روشن م. و زارعی م. ۱۳۹۳. ارزیابی کارایی مدل بارش- رواناب IHACRES در شبیه‌سازی جریان‌های روزانه و ماهانه حوزه آبخیز معرف ناورود استان گیلان. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۵): ۲۲۹-۲۳۳.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲- استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۳- استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۴- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده علوم منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان.

* نویسنده مسئول: k.shahedi@sanru.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۰۳

مقدمه

مدل‌های زیادی از اوایل دهه ۱۹۶۰ برای شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب توسعه داده شده‌اند. در این میان مدل‌های مفهومی بارش- رواناب مورد استفاده بیشتری قرار می‌گیرند. زمانی که لازم است فقط، جریان در خروجی حوزه آبخیز شبیه‌سازی شود، مدل‌های مفهومی اغلب بر انواع دیگر مدل‌ها ترجیح داده می‌شوند زیرا ضمن ارائه پاسخ خوب، به تلاش محاسباتی و داده‌های ورودی کمتری نیاز دارند (کوپر و همکاران، ۲۰۰۷). با وجود این واستجی مدل‌های مفهومی بارش- رواناب در دهه‌های اخیر به عنوان یک چالش مطرح بوده است (کوپر و همکاران، ۲۰۰۷؛ کمالی و همکاران، ۲۰۰۷ و لین و وانگ، ۲۰۰۷). در بین مدل‌های بارش- رواناب، مدل IHACRES^۱ به دلیل داده‌های اندک مورد نیاز بدون صرف زمان و هزینه زیاد برای تهیه داده‌ها، به آسانی می‌تواند در بسیاری از حوزه‌های آبخیز و در مطالعات مختلف به کار برده شود (دی و کروک، ۲۰۰۳؛ کروک و همکاران، ۲۰۰۵ و کیم و همکاران، ۲۰۱۱).

دی و کروک (۲۰۰۳) برای ارزیابی پیش‌بینی‌های جریان در دو حوزه آبخیز در آفریقای جنوبی و کروک و جیکمن (۲۰۰۸) نیز برای شبیه‌سازی جریان در چهار حوزه آبخیز در استرالیا (با مساحت ۱۸۱ تا ۲۵۴۰ کیلومترمربع) از مدل IHACRES استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که عملکرد کلی مدل مناسب بوده است. لیتل وود و همکاران (۲۰۰۷) برای شبیه‌سازی جریان روزانه در دو حوزه آبخیز با رژیم جریان متفاوت در کشور برزیل بر حسب دو مدل MGB^۲ و IHACRES و همچنین کارکانو و همکاران (۲۰۰۸) برای مدل‌سازی جریان روزانه در مناطق شمالی ایتالیا با استفاده از دو مدل IHACRES و شبکه عصبی مصنوعی، نشان دادند که عملکرد مدل‌های ساده مانند مدل IHACRES نسبت به یک مدل پیچیده بهتر است. زارعی و همکاران (۱۳۸۸) با به کارگیری مدل IHACRES در حوزه آبخیز کسلیان نتیجه گرفتند که مدل، رواناب روزانه و ماهانه را با دقت خوبی شبیه‌سازی کرده است.

با توجه به قابلیت مدل IHACRES و با هدف ارزیابی کارایی آن برای شبیه‌سازی جریان روزانه و ماهانه و بررسی میزان بارش مؤثر در ایجاد جریان رودخانه در حوزه آبخیز معرف ناورود در استان گیلان، در این پژوهش از مدل مذکور استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز معرف ناورود با مساحت ۲۶۰/۳۴ کیلومترمربع در دامنه شمالی البرز قرار داشته (معصوم‌پور، ۱۳۸۴) و از حوزه‌های آبخیز مهم غرب استان گیلان (بین ۳۵' ۴۸° تا ۵۴' ۴۸° طول شرقی و ۳۶' ۳۷° تا ۴۵' ۳۷° عرض شمالی) است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز معرف ناورود در گیلان و ایران
۱، ۲، ۳، ۴ به ترتیب معرف ایستگاه‌های خرجیل، گاوخس، خلیان و ناو هستند

روش پژوهش

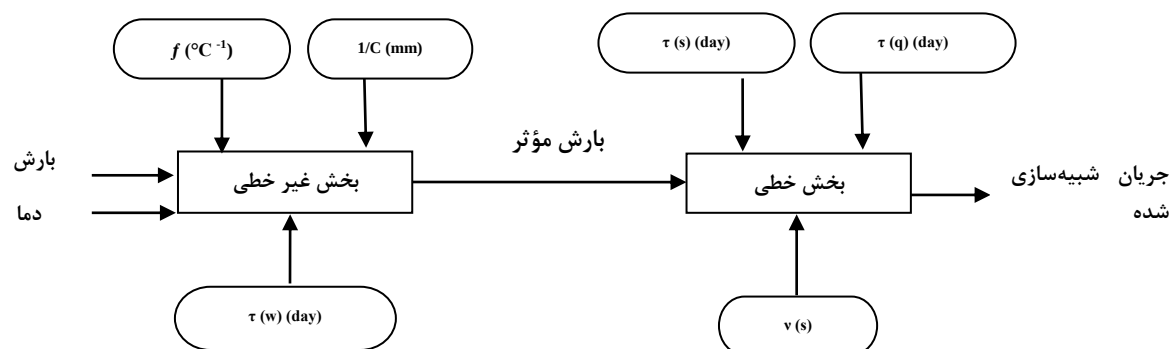
در این پژوهش پس از بررسی کلیه آمار و داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی موجود در منطقه، در نهایت از آمار ۴ ایستگاه خلیان، خرجیل، گاوخس و ناو استفاده شد. پس از ترسیم بارگراف ایستگاه‌ها، ده سال آبی ۱۳۷۸-۷۹ تا ۱۳۸۷-۸۸ به عنوان دوره آماری مشترک تعیین شد که ۵ سال ابتدایی آن به عنوان دوره واسنجی و بقیه به عنوان دوره اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارزیابی مدل از

1- Identification of unit Hydrograph And Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow data
2- Modelo de Grandes Bacias

ساختار مدل IHACRES

مدل IHACRES (تعیین هیدروگراف‌های واحد و مؤلفه‌های جریان از داده‌های جریان رودخانه، تبخیر و بارش) یک مدل مفهومی پیوسته است. مدل IHACRES دارای دو بخش است، یک بخش که بارش را به بارش مؤثر و بارش مازاد که سرانجام با تبخیر و تعرق از بین می‌رود (با فرض غیرقابل نفوذ بودن حوزه آبخیز) تقسیم می‌کند و بخش دیگر یک تابع تبدیل خطی است که بارش مؤثر را به جریان مدل‌سازی شده تبدیل می‌کند (شکل ۲).

معیارهایی مانند $RMSE^1$ ، MAE^2 ، NSE^3 ، $Bias^4$ و $ARPE^5$ استفاده شد (کروک و همکاران، ۲۰۰۵). هرچه مقدار معیار NSE بیشتر و مقدار $ARPE$ کمتر باشد، نتایج مدل ایده‌آل‌تر است (لیتلود و همکاران، ۲۰۰۷). مقدار $Bias$ مشخص می‌کند که مدل جریان را بیش از واقعیت یا کمتر از آن شبیه‌سازی کرده است (کروک و همکاران، ۲۰۰۵). اگر NSE بزرگتر از $0/75$ باشد نتایج شبیه‌سازی خوب توصیف می‌شود، اما زمانی که مقدار NSE بین $0/36$ تا $0/75$ است نتایج مدل رضایت بخش است (موتولوف و همکاران، ۱۹۹۹).



$1/C$: ظرفیت ذخیره رطوبت حوزه آبخیز، f : فاکتور تعدیل حرارت، τ_w : ثابت زمانی خشکیدگی حوزه آبخیز
 τ_s : ثابت زمانی کاهش جریان آهسته، τ_q : ثابت زمانی کاهش جریان سریع، v : نسبت حجمی جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت می‌کند.

شکل ۲- ساختار کلی مدل IHACRES (لیتلود و همکاران، ۲۰۰۷)

سال‌های ۸۴-۱۳۸۳ تا ۸۸-۱۳۸۷ مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. جدول ۱ مقادیر بهینه پارامترها، جدول ۲ مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل و شکل‌های ۳ و ۴ نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل را نشان می‌دهند. در شکل ۵ میزان بارش و بارش مؤثر در ایجاد جریان ماهانه در کل دوره نشان داده شده است.

نتایج و بحث

پس از تعیین پایه آماری مشترک، درستی و همگنی داده‌ها به روش کمی آزمون توالی (مهدوی، ۱۳۸۶) بررسی شد و نتایج نشان دهنده همگنی داده‌ها در تمامی ایستگاه‌ها بود. برای شبیه‌سازی جریان در مقیاس‌های روزانه و ماهانه برای حوزه، ابتدا مدل در سال‌های آبی ۷۹-۱۳۷۸ تا ۸۳-۱۳۸۲ واسنجی شده سپس در طول

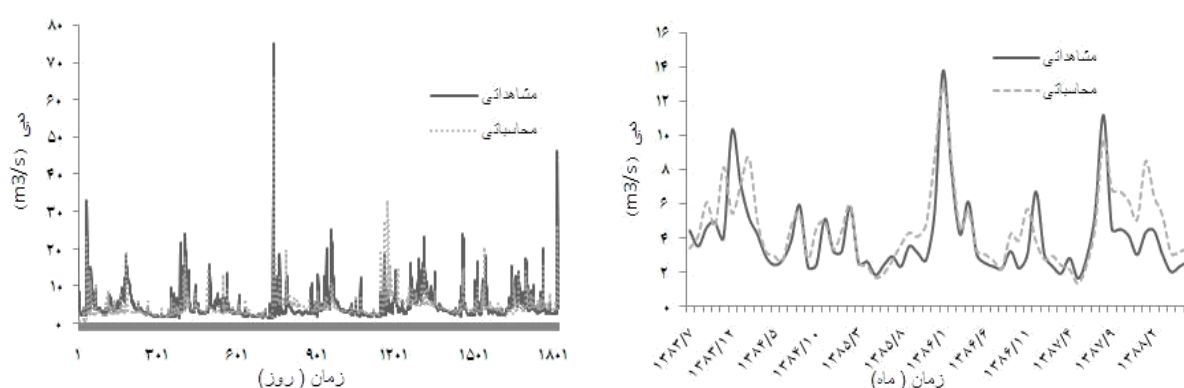
جدول ۱- مقادیر بهینه پارامترهای مدل در مقیاس روزانه و ماهانه

پایه زمانی	$v (s)$	$\tau^{(s)} (day)$	$\tau^{(q)} (day)$	$1/C (mm)$	$f (°C^{-1})$	$\tau^{(w)} (day)$
روزانه	۰/۸	۱۶۵/۶۵	۱/۰۵۷	۶۲/۵	۰	۹
ماهانه	۰/۶۳	۴/۴۱	---	۵۰۰	۳/۵	۱

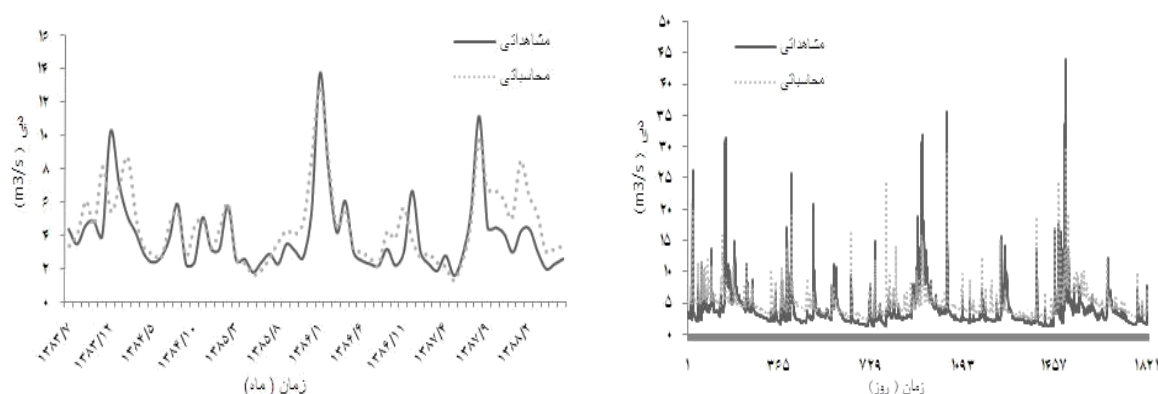
- 1-Root Mean Square Error
- 2- Mean Absolute Error
- 3-Nash-Sutcliffe Efficiency
- 4- Overall error in flow volume
- 5-Average Relative Parameter Error

جدول ۲- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل در مقیاس روزانه و ماهانه برای کل دوره

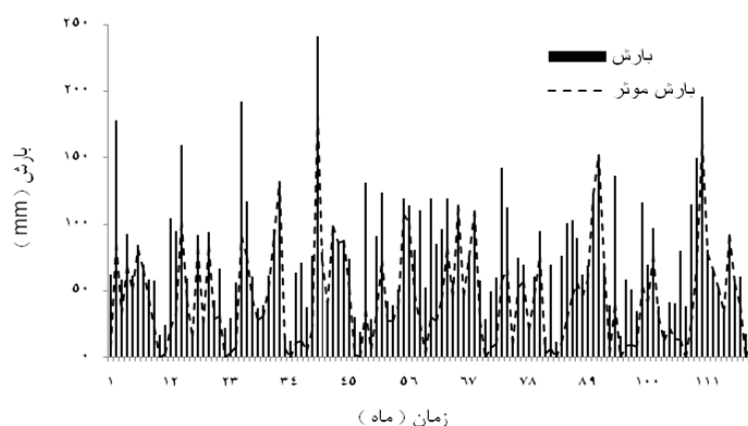
دوره	پایه زمانی	RMSE	MAE	NSE	Bias(mm/yr)	ARPE
واسنجی	روزانه	۲/۹۵	۱/۸۱	۰/۴۸	۱۹/۴۵	۰/۰۴۸
	ماهانه	۱/۵۱	۱/۰۱	۰/۵۵	۲۰/۹	۱/۱
اعتبارسنجی	روزانه	۲/۵۹	۱/۶۸	۰/۴۳	-۸۳	-
	ماهانه	۱/۶	۱/۱۵	۰/۵	-۷۱/۸۹	-



شکل ۳- نتایج مدل IHACRES برای شبیه‌سازی جریان روزانه و ماهانه حوزه آبخیز ناورود در مرحله واسنجی



شکل ۴- نتایج مدل IHACRES برای شبیه‌سازی جریان روزانه و ماهانه حوزه آبخیز ناورود در مرحله اعتبارسنجی



شکل ۵- مقادیر بارش و بارش مؤثر محاسبه شده به وسیله مدل IHACRES در مقیاس ماهانه برای کل دوره آماری

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، می‌توان چنین بیان کرد که در حوزه آبخیز معرف ناورد مدل IHACRES مقادیر جریان ماهانه را بهتر از جریان روزانه شبیه‌سازی کرده است. این نتیجه با نتایج حاصل از اجرای مدل IHACRES توسط زارعی و همکاران (۱۳۸۸) برای شبیه‌سازی جریان در حوزه آبخیز کسلیان هماهنگی دارد. همچنین در این پژوهش، مشخص شد که نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل در مقیاس‌های روزانه و ماهانه برای حوزه آبخیز بالا براساس شاخص NSE، قابل قبول خوب است. در مجموع در بخش‌هایی از طول دوره نتایج مدل رضایت‌بخش و در دوره‌هایی نیز روند شبیه‌سازی ضعیف بوده است که این موضوع می‌تواند نشان دهنده این باشد که مدل به طول دوره واسنجی حساس است. مقادیر مثبت و منفی شاخص انحراف به ترتیب بیانگر کمتر و بیشتر بودن متوسط جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است. با استناد به این نکته مشخص می‌شود که مدل در مرحله واسنجی در دوره‌های روزانه و ماهانه جریان را کمتر از جریان مشاهداتی، شبیه‌سازی کرده ولی در مرحله اعتبارسنجی جریان را بیش‌تر از آن شبیه‌سازی کرده است. طبق نتایج پژوهش، طی کل دوره آماری، میزان بارش مؤثر به طور متوسط حدود دو سوم کل بارش حوزه آبخیز بوده است. به عبارت دیگر حدود دو سوم بارش حوزه در بخش اول مدل (بخش هدررفت) به بارش مؤثر تبدیل و سرانجام به جریان رودخانه وارد شده (یعنی ۵۶۸/۵ میلی‌متر در سال) و بقیه بارش با فرض غیرقابل نفوذ بودن حوزه آبخیز به صورت تبخیر و تعرق از بین رفته است.

منابع

۱. زارعی م.، قنبرپور م.، ر. حبیب نژاد روشن م. و شاهدی ک. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل بارش- رواناب IHACRES (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسلیان). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۸: ۱۱-۲۰
۲. معصوم‌پور ف. ۱۳۸۴. بررسی کارایی مدل MPSIAC جهت برآورد فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز معرف ناورد گیلان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی ساری. ۸۴ ص.
- ۳- مهدوی م. ۱۳۸۶. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران. ۴۳۷ ص.
4. Carcano E. C. Bartolini P. Muselli M. and Piroddi L. 2008. Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modeling daily streamflows. *Journal of Hydrology*. 362:291-307.
5. Croke B. F. W. Andrews F. Spate J. and Cuddy S. M. 2005. IHACRES User Guide. Technical Report 2005/19, 2nd Ed. The Australian National University, Canberra. 39 p.
6. Croke B. F. W. and Jakeman A. J. 2008. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semiarid regions. In: Weather H. S. Sorooshian S. and Sharma K. D. (Eds.), *Hydrological Modeling in Arid and Semi-arid Areas*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 41-48.
7. Cooper V. A. Nguyen V. T. V. and Nicel J. A. 2007. Calibration of conceptual rainfall-runoff models using global optimization methods with hydrologic process-based parameter constraints. *Journal of Hydrology*. 334(3-4):455-466.
8. Dye P. J. and Croke B. F. W. 2003. Evaluation of streamflow predictions by the IHACRES rainfall-runoff model in two South African catchments. *Environmental Modeling and Software*. 18:705-712.
9. Kamali M. Ponnambalam K. and Soulis E. D. 2007. Computationally efficient calibration of WATCLASS Hydrologic models using surrogate optimization. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 4(4):2307-2321.
10. Kim H. S. Croke B. F. W. Jakeman A. J. and Chiew F. H. S. 2011. An assessment of modeling capacity to identify the impacts of climate variability catchment hydrology. *Mathematics and Computer in Simulation*. 81(7):1419-1429.
11. Lin G. F. and Wang C. M. 2007. A nonlinear rainfall-runoff model embedded with an automated calibration method – part 2: The automated calibration method. *Journal of Hydrology*. 341(3-4):196-206.
12. Littlewood I. 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 Modeling and Software*. 22:1229-1239
13. Motovilov Y. G. Gottschalk L. England K. and Rodhe A. 1999. Validation of distributed hydroogical model against observations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 99:257-277.

۱. زارعی م.، قنبرپور م.، ر. حبیب نژاد روشن م. و شاهدی ک. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل بارش- رواناب IHACRES (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسلیان). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۸: ۱۱-۲۰
۲. معصوم‌پور ف. ۱۳۸۴. بررسی کارایی مدل MPSIAC جهت برآورد فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوزه

