نشریه علمی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال هجدهم- شماره ٦٤- بهار ١٤٠٣

Vol. 18, No. 64, Spring 2024

ارزیابی الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی با استفاده از مدل IHACRES (مطالعه موردی حوضه‌آبریز رودخانه شش‌پیر استان فارس، ایران)

وحید شکری کوچک[1*]، محمدرضا شریفی[2]، سعید شکری کوچک[3]

تاریخ دریافت: ۳۰ /۰۴/ ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۰۸ /۰۹/ ۱۴۰۰

DOI: 10.22034/18.64.29

چکیده مبسوط

مقدمه

مدل‌های هیدرولوژیکی ابزارهای قدرتمندی برای فهم و تخمین پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه‌آبریز هستند. آن‌ها نقش حیاتی در مدیریت منابع آب، مهندسی رودخانه، کنترل و ذخیره سیلاب ایفا می‌کنند. ارزیابی جنبه‌های کمی و کیفی مدل‌های هیدرولوژیکی با رویکرد سیستماتیک ضروری است. متغیرهای کلیدی مؤثر بر چرخه هیدرولوژیکی شامل بارش، دما، کاربری اراضی، بافت خاک، ارتفاع و تبخیروتعرق هستند. اندرکنش پیچیده بین این متغیرها، چرخه هیدرولوژیکی را به یک فرآیند نسبتاً پیچیده تبدیل می‌کند و استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی را برای ارزیابی ضرروی می‌سازد. مهمترین پارامتر ورودی در فرآیندهای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بارش است. قابل دسترس بودن داده بارش مناسب در زمان‌ها و موقعیت‌های مختلف بسیار مهم است. امروزه، اغلب داده‌های بارش از ایستگاه‌های باران‌سنجی زمین-مبنا یا رادارهای هواشناسی جمع‌آوری می‌شود. مانند هزینه بالا، کمبود ابزرهای پایش در مناطق صعب العبور، توزیع نامناسب، فقدان داده، عملکرد نادرست دستگاه‌ها و خطاهای انسانی از جمله مشکلات همیشگی کاربران داده‌های بارش هستند. از این رو، فقدان داده‌های معتبر و کامل بارش یک چالش بزرگ در تحلیل و پیش‌بینی هیدرولوژیکی برای مدیریت منابع آب است. در نتیجه، پایش بارش در مقیاس‌های زمانی کوتاه و مقیاس‌های مکانی کوچک نقش مهمی در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی و در نهایت مدیریت منابع آب دارد. در سال‌های اخیر، استفاده از سنجش از دور و الگوریتم های تخمین بارش ماهواره ای توسعه یافته و به عنوان جایگزین پیشنهاد شده است .این فناوری‌ها پتانسیل ارائه داده‌های جامع‌تر و دقیق‌تر بارش را دارند که می‌تواند عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی را به طور قابل‌توجهی بهبود بخشد و سبب بهبود مدیریت منابع آب شود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه بر ارزیابی هیدرولوژیکی چهار محصول بارش ماهواره‌ای PERSIANN، TMPA-3B42RTV7، TMPA-3R42V7 و PERSIANN-CDR در مدل سازی بارش-رواناب رودخانه شش‌پیر (۹۵٤/۵ کیلومتر مربع) متمرکز است. حداقل ارتفاع حوضه ۱۵۲۷ متر و حداکثر آن ۳٦٦٦ متر از سطح دریا است. ایستگاه هیدرومتری در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ٤۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۰۱ دقیقه شمالی قرار دارد و داده های دبی روزانه مناسبی برای رودخانه دارد. برای دستیابی به اهداف تحقیق، مدل هیدرولوژیکی مفهومی و پیوسته IHACRES ابتدا با استفاده از اطلاعات بارش و دمای زمینی اندازه گیری شده در بازه زمانی ۲۲ سپتامبر ۲۰۰٤ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۹ با استفاده از داده‌های واسنجی شده ایستگاه هیدرومتری تلمبه حسنی و پارامترهای مدل استخراج شد. سپس مدل IHACRES برای بازه زمانی ۱ ژانویه ۲۰۱۰ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۳ اعتبارسنجی شد. IHACRES یک مدل مفهومی-متریک یکپارچه برای شبیه سازی بارش-رواناب است که از طریق تلاش‌های مشترک هیدرولوژیست‌ها از مرکز ارزیابی و مدیریت حوضه آبریز (ICAM) در دانشگاه ملی استرالیا و مرکز اکولوژی و هیدرولوژی (CEH) شورای تحقیقات محیط زیست طبیعی بریتانیا توسعه یافته است. IHACRES یک مدل موثر و کارآمد است که در طیف وسیعی از مناطق آب و هوایی، از جمله مناطق خشک و نیمه خشک، کاربرد داشته است. شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده در این مطالعه شامل ضریب تعیین (R^2)، کارایی ناش-ساتکلیف (NSE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و کارایی ناش-ساتکلیف لگاریتمی (log NSE) است.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل برای حوضه‌آبریز شش پیر نشان داد که عملکرد قابل قبولی دارد، با شاخص‌های آماری کارایی نش ساتکلیف (NSE) و ضریب تعیین (R^2) به ترتیب ۰/۸ و ۰/۸، و نتایج اعتبارسنجی بر اساس شاخص‌های آماری فوق به ترتیب ۰/٦۲ و ۰/٦٦، که نشان‌دهنده عملکرد

۱- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، vahidshokri93@yahoo.com

۲- استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانش آموخته دکتری منابع آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

قابل‌قبول مدل هیدرولوژیکی IHACRES است. سپس، محصولات بارش ماهواره‌ای که هدف این مطالعه معرفی آن‌ها به عنوان جایگزین بارش میانگین ایستگاهی استفاده شدند، بر اساس شاخص‌های آماری نتایج نشان می‌دهد که PERSIANN-CDR توانایی بالاتری در شبیه سازی بارش-رواناب نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد. ضریب تعیین برای الگوریتم PERSIANN-CDR 0/79 و برای الگوریتم‌های TMPA-3B42V7، TMPA-3B42RTV7، PERSIANN به ترتیب ۰/۶۷، ۰/۶۱، ۰/۱ است. همچنین، بر اساس شاخص آماری NSE، ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی مدل بارش-رواناب با الگوریتم PERSIAN-CDR، در دوره کالیبراسیون ۰/۷۰ و در دوره اعتبارسنجی ۰/۶۹ است، که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل بارش-رواناب IHACRES با الگوریتم بارش PERSIANN-CDR است. الگوریتم PERSIANN-CDR توانایی بالاتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد؛ از طرف دیگر، عملیات اصلاح خطای مدل PERSIANN-CDR موفق است، اما استفاده از مدل با تأخیر زمانی TMPA-3B42V7 تأثیر قابل‌توجهی بر نزدیک شدن مدل به زمان واقعی ندارد. به طور کلی، مدل IHACRES، همراه با محصول بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CDR، نتایج امیدوارکننده‌ای در شبیه‌سازی فرآیندهای بارش-رواناب در حوضه‌آبریز شش پیر، که در منطقه آب و هوایی نیمه خشک قرار دارد، نشان داد. این مطالعه پتانسیل استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای به عنوان جایگزین قابل‌قبول برای مشاهدات زمینی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی در مناطقی با داده کم را برجسته کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل IHACRES از توانایی بالایی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز و برآورد جریان به صورت یکپارچه برخوردار است. این مطالعه همچنین پتانسیل الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای برای جایگزینی داده‌های مشاهداتی زمینی در مواردی که چنین داده‌هایی کم یا در دسترس نیستند را نشان می‌دهد. یکی از یافته‌های کلیدی پژوهش حاضر، تأثیر عملیات اصلاح خطا بر عملکرد محصولات بارش ماهواره‌ای است. مطالعه نشان می‌دهد که اصلاح خطا در محصول PERSIANN-CDR منجر به بهبود قابل‌توجهی در عملکرد آن شده است، در حالی که تنظیمات مشابه در محصول TMPA-3B42V7 چنین نتایج چشم‌گیری به دنبال نداشته است. ارزیابی چهار الگوریتم بارش ماهواره‌ای PERSIANN، PERSIANN-CDR، TMPA-3B42V7 و TMPA-3B42RT - در زمینه مدل‌سازی هیدرولوژیکی نشان می‌دهد که الگوریتم PERSIANN-CDR در میان الگوریتم‌های مورد آزمایش، بیشترین قابلیت را دارد. برعکس، عملکرد الگوریتم PERSIANN بسیار ضعیف بوده و استفاده از آن در مدل سازی هیدرولوژیکی توصیه نمی‌شود. این یافته‌ها دارای پیامدهای مهمی برای مدیریت منابع آب و تصمیم‌گیری است. توانایی استفاده مؤثر از داده‌های بارش ماهواره‌ای در مدل‌سازی هیدرولوژیکی می‌تواند به ویژه در مناطقی که داده‌های مشاهداتی زمینی محدود هستند، ارزشمند باشد. همچنین، بینش‌های به دست آمده از تحلیل مقایسه‌ای الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای می تواند در انتخاب و کاربرد مناسب‌ترین محصول برای اهداف خاص مدل‌سازی هیدرولوژیکی راهنما باشد. به طور کلی، این تحقیق درک جامعی از عملکرد مدل IHACRES و الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای در شبیه‌سازی هیدرولوژی حوزه آبخیز و برآورد جریان آب ارائه می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: *مدل‌سازی بارش-رواناب، الگوریتم بارش ماهواره‌ای، ارزیابی، حوضه شش‌پیر فارس*

مقدمه

امروزه، مدل‌های هیدرولوژیکی یک ابزار قوی برای درک و تخمین پاسخ‌های هیدرولوژیکی یک حوضه هستند، علاوه‌بر این، در مدیریت منابع آب، مهندسی رودخانه، سازه‌های کنترل سیل و ذخیره سیلاب اهمیت ویژه‌ای دارد، لذا دستیابی به میزان کمی و کیفی آن همراه با یک نگرش سیستمی به موضوع، حائز اهمیت فراوانی است. متغیرهای اساسی تأثیرگذار بر فرآیندهای حاکم بر چرخه هیدرولوژیکی شامل بارش، دما، کاربری اراضی، بافت خاک، ارتفاع و تا حد کمی تبخیر و تعرق هستند [۱۵]. به دلیل برهم‌کنش این عوامل، رفتار چرخه هیدرولوژی به فرآیند نسبتاً پیچیده‌ای تبدیل می‌شود، لذا برای ارزیابی آن، اغلب از مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. محدودیت‌های مختلف نظیر کافی نبودن ایستگاه‌های هیدرومتری در آبراهه‌های رتبه پایین و هزینه‌بر بودن جمع‌آوری اطلاعات مشاهده‌ای، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در برآورد آبدهی را ضروری می‌کند [٤].

مهم‌ترین پارامتر ورودی در فرآیندهای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، بارش است، بنابراین فراهم بودن داده بارش مناسب در زمان و مکان متفاوت دارای اهمیت زیادی است. در حال حاضر بیشترین داده‌های بارش از ایستگاه‌های زمینی باران‌سنجی و یا رادارهای هواشناسی گردآوری می‌شود [١٤]، با این وجود شبکه ایستگاه‌های سنجش نزولات آسمانی در بیشتر مناطق به ویژه در کشورهای درحال توسعه مانند ایران از چگالی مکانی خوبی برخوردار نیستند [١، ١٦]. علاوه‌بر این، مشکلاتی از قبیل هزینه‌بر بودن، عدم استقرار دستگاه‌های ثبت‌کننده در مناطق صعب‌العبور، پراکندگی نامناسب و عدم پیروی از قوانین خاصی در تعیین فاصله بین آن‌ها، عدم پایش در فاصله زمانی کوتاه مدت، خرابی دستگاه‌ها، احتمال اشتباه کاربر از مشکلات همیشگی کاربران داده‌های بارش هستند [۱۳، ۱۹، ۲۱]. لذا کمبود داده‌های قابل اعتماد و کامل (بارش) یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی در مدیریت منابع آب است. از این‌رو پایش بارش در مقیاس زمانی کوتاه مدت و مقیاس مکانی کوچک نقش مهمی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و در نهایت مدیریت منابع آب دارد.

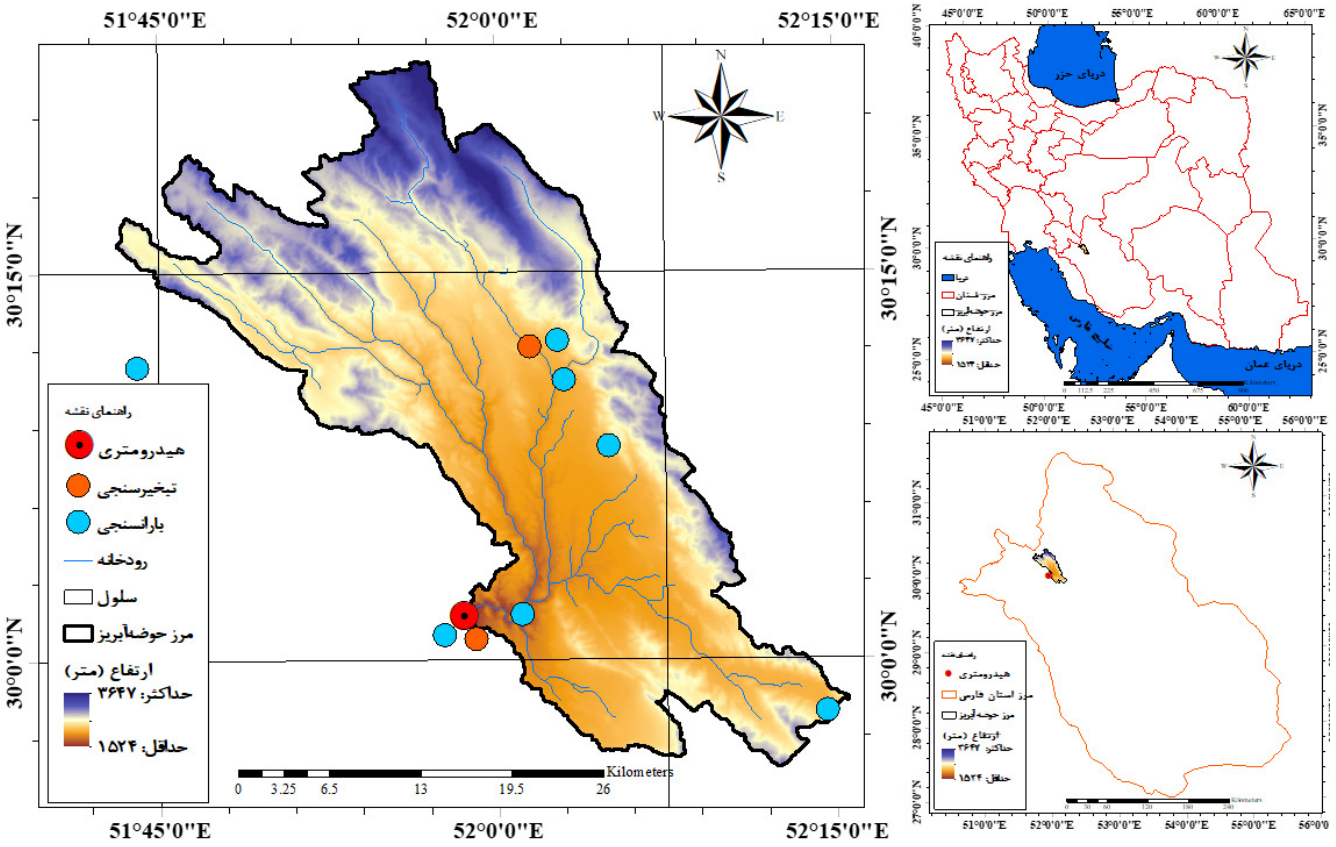
با ظهور فن‌آوری پیشرفته در فرآیند دریافت اطلاعات هواشناسی ماهواره‌ای روش‌های متعددی در زمینه‌ی پردازش داده‌ها و برآورد مقادیر بارندگی مطرح شده است. داده‌های ماهواره‌ای با داشتن دیدی وسیع و متمرکز با جمع‌آوری، ذخیره و توزیع داده و همچنین داشتن قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا به پایش مناطق عاری از باران‌سنج می‌پردازد. الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای با استفاده از اطلاعات در محدوده باندهای طیفی مرئی تا مادون قرمز از ماهواره‌های زمین مرجع و باندهای طیفی مایکروویو از ماهواره‌های واقع در مدارهای نزدیک به زمین و غیرزمین مرجع استفاده می‌کند [۱۷]. از جمله آن‌ها می‌توان به الگوریتم بارش ماهواره‌ای TMPA، CMORPH، PERSIANN، Chirp، MSWEP و غیره اشاره نمود.

در دهه گذشته، تلاش‌های زیادی در زمینه استفاده از الگوریتم‌های ماهواره‌ای در مدل‌های هیدرولوژیکی شده است، که در این تحقیق به مواردی از آن‌ها اشاره می‌شود. پریسوج و همکاران [۱۸] به مطالعه ارزیابی پتانسیل اطلاعات بارش ماهواره‌ای برای برای توسعه مدل معتبر بارش–رواناب پرداختند. در این مطالعه بارش ماهواره‌ای (PERSIANN,TRMM) دوره زمانی ۲۰۰۲ الی ۲۰۰۵ به‌وسیله مدل HEC-HMS ارزیابی شده است که از دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ برای واسنجی و دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ برای اعتبارسنجی استفاده شده است. و با توجه به شاخص‌های آماری ماهواره TRMM موفق‌تر از ماهواره PERSIANN عمل نموده است. عبدالهی پور و همکاران [۱] اقدام به ارزیابی کارایی الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای در شبیه‌سازی جریان رودخانه حوضه ساروق‌چای با استفاده از مدل IHACRES نمودند. آن‌ها در تحقیق خود از سه الگوریتم مختلف ماهواره PERSIANN، TMPA-3B42V7 و CMORPH در بازه زمانی ۱۳۸۲ الی ۱۳۸۷ استفاده نمودند. نتایج گویای توانایی بالاتر الگوریتم TMPA-3B42V7 در شبیه‌سازی رواناب حوضه نسبت به دو الگوریتم دیگر است.

بهرنگی و همکاران [۳] پژوهشی با هدف ارزیابی هیدرولوژیکی تولیدات بارش ماهواره‌ای بر روی حوضه‌های با اندازه متوسط در حوضه رودخانه ایلی‌نویز آمریکا انجام دادند. در این پژوهش از ۵ الگوریتم مختلف بارش ماهواره که عباراتند از , CMORPH , PERSIANN TMPA -RT, TMPA-V6 و PERSIANN-adj استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از بارش مبتنی بر ماهواره الگوی کلی جریان رودخانه را به خوبی برای هر دو مقیاس ۶ ساعته و ماهانه کاربرد دارد. این محصولات بدون تعدیل شدن به طور قابل‌توجهی بیش برآورد ماست (در فصول سرد کم برآورد و در فصول گرم بیش برآورد). لذا تعدیل و تنظیم این محصولات برای کاربرد در مدل‌های بسیار مهم است و می‌تواند بهبود قابل‌توجهی در عملکرد هر دو الگوی رودخانه داشته باشد.

ژائو و همکاران [۲۷] به مطالعه‌ای با هدف ارزیابی هیدرولوژیکی دو محصول TMPA(3B42RTV7,3B42V7) طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ در حوضه‌آبریز نانلیو پرداخت. نتایج این تحقیق ارتباط بالای نسخه 3B42V7 نسبت به 3B42RTV7 را نشان می‌دهد که نسخه 3B42V7 کمی بیش‌برآورد در همه مقیاس زمانی به‌جز مقیاس سالانه است. با ورود داده‌ها به مدل هیدرولوژیکی نتایج نشان می‌دهد خروجی‌های مدل برای محصول 3B42V7 با ضریب همبستگی ۰/۹ و ضریب نش ساتکلیف ۰/۷۹ عملکرد بهتری نسبت به 3B42RTV7 دارد. کناباثو و همکاران [۹] به ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای و شبیه‌سازی شده برای کاربردهای هیدرولوژیکی در حوضه‌ای در بوتسوانا در آفریقا پرداختند. ایشان در تحقیق خود از الگوریتم بارش ماهواره‌ای TMPA-3B42RTV7 و یک مدل آماری خطی تعمیم یافته (GLM) استفاده نمودند. نتایج نشان می‌دهد هر دو محصول برآورهای قابل‌قبولی تولید می‌کنند ولی هنوز عدم قطعیت‌هایی وجود دارد. اما برآورد محصول TMPA-3B42RTV7 بهتر است. در نهایت این محققان استفاده از این محصولات بارش ماهواره‌ای در مدیریت منابع آب حوضه‌آبریز را توصیه می‌کند. سو و همکاران [۲۵] در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی الگوریتم TMPA و کاربرد آن در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی در حوضه لاپالتا، به این نتیجه رسیدند که این الگوریتم بارش ماهواره‌ای دارای پتانسیل برای پیش‌بینی هیدرولوژیکی است. استیسن و سندهولت [۲۴] به ارزیابی تولیدات بارندگی مبتنی بر سنجش از راه دور به وسیله قابلیت پیش‌بینی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی رواناب پرداختند. در این مطالعه از پنج الگوریتم مختلف (CPC-FEWS, CCD, CMORPh, TRMM, PERSIANN) با تفکیک زمانی ۲۴ ساعته و وضوح مکانی بین ۸ تا ۲۷ کیلومتر استفاده شد و از یک مدل توزیعی برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در حوضه‌ای در سنگال واقع در غرب آفریقا جهت ارزیابی قابلیت این الگوریتم‌ها استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، تولیدات الگوریتم CPC-FEWS[1] (مرکز پیش‌بینی‌های اقلیمی / سامانه هشدار ناگهانی قحطی) و محصول CCD[2] که تا حدی بر اساس داده‌های باران‌سنجی هستند و به ویژه برای آفریقا ساخته شده‌اند در زمینه شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بهتر از سایر تولیدات جهانی عمل می‌کنند. تکلی و فولی [۲۶] در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی شاخص‌های بارش مبتنی بر ماهواره برای پیش‌بینی سیلاب در شهر ریاض کشور عربستان سعودی، به این نتیجه رسیدند که عملکرد از بارش‌های مبتنی‌بر ماهواره‌ای TRMM مناسب بوده اما برای بهبود عملکرد این ماهواره، مشاهدات زمینی نیز حیاتی است. استفاده از پایگاه‌های داده همواره در حال ارتقا و بهبود است و در شرایط کمبود ایستگاه‌های بارانسنجی در کشور ایران و وجود بیابان‌های وسیع و مناطق کوهستانی و صعب العبور لذا ارزیابی دقت این پایگاه‌ها از جمله الگوریتم‌های TMPA-3R42V7 و TMPA3B42RTV7 و PERSIANN و PERSIANN-CDR و کاربرد آن در مدل هیدرولوژیکی پیوسته هدف این تحقیق است.

1. Climate Prediction Center/ Famine Early Warning System
2. Cold Cloud Duration



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی، ایستگاه‌های هیدرواقلیمی، شبکه هیدروگرافی و وضعیت ارتفاعی آن

Fig 1. The location of the study area, hydroclimatic stations, hydrographic network and its elevation

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه‌آبریز شش‌پیر و توکل‌آباد با مساحتی قریب ۹۵٤/۵ کیلومترمربع از سرشاخه‌های رودخانه زهره در زاگرس جنوبی و شمال غرب استان فارس قرار دارد. این منطقه در محدوده ٤۳‘ ° ۵۱ تا ۱۵‘ °۵۲ طول شرقی و ۵۵‘ °۲۹ تا ۲۳‘ °۳۰ عرض شمالی گسترش یافته است. حداقل ارتفاع حوضه ۱۵۲۷ متر و حداکثر آن ۳٦٦٦ متر بالاتر از سطح آزاد دریا است. ایستگاه هیدرومتری در موقعیت ٤۳‘°۵۱ طول شرقی و ۰۱‘ °۳۰ عرض شمالی واقع است و دارای آمار مناسب روزانه آبدهی رودخانه است، شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی را نمایش می‌دهد.

داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

در این پژوهش برای مدل‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی IHACRES و داده‌های زمینی بارش و میانگین دما به ترتیب بر حسب میلی‌متر و درجه سانتی‌گراد در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۱۳ به مدت ۱۰ سال آبی استفاده شده است. این اطلاعات از ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی شرکت آب منطقه‌ای فارس اخذ شد.

جهت عملیات واسنجی و اعتبارسنجی از اطلاعات دبی ایستگاه آبسنجی تلمبه‌حسنی بر حسب مترمکعب بر ثانیه استفاده شده است که از تاریخ ۲۲ سپتامبر سال ۲۰۰٤ تا ۳۱ دسامبر سال ۲۰۰۹ میلادی برای واسنجی و بقیه سال‌ها از اول ژانویه سال ۲۰۱۰ تا ۳۱ دسامبر سال ۲۰۱۳ میلادی جهت اعتبارسنجی مدل استفاده شده است.

در این تحقیق از داده‌های بارش روزانه الگوریتم‌های PERSIANN، PERSIANN-CDR، TMPA-3B42V7 و TMPA-3B42RT، که دارای دقت زمانی روزانه و دقت مکانی ۰/۲۵ درجه که در فاصله ۵۰ درجه عرض جنوبی تا ۵۰ درجه عرض شمالی قرار دارد، استفاده شده است. در محدوده مطالعاتی این تحقیق ۵ سلول قرار گرفت که برای هر پیکسل یک مقدار بارش توسط الگوریتم‌های ماهواره‌ای بدست می‌آید. شرح کوتاهی از الگوریتم‌های مورد استفاده در ذیل ارائه می‌شود.

الگوریتم بارش ماهواره‌ای PERSIANN[1]

مدل PERSAINN یک الگوریتم تخمین بارندگی با استفاده از سنجش از دور با به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی است که توسط شو و همکاران در سال 1997 در دانشگاه آریزونا ارائه شد [۷]. این الگوریتم از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برای ترکیب داده‌های ۷ ماهواره مدار پایین (Low-orbital) TRMM,DSMP)

1. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using ANN

F13,F14,F15,NOAA15,16,17) با داده‌هایی که به طور پیوسته از ۵ ماهواره زمین آهنگ (Metsat-6,Metsat-7,GMS-5,GEOS10,GEOS-8) نمونه‌گیری می‌شود، استفاده می‌کند، این الگوریتم در دانشگاه کالیفرنیا توسط سروشیان و همکاران درحال توسعه است. محصولات بارش PERSAINN دارای تفکیک مکانی ۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه و با تفکیک زمانی سه ساعته محدوده بین ۶۰ درجه شمالی تا ۶۰ درجه جنوبی عرض جغرافیایی را پوشش می‌دهد که در مرکز تحقیقاتی آبشناسی و سنجش‌ازدور CHRS [1] و سایت دانشگاه کالیفرنیا در ایروین، (WWW.UCI.EDU) در دسترس است [۶، ۲۳].

الگوریتم PERSAINN-CDR

در سال ۲۰۱۵ PERSAINN-CDR که بیش از ۳۰ سال بارندگی روزانه (۱۹۸۳ تا کنون) در دسترس عموم قرار گرفته است. این الگوریتم، از الگوریتم PERSIANN[2] با استفاده از داده‌های مادون قرمز ماهواره‌ای شبکه‌بندی شده به عنوان داده‌های اصلی ورودی ماهواره تهیه شده است. برای ایجاد پارامترهای رگرسیون غیرخطی مدل شبکه عصبی، از داده‌های رادار پایگاه چهارم مرکز ملی پیش‌بینی محیط زیست (NCEP[3]) استفاده شد. جهت بهبود اطمینان‌پذیری PERSIANN-CDR، با استفاده از پایگاه داده GPCP[4] نسخه ۲/۲ واسنجی شده است [۲]. محصول GPCP شامل داده‌های سنجنده‌های بارش تولید شده توسط مأموریت GPCC[5] است. داده‌های الگوریتم PERSIANN-CDR در (مرکز تحقیقاتی آبشناسی و سنجش‌ازدور CHRS و سایت دانشگاه کالیفرنیا در ایروین، WWW.UCI.EDU) در دسترس است.

ماهواره TRMM

ماهواره TRMM اولین ماهواره‌ای بود که با هدف اندازه‌گیری بارش ساخته شد، این ماهواره محصول مشترک سازمان ملی هوا و فضا آمریکا[6] (NASA) و آژانس اکتشاف فضایی ژاپن (JAXA)[7] است. TRMM در مرکز فضایی گادارد[8] در ناسا ساخته و بطور موفقیت‌آمیز در ۲۷ نوامبر ۱۹۹۷ از ژاپن با هدف بارش مناطق گرمسیری پرتاب شد [۱۰، ۲۰]. ماهواره TRMM که در یک مدار تقریباً دایره‌ای در ارتفاع۴۰۳ کیلومتری با زاویه میل ۳۵ درجه نسبت به مدار استوا قرار دارد، حاوی پنج سنجنده متفاوت است که سه سنجنده‌ی تصویربردار ریز موج TMI[9]، رادار بارش PR[10] و اسکنر مادون قرمز و مرئی VIRS[11] مربوط به اندازه گیری بارش هستند. داده‌های بارش ماهواره‌ای بر اساس الگوریتمی است که مشاهدات مایکروویو و مادون قرمز را با هم ترکیب می‌کند. نسخه ۷ محصولات بارش چند ماهواره‌ای TRMM تحت عنوان TMPA توسط پایگاه اطلاعات علوم زمین ناسا (GESDISC)[12] در سال ۲۰۱۲ ارائه شد که در سال ۲۰۱۳ دوباره این نسخه بازنگری شد. این محصولات دارای قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه هستند و عرض‌های جغرافیایی ۵۰درجه شمالی تا ۵۰ درجه جنوبی را پوشش می‌دهند [۸]

برآوردهای بارش TMPA به دو صورت شامل: ۱) محصولات برآورد بارش در نزدیک زمان واقعی[13] که TMPA-3B42RT نامیده می‌شود و ۲) محصول برآورد بارش بعد از زمان واقعی[14] که خطای آن تا حدی تصحیح شده است و TMPA-3B42V7 نام دارد، در دسترس است. در واقع الگوریتم زمان واقعی TMPA-3B42RTV7 با استفاده از اطلاعات GPCP v2.2 که از اطلاعات باران‌سنج استفاده می‌نماید به صورت ماه به ماه تعدیل و الگوریتم TMPA-3B42V7 تولید می‌شود. همه محصولات ماهواره‌ای TRMM از طریق مرکز خدمات اطلاعاتی و داده‌ای علوم زمین گادارد[15](http://mirador.gsfc.nasa.gov) در دسترس هستند. در این تحقیق کلیه داده‌های بارش‌های ماهواره‌ای با فرمت NetCDF دریافت شده است.

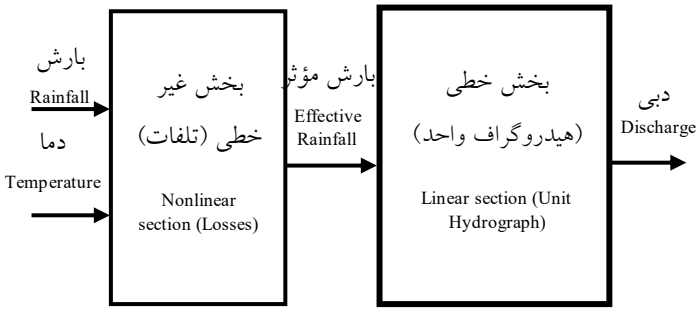
مدل هیدرولوژیکی IHACRES

مدل IHACRES مدلی یکپارچه مفهومی متریک برای شبیه‌سازی بارش–رواناب است که با همکاری مشترک هیدرولوژیست‌های مرکز مدیریت و ارزیابی جامع حوضه‌آبخیز (ICAM) دانشگاه ملی استرالیا و مرکز اکولوژی و هیدرولوژی (CHE) انجمن تحقیقات زیست‌محیطی انگلستان تهیه شده است. IHACRES مدلی، پارامتری، موثر و کارآمد است که در اکثر مناطق با آب و هوای متنوع از جمله مناطق خشک و نیمه خشک کاربرد دارد. اساس این روش از دو مدول غیرخطی کاهش و مدول خطی هیدروگراف تشکیل می‌شود. در ابتدا بارندگی (r_k) و دما (t_k) در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی، بارندگی مؤثر (u_k) تبدیل شده و سپس به وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود که در شکل ۲ نشان داده شده است.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی

اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی نیاز به تطبیق و تعدیل پارامترهای کنترل‌کننده فرآیندها را دارند، لذا عملیات تطبیق پارامترها جهت هماهنگی و سازگاری مدل در تولید داده‌هایی مانند پاسخ حوضه،

1. Center of Hydrometeorology and Remote Sensing
2. PERSAINN-Climate Record
3. National Centers for Environmental Prediction
4. Global Precipitation Climatology Project
5. Global Precipitation Climatology Centre
6. National Aeronautics and Space Administration
7. Japan Aerospace Exploration Agency
8. Goddard
9. TRMM Microwave Imager
10. Precipitation Radar
11. Visible and Infrared Scanner
12. NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center
13. Near real-time
14. Post real time
15. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center



شکل ۲- چگونگی شبیه‌سازی بارش-رواناب مدل IHACRES همراه با مدول خطی و غیرخطی [۱۱]

Fig 2. How to simulate precipitation-runoff of IHACRES model with linear and nonlinear modulus [11]

تنظیم مدل یا واسنجی گویند [۲۲]. پس از واسنجی مدل و تعیین پارامترهای مدل، با استفاده از داده‌های یک دوره زمانی متفاوت نسبت به دوره واسنجی، قابلیت مدل آزموده می‌شود، این ارزیابی اعتبارسنجی مدل است. جهت ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود. این معیارهای آماری عبارتند از ضریب R^2، شاخص ناش-ساتکلیف (NSE)، شاخص ناش-ساتکلیف لگاریتمی (LogNSE) و شاخص RMSE که به ترتیب با استفاده از روابط ۱ تا ٤ محاسبه می‌شوند.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_o-\bar{Q}_O)(Q_s-\bar{Q}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_o-\bar{Q})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_s-\bar{Q}_s)^2}} \quad (۱)$$

$$NSE = 1-\frac{\sum(Q_o-Q_s)^2}{\sum(Q_o-\bar{Q}_O)^2} \quad (۲)$$

$$NSE_{log} = 1-\frac{\sum(\log(Q_o)-\log(Q_s))^2}{\sum(\log(Q_o)-\overline{\log(Q_O)})^2} \quad (۳)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum(Q_o-Q_s)^2}{n}} \quad (٤)$$

که در این روابط Q_o، Q_s، $\bar{Q}_O$، $\bar{Q}_s$ و n به ترتیب نمایانگر داده مشاهداتی، داده شبیه‌سازی، میانگین داده مشاهداتی، میانگین داده شبیه‌سازی و تعداد داده می‌باشد.

در پژوهش حاضر، نخست مدل هیدرولوژیکی IHACRES در دوره انتخابی، واسنجی شد، واسنجی شامل تعیین پارامترهایی است که حداقل تابع هدف را مشخص کند. در واسنجی IHACRES مقادیر ثابت زمانی خشک شدن حوضه‌آبخیز (τ_ω) و عامل تعدیل دما (f) در بخش غیرخطی مدل به صورت دستی، به‌وسیله کاربر تعیین می‌شود و مقادیر پارامتر ضریب تعادل حجم بارش c و پارامترهای بخش روندیابی خطی آن به‌وسیله نرم‌افزار محاسبه می‌شوند.

نتایج

با اجرای شبیه‌سازی در دوره زمانی ۲۲ سپتامبر سال ۲۰۰٤ تا ۳۱ دسامبر سال ۲۰۰۹ میلادی مدل هیدرولوژیکی IHACRES تحت واسنجی قرار گرفت و عملیات به روش دستی آزمون و خطا با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه آبسنجی تلمبه حسنی صورت پذیرفت و پارامترهای عامل تعدیل دما (f) و ثابت زمانی خشک شدن حوضه‌آبخیز (τ_ω) واسنجی شد. جدول (۱) مقادیر پارامترهای حاصل از عملیات واسنجی مدل را ارائه می‌دهد. با توجه به مقادیر جدول پارامتر v_S بیانگر مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه بوده و مقادیر زیاد آن نشان‌دهنده وجود جریان پایه بیشتر در رودخانه است. پارامتر c حجم رطوبت ذخیره شده در حوضه (ضریب تعادل حجم بارش) بر حسب میلی‌متر بوده و نشان‌دهنده سرعت واکنش حوزه آبریز نسبت به بارش است. اگر مقدار این پارامتر کم باشد، حوضه واکنش آهسته‌ای را نسبت به بارش نشان می‌دهد.

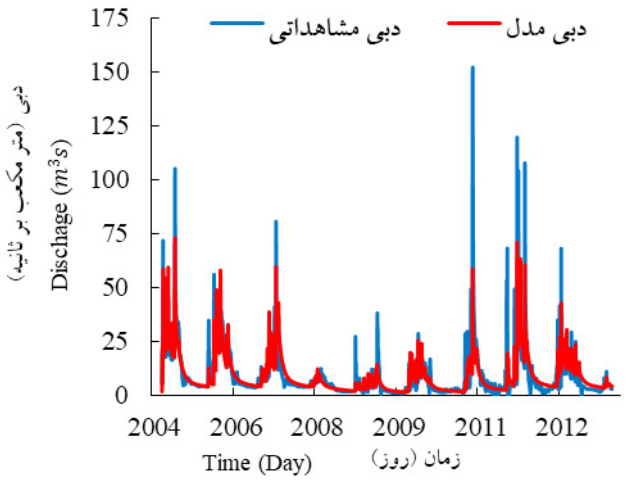
جدول ۱- مقادیر بهینه پارامترهای خطی و غیرخطی IHACRES در دوره واسنجی

Table 1. Optimal values of linear and nonlinear IHACRES parameters in calibration period

مدول غیرخطی Nonlinear module			مدول خطی Linear module		
τ_ω	f	C	τ_q	τ_S	v_S
6.785	3.62	0.0022	24	325.56	0.502

دوره زمانی اول ژانویه سال ۲۰۱۰ تا ۳۱ دسامبر سال ۲۰۱۳ به عنوان دوره اعتبارسنجی مدل انتخاب شد. شکل ۳ دبی مشاهداتی و دبی حاصل از مدل هیدرولوژیکی، در دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی جهت مقایسه ترسیمی نشان داده شده است؛ چنانچه مشاهده می‌شود اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی با مدل IHACRES با اطلاعات واقعی حوضه‌آبریز دارای تطابق خوبی است همچنین شبیه‌سازی برای دبی‌های پایه دارای تطابق بیشتری است و در تعیین مقادیر بیشینه کم‌برآورد است، که با نتایج عبدالهی‌پور و همکاران [۱] و دوستی و همکاران [۵] همخوانی دارد. جدول (۲) شاخص‌های ارزیابی مدل هیدرولوژیکی IHACRES در شبیه‌سازی دبی رودخانه دو دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد، با توجه به جدول (۲) مقدار شاخص RMSE در دوره واسنجی ٤/٤ مترمکعب بر ثانیه و دوره اعتبارسنجی۷/۳۹ مترمکعب بر ثانیه است. شاخص NSE_{log} در دوره واسنجی ۰/۹۷ و در دوره اعتبارسنجی ۰/٦ را

نشان می‌دهد و از نظر شاخص NSE مدل در دوره ۰/۸ NSE و در دوره اعتبارسنجی ۰/٦۲ است و حاکی از مناسب بودن مدل است شاخص ضریب R^2 یکی از معیارهای مناسب بودن مدل است و با توجه به جدول ۲ ضریب تبیین R^2 در دوره واسنجی ۰/۸ و در دوره اعتبارسنجی ۰/٦٦ است و تطابق بالای شبیه‌سازی با واقعیت را نشان می‌دهد.



شکل ۳- دبی جریان اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با کاربرد مدل هیدرولوژیکی IHACRES

Fig 3. Flow measured and simulated using the IHACRES hydrological model

جدول ۲- عملکرد مدل IHACRES با استفاده از ایستگاه باران‌سنجی

Table 2. Performance of IHACRES model using rain gauge station

ایستگاه باران‌سنجی Rain-Gauge Station	منبع داده Data Source	
4.4	RMSE	دوره واسنجی Calibration Period
0.97	NES_{log}	
0.8	NSE	
0.8	R^2	
7.39	RMSE	دوره اعتبار سنجی Validation Period
0.6	NES_{log}	
0.62	NSE	
0.66	R^2	

مقایسه و ارزیابی عملکرد اطلاعات الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای

در ادامه جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای داده روزانه بارش متوسط الگوریتم‌های PERSIANN، PERSINN-CDR، TMPA-3B42V7 و TMPA-3B42RT در منطقه مورد مطالعه، به عنوان ورودی شبیه‌سازی واسنجی‌شده IHACRES، به‌جای داده‌های بارش ایستگاه باران‌سنجی برای شبیه‌سازی جریان روزانه، استفاده شد. شکل ٤ نتایج شبیه‌سازی جریان رواناب با استفاده از اطلاعات بارش ماهواره‌ای است. با توجه به شکل ٤ تطابق اطلاعات ناشی از الگوریتم تعدیل‌یافته PERSIANN-CDR بیشتر از الگوریتم PERSIANN است، همچنین الگوریتم TMPA-3B42V7 تطابق بیشتری نسبت به TMPA-3B42RT دارد.

جدول (۳) شاخص‌های آماری ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای و مدل IHACRES را نشان می‌دهد. چنانچه ملاحظه می‌شود از نظر شاخص RMSE در دوره اعتبارسنجی برای ماهواره PERSIANN و PERSIANN-CDR به ترتیب مقدار ١٤/٤ و ٧/٦٧ مترمکعب بر ثانیه به دست آمده است. لذا می‌توان بیان داشت عملیات تعدیل خطا در PERSIANN-CDR موفقیت‌آمیز بوده است، مقایسه مابقی شاخص‌ها این نکته را تأئید می‌کند، اما در مقادیر RMSE در دوره اعتبارسنجی، الگوریتم TMPA-3B42V7 و TMPA-3B42RTV7 ۹ و ۹/۱ است. از نظر شاخص‌های ارزیابی در دوره اعتبارسنجی از جمله نش-ساتکلیف تقریباً برابر است، لذا استفاده از مدل نزدیک به زمان واقعیت و با با تأخیر نسبت به زمان واقعیت تفاوتی ندارد. از نظر شاخص NSE نتایج دو الگوریتم PERSIANN-CDR و TMPA-3B42V7 با مقادیر به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/٦٧ نتایج مطلوب و TMPA-3B42RT با مقدار ۰/۵۹ نتایج قابل دارند اما نتایج حاصل از PERSIANN با مقدار ۰/۰۲-حاکی از عملکرد بسیار ضعیف مدل است. این نتیجه با نتایج ضریب تبیین R^2 مطابقت دارد. به طور کلی و با توجه به مقادیر جدول ۲، گویای عملکرد بالاتر الگوریتم PERSIANN-CDR در شبیه‌سازی رواناب محدوده مطالعاتی هستند همچنین الگوریتم TMPA 3B42V7 نسبت به PERSIANN عملکرد بهتری دارد که با نتایج عبدالهی و همکاران [۱] مطابقت دارد.

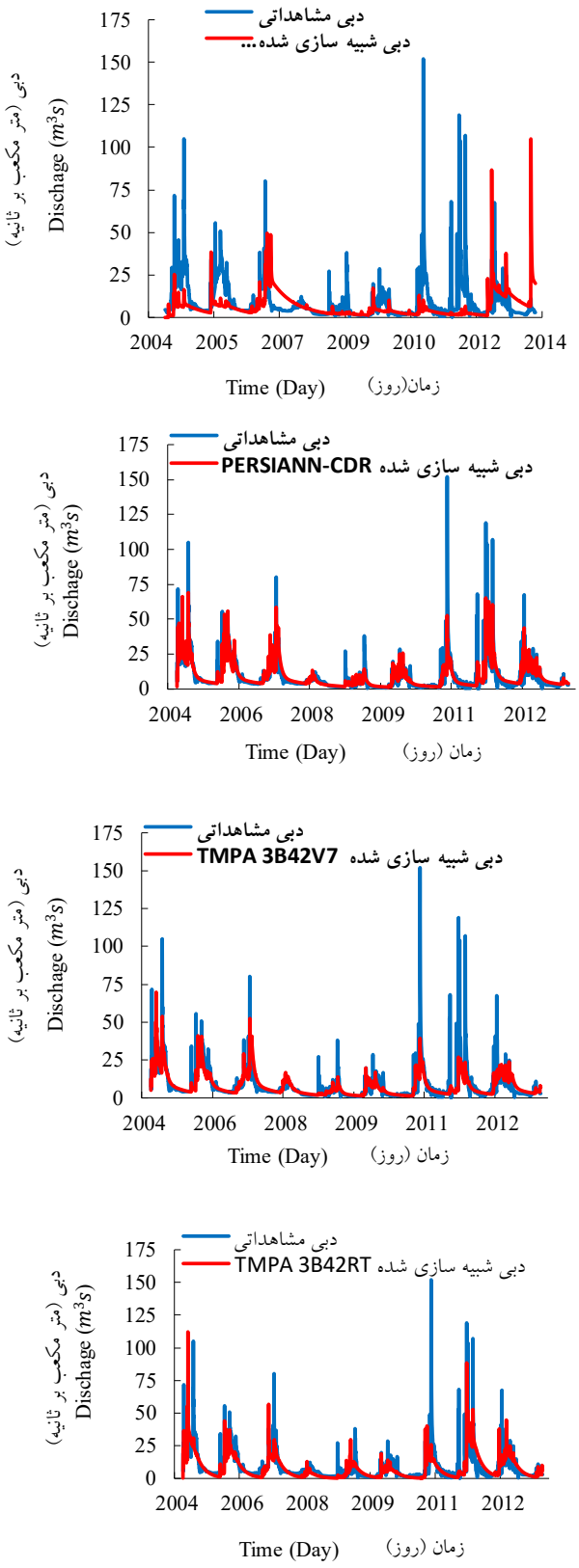
جدول ۳- عملکرد مدل IHACRES با استفاده از بارش ماهواره‌ای در مقیاس روزانه

Table 3. Performance of IHACRES model using satellite precipitation on a daily scale

دوره اعتبار سنجی (۲۰۱۰-۲۰۱۳) Validation Period (2010-2013)	دوره واسنجی (۲۰۰٤-۲۰۱۰) Calibration Period (2004-2010		منبع داده Data Source
14.4	9.9	RMSE	PERSIANN
-0.41	0.31	NES_{log}	
-0.43	-0.02	NSE	
0.004	0.1	R^2	
7.67	4.48	RMSE	PERSIANN-CDR
0.59	0.85	NES_{log}	
0.59	0.79	NSE	
0.62	0.79	R^2	
9.1	6.35	RMSE	TMPA 3B42RT
0.999	0.999	NES_{log}	
0.43	0.59	NSE	
0.43	0.61	R^2	
9	5.65	RMSE	TMPA 3B42V7
0.999	0.999	NES_{log}	
0.43	0.67	NSE	
0.49	0.67	R^2	

بحث و نتیجه‌گیری

محصولات بارش ماهواره‌ای، ورودی جدیدی با ویژگی‌هایی بارزی نسبت به ایستگاه‌های زمینی (عدم خلا آماری و پوشش مکانی جهانی) برای مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی فراهم آورده است که برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای و جهانی هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب در سراسر جهان بسیار حائز اهمیت هستند. این محصولات به‌ویژه در حوضه‌های با داده پراکنده و یا بدون ایستگاه مفید فایده است. در پژوهش حاضر از داده‌های با وضوح بالا چهار الگوریتم PERSIANN، PERSIANN-CDR، TMPA-3B42V7 و TMPA-3B42RT در حوضه‌آبریز شش‌پیر استان فارس مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل بیانگر قابل قبول بودن مدل برای حوضه‌آبریز مذکور است با این وجود مدل توانایی کمتری در تعیین دبی‌های بیشینه را داشت به‌طوریکه در تعیین مقادیر بیشینه کم‌برآورد است که با نتایج عبداللهی‌پور[۱] و همکاران و دوستی و همکاران [۵] مطابقت دارد. در ارزیابی نتایج نشان می‌دهد کاربرد الگوریتم بارش ماهواره‌ای PERSIANN، PERSIANN-CDR، TMPA-3B42V7 و TMPA-3B42RT در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، الگوریتم PERSIANN-



شکل ٤- جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل IHACRES

Fig 4. Observation and simulation flows using IHACRES model

CDR توانایی بالاتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها دارد، از طرفی عملیات تعدیل خطای مدل PERSIANN-CDR موفقیت‌آمیز بوده است اما استفاده از مدل با تأخیر زمانی TMPA-3B42V7 نسبت به مدل نزدیک به زمان واقعیت تأثیر قابل‌توجهی ندارد. این تحقیق نشان می‌دهد مدل الگوریتم PERSIANN ضعیف است و استفاده از آن توصیه نمی‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از دکتر عباس روزبهانی بابت کمک‌ها و راهنمایی علمی در پژوهش تشکر می‌کنند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

نویسندگان مجوزی برای در اختیار قرار دادن کدها و داده‌ها ندارند.

مشارکت نویسندگان

وحید شکری کوچک: مفهوم‌سازی، تحلیل، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، منابع، نرم‌افزار، اعتبارسنجی، نگارش پیش‌نویس مقاله و جوابیه داوری ویرایش.

محمدرضا شریفی: تحقیق، روش‌شناسی؛ نظارت و نگارش مقاله و ویرایش.

سعید شکری کوچک: مفهوم‌سازی، تحلیل رسمی، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، مدیریت پروژه، نظارت، نگارش پیش‌نویس مقاله و جوابیه داوری ویرایش.

منابع مورد استفاده

1. Abdollahi-pour, A., Moazami-Goudarzi, S., Zakeri-Nayeri, M. 2016. 'Evaluation of Three Algorithms for the Daily Hydrological Modeling of the Sarough Chai Basin Using the Satellite Precipitation Products and Applying the IHACRES Model', 8(27):. 59-72. .(In Persian)

2. Ashouri, H., Hsu, K.L., Sorooshian, S., Braithwaite, D.K., Knapp, K.R., Cecil, L.D., Nelson, B.R. and Prat, O.P., 2015. 'PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies'. Bulletin of the American Meteorological Society, 96(1), pp.69-83. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00068.1

3. Behrangi, A, Khakbaz, B, Jaw, T, C, AghaKouchak, A, Hsu, K., 2011, Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a mid-size basin, Journal of Hydrology, 397: 225–237. doi: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.043 .

4. Dehghani, N; Vafakhah, M; Bahremand, A.R; 2014. 'Simulation of streamflow using a hydrological model-distributed wetSpa in kasilian watershed', Journal of Water and Soil Conservation, 20(6):. 253-261.(In Persian)

5. Dusti, M; Shahedi, K; Habibnejad roshan, M; Miryaghubzadeh, M, 2014. 'Using IHACRES semi-conceptual model to simulate daily flow (Case study: Tamar Basin)', Journal of Water and Soil Conservation, 21(2):277-292. .(In Persian)

6. Hong Y, Gochis D, Cheng J, Hsu K, Sorooshian S 2007 Evaluation of PERSIANN-CCS rainfall measurement using the NAME event rain gauge network. J Hydrometeorol 8(3):.469–482

7. Hsu, K., Gao, X., Sorooshian, S., and Gupta, H. V., 1997. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. J. Appl. Meteorol., Vol.36:1176–1190. https://doi.org/10.1175/1520-0450(1997)036%3C1176:PEFRSI%3E2.0.CO;2.

8. Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., et al., 2007 The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales, Journal of 20 Hydrometeorology, 8: 38–55

9. Kenabatho, P,K, Parida, B,P, Moalafhi, D,B, 2017, Evaluation of satellite and simulated rainfall products for hydrological applications in the Notwane catchment, Botswana, Physics and Chemistry of the Earth, 100: 19-30, https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.02.009.

10. KUMMEROW, C, SIMPSON, J, THIELE, O, BARNES, W, CHANG, A. T. C, STOCKER, E, et al., 2000, The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit, American Meteorological Society, 39:1965-1982.

11. Littlewood, I.G., K. Down, J.R. Parker and D.A, 1997, 'IHACRES – Catchment-scale rainfall-streamflow modelling (PC version) Version 1.0 – April 1997', The Australian National University, Institute of Hydrology and Centre for Ecology and Hydrology.

12. Littlewood, IG. 2003 Improved unit hydrograph identification for seven Welsh rivers: implications for estimating continuous streamflow at ungauged sites. Hydrol. Sci. J. (743-762)

13. Madadi, G., Hamzeh, S., Noroozi, A. 2015. 'Evaluation of rainfall on a daily, monthly and annual basis using satellite imagery (Case study: west boundary basin of Iran)', Journal of RS and GIS for Natural Resources, 6(2): 59-74. .(In Persian)

14. Mianabadi, A., Alizadeh, A., Sanaeinejad, H., Bannayan Awal, M., Faridhosseini, A. 2013. 'The Statistic Assessment of CMORPH Model Output For Precipitation Estimation Over The

Northeast of Iran (Case Study: North Khurasan Province)', Water and Soil, 27(5): 919-927. doi: 10.22067/jsw.v0i0.31185 (In Persian)

15. Mirjafari,F, Nasiri Saleh; 2012, Hydrological Simulation of Gharasoo River Basin in Ardabil Province Using WetSpa Distribution Model, 9th International Congress of Civil Engineering, Isfahan.(In Persian)

16. Moazami, S., Golian, S., Kavianpour, M. R, Hong, Y., 2013, Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran, International Journal of Remote Sensing, 34:22, 8156-8171, DOI: https://doi.org/10.1080/01431161.2013.833360.

17. Motakan, A.A, Shakiba, A.R. Ashurlu, D, Bodagh Jamali, J, Mohammadian, V, Capability of combined infrared and inactive microwave data for remote sensing and rainfall estimation and flood monitoring (Case study: Golestan province), Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, 1(2):. 31-41.(In Persian)

18. Parisooj,P,. Goharnejad ,H, Moazami, S, 2018, Rainfall-Runoff Hydrologic Simulation Using Adjusted Satellite Rainfall Algorithms, a Case Study: Voshmgir Dam Basin, Golestan Province, Iran-Water Resources Research, Vol. 14(3):. 174-188, (Persian)

19. Rasuli, a; Erfanian, M; Sari Saraf,B; Javan, Kh; 2016, comparetative evaluation of precipitation estimation value of TRMM and precipitation measurement of ground stations in Urmia lake basin, Journal of Geographic space, 16(54):. 195-217 (In Persian)

20. Rozante, J.R.; Moreira, D.S.; de Goncalves, L.G.G.; Vila, D.A., 2010, Combining TRMM and surface observations of precipitation: Technique and validation over South America. Weather Forecast, 25: 885–894.

21. Shirvani,A; Fakhari zadeh Shirazi, E. 2014, Comparison of ground based observation of precipitation with TRMM satellite estimations in Fars Province, Journal of Agricultural Meteorology, 2(2): 1-15. .(In Persian)

22. Shokri Koochak, S; 2010, Investigating the role of runoff sub-basins in the severity of flooding in Edenak sub-basin in Maroon river catchment, M.Sc. thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, 170 p. .(In Persian)

23. Sorooshian S, Hsu KL, Gao X, Gupta HV, Imam B, Braithwaite D. 2000, Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. Bull. Am. Meteorol. Soc. 81: 2035–2046.

24. Stisen, S, Sandholt, I., 2010, Evaluation of remote-sensing-based rainfall products through predictive capability in hydrological runoff modelling, HYDROLOGICAL PROCESSES, 24: 879–891, DOI: https://doi.org/10.1002/hyp.7529

25. Su, F, Hong, y, 2008, Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and Its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin, JOURNAL OF HYDROMETEOROLOGY, Vol. 8: 622-640.

26. Tekeli, A,E, Fouli, H., 2016, Evaluation of TRMM satellite-based precipitation indexes for flood forecasting over Riyadh City, Saudi Arabia , Journal of Hydrology, 541: 471-479, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.014

27. Zhao,Y, Xie, Q, Lu ,Y, Hu, B, 2017, Hydrologic Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis for Nanliu River Basin in Humid Southwestern China, Journal of nature research, 7: 2470 DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-017-02704-1 /.

نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 18, No. 64, Spring 2024
سال هجدهم- شماره ٦٤- بهار ١٤٠٣

Satellite Precipitation Algorithms Assessment in Hydrologic Simulation by Means of IHACRES Model (Case Study: Sheshpir River Watershed, Fars Province, Iran)

Vahid. Shokri Kuchak[1*], Mohammadreza. Sharifi[2] and Saeed. Shokri Kuchak[3]
Received: 2021.11.29 Accepted: 2021.07.21

Abstract

Introduction:

Hydrological models are powerful tools for understanding and estimating the hydrological responses of a catchment. They play a crucial role in water resource management, river engineering, flood control, and flood storage. Evaluating the quantitative and qualitative aspects of hydrological models with a systematic approach is essential. The key variables affecting the hydrological cycle include precipitation, temperature, land use, soil texture, elevation, and evapotranspiration. The complex interactions among these variables make the hydrological cycle a relatively complicated process, necessitating the use of hydrological models for evaluation. The most important input parameter in hydrological simulation processes is precipitation. Availability of suitable precipitation data in different times and locations is very important. Currently, most precipitation data is collected from ground-based rain gauge stations or weather radars. However, precipitation monitoring networks, especially in developing countries like Iran, lack good spatial density. Issues like high costs, lack of monitoring equipment in remote areas, inappropriate distribution, short-term monitoring gaps, equipment malfunctions, and user errors are persistent problems for precipitation data users. Hence, the lack of reliable and complete precipitation data is a major challenge in hydrological analysis and forecasting for water resource management. Consequently, monitoring precipitation at short time scales and small spatial scales plays a crucial role in hydrological simulations and ultimately water resource management. In recent years, the use of remote sensing and satellite precipitation estimation algorithms has been developed and is being proposed as an alternative. These technologies have the potential to provide more comprehensive and accurate precipitation data, which can significantly improve the performance of hydrological models and enhance water resource management.

Materials and Methods:

This study focuses on hydrological evaluation of four satellite precipitation products TMPA-3R42V7, TMPA-3B42RTV7, PERSIANN and PERSIANN-CDR in the modeling of rainfall runoff of Sheshpir river watershed (954.5 $km^2 km^2$). The minimum elevation of the basin is 1527 meters and the maximum is 3666 meters above sea level. The hydrometric station is located at 51°43’ east longitude and 30°01’ north latitude, and has adequate daily discharge data for the river. To achieve the objectives of the research, the conceptual and continuous hydrological model of IHACRES was first extracted using

1.M.Sc., Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. vahidshokri93@yahoo.com
2.Associate Professor, Department Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
3.Ph.D., Department Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

measured ground-based rainfall and temperature information for the period September 22, 2004 through December 31, 2009 using calibrated observational data of Tolombe Hassani hydrometry station and model parameters. IHACRES model was then validated for the period January 1, 2010 through December 31, 2013. IHACRES is an integrated conceptual-metric model for rainfall-runoff simulation, developed through the collaborative efforts of hydrologists from the Integrated Catchment Assessment and Management (ICAM) Centre at the Australian National University and the Centre for Ecology and Hydrology (CEH) of the UK Natural Environment Research Council. IHACRES is a parsimonious, effective, and efficient model that has been applied in a wide range of climatic regions, including dry and semi-arid areas. The evaluation indices used in this study are: Coefficient of determination (R^2), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), Root mean square error (RMSE), Logarithmic root mean square error (log RMSE).

Results and Discussion:

Model calibration results for the Sheshpir and watershed showed acceptable performance, with statistical indices of Nash Sutcliffe Efficiency (NSE), and coefficient of determination (R^2), 0.8 and 0.8, respectively, and validation results According to the above statistical indices, 0.62, and 0.66, respectively, indicate acceptable performance of the IHACRES hydrological model. Then, the satellite precipitation products that the purpose of this study was introduced as a substitute for stationary mean precipitation, according to statistical indices, results show higher abilities of PERSIANN-CRD in simulation of rainfall-runoff than other algorithms. The coefficient of determination for PERSIANN-CDR algorithm is 0.79 and for TMPA-3B42V7, TMPA-3B42RTV7, PERSIANN satellite algorithms are 0.67, 0.61, 0.1, respectively. Also, according to another statistical index under the name of NS, the evaluation of hydrological models in order to simulate the rainfall-runoff model with PERSIAN-CDR algorithm, is 0.7 in the calibration period and 0.69 in the validation period, which shows the proper performance of the IHACRES rainfall-runoff model with the PERSIANN-CDR precipitation algorithm. **T**he PERSIANN-CDR algorithm has a higher capability than other algorithm; on the other hand, the error correction operation of the PERSIANN-CDR model is successful, but the use of the model with a time delay of TMPA-3B42V7 does not have a significant effect on the model close to the real time. In general, the IHACRES model, coupled with the PERSIANN-CDR satellite precipitation product, demonstrated promising results in simulating the rainfall-runoff processes in the Sheshpir watershed, which is located in a semi-arid climate region. The study highlights the potential of using satellite-based precipitation data as a viable alternative to ground-based observations for hydrological modeling in data-scarce regions.

Conclusion:

The results of this research demonstrate the suitability and high capability of the IHACRES model in simulating watershed hydrology and estimating water flow in an integrated manner. The study also reveals the potential of satellite precipitation algorithms to replace ground observational data in cases where such data is scarce or unavailable. One of the key findings of the research is the impact of error adjustment operations on the performance of satellite precipitation products. The study shows that error adjustment in the Persiann-CDR product led to a noticeable improvement in its performance, while similar adjustments in the TMPA-3B42V7 product did not yield such significant results. The evaluation of the four satellite precipitation algorithms – PERSIANN, PERSIANN-CDR, TMPA-3B42V7, and TMPA-3B42RT – in the hydrological modeling context indicates that the PERSIANN-CDR algorithm has the highest capability along the tested algorithms. In contrast, the performance of the PERSIANN

algorithm was found to be very weak, suggesting that its use in hydrological modeling is not recommended. These findings have important implications for water resource management and decision-making. The ability to effectively utilize satellite precipitation data in hydrological modeling can be particularly valuable in regions with limited ground-based observational data. Additionally, the insights gained from the comparative analysis of the satellite precipitation algorithms can guide the selection and application of the most suitable product for specific hydrological modeling purposes. Overall, this research provides a comprehensive understanding of the suitability and performance of the IHACRES model and satellite precipitation algorithms in simulating watershed hydrology and estimating water flow.

Keywords: *Rainfall Runoff Modeling, Satellite Precipitation Algorithms, Assessment, Sheshpir Watershed of Fars*

Acknowledgement

We would like to thank Dr. Abbas Roozbahani for giving insight and knowledge that considerably aided the research.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

We have no permission to release data and codes.

Authors' contribution

Vahid Shokri Kuchak: Conceptualization; Formal analysis; Investigation; Methodology; Resources; Software; Validation; Visualization; Writing - Original draft; and Writing - review & editing.

Mohammad Reza Sharifi: Investigation; Methodology; Supervision and Writing - review & editing.

Saeed Shokri Kuchak: Conceptualization; Formal analysis; Investigation; Methodology; Project administration; Supervision; Roles/Writing - Original draft; and Writing - review & editing.