مدلسازی پیوسته جریان رودخانه مارون با به کارگیری مدل مفهومی HEC-HMS

علیرضا کیهانی[۱]
حسین فتحیان[۲*]
رامین رستمی[۳]

۱. کارشناس سواحل، تالاب‌ها و آبهای مرزی، معاونت حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان.
۲. گروه مهندسی منابع آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۳. گروه مهندسی عمران، واحد میاندوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میاندوآب، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات
Fathian.h@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۷

این مقاله برگرفته از فعالیت پژوهشی سایر است.

چکیده

پیش‌بینی جریان آبراهه به‌منظور بهره‌برداری موثر از مخازن کنترل سیل و سامانه‌های سیل بندهای خاکی و بتنی ضروری است. پیش‌بینی جریان در زمینه تصمیم‌گیری برای تامین آب، انرژی برق‌آبی، نیازهای زیست‌محیطی و دیگر نیازهای بهره‌برداری مفید هستند. ازاین‌رو پیش‌بینی جریان آبراهه در حوضه‌های آبریز از اهمیت زیادی برخوردار است. معمولا پیش‌بینی‌ها بر مبنای شرایط هواشناسی و هیدرولوژیکی اخیر در حوضه هستند و ممکن است شرایط هواشناسی پیش‌بینی شده در آینده را شامل شوند. در این تحقیق به پیش‌بینی روزانه جریان آبراهه در حوضه مارون با مدل HEC-HMS پرداخته می‌شود، تا تولنایی و دقت این مدل در پیش‌بینی جریان آبراهه ارزیابی گردد. به این منظور ابتدا شبیه‌سازی پیوسته بارش-رواناب به‌صورت روزانه قبل از زمان پیش‌بینی با استفاده از مدل تلفات شمارش رطوبت خاک (SMA: Soil Moisture Accounting) انجام شد. جهت واسنجی مدل HEC-HMS از داده‌های دبی روزانه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ و صحت‌سنجی مدل از داده‌های از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ در ایستگاه هیدرومتری اینک استفاده شد. جریان آبراهه روزانه در ایستگاه ایدنک از تاریخ ۱۳۹۰/۸/۱۴ تا ۱۳۹۱/۸/۱۴ پیش‌بینی شد. نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌های آماری ضریب ناش-ساتکلایف، ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا در مرحله پیش‌بینی جریان آبراهه در ایستگاه ایدنک به ترتیب برابر ۰/۵۶، ۰/۶۷، ۳۲/۲ مترمکعب در ثانیه است. بنابراین مدلHEC-HMS از دقت و توانایی خوبی در پیش‌بینی جریان روزانه آبراهه برخوردار می‌باشد.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی جریان، مدل HEC-*HMS*، رودخانه مارون، مدلسازی پیوسته، SMA

مقدمه

پیش‌بینی رواناب به‌منظور بهره‌برداری موثر از مخازن کنترل سیل و سامانه‌های سیل بند خاکی ضروری است. پیش‌بینی‌ها همچنین ممکن است با برآورد زمان و محدوده خسارات مورد انتظار یا شرایط مخرب سیل، بهره‌برداری اضطراری را پشتیبانی نماید. پیش‌بینی‌ها بر مبنای شرایط هواشناسی و هیدرولوژیکی اخیر در حوضه هستند و ممکن است شرایط هواشناسی پیش‌بینی شده در آینده را شامل شوند. اگرچه اکثر کاربردها در زمینه پیش‌بینی سیل می‌باشد، پیش‌بینی رواناب ممکن است تامین آب، انرژی برق‌آبی، نیازهای زیست‌محیطی و دیگر نیازهای بهره‌برداری را پشتیبانی نماید. Singh (2015) شبیه‌سازی پیوسته جریان با استفاده از الگوریتم SMA در حوضه آبریز وامیس دیهار هند را انجام دادند. نتایج حاصل توانایی مدلHEC-HMS در شبیه‌سازی جریان در دوره صحت‌سنجی و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد. Sintayehu (2015) با استفاده از مدل HEC-HMS شبیه‌سازی جریان بالادست حوضه رودخانه نیل انجام دادند و نتایج حاصل نشان داد که پارامترهای SMA و مدل مخزن خطی بیشترین تأثیر را در تولید هیدرو گراف خروجی حوضه داشته، همچنین توانایی مدل در دوره صحت سنجی و اعتبار سنجی تائید شده است. احمد پور و همکاران (۱۳۹۵) به مقایسه دقت پیش‌بینی رواناب ماهانه در حوضه مارون با استفاده از مدل HEC-HMS و مدل‌های سری زمانی پرداختند و درنهایت مدل HEC-HMS به عنوان مدل برتر جهت پیش‌بینی رواناب ماهانه حوضه مذکور را معرفی نمودند خضریان نژاد و همکاران (۱۳۹۱) به پیش‌بینی رواناب با استفاده از پیش‌بینی کمی بارش حاصل از برونداد مدل‌های پیش‌بینی عددی جو پرداختند. برای پیش‌بینی بارش از مدلWRFو برای پیش‌بینی رواناب از مدل HEC-HMS استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر رواناب پیش‌بینی‌شده کمتر از مقادیر مشاهده‌ای آن است. معصوم زاده و

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

فتحیان (۱۳۹۵) با به‌کارگیری مدل HEC-HMS به همراه مدل تلفات محاسبه رطوبت خاک (SMA) به شبیه‌سازی جریان در حوضه آبریز دز از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۴ پرداختند. نتایج بیانگر آن است که مدل HEC-HMS به همراه مدل تلفات SMA از قابلیت خوبی در شبیه‌سازی پیوسته رواناب کل روزانه در دوره‌های خشک و تر متوالی در حوضه دز برخوردار می‌باشد. فتحیان و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS به همراه مدل تلفات محاسبه کننده رطوبت خاک (SMA) به شبیه‌سازی جریان ورودی به مخزن سد مارون پرداختند. برای واسنجی و صحت سنجی مدل به ترتیب از داده‌های روزانه دبی مربوط به سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۴ و ۱۳۹۰-۱۳۸۵ در ایستگاه هیدرومتری ایدنک استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که ضریب ناش- ساتکلایف و ضریب تعیین برای دوره صحت‌سنجی مدل به ترتیب برابر با ۰/۶۵ و ۰/۸ است که بیانگر دقت خوب مدل HEC-HMS به همراه مدل تلفات SMA در شبیه‌سازی پیوسته جریان روزانه در حوضه کارون می‌باشد. غفوری و همکاران (۱۳۹۲) مدل‌سازی پیوسته جریان روزانه در حوضه کارون به کمک مدل تلفاتSMA انجام دادند. نتایج حاصل توانایی مدلHEC-HMS در شبیه‌سازی پیوسته جریان در دوره صحت‌سنجی و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد. گومیندوگا و همکاران (۲۰۱۶) مدلسازی بارش-رواناب را در ۱۰ زیر حوضه آبریز مختلف دارای آمار و بدون آمار رواناب (فاقد ایستگاه) با نرم‌افزار HEC-HMS در زیمبابوه بررسی نمودند. همچنین سهم هر یک از زیر حوضه‌های فاقد آمار در تولید رواناب خروجی حوضه بررسی و محاسبه شد. نتایج نشان داد که مدل میزان رواناب و دبی پیک حوضه را در حوضه‌های دارای آمار به‌طور مناسبی پیش‌بینی می‌کند با توجه به مطالعات انجام شده تاکنون می‌توان دریافت که در زمینه شبیه‌سازی تک‌واقعه و پیوسته بارش-رواناب در حوضه‌های آبریز، تأثیر توسعه شهری بر دبی اوج سیل و تعیین پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها در حوضه‌های مختلف مطالعاتی انجام شده است. با توجه به تحقیقات انجام شده تاکنون، در زمینه پیش‌بینی بلند مدت جریان آبراهه در حوضه‌های آبریز با مدل HEC-HMS مطالعه‌ای تاکنون ملاحظه نشده است. بنابراین هدف از این مقاله ارزیابی دقت مدل مفهومی HEC-HMS در پیش‌بینی جریان روزانه آبراهه در حوضه مارون با مدلسازی پیوسته جریان است.

مواد و روش‌ها

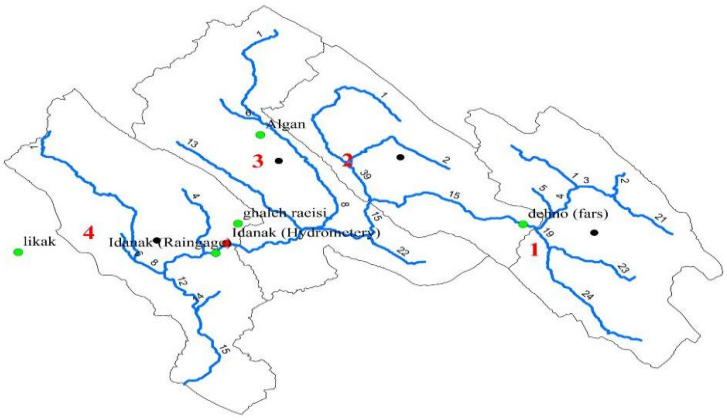
معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه مارون با مساحت حدود ۳۸۲۴ کیلومترمربع در مختصات جغرافیای (′۵۰ °۴۹) تا (′۱۰ °۵۱) طول شرقی، (′۳۰ °۳۰) تا (′۲۰ °۳۱) عرض شمالی و در ارتفاعات شهرستان بهبهان در استان خوزستان واقع‌شده است. حوضه آبریز مارون توسط حوضه‌های آبریز رودخانه‌های زهره و کارون در استان خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد احاطه گردیده است. بخش عمده حوضه آبریز رودخانه مارون را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد. از این میان بخش‌های شمالی و شرقی به ترتیب نسبت به بخش‌های دیگر ارتفاع بیشتری دارند. حوضه آبریز مارون تا محل سد مارون بر اساس توپوگرافی و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS به چهار قسمت تقسیم‌شده و هر یک به‌عنوان یک زیر حوضه به مدل حوضه معرفی‌شده است. شکل ۱ نقشه را همراه با شماره‌های مربوط به هر زیر حوضه و موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری را نشان می‌دهد. شکل(۲) شماتیک مدل هندسی حوضه مارون در محیط مدل HEC-HMS را نشان می‌دهد. جدول (۱) مشخصات هندسی زیر حوضه‌ها را نشان می‌دهد.

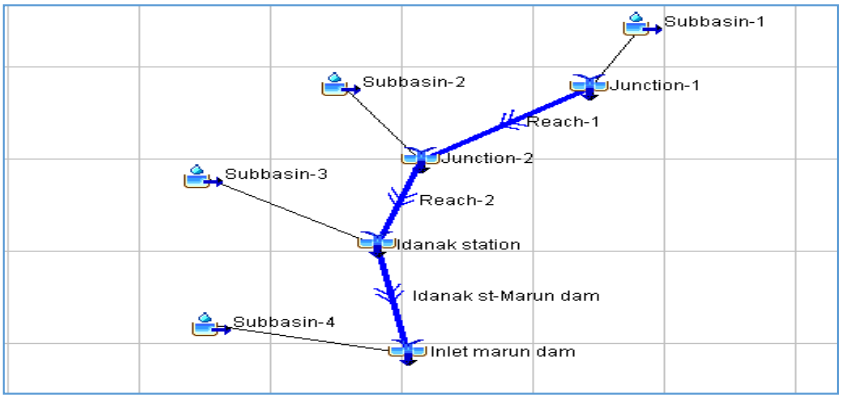
روش کار

داده‌های بارندگی روزانه شامل ۴ ایستگاه از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی متعلق به وزارت نیرو از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ تهیه شده است. مقادیر دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری ایدنک متعلق به وزارت نیرو جهت کالیبراسیون مدل استفاده‌شده است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]



شکل ۱ : زیرحوضه‌بندی حوضه مارون و موقعیت ایستگاه هیدرومتری، تبخیرسنجی و باران‌سنجی



شکل ۲ : شماتیک مدل هندسی حوضه مارون در محیط مدل HEC-HMS

جدول ۱ : مشخصات هندسی زیرحوضه‌های حوضه مارون

زیر حوضه	مساحت (کیلومترمربع)	محیط (کیلومتر)	ضریب گراولیوس	حداقل ارتفاع (متر)	حداکثر ارتفاع (متر)	ارتفاع متوسط (متر)	شیب متوسط حوضه (درصد)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)
۱	۹۱۷/۵	۱۷۳	۰/۰۷۲	۱۳۳۹	۳۴۹۱	۲۴۱۵	۷/۱	۳۲
۲	۶۸۶/۶	۷۴	۰/۰۳۵	۸۵۹	۳۳۲۱	۲۰۷۹	۹/۴	۴۲
۳	۱۰۶۷	۸۸	۰/۰۴۷	۵۶۷	۳۱۶۵	۱۸۶۴	۷/۹	۷۱
۴	۱۰۲۰	۹۵	۰/۰۵۴	۳۶۲	۳۱۱۷	۱۷۴۷	۸/۶	۷۳

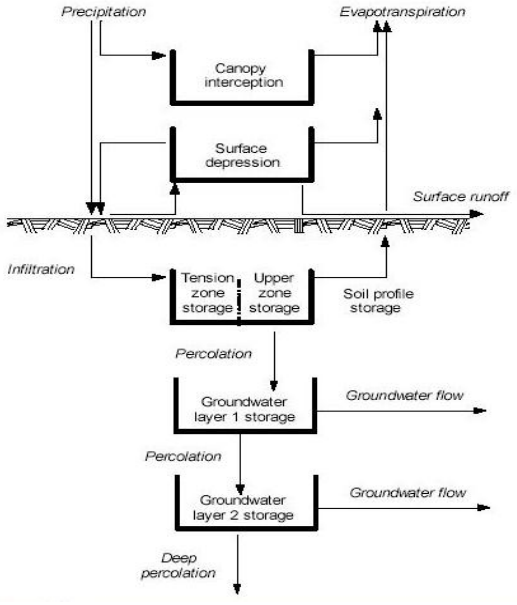
مدل HEC-HMS یک مدل مفهومی نیمه‌توزیعی بوده که دارای قابلیت شبیه‌سازی تلفات و نفوذ، ذوب برف، روند یابی زیر حوضه‌ها و روندیابی شبکه رودخانه‌ها می‌باشد. در نسخه جدید این مدل، قابلیت پیش‌بینی جریان (forecasting streamflow) اضافه شده است. پیش‌بینی رواناب معمولا شامل شبیه‌سازی شرایط گذشته و آینده است. پیش‌بینی با انتخاب زمان پیش‌بینی شروع می‌شود. معمولاً زمان پیش‌بینی آخرین زمان موجود برای مشاهدات هواشناسی بارش، دمای هوا و بقیه متغیرها است. اگر مشاهدات رواناب، اشل و رقوم سطح آب در مخزن موجود باشد، آخرین مقدار موجود عموما نزدیک به زمان پیش‌بینی است. شبیه‌سازی به‌صورت ساعتی یا روزانه قبل از زمان پیش‌بینی شروع می‌شود. نتایج محاسبه‌شده بین زمان شروع و زمان پیش‌بینی به‌عنوان دوره قبل از پیش‌بینی نامیده می‌شود. هنگامی‌که مشاهدات شرایط فعلی حوضه موجود باشد، با نتایج محاسبه‌شده در دوره قبل از پیش‌بینی مقایسه می‌شوند تا اصلاحات کالیبراسیون انجام شده و عملکرد

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

مدل را بهبود ببخشد. معمولا مشاهدات هواشناسی بعد از زمان پیش‌بینی موجود نیستند و پیش‌بینی مقادیر آینده استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال پیش‌بینی کمی بارش، پیش‌بینی هواشناسی مقدار بارش آینده را تهیه می‌کند. پیش‌بینی‌های مشابه برای بقیه متغیرهای هواشناسی مانند دما نیز استفاده می‌شود. رواناب آینده بر مبنای شرایط هواشناسی پیش‌بینی‌شده شبیه‌سازی می‌شود. این دوره از زمان در آینده، دوره پیش‌بینی نامیده می‌شود. زیر حوضه‌ها و آبراهه‌ها در یک جایگزین پیش‌بینی با مقادیر پیش‌فرض با استفاده از مقادیر پارامترهای مدل حوضه مقداردهی می‌شوند. مقادیر پارامترها در المان‌ها ممکن است برای پیش‌بینی بدون تغییر در مقادیر پارامترهای اصلی در مدل حوضه اصلاح شوند. این برای اصلاح پارامترها لازم نیست. با این وجود اکثر پیش‌بینی‌ها نیاز به اصلاح پارامترها جهت اعمال شرایط فعلی حوضه بعلت شرایط فعلی هواشناسی را شامل می‌شوند. به‌منظور شبیه‌سازی فرایند بارش–رواناب، برای مدل تلفات شمارش رطوبت خاک (SMA) استفاده شد.

مدل SMA تنها مدل پیوسته در این نرم‌افزار بوده و علاوه بر جدید بودن آن، توانایی مدل‌سازی سیستم‌های هیدرولوژیکی را برای دوره‌های طولانی‌مدت به‌صورت پیوسته دارا است.(HEC, 2000). این مدل با استفاده از یک سری لایه‌های ذخیره کننده، حوضه آبریز را معرفی می‌نماید. هنگامی‌که بارش صورت می‌گیرد اولین لایه‌ای که ظرفیت آن پر می‌گردد ذخیره برگانی است. دومین لایه ذخیره‌ای، ذخیره چالابی است و سپس نفوذ سطحی رخ می‌دهد لذا سومین لایه ذخیره، ذخیره پروفیل خاک است.

آب مازاد بر ذخایر مذکور به‌صورت رواناب سطحی ظاهر می‌شود. پروفیل خاک براثر تبخیر و تعرق، بخشی از آب خود را از دست می‌دهد و بخشی از آب آن توسط نفوذ عمقی به لایه‌های آب زیرزمینی می‌رسد و ذخایر آب زیرزمینی به مدل مخزن خطی جهت مدل‌سازی جریان پایه رودخانه مرتبط می‌گردد. شکل ۳ طرح شماتیک و مفهومی الگوریتم محاسبه رطوبت خاک را نشان می‌دهد. همچنین از بین مدل‌های مختلف تبدیل بارش به رواناب، مدل هیدروگراف واحد کلارک به دلیل استفاده عمومی‌تر در حوضه‌های بزرگ و عملکرد قابل‌قبول آن استفاده گردید. همچنین بنابر توصیه‌های صورت گرفته به همراه مدل SMA از مدل جریان پایه مخزن خطی برای برآورد جریان پایه بهره گرفته شد. برای روندیابی هیدروگراف در طی بازه‌ها رودخانه نیز روش روندیابی ماسکینگام انتخاب شد. علاوه بر این با توجه به برف‌گیر بودن حوضه برای مدل‌سازی ذوب برف از روش شاخص دما بهره گرفته‌شده است.



شکل۳ : طرح شماتیک و مفهومی الگوریتم محاسبه رطوبت خاک (HEC, 2000)

به‌منظور واسنجی مدل HEC-HMS از داده‌های دبی روزانه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ و صحت‌سنجی مدل از داده‌های از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ در ایستگاه هیدرومتری ایدنک استفاده شد. رواناب روزانه در ایستگاه ایدنک از تاریخ ۱۳۹۰/۸/۱۴ تا ۱۳۹۱/۸/۱۴ پیش‌بینی شده است،

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

پارامترهای کالیبراسیون برای هر زیر حوضه شامل ۱۴ پارامتر مربوط به مدل تلفات SMA، ۶ پارامتر مربوط به مدل مخزن خطی و ۲ پارامتر مربوط به مدل تبدیل بارش به رواناب کلارک است. پارامترهای کالیبراسیون برای هر آبراهه شامل ۲ پارامتر مربوط به ضرایب X و K ماسکینگام می‌باشد. با توجه به اینکه تعداد زیر حوضه‌ها و آبراهه‌های حوضه مارون به ترتیب برابر با ۴ و ۳ است، تعداد کل پارامترها جهت کالیبراسیون مدل HEC-HMS برابر با ۹۴ به دست می‌آید. بنابراین با توجه به تعداد زیاد پارامتر، کالیبراسیون مدل زمان‌بر است. مدل مخزن خطی که برای تهیه جریان پایه مورداستفاده قرار می‌گرفت با مدل SMA رابطه مستقیم داشته و ضرایب آب‌های زیرزمینی برای هر دو مدل به یکدیگر وابسته هستند. عملیات کالیبراسیون مدل می‌تواند به‌صورت دستی و با استفاده از قضاوت مهندسی به روش سعی و خطا و یا به‌صورت خودکار توسط مدل انجام گیرد. در حوضه مارون عمل کالیبراسیون مدل فقط در ایستگاه هیدرومتری اینک به‌صورت دستی با تصحیح مکرر پارامترها در هر بار اجرای مدل صورت گرفته است. برای مقایسه هیدروگراف مشاهداتی با هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده در مراحل کالیبراسیون، صحت‌سنجی و پیش‌بینی مدل، شاخص‌های نیکوئی برازش مختلفی را می‌توان استفاده نمود. این شاخص‌ها به دو گروه معیارهای گرافیکی و پارامترهای آماری سنجش خطا قابل‌تقسیم هستند. از دسته معیارهای گرافیکی می‌توان به ترسیم هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در کنار هم اشاره نمود. از شاخص‌های آماری سنجش خطا می‌توان به ضریب تعیین (R^2)، ضریب ناش–ساتکلایف (NS: Nash-Sutcliffe)، درصد خطای حجمی کل (PTEV: Percent of Total Volume Error) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE: Root Mean Square Error) اشاره کرد که به ترتیب در روابط ۱ تا ۴ آمده است. ضریب ناش–ساتکلایف بیانگر راندمان مدل بوده که اخیراً در مسائل هیدرولوژی به‌وفور مورد استفاده قرارگرفته است. ضریب ناش–ساتکلایف می‌تواند مقادیری از منفی بی‌نهایت تا یک را به خود اختصاص دهند که عدد یک نشان‌دهنده برازش کامل و انطباق ٪۱۰۰ بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده است. در روابط ۱ تا ۴، n برابر با تعداد داده‌های جریان، O_i و S_i داده‌های جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در گام زمانی iام، $\overline{O}$ دبی میانگین مشاهده‌ای و Cov کوواریانس داده‌ها است.

$$R^2 = (Cov(O_i, S_i)/\sqrt{Cov(O_i, O_i).Cov(S_i.S_i)})^2 \quad (۱$$

$$NS = 1 - [\frac{\sum_i^n (O_i - S_i)^2}{\sum_i^n (O_i - \bar{O})^2}] \quad (۲$$

$$PTVE = \frac{\sum_i^n O_i - \sum_i^n S_i}{\sum_i^n O_i} * 100 \quad (۳$$

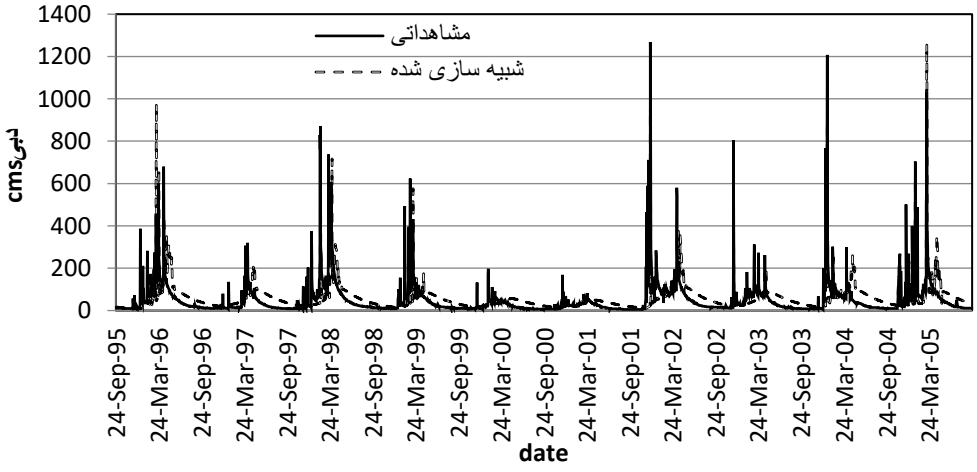
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} \quad (۴$$

نتایج

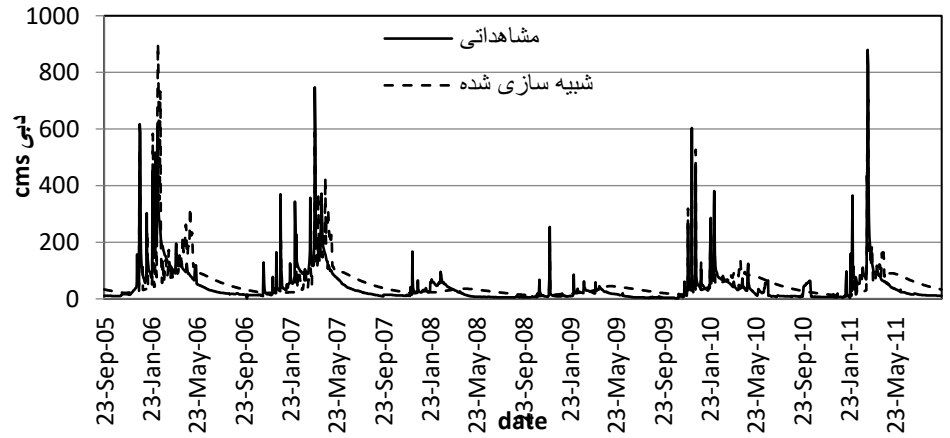
پس از هر اجرای مدل، به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل و بررسی چگونگی کالیبراسیون مدل، هیدروگراف جریان شبیه‌سازی‌شده با مدل HEC-HMS با هیدروگراف جریان مشاهداتی مقایسه گردید. همچنین شاخص‌های آماری سنجش خطای مدل محاسبه و با مقادیر شاخص‌های آماری در اجرای قبل مقایسه شد. چنانچه دقت مدل در شبیه‌سازی بارش–رواناب مناسب تشخیص داده نمی‌شد، عملیات شبیه‌سازی دوباره تا حصول نتایج رضایت‌بخش از سر گرفته می‌شد. شکل‌های (۴ الی ۵)مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده به ترتیب در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-HMS را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های (۴ و ۵) می‌توان دریافت که مدل HEC-HMS در برآورد دبی جریان با مقادیر کم و پایه نسبت به دبی‌های اوج از دقت خوبی برخوردار است. علت آن این است که اولاً داده‌های موجود به‌صورت پیوسته و مستمر در هر روز شامل بارش، دبی جریان، دمای هوا و تبخیر و تعرق جهت شبیه سازی پیوسته فرآیند بارش–رواناب در طول حداقل یک سال آبی به‌صورت روزانه است. درحالی‌که پارامترهای زمانی برآورد شده در زیر حوضه‌ها شامل زمان تمرکز، زمان تأخیر و ضریب ذخیره کلارک به‌صورت ساعتی است. ثانیاً هیدروگراف جریان در ایستگاه هیدرومتری در طول یک سال آبی در اکثر روزهای سال به صورت جریان پایه با مقادیر دبی کم و با تعداد کم مقادیر جریان سیلابی با دبی اوج شدید است. با توجه به جدول ۶ مقدار ضریب ناش–ساتکلایف و ریشه میانگین مربعات خطا بین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی مدل به ترتیب برابر با

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

۰/۷۲ و ۵۵/۲ متر مکعب در ثانیه است که بیانگر دقت و راندمان خوب مدل در شبیه‌سازی بارش–رواناب می‌باشد. با توجه به جدول ۶ مقدار درصد خطای حجمی کل بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی مدل برابر با ۲۳/۱– درصد بوده که بیانگر کم برآورد بودن مدل در برآورد حجم کل رواناب ولی با دقت نسبتا قابل‌قبول است. با توجه به جدول(۶) مقدار ضریب ناش– ساتکلایف، ریشه میانگین مربعات خطا بین هیدرو گراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله صحت‌سنجی مدل به ترتیب برابر با ۰/۶۹و ۴۸/۵ مترمکعب در ثانیه بوده که نشان‌دهنده کالیبراسیون مناسب مدل و قابل‌قبول بودن دقت مدل در شبیه‌سازی بارش–رواناب در حوضه مارون است. ضمنا با توجه به جدول (۶)، درصد خطای حجمی کل بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله صحت‌سنجی مدل برابر با ۲۱/۶– درصد بوده که می‌توان دریافت مشابه مرحله واسنجی، مدل حجم کل رواناب را نسبتا کم برآورد کرده است. شکل (۶) مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده از تاریخ ۱۳۹۰/۸/۱۴ تا ۱۳۹۱/۸/۱۴ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۶) می‌توان دریافت که تغییرات مقادیر هیدروگراف رواناب پیش‌بینی‌شده نسبت به هیدروگراف مشاهداتی نسبتا مناسب است. همچنین با توجه به جدول (۶) مقدار ضریب ناش– ساتکلایف و ریشه میانگین مربعات خطا بین هیدروگراف مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده به ترتیب برابر با ۰/۵۶، ۳۲/۲ مترمکعب در ثانیه بوده که بیانگر دقت قابل قبول مدل در پیش‌بینی روزانه رواناب در حوضه مارون است. ضمنا با توجه به درصد خطای حجمی کل بین هیدروگراف مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده برابر با ۱۸/۳– درصد در دوره پیش‌بینی، می‌توان دریافت که مقادیر رواناب پیش‌بینی‌شده کمتر از مقادیر مشاهده‌ای متناظر با آن است. خضریان نژاد و همکاران (۱۳۹۱) در پیش‌بینی رواناب با مدل HEC-HMS با استفاده از بارش پیش‌بینی شده با مدلWRF، نشان دادند که مقادیر رواناب پیش‌بینی‌شده کمتر از مقادیر مشاهداتی است که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.



شکل ۴ : مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده با مدل HEC-HMS در مرحله واسنجی مدل

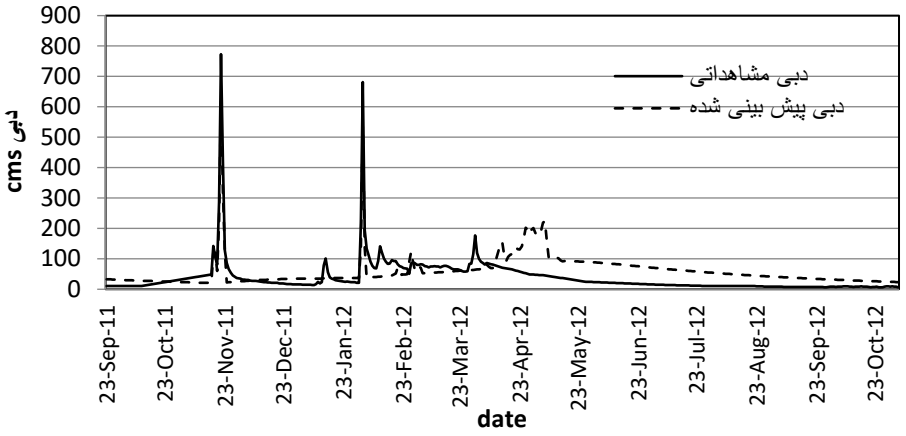


شکل ۵ : مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده با مدل HEC-HMS در مرحله صحت‌سنجی مدل

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

جدول ۶ : معیارهای آماری نیکوئی برازش برای دوره کالیبراسیون، صحت سنجی و پیش‌بینی

معیارهای آماری	واسنجی	صحت سنجی	پیش بینی
R2	۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۶۷
NS	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۵۶
PTVE (%)	-۲۳/۱	-۲۱/۶	-۱۸/۳
RMSE (cms)	۵۵/۲	۴۸/۵	۳۲/۲



شکل ۶ : مقایسه هیدرو گراف رواناب مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده با مدل *HEC-HMS*

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به محدودیت منابع آب شیرین قابل استحصال، پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر رواناب حوضه‌ها از ارکان اساسی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب سطحی است. لذا در این مقاله جهت پیش‌بینی رواناب در حوضه مارون از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS به همراه الگوریتم محاسبه‌کننده پیوسته رطوبت خاک بهره گرفته شده است. نتایج حاصل از پیش‌بینی پیوسته بارش-رواناب در حوضه مارون نشان می‌دهد که مدل تلفات شمارش رطوبت خاک (SMA)، قابلیت و دقت قابل‌قبول جهت شبیه‌سازی پیوسته فرایند بارش-رواناب در حوضه‌های آبریز را دارد. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات مقادیر هیدرو گراف رواناب پیش‌بینی‌شده با مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، نسبت مناسب است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار ضریب ناش- ساتکلایف و ریشه میانگین مربعات خطا بین هیدروگراف مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده در مرحله پیش‌بینی به ترتیب برابر با ۰/۵۶ و ۳۲/۲ مترمکعب در ثانیه بوده که بیانگر دقت قابل‌قبول مدل در پیش‌بینی رواناب در حوضه کارون است. ضمنا با توجه به درصد خطای حجمی کل بین هیدروگراف مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده برابر با ۱۸/۳- درصد در دوره پیش‌بینی، می‌توان دریافت که مقادیر رواناب پیش‌بینی‌شده کمتر از مقادیر مشاهده‌ای متناظر با آن است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت مطالعات پایه سازمان آب و برق خوزستان به دلیل در اختیار گذاشتن آمار و اطلاعات و نقشه‌های پایه و دفتر پژوهش‌های کاربردی آن سازمان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

احمد پور، ع.، حقیقت‌جو، پ. و فتحیان، ح. ۱۳۹۵. پیش‌بینی جریان درحوضه مارون با مدل HEC-HMS و مقایسه آن با مدل‌های سری زمانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده آب و خاک ، دانشگاه زابل.

خضریان‌نژاد، ن.، حجام، س.، میرزایی، ا. و مشکواتی، ا.ح. ۱۳۹۱. پیش‌بینی رواناب حوضه آبریز تیره با استفاده از پیش‌بینی کمی بارش خروجی مدل WRF، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۱۲.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]

غفوری، م.، ثقفیان، ب.، طاهری شهرائینی، ح . و باقری شورکی، س. ۱۳۹۱. مدل‌سازی جریان روزانه رودخانه کارون به کمک مدل تابع تلفات SMA ، مجله تحقیقات منابع آب، شماره ۹.

فتحیان، ح.، احمد پور، ع. و قرشی‌زاده، ف. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی پیوسته جریان روزانه ورودی به مخزن سد مارون با استفاده از مدل تلفات SM*A*، دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی، دانشگاه شهرکرد.

معصوم زاده، س. و فتحیان، ح. ۱۳۹۵. تفکیک جریان پایه از رواناب کل در حوضه دز با استفاده از مدل HEC-HMS، سومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

Gumindoga, W., Rwasoka, D.T., Nhapi, I. and Dube, T. 2016. Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Application of the HEC-HMS model. Physics and Chemistry of the Earth. doi: 10.1016/j.pce.2016.05.002.

Hydrologic Engineering Center (HEC). 2000. Hydrologic modeling system HEC–HMS: technical reference manual, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

Singh, W.R. and Jain, M.K. 2015. Continuous Hydrological Modeling using Soil Moisture Accounting Algorithm in Vamsadhara River Basin, India. Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering. 4(4), pp: 398-408.

Sintayehu, L.G. 2015. Application of the HEC-HMS Model for Runoff Simulation of Upper Blue Nile River Basin. Hydrology: Current Research, 6(2), pp:1-8.

Continuous river flow modeling using the conceptual HEC-HMS model

Alireza Keihani[1]
Hossein Fathian[*2]
Ramin Rostami[3]

1. Expert in Coasts, Wetlands, and Transboundary Waters, Deputy for Water Resources Protection and Utilization, Khuzestan Water and Power Authority.
2. Department of Water Resources Engineering, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3. Department of civil Engineering, Miy.C., Islamic Azad University, Miyandoab, Iran.

[*]Corresponding author:
Fathian.h@iau.ac.ir

Received date: **December/03/2025**
Accepted date: **January/17/2026**

Abstract

Prediction of streamflow is essential for the effective operation of flood control reservoirs and earthen and concrete levee systems. Therefore, forecasting streamflow in watersheds is of great importance. In this study, daily streamflow prediction in the Marun watershed was carried out using the HEC-HMS model, in order to evaluate the capability and accuracy of this model in streamflow forecasting. For this purpose, continuous rainfall–runoff simulation on a daily basis prior to the prediction period was performed using the Soil Moisture Accounting (SMA) loss model. Calibration of the HEC-HMS model was conducted using daily discharge data from 2001 to 2006, and model validation was performed with data from 2007 to 2011 at the Idenak hydrometric station. Daily streamflow at the Idenak station was predicted for the period from November 5, 2011 to November 5, 2012. The results show that the statistical indices Nash–Sutcliffe efficiency, coefficient of determination, and root mean square error during the prediction stage at the Idenak station were 0.56, 0.67, and 32.2 cubic meters per second, respectively. Therefore, the HEC-HMS model demonstrates good accuracy and capability in predicting daily streamflow.

Keywords: Streamflow forecasting, HEC-HMS model, Marun River, Continuous modelling, SMA.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-05]