دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

شبیه‌سازی جریان رودخانه زارم‌رود در مقیاس‌های زمانی متفاوت با استفاده از مدل تعیین رطوبت خاک (SMA)

تریفه ادریسی[۱]، محمود حبیب نژاد روشن[۲] و بهنوش جعفری گرزین[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ، ساری
۲- استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: roshanbah@yahoo.com)
۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ ارسال: ۹۶/۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱
صفحه: ۱۹۸ تا ۲۰۷

چکیده

شبیه‌سازی جریان رودخانه برای اطلاع از آورد رودخانه در دوره‌های زمانی آتی و تعیین دبی‌های سیلابی اهمیت ویژه‌ای دارد. فرایندهای هیدرولوژیکی مختلفی مثل گیرش گیاهی، ذخیره سطحی، نفوذ، ذخیره خاک، نفوذ عمقی و ذخیره آب زیرزمینی باید در مدلسازی پیوسته هیدرولوژیکی در نظر گرفته شوند. با توجه به روش‌های مختلف شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، روش پیوسته بهترین پیش‌بینی را دارد زیرا می‌تواند شرایط تر و خشک را در طول یک دوره طولانی مدت مدل کند. مدل HEC-HMS الگوریتم احتساب کننده رطوبت خاک (SMA) را برای شبیه‌سازی روابط طولانی مدت بین بارش، رواناب، ذخیره، تبخیر و تعرق و تلفات خاک به کار می‌گیرد. در این مطالعه مدل احتساب‌کننده رطوبت خاک (HMS SMA) به منظور تعیین تاثیر رطوبت خاک در ایجاد رواناب، ارزیابی جریان‌های شبیه‌سازی شده در حوزه آبخیز زارم‌رود واقع در استان مازندران به کار برده شد. داده‌های روزانه بارش و رواناب برای مدت ٤ سال (۸۵-۸۹) به همراه داده‌های ماهانه تبخیر و تعرق، مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۲۵ متر و نقشه شبکه هیدروگرافی برای مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی بیانگر این بود که مقیاس زمانی ماهانه با داشتن بیشترین مقدار R^2 و NSE و حداقل MAE و RMSE در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی دقیق‌ترین شبیه سازی را ارائه کرده است. به طور کلی نتایج تحقیق، قابلیت خوب مدل HEC-HMS به همراه مدل جدید محاسبه تلفات SMA برای شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوزه آبخیز رودخانه زارم‌رود را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بارش و رواناب، حوزه آبخیز زارم رود، شبیه‌سازی، HEC-HMS، SMA

مقدمه

اهمیت و جایگاه آب در دوام و بقای حیات بر کسی پوشیده نیست. از این رو مسئله آب همواره در کانون توجه پژوهشگران و متخصصان بوده است. کشور ایران با برخورداری از موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خاص خود، سهم اندکی از ریزش‌های جوی را به عنوان منبع اصلی آب شامل می‌شود (۲). از مهم‌ترین مسائل در مدیریت حوزه‌های آبخیز پیش‌بینی فرایندهای هیدرولوژیکی می‌باشد (۲۰). فرایند بارش-رواناب از پارامترهای مختلف فیزیکی و هیدرولوژیکی تاثیر می‌پذیرد (۷). با توجه به اهمیت و حساسیت امر مهار آب‌های سطحی در کشور ایران و کمبود آبی که در پهنه وسیعی از کشور وجود دارد و همچنین محدودیت روش‌های اندازه‌گیری هیدرولوژیکی و هزینه‌های جمع‌آوری داده‌ها در یک مقیاس خوب، نیاز به شناسایی و به مدل درآوردن رفتار رودها برای برنامه‌ریزی‌های بلند مدت و استفاده بیشتر و بهتر از پتانسیل‌های آنها عمیقا احساس می‌شود (۱۸). آگاهی از میزان حجم و شدت رواناب ناشی از نزولات جوی و تغییرات کمی و کیفی آن در زمان و مناطق مختلف از نیازهای اساسی برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب است، (۱۵). اصولا شبیه‌سازی تقلیدی از عملکرد فرآیند یا سیستم واقعی با گذشت زمان است. شبیه‌سازی جریان رودخانه برای آگاهی از آورد رودخانه در دوره‌های زمانی آینده از مسائل مهم و کاربردی در مدیریت منابع آب است (۱۲) و می‌تواند در زمینه‌های مدیریتی راهگشای مشکل سیلاب، فرسایش خاک و... و طراحی کلیه پروژه‌های هیدرولیکی باشد که معمولا با بهره‌گیری از مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی که با استفاده از روش‌های مختلف نظری میزان جریان را برآورد می‌کنند صورت می‌گیرد (۶). درشبیه‌سازی جریان رودخانه در یک محل اندازه‌گیری خاص، خصوصا با بودجه‌های کم، داده‌های اندک یا در حوزه‌های فاقد آمار، مدل‌های بارش-رواناب ابزارهای قابل استفاده مناسبی هستند (۱) بیشتر مدل‌های بارش-رواناب برای تولید سیلاب مبتنی بر شبیه‌سازی سیلاب ناشی از یک واقعه رگبار می‌باشند، البته به خاطر صرف زمان و هزینه بیشتر در شبیه‌سازی پیوسته، بیشتر از روش‌های رویداد محور استفاده می‌شود (۵). مشکل این مدل‌ها عدم امکان کمی کردن شرایط اولیه رطوبت خاک است که در این صورت می‌توان از مدل‌های پیوسته بارش-رواناب برای شبیه‌سازی جریان‌های فصلی، ماهانه، سالانه و روزانه استفاده کرد که این مدل‌ها می‌توانند شرایط تر و خشک را در طول یک دوره طولانی مدت مدل کنند (۳). در سال‌های اخیر مرکز مهندسی هیدرولوژیک آمریکا الگوریتم محاسبه کننده رطوبت خاک را که یک مدل پیوسته یکپارچه است را به برنامه سیستم مدلسازی هیدرولوژیک[۱] افزوده است (۸). در این تحقیق از الگوریتم SMA[۲] که یک الگوریتم یکپارچه مفهومی بارش-رواناب می‌باشد برای شبیه‌سازی جریان رودخانه استفاده می‌شود. تاکنون پژوهش‌های مختلفی در داخل و خارج به وسیله این مدل‌ها انجام شده است. غفوری و همکاران (۹)، الگوریتم SMA را در شبیه‌سازی جریان رودخانه کارون به کار بردند. داده‌های دبی سال‌های آبی ۱۳۷۳-۱۳۷۱ برای کالیبراسیون و ۱۳۷۸-۱۳۷۷ برای اعتبارسنجی استفاده شدند.

1- Hydrologic modeling System
2- Soil Moisture Accounting

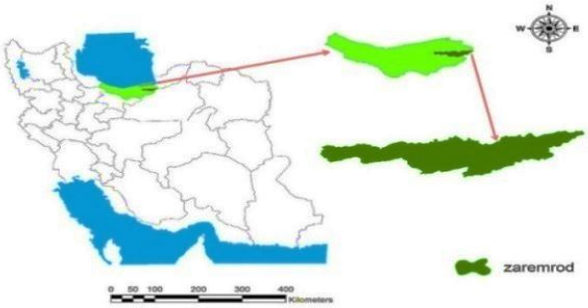
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-06-08]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.5.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.198]

نتایج، تطابق مناسب جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی را در دوره اعتبارسنجی و قابلیت خوب مدل HEC-HMS[1] به همراه الگوریتم جدید محاسبه تلفات (SMA) را برای شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه کارون نشان داد. قلی‌نژاد (۱۱)، روش محاسبه رطوبت خاک را برای حوزه نکارود جهت بررسی فراوانی وقوع سیلاب در دوره‌های خشک و تر بررسی کرد. ایشان با استفاده از واسنجی دستی سعی در برآورد میزان جریان روزانه رودخانه پرداخت که دبی‌های مشاهده شده تطابق خوبی با جریان شبیه‌سازی شده داشت. شهر آیینی و همکاران (۱۹)، روش فراگیری فعال (ALM)[2] به عنوان یک مدل فازی جدید و مدل مفهومی HEC-HMS با استفاده از روش جدید محاسبه تلفات (SMA بیلان رطوبت خاک) را برای شبیه‌سازی روزانه جریان آبراهه در حوزه آبخیز رودخانه کارون در ایران ارزیابی کردند. نتایج، شبیه‌سازی قابل قبول جریان را با مدل HEC-HMS (با روش SMA) و مدلسازی پیوسته جریان را با ALM نشان داد. رزمخواه و همکاران (۱۶)، کارایی روش‌های برآورد تلفات (سازمان حفاظت خاک آمریکا،گرین و آمپت، تلفات اولیه،مقدار ثابت، نسبت ثابت، نمایی و الگوریتم احتساب‌کننده رطوبت خاک) در شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب حوزه‌ی آبخیز کارون ۳ را مقایسه کردند. نتایج، روش الگوریتم احتساب‌کننده رطوبت خاک را با بیشترین میانگین ضریب ناش- ساتکلیف ۰/۸۱ در واسنجی و ۰/۶۹ در اعتبارسنجی برتر از سایر روش‌ها نشان داد. نیری و فلیمینگ (۸)، در تحقیق مدلسازی هیدرولوژیکی، الگوریتم بیلان رطوبت خاک(SMA) را برای تشریح توزیع مکانی ظرفیت رطوبت خاک به کار گرفتند. در این تحقیق ۳ مدل سالانه، نیمه‌سالانه و فصلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل فصلی و نیمه‌سالانه در مقایسه با مدل سالانه شبیه‌سازی مناسب‌تری را ارائه می‌دهد، به طوری که مدل سالانه اساسا در شرایط تر معتبر بوده و پیش‌بینی مبالغه‌آمیزی از جریان در شرایط خشک می‌دهد. گارسیا و همکاران (۱۰)، در ۱۲ زیرحوزه در شمال اسپانیا، آب‌های سطحی را توسط مدل‌های عددی در حوزه‌های آبخیز بدون آمار ارزیابی کردند. که از الگوریتم SMA برای شبیه‌سازی در سه مقیاس فصلی، ماهانه و روزانه استفاده کردند، نتایج نشان داد که در برخی از زیرحوزه‌ها مقیاس ماهانه به دلیل داشتن ضریب تبیین بیشتر، بهتر از مقیاس فصلی و در برخی دیگر از زیرحوزه‌ها ضریب تبیین دو مقیاس فصلی و ماهانه با هم برابر و یا اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. رهان شیخ و همکاران (۱۷)، الگوریتم احتساب‌کننده رطوبت خاک را برای شبیه‌سازی رابطه طولانی مدت بین بارش، رواناب، تبخیر و تعرق و تلفات خاک در حوزه آبخیز رندولاباد[3]، هند به کار بردند. داده‌های بارش و دبی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۵ و DEM[4] با قدرت تفکیک ۳۰ متر از مجموعه داده ASTER استفاده شد. عملکرد مدل نشان داد که پارامترسازی توسعه داده شده و روش‌های واسنجی برای منطقه مورد مطالعه رضایت بخش بود. زورکفله و همکاران (۲۱)، مدل HEC-HMS برای توسعه مدل هیدرولوژیکی و دستیابی به پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز سونگایی کوراو[5] به دلیل تغییرات کاربری اراضی استفاده شد، داده‌های شبیه‌سازی شده متناسب با داده‌های مشاهده‌ای بودند و نتایج نشان داد که مدل HEC-HMS برای پیش‌بینی تغییرات هیدرولوژیک در حوزه مذکور مناسب است. هدف از این تحقیق بررسی کارایی الگوریتم SMA در مقیاس‌های زمانی مختلف (روزانه، ماهانه و سالانه) شبیه‌سازی رواناب و دستیابی به یک مدل بهینه برای تعیین دبی حداکثر است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز زارم‌رود حوزه‌ای جنگلی در شمال ایران واستان مازندران و در قسمت جنوبی حوزه آبخیز نکارود قرار دارد، که یکی از مهم‌ترین زیرحوزه‌های حوزه آبخیز تجن می‌باشد. وسعت حوزه ۹۰۱ کیلومتر مربع است که از نظر جغرافیایی بین طول شرقی "۱۳ '۸ °۵۳ الی "۵۸.۲۵۹ '۸ °۵۴ و عرض شمالی "۱۹.۵۵۳ '۲۰ °۳۶ الی "۴۰.۷۲۷ '۳۰ °۳۶ قرار دارد. متوسط سالانه بارندگی ۸۳۰ میلی‌متر و اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه خیلی مرطوب است. از جمله مراکز جمعیتی داخل حوزه می‌توان سوچلما، چناربن، رودبارمحله و سفیدکوه را نام برد. مرتفع‌ترین نقطه حوزه ۳۱۰۰ متر و کم ارتفاع‌ترین نقطه در محل خروجی زارم‌رود ۲۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. رودخانه زارم‌رود مهم‌ترین منبع آب سطحی در حوزه یکی از سه شاخه مهم تشکیل‌دهنده رودخانه تجن می‌باشد که در حوزه زارم‌رود از شرق به غرب جریان داشته و از تلاقی سرشاخه‌های خود در سرچشمه به نام‌های آب سیاه خانی و بندین در حوالی روستای تجرخیل تشکیل می‌شود و به سمت غرب روانه می‌گردد. شکل ۱ موقعیت حوزه را در استان نشان می‌دهد.



شکل ۱- حوزه ابخیز زارم‌رود و موقعیت ان در استان مازندران
Figure 1. Zaremrod watershed and its location in the mazandaran province

1- Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System
2- Active Learning Method
3- Randullabad
4- Digital Elevation Model
5- Sungai Kurau

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-06-08]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.5.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.198]

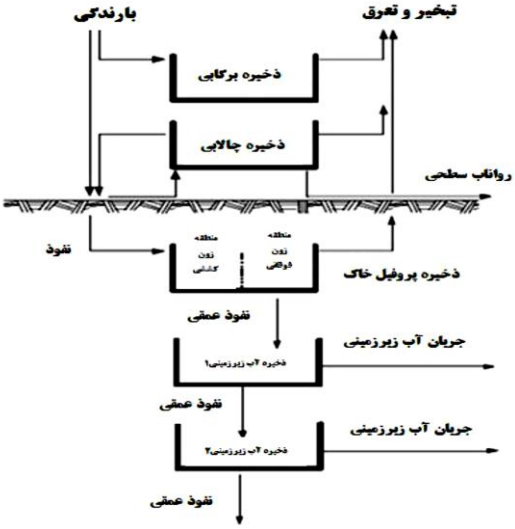
به منظور مطالعه رفتار حوزه آبخیز زارم‌رود، بررسی‌های اولیه شامل بررسی منابع، جمع‌آوری داده‌ها و نقشه‌ها انجام گرفت. در این تحقیق از داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری گرمرود موجود در خروجی حوزه برای مقایسه نتایج مدل با نتایج واقعی استفاده شد، همچنین آمار ۲۴ ساعته بارندگی ایستگاه باران سنجی گلورد و داده‌های ماهانه تبخیر و تعرق ایستگاه سلیمان تنگه در مدل هواشناسی استفاده شد. چون مدل بارش-رواناب استفاده شده در این تحقیق مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS است و این مدل نیازمند ورود شماتیکی از حوزه آبخیز با فرمت HMS به داخل نرم‌افزار است، مدل حوزه آبخیز زارم‌رود در محیط ArcGIS با استفاده از الحاقیه HEC-GeoHMS به عنوان رابط بین GIS و HEC-HMS و همچنین با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) با پیکسل سایز ۲۵ متر و شبکه هیدروگرافی حوزه آبخیز تهیه شد. در ادامه مدل هواشناسی برای حوزه تعریف شد و سری‌های زمانی ایستگاه‌های بارندگی و دبی نیز تعریف شده و داده‌های آنها وارد مدل شدند، سپس با وارد کردن پارامترهای مورد نیاز روش‌های مختلف موجود در مدل برای تبدیل بارش به رواناب، و تعیین تلفات و جداسازی دبی پایه، مدل اجرا شد و واسنجی و اعتبارسنجی مدل در مقیاس‌های زمانی متفاوت برای تعیین بهترین مقیاس شبیه‌سازی انجام گردید.

محاسبه تلفات

بخشی از بارندگی رخ داده که در خاک نفوذ می‌کند و یا در گودی‌ها باقی می‌ماند و یا به دلیل دیگری به رواناب سطحی تبدیل نمی‌شود تلفات نام دارد. پارامترهایی همچون برگاب، نفوذ، ذخیره آب در چالاب‌های سطح زمین و پروفیل خاک و تبخیر و تعرق از جمله عواملی هستند که در یک حوزه سبب تلفات شده و مانع تبدیل مستقیم بارش به رواناب می‌شوند. برخی از روش‌های محاسبه تلفات موجود در مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی وقایع منفرد طراحی شده‌اند در حالی که بعضی دیگر برای شبیه‌سازی وقایع پیوسته در نظر گرفته شده‌اند. تنها الگوریتم پیوسته موجود در مدل HEC-HMS الگوریتم SMA می‌باشد که قادر است تغییرات مقدار رطوبت خاک را بین رویدادهای بارندگی در زمان‌های مختلف شبیه‌سازی کند (رفتار شرایط خشک و تر حوضه را شبیه‌سازی می‌کند) و برای محاسبه دبی رواناب در یک پایه زمانی پیوسته طراحی شده است. الگوریتم SMA مسیر ذخیره‌ای بارش به روی حوزه را به ۵ ناحیه (ذخیره برگابی، ذخیره چالابی، ذخیره پروفیل خاک، ذخیره آب زیرزمینی ۱و۲) تقسیم می‌کند. در این تحقیق از الگوریتم پیوسته احتساب‌کننده رطوبت خاک (SMA) به عنوان یک سیستم یکپارچه برای مطالعه و شبیه‌سازی تلفات استفاده شده است.

مفاهیم اساسی مدل SMA

مدل SMA با استفاده از یک سری لایه‌های ذخیره‌کننده مطابق شکل ۲ حوزه آبخیز را تبیین می‌کند. مدل SMA در HEC-HMS بر اساس مدل بارندگی Leavesley که در سال ۱۹۹۸ جزییات آن توسط Bennet تشریح شد، طراحی گردیده است. این مدل حرکت آب و ذخیره آن را در گیاهان، سطح خاک و عمق خاک و لایه‌های زیرزمینی شبیه‌سازی کرده و با داشتن مقدار بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (ET)[1]، مدل جریان سطحی و جریان آب زیرزمینی، تلفات ناشی از (ET) و نفوذ را روی کل حوزه آبخیز محاسبه می‌کند.



شکل ۲- شماتیک مفهومی الگوریتم پیوسته احتساب کننده رطوبت خاک (۴)

Figure 2. Schematic of continues soil moisture accounting algorithm (Bennett, 1998)

1- Evapotranspiration

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-06-08]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.5.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.198]

لایه‌های ذخیره‌کننده در مدل SMA به این شرح است:

ذخیره بین‌راهی یا برگاب[1]

بارشی که توسط پوشش گیاهی گرفته می‌شود و به سطح زمین نمی‌رسد، که اولین تلفات در ابتدای وقوع بارندگی محسوب می‌شود. هرگاه لایه ذخیره‌ای که این مورد را شبیه‌سازی می‌کند پر شود، بارندگی به لایه‌های دیگر وارد شده، آن‌ها را پر خواهد کرد. گیرش بین راهی توسط مولفه تبخیر از بین می‌رود.

ذخیره سطحی یا چالابی[2]

حجم آبی که توسط گودال‌های کم عمق و ناهمواری‌های موجود در سطح حوزه آبریز حبس می‌شود. ورودی به این لایه ناشی از حجم مازاد گیرش بین راهی است و خروجی آب از این لایه ناشی از نفوذ و تبخیر خواهد بود.

ذخیره پروفیل خاک[3]

این ذخیره میزان آب نگه‌داشته شده در لایه‌های فوقانی خاک می‌باشد و جریان ورودی به آن در اثر نفوذ از ذخیره سطحی است و همچنین در اثر نفوذ عمقی به لایه‌های آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق، آب آن خارج می‌شود. این ناحیه از دو بخش با نام‌های منطقه فوقانی[4] و منطقه کششی[5] تشکیل شده است، منطقه فوقانی آب خود را در اثر نفوذ عمقی و یا تبخیر و تعرق از دست می‌دهد، در صورتی که در ناحیه کششی عامل از دست رفتن رطوبت، تبخیر و تعرق است.

ذخیره آب زیرزمینی[6]

لایه‌های آب زیرزمینی در مدل SMA نشان‌دهنده فرایندهای جریان درون لایه‌ای[7] می‌باشند. آب از ذخیره پروفیل خاک به ذخیره آب زیرزمینی ملحق می‌شود. نرخ نفوذ آب زیرزمینی تابعی از حداکثر نرخ نفوذ و ذخیره فعلی لایه‌های میانی است. تلفات موجود در لایه آب زیرزمینی شامل تلفات ناشی از جریان در آب‌های زیرزمینی یا نفوذ از یک لایه به لایه دیگر است. آب نفوذی از پروفیل خاک وارد لایه اول می‌شود. آب ذخیره شده از لایه اول آب زیرزمینی به لایه دوم آب زیرزمینی و سپس به لایه‌های عمیق تر نفوذ می‌کند. در حالت اخیر آب نفوذ یافته تلفات محسوب می‌شود، چون از دسترس سیستم خارج می‌شود و SMA نمی‌تواند جریان سفره‌های آب زیرزمینی را مدل کند (۱۳).

تبخیر و تعرق

این عامل، تلفات آب از ذخیره بین راهی، ذخیره چالابی و ذخایر پروفیل خاک را نشان می‌دهد. در پروفیل خاک، تبخیر و تعرق بالقوه، ابتدا از منطقه فوقانی سپس از منطقه کششی تامین می‌شود. در الگوریتم SMA تبخیر و تعرق بالقوه از ارتفاع ماهانه تشت تبخیر محاسبه می‌شود و در ضریب تصحیح تغییرات ماهانه تشتک تبخیر ضرب می‌شود و روی بازه زمانی تنظیم می‌گردد (۱۳).

تبدیل بارش به رواناب

شبیه‌سازی فرایند رواناب مستقیم حاصل از بارش مازاد در حوزه به وسیله یک روش تبدیل موجود در زیرحوزه‌ها انجام می‌شود. مدل تبدیل هیدروگراف واحد کلارک با توجه به خطی بودن مخزن (۱۳) در روش SMA در این تحقیق در نظر گرفته شده است. پارامترهای ورودی برای این روش، زمان تمرکز کلارک که از رابطه تجربی کریپچ به دست می‌آید و ضریب ذخیره کلارک هستند که بر حسب تجربه برابر است با مقدار دبی در نقطه عطف بازوی پایین رونده هیدروگراف نیمه لگاریتمی تقسیم بر شیب منحنی هیدروگراف در نقطه عطف رابطه (۱) می‌توان ضریب ذخیره چند هیدروگراف مناسب ثبت شده در ایستگاه را محاسبه و سپس متوسط آنها در مدل استفاده کرد (۱۳).

$$R = -Q/\frac{dQ}{dt}$$

جداسازی جریان پایه

جریان پایه رواناب پایدار شده‌ای است که به طور موقت در حوزه آبخیز ذخیره شده است. روش جریان پایه مخزن خطی همراه با الگوریتم پیوسته محاسبه‌کننده رطوبت خاک به کار برده می‌شود. نفوذ محاسبه شده توسط روش تلفات به عنوان جریان ورودی به مخزن خطی مرتبط شده است. این روش، ذخیره و حرکت جریان آب زیرزمینی را مانند ذخیره و حرکت آب در مخازن شبیه‌سازی می‌کند، مخازن خطی هستند و خروجی در هر گام زمانی شبیه‌سازی، یک تابع خطی از متوسط مقدار ذخیره شده در طی آن دوره است از حیث ریاضی این رفتار شبیه عملکرد مدل هیدروگراف واحد کلارک است، خروجی از لایه یک آب زیرزمینی در SMA به عنوان ورودی مخزن خطی اولیه است و خروجی از لایه دو آب زیرزمینی در SMA ورودی مخزن بعدی است، خروجی از دو مخزن برای محاسبه کل جریان پایه حوزه آبخیز ترکیب می‌شود (۱۳).

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

در تحقیق حاضر از آمار سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۵ جهت واسنجی و ۱۳۸۹-۱۳۸۷ جهت اعتبار سنجی مدل استفاده شد زیرا تنها دوره زمانی مناسب از لحاظ وجود و کیفیت داده‌های بارش و دبی در این سال‌ها قرار داشتند. برای مدل‌سازی و محاسبه تلفات، ۱۸ پارامتر برای ۵ لایه ذخیره‌ای، ۲ پارامتر برای تبدیل رواناب مستقیم به جریان سطحی و ۶ پارامتر برای محاسبه دبی پایه را باید تعیین کرد، که تعدادی از آنها به صورت مستقیم یا توسط روابط قابل اندازه‌گیری نیستند و از طریق واسنجی مدل مقدار بهینه‌آنها تعیین می‌شود و تعدادی دیگر از طریق جداول راهنمای موجود در منابع تعیین می‌شوند (۴). ۵ پارامتر مرتبط با محتوای اولیه مخازن ذخیره موجود در الگوریتم SMA در نظر گرفته شدند (۱۰)، اگر ابتدای سیکل هیدرولوژی در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی منطبق بر اواخر دوره خشک (ابتدای پاییز) باشد، مقادیر اولیه پارامترهای درصد اولیه ذخیره خاک و درصد اولیه ذخایر آب زیرزمینی یک و دو، و درصد اولیه ذخیره تاج پوشش و در نهایت درصد اولیه ذخیره سطحی برابر با صفراند مقادیر این پارامترها برای تطابق جریان مشاهده‌ای با محاسبه‌ای، واسنجی شدند (۱۴).

1- Canopy-Interception Storage
2- Surface-Interception Storage
3- Soil-Profile Storage
4- Upper Zone
5- Tension Zone
6- Grounwater Storage
7- Inter flow

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-06-08]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.5.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.198]

نتایج و بحث

هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل در مقیاس‌های زمانی مختلف برای سال‌های آبی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ در دوره واسنجی در شکل‌های ۳ تا ۸ آورده شده است. مقایسه دبی‌های مشاهداتی با شبیه‌سازی شده نشان‌دهنده تطابق نسبتا خوب این دبی‌ها است و بیانگر این است که الگوریتم HMS SMA توانسته است شبیه‌سازی دقیقی را ارائه کند. دبی‌های روزانه اغلب به طور همزمان اتفاق افتاده‌اند و هیدروگراف‌های جریان در مقیاس ماهانه تطابق بیشتری را نسبت به دو مقیاس دیگر نشان می‌دهد. نتایج واسنجی مدل در هر سه مقیاس به کار رفته جریان رودخانه را در دوره‌های خشک بیشتر و در دوره‌های تر کمتر از جریان مشاهده‌ای برآورد کرده است البته میزان این اختلافات در دوره‌های تر خیلی کمتر بود، این نشان‌دهنده این است که مدل برای دوره‌های تر مناسب‌تر است. کارایی واسنجی الگوریتم HMS SMA به همراه مقدار تابع هدف(تابع هدف در نظر گرفته شده در این تحقیق انحراف معیار وزنی دبی اوج) در مقیاس‌های زمانی متفاوت در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که مقیاس زمانی ماهانه با داشتن حداکثر مقدار ضریب تبیین، حداکثر مقدار NSE[1] و حداقل مقدار MAE[2] و RMSE[3] توانسته است شبیه‌سازی دقیق‌تری را ارائه کند. مقدار ضرایب تبیین و NSE بین صفر و یک تغییر می‌کند و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است و MAE و RMSE اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مقادیر واقعی هستند که هر چه این مقدار کمتر باشد یعنی عملکرد مدل بهتر بوده است.

جدول ۱- کارایی واسنجی الگوریتم HMS SMA (۱۳۸۵-۱۳۸۷)

Table 1. Calibration performance of HMS SMA algorithm (1385-1387)

مقیاس زمانی معیار ارزیابی	روزانه	ماهانه	سالانه
R^2	۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۶۵
MAE	۱/۹۸	۱/۱۰	۱/۵
NSE	۰/۴۹	۰/۶۱	۰/۵۸
RMSE	۲/۹۰	۲/۴۹	۲/۵۴
تابع هدف	۳/۹۸	۳/۴۸	۵/۵۸

جدول ۲- کارایی اعتبارسنجی الگوریتم HMS SMA (۱۳۸۷-۱۳۸۹)

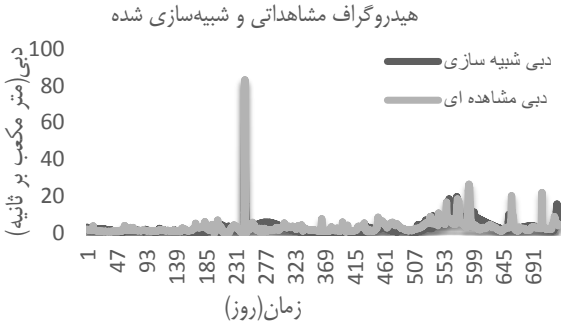
Table 2. validation performance of HMS SMA algorithm (1387-1389)

مقیاس زمانی معیار ارزیابی	روزانه	ماهانه	سالانه
R^2	۰/۴۱	۰/۵۹	۰/۲۶
MAE	۳/۰۵	۱/۶۰	۳/۵۱
NSE	-۰/۱۴	۰/۵۷	-۰/۳۵
RMSE	۴/۸۶	۲/۹۴	۵/۲۷

هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل در مقیاس‌های زمانی مختلف برای سال‌های آبی ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ در دوره اعتبارسنجی در شکل‌های ۹ تا ۱۴ آورده شده است. مقایسه دبی‌های مشاهداتی با شبیه‌سازی شده نشان‌دهنده این است که هیدروگراف‌ها در مقیاس زمانی ماهانه تقریبا تطابق بیشتری نسبت به مقیاس‌های روزانه و سالانه دارند و مدل در مقیاس زمانی سالانه نتوانسته است مقادیر دبی را با دقت مناسب شبیه‌سازی کند. همچنین اینکه در مرحله اعتبارسنجی، مدل در دوره‌های تر جریان رودخانه را به مقدار کمی کمتر و در دوره‌های خشک بیشتر از جریان مشاهده‌ای برآورد کرده است. همچنین کارایی اعتبارسنجی الگوریتم HMS SMA در مقیاس‌های زمانی متفاوت در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که مقیاس زمانی ماهانه با داشتن حداکثر ضریب تعیین و نش-ساتکلیف و حداقل MAE و RMSE توانسته است شبیه‌سازی دقیق‌تری را ارائه کند و بعد از آن مدل در مقیاس روزانه شبیه‌سازی دقیق‌تری داشته است.

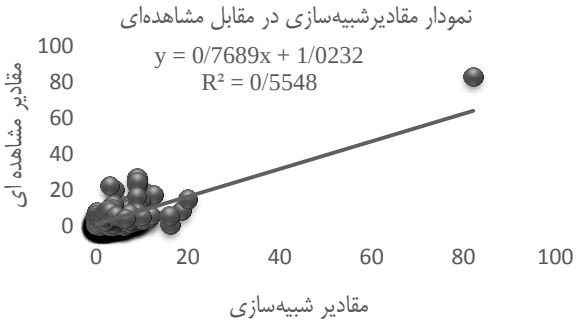
1- Nash–Sutcliffe Efficiency 2- Mean Absolute Error 3- Root-Mean-Square Error

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-06-08]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.5.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.198]



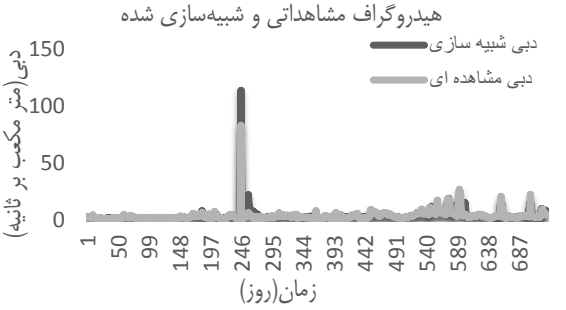
شکل ۳- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی (مقیاس روزانه، ۱۳۸۷-۱۳۸۵)

Figure 3. Observed and simulated hydrograph of calibration (Daily scale,1385-1387)



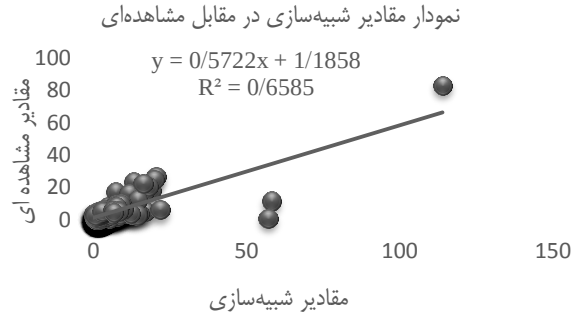
شکل ۴- مقایسه دبی متوسط روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی (مقیاس روزانه ۱۳۸۷-۱۳۸۵)

Figure 4. Compare observed and simulated average daily flow of calibration (Daily scale, 1385-1387)



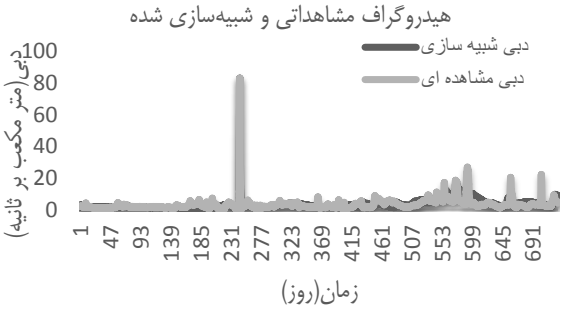
شکل ۵- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی (مقیاس ماهانه ۱۳۸۷-۱۳۸۵)

Figure 5. Observed and simulated hydrograph of calibration (Monthly scale,1385-1387)



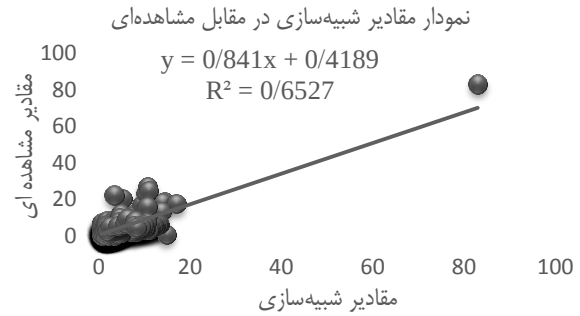
شکل ۶ - مقایسه دبی متوسط روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی (مقیاس ماهانه ۱۳۸۷-۱۳۸۵)

Figure 6. Compare observed and simulated average daily flow of calibration (Monthly scale, 1385-1387)



شکل ۷- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی (مقیاس سالانه ۱۳۸۷-۱۳۸۵)

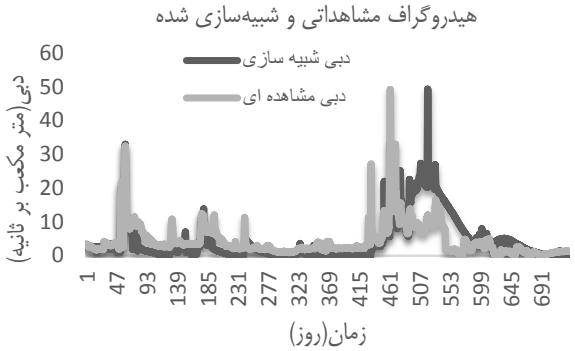
Figure 7. Observed and simulated hydrograph of calibration (Annual scale,1385-1387)



شکل ۸- مقایسه دبی متوسط روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی (مقیاس سالانه ۱۳۸۷-۱۳۸۵)

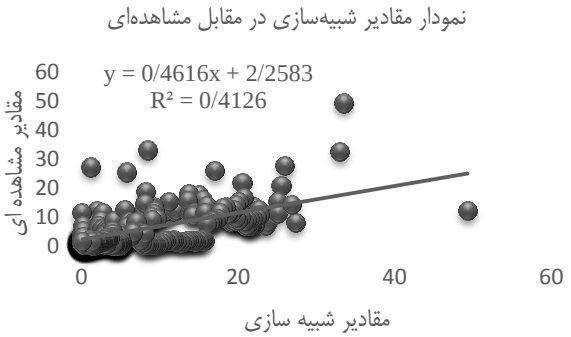
Figure 8. Compare observed and simulated average daily flow of calibration (Annual scale, 1385-1387)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-06-08]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.5.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.198]



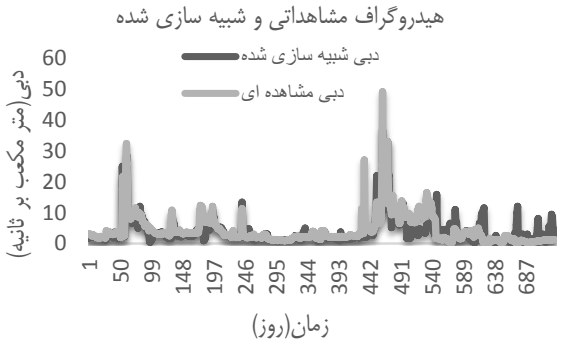
شکل ۹- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره اعتبارسنجی (مقیاس روزانه ، ۱۳۸۹-۱۳۸۷)

Figure 9. Observed and simulated hydrograph of validation (Daily scale,1387-1389)



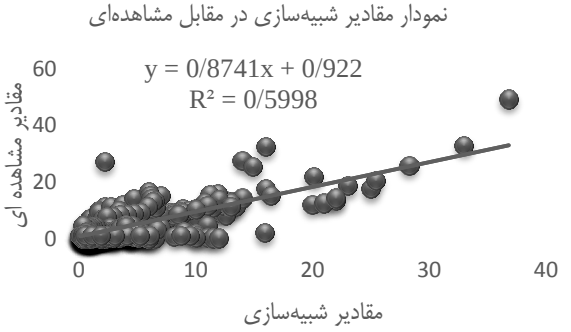
شکل ۱۰- مقایسه دبی متوسط روزانه مشاهداتی و محاسباتی برای دوره اعتبارسنجی (مقیاس روزانه، ۱۳۸۹-۱۳۸۷)

Figure 10. Compare observed and simulated average daily flow of validation (Daily scale, 1387-1389)



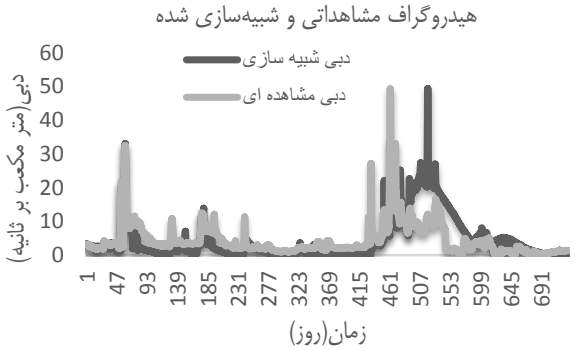
شکل ۱۱- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره اعتبارسنجی (مقیاس ماهانه، ۱۳۸۹-۱۳۸۷)

Figure 11. Observed and simulated hydrograph of validation (Monthly scale,1387-1389)



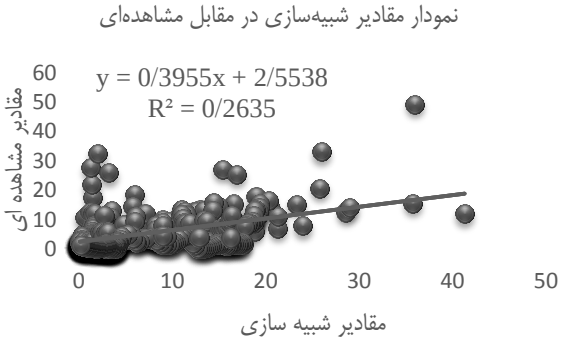
شکل ۱۲-مقایسه دبی متوسط روزانه مشاهداتی و محاسباتی برای دوره اعتبارسنجی (مقیاس ماهانه، ۱۳۸۹-۱۳۸۷)

Figure 12. Compare observed and simulated average daily flow of validation (monthly scale, 1387-1389)



شکل ۱۳- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره اعتبارسنجی (مقیاس سالانه، ۱۳۸۹-۱۳۸۷)

Figure 13. Observed and simulated hydrograph of validation (Annual scale,1387-1389)



شکل ۱۴- مقایسه دبی متوسط روزانه مشاهداتی و محاسباتی برای دوره اعتبارسنجی (مقیاس سالانه، ۱۳۸۹-۱۳۸۷)

Figure 14. Compare observed and simulated average daily flow of validation (Annual scale, 1387-1389)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-06-08]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.5.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.198]

پس از واسنجی پارامترهای الگوریتم SMA در مدت دو سال، برای اطمینان از تخمین صحیح پارامترها اقدام به شبیه‌سازی شد، که پس از شبیه‌سازی هیدروگراف در دو سال دوم می‌توان نتیجه گرفت که مقیاس زمانی ماهانه و بعد از آن مقیاس روزانه بیشتر با هیدروگراف مشاهداتی تطابق داشته و مدل در این دو مقیاس نسبت به مقیاس سالانه، بهتر و با دقت بیشتری توانسته است شبیه‌سازی را انجام دهد به این معنی که ضرایب تبیین و NSE به ترتیب در مقیاس ماهانه و روزانه به مقدار یک نزدیکتر بودند و ضرایب MAE و RMSE که اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی را نشان می‌دهند در مقیاس‌های ماهانه و روزانه کمتر از مقدار این ضرایب در مقیاس سالانه بودند که هر چه این مقادیر کمتر باشد یعنی عملکرد مدل بهتر بوده است. این نشان‌دهنده این است که مدل و پارامترهای آن به خوبی برای شبیه‌سازی در این دو مقیاس واسنجی شده‌اند.

هدف از این تحقیق ارزیابی عملکرد مدل HEC-HMS با الگوریتم SMA به عنوان یک مدل یکپارچه در مقیاس‌های زمانی مختلف برای شبیه‌سازی رواناب بود. این الگوریتم شرایط تر و خشک را در طول دوره طولانی‌مدت مدل می‌کند که نیازی به تعیین رطوبت قبلی خاک نمی‌باشد، بنابراین با این روش می‌توان برای دوره‌های زمانی طولانی با در نظر گرفتن اثر رطوبت خاک و ذخایر آب زیرزمینی حوزه آبخیز، رواناب را شبیه‌سازی کرد. با وجود یک ایستگاه هیدرومتری در خروجی حوزه و نبود ایستگاه بارانسنجی در داخل حوزه و استفاده از آمار بارندگی ایستگاه بارندگی خارج از حوزه نتایج این تحقیق بر استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در جاهایی که با کمبود داده مواجه است، صحه گذاشت. در تحقیق حاضر در سه مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه در سال‌های آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۵ کالیبراسیون انجام شد. که نتایج نشان داد مقیاس زمانی ماهانه با داشتن بیشترین مقدار R^2، NSE، MAE و RMSE ، دقیق‌ترین شبیه‌سازی را داشته است و بعد از آن در مقیاس سالانه نسبت به مقیاس روزانه، توابع R^2، NSE و MAE و RMSE برتری نسبی شبیه‌سازی را نشان دادند، این نشان‌دهنده این است که میزان انطباق مرتبط با طول مقیاس زمانی بوده است. همچنین در مرحله اعتبارسنجی توابع ضریب تبیین، کارایی نش-ساتکلیف، خطای مطلق میانگین و RMSE در مقیاس ماهانه و سپس روزانه به ترتیب حداکثر و حداقل مقدار را نسبت به مقیاس سالانه داشتند، که با نتایج گارسیا و همکاران(۱۰)، مطابقت داشت. در کل می‌توان نتیجه گرفت که مقیاس زمانی ماهانه در شبیه‌سازی جریان دقیق‌تر و بهتر عمل کرده است و هیدروگراف‌های جریان مشاهده شده و شبیه‌سازی شده تطابق بیشتری داشتند. با توجه به این نتایج و با توجه به مقدار معیارهای ارزیابی متوسط دبی‌های روزانه مشاهده‌ای و برآوردی در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی می‌توان گفت که الگوریتم محاسبه‌کننده رطوبت خاک در شبیه‌سازی دبی‌های متوسط روزانه نتایج مناسبی داشته است. که با نتایج غفوری و همکاران (۹)، قلی‌نژاد (۱۱)، شهرآیینی و همکاران (۱۹) و رهان شیخ و همکاران (۱۷) مطابقت داشت. از طرفی نیری و فلیمینگ (۸) در مدل‌سازی هیدرولوژیکی با SMA به این نتیجه رسیدند که SMA در مقیاس فصلی و نیمه سالیانه شبیه‌سازی مناسب‌تری در مقایسه با مقیاس سالانه می‌دهد، در حالی که او از مقیاس ماهانه در شبیه‌سازی استفاده نکرده بود. در شبیه‌سازی بارش-رواناب از مدل‌ها با مقیاس‌های زمانی متفاوت استفاده می‌شود، ولی تعیین بهترین مدل بارش-رواناب با مقیاس زمانی صحیح، در شبیه‌سازی نقش موثری را ایفا می‌کند. لذا مقیاس زمانی ماهانه با توجه به اینکه واسنجی را در دفعات متعددی انجام می‌دهد، بهتر از مقیاس‌های دیگر می‌تواند در شبیه‌سازی عمل کند، اما چون زمان بیشتری از محقق را می‌گیرد، عده محدودی از این مقیاس در شبیه‌سازی استفاده می‌کنند. الگوریتم HMS SMA در تحقیق حاضر در هر سه مقیاس زمانی در شرایط تر معتبر بوده و پیش‌بینی مبالغه‌آمیزی از جریان در شرایط خشک داشته است، که نشان می دهد مدل برای دوره‌های زمانی تر معتبر است. همچنین انتخاب یک مقدار پتانسیل تبخیر و تعرق برای هر ماه در دوره‌های بزرگتر از یک سال موجب بروز خطا در مدل‌سازی می‌شود. با همه‌ی اشکالات اشاره شده در این بخش، الگوریتم HMS SMA می‌تواند برای سایر حوزه‌های آبخیز اندازه‌گیری نشده در منطقه که رفتار هیدرولوژیکی مشابهی با حوزه آبخیز زارم‌رود دارند به کار رود. پیشنهاد می‌شود که از داده‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی مورد اعتبار و دقیق‌تر برای به دست آوردن پارامترهای مورد نظر در مدل برای شبیه‌سازی دقیق‌تر استفاده شود و مدل برای دوره‌های زمانی بیشتر از ۲ سال اجرا شود تا صحت دقیق‌تر بودن نتایج مقیاس زمانی ماهانه در دوره زمانی طولانی‌تر نیز مشخص شود. همچنین عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌های دقیق دبی باید با بهبود سیستم ثبت داده‌ها حداقل شود، به نظر می‌رسد علت بیش تخمینی و یا کم برآورد کردن بعضی قسمت‌های هیدروگراف، اندازه‌گیری با دقت پایین دبی باشد و در نهایت اینکه به دلیل ساختار خطی الگوریتم SMA و نیاز به حداقل کردن خطای مرتبط با واکنش غیرخطی بارش-رواناب، رویکرد پارامترسازی فصلی به طوریکه مجموعه پارامترهای جداگانه برای هر فصل تعیین شوند، ممکن است که نتایج شبیه‌سازی را بهتر کند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-06-08]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.5.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.198]

منابع

1. Abushandi, E. and B. Merkel. 2013. Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS and IHACRES for a single rain event in an arid region of Jordan. Water Resources Management, 27(7): 2391-2409.
2. Alizade, A. 1998. Principles Applied Hydrology. Publishing Center of Astan Quds Razavi , Mashhad, Iran. 636 pp (In Persian).
3. Bashar K.E. 2012. Comparative performance of soil moisture accounting approach in continuous hydrologic simulation of the Blue Nile. Nile Basin Water Science & Engineering Journal, 5(2):1-10.
4. Bennett, T. 1998. Development and Application of a Continuous Soil Moisture Accounting Algorithm for the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). M.Sc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, USA. 358 pp.
5. Broumandnasab, S. 2002. Flood Hydrology in Urban Basins. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. 328 pp.
6. Darvari, Z. and K. Soleimani. 2007. River Flow Simulations Using Artificial Neural Network (Case Study: Kasilian Basin). 9th National Conference of the Irrigation and Reduce Evaporation, 1-10 pp., Kerman, Iran (In Persian).
7. Dehghani, N., M. Vafakhah and A. Bahremand. 2016. Rainfall-Runoff Modeling using Artificial Neural Network and Neuro-Fuzzy Inference System in Kasilian Watershed. Journal of Watershed Management Research, 7(13): 128-137
8. Fleming, M. and V. Neary. 2004. Continuous Hydrologic Modeling Study with the Hydrologic Modeling System. Journal of Hydrologic Engineering, 9(3): 175-183.
9. Ghafouri, M., B. Saghafian, H.R. Taheri Shahr Aeini and S. Bagheri shouraki. 2010. Simulation of Daily River Flow in Karoun Basin Using HEC-HMS Model. International Conference On Water Resources, 1-9pp., Shahroud, Iran (In Persian).
10. Garcia, A., A. Sainz, J.A. Revilla, C. Alvarez, J.A. Juanes and A. Puente. 2008. Surface Water Resources Assessement in Scarcely Gauged Basins in the North of Spain. Journal of Hydrology, 356(3-4): 312-326.
11. Gholinezhad, K. 2011. Check Flooding to Separate Wet and Dry Periods Based on Historical Statistics and Long-Term Rainfall-Runoff Simulations (Case Study: Nekaroud Basin, Golurd Sub-Basin). M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. 124 pp (In Persian).
12. Hasanpour Kashani, M., M.A. Ghorbani, Y. Dinpazhouh and S Shahmorad. 2015. Rainfall-Runoff Simulation in the Navrood River basin using Truncated Volterra Model and Artificial Neural Networks. Journal of Watershed Management Research, 6(12):1-10.
13. Hydrologic Engineering Center. 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources.
14. James, L.D. and S.J. Burges. 1982. Selection, Calibration and Testing Of Hydrologic Models, in Hydrologic Modeling of Small Watersheds. Edited by Haan C T., Johnson H P. and Brakensiek D L. American Society of Agricultural Engineers. Monograph, 5: 437-472.
15. Kisi, O. 2004. River Flow Modeling Using Artificial Neural Networks. Journal of Hydrologic Engineering, 9(1): 60-63.
16. Razmkhah, H., A.M. Akhound Ali., B. Saghafian and F. Radmanesh. 2014. Comparing the Performance of Different Loss Models in the Rainfall-Runoff Modeling of the Karoon III Basin. Journal Management System, 6(19): 17-36 (In Persian).
17. Rehan Shaikh, M.D., R.N. Sankhua and R.P. Thanedar. 2012. Continuous Hydrologic Simulation Using Soil Moisture Accounting Algorithm of Randullabad Watershed, India. Journal of Engineering, Scince and Management Education, 5(IV)
18. Sharifi, M.B. and M. Salehi. 2005. Application of Neural Networks in River Flow Forecasting in the Basin Kardeh. Iran Water Resources Management Company, Khorasan Regional Water Authority, Enforcement agency: Mashhad Ferdowsi University,Iran. 1-11pp (In Persian).
19. Taheri Shahr Aeini, H., M.R. Ghafouri, B. Saghafian and S. Bagheri Shouraki. 2012. Evaluation of Fuzzy Novel Method and a Conceptual Approach for a Long Term daily Streamflow Simulation. International Journal of River Systems, 3-4(20): 249-260 (In Persian).
20. Tali-Khoshk, S., M. Mohseni Saravi, M. Vafakhah and S. Khalighi-Sigaroudi. 2014. River Daily Flow Prediction using Neuro-Fuzzy Model (Case Study: Taleghan Watershed). Journal of Watershed Management Research, 5(10): 56-67.
21. Zorkeflee, A.H., H. Nuramidah and S.Y. Mohd. 2009. Integrated river basin management (IRBM): hydrologic modelling using hec-hms for sungai kurau basin, perak. International Conference on Water Resources, 1-7 pp., Shahrood, Iran.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-06-08]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.5.9]

[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.198]

Simulation of Zaremrod River Flow in Different Time Scales Using Soil Moisture Accounting Model (SMA)

Terife Edrisi[1], Mahmoud Habibnejad Roshan[2] and Behnoush Jafari Gorzin[3]

1- Graduated M.Sc. Student, Sari Agricultural Science and Natural Resources University
2- Professor, Sari Agricultural Science and Natural Resources University,
(Corresponding author: roshanbah@yahoo.com)
3- Ph.D. Student Sari Agricultural Science and Natural Resources University Resources University
Received: 12 May, 2017 Accepted: 21 January, 2020

Abstract

River flow simulation has particular importance to be aware of the river flow and determining flood discharges in the future periods. Different hydrologic processes such as interception, surface depression storage, infiltration, soil storage, percolation, and groundwater storage would be considered in continuous hydrologic modeling. Considering the different methods of hydrological simulation, continuous simulation has a best prediction because of the dry and wet conditions modeling during the long-term period. HEC-HMS model uses Soil Moisture Accounting (SMA) algorithm to simulate the long-term relationship between rainfall, runoff, storage, evapotranspiration, and soil losses. In this study, soil moisture accounting model (HMS SMA) was applied to determine the effect of soil moisture on runoff generation, evaluating of flows simulated, in the Zaremrod watershed, Mazandaran province. Daily R-R data (4 years, from 2006 to 2010) and monthly evapotranspiration data, Digital Elevation Model (DEM-25m) and the drainage network map were used for the calibration and validation of model. The results of simulation revealed that monthly scale with maximum value of the determination coefficient and Nash–Sutcliffe efficiency and minimum mean absolute error and root-mean-square error manifested the most accurate simulation in the calibration and validation. Generally Results of the research showed capability of HEC-HMS model with new model for losses calculation (SMA) for river flow simulation in the Zaremrod watershed.

Keywords: Rainfall and runoff, Zaremrod Watershed, Simulation, HEC-HMS and SMA

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-06-08]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.5.9]

[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.198]