

شبیه‌سازی پیوسته فرآیند بارش - رواناب با بکارگیری مدل تلفات SMA در حوضه ابوالعباس با استفاده از مدل HEC-HMS

اعلاء منیشداوی^۱، علیرضا نیکبخت شهبازی^{۲*}، حسین فتحیان^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، اهواز

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، اهواز، اهواز

۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، اهواز، اهواز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۶/۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۶/۱۲)

چکیده

آگاهی از توان طبیعی تولید رواناب در حوضه‌های آبریز یکی از نیازهای اساسی جهت برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری بهینه از رواناب می‌باشد. در این مقاله، از مدل HEC-HMS به همراه مدل تلفات محاسبه رطوبت خاک (SMA) که قابلیت شبیه‌سازی پیوسته جریان را دارد به عنوان یک مدل مفهومی جهت شبیه‌سازی جریان در حوضه آبریز ابوالعباس استفاده گردید تا سهم جریان پایه و رواناب مستقیم در رواناب کل مشخص گردد. با تفکیک سهم جریان پایه و رواناب مستقیم در رواناب کل، می‌توان در بهره‌برداری از منابع آب مدیریت و برنامه‌ریزی کرد. مدل تلفات SMA، با استفاده از یک سری لایه‌های ذخیره کننده شامل ذخیره برگابی، ذخیره چلابی، ذخیره پروفیل خاک (ذخیره لایه فوقانی و ذخیره کششی خاک) و ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی، تلفات را در حوضه آبریز در نظر می‌گیرد. برای کالیبراسیون مدل از آمار روزانه بارش، دبی جریان، تبخیر و تعرق و دمای هوا از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ و برای صحت‌سنجی مدل از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ استفاده شد. 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 ابوالعباس برخوردار می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که به علت کارستی بودن سطح وسیعی از حوضه، سهم جریان پایه در رواناب کل حوضه نسبت به رواناب مستقیم خیلی بیشتر است. بطوریکه متوسط درصد رواناب مستقیم و جریان پایه در رواناب کل به ترتیب برابر با ۹۰/۹۵ و ۹/۰۵ درصد است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بطور متوسط درصد ضریب رواناب در طول دوره آماری در کل حوضه ابوالعباس برابر با ۶/۴ درصد است.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی پیوسته، بارش-رواناب، حوضه ابوالعباس، مدل HEC-HMS، مدل تلفات SMA.

مقدمه

سیلاب‌های بزرگی می‌گردد که از بابت خسارت‌های جانی و مالی، قابل توجه است. بنابراین تخمین و پیش‌بینی مقدار جریان رودخانه‌ای و سیلاب از اهمیت خاصی برخوردار است. مطالعات انجام شده با بکارگیری مدل HEC-HMS با اهداف متفاوتی صورت گرفته است. Radmanesh *et al.* (2006) با استفاده از ۶ واقع همزمان رگبار و رواناب به ارزیابی و واسنجی مدل HEC-HMS در حوضه آبریز رودزرد به مساحت ۸۷۵ کیلومترمربع پرداختند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی یکپارچه بارش-رواناب نشان داد که این مدل بویژه در خصوص پیش‌بینی دبی اوج و زمان مربوط به آن می‌تواند نتایج قابل قبولی را ارائه نماید. Karimi *et al.* (2012) با استفاده از مدل HEC-HMS و هفت واقع بارش-رواناب متناظر در حوضه آبخیز چهل‌گزی واقع در شهرستان سنندج، به ارزیابی روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی SCS، شنایدر و کلارک پرداختند. نتایج نشان داد که

استفاده و مدیریت بهینه منابع آب، مستلزم شناخت پدیده‌های هیدرولوژیکی می‌باشد که رواناب سطحی یکی از مهمترین فازهای این چرخه به شمار می‌آید. رواناب سطحی در برگیرنده بخشی از آب حاصل از بارش است که مازاد بر ذخیره برگابی، ذخیره گودالی و نفوذ و تبخیر می‌باشد. در بسیاری از موارد، جریان‌های سطحی مبنای احداث طرح‌های هیدرولیکی و پروژه‌های آبی از قبیل تأمین آب مصرفی شهری و صنعتی، طراحی مخازن سدها، کنترل سیلاب‌ها و پروژه‌های تأمین آب برای بخش کشاورزی می‌باشد. از طرفی توزیع ناهمگون مکانی و زمانی بارندگی در سطح کشور و تنوع آب و هوایی هر از چند گاهی در برخی نقاط باعث طغیان آب رودخانه‌ها و وقوع

* نویسنده مسئول: ar_nikbakht@yahoo.com

مصنوعی در شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب و مقایسه نتایج آنها با مدل HEC-HMS در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات در استان یزد را بررسی نمودند. مقایسه زمان اوج آبنمودهای واقعی با موارد پیش‌بینی شده شبکه‌های عصبی مصنوعی و HEC-HMS نشان می‌دهد که دقت شبکه‌های عصبی از مدل HEC-HMS بیشتر است. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری میان اندازه‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مربوط به همه پارامترهای مورد بررسی مشاهده نشد. Garmeh and FaridHoseini (2015) پارامترهای حساس مدل بارش رواناب HEC-HMS به وسیله الگوریتم فراکاوشی بهینه‌سازی PSO در محیط برنامه MATLAB انجام گرفت. نتایج بر خاصیت عدم امکان حصول پارامترهای منحصر به فرد برای یک حوضه آبخیز تأکید داشت. این روش، با توجه به مشکل غیرمنفرد بودن مجموعه جواب‌های مسئله واسنجی به منزله یک مسئله معکوس، می‌تواند در محدود کردن تعداد جواب‌های کاندید مؤثر باشد. Ebrahimian and Ghaderi (2012) مدل HEC-HMS و WMS در حوضه آبریز سد مهاباد ارزیابی و واسنجی نمودند. فرآیند شبیه‌سازی با استفاده از روش‌های شماره منحنی SCS و مقدار اولیه و نرخ ثابت تلفات برای محاسبه میزان تلفات و روش‌های هیدروگراف واحد کلارک و هیدروگراف واحد اشنایدر جهت برآورد میزان رواناب انجام گرفته است و کارایی آنها با استفاده از معیارهای آماری، مجذور میانگین مربعات خطای وزنی PRMSE و ضریب همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بررسی نتایج شبیه‌سازی حکایت از انطباق بهتر روش شماره منحنی SCS نسبت به روش نرخ ثابت و مقدار اولیه برای محاسبه میزان تلفات داشت. Razmkhah *et al.* (2016) با روش تلفات نفوذ SMA در نرم‌افزار HEC-HMS در حوضه آبریز سد کارون ۳ بارش و رواناب را مدل‌سازی نمودند. نتایج مدل‌سازی نشان داد که با توجه به معیار ناش-ساتکلیف روش SMA برآورد مناسبی از نفوذ ارائه می‌کند. نتایج آنالیز حساسیت مدل نشان داد که ضریب هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره کلارک و زمان تمرکز مهمترین پارامترها برای شبیه‌سازی حداکثر سیلاب است. *et al.* Gumindoga (2016) 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 بطور مناسبی پیش‌بینی می‌کند. Masomzade and

روش SCS نسبت به روش کلارک و اشنایدر کارایی بهتری دارند. Akhondali and Kaboli (2009) با استفاده از مدل HEC-HMS و بیست و چهار واقعه بارش-رواناب در حوضه آبریز معرف کسلیان، به ارزیابی روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی SCS، کلارک پرداختند. نتایج حاکی از برتری نسبی روش SCS بود. Mahmoodian shoostari *et al.* (2002) به کاربرد مدل HEC-HMS در رودخانه‌های کر و سیوند استان فارس نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهده‌ای تا حد زیادی بر هم منطبق شدند. در نتیجه-گیری نهایی مدل HEC-HMS را مدلی با قابلیت خوب جهت استفاده در پروژه‌های آبی خصوصاً پروژه‌های هشدار سیل معرفی کردند. Ashouri *et al.* (2007) جهت بررسی اثرات توسعه شهری بر افزایش رواناب از ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی و الحاقیه HEC-GeoHMS با مدل HEC-HMS استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که تغییر کاربری اراضی ناشی از توسعه شهری باعث افزایش پتانسیل سیل‌خیزی این حوضه گردیده و اثرات تغییر کاربری اراضی بر دبی اوج با افزایش دوره بازگشت کم می‌شود. Khosroshahi and Saghafian (2005) تأثیر سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها را با استفاده از مدل HEC-HMS و روش تکرار حذف انفرادی زیرحوضه‌ها در حوضه آبریز دماوند مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیق آنها نشان داد زمانی که تأثیر دبی زیرحوضه‌ها در دبی اوج خروجی کل حوضه مد نظر قرار می‌گیرد، نسبت تأثیر آنها به کوچکی و بزرگی دبی در محل زیرحوضه بستگی ندارد. بلکه اثر متقابل عوامل مؤثر از جمله موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها می‌تواند تعیین‌کننده باشد.

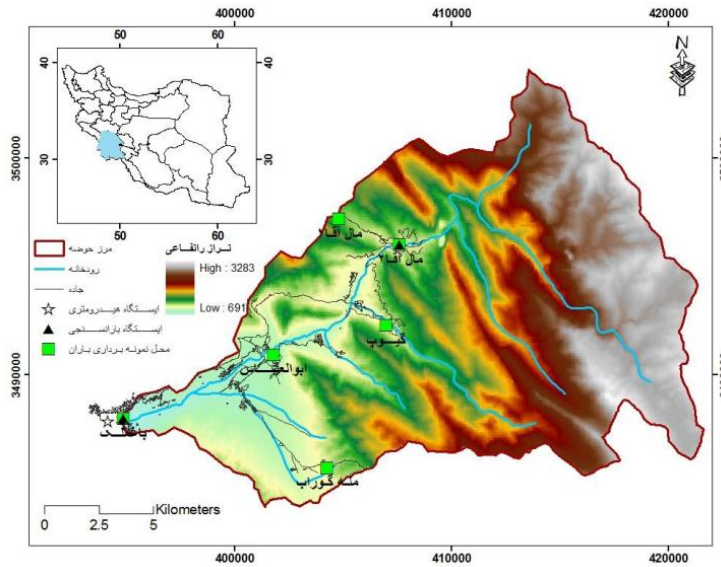
Ghafori *et al.* (2009) به شبیه‌سازی درازمدت جریان روزانه در حوضه کارون ۳ با استفاده از مدل تلفات SMA مربوط به مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS پرداختند. نتایج آنها بیان‌کننده قابلیت خوب مدل HEC-HMS به همراه مدل محاسبه تلفات SMA برای شبیه‌سازی پیوسته جریان روزانه در دوره‌های خشک و تر متوالی در حوضه کارون می‌باشد. Yaghobi and Massah (2014) سه مدل HBV، IHARCES و HEC-HMS را برای شبیه‌سازی پیوسته بارش-رواناب در حوضه‌های نیمه‌خشک بررسی نمودند. در تعیین عملکرد مدل‌ها از معیار عملکرد ضریب نش، ضریب تعیین و معیار RMSE استفاده کردند. پارامترهای ذخیره آب خاک، نفوذ و تنش ذخیره به‌عنوان پارامترهای حساس مدل HEC-HMS مشخص شدند که تأثیر زیادی بر نتایج خروجی مدل دارند، این در حالی است که مدل IHARCES به میزان یکسان از خود حساسیت نشان داده است. Omidvar and Ajhdarpour (2012) کارآمدی شبکه‌های عصبی

در محدوده ۴۹°۵۴' تا ۵۰°۰۵' طول شرقی و ۳۱°۴۲' تا ۳۱°۴۴' عرض شمالی واقع شده است. ایستگاه آب‌سنجی پل منجنیق با مختصات جغرافیایی ۴۹°۵۴' طول شرقی و ۳۱°۳۱' عرض شمالی در خروجی حوضه قرار دارد. تجهیزات اندازه‌گیری نصب‌شده در ایستگاه شامل اشل یکپارچه چهار متری، پل تلفریک و لیمنوگراف است. ارتفاع این حوضه آبریز کوهستانی از ۹۶۱ تا ۳۲۱۱ متر از سطح دریا با ارتفاع متوسط ۱۱۱۳ متر از سطح دریا تغییر می‌کند و ساختاری پیچیده با زیر حوضه‌هایی با اندازه‌های مختلف دارد. سازندهای آهکی ضخیم لایه با گستردگی ۹۴ درصدی در سطح حوضه، آب و هوای مساعد توسعه کارست و تکتونیک فعال، شرایط مناسبی برای ایجاد و گسترش کارست در محدوده مورد مطالعه فراهم آورده است. اشکال مختلف کارستی از جمله کارن، فروچاله و چشمه‌های کارستی در حوضه آبریز مشاهده می‌گردد. ۱۳ چشمه در حوضه آبریز وجود دارد که بزرگترین آن چشمه مال آقا با دبی متوسط ۲۴۳۱ لیتر بر ثانیه می‌باشد. تغییرات آبدی چشمه مال آقا نسبت به زمان نشان می‌دهد که حداکثر آبدی این چشمه با مقدار تقریبی ۳۲۱۱ لیتر بر ثانیه در اردیبهشت ماه اتفاق افتاده است. همچنین در حدود ۴۱ درصد از آبدی چشمه مربوط به جریان سریع است که این امر نشان دهنده توسعه سیستم مجرای در حوضه آبریز چشمه است. همچنین نسبت دبی حداکثر به حداقل برابر با ۴/۹۳ نیز مؤید این مطلب است. وجود این اشکال کارستی نشان دهنده پتانسیل بالای توسعه کارست در اعماق می‌باشد. بر اساس نقشه‌های پایه توپوگرافی، شبکه رودخانه‌ها و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری، مرز حوضه ابوالعباس در محل ایستگاه آب‌سنجی پل منجنیق بسته شد. سپس حوضه ابوالعباس به تعدادی زیرحوضه تقسیم‌بندی شد. حوضه ابوالعباس با توجه به محل تقاطع رودخانه‌ها و نقاط با اهمیت به شش زیرحوضه تقسیم شد. شکل (۱) نقشه موقعیت حوضه ابوالعباس را نشان می‌دهد. شکل (۲) نقشه زیرحوضه‌بندی حوضه ابوالعباس در محل ایستگاه هیدرومتری پل منجنیق و موقعیت ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۳) شماتیک مدل هندسی حوضه ابوالعباس در محیط مدل HEC-HMS را نشان می‌دهد. خلاصه مشخصات فیزیوگرافی و ارتفاعی حوضه ابوالعباس و زیرحوضه‌های آن در جدول (۱) آمده است.

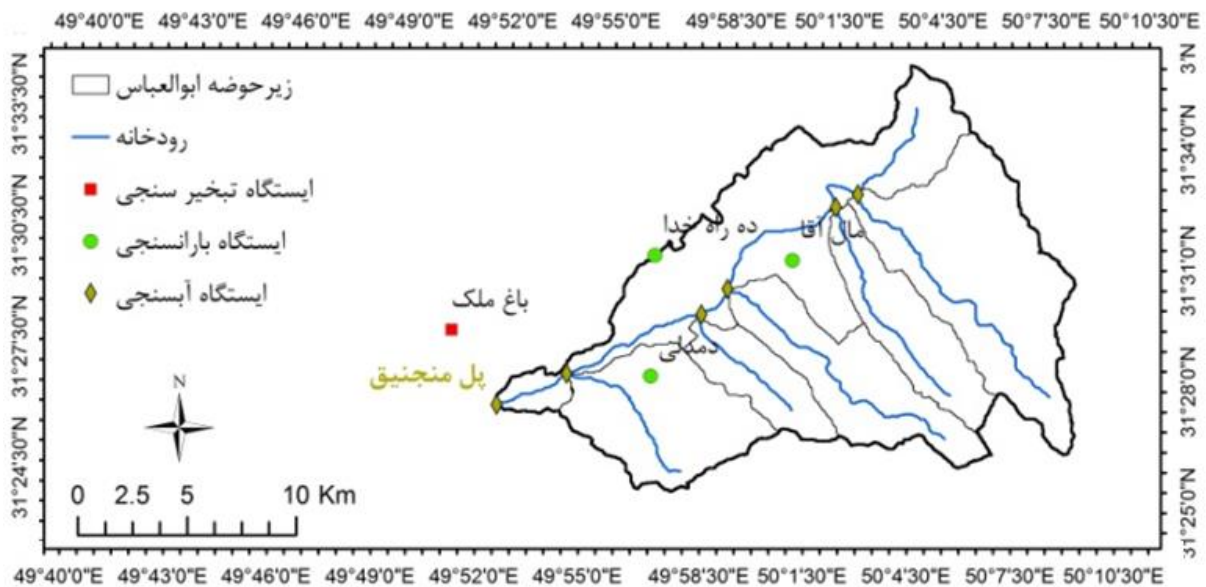
Fathian (2016) با بکارگیری مدل HEC-HMS به همراه مدل تلفات محاسبه نفوذ (SMA) به شبیه‌سازی جریان در حوضه آبریز دز از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۴ پرداختند. نتایج بیانگر آن بود که مدل HEC-HMS به همراه مدل تلفات SMA از قابلیت خوبی در شبیه‌سازی پیوسته رواناب کل روزانه در دوره‌های خشک و تر متوالی در حوضه دز برخوردار است. نتایج نشان می‌دهد که سهم جریان پایه در رواناب کل حوضه دز نسبت به رواناب مستقیم خیلی بیشتر می‌باشد. بطوریکه متوسط درصد رواناب مستقیم و جریان پایه در رواناب کل به ترتیب برابر با ۲۲/۳ و ۷۷/۷ درصد می‌باشد. متوسط درصد ضریب رواناب در کل حوضه دز در طول دوره آماری کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل برابر با ۱۸/۶ درصد می‌باشد. Fathian *et al.* (2017) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS به همراه مدل تلفات محاسبه‌کننده رطوبت خاک (SMA) به شبیه‌سازی جریان ورودی به مخزن سد مارون پرداختند. برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل به ترتیب از داده‌های روزانه دبی مربوط به سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۴ و ۱۳۹۰-۱۳۸۵ در ایستگاه هیدرومتری ایدنک استفاده کردند. نتایج نشان داد که ضریب ناش-سائکلایف و ضریب تعیین برای دوره صحت‌سنجی مدل به ترتیب برابر با ۰/۶۵ و ۰/۸ می‌باشد که بیانگر دقت خوب مدل HEC-HMS به همراه مدل تلفات SMA در شبیه‌سازی پیوسته جریان روزانه در حوضه مارون می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده تاکنون می‌توان دریافت که در زمینه شبیه‌سازی تک‌واقعه بارش-رواناب در حوضه‌های آبریز، تأثیر توسعه شهری بر دبی اوج سیل و تعیین پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها در حوضه‌های مختلف کشور مطالعاتی انجام شده است. اما در زمینه شبیه‌سازی پیوسته بارش-رواناب و برآورد دراز مدت رواناب روزانه در این حوضه و در بسیاری از حوضه‌های کشور انجام نشده است. بنابراین هدف از این مقاله شبیه‌سازی پیوسته بارش-رواناب در حوضه ابوالعباس با بهینه‌سازی مدل تلفات SMA مربوطه به مدل HEC-HMS است که می‌تواند مبنای مقایسه با سایر حوضه‌های مشابه قرار گیرد. علاوه بر این سهم جریان پایه و رواناب مستقیم در آورد کل حوضه نیز تعیین می‌گردد.

مواد و روشها

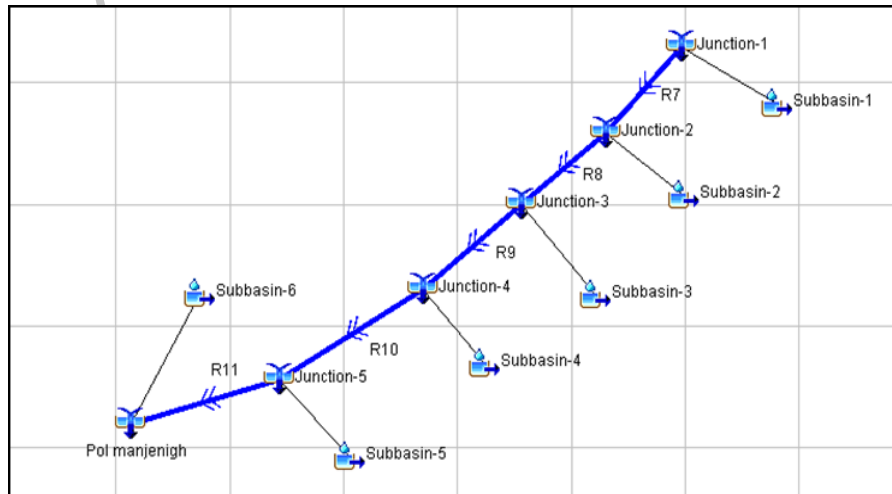
حوضه ابوالعباس واقع در استان خوزستان، بزرگترین زیرحوضه رودخانه زرد می‌باشد این حوضه به مساحت ۲۸۳ کیلومترمربع



شکل ۱. موقعیت حوضه ابوالعباس در کشور و نقشه رقومی حوضه (Akhondali *et al.*, 2013).



شکل ۲. نقشه زیرحوضه بندی حوضه ابوالعباس در محل ایستگاه هیدرومتری پل منجنیق و موقعیت ایستگاه‌ها.



شکل ۳. شماتیک مدل هندسی حوضه ابوالعباس در محیط مدل HEC-HMS.

رواناب^۲، مدل هیدروگراف واحد کلارک به دلیل استفاده عمومی‌تر در حوضه‌های بزرگ و عملکرد قابل قبول آن استفاده گردید. همچنین بنابر توصیه‌های صورت گرفته به همراه مدل SMA از مدل جریان پایه مخزن خطی^۳ برای برآورد جریان پایه بهره گرفته شد. برای روندیابی^۴ هیدروگراف در طی بازه‌های^۵ رودخانه نیز روش روندیابی ماسکینگام^۶ انتخاب شد.

2. Transform
3. Liner reservoir
4. Routing
5. Reach
6. Muskingum Routing

انتخاب مدل‌های محاسبه تلفات، جریان پایه، تبدیل رواناب و روندیابی

به منظور شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب، برای مدل تلفات^۱ روش محاسبه 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 دوره-های طولانی مدت به صورت پیوسته دارا می‌باشد (USDA, 2000). همچنین از بین مدل‌های مختلف تبدیل بارش به

1. Loss Model

جدول ۱. خلاصه مشخصات فیزیوگرافی و ارتفاعی حوضه ابوالعباس و زیرحوضه‌های آن.

شماره زیر حوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	حداقل ارتفاع (m)	حداکثر ارتفاع (m)	ارتفاع متوسط (متر)	شیب متوسط حوضه (درصد)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	شیب خالص وزنی آبراهه اصلی (متر بر متر)
۱	۶۸/۵۶	۵۵/۹۲	۱۳۷۸	۳۲۸۵	۲۷۳۴	۴۰/۸۸	۱۵/۲۳	۱۰/۲۱
۲	۲۷/۳۵	۳۸/۵۲	۱۲۰۵	۳۲۸۵	۲۲۱۰	۶۲/۵۶	۱۱/۵۶	۹/۴۷
۳	۳۶/۷۱	۴۶/۴۸	۹۶۱	۳۰۲۶	۱۸۲۷	۵۵/۵۸	۱۴/۲۵	۹/۱۳
۴	۱۷/۶۱	۲۷/۵۵	۹۰۴	۲۴۰۸	۱۴۹۵	۴۷/۲۶	۶/۶۸	۸/۷۴
۵	۳۹/۴۳	۳۶/۸۱	۷۴۷	۲۰۵۸	۱۰۸۸	۲۳/۱۶	۸/۳۷	۲/۹۴
۶	۸۵/۸۱	۱۰۱/۳۴	۶۸۸	۳۱۰۵	۱۵۵۶	۴۵/۵۶	۲۸/۵۹	۶/۴۶

مدل تلفات SMA

این مدل با استفاده از یک سری لایه‌های ذخیره کننده بصورتی که در شکل (۴) نشان داده شده است، حوضه آبریز را معرفی می‌نماید. ذخیره برگابی^{۱۳} میزان بارش گرفته شده توسط درختان، بوته‌ها و چمنزارها که به سطح زمین نرسیده است را نشان می‌دهد. هنگامی که بارش صورت می‌گیرد، اولین لایه‌ای که ظرفیت آن پر می‌گردد ذخیره برگابی است. دومین لایه ذخیره‌ای، ذخیره چالابی است که نشان‌دهنده حجم آب نگه داشته شده در چالاب‌ها و گودال‌های سطح زمین است که نمی‌تواند تا تکمیل شدن نهایی این ذخیره در سطح جاری گردد. جریان ورودی به این ذخیره از بارش مازاد بر ذخیره برگابی و همچنین در شدت بارش بیش از نرخ نفوذ صورت می‌گیرد و همچنین آب مازاد بر آن رواناب سطحی را تشکیل می‌دهد. سومین لایه، ذخیره پروفیل خاک می‌باشد که در حقیقت نشان دهنده میزان آب نگه داشته شده در لایه‌های فوقانی^{۱۴} خاک می‌باشد و منطقه کششی^{۱۵} تشکیل شده است. منطقه فوقانی

انتخاب مدل‌های محاسبه تلفات، جریان پایه، تبدیل رواناب و روندیابی

به منظور شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب، برای مدل تلفات^۷ روش محاسبه 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 طولانی مدت به صورت پیوسته دارا می‌باشد (USDA, 2000). همچنین از بین مدل‌های مختلف تبدیل بارش به رواناب^۸، مدل هیدروگراف واحد کلارک به دلیل استفاده عمومی‌تر در حوضه-های بزرگ و عملکرد قابل قبول آن استفاده گردید. همچنین بنابر توصیه‌های صورت گرفته به همراه مدل SMA از مدل جریان پایه مخزن خطی^۹ برای برآورد جریان پایه بهره گرفته شد (Bennett, 1998). برای روندیابی^{۱۱} هیدروگراف در طی بازه‌ها^{۱۱} رودخانه نیز روش روندیابی ماسکینگام^{۱۲} انتخاب شد.

7. Loss Model
8. Transform
9. Liner reservoir
10. Routing
11. Reach
12. Muskingum Routing

13. Canopy
14. Upper zone
15. Tension zone

باران‌سنجی متعلق به وزارت نیرو تهیه گردید. مقادیر دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری پل منجنیق متعلق به وزارت نیرو به عنوان خروجی مدل استفاده شده و علاوه بر این داده‌های تبخیر و دمای هوا از ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی تهیه گردید.

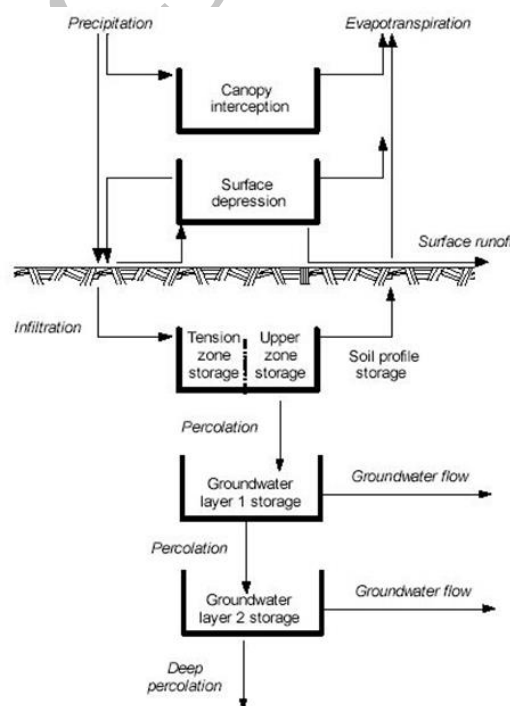
کالیبراسیون و صحت سنجی مدل HEC-HMS

به منظور کالیبراسیون مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی درازمدت جریان از داده‌های دبی روزانه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ و برای صحت سنجی مدل از داده‌های سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ در ایستگاه هیدرومتری پل منجنیق استفاده شد. پارامترهای کالیبراسیون برای هر زیرحوضه 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 می‌باشد. پارامترهای کالیبراسیون برای هر آبراهه شامل ۲ پارامتر مربوط به ضرایب X و K ماسکینگ می‌باشد. با توجه به اینکه تعداد زیرحوضه‌ها و آبراهه‌های حوضه ابوالعباس به ترتیب برابر با ۶ و ۵ می‌باشد، تعداد کل پارامترها جهت کالیبراسیون مدل HEC-HMS برابر با ۱۴۲ بدست می‌آید. بنابراین با توجه به تعداد زیاد پارامتر، کالیبراسیون مدل سخت و زمان‌بر می‌باشد. از مهمترین پارامترها در کالیبراسیون، پارامترهای مدل تلفات SMA بود چرا که کوچکترین تغییرات در پارامترها موجب تغییر در هیدروگراف شبیه‌سازی می‌گردید. مدل مخزن خطی که برای تهیه جریان پایه مورد استفاده قرار می‌گرفت با مدل SMA رابطه مستقیم داشته و ضرایب آبهای زیرزمینی برای هر دو مدل به یکدیگر وابسته می‌باشند. مقادیر بهینه اغلب پارامترها با استفاده از کالیبراسیون تعیین شده و بعضی از پارامترها مانند ذخیره برگابی، ذخیره سطحی، نرخ نفوذ، ذخیره ناحیه کششی و پروفیل خاک از طریق جداول راهنمای موجود در منابع مختلف برآورد شده است (USDA, 2000).

برای مقایسه هیدروگراف مشاهداتی با هیدروگراف شبیه‌سازی شده در مراحل کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل، شاخص‌های نیکویی برازش مختلفی را می‌توان استفاده نمود. این شاخص‌ها به دو گروه معیارهای گرافیکی و توابع هدف (پارامترهای سنجش خطای آماری) قابل تقسیم هستند. بطور کلی پارامترهای آماری سنجش خطا یک شاخص عددی از عملکرد مدل فراهم می‌آورند و نمی‌توانند رفتارهای غیرخطی یا عملکردهای خاص بین مدل و داده‌های مشاهده‌ای را به نحو مطلوب بیان نمایند. به همین دلیل از تعدادی معیارهای گرافیکی به منظور نمایش این رفتارها و روندها استفاده می‌شود.

شامل بخشی از پروفیل خاک است که در اثر نفوذ عمقی و یا تبخیر و تعرق آب خود را از دست می‌دهد در حالی که در ناحیه کششی تنها عامل از دست رفتن رطوبت تبخیر و تعرق می‌باشد (USDA, 2000).

جریان ورودی به این لایه در اثر نفوذ از ذخیره گودالی است و همچنین در اثر نفوذ عمقی به لایه‌های آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق، آب آن خارج می‌گردد. آخرین لایه، بخش ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی است. لایه‌های آب زیرزمینی در مدل SMA نشان دهنده فرآیندهای جریان درون لایه‌ای^۱ است. آب از پروفیل خاک به ذخیره آب زیرزمینی نفوذ می‌کند. تلفات آب از این ذخیره می‌تواند در اثر جریان آب زیرزمینی، نفوذ به لایه دیگر و یا نفوذ عمقی صورت گیرد که در حالت نفوذ عمقی، آب از سیستم مدل‌سازی خارج می‌گردد و جریان درون سفره آب زیرزمینی در SMA مدل‌سازی نمی‌گردد.



شکل ۴. طرح شماتیک و مفهومی مدل تلفات SMA (HEC, 2000)

معرفی مشخصات حوضه و داده‌های بارش-رواناب به مدل

بر اساس شبکه آبراهه‌ای و توپوگرافی، حوضه آبریز ابوالعباس به شش زیرحوضه کوچکتر تقسیم شده و در این راستا ابتدا ایستگاه‌های با آمار مناسب و دراز مدت شناسایی شده و توزیع مناسب آنها در حوضه و اطراف آن بررسی که در نهایت تعداد ۱۰ ایستگاه انتخاب گردید. داده‌های بارندگی از آمار ایستگاه‌های

1. Interflow

نتایج و بحث

مقادیر نهایی پارامترهای مدل ذخیره برگابی، مدل ذخیره سطحی، مدل تلفات SMA، مدل روندیابی ماسکینگام، مدل مخزن خطی، مدل تبدیل بارش به رواناب کلارک حاصل از کالیبراسیون HEC-HMS به ترتیب در جدول‌های (۳ الی ۶) نشان داده شده است. در جدول (۴)، با توجه به اینکه ۹۶ درصد سطح حوضه ابوالعباس به صورت کارستی با لایه ضخیم می‌باشد، درصد نفوذناپذیری هر زیرحوضه معادل صفر در نظر گرفته شد.

پس از هر بار اجرای مدل، به منظور ارزیابی عملکرد مدل و بررسی چگونگی کالیبراسیون مدل، هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده 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. شکل (۴) مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله کالیبراسیون مدل HEC-HMS را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۵) مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی مدل HEC-HMS را نشان می‌دهد. علاوه بر این مقادیر معیارهای آماری نیکویی برازش برای مراحل کالیبراسیون و صحت سنجی مدل در جدول (۷) آمده است. با توجه به شکل (۴) می‌توان دریافت که مدل HEC-HMS در برآورد دبی جریان با مقادیر کم و پایه نسبت به دبی‌های پیک از دقت خوبی برخوردار است. به توجه به جدول (۷)، درصد خطای حجمی کل بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله کالیبراسیون برابر با ۱۰/۹٪ بوده که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در برآورد حجم کل رواناب می‌باشد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطا بین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله کالیبراسیون مدل برابر با ۳/۲ مترمکعب در ثانیه می‌باشد که بیانگر دقت خوب مدل در شبیه‌سازی بارش-رواناب می‌باشد.

مقدار راندمان مدل (ضریب ناش-ساتکلایف) برای مراحل کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل ۰/۶ بدست آمده که قابل قبول است. ضریب ناش-ساتکلایف می‌تواند مقداری از منفی بی‌نهایت تا ۱ را به خود اختصاص می‌دهد که عدد ۱ نشان‌دهنده برازش کامل و انطباق ۱۰۰٪ بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. مقدار ضریب ناش-ساتکلایف، ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای حجم کل بین هیدروگراف مشاهده‌ای و

از دسته معیارهای گرافیکی می‌توان به ترسیم هیدروگراف جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در کنار هم و یا ترسیم نمودارهای پراکندگی^۱ اشاره نمود. از شاخص‌های آماری سنجش خطا می‌توان به میانگین خطا^۲، ضریب تعیین، ریشه میانگین مربعات خطا^۳، میانگین قدر مطلق درصد خطا^۴، ریشه میانگین مربعات خطای وزنی پیک^۵، و پارامتر راندمان مدل^۶ یا ضریب ناش-ساتکلایف^۷ که اخیراً در مسائل هیدرولوژی به وفور مورد استفاده قرار گرفته است اشاره نمود که هر یک به نوعی به ارزیابی نتایج شبیه‌سازی و نیکویی برازش می‌پردازند. روابط مختلف توابع هدف مورد استفاده در جدول (۲) نشان داده شده است. در جدول (۲)، n برابر با تعداد داده‌های جریان، O_i و S_i داده‌های جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در گام زمانی t_i ، \bar{O} دبی میانگین مشاهده‌ای می‌باشد.

نکته قابل ذکر در ارزیابی مدل در دوره کالیبراسیون استفاده توأمان از معیارهای مختلف سنجش خطا جهت اطمینان بیشتر از بهبود نتایج می‌باشد. عملیات کالیبراسیون مدل می‌تواند به صورت دستی و با استفاده از قضاوت مهندسی به روش سعی و خطا و یا به صورت خودکار توسط مدل انجام گیرد. چنانچه داده‌های هیدرومتری در نقاط درونی حوضه و خروجی زیر حوضه‌ها وجود داشته باشد این امر به کالیبراسیون تک‌تک زیر حوضه‌ها کمک زیادی خواهد نمود. در حوضه ابوالعباس به علت در دسترس نبودن این آمار، عمل کالیبراسیون فقط در خروجی حوضه صورت گرفته است. در این تحقیق عمل کالیبراسیون مدل به صورت دستی با تصحیح مکرر پارامترها در هر بار اجرای مدل صورت گرفته است.

جدول ۲. توابع هدف مختلف برای ارزیابی نیکویی برازش.

شاخص‌های آماری سنجش خطا	معادله
Nash-Sutcliffe (NS)	$1 - \frac{\sum_i^n (O_i - S_i)^2}{\sum_i^n (O_i - \bar{O})^2}$
Percent of Total Volume Error (PTVE)	$\frac{\sum_i^n O_i - \sum_i^n S_i}{\sum_i^n O_i} * 100$
Root Mean Square Error (RMSE)	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}$

1. Scatter Plot
2. Bias
3. Root Mean Square Error (RMSE)
4. Mean Absolute of Percent Error (MAPE)
5. Peak-Weighted RMSE
6. Model Efficiency
7. Nash-Sutcliffe (NS)

شبهه‌سازی شده در مرحله صحت‌سنجی مدل به ترتیب برابر با نشان‌دهنده کالیبراسیون مناسب مدل و قابل قبول بودن دقت مدل در شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه ابوالعباس می‌باشد. ۰/۵۹، ۱/۸ مترمکعب در ثانیه و ۲۷/۴ درصد بوده که

جدول ۳. مقادیر نهایی پارامترهای مدل‌های مختلف حاصل از کالیبراسیون مدل HEC-HMS

زیر حوضه	مدل ذخیره برگایی		مدل ذخیره سطحی		روش تبدیل بارش به رواناب کلارک	
	Initial Storage (%)	Max Storage (mm)	Initial Storage (%)	Max Storage (mm)	tc (hr)	R clark (hr)
۱	۰	۶	۰	۷	۴/۲۳	۳/۳۱
۲	۰	۵/۵	۰	۶/۳	۳/۲۳	۲/۸۲
۳	۰	۵	۰	۵/۵	۴/۱۹	۳/۱۸
۴	۰	۵/۲	۰	۴/۷	۲/۰۱	۲/۰۷
۵	۰	۴	۰	۵	۴/۳۳	۲/۳۵
۶	۰	۵/۳	۰	۸/۴	۷/۹۴	۴/۷۳

جدول ۴. مقادیر نهایی پارامترهای مدل تلفات SMA حاصل از کالیبراسیون مدل HEC-HMS

زیر حوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
Soil (%)	۶	۸	۷	۵	۴	۵/۵
Groundwater 1 (%)	۱۴	۱۲	۱۰	۱۵	۱۰	۱۶
Groundwater 2 (%)	۲۰	۲۲	۲۶	۱۹	۲۸	۲۰
Maximun Infiltration (mm/hr)	۵۵	۳۸	۴۳	۳۰	۱۹	۴۰
Impervious (%)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Soil Storage (mm)	۱۰۵	۱۱۰	۹۳	۸۷	۹۵	۱۱۲
Tension storage (mm)	۱۴	۱۷	۱۳	۱۱	۹	۱۰
Soil percolation (mm/hr)	۱۶	۱۸	۱۱	۹	۸	۱۰
Groundwater 1 storage (mm)	۱۲۶	۱۳۲	۱۱۱/۶	۱۰۴/۴	۱۱۴	۱۳۴/۴
Groundwater 1 percolation (mm/hr)	۳/۱	۳	۳/۲	۳	۳	۳/۵
GW 1 coefficient (hr)	۲۱۵۱	۱۶۳۲	۲۰۱۲	۹۴۳	۱۱۸۱	۳۲۶۷
Groundwater 2 storage (mm)	۱۳۲/۶	۱۴۵/۲	۱۲۲/۷۶	۱۱۴/۸۴	۱۲۵/۴	۱۴۷/۸۴
Groundwater 2 percolation (mm/hr)	۰/۰۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱۶	۰/۰۲	۰/۰۱۸
GW 2 coefficient (hr)	۴۳۰۱	۳۲۶۳	۴۰۲۴	۱۸۸۶	۲۳۶۲	۶۵۳۵

جدول ۵. مقادیر نهایی پارامترهای مدل روندیابی جریان ماسکینگام حاصل از کالیبراسیون مدل HEC-HMS

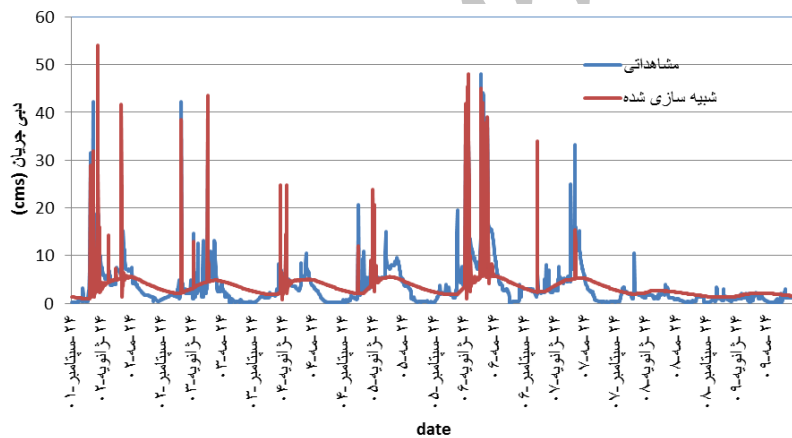
بازه	K (hr)	X	تعداد زیر بازه
R7	۰/۷۸	۰/۳۵	۱
R8	۲/۵۸	۰/۳۵	۱
R9	۰/۸۵	۰/۳۵	۱
R10	۳/۵	۰/۳۵	۱
R11	۲/۰۹	۰/۳۵	۱

جدول ۶. مقادیر نهایی پارامترهای مدل مخزن خطی حاصل از کالیبراسیون مدل HEC-HMS

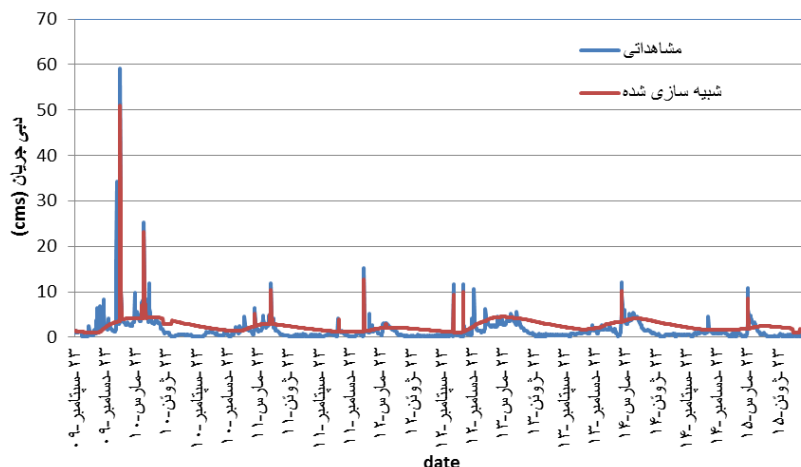
Subbasin	GW1 Initial (m3/s/km2)	GW1 coefficient (HR)	GW 1 reservoir	GW2 Initial (m3/s/km2)	GW2 coefficient (HR)	GW 2 reservoir
۱	۰/۰۰۴	۲۱۵۱	۱	۰/۰۰۱	۴۳۰۱	۱
۲	۰/۰۰۴	۱۶۳۲	۱	۰/۰۰۱	۳۲۶۳	۱
۳	۰/۰۰۴	۲۰۱۲	۱	۰/۰۰۱	۴۰۲۴	۱
۴	۰/۰۰۴	۹۴۳	۱	۰/۰۰۱	۱۸۸۶	۱
۵	۰/۰۰۴	۱۱۸۱	۱	۰/۰۰۱	۲۳۶۲	۱
۶	۰/۰۰۴	۳۲۶۷	۱	۰/۰۰۱	۶۵۳۵	۱

رواناب مستقیم می‌باشد. بطوری که بطور متوسط درصد سهم جریان پایه و رواناب مستقیم در رواناب کل خروجی از حوضه ابوالعباس به ترتیب ۹۰/۰۵ و ۹/۹۵ درصد می‌باشد. همچنین متوسط درصد ضریب رواناب در کل حوضه ابوالعباس در طول دوره ۱۴ ساله کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل برابر با ۶/۴ درصد می‌باشد.

جدول (۸) مقادیر حجم رواناب مستقیم، حجم جریان پایه، حجم رواناب کل برای هر زیرحوضه به ازای دوره کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر درصد رواناب مستقیم، درصد رواناب ناشی از جریان پایه، ضریب رواناب هر زیر حوضه در جدول (۸) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۸) می‌توان دریافت که در تمام زیرحوضه‌ها درصد رواناب ناشی از جریان پایه بیشتر از درصد



شکل ۴. مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در مرحله کالیبراسیون



شکل ۵. مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در مرحله صحت‌سنجی

جدول ۷. معیارهای آماری نیکوئی برازش برای دوره واسنجی و صحت سنجی مدل HEC-HMS

معیارهای آماری نیکوئی برازش	واسنجی	صحت سنجی
NS	۰/۶	۰/۵۹
RMSE	۳/۲	۱/۸
PTVE	۱۰/۹	۲۷/۴

جدول ۸. مقادیر حجم رواناب مستقیم، حجم جریان پایه، حجم رواناب کل برای هر زیرحوضه به ازای دوره کالیبراسیون و صحت‌سنجی

مدل HEC-HMS

زیرحوضه	مساحت (km ²)	بارش کل (mm)	حجم تلفات (mm)	حجم رواناب مستقیم (mm)	حجم جریان پایه (mm)	حجم رواناب کل (mm)	درصد رواناب مستقیم	درصد رواناب ناشی از جریان پایه	ضریب رواناب حوضه (%)	درصد سهم هر زیرحوضه در رواناب کل
۱	۶۸/۵۶	۸۴۰۹/۵۷	۷۶۷۶/۱۵	۶۰۹/۷۱	۴۸۵۱/۸۴	۵۴۶۱/۶	۱۱/۲	۸۸/۸	۷/۲۵	۲۶/۴۳
۲	۲۷/۳۵	۸۳۸۴/۶	۷۹۳۰/۳	۳۰۴/۹۷	۵۶۶۳/۲	۵۹۶۸/۲	۵/۱	۹۴/۹	۳/۶۴	۱۱/۵۲
۳	۳۶/۷۱	۷۶۱۸/۷	۶۸۱۷	۶۰۹/۱۷	۴۵۳۸/۱	۵۱۴۷/۳	۱۱/۸	۸۸/۲	۸	۱۳/۳۴
۴	۱۷/۶۱	۷۳۵۵/۱	۶۹۶۶/۳	۱۷۸/۶	۵۵۴۶/۵	۵۷۲۵/۱	۳/۱	۹۶/۹	۲/۴۳	۷/۱۲
۵	۳۹/۴۳	۶۸۰۲/۹	۶۵۱۷/۹	۸۴/۴۳	۴۵۹۶	۴۶۸۰/۴	۱/۸	۹۸/۲	۱/۲۴	۱۳/۰۳
۶	۸۵/۸۱	۷۶۶۸/۷	۶۶۴۰/۶	۷۰۱/۵۷	۴۰۱۷/۵	۴۷۱۹/۱	۱۴/۹	۸۵/۱	۹/۱۵	۲۸/۵۸

متفاوت می‌باشد. در زمان‌های همراه با وقوع بارش و چند روز بعد از آن، رواناب خروجی از حوضه عمدتاً به صورت سیلابهای با دبی زیاد و تداوم کم می‌باشد. ولی در اکثر روزهای سال که بارندگی وجود ندارد، رواناب خروجی بصورت جریان پایه با مقادیر دبی کم و با تداوم زیاد می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج تحقیق حاضر علاوه بر این به علت کارستی بودن سطح وسیعی از حوضه ابوالعباس با ضخامت زیاد، بخش قابل توجهی از بارش در خاک نفوذ کرده و به سفره آب زیرزمینی پیوسته و به تدریج در نقاط مختلف حوضه به صورت چشمه تخلیه می‌گردد. در نتیجه بخش ناچیزی از بارش به صورت رواناب مستقیم درآمده و ضریب رواناب حوضه بسیار کوچک است.

نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها

نتایج حاصل از شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه ابوالعباس نشان می‌دهد که مدل تلفات شمارش رطوبت خاک (SMA)، قابلیت و دقت قابل قبول جهت شبیه‌سازی پیوسته فرایند بارش-رواناب در حوضه‌های آبریز را دارد. با توجه به مقدار ضریب ناش-ساتکلایف، ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای حجم کل بین هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله صحت سنجی مدل به ترتیب برابر با ۰/۵۹، ۱/۸ مترمکعب در ثانیه و ۲۷/۳ درصد بوده که نشان‌دهنده کالیبراسیون مناسب مدل و قابل قبول بودن دقت مدل در

نتایج تحقیق Ghafari *et al.* (2013) در حوضه کارون نشان داد کارایی مدل HEC-HMS در تخمین مقادیر دبی کم بهتر بوده و بیشترین منبع خطای مدل در برآورد دبی‌های اوج بوده است. با توجه به نتایج این تحقیق و تحقیق حاضر علت آن این است که اولاً داده‌های موجود به صورت پیوسته و مستمر در هر روز شامل بارش، دبی جریان، دمای هوا و تبخیر و تعرق جهت شبیه‌سازی پیوسته فرایند بارش-رواناب در طول حداقل یک سال آبی به صورت روزانه هست. در حالی که پارامترهای زمانی برآورد شده در زیرحوضه‌ها شامل زمان تمرکز، زمان تأخیر و ضریب ذخیره کلارک به صورت 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. Masoomzadeh and Fathian (2016) با شبیه‌سازی پیوسته بارش-رواناب در حوضه دز دریافتند که سهم جریان پایه در رواناب کل حوضه نسبت به رواناب مستقیم خیلی بیشتر می‌باشد. بطوریکه متوسط درصد رواناب مستقیم و جریان پایه در رواناب کل به ترتیب برابر با ۲۲/۳ و ۷۷/۷ درصد می‌باشد. همچنین متوسط درصد ضریب رواناب در کل حوضه دز در طول دوره آماری برابر با ۱۸/۶ درصد می‌باشد. علت آن این است که تعداد روزهای بارندگی در هر سال کمتر از روزهای غیر بارندگی است. بنابراین رواناب خروجی از حوضه ناشی از دو مکانیسم

مستقیم است. بطوری که بطور متوسط درصد سهم جریان پایه و رواناب مستقیم در رواناب کل خروجی از حوضه ابوالعباس به ترتیب ۹۰/۰۵ و ۹/۹۵ درصد است. این مطلب بیانگر آن است که نقش آب‌های زیرزمینی در تأمین آورد رودخانه‌ها نسبت به رواناب مستقیم با اهمیت‌تر است.

REFERENCES

- Akhondali, A. and Kaboli A. (2009). Assessment of SCS hydrograph and Clark Model in Kasilian watershed, . In: Proceedings of *The fifth National Conference on Watershed science and engineering*, Karaj, Iran. (In Farsi)
- Akhondali, A., A.M. Zarei, H. Mohammadzadeh, H. and Radmanesh, F. (2013). Base Flow Separation Using 18O Stable Isotopes in Abolabas Karstic Basin-Khozestan Province. *Journal of Iran Water Research*. 8(15), 187-196.
- Ashouri, M. Khosroshahi, F. and Arhami, M. (2007). Investigation of rural development on runoff excess. In: Proceedings of *The sixth National Conference on Hydraulics Engineering*, Shahrekord. (In Farsi)
- Bennett T. 1998. Development and application of a continuous soil moisture accounting algorithm for the Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System "HEC-HMS". MS thesis. Dept. Of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, Calif.
- Ebrahimian, S. and Ghaderi, S.J. (2012). Evaluation and Calibration of the HEC-HMS/WMS model in Mahabad dam's basin. *Water and Irrigation Journal*. 16, 72-82. (In Farsi)
- Fathian, H. Ahmadpour, A. and Ghorshizadeh, F. (2017). Rainfall-Runoff continuous simulation in Maroon watershed using SMA by HEC-HM. In: Proceedings of *The Second International Conference on Hydrology*, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (In Farsi)
- Garmeh, R. Faridhoseini, A. (2015). Parameters optimization of rainfall-runoff HEC-HMS model by PSO, *Iran water and soil research Journal*, 46(2), 255—264. (In Farsi)
- Ghafari, M. Taheri Shahræeini, H. and Saghafian, B. (2013). Karoon daily flow Simulation using SMA in HEC-HMS model, *Iran Water Research journal*. 9(2), 1-5. (In Farsi)
- Ghafari, M. Saghafian, B. Taheri Shahræeni, H. and BagheriShoraki, S. (2009). Kroon watershed Flow simulation by HEC-HMS, In: Proceedings of *The National Conference on Water Resources Engineering*, Shahrood university. (In Farsi)
- Gumindoga, W. Rwasoka, D.T. Nhapi, I. Dube, T. (2016). Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Application of the HEC-HMS model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. In Press, Corrected Proof.
- Hydrologic Engineering Center (HEC), 2000, Hydrologic modeling system HEC-HMS: technical reference manual, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.
- Karimi, M. Malekinezhad, H. Abghari, H. and Azizian M. (2012). Assessment of different flood hydrograph by HEC-HMS. *Iran Water Research Journal*, 5(9), 29-38. (In Farsi)
- Khosroshahi, M. and Saghafian, B. (2005). Investigation of watershed flood index. *Jahad Reseach journal*, 59, 1-10. (In Farsi)
- Mahmoodian Shooshtari, M. Majdzadeh Tabatabaee, M. and Yousefi, A. (2002). Investigation of HEC-HMS model in River Engineering. In: Proceedings of *The sixth National Conference on River Engineering*, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (In Farsi)
- Masoomzadeh, S. and Fathian, H. (2016). Baseflow separation of total runoff in Dez watershed using HEC-HMS. In: Proceedings of *The Third International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban management*, AmirKabir Technical University, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Omidvar, K. and Ajhdarpour M. (2012). HEC-HMS and ANN model comparison in rainfall-runoff estimation in Azamharat watershed, *Geographical Research*, 27(4), 18620-18640. (In Farsi)
- Radmanesh, F. Pourhemmat, J. Behnia, A. and Akhondali, A. (2006). Calibration and validation of HEC-HMS model in Roode Zard watershed. In: Proceedings of *The seventh National Conference on River Engineering*, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (In Farsi)
- Razmkhah, H. Saghafian, B. _Mohammad Akhound Ali, A. and Radmanesh, F. (2016). Rainfall_Runoff Modeling Considering Soil Moisture Accounting Algorithm, Case Study: Karoon III River Basin Water Resources, 43(4), 699-710.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2000). *Urban Hydrology for Small Watersheds*, TR-55.
- Yaghobi, M. and Massah, A. (2014). Sensitivity analysis and comparison of capability of three conceptual models HEC-HMS, HBV and IHACRES in simulating continuous rainfall-runoff in semi-arid basins, *Earth and Space Physics Journal*, 40(2), 153-172. (In Farsi)