



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و ششم، شماره سوم، ۱۳۹۸  
۱۶۱-۱۷۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>  
DOI: 10.22069/jwsc.2019.15823.3105

## بررسی دقت مدل مفهومی HMS-SMA و مدل دو خطی سری زمانی در پیش‌بینی رواناب روزانه (مطالعه موردی: حوضه مارون ایستگاه هیدرومتری ایدنک)

عباس احمدپور<sup>۱</sup>، سید حسن میرهاشمی<sup>۲</sup> و \* پرویز حقیقت‌جو<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل،

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل،

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** پیش‌بینی رواناب به‌منظور بهره‌برداری مؤثر از مخازن کنترل سیل و سامانه‌های سیل بند خاکی ضروری می‌باشد. پیش‌بینی‌ها همچنین با برآورد زمان و محدوده خسارات مورد انتظار یا شرایط مخرب سیل، بهره‌برداری اضطراری را امکان‌پذیر می‌سازند. پیش‌بینی‌ها بر مبنای شرایط هواشناسی و هیدرولوژی اخیر در حوضه هستند و ممکن است شرایط هواشناسی پیش‌بینی‌شده در آینده را نیز شامل شوند. اگرچه اکثر کاربردها در زمینه پیش‌بینی سیل می‌باشد، پیش‌بینی رواناب ممکن است تأمین آب، انرژی برق‌آبی، نیازهای زیست‌محیطی و دیگر نیازهای بهره‌برداری را هم پشتیبانی نماید؛ بنابراین تاکنون روابط گوناگون و پیچیده‌ای برای پیش‌بینی میزان آبدهی رودخانه‌ها مانند انواع الگوهای مفهومی بارش- رواناب، الگوهای خطی سری زمانی و الگوی ترکیبی یا هیبرید ارائه شده است، ولی به‌دلیل عدم شناخت دقیق و نیز پیچیدگی عوامل مؤثر در آبدهی رودخانه‌ها در بسیاری از مواقع میزان مقادیر محاسبه شده از روابط گوناگون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشته‌اند. هدف از این پژوهش ارزیابی دقت مدل مفهومی HMS-SMA و مدل دوخطی در پیش‌بینی رواناب روزانه در حوضه مارون واقع در استان خوزستان می‌باشد. وجه تمایز این پژوهش با مطالعات پیشین داخلی تاکنون مقایسه این دو مدل در زمینه پیش‌بینی رواناب روزانه در مطالعات داخلی صورت نگرفته است.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش داده‌های شدت جریان روزانه رودخانه مارون به‌مدت ۱۷ سال طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۰ در ایستگاه آسنجی ایدنک در حوضه آبریز مارون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. همچنین 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 HMS-SMA معرفی شده است. از بین مدل‌های مختلف تبدیل بارش به رواناب در نرم‌افزار HEC-HMS، از مدل هیدروگراف واحد کلارک به‌دلیل کاربرد گسترده‌تر

\* مسئول مکاتبه: [phjou40@gmail.com](mailto:phjou40@gmail.com)

در حوضه‌های بزرگ و عملکرد قابل قبول آن استفاده شد. همچنین بنا بر مرور منابع انجام شده و توصیه‌های صورت گرفته مدل SMA از مدل جریان پایه مخزن خطی برای برآورد جریان پایه بهره گرفته شد. برای روندیابی سیل در طی بازه‌های 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 گرفته شده است. مدل‌های دوخطی توسط گرانکر و اندرسون معرفی شدند. مدل‌های دوخطی، در واقع بسط مرتبه دوم سری تیلور هستند. با توجه به این‌که داده‌های سری زمانی شدت جریان روزانه ایستگاه ایدنک دارای نایستایی در میانگین و واریانس می‌باشند بنابراین از روش‌های تفاضل‌گیری، تبدیل باکس-کاکس و تابع تبدیل رادیکالی به‌منظور ایستا کردن میانگین و واریانس سری استفاده شد.

**یافته‌ها:** با توجه به شکل‌های مختلف هیدروگراف در مرحله صحت‌سنجی و واسنجی می‌توان دریافت که مدل HMS-SMA در برآورد دبی جریان با مقادیر کم نسبت به دبی‌های اوج از دقت خوبی برخوردار است. با توجه به وجود نایستایی در میانگین و واریانس سری زمانی داده‌های دبی روزانه رودخانه مارون بنابراین با استفاده از روش تفاضل‌گیری به‌منظور ایستا شدن میانگین و از تابع تبدیل باکس-کاکس به‌منظور ایستا شدن واریانس استفاده گردید. سپس شروع به برازش مدل‌های دوخطی مختلف با مرتبه‌های مختلف شد. صحت‌سنجی مدل‌های دوخطی برازش یافته بر داده‌های دبی روزانه ایستگاه ایدنک با استفاده از آماره پورت مانو تأیید شده است. در نهایت مدل دوخطی  $BL(2,2,1,1)$  با داشتن کم‌ترین مقدار آماره آکائیک به‌عنوان مدل مناسب‌تر برگزیده شد و از آن برای مقایسه با مقادیر دبی جریان روزانه پیش‌بینی شده مدل HMS-SMA استفاده گردید.

**نتیجه‌گیری:** نگاه اجمالی به معیارهای ارزیابی مدل HMS-SMA و مدل دو خطی نشان می‌دهد که مدل  $BL(2,2,1,1)$  با مقادیر ضریب تعیین، مجموع مربعات باقی‌مانده و ریشه میانگین مربعات خطا، به‌ترتیب برابر با  $0/91$ ،  $8/9$ ،  $17/8$  به مناسب‌تر و از دقت زیاد در مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی روزانه حوضه مارون در مقایسه با مدل مفهومی HMS-SMA است. همچنین مشخص شد که در مدل‌های دوخطی با افزایش مرتبه میانگین متحرک توانایی و قابلیت پیش‌بینی جریان روزانه آن‌ها در حوضه مذکور ضعیف و نامناسب‌تر می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** آماره پورت مانو، پیش‌بینی رواناب، سری زمانی، مدل دوخطی، مدل HMS-SM

### مقدمه

اگرچه اکثر کاربردها در زمینه پیش‌بینی سیل می‌باشد، پیش‌بینی رواناب ممکن است تأمین آب، انرژی برق‌آبی، نیازهای زیست‌محیطی و دیگر نیازهای بهره‌برداری را پشتیبانی نماید. بنابراین در ادامه به پژوهش‌های انجام شده در زمینه پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها با مدل‌های سری زمانی و مدل هیدرولوژی HEC-HMS توسط پژوهشگران داخلی و خارجی پرداخته خواهد شد؛ که از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهش ناوه و همکاران (۲۰۱۲) به پیش‌بینی

پیش‌بینی رواناب به‌منظور بهره‌برداری مؤثر از مخازن کنترل سیل و سامانه‌های سیل بند خاکی ضروری می‌باشد. پیش‌بینی‌ها همچنین با برآورد زمان و محدوده خسارات مورد انتظار یا شرایط مخرب سیل، بهره‌برداری اضطراری را امکان‌پذیر می‌سازد. پیش‌بینی‌ها بر مبنای شرایط هواشناسی و هیدرولوژی اخیر در حوضه هستند و ممکن است شرایط هواشناسی پیش‌بینی شده در آینده را شامل شوند.

ضریب هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره کلارک و زمان تمرکز مهم‌ترین پارامترها برای شبیه‌سازی حداکثر سیلاب است (۱۵). گومیندوگا و همکاران (۲۰۱۶) مدل‌سازی بارش- رواناب را در ۱۰ زیرحوضه آبریز مختلف دارای آمار و بدون آمار رواناب (فاقد ایستگاه) با نرم‌افزار HEC-HMS در زیمبابوه بررسی نمودند. همچنین سهم هر یک از زیرحوضه‌های 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. (۸).

احمدی و همکاران (۲۰۱۵) به پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه باندوزچای با استفاده از مدل دوخطی سری زمانی و روش برنامه‌ریزی الگوریتم ژنتیک پرداختند در نهایت نتایج به‌دست آمده از دو الگو نشان‌دهنده برتری روش برنامه‌ریزی ژنتیک با خطا ۲/۲۹ درصد خطا نسبت به مدل دوخطی سری زمانی در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه باراندوز چای می‌باشد (۱).

طاهری‌تیزرو و همکاران (۲۰۱۶) با توجه به محدوده منطقه مطالعاتی حوضه پلرود فاقد آمار بوده، روش تلفات، SCS برای واسنجی سیلاب ساعتی به‌کار برده شد و همچنین برای مدل‌سازی بارش- رواناب پیوسته، نتایج قابل‌قبولی را ارائه داده است. هر دو روش تلفات SMA و SCS نتایج قابل‌قبولی را برای حوضه ارائه داده‌اند؛ بنابراین در مناطق فاقد آمار، مدل تلفیقی گزینه‌ای مناسب برای تهیه داده‌های هواشناسی می‌باشد. از سوی دیگر، با توجه به این‌که داده‌های مدل GLDAS در بازه‌های زمانی کوتاه، به‌روزرسانی می‌شوند این امر باعث بهبود داده‌های این مدل شده و در کل باعث اطمینان نتایج مدل تلفیقی می‌شود (۱۹).

خضریان نژاد و همکاران (۲۰۱۲) که به پیش‌بینی رواناب حوضه آبریز تیره با استفاده از پیش‌بینی کمی بارش خروجی مدل WRF پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر رواناب پیش‌بینی‌شده توسط مدل

جریان رودخانه با استفاده از مدل غیرخطی سری زمانی (دوخطی) در رودخانه‌های باراندوز و شهرچای ارومیه پرداختند و نشان دادند مدل غیرخطی (۱،۲،۱،۱) BL دارای خطای کم‌تر نسبت به مدل‌های ARIMA می‌باشد (۱۴). هاسانا و هرلینا (۲۰۱۳) برای پیش‌بینی سیلاب از مدل تابع انتقال استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل تابع انتقال نسبت به مدل سری زمانی ARIMA پیش‌بینی بهتری دارد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که سهم جریان پایه در رواناب کل حوضه نسبت به رواناب مستقیم خیلی بیش‌تر می‌باشد. به‌طوری‌که متوسط درصد رواناب مستقیم و جریان پایه در رواناب کل به‌ترتیب برابر با ۲۲/۳ و ۷۷/۷ درصد می‌باشد (۹). سینتایی (۲۰۱۵) 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 هیدروگراف خروجی حوضه داشته، همچنین توانایی مدل در دوره صحت‌سنجی و اعتبارسنجی تأیید شده است (۱۷).

سوپ و همکاران (۲۰۱۵) بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC HMS برای حوضه رودخانه ون با بهره‌گیری از الگوریتم تلفات SMA انجام دادند با در نظر گرفتن عملکرد مدل در شبیه‌سازی رواناب، پیشنهاد کردن که مدل HEC-HMS واسنجی‌شده را می‌توان برای پیش‌بینی رواناب حوضه رودخانه ون استفاده کرد همچنین نتایج حاصل توانایی مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی پیوسته جریان در دوره صحت‌سنجی و اعتبارسنجی را نشان داد (۱۸).

رزمخواه و همکاران (۲۰۱۶) با روش تلفات نفوذ SMA در مدل 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

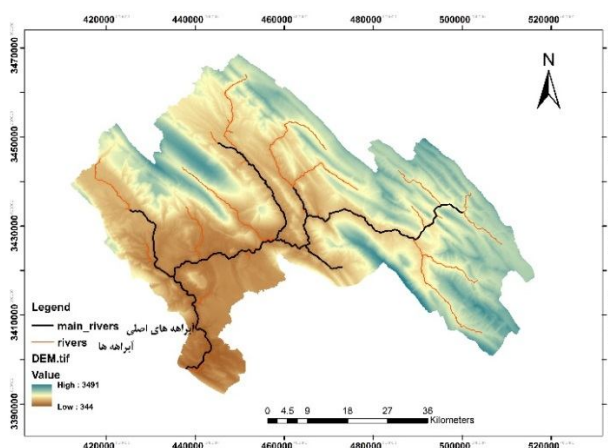
اریب منجر شود (۱۶). هدف از این پژوهش ارزیابی دقت مدل مفهومی HMS-SM و مدل دوخطی در پیش‌بینی رواناب روزانه در حوضه مارون می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**معرفی منطقه مورد مطالعه:** حوضه مارون با مساحت حدود ۳۸۲۴ کیلومترمربع در مختصات طول جغرافیایی ۴۹°۵۰' تا ۵۱°۱۰' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰°۳۰' تا ۳۱°۲۰' شمالی و در ارتفاعات شهرستان بهبهان در استان خوزستان واقع شده است. این حوضه آبریز مارون توسط حوضه‌های آبریز رودخانه‌های زهره و کارون در استان خوزستان و کهکیلویه و بویراحمد احاطه گردیده است. بخش عمده حوضه آبریز رودخانه مارون را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد. حوضه آبریز مارون تا محل سد مارون بر اساس توپوگرافی و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به چهار قسمت تقسیم شده و هر یک به‌عنوان یک زیر حوضه به مدل حوضه معرفی شده است. شکل ۱ نقشه شکل آبراهه‌ها در حوضه مارون را نشان می‌دهد. مشخصات آماری سری زمانی دبی روزانه ایستگاه ایدنک در جدول ۱ آورده شده است.

HEC-HMS کم‌تر از مقادیر رواناب مشاهده‌ای می‌باشد (۱۲).

نتایج پژوهش منیشتادوی و همکاران (۲۰۱۸) 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 ابوالعباس برخوردار می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که به‌علت کارستی بودن سطح وسیعی از حوضه، سهم جریان پایه در رواناب کل حوضه نسبت به رواناب مستقیم خیلی بیشتر است. به‌طوری‌که متوسط درصد رواناب مستقیم و جریان پایه در رواناب کل به‌ترتیب برابر با ۹/۰۵ و ۹۰/۹۵ درصد است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که به‌طور متوسط درصد ضریب رواناب در طول دوره آماری در کل حوضه ابوالعباس برابر با ۱۱ درصد است (۱۳). نتایج رضائزاد کشتلی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که از آن‌جا که حوزه آبخیز رودخانه اترک دارای دو بخش کوهستانی و دشت بوده و همچنین آب‌وهوای آن همواره در حال تغییر است، بنابراین توجه ویژه به تغییرات روند و تغییرات فصلی در ایستگاه‌های هیدرومتری این حوزه قبل از برازش یک الگوی سری زمانی و پیش‌بینی ضروری به‌نظر می‌رسد. در غیر این صورت تحلیل سری زمانی ممکن است به نتایجی



شکل ۱- شکل آبراهه‌ها در حوضه مارون.

Figure 1. The main rivers of maroon basin.

جدول ۱- مشخصات آماری سری زمانی دبی روزانه ایستگاه مارون.

Table 1. Geometric Properties of Sub-basins of Maroon Basin.

| نام ایستگاه<br>Station name | میانگین (متر)<br>Average<br>elevation (m) | حداکثر (متر)<br>Maximum<br>elevation (m) | حداقل (متر)<br>Minimum<br>elevation (m) | انحراف معیار<br>Standard<br>deviation | ضریب چولگی<br>Skew<br>coefficient |
|-----------------------------|---|--|---|---------------------------------------|-----------------------------------|
| ایدنک<br>Idanak             | 167                                       | 460                                      | 7                                       | 36                                    | 0.91                              |

تهیه می‌کند. پیش‌بینی‌های مشابه برای بقیه متغیرهای هواشناسی مانند دما نیز استفاده می‌شود. رواناب آینده بر مبنای شرایط هواشناسی پیش‌بینی شده شبیه‌سازی می‌شود. این دوره از زمان در آینده، دوره پیش‌بینی<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی فرایند بارش- رواناب، از مدل SMA که توانایی مدل‌سازی سیستم‌های هیدرولوژی را برای دوره‌های طولانی مدت به صورت پیوسته دارا می‌باشد بهره گرفته شد (۱۰). مدل SMA با استفاده از یک سری لایه‌های ذخیره‌کننده آب، حوضه آبریز را معرفی می‌نماید (۳). هنگامی که بارش صورت می‌گیرد اولین لایه‌ای که ظرفیت آن پر می‌گردد ذخیره برگابی است. دومین لایه ذخیره‌ای، ذخیره چلابی است و سپس نفوذ سطحی رخ می‌دهد بنابراین سومین لایه ذخیره، ذخیره پروفیل خاک می‌باشد. از بین مدل‌های مختلف تبدیل بارش به رواناب، مدل هیدروگراف واحد کلارک به دلیل استفاده عمومی‌تر در حوضه‌های بزرگ و عملکرد قابل قبول آن استفاده گردید. همچنین، بنا بر توصیه‌های صورت گرفته به همراه مدل SMA از مدل جریان پایه مخزن خطی برای برآورد جریان پایه بهره گرفته شد (۳). برای روندیابی هیدروگراف در بازه‌های 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 گرفته شده است (۳).

پیش‌بینی رواناب با مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS: مدل HEC-HMS یک مدل مفهومی نیمه‌توزیعی بوده که دارای قابلیت شبیه‌سازی تلفات و نفوذ، ذوب برف، روندیابی زیرحوضه‌ها و روندیابی شبکه رودخانه‌ها می‌باشد. در نسخه جدید این مدل، قابلیت پیش‌بینی جریان<sup>۱</sup> اضافه شده است. پیش‌بینی رواناب معمولاً شامل شبیه‌سازی شرایط گذشته و آینده می‌باشد. پیش‌بینی با انتخاب زمان پیش‌بینی شروع می‌شود. معمولاً زمان پیش‌بینی آخرین زمان موجود برای مشاهدات هواشناسی بارش، دمای هوا و بقیه متغیرها می‌باشد. اگر مشاهدات رواناب، اشل و رقوم سطح آب در مخزن موجود باشد، آخرین مقدار موجود عموماً نزدیک به زمان پیش‌بینی می‌باشد. شبیه‌سازی به صورت ساعتی یا روزانه قبل از زمان پیش‌بینی شروع می‌شود. در واقع مدل با فرض ثابت بودن شرایط هیدرولوژی و هواشناسی حوضه در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی شروع به شبیه‌سازی هیدروگراف در مرحله پیش‌بینی می‌نماید هنگامی که مشاهدات شرایط فعلی حوضه موجود باشد، با نتایج محاسبه شده در دوره پیش‌بینی مقایسه می‌شوند تا صحت پیش‌بینی انجام شده و عملکرد مدل را بهبود ببخشد. معمولاً مشاهدات هواشناسی بعد از زمان پیش‌بینی موجود نیستند و پیش‌بینی مقادیر آینده استفاده می‌شود. به عنوان مثال پیش‌بینی کمی بارش (QPF)، پیش‌بینی هواشناسی مقدار بارش آینده را

با توجه به مقدار ضریب  $\lambda$  داده‌های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری ایدنک که  $0/46$  در تبدیل باکس کاکس بود بنابراین به منظور تبدیل سری زمانی مذکور (دبی روزانه ایستگاه ایدنک) به حالت نرمال و پایداری در واریانس سری از تابع  $Y = \frac{1}{\sqrt{X_t}}$  استفاده شده که در آن  $X$  سری زمانی هیدرولوژی است. همچنین با توجه به وجود نالیستایی در میانگین سری زمانی دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری ایدنک بنابراین برای این منظور از تکنیک تفاضل‌گیری مرتبه دو جهت ایستایی میانگین سری زمانی دبی روزانه بهره گرفته شد در جدول ۲ توابع متداول باکس-کاکس با مقادیر ضریب لاندا که جهت نرمال‌سازی داده‌های هیدرولوژی و هواشناسی از آنها استفاده می‌گردد ارائه شده است (۴). در نهایت از تابع  $Z_t = \frac{Y_t - \bar{Y}}{SD}$  برای استانداردسازی سری نرمال استفاده شده است. که در آن  $Y$  سری زمانی نرمال شده روزانه،  $SD$  انحراف معیار روزهای موردنظر و  $\bar{y}$  میانگین روزهای موردنظر می‌باشد. با توجه به این‌که فرآیند جریان رودخانه اساساً تحت تأثیر عوامل اقلیمی بوده و به دلیل این‌که معمولاً سری‌های کوتاه‌مدت اقلیمی مانند سری‌های ماهانه و روزانه منشأ غیرخطی دارند. بنابراین در این پژوهش از میان مدل‌های مختلف سری زمانی مدل دوخطی جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی روزانه حوضه مارون استفاده شده است.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل: پارامترهای واسنجی برای هر زیرحوضه شامل ۱۴ پارامتر مربوط به مدل تلفات SMA شش پارامتر مربوط به مدل مخزن خطی و دو پارامتر مربوط به مدل تبدیل بارش به رواناب کلارک می‌باشد. پارامترهای واسنجی برای هر آبراهه شامل دو پارامتر مربوط به ضرایب  $X$  و  $K$  ماسکینگام می‌باشد. با توجه به این‌که تعداد زیرحوضه‌ها و آبراهه‌های حوضه مارون به ترتیب برابر با چهار و سه می‌باشد، عملیات واسنجی 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 در حوضه مارون عمل واسنجی مدل فقط در ایستگاه هیدرومتری ایدنک به صورت دستی با تصحیح مکرر پارامترها در هر بار اجرای مدل صورت گرفته است. همچنین برای مقایسه هیدروگراف مشاهداتی با هیدروگراف شبیه‌سازی شده در مراحل واسنجی؛ صحت‌سنجی و پیش‌بینی مدل، شاخص‌های نیکویی برازش مختلفی استفاده شد. این شاخص‌ها به دو گروه معیارهای گرافیکی و پارامترهای آماری سنجش خطا قابل تقسیم هستند. از دسته معیارهای گرافیکی می‌توان به ترسیم هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در کنار هم اشاره نمود. از شاخص‌های آماری سنجش خطا هم می‌توان به ضریب تعیین<sup>۱</sup>، ضریب ناش-ساتکلایف<sup>۲</sup>، درصد خطای حجمی کل<sup>۳</sup> و ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۴</sup> اشاره نمود.

مدل‌های سری زمانی: یکی از فرض‌های مدل‌های سری زمانی نرمال بودن و ایستا بودن داده‌ها می‌باشد.

- 1-  $R^2$
- 2- Nash-Sutcliffe (NS)
- 3- Percent of Total Volume Error (PTVE)
- 4- Root Mean Square Error (RMSE)

جدول ۲- تبدیلات توانی باکس- کاکس.

Table 2. Box - Cox transformation function.

| مقدار $\lambda$<br>Value $\lambda$ | تبدیل مناسب<br>Proper conversion |
|------------------------------------|----------------------------------|
| -1                                 | 1/Xt                             |
| 0.5                                | $1/\sqrt{X_t}$                   |
| 0                                  | Ln(Xt)                           |
| 0.5                                | $\sqrt{X_t}$                     |
| 1                                  | نیازی به تبدیل نیست              |

اصلی مدل دو- خطی، بسط مرتبه دوم سری تیلور است. شکل کلی مدل دو- خطی به صورت رابطه ۱ است:

$$Z_t = \sum_{i=1}^p (\phi_i \cdot Z_{t-i}) - \sum_{j=1}^q (\theta_j \cdot \varepsilon_{t-j}) + \sum_{i=0}^r \sum_{j=1}^s (\beta_{ij} \cdot Z_{t-i-j} \cdot \varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (1)$$

مقدار آکائیک کم‌تری داشته باشد، به عنوان مرتبه مدل انتخاب می‌شود. مقدار آکائیک اصلاح شده برای مراتب مختلف مدل از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (۲).

$$AICC(p, q) = n \ln(\hat{\sigma}_\varepsilon^2) + \frac{2(p+q+r+s)}{(n-p-q-r-s)} \quad (2)$$

که در آن، n تعداد داده‌های p مرتبه مدل خود همبسته، q مرتبه میانگین متحرک و واریانس خطاها  $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$  می‌باشد. با داشتن مرتبه‌های مدل دوخطی می‌توان از روش درست‌نمایی برای تخمین ضرایب مدل استفاده کرد. فرض می‌شود  $Z_1 \dots Z_t$  سری داده‌های مشاهداتی باشند که به حالت ایستا تبدیل شده‌اند. فرض می‌شود  $\theta = (\theta_1^T, \theta_2^T)^T$  که در آن:

$$\theta_1 = (b_1, \dots, b_q, a_1, \dots, a_q)^T \quad (3)$$

$$\theta_2 = (c_{11}, \dots, c_{1s}, c_{21}, \dots, c_{rs})^T \quad (4)$$

مدل‌های دو- خطی توسط گرانکر و اندرسون (۱۹۷۸) معرفی شد (۷). در واقع مدل‌های خطی سری زمانی بسط مرتبه اول سری‌های تیلور می‌باشند. ایده

که در آن،  $Z_t$  سری زمانی موردنظر و  $p, q, r, s$  اعداد صحیح مثبت می‌باشند که مرتبه مدل دو- خطی را نشان می‌دهند. مدل فوق در برخی منابع مانند فان و یائو (۲۰۰۳) به صورت مدل  $BL(p, q, r, s)$  نمایش داده شده است (۵).  $\theta, \beta, \phi$  ضرایب مدل دوخطی می‌باشند.  $\varepsilon_t$  سری تصادفی نرمال و استاندارد می‌باشد. مدل دو- خطی در واقع همان مدل ARMA خطی بسط داده شده می‌باشد که عبارت غیرخطی  $\sum_{i=0}^r \sum_{j=1}^s (\beta_{ij} \cdot Z_{t-i-j} \cdot \varepsilon_{t-j})$  اضافه شده است. در این عبارت حاصل ضرب دو متغیر  $Z_{t-i-j}, \varepsilon_{t-j}$  که هر دو نسبت به زمان متغیر هستند؛ باعث خارج شدن معادله از حالت خطی شده و مدل غیرخطی شده است. در برازش مدل دو- خطی دو مرحله وجود دارد؛ یکی تعیین مرتبه‌های مدل  $(p, q, r, s)$  و دیگری تخمین ضرایب  $\beta, \phi, \theta$  می‌باشد. تعیین مرتبه‌های مدل با استفاده از روش آکائیک اصلاح شده انجام می‌گیرد. هر مرتبه که

که در آن، S+ مقادیر مثبت انحراف از میانگین سری، S- مقادیر منفی انحراف از میانگین سری که به صورت تجمعی محاسبه شده باشد. مقادیر ضریب هرست برابر با ۰/۵ برای سری زمانی نشان‌دهنده یک سری مستقل نرمال می‌باشد. هرچه این ضریب از ۰/۵ بیش‌تر باشد نشان‌دهنده این مطلب است که حافظه بلندمدت در سری زمانی بیش‌تر است بدین معنی که نیازی برای تطویل اطلاعات سری نمی‌باشد (۱۱).

**معیارهای آماری ارزیابی مدل‌ها:** برای مقایسه و ارزیابی دقت مدل‌های دو-خطی در برآورد دبی روزانه و مدل HMS-SMA از شاخص‌های آماری سنجش خطا استفاده شد. از مهم‌ترین معیارهای آماری سنجش خطا می‌توان به مجموع مربعات باقی‌مانده، میانگین قدرمطلق، ریشه میانگین مربعات، میانگین انحراف خطا و ضریب تعیین اشاره کرد که به ترتیب در رابطه‌های ۸ تا ۱۲ آمده است.

$$R.SS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n-1}} \quad (8)$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |S_i - O_i|}{n} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (10)$$

$$MSD = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n} \quad (11)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \quad (12)$$

می‌توان تابع لگاریتم درست نمایی را به صورت رابطه ۵ نوشت (۵).

$$L(\theta, \sigma^2) = -\frac{n-p}{2} \log \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=p+1}^T \hat{\varepsilon}_t(\theta)^2 \quad (5)$$

که در آن،  $p' = \max\{p, r\}$  و مقادیر  $\hat{\varepsilon}_{p'}(\theta), \hat{\varepsilon}_{p'+1}(\theta)$  با در نظر گرفتن شرایط  $q' = \max\{q, r\}$  با استفاده از مدل عمومی دو-خطی قابل محاسبه خواهند بود. در کنار روش‌های نموداری یک آزمون مفید برای آزمون نکویی برازش مدل آزمون پورت مانتو<sup>۱</sup> است. این آزمون از خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها برای بررسی فرضیه صفر توأم  $H_0: P_1 = P_2 = \dots = P_K = 0$  استفاده می‌کند که شکل کلی آن به صورت رابطه ۶ است:

$$Q = n \sum_{k=1}^L r_k^2(\varepsilon_t) \quad (6)$$

که در آن، n تعداد داده‌ها، L حداکثر تأخیر در نظر گرفته شده،  $r_k$  ضریب همبستگی در تأخیر kام و  $\varepsilon_t$  سری باقی‌مانده مدل می‌باشد. این آماره آزمون، آماره Q اصلاح شده یا همان LBQ<sup>۲</sup> است و تحت فرض  $H_0$  تقریباً دارای توزیع  $\chi_{k-m}^2$  است. m تعداد پارامترهای برآورد شده در مدل می‌باشد. هرگاه مقدار آماره Q از مقدار متناظر جدول کی‌دو بیش‌تر باشد فرضیه  $H_0$  رد می‌شود.

**آزمون کفایت داده‌ها:** یکی از روش‌ها برای آزمون کفایت طول داده‌ها استفاده از ضریب هرست<sup>۳</sup> است. ضریب هرست یک آماره برای سنجش کفایت اطلاعات به لحاظ طول دوره آماری است. ضریب هرست از رابطه ۷ به دست می‌آید:

$$R = S^+ - S^- \quad (7)$$

- 
- 1- Porte Manteau
  - 2- Ljung-Box
  - 3- Hurst coefficient

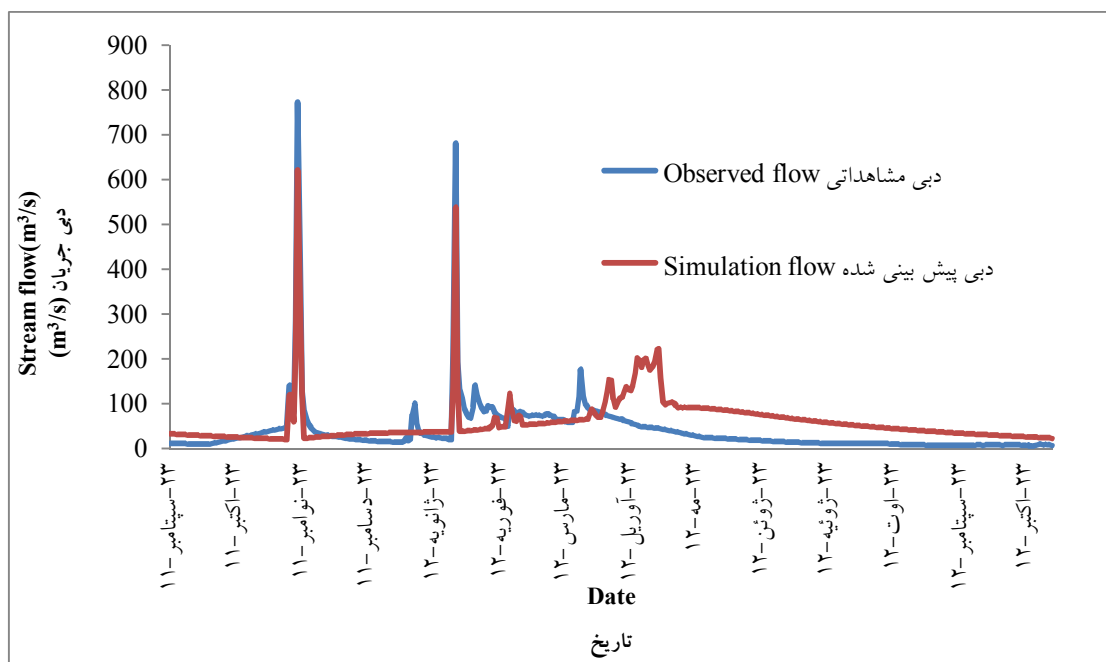


اوج شدید است. همچنین نتایج پژوهش غفوری در حوضه کارون نشان داد که کارایی مدل HMS-SMA در تخمین مقادیر دبی کم بهتر بوده و بیشترین خطای مدل در برآورد دبی‌های اوج بوده است (۶). با توجه به جدول ۳ درصد خطای حجمی کل بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی مدل برابر با ۲۳/۱- درصد بوده که بیانگر کم‌برآورد بودن مدل در برآورد حجم کل رواناب ولی با دقت نسب تا قابل قبول می‌باشد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطا بین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی مدل برابر با ۵۱/۱ مترمکعب در ثانیه می‌باشد که بیانگر دقت خوب مدل در شبیه‌سازی بارش- رواناب می‌باشد. مقدار ضریب ناش- ساتکلیف برای مرحله واسنجی مدل ۰/۷۴ به دست آمده که قابل قبول است. مقدار ضریب ناش- ساتکلیف، ریشه میانگین مربعات خطا بین هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله صحت‌سنجی مدل به ترتیب برابر با ۰/۷۱ و ۴۸/۵ مترمکعب در ثانیه بوده که نشان‌دهنده واسنجی مناسب مدل و قابل قبول بودن دقت مدل در شبیه‌سازی بارش- رواناب در حوضه مارون می‌باشد. علاوه بر این با توجه به شکل ۲ می‌توان دریافت که تغییرات مقادیر هیدروگراف رواناب پیش‌بینی شده نسبتاً مناسب می‌باشد. ضمناً با توجه به درصد خطای حجمی کل بین هیدروگراف مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده برابر با ۱۸/۳- درصد در دوره پیش‌بینی، می‌توان دریافت که مقادیر رواناب پیش‌بینی شده کم‌تر از مقادیر مشاهده‌ای متناظر با آن می‌باشد.

که در آن،  $n$  برابر با تعداد داده‌های دبی روزانه،  $O_i$  مقدار دبی روزانه اندازه‌گیری شده،  $\bar{O}$  دبی میانگین روزانه اندازه‌گیری شده و  $S_i$  مقدار دبی روزانه برآورده شده در گام زمانی  $t$ ام و کوواریانس بین مقادیر دبی روزانه اندازه‌گیری شده و مقدار دبی روزانه برآورده شده می‌باشد.

### نتایج و بحث

جهت واسنجی مدل HMS-SMA و مدل‌های دو- خطی سری زمانی از داده‌های دبی روزانه سال ۱۳۷۴/۷/۱ تا ۱۳۸۵/۶/۳۱ و جهت صحت‌سنجی مدل از داده‌های سال ۱۳۸۵/۷/۱ تا ۱۳۹۰/۶/۳۱ و همچنین از داده‌های سال ۱۳۹۰/۷/۱ تا ۱۳۹۱/۸/۱۴ جهت پیش‌بینی رواناب روزانه مارون استفاده شد. همچنین مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب در مراحل واسنجی، صحت‌سنجی و پیش‌بینی مدل HMS-SMA نشان می‌دهد که مدل HMS-SMA برآورد دبی جریان با مقادیر کم و پایه نسبت به دبی‌های اوج از دقت خوبی برخوردار بود. 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 فرآیند بارش- رواناب در طول حداقل یک سال آبی به صورت روزانه می‌باشد 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



شکل ۲- مقایسه هیدروگراف رواناب مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده با مدل HMS-SMA.

Figure 2. Comparison predicted and observed hydrograph with HMS-SMA model.

جدول ۳- معیارهای آماری نیکویی برازش برای دوره واسنجی، صحت‌سنجی و پیش‌بینی با مدل HMS-SMA.

Table 3. Model performance in terms of goodness-of-fit indices for the calibration, validation and forecasting Periods with HMS-SMA model.

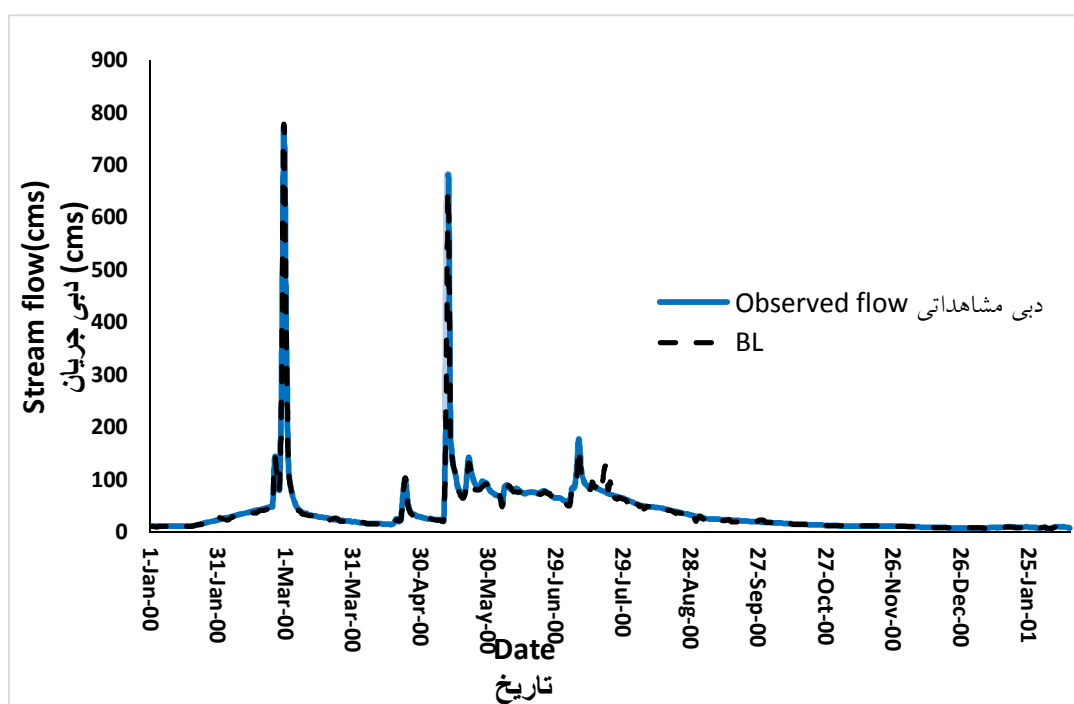
| پیش‌بینی<br>Prediction | صحت‌سنجی<br>Validation | واسنجی<br>Calibration | معیارهای آماری<br>Statistical criteria |
|------------------------|------------------------|-----------------------|--|
| 0.67                   | 0.69                   | 0.72                  | R <sup>2</sup>                         |
| 0.69                   | 0.71                   | 0.74                  | NS                                     |
| -18.3                  | -21.6                  | -23.1                 | PTVE (%)                               |
| 34.2                   | 48.5                   | 51.1                  | RMSE (cms)                             |

این با توجه به اهمیت کیفیت داده‌ها در مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی هیدرولوژیکی برای این منظور از آزمون هرست بهره گرفته شده و با توجه به این که مقدار این آماره هرست محاسبه شده  $r=1/56$  می‌باشد. بنابراین می‌توان از کیفیت داده‌ها اطمینان حاصل کرده و از آن‌ها جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی آبی در حوضه مذکور بهره گرفت. همچنین در شکل ۳ هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با  $BL(2,2,1,1)$  در مرحله پیش‌بینی شده ارائه گردید. در

همچنین با توجه به اهمیت پیش‌بینی جریان و ماهیت غیرخطی (پیچیده) حاکم بر جریان رودخانه‌ها همان‌طور که پیش از این گفته شد در این پژوهش از مدل سری زمانی دوخطی موسوم به دوخطی که در مقایسه با مدل‌های خطی سازگاری بیشتر با جریان رودخانه‌ها دارد جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی جریان روزانه حوضه مارون بهره گرفته شد. همچنین در برازش مدل‌های دوخطی سعی شد که اصل امساک یا به‌کار بردن پارامترهای کم‌تر رعایت شود. علاوه بر

با داشتن کم‌ترین AIC معادل ۸۸۹/۸۷ به‌عنوان مدل برتر که در این مدل  $\beta=0.028$  و  $f_1=0.791$ .  $f_2=0.981$  و  $\theta_1=-0.4531$  و  $\theta_2=0.1.938$  می‌باشد (جدول ۴). همچنین معیارهای عددی ارزیابی مدل مفهومی HMS-SMA و مدل BL(2,2,1,1) در جدول ۵ ارائه شده است.

شکل ۴ نمودار منحنی پراکندگی مقادیر مشاهداتی دبی روزانه در برابر مقادیر محاسباتی آن توسط هر دو مدل BL(2,2,1,1) و HMS-SMA ارائه شده است. با توجه به نتایج آزمون نیکوئی برازش مدل‌های دوخطی در سطح معنی‌دار ۰/۹۵ درصد به روش پورت مانتو از بین مدل‌های دوخطی مدل BL(2,2,1,1)



شکل ۳- مقایسه هیدروگراف رواناب مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده با مدل BI(2.2.1.1).

Figure 3. Comparison predicted and observed hydrograph with BI(2.2.1.1).

جدول ۴- نتایج آزمون نیکوئی برازش مدل‌های دوخطی در سطح معنی‌دار ۰/۹۵ درصد به روش پورت مانتو.

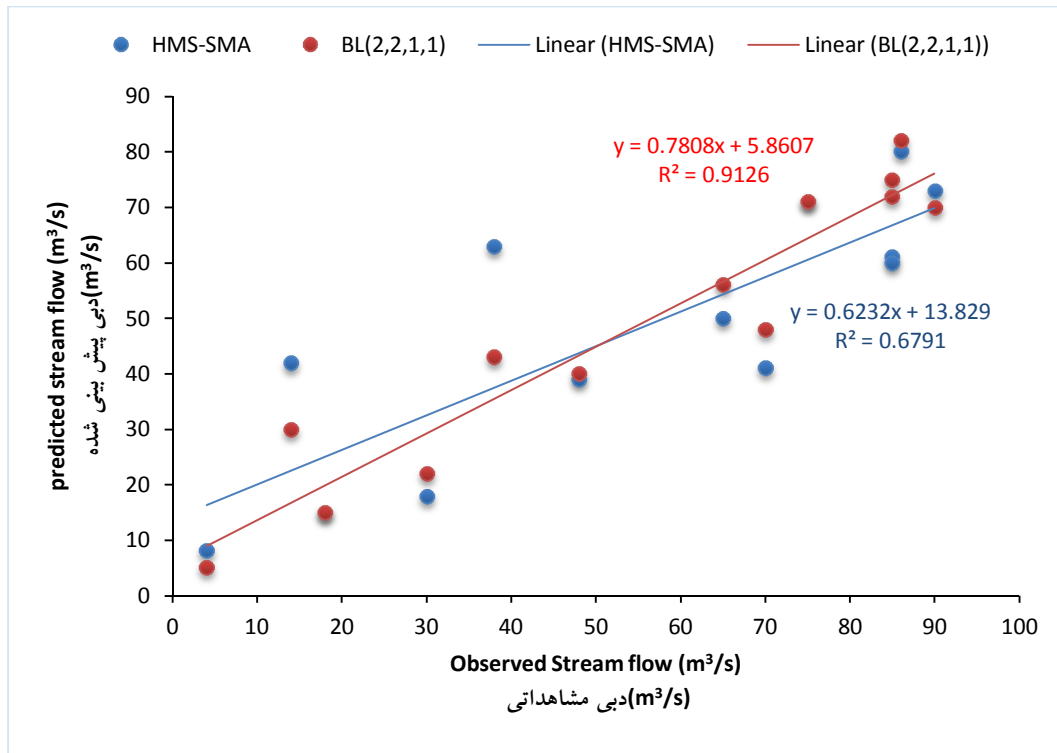
Table 4. Goodness-of-fittest results of bilinear models at a significant level of 0.95% using the Portemanteau statistic.

| نتیجه آزمون<br>Test result | مقدار کای اسکور جدول<br>Square table value | آزمون Q<br>Test Q | تاخیر (روزانه)<br>Lag time | تعداد داده<br>Number of data | مدل<br>Model |
|----------------------------|--|-------------------|----------------------------|------------------------------|--------------|
| قابل قبول<br>acceptable    | 55   | 46                | 40                         | 580                          | BL(2,2,1,1)  |
| قابل قبول<br>acceptable    | 58   | 52                | 40                         | 580                          | BL(1,7,1,1)  |
| قابل قبول<br>acceptable    | 61   | 59                | 40                         | 580                          | BL(1,5,1,1)  |

جدول ۵- معیارهای عددی ارزیابی مدل HMS-SMA و مدل دوخطی BL(2,2,1,1) درپیش‌بینی جریان روزانه ایستگاه ایدناک.

Table 5. Numerical Criteria for Assessing the HMS-SMA Model and the BL Bilinear (2,8,1,1) Model at Daily Flow the Idanak Station.

| Model       | RSS  | MAD  | MSD   | RMSE(m <sup>3</sup> /s) | R <sup>2</sup> |
|-------------|------|------|-------|-------------------------|----------------|
| HMS-SMA     | 12.6 | 1.85 | 14.8  | 29.4                    | 0.67           |
| BL(2,2,1,1) | 8.91 | 0.85 | 11.87 | 17.8                    | 0.91           |



شکل ۴- منحنی پراکندگی داده‌های دبی جریان روزانه مشاهده‌ای در برابر مقادیر دبی جریان روزانه محاسبه‌شده با مدل BL(2,2,1,1) و HMS-SMA.

Figure 4. Scatter curve between daily observed and predicted streamflow with HMS-SMA and BL(2,2,1,1) model.

روزانه در حوضه مارون بهره گرفته شد. نتایج شبیه‌سازی بارش- رواناب با مدل HMS-SMA نشان می‌دهد که مدل HMS-SMA در برآورد دبی جریان با مقادیر کم و پایه نسبت به دبی‌های اوج از دقت خوبی برخوردار است. همچنین با توجه به مقدار ضریب ناش- ساتکلایف و ریشه میانگین مربعات خطا بین هیدروگراف مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده می‌توان دریافت که دقت مدل HMS-SMA

### نتیجه‌گیری کلی

پیش‌بینی جریان رودخانه با توجه به اهمیت آن در تحلیل خشک‌سالی و سیلاب، طراحی تأسیسات آبی، آبیگری از رودخانه‌ها برنامه‌ریزی بهره‌برداری از مخازن سدها، کنترل فرسایش و رسوب رودخانه‌ها و غیره از گذشته مورد توجه مهندسان آب بوده است در این پژوهش از مدل هیدرولوژی مفهومی HMS-SMA و مدل سری زمانی دوخطی جهت پیش‌بینی جریان

گردید. نگاه اجمالی به معیارهای ارزیابی دو مدل HMS-SMA و مدل دوخطی در جدول ۴ نشان می‌دهد که مدل  $BL(2,2,1,1)$  با مقادیر ضریب تعیین، مجموع مربعات باقی‌مانده و ریشه میانگین مربعات، به ترتیب  $0/91$ ،  $8/9$ ،  $17/8$  به مدل برتر و از دقت بالا در مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی روزانه حوضه مارون در مقایسه با مدل مفهومی HMS-SMA برخوردار می‌باشد. همچنین، مشخص شد که مدل‌های دوخطی با افزایش مرتبه میانگین متحرک توانایی و قابلیت پیش‌بینی جریان روزانه آن‌ها در حوضه مذکور ضعیف و نامناسب‌تر می‌گردد.

در پیش‌بینی رواناب در حوضه مارون قابل قبول می‌باشد. علاوه بر این با توجه به درصد خطای حجمی کل بین هیدروگراف مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده برابر در دوره پیش‌بینی، می‌توان دریافت که مقادیر رواناب پیش‌بینی شده کم‌تر از مقادیر مشاهده‌ای متناظر با آن می‌باشد. همچنین صحت مدل‌های دوخطی برازش‌یافته بر داده‌های دبی روزانه ایستگاه ایدنک با استفاده از آماره پورت مانتو تأیید شده است. در نهایت مدل دوخطی  $BL(2,2,1,1)$  با داشتن کم‌ترین مقدار اکایکه به‌عنوان مدل برتر برگزیده و از آن جهت مقایسه با مقادیر دبی جریان روزانه پیش‌بینی شده مدل HMS-SMA استفاده

#### منابع

- Ahmadi, F., Dinpashoh, Y., Fakheri Fard, A., Khalili, K., and Darbandi, S. 2015. Comparing nonlinear time series models and genetic programming for daily river flow forecasting (Case study: Barandouz-Chai River). *J. Water Soil Cons.* 22: 1. 151-169. (In Persian)
- Akaike, H. 1974. A new look at statistical model Identification. *IEEE. Transaction on Automatic Control* AC-19, 716-723.
- Bennett, T. 1998. M.Sc. thesis, Development and application of a continuous soil moisture accounting algorithm for the Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Univ. of California, Davis, Calif.
- Bozorgnia, A. 1999. Time Series Analysis using Minitab. Sokhan Gostar pub, 99p.
- Fan, J., and Yao, Z. 2003. Nonlinear Time Series, Nonparametric and Parametric Methods. Springer-Verlag New York, Inc. 550p.
- Ghafouri, M.R., Taheri Sharaini, H., and Saghafian, B. 2013. Modeling Daily Flow of Karoun River using SMA Model. *J. Water Resour. Res.* 9: 2. 73-77. (In Persian)
- Granger, C.W.J., and Andersen, A.P. 1978. An Introduction to Bilinear Time Series Models. Vandenhoeck and Ruprecht: Gottingen. North Holland Publishing Company Press. 94p.
- Gumindoga, W., Rwasoka, D.T., Nhapi, I., and Dube, T. 2017. Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Application of the HEC-HMS model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.* 100: 371-382.
- Hasanah, Y., and Herlina, M. 2013. Flood Prediction using Transfer Function Model of Rainfall and Water Discharge Approach in Katulampa Dam. *Proceedings environment sciences*, 17: 0. 317-326.
- Hydrologic Engineering Center (HEC). 2000. Hydrologic modeling system HEC-HMS: technical reference manual, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif. 138p.
- Karamouz, M., and Araghinejad, Sh. 2005. Advanced Hydrology. Industrial University of Amir Kabir pub, 468p. (In Persian)
- Khezrianejad, N., Hajjam, S., Mirzaei, A., and Meshkavati, A.H. 2012. Prediction of Runoff in Tireh Basin using WRF Model. *J. Climatol. Res.* 1391: 12. 63-75. (In Persian)

13. Maneshdavi, A., Nikbakht Shahbazi, A.R., and Fathian, H. 2018. Rainfall-runoff continuous simulation in Abolabbas watershed using SMA by HEC-HMS. Iran. J. Soil Water Res. 49: 2. 317-327. (In Persian)
14. Naveh, H., Khalili, K., Aalami, M.T., and Behmanesh, J. 2012. Prediction of Streamflow using Bilinear Time Series Models (Case study: Barandouz Chai and Shahr Chai River). J. Water Soil Food Indus. Sci. 26: 5. 1299-1307. (In Persian)
15. 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.
16. Rezaezhad Keshteli, M., Babanezhad, M., and Amini, A. 2016. Fitting the seasonal time series model to the rivers discharge in time domain (Case study: Atrak River). Short Technical Report, J. Water Soil Cons. 22: 6. 307-315. (In Persian)
17. Sintayehu, L.G. 2015. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation of upper blue Nile River Basin. Hydrol Current Res. 6: 2. 1-8.
18. Sup, M.S., Taley, S.M., and Kale, M.U. 2015. Rainfall - Runoff modeling using HEC HMS for Wan River Basin. International Journal of Research in Engineering Science and Technologies. 1: 8. 20-28.
19. Taheri Tizro, A., Pakdel Khasmakhi, H., Marofi, S., and Vazifedoust, M. 2016. Integrated HEC-HMS and GLDAS models to runoff estimate of ungauged area. J. Water Soil Cons. 23: 4. 101-118. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(3), 2019*

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.15823.3105

## **Evaluation of the accuracy of HMS-SMA and bilinear time series models in predicting daily runoff (Case study: Idenak station at Maroun basin)**

**A. Ahmadpour<sup>1</sup>, S.H. Mirhashemi<sup>2</sup> and \*P. Haghightjou<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate of Water Resources Engineering, Faculty of Soil and Water, University of Zabol,

<sup>2</sup>Ph.D. Graduate of Irrigation and Drainage, Faculty of Soil and Water, University of Zabol,

<sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Soil and Water, University of Zabol

Received: 11.03.2018; Accepted: 03.06.2019

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Prediction of runoff in order to effective operation of flood control reservoirs and earth flood walls is essential. Predictions also make possible emergency operation of reservoirs by estimating time of floods occurrence and expected damages. Predictions are based on recent meteorological and hydrological conditions of the basin and may include future conditions. Although, most of applications are for flood prediction, these may support water supply, hydroelectric requirements, environmental needs and other requirements for operation. Thus, various complex relations and models such as conceptual rainfall-runoff, linear time series and hybrid models are developed. However, because of the lack of precise knowledge and the complexity of the factors affecting the discharge of rivers, in many cases, the amount of calculated values from different relationships has been significantly different. The objective of this research is assessment of precision of HMS-SMA conceptual model and bilinear model in prediction of daily runoff of Maroun basin located in Khouzestan province of Iran. The distinction between the current study and previous studies is that the comparison of the HEC-HMS and bilinear time series models has not been considered so far to predict daily runoff in Iran.

**Materials and Methods:** In the current study, daily discharge data of Maroun river for 17 years (1995-2011) at Idenak hydrometric station located in Maroun basin were analyzed. Maroun basin to upstream of Maroun dam according to topography and location of hydrometric stations was divided to four sub-basins and each of the sub-basins were introduced to HMS-SMA conceptual model independently. Amongst different convert rainfall-runoff models in HEC-HMS conceptual model, Clark's unit hydrograph was used because of its applicability and acceptable performance in large basins. Furthermore, according to literature review and suggestions, SMA model of linear reservoir base flow was used for estimating the base flow. Flood routing in various reaches were performed by Muskingum method. Additionally, due to possibility of snowfall in the basin, for modeling of snow melt, index temperature method was used. Bilinear models were introduced by Granger and Anderson. In fact, bilinear models are extension of second order Taylor series. Considering the non-persistence of mean and variance of time series of discharge of Idenak station, the differentiation methods, Box-Cox transformation and radical function transformation were used to stabilize the mean and data series.

**Results:** Considering various hydrograph shapes in verification and calibration processes, it is evident that HMS-SMA model has a good precision in estimating low flows compare than high flows. The differentiation method and the Box-Cox transformation were used for stabilizing the

---

\* Corresponding Author; Email: [phjou40@gmail.com](mailto:phjou40@gmail.com)

mean and variance, respectively. Then various bilinear models with various orders were fitted to time series data. Verification of the fitted bilinear models to daily discharges of Idenak station was achieved by portemanteau statistic. Finally, bilinear model in the form of BL (2,2,1,1) with the least Akaike criterion was selected as the best model and was applied for comparing to the predicted daily discharges by the HMS-SMA model.

**Conclusion:** An overview of assessment criteria of the HMS-SMA and bilinear models showed that bilinear model in the form of BL (2,2,1,1) with a coefficient of determination, sum of residual errors and mean square root of errors equal to 0.91, 8.9 and 17.8 respectively, is the best model with high precision in modeling and prediction of daily discharges of Maroun basin compare to HMS-SMA model. Furthermore, it is concluded that by increasing order of moving average in bilinear models, their ability for predicting daily discharges decreases.

**Keywords:** Bilinear model, HMS-SMA model, Portemanteau statistic, Prediction of runoff, Time series