Arch

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[۱]، سید حسن میرهاشمی[۲] و *پرویز حقیقت‌جو[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل،
[۲]دانش‌آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل،
[۳]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 ارائه‌شده 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 ۱۳۷٤ تا ۱۳۹۰ در ایستگاه آبسنجی ایدنک در حوضه آبریز مارون مورد تجزیه‌وتحلیل 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 معرفی‌شده 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

www.SID.ir

Archive of SID

در حوضه‌های بزرگ و عملکرد قابل‌قبول آن استفاده شد. همچنین بنا بر مرور منابع انجام‌شده 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 براین 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 ناایستایی 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 ناایستایی 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 مانتو 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 پیش‌بینی‌شده 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 ۰/۹۱، ۸/۹، ۱۷/۸ 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 درحوضه مذکور ضعیف و نامناسب‌تر می‌گردد.

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

مقدمه

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 پیش‌بینی‌شده در آینده را 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 پشتیبانی نماید. بنابراین در ادامه به پژوهش‌های انجام‌شده 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

www.SID.ir

Archive of SID

جریان رودخانه با استفاده از مدل غیرخطی سری زمانی (دوخطی) در رودخانه‌های باراندوز و شهرچای ارومیه پرداختند و نشان دادند مدل غیرخطی BL (۱،۲،۱،۱) دارای خطای کم‌تر نسبت به مدل‌های ARIMA می‌باشد (۱٤). 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). سینتایهی (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 (۲۰۱٦) 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 ضریب هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره کلارک و زمان تمرکز مهم‌ترین پارامترها برای شبیه‌سازی حداکثر سیلاب است (۱۵). گومیندوگا و همکاران (۲۰۱٦) 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 بااندوزچای 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 (۲۰۱٦) 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

www.SID.ir

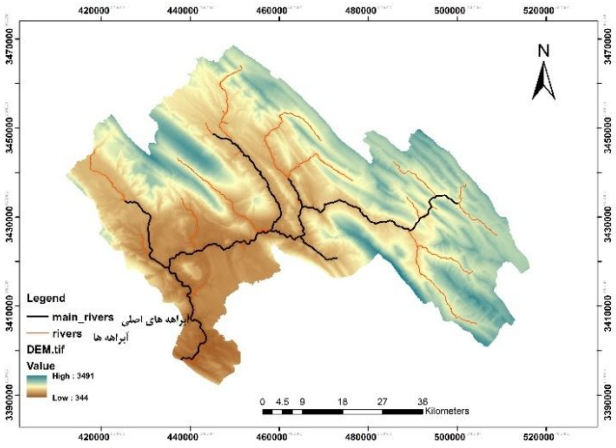
Archive of SID

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

نتایج پژوهش منیشداوی 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 رضانژاد 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 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 ۳۸۲٤ 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 تقسیم‌شده و هر یک به‌عنوان یک زیر حوضه به مدل حوضه معرفی‌شده 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.



شکل ۱- شکل آبراهه‌ها در حوضه مارون.

Figure 1. The main rivers of maroon basin.

www.SID.ir

Archive of SID

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

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

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

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[1] 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 به‌صورت 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 می‌نمایید هنگامی‌که مشاهدات شرایط فعلی حوضه موجود باشد، با نتایج محاسبه‌شده در دوره پیش‌بینی مقایسه می‌شوند تا صحت پیش‌بینی انجام‌شده و عملکرد مدل را بهبود ببخشد. معمولاً مشاهدات هواشناسی بعد از زمان پیش‌بینی موجود نیستند و پیش‌بینی مقادیر آینده استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال پیش‌بینی کمی بارش (QPF)، پیش‌بینی هواشناسی مقدار بارش آینده را تهیه می‌کند. پیش‌بینی‌های مشابه برای بقیه متغیرهای هواشناسی مانند دما نیز استفاده می‌شود. رواناب آینده بر مبنای شرایط هواشناسی پیش‌بینی‌شده شبیه‌سازی می‌شود. این دوره از زمان در آینده، دوره پیش‌بینی[2] نامیده می‌شود. در این پژوهش به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی فرایند بارش- رواناب، از مدول SMA که توانایی مدل‌سازی سیستم‌های هیدرولوژی را برای دوره‌های طولانی‌مدت به‌صورت پیوسته دارا می‌باشد بهره گرفته شد (۱۰). مدل SMA با استفاده از یک سری لایه‌های ذخیره‌کننده آب، حوضه آبریز را معرفی می‌نماید (۳). هنگامی‌که بارش صورت می‌گیرد اولین لایه‌ای که ظرفیت آن پر می‌گردد ذخیره برگابی است. دومین لایه ذخیره‌ای، ذخیره چالابی 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 به‌دلیل استفاده عمومی‌تر در حوضه‌های بزرگ و عملکرد قابل‌قبول 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).

1- Prediction streamflow

2- Forecast time

www.SID.ir

Archive of SID

واسنجی و صحت‌سنجی مدل: پارامترهای واسنجی برای هر زیرحوضه شامل ۱٤ 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 به‌ترتیب برابر با چهار و سه می‌باشد، عملیات واسنجی مدل می‌تواند به‌صورت دستی و با استفاده از قضاوت مهندسی به روش سعی و خطا و یا به‌صورت خودکار توسط مدل انجام گیرد در حوضه مارون عمل واسنجی مدل فقط در ایستگاه هیدرومتری ایدنک به‌صورت دستی با تصحیح مکرر پارامترها در هر بار اجرای مدل صورت گرفته است. همچنین برای مقایسه هیدروگراف مشاهداتی با هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده 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 شبیه‌سازی‌شده در کنار هم اشاره نمود. از شاخص‌های آماری سنجش خطا هم می‌توان به ضریب تعیین[1]، ضریب ناش- ساتکلایف[2]، درصد خطای حجمی کل[3] و ریشه میانگین مربعات خطا[4] اشاره نمود.

مدل‌های سری زمانی: یکی از فرض‌های مدل‌های سری زمانی نرمال بودن و ایستا بودن داده‌ها می‌باشد. با توجه به مقدار ضریب λ داده‌های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری ایدنک که ۰/٤٦ در تبدیل باکس کاکس بود بنابراین به‌منظور 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 ناایستایی 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 (٤). 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 تحت‌تأثیر عوامل اقلیمی بوده و به‌دلیل 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.

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

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- تبدیلات توانی باکس- کاکس.

Table 2. Box - Cox transformation function.

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

مدل‌های دو- خطی توسط گرانکر و اندرسون (۱۹۷۸) معرفی شد (۷). در واقع مدل‌های خطی سری زمانی بسط مرتبه اول سری‌های تیلور می‌باشند. ایده اصلی مدل دو- خطی، بسط مرتبه دوم سری تیلور است. شکل کلی مدل دو- خطی به‌صورت رابطه ۱ است:

$$Z_t = \sum_{i=1}^{p}(\phi_i . Z_{t-i}) - \sum_{j=1}^{q}(\theta_j . \varepsilon_{t-j}) + \sum_{i=0}^{r}\sum_{j=1}^{s}(\beta_{ij} . Z_{t-i-j}.\varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t \qquad (۱)$$

که در آن، Z_t سری زمانی موردنظر و p ، q ، r و s اعداد صحیح مثبت می‌باشند که مرتبه مدل دو- خطی را نشان می‌دهند. مدل فوق در برخی منابع مانند فان و یائو (۲۰۰۳) به‌صورت مدل $BL(p,q,r,s)$ نمایش داده شده است (۵). θ ، β و ϕ ضرایب مدل دوخطی می‌باشند. ε_t سری تصادفی نرمال و استاندارد می‌باشد. مدل دو- خطی در واقع همان مدل ARMA خطی بسط داده‌شده می‌باشد که عبارت غیرخطی $\sum_{i=0}^{r}\sum_{j=1}^{s}(\beta_{ij} . Z_{t-i-j}.\varepsilon_{t-j})$ به‌سمت راست آن اضافه شده است. در این عبارت حاصل‌ضرب 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 β,φ,θ می‌باشد. تعیین مرتبه‌های مدل با استفاده از روش آکائیک اصلاح‌شده انجام می‌گیرد. هر مرتبه که مقدار آکائیک کم‌تری داشته باشد، به‌عنوان مرتبه مدل انتخاب می‌شود. مقدار آکائیک اصلاح‌شده برای مراتب مختلف مدل از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (۲).

$$AICC(p,q) = nln(\hat{\sigma}_\varepsilon^2) + \frac{2(p+q+r+s)}{(n-p-q-r-s)} \qquad (۲)$$

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 $\theta = (\theta_1^\tau, \theta_2^\tau)^\tau$ که در آن:

$$\theta_1 = (b_1,\dots b_q, a_1,\dots a_q)^\tau \qquad (۳)$$

$$\theta_2 = (c_{11},\dots c_{1s}, c_{21},\dots c_{rs})^\tau \qquad (۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

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

$$L(\theta,\sigma^2) = -\frac{n-\dot{p}}{2} log\sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2}\sum_{t=\dot{p}+1}^{T} \hat{\varepsilon}_t(\theta)^2 \quad (۵)$$

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 مانتئو[1] است. این آزمون از خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها برای بررسی فرضیه صفر توأم H0:P1=P2=….=PK=0 استفاده می‌کند که شکل کلی آن به‌صورت رابطه ٦ است:

$$Q = n\sum_{k=1}^{L} r_k^2(\varepsilon_t) \quad (٦)$$

که در آن، n تعداد داده‌ها، L حداکثر تأخیر در نظر گرفته‌شده، r_k ضریب همبستگی در تأخیر kام و ε_t سری باقی‌مانده مدل می‌باشد. این آماره آزمون، آماره Q اصلاح‌شده یا همان LBQ[2] است و تحت فرض H0 تقریباً دارای توزیع χ^2_{k-m} است. m تعداد پارامترهای برآوردشده در مدل می‌باشد. هرگاه مقدار آماره Q از مقدار متناظر جدول کی‌دو بیش‌تر باشد فرضیه H0 رد می‌شود.

آزمون کفایت داده‌ها: یکی از روش‌ها برای آزمودن کفایت طول داده‌ها استفاده از ضریب هرست[3] است. ضریب هرست یک آماره برای سنجش کفایت اطلاعات به لحاظ طول دوره آماری است. ضریب هرست از رابطه ۷ به‌دست می‌آید:

$$R = S^+ - S^- \quad (۷)$$

که در آن، +S مقادیر مثبت انحراف از میانگین سری، -S مقادیر منفی انحراف از میانگین سری که به‌صورت تجمعی محاسبه‌شده 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 به‌ترتیب در رابطه‌های ۸ تا ۱۲ آمده است.

$$R.SS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}{n-1}} \quad (۸)$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n}|S_i - O_i|}{n} \quad (۹)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}{n}} \quad (۱۰)$$

$$MSD = \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}{n} \quad (۱۱)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \bar{O}\right)^2}} \quad (۱۲)$$

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

www.SID.ir

Archive of SID

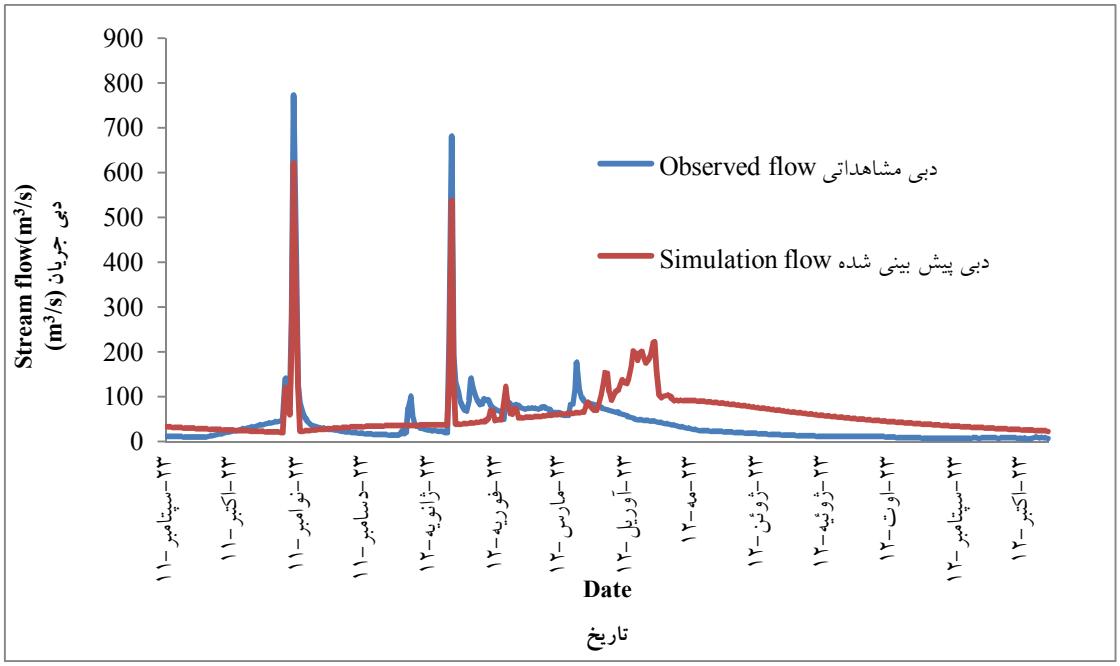
که در آن، n برابر با تعداد داده‌های دبی روزانه، O_i مقدار دبی روزانه اندازه‌گیری‌شده، $\bar{O}$ دبی میانگین روزانه اندازه‌گیری‌شده و S_i مقدار دبی روزانه برآورده شده در گام زمانی iام و کوواریانس بین مقادیر دبی روزانه اندازه‌گیری‌شده و مقدار دبی روزانه برآورده شده می‌باشد.

نتایج و بحث

جهت واسنجی مدل HMS-SMA و مدل‌های دو- خطی سری زمانی از داده‌های دبی روزانه سال ۱۳۷٤/۷/۱ تا ۱۳۸۵/٦/۳۱ و جهت صحت‌سنجی مدل از داده‌های سال ۱۳۸۵/۷/۱ تا ۱۳۹۰/٦/۳۱ و همچنین از داده‌های سال ۱۳۹۰/۷/۱ تا ۱۳۹۱/۸/۱٤ جهت پیش‌بینی رواناب روزانه مارون استفاده شد. همچنین مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده به‌ترتیب در مراحل واسنجی، صحت‌سنجی و پیش‌بینی 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 بود. علت آن این است که اولاً داده‌های موجود به‌صورت پیوسته و مستمر در هر روز شامل بارش، دبی جریان، دمای هوا و تبخیروتعرق جهت شبیه‌سازی پیوسته فرآیند بارش- رواناب در طول حداقل یک سال آبی به‌صورت روزانه می‌باشد در حالی‌که پارامترهای زمانی برآوردشده در زیرحوضه‌ها شامل زمان تمرکز، زمان تأخیر و ضریب ذخیره کلارک به‌صورت ساعتی است. ثانیاً هیدروگراف جریان در ایستگاه هیدرومتری در طول یک سال آبی در اکثر روزهای سال به‌صورت جریان پایه با مقادیر دبی کم و با تعداد کم مقادیر جریان سیلابی با دبی 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 (٦). با توجه به جدول ۳ درصد خطای حجمی کل بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده 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 قابل‌قبول می‌باشد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطا بین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده 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- ساتکلایف برای مرحله واسنجی مدل ۰/۷٤ به‌دست آمده که قابل‌قبول است. مقدار ضریب ناش- ساتکلیف، ریشه میانگین مربعات خطا بین هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در مرحله صحت‌سنجی مدل به‌ترتیب برابر با ۰/۷۱ و ٤۸/۵ مترمکعب در ثانیه بوده که نشان‌دهنده واسنجی مناسب مدل و قابل‌قبول 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 پیش‌بینی‌شده نسبتاً مناسب می‌باشد. ضمناً با توجه به درصد خطای حجمی کل بین هیدروگراف مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده برابر با ۱۸/۳- درصد در دوره پیش‌بینی، می‌توان دریافت که مقادیر رواناب پیش‌بینی‌شده کم‌تر از مقادیر مشاهده‌ای متناظر با آن می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقایسه هیدروگراف رواناب مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده با مدل HMS-SMS.

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

جدول ۳- معیارهای آماری نیکوئی 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.

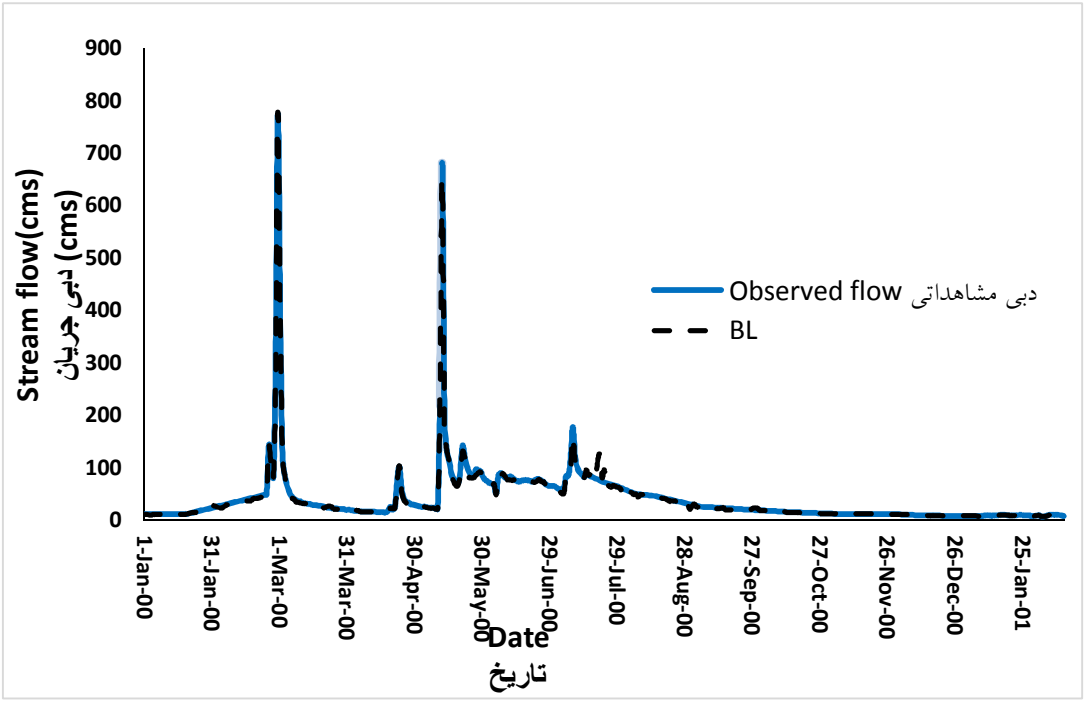
پیش‌بینی Prediction	صحت‌سنجی Validation	واسنجی Calibration	معیارهای آماری Statistical criteria
0.67	0.69	0.72	R^2
0.69	0.71	0.74	NS
-18.3	-21.6	-23.1	PTVE (%)
34.2	48.5	51.1	RMSE (cms)

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 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 این‌که مقدار این آماره هرست محاسبه‌شده r=۱/۵۶ می‌باشد. بنابراین می‌توان از کیفیت داده‌ها اطمینان حاصل کرده و از آن‌ها جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی آتی در حوضه مذکور بهره گرفت. همچنین در شکل ۳ هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی با BL(2,2,1,1) در مرحله پیش‌بینی‌شده ارائه گردید. در

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ٤ 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 مانتئو از بین مدل‌های دوخطی مدل BL(2,2,1,1) با داشتن کم‌ترین AIC معادل ۸۸۹/۸۷ به‌عنوان مدل برتر که در این مدل β=0.028 و f_1=0.791 . f_2 = 0.981 و θ_1=-0.4531 و θ_2=0.1.938 می‌باشد (جدول ٤). همچنین معیارهای عددی ارزیابی مدل مفهومی HMS-SMA و مدل BL(2,2,1,1) در جدول ٥ ارائه شده است.



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

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

جدول ٤- نتایج آزمون نیکوئی برازش مدل‌های دوخطی در سطح معنی‌دار ۰/۹۵ درصد به روش پورت مانتئو.

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

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

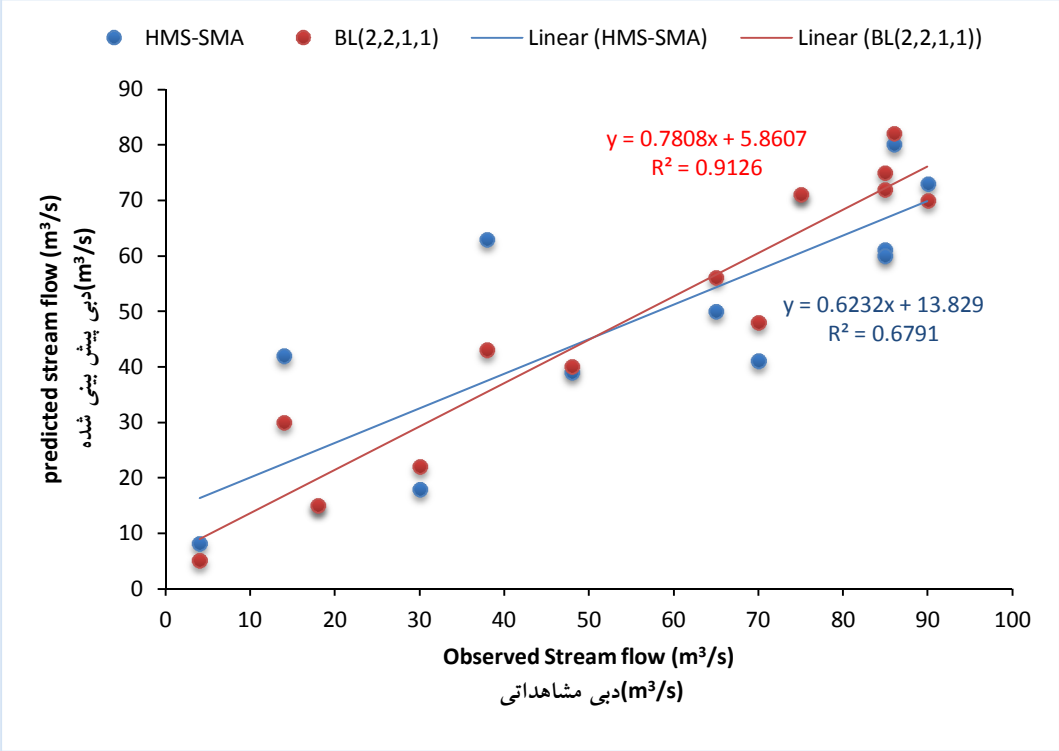
www.SID.ir

Archive of SID

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

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^3/s)	R^2
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 ٤- منحنی پراکندگی داده‌های دبی جریان روزانه مشاهداتی در برابر مقادیر دبی جریان روزانه محاسبه‌شده با مدل BL(2,2,1,1) و HMS-SMA.

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

نتیجه‌گیری کلی

پیش‌بینی جریان رودخانه با توجه به اهمیت آن در تحلیل خشک‌سالی و سیلاب، طراحی تأسیسات آبی، آبگیری 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 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 پیش‌بینی‌شده می‌توان دریافت که دقت مدل HMS-SMA

www.SID.ir

Archive of SID

در پیش‌بینی رواناب در حوضه مارون قابل‌قبول می‌باشد. علاوه بر این با توجه به درصد خطای حجمی کل بین هیدروگراف مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده برابر در دوره پیش‌بینی، می‌توان دریافت که مقادیر رواناب پیش‌بینی‌شده کم‌تر از مقادیر مشاهده‌ای متناظر با آن می‌باشد. همچنین صحت مدل‌های دوخطی برازش‌یافته بر داده‌های دبی روزانه ایستگاه ایدنک با استفاده از آماره پورت مانتئو 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 پیش‌بینی‌شده مدل HMS-SMA استفاده گردید. نگاه اجمالی به معیارهای ارزیابی دو مدل HMS-SMA و مدل دوخطی در جدول ٤ نشان می‌دهد که مدل BL(2,2,1,1) با مقادیر ضریب تعین، مجموع مربعات باقی‌مانده و ریشه میانگین مربعات، به‌ترتیب ۰/۹۱، ۸/۹، ۱۷/۸ 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.

منابع

1. 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)
2. Akaike, H. 1974. A new look at statistical model Identification. IEEE. Transaction on Automatic Control AC-19,716-723.
3. 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.
4. Bozorgnia, A. 1999. Time Series Analysis using Minitab. Sokhan Gostar pub, 99p.
5. Fan, J., and Yao, Z. 2003. Nonlinear Time Series, Nonparametric and Parametric Methods. Springer-Verlag New York, Inc. 550p.
6. 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)
7. Granger, C.W.J., and Andersen, A.P. 1978. An Introduction to Bilinear Time Series Models. Vandenhoek and Ruprecht: Gottingen. North Holland Publishing Company Press. 94p.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Karamouz, M., and Araghinejad, Sh. 2005. Advanced Hydrology. Industrial University of Amir Kabir pub, 468p. (In Persian)
12. Khezriannejad, 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)

www.SID.ir

Archive of SID

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. Rezanezhad 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)

www.SID.ir

Archive of SID

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[1], S.H. Mirhashemi[2] and *P. Haghightjou[3]
[1]M.Sc. Graduate of Water Resources Engineering, Faculty of Soil and Water, University of Zabol,
[2]Ph.D. Graduate of Irrigation and Drainage, Faculty of Soil and Water, University of Zabol,
[3]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

www.SID.ir

Archive of SID

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

www.SID.ir