تخمین جریان رودخانه‌ای در حوزه‌های بالادست سد مخزنی بوکان با استفاده از متغیرهای اقلیمی دما و بارش

حسین خیرفام[۱]، مهدی وفاخواه[۲*] و صالح حسینی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۹/۲۰

چکیده

تخمین متغیرهای هیدرولوژیکی از نظر ایمنی سازه‌های هیدرولیکی و تاسیسات، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب‌های سطحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. جریان رودخانه‌ای یکی از متغیرهای مهم هیدرولوژیکی است که اندازه‌گیری آن دارای محدودیت‌های مختلفی می‌باشد. به همین دلیل استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی با به‌کارگیری متغیرهای قابل دسترس و اندازه‌گیری آسان می‌تواند رویکردی مهم و ضروری باشد. این تحقیق درصدد بررسی امکان استفاده از متغیرهای اقلیمی قابل دسترس (بارش و دما) به‌منظور تخمین دبی در مقیاس سالانه و فصلی می‌باشد. برای انجام این تحقیق از داده‌های بارش، دما و دبی حوزه‌های بالادست سد مخزنی بوکان به مدت ۱۶ سال بین سال‌های آماری ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۷ استفاده گردید. مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره و گام به گام در مقیاس زمانی سالانه و فصلی برای هر یک از حوزه‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS17 تهیه، و واسنجی و اعتبارسنجی هر یک از مدل‌ها صورت پذیرفت. به منظور ارزیابی مدل‌ها از معیارهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا، خطای نسبی و ضریب کارایی استفاده گردید. بررسی نتایج نشان داد که اکثر مدل‌های تهیه شده در حد قابل قبولی بوده و رگرسیون گام به گام نتایج بهتری نسبت به رگرسیون چندمتغیره ارائه داده است. همچنین محدوده‌ی خطای نسبی در مقیاس سالانه از ۲۰/۹۶ تا ۴۴/۶۹ درصد و در مقیاس فصلی از ۲۲/۸۰ تا ۸۱/۱۱ درصد تغییر می‌کند. تغییرات مجذور میانگین مربعات خطا در مقیاس سالانه از ۰/۳۷ تا ۷/۳۷ و در مقیاس فصلی از ۰/۰۵تا ۷/۵۳ می‌باشد و مقدار ضریب کارایی مدل‌های تهیه شده نیز در مقیاس سالانه از ۰/۷ تا ۰/۹۴ و در مقیاس فصلی از ۰/۳۱ تا ۰/۹۲ متغیر می‌باشد. نسبت تاثیرگذاری بارش روی دبی در فصل تابستان بر خلاف سایر فصول بسیار کم می‌باشد که استفاده از مدل سالانه جهت تخمین دبی فصل تابستان نتایج قابل قبولی ارائه نخواهد داد. هم‌چنین با افزایش مساحت حوزه دقت مدل‌ها در تخمین دبی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: جریان رودخانه‌ای، سد مخزنی بوکان، متغیرهای اقلیمی، مدل رگرسیونی.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرّس، رایانامه:h.kheirfam@yahoo.com
[۲*] نویسنده مسئول و استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی دانشگاه تربیت مدرّس، رایانامه:vafakhah@modares.ac.ir
[۳] دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران- آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد و مدیر امور آب شهرستان میاندوآب.

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت و محدودیت منابع آب سطحی در کشور، تعیین و تخمین متغیرهای هیدرولوژیکی از نظر ایمنی سازه‌های هیدرولیکی و تاسیسات، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب‌های سطحی را امری اجتناب‌پذیر می‌نماید (لیتل وود و همکاران، ۲۰۰۷؛ پرویز و همکاران، ۱۳۸۸). جریان رودخانه‌ای یکی از متغیرهای مهم هیدرولوژیکی است که اندازه‌گیری آن دارای محدودیت‌های مختلفی می‌باشد که استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی با به‌کارگیری متغیرهای قابل دسترس و اندازه‌گیری آسان می‌تواند رویکردی مهم و ضروری باشد (دستورانی، ۱۳۸۶؛ خیرفام و صادقی، ۱۳۹۱). با توجه به کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری در حوزه‌های کوچک یا بالادست، توسعه‌ی آزمون‌هایی که بتواند آبدهی جریان را در مقیاس زمانی مورد نیاز و در مکان دلخواه برآورد نماید از موارد ضروری است که به بهبود اطلاعات مورد نیاز برای اهداف مدیریتی مرتبط با منابع آب منجر می‌گردد. مدل‌ها و روابط متعددی برای تخمین جریان ارائه گردیده است، لیکن در مناطق مختلف نتایج مشابهی ارائه نمی‌دهند، بنابراین ارائه مدل‌های هیدرولوژیک برای هر منطقه بر اساس خصوصیات و شرایط جوی حاکم در قالب تحلیل‌های هیدرومتئولوژی ضروری است (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴). در حوزه‌هایی که ایستگاه سنجش دبی وجود دارد، آمار و اطلاعات مربوطه کمک مؤثری در تحلیل داده‌ها و تعیین مقادیر دبی جریان خواهد داشت. ولی به دلیل محدودیت، امکان اندازه‌گیری دبی جریان در زمان و مکان و عدم گسترش و ایجاد وسیع ایستگاه‌های هیدرومتری و عدم اندازه‌گیری مستمر، استفاده از مدل‌ها می‌تواند ابزاری مناسب و قابل اعتماد برای پیش‌بینی و تخمین جریان باشد که در نهایت به تصمیم‌گیری مناسب در مدیریت منابع آب سطحی کمک خواهد نمود (بوون و همکاران، ۲۰۰۱). از آن‌جا که در حوزه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز برای بررسی عکس العمل حوزه میسر نمی‌باشد لذا ارائه مدلی که بتواند در عین سادگی، با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز و قابل دسترس، پیش‌بینی با دقت قابل قبولی را ارائه کند امری ضروری به نظر می‌رسد (شریفی و همکاران، ۱۳۸۳). مدلسازی منطقه‌ای جریان رودخانه‌ای از دو دهه‌ی پیش در مطالعات و تحقیقات منابع آب شروع شده و به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (لوگان و تانگ، ۱۹۸۵). در این روش با استفاده از آمار ایستگاه‌ها و ویژگی‌های حوزه آبخیز بالادست مدل‌هایی ارائه می‌شود که به کمک آن در هر نقطه از حوزه که فاقد آمار و اطلاعات هیدرومتری باشد، می‌توان میزان دبی جریان را به‌دست آورد (توکلی و رستمی‌نیا، ۱۳۸۵). در مدل‌سازی منطقه‌ای جریان رودخانه‌ای عوامل فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی عوامل موثر می‌باشند و بارش، مساحت و طول آبراهه‌ی اصلی مهمترین عوامل می‌باشند (تلوری و اسلامی۲۰۰۲؛ صلواتی و همکاران، ۱۳۸۹). البته علاوه بر بارش که اصلی‌ترین عامل ایجاد روانآب است، می‌توان از سایر متغیرهای اقلیمی از قبیل تبخیر و دما نام برد که روی مقدار و تغییرات جریان رودخانه‌ای تاثیرگذار می‌باشند. تبخیر علاوه بر کاهش مقدار روانآب سطحی، مقدار رطوبت بارش پیشین در خاک را کاهش داده و ظرفیت نفوذ خاک را برای بارش بعدی بالا برده و باعث کاهش روانآب حاصل از بارش می‌شود. استفاده از متغیر دما به عنوان جایگزین متغیر تبخیر در مدل‌های هیدرولوژیکی در مواردی به کار برده شده است. از جمله از این مدل‌ها می‌توان از مدل بارش-روانآب IHACRES (کروک و همکاران، ۲۰۰۵) را نام برد. استفاده از مدل‌های رگرسیونی و هم‌چنین استفاده از متغیرهای اقلیمی برای تخمین روانآب توسط محققین متعددی صورت پذیرفته است. هس (۱۹۹۳) برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب ایالت جورجیای آمریکا با استفاده از آمار ۴۲۶ ایستگاه، رگرسیون خطی چند متغیره بین متغیرهای فیزیکی و اقلیمی حوزه، به منظور برآورد دبی سیلابی حوزه، ارائه دادند و مساحت را عامل مهم موثر بر دبی سیلابی معرفی کردند. جیانگ و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای میزان تغییرات روانآب سالانه در حوزه‌ی آبخیز رود زرد را با استفاده از رگرسیون چند متغیره با اجزای پیش‌گویی کننده بارش و دمای هوا بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که مقادیر دبی دارای ارتباط معناداری با دمای هوا می‌باشد به نحوی که مقدار روانآب با افزایش پنج درجه دمای هوا ده درصد افزایش می‌یابد. یه (۲۰۰۷) از مدل شبکه عصبی و رگرسیون برای تخمین دبی جریان استفاده کردند و نتایج رضایت بخشی گرفتند. مقایسه‌ی نتایج حاکی از دقت تخمین بالای شبکه‌ی عصبی نسبت به مدل رگرسیونی بود. ژو و دی (۲۰۰۹) ارتباط جریان‌های

رودخانه‌ای، زیرزمینی و رواناب را در پنسیلوانیا با مدل رگرسیونی بررسی کردند و به ضریب تبیین بالای ۰/۹۴ دست یافتند. نوری و همکاران (۲۰۱۰) نیز با استفاده از شبکه عصبی و رگرسیون اقدام به تخمین جریان رودخانه‌ای صوفی‌چای تبریز نمودند و شبکه عصبی را به عنوان مدل با دقت بیشتر انتخاب کردند. مطالعات برک سلیک اوغلو و کرم سیگیز اوغلو (۲۰۰۷) نیز برتری شبکه عصبی به رگرسیون را برای تخمین جریان رودخانه‌ای در استانبول تایید کردند. در ایران نیزدر زمینه‌ی تخمین جریان رودخانه‌ای کمالی و همکاران (۱۳۸۵) به‌منظور تخمین جریان ورودی به سد شهید عباسپور از مدل SARIMA استفاده کردند و نتایج را قابل قبول دانستند. توکلی و رستم‌نیا (۱۳۸۵)، به منظور ارائه‌ی مدل منطقه‌ای سیلاب در استان ایلام از رگرسیون چند متغیره با به‌کارگیری متغیرهای فیزیکی حوزه برای دوره بازگشت‌های مختلف سیلاب مدل‌های مناسبی ارائه دادند. فاتحی مرج و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از شش شاخص اقدام به پیش‌بینی جریان چند رودخانه‌ی ورودی دریاچه‌ی ارومیه کرده و شاخص PDO[1] به عنوان شاخص مناسب انتخاب گردید و اعلام کردند که دقت برآورد و پیش‌بینی جریان برای حوزه‌های کوچک دقت بالاتری از حوزه‌های بزرگ دارد. دستورانی (۱۳۸۶) با استفاده از سه نوع شبکه‌ی عصبی، جریان رودخانه‌ی Drewent در انگلستان را شبیه‌سازی کرد و نتایج قابل قبولی ارائه داد. صلواتی و همکاران (۱۳۸۹) به منظور تخمین رواناب حوزه‌های آبخیز استان کردستان از رگرسیون استفاده کردند و برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف به مدل‌های متفاوتی دست یافتند. عظیمی و همکاران (۱۳۸۹) با برقراری رابطه‌ی رگرسیونی بین حجم جریان ورودی به سد دز و سیگنال‌های اقلیمی و بارندگی، به نتایج قابل قبولی دست یافتند. انوری تفتی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی جریان رودخانه‌ای حوزه‌ی آبخیز کارون را پیش‌بینی کرده و اعلام نمودند متغیرهای دمایی بیشترین تاثیر را بر جریان رودخانه‌ای دارند. خیرفام و صادقی (۱۳۹۱) نیز با استفاده از پارامترهای اقلیمی دما، تبخیر و بارش اقدام به مدل‌سازی رگرسیونی رفتار هیدرومتئولوژی حوزه‌ی آبخیز آق قلا نمودند و نتایج نشان داد که متغیر دما و بارش تاثیر بیش‌تری بر میزان جریان رودخانه‌ای دارد.

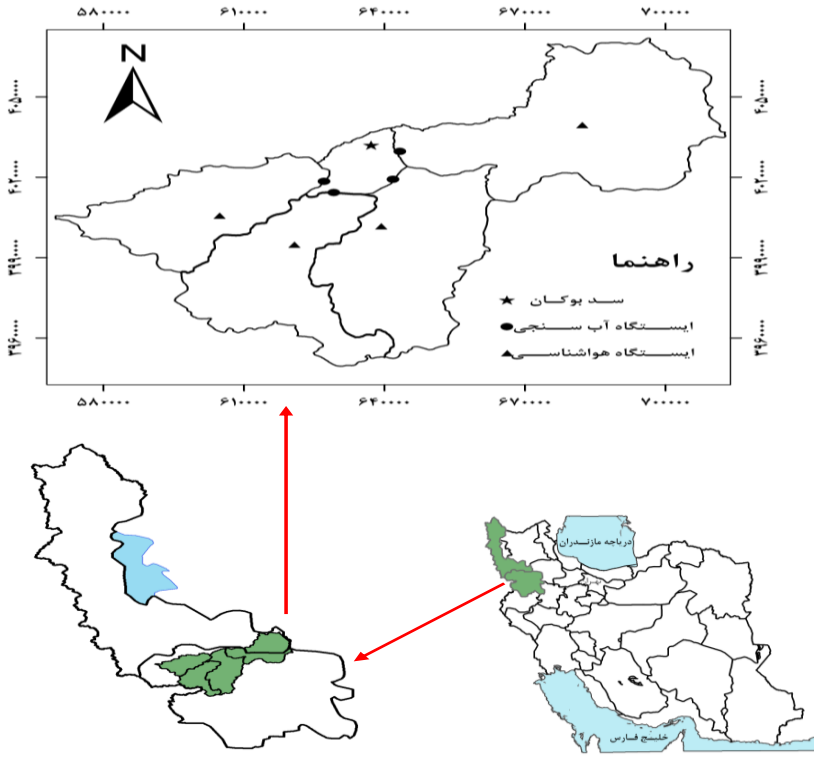
هدف از این مطالعه، ارائه‌ی مدل(های) رگرسیونی برای تخمین جریان رودخانه‌ای در حوزه‌های بالادست سد مخزنی بوکان می‌باشد. براساس گزارشات موجود مدیریت سد بوکان، روابط مورد استفاده برای تخمین دبی جریان رودخانه در منطقه‌ی مورد مطالعه تجربی بوده و به این دلیل که این روابط بر اساس ویژگی‌های منطقه‌ی ارائه‌ی مدل تهیه شده‌اند، استفاده از این روابط نتایج غیرقابل‌قبول و دارای خطای تخمین بالا ارائه داده است که بر این اساس می‌توان اهمیت و لزوم انجام این تحقیق را توجیه نمود. به‌دلیل اهمیت اقتصادی اجتماعی سد بوکان در منطقه و نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و با اطمینان بیشتر در مدیریت این سد، ارائه‌ی مدلی با اطلاعات و آمار قابل دسترس امری ضروری و کاربردی به نظر می‌رسد. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات اقلیمی (دما و بارندگی) و هیدرولوژیکی (دبی) مدل رگرسیونی تخمین جریان رودخانه‌ای برای حوزه‌های بالادست منتهی به سد مخزنی بوکان در مقیاس فصلی و سالانه ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز سد مخزنی بوکان با مساحت ۶۸۹۰ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ´۴۵ °۴۵ تا ´۱۵ °۴۷ شرقی و عرض جغرافیایی ´۳۰ °۳۵ تا ´۴۵ °۳۶ شمالی در استان آذربایجان‌غربی واقع شده است. این حوزه به چهار زیر حوزه‌ی جیغاتوچای، سقزچای، ساروق‌چای و خرخره‌چای تقسیم شده که جریان خروجی از آن‌ها وارد مخزن سد بوکان می‌شود. در هر یک از زیرحوزه‌ها یک ایستگاه هواشناسی در بالادست و یک ایستگاه هیدرومتری در خروجی حوزه وجود دارد که در جدول‌های (۱) و (۲) و شکل(۱) موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری ارائه شده است. تغییرات مقادیر بارندگی، دما و دبی سالانه هر یک از زیرحوزه‌های مورد مطالعه نیز در شکل(۲) ارائه شده است.

[1] Pacific Decadal Oscillation



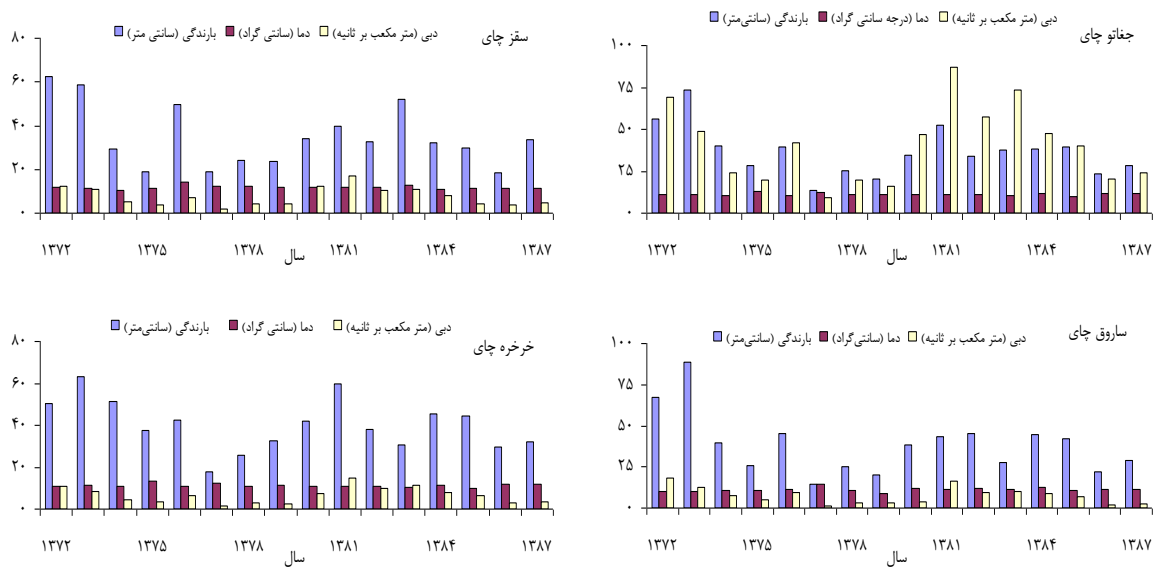
شکل(۱): موقعیت جغرافیای حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

جدول(۱): موقعیت و خصوصیات ایستگاه‌های هواشناسی

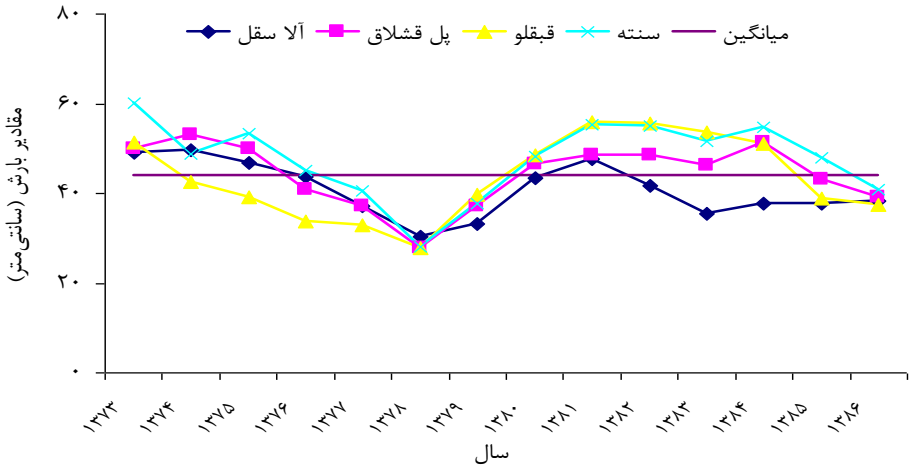
حوزه آبخیز	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
جیغاتوچای	پل قشلاق	۳۷° ۴۳´	۴۵° ۸´	۱۵۰۰
سقزچای	قبقلو	۳۶° ۱۱´	۴۶° ۱۰´	۱۵۸۲
ساروق‌چای	آلاسقل	۳۶° ۲۹´	۴۶° ۰۲´	۱۷۵۰
خرخره‌چای	سنته	۳۶° ۰۹´	۴۶° ۳۳´	۱۴۸۲

جدول(۲): موقعیت و خصوصیات ایستگاه‌های هیدرومتری

حوزه آبخیز	ایستگاه	مساحت بالادست (کیلومتر مربع)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
جیغاتوچای	پل آنیان	۱۲۲۱	۳۶° ۱۲´	۴۶° ۲۵´
سقزچای	دره پنبه دانه	۱۴۰۶	۳۶° ۱۷´	۴۶° ۲۱´
ساروق‌چای	صفاخانه	۲۲۵۳	۳۶° ۲۹´	۴۶ ۴۱
خرخره‌چای	کریم‌آباد	۱۴۱۹	۳۶° ۱۴´	۴۶° ۳۴´



شکل(۲): تغییرات مقادیر بارندگی، دما و دبی سالانه زیرحوزه‌های مورد مطالعه



شکل(۳): میانگین متحرک سه ساله برای زیر حوزه‌های مورد مطالعه

روش تحقیق

گردآوری داده‌ها

برای انجام تحقیق حاضر از داده‌های فصلی و سالانه مجموع بارندگی (میلی‌متر) و میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)، در ایستگاه‌های هواشناسی و میانگین دبی (مترمکعب بر ثانیه) موجود در ایستگاه‌های هیدرومتری ثبت شده توسط سازمان‌های مربوطه استفاده گردید. با توجه به آمار موجود بارش، دما و دبی فصلی و سالانه، ۱۶ سال پایه‌ی آماری مشترک از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۷ انتخاب گردید. به‌منظور اطمینان از وجود دوره‌های خشک و تر در طول دوره‌ی آماری از میانگین متحرک سه ساله جهت تعیین دوره‌های خشک و تر در محدوده‌ی زمانی مورد مطالعه استفاده گردید (سلطانی و مدرس، ۱۳۸۵). نمودار میانگین متحرک سه ساله‌ی مقادیر بارندگی سالانه‌ی هر یک از زیر حوزه‌های مورد مطالعه در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به این شکل سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۵ و ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ ترسالی و ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۰ و ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۷ خشک‌سالی هستند. با توجه به این امر که

ایستگاه‌های هواشناسی تقریباً در مرکز ثقل هر زیرحوزه قرار دارند، نیاز به استفاده از روش‌های تعمیم مقادیر بارش و دما به کل سطح زیرحوزه وجود ندارد. به‌منظور مدل‌سازی رگرسیونی ۱۱ سال ابتدایی داده‌ها برای ساخت مدل‌ها که شش سال ترسالی و پنج سال خشک‌سالی و پنج سال بعدی داده‌ها برای اعتبارسنجی مدل‌ها (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴) استفاده گردید که سه سال ترسالی و دو سال خشک‌سالی می‌باشد.

تهیه مدل رگرسیونی

برای بررسی رابطه و میزان همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته از رابطه‌ی رگرسیونی استفاده می‌گردد. در مباحثی هم‌چون جریان رودخانه‌ای که تحت تاثیر چندین متغیر می‌باشند، از روابط رگرسیونی چند متغیره استفاده می‌گردد (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹). هم‌چنین با توجه به این‌که متغیرهایی که بر دبی رودخانه تاثیرگذار هستند دارای ضریب تاثیرگذاری متفاوتی هستند نیاز به استفاده از روشی است که علاوه بر بررسی نوع رابطه‌ی بین متغیرهای مستقل، میزان تاثیر آن‌ها بر میزان دبی را تعیین کند. رگرسیون گام به گام به عنوان یکی از روش‌های مدل‌سازی رگرسیونی می‌باشد که با اهمیت‌ترین متغیرهای مستقل را یک به یک وارد مدل کرده و این عمل را تا هنگامی که خطای مدل به سطح معنی‌داری مورد نظر برسد ادامه می‌دهد (فاراوی، ۲۰۰۲). به منظور ارائه‌ی مدل رگرسیونی ابتدا باید موارد زیر مورد بررسی قرار گیرد (هلسل و هیرسچ، ۲۰۰۲؛ زارع چاهوکی، ۱۳۸۹).

- نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسپیرونوف انجام گیرد که با توجه به مقدار احتمال بیش از ۰/۰۵ داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند.
- آزمون عدم خود هم‌همبستگی بین خطاها با استفاده از آماره‌ی Durbin – Watson انجام شود. در این آزمون مقادیر نزدیک دو قابل قبول می‌باشند.
- آزمون همگنی واریانس خطاها با استفاده از رسم نمودار مقادیر خطای استاندارد شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی استاندارد شده صورت پذیرد که یکنواختی پراکنش داده‌ها نشان از قابل قبول بودن آزمون می‌باشد.

با توجه به تایید تمام فرضیه‌های فوق مدل‌های رگرسیونی چند متغیره و گام به گام بر اساس داده‌های بارندگی و دما (متغیرهای مستقل) و دبی (متغیر وابسته) در محیط نرم‌افزار SPSS17 انجام شد. سپس مدل‌هایی که دارای ضریب همبستگی در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد بودند انتخاب گردیدند (مهدوی، ۱۳۸۶).

واسنجی و اعتبار سنجی مدل

با تجزیه و تحلیل آمار هیدرومتری ایستگاه‌ها، دوره‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ به ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی انتخاب گردید. فرایند واسنجی مدل شامل تخمین متغیرهایی است که حداقل تابع هدف را مشخص می‌نمایند (یه و همکاران، ۱۹۹۸). لذا پس انجام مدل‌سازی، با تغییر در مقادیر ضرایب متغیرها تا دست‌یابی به کم‌ترین میزان خطا و بیش‌ترین میزان دقت بر اساس معیارهای آماری، مدل‌های نهایی فصلی و سالانه انتخاب گردید. از طرفی برای این‌که میزان کارایی مدل‌های ساخته و واسنجی شده برای داده‌های غیر از داده‌های مورد استفاده در ساخت مدل مورد ارزیابی قرار گیرد، نیاز به اعتبارسنجی دارد. شرط لازم جهت تعیین اعتبار یک مدل مقایسه‌ی نتایج مدل با داده‌های واقعی می‌باشد. برای اعتبارسنجی و مقایسه مدل‌ها، معیارهای متعددی ارائه گردیده که از جمله آن‌ها، معیارهای خطای نسبی[1]، مجذور میانگین مربعات خطا[2] و ضریب کارایی[3] (روابط ۱ تا ۳) می‌باشد. در معیار خطای نسبی، قدر مطلق اختلاف نسبی مقادیر مشاهداتی و تخمینی شده به‌صورت درصد بیان می‌گردد. در هر دو معیار مذکور، مقادیر کمتر، نشان‌دهنده خطای کمتر مدل در برآورد دبی جریان می‌باشد. در معیار ضریب کارایی (رابطه۳)، هر چه مقدار عددی ضریب مذکور به عدد یک نزدیک‌تر باشد، حاکی از توانایی بالاتر مدل در تخمین دبی خواهد بود (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴).

$$RE = \left|\frac{Q_O - Q_m}{Q_O}\right| \times 100 \qquad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n}^{i=1}(Q_O - Q_m)^2}{n}} \qquad (۲)$$

[1] - Relative Error
[2]- Root Mean Squared Error
[3] - Coefficient of Efficiency

$$C_E = \frac{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_O - \overline{Q_O})^2 - \frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_O - Q_m)^2}{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_O - \overline{Q_O})^2} \quad (۳)$$

که در آن، Q_0 داده‌های مشاهداتی، $\overline{Q_O}$ میانگین داده‌های مشاهداتی، Q_m داده‌های تخمین حاصل از مدل و n تعداد داده‌های مشاهداتی است.

نتایج و بحث

پس از تهیه و واسنجی مدل‌ها در بازه‌ی زمانی سالانه و فصلی برای حوزه‌های بالادست سد مخزنی بوکان و اعتبارسنجی مدل‌ها با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هیدرومتری، مدل‌های سالانه و فصلی به ترتیب در جدول‌های (۳) و (۴) ارائه شده است. به دلیل خلاصه کردن نتایج، از ارائه‌ی مقادیر معیاره‌های آماری در مرحله‌ی واسنجی صرف نظر گردید.

بررسی نتایج اعتبار سنجی مدل‌های سالانه‌ی تهیه شده در جدول(۳) برای حوزه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد، تمام مدل‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده، خطای نسبی تخمین از ۲۰/۹۶ تا ۴۴/۶۹ درصد متغیر می‌باشد که مدل تهیه شده با استفاده از روش گام به گام برای حوزه‌ی سقزچای کمترین خطای نسبی تخمین را دارد. هم‌چنین با توجه به این که خطای نسبی تخمین تا چهل درصد قابل قبول می‌باشد (داس، ۲۰۰۲)، تمام مدل‌ها به جز مدل چند متغیره حوزه ساروق چای قابل قبول می‌باشد. مجذور میانگین مربعات خطا از ۰/۳۷ تا ۷/۳۷ تغییر می‌کند که کم‌ترین خطا برای مدل گام به گام حوزه سقزچای است. معیار ضریب کارایی مدل‌های تهیه شده نیز از ۰/۷۰ تا ۰/۹۴ متغیر می‌باشد. برای این معیار آماری هم مدل گام به گام حوزه سقزچای دارای بهترین عملکرد است. می‌توان بر اساس مقادیر معیارهای آماری مدل گام به گام تهیه شده برای حوزه سقزچای را به عنوان برترین مدل انتخاب کرد. هم‌چنین در مجموع بهترین عملکرد مدل‌سازی جریان رودخانه‌ای را به حوزه‌ی سقزچای نسبت داد. با توجه به مدل‌سازی که توسط رگرسیون گام به گام صورت گرفته است این نتیجه استنباط می‌شود که تاثیرگذاری بارندگی روی دبی خروجی از تمام زیرحوزه‌ها بیش‌تر از دما بوده که مخالف با نتایج انوری تفتی و همکاران (۱۳۸۹) می‌باشد. البته دلیل این نتایج را می‌توان به تفاوت اقلیم دو منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت داد که در بالادست سد بوکان متوسط دمای سالانه پایین بوده و موجب کاهش اثر تبخیر بر میزان رواناب حوزه می‌شود. شکل(۲) که تغییرات متغیرهای مورد بررسی را نشان می‌دهد حاکی از آن است که مقدار متوسط دبی خروجی از زیرحوزه‌ی جیغاتوچای بالاتر و با تغییرپذیری بیش‌تری نسبت به سایر حوزه‌ها بوده که تاثیر این اختلاف را بر نتایج معیارهای آماری می‌توان اشاره کرد که باعث به‌وجود آمدن رفتاری متفاوت در بین معیارهای آماری به ویژه در مجذور میانگین مربعات خطا شده است.

جدول(۳): ارزیابی مدل‌های سالیانه تهیه شده از فرایند مدل‌سازی و اعتبارسنجی

حوزه آبخیز	نوع مدل	مدل تهیه شده	سطح معنی‌داری	درصد خطای نسبی(RE)	مجذور میانگین مرعات خطا(RMSE)	معیار ضریب کارایی (CE)
جیغاتوچای	گام به گام	Q_W=۰/۰۷۵P+۱/۱	۰/۰۱۵	۲۶/۷۵	۳/۶۸	۰/۸۹
	چند متغیره	Q_W=۰/۰۶۱ P -۸/۸۷۷ T+۱۰۷/۲۲	۰/۰۳۳	۲۷/۱	۷/۳۷	۰/۹۰
سقزچای	گام به گام	Q_W=۰/۰۱۳ P+۰/۹۸۵	۰/۰۳۲	۲۰/۹۶	۰/۳۷	۰/۹۴
	چند متغیره	Q_W= ۰/۰۲۲ P -۰/۷T +۶/۳۵۶	۰/۰۴۷	۲۴/۹۶	۱/۴۱	۰/۹۳
ساروق‌چای	گام به گام	Q_W= -۰/۶۶۷ +۰/۰۱۸ P -۰/۹۱۷	۰/۰۰۷	۳۶/۳۷	۰/۴۹	۰/۸۰
	چند متغیره	Q_W= /۰۱۷ P +۰/۰۱۵ T -۰/۲۹۶	۰/۰۳۱	۴۴/۶۹	۰/۵۱	۰/۷۰
خرخره‌چای	گام به گام	Q_W= -۱/۲۷۲ +۰/۰۱۸ P - ۲/۵۱۱	۰/۰۱۱	۲۴/۹۸	۰/۵۸	۰/۸۶
	چند متغیره	Q_W= ۰/۰۲ P -۱/۲۳۷ T - ۱۱/۷۳۵	۰/۰۳۲	۲۴/۷۷	۱/۳۵	۰/۹۰

P = متغیر بارش T = متغیر دما Q_W = متغیر دبی

جدول(۴): ارزیابی مدل‌های فصلی تهیه شده از فرایند مدل‌سازی و اعتبارسنجی

حوزه آبخیز	فصل	نوع مدل	مدل تهیه شده	سطح معنی‌داری	درصدخطای نسبی(RE)	مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)	معیار ضریب کارایی(CE)
جیغاتوچای	بهار	گام به گام	Q_W=۰/۸۵۹P	۰/۰۰	۳۴/۵۱	۴/۴۰	۰/۷۹
		چند متغیره	Q_W=۰/۵۰۳P +۰/۱۶۳T	۰/۰۰	۳۴/۵۱	۷/۵۳	۰/۷۰
	تابستان	گام به گام	Q_W=۰/۰۲۲T	۰/۰۰۱	۳۶/۶۰	۰/۰۵	۰/۷۶
		چند متغیره	Q_W= -۰/۰۳۰P +۰/۰۲۶T	۰/۰۰۲	۴۵/۶۳	۰/۰۷	۰/۶۸
	پاییز	گام به گام	Q_W=۰/۱۴۳P	۰/۰۰	۲۸/۸۷	۰/۷۴	۰/۸۸
		چند متغیره	Q_W= ۰/۱۷۰P -۰/۱۷۸T	۰/۰۰	۷۲/۷۶	۱/۲۲	۰/۳۱
	زمستان	گام به گام	Q_W=۰/۵۲۶P	۰/۰۰	۳۶/۳۳	۴/۴۷	۰/۸۲
		چند متغیره	Q_W=۰/۵۴۶P +۰/۵۳۲T	۰/۰۰	۳۴/۴۸	۴/۳۸	۰/۸۳
سقزچای	بهار	گام به گام	Q_W=۰/۴۴۰P +۱/۰۷۶	۰/۰۰	۳۰/۸۴	۱/۹۴	۰/۸۴
		چند متغیره	عدم وجود رابطه معنی دار	_	_	_	_
	تابستان	گام به گام	Q_W=۰/۰۲۴T +۰/۸۴۰	۰/۰۰	۴۹/۳۴	۰/۰۸	۰/۷۱
		چند متغیره	Q_W= ۰/۰۰۶P +۰/۰۲۳T	۰/۰۰	۸۱/۱۱	۰/۱۶	۰/۳۳
	پاییز	گام به گام	Q_W= ۰/۰۸۶P -۰/۰۷۵	۰/۰۰	۳۲/۳۰	۰/۱۹	۰/۸۵
		چند متغیره	Q_W=۰/۰۸۶P -۰/۲۳۸T +۱/۵۵۳	۰/۰۰	۴۱/۷۷	۰/۲۳	۰/۷۷
	زمستان	گام به گام	Q_W=۰/۲۶۹P -۰/۴۴۳	۰/۰۰۷	۳۱/۵۴	۱/۶۲	۰/۸۸
		چند متغیره	Q_W= ۰/۲۵۰P +۰/۳۰۶T +۰/۲۸۴	۰/۰۲۹	۳۳/۵۷	۱/۷۵	۰/۸۷
ساروق چای	بهار	گام به گام	Q_W=۰/۴۳۲P	۰/۰۰	۴۱/۶۰	۵/۰۱	۰/۷۴
		چند متغیره	Q_W= ۰/۳۰۵P +۰/۷۱۶T	۰/۰۰	۴۴/۶۲	۴/۹۵	۰/۷۴
	تابستان	گام به گام	Q_W= ۰/۰۳۷T	۰/۰۰۴	۴۱/۱۳	۰/۰۷	۰/۶۹
		چند متغیره	Q_W= -۰/۰۸۸P +۰/۰۴۳T	۰/۰۱۷	۴۰/۳۴	۰/۰۸	۰/۶۶
	پاییز	گام به گام	Q_W=۰/۰۳۵P+ ۰/۷۴۰	۰/۰۰۱	۴۶/۳۰	۰/۳۶	۰/۷۵
		چند متغیره	Q_W= ۰/۰۳۵P -۰/۰۲۰T +۰/۹۵۵	۰/۰۰۸	۴۵/۸۹	۰/۳۶	۰/۷۶
	زمستان	گام به گام	Q_W=۰/۲۸۶P -۴/۵۸۹	۰/۰۰۸	۲۵/۹۳	۰/۸۲	۰/۹۰
		چند متغیره	Q_W=۰/۳۰۸P -۰/۴۴۹T -۴/۰۵۶	۰/۰۲۷	۴۱	۱/۰۵	۰/۷۹
خرخره‌چای	بهار	گام به گام	Q_W=۰/۳۳۳P	۰/۰۰	۳۰/۰۶	۱/۶۴	۰/۸۲
		چند متغیره	Q_W= ۰/۲۲۴P +۰/۴۱۳T	۰/۰۰	۲۳/۱۳	۱/۲۷	۰/۹۲
	تابستان	گام به گام	Q_W=۰ / ۵۹۷ T	۰/۰۰	۳۰/۱۳	۱/۴۹	۰/۸۰
		چند متغیره	Q_W= ۰/۴۷۳P +۰/۴۸۷T	۰/۰۰	۲۲/۸۰	۰/۸۱	۰/۷۹
	پاییز	گام به گام	Q_W=۰ / ۰۵۳ P -۰/۱۴۴	۰/۰۰۳	۵۰/۹۱	۰/۳۸	۰/۶۹
		چند متغیره	Q_W= ۰/۵۱۰P -۰/۱۰۹T +۰/۹۲۶	۰/۰۱۵	۵۶/۶۰	۰/۳۹	۰/۶۴
	زمستان	گام به گام	Q_W=۰ / ۱۵۹ P	۰/۰۰	۴۸/۶۶	۲/۱۶	۰/۶۸
		چند متغیره	Q_W= ۰/۱۷۱P +۰/۳۴۶T	۰/۰۰	۵۰	۲/۱۰	۰/۵۲

P = متغیر بارش T = متغیر دما Q_W = متغیر دبی

با توجه به مدل‌های فصلی تهیه شده (جدول۴)، در حوزه جیغاتوچای مدل گام به گام فصل پاییز کم‌ترین خطای نسبی تخمین و بیشترین ضریب کارایی و مدل گام به گام فصل تابستان دارای کمترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا را دارند. در حالی که مدل چند متغیره فصل پاییز بیشترین خطای نسبی و کمترین ضریب کارایی و مدل چند متغیره فصل بهار بیشترین مقدار مجذور میانگین خطا را دارد. بنابراین برای این حوزه به جز فصل زمستان، استفاده از مدل رگرسیونی گام به گام نتایج قابل قبولی ارائه داد. هم‌چنین در فصل تابستان تاثیرگذاری دما بر مقدار دبی بیش‌تر از بارش بوده که می‌توان بالا بودن دما و کمبود بارندگی را عامل اصلی دانست. در حوزه سقزچای مدل گام به گام تهیه شده برای فصل بهار کمترین مقدار خطای تخمین، مدل گام به گام فصل تابستان بیشترین مقدار ضریب کارایی و مدل گام به گام فصل تابستان کمترین مجذور میانگین مربعات خطا را نسبت به سایر مدل‌های فصلی دارا می‌باشند. مدل چندمتغیره فصل تابستان بیشترین خطای نسبی و کمترین ضریب کارایی را دارا می‌باشد و مدل گام به گام فصل بهار با این که کم‌ترین خطای نسبی را دارد ولی بیشترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا را دارد. همچنین برای فصل بهار مدل چند متغیره‌ای به دست نیامد. در این حوزه نیز همانند حوزه‌ی جیغاتوچای مدل‌های رگرسیونی گام به گام نتایج بهتری ارائه داده و در فصل تابستان نیز دما تاثیرگذاری بیش‌تری نسبت به عامل بارش دارد. در حوزه ساروق‌چای مدل گام به گام فصل زمستان کم‌ترین مقدار خطای نسبی تخمین و بیشترین ضریب کارایی را دارد و مدل گام به گام تابستان کمترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا را دارد. مدل گام به گام پاییز بیشترین خطای نسبی، مدل گام به گام بهار بیشترین مجذور میانگین مربعات خطا و مدل چند متغیره تابستان کمترین ضریب کارایی را نسبت به سایر مدل‌ها دارا می‌باشند. در این حوزه نیز هم‌چون دو حوزه قبلی برتری مدل‌های رگرسیونی گام به گام نسبت به مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره و تاثیرپذیری بیش‌تر دبی از دما در فصل تابستان مشهود می‌باشد. برای حوزه خرخره‌چای نیز مدل دو متغیره تابستان کم‌ترین مقدار خطای تخمین، مدل گام به گام پاییز کم‌ترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا و مدل چندمتغیره بهار بیشترین مقدار ضریب کارایی را دارا می‌باشند. هم‌چنین مدل چند متغیره زمستان بیشترین خطای نسبی، مدل گام به گام زمستان بیشترین مجذور میانگین مربعات خطا و مدل چند متغیره زمستان کمترین مقدار ضریب کارایی را نسبت به سایر مدل‌های حوزه دارا می‌باشند. اما در این حوزه فقط در فصل پاییز و زمستان مدل‌های رگرسیونی گام به گام برتری داشتند.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر سعی شده است تا امکان استفاده از آمار و اطلاعات اقلیمی (دما و بارش) که به آسانی قابل دسترس بوده و در اکثر حوزه‌ها اندازه‌گیری می‌شوند به‌منظور تخمین دبی ورودی سد مخزنی بوکان مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور با استفاده از آمار ۱۶ سال دما، بارش و دبی موجود در حوزه‌های بالادست منتهی به مخزن سد بوکان و در محیط نرم‌افزارهای SPSS17 و Excel2007 اقدام به تهیه مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره و گام به گام شد. پس از واسنجی مدل‌های مذکور با استفاده از معیارهای آماری اعتبار و کارایی مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان می‌دهد که مدل‌های تهیه شده توانایی قابل قبولی در تخمین دبی در مقیاس زمانی سالانه و فصلی داشتند. محدوده‌ی خطای نسبی در مقیاس سالانه از ۲۰/۹۶ تا ۴۴/۶۹ درصد و در مقیاس فصلی از ۲۲/۸۰ تا ۸۱/۱۱ درصد تغییر می‌کند. تغییرات مجذور میانگین مربعات خطا در مقیاس سالانه از ۰/۳۷ تا ۷/۳۷ و در مقیاس فصلی از ۰/۰۵تا ۷/۵۳ می‌باشد و مقدار ضریب کارایی مدل‌های تهیه شده نیز در مقیاس سالانه از ۰/۷ تا ۰/۹۴ و در مقیاس فصلی از ۰/۳۱ تا ۰/۹۲ متغیر می‌باشد. پایین بودن دقت تخمین دبی مدل‌های حوزه ساروق‌چای را می‌توان به مساحت بیشتر آن نسبت به سایر حوزه‌ها نسبت داد که دلالت بر تاثیرپذیری رفتار هیدرولوژیکی حوزه از متغیرهای فیزیوگرافی به ویژه مساحت حوزه دارد که با نتایج فاتحی مرج (۱۳۸۵) هم‌راستا می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده مدل‌هایی که با روش گام به گام تهیه شده‌اند دارای خطای تخمین کمتر و ضریب کارایی بالایی می‌باشند که با نتایج صادقی و همکاران (۱۳۸۴) مطابقت دارد و هم‌چنین در تمام حوزه‌ها مدل‌های فصل تابستان نسبت

تاثیرگذاری متغیر دما بیشتر از متغیر بارش می‌باشد که انوری تفتی و همکاران (۱۳۸۹) و خیرفام و صادقی (۱۳۹۱) نیز در شرایط حاکمیت دمای بالای منطقه به نتایج مشابهی دست یافتند. با توجه به این که ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش و دما در بسیاری از حوزه‌ها وجود دارد می‌توان با ارزیابی مدل‌های مذکور و برقراری روابط رگرسیونی مختلف بین متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی اقدام به تخمین دبی در حوزه‌های فاقد ایستگاه‌های هیدرومتری نمود.

منابع

۱. انوری تفتی، ص.، ب. ثقفیان و س. مرید. ۱۳۹۰. پیش‌بینی جریان رودخانه‌ای با مدل‌های ANN و بررسی عملکرد آن با ورودی‌های SIO. مجله‌ی پژوهش حفاظت آب و خاک، ۱۷(۱):۱۶۳-۱۸۰.

۲. پرویز، ل.، م. خلقی و ا. فاخری فرد. ۱۳۸۸. پیش‌بینی جریان سالانه رودخانه با استفاده از مدل خود همبسته تجمعی میانگین متحرک و رگرسیون فازی. مجله دانش آب و خاک. ۱۹ (۱):۶۵-۸۲.

۳. توکلی، م. و م. رستمی‌نیا، ۱۳۸۵. ارائه مدل برآورد سیلاب در حوزه‌های آبخیز استان ایلام. مجله علوم کشاورزی. ۱۲ (۲): ۳۴۷-۳۵۷.

۴. دستورانی، م. ت. ۱۳۸۶. بررسی کاربرد مدل‌های هوش محاسباتی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی بهنگام جریان‌های سیلابی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱ (۴۰-الف):۲۷-۳۷.

۵. جلال کمالی، ا.، م. محمودیان شوشتری و ن. جلال کمالی. ۱۳۸۵. پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد شهید عباسپور با استفاده از مدل‌های سری زمانی Box-Jenkins. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران. ۱-۷.

۶. خیرفام، ح. و س. ح. ر. صادقی. ۱۳۹۱. مدل‌سازی رفتار هیدرومتئولوژی حوزه‌ی آبخیز آق قلا. همایش ملی جریان و آلودگی آب، دانشگاه تهران، ۳ و ۴ خرداد ۱۳۹۰، ۸ ص.

۷. زارع چاهوکی، م. ع. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل داده‌ها در پژوهش‌های منابع طبیعی با نرم افزار SPSS. چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران، ۳۱۰ ص.

۸. سلطانی، س. و ر. مدرس، ۱۳۸۵. تحلیل فراوانی و شدت خشکسالی هواشناسی استان اصفهان. فصلنامه منابع طبیعی ایران، ۵۹ (۱): ۱۵-۲۶.

۹. شریفی، ف.، ش. صفارپور و س. ایوب زاده. ۱۳۸۳. ارزیابی مدل رایانه‌ای AWBM 2002 در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی تعدادی از حوزه‌های آبخیز ایران. پژوهش و سازندگی (در منابع طبیعی). ۶۳: ۳۵-۴۲.

۱۰. صلواتی، ب.، س. ح. ر. صادقی و ع. ر. تلوری. ۱۳۸۵. مدل‌سازی تولید رواناب حوزه‌های آبخیز استان کردستان با استفاده از متغیرهای فیزیوگرافی و اقلیمی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۴ (۱): ۸۴-۹۶.

۱۱. فاتحی مرج، ا.، ع. ر. برهانی داریان و م. ح. مهدیان. ۱۳۸۵. پیش‌بینی فصلی جریان رودخانه‌های دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص‌های اقلیمی. پژوهش و سازندگی (در منابع طبیعی). ۷۱: ۴۱-۵۱.

۱۲. صادقی، س .ح. ر.، ح. ر. مرادی، م. مزین و م. وفاخواه. ۱۳۸۴. کارآیی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدل‌سازی بارش-رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسیلیان). علوم کشاورزی و منابع طبیعی.۱۲(۳):۸۱- ۹۰.

۱۳. صادقی، س. ح. ر.، ب. یثربی. و ف. نورمحمدی. ۱۳۸۴. تهیه و تحلیل مدلهای بارش- رواناب ماهانه حوزه آبخیز هراز در استان مازندران. پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، ۳(۱): ۱-۱۲.

۱۴. عظیمی، م.، م. تجریشی. و ا. ابریشمچی. ۱۳۸۹. پیش‌بینی آورد فصلی سد دز با استفاده از سیگنالهای بزرگ مقیاس اقلیمی. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس، آبان ماه ۱۳۸۹، ۸ ص.

۱۵. مهدوی، م. ۱۳۸۶. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۲۴ ص.

16. Berk Celikoglu, H., H. Kerem Cigizoglu. 2007. Public transportation trip flow modeling with generalized regression neural networks. Advances in Engineering Software. 38:71-79.

17. Beven, K.J. 2001. Rainfall-Runoff Modelling: The Primer. John Wiley and Sons Press. 360pp.
18. Croke, B.F.W., F. Andrews. J. Spate and S.M. Cuddy. 2005. IHACRES User Guide. Technical Report 2005/19. Second Edition. iCAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra. http://www.toolkit.net.au/ihacres.
19. Das, G. 2000. Hydrology and Soil Conservation Engineering. Asok. Ghosh. Prentice Hall of India. 489pp.
20. Faraway, J. 2002. Practical Regression and ANOVA in R. CRAN.212pp.
21. Helsel, D.R. and R.M. Hirsch. 2002. Statistical Methods in Water Resources, U.S. Georlogical Survey. 524pp.
22. Lawgun, N. and A.T. Toong. 1985. Regional flood frequency analysis of small catchments in North Auckland and Coromandel (New Zealand). Journal of Hydrology (New Zealand). 24(2):64-76.
23. Littlewood, I.G, R.T. Clarke, W. Collischonn and B.F.W. Croke. 2007. Predicting daily streamflow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments. Environmental Modelling and Software. 22:1229-1239.
24. Noori, R., A. Khakpour, B. Omidvar and A. Farokhnia. 2010. Comparison of ANN and principal component analysis-multivariate linear regression models for predicting the river flow based on developed discrepancy ratio statistic. Expert Systems with Applications. 37:5856–5862.
25. Stamey, T.C. and G.W. Hess. 1993. Techniques for estimating magnitude and frequency of floods in rural basins in Georgia. Water Resources Investigation Report 93-4016, USGS Publication. 94pp.
26. Telvari, A.R. and A.R. Islami. 2002. Regional flood frequency in north basins of Iran, *In*: Proceedings of International Conference on Flood Estimation. Berne. Switzerland. March 6-8. 2002:717-727.
27. Ye, W., A.J. Jakeman and P.C. Young. 1998. Identification of improved rainfall-runoff models for an ephemeral low-yielding Australian catchment, Environmental Modelling & Software. 13:59–74.
28. Yeh, CH. 2007. Modeling slump flow of concrete using second-order regressions and artificial neural networks, Cement & Concrete Composites. 29: 474–480.
29. Zhu, Y and R.L. Day. 2009. Regression modeling of streamflow, baseflow, and runoff using geographic information systems. Journal of Environmental Management. 90: 946–95.

Streamflow Estimation for Upstream Watersheds of Boukan Reservoir Dam Using Precipitation and Temperature Climatic Variables

Hossein Kheirfam[۱], Mehdi Vafakhah[۲] and Saleh Hosseni[۳]

Abstract

The hydrological variables estimation is very important for safety of hydraulic structures and facilities, surface water resources management and planning. The streamflow measurement as one of the important hydrological variables has various limitations. For this reason, application of the hydrological models with available and easily measured variables is the important and necessary approach. The aim of this research is the possibility of available climatic variables e.g. precipitation and temperature for seasonal and annual discharge estimation. Data of precipitation, temperature and discharge related to upstream watersheds of Boukan reservoir dam were used for 16 years period during 1993-2007 in this study. Multiple and stepwise regression models were determined in annual and seasonal scales for each watersheds using SPSS 17 software, then calibration and validation of each models were examined. Root mean squared error (RMSE), relative error (RE) and efficiency coefficient (CE) were used for models evaluation. The results showed that the most models performance was very good and stepwise regression has more accurate results than multiple regression. Also, the RE, RMSE and CE range criteria were changed between 20.96 to 44.69 and 22.80 to 81.11 percent, 0.37 to 7.37 and 0.05 to 7.53 $m^3 s^{-1}$ and 0.7 to 0.94 and 0.31 to 0.92 for annual and seasonal scale, respectively. Ratio of precipitation influence on discharge was very low in summer in comparison to other seasons because annual model will not be accurate for estimating discharge in summer.

Keywords: Climatic Variables, Streamflow, Boukan Reservoir Dam, Regression.

[1] M.Sc. Student, Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Email: h.kheirfam@yahoo.com
[2*]Corresponding Author, Assistant Professor, Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Email: vafakhah@modares.ac.ir
[3]Former M.Sc. Student, Faculty of Civil Engineering. Azad Islamic University, Mahabad Branch, Water Resources Manager in Miandouab Township Office