نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره سوم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

برآورد جریان ماهانه در حوضه‌های فاقد آمار با استفاده از پارامترهای اقلیمی و فیزیوگرافی حوضه

زهرا نعیمی‌کلورزی[۱]، *خلیل قربانی[۲]، میثم سالاری‌جزی[۳] و امیراحمد دهقانی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: برآورد دبی در حوضه‌های آبریز با داده‌های آماری محدود، همواره مورد توجه پژوهشگران خصوصاً در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. در بسیاری از موارد، داده‌های مشاهداتی دبی یا در دسترس نبوده و یا از لحاظ کیفیت و کمیت کافی نیستند. این عامل طرح‌های مدیریت منابع آب را با مشکل روبه‌رو می‌سازد. بنابراین روش‌هایی که به کمک آن‌ها بتوان میزان آبدهی رودخانه در حوضه‌های بدون آمار یا دارای آمار ناقص را تخمین زد، از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار می‌گردد. بدین منظور روش‌های متعددی از جمله مدل‌های آماری، سری‌های زمانی و مدل‌های هوشمند توسعه یافته‌اند که در این میان می‌توان به مدل درخت تصمیم اشاره کرد که با تولید قانون‌های ساده، رفتار غیرخطی داده‌ها را مدل‌سازی می‌کند. هدف از این پژوهش، ارزیابی روش‌های رگرسیون چندمتغیره و مدل درخت تصمیم (M5) به‌منظور برآورد جریان ماهانه در حوضه‌های فاقد آمار استان گلستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش استان گلستان که از زیرحوضه‌هایی متعددی با مشخصات متنوعی برخوردار است به‌عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد. پس از استخراج مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز، میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی دما و بارش نیز پس از درون‌یابی در محیط GIS برای هر یک از زیرحوضه‌ها و در هر یک از ماه‌های سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۶۳ برآورد گردیدند. پارامترهای اقلیمی (متوسط بارش و دمای ماهانه) و مشخصات فیزیوگرافی (۱۲ پارامتر) به‌عنوان متغیر مستقل وارد مدل رگرسیون چندمتغیره و رگرسیون درختی M5 شدند. معیار ارزیابی در این پژوهش، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R^2) و میانگین خطای اریب (MBE) می‌باشد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج به‌دست آمده از مدل رگرسیون چندمتغیره و مدل درخت تصمیم، برآورد جریان در ماه‌های پربارش سال نسبت به ماه‌های کم بارش از دقت بالاتری برخوردار است به‌طوری‌که در روش رگرسیون درختی بهترین برآورد جریان رودخانه در ماه اسفند با ضریب تعیین برابر ۰/۸۶۴، ریشه میانگین مربعات خطای برابر ۱/۰۰۲ و میانگین خطای اریب برابر ۰/۰۲۶به‌دست آمد و کم‌دقت‌ترین برآورد جریان مربوط به ماه مرداد با ضریب تعیین برابر ۰/۳۲۶، ریشه میانگین مربعات خطا برابر ۰/۶۳۵ و میانگین خطای اریب برابر با ۰/۰۰۰ محاسبه گردید. هم‌چنین در

* مسئول مکاتبه: ghorbani.khalil@yahoo.com

روش رگرسیون چندمتغیره نیز ماه اسفند با ضریب تعیین ۰/۵۲۲، ریشه میانگین مربعات خطا ۲/۰۴۳ و میانگین خطای اریب ۰/۱۵۳ بهترین حالت از جریان ماهانه را برآورد نمود و پایین‌ترین دقت حاصل از این روش به ماه مرداد با ضریب تعیین ۰/۱۰۳، ریشه میانگین مربعات خطا ۱/۹۷۹ و میانگین خطای اریب برابر ۰/۰۲۰ اختصاص پیدا می‌کند. با توجه به محاسبات مدل درخت تصمیم نسبت به رگرسیون چندمتغیره در تمام ماه‌های سال نتایج بهتری داشته است. **نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش بیانگر آن است که تخمین دبی ماهانه در ماه‌های پر بارش سال به کمک مدل‌های رگرسیون چندمتغیره و رگرسیون درختی M5 امکان‌پذیر است اما در ماه‌های خشک سال به‌دلیل رگباری بودن و پراکندگی زیاد بارش در سطح حوضه و خطا در پهنه‌بندی و درون‌یابی بارش نتایج خوبی به‌دست نمی‌آید. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که مدل درخت تصمیم دارای دقت بالاتر از مدل رگرسیون چندمتغیره برای تخمین دبی رودخانه می‌باشد. زیرا این روش دارای بیش‌ترین دقت و کم‌ترین خطا بود. با توجه به معیارهای ارزیابی مدل درخت تصمیم برای ماه‌های پرباران دارای ضریب همبستگی بیش‌تری نسبت به ماه‌های کم‌باران می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حوضه فاقد آمار، دبی رودخانه، رگرسیون چندمتغیره، مدل درخت تصمیم‌گیری M5

مقدمه

پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها با توجه به اهمیت آن در طراحی تأسیسات آبی، آب‌گیری از رودخانه‌ها، برنامه‌ریزی بهره‌برداری از مخازن سدها، کنترل فرسایش و رسوب رودخانه‌ها و غیره از دیرباز مورد توجه مهندسان آب بوده است. از سوی دیگر با توجه به محدودیت منابع آب شیرین قابل استحصال، پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر دبی جریان و تغییرات آن در طول رودخانه از ارکان اساسی برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب‌های سطحی است. از این‌رو متخصصان همواره برای تخمین صحیح دبی رودخانه و تدقیق روش‌های موجود تلاش می‌نمایند. تاکنون روابط و الگوهای گوناگون و پیچیده‌ای برای پیش‌بینی میزان آبدهی رودخانه‌ها مانند انواع الگوهای مفهومی بارش-رواناب، الگوهای سری زمانی و الگوهای ترکیبی (هیبرید) و روش‌های متنوع آماری ارائه شده است، ولی روابط ارائه شده به‌دلیل عدم شناخت دقیق و نیز پیچیدگی عوامل مؤثر در آبدهی رودخانه‌ها، در بسیاری از موارد با مقادیر مشاهده شده تطابق نداشته و در مواقعی نیز میزان مقادیر محاسبه شده از روابط گوناگون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشته‌اند (۶). در علم آمار شیوه‌هایی برای دسته‌بندی، شناخت الگوها و پیش‌بینی و مدل‌سازی داده‌ها وجود دارد که در یک نگاه کلی می‌توان این روش‌ها را به دو دسته پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی نمود. در مدل‌های آماری پارامتری رگرسیون خطی و غیرخطی، پارامترهای مدل توسط روش‌های مختلف تخمین پارامترها در مرحله واسنجی مدل تخمین زده می‌شوند. در مدل‌های ناپارامتری، مرحله تخمین پارامترها وجود ندارد (۲). استفاده از روش‌های تجربی در برآورد رواناب در حوضه‌هایی که فاقد ایستگاه هیدرومتری می‌باشند از دیرباز در مطالعات هیدرولوژی مورد توصیه قرار گرفته است. داودی‌راد (۲۰۰۶) در بررسی کارایی روابط تجربی تورک، کوتاین، ایکار، جاستین، خوزلا و لسی در حوزه آبخیز دریاچه نمک عنوان نموده که روش‌های ایکار، کوتاین، جاستین و تورک به‌ترتیب از صحت و دقت بیش‌تری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار هستند و روش خوزلا مناسب نبوده است (۸). محمدی و احمدی (۲۰۱۱)، جهت برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای در حوضه آبریز کن (رودخانه سولقان)

با استفاده از مدل‌های هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی، اشنایدر، مثلثی و SCS، نتیجه گرفتند با استفاده از مدل‌های برآورد هیدروگراف واحد مصنوعی در حوضه آبریز کن و مقایسه با دبی اوج خروجی بهترین مدل به‌ترتیب هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی، اشنایدر، SCS و مثلثی می‌باشد (۱۵). خدمتی و همکاران (۲۰۱۰) برای منطقه‌بندی و برآورد دبی سیلابی در حوضه‌های فاقد آمار جنوب‌شرق ایران، از ترکیب روش شاخص سیلاب و رگرسیون چندمتغیره استفاده کردند و نتیجه گرفتند که استفاده از همگن‌بندی نتایج قابل‌قبول‌تری را از روابط ایجاد شده بدون در نظر گرفتن هر گونه همگن‌بندی ارائه می‌کند (۱۱).

در سال‌های اخیر روش جدیدی به‌نام مدل درخت تصمیم M5 برای حل مسائل مختلف و پیش‌بینی پارامترهای خروجی ارائه شده است. این مدل تاکنون در موضوعات متنوعی مانند اقتصاد، پزشکی و مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است. زرعی و همکاران (۲۰۱۵) با مدل‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل های مختلف شبکه عصبی و مقایسه آن با مدل درخت تصمیم (مطالعه موردی: حوضه شهید نوری کاخک گناباد)، به این نتیجه دست یافتند که هر یک از مدل‌ها بسته به تعداد پارامترهای ورودی، نرون‌های لایه پنهان و تعداد لایه‌های مخفی در زمان اجرای مدل، عملکرد متفاوتی را نشان می‌دهند ولی در مجموع با دقت مناسبی قادر به برآورد رواناب هستند (۲۱). دستورانی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل درخت تصمیم جهت پیش‌بینی بارش ایستگاه سینوژتیک کرمانشاه نتیجه گرفتند که استفاده از میانگین متحرک منجر به افزایش چشم‌گیر کارایی مدل درخت تصمیم می‌شود (۷). ماهش و همکاران (۲۰۰۳) از مجموعه داده‌های آموزش و آزمون جدا از دو منطقه جغرافیایی و با دو سنجنده مختلف برای ارزیابی توانایی درخت تصمیم تک‌متغیره و چندمتغیره در طبقه‌بندی پوشش زمین استفاده کردند. نتایج نشان داد که درخت تصمیم تک‌متغیره در مقایسه با دیگر طبقه‌بندی‌کننده‌ها، به‌جز برای داده‌های با ابعاد بالا، به‌طور قابل‌قبولی بهتر اجرا شد. اما هیچ‌کدام از مدل‌های درخت تصمیم تک‌متغیره و چندمتغیره برای داده‌های با ابعاد بالا، به اندازه طبقه‌بندی‌کننده‌های مدل شبکه عصبی مصنوعی خوب اجرا نشدند (۱۴). گیسن و همکاران (۲۰۰۷) فرسایش آبی سطحی و زیرسطحی را با مدل درخت تصمیم در تاباسکو (جنوب‌شرقی مکزیک) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل وقوع فرسایش‌های تونلی و گودالی را با موفقیت پیش‌بینی می‌کند. هم‌چنین ایشان بیان کردند که مدل درختان تصمیم استقرایی، ابزاری ارزشمند جهت تجزیه و تحلیل‌های مقدماتی و ایجاد فرضیات در مناطق با کمبود اطلاعات است و می‌تواند نقشه خطر فرسایش و طرح حفاظت خاک را مدیریت کند (۱۰). روسجان و میکاس (۲۰۰۸) از الگوریتم درخت تصمیم رگرسیونی برای مشاهده نقش متقابل وضعیت‌های فصلی و هیدرولوژیکی که آب‌شویی نیترات را در طول وقایع هیدرولوژیکی در یک حوضه جنگلی واقع در جنوب‌غربی اسلوانی کنترل می‌کند استفاده کردند. آن‌ها بر اساس معیار هرس درخت رگرسیونی از پیش‌تعریف‌شده، یک مدل رگرسیونی قابل‌فهم متناسب با اطلاعات حوضه که به اندازه کافی قادر به‌شرح غلظت‌های مختلف نیترات باشد به‌دست آوردند (۱۸). چن و همکاران (۲۰۰۸) از مدل درختان تصمیم به همراه شبکه عصبی مصنوعی جهت تحلیل وقوع سیلاب در حوضه‌ای در تایوان استفاده کردند و نتایج حاصله را موفقیت‌آمیز توصیف کردند (۴). چنگ و همکاران (۲۰۰۸) جهت مدیریت مخزن سد در بهینه‌سازی دبی تخلیه‌ای از مخزن از تکنیک درختان

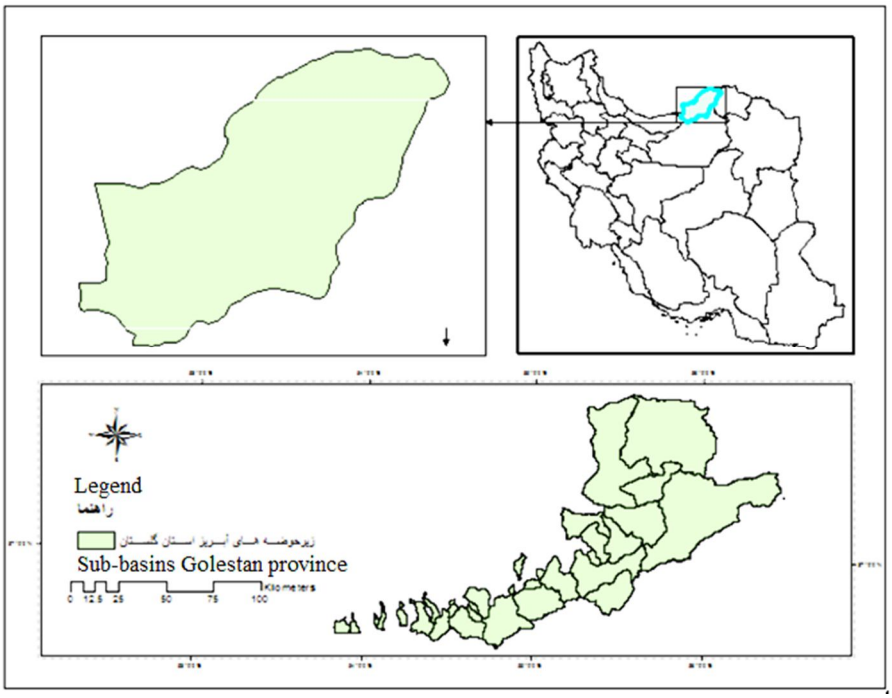
تصمیم استفاده کردند. در مخزن مورد نظر که هم کنترل سیلاب و هم ذخیره آب مورد نیاز اهمیت ویژه‌ای داشته مدیریت مناسب مخزن از نظر میزان تخلیه بسیار مهم بوده و پژوهشگران مربوطه کارایی مدل درختان تصمیم را در این رابطه مورد تأیید قرار داده‌اند (۵). کاکو و همکاران (۲۰۰۹) از روش‌های یادگیری ماشینی مختلف (درختان تصمیم تک‌منظوره و چندمنظوره) برای پیش‌بینی وضعیت یا کیفیت گیاهان بومی باقی‌مانده در منطقه وسیعی در شمال شرق استرالیا منطقه ویکتوریا استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل‌سازی چندمنظوره بر تک‌منظوره برتری دارد، هر چند تفاوت مهمی از نظر آماری بین این دو مدل در اجرا وجود نداشت (۱۲). ایوب‌لو و همکاران (۲۰۱۰) از مدل درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین عمق آبشستگی پای پل‌ها استفاده کردند. آن‌ها از دو مدل مزبور برای پیش‌بینی عمق کنش نرمال شده به‌عنوان یک تابع از دو سری جداگانه پارامترها (دارای بعد و بدون بعد) استفاده کردند (۱). ابراهیمی‌محمدی و همکاران (۲۰۱۰) جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی ماهانه رودخانه قره‌سو با استفاده از مفاهیم حاکم بر سری‌های زمانی و شبکه عصبی مصنوعی به این نتیجه رسیدند که مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی طراحی‌شده با ورودی بارش، تبخیر و دمای هر ماه تا سه ماه تأخیر با داده‌های مشاهداتی انطباق بیش‌تری دارد (۹).

پیش‌بینی آبدهی ماهانه رودخانه‌ها در حوضه‌های فاقد آمار یا دارای داده‌های محدود از اهمیت بالایی در مدیریت منابع آب مطرح می‌باشد. هدف این پژوهش پیش‌بینی دبی ماهانه با استفاده از پارامترهای فیزیوگرافی و اقلیمی زیرحوضه‌ها از طریق مدل‌های رگرسیون چندمتغیره و درخت تصمیم‌گیری (M5) می‌باشد. منطقه مورد پژوهش استان گلستان می‌باشد که از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری کل زیرحوضه‌های استان موردنظر استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان گلستان از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. مساحت استان ۲۰۴۳۷/۷۴ کیلومترمربع بوده که معادل ۱/۳ درصد مساحت کل کشور را دارا می‌باشد. این استان از شمال به کشور ترکمنستان، از شرق به استان خراسان شمالی، از جنوب به استان سمنان و از غرب به استان مازندران و دریای خزر محدود می‌شود. از نظر توپوگرافی این استان از نقاط کوهستانی و جلگه‌ای تشکیل شده که قسمت جنوب و شرق را مناطق کوهستانی در برگرفته و به‌طور موازی و با جهت تقریباً شرقی-غربی بوده و ادامه سلسله جبال البرز می‌باشند. رودخانه‌های اصلی استان از جنوب به شمال که به دشت گرگان وارد می‌شوند شامل رودهای قره‌سو، گرگانرود و اترک می‌باشند.

داده‌های مورد نیاز: داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل اطلاعات دبی، بارش ماهانه و دمای ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی می‌باشد که طی یک دوره آماری بلندمدت ۱۳۹۰-۱۳۶۳ از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان و سازمان هواشناسی گلستان تهیه شد. هم‌چنین نقشه مدل رقومی ارتفاعی نیز که برای استخراج زیرحوضه‌ها و پارامترهای فیزیوگرافی حوضه لازم بود از شرکت آب منطقه‌ای استان تهیه گردید. در منطقه مورد مطالعه تعداد ۳۹ ایستگاه هیدرومتری و ۱۸ ایستگاه هواشناسی مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت استان گلستان و زیرحوضه‌های آن.

Figure 1. Location of Golestan province and its sub-basins.

روش پژوهش

ترسیم زیرحوضه‌ها و محاسبه پارامترهای فیزیوگرافی: در ابتدا بر اساس نقشه توپوگرافی در محیط ArcGIS، زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی استخراج و پارامترهای فیزیوگرافی آن‌ها محاسبه شدند تا به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل شوند.

خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز: خصوصیات فیزیکی حوضه به مجموعه پارامترهایی گفته می‌شود که مقادیر آن‌ها برای حوضه آبخیز نسبتاً ثابت است و در واقع نشان‌دهنده وضع ظاهری حوضه می‌باشد. به‌طوری‌که قبلاً اشاره گردید پارامترهای فیزیکی از این نظر حائز اهمیت می‌باشند که میان آن‌ها و رواناب حاصل از بارش‌های جوی روابطی وجود دارد. بنابراین با استفاده از این روابط می‌توان مقدار دبی رودخانه یا شدت سیلاب‌ها را برای حوضه‌های فاقد آمار، برآورد و یا محاسبه کرد. با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS9.3 شبکه آبراهه‌ها ترسیم گردید و مرز زیرحوضه‌ها بسته شده و پارامترهای فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها محاسبه گردید.

محاسبه پارامترهای ماهانه اقلیمی بارش و دما: داده‌های ماهانه بارش و دما طی سال‌های آماری ۱۳۹۰-۱۳۶۳ از سازمان هواشناسی و آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه گردید و ایستگاه‌هایی که دارای آمار کافی بودند انتخاب شدند. سپس براساس روش‌های درون‌یابی، مقادیر ماهانه بارش و دما برای هر یک از ماه‌های سال طی این دوره پهنه‌بندی و میانگین منطقه‌ای آن‌ها در محیط GIS در هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد تا این پارامترها نیز به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل شوند.

پس از استخراج پارامترهای فیزیوگرافی و محاسبه پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز، به‌عنوان متغیرهای مستقل و پیش‌بینی‌کننده دبی، به جستجوی روابط بین آن‌ها با متغیر هدف یا دبی ماهانه پرداخته شد. در این پژوهش از رگرسیون چندمتغیره خطی برای مدل‌سازی

خطی و از رگرسیون درختی M5 جهت مدل‌سازی غیرخطی بین داده‌ها استفاده شد.

رگرسیون چندمتغیره خطی: در اکثر مطالعات آماری عموماً همبستگی یک عامل را فقط با یک عامل در نظر می‌گیرند و اثر دیگر عوامل و ترکیب این عوامل بر عامل مورد نظر نادیده گرفته می‌شود. در صورتی که بخواهیم اثر چند عامل را بر روی یک عامل در نظر بگیریم یکی از ساده‌ترین راه‌ها استفاده از رابطه خطی چندمتغیره می‌باشد که شکل کلی آن به‌صورت زیر است:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_mx_m \qquad (۱)$$

مدل درخت تصمیم M5: در مدل‌سازی پدیده‌ها، وجود شرایط محلی ممکن است موجب شود تا استفاده از یک رابطه کلی نتایج خوبی را به همراه نداشته باشد و تغییرات محلی به خوبی دیده نشوند. در صورت امکان، شناسایی محدوده‌های همگن و ارائه روابط ساده خطی برای هر یک از این محدوده‌ها می‌تواند موجب افزایش دقت مدل شود. بر این اساس معمولاً برای حل مسائل پیچیده، آن را به چند مسأله کوچک‌تر و ساده‌تر تقسیم نموده و سپس جواب‌های به‌دست آمده را با هم ترکیب می‌کنند. همین ایده ساده در مدل‌های درخت تصمیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این منظور، فضا یا محدوده مقادیر داده‌های ورودی به چند زیربازه یا ناحیه تقسیم شده و برای هر ناحیه یک معادله یا مدل مناسب استخراج می‌شود درخت‌های تصمیم روشی برای نمایش یک سری از قوانین هستند که منتهی به یک رده یا مقدار می‌شوند. درخت‌های تصمیم به کمک جداسازی متوالی داده‌ها به یک سری گروه مجزا تشکیل شده و سعی می‌شود در فرآیند جداسازی، فاصله بین گروه‌ها افزایش یابد. ساختار یک مدل درختی شامل ریشه، گره‌های داخلی و برگ می‌باشد. از مدل‌های درخت تصمیم در حل بسیاری از مسائل طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده شده است. برای اولین بار کوینلان (۱۹۹۲) مدل درخت تصمیم موسوم به M5 را برای پیش‌بینی داده‌های پیوسته ارائه نمود. این مدل، بر خلاف مدل‌های درخت تصمیم معمول که کلاس یا رده‌های گسسته را به‌عنوان خروجی ارائه می‌نمایند، یک مدل خطی چندمتغیره را برای داده‌ها در هر گره از مدل درختی می‌سازد (۱۷). تشکیل ساختار مدل‌های درخت تصمیم‌گیری شامل مراحل ایجاد درخت و هرس کردن آن است. در مرحله ساختن درخت، از یک الگوریتم استنتاجی یا معیار تقسیم (انشعاب) برای تولید یک درخت تصمیم استفاده می‌شود (۲۰).

مؤلفه‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی: در شبیه‌سازی با استفاده از مدل درخت تصمیم‌گیری و رگرسیون چندمتغیره خطی، از عناصر مختلفی استفاده شده است. این عناصر به‌عنوان متغیر مستقل به مدل معرفی و شبیه‌سازی‌ها برای پیش‌بینی متغیر هدف صورت گرفته است. متغیرهای مستقل مورد استفاده در این پژوهش شامل متوسط بارش ماهانه (P) بر حسب میلی‌متر و متوسط دمای ماهانه (T) بر حسب درجه سانتی‌گراد با طول دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۶۳ و پارامترهای فیزیوگرافی از قبیل مساحت حوضه (A) بر حسب کیلومترمربع، محیط حوضه (Per) بر حسب کیلومتر، ارتفاع متوسط حوضه (Hmean) بر حسب متر، عامل شکل حوضه (SF) بی‌بعد، فرم حوضه (FF) بی‌بعد، طول آبراهه اصلی (Lab) بر حسب کیلومتر، شیب آبراهه اصلی (Sab) بر حسب درصد، تراکم شبکه رودخانه (μ) بر حسب کیلومتر بر کیلومترمربع، ضریب گراویلیوس (C)، زمان تمرکز (Tc) بر حسب ساعت، طول مستطیل معادل (L) و عرض مستطیل معادل (B) که بر حسب کیلومتر می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی و اقلیمی زیرحوضه‌های آبریز.

Table 1. Climatic and physiographic parameters of sub-basins.

ایستگاه Station	مساحت A	محیط Per	تراکم زهکشی μ	طول آبراهه اصلی Lab	شیب آبراهه اصلی Sab	ارتفاع متوسط Hmean	زمان تمرکز Tc	ضریب گراویلیوس C	عامل شکل حوضه SF	عامل فرم حوضه FF	طول مستطیل معادل L	عرض مستطیل معادل B	متوسط بارش سالانه P	متوسط دمای ماهانه T
تنگراه Tangrah	1793.9	351.7	0.236	114.59	0.073	1434.17	12.13	2.32	7.32	0.136	164.97	10.87	712	14.5
دوغ ورودی Dooqvorudi	2084.92	412.4	0.236	142.8	0.016	1356.57	14.85	2.528	9.78	0.102	195.53	10.66	284	12.5
تمر Tamer	1528.17	281.3	0.227	96.791	0.073	757.04	9.88	2.014	6.13	0.163	128.78	11.86	513	14.5
گالیکش Galikesh	397.42	131.1	0.241	53.74	0.042	1243.22	4.8	1.84	7.26	0.137	58.78	6.76	776	13.5
تیل‌آباد Tilabad	312.24	116.7	0.245	31.98	0.073	1680.44	2.89	1.84	3.27	0.305	52.38	5.96	260	13.2
قلی‌تپه Qolitape	51.71	57.1	0.301	21.49	0.053	882.84	2.11	2.22	8.93	0.111	26.6	1.94	852	14.2
نوکنده Nokande	48.29	41.4	0.195	12.77	0.121	867.85	1.03	1.66	3.38	0.295	18.02	2.67	352	15.4
لزوره Lezoore	255.78	120	0.231	37.51	0.049	1178.51	3.14	2.1	5.5	0.181	55.38	4.61	865	17.4
نوده Node	799.52	205.8	0.221	63.58	0.028	1541.42	5.55	2.03	5.05	0.197	94.43	8.46	820	15.3
اراز کوسه Arazkoose	646.93	188.9	0.264	66.77	0.03	728.38	5.95	2.07	6.89	0.145	87.01	7.43	452	18.46
رامیان Ramian	249.55	109.4	0.188	34.26	0.073	1292.99	2.71	1.93	4.7	0.216	49.67	5.02	866	17.1
شیرآباد Shirabad	17.25	20.6	0.13	7.01	0.073	838.63	0.51	1.38	2.84	0.35	8.18	2.11	1006	14.7
سرمه‌رود Sormerood	372.25	114.4	0.214	32.37	0.073	1472.03	2.51	1.66	2.81	0.355	49.71	7.48	458	16.7

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

ایستگاه Station	مساحت A	محیط Per	تراکم زهکشی μ	طول آبراهه اصلی Lab	شیب آبراهه اصلی Sab	ارتفاع متوسط Hmean	زمان تمرکز Tc	ضریب گراویلیوس C	عامل شکل حوضه SF	عامل فرم حوضه FF	طول مستطیل معادل L	عرض مستطیل معادل B	متوسط بارش سالانه P	متوسط دمای ماهانه T
تقی‌آباد Taqi Abad	130.09	71.1	0.288	23.91	0.073	714.88	1.83	1.74	4.39	0.227	31.4	4.14	592	14.26
امامزاده Emamzade	33.88	37.6	0.249	12.71	0.169	1587.89	0.92	1.8	4.77	0.209	16.78	2.01	421	15.1
هشن Hashan	16.63	25.2	0.116	9.64	0.174	967.31	0.74	1.72	5.59	0.178	11.1	1.49	281	14.7
ناهارخوران Naharkhoran	98.49	63.9	0.21	21.72	0.113	1761.71	1.64	1.8	4.79	0.208	28.49	3.45	801	13.8
شصت‌کلاته Shastkoolate	81.84	59.3	0.202	16.38	0.073	1754.22	1.22	1.83	3.28	0.304	26.56	3.08	748	14.1
غاز محله Qazmahale	27.86	46.2	0.439	17.21	0.141	964.57	1.26	2.45	10.62	0.094	21.82	1.27	586	15.3
جفاکنده Jafakande	27.49	37.7	0.271	13.27	0.126	972.68	1.07	2.01	6.4	0.156	17.25	1.59	507	16.1
نومل Nomel	18.09	24.6	0.122	8.29	0.115	969.57	0.71	1.61	3.8	0.263	10.59	1.7	621	16.7
اوغان‌ورودی Oqanvorodi	465.32	145.4	0.256	58.19	0.04	1172.99	5.21	1.88	7.27	0.134	65.6	7.09	542	16.4
زرینگل Zaringol	337.26	108.2	0.217	30.97	0.073	1525.73	2.4	1.64	2.84	0.351	46.91	7.18	811	14.5
کبودوال Kabodval	11.78	18.7	0.115	6.57	0.213	861.81	0.49	1.52	3.66	0.272	7.84	1.5	588	15.9
قره‌شور qare shoor	136.7	80.6	0.256	28.3	0.052	321.44	2.71	1.93	5.85	0.17	36.56	3.73	312	17.1
سرمو Sarmo	405.31	137.7	0.21	34.64	0.073	1974.09	2.5	1.91	2.96	0.337	62.34	6.5	765	14.5

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

ایستگاه Station	مساحت A	محیط Per	تراکم زهکشی μ	طول آبراهه اصلی Lab	شیب آبراهه اصلی Sab	ارتفاع متوسط Hmean	زمان تمرکز Tc	ضریب گراویلیوس C	عامل شکل حوضه SF	عامل فرم حوضه FF	طول مستطیل معادل L	عرض مستطیل معادل B	متوسط بارش سالانه P	متوسط دمای ماهانه T
پل اردوگاه ordogah	192.12	86.8	0.201	29.78	0.073	1865.39	2.25	1.75	4.61	0.216	38.39	5	694	13.9
انجیراب Anjirab	42.66	56.6	0.374	22.73	0.033	680.83	1.79	2.42	12.11	0.082	26.7	1.59	289.54	16.2
یساقی Yasaqi	123.83	89.2	0.274	32.31	0.073	1300.49	2.49	2.24	8.43	0.118	41.62	2.97	543	15.5
میاندره Miandare	38.64	43.8	0.24	15.11	0.137	779.85	1.13	1.97	5.91	0.169	19.96	1.93	389	16.2
سرکلاته Sarkalate	10.34	22.4	0.094	9.28	0.073	952.98	0.64	1.94	8.32	0.12	10.18	1.01	422	15.6
سد کوثر- نومل sadnomel	23.94	29.1	0.168	10.1	0.073	869.55	0.87	1.66	4.26	0.234	12.65	1.89	275.23	15.4
سد کوثر- گرمابدشت sadgarmabdasht	30.53	34.3	0.207	12.39	0.073	754.55	1.08	1.73	5.02	0.198	15.13	2.01	265.21	16.3
جنگلده Jangalde	164.75	86.9	0.221	26.86	0.063	783.32	2.4	1.89	4.38	0.228	39.25	4.19	365	15.2
شیرین‌آباد Shirinabad	76.92	53.1	0.203	13.8	0.073	1849.71	1.03	1.69	2.47	0.403	23.24	3.3	570	14.5
سوسرا Soosara	33.96	33.9	0.165	11.73	0.073	1198.17	0.96	1.62	4.05	0.246	14.62	2.32	505	14.8
آبگیر Abgir	53.2	42.1	0.201	13.05	0.151	2083.26	0.98	1.61	3.2	0.312	18.11	2.93	407	13.5
زیارت Ziarat	38.41	55.4	0.247	19.5	0.073	80.08	3.15	2.5	9.9	0.1	26.23	1.46	512	16.63
قوچمز Qochmez	114.29	68.5	0.195	24.36	0.044	555.01	2.5	1.794	5.19	0.192	30.5	3.74	462	14.86

ارزیابی نتایج: جهت ارزیابی نتایج مدل‌سازی از معیارهای ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای اریب (MBE) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد. RMSE بزرگی خطا را نشان می‌دهد و هرچه مقدار آن کوچک‌تر باشد دقت مدل بالاتر است. MBE انحراف از خطای میانگین یا بیش‌برآورد و کم‌برآورد مدل را نشان می‌دهد که می‌بایست متمایل به صفر باشد. R^2 نیز ضریب تعیین بین مقادیر دبی مشاهداتی (Q_o) و دبی پیش‌بینی‌شده (Q_p) می‌باشد که بالابودن آن دقت مدل را نشان می‌دهد که روابط به‌صورت زیر ارائه داده شد:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_p - Q_o)}{\sum_{i=1}^{n}(Q_o - \bar{Q})} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_p - Q_o)^2}{n}} \quad (۳)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_p - Q_o)}{n} \quad (۴)$$

نتایج و بحث

در مدل‌سازی، دو حالت در نظر گرفته شد. در حالت اول ابتدا داده‌های اقلیمی بارش و دما به همراه مشخصات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل شدند و به کمک دو روش رگرسیون چندمتغیره و رگرسیون درختی (M5)، مقدار متوسط آبدهی ماهانه مدل‌سازی شد. سپس برای مشخص کردن نقش بارش ماه‌های قبل در پیش‌بینی دبی، بارش‌های یک تا سه ماه قبل نیز به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل شدند (حالت دوم). برای تحلیل رگرسیون چندمتغیره از نرم‌افزار minitab و برای تحلیل مدل درخت تصمیم از نرم‌افزار RapidMiner استفاده گردید. نتایج ارزیابی مدل‌های به‌کار گرفته شده در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

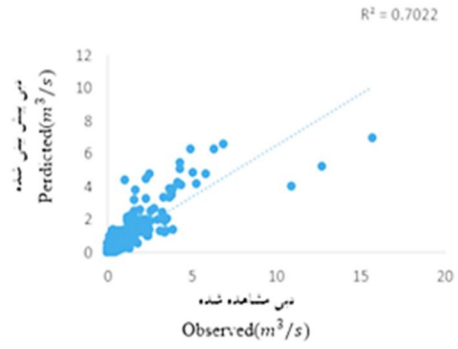
با مقایسه سه معیار ارزیابی شامل ضریب تعیین، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب دو روش درخت تصمیم و رگرسیون چندمتغیره مشخص شده است که در ماه‌های فصل بهار و تابستان با افزایش دما و کاهش بارندگی (متغیرهای مستقل) میزان ضریب تعیین در هر دو روش کاهش پیدا نموده است. با توجه به جدول فوق در ماه مرداد با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره نتایج برابر با R^2=۰/۰۹۳، RMSE=۱/۹۷۹، MBE=۰/۲۰۱ می‌باشد که ضعیف‌ترین حالت پیش‌بینی ماهانه را نشان می‌دهد و ماه اسفند با R^2=۰/۵۲۲، RMSE=۲/۰۴۳، MBE=۰/۱۵۳ بهترین نتیجه را به‌دست می‌دهد. به همین صورت در روش درخت تصمیم که نتایج آن بهتر از رگرسیون چندمتغیره می‌باشد در ماه مرداد ضعیف‌ترین نتیجه را با R^2=۰/۱۵۸، RMSE=۱/۹۱۱، MBE= -۰/۰۰۱ شاهد هستیم و ماه اسفند با R^2=۰/۷۹۹، RMSE=۱/۴۳۰، MBE= -۰/۰۳۰ برآوردی بهتری از جریان ماهانه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج ارزیابی روش‌های درخت تصمیم و رگرسیون چندمتغیره جهت شبیه‌سازی متوسط آبدهی ماهانه در حالت اول.

Table 2. The results of Multivariate regression and decision tree methods to simulate the average of monthly discharge in the first.

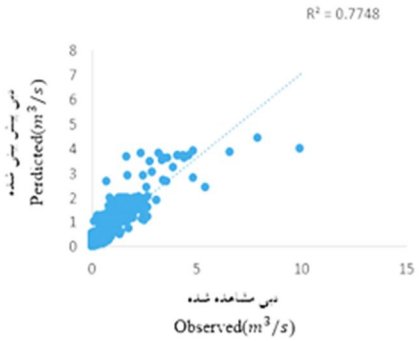
درخت تصمیم Decision tree			رگرسیون چندمتغیره Multivariate regression			ماه Month
MBE	RMSE	R^2	MBE	RMSE	R^2	
-0.026	2.495	0.675	0.181	3.017	0.487	فروردین Apr
-0.017	2.531	0.401	0.107	2.672	0.314	اردیبهشت May
0.012	0.834	0.450	0.031	0.912	0.323	خرداد Jun
-0.002	0.497	0.447	0.011	0.576	0.246	تیر Jul
-0.001	1.911	0.158	0.021	1.979	0.093	مرداد Aug
0.001	0.597	0.357	0.005	0.664	0.199	شهریور Sep
-0.005	0.669	0.668	0.025	0.721	0.332	مهر Oct
-0.002	0.562	0.446	0.031	0.608	0.469	آبان Nov
-0.011	0.483	0.776	0.049	0.656	0.519	آذر Dec
-0.007	0.718	0.702	0.069	0.964	0.413	دی Jan
-0.017	0.940	0.729	0.088	1.225	0.481	بهمن Feb
-0.030	1.430	0.799	0.153	2.043	0.522	اسفند Mar

رابطه بین دبی مشاهده‌ای و دبی پیش‌بینی‌شده مدل درخت تصمیم در حالت اول



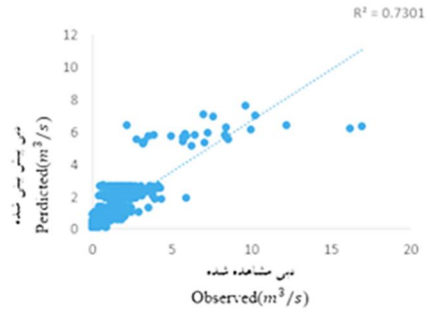
شکل ۲- رابطه بین دبی مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده ماه دی.

Figure 2. The relationship between observed and predicted discharge in Jan.



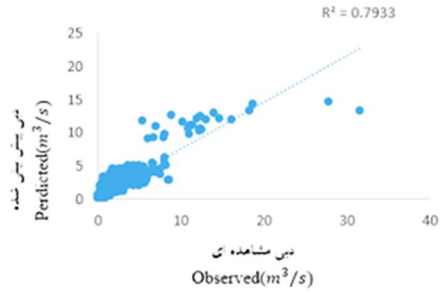
شکل ۳- رابطه بین دبی مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده ماه آذر.

Figure 3. The relationship between observed and predicted discharge in Dec.



شکل ٤- رابطه بین دبی مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده ماه بهمن.

Figure 4. The relationship between observed and predicted discharge in Feb.



شکل ٥- رابطه بین دبی مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده ماه اسفند.

Figure 5. The relationship between observed and predicted discharge in Mar.

نمودارهای فوق میزان همبستگی دبی پیش‌بینی شده و دبی مشاهده‌شده را در روش رگرسیون درختی (M5) نشان می‌دهد.

در ماه اسفند با ضریب تعیین تقریباً ۰/۸ نشان‌دهنده تأثیر مثبت متغیرهای مستقل بر متغیر هدف (دبی پیش‌بینی‌شده) می‌باشد.

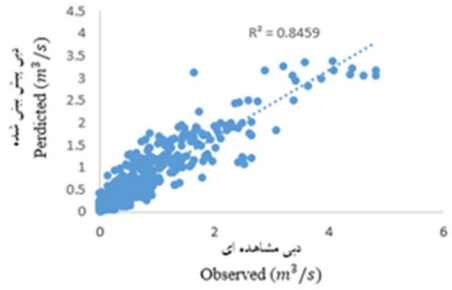
جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های درخت تصمیم و رگرسیون چندمتغیره جهت شبیه‌سازی متوسط آبدهی ماهانه در حالت دوم.

Table 3. The results of Multivariate regression and decision tree methods to simulate the average of monthly discharge in the Second.

درخت تصمیم Decision tree			رگرسیون چندمتغیره Multivariate regression			ماه month
MBE	RMSE	R^2	MBE	RMSE	R^2	
0.019	1.793	0.552	0.184	2.999	0.491	فروردین Apr
0.018	1.622	0.613	0.111	2.650	0.322	اردیبهشت May
-0.007	0.543	0.543	0.031	0.912	0.341	خرداد Jun
0.002	0.435	0.531	0.013	0.572	0.265	تیر Jul
0	0.635	0.326	0.020	1.979	0.103	مرداد Aug
0	0.543	0.381	0.011	0.655	0.241	شهریور Sep
0.002	0.311	0.741	0.028	0.716	0.351	مهر Oct
0.006	0.315	0.810	0.030	0.608	0.474	آبان Nov
0.007	0.329	0.846	0.049	0.656	0.532	آذر Dec
0.005	0.354	0.839	0.070	0.962	0.429	دی Jan
0.018	0.667	0.806	0.090	1.214	0.487	بهمن Feb
0.026	1.002	0.864	0.153	2.043	0.522	اسفند Mar

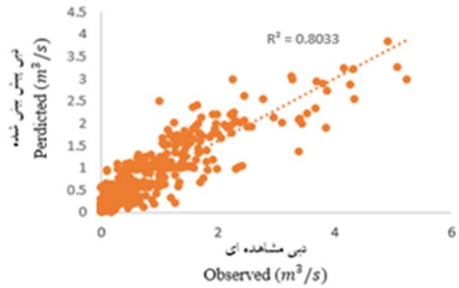
نتایج نشان داد که ورود پارامترهای بارش یک، دو و سه ماه قبل به درون مدل، باعث افزایش دقت پیش‌بینی می‌شود به‌طوری‌که در ماه‌های پربارش این افزایش دقت بیش‌تر مشاهده می‌شود. به‌طور مثال در ماه اسفند ضریب تعیین مدل درخت تصمیم از ۰/۷۹۹ به ۰/۸۶۴ و ریشه میانگین مربعات خطای آن از ۰/۹۴۰ به ۱/۰۰۲ می‌رسد.

رابطه بین دبی مشاهده‌ای و دبی پیش‌بینی‌شده مدل درخت تصمیم در حالت دوم



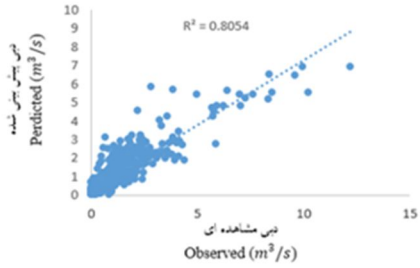
شکل ٦- رابطه بین دبی مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده ماه آذر.

Figure 6. The relationship between observed and predicted discharge in Dec.



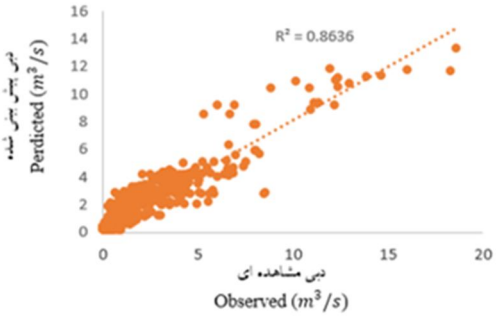
شکل ۷- رابطه بین دبی مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده ماه دی.

Figure 7. The relationship between observed and predicted discharge in Jan.



شکل ۸- رابطه بین دبی مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده ماه بهمن.

Figure 8. The relationship between observed and predicted discharge in Feb.



شکل ۹- رابطه بین دبی مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده ماه اسفند.

Figure 9. The relationship between observed and predicted discharge in Mar.

در نمودارهای فوق که برآوردهای بهتر بین دبی مشاهده شده و دبی پیش‌بینی‌شده در بین دوازده ماه سال آورده شده است. مشاهده شد که در ماه‌های بهمن و اسفند میزان ضریب تعیین بیش‌تر از سایر ماه‌ها گردیده است.

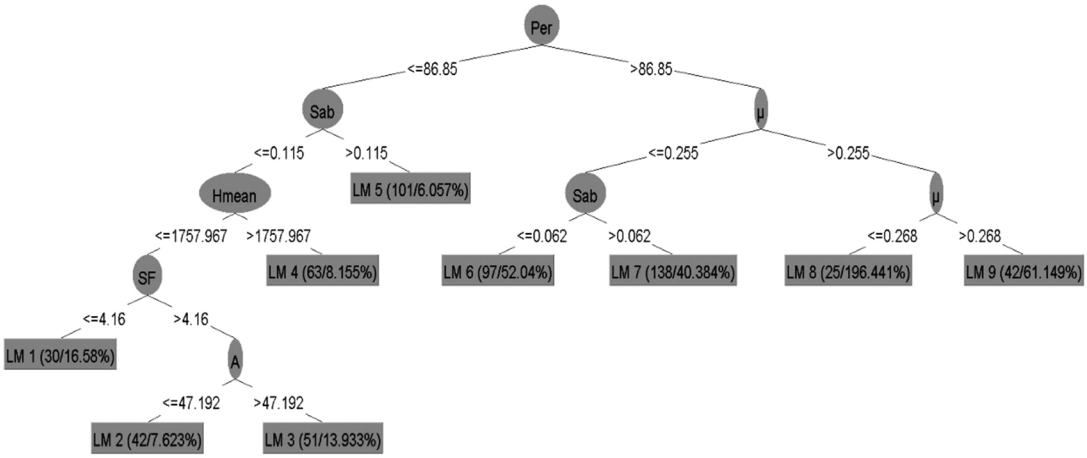
با توجه به روابط رگرسیونی ۵ و ۶ که به‌ترتیب مربوط به ماه مرداد (ضعیف‌ترین برآورد) و ماه اسفند (بهترین برآورد) می‌باشد. مشاهده می‌شود که پارامترهای حوضه از قبیل مساحت، طول آبراهه اصلی، ضریب گراویلیوس و عامل شکل حوضه و هم‌چنین پارامتر بارش در پیش‌بینی آبدهی ماهانه رودخانه مؤثر واقع شده است.

$$Q = 1.36 + 0.0549L_{ab} - 0.00847\mathrm{P} - 0.004319\mathrm{A} - 0.88\mathrm{C} \quad (۵)$$

$$Q = -0.671 - 2.7S_{ab} + 0.2451L_{ab} - 0.01235A - 0.3044SF \quad (۶)$$

طبق نتایج خروجی از مدل درختی (M5) که به‌صورت زیر ارائه شده است در ماه اسفند، مشخصات حوضه شامل محیط حوضه، شیب آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط، عامل شکل حوضه، مساحت حوضه و تراکم زهکشی از پارامترهای مؤثر در تخمین آبدهی ماهانه بوده است. همان‌طور که در معادلات ارائه شده مشخص گردیده است پارامترهای مساحت حوضه، تراکم زهکشی و طول آبراهه اصلی تأثیر بیش‌تری در برآورد آبدهی ماهانه داشت و پارامترهای شیب آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط و عامل شکل حوضه نقش چندانی در پیش‌بینی آبدهی نداشته است.

```
Per <= 86.85 :
|  Sab <= 0.115 :
|  |  Hmean <= 1757.967 :
|  |  |  SF <= 4.16 : LM1 (30/16.58%)
|  |  |  SF >  4.16 :
|  |  |  |  A <= 47.192 : LM2 (42/7.623%)
|  |  |  |  A >  47.192 : LM3 (51/13.933%)
|  |  Hmean > 1757.967 : LM4 (63/8.155%)
|  Sab >  0.115 : LM5 (101/6.057%)
Per >  86.85 :
|  μ <= 0.255 :
|  |  Sab <= 0.062 : LM6 (97/52.04%)
|  |  Sab >  0.062LM7 (.384%)
|  μ >  0.255 :
|  |  μ <= 0.268 : LM8 (25/196.441%)
|  |  μ >  0.268 : LM9 (42/61.149%)
```



شکل ۱۰- نمودار درختی ماه اسفند.

Figure 10. Tree diagram in March.

LM num: 1

$$Q = 0.0009 * A + 0.4813 * \mu - 1.6248 * Sab - 0.0001 * H\ mean - 0.0301 * SF + 0.0004 * L + 1.090 \quad (۷)$$

LM num: 2

$$Q = 0.0016 * A + 0.4214 * \mu - 1.6248 * Sab - 0.0001 * H\ mean - 0.0171 * SF + 0.0004 * L\ 0.55 \quad (۸)$$

LM num: 3

$$Q = 0.0014 * A + 2.1062 * \mu - 1.6248 * Sab - 0.0001 * Hmean - 0.0171 * SF + 0.0004 * L + 0.4972 \quad (۹)$$

LM num: 4

$$Q = 0.0003 * A - 1.6248 * Sab - 0.0001 * Hmean - 0.0118 * SF + 0.0004 * L + 0.815 \quad (۱۰)$$

LM num: 5

$$Q = 0.0002 * A - 1.7516 * Sab - 0.0001 * Hmean - 0.0047 * SF + 0.0004 * L + 0.550 \quad (۱۱)$$

LM num: 6

$$Q = 0.001 * P - 0.0006 * P1 - 0.0001 * A + 0.6884 * \mu - 12.24 * Sab - 0 * Hmean + 0.0015 * L + 4.1588 \quad (۱۲)$$

LM num: 7

$$Q = 0.0008 * P - 0.0004 * P1 + 0.0004 * A + 0.6884 * \mu - 10.7641 * Sab - 0 * Hmean + 0.0093 * L + 1.7439 \quad (۱۳)$$

LM num: 8

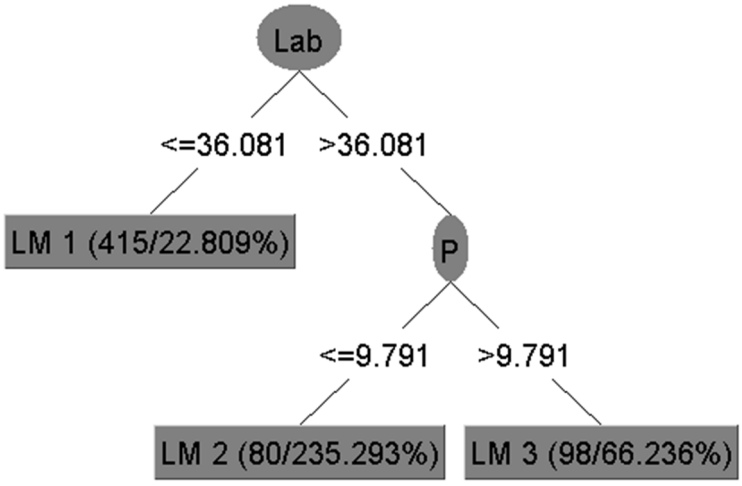
$$Q = 0.0012 * P - 0.0002 * A - 111.4392 * \mu - 17.6919 * Sab - 0 * Hmean + 0.0024 * L + 40.78 \quad (۱۴)$$

LM num: 9

$$Q = 0.0012 * P - 0.0002 * A - 77.577 * \mu - 17.6919 * Sab - 0 * Hmean + 0.0024 * L + 26.4344 \quad (۱۵)$$

معادلات مدل درختی (M5) برای ماه مرداد در زیر ارائه گردیده است. طبق این معادلات در می‌یابیم که شیب آبراهه اصلی، مساحت و طول آبراهه اصلی نقش بیش‌تری در پیش‌بینی آبدهی داشته‌اند و همچنین سایر پارامترها شامل متوسط بارش ماهانه، بارش با تأخیر دو ماه، محیط حوضه، زمان تمرکز، طول آبراهه اصلی، ضریب گراویلیوس و طول مستطیل معادل تأثیر کم‌تری در پیش‌بینی آبدهی ماهانه رودخانه داشته است.

Lab <= 36.081 : LM1 (415/22.809%)
Lab > 36.081 :
| P <= 9.791 : LM2 (80/235.293%)
| P > 9.791 : LM3 (98/66.236%)



شکل ۱۱- نمودار درختی ماه مرداد.

Figure 11. Tree diagram in August.

LM num: 1

$$Q = -0.0003 * P - 0.0027 * P2 + 0.0015 * A - 0.0001 * Per + 0.0024 * Lab - 0.0024 * TcKp - 0.0292 * C - 0.0001 * L + 0.1661 \quad (۱۶)$$

LM num: 2

$$Q = -0.0041 * P - 0.0001 * A - 0.0003 * Per + 0.0053 * Lab + 3.1552 * Sab - 0.0054 * TcKp - 0.065 * C - 0.0002 * L + 2.2345 \quad (۱۷)$$

LM num: 3

$$Q = -0.0036 * P - 0.0001 * A - 0.0003 * Per + 0.0053 * Lab + 2.6526 * Sab - 0.0054 * TcKp - 0.065 * C - 0.0002 * L + 1.0442 \quad (۱۸)$$

نتیجه‌گیری

برآورد آبدهی ماهانه رودخانه یک ابزار مهم در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و محیط زیست می‌باشد. در حوضه‌هایی که دارای آمار محدود ثبت شده می‌باشند برآورد آبدهی ماهانه رودخانه به مراتب دارای پیچیدگی بالاتر است.

در این پژوهش از دو روش به‌نام مدل درخت تصمیم (M5) و رگرسیون چندمتغیره جهت برآورد دبی رودخانه در حوضه‌های فاقد آمار استفاده شده است. مدل درخت تصمیم (M5) ضمن سادگی محاسبه‌ها و معادله‌های ارائه شده، قابلیت خوبی در تخمین آبدهی رودخانه داشته است. این مدل به‌ازای پارامترهای اقلیمی شامل متوسط بارش و دمای ماهانه و پارامترهای فیزیوگرافی مقدار دبی رودخانه را برای ماه‌های مختلف به خوبی تخمین می‌زند. ارزیابی نتایج به‌دست آمده از دو مدل مذکور نشان می‌دهد که ضریب تعیین داده‌ها برای ماه‌های پرباران بیش‌تر از دیگر ماه‌های سال می‌باشد و دلیل آن به‌خاطر شرایط آب و هوایی در بهار و تابستان و همچنین استفاده از آب جهت مصارف کشاورزی توسط کشاورزان است که سبب کاهش دبی رودخانه می‌گردد. هم‌چنین با مقایسه معیارهای ارزیابی با یافته‌های خزایی و میرزایی (۲۰۱۳) در پژوهشی جهت برآورد دبی ماهانه با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و سری‌های زمانی چنین نتیجه می‌شود که روش شبکه عصبی با ضریب همبستگی برابر ۰/۸۳ نسبت به مدل سری زمانی آرما با ضریب همبستگی ۰/۷۷ برتری داشته است و در مقایسه با نتایج پژوهش حاضر، میزان ضریب همبستگی مدل M5 در ماه اسفند ۰/۹۳ می‌باشد که نشان‌دهنده دقت نسبتاً بالای مدل درخت تصمیم می‌باشد. هم‌چنین نتایج حاصل از این پژوهش و نتایج پژوهش نگارش و همکاران (۲۰۱۴) که از روش رگرسیون چندمتغیره در پیش‌بینی رواناب رودخانه استفاده کردند، مطابقت دارد به‌طوری‌که در هر دو پژوهش فاکتورهای مساحت، زمان تمرکز، ضریب فشردگی و ارتفاع متوسط حوضه بر دبی ماهانه رودخانه تأثیر خوبی داشته است.

منابع

1.Ayoubloo, M.K., Etemad Shahidi, A., and Mahjoobi, J. 2010. Evaluation of regular wave scour around a circular pile using data mining approaches. Applied Ocean Research. 32: 1. 34-39.

2.Azmi, M., and Araghinejad, Sh. 2012. Development of K-Nearest Neighbour Regression Method in Forecasting River Stream Flow. J. Water Wastewater. 23: 82. 108-119. (In Persian)

3.Bhattacharya, B., Price, R.K., and Solomatine, D.P. 2007. Machine learning approach to modeling sediment transport. J. Hydr. Engin. 133: 4. 440-450.

4.Chen, J.C., Ning, S.K., Chen, H.W., and Shu, C.S. 2008. Flooding probability of urban area estimated by decision tree and artificial neural networks, J. Hydroinf. 10: 1. 57-67.
5.Cheng, C.C., Hsu, N.S., and Wei, C.C. 2008. Decisiontree analysis on optimal release of reservoir storage under typhoon warnings. Natural Hazards. 44: 1. 65-84.
6.Danandehmehr, A., and Majdzadeh Tabatabai, M.R. 2010. I Prediction of Daily Discharge Trend of River Flow Based on Genetic Programming. J. Water Soil. 24: 2. 325-333. (In Persian)
7.Dastourani, M.T., Habibipoor, A., Ekhtesasi, M.R., Talebi, A., and Mahjoobi, J. 2012. Evaluation of the Decision Tree Model in Precipitation Prediction (Case study: Yazd Synoptic Station). Iran-Water Resources Research. 3: 14-27. (In Persian)
8.Davoodi Rad, A.A. 2006. Calibration empirical equations of mathematical models to estimate runoff and compared them with runoff. The second conference Water Resources Management. Pp: 1-8. (In Persian)
9.Ebrahimi Mohammadi, Sh., and Bashari, M. 2010. Modelling and forecasting monthly Discharg. 2rd national conference on combating desertification and sustainable development of Iran Desert Wetlands (Case study: Gharehsoo River). 22: 1. 1-7. (In Persian)
10.Geissen, V., Kampichler, C., Lopez-de Llergo, J.J., and Galindo-Acantara, A. 2007. Superficial and subterranean soil erosion in Tabasco, tropical Mexico: development of a decision tree modeling approach. Geoderma. 139: 277-287.
11.Khedmati, H., Manshouri, M., Heydarizadeh, M., and Sedghi, H. 2010. Zonation and Estimation of Flood Discharge in Unguaged Sites Located in South-East Basins of Iran Using a Combination of Flood Index and Multi-Variable Regression Methods (Sistan and Baluchistan, Kerman, Yazd and Hormozgan Provinces). J. Water Soil. 24: 3. 593-609. (In Persian)
12.Kocev, D., Saso, D., White, M.D., Newell, G.R., and Griffioen P. 2009. Using single and multi-target regression trees and ensembles to model a compound index of vegetation condition. Ecological Modeling. 220: 8. 1159-1168.
13.Khazaei, M., and Mirzaei, M.R. 2013. Comparison prediction performance of monthly discharge using ANN and time series. J. Water. Engin. Manage. 5: 2. 74-84. (In Persian)
14.Mahesh, P., and Mather, P.M. 2003. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. Remote Sensing of Environment. 86: 4. 554-565.
15.Mohammadi, A.A., and Ahmadi, H. 2011. Presentation of a model for estimation of instanteouse peak flow in ungauged basins based on instantaneouse geomorphologic, Snyder, SCS and triangular unit hydrographs. Quar. J. Physic. Geograph. Lar. 4: 13. 37-48. (In Persian)
16.Negaresh, H., Tavousi, T., and Mahdavi Nasab, M. 2014. Modeling the Production of Runoff in Kashkan River Catchment Based on the Statistical Methods. J. Urban Ecol. 3: 6. 81-92. (In Persian)
17.Quinlan, J.R. 1992. Learning with continuous classes. Proceedings of 5th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, Singapore. Pp: 343-348.
18.Rusjan, S., and Micos, M. 2008. Assessment of hydrological and seasonal controls over the nitrate flushing from a forested watershed using a data mining technique. Hydrol. Earth Syst. Sci. 12: 645-656.
19.Taghi Sattari, M., Anli, A.S., Apaydin, H., and Kodal, S. 2012. Decision tree to determine the possible drought periods in Ankara. 25: 1. 65-83.
20.Witten, I.H., and Frank, E. 2005. Data mining: practical machine learning tools and techniques wit Java implementations. Morgan Kaufmann: San Francisco. 664p.
21.Zarei, M.M., Dastourani, M.T., and Mesdaghi, M. 2015. Rainfall-runoff modeling using neural network models and comparison with the decision tree model. The first national conference of passive defense in agriculture, natural resources and the environment with sustainable development approach. Pp: 1-8. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(3), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Estimation of monthly discharge using climatic and physiographic parameters of ungauged basins

Z. Naeimi Kalourazi[1], *Kh. Ghorbani[2], M. Salarijazi[3] and A.A. Dehghani[2]

[1]M.Sc. Student, Dept. of Water Resources Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, [2]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 05/24/2016; Accepted: 09/14/2016

Abstract

Background and Objectives: Discharge estimation in watersheds with limited statistical data is of interest of researchers especially in developing countries. In many cases, recorded discharges are not available or insufficient in terms of quality and quantity that lead to problems for water resources management plans. Therefore, methods to predict the river discharges in ungauged or with limited recorded data have considerable importance. Various methods including statistical models, time series and expert models have been developed for discharge estimation. The decision tree model is one of expert models that model the nonlinear behavior of data using simple rules production. The objective of this study is evaluation of multivariate regression and decision tree model (M5) to estimate monthly discharge in ungauged watersheds in Golestan Province.

Materials and Methods: In this study, the Golestan province that includes various watersheds with different characteristics was considered. The physiographic characteristics of studied watershed were extracted and rainfall and temperature climatic parameters were estimated in monthly time scale in GIS environment for the period 1981-2011. The climatic and physiographic parameters were considered as input to multivariate regression and decision trees M5 models and root mean square error (RMSE) and correlation coefficient (R) applied for models evaluation.

Results: According to the results of multiple regression and decision tree models, discharge estimations in wet months were more accurate than dry months. In application of decision tree model the best prediction belonging to March with R=0.93 and RMSE=1.002 while worst prediction was for August with R=0.571 and RMSE=0.635. Moreover, multivariate regression model led to best results in March with R=0.723 and RMSE=2.043 and low accurate prediction in August with R=0.322 and RMSE=1.979. The results of decision tree model were better than multivariate regression model in all months based in calculations.

Conclusion: The results of this study showed that the discharge estimation using multivariate regression and decision tree M5 models in wet months are applicable but in dry months' predictions are not accurate because of high rainfall variations, storm patterns and error in rainfall zoning and interpolation. The results indicated that the decision tree model had more accurate results than multivariate regression model considering higher precision and lower error. The decision tree model had higher correlation coefficient with respect to model evaluation criteria.

Keywords: Decision tree model M5, Multivariate regression, River discharge, Ungauged basins

* Corresponding Author; Email: ghorbani.khalil@yahoo.com