نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۲، خرداد - تیر ۱۳۸۹، ص. ۳۳۳-۳۲۵

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 2, May-Jun 2010, p. 325-333

بررسی تأثیر توالی دبی روزانه در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک

علی داننده مهر[۱]- محمدرضا مجدزاده طباطبائی[۲*]

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۲۴
تاریخ پذیرش: ۸۸/۹/۲۲

چکیده

پیش‌بینی دقیق جریان در رودخانه‌ها یکی از مهمترین ارکان در مدیریت منابع آبهای سطحی به ویژه اتخاذ تدابیر مناسب در مواقع سیلاب و بروز خشکسالی‌ها، است. در حقیقت حصول روش‌های مناسب و دقیق در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها را می‌توان به عنوان یکی از مهمترین چالش‌ها در فرآیند مدیریت و مهندسی منابع آب دانست. اگر چه تحقیقات وسیعی در خصوص کاربرد روش‌های متکی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی[۱](ANN) و برتری دقت این روش‌ها بر روش‌های متداول آماری مانند روشهای اتورگرسیو و میانگین متحرک در دو دهه اخیر ارائه شده است ولی به دلایل مختلفی ازجمله غیر صریح بودن این روش‌ها و پیچیدگی حاکم بر انتخاب و معماری شبکه مناسب، استفاده از آنها در عمل به طور مناسب توسعه نیافته است. در تحقیق حاضر ضمن معرفی روش برنامه‌ریزی ژنتیک (GP) به عنوان یک روش صریح برای پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها، از این روش به منظور بررسی تأثیر توالی دبی روزانه در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه آبسرده واقع در استان لرستان، استفاده شده و دقت نتایج حاصله با روش شبکه عصبی مصنوعی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج، حاکی از کارایی مناسب و دقت بالای برنامه‌ریزی ژنتیک در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها است.

واژه‌های کلیدی: دبی روزانه، پیش بینی جریان، برنامه‌ریزی ژنتیک

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 هر چه دقیقتر دبی جریان و تغییرات آن در طول رودخانه از ارکان اساسی برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب‌های سطحی است. از این رو 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) ارائه شده است، لیکن روابط ارائه شده به دلیل عدم شناخت دقیق و نیز پیچیدگی عوامل موثر 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. استفاده از الگوهای ضمنی متکی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی با گسترش روزافزون کاربرد الگوهای رایانه‌ای در دو دهه اخیر، بطور گسترده‌ای در مطالعات مربوط به پیش بینی پارامترهای مختلف منابع آب مورد استفاده قرار گرفته و محققان مختلف بر دقت بالای این روش در مقایسه با الگوهای سری زمانی تاکید نموده‌اند. بهاتاچاریا و سولوماتین (۸) و از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و الگوی M5 (از الگوهای سلسله مراتبی) برای الگوسازی رابطه بین سطح آب و دبی جریان بهره بردند که بر اساس نتایج حاصل، دقت روشهای فوق بیشتر از روشهای معمول برآورد گردید. ماکارینسکی و همکاران (۱۷) با پیش‌بینی نوسانات سطح آب در ناحیه مرزی بین اقیانوس هند و اقیانوس منجمد جنوبی در استرالیا بدین نتیجه دست یافتند که استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی سبب حصول مقادیر واقعی‌تری می‌شود. آلویسی و همکاران (۶) اقدام به پیش بینی سطح آب با استفاده از روشهای شبکه عصبی مصنوعی

۱و۲- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه و استادیار دانشگاه صنعت آب و برق، تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: mrmtabatabai@pwut.ac.ir)

3- Artificial Neural Networks
4- Genetic Programming

Archive of SID
www.SID.ir

و منطق فازی نموده و بدین نتیجه دست یافتند که هرگاه از اطلاعات ورودی دقیق‌تری استفاده شود، دقت روش شبکه عصبی مصنوعی نسبت به منطق فازی بیشتر خواهد بود. سارانگی و بهاتاچاریا (۲۰) در حوزه آبگیر بنها هندوستان با استفاده از الگوهای شبکه عصبی و رگرسیونی دبی رسوب را برای هر دو الگو برآورد نموده و نتیجه گرفتند که الگو شبکه عصبی از دقت بالاتری برخوردار است. فتاحی و همکاران (۲) نیز برای پیش‌بینی رسوب معلق رودخانه از روش شبکه عصبی مصنوعی بهره جسته و برتری این روش را به روش منحنی سنجه رسوب اثبات نمودند. کیسی (۱۴) با بهره‌گیری از الگوهای ضمنی شبکه عصبی مصنوعی اقدام به پیش‌بینی جریانهای روزانه و ماهانه رودخانه‌های گوسو در ژاپن، بلک واتر و گیلا در آمریکا و رودخانه فلیوس در ترکیه و مقایسه نتایج با روشهای سری زمانی نمود و نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با این روشها از دقت بالاتری برخوردار است. در زمینه ارزیابی روشهای شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها در ایران نیز می‌توان به تحقیقات رضوی و کاراموز (۱) روی رودخانه زاینده رود، علیائی و همکاران (۳) روی رودخانه لیقوان چای و محمدی و محمودیان شوشتری (۴) روی رودخانه کر اشاره نمود.

اگر چه در تمامی تحقیقات مذکور برتری دقت الگوهای متکی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به بر روابط تجربی و الگوهای سری زمانی نشان داده شده است لیکن بدلیل پیچیدگی در ایجاد ساختار و غیرصریح بودن این الگوها استفاده از اینگونه الگوها در عمل به طور مناسبی توسعه نیافته است. لذا توسعه یک الگو صریح و آسان برای پیش بینی جریان رودخانه‌ها ضروری می‌باشد.

مطالعات کتابخانه‌ای انجام شده نشان می‌دهد که در دهه اخیر روش برنامه‌ریزی ژنتیک به عنوان یک روش تناوبی موثر در پیش‌بینی داده‌ها در زمینه مهندسی آب مورد استفاده قرار گرفته است. کالرا و دئو (۱۳) برای بازیافت داده های گمشده امواج در طول ساحل غربی هندوستان از روش برنامه ریزی ژنتیک بهره جستند. لیونگ و همکاران (۱۶) و همچنین ویگهام و کراپر (۲۲) با الگوسازی بارش- رواناب به روش برنامه‌ریزی ژنتیک بدین نتیجه دست یافتند که پیش‌بینی رفتار بارش- رواناب در حوضه‌های آبریز به کمک برنامه‌ریزی ژنتیک سبب بروز خطای کمتری خواهد شد. گیستولیسی (۱۱) از برنامه‌ریزی ژنتیک در تعیین هرچه دقیقتر ضریب مقاومت شزی در کانالهای پیچان بهره برد. رابونال و همکاران (۱۹) نیز با استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک نسبت به ارائه آبنمود واحد در حوزه‌های شهری اقدام نموده‌اند. در خصوص مقایسه نتایج حاصل از روش برنامه‌ریزی ژنتیک با سایر روشها استوریکار و دئو (۲۱) با بکارگیری برنامه‌ریزی ژنتیک در تخمین داده‌های ناقص مربوط به ارتفاع امواج در خلیج مکزیک دریافتند که این روش از دقت بسیار مطلوبی در پیش‌بینی داده‌های مربوط به سری‌های زمانی برخوردار است. دورادو و همکاران (۹) با استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک به الگوسازی بارش- رواناب در حوزه‌های شهری پرداخته و نتایج حاصله را با روش شبکه عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرارداده‌اند. آیتک و کیسی (۷) با الگوسازی پدیده حمل رسوب بر روی دو ایستگاه روی رودخانه تانگ در ایالت مانتانا آمریکا به روش برنامه‌ریزی ژنتیک و مقایسه نتایج حاصله با منحنی سنجه رسوب و روش‌های رگرسیونی، روش برنامه‌ریزی ژنتیک را به عنوان یک رهیافت مناسب برای الگوسازی رسوبات معلق رودخانه‌ها معرفی نموده‌اند. گون (۱۲) نیز برای پیش بینی دبی جریان روزانه رودخانه شویل‌کیل[1] در ایالات متحده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک خطی استفاده کرد و نتایج حاصل را با دو الگو از روشهای شبکه عصبی مورد مقایسه قرارداد. وی نشان داد که هر دو روش نتایج قابل قبولی داشته است ولی روش برنامه‌ریزی ژنتیک خطی از دقت بالاتری نسبت به روش‌های شبکه عصبی برخوردار است.

هدف از تحقیق حاضر استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک در پیش‌بینی سری زمانی جریان در رودخانه‌ها و ارزیابی دقت این روش می‌باشد. بدین منظور از داده‌های دبی روزانه ثبت شده ایستگاه آبسنجی تنگ محمد حاجی بر روی رودخانه آبسرده واقع در استان لرستان به عنوان مطالعه موردی استفاده شده و دقت نتایج حاصله از روشGP با نتایج حاصل از کاربرد روش ANN مورد مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

برنامه ریزی ژنتیک

برنامه‌ریزی ژنتیک که برای اولین بار توسط کوزا (۱۵) ارائه شد، جزو روش‌های الگوریتم گردشی محسوب می‌شود. مبنای تمامی این روش‌ها بر اساس نظریه تکاملی داروین استوار است. الگوریتم‌های یاد شده اقدام به تعریف یک تابع هدف در قالب معیارهای کیفی نموده و سپس تابع هدف را برای اندازه‌گیری و مقایسه روش‌های مختلف حل کرده و در یک فرآیند گام به گام تصحیح ساختار داده‌ها به کار گرفته و در نهایت، روش حل مناسب را ارائه می‌نمایند. برنامه‌ریزی ژنتیک از روشهای جدید بین روش‌های الگوریتم گردشی می‌باشد که به دلیل دارا بودن دقت کافی، به عنوان یک روش کاربردی مطرح می‌شود. از برنامه‌ریزی ژنتیک به طور وسیعی در کاربرد هوش مصنوعی در حل مسائل مهندسی آب و تعیین ساختار پدیده‌ها استفاده شده است. از این روش به طور موفقیت‌آمیزی می‌توان در شرایط زیر بهره جست: ۱) هرگاه تشخیص ارتباط داخلی میان متغیرهای وابسته بسیار پیچیده باشد ۲) یافتن اندازه و یا شکل متغیر نهایی بسیار پیچیده است ۳) حل

1- Schuylkill

Archive of SID

www.SID.ir

تحلیلی مسئله به روشهای ریاضی متداول غیر ممکن و یا بسیار پیچیده بوده ولی حصول جوابهای تقریبی کفایت می‌کند ۴) اصلاحات جزئی و متداول اجرایی بر روی نتایج به راحتی قابل لحاظ و اندازه‌گیری می‌باشد ۵) حجم بالای داده‌های ورودی نیازمند به آزمون و طبقه‌بندی (مانند زنجیره DNA در مباحث زیست مولکولی، داده‌های ماهواره‌ای و یا داده‌های مربوط به امور مالی و بانکی) (۷تکرار).

در برنامه ریزی ژنتیک، ابتدا بلوک‌های موجود که شامل متغیرهای ورودی و هدف و نیز تابع ارتباط دهنده آنها می‌باشند، تعریف گردیده و سپس ساختار مناسب الگو و ضرایب آن تعیین می‌شود. این روش شامل یک معادله ارتباط دهنده بین متغیرهای ورودی و خروجی بوده، لذا قادر به انتخاب خودکار متغیرهای مناسب الگو و حذف متغیرهای غیر مرتبط است که این امر سبب کاهش ابعاد متغیرهای ورودی خواهد شد. انتخاب ورودی های مناسب، یکی از مهم‌ترین مواردی است که بایستی در این روش مورد توجه قرار گیرد. این امر در شرایطی که از داده‌های ورودی مختلفی بهره برده می‌شود، از اهمیت مضاعفی برخوردار خواهد شد. چرا که ارائه داده‌های ورودی غیر مرتبط، سبب کاهش دقت الگو و ایجاد الگوهای پیچیده‌تری می‌شود که تفسیر آنها با دشواری‌های بیشتری مواجه است. در کاربردهای مهندسی، از برنامه‌ریزی ژنتیک به طور وسیعی در الگوسازی مسائل مربوط به تعیین ساختار پدیده‌ها استفاده می‌شود. فرآیند گام به گام برنامه‌ریزی ژنتیک به صورت مراحل زیر است: ۱) یک جمعیت اولیه از توابع مرکب نشان دهنده الگوهای پیش‌بینی، به صورت تصادفی در نظر گرفته می شود (ایجاد کروموزومها). ۲) معرفی جمعیت اولیه (کروموزومها) به رایانه و ارزیابی هر یک از افراد (ژن) جمعیت مذکور با استفاده از توابع برازش (شناسایی موثرترین افراد در ماهیت پدیده). ۳) انتخاب ژنهای موثر به منظور تکثیر، جهش، جفت‌گیری و تولید مثل افراد جدید با صفات اصلاح شده (فرزندان). ۴) اعمال فرآیند توسعه‌ای تکراری بر روی فرزندان در هر تولید گام چهارم به تعداد معین و یا تا حصول بهترین پاسخ تکرار خواهد شد (۱۵و۱۶ تکرار).

شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی بر اساس یادگیری فرآیند حل مسئله و به‌عبارتی رسیدن به خروجی از طریق یافتن رابطه نهفته در فرآیند مورد نظر کار می کند. بدین منظور الگو با دسته‌ای از داده‌ها آموزش داده شده تا در مورد ورودیهای جدید با توجه به رابطه پیدا شده در مرحله آموزش، خروجی مناسب را محاسبه نماید. برای مطالعه بیشتر مبانی این روش به منابع ۱ الی ۴ مراجعه کنید.

بی‌بعدسازی داده‌ها

اصولا واردکردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود. برای احراز از چنین شرایطی و همچنین به منظور یکسان سازی ارزش داده‌ها برای شبکه، عمل بی‌بعدسازی صورت می‌گیرد. این عمل در واقع به معنای تغییر مقیاس داده‌ها برای محدود کردن مقادیر آنها در یک بازه خاص (مثلاً مابین ۰ و ۱) است. در این تحقیق کلیه داده‌های ورودی قبل از معرفی به شبکه با استفاده از رابطه (۱) بی‌بعد شده‌اند (۳):

$$Q_n = 0.1 + 0.8 \times \left(\frac{Q_O - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) \qquad (۱)$$

که در آن رابطه Q_n مقدار دبی بی‌بعد (نرمال) روزانه، Q_O دبی روزانه مشاهده شده، $Q_{\max}, Q_{\min}$ به ترتیب مقادیر حداکثر و حداق دبی‌های روزانه می‌باشند. رابطه ۱ نشان می‌دهد که دبی‌های مشاهده شده در بازه (۰/۹ و ۰/۱)بی‌بعد می‌شوند. استفاده از حداقل مقدار ۰/۱ برای داده‌های بی‌بعد مانع از کوچک شدن بیش‌ازحد وزن‌ها شده و باعث جلوگیری از اشباع زودهنگام نرون‌ها می‌شود.

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی الگوهای مورد نظر از شاخص‌های ضریب تعیین[1] (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بهره برده شده است که به ترتیب با استفاده از روابط (۲) و (۳) قابل محاسبه‌اند:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} \qquad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - y_i)^2}{N}} \qquad (۳)$$

که در آنها، x_i مقدار مشاهده شده در گام زمانی i ام، y_i مقدار محاسبه شده در همان زمان، N تعداد گام های زمانی و $\bar{x}$ میانگین مقادیر مشاهداتی می‌باشد. کم بودن مقدار $RMSE$ و بالا بودن ضریب R^2 می‌تواند دقت هر الگو در مقایسه با سایر الگوهای را رقیب نشان دهد.

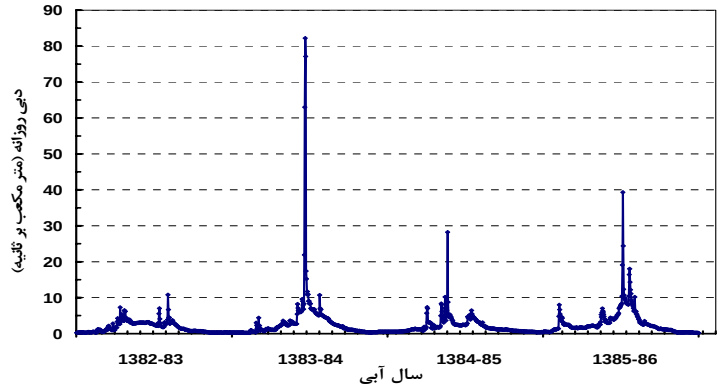
منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر بر اساس داده‌های ایستگاه آبسنجی تنگ محمد حاجی به مختصات ″۱۶-′۴۵-°۴۸ طول شرقی و ″۱۳-′۴۴-°۳۳ عرض شمالی بر روی رودخانه دائمی آبسرده انجام شده است. رودخانه آبسرده قسمت علیای رودخانه سزار بوده و از دامنه کوههای میش‌پرور و دره الش و رنجه واقع در ۲۵ کیلومتری باختری بروجرد و ۳۵ کیلومتری شمال خاوری خرم آباد سرچشمه می‌گیرد.

1- Determination coefficient

Archive of SID

www.SID.ir



(شکل ۱)- مقادیر مشاهداتی دبی روزانه در دوره چهار ساله

(جدول ۱)- مشخصات آماری داده‌های مورد استفاده ایستگاه آبسنجی تنگ محمد حاجی

مشخصه آماری	دبی خام جریان (m^3/s)	دبی بی‌بعد جریان
تعداد داده‌ها	۱۴۶۰	۱۴۶۰
مقدار حداکثر	۸۲/۲	۰/۹
مقدار حداقل	۰/۲	۰/۱
میانگین	۲/۱۸	۰/۱۲
واریانس	۱۹/۳۳	۰/۰۰۱۸
انحراف معیار	۴/۴	۰/۰۴۳

طول این رودخانه حدود ۴۵ کیلومتر بوده و حوزه آبریز آن محدوده‌ای به وسعت ۳۰۰ کیلومتر مربع را شامل می‌شود(۵). دوره آماری ایستگاه شامل دبی روزانه جریان در سالهای ۱۳۶۴ الی ۱۳۸۶ می‌باشد. نوسانات مشاهده شده در دوره آماری بین ۰/۱۷ (حداقل دبی پایه رودخانه مربوط به ماه‌های شهریور و مهر) و ۱۲۰ متر مکعب بر ثانیه (دبی سیلابی اردیبهشت ۱۳۶۴) می‌باشد. در این تحقیق از داده‌های چهار سال اخیر به عنوان جمعیت اولیه استفاده شده است. نمودار نوسانات دبی جریان در شکل (۱)و مشخصات آماری مربوط به دوره تحقیق در جدول (۱) ارائه شده است.

الگوسازی جریان به روش برنامه‌ریزی ژنتیک

همانگونه که پیشتر نیز ذکر شد، انتخاب جمعیت‌های اولیه تصادفی مختلف و تاثیرگذار در پدیده (که در برنامه‌ریزی ژنتیک به عنوان داده‌های آموزشی از آنها یاد می‌شود) به منظور آموزش ماهیت سازوکار حاکم بر پدیده نه تنها سبب پیچیدگی الگو و افزایش حافظه درگیر خواهد شد، بلکه سبب کاهش دقت الگو نیز می‌شود. لذا در الگوسازی جریان رودخانه‌ها نیز بایستی سعی نمود موثرترین داده‌های مشاهداتی را به عنوان داده‌های آموزشی انتخاب کرد. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر تأثیر توالی دبی روزهای قبل در پیش بینی دبی روز مد نظر بوده، صرفاً از داده‌های نرمال شده دبی جریان با توالی برگشتی تا ۵ روز به عنوان داده‌های آموزشی، به صورت ترکیب‌های مختلف مطابق روابط ذیل استفاده شده است که از این پس از آنها به عنوان الگو نام برده خواهد شد. به عبارت دیگر برای تعیین بهترین الگو، الگوهای مختلفی به برنامه‌ریزی ژنتیک معرفی می‌شود و در نهایت از بین الگوهای مختلف، الگویی که در ارزیابی مقایسه‌ای، بهترین نتایج را ایجاد کند به عنوان مناسب ترین الگو انتخاب می‌شود. الگوهای پیشنهادی در این تحقیق عبارتند از:

$$۱: Q_t = f(Q_{t-1})$$
$$۲: Q_t = f(Q_{t-1}, Q_{t-2})$$
$$۳: Q_t = f(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3})$$
$$۴: Q_t = f(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4})$$
$$۵: Q_t = f(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5})$$

که در آن Q_t بیانگر دبی جریان روز و Q_{t-1} و Q_{t-2} به ترتیب دبی جریان در یک روز قبل و دو روز قبل (همگی بی‌بعدند) باشد و به همین ترتیب الگوهای ورودی تا ۵ روز قبل در نظر گرفته شده است.

داده‌های مشاهداتی مربوط به سالهای ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۴، از میان جمعیت اولیه به منظور آموزش الگو و از داده‌های مربوط به سال ۱۳۸۵ در صحت‌سنجی الگو در تمامی الگوها استفاده شده است. برای معرفی الگوها به رایانه و شناسایی بهترین الگوی حاکم بر ماهیت

Archive of SID

www.SID.ir

جریان با استفاده از توابع برازش و انجام فرآیندهای توسعه‌ای و تکرار از نرم‌افزار ویژه الگوسازی برنامه‌ریزی ژنتیک به نام Discipulus محصول انستیتو فنی رجیستر[1] با مشخصات برنامه‌ریزی مطابق جدول (۲) استفاده شده است. توضیح مفاهیم بکار رفته در این جدول به ترتیب بدین شرح است (۱۰): ۱)مؤلفه‌ای است که بر اساس آن معیار توقف اجرای برنامه در هر گام دلخواه تنظیم می شود. ۲)بر اساس این معیار می‌توان تعداد تولید جمعیت در هر یک از مراحل اجرای برنامه را تنظیم نمود. ۳)تعداد برنامه‌های اجرا شده در هر مرحله به منظور نیل به حداقل خطا را نشان می‌دهد. ۴)حداکثر تعداد برنامه‌هایی را نشان می‌دهد که بایستی مورد ارزیابی واقع شوند.

مشخصات آماری حاصل از اجرای روش برنامه‌ریزی ژنتیک در جدول (۳) ارائه شده است. همانگونه که در این جدول مشاهده می‌شود روش GP با الگوی ورودی ۳ که دبی جریان را تا سه روز قبل مد نظر قرار می‌دهد دارای بالاترین ضریب تعیین (۰/۹۴) بوده و در آن مقدار جذر میانگین مربعات خطا به کمترین مقدار (۰/۰۱۸) رسیده است. همچنین اجرای GP با الگوی ورودی چهارم و پنجم که دبی جریان روزانه را به ترتیب تا چهار و پنج روز قبل وابسته می‌سازد، نشان می‌دهد که نتایج از روز سوم به بعد رفته رفته ضعیف تر شده و توالی بیش از حد رو به عقب در پیش‌بینی دبی روزانه تاثیر منفی می‌گذارد. به عبارت دیگر اگرچه از روز سوم به بعد تعداد روزهای دخیل (و به تبع آن پارامترهای دخیل) در پیش‌بینی جریان افزایش می‌یابد ولی این افزایش صرفاً بر پیچیدگی الگو افزوده و نتایج پیش‌بینی را رفته رفته ضعیف‌تر می‌سازد. در مجموع الگوی ورودی شماره ۳ به عنوان بهترین الگوی GP برای تخمین جریان رودخانه آبسرده در محل ایستگاه آبسنجی تنگ محمد حاجی پیشنهاد می‌شود.

الگوسازی جریان به روش شبکه عصبی مصنوعی

از روش شبکه عصبی مصنوعی با همان الگوهای ورودی و داده‌های نرمال مربوط به روش GP به منظور بررسی دقت نتایج برنامه‌ریزی ژنتیک، استفاده شد. برای ایجاد شبکه و انجام فرآیندهای آموزش، صحت سنجی و انتخاب بهترین الگو، از جعبه ابزار برازش شبکه عصبی[2] که در جدیدترین نسخه نرم‌افزار MATLAB (نسخه ۲۰۰۸a به بعد) ارائه شده است، استفاده گردید. جعبه ابزار مذکور بر اساس نتایج آخرین تحقیقات به عمل آمده از کاربردهای شبکه عصبی مصنوعی، معماری شبکه عصبی را برای حل مسائل برازش چند بعدی، شبکه دو لایه پیشخور با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطای لیون‌برگ–مارکارد[3] با یک نرون و تابع انتقال خطی در لایه دوم (خروجی) و همچنین پیش‌فرض ۲۰ نرون (با قابلیت تغییر از ۰ تا ۹۹۹۹) نرون و تابع انتقال تانژانت سیگموئید در لایه اول (پنهان)، پیشنهاد می‌نماید (۱۸). در این روش داده‌های ورودی و خروجی به صورت تصادفی به سه دسته آموزشی، صحت سنجی و آزمون تقسیم می‌شوند البته تعداد داده‌ها در هردسته توسط کاربر مشخص می‌شود. به منظور انتخاب بهترین ساختار شبکه برای هر الگو میتوان از تغییر در تعداد نرونهای لایه اول (پنهان) و یا آموزش مجدد شبکه بهره جست و نتایج شبکه‌ها را بر اساس معیارهای سنجش داخلی نرم‌افزار شامل میانگین مربعات خطا (MSE) و ضریب همبستگی (R) مورد ارزیابی قرار داد. در تحقیق حاضر با توجه به اینکه الگوهای مختلف با همدیگر مقایسه خواهند شد برای تعیین بهترین ساختار برای هر الگو از روش آموزش مجدد (تغییر در انتخاب تصادفی دسته‌ها) استفاده شده و تعداد نرونها در لایه اول ثابت نگه داشته شده است. همچنین در تمامی الگوها، ۷۵ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آموزشی، ۱۵ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های صحت سنجی و ۱۵ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آزمون انتخاب شده است. مشخصات آماری نتایج حاصل از روش ANN برای بهترین ساختار در هر الگو در جدول (۴) ارائه شده است. همچنین به منظور مقایسه نتایج حاصل با نتایج روش GP، معیارهای ارزیابی R^2 و RMSE (روابط ۲ و ۳) با استفاده از نتایج روش ANN محاسبه و بر جدول (۴) افزوده شده است. مقایسه الگوهای ۵ گانه با همدیگر نشان می‌دهد با لحاظ دبی‌های مربوطه به یک و سه روز قبل، الگوهای مربوطه نتایج قابل قبولی داشته ولی در سایر الگوها نتایج به مراتب ضعیف تر از نتایج روش GP است. اگرچه تغییرات ضریب تعیین الگوهای ۱ و ۳ در مرحله صحت سنجی بسیار ناچیز بوده و بین الگوهای ۱ و ۳ نمی‌توان به صورت قاطع تصمیم گرفت ولی بدلیل پایین بودن ضریب RMSE در الگوی ورودی شماره ۳ این الگو به عنوان بهترین الگو در روش ANN برای مقایسه با نتایج حاصل از روش GP، انتخاب شده است.

نتایج و بحث

شاخص‌های آماری مربوط به نتایج حاصل از کاربرد روش‌های برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی در بررسی تأثیر توالی دبی روزانه در پیش‌بینی جریان رودخانه آبسرده در جداول شماره (۳) و (۴) ارائه شد. از مقایسه جداول یاد شده چنین بر می‌آید که در هر دو روش GP و ANN مناسبترین الگو پیش‌بینی با توالی برگشتی ۳ روز حاصل می‌شود.

در مقایسه دو روشGP و ANN اگرچه در الگوی اول روش ANN، ضریب تعیین بالاتری نسبت به روشGP ارائه می‌کند ولی به دلیل پایین بودن مقادیر RMSE در روشGP نمی‌توان به یقین نسبت به برتری روش ANN نسبت به روش GP اظهار نظر نمود.

1 - Register Machine Learning Technologies Inc.

2- nftool

3-Feed-forward Levenberg-Marquardt Backpropagation

Archive of SID

www.SID.ir

(جدول ۲)- مشخصات برنامه‌ریزی ژنتیک بکار گرفته شده در تحقیق حاضر

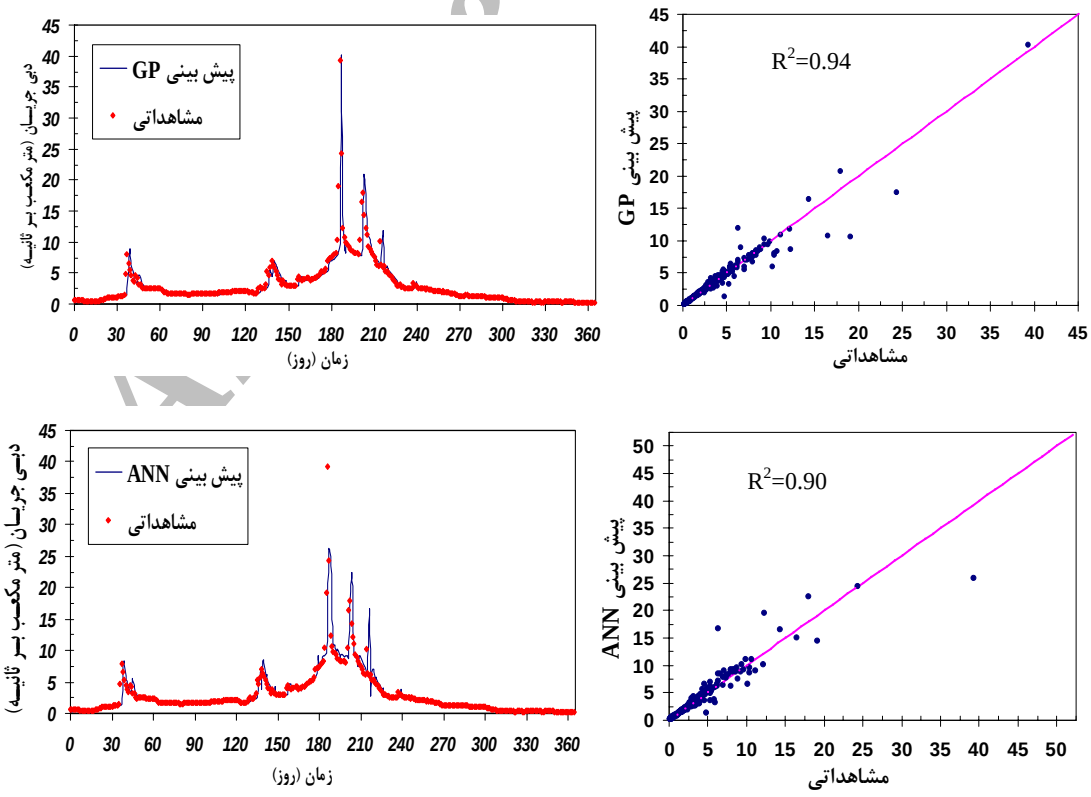
ردیف	معیار مورد نظر	مقدار عددی
۱	تولید بدون بهبود	۱۵۰
۲	تولید از زمان شروع	۲۰۰
۳	حداکثر مقدار اجرا	۱۰۰
۴	اندازه حدکثر برنامه	۵۱۲

(جدول ۳)- مشخصات آماری نتایج برنامه ریزی ژنتیک

الگوی ورودی	تعداد اجرا	آموزش		صحت سنجی	
		RMSE	R^2	RMSE	R^2
۱	۱۰۰	۰/۰۱۷	۰/۸۴۸	۰/۰۲۵	۰/۸۸
۲	۱۰۰	۰/۰۱۸	۰/۸۵۲	۰/۰۱۸	۰/۹۴
۳	۱۰۰	۰/۰۱۴	۰/۹۱۷	۰/۰۱۸	۰/۹۴
۴	۱۰۰	۰/۰۱۸	۰/۸۴۸	۰/۰۲۲	۰/۹۱
۵	۱۰۰	۰/۰۱۶	۰/۸۴۰	۰/۰۲۵	۰/۸۸

(جدول ٤)- مشخصات آماری نتایج شبکه عصبی مصنوعی

الگوی ورودی	تعداد نرون درلایه اول	آموزش				صحت سنجی			
		MSE	R	RMSE	R^2	MSE	R	RMSE	R^2
۱	۲۰	۰/۰۰۰۲۷	۰/۹۶۵	۰/۰۱۶	۰/۹۰	۰/۰۰۱۳۳	۰/۹۳۸	۰/۰۳۶	۰/۹۳
۲	۲۰	۰/۰۰۰۱۷	۰/۹۶۹	۰/۰۱۳	۰/۸۷	۰/۰۰۰۹۲	۰/۹۴۱	۰/۰۳۰	۰/۷۵
۳	۲۰	۰/۰۰۰۲۶	۰/۹۵۶	۰/۰۱۶	۰/۸۸	۰/۰۰۰۴۳	۰/۹۳۴	۰/۰۲۱	۰/۹
۴	۲۰	۰/۰۰۰۳۱	۰/۹۵۱	۰/۰۱۸	۰/۸۸	۰/۰۰۰۱۵	۰/۹۵۰	۰/۰۱۲	۰/۶۵
۵	۲۰	۰/۰۰۰۶۱	۰/۹۴۸	۰/۰۲۵	۰/۷۱	۰/۰۰۲۵	۰/۸۸۳	۰/۰۵	۰/۷۸



(شکل ۲)- مقایسه دبی روزانه مشاهده شده و پیش‌بینی شده در دوره صحت سنجی به روش GP و ANN

www.SID.ir

ولی در سایر الگوها به ویژه الگوی منتخب، روشGP نسبت به روش ANN بدلیل داشتن ضریب تعیین بالاتر و مقدار کمتر در جذر میانگین مربعات خطا از دقت بالاتری برخوردار است. این موضوع در شکل (۲) با مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی جریان رودخانه به هر دو روش در مقایسه با جریان روزانه مشاهده شده در دوره صحت‌سنجی نشان داده شده است. از سوی دیگر نمودارهای سری زمانی جریان روزانه نشان می‌دهد که در پیش‌بینی برخی از مقادیر دبی های حداکثر، روش ANN از خطای بیشتری نسبت به روش GP برخوردار است. به عنوان نمونه حداکثر دبی روزانه مشاهده شده در دوره یک ساله صحت سنجی برابر۳۹/۳ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که در روش GP برابر ۴۰/۱۸ و در روش ANN برابر ۲۵/۹۴ پیش‌بینی شده است.

همچنین نمودار سری زمانی جریان روزانه پیش‌بینی شده به روش ANN در سایر الگوها نشان می‌دهد که این روش برای برخی از مقادیر دبی های حداقل (کمتر از ۰/۳ مترمکعب بر ثانیه)، مقدار منفی پیش‌بینی نموده است که این امر به لحاظ فیزیکی غیر ممکن است. در صورتیکه روشGP در هر کدام از ۵ الگو مقادیر محاسباتی دبی‌های حداقل را هرچند بسیار اندک، مثبت پیش‌بینی می‌نماید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این تحقیق در مجموع روش برنامه‌ریزی ژنتیک را به عنوان یک روش صریح و دقیق برای پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها بر مبنای توالی جریان پیشنهاد می‌نماید. این پیشنهاد با نتایج حاصل از مطالعات گون (۱۲) که به پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه شویل‌کیل در ایالات متحده به کمک روش برنامه‌ریزی ژنتیک پرداخته است تطابق کامل دارد. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیق دورادو و همکاران (۹) که بر دقت بالاتر روش GP در مقایسه با روش ANN در الگوسازی بارش-رواناب در حوزه های شهری اشاره دارد، همخوانی دارد. با توجه به نتایج حاصل از تحقیقات رضوی و کارآموز (۱)، علیایی و همکاران (۳) و کیسی (۱۴) که حاکی از برتری دقت روش‌های شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روشهای متداول سریهای زمانی است می‌توان نتیجه گرفت که روشGP از دقیق‌ترین روش‌های موجود در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها است. در این تحقیق اگرچه رابطه صریح الگوی شماره ۳ ارائه نشده است ولی با استفاده از نسخه‌های پیشرفته‌تر نرم افزارهای برنامه‌ریزی ژنتیک و یا سایر نرم افزارهای پیشرفته برازش منحنی چند متغیره می‌توان معادله صریح حاکم بر الگوی منتخب را استخراج نمود. همچنین با استفاده از شیوه ارائه شده می‌توان جریان رودخانه آبسرده در ایستگاه‌های پایین‌دست را نیز پیش‌بینی نموده و مناسبترین الگو (توالی روزهای برگشتی) را در هر ایستگاه استخراج نمود. مقایسه نتایج حاصل از ایستگاه‌ها با یکدیگر به منظور بررسی تأثیر وسعت حوزه آبریز بالادست هر ایستگاه در الگوی پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه (الگوی منتخب) و استخراج رابطه صریح حاکم بر الگوی منتخب به عنوان موضوع دنباله این تحقیق پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

نویسنده اول مقاله از راهنمائی‌های ارزشمند آقای دکتر محمدعلی قربانی (استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز) در خصوص نحوه بکارگیری و تفسیر نتایج نرم افزار Discipulus قدردانی می‌نماید.

منابع

۱- رضوی، س.س. و کارآموز م. ۱۳۸۲. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش بینی ماهانه جریان رودخانه. مجموعه مقالات دهمین کنفرانس دانشجویی عمران، تهران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

۲- فتاحی، م. س. طوسی و م.خ. ضیاء تبار احمدی. ۱۳۸۵. تخمین میزان رسوب رودخانه نکا به روش شبکه عصبی مصنوعی. مجموعه مقالات هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

۳- علیائی، ا. م.ع. قربانی و ح. جباری خامنه. ۱۳۸۷. عملکرد حافظه الگو اتورگرسیو و شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش بینی جریان روزانه رودخانه لیقوان. مجموعه مقالات سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران (لوح فشرده)، تبریز، دانشگاه تبریز.

۴- محمدی، م. و م. محمودیان شوشتری. ۱۳۸۵. برآورد دبی متوسط هفتگی رودخانه کر بوسیله شبکه عصبی مصنوعی و الگو HEC-HMS. مجموعه مقالات هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

۵- مهندسین مشاور تماوان. ۱۳۸۳. مطالعات مرحله اول سد مخزنی آبسرده (گزارش هیدرولوژی)، تجدید نظر نهایی، مصوب شرکت سهامی آب منطقه‌ای غرب، اداره کل امور آب استان لرستان.

6- Alvisi S., Mascellani G., Franchini M., and Bardossy A. 2005. Water level forecasting through fuzzy logic and artificial neural network approaches. Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss., 2, 1107-1145.

Archive of SID

www.SID.ir

7- Aytek A., and Kisi O. 2008. A genetic programming approach to suspended sediment modeling, J. Hydrol., 351, 288-298
8- Bhattacharya B. and Solomatine D.P. 2005. Neural networks and M5 model trees in water level- discharge relationship, J. Neurocomputing.63, 381-396.
9- Dorado J., Rabunal J.R., Pazos A., Rivero D., Santos A. and Puertas J. 2003. Prediction and modeling of the rainfall-runoff transformation of a typical urban basin using ANN and GP,Appl. Artif. Intell. 17, 329–343.
10- Franco D.F. 2000. Discipulus TM Software Owner's Manual, Version 3.0 Register Machine Learning Technologies, Inc., Littleton, Colorado.
11- Giustolisi O. 2004. Using genetic programming to determine chezy resistance coefficient in corrugated channels, J. Hydroinform., 157-173
12- Guven A. 2009. Linear genetic programming for time-series modeling of daily flow rate, J. Earth Syst. Sci. 118, No. 2, 157-173
13- Kalra R. and Deo M.C. 2007. Genetic programming to retrieve missing information in wave records along the west coast of India, Applied Ocean Research 29(3)., 99-111
14- Kisi O. 2005. Daily river flow forecasting using artificial neural networks and auto regressive models, Turkish J. Eng. Env. Sci. vol 29, 9-20.
15- Koza J.R. 2008. www.genetic-programming.com,The home page of John R. Koza at Genetic Programming Inc.
16- Liong S.Y., Gautam T.R., Khu S.T., Babovic V., Keijzer M., and Muttil N. 2002. Genetic programming, A new paradigm in rainfall runoff modeling, J. Am. Water Res. Assoc. 38(3), 705-718.
17- Makarynskyy O., Makarynska D., Kuhn M., and Featherstone W.E. 2004. Predicting sea level variations with artificial neural networks at Hillary Harbor, Western Australia. Estuaries, Coastal and Shelf Sci. 61, 351-360.
18- MATLAB. 2008. Software help manual, Version7.6.0.2008a. The Math Works, Inc,
19- Rabunal J.R., Puertas J., Suarez J., and Rivero D. 2007. Determination of the unit hydrograph of a typical urban basin using genetic programming and artificial neural networks, Hydrol. Process, 21, 476–485.
20- Sarangi A. and Bhattacharya A.K. 2005. Comparison of artificial neural network and regression models for sediment loss prediction from Banha watershed in India, Water technology Center, IARI, Pusa Campus, New Dehli110012, India.
21- Ustoorikar K., and Deo M.C. 2008. Filling up gaps in wave data with genetic programming. Marine Structures, 21, 177-195.
22- Whigham P.A. and Crapper P.F. 2001. Modeling rainfall runoff using Genetic programming. Mathematical and Computer Modeling, 33 , 707-721.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 2, May-Jun 2010, p. 325-333

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۲، خرداد - تیر ۱۳۸۹، ص. ۳۳۳-۳۲۵

I Prediction of Daily Discharge Trend of River Flow Based on Genetic Programming

A. Danandehmehr[1] - M. R. Majdzadeh Tabatabai [2*]

Abstract

Accurate prediction of river flow is one of the most important factors in surface water recourses management especially during floods and drought periods. In fact deriving a proper method for flow forecasting is an important challenge in water resources management and engineering. Although, during recent decades, some black box models based on artificial neural networks (ANN), have been developed to overcome this problem and the accuracy privilege to common statistical methods (such as auto regression and moving average time series method) have been shown. However these types of models are implicit and complex in proper network design and can not be simply used by other investigators. In this research the genetic programming (GP) model has been developed as an explicit method for river flow prediction and has been used for investigation the effect of daily discharge trend in Absardeh river flow forecasting. The results have been compared with artificial neural network technique. The results indicated that the proposed GP method performed quite well compared to artificial neural network method and is applicable for river flow prediction.

Keywords: Daily discharge, Flow prediction, Genetic programming

Archive of SID

1,2- Graduated MSc Student and Assistant Professor, respectively, Power and Water University of Technology, Tehran
(* - Corresponding author Email: mrmtabatabai@pwut.ac.ir)

www.SID.ir