

روش شبکه های عصبی مصنوعی در مدلسازی جریانهای رودخانه ای (تحلیل تواناییها و نقطه ضعفها)

محمد تقی دستورانی^۱

استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

چکیده

در این تحقیق سعی شده است کاربرد تکنیک شبکه های عصبی مصنوعی در مدلسازی جریانهای رودخانه ای مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در حقیقت در این بررسی به استناد چهار پروژه تحقیقاتی که توسط نگارنده طی چند سال گذشته با استفاده از این روش در زمینه مدلسازی جریان رودخانه ای با اهداف مختلف و در شرایط متفاوت به انجام رسیده سعی میشود کارایی این تکنیک مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد و خصوصیات، مزایا و محدودیتهای آن در این زمینه (مدلسازی جریان رودخانه ای) گوشزد گردد. پروژه های تحقیقاتی مورد استناد در این خصوص عبارتند از: بررسی کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه سازی و پیش بینی جریانهای سیلابی در حوزه های فاقد آمار؛ پیش بینی بهنگام سیل با بکارگیری مدلهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی؛ بهینه سازی نتایج حاصل از یک مدل هیدرودینامیکی در پیش بینی جریان رودخانه توسط سیستم عصبی مصنوعی؛ و ارزیابی کارایی هوش مصنوعی کامپیوتر در تخمین داده های مفقود شده هیدرولوژی.

تواناییهای این تکنیک با توجه به ساختارهای مختلف آن و نیز طبیعت مسئله ای که به دنبال حل آن هستیم متفاوت میباشد. شبکه های عصبی دینامیک در بحث پیش بینی بهنگام کارایی بهتری دارد، در حالی که شبکه های پرسپترون چند لایه در ترکیب با نرم افزارهای دیگر نسبت به کاربرد تنهائی آن بمراتب بهتر عمل میکند.

واژه های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، مدلسازی جریان رودخانه، سیلاب، پیش بینی سیلاب، جریان رودخانه ای.

مقدمه

مدلسازی خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی سیستمهای رودخانه ای و پیش بینی قابل اطمینان دبی جریان و نیز تغییرات آن در طول رودخانه بخش ضروری از پروژه های برنامه ریزی و مدیریت آبهای سطحی می باشد. علاوه بر آن پیش بینی وضعیت در پایین دست براساس داده های اندازه گیری شده در بالا دست کمک شایانی به تصمیم گیری در رابطه با کاهش خسارات سیلاب و نیز امکان طراحی و اجرای مخازن ذخیره و تنظیم جریان مازد قبل از رسیدن به پهنه های خسارت بار را خواهد نمود. در سالهای اخیر با توجه به پیشرفت تکنولوژی رایانه ای تکنیک های جدید مطرح گردیده که در بعضی موارد نتایج بسیار خوبی را نیز به همراه داشته است. یکی از این روشها شبکه های عصبی مصنوعی^۲ می باشد که در واقع وارسته ای از تکنیک هوش مصنوعی^۳ است. شبکه عصبی مصنوعی بر اساس یادگیری فرایند حل مسئله و بعبارتی رسیدن به خروجی از طریق پیدا کردن رابطه نهفته در فرایند مورد

^۱ - یزد، صفاییه، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی

E-mail:mdastorani@yazduni.ac.ir

تلفاکس: ۰۳۵۱-۸۲۱۰۳۱۲

^۲ - Artificial Neural Networks

^۳ - Artificial Intelligence

نظر کار می کند. در این حالت بایستی مدل با دسته ای ازداده ها که به داده های آموزشی^۴ معروف است آموزش داده شود تا در مورد ورودیهای جدید با توجه به رابطه پیداشده در مرحله آموزش خروجی مناسب را محاسبه نماید. آموزش بهتر مدل اصولاً باعث می شود که مدل اطلاعات مفید تری را در مورد فرایند کسب نماید و این خود به حل مسئله و رسیدن به جواب قابل قبول تر کمک شایانی می نماید. یادگیری فرایند بر اساس بهینه سازی مرحله به مرحله وزنهایی صورت می گیرد که در ابتدای مرحله آموزش ایجاد شده و طی فرایند آموزش با توجه به نتایج هر مرحله مرتباً بهینه سازی می شوند.

در دهه اخیر این روش در مورد حل مسائل مختلفی در زمینه آب همچون رابطه بارندگی - رواناب، پیش بینی ارتفاع و دبی جریان در رودخانه ها و نیز مسائل مربوط به رسوب مورد استفاده قرار گرفته است. بعضی از تحقیقات انجام شده با این تکنیک عبارتند از: کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی در مدلسازی رابطه بارندگی - رواناب که در این زمینه میتوان به تحقیقات انجام شده توسط Hsu, Sorooshian و Gupta (۱۹۹۵)، Minns و Hall (۱۹۹۵)، Dawson و Wilby (۱۹۹۸) اشاره نمود. همچنین در زمینه پیش بینی جریان رودخانه با مدل های شبکه عصبی مصنوعی به تحقیقات Karunanithi و Grenney (۱۹۹۴) و همچنین Dawson و Wilby (۲-۱۹۹۸)؛ و نیز در رابطه با کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در تعیین رابطه دبی و اشل به تحقیقات انجام شده توسط Bhattacharya و Solomatine (۲۰۰۰)؛ و بالاخره کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی بهنگام سیلاب توسط دستورانی (۱۳۸۳)؛ همچنین کاربرد این تکنیک در بازسازی داده های هیدرولوژی توسط دستورانی (۱۳۸۴)؛ و کاربرد این تکنیک در بهینه سازی نتایج مدل های هیدرودینامیکی توسط Dastorani و Wright (۲۰۰۴) می توان اشاره کرد. در این تحقیق سعی گردیده به تجزیه و تحلیل کاربرد این تکنیک در بحث مدلسازی جریان رودخانه پرداخته شود و مزایا و معایب آن به استناد تحقیقات مربوطه ارزیابی گردد.

روش بررسی

۱- بررسی کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه سازی و پیش بینی جریانهای سیلابی در حوزه های فاقد آمار

این تحقیق کاربرد تکنیک شبکه عصبی مصنوعی Artificial Neural Networks را در پیش بینی جریانهای سیلابی در حوزه های آبخیز فاقد آمار بررسی نمود. با توجه به وجود حوزه های آبخیز بیشماری که فاقد آمار و داده های هیدرولوژیکی هستند خصوصاً در کشورهای در حال توسعه و از جمله کشور ما، این تحقیق روی کاربرد تکنیک شبکه عصبی مصنوعی برای این نوع حوزه ها تمرکز نموده است. عوامل مربوط به خصوصیات فیزیکی و اقلیمی حوزه ها به عنوان ورودیهای مدل جهت پیش بینی دبی حداکثر سالانه بوسیله این تکنیک مد نظر بوده است. با بررسی انواع مختلف شبکه عصبی مصنوعی، نوع پرسپترون چند لایه (MLP) با توجه به قابلیت های شاخص آن در مورد این تحقیق انتخاب شد. علاوه بر این کاربرد شبکه عصبی مصنوعی جهت یافتن مهمترین عوامل فیزیکی و یا اقلیمی که تأثیر بیشتری در عکس العمل های هیدرولوژیکی حوزه ها دارند بخش دیگری است که مورد بررسی قرار گرفته است. جهت انجام این کار گروههایی از حوزه های آبخیز تشکیل و خصوصیات مربوط به این گروهها در مدلسازی مورد استفاده واقع شده است. به منظور انتخاب گروههای مختلف حوزه های آبخیز در این مطالعه حدود ۱۰۰۰ حوزه در نقاط مختلف کشور انگلستان مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور استخراج خصوصیات مربوط به حوزه های آبخیز از نرم افزاری بنام FEH-CDROM استفاده گردیده است که توسط مرکز تحقیقات اکولوژی و هیدرولوژی انگلستان تهیه شده است. البته عوامل ورودی به مدل که همان خصوصیات حوزه ها میباشد میتواند متعدد باشد و تعیین و استفاده از عواملی که بیشترین تاثیر را روی ایجاد رواناب و دبی سیلاب دارند قطعاً مدل را در جهت کارایی بهتر جهت دهی خواهند نمود. همانطور که قبلاً اشاره شد این مسئله در حقیقت موضوع دیگری بوده که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در هر آبخیز تعداد کل عوامل ورودی استخراج شده ۱۹ عدد بوده که نهایتاً هفت عامل به عنوان ورودیهای اصلی مدل مورد پذیرش واقع شد. این عوامل که در حقیقت بیشترین همبستگی را با دبی جریان داشته و به کمک خود شبکه های عصبی استخراج گردید عبارتند از: AREA (مساحت حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع)، BFIHOST (شاخص مربوط به جریان پایه که بر اساس طبقه بندی وضعیت هیدرولوژیکی نوع خاک بدست آمده است)، SPRHOST (درصد رواناب استاندارد که بر اساس طبقه بندی وضعیت هیدرولوژیکی نوع خاک محاسبه شده است)، FARL (شاخص مربوط به تخفیف جریان سیلابی بر اثر وجود مخازن و دریاچه و گودال در مسیر جریان در داخل حوزه)، SAAR (میانگین بارندگی سالیانه در یک دوره زمانی استاندارد (۱۹۹۰-۱۹۶۱))، SMDBAR (میانگین وضعیت تغذیه در رطوبت خاک بر اثر زمان بر حسب میلی متر) و PROPWET (نسبت زمانی که رطوبت پیشین خاک کمتر یا برابر ۶ میلی متر بوده است).

⁴ - Training data

همانطور که دیده میشود این عوامل از نظر فیزیکی و منطقی نیز به نظر میرسد مهمترین عواملی هستند که بر روی تشکیل و جریان رواناب و در نتیجه دبی حداکثر حوزه های آبخیز تاثیر دارند.

گروه بندی حوزه ها بصورت متفاوت و در دو محله انجام گرفت. در مرحله اول انتخاب حوزه ها بصورت تصادفی و یا بر اساس نزدیکی جغرافیایی بود. در مرحله دوم سعی شد گروه های همگنی از حوزه ها تشکیل گردد و داده های مربوط به این گروهها که از نظر عکس العمل های هیدرولوژیکی همگن هستند مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور از نرم افزار FEH-WINFAP استفاده گردید. این نرم افزار که توسط مرکز اکولوژی و هیدرولوژی انگلستان تدوین شده هر چند جهت انجام آنالیز فراوانی بکار برده می شود ولی توانایی ایجاد گروههایی از حوزه آبخیز که از نظر هیدرولوژیکی مشابه هستند را نیز دارا می باشد. در هر دو مرحله پس از شناسایی حوزه ها و تشکیل گروههای مربوطه عوامل این حوزه ها استخراج گردید و داده های مربوط به ۶۰ درصد حوزه ها جهت آموزش مدل ۳۰ درصد جهت واسنجی و ۱۰ درصد بقیه به عنوان دادهای صحت یابی میانی مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به بهبود قابل توجه نتایج در مرحله دوم که حاصل انتخاب حوزه ها بر اساس تشابه هیدرولوژیکی آنها بود تأثیر این همگنی هیدرولوژیکی در کیفیت نتایج شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور تعداد بیشتری از گروه های همگن ساخته شد و پیش بینی جریان با هر یک از این گروهها توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی انجام گرفت. سپس عامل R^2 (مربع ضریب همبستگی بین مقادیر پیش بینی شده و مقادیر اندازه گیری شده) با H_2 (ضریب ناهمگنی گروههای حوزه ها که توسط نرم افزار مذکور تشکیل شده است) مقایسه و ترسیم گردید. ارزیابی این دو پارامتر در تعدادی از گروههای همگن نشان داد که با افزایش ضریب ناهمگنی گروه حوزه ها، درستی پیش بینی ها به نحو مشخصی کاهش می یابد و پیش بینیها زمانی مناسب و نزدیک به واقعیت است که مقدار فاکتور ناهمگنی اساساً کمتر از ۱ باشد. همچنین جهت بررسی کارایی روش ارائه شده در این تحقیق که متکی به تکنیک ANN می باشد و علاوه بر آن نتایج بدست آمده از این روش با یک روش مرسوم دیگر (روش FEH که یک روش معروف و ملی در انگلستان محسوب میشود) مورد مقایسه قرار گرفت. تفاوت R^2 نتایج حاصل از دو روش بین ۷ تا ۱۸ درصد در گروههای مختلف متفاوت است (نتایج شبکه عصبی بهتر بود).

نتایج اولیه ای که از کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی سیلاب در حوزه های فاقد آمار حاصل شد چندان رضایتبخش نبود. این نتایج در حقیقت مربوط به خروجی مدلی بوده که داده های مربوط به خصوصیات آبخیز از حوزه هایی استخراج شده که گروه بندی این حوزه ها بصورت تصادفی و یا بر اساس نزدیکی جغرافیایی بوده است. این در حالی است که پس از استفاده از نرم افزار WINFAP-FEH و تشکیل گروههای متشکل از حوزه های همگن و مدلسازی با استفاده از خصوصیات این حوزه ها در مدل شبکه عصبی مصنوعی، نتایج پیش بینی ها به مقدار قابل ملاحظه ای به مقادیر واقعی نزدیکتر شد. این بهبود نتایج اساساً به علت گروه بندی موثر حوزه ها و جای گیری حوزه های همگن (از نظر هیدرولوژی) در هر گروه است.

یافته دیگر این تحقیق تشخیص و تفکیک خصوصیات یا عواملی است که بیشترین تاثیر را روی مقدار دبی سیلابها دارند. این نکته بسیار مهمی است چرا که نوع پارامترهای ورودی به مدل یکی از مهمترین عواملی است که در کارایی مدل نقش دارد چرا که تعداد زیادی از خصوصیات آبخیز را میتوان به عنوان ورودیهای مدل در نظر گرفت و در این رابطه قاعده مشخصی که تعیین کند چه عوامل یا خصوصیات قویترین همبستگی را با دبی جریان دارد وجود ندارد. در این مورد نیز تکنیک شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت. جهت این کار شبیه سازیهای متعددی با استفاده از انواع و تعداد مختلف عوامل انجام گرفت و نتایج مورد مقایسه قرار گرفت تا بدینوسیله مهمترین عوامل مرتبط با دبی و مناسبترین تعداد عوامل به عنوان ورودی برای مدل مشخص گردد.

علاوه بر تناسب و سازگاری نوع شبکه عصبی مصنوعی برای این مسئله، نوع و تعداد عوامل هندسی و اقلیمی آبخیز نیز جهت رسیدن به نتایج قابل قبول بسیار مهم تشخیص داده شد. با انتخاب نوع و تعداد مناسب این عوامل و نیز استفاده از نوع مناسب و سازگار شبکه عصبی مصنوعی و نیز کالیبره کردن مناسب آن میتوان گفت که این تکنیک ابزار بسیار کارا و مناسبی برای حل مشکل برآورد دبی جریان در حوزه های فاقد آمار و یا با طول دوره آماری بسیار کوتاه است. لازم است تاکید گردد که همانطور که در بخشهای قبلی تشریح شد در استفاده از روش شبکه های عصبی مصنوعی برای اینگونه حوزه ها استفاده از روش مناسب جهت گروه بندی حوزه های همگن امری ضروری میباشد.

۲- پیش بینی بهنگام سیل با بکارگیری مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی

هدف اصلی تحقیق بررسی کاربرد انواع مختلف شبکه های عصبی مصنوعی جهت شبیه سازی جریان در یک سیستم رودخانه ای با چند ایستگاه هیدرمتری و پیش بینی بهنگام جریانهای سیلابی در پایین دست بوده است. منطقه مورد بررسی قسمت فوقانی رودخانه درونت

(Derwent) می باشد که یکی از شاخه های اصلی رودخانه ترنت (Trent river) در ناحیه مرکزی انگلستان است. داده های سه ایستگاه هیدروتری در قسمتهای بالادست که عبارتند از مت لوک (Matlock)، کتس ورث (Chatsworth) و مایتم بریدج (Mytham bridge) با فواصل به ترتیب ۱۰، ۲۵ و ۵۰ کیلومتر بالاتر از ایستگاه واتستندول (Whatstandwell) جهت پیش بینی جریان در این ایستگاه مورد استفاده قرار گرفت.

جریان سیلاب رودخانه ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ساعت قبل از وقوع در محل ایستگاه هیدروتری واتستندول با استفاده از داده های اندازه گیری شده در بالا دست پیش بینی گردیده است. سه نوع شبکه عصبی مختلف که عبارتند از پرسپترون چند لایه، برگشتی و برگشتی با تاخیر زمانی بصورت جداگانه مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفتند. همچنین جهت بررسی تأثیر طول داده های ورودی در کارایی مدل های شبکه عصبی، شبیه سازی های مختلف با استفاده از داده های هیدرولوژیکی با طول دوره متفاوت مورد استفاده قرار گرفت. داده های با فاصله اندازه گیری ۳۰ دقیقه ای با طول دوره های ۱ ماه، ۶ ماه و سه سال (که تولید تعداد مشاهده های متفاوتی را می نماید) بدین منظور مورد استفاده واقع شد. برای هر تست داده ها به سه قسمت تقسیم شد قسمت اول جهت استفاده به عنوان داده های آموزشی جهت آموزش مدل، قسمت دوم جهت صحت یابی میانی (Cross-validation) جهت جلوگیری از آموزش اضافی مدل و قسمت سوم جهت تست کارایی مدل (واسنجی) مورد استفاده قرار گرفت. جهت آماده سازی داده ها برای مدل و مشخص نمودن زمان تأخیر ایستگاهها نسبت به هم از آنالیز همبستگی استفاده گردید.

فرآیند پیش بینی بهنگام سیلاب در این تحقیق بدین گونه بود که در حقیقت شرایط مربوط به مقطع های زمانی آینده براساس داده های مقطع های زمانی گذشته و حال مورد پیش بینی قرار می گیرد. در صورتی که Q نمایانگر مقدار دبی جریان در زمان t در نقطه ای در پایین دست باشد مقدار Q در زمان $(t+1)$ بصورت زیر مورد پیش بینی قرار می گیرد:

$$Q_{(t+1)} = f(Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, \dots, Q_{(t-n)} + q_{(t)}, q_{(t-1)}, \dots, q_{(t-n)} + e_{(t)})$$

که در آن :

$f(\cdot)$ یک تابع غیر خطی نامشخص است.

$e(t)$ یک مقدار مجهول که مربوط به خطای فرآیند است.

N تعداد داده های مربوط به مقطع های زمانی حال و گذشته ای که جهت پیش بینی جریان در مقطع زمانی آینده مورد استفاده واقع میشود.

$Q(t+1)$ عبارتست از دبی جریان در مقطع زمانی آینده در ایستگاه واتستندول که با استفاده از داده های بالادست در مقاطع زمانی t ، $t-1$ ، \dots ، $t-n$ و مقادیر مربوط به $q_{(t)}(1)$ ، $q_{(t)}(2)$ ، $q_{(t)}(3)$ (مقادیر دبی در سه ایستگاه بالادست می باشد) مورد برآورد قرار می گیرد. داده های اندازه گیری شده در فاصله زمانی ۳۰ دقیقه و نیز چهار پایه زمانی متفاوت پیش بینی (فاصله زمانی بین پایان پیش بینی و آغاز وقوع حادثه) در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت که بر این اساس پیش بینی بصورت زیر خواهد بود:

- مقدار Q که سه ساعت قبل از وقوع پیش بینی میشود:

$$Q_{(t)} = f(Q_{(t-6)}, Q_{(t-7)}, \dots, Q_{(t-n)} + q_{(t-6)}(1), q_{(t-7)}(1), \dots, q_{(t-n)}(1) + q_{(t-6)}(2), q_{(t-7)}(2), \dots, q_{(t-n)}(2) + q_{(t-6)}(3), q_{(t-7)}(3), \dots, q_{(t-n)}(3) + e_{(t)})$$

- مقدار Q که شش ساعت قبل از وقوع پیش بینی میشود:

$$Q_{(t)} = f(Q_{(t-12)}, Q_{(t-13)}, \dots, Q_{(t-n)} + q_{(t-12)}(1), q_{(t-13)}(1), \dots, q_{(t-n)}(1) + q_{(t-12)}(2), q_{(t-13)}(2), \dots, q_{(t-n)}(2) + q_{(t-12)}(3), q_{(t-13)}(3), \dots, q_{(t-n)}(3) + e_{(t)})$$

- مقدار Q که به ترتیب سه و شش ساعت قبل از وقوع با استفاده از داده های یک ایستگاه پیش بینی میشود:

$$Q_{(t)} = f(q_{(t-3)}(1), q_{(t-4)}(1), \dots, q_{(t-n)}(1) + e_{(t)})$$

$$Q_{(t)} = f(q_{(t-6)}(1), q_{(t-7)}(1), \dots, q_{(t-n)}(1) + e_{(t)})$$

- مقدار Q که به ترتیب سه و شش ساعت قبل از وقوع با استفاده از داده های دو ایستگاه پیش بینی میشود:

$$Q_{(t)} = f(q_{(t-3)}(1), q_{(t-4)}(1), \dots, q_{(t-n)}(1) + q_{(t-3)}(2), q_{(t-4)}(2), \dots, q_{(t-n)}(2) + e_{(t)})$$

$$Q_{(t)} = f(q_{(t-6)}(1), q_{(t-7)}(1), \dots, q_{(t-n)}(1) + q_{(t-6)}(2), q_{(t-7)}(2), \dots, q_{(t-n)}(2) + e_{(t)})$$

و به همین شکل برای موارد دیگر.

در این تحقیق جمعا چهار تست و سه زیر تست طراحی و اجرا شد که در تستهای ۱ و ۲ و ۳ داده های اندازه گیری شده با فاصله زمانی ۳۰ دقیقه به ترتیب برای مدت یک ماه، ۶ ماه و سه سال مورد استفاده قرار گرفت. در تست ۴ بررسی تأثیر تعداد ایستگاههای مورد استفاده جهت اخذ داده مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. این تست خود به ۳ زیر تست که در آنها داده ها به ترتیب از ۱، ۲ و ۳ ایستگاه بالادست مورد استفاده قرار گرفته است تقسیم شد. هر تست و زیر تست با استفاده از سه نوع شبکه عصبی مصنوعی (که قبلاً توضیح داده شد) جداگانه انجام گرفت تا تأثیر نوع شبکه عصبی در اخذ نتایج مناسب نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. به خاطر محدودیت جا امکان ارائه گرافیکی نتایج برای

تست های ۲، ۳ و ۴ در اینجا ممکن نیست ولی جهت ارزیابی کارایی هر یک از شبکه ها در تست های مختلف این تحقیق از دو پارامتر آماری که عبارتند از ریشه میانگین مربع اشتباه (RMSE) و ضریب کارایی (R^2) استفاده گردید. شبکه عصبی مصنوعی MLP کارایی مناسبی را خصوصاً وقتی که فاصله زمانی بین پیش بینی و وقوع طولانی تر باشد از خود نشان نداده است. نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی برگشتی با تأخیر زمانی هرچند در تست ۱ و تا حدی تست ۲ (وقتی تعداد داده های مورد استفاده زیاد نیست) رضابخش بوده و حتی در برخی موارد قابل مقایسه با نتایج شبکه عصبی برگشتی است ولی نتایج آن در تست ۳ که تعداد زیادی داده استفاده شده رضابخش نمی باشد. بهترین نتایج را در تمام تستهای این تحقیق شبکه عصبی برگشتی از خود نشان داده است. در رابطه با تست ۴ نیز توانایی شبکه های عصبی مختلف کماکان همانند تستهای ۱ و ۲ است و لازم به ذکر است که تعداد ایستگاههای بالادست که به عنوان منبع داده ها مورد استفاده قرار گرفته تفاوت زیادی را در نتایج حاصل نموده است (مقایسه نتایج زیر تستهای مختلف تست ۴) هرچند نتایج زیر تستهای ۲ و ۳ مربوط به شبکه عصبی برگشتی تا حدی بهتر از زیر تست ۱ است. بایستی گفت که شبکه عصبی MLP که در واقع یک شبکه استاتیک است توانایی شبیه سازی سری داده هایی که با زمان تغییر میکند (همانند آنچه که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته) را ندارد. این عدم توانایی زمانی بیشتر خودنمایی می کند که تغییر زمانی بین وضعیت موجود و وضعیت پیش بینی شده بیشتر میشود. براساس نتایج حاصله هرچند شبکه های عصبی مصنوعی بصورت عمومی و کلی کارایی مناسبی را در شبیه سازی و پیش بینی دبی جریان از خود نشان داده اند ولی نوع شبکه عصبی مصنوعی و نیز خصوصیات داده های ورودی مدل خصوصاً داده های آموزشی پارامترهای بسیار مهمی هستند که تأثیر عمده را روی خروجی های مدل دارا می باشند.

۳- بهینه سازی نتایج حاصل از یک مدل هیدرودینامیکی در پیش بینی جریان رودخانه توسط سیستم عصبی مصنوعی

این تحقیق کاربرد تکنیک سیستم عصبی مصنوعی را در کاهش خطای مدل هیدرودینامیکی جهت پیش بینی جریان رودخانه مورد بررسی قرار میدهد. منطقه مورد مطالعه حوزه رینولدز کریک در جنوب غربی ایالت آیداهو در ایالات متحده آمریکا می باشد که دارای وسعتی معادل ۲۳۹ کیلومتر مربع و اقلیم نیمه خشک است و به علت تغییرات بیش از حد بارندگی در نقاط مختلف این حوزه جریان رودخانه شدیداً متغیر است. در این تحقیق روش کار در قالب سه نوع مدل سازی (مدل سازی هیدرودینامیکی، مدل سازی شبکه عصبی و مدل سازی ترکیبی دو روش) دنبال گردید.

مدل سازی هیدرودینامیکی: نرم افزار MIKE11 که توسط موسسه هیدرولیک دانمارک طراحی و ساخته شده توانایی شبیه سازی جریانهای غیر ماندگار را داشته و در نقاط مختلف جهان نیز مورد استفاده قرار گرفته است در این تحقیق بکار گرفته شد. بدین صورت که پس از کالیبراسیون نرم افزار MIKE11 برای بازه مورد مطالعه انجام شد و پیش بینی جریان در محل خروجی حوزه برای دوره زمانی فوریه تا آوریل ۱۹۸۲ انجام گرفت. در مرحله اول این پیش بینی با استفاده از داده های ایستگاههای تال گیت، ماکس کریک و سالمون کریک که همگی در بالادست خروجی حوزه قرار گرفته اند و در واقع آب سه زیر حوزه اصلی را به رودخانه اصلی سرازیر می کنند انجام گرفت (لازم به ذکر است که تمام ایستگاههای هیدرومتری دیگر موجود در حوزه در سرشاخه های کوچک قرار گرفته اند که جریانی را بطور مستقیم به رودخانه اصلی وارد نمی کنند). البته اندازه گیری جریان در ماکس کریک نیز از سال ۱۹۹۱ متوقف شده است (به علت مشکلات مالکیتی اراضی این قسمت از حوزه). مرحله دوم در این تحقیق به بررسی تأثیر توقف اندازه گیری در این ایستگاه و در نتیجه عدم وجود داده مربوط به این زیر حوزه در نتایج مدل هیدرودینامیکی اختصاص داده شد. لذا در این مرحله مدل هیدرودینامیکی داده ها را فقط از دو ایستگاه هیدرومتری (تال گیت و سالمون کریک) استفاده کرده و جریان را در خروجی حوزه پیش بینی نمود.

مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی: در این بخش از تحقیق یک مدل سیستم عصبی مصنوعی ساخته شد و جهت پیش بینی جریان رودخانه در محل خروجی حوزه با استفاده از داده هایی که دقیقاً در مدل هیدرودینامیکی مورد استفاده قرار گرفته بود بکار گرفته شد. به عبارت دیگر برای هدف مشابه و با داده های مشابه فقط یک مدل سیستم عصبی مصنوعی جایگزین مدل هیدرودینامیکی شد. نوع سیستم عصبی مصنوعی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت یک ساختمان پرسپترون سه لایه بود. همانند آنچه که در مورد مدل هیدرودینامیکی داشتیم اینجا نیز مدل سازی در دو مرحله با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام گردید. در مرحله اول از هر سه ایستگاه هیدرومتری بالادست (تال گیت، ماکس کریک و سالمون کریک) داده های ورودی به مدل داده شد، در حالی که در مرحله دوم داده ها فقط از دو ایستگاه تال گیت و سالمون کریک بوده و هیچ داده ای از ایستگاه هیدرومتری ماکس کریک به مدل معرفی نگردید. هدف ارزیابی کارایی مدل سیستم عصبی مصنوعی در دو حالت متفاوت بود و اینکه عدم وجود داده های مربوط به ایستگاه ماکس کریک چه تأثیری در نتایج حاصل از مدل

دارد. داده‌هایی که به عنوان داده‌های آزمایشی برای سیستم عصبی در نظر گرفته شد دقیقاً پوشش دهنده همان دوره‌ای است که در مدل هیدرودینامیکی مورد استفاده قرار گرفت. این حالت شرایط مقایسه نتایج دو نوع مدل و قضاوت در مورد کارایی آنها را آسان تر می‌نماید.

استفاده مرکب دو تکنیک: در این قسمت از تحقیق سعی شد دو روش بصورت ترکیبی استفاده شود. بعبارت دیگر جهت بهبود نتایج مدل هیدرودینامیکی، تکنیک سیستم عصبی مصنوعی بکار گرفته شد. نقش سیستم عصبی مصنوعی در این بخش پیش‌بینی میزان خطای مدل هیدرودینامیکی برای شبیه‌سازی‌های مرحله اول و دوم بود. ساختمان سیستم عصبی مصنوعی استفاده شده در این مرحله نیز یک سیستم MLP سه لایه‌ای بود. خطای مدل هیدرودینامیکی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$E_p = X_{obs} - X_{est}$$

که در آن E_p عبارتست از میزان خطای عامل پیش‌بینی شده، X_{obs} مقدار اندازه‌گیری شده با مشاهده شده و X_{est} مقدار برآورد شده یا پیش‌بینی شده. مدل سیستم عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های ایستگاه تال گیت و نیز خروجی‌های مدل هیدرودینامیکی (MIKE11) آموزش داده شد تا خطای جریان برآورد شده توسط مدل هیدرودینامیکی (MIKE11) را به عنوان خروجی مدل پیش‌بینی نماید. داده‌های جریان با فواصل اندازه‌گیری یک ساعته برای دوره زمانی اول فوریه تا ۳۰ آوریل ۱۹۸۲ برای این شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. پیش‌بینی خطای مدل هیدرودینامیکی برای مرحله اول و دوم جداگانه انجام گرفت (با داده‌های ایستگاه ماکس کریک و بدون داده‌های این ایستگاه) و در نتایج نهایی مدل هیدرودینامیکی لحاظ شد.

ترکیب مدل هیدرودینامیکی و مدل شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی جریان رودخانه بطور بسیار واضحی باعث بهبود نتایج پیش‌بینی گردید. بنظر میرسد که ترکیب این دو تکنیک برای این کاربرد ویژه باعث می‌گردد که از مزایا و نقاط قوت هر دو به نحو مناسبی استفاده گردد و در نتیجه کارایی بهتری مشاهده شود. علاوه بر این کیفیت نتایج مدل هیدرودینامیکی که در مرحله دوم به علت عدم وجود داده‌های ایستگاه ماکس کریک به نحو قابل ملاحظه‌ای تنزل پیدا کرده بود با کاربرد مدل ترکیبی به مقدار زیادی بهبود یافت.

نتایج حاصل از ترکیب دو مدل هیدرودینامیکی و سیستم عصبی مصنوعی نسبت به نتایج حاصل از کاربرد هر یک از این مدلها به تنهایی از بهبود قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشد. این نکته در مورد تمامی شبیه‌سازیهایی این تحقیق چه با استفاده و چه بدون استفاده از داده‌های ایستگاه هیدرومتری ماکس کریک صادق می‌باشد. نتایج حاصل از مدل هیدرودینامیکی (بدون ترکیب با شبکه عصبی مصنوعی) نشان میدهد که پیش‌بینی‌ها عموماً کمتر از حالت اندازه‌گیری شده را دارد. علت این امر بایستی در عدم مشارکت تمام بخشهای حوزه از نظر تأمین داده برای مدل باشد. هرچند جریان آب بخش جنوبی حوزه که بخش عمده بارندگیهای حوزه را به خود اختصاص میدهد در ایستگاه تال گیت اندازه‌گیری میشود و در مدل هیدرودینامیکی بکار برده میشود و همچنین رواناب دو زیر حوزه بزرگ در ایستگاههای هیدرومتری ماکس کریک و سالمون کریک اندازه‌گیری شده و در مدل استفاده میشوند. ولی هنوز تعداد زیادی از آبراهه‌های کوچک که جمعا در برگیرنده حدود ۴۰ درصد حوزه می‌باشند هیچگونه داده‌ای که در مدل مورد استفاده قرار گیرد را ندارند. لازم به ذکر است که استفاده از روشهای تجربی جهت برآورد رواناب این شاخه‌ها جهت استفاده در مدل نیز به علت عدم دقت و کارایی این روشها درصد خطای بالایی را معمولاً به همراه می‌آورد. لذا اخذ نتایج پیش‌بینی از مدل هیدرودینامیکی که اغلب نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده پایین‌تر میباشد به علت موارد مذکور در فوق قابل انتظار و توجیه می‌باشد. ولی نتایج نسبتاً ناموفق ارائه شده بوسیله سیستم عصبی مصنوعی (وقتی که به صورت تنها استفاده شده) بسادگی قابل تحلیل و توجیه نمی‌باشد با وجود داده‌های ورودی مشابه جایگزین کردن مدل هیدرودینامیکی با سیستم عصبی مصنوعی باعث ایجاد نتایج کاملاً متفاوتی گردیده است. برای بخشهایی از هیدروگراف که جریان حالت کم‌آبی و یا نرمال داشته است سیستم عصبی مصنوعی نتایج کاملاً نزدیک به واقعیت را ارائه داده است ولی برای زمانهایی که جریان پیک افتناق افتاده است نتایج مدل سیستم عصبی مصنوعی بسیار بالاتر از آنچه که اندازه‌گیری شده است می‌باشد که این دقیقاً برعکس حالتی است که در مدل هیدرودینامیکی اتفاق افتاده بود. علاوه بر این حذف داده‌های مربوط به ایستگاهی که آمار برداری در آن متوقف شده (ماکس کریک) در مرحله دوم باعث افت قابل ملاحظه درستی نتایج مدل هیدرودینامیکی گردید در حالی که همین اتفاق در مورد مدل شبکه عصبی مصنوعی باعث بالا رفتن درستی نتایج (در مرحله دوم نسبت به مرحله اول) گردید. لازم به ذکر است که در سیستم عصبی مصنوعی کیفیت و نیز وضعیت تغییر داده‌ها جدای از تعداد سری‌ها و طول سری داده‌ها گاهی اوقات کارایی مدل و نتایج حاصل از آن را بطور قابل ملاحظه‌ای دگرگون می‌نماید. این روش به هر حال یک روش جعبه سیاه است و در آن یافتن و ایجاد ارتباط درست بین داده‌های ورودی و نتایج خروجی کاملاً بستگی به مورد و وضعیت داده‌ها دارد و کیفیت نتایج بستگی کامل به این ارتباط ایجاد شده توسط مدل دارد که بین ورودی‌های مدل و آنچه که باید به عنوان خروجی ارائه گردد ایجاد شده است. این تحقیق نشان داد که گاهی اوقات ترکیب دو روش کاملاً متفاوت نتایج به مراتب بهتری را نسبت به کاربرد هر یک از این روشها به تنهایی حاصل می‌نماید. جدول ۱ مقایسه نتایج را با استفاده از

مقادیر ضریب کارایی (R^2) و ریشه میانگین مربعات اشتباه (RMSE) برای خروجی مدل‌های هیدرودینامیکی، شبکه عصبی مصنوعی و مدل ترکیبی در مراحل اول و دوم نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر ضریب کارایی (R^2) و ریشه میانگین مربعات اشتباه (RMSE) برای نتایج مدل‌های هیدرودینامیکی، سیستم عصبی مصنوعی و مدل ترکیبی در مرحله اول و دوم.

پارامتر	مرحله اول (با داده‌های ماکس کریک)			مرحله دوم (بدون داده‌های ماکس کریک)		
	مدل MIKE	مدل ANN	مدل ترکیبی	مدل MIKE	مدل ANN	مدل ترکیبی
R^2	۰/۶۴۳۵	۰/۵۴۳۲	۰/۹۱۵۳	۰/۲۳۷۵	۰/۸۰۳۵	۰/۸۷۲۵
RMSE	۰/۹۳۶۴	۲/۸۱۴۳	۰/۷۱۵۸	۱/۳۳۴۲	۱/۰۸۱۳	۰/۹۸۰۶

۴- ارزیابی کارایی هوش مصنوعی کامپیوتر در تخمین داده های مفقود شده هیدرولوژی

در این تحقیق کارایی شبکه عصبی مصنوعی به منظور بازسازی داده های هیدرولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفته و البته نتایج حاصل با روشهای موجود مقایسه گردیده است. به عبارت دیگر در این پروژه تحقیقاتی سعی شده است که مقادیر مربوط به نواقص آماری ایستگاهها با استفاده از مقادیر ایستگاههای دیگر موجود در گروه مربوطه و به کمک ساختار مناسبی از شبکه های عصبی مصنوعی برآورد گردد. جهت امکان مقایسه این روش با روشهای موجود نتایج حاصل از شبکه های عصبی مصنوعی با نتایج روش نسبت نرمال و روش همبستگی بین ایستگاهها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

موارد زیادی مشاهده می شود که بنا به دلایلی آمار یک روز یا یک ماه و سال خاص مفقود شده یا اصلاً برداشت نشده است، تاریخ تأسیس ایستگاهها در یک منطقه با یکدیگر متفاوت می باشد و از طرف دیگر نقایص احتمالی دستگاهها و برداشت آمار غلط که توسط کارشناسان کنترل شده است واز مجموعه آمار حذف می شوند، ویا از بین رفتن ایستگاهها در اثر سوانح طبیعی مانند سیل، زلزله و یا انهدام آنها در اثر جنگ و ... باعث کمبود و نقص در سربهای آماری شده و لذا لازم است این داده ها قبل از آنکه مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرند بایستی تکمیل شوند. روشهایی که برای این منظور به کار می روند متعدد است که از مهمترین آنها میتوان به روش نسبت نرمال و روش همبستگی بین ایستگاهها اشاره کرد. به لحاظ برخی مشکلات در جمع آوری داده ها و بازسازی آنها احتیاج به ابزاری است که قابلیت درک و یادگیری توابع حاکم بر داده را داشته باشد و بعلاوه بتواند درمقابل نوسانهای ناشی از عدم دقت در داده مقاومت نماید. با توجه به پیچیدگی و طبیعت نوسانی داده های هیدرولوژیکی چنین به نظر می رسد که با در نظر گرفتن ویژگیها و قابلیتهای منحصر به فرد شبکه های عصبی مصنوعی این شبکه ها بتوانند به عنوان ابزاری مفید و کارآمد مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق سه نوع مختلف شبکه عصبی مصنوعی که عبارتند از شبکه های پرسپترون چندلایه، شبکه های برگشتی و شبکه های برگشتی با تاخیر زمانی مورد استفاده قرار گرفته اند.

در انتخاب ایستگاههای هیدرومتری جهت آنالیز آمار آن در این تحقیق سعی شد ایستگاههایی ذر سطح ایران انتخاب شود که دارای آمار قابل اعتماد بوده، سد مخزنی یا انحرافی در بالا دست ایستگاه انتخابی ایجاد نشده و حتی الامکان دارای آمار طولانی مدت باشد. علاوه بر آن ایستگاههای انتخابی از یک پراکنش اقلیمی مناسب در سطح ایران برخوردار بوده و نواقص آماری ایستگاهها حداقل باشد. با توجه به این موارد حدود ۴۰ ایستگاه هیدرومتری در نقاط مختلف ایران انتخاب و سپس با توجه بیشتر به ملاکهای ذکر شده در نهایت ۱۷ عدد از آنها که نسبت به ایستگاههای دیگر با توجه به اهداف این تحقیق برتری داشتند انتخاب گردیده واطلاعات مورد نیاز مربوط به آنها جمع آوری شد. برای هر یک از ایستگاههای هیدرومتری انتخاب شده دو نوع از داده های اندازه گیری شده آماده سازی و استفاده گردید که عبارت بودند از دبیهای متوسط روزانه و دبیهای متوسط ماهانه. ضمناً ایستگاهها در قالب گروههایی انتخاب و تنظیم گردید که در کل پنج گروه شامل گروه ایستگاههای بابلرود، مارون، کارده، قره آقاج و منطقه شیرکوه تنظیم شد.

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق میتوان گفت که تکنیک شبکه های عصبی در حقیقت کارایی مناسب جهت پیش بینی داده های مفقود شده هیدرولوژی را دارد. در بیشتر موارد در این تحقیق درستی نتایج حاصل از شبکه های عصبی مصنوعی بالاتر از نتایج بدست آمده از دو روش دیگر بوده است. شبکه عصبی مصنوعی از نوع پرسپترون چند لایه سازگار ترین ساختار برای این هدف بوده است هرچند که در موارد معدودی شبکه عصبی برگشتی نیز نتایجی همانند شبکه پرسپترون چند لایه ویا حتی اندکی بهتر از آنرا ارائه نموده است. مقدار مربوط به ریشه میانگین مربع خطا و ضریب کارایی برای مقادیر برآورده شده با روشهای مختلف و مقادیر واقعی برای ایستگاههای مختلف استفاده شده در این تحقیق در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۲. مقادیر ریشه میانگین مربع خطا و ضریب کارایی برای مقادیر برآورده شده با روشهای مختلف.

ایستگاه هیدرومتری	RMSE			R ²		
	همبستگی	نسبت نرمال	شبکه عصبی	همبستگی	نسبت نرمال	شبکه عصبی
چم نظام	۰,۹۵۰	۰,۴۷۲	۰,۴۸۵	۱۹,۷۶۱	۶۴,۰۱۷	۶۳,۲۰۵
فخر آباد	۰,۷۸۳	۰,۳۲۵	۰,۸۷۳	۰,۴۷۰	۰,۸۳۰	۰,۳۶۰
بابل	۰,۸۴۱	۰,۸۷۹	۰,۸۱۳	۶,۶۷۴	۵,۸۰۶	۷,۲۲۲
علی آباد	۰,۸۰۰	۰,۴۴۰	۰,۶۵۴	۲,۳۹۶	۴,۰۱۲	۳,۱۵۹
کارده	۰,۸۲۱	۰,۵۳۷	۰,۲۱۰	۰,۱۴۰	۰,۲۲۵	۰,۳۶۵

نتیجه گیری

۱- بر اساس تحقیقات مختلف انجام شده در خصوص کارایی شبکه های عصبی مصنوعی در مدل سازی جریان رودخانه ای واضح است که تواناییهای این تکنیک با توجه به ساختارهای مختلف آن و نیز طبیعت مسئله ای که به دنبال حل آن هستیم متفاوت میباشد. با انتخاب نوع و تعداد مناسب عوامل ورودی و نیز استفاده از نوع مناسب و سازگار شبکه عصبی مصنوعی و نیز کالیبره کردن مناسب آن میتوان گفت که این تکنیک ابزار بسیار کارآ و مناسبی برای حل مشکل برآورد دبی جریان در حوزه های فاقد آمار و یا با طول دوره آماری بسیار کوتاه است. البته علاوه بر تناسب و سازگاری نوع شبکه عصبی مصنوعی برای این مسئله، نوع و تعداد عوامل هندسی و اقلیمی آبخیز و نیز استفاده از روش شبکه های عصبی مصنوعی برای اینگونه حوزه ها استفاده از روش مناسب جهت گروه بندی حوزه های همگن امری ضروری میباشد.

۲- در بحث پیش بینی بهنگام شبکه های عصبی دینامیک کارایی بهتری دارد.، در حالی که شبکه های پرسپترون چند لایه در ترکیب با نرم افزارهای دیگر نسبت به کاربرد تنه های آن بمراتب بهتر عمل میکند. شبکه عصبی MLP که در واقع یک شبکه استاتیک است توانایی شبیه سازی سری داده هایی که با زمان تغییر میکند (همانند آنچه که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته) را ندارد. این عدم توانایی زمانی بیشتر خودنمایی می کند که تغییر زمانی بین وضعیت موجود و وضعیت پیش بینی شده بیشتر میشود.

۳- ترکیب مدل هیدرودینامیکی و مدل شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش بینی جریان رودخانه بطور بسیار واضحی باعث بهبود نتایج پیش بینی گردید. بنظر میرسد که ترکیب این دو تکنیک برای این کاربرد ویژه باعث می گردد که از مزایا و نقاط قوت هر دو به نحو مناسبی استفاده گردد و در نتیجه کارایی بهتری مشاهده شود. علاوه بر این کیفیت نتایج مدل هیدرودینامیکی که در مرحله دوم به علت عدم وجود داده های ایستگاه ماکس کریک به نحو قابل ملاحظه ای تنزل پیدا کرده بود با کاربرد مدل ترکیبی به مقدار زیادی بهبود یافت.

۴- بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق میتوان گفت که تکنیک شبکه های عصبی در حقیقت کارایی مناسب جهت پیش بینی داده های مفقود شده هیدرولوژی را دارد. در بیشتر موارد در این تحقیق درستی نتایج حاصل از شبکه های عصبی مصنوعی بالاتر از نتایج بدست آمده از دو روش دیگر بوده است. شبکه عصبی مصنوعی از نوع پرسپترون چند لایه سازگار ترین ساختار برای این هدف بوده است هر چند که در موارد معدودی شبکه عصبی برگشتی نیز نتایجی همانند شبکه پرسپترون چند لایه و یا حتی اندکی بهتر از آنرا ارائه نموده است.

۵- هر چند شبکه های عصبی مصنوعی بصورت عمومی و کلی کارایی مناسبی را در شبیه سازی و پیش بینی دبی جریان از خود نشان داده اند ولی نوع شبکه عصبی مصنوعی و نیز خصوصیات داده های ورودی مدل خصوصاً داده های آموزشی پارامترهای بسیار مهمی هستند که تأثیر عمده را روی خروجی های مدل دارا می باشند. چنانچه داده های آموزشی پوشش مناسبی از پدیده مورد نظر را نداشته باشد شبکه عصبی ابزار بسیار ضعیفی در پیش بینی عوامل جریان خواهد بود.

۶- آموزش مناسب مدل (که کم و کیف آن در ساختارهای مختلف شبکه کاملاً متفاوت است) نقش بسیار مهمی در اخذ نتایج در مدل سازی با این تکنیک را دارد و با توجه به عدم وجود قواعد مشخص و روشن در این خصوص تجربه و شناخت عمیق کاربر از طبیعت این ابزار نقش اصلی را در کیفیت نتایج دارد.

منابع:

- دستورانی محمدتقی؛ پیش بینی بهنگام سیل با بکارگیری مدل های مختلف شبکه عصبی مصنوعی؛ مجموعه مقالات اولین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، دانشگاه باهنر کرمان، اردیبهشت ۱۳۸۳.

- دستورانی محمدتقی؛ ارزیابی کارایی هوش مصنوعی کامپیوتر در تخمین داده های مفقود شده هیدرولوژی؛ مجموعه مقالات دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، دانشگاه باهنر کرمان، اسفند ۱۳۸۴.

Bhattacharya B. and D. P. Solomatine, *Application of artificial neural network in stage-discharge relationship*, Proc. 4th International Conference on Hydroinformatics, Iowa city, USA, July 2000.

Dastorani, M.T. and N.G. Wright, A hydrodynamic/neural network approach for enhanced river flow prediction, International Journal of Civil Engineering, Vol.2 No.3, 2004. ISSN:1735-0522

Dawson C. W., R. Wilby, *An artificial neural network approach to rainfall-runoff modelling*, J. of Hydrological Sciences, 43 (1), February 1998.

Dawson C. W., R. Wilby, *A comparison of artificial neural network used for river flow forecasting*, J. of Hydrology and Earth System Sciences, 3 (4), pp529-540. 1998.

Hsu K., H. V. Gupta, and S. Sorooshian, *Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process*, J. of Water resources reseach, Vol. 31, No. 10, pp. 2517-2530, October 1995.

Karunanithi N., W. J. Grenney, D. Whitley, and K. Bovee, *Neural networks for flow prediction*, J. Computing in Civil Engineering, Volume 8, Number 2, 201-220, April 1994.

Minns A. W. and M. J. Hall, *Artificial neural networks as rainfall-runoff models*, J. of Hydrological Sciences, 41 (3) June 1996.

Artificial neural networks in river flow modelling (goals and limitations analysis)

M.T. Dastorani
Assistant professor, University of Yazd, Iran

Abstract

In this paper it has been tried to analyze and evaluate the abilities and applicability of Artificial Neural Networks (ANN) in river flow modelling. This evaluation is carried out on the strength of four research projects completed by the writer in this field during last few years. Therefore the purpose here is to address the characteristics, strengths and limitations of this new computer technique for this specific application. The completed research projects includes: The application of ANN in ungauged catchments flow prediction; Real-time river flood prediction using different types of ANN; Application of ANN for hydrodynamic modelling results optimisation; and Evaluation of the applicability of ANN in hydrological data gap filling. It is clear that applicability of ANN varies depending on its structure as well as the type of problem in hand. For river flow modelling, dynamic type of ANN showed superior abilities in real-time flow prediction. It was also become clear that in most cases ANN can play an important role when it is coupled with some other modelling software, rather than using it alone. These points some other important points and characteristics of this technique is addressed in this paper.