

کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در روندیابی سیل به منظور تحلیل اثر احداث سد مارون بر

پایین دست

الهه حسینیان^۱، سید محمود کاشفی پور^{۲*}، داریوش کرمی چمه^۳ و علی حسینیان^۴

(۱) کارشناس ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(۲) استاد، گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(۳) کارشناس ارشد، گروه سازه‌های آبی، شرکت مهندسی مشاور دزآب، اهواز، ایران.

(۴) دانش‌آموخته مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد واحد شوشتر، شوشتر، ایران.

* نویسنده مسئول: Kashfipour@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۱۵

چکیده

احداث سازه‌های کنترل کننده منابع آب، نظیر سد، علاوه بر اینکه توزیع نابرابر زمانی و مکانی آب را تغییر می‌دهد، نقش مؤثری در کاهش یا حذف خسارات ناشی از سیلاب را نیز بازی می‌کند. بنابراین، باید تأثیر سدهای مخزنی بر کاهش دبی سیلاب‌ها تعیین شود. در تحقیق حاضر، با استفاده از اطلاعات بارش و هیدروگراف‌های سیل منطقه مورد مطالعه، به روندیابی سیل در دوره قبل از احداث سد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته شد و با به کارگیری این مدل، تأثیر احداث سد مخزنی مارون بر میزان کاهش دبی حداکثر سیل در پایین دست رودخانه مشخص شد. شبکه‌های عصبی مصنوعی نشان دادند که می‌توانند هیدروگراف سیل را در مرحله آزمون به خوبی پیش‌بینی کنند. از مقایسه هیدروگراف پیش‌بینی شده توسط مدل و هیدروگراف مشاهده شده در ایستگاه بهبهان برای شدیدترین سیل به وقوع پیوسته در دوره بعد از احداث، مشخص شد که سد به خوبی توانسته تمامی حجم سیلاب معادل ۱۲۱/۷۴ میلیون متر مکعب را ذخیره کند. همچنین، دبی اوج هیدروگراف در پایین دست سد از مقدار ۱۹۷۵ متر مکعب بر ثانیه به حدود ۵۰۰ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: هیدروگراف سیل، پایین دست رودخانه و حجم سیلاب.

مقدمه

روندیابی سیل از مسائل مهم و مورد توجه در تحقیقات و مطالعات هیدرولیک کانال‌های باز و مهندسی رودخانه می‌باشد. روندیابی جریان به عنوان یک فرایند ریاضی برای پیش‌بینی تغییرات بزرگی، سرعت و شکل موج سیل به صورت تابعی از زمان در یک یا چند نقطه در طول آبراهه، کانال یا مخزن می‌باشد. در دهه‌های اخیر، مطالعه و بررسی روندیابی سیل در رودخانه‌ها به منظور کاربرد در مسائل مهندسی رودخانه اهمیت زیادی داشته است. در کشور ما نیز با وجود طرح‌های مختلف و اهمیت آن‌ها در زمینه ساماندهی رودخانه‌ها و کنترل سیلاب، تأسیس مخازن آبی و غیره، ضرورت مطالعه در این زمینه احساس می‌شود. مدل‌های هیدرودینامیک یک بعدی و دو بعدی موجود برای حل معادلات عددی سنت-ونانت و پیوستگی، با در نظر گرفتن جریان‌های برگشتی و جریان‌های جانبی با مشکلاتی مانند ناپایداری و زمان زیاد محاسبات در حل عددی معادلات مواجه خواهند بود. بنابراین، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان راه حلی ساده و آسان در این زمینه، قابل طرح می‌باشد. امیری و همکاران (۱۳۹۲) به روندیابی سیل در رودخانه مارون، بازه خیرآباد-پل فلور، با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی تکاملی پرداختند. نتایج نشان داد که روش همبستگی عرضی به خوبی تعداد و تأخیر زمانی مؤثر داده‌های ورودی را تعیین می‌نماید. Modarres (۲۰۰۹) از شبکه عصبی مصنوعی و آزمون اعتبارسنجی چند معیاری برای شبیه‌سازی جریان در حوضه پلاسجان در غرب زاینده رود استفاده کرد و در سنجشی چند معیاره، مدل شبکه عصبی مصنوعی با چهار لایه پنهان را مناسب‌تر از سایر مدل‌های شبکه عصبی و مدل رگرسیونی دانست. قلخانی و همکاران (۱۳۸۸) کاربرد شبکه عصبی مصنوعی را در شبیه‌سازی فرایند روندیابی سیلاب حوضه تنگراه مورد بررسی قرار دادند. ایشان مدل هیدرولوژیک را بارها تحت شرایط متفاوت، ارزیابی نمودند. با سری‌های زمانی بدست آمده، شبکه‌های عصبی مصنوعی مختلفی تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اعتمادپذیری جایگزینی مدل شبکه عصبی مصنوعی به جای مدل هیدرولیکی موفقیت‌آمیز است. Cullmann و Schmitz (۲۰۰۸) از شبکه عصبی مصنوعی PoNN به عنوان مدل هیدرولوژیک و شبکه MLFN به عنوان مدل روندیابی جریان برای پیش‌بینی زمان واقعی سیل استفاده نمودند. نتایج نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی جریان رودخانه عملکرد موفق و مزایایی مانند زمان کم محاسبات و پایداری کامل مدل را به همراه دارند. Peters و همکاران (۲۰۰۶) به مشکلات استفاده از مدل‌های هیدرودینامیک در زمان واقعی اشاره کرده و عنوان نمودند که برای جلوگیری از ناپایداری مدل‌های هیدرودینامیک، گام زمانی محاسباتی باید بسیار کوچک انتخاب شود که این مسئله منجر به زمان زیاد انجام محاسبات در استفاده زمان واقعی می‌شود. برای حل این مشکل، آن‌ها از شبکه عصبی مصنوعی برای روندیابی جریان استفاده کردند. رضایی (۱۳۸۴) در تحقیق خود با کمک شبکه عصبی مصنوعی به تخمین روندیابی سیل در حوضه رودخانه کارون در بازه ملاتانی-اهواز

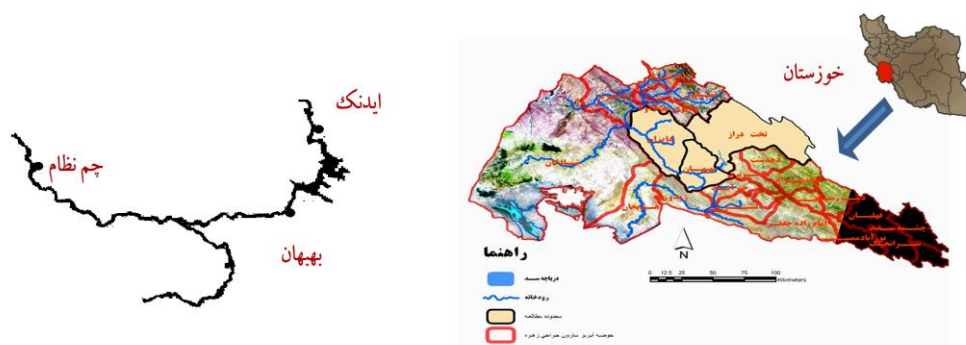
پرداخت. وی همان روندیابی را با روش ماسکینگهام- کانژ نیز تکرار کرد و نتایج حاصله را با نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مورد مقایسه قرار داد. مقایسه نتایج نشان داد که در تخمین اوج‌های هیدروگراف، روش ماسکینگهام- کانژ از دقت نسبتاً بالایی برخوردار است. اما در کل، دقت آن در بازوهای بالارونده و پایین‌رونده نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی کمتر است. حسینی و همکاران (۱۳۸۰) توانایی‌های شبکه عصبی مصنوعی در زمینه روندیابی سیلاب را بررسی نمودند. پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات متعدد، مشخص شد که شبکه عصبی پرسپترون سه لایه با دو سلول در لایه پنهان و تابع فعالیت سیگموئید، می‌تواند به نتایج خوبی در زمینه روندیابی سیلاب منجر شود. مقایسه نتایج حاصل از ساختار پیشنهادی با نتایج حاصل از روش ماسکینگهام خطی نشان داد که علیرغم ضعف روش شبکه عصبی در تضمین بقای جرم، در رابطه با سایر خطاها نظیر مجموع مربعات خطا و یا پیش‌بینی دبی و زمان اوج هیدروگراف خروجی، شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پیشنهادی می‌تواند بهتر عمل کند.

موفقیت مطالعات مشابه مؤید توانایی و قدرت تخمین شبکه عصبی در زمینه روندیابی سیل می‌باشد. از طرف دیگر، احداث سازه‌های کنترل کننده آب، نظیر سد، علاوه بر اینکه توزیع نابرابر زمانی و مکانی آب را تغییر می‌دهد، نقش مؤثری در کاهش یا حذف خسارات ناشی از سیلاب را نیز بازی می‌کند. اما این که سد تا چه اندازه توانسته از عهده‌ی این نقش برآید مسئله‌ی قابل تأملی می‌باشد و باید تأثیر سدهای مخزنی روی کاهش دبی سیلاب‌ها تعیین شود. به همین منظور، می‌توان تأثیر مخزن سد را از نظر حجم سیلاب عبوری و میزان کاهش دبی حداکثر سیل در پائین‌دست رودخانه، برآورد کرده و متناسب با آن و نیز درجه اهمیت تأسیسات در پایین دست، نوع عملیات پیشگیری را مشخص کرد. صمدی بروجنی و همکاران (۱۳۸۸) تأثیر احداث سد مخزنی در کاهش دبی اوج سیلاب در حوضه آبخیز جونقان - فارس را با استفاده از نرم افزار HEC HMS مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که احداث کلیه سدها در این حوضه باعث خواهد شد به طور متوسط دبی اوج سیل خروجی از حوضه ۳۴ درصد کاهش یابد. شکوهی و دانشور (۱۳۸۶) نیز در مطالعه‌شان تأثیر سدهای مخزنی تأخیری قابل احداث در حوضه‌های آبخیز شهری را ارزیابی نموده و به مقایسه اقتصادی و اجتماعی آن با گزینه‌های مرسوم مهندسی رودخانه برای کنترل سیل در محدوده شهری پرداختند.

در این تحقیق، با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در روندیابی سیل، تأثیر احداث سد مخزنی مارون بر کاهش دبی اوج سیلاب در پایین‌دست پرداخته می‌شود. این بررسی و نیز درجه اهمیت تأسیسات در پایین دست، نوع عملیات پیشگیری را در زمان سیلاب مشخص می‌نماید و از این جهت می‌تواند به مدیریت حوضه این رودخانه کمک زیادی کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در قسمت جنوبی ایران در استان‌های خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد در محدوده بین عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی در دامنه‌های زاگرس واقع شده است که تحت عنوان حوضه آبریز سد مخزنی مارون از آن نام برده می‌شود. مساحت این منطقه حدود ۳۷۸۰ کیلومتر مربع بوده که توسط حوضه‌های آبریز کارون و زهره احاطه شده است. محل سد مخزنی مارون در ۱۹ کیلومتری شمال شرقی شهرستان بهبهان در محلی به نام تنگ تکاب با فاصله اندکی در بالادست ایستگاه هیدرومتری بهبهان قرار گرفته است. احداث سد مخزنی مارون در سال ۱۳۷۲ آغاز و در سال ۱۳۷۷ عملیات ساختمانی آن به پایان رسیده است. محاسبات هیدرومتری رودخانه مارون در سه ایستگاه ایدنک، بهبهان و چم نظام انجام می‌گیرد. در تحقیق حاضر، به روندیابی سیل حد فاصل ایستگاه هیدرومتری ایدنک و بهبهان پرداخته می‌شود. ایستگاه هیدرومتری ایدنک در حدود ۴۰ کیلومتری بالادست محل سد مخزنی مارون بعد از شهرستان دهدشت و در بالادست پل روستای ایدنک واقع شده است. ایستگاه هیدرومتری بهبهان با فاصله کمی در پایین دست سد مخزنی مارون در نزدیکی روستای تنگ تکاب قرار دارد. این ایستگاه در بین دو پیچ از رودخانه مارون در سال ۱۳۳۰ احداث شده است. در (شکل ۱) نمای کلی حوضه آبریز مارون و همچنین، نمایی از دریاچه سد مخزنی مارون به همراه ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست و پایین دست آن نشان داده شده است



الف: نمای کلی حوضه آبریز مارون ب: نمایی از دریاچه و ایستگاه‌های هیدرومتری سد مخزنی مارون

شکل ۱: حوضه آبریز مارون و ایستگاه‌های هیدرومتری بالا و پایین دست سد مخزنی مارون

با استفاده از گزارش‌های سیلاب ایستگاه‌های آبسنجی جمع‌آوری شده از سازمان آب و برق خوزستان، در کل، تعداد ۳۰۳ مورد هیدروگراف با تداوم‌های ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۷ استخراج شد و روی آن‌ها تحلیل لازم صورت گرفت. بارش همان روز، یک و دو روز قبل از وقوع هر هیدروگراف سیل در ایستگاه بهبهان نیز استخراج شد. جدول ۱ تعداد هیدروگراف‌های سیل مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تعداد هیدروگراف‌های سیل مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	قبل از بهره برداری از سد	بعد از بهره برداری از سد	مجموع
۱	ایدنک	۱۲۸	۵۹	۱۸۷
۲	بهبهان	۱۰۸	۸	۱۱۶
۳	مجموع	۲۳۶	۶۷	۳۰۳

هیدروگراف‌های سیل در ساعت مشخص و نیز دو تا چهار ساعت قبل از آن در ایستگاه ایدنک و اطلاعات پیشینه بارندگی (بارش همان روز، یک و دو روز قبل) همان واقعه سیل در ایستگاه بهبهان به عنوان ورودی مدل و هیدروگراف‌های سیل ایستگاه بهبهان به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شدند. داده‌های ورودی به مدل به صورت تصادفی با لحاظ کردن ۱۶ درصد آن برای مرحله تست، ۱۶ درصد در مرحله صحت سنجی شبکه و بقیه (۶۸ درصد داده‌ها) برای مرحله آموزش به سه دسته تقسیم شدند. به این دلیل بخش کوچکی از داده‌ها به عنوان داده‌های صحت سنجی به مدل معرفی شد تا از آموزش کاذب و بیش از حد مدل جلوگیری شود (دستورانی، ۱۳۸۶). در این تحقیق، به منظور تعیین میزان دقت پیش‌بینی توسط مدل از پارامترهای درصد خطا (E)، خطای مجذور مربعات خطا (RMSE)، پارامتر نش- ساتکلایف (E) و خطای نسبی میانگین (MRE) استفاده شده است. محاسبه این پارامترها بر اساس رابطه ۱ تا رابطه ۴ انجام شده است.

$$\% E = \frac{\sum_{i=1}^N |Q_{mi} - Q_{pi}|}{\sum_{i=1}^N Q_{mi}} \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{mi} - Q_{pi})^2}{N}} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{mi} - Q_{pi})}{\sum_{i=1}^N (Q_{mi} - \bar{Q}_{mi})} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_{mi} - Q_{pi}}{Q_{mi}} \right| \quad \text{رابطه ۴:}$$

در روابط فوق، N تعداد داده‌ها، Q_{mi} مقادیر دبی مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری بهبهان و Q_{pi} مقادیر دبی برآورد شده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. هرچه مقدار پارامتر نش- ساتکلایف (E) به عدد یک نزدیک شود، بهتر خواهد بود (Tabachnick and Fidell, 2007).

MRE، خطای نسبی میانگین است که هر چه این عدد به صفر نزدیک تر شود بهتر است؛ RMSE مجذور میانگین مربعات خطا می باشد و هر چه به عدد صفر نزدیک تر شود بیانگر دقت بالاتر مدل است. همچنین دقت پیش بینی هر رابطه به پارامترهای R^2 و α ، که به ترتیب عبارتند از ضریب تبیین و شیب خط رگرسیون، بستگی دارد. بدین صورت که هر چه R^2 و α به یک نزدیکتر باشند خروجی مدل پیش بینی درست تری از مشاهدات داشته است. مقادیر کم RMSE می تواند بیانگر این مسئله باشد که نتایج شبکه عصبی مصنوعی به خط ۴۵ درجه و یا به مقادیر اندازه گیری شده نزدیک می باشد. ضمناً برای انجام محاسبات و ساخت شبکه عصبی مصنوعی، از نرم افزار Alyuda Nerointelligence استفاده شده است. این نرم افزار یک بسته کامل برای طراحی و بهینه سازی شبکه عصبی می باشد که در سال ۲۰۰۲ توسط مؤسسه تحقیقاتی Alyuda ارائه شد و تمامی مراحل اجرای مدل شبکه عصبی را پشتیبانی می کند. این نرم افزار شامل قابلیت های تحلیل و پیش پردازش مجموعه داده ها، پیدا کردن بهترین و کارآمدترین معماری شبکه، آزمون و بهینه سازی شبکه انتخاب شده و به کارگیری شبکه جهت حل مسائل می باشد. حل یک مسئله با استفاده از این نرم افزار شامل مراحل تحلیل، پیش پردازش، طراحی، آموزش و تست می شود. علاقه مندان می توانند با مراجعه به سایت تحقیقاتی Alyuda این نرم افزار را دانلود نمایند.

نتایج و بحث

در این تحقیق، مدل در حالت بدون در نظر گرفتن سازه سد مارون و در دوره قبل از بهره برداری سد اجرا شد و هیدروگراف سیل ایستگاه بهبهان با استفاده از داده های ورودی توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی پیش بینی شد. پس از اجرای مدل، هیدروگراف های سیل به وقوع پیوسته در دوره پس از بهره برداری از سد در ایستگاه ایدنک و بارندگی نظیر آن واقعه وارد مدل شد تا هیدروگراف سیل ایستگاه بهبهان در پایین دست سد بدون تأثیر سازه سد پیش بینی شود و در نهایت تأثیر سد مخزنی مارون بر هیدروگراف های پایین دست مشخص شد.

الف - اجرای مدل

تابع محرک لایه های مخفی و خروجی، یکی از مهمترین پارامترهایی است که می تواند در خروجی مدل بسیار تأثیرگذار باشد. در این تحقیق، سه تابع محرک لجستیک^۱ (سیگموئید)، هایپربولیک تانژانت^۲ و خطی^۳ برای لایه های مخفی و خروجی به کار گرفته شده است. جدول ۲ نتایج روندیابی هیدروگراف سیل با الگوریتم پس انتشار خطا را نشان می دهد. تابع محرک

^۱ Logistic

^۲ Hyperbolic Tangent

^۳ Linear

لجستیک که با (رابطه ۵) نشان داده می‌شود، هم برای تابع محرک لایه مخفی و هم برای تابع محرک لایه خروجی بهترین نتایج را ارائه می‌دهد.

$$f(z) = \frac{1}{1 + \exp(-z)} \quad \text{رابطه ۵:}$$

جدول ۲: مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری توابع محرک مختلف در شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی هیدروگراف سیل

در ایستگاه بهبهان

مرحله آموزش	مرحله صحت یابی	مرحله آموزش	تابع محرک	لایه مخفی	لایه خروجی
ضریب همبستگی	ضریب همبستگی	RMSE	ضریب همبستگی	لایه مخفی	لایه خروجی
۰/۹۳	۰/۹۳	۳/۸	۰/۹۰	لجستیک	لجستیک
۰/۸۶	۰/۹۱	۶/۷	۰/۹۱	هایپر تانژانت	لجستیک
۰/۸۷	۰/۹۲	۶/۹	۰/۹۱	خطی	لجستیک
۰/۹۱	۰/۹۰	۳/۹	۰/۸۹	لجستیک	هایپر تانژانت
۰/۹۲	۰/۹۱	۷/۵	۰/۹۰	هایپر تانژانت	هایپر تانژانت
۰/۹۲	۰/۹۱	۷/۷	۰/۹۰	خطی	هایپر تانژانت
۰/۸۹	۰/۸۵	۶	۰/۸۵	لجستیک	خطی
۰/۸۷	۰/۸۴	۱۰	۰/۸۵	هایپر تانژانت	خطی
۰/۹۱	۰/۹۰	۹/۱	۰/۹۰	خطی	خطی

انتخاب الگوریتم یادگیری در واقع مهمترین بخش طراحی یک شبکه چند لایه است. یک الگوریتم یادگیری به تنهایی نمی‌تواند بهترین نتایج را برای همه شرایط ارائه کند. از این رو باید با تکنیک سعی و خطا الگوریتم یادگیری انتخاب شود که در برگیرنده تمام شرایط مسئله مورد نظر باشد. نرم افزار Neurointelligence، هفت الگوریتم یادگیری را جهت آموزش در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این الگوریتم‌ها شامل: پسانتشار سریع، گرادیان درهم آمیخته نزولی، کوازی-نیوتن، کوازی-نیوتن حافظه محدود، لونبرگ - مارکوات، پسانتشار افزایشنده و پسانتشار دسته‌ای می‌باشند. نتایج به دست آمده از مقایسه الگوریتم‌های یادگیری برای پیش‌بینی هیدروگراف سیل ایستگاه بهبهان با تابع محرک لجستیک برای لایه‌های مخفی و خروجی در (جدول ۳) آمده است.

جدول ۳: مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری الگوریتم‌های یادگیری مختلف در شبکه‌های عصبی مصنوعی

مرحله آموزش	مرحله صحت یابی	مرحله آزمون	الگوریتم یادگیری
ضریب همبستگی	RMSE	ضریب همبستگی	ضریب همبستگی
۰/۹۲	۲/۷	۰/۸۹	پس انتشار سریع
۰/۹۰	۲/۷	۰/۸۸	گرادیان درهم آمیخته نزولی
۰/۹۳	۴	۰/۹۰	کوازی- نیوتن
۰/۹۲	۵	۰/۸۸	کوازی- نیوتن حافظه محدود
۰/۶۱	۸/۸	۰/۶۳	لونبرگ - مارکوات
۰/۹۲	۴/۳	۰/۸۸	پس انتشار افزاینده
۰/۸۰	۸/۵	۰/۶۳	پس انتشار دسته ای

همان‌طور که از جدول ۳ پیداست، الگوریتم یادگیری کوازی - نیوتن بهترین نتایج را جهت روندیابی سیل در این بازه ارائه می‌دهد. هدف بعدی این تحقیق، یافتن میزان تأثیر پیشینه بارندگی و زمان‌های تأخیری است که درصد مشارکت بیشتری در خروجی مدل دارند. از این رو، به بررسی میزان مشارکت ورودی‌ها در خروجی هر مدل پرداخته شد. نتایج حاصل از درصد مشارکت ورودی‌ها برای مدل در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که نتایج موجود در این جدول نشان می‌دهد، اطلاعات دبی و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه تأثیر تقریباً یکسانی در دبی خروجی (ایستگاه بهبهان) دارند. در مرحله بعد، به منظور کاهش تعداد داده‌های ورودی و پیدا کردن بهترین ترکیب ورودی از Feature Selection استفاده شده است. نرم افزار Neurointelligence این تکنیک سعی و خطا را با چهار الگوریتم متفاوت انجام می‌دهد. در انتها، تعداد پنج ورودی که بیشترین سهم را در خروجی داشتند مشخص شدند. در جدول ۵ بهترین ترکیب ورودی مشخص شده است.

جدول ۴: درصد مشارکت پارامترهای ورودی در خروجی مدل

دبی همان ساعت	بارش همان روز	دبی ۲ ساعت	بارش ۱ روز قبل ایستگاه	دبی ۴ ساعت قبل	بارش ۲ روز قبل ایستگاه بهبهان
ایدنک	ایستگاه بهبهان	قبل ایدنک	بهبهان	ایدنک	قبل ایستگاه بهبهان
۲۸/۲۳	۱۵/۲۲	۱۳/۲۹	۱۱/۶۴	۲۰/۱۷	۱۱/۴۳

جدول ۵: بهترین پارامترهای ورودی و درصد مشارکت هریک از آن‌ها در شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی

هیدروگراف سیل در ایستگاه بهبهان

پارامترهای ورودی	بارش همان روز	دبی ۲ ساعت قبل ایستگاه ایدنک	دبی ۴ ساعت قبل ایستگاه ایدنک	بارش ۱ روز قبل	بارش ۲ روز قبل
درصد مشارکت	۱۵/۷۸	۳۰/۸۸	۲۳/۵۱	۸/۰۸	۲۱/۷۳

پس از آن‌که تابع محرک برای لایه‌های مخفی و خروجی، الگوریتم یادگیری و بهترین ترکیب ورودی مشخص شد، سری داده‌ها آنالیز و تقسیم‌بندی می‌شوند. همچنین به منظور تعیین تعداد نرون‌های لایه مخفی یا به عبارت دیگر بهترین ساختار شبکه عصبی به جست و جوی بهترین ساختار پرداخته می‌شود. نرم افزار از میان تمامی ساختارهای ممکن با تعداد لایه‌های مخفی متفاوت نشان داد که ساختار شبکه (یک-۱۳-پنج)، که در آن پنج، ۱۳ و یک به ترتیب تعداد نود در لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی می‌باشند، از کم‌ترین خطا در مرحله آزمون برخوردار بوده و برای شبکه عصبی منظور شد و مدل آموزش، صحت سنجی و آزمون شد.

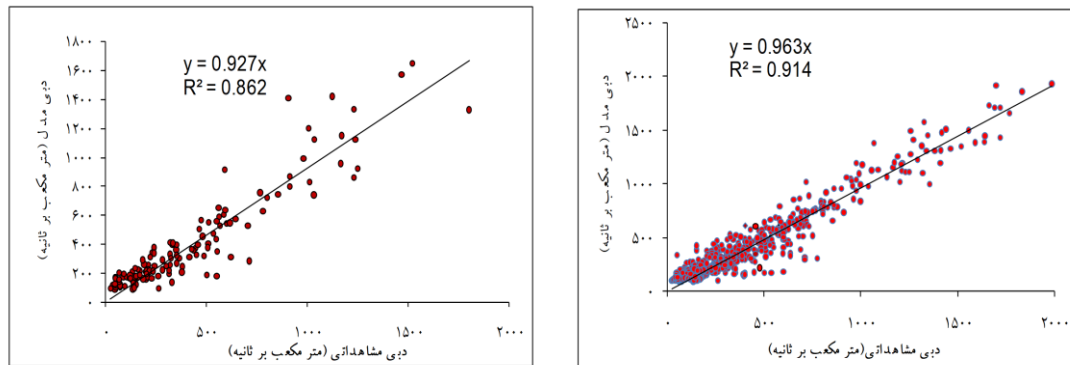
ب- ارزیابی گرافیکی

در شکل ۲ نمودار پراکندگی دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقابل مقادیر متناظر مشاهداتی در دوره‌های آموزش و آزمون آورده شده است. هیدروگراف‌های وقایع سیل که در دوره قبل از بهره‌برداری از سد مارون و با تداوم‌های متفاوت رخ داده اند به صورت سری و پشت سر هم به مدل داده شده‌اند. شکل ۳ مقایسه هیدروگراف‌های خروجی مدل با هیدروگراف مشاهده شده را در مرحله آزمون نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ و شکل ۳ و جدول ۶، تطابق نسبتاً خوب برآوردهای هیدروگراف سیل توسط روش شبکه عصبی مصنوعی بر داده‌های مشاهده شده در ایستگاه بهبهان دیده می‌شود.

جدول ۶: نتایج حاصل از تحلیل آماری مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی هیدروگراف سیل بر اساس داده‌های

تست

مدل	$Q_p = \alpha Q_m$	R^2	RMSE	E (درصد)	E	MRE
شبکه عصبی مصنوعی	$Q_p = 0.9276 Q_m$	۱۸۷	۰/۰۰۲۴	۲۲/۸۸	۰.۹۴۹۲	۰/۱۹

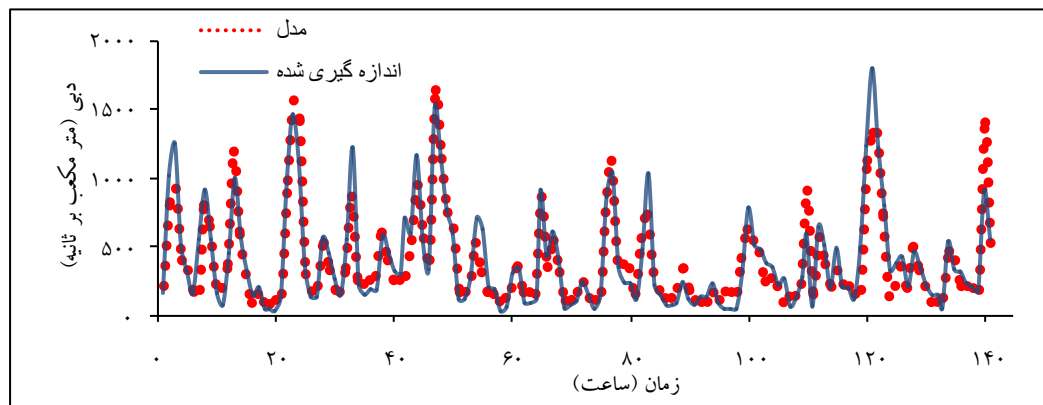


ب

الف

شکل ۲: برازش بین داده‌های معرفی شده به مدل و خروجی از آن در ایستگاه بهبهان طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۷۷، الف (ب)

دوره آموزش و (ب) مرحله آزمون



شکل ۳: نتایج مربوط به شبیه‌سازی هیدروگراف‌های سیل توسط شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آزمون

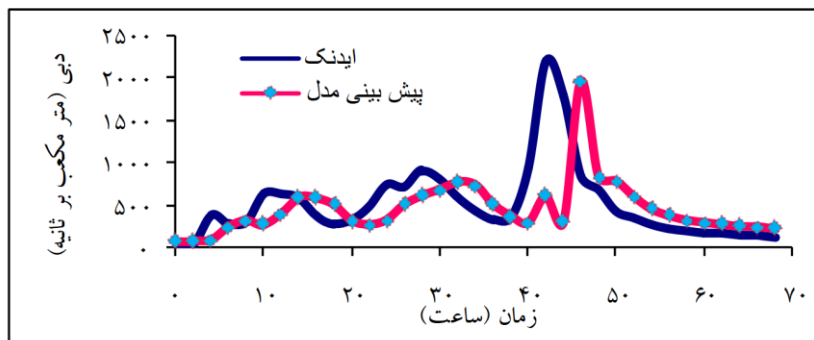
ج- بررسی تأثیر احداث سد

در دوره پس از احداث سد، چهار واقعه سیل با دبی اوج بیش از ۲۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه به ثبت رسیده است. جدول ۷ مشخصات این سیلاب‌ها را نشان می‌دهد. پس از این‌که مدل به خوبی آموزش دید تا با استفاده از هیدروگراف سیل ایستگاه ایدنک و بارندگی همان واقعه سیل در ایستگاه بهبهان، هیدروگراف سیل ایستگاه بهبهان را پیش‌بینی کند، هیدروگراف‌های فوق و اطلاعات بارندگی مربوط به این وقایع سیل وارد مدل شدند تا مدل هیدروگراف ایستگاه بهبهان را بدون در نظر گرفتن سازه سد پیش‌بینی کند. از مقایسه خروجی مدل و هیدروگراف مشاهده شده در ایستگاه بهبهان، تأثیر سد مخزنی مارون بر کاهش دبی اوج سیلاب در پایین دست مشاهده می‌شود. شکل ۴ روند سیل پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد. شکل ۵ نیز هیدروگراف پیش‌بینی شده توسط مدل را در مقایسه با هیدروگراف مشاهداتی خروجی سد برای شدیدترین وقایع

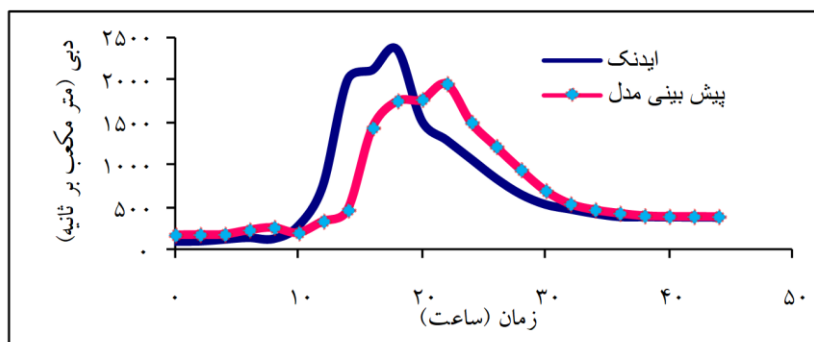
سیل به وقوع پیوسته در دوره بعد از احداث سد که به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۸۲/۱۰/۱۷ و ۱۳۸۱/۰۹/۱۸ به وقوع پیوسته‌اند را نشان می‌دهد. در واقعه سیل رخ داده در تاریخ ۱۳۸۲/۱۰/۱۷ سیل توسط مخزن مهار شده و سد به خوبی توانسته حجم سیلابی معادل ۱۲۱/۷۴ میلیون متر مکعب را ذخیره کند. دبی اوج این هیدروگراف توسط مدل ۱۹۷۵ متر مکعب بر ثانیه پیش‌بینی شده است.

جدول ۷: نتایج تحلیل مقدماتی وقایع سیل با دبی اوج بالا در ایستگاه ایدنک بعد از احداث سد

ردیف	تاریخ وقوع	تداوم (hr)	دبی اوج (m^3/s)	زمان رسیدن به اوج	حجم (MCM)	رواناب (mm)
۱	۱۳۸۲/۱۰/۱۷	۴۸	۲۳۷۳	۲۲	۱۲۱/۷۴	۴۴/۰۹
۲	۱۳۸۶/۰۱/۰۸	۴۸	۲۳۰۹	۲۲	۱۱۵/۳۲	۴۱/۷۷
۳	۱۳۸۱/۰۹/۱۸	۷۲	۲۲۰۵	۴۶	۱۲۹/۹۱	۴۱/۰۵
۴	۱۳۸۲/۱۰/۲۳	۴۸	۲۰۵۲	۱۸	۱۶۰/۰۵	۵۷/۹۷



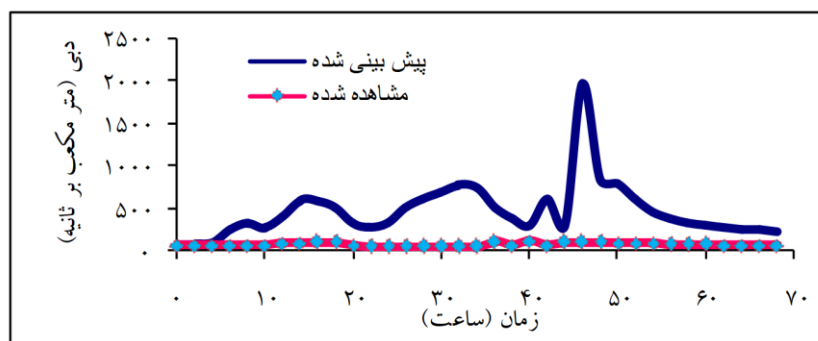
(الف)



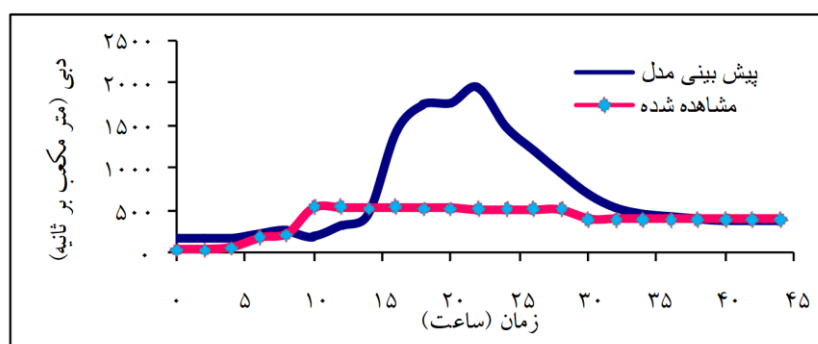
(ب)

شکل ۴: روند سیل پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی بدون در نظر گرفتن سازه سد. الف) در تاریخ

۱۳۸۱/۰۹/۱۸ و ب) تاریخ ۱۳۸۲/۱۰/۱۷



(الف)



(ب)

شکل ۵: مقایسه هیدروگراف سیل پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی بدون در نظر گرفتن سازه سد و

هیدروگراف مشاهده شده در ایستگاه بهبهان. (الف) در تاریخ ۱۳۸۱/۰۹/۱۸ و (ب) تاریخ ۱۳۸۲/۱۰/۱۷

سایر محققان، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، تأثیر سدهای مخزنی قابل احداث را در کاهش دبی اوج سیلاب، در حوضه‌های مورد مطالعه مورد بررسی قرار دادند. موفقیت مطالعات مشابه، مؤید توانایی و قدرت تخمین شبکه عصبی در این زمینه بوده است. ایشان در نتایج خود بیان داشتند، اگر در حوضه مورد مطالعه سد مخزنی احداث شود، به طور متوسط دبی اوج سیل خروجی از حوضه به چه میزان کاهش خواهد یافت. ولیکن در تحقیق حاضر سد مخزنی مارون موجود می‌باشد. این بررسی به منظور بررسی عملکرد سد مخزنی مارون بر کاهش سیلاب‌های این حوضه صورت پذیرفته است. مقادیر کم RMSE نشان داد که نتایج شبکه عصبی مصنوعی به خط ۴۵ درجه و یا به مقادیر اندازه گیری شده نزدیک می‌باشند و نتایج رضایت بخش تلقی شود. پس از آن نتایج مدل با هیدروگراف‌های خروجی از مخزن سد مقایسه شد. نتایج نشان داد اگر چه بهره‌برداری از سد مخزنی مارون با دوره خشکسالی مواجه بوده است اما در این دوره نیز، سیلاب با دبی بالا اتفاق افتاده است. در طول مدت سه سال، چهار واقعه سیلاب با دبی اوج ۲۰۰۰ تا ۲۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه با حجم معادل ۱۲۰ تا ۱۶۰ میلیون متر مکعب نیز حادث شود، که همگی این سیلاب‌ها توسط مخزن سد مستهلک شده‌اند. طبق این

بررسی نتایج بیانگر عملکرد خوب سد مخزنی مارون در مستهلک نمودن سیلاب‌های وارده و کاهش دبی اوج، در شدیدترین سیلاب به ثبت رسیده پس از احداث آن می‌باشند. بنابراین متناسب با این موضوع و نیز درجه اهمیت تأسیسات در پایین دست، نوع عملیات پیش‌گیری را می‌توان مشخص کرد. همچنین با به‌کارگیری پیش‌بینی‌های جوی کوتاه مدت، که در سال‌های اخیر بهبود یافته، به راحتی می‌توان از حجم کنترل سیلاب کاست و آن را برای مقاصد تامین نیازهای آبی و تولید انرژی برق آبی به کار گرفت.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام تحقیق حاضر به‌کارگیری مدل شبکه عصبی مصنوعی به منظور روندیابی سیل در حوضه آبخیز سد مخزنی مارون، حد فاصل ایستگاه‌های هیدرومتری ایدنک و بهبهان، و بررسی تأثیر احداث سد مخزنی مارون بر هیدروگراف‌های سیل پایین دست بوده است. در مرحله آموزش، توابع محرک و الگوریتم‌های یادگیری مختلف مورد بررسی قرار گرفته و تابع محرک لجستیک هم برای لایه مخفی و هم برای لایه خروجی و الگوریتم یادگیری کوازی - نیوتن بهترین نتایج را ارائه داد. مدل شبکه عصبی مصنوعی با معماری یک-۱۳-پنج در تحلیل مسئله روندیابی سیل در این بازه نتایج رضایت بخشی ارائه می‌دهد و به عنوان مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. شبکه‌های عصبی مصنوعی نشان دادند که می‌توانند هیدروگراف سیل را در مرحله آزمون با (ضریب همبستگی ۹۳ درصد و $RMSE=0/0024$) به خوبی پیش‌بینی کنند. همچنین از مقایسه هیدروگراف پیش‌بینی شده توسط مدل و هیدروگراف مشاهده شده در ایستگاه بهبهان برای شدیدترین سیل به وقوع پیوسته در دوره بعد از احداث سد که در تاریخ ۱۳۸۲/۱۰/۱۷ به وقوع پیوسته است، مشخص می‌شود که سد به خوبی توانسته تمامی حجم سیلاب معادل ۱۲۱/۷۴ میلیون متر مکعب را ذخیره کند. همچنین، دبی اوج هیدروگراف در پایین دست سد از مقدار ۱۹۷۵ متر مکعب بر ثانیه به حدود ۵۰۰ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافته است.

منابع

- امیری، ا.، نیکو، م. و نیکو، م. (۱۳۹۲). روندیابی سیلاب در رودخانه مارون با استفاده از سری‌های زمانی در شبکه‌های عصبی مصنوعی مودولار. نشریه فضای جغرافیایی، ۱۳(۴۲): ۲۲۹-۲۵۱.
- حسینی، م.، میر صالحی، م. م. و ساقی، ح. (۱۳۸۰). استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در روندیابی متمرکز سیلاب. مجموعه مقالات سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران.
- دستورانی، م. ت. (۱۳۸۶). بررسی کاربرد مدل‌های هوش محاسباتی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی بهنگام جریان‌های سیلابی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۰(الف): ۲۷-۳۷.

رضایی، م. (۱۳۸۴). تخمین روندیابی سیل با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه با روش ماسکینگهام کونژ (مطالعه موردی: رودخانه کارون). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

شکوهی، ع. و دانشور، ش. (۱۳۸۶). بررسی تأثیر احداث مخازن تأخیری در حوضه های آبریز در مقایسه با عملیات

موضعی مهندسی رودخانه برای کنترل سیل در محدوده شهر. تحقیقات منابع آب ایران، ۳(۷): ۸۰-۸۳.

صمدی بروجنی، ح.، فصاحت، و. و هنربخش، ا. (۱۳۸۸). تأثیر احداث سد مخزنی در کاهش دبی اوج سیلاب با

استفاده از نرم افزار HEC-HMS در حوضه ی آبخیز جونقان- فارسان. هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه،

دانشگاه شهید چمران اهواز.

قلخانی، ح.، ثقفیان، ب. و گلیان، س. (۱۳۸۸). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در روندیابی زمان واقعی سیلاب رودخانه.

مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران.

Modarres, R. (2009). Multi-criteria validation of artificial neural network rainfall-runoff modeling. *Earth Syst. Sci.*, 13, pp: 411-421.

Peters, R., Schmitz, G. and Cullmann, J. (2006). Flood routing modeling with artificial networks. *Adv. Geosci.*, 9, pp: 131-136.

Schmitz, G.H. and Cullmann, J. (2008). PAI-OFF: A new proposal for online flood forecasting in flash flood prone catchments. *J. Hydrol.*, 360: 1-14.

Tabachnick, B.G. and Fidell, L. S. (2007). Using multivariate statistics. 5th ed., Pearson Education, pp: 217-218.