



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هجدهم، شماره اول، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

گزارش کوتاه علمی

ارزیابی کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در تخمین هوشمند هیدروگراف سیل در رودخانه جعفرآباد گرگان

حمید پهلوانی^۱، عبدالرضا بهره‌مند^۲،* امیراحمد دهقانی^۳ و امیر سعدالدین^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲ استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۴

چکیده

در دهه اخیر شبکه‌های عصبی مصنوعی به شکل ابزار قدرتمندی در حل بسیاری از مسایل فنی و مهندسی از جمله، مهندسی آب مطرح شده‌اند. در این پژوهش توانایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی جهت شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه رودخانه جعفرآباد مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی این پژوهش ارزیابی کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه جهت تخمین هوشمند هیدروگراف سیل در پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری با استفاده از دبی سیل در ۲، ۳، ۴ و ۵ ساعت قبل به‌عنوان ورودی مدل می‌باشد. به این منظور تعداد ۱۸ هیدروگراف سیل ثبت شده در محل ایستگاه انتخاب شد. از این تعداد ۱۲ هیدروگراف سیل برای آموزش شبکه عصبی، ۴ هیدروگراف برای صحت‌سنجی مدل و ۲ هیدروگراف برای آزمون مدل شبکه عصبی انتخاب، و سپس شبکه به‌ازای الگوهای مختلف طراحی شده، آموزش داده شد و براساس معیارهای آماری بهترین الگو انتخاب گردید. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش زمان تأخیر دقت شبیه‌سازی کم‌تر می‌شود. همچنین به‌ازای یک زمان تأخیر معین، با افزایش تعداد ورودی‌ها (دبی در ساعت‌های قبل)، نیز دقت نتایج افزایش می‌یابد. همچنین بررسی شکل هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده بیانگر توانایی مدل در شبیه‌سازی دبی

* مسئول مکاتبه: a.deghani@gau.ac.ir

پیک، زمان تا اوج، شیب شاخه صعودی و حجم سیل است. میزان ضریب کارایی به‌عنوان شاخص ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی سیل برابر ۰/۹۲ و ۰/۹۳ می‌باشد. لازم به ذکر است که نوع تابع انتقال و الگوریتم آموزش مدل، پارامترهایی هستند که تأثیر عمده‌ای بر خروجی مدل دارند.

واژه‌های کلیدی: هیدروگراف سیل، شبکه عصبی مصنوعی، تابع انتقال، رودخانه جعفرآباد، استان گلستان

مقدمه

پیش‌بینی سیلاب در اغلب حوضه‌ها به‌خصوص پیش‌بینی به‌هنگام آن از نقطه‌نظر کاهش خسارات سیلاب دارای اهمیت می‌باشد. پیش‌بینی به‌هنگام و به‌خصوص مدت زمان بین پیش‌بینی یک واقعه و اتفاق آن، مهم‌ترین پارامتر در اجرای موفقیت‌آمیز سیستم‌های هشدار سیل است. پیش‌بینی قابل اطمینان دبی جریان و نیز تغییرات آن در طول رودخانه بخش ضروری از پروژه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت آب‌های سطحی می‌باشد. علاوه بر آن پیش‌بینی وضعیت در پایین‌دست براساس داده‌های ثبت شده در بالادست کمک شایانی به تصمیم‌گیری در رابطه با کاهش خسارت‌ها و احیاناً امکان طراحی و اجرای مخازن ذخیره و تنظیم جریان مازاد قبل از رسیدن به پهنه‌های خسارت بار خواهد نمود (دستورانی، ۲۰۰۷).

پژوهش‌های زیادی در زمینه استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مسایل مختلف مهندسی آب در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است. اکبرپور (۲۰۰۳) برای شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب از دو مدل HEC-HMS و شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرد. اطلاعات انتخابی برای شبیه‌سازی سیل توسط دو مدل بالا شامل ۱۴ واقعه سیلابی و داده‌های روزانه بارندگی و دبی روزانه رودخانه زرد در استان خوزستان مربوط به سال‌های آبی ۷۹-۱۳۷۰ بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی از توانایی بیشتری در مدل‌سازی فرآیند بارش - رواناب نسبت به مدل HEC-HMS برخوردار است. مشفق (۲۰۰۴) برای پیش‌بینی جریان رودخانه از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه و شبکه عصبی مبتنی بر پایه شعاعی (RBF)^۱ استفاده نمود. این محقق از اطلاعات آب‌سنجی ایستگاه پای‌پل به‌عنوان ورودی مدل استفاده کرد و نتایج به‌دست آمده از شبکه عصبی را با نتایج روش‌های تجربی و رگرسیونی مورد مقایسه قرار داد و در نهایت نتیجه گرفت که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با دقت قابل قبول نسبت به روش‌های تجربی می‌توانند برای مدل‌سازی جریان رودخانه مورد استفاده قرار گیرند. مدل استفاده شده، مدل MLP بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که

1- Radial Basis Function

از این مدل‌ها می‌توان جهت پیش‌بینی رواناب استفاده نمود زیرا درصد خطای آن‌ها قابل قبول است. کیسی (۲۰۰۳)، برای پیش‌بینی جریان در رودخانه‌های بلاک‌واتر و گیلا در آمریکا و همچنین رودخانه فلیوس در ترکیه از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و مدل اتورگرسیو استفاده کرد. پژوهش‌های احمد و سیمونیچ (۲۰۰۵) نیز نشان داد که از مدل شبکه عصبی مصنوعی و بر پایه پارامترهای هیدرواقليمی می‌توان برای پیش‌بینی دبی اوج لحظه‌ای رودخانه در شمال آمریکا استفاده نمود. نگاهی به سابقه‌های پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بیش‌تر برای تخمین دبی حداکثر بوده است و پژوهش زیادی در خصوص تخمین شکل هیدروگراف صورت نگرفته است. بنابراین در این پژوهش، تخمین شکل هیدروگراف، شامل مقادیر دبی در هر زمان، دبی اوج، زمان تا اوج و حجم سیلاب در رودخانه جعفرآباد با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

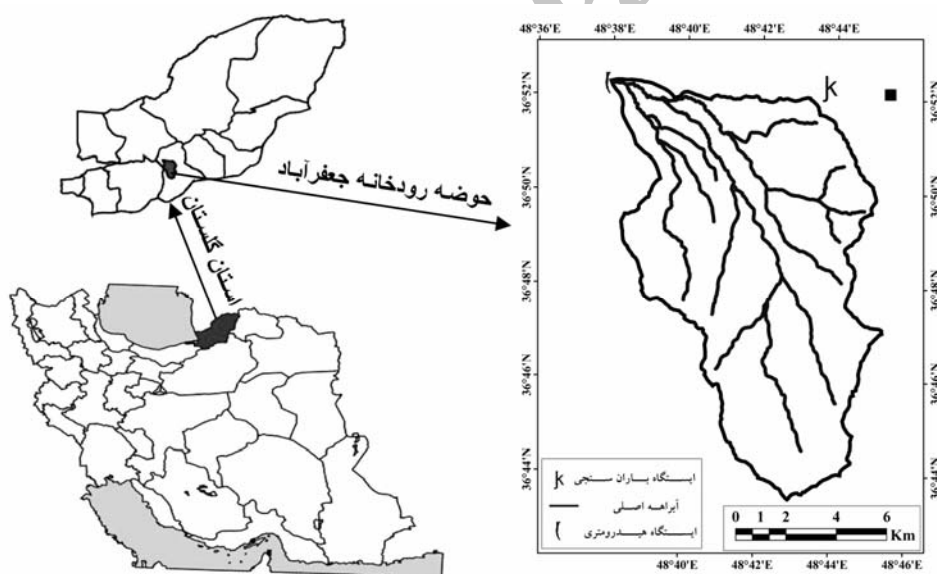
مواد و روش‌ها

مشخصات و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز جعفرآباد با مساحتی در حدود ۱۰۹۴۷ هکتار در ۲۵ کیلومتری جنوب‌شرق گرگان قرار دارد. این منطقه در محدوده جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. رودخانه اصلی آن پس از تجمع انشعابات فرعی از روستای تقی‌آباد گذشته و با پیوستن به گرگان‌رود به دریای خزر می‌ریزد. ایستگاه هیدرومتری موجود در داخل حوضه دارای ۳۰ سال آمار سیلاب‌های رخ داده در حوضه آبخیز یاد شده می‌باشد که در این ایستگاه ثبت شده‌اند. وقوع سیلاب‌های مکرر و خسارت‌زا در این حوضه آبخیز ضرورت انجام این پژوهش را به‌منظور پیش‌بینی هیدروگراف سیل در پایین‌دست و اقدامات مدیریتی مشخص می‌کند (شکل ۱).

روش پژوهش: هدف از این پژوهش شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری فاضل‌آباد واقع در حوضه آبخیز جعفرآباد می‌باشد. به این منظور آمار سیلاب‌های ثبت شده توسط ایستگاه یاد شده در یک دوره آماری ۳۰ ساله گردآوری و از این آمار تعداد ۱۸ هیدروگراف سیل انتخاب شد. قبل از این که مقادیر عددی مربوط به دبی هیدروگراف‌ها وارد مدل شوند، این مقادیر توسط رابطه ۱ نرمال شدند. بعد از نرمال‌سازی داده‌ها ۴ الگوی ورودی براساس زمان تأخیر دبی سیل (۲، ۳، ۴ و ۵ ساعت قبل) طراحی و در هر الگو از سه سیگنال دبی در همان زمان تابعی از دبی‌های رخ داده شده در زمان‌های قبل در نظر گرفته شد. به‌عنوان مثال در الگوی اول که براساس زمان تأخیر

۲ ساعت بود، در سیگنال اول از دبی ۲، ۳ و ۴ ساعت قبل و در سیگنال دوم از دبی ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ساعت قبل و در سیگنال سوم از دبی ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ ساعت قبل برای تخمین دبی در این زمان استفاده می‌شود. سپس داده‌ها برای هر الگو و سیگنال مربوطه به سه دسته داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و داده‌های آزمون تقسیم شدند. در این پژوهش از ۱۸ هیدروگراف انتخابی ۱۲ عدد برای آموزش، ۴ عدد برای صحت‌سنجی و ۲ هیدروگراف برای آزمون مدل انتخاب شدند. برای طراحی شبکه عصبی از نرم‌افزار Neuroslution5 استفاده شد و تعداد تکرار، تعداد نرون در لایه‌های پنهان، نوع تابع انتقال و الگوریتم یادگیری براساس سعی و خطا به دست آمد. پس از یافتن بهترین ساختار شبکه عصبی برای هر مدل، بهترین الگو به عنوان ورودی نهایی مدل شبکه عصبی براساس معیارهای آماری مندرج در جدول ۲ انتخاب شد.

$$X_{norm} = 0.5 + 0.5 \left(\frac{X - \bar{X}}{X_{max} - X_{min}} \right) \quad (1) \text{ (لیکاس و همکاران، ۲۰۰۴)}$$



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوضه رودخانه جعفرآباد) در استان گلستان و ایران.

جدول ۱- ساختار ریاضی سیگنال‌های ورودی طراحی شده در هر الگوی ورودی به‌عنوان ورودی مدل در دو حوضه آبخیز.

الگوهای ورودی مدل	سیگنال‌های ورودی طراحی شده در هر الگو	ساختار ریاضی سیگنال‌های ورودی و تعداد متغیرها	خروجی مدل
	سیگنال ۱	$Q(t) = f(Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4})$	Q(t)
الگوی ۱	سیگنال ۲	$Q(t) = f(Q_{t-2}, Q_{t-3}, \dots, Q_{t-6})$	Q(t)
	سیگنال ۳	$Q(t) = f(Q_{t-2}, Q_{t-3}, \dots, Q_{t-8})$	Q(t)
	سیگنال ۱	$Q(t) = f(Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5})$	Q(t)
الگوی ۲	سیگنال ۲	$Q(t) = f(Q_{t-3}, Q_{t-4}, \dots, Q_{t-7})$	Q(t)
	سیگنال ۳	$Q(t) = f(Q_{t-3}, Q_{t-4}, \dots, Q_{t-9})$	Q(t)
	سیگنال ۱	$Q(t) = f(Q_{t-4}, Q_{t-5}, Q_{t-6})$	Q(t)
الگوی ۳	سیگنال ۲	$Q(t) = f(Q_{t-4}, Q_{t-5}, \dots, Q_{t-8})$	Q(t)
	سیگنال ۳	$Q(t) = f(Q_{t-4}, Q_{t-5}, \dots, Q_{t-10})$	Q(t)
	سیگنال ۱	$Q(t) = f(Q_{t-4}, Q_{t-5}, Q_{t-6})$	Q(t)
الگوی ۴	سیگنال ۲	$Q(t) = f(Q_{t-5}, Q_{t-6}, \dots, Q_{t-9})$	Q(t)
	سیگنال ۳	$Q(t) = f(Q_{t-5}, Q_{t-6}, \dots, Q_{t-11})$	Q(t)

جدول ۲- ساختار ریاضی معیارهای آماری مورد استفاده به‌منظور ارزیابی کارایی مدل.

معادله	معیارهای آماری	ساختار
۱	درصد خطای حجم سیل	$\%RE_V = 100 \cdot \left \frac{V_{sim} - V_{obs}}{V_{obs}} \right $
۲	درصد خطای دبی پیک	$\%RE_{QP} = 100 \cdot \left \frac{Q_s(peak) - Q_o(peak)}{Q_o(peak)} \right $
۳	درصد خطای زمان تا اوج	$\%RE_{TP} = 100 \cdot \left \frac{Tp_s - Tp_o}{Tp_o} \right $
۴	ضریب ناش-سانتکیف	$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2}$

(بهره‌مند و همکاران، ۲۰۰۶)

که در آن، V_{sim} = حجم سیلاب شبیه‌سازی شده، V_{obs} = حجم واقعی سیل، $Q_s(peak)$ = دبی اوج شبیه‌سازی شده، $Q_o(peak)$ = دبی اوج مشاهده‌ای، Tp_s = زمان تا اوج شبیه‌سازی شده، Tp_o = زمان تا اوج شبیه‌سازی شده است.

نتایج و بحث

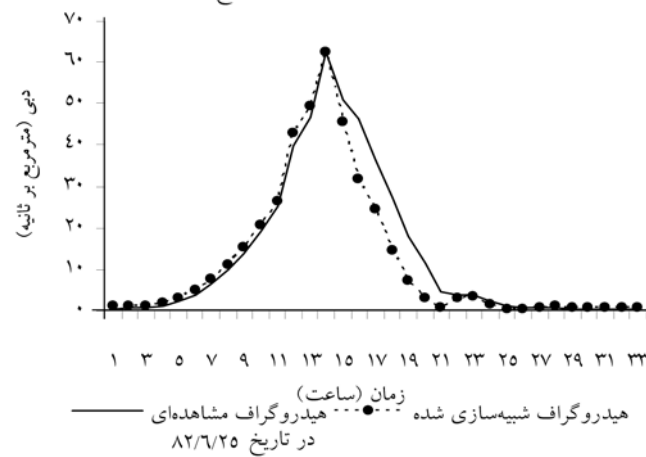
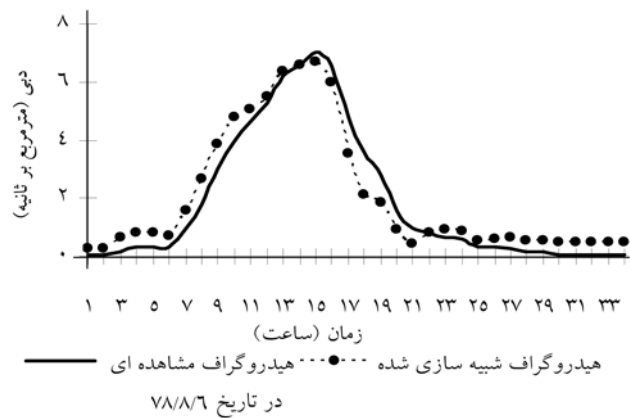
از بین الگوهای مندرج در جدول ۱ و با توجه به ارزیابی معیارهای آماری، دقت شبیه‌سازی هیدروگراف سیل با استفاده از الگوی اول از الگوهای دیگر بالاتر بود. از بین سیگنال‌های الگوی اول نیز سیگنال ۳ از دقت بالاتری نسبت به بقیه برخوردار بود. به همین منظور ساختار بهینه شبکه عصبی برای الگوی اول (سیگنال ۳) در جدول ۳ ارائه شده است. در این مقاله از توابع انتقال مختلف در طراحی مدل استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده دو تابع انتقال آکسون خطی و تانژانت آکسون خطی دارای قابلیت‌های بهتری در شبیه‌سازی هیدروگراف نسبت به سایر توابع بودند. از طرفی تابع انتقال آکسون خطی در شبیه‌سازی هیدروگراف‌های با دبی پیک و شیب شاخه صعودی به نسبت زیاد و قله تیز بهتر از تابع انتقال تانژانت آکسون خطی عمل می‌کرد. همچنین این تابع سریع‌تر از تابع تانژانت آکسون خطی شبکه طراحی شده را به مرحله هم‌گرایی می‌رساند. مقادیر معیارهای آماری برای دو هیدروگراف آزمون در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول ۴ مشخص است که شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده به خوبی قادر است زمان رسیدن به دبی حداکثر هیدروگراف را شبیه‌سازی نماید که این نتایج در راستای نتایج آقای احمد و سیمنویچ (۲۰۰۵) می‌باشد. همچنین مقادیر دبی حداکثر و حجم تعادل سیل نیز به خوبی برآورد می‌شوند. ضریب ناش ساتکلیف نیز که بیانگر کارایی مدل است به عدد ۱ نزدیک بوده و نشان‌دهنده دقت بالای شبیه‌سازی است. به منظور مقایسه بهتر نتایج، مقادیر مشاهده شده هیدروگراف آزمون در مقابل مقادیر محاسبه شده توسط شبکه عصبی در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی به خوبی توانسته شکل هیدروگراف را شبیه‌سازی نماید. همچنین مقادیر محاسبه شده دبی جریان در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده برای دو هیدروگراف آزمون در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که نقاط در اطراف خط ۴۵ درجه قرار گرفته‌اند که نشان از دقت بالای مدل شبکه عصبی دارد.

جدول ۳- ساختار بهینه مدل شبکه عصبی طراحی شده به منظور شبیه‌سازی هیدروگراف سیل بر مبنای الگوی اول (سیگنال ۳) به عنوان ورودی مدل.

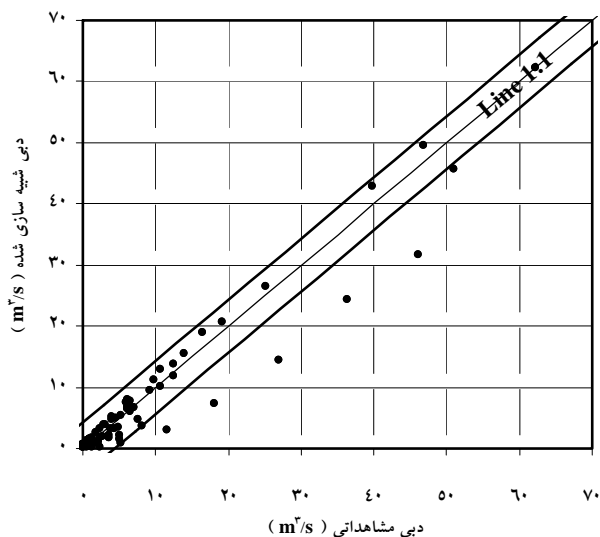
تعداد لایه خروجی	ضریب مومتم	الگوریتم یادگیری	تابع انتقال	تعداد نرون در لایه دوم	تعداد نرون در لایه اول	تعداد لایه مخفی	تعداد ورودی
۱	۰/۲	مومتم	آکسون خطی	۶	۱۰	۲	۷

جدول ۴- شاخص‌های آماری محاسبه شده هیدروگراف شبیه‌سازی شده در الگوی اول (سیگنال ۳) به‌عنوان ورودی مدل.

شماره هیدروگراف	خطای نسبی حجم تعادل سیل (درصد)	خطای نسبی دبی بیک (درصد)	خطای نسبی زمان تا اوج (درصد)	ضریب ناش- ساتکلیف
هیدروگراف شماره ۱	۱۱/۳۳	۰/۲۱۲	۰	۰/۹۲
هیدروگراف شماره ۲	۷/۹۱	۴/۵۳	۰	۰/۹۳



شکل ۲- نتایج هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده در مقایسه با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای در الگوی اول (سیگنال ۳).



شکل ۳- پراکنش داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با حدود اطمینان ۹۵ درصد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مشخصات هیدروگراف سیل با استفاده از دبی سیلاب در زمان‌های قبل و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی شبیه‌سازی گردید. طبق نتایج به دست آمده دو تابع انتقال آکسون خطی و تانژانت آکسون خطی در شبیه‌سازی هیدروگراف نسبت به سایر توابع دارای قابلیت‌های بهتری بودند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش زمان تأخیر دقت شبیه‌سازی کم‌تر می‌شود. همچنین به ازای یک زمان تأخیر معین، با افزایش تعداد ورودی‌ها (دبی در ساعت‌های قبل)، نیز دقت نتایج افزایش می‌یابد. همچنین بررسی شکل هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده بیانگر توانایی مدل در شبیه‌سازی دبی پیک، زمان تا اوج، شیب شاخه صعودی و حجم سیل می‌باشد.

منابع

1. Akbarpour, M. 2003. Simulating the rainfall-runoff process using artificial neural network and HEC-HMS model. M.Sc. Thesis. Department of Water Engineering, Shahid Bahonar Kerman University, Iran, 120p. (In Persian)
2. Amad, S., and Simonovic, S. 2005. Artificial neural network model for generating hydrograph from hydro-meteorological parameters. J. hydro. 128: 4. 236-250.

3. Bahremand, A., De Smedt, F., Corluy, J., Liu, Y.B., Poórová, J., Velická, L., and Kunikova, E. 2006. Application of WetSpa model for assessing land use impacts on floods in the Margecany-Hornad watershed, Slovakia. *Water Science and Technology*. 53: 10. 37-45.
4. Dastourani, M. 2007. Investigation of application of computational intelligence in simulating and real-time prediction of flooding flows. *J. Agric. Sci. and Natur. Resour.* 40: 15-24.
5. Kisi, O. 2003. Daily river flow forecasting using artificial neural networks and auto-regressive models. *Turk. J. Engin. Environ. Sci.* 3: 9-21.
6. Lekass, D., and Baltas, E.A. 2004. Application of artificial neural network for flood forecasting. *Global Nest Inter. J.* 6: 3. 205-211.
7. Moshfegh, M. 2004. Prediction of flow of Karkheh River using artificial neural network and genetic algorithm. M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 129p. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(1), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Assessing the efficiency of artificial neural network for intelligent estimation of flood hydrograph of Jafar Abad River in Gorgan

H. Pahlavani¹, A. Bahremand², *A.A. Dehghani³ and A. Sadoddin²

¹M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept. of Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2009/07/25; Accepted: 2011/02/23

Abstract

Artificial neural network is a powerful tool to solve the engineering and technical problems such as water resource problems. In this study, the ability of neural network model for simulating the hydrograph in Jafar Abad River was evaluated. It is notable that the flood hydrograph was estimated 2, 3, 4 and 5 hours earlier using the flood discharges at 2, 3, 4 and 5 previous hours as model inputs respectively. This was carried out using 18 flood hydrographs recorded in upstream gauging station. From this dataset, 12 flood hydrographs were chosen to train the model and 6 flood hydrographs for validation and test the model. The results showed that by increasing the estimation lag time, the accuracy of results decreased and in a given lag time, by increasing the number of input, the accuracy of results increased. The results showed that the amount of efficiency coefficients, which is the representation of performance of flood hydrograph modeling, is 0.92 and 0.93 for two test hydrograph, respectively. The results also showed that the type of transfer function and learning algorithm were the effective factors on model outputs.

Keywords: Flood hydrograph, Artificial neural network, Transfer function, Jafar Abad river, Golestan province

* Corresponding Author; Email: a.dehghani@gau.ac.ir