استفاده از مدل فازی- عصبی تطبیقی در تخمین هیدروگراف سیل (مطالعه موردی: رودخانه تجن)

امیراحمد دهقانی[1]، مرتضی نبی‌زاده[2]، عبدالرضا ظهیری[1]، منصور رضایی کلانتری[2]

[1] استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

Nabizade49@gmail.com

چکیده

پیش‌بینی هیدروگراف سیل دارای اهمیت حیاتی به منظور هشدار سیل، مدیریت عملکرد سدهای‌مخزنی احداث شده به منظور کنترل سیل، تعیین پتانسیل جریان رودخانه، تولید انرژی برقابی و تخصیص آب برای آبیاری در فصول خشک سال می‌باشد. هدف از این تحقیق مدل‌سازی هوشمند هیدروگراف سیل ورودی به سد مخزنی شهید رجایی به منظور مدیریت مخزن آن و همچنین ارزیابی واکنش مدل فازی- عصبی تطبیقی به خصوصیات هیدرولوژیکی هیدروگراف سیل می‌باشد. بدین منظور حوزه آبریز سد شهید رجایی در استان مازندران به منظور انجام تحقیق انتخاب شد. در ادامه تمامی هیدروگراف‌های سیل ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری پروریج‌آباد گردآوری شد. سپس از این مجموعه تعداد ۱۱ هیدروگراف سیل به منظور آموزش و آزمون (۹ عدد برای آموزش و ۲ عدد برای آزمون) مدل فازی- عصبی تطبیقی انتخاب شد. سپس داده‌های مربوط به این هیدروگراف‌ها با استفاده از روابط مربوطه برای ورود به مدل استاندارد شد. در ادامه چهار مدل ورودی بر اساس دبی سیل در ۱، ۲، ۳ و ۴ ساعت قبل طراحی شد. در ادامه ساختارهای مختلفی از مدل فازی- عصبی تطبیقی که ترکیبی از مدل شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی می‌باشد، در محیط نرم‌افزار متلب (Matlab) براساس الگوریتم آموزشی هیبرید و توابع عضویت مختلف برای هر مدل طراحی شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور ارزیابی کارایی مدل‌ها، از معیارهای آماری نظیر معیار ناش- ساتکلیف استفاده شد. نتایج به دست آمده از محاسبه این معیارها حاکی از دقت و کارایی مدل فازی- عصبی تطبیقی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوزه آبریز تجن بود.

واژه‌های کلیدی: هیدروگراف سیل، سد مخزنی شهید رجایی، مدل فازی- عصبی تطبیقی، الگوریتم هیبرید، تابع عضویت

۱- مقدمه

پیش‌بینی سیل یک اقدام مهم به منظور حفظ زندگی انسان، اراضی و تأسیسات اطراف رودخانه می باشد. مهندسین برای پیش‌بینی سیل، مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی زیادی را تا به حال توسعه داده‌اند. تکنیک‌های مدل‌سازی در فرآیندهای هیدرولوژیکی به منظور فراهم کردن صحت و استفاده پایدار از منابع آب دارای اهمیت زیادی هستند. در مدلسازی فرآیندهای هیدرولوژیکی در وهله اول اندازه‌گیری پدیده طبیعی لازم است. به عبارت دیگر برآورد فرآیندهای هیدرولوژیکی همچون بارندگی، رواناب و تغییرات سطح آب و همچنین اندازه‌گیری پاره‌ای از خصوصیات فیزیکی حوزه آبریز با استفاده از روش‌های موجود از ارکان لازم در مدلسازی است [۴]. نبی‌زاده و همکاران [۱] با استفاده از سیستم استنتاج فازی و مدل فازی- عصبی به پیش‌بینی دبی روزانه رودخانه لیقوان‌چای پرداختند. نتایج نشان داد که پیش‌بینی مدل فازی- عصبی به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر می‌باشد. نورانی و صالحی [۲] در تحقیق خود، مدل بارش-رواناب

حوضه لیقوان‌چای واقع در استان آذربایجان شرقی را با استفاده از سه روش شبکه عصبی، استنتاج فازی و شبکه فازی- عصبی تطبیقی ارائه نمودند. نتیجه اینکه شبکه عصبی با مدل‌سازی غیرخطی و همچنین منطق فازی با ارائه توابع عضویت، هرکدام به تنهایی تا حدودی قادر به بیان مدل یک حوضه هیدرولوژیکی نمی‌باشد، ولی در صورت تلفیق این دو روش می‌توان گفت که نتیجه مطلوب جهت مدل‌سازی می‌تواند حاصل شود. عقیل[1] و همکاران [۳] برای مدل‌سازی رفتار ساعتی و روزانه رواناب یک مطالعه مقایسه‌ای بین مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های عصبی- فازی انجام دادند. مقایسه نتایج سه مدل نشان داد که مدل عصبی- فازی عملکرد بهتری در مدل‌سازی رواناب نسبت به دو مدل دیگر دارد. فیرت[2] و همکاران [۵] مدل عصبی- فازی را برای پیش‌بینی جریان رودخانه بزرگ مئاندر در ترکیه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل عصبی- فازی می‌تواند با صحت و قابلیت اطمینان بالا برای پیش‌بینی جریان رودخانه به کار رود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی (ANFIS)

به منظور ساده‌سازی، فرض می‌شود که سیستم استنتاجی مورد نظر دو ورودی x و y و یک خروجی z دارد. برای یک مدل فازی تاکاگی- سوگنو درجه اول، می‌توان یک مجموعه قانون نمونه را با دو قانون اگر- آنگاه فازی به صورت زیر بیان کرد:

قانون اول: اگر x برابر A_1 و y برابر B_1 باشد آنگاه $z_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$

قانون دوم: : اگر x برابر A_2 و y برابر B_2 باشد آنگاه $z_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$

که p_i ، q_i و r_i (i=1,2) پارامترهای خطی تالی مدل فازی تاکاگی- سوگنو درجه اول هستند.

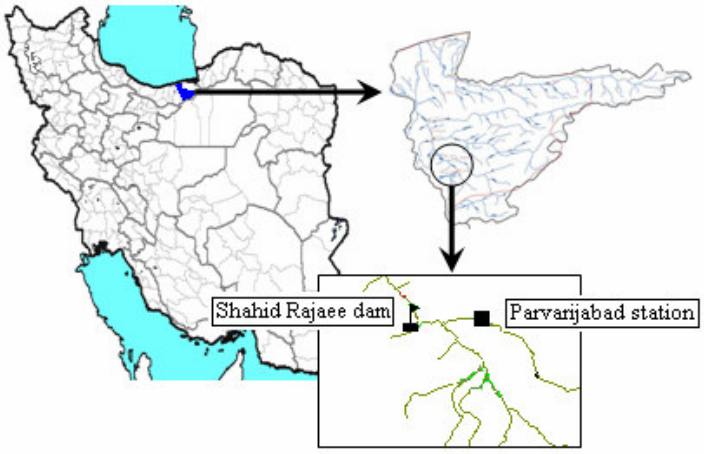
۲-۲- مشخصات عمومی منطقه مطالعاتی

در این تحقیق داده‌های مربوط به دبی ساعتی ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری پروریج‌آباد واقع در بالادست سد شهید رجایی از سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ از طریق شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران جمع‌آوری گردید. این ایستگاه از سال ۱۳۸۱ به بهره‌برداری رسیده‌است و بهمین علت از سال ۱۳۸۱ به بعد در این ایستگاه اطلاعات ثبت شده است و اطلاعات دیگری قبل از این سال در سازمان موجود نیست. مشخصات این ایستگاه در جدول ۱ قابل مشاهده است. همچنین موقعیت این ایستگاه در منطقه و کشور در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول (۱) مشخصات ایستگاه هیدرومتری پروریج‌آباد

مساحت زیرحوزه (km^2)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	فاصله تقریبی تا سد (km)
۷۹۹	۵۳-۱۹-۰۹	۳۶-۱۴-۴۵	۴۹۱	۱۰

[1] Aqil et al
[2] Firat et al



شکل (۱) موقعیت ایستگاه مطالعاتی در منطقه و کشور

هدف از این تحقیق شبیه‌سازی هیدروگراف سیل ورودی به سد مخزنی شهید رجایی واقع در حوزه آبریز تجن بـه کمـک مدل فازی- عصبی تطبیقی با استفاده از دبی ساعت‌های قبل می‌باشد. در واقع هر نقطه از هیدروگراف با استفاده از دبـی سیل در ۱، ۲، ۳ و ۴ ساعت قبل شبیه‌سازی شـده‌اسـت. بـدین منظـور آمـار سـیلاب‌هـای ثبـت شـده توسـط ایـستگاه هیدرومتری پروریج‌آباد گردآوری و از این آمار تعداد ۱۱ هیدروگراف سیل انتخاب شد. از ۱۱ هیدروگراف انتخابی، ۹ عدد برای آموزش و ۲ عدد برای آزمون مدل انتخاب شد. قبل از اینکه مقادیرعددی مربوط به دبی هیدروگراف‌های سـیل وارد مدل شوند، بایستی این مقادیر توسط روابط مربوطه نرمال شوند. درادامه از رابطه ۱ برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شد.

$$X_{norm} = 0.5 + 0.5\left(\frac{X - \overline{X}}{X_{max} - X_{min}}\right) \qquad (۱)$$

X_{norm}: مقدار استاندارد شده شده ورودی، $\overline{X}$: میانگین داده‌ها، X_{max} و X_{min}: به ترتیب مقدار حداکثر و حداقل داده‌ها می‌باشد [۱]. ساختار ریاضی مدل‌های طراحی‌شده در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول (۲) ساختار ریاضی مدل‌های طراحی شده

مدل‌ها	ساختار ریاضی مدل‌های ورودی و تعداد متغیرها	خروجی مدل
مدل۱	$Q(t) = f(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3})$	Q(t)
مدل۲	$Q(t) = f(Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4})$	Q(t)
مدل۳	$Q(t) = f(Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5})$	Q(t)
مدل۴	$Q(t) = f(Q_{t-4}, Q_{t-5}, Q_{t-6})$	Q(t)

ابتدا داده‌های آموزش، آزمون و داده‌های ورودی برای هر گام زمانی مشخص شد. بدین منظور در محیط نرم‌افزار متلب (Matlab) ساختارهای متفاوتی از مدل فازی- عصبی تطبیقی بر اساس انواع تابع عضویت طراحی، و با سیکل محاسباتی مختلف اجرا شد و تابع عضویت مناسب انتخاب شد. در نهایت مدل با تابع عضویت انتخاب شده، الگوریتم آموزشی هیبرید و با تعداد تکرار بهینه به‌دست آمده در مرحله قبل اجرا شده و نتایج به‌دست آمده در هر سیکل محاسباتی مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی عملکرد مدل فازی- عصبی تطبیقی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل، در هر سیگنال و در هرالگوی ورودی شاخص‌های نظیر ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب ناش- ساتکلیف برای هر مدل به طور جداگانه محاسبه شد. در نهایت بهترین مدل بر مبنای شاخص‌های محاسبه شده فوق به ویژه ضریب ناش- ساتکلیف انتخاب شد.

$$C_{NS} = 1 - \sum_{i=1}^{n}(Q_s - Q_o)^2 \Big/ \sum_{i=1}^{n}(Q_o - \bar{Q}_o)^2 \quad (۲)$$

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

در روابط فوق، n تعداد داده‌ها، Q_o دبی مشاهداتی، Q_s دبی شبیه‌سازی شده، CNS معیار ناش- ساتکلیف و RMSE ریشه دوم میانگین مربعات خطا می‌باشند.

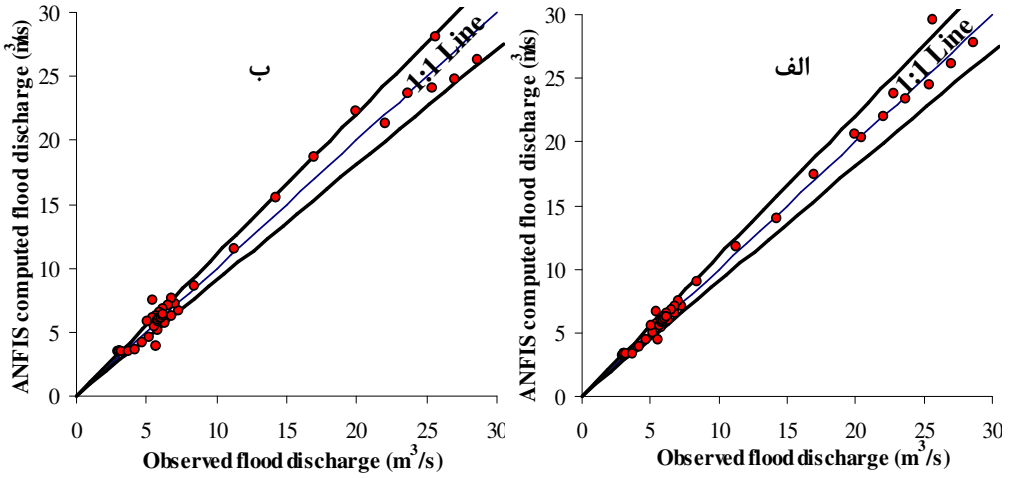
۳- نتایج

پس از طراحی اجزای مختلف مدل‌ها به روش سعی و خطا و تعیین توابع و تکرارهای بهینه برای هر مدل، خروجی این مدل‌ها دریافت شد و با شاخص‌های ذکرشده در بخش قبل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج هر یک از مدل‌های طراحی-شده در جدول ۳ نشان داده شده‌است.

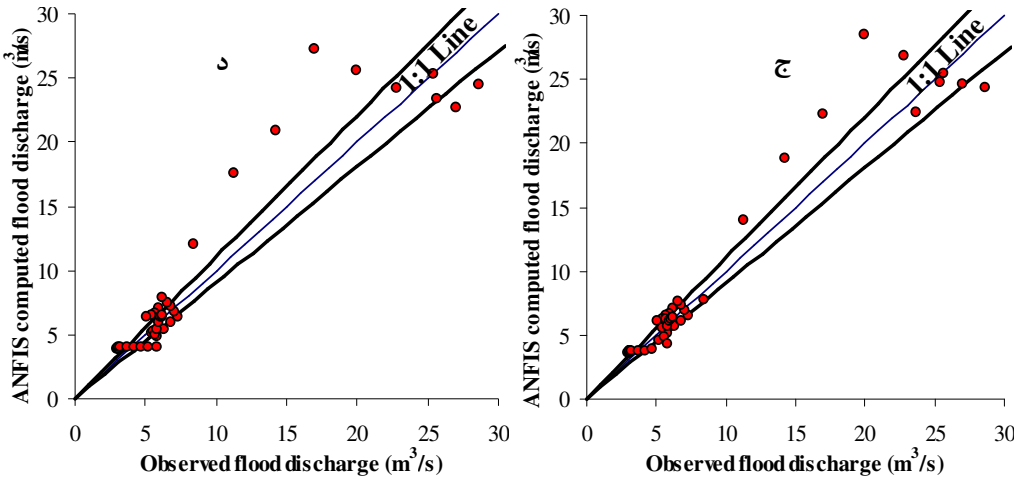
جدول (۳) نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدروگراف‌های سیل با مدل ANFIS

مدل	تابع عضویت	تعداد تکرار	C_{NS}		*RMSE*	
			آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
مدل ۱	trim	14	0.9970	0.9911	0.4057	0.7225
مدل ۲	trim	16	0.9881	0.9626	0.8063	1.4625
مدل ۳	trim	10	0.9700	0.9238	1.2873	2.0400
مدل ۴	trim	11	0.9448	0.8641	1.7514	2.6251

با توجه به نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود که مدل ۱، بهترین نتایج را در پیش‌بینی ارائه داده است. در ادامه نمودار پراکنش مدل‌های ۱ تا ۴، بر اساس نوع تابع عضویت بهینه، در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده است.



شکل (۴) پراکنش داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با حدود اطمینان ۹۵ درصد: الف) مدل ۱ (trim) ب) مدل ۲ (trim)



شکل (۵) پراکنش داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با حدود اطمینان ۹۵ درصد: ج) مدل ۳ (trim) د) مدل ۴ (trim)

۴- نتیجه‌گیری

ارزیابی نتایج حاصل از مدل عصبی- فازی و همچنین شاخص‌های آماری محاسبه شده (جدول ۳) نشان داد، این مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل دارد. بررسی شکل‌های ۴ و ۵ مبین این واقعیت بود که مدل فازی- عصبی تطبیقی دبی اوج را برای مدل ۱ به‌خوبی شبیه‌سازی کرده که البته مقداری بیشتراز مقدار واقعی می‌باشد و هرچه تعداد تاخیرها بیشتر می‌شود (به استثنای مدل ۲)، این اختلاف در دبی اوج واقعی و شبیه‌سازی شده افزایش می‌یابد و این در حالی است که مدل مقادیر دبی متوسط و کم را نزدیک به مقدار مشاهده‌ای دبی شبیه‌سازی کرده است که مطالعات عقیل و همکاران [۳] نیز تأیید کننده این موضوع می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که هر چه پراکندگی داده‌های ورودی مدل بیشتر باشد، مدل فازی- عصبی دارای توانایی بیشتری در شبیه‌سازی این نوع از داده‌ها می‌باشد که نورانی و همکاران [۲] در تحقیقات خود به این نکته اشاره کرده‌اند. نکته دیگر در بحث مدل‌سازی با مدل فازی- عصبی تطبیقی، بحث زمان مورد نیاز برای محاسبات برای شبیه‌سازی در مدل مذکور است. به طوریکه این زمان مثلاً در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بیشتر از مدل فازی- عصبی است که این موضوع به لحاظ صرفه‌جویی در زمان محاسبات برای کاربر بسیار مهم است که مطالعات فیرت و همکاران [۵] نیز گواه بر این موضوع می‌باشد. مدل فازی- عصبی تطبیقی بلافاصله خروجی را شبیه‌سازی می‌کند و نیازی به سیکل محاسباتی ندارد که این یک مزیت خوب نسبت به مدل‌های مشابه است. مقایسهٔ نتایج مدل سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی با داده‌های اندازه گیری‌شده دقت بالای این سیستم را نشان می‌دهد. به هرحال همواره باید توجه کرد که هر چند مدل‌های داده‌محور، نیازی به معادلات با پایه‌های فیزیکی- که بیشتر به صورت غیرخطی و پیچیده‌اند- ندارند، ولی درک فرآیندها و تأثیر عوامل مورد نظر در داده‌های ورودی روی تولید خروجی از آن بسیار مهم است و در صورت عدم این درک، نمی‌توان انتظار نتایج مطلوبی را داشت. در پایان پیشنهاد می‌شود که: ۱- با انجام آنالیز منطقه‌ای سیلاب تأثیر مکانی و زمانی خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز بر دقت پیش‌بینی مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد. ۲- با توجه به استفاده روزافزون از رویکرد تئوری موجک (Wavelet) در بحث مدلسازی مسائل مربوط به مهندسی هیدرولوژی لذا پیشنهاد می‌شود، از مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی- تئوری موجک (Neuro-wavelet network) برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل استفاده شود و نتایج حاصل از آن با نتایج این تحقیق مورد مقایسه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

در پایان از حمایت‌های مادی و معنوی شرکت آب منطقه‌ای و جهاد دانشگاهی استان مازندران در طرح پژوهشی MAW- 88009 تشکر می‌کنیم.

مراجع

۱- نبی‌زاده، م.، مساعدی ا.، حسام، م.، دهقانی، ا.، مفتاح، م. و ذاکری‌نیا، م. ۱۳۸۹. پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از سیستم استنتاج فازی و سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی، ششمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملّی فرسایش و رسوب، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرّس.

۲- نورانی، و. و صالحی، ک. ۱۳۸۷. مدل‌سازی بارش- رواناب با استفاده از روش شبکه عصبی- فازی تطبیقی و مقایسه آن با روش شبکه عصبی و استنتاج فازی، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

3- Aqil, M., Kita, I., Yano A and Nishiyama, S. 2005 Analysis and forecasting of flow from local source in a river basin using a neuro–fuzzy modeling tool. Journal of Environmental Management. 85 215 – 223.

4- Aqil. M, Yano, K, and Nishiyama .2007.A comparative study of artificial neural network and neuro–fuzzy in continuous modeling of the daily and hourly behavior of runoff .J. hydrology 337, 22-34 Pp.

5- Firat, M. and Gungor, M. 2006. River flow estimation using adaptive neuro–fuzzy inference system. Mathematics and Computes in Simulation 75, 87.

Applying of intelligent models for estimation of flood hydrographs (Case study: Tajan river)

A. A. Dehghani[1], M. Nabizadeh[2], A. Zahiri[1], M. Rezaei Kalantari[2]

[1]Assistant Professor Dep. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

[2] MSc Student, Water Resource Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Nabizade49@gmail.com

Abstract

Forecasting of flood hydrograph is crucial for flood warning, operation of flood control purposed reservoirs, determination of river potential and allocation irrigation water in drought seasons. This paper presents the application of an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) to flood hydrograph modeling of Shahid Rajaee Reservoir dam located in Iran. This was carried out using 11 flood hydrographs recorded in Tajan river gauging station. From this dataset, 9 flood hydrographs were chosen to train the model and 2 flood hydrographs to test the model. The different architectures of neuro-fuzzy model according to the membership function and learning algorithm were designed and trained with different epochs. The results were evaluated in comparison with the observed hydrographs and the best structure of model was chosen according the Nash-Sutcliff coefficient and least root mean square error in each performance. To evaluate the efficiency of neuro-fuzzy model, various statistical indices such as Nash-Sutcliff and root mean square error criteria were calculated. In this simulation, the coordinates of a flood hydrograph including peak discharge were estimated using the discharge values occurred in the earlier time steps as input values to the neuro-fuzzy model. These results indicate the satisfactory efficiency of neuro-fuzzy model for flood simulating. This performance of the model demonstrates the suitability of the implemented approach to flood management projects.

Keywords: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System; Flood hydrograph; Hybrid learning algorithm; Shahid Rajaee Reservoir dam, Membership function

بسمه تعالی

«گواهی ارائه مقاله»

جناب آقای مرتضی نبی‌زاده

با سلام و احترام

بقدر به شرکت جنابعالی در همایش منطقه‌ای دانش‌محوری در مدیریت پایدار کشاورزی و منابع طبیعی؛ در روزهای ۳۱ اردیبهشت و اول خردادماه ۱۳۹۰ و ارائه مقاله

با عنوان : **استفاده از مدل فازی– عصبی تطبیقی در تخمین هیدروگراف سیل (مطالعه موردی : رودخانه نجن)**

نویسنده (گان) : **امیراحمد دهقانی، مرتضی نبی‌زاده، عبدالرضا ظهیری و منصور رضایی کلاتری**

به صورت پوستر، این گواهی به حضور تقدیم می‌گردد. بدین‌وسیله توفیقات روزافزون شما را در توسعه علم و دانش از خداوند متعال مسئلت داریم

دکتر هاشمی
رئیس همایش

بهزاد نعمتی
دبیر همایش

مهندس اسدطاهری
دبیر علمی همایش