

تخمین ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی شکل لبه تیز واقع در کانال‌های مستقیم با استفاده از سیستم استنتاجی تطبیقی عصبی- فازی

کیومرث روشنگر^{۱*}، رقیه قاسم‌پور^۲، حسن ثاری^۳، فرهاد علیزاده افشار^۴

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

kroshangar@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناس ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

r.ghasempour93@ms.tabrizu.ac.ir

۳- کارشناس ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

h.sani@tabriziau.ac.ir

۴- کارشناس ارشد مهندسی عمران، خاک و پی

info@farhadafshar.ir

چکیده

سرریزها از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین سازه‌های هیدرولیکی هستند. سرریزهای جانبی عمدتاً در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب جهت تنظیم جریان به کار گرفته می‌شوند. در تحقیق کنونی جهت تخمین ضریب دبی در سرریزهای لبه تیز مستطیلی شکل از روش هوشمند سیستم استنتاجی تطبیقی عصبی- فازی (ANFIS) استفاده شده و کارایی روش به کار رفته با روابط نهم تجربی موجود مقایسه گردیده است. از سه معیار ارزیابی (R) ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی، (DC) همبستگی خطی بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی و (RMSE) ریشه میانگین مربعات خطاها جهت تعیین دقت مدل‌ها استفاده شده است. نتایج حاصله نشان داد که روش هوشمند عصبی- فازی در تخمین پارامتر ضریب دبی در سرریزهای جانبی موفق بوده و نسبت به روابط نهم تجربی موجود دقیق‌تر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سرریز جانبی، کانال مستقیم، ANFIS، روابط نیمه تجربی.

۱- مقدمه

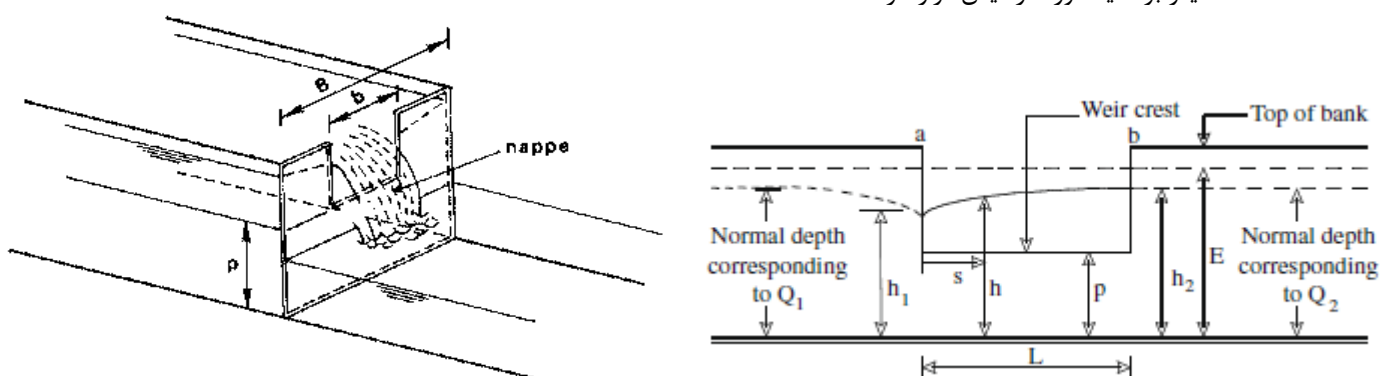
سرریز جانبی سازه ایست که در دیواره کانال نصب شده و هرگاه سطح آب از سطح سرریز بالاتر رود، قسمتی از جریان توسط سرریز جانبی به خارج از کانال انتقال می‌یابد. از این نوع سازه برای اهدافی مانند انتقال آب، انحراف سیلاب و کنترل دبی در کانال و رودخانه استفاده می‌شود. با توجه به اینکه مرکز کانال بالادست سرریز، بهترین محل برای اندازه‌گیری عمق جریان می‌باشد، مطالعات نشان داده است که سرعت طولی بر روی تاج سرریز جانبی به مراتب بزرگتر از سرعت میانگین کانال است [۱]. عمق جریان، سرعت بالادست، جهت سرعت خروجی و شکل کانال از مهمترین پارامترهای مؤثر بر رفتار هیدرولیکی سرریزهای جانبی است. تاکنون مطالعات متعددی در مورد تعیین ضریب دبی در سرریزها انجام شده است. برای تعیین شدت جریان در سرریزهای جانبی از معادله عمومی سرریزها استفاده می‌شود و به منظور تعدیل جریان جانبی، می‌توان فاکتورهای تصحیحی را به معادله اضافه کرد [۲]. موسلو و همکاران [۳]، اثر پروفیل سطح آب جانبی را بر روی دبی سرریز جانبی مورد بررسی قرار دادند و میانگین شیب سطح آب در جهت جانبی را به عنوان یک پارامتر برای مطالعه جریان بر روی سرریز جانبی در نظر گرفتند. رامامورثی و همکاران [۴] از روش حداقل مربعات جزئی غنی‌خطی چند متغیبه در تعیین ضریب دبی استفاده کردند. ونویلی [۵] یک روش تکراری برای حل معادله حاکم بر جریان متغی مکاری با کاهش شدت جریان ارائه داد. به هر حال روابط ارائه شده روش جامع نبوده و در سال‌های اخیر از روش‌های هوش مصنوعی در زمینه‌های مربوط به مهندسی آب استفاده شده است. تاکنون سیستم استنتاج فازی- عصبی (ANFIS) که ترکیب شبکه‌های عصبی و سیستم فازی بر مبنای نظریات فازی است و قابلیت خوبی در آموزش، ساخت و طبقه‌بندی دارد، برای پیش‌بینی پارامترهای مختلفی استفاده گردیده

است که از آن جمله می‌توان به تخمین رابطه بین غلظت رسوب معلق و دبی توسط لوهاری و همکاران [۶] و بار رسوبی معلق توسط کهری و همکاران [۷] اشاره کرد. منطق فازی تاکنون در زمینه پیش بینی سربلای، مسائل کیفیت آب، مدیته آبخیز، فرآیند بارش و فرسایش خاک رهن به کار رفته است. تاغفور و همکاران [۸]. هدف تحقیق کنونی بررسی کارایی روش ANFIS در تخمین ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی شکل در کانال‌های مستقیم می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- سری داده‌ها

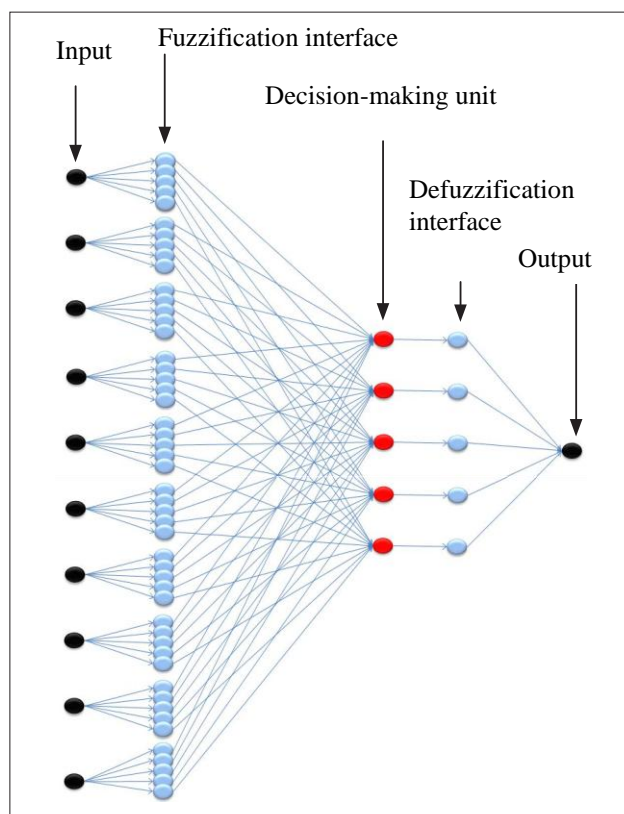
در این مطالعه برای به دست آوردن داده‌های لازم جهت مدل‌سازی ضریب دبی در سرریزهای لبه تیز مستطیلی در کانال‌های مستقیم از داده‌های آزمایشگاهی انجام‌گرفته توسط امیرقلو و همکاران [۹] استفاده گردیده است. شماتیک سرریز استفاده شده در آزمایشات به صورت شکل (۱) می‌باشد. کانال اصلی به طول ۱۲ متر، مقطع مستطیلی به عرض ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۰.۵ متر ساخته شده بود. در حین آزمایشات از سرریزهای با طول متفاوت ۰.۱۵، ۰.۲۵، ۰.۵، ۰.۷۵ و ۱.۵ متر و ارتفاع ۰.۱۲ متر استفاده گردید. سرریزها از صفحات فولادی ساخته شده و به صورت لبه تیز بودند. هر کدام از سرریزها تحت دبی جریان بین ۱۰ تا ۱۵۰ لیتر بر ثانیه مورد آزمایش قرار گرفتند.



شکل ۱- شماتیک سیستم آزمایشگاهی امیرقلو و همکاران.

۲-۲- سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی ANFIS

شبکه‌های عصبی- فازی با الگوبرداری از سیستم کارکرد مغز انسان، با پردازش داده‌ها تجربی و بدون توجه به فیزیکی مسئله، قانون نهفته مابین داده‌ها را کشف می‌نماید. نکته مهم منطق فازی امکان برقراری ارتباط بین فضای ورودی به فضای خروجی می‌باشد و مکاربم اولیه برای انجام این کار لسی از جملات است که قانون نام عده می‌شوند. در فرآیند If-Then آموزش، این قوانین به صورت موازی ارزیابی و تعیین می‌شوند. از طرف دیگر شبکه‌های عصبی دارای توانایی آموزش از محیط (جفت‌های ورودی- خروجی) می‌باشد. جانگ [۱۰] برای اولین بار با در نظر گرفتن توانایی‌های تئوری فازی و شبکه عصبی، مدل سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی را ارائه داد. مدل سیستم استنتاج تطبیقی عصبی شبکه‌ای چندلایه، متشکل از گره‌ها (ANFIS) فازی و کمانهای اتصال دهنده گره‌ها می‌باشد. سیستم فازی با مجموعه‌ای شامل N قاعده فازی بیان می‌گردد و مطابق شکل (۲) شامل پنج لایه: گره‌های ورودی، گره‌های قاعده، گره‌های متوسط، گره‌های نتیجه و گره‌های خروجی است.



شکل ۲- ساختار کلی شبکه عصبی - فازی.

۲-۳- فرمول های ریزه تجربی

محققان بسطوری پارامتر ضریب دبی در سرریزهای جانبی را مورد مطالعه قرار دادند و روابط متعددی را ارائه نموده اند. روابط به کار رفته در این تحقیق به صورت جدول (۱) می باشند.

جدول ۱: روابط به کار رفته در تحقیق

ردیف	فرمول	محقق
۱	$C_d = 0.485 \left(\frac{2 - Fr_1^2}{2 + 3 \times Fr_1^2} \right)^{0.5}$	Hager
۲	$C_d = 0.33 - 0.18Fr_1 + 0.49 \left(\frac{P}{h_1} \right)$	Jalili et al
۳	$C_d = 0.7 - 0.48Fr_1 + 0.3 \left(\frac{P}{h_1} \right) + 0.6 \left(\frac{L}{h_1} \right)$	Borghei

۲-۴- معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی کارایی روش به کار رفته از سه پارامتر آماری استفاده گردید که عبارتند از: ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی، همبستگی خطی بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی و (RMSE) ریشه میانگین مربعات خطاها. هر چه مقدار R و DC به یک نزدیک‌تر و مقدار RMSE برای یک مدل کوچک‌تر باشد به معنی مطلوب بودن آن مدل می‌باشد. روابط این پارامترهای آماری به صورت زیر می‌باشد:

$$DC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (l_o - l_p)^2}{\sum_{i=1}^N (l_o - \bar{l}_p)^2}, R = \frac{\sum_{i=1}^N (l_o - \bar{l}_o) \times (l_p - \bar{l}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (l_o - \bar{l}_o)^2 \times \sum_{i=1}^N (l_p - \bar{l}_p)^2}}, RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (l_o - l_p)^2}{N}} \quad (4)$$

l_o ضریب دبی اندازه‌گیری شده، \bar{l}_o متوسط ضریب دبی اندازه‌گیری شده، l_p ضریب دبی پیش‌بینی شده، \bar{l}_p متوسط غلظت ضریب دبی پیش‌بینی شده، N: تعداد داده‌ها.

۳- مدل سازی، نتایج و بحث

۳-۱- تعیین ورودی مدل

عوامل موثر در ضریب شدت جریان عبارتند از:

$$C_d = f[v_1, L, h_1, b, P, \psi, S_0] \quad (5)$$

v_1 سرعت جریان در کانال اصلی، L طول سرری جانبی، h_1 عمق جریان در بالادست، b عرض کانال بالادست، ψ زاوی انحراف جریان روی سرری، P ارتفاع سرری جانبی و S_0 شیب طولی کانال می‌باشد. که بعد از به کارگیری تئوری باکینگهام پارامترهای بی‌بعد بصورت زیر حاصل می‌شود:

$$C_d = f[Fr_1 \left(\frac{v_1}{\sqrt{g \times h_1}} \right), \frac{L}{b}, \frac{L}{h_1}, \frac{P}{h_1}, \psi, S_0] \quad (6)$$

در این رابطه Fr_1 عددی فرود جریان در شروع سرری جانبی می‌باشد. مقدار زاوی انحراف جریان ممکن است در طول سرری افزایش یابد. به نظر برخی از محققین [۱۱] زاوی انحراف جریان تابعی معری داری روی ضریب شدت جریان داشته و پارامتر بی بعد طول سرری (L/b) تابعی زاوی انحراف را در خود دارا می‌باشد. شیب طولی کانال رهن در جریانهای زیرحراری در طول سرریهای جانبی را می‌توان نادیده گرفت. در نهایت پارامترهای بی‌بعد موثر در ضریب شدت جریان به صورت زیر خواهد بود:

$$C_d = f[Fr_1, \frac{L}{b}, \frac{L}{h_1}, \frac{P}{h_1}] \quad (7)$$

لازم به توضیح است که برای بررسی دقت مدل به کار رفته از ۷۵٪ داده‌ها برای آموزش شبکه و ۲۵٪ بقیه برای تست کردن مدل استفاده گردید.

۳-۲- نتایج و بحث

ابتدا دقت روابط نیمه تجربی به کار رفته در جدول (۱) با استفاده از داده‌های موجود مورد ارزیابی قرار گرفت و پس از محاسبه شاخص‌های خطا برای این فرمولها نتایج آنها در جدول (۲) آورده شد. رابطه تجربی با بیشترین دقت مربوط به فرمول Borghei می‌باشد که دارای بیشترین R و DC و کمترین RMSE در مقایسه با سایر روابط است. مقدار ضریب دبی با استفاده از این فرمول برابر با $R=0.92$ ، $DC=0.845$ و $RMSE=0.082$ می‌باشد.

نتایج حاصل برای مدل‌های تعریف شده روش ANFIS رهن در جدول (۳) آورده شده است. مطابق با نتایج مشاهده می‌گردد که مدل (III) دقت بالاتری را با داشتن معیارهای ارزیابی خطا به صورت $R=0.989$ ، $DC=0.954$ و $RMSE=0.041$ برای سری داده‌های تست در مقایسه با مدل‌های دیگر دارا می‌باشد. با توجه به نتایج جدول (۳) می‌توان نتیجه گرفت که اضافه کردن پارامترهای $(\frac{L}{h_1}, \frac{P}{h_1})$ به مدل سبب بهبود کارایی مدل گردیده است.

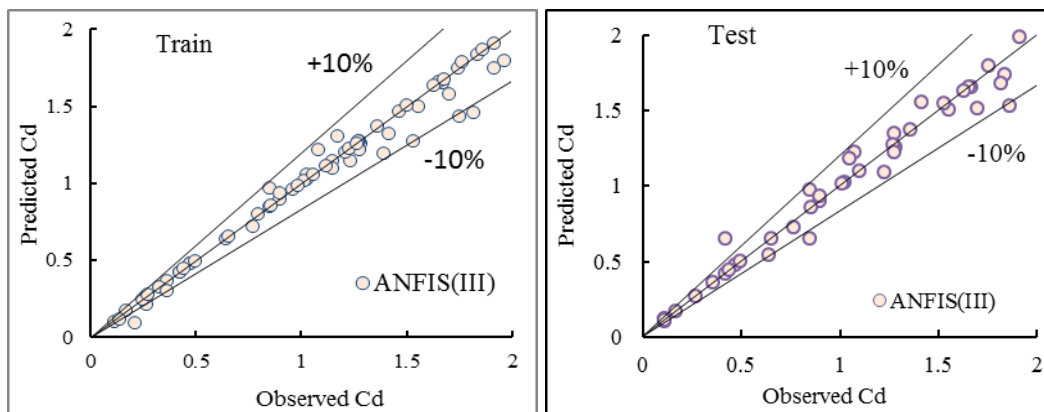
مقایسه نتایج دو جدول (۲) و (۳) نشان می‌دهد که مدل به کار رفته در این تحقیق نسبت به تمامی روابط دقیق‌تر بوده و قابل اعتمادتر می‌باشد. نمودار مشاهداتی و محاسباتی ضریب دبی برای مدل برتر روش ANFIS در شکل (۳) نشان داده شده است. در نمودار (۴) رهی مقایسه نتایج روابط نیمه تجربی و مدل برتر روش ANFIS ارائه گردیده است. مطابق با این شکل مشخص است که مدل ANFIS همبستگی مناسبی را بین مقادیر مشاهداتی و محاسبه شده نسبت به سایر روش‌ها ایجاد کرده است.

جدول ۲- پارامترهای ارزیابی روابط نیمه تجربی.

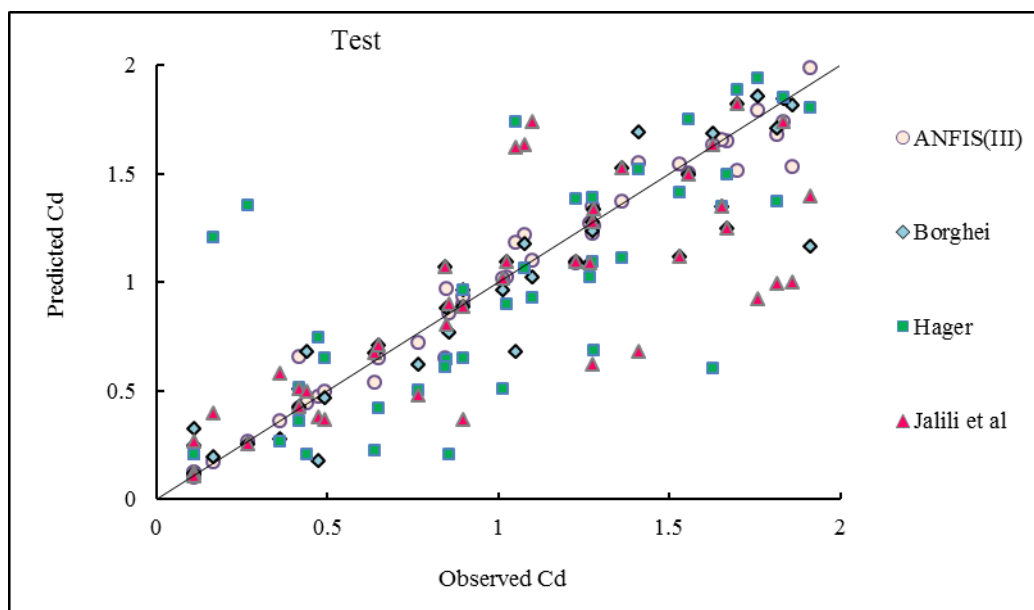
Formulas	Performance criteria		
	R	DC	RMSE
Hager	۰.۲۵	۰.۰۱۸۹	۰.۲۱۵
Jalili et al	۰.۴۵۳	۰.۳۲	۰.۱۳۴
Borghei	۰.۹۲	۰.۸۴۵	۰.۰۸۲

جدول ۳- پارامترهای ارزیابی مدل‌های ANFIS.

ANFIS models		Performance criteria					
		Train			Test		
		R	DC	RMSE	R	DC	RMSE
(I)	$C_d = f(Fr_1)$	۰.۷۶۵	۰.۶۸۵	۰.۰۹۴	۰.۷۰۵	۰.۶۱۸	۰.۱۱۱
(II)	$C_d = f(Fr_1, \frac{L}{h_1}, \frac{P}{h_1})$	۰.۹۷۵	۰.۹	۰.۰۶۵۱	۰.۹۶۴	۰.۸۸۳	۰.۰۷۷۶
(III)	$C_d = f(Fr_1, \frac{L}{b}, \frac{L}{h_1}, \frac{P}{h_1})$	۰.۹۹۴	۰.۹۷۸	۰.۰۲۸۶	۰.۹۸۹	۰.۹۵۴	۰.۰۴۱



شکل ۳- مقایسه نتایج مشاهداتی و پیش‌بینی شده مدل برتر روش ANFIS.



شکل ۴- مقایسه نتایج روابط نیمه تجربی و روش ANFIS.

۴- نتیجه گیری

تحقیق کنوری عملکرد روش سیستم استنتاج تطبیقی نو - فازی (ANFIS) را در تخمین ضریب دبی سریز مستطیلی لبه تیز در کانال مستقیم مورد ارزیابی قرار داد. از سه مدل مختلف با پارامترهای ورودی متفاوت جهت تعیین ضریب دبی استفاده گردید. از نتایج حاصل مشاهده گردید که مدل (III) با داشتن بیشترین R و DC و کمترین RMSE نتایج بهتری را ارائه می دهد. همچنین مشاهده گردید افزودن پارامترهای $(\frac{L}{h_1}, \frac{P}{h_1})$ به مدل سبب افزایش کارایی مدل ها می گردد. مقایسه ای بین فرمول های کلاسیک و روش اعمال شده در این تحقیق انجام گرفت و نتایج نشان داد که روش ANFIS در تخمین ضریب دبی سریزهای لبه تیز مستطیلی در کانال های مستقیم نسبت به روابط موفق تر می باشد.

۵- مراجع

- [1] El-Khashab A and Smith K.V.H. Experimental investigation of flow over side weirs. J. Hydraul. Division. 102(9): 1255-1268, 1976.
- [2] Hagar, W. H. Lateral out flow over side weirs. J. Hydraul. Eng. 113: 405-491, 1987.
- [3] Muslu Y., Tozlu H. and Yukesl, E. Effect of lateral water surface profile on side weir discharge. J of Irrigation and Drainage Engineering, 129(5), 2003.
- [4] Ramamurthy A.S., Qu J. and Vo, D. Nonlinear PLS method for side weir flows. J of Irrigation and Drainage Engineering, 132(5), 2004.
- [5] Venutelli M., Method of solution of non-uniform flow with the presence of rectangular side weir. J of Irrigation and Drainage Engineering, 134(6), 2008.
- [6] Lohani AK, et al. Deriving stage-discharge-sediment concentration relationships using fuzzy logic. Hydrol Sci J, 52(4):793-807, 2007.
- [7] Kisi O., et al. River suspended sediment modeling using fuzzy logic approach. Hydrological Processes 20 (20), 4351-4362, 2006.
- [8] Tayfur G., Ozdemir S and Singh V.P. Fuzzy logic algorithm for runoff-induced sediment transport from bare soil surfaces. Advanced Water Resource, 26: 1249-1256, 2003.

**4th. International Congress on Civil Engineering , Architecture
and Urban Development**
27-29 December 2016, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran

- [9] Emiroglu ME, Kaya N, Ozturk M. Investigation of labyrinth side weir flow and scouring at the lateral intake region in a curved channel. The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), Engineering Science Research Grant Group, Project No: 104M394; 253p [in Turkish], 2007.
- [10] Jang, J. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 23 (3), 665–685, 1993.
- [11] Emiroglu, M.E., H. Agaccioglu and N. Kaya. Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels. Flow Measurement and Instrumentation 22: 319-330, 2011.