



## برآورد ضریب دبی سرریزهای جانبی با استفاده از سیستم استنتاج فازی - عصبی (ANFIS)

\* تورج هنر<sup>۱</sup>، محمدحسن طرازکار<sup>۲</sup> و محمدرضا طرازکار<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز، آمری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز،

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۲/۲۴

### چکیده

با توجه به کاربرد فراوان سرریزهای جانبی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، برآورد ضریب دبی سرریزهای جانبی همواره مورد توجه محققان مختلف مهندسی آب بوده است. بر این اساس در این پژوهش ضریب دبی سرریزهای جانبی در دو حالت تخت و مایل با استفاده از روش شبکه عصبی-فازی سوگنو با دو تابع عضویت زنگوله‌ای و گوسین و روش‌های آموزشی هیبرید و پس انتشار خطا، مورد بررسی قرار گرفت. سپس نتایج به‌دست آمده با سایر روش‌ها از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی مقایسه گردید. در این پژوهش از حدود ۹۰ درصد اطلاعات آزمایشگاهی موجود برای آموزش شبکه و از ۱۰ درصد دیگر جهت بررسی قدرت برآورد و اعتبارسنجی استفاده گردید. نتایج به‌دست آمده از مطالعه نشان داد که اضافه کردن منطق فازی به شبکه عصبی با تابع عضویت گوسین و روش آموزش هیبرید با سه قانون فازی می‌تواند معیار درصد میانگین مطلق خطا برای تخمین ضریب دبی سرریز جانبی تخت و مایل را به‌ترتیب تا مقدار ۱/۵۸ و ۵/۵۳ درصد کاهش دهد. بنابراین می‌توان بیان داشت که شبکه‌های عصبی-فازی قادرند دبی سرریزهای جانبی را دقیق‌تر از سایر مدل‌های موجود در این زمینه برآورد نمایند.

واژه‌های کلیدی: ضریب دبی، سرریز جانبی، شبکه عصبی-فازی

\* مسئول مکاتبه: honar@shirazu.ac.ir

## مقدمه

در طراحی پروژه‌هایی که در آنها از سرریزهای جانبی استفاده می‌شود، چنانچه تخمین دقیقی از شدت جریان انجام نگیرد و طراحی سازه بر اساس مقادیر نادرست صورت پذیرد، سیلاب‌های عبوری می‌توانند موجب فرسایش و یا تخریب سازه‌ها و همچنین باعث فرسایش سطح خاک شوند. بر این اساس برآورد دبی جریان در سرریزهای جانبی، تاکنون موضوع بررسی بسیاری از پژوهش‌ها بوده است، از جمله آقاپاری (۲۰۰۵) با استفاده از سه اندازه مختلف برای ارتفاع تاج و نیز پهنای تاج سرریز روابط آبدی المانی سرریزهای جانبی مایل و تخت را در کانال‌های مستطیلی تعیین نمود. هنر و طرازکار (۲۰۰۸)، نیز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، ضریب تخلیه سرریزهای جانبی را در دو حالت تخت و مایل مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج مطالعه آنها بیانگر آن است که شبکه‌های عصبی مصنوعی در هر دو حالت تخت و مایل نسبت به سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار هستند. با توجه به توانایی شبکه‌های عصبی - فازی در برآورد روابط پیچیده و غیرخطی، در این مطالعه ضریب دبی سرریزهای جانبی تخت و مایل با استفاده از شبکه‌های عصبی - فازی برآورد و نتایج به‌دست آمده با سایر روش‌های موجود در این زمینه مقایسه گردید.

## مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مورد نظر این مطالعه در یک کانال با مقطع مستطیلی به طول ۱۵ متر و به عرض ۰/۵ متر و عمق ۰/۴۰ متر با شیب کف سه در هزار انجام پذیرفت. در ابتدای کانال اصلی نیز یک شبکه فلزی به‌منظور جلوگیری از انتقال تلاطم موجود در مخزن و همچنین یکنواخت و منظم نمودن خطوط جریان ورودی به کانال تعبیه گردید تا در طول سرریز همواره جریانی یکنواخت و آرام عبور نماید. همچنین به‌منظور هدایت و اندازه‌گیری آب سرریز جانبی، به موازات کانال اصلی یک کانال فرعی به طول ۷/۵ متر، عرض ۰/۵ متر و عمق ۰/۴۰ متر ایجاد شد تا آب تخلیه شده توسط سرریز جانبی را به حوضچه انتهایی منتقل نماید. دو سرریز مثلثی شکل ۹۰ درجه از قبل کالیبره شده، در حوضچه انتهایی تعبیه گردید تا دبی کانال اصلی و فرعی (آب تخلیه شده توسط سرریز جانبی) را تعیین نماید. دبی ورودی به کانال اصلی به‌طور متوسط ۱۶، ۲۳، ۳۶ و ۴۳ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. ابعاد سرریزهایی که برای حالت تخت مورد استفاده قرار گرفت متشکل از سه ارتفاع ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ متری با سه پهنای متفاوت ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ متر می‌باشد. بنابراین به‌طور کلی ۹ حالت برای

سرریزهای جانبی تخت در نظر گرفته شد. سرریزهای مایل در این طرح دارای شیب تاج ۰، ۵، +۵، +۱۰ و +۱۵ درصد و پهنای آنها نیز همانند حالت تخت شامل سه حالت متفاوت ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ متر می باشد که برای افزایش ارتفاع آنها از سرریزهای جانبی تخت کمک گرفته شد. به این صورت که ابتدا یک سرریز جانبی تخت در کانال قرار داده شد و سپس سرریز جانبی مایل بر روی آن نصب گردید. با توجه به شیب، ارتفاع و پهنای متفاوت سرریزها به طور کلی ۳۶ حالت مختلف از سرریزهای جانبی مایل مورد آزمایش قرار گرفت. در هر آزمایش عمق و سرعت آب در طول سرریز در داخل کانال اصلی و همچنین بر روی سرریز جانبی در هر المان به منظور تغییرات دبی مکانی ( $Q_{we}$ ) اندازه گیری گردید. لازم به یاد است که اندازه گیری عمق آب توسط عمق سنج نقطه ای با دقت ۰/۱ میلی متر و اندازه گیری سرعت آب توسط دستگاه سرعت سنج یک بعدی مدل LP1100 با دقت ۰/۱ سانتی متر بر ثانیه صورت گرفت.

با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه هنر و طرازکار (۲۰۰۸)، که در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده در این زمینه از خطای کمتری برخوردار است، ضریب دبی سرریز جانبی تخت ( $Cd_e$ ) تابعی از نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب روی سرریز جانبی در ابتدای کانال ( $\frac{P}{Y_1}$ )، نسبت عمق آب روی تاج سرریز در انتهای سرریز جانبی به طول سرریز ( $\frac{Y_1 - P}{L}$ )، نسبت عمق آب روی تاج سرریز در انتهای سرریز جانبی به پهنای سرریز ( $\frac{Y_1 - P}{W}$ ) و نسبت طول از ابتدای سرریز جانبی به طول سرریز ( $\frac{X}{L}$ )، در نظر گرفته شد. در سرریزهای جانبی مایل نیز رابطه مناسب ضریب تخلیه تابعی از عدد فرود در ابتدای سرریز ( $F_{r1}$ )، نسبت پهنای سرریز به عمق آب روی سرریز جانبی در ابتدای کانال ( $\frac{W}{Y_1}$ )، نسبت ارتفاع سرریز در ابتدای سرریز به عمق آب در انتهای سرریز ( $\frac{P}{Y_1}$ ) و نسبت عمق آب بالای تاج سرریز بر روی سرریز به پهنای سرریز ( $\frac{Y - P}{W}$ ) در المان مربوطه در نظر گرفته شد. بر این اساس شبکه های طراحی شده برای سرریزهای جانبی تخت و مایل به صورت رابطه های ۱ و ۲ می باشند.

$$Cd_e = f\left(\frac{P}{Y_1}, \frac{Y_1 - P}{L}, \frac{Y_1 - P}{W}, \frac{X}{L}\right) \quad (1) \text{ (سرریز تخت)}$$

$$Cd_e = f\left(F_r, \frac{W}{Y_1}, \frac{P}{Y_1}, \frac{Y - P}{W}\right) \quad (2) \text{ (سرریز مایل)}$$

شبکه‌های عصبی- فازی: در این مطالعه به منظور برآورد ضریب دبی سرریزهای جانبی مایل و تخت شبکه‌های عصبی- فازی مورد استفاده قرار گرفت. ساختارهای مختلفی برای پیاده‌سازی یک سیستم فازی توسط شبکه‌های عصبی پیشنهاد شده است که یکی از پر قدرت‌ترین آنها، ساختار موسوم به سیستم فازی تطبیق‌پذیر مبتنی بر شبکه‌های عصبی (ANFIS)<sup>۱</sup> می‌باشد (جانگ، ۱۹۹۳؛ جانگ و سان، ۱۹۹۳).

برای آموزش هر شبکه رویه‌ای خاص وجود دارد که قاعده یادگیری<sup>۲</sup> یا الگوریتم آموزش<sup>۳</sup> نامیده می‌شود. معمولاً برای آموزش یک شبکه عصبی- فازی دو الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا<sup>۴</sup> و روش هیبرید<sup>۵</sup> مرسوم است. به منظور مقایسه قدرت پیش‌بینی روش شبکه عصبی- فازی با سایر الگوها از معیارهای میانگین خطا<sup>۶</sup>، میانگین مجذور خطا<sup>۷</sup> و درصد میانگین مطلق خطا<sup>۸</sup> استفاده گردید. در این مطالعه از مجموع ۲۱۰ داده استخراج شده مربوط به سرریز جانبی تخت، ۱۹۰ داده برای آموزش شبکه و از ۲۰ داده دیگر، جهت آزمون دقت پیش‌بینی نتایج شبکه عصبی- فازی استفاده شد. همچنین از مجموع ۳۰۰ داده استخراج شده مربوط به سرریز جانبی مایل، از ۲۷۵ داده اندازه‌گیری شده به‌عنوان داده‌های آموزشی و از ۲۵ داده دیگر به‌عنوان نمونه آزمایشی استفاده گردید.

## نتایج و بحث

در این مطالعه به منظور پیش‌بینی دبی سرریز جانبی در دو حالت تخت و مایل از سیستم استنتاج فازی- عصبی استفاده گردید. شبکه یاد شده نیز با استفاده از دو روش هیبرید و پس انتشار خطا آموزش داده شد و دو تابع عضویت زنگوله‌ای تعمیم یافته و گوسین در لایه‌های میانی و تابع عضویت خطی در لایه خروجی مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه حداکثر تعداد تکرارها برابر با ۲۰۰ در نظر گرفته شد و برای آموزش و آزمایش داده‌ها بسته نرم‌افزاری Matlab 7.2 مورد استفاده قرار گرفت، که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

1. Adaptive Network-based Fuzzy Inference System
2. Learning Rule
3. Training Algorithm
4. Back Propagation
5. Hybrid
6. Mean Error (ME)
7. Mean Square Error (MSE)
8. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

جدول ۱- نتایج برآورد ضریب دبی در سرریزهای جانبی.

نوع سرریز	ورودی‌های شبکه	خروجی شبکه	تعداد تابع عضویت	تعداد قوانین عضویت	نوع تابع عضویت	روش آموزش	میانگین مطلق خطا	میانگین مجذور درصد میانگین مطلق خطا
تخت	$\frac{P}{Y_1}, \frac{Y_1 - P}{L}, \frac{Y_1 - P}{W}, \frac{X}{L}$	$Cd_e$	۳	۳،۱،۱،۱	گوسین	هیبرید	۰/۰۰۰۰۸	۱/۵۸
مایل	$F_r, \frac{W}{Y_1}, \frac{P_1}{Y_2}, \frac{Y - P}{W}$	$Cd_e$	۳	۳،۱،۱،۱	گوسین	هیبرید	۰/۰۰۰۰۸	۵/۵۳

ماخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج جدول ۱، از میان ساختارهای مختلفی که برای ساختمان شبکه عصبی - فازی مورد آزمایش قرار گرفت، شبکه عصبی - فازی با ساختار نرونی ۱،۱،۱،۳ برای ورودی‌های مدل در لایه اول و تابع عضویت گوسین، که با روش هیبرید آموزش دیده است، بهترین برآورد از دبی سرریزهای جانبی تخت را ارائه می‌دهد. همچنین از میان انواع شبکه‌های طراحی شده برای سرریزهای جانبی مایل، شبکه عصبی - فازی با ساختار نرونی و با روش آموزش مشابه با سرریزهای جانبی تخت، می‌تواند بهترین تخمین از ضریب دبی سرریزهای جانبی مایل را ارائه نماید. در شکل‌های ۱ و ۲ مقدار ضریب دبی اندازه‌گیری شده و ضریب دبی تخمینی در غالب مدل کارایی سیستم، برای داده‌های آزمایشی به ترتیب در سرریز مایل و تخت آورده شده است.

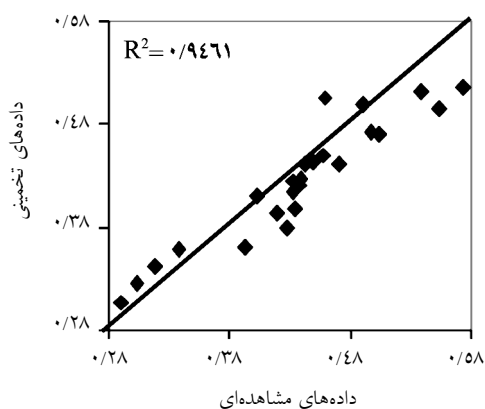
با توجه به یکسان بودن داده‌های مورد استفاده در این پژوهش و پژوهش‌های آقایاری (۲۰۰۵)، هنر و طرازکار (۲۰۰۸) و به منظور بررسی کارایی شبکه عصبی - فازی با سایر روش‌های به کار رفته، نتایج به دست آمده این پژوهش با سایر مدل‌های پیشنهادی محققان یاد شده مقایسه گردید، که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- مقایسه ضریب دبی تخمینی و مشاهده‌ای محققان مختلف.

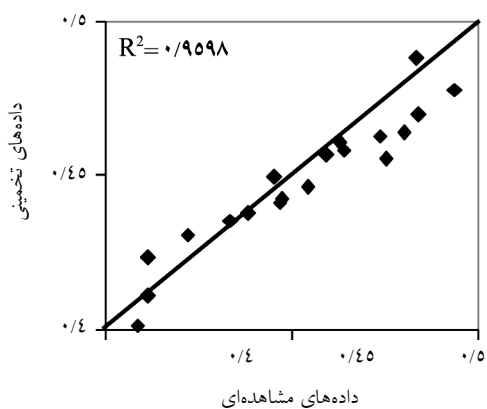
نام محقق	نوع سرریز جانبی	روش مورد استفاده	درصد میانگین مطلق خطا
آقایاری (۲۰۰۵)	تخت	رگرسیون	۴/۴۹
آقایاری (۲۰۰۵)	مایل	رگرسیون	۶/۴۱
هنر و طرازکار (۲۰۰۸)	تخت	شبکه عصبی مصنوعی	۳/۳۸
هنر و طرازکار (۲۰۰۸)	مایل	شبکه عصبی مصنوعی	۶/۲۳
مطالعه حاضر	تخت	شبکه عصبی - فازی	۱/۵۸
مطالعه حاضر	مایل	شبکه عصبی - فازی	۵/۵۳

ماخذ: یافته‌های تحقیق

مقایسه نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند با خطای کمتری ضریب دبی سرریز جانبی را نسبت به روش‌های رگرسیونی پیش‌بینی کنند، با این وجود اضافه کردن منطق فازی به شبکه عصبی مصنوعی موجب ارتقا مدل در امر یادگیری شده و کاهش خطای برآورد را به همراه دارد. همچنین از جدول ۲ چنین برمی‌آید که تمام مدل‌های به کار رفته ضریب دبی مربوط به سرریزهای تخت را با دقت بیشتری نسبت به سرریزهای مایل برآورد می‌نمایند.



شکل ۱- ضریب دبی مشاهده‌ای و تخمینی در سرریز جانبی مایل.



شکل ۲- ضریب دبی مشاهده‌ای و تخمینی در سرریز جانبی تخت.

منابع

1. Aghayari, F. 2005. Determination of elementary discharge coefficient equation for broad crested include side weirs in rectangular channel. M.Sc. Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran. 186p. (In Persian)
2. Honar, T., and Tarazkar, M.H. 2008. Estimation of side weir discharge coefficient by artificial neural network, J. Agric. Sci. and Natu. Reso., 14:195-202. (In Persian)
3. Jang, J.R. 1993. ANFIS: Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System, Proc., IEEE Conf. Trans Syst., Man Cybern, 23:665:685.
4. Jang, J.R., and Sun, C. 1993. Predicting chaotic time series with fuzzy if-then rules, Proc., IEEE Conf. on Fuzzy Syst., San Francisco, Pp: 1079:1084.
5. Jang, J.R., and Sun, C. 1995. Neuro-fuzzy modeling and control, Proc., IEEE Conf. on Fuzzy Syst., San Francisco, Pp: 378:405.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 17(2), 2010*  
*www.gau.ac.ir/journals*

## **Estimating of Side Weir Discharge Coefficient by Using Neuro-Fuzzy (ANFIS)**

**\*T. Honar<sup>1</sup>, M.H. Tarazkar<sup>2</sup> and M.R. Tarazkar<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Shiraz University, Shiraz, <sup>2</sup>Instructor,  
College of Agricultural and Natural Resource Darab, Shiraz University, <sup>3</sup>M.Sc. Student  
Dept. of Irrigation and Reclamation, Tehran University

### **Abstract**

According to the side weir application, which is widely used in irrigation and drainage systems, accurate estimation of discharge coefficient is a quite important problem for many investigators. So, in this study by using laboratory data, sugeno neuro-fuzzy with either gaussian and g-bell membership function and with hybrid and back-propagation learning methods was used to analyze discharge coefficient of inclined and flat side weir crest. In this paper 90 percent of data were used for training and 10 percent for testing. The results showed that adding fuzzy logic to artificial neural networks in shape of Adaptive Network-based Fuzzy Inference System approach with Gaussian membership function and hybrid learning method that has three fuzzy rules reduce forecast mean absolute percentage error to value of 1.58 and 5.53 respectively for inclined and flat side weir. So neuro-fuzzy method can estimate discharge coefficient more accurate than other investigation methods.

**Keywords:** Discharge coefficient, Side weir, Neuro-fuzzy

---

\* Corresponding Author; Email: honar@shirazu.ac.ir