

کاربرد مدل عصبی- فازي تطبیقي در تخمین ظرفیت آگذري سرريزهای جانبي منقاري

عبدالرضا کبيري ساماني^{۱*}، مسعود آقاجان عبدالله^۲ و سيد رضا حجازي طاقانکی^۳

چکیده

تخمین دقیق ضریب دبی جریان در سرریزهای جانبی برای طراحی هیدرولیکی صحیح و همچنین اقتصادی این سازه‌ها مهم است. در این راستا در این پژوهش به مطالعه جامع ویژگی‌های هیدرولیکی سرریزهای جانبی لبه‌تیز منقاری در پلان با استفاده از مدل داده‌محور عصبی- فازي تطبیقي پرداخته شده است. خروجی مورد بررسی در این پژوهش ضریب دبی جریان است. آزمون‌های همبستگی در خصوص ارتباط پارامترهای مختلف مؤثر بر ضریب دبی نشان داد که استقلال مناسب بین پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی جریان وجود دارد. نتایج نشان داد که در میان پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر ضریب دبی جریان سرریزهای جانبی منقاری، تأثیر زاویه رأس سرریز از سایر متغیرهای ورودی بیشتر است. آنالیز خطا نشان داد که در میان کلیه روش‌های ارائه شده برای تخمین ضریب دبی جریان در سرریزهای منقاری جانبی روش امیرقلو و همکاران بیشترین میزان خطا و مدل عصبی- فازي تطبیقي ارائه شده در این پژوهش کمترین میزان خطا را دارند. بنابراین مدل عصبی- فازي تطبیقي در مقایسه با رابطه‌های پیشنهاد شده توسط پژوهشگران دیگر، دارای اطمینان بالاتری است.

واژه‌های کلیدی: سرریز جانبی منقاری، ضریب تخلیه جریان، مدل عصبی- فازي تطبیقي.

ارجاع: کبيري ساماني ع. آقاجان عبدالله م. و حجازي طاقانکی س. ر. ۱۳۹۳. کاربرد مدل عصبی- فازي تطبیقي در تخمین ظرفیت آگذري سرريزهای جانبي منقاري. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۴):۴۷-۵۴.

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران- آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استادیار دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان.

* نویسنده مسئول: akabiri@cc.iut.ac.ir

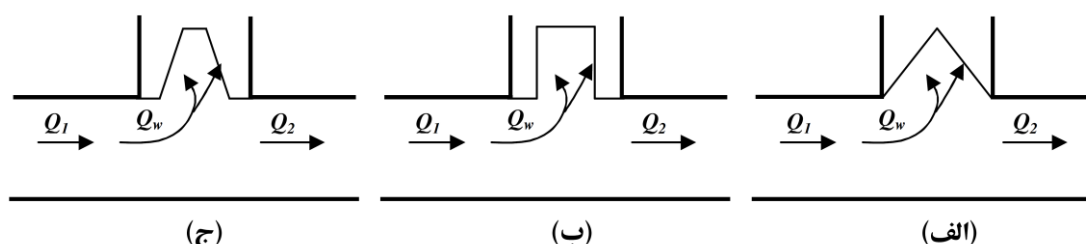
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۲/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۲۹

مقدمه

سرریزها کاربردهای زیادی در مهندسی آب دارند و برای هدفهای مختلف ساخته می‌شوند. به طور خلاصه هدفهای احداث سرریزها را می‌توان، در استفاده در سدها برای عبور سیلابها، استفاده در سدهای انحرافی برای عبور جریانهای مازاد بر دبی انحراف، استفاده در کانالهای انتقال آب و رودخانهها برای بالا بردن و ثابت کردن تراز سطح آب، انتقال و انشعاب فاضلاب و روانابهای سطحی در شبکههای جمع‌آوری فاضلاب، استفاده به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری دبی در شبکههای آبیاری و زهکشی و کاهش شدت فرسایش در رودخانهها خلاصه کرد (سوبرامانیا و آواستی، ۱۹۷۲). سرریزهای جانبی یکی از انواع سرریزهای مورد استفاده با هدفهای بالا هستند. این سرریزها به موازات کانال و در دیواره آن نصب می‌شوند و در شرایطی که سطح آب در کانال اصلی از ارتفاع دیواره سرریز بالاتر رود، انحراف جانبی آب را می‌دهد. نوع جریان در این سرریزها، متغیر مکانی با کاهش دبی است. دیمارچی

(۱۹۳۴) پایه و اساس مطالعات بعدی در ارتباط با سرریزهای جانبی را بنا و تحولی در روند مطالعات ایجاد کرد. از دیگر پژوهشگرانی که در ارتباط با ضریب دبی و هیدرولیک جریان عبوری از سرریزهای جانبی ساده مطالعاتی را انجام داده‌اند می‌توان به ایکرز (۱۹۵۷)، سوبرامانیا و آواستی (۱۹۷۲)، الخشاب و اسمیت (۱۹۷۶)، رانگا راجو و همکاران (۱۹۷۹)، جلیلی و برقی (۱۹۹۶)، برقی و همکاران (۱۹۹۹) و برقی و کبیری‌سامانی (۱۳۸۴) اشاره کرد. کاربرد گسترده سرریزهای جانبی در سیستمهای انتقال آب، باعث شده است تا پژوهشگران زیادی به روشهای مختلف، به مطالعه این سازه‌ها بپردازند. سرریزهای جانبی به شکلهای هندسی مختلف نظیر ساده، مایل و منقاری (کنگره‌ای) در سیستمهای هیدرولیکی استفاده می‌شوند. سرریزهای منقاری با ایجاد زوایدی مثلث، مستطیل یا دوزنقه‌ای شکل در پلان سرریز، برای افزایش طول سرریز و در نتیجه کاهش عمق آب روی سرریز ایجاد می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱- شمای کلی از سرریز جانبی تک‌منقاره الف- مثلثی، ب- مستطیلی و ج- دوزنقه‌ای

نکویی (۱۳۸۵) به بررسی سرریزهای جانبی منقاری در پلان پرداخت. وی با تحلیل نتایج با نرم‌افزار SPSS و روش ریاضی PLS، رابطه‌هایی را برای تعیین ضریب دبی در دو حالت تک‌منقاره و دومنقاره پیشنهاد کرد. صادقان (۱۳۸۶) با شیب‌دار کردن دیواره سرریز جانبی منقاری راندمان دبی عبوری از این سرریزها را افزایش داد. اسماعیلی (۱۳۸۸) ضریب تخلیه جریان سرریزهای جانبی لبه‌تیز مستطیلی و منقاری در پلان را بررسی کرد. امیرقلو همکاران (۲۰۱۰a) به بررسی آزمایشگاهی جریان در سرریزهای جانبی منقاری پرداختند و دو رابطه خطی و غیرخطی چند متغیره برای تخمین ضریب دبی جریان ارائه کردند. کبیری‌سامانی و همکاران (۲۰۱۱) ضمن اصلاح معادلات موجود در ارتباط با تخمین ضریب دبی سرریزهای جانبی منقاری، دو راهکار استفاده از گروه

صفحات هادی و شمع‌ها را برای افزایش ضریب دبی جریان در سرریزهای جانبی منقاری ارائه کردند. با توجه به پیچیده بودن رفتار جریان بر روی سرریزهای جانبی منقاری و دخیل بودن پارامترهای زیاد در میزان آب‌گذری آنها، هنوز یک روش نهایی و کامل برای هدفهای طراحی رسمی نشده است. امروزه با گسترش دامنه علوم مختلف، روشهای جدیدی به وجود آمده‌اند که پژوهشگران مختلف علاقمندی خود را در استفاده از این روش‌ها در پژوهش‌های خود نشان داده‌اند. یکی از این روش‌ها استفاده از مدل‌های داده‌محور است. مدل‌های داده‌محور از عناصر اصلی محاسبات نرم^۴ هستند. عناصر اصلی محاسبات نرم عبارتند از: الگوریتم‌های

(۲۰۰۹)، ضریب هیزن- ویلیامز را در لوله‌های پلی‌اتیلن با قطر کوچک با استفاده از مدل عصبی- فازی تطبیقی بررسی کردند. امیرقلو و همکاران (۲۰۱۰b) با مدل عصبی- فازی تطبیقی، به بررسی سرریزهای منقاری پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که مقاله پژوهشگران مذکور مشکلات ساختاری اساسی دارد و آنالیز ابعادی مناسبی انجام نشده‌است (پروانه و همکاران، ۲۰۱۰). هدف پژوهش، بررسی نحوه تخمین دبی و ضریب دبی سرریزهای جانبی منقاری با مدل عصبی- فازی تطبیقی است.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی و پارامترهای مؤثر

متغیرهای مؤثر بر ضریب دبی سرریزهای جانبی منقاری عبارتند از: جرم مخصوص (ρ)، لزجت دینامیکی (μ)، کشش سطحی (σ)، عمق (y) و سرعت جریان (V) در کانال اصلی، طول بازشدگی سرریز (L)، ارتفاع سرریز (w)، عرض کانال اصلی (B)، شیب کف کانال (S_0)، زاویه داخلی منقار (δ) و شتاب ثقل (g). پژوهش‌های سایر پژوهشگران نشان داده‌است، در هیدرولیک کانال‌های روباز، به دلیل وجود آشفتگی در جریان، از تأثیر نیروی لزجت (عدد رینولدز) در مقابل نیروی اینرسی می‌توان صرف‌نظر کرد. همچنین بر روی سرریزها، اگر ارتفاع سیال از یک مقدار مشخص (۴ سانتی‌متر) بیشتر شود، نیروی کشش سطحی (عدد وبر) قابل چشم‌پوشی است (نواک و کابلکا، ۱۹۸۱). برخی از پژوهشگران اثر شیب کف در جریان‌های زیر بحرانی را کم دانسته‌اند (جلیلی و برقی، ۱۹۹۶). اسماعیلی (۱۳۸۸) در پژوهش خود بر روی سرریزهای جانبی منقاری در پلان، معادله ۱ را برای ارتباط بین پارامترهای موجود در این نوع از سرریزهای جانبی منقاری پیشنهاد کرد.

$$C_M = \Phi \left(Fr_1, \frac{w}{y_1}, \frac{L}{B}, \frac{L}{y_1}, \delta \right) \quad (1)$$

در این رابطه، Fr_1 عدد فرود بالادست سرریز و y_1 عمق جریان در بالادست سرریز هستند. در این پژوهش، پارامترهای بی‌بعد موجود در معادله ۱، به عنوان ورودی برای مدل ANFIS و ضریب دبی جریان C_M و دبی عبوری از روی سرریزهای جانبی به عنوان خروجی در نظر گرفته شده‌اند.

تکاملی^۱، محاسبات نرونی^۲، منطق فازی^۳ و استدلال‌های احتمالی^۴. این عناصر، بیشتر کامل کننده یکدیگر هستند و به طور معمول در رقابت با یکدیگر قرار ندارند. با وجود قابلیت مدل شبکه عصبی در تشخیص الگو و پیش‌بینی رفتار توابع غیرخطی پیچیده، روشی برای برقراری ارتباط بین قوانین بیانی انسان‌ها و مدل شبکه عصبی وجود ندارد. از طرف دیگر در مدل‌های منطق فازی، برخلاف مدل شبکه عصبی، در برخی از موارد تشخیص الگو و پیش‌بینی رفتار توابع مشکل است. بر این اساس پس از مشاهده قابلیت و کاستی‌های مدل‌های شبکه عصبی و منطق فازی در پیش‌بینی رفتار توابع غیرخطی پیچیده، پژوهشگران تلاش کردند تا بتوانند از قابلیت هر دو مدل مذکور در رفع نقصان‌های آن‌ها استفاده کنند. به همین دلیل مدل‌های عصبی- فازی تطبیقی^۵ به وجود آمدند. به دلیل قابلیت بالای این مدل، محبوبیت آن در بین پژوهشگران روز به روز افزایش یافته است. سوگنو (۱۹۷۷) یک سیستم کنترل فازی جدیدی را پایه‌گذاری کرد که با سیستم پیشنهادی ممدانی تا حدودی متفاوت بود. سیستم پیشنهادی وی بعدها در مدل‌های عصبی- فازی تطبیقی استفاده شد. مدل‌های تطبیقی عصبی- فازی و یا به عبارت دیگر مدل‌های ANFIS، مدل‌های خوب در پیش‌بینی رفتار توابع غیرخطی پیچیده هستند. مدل ANFIS برای اولین بار توسط جنگ در سال ۱۹۹۳ معرفی شد. عقیل و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی و عصبی- فازی تطبیقی^۶، به بررسی ارتباط بین بارش و رواناب پرداختند. ایشان در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که برای پیش‌بینی رواناب براساس بارش انجام شده، مدل عصبی- فازی تطبیقی نتایج بهتری را نسبت به مدل شبکه عصبی ارائه می‌دهد. باطنی و همکاران (۲۰۰۷) روش جدیدی با مدل عصبی- فازی تطبیقی، برای ارزیابی آب‌شستگی پایه‌های پل ارائه دادند. وانگ و همکاران (۲۰۰۸) توانستند با استفاده از مدل عصبی- فازی تطبیقی و داده‌های جمع‌آوری شده، میزان سطح آب پایین‌دست رودخانه بایترانی هندوستان را پیش‌بینی کنند. ییلدیریم و اوزگر

1- Evolutionary algorithm

2- Neuro computing

3- Fuzzy logic

4- Probabilistic reasoning

5- Adaptive neuro-fuzzy inference system

6- Neural networks and ANFIS models

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش برای تغذیه مدل‌های داده‌محور مورد استفاده، از داده‌های ارائه شده توسط اسماعیلی (۱۳۸۸) و نکویی (۱۳۸۵) استفاده شده است. برای پیش‌بینی ضریب تخلیه جریان در سرریزهای جانبی لبه‌تیز منقاری در پلان، از مدل عصبی- فازی تطبیقی استفاده شده است. تعداد داده‌های موجود برای مدل‌سازی سرریز جانبی منقاری در پلان برابر با ۲۳۴ عدد است. حدود ۱۵٪ از داده‌های مورد استفاده، به طور تصادفی انتخاب شدند و در مدل وارد نشدند. از این داده‌ها برای کنترل توانایی مدل در پیش‌بینی^۱ داده‌های آموزش ندیده استفاده شده است.

بنابراین تعداد داده‌های آموزش یافته برای سرریزهای جانبی منقاری در پلان برابر با ۲۰۰ عدد است. داده‌های تصادفی انتخابی در فرآیند مدل‌سازی اولیه وارد نشده‌اند. در ضمن داده‌ها از یک مجموعه جامع اطلاعات آزمایشگاهی انتخاب شده‌اند که همگی در محدوده اطلاعات مورد استفاده برای آموزش مدل قرار داشته‌اند. در جدول ۱، برخی اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های بی‌بعد مورد استفاده در مدل آورده شده است.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی مدل‌های داده‌محور مورد استفاده

نام متغیر	بازه تغییرات	میانگین	انحراف معیار
w/y ₁	[۰/۴۴۵۷, ۰/۹۰۷۱]	۰/۶۸۹۱	۰/۱۰۰۸
L/B	[۰/۶۵۵۰, ۱/۸۷۵۰]	۰/۹۷۹۱	۰/۳۴۷۹
Fr ₁	[۰/۱۵۵۳, ۰/۶۰۲۰]	۰/۳۳۸۲	۰/۰۹۳۹
Sin(δ/2)	[۰/۶۰۸۵, ۰/۹۰۶۱]	۰/۷۷۰۴	۰/۱۱۹۰
C _M	[۰/۴۶۴۵, ۰/۸۴۳۶]	۰/۶۳۲۸	۰/۰۸۳۴
Q (lit/s)	[۲/۱۹, ۲۱/۱۶]	۱۰/۵۶	۳/۸۷

استقلال داده‌ها

همان‌طور که اشاره شد، متغیرهای ورودی به مدل‌های داده‌محور، براساس آنالیز ابعادی مشخص می‌شوند. اگر آنالیز ابعادی درست انجام شده باشد، اول باید پراکندگی مناسب داده‌های مورد بررسی در حالت بی‌بعد شده کنترل شوند تا این‌که داده‌ها در محدوده خاصی متمرکز نشوند. این موضوع در این پژوهش بررسی و تغییرات ضریب دبی در مقابل پارامترهای بی‌بعد مختلف مطالعه شد. شکل ۲، به ترتیب تغییرات ضریب تخلیه جریان به دست آمده از مدل عصبی- فازی تطبیقی را نسبت به متغیرهای ورودی w/y₁, L/B, Fr₁ و Sin(δ/2) نشان می‌دهند (آقاجان عبدالله، ۱۳۸۹). بررسی نتایج و شکل‌های حاصل نشان داد که داده‌ها در محدوده گسترده‌ای توزیع می‌شوند. سپس باید استقلال متغیرهای ورودی بررسی شود. برای نشان دادن استقلال بین متغیرهای ورودی، می‌توان از آزمون همبستگی^۲ استفاده کرد. اگر جواب این آزمون مثبت باشد، یعنی تعداد زیادی از داده‌های یک ورودی با تعداد زیادی از داده‌های ورودی دیگر با هم در ارتباط است. اگر منفی

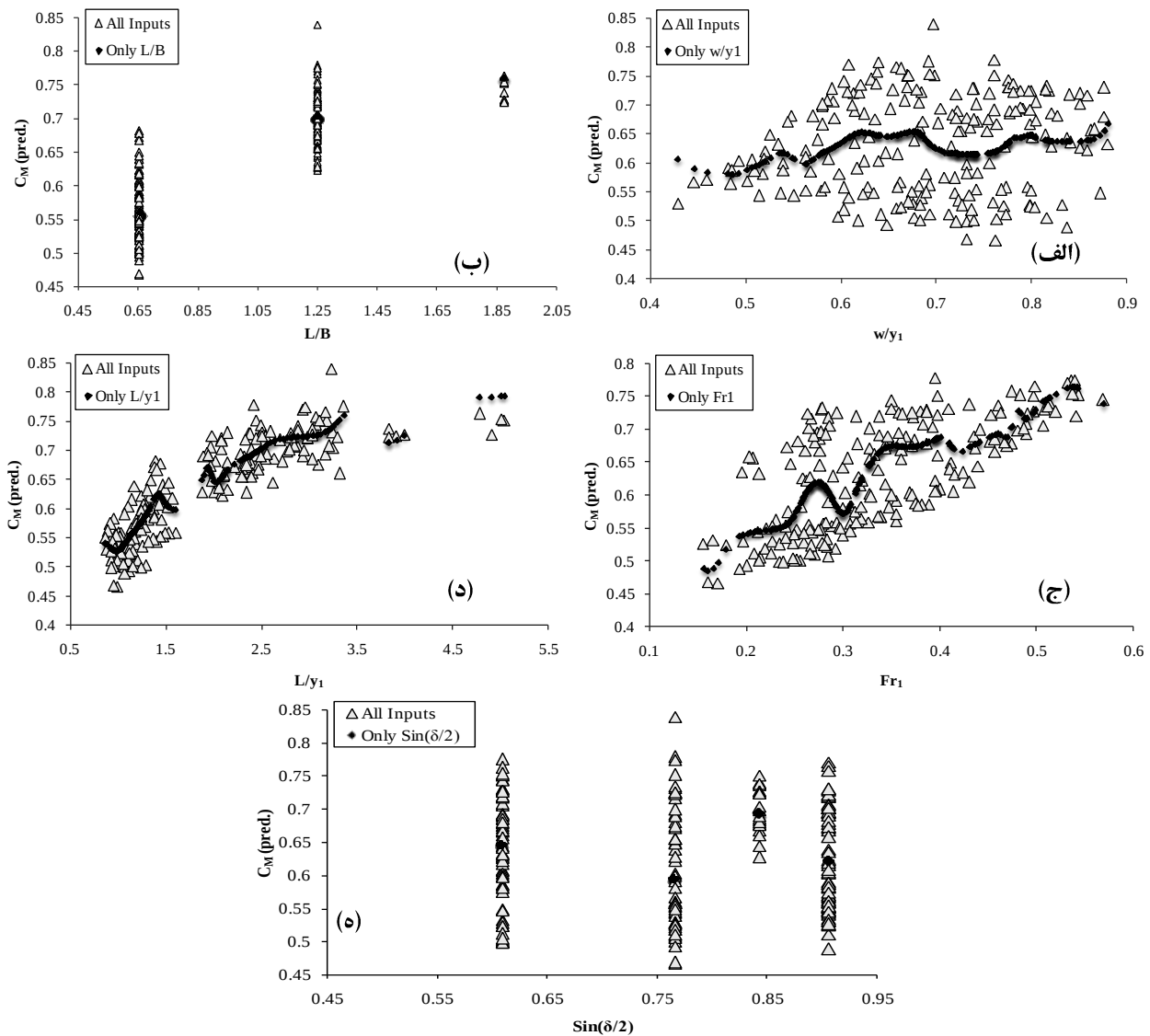
باشد، یعنی تعداد کمی از داده‌های یک ورودی با تعداد زیادی از داده‌های ورودی دیگر با هم در ارتباط است و اگر جواب آزمون صفر شود، بین دو ورودی (x و y) استقلال وجود دارد. معادله ۲، نشان‌گر رابطه آزمون همبستگی است:

$$Cor(x, y) = \frac{Cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2)$$

در این معادله، Cov(x, y) مطابق معادله ۳ تعریف می‌شود:

$$Cov(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (3)$$

در معادله‌های ۲ و ۳، $\bar{x}$ و $\bar{y}$ میانگین x_i و y_i ها و σ_x و σ_y انحراف معیار استاندارد آن‌ها است. در جدول ۲، نتایج این آزمون برای سرریزهای جانبی منقاری در پلان آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود، بیشترین وابستگی بین دو پارامتر بی‌بعد L/B و L/y₁ است، که به دلیل وجود پارامتر طول سرریز در هر دو است. ولی بسیاری از عددهای موجود در جدول‌ها، نزدیک به صفر و یا منفی هستند. بنابراین استقلال سری داده‌های ورودی، مناسب می‌باشد.



شکل ۲- ارتباط بین متغیر ورودی w/y_1 , L/B , Fr_1 , L/y_1 , $\sin(\delta/2)$ در مدل عصبی- فازی تطبیقی کامل و مدل ناقص

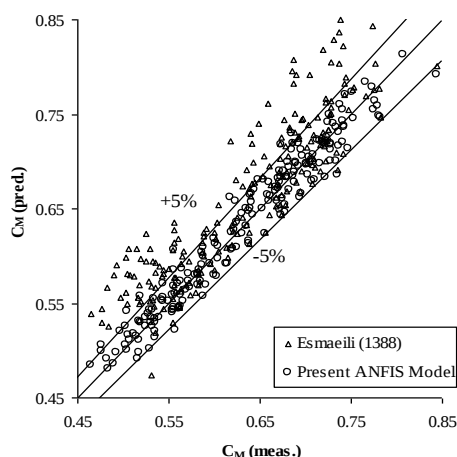
جدول ۲- نتایج آزمون همبستگی سرریز جانبی منقاری در پلان

نام متغیر ورودی	$\sin(\delta/2)$	L/y_1	Fr_1	L/B	w/y_1
w/y_1	-۰/۴۳۶۰	۰/۱۴۷۲	-۰/۱۰۶۳	۰/۳۹۵۷	—
L/B	۰/۴۴۳۳	۰/۹۲۲۵	-۰/۰۲۱۶	—	۰/۳۹۵۷
Fr_1	-۰/۱۶۴۶	۰/۶۷۱۳	—	-۰/۰۲۱۶	-۰/۱۰۶۳
L/y_1	-۰/۰۹۹۰	—	۰/۶۷۱۳	۰/۹۲۲۵	۰/۱۴۷۲
$\sin(\delta/2)$	—	-۰/۰۹۹۰	-۰/۱۶۴۶	۰/۴۴۳۳	-۰/۴۳۶۰

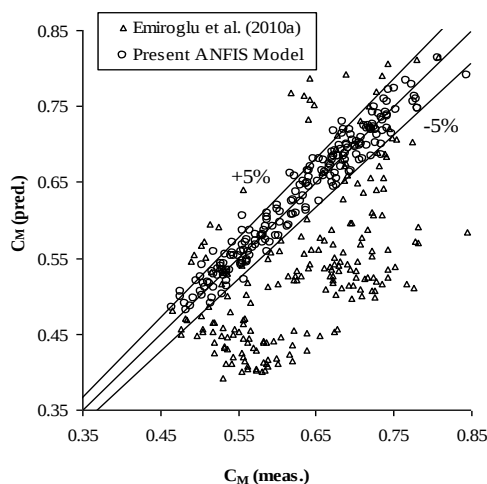
مشخصات مدل عصبی- فازی تطبیقی

برای ایجاد مدل عصبی- فازی تطبیقی، از جعبه ابزار Fuzzy Logic نرم افزار MATLAB استفاده شده است. همان طور که اشاره شد، داده های مورد استفاده در مدل به دو بخش تقسیم می شود. بخش زیادی از داده ها، وارد مدل می شود و عملیات آموزش روی آن ها انجام می شود. بخش

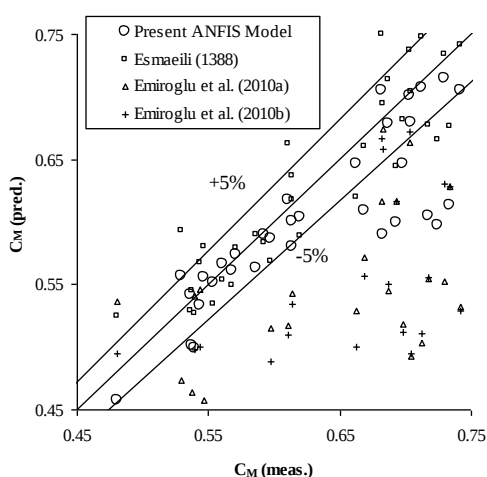
دیگر برای کنترل مدل و مقایسه خروجی مدل با خروجی واقعی داده ورودی کنترل، استفاده می شود. نسبت مورد استفاده بین داده های مورد آموزش و داده های آزمایش کننده مدل، همان نسبت ۸۵ درصد به ۱۵ درصد انتخاب شد. سایر نسبت ها مانند ۶۵ به ۳۵، ۷۵ به ۲۵ و ۹۰ به ۱۰ درصد نیز بررسی شد که نتایج ۸۵ به ۱۵ دارای خطای



شکل ۳- مقایسه بین نتایج مدل عصبی- فازی تطبیقی در ارتباط با داده‌های آموزش یافته و اسماعیلی (۲۰۱۰)



شکل ۴- مقایسه بین نتایج مدل عصبی- فازی تطبیقی در ارتباط با داده‌های آموزش یافته و امیرقلو و همکاران (۲۰۱۰)



شکل ۵- ارتباط بین مقادیر واقعی ضریب تخلیه جریان سرریزهای جانبی منقاری در پلان برای داده‌های آموزش نیافته و مقادیر پیش‌بینی شده با مدل عصبی- فازی تطبیقی، اسماعیلی (۱۳۸۸) و امیرقلو و همکاران (۲۰۱۰ a و b)

کمتری در مقایسه با بقیه نسبت‌ها بود. در مدل‌های عصبی- فازی تطبیقی، نقش داده‌هایی که برای کنترل مدل به کار می‌روند، مهم است. مدل‌های عصبی- فازی تطبیقی می‌توانند با تقریب نزدیک به صفر عملیات شبیه‌سازی را انجام دهند. اما این شبیه‌سازی به صورت حفظ داده‌ها انجام شده است و اگر برای داده‌های آموزش ندیده مدل استفاده شود، پیش‌بینی خوبی انجام نمی‌شود. در این حالت در اصطلاح گفته می‌شود پدیده بیش برآزشی اتفاق افتاده است. نوع تابع عضویت متغیرهای ورودی؛ زنگوله‌ای، نوع تابع عضویت متغیر خروجی؛ ثابت و تعداد قطعات تابع عضویت و تعداد قانون‌ها به ترتیب ۲ و ۱۶ عدد بوده است.

نتایج و بحث

بررسی شکل ۲ نشان می‌دهد که ضریب دبی جریان سرریزهای جانبی منقاری در پلان با افزایش عدد فرود و نسبت L/y_1 افزایش و با افزایش نسبت w/y_1 به طور تقریبی ثابت است. در مورد نقش عدد فرود در جریان می‌توان این طور استدلال کرد که چون مقداری از جریان در میان منقار سرریز به تله می‌افتد، در نتیجه با افزایش عدد فرود و به دنبال آن افزایش میزان اینرسی جریان در جهت سرریز، دبی بیشتری از سرریز جانبی منقاری عبور می‌کند. در شکل‌های ۳ و ۴، نتایج خروجی مدل عصبی- فازی تطبیقی در ارتباط با داده‌های آموزش یافته و نتایج سایر پژوهشگران مقایسه شده است. نتایج به دست آمده از توابع خطای $NRMSE$ ، WQD و R^2 برای مدل عصبی- فازی تطبیقی مورد استفاده به ترتیب برابر با ۰/۲۲، ۰/۳۰ و ۰/۹۵ و ۲/۱×۱۰ است.

شکل ۵ ارتباط بین مقادیر واقعی ضریب تخلیه جریان سرریزهای جانبی منقاری در پلان را برای داده‌های آموزش نیافته و مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله مدل، نمایش می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که مدل عصبی- فازی تطبیقی برای پیش‌بینی ضریب تخلیه جریان سرریزهای جانبی منقاری در پلان در ارتباط با داده‌های آموزش نیافته تا حدودی ضعیف است.

نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تأثیر متغیر بی‌بعد سینوس زاویه رأس سرریز از سایر متغیرهای ورودی در ضریب تخلیه جریان سرریزهای جانبی منقاری در پلان، بیشتر است.

جدول ۳، مقادیر خطای محاسبه شده برای هر یک از معادلات و مدل عصبی-فازی تطبیقی را نشان می‌دهد. جدول ۴، آنالیز حساسیت انجام شده و میزان اهمیت هر یک از متغیرهای ورودی در میزان ضریب تخلیه جریان را براساس تغییر $\pm 10\%$ درصدی هریک از متغیرهای ورودی،

جدول ۳- مقایسه توابع خطای روابط پیشنهاد شده توسط پژوهشگران مختلف و مدل عصبی-فازی تطبیقی

اسماعیلی (۱۳۸۸)	امیراقلو و همکاران (۲۰۱۰a)	امیراقلو و همکاران (۲۰۱۰b)	مدل عصبی-فازی تطبیقی	
۰/۳۹۷	۱/۵۱۶	۱/۷۶۰	۰/۲۲	NRMSE
۳/۸	۱۵/۲	۱۷/۴	۲/۱	WQD $\times 10^{-3}$
۰/۸۴۳	۰/۳۳۱	۰/۴۳۰	۰/۹۵	R ²

جدول ۴- نتایج آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی در ضریب تخلیه جریان سرریزهای جانبی منقاری

ورودی	Sin($\delta/2$)	L/y ₁	Fr ₁	L/B	w/y ₁
میزان درصد تغییرات در ضریب تخلیه جریان	۴/۵۷	۲/۴۱	۴/۱۵	۳/۰۳	۴/۱۴

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد مدل عصبی-فازی تطبیقی در تخمین میزان آبگذری سرریزهای جانبی بررسی شد. در مدل عصبی-فازی تطبیقی مورد استفاده برای پیش‌بینی ضریب تخلیه جریان از تابع عضویت گاوسی برای متغیرهای ورودی (تابع عضویت هر متغیر ورودی شامل دو قسمت گاوسی است) و تابع ثابت برای متغیر خروجی استفاده شده است. نتایج این بررسی نشان داد که در میان پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر ضریب دبی جریان سرریزهای جانبی منقاری (معادله ۱) تأثیر زاویه رأس سرریز از سایر متغیرهای ورودی بیشتر است. مدل عصبی-فازی تطبیقی برای پیش‌بینی ضریب تخلیه جریان سرریزهای جانبی منقاری در پلان در ارتباط با داده‌های آموزش نیافته تا حدودی ضعیف است. مقایسه نتایج مدل‌سازی انجام شده در این پژوهش و نتایج پژوهشگران قبلی نشان می‌دهد که مدل عصبی-فازی ارائه شده دارای دقت بالاتری است.

منابع

۱. اسماعیلی ح. ۱۳۸۸. افزایش راندمان سرریزهای جانبی با تغییر شکل هندسی ورودی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۲۵ ص.
۲. برقی م. کبیری سامانی ع. ۱۳۸۴. تعیین ضریب دبی سرریزهای با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و روش تشابه ناقص. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرمان. ۱۵۹۷-۱۶۰۴.
۳. صادقیان ه. ۱۳۸۶. افزایش راندمان سرریزهای جانبی منقاری با شیب‌دار کردن دیواره سرریز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف. ۱۲۵ ص.
۴. نکویی م. ع. ۱۳۸۵. بررسی و تعیین ضریب دبی سرریز جانبی منقاری به صورت آزمایشگاهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف. ۱۲۱ ص.
6. Ackers P. 1957. A theoretical consideration of side weirs as storm water overflows. Water Management. Proceedings of Institution of Civil Engineers. 6(2):250-269.
7. Aqil M. Kita I. Yano A. and Nishiyama S. 2007. A comparative study of artificial neural networks and neuro-fuzzy in continuous modeling of the daily and hourly behavior of run-off. Journal of Hydrology. 85(337):22-34.

۱. آقاجان عبدالله م. ۱۳۸۹. کاربرد مدل‌های شبکه عصبی و عصبی-فازی تطبیقی در تعیین ضریب تخلیه جریان سرریزهای جانبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۱۲ ص.

- and Gaines B. R. (editors) Fuzzy Automata and Decision Processes 89-102. North-Holland, NY.
22. Wang A. P. Liao H. Y. and Chang T. H. 2008. Adaptive neuro-fuzzy inference system on downstream water level forecasting. Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. 503-507.
 23. Yıldırım G. and Özger M. 2009. Neuro-fuzzy approach in estimating Hazen-Williams friction coefficient for small-diameter polyethylene pipes. *Advances in Engineering Software*. 40:593-599.
 8. Bateni S. M. Borghei S. M. and Jeng D. S. 2007. Neural network and neuro-fuzzy assessments for scour depth around bridge piers. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 20:401-414.
 9. Borghei S. M. Jalili M. R. and Ghodsian M. 1999. Discharge coefficient for sharp crested side weirs in subcritical flow. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE. 125(10):1051-1056.
 10. De-Marchi G. 1934. Essay on the performance of lateral weirs. *L'Energia Elettrica*. Milano. Italy. 11(11):849-860.
 11. El-Khashab A. and Smith K. V. H. 1976. Experimental investigation of flow over side weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE. 102(9):1255-1268.
 12. Emiroglu M. E. Kaya N. and Agaccioglu H. 2010 a. Discharge capacity of labyrinth side-weir located on a straight channel. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. 136(1):37-46.
 13. Emiroglu M. E. Kisi O. and Bilhan O. 2010 b. Predicting discharge capacity of triangular labyrinth side weir located on a straight channel by using an adaptive neuro-fuzzy technique. *Advances in Engineering Software*. 41:154-160.
 14. Jang J. S. R. 1993. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 23(3):665-685.
 15. Jalili M. R. and Borghei S. M. 1996. Discussion of discharge coefficient of rectangular side weirs. by R. Singh, D. Manivannan and T. Satyanarayana. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. 122(2):132.
 16. Kabiri-Samani A. R. Borghei S. M. and Esmaili H. 2011. Hydraulic performance of labyrinth side weirs using vanes or piles. *Water Management*. *Proceedings of Institution of Civil Engineers*. 164(5):229-241.
 17. Novak P. and Cabelka J. 1981. *Models in hydraulic engineering*, Pitman Publishing Inc., London, UK.
 18. Parvaneh A. and Borghei S. M. and Jalili-Ghazizadeh M. R. 2010. Discussion of Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel. by: Emin Emiroglu M., Kaya N. and Agaccioglu H. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. 137(11):743-745.
 19. Ranga Raju K. G. Gupta S. K. and Prasad B. 1979. Side weir in rectangular channel, *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE. 105(5):547-554.
 20. Subramanya K. and Awasthy S. C. 1972. Spatially varied flow over side weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE. 98(1):1-10.
 21. Sugeno M. 1977. Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey. (Gupta M. M. Saridis G. N.