

# تعیین ضریب دبی سرریزهای کناری منقاری با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و مدل شبکه‌های عصبی

عبدالرضا کبیری سامانی (دانشیار)

دانشکده مهندسی عمران

سیدرضا حجازی طاقانکی (استادیار)

دانشکده مهندسی صنایع

مسعود آقاچان عبدال... (دانشجوی کارشناسی ارشد)

حجت اسماعیلی (کارشناس ارشد)

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

در ارتباط با سرریزهای مستطیلی کناری مطالعات زیادی انجام شده اما در مورد شکل‌های دیگر سرریز، نظیر سرریزهای منقاری، بررسی جامع و شناخته شده‌ی صورت نگرفته است. این پژوهش با استفاده از نتایج مدل آزمایشگاهی و بهره‌گیری از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی به بررسی مشخصات هیدرولیکی جریان در سرریزهای کناری منقاری می‌پردازد. نتایج حاصل از تحلیل ابعادی نشان می‌دهد که پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر ضریب دبی جریان در این نوع سرریزها ( $CM$ ) عبارت‌اند از: عدد فرود بالادست ( $Fr_1$ )، نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب بالادست ( $w/y_1$ )، نسبت طول سرریز به عرض کانال ( $L/B$ ) و زاویه‌ی رأس سرریز ( $\delta$ ). هدف این تحقیق به دست آوردن ارتباط ضریب دبی جریان با سایر پارامترها براساس نتایج آزمایشگاهی، با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی و نیز بهره‌گیری از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی است. نتایج به دست آمده به دو روش با اطلاعات آزمایشگاهی مقایسه شده است. بررسی نتایج حاصله نشان می‌دهد که از روش شبکه‌های عصبی می‌توان به‌عنوان ابزاری مناسب برای تخمین ضریب دبی جریان در سرریزهای کناری منقاری بهره برد.

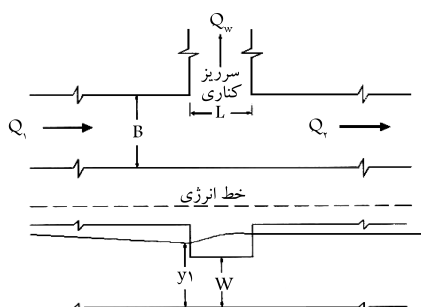
akabiri@cc.iut.ac.ir  
rehejazi@cc.iut.ac.ir  
m.aghajanabdollah@cv.iut.ac.ir  
h.esmaili@cv.iut.ac.ir

واژگان کلیدی: سرریز کناری منقاری، ضریب دبی، تحلیل ابعادی، شبکه‌های عصبی مصنوعی.

## ۱. مقدمه

تجربی انجام شده در مورد سرریزهای کناری به دو گروه قابل تقسیم‌اند. مطالعات گروه اول با فرض ثابت بودن انرژی در طول سرریز انجام شده است. در گروه دوم رفتار

سرریزهای کناری یکی از مهم‌ترین سازه‌های هیدرولیکی‌اند که برای مقاصد گوناگون در سیستم‌های انتقال آب به کار می‌روند. از سرریزهای کناری می‌توان در آب‌گیری کانال‌های فرعی از کانال اصلی و انتقال آب به اهداف مورد نظر، انحراف جریان و محافظت در برابر سیلاب‌ها، انتقال و انشعاب فاضلاب‌های شهری، جداسازی رسوب و کاهش بار بستر بهره‌جست. رفتار هیدرولیکی جریان در سرریزهای کناری از نوع متغیر مکانی با کاهش دبی است. جریان متغیر مکانی، به حالتی از جریان‌های دائمی اطلاق می‌شود که در آن شدت جریان در طول کانال و در جهت جریان، افزایش و یا کاهش می‌یابد. سرریزهای کناری در اشکال مختلف -- اعم از مستطیلی، مثلثی، دوزنقه‌یی و منقاری -- ساخته می‌شوند. در شکل ۱ شمایی از یک سرریز کناری ساده نمایش داده شده است. به‌طور کلی بررسی‌های



شکل ۱. سرریز کناری ساده و مشخصات هندسی و هیدرولیکی در پلان و مقطع.

تاریخ: دریافت ۱۳۸۸/۶/۷، اصلاحیه ۱۳۸۹/۲/۱، پذیرش ۱۳۸۹/۵/۱۸

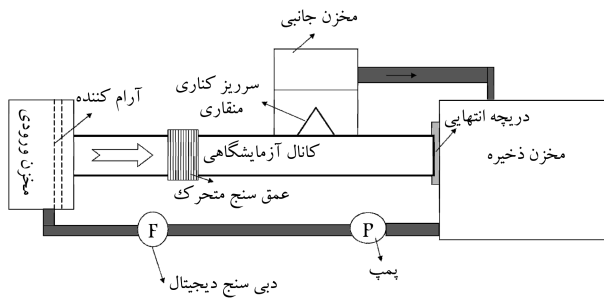
هیدرولیکی سرریزهای کناری با استفاده از معادله‌ی اندازه حرکت مورد بررسی قرار گرفته است.

اولین بار با نادیده گرفتن افت انرژی، از معادله‌ی انرژی برای به دست آوردن معادله‌ی حاکم بر جریان استفاده شد.<sup>[۱]</sup> اگر چه برخی محققین معتقدند عمل شاخه‌یی شدن جریان موجب افت انرژی نمی‌شود یا در مقایسه با افت ناشی از اصطکاک ناچیز است،<sup>[۲-۴]</sup> در مقابل عده‌یی بر این باورند که چون عمل شاخه‌یی شدن جریان موجب افت انرژی می‌شود<sup>[۵]</sup> نمی‌توان از آن صرف نظر کرد و باید از معادله‌ی اندازه حرکت برای به دست آوردن روابط مربوطه استفاده کرد. اگرچه در حال حاضر مطالعات زیادی در ارتباط با هیدرولیک جریان عبوری از سرریزهای کناری انجام شده، ولی مروری بر تاریخچه‌ی موضوع نشان می‌دهد که تحقیق و بررسی در این زمینه -- به خصوص در ارتباط با فرم‌های مختلف هندسی سرریز و نحوه‌ی استقرار آن‌ها در کانال انحرافی نسبت به کانال اصلی -- همچنان از اهمیت خاصی برخوردار است. این مطالعات را می‌توان به دو روش نظری و تجربی انجام داد. در روش اول می‌توان به تکمیل مدل‌های ریاضی موجود یا ارائه‌ی مدل‌های جدید و کامل‌تر پرداخت، اما دست‌یابی به یک مدل صرفاً ریاضی که بدون استفاده از ضرایب تجربی بتواند پارامترهای مختلف را با توجه به مقدار تأثیرشان در نظر گیرد و جواب‌های دقیق ارائه کند، بعید به نظر می‌رسد. در روش دوم می‌توان با انجام آزمایش روی مدل آزمایشگاهی، روابطی تجربی برای تحلیل این جریان‌ها ارائه کرد. در این ارتباط تحقیقات مهمی انجام شده که نتایج آن‌ها در دسترس است.<sup>[۶-۱۳]</sup> اما روش دیگر مطالعات، استفاده از مدل‌های داده‌محور مانند مدل شبکه‌های عصبی براساس نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی یا آزمایشگاهی است. قابلیت این مدل‌ها در پیش‌بینی و شبیه‌سازی رفتار توابع غیرخطی پیچیده و برقراری ارتباط بین پارامترهای مؤثر، منجر به افزایش کاربرد این مدل‌ها در علوم مختلف شده است. مدل‌های داده‌محور یکی از پویاترین حوزه‌های تحقیق در دوران معاصرند که افراد متعددی از رشته‌های گوناگون علمی را به خود جذب کرده است. مدل شبکه‌های عصبی در واقع یک تکنولوژی برای مدل‌سازی ریاضی است که مبتنی بر سلول‌های

عصبی مغز انسان (نرون‌ها) است. از کاربردهای این روش می‌توان به شبیه‌سازی مسیرهای پرواز، سیستم‌های هدایت اتوماتیک اتومبیل، ساخت سیستم‌های ارزیاب موجودی و بازخوان‌های مدارک مالی، دستگاه‌های تشخیص هویت، پردازش تصاویر دریافتی از رادارها و ماهواره‌ها، تحلیل سلول‌های سرطانی و کنترل پروژه اشاره کرد. اولین مدل نرونی توسط مک‌کولاج<sup>۱</sup> ارائه شد؛ روزنلات<sup>۲</sup> یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی به نام پرسپترون ارائه کرد؛ محدودیت‌های پرسپترون توسط مینسکی<sup>۳</sup> ثابت شد؛ و هافیلد<sup>۴</sup> شبکه‌های عصبی هافیلد را ارائه کرد.<sup>[۱۴]</sup> با پیدایش قانون پس‌انتشار خطا توسط روملهارت<sup>۵</sup>، تحول جدیدی در این زمینه ایجاد شد. سال ۱۹۹۰ سال آغاز تحقیقات گسترده در زمینه‌ی مدل شبکه‌های عصبی و ورود این مباحث در سایر علوم بود. با توجه به پویایی مدل‌های شبکه‌ی عصبی، محققین فعال در زمینه‌های هیدرولوژی، مدیریت منابع آب و هیدرولیک به این روش‌ها توجه ویژه داشته‌اند. برخی از آنان با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی رابطه‌یی برای تولید هیدروگراف براساس پارامترهای هیدرولوژیکی پیشنهاد کردند<sup>[۱۵]</sup> و برخی نیز از شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی پارامترهای عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی در مقاطع مستطیلی و دوزنقه‌یی واگرا بهره‌گرفته‌اند.<sup>[۱۶]</sup> در مطالعه‌ی دیگر، میزان آب‌گذری سرریزهای کنگره‌یی مثلثی در پلان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برآورد شد.<sup>[۱۷]</sup> با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های مختلف انجام شده به منظور تعیین ضریب اصطکاک داریسی - وایسیاخ، یک مدل شبکه‌ی عصبی تهیه و روابطی در این زمینه ارائه شد.<sup>[۱۸]</sup> درخصوص سرریزهای کناری ساده نیز پژوهش‌هایی با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی انجام شده است. در این زمینه با استفاده از داده‌های حاصل از رودخانه‌ی لیل در شمال فرانسه، مدلی از شبکه‌های عصبی ارائه شد<sup>[۱۹]</sup> و با استفاده از توابع خطای موجود، نتایج این مدل با برخی از روابط ارائه شده توسط سایر محققین مقایسه شد. درخصوص سرریزهای کناری ساده تحقیقات مشابه دیگری ارائه شده است.<sup>[۲۰، ۲۱]</sup> برخی از روابط ارائه شده توسط محققین مختلف برای اشکال مختلف سرریزهای کناری به‌طور خلاصه در جدول ۱ آمده است. با دقت در این جدول و مطالعه‌ی جامع

جدول ۱. روابط تعیین ضریب تخلیه جریان در سرریزهای کناری توسط سایر محققین.

نام محقق	سال انجام تحقیق	رابطه‌ی ارائه شده	ملاحظات
ناندسامورسی و تامسون <sup>[۹]</sup>	۱۹۷۲	$C_M = 0.432 \sqrt{\frac{1 + Fr_1^2}{1 + 2Fr_1^2}}$	$Fr_1 < 1$
جایلی و برقی <sup>[۱۱]</sup>	۱۹۹۶	$C_M = 0.71 - 0.41 Fr_1 - 0.22 \frac{w}{y_1}$	سرریز لبه تیز مستطیلی
برقی و همکاران <sup>[۱۲]</sup>	۱۹۹۹	$C_M = 0.7 - 0.48 Fr_1 - 0.3 \frac{w}{y_1} + 0.06 \frac{L}{B}$	سرریز لبه تیز مستطیلی
برقی و کبیری <sup>[۲۲]</sup>	۱۳۸۴	$C_M = \frac{15.6 - 2.1 Fr_1^2}{27.6 + 2.7(\frac{w}{y_1}) + 1.2(\frac{L}{B})}$	سرریز لبه تیز مستطیلی
نکویی <sup>[۲۳]</sup>	۱۳۸۵	$C_M = 0.253 - 0.119(w \sin(\delta/2)/(y_1 - w)) - 0.21(w \sin(\delta/2)/(y_1 - w))^2 + 0.299(Fr_1/\sin(\delta/2)) - 0.064(Fr_1/\sin(\delta/2))^2 + (0.44(L'/B) + 0.172(L'/L))(w \sin(\delta/2)/(y_1 - w))$	سرریز کناری متقاری در پلان
اسماعیلی <sup>[۲۴]</sup>	۱۳۸۸	$C_M = 0.123 + 0.233(\frac{w}{y_1}) + 0.587 Fr_1 + 0.986(\frac{L}{B}) + 0.706 \sin(\delta/2)$	سرریز کناری متقاری در پلان



شکل ۲. پلان کلی آزمایش.

تاریخچه‌ی پژوهش در ارتباط با سرریزهای کناری می‌توان دریافت که درخصوص فرم‌های مختلف هندسی سرریز و از جمله سرریزهای کناری مقاری مطالعه‌ی جامع و شناخته‌شده‌ی صورت نگرفته است. لذا در این تحقیق با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی برگرفته از مدل‌های مختلف سرریزهای کناری مقاری و بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS، روابطی برای تخمین ضریب دبی جریان در این نوع سرریزها ارائه می‌شود. سپس براساس نتایج مدل آزمایشگاهی و با بهره‌گیری از روش شبکه‌های عصبی نتایج بهینه شده، و با نتایج حاصل از نرم‌افزار SPSS مقایسه خواهد شد.

## ۲. تحلیل ابعادی و تجهیزات آزمایشگاهی

### ۲.۱. تحلیل ابعادی و پارامترهای مؤثر

در این پژوهش برای به دست آوردن ضریب دبی، پس از شناسایی تمامی متغیرهای مؤثر، با استفاده از نظریه‌ی  $\pi$  با کینگهام متغیرهای بی‌بعد به دست آمده‌اند. متغیرهای بی‌بعدی که با توجه به نتایج تجربی گذشته و آزمایش‌های صورت‌گرفته اثر ناچیزی دارند، حذف شدند و در نهایت با استفاده از متغیرهای بی‌بعد باقی‌مانده روابط مناسبی برای دست‌یابی به هدف تحقیق ارائه شده است. متغیرهای مؤثر بر ضریب دبی سرریز جانبی عبارت‌اند از: جرم مخصوص ( $\rho$ )، لزجت دینامیکی ( $\mu$ )، کشش سطحی ( $\sigma$ )، دبی ( $Q$ )، عمق ( $y$ )، سرعت جریان ( $V$ ) در کانال اصلی، طول بازشدگی سرریز ( $L$ )، ارتفاع سرریز ( $w$ )، عرض کانال اصلی ( $B$ )، شیب کف کانال ( $S_0$ )، زاویه‌ی داخلی سرریز مقاری ( $\delta$ ) و شتاب ثقل ( $g$ ). براین اساس رابطه‌ی بین متغیرهای مؤثر بر مسئله را می‌توان به صورت رابطه‌ی ۱ نوشت:

$$\Phi(\rho, \mu, g, \sigma, y, V, L, B, w, S_0, \delta, C_M) = 0 \quad (1)$$

در هیدرولیک کانال‌های باز وقتی جریان آشفته باشد، تأثیر نیروی لزجت در مقایسه با نیروهای اینرسی اندک است؛ از آنجا که اصولاً وضعیت جریان در کانال‌ها آشفته است، از تأثیر نیروی لزجت (عدد رینولدز) در مقابل نیروی اینرسی صرف نظر می‌شود. تأثیر نیروی کشش سطحی در مواردی مطرح می‌شود که عمق آب روی سرریز بسیار کم باشد؛ بنابراین از تأثیر نیروی کشش سطحی یا همان عدد ویر نیز صرف نظر می‌شود. همچنین برخی از محققین با ناچیزداندستن اثر شیب کف در جریان‌های زیر بحرانی از تأثیر  $S_0$  نیز صرف نظر کرده‌اند.<sup>[۵]</sup> همچنین چون هیدرولیک پایین دست جریان وابسته به جریان بالادست است، لذا در نظر گرفتن هیدرولیک جریان تنها در یکی از مقاطع کافی است. یعنی:

$$C_M = \Phi\left(Fr_1, \frac{w}{y}, \frac{L}{B}, \delta\right) \quad (2)$$

در ادامه با استفاده از رابطه‌ی ۲ و بهره‌گیری از نتایج مدل آزمایشگاهی، تابع  $\Phi$  تعیین خواهد شد.

### ۲.۲. تجهیزات آزمایشگاهی و پارامترهای مورد بررسی

مدل آزمایشگاهی مورد استفاده برای این پژوهش، کانال موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان است.<sup>[۲۴]</sup> در شکل ۲ شمای کلی مدل آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است. مقطع کانال مستطیلی به عرض  $40^\circ$  سانتی‌متر و طول مفید ۸ متر است. دیواره‌ی کانال از جنس پلکسی‌گلاس شفاف، به ضخامت ۲ سانتی‌متر و دارای ارتفاع  $60^\circ$

سانتی‌متر است. آب پس از پمپاژ توسط پمپی با بیشینه ظرفیت  $50^\circ$  لیتر بر ثانیه، از مخزن اصلی از طریق خط لوله وارد دبی‌سنج دیجیتال و از آنجا به مخزن ورودی ابتدای کانال وارد می‌شود و پس از عبور از صافی‌های آرام‌کننده و صفحات مشبک وارد کانال می‌شود. برای آرام کردن سطح آب در مخزن ورودی از تشک‌های گابیون شنی استفاده شده است تا از تشکیل امواج سطحی و ناآرامی جریان جلوگیری شود. کانال دارای دو مخزن اصلی و جانبی با حجم ۳ مترمکعب است. این دو مخزن از طریق لوله به یکدیگر متصل‌اند و در نتیجه سطح آب در هر دو مخزن در یک ارتفاع ثابت می‌ماند.

با توجه به مشخصه‌های سرعت به دست آمده در طول کانال مشخص شد که جریان در فاصله‌ی  $3/5$  متری از ابتدای کانال توسعه یافته است. برای اطمینان بیشتر سرریز کناری در فاصله‌ی  $4/5$  متری از ابتدای کانال نصب شد. دبی جریان قبل از سرریز کناری ( $Q_1$ ) با استفاده از دبی‌سنج دیجیتال واسنجی شده، که در فاصله‌ی بین پمپ و مخزن بالادست قرار دارد، اندازه‌گیری شده و با استفاده از دریچه‌ی کشویی در انتهای کانال، سطح آب در کانال تنظیم می‌شود. از این دریچه برای اندازه‌گیری دبی جریان پس از سرریز کناری ( $Q_2$ ) نیز استفاده شده است. از تفاضل دبی جریان قبل از سرریز کناری و پس از آن ( $Q_2 - Q_1$ ) دبی عبوری از سرریز کناری ( $Q_w$ ) محاسبه شده است.

آب پس از عبور از روی سرریز کناری وارد مخزن فایبرگلاس جانبی -- به طول ۲ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع  $1/5$  متر -- می‌شود. جریان در انتهای کانال وارد مخزن اصلی می‌شود که نقش ذخیره‌کننده‌ی آب را نیز بر عهده دارد؛ آب از این مخزن مجدداً با استفاده از پمپ به سمت کانال هدایت می‌شود. آب پمپاژ شده، پس از عبور از دبی‌سنج به وسیله‌ی خط لوله به داخل این مخزن هدایت می‌شود. به منظور کاهش اثرات ورودی، کانال به صورت انحنادار به مخزن وصل شده است. مشخصه‌های هیدرولیکی و هندسی متغیر در آزمایش‌های انجام شده عبارت‌اند از: دبی، عمق، طول، ارتفاع و زاویه‌ی داخلی سرریزهای کناری مقاری. در جدول ۲ کلیات اطلاعات مربوط به متغیرهای هندسی و هیدرولیکی مورد اشاره ارائه شده است. عدد فرود بالادست سرریز ( $Fr_1$ ) در تمامی حالات کم‌تر از ۱ و در محدوده‌ی  $0/15$  تا  $0/7$  بوده و شرایط جریان زیر بحرانی برقرار بوده است. در مجموع حدود  $250^\circ$  آزمایش در ۳۶ مدل آزمایشگاهی انجام شده است.

## ۳. مدل شبکه‌های عصبی و متدلوژی مورد استفاده

به‌طور کلی هر مدل شبکه‌ی عصبی شامل سه قسمت است: لایه‌ی ورودی، لایه‌های پنهان، لایه‌ی خروجی. در قسمت ورودی دسته‌بندی اطلاعات و داده‌های تولید

جدول ۲. محدوده‌های اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر.

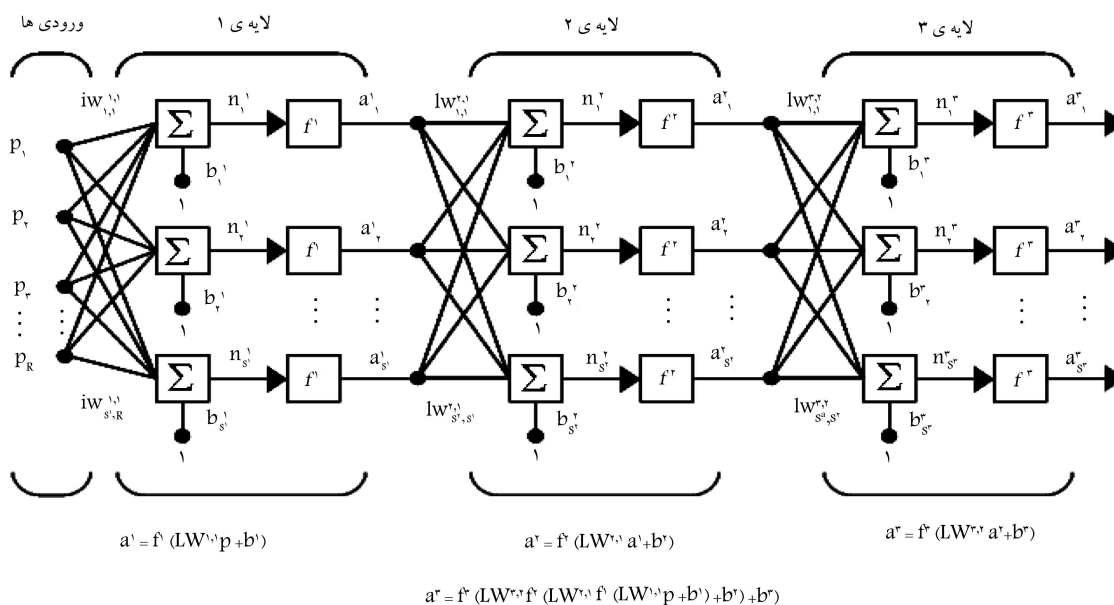
نوع سوزن	دبی بالادست $Q$ (lit/s)	زاویه راس $\delta$ (deg.)	ارتفاع سوزن $w$ (cm)	عرض سوزن $L$ (cm)	فرود بالادست $Fr_1$	تعداد مدل آزمایشگاهی
مبتنی	۱۰-۴۵	۱۳۵ و ۱۱۵، ۱۰۰ و ۷۵	۲۰ و ۱۵، ۱۰	۷۵ و ۵۰، ۲۶	۰٫۷-۰٫۱۵	۲۷

مدل برای استخراج خروجی مورد نظر انجام می‌شود و ماتریس‌های شناسایی (Prototype) ساخته می‌شوند. عمده‌ی عملیات یک شبکه‌ی عصبی در لایه یا لایه‌های پنهان انجام می‌شود. در این لایه‌ها سه فعالیت مهم انجام می‌شود و با توجه به این سه فعالیت باید داده‌های موجود را نیز به سه دسته تقسیم کرد. فعالیت اول، موسوم به «آموزش»<sup>۶</sup> به ساخت مدلی براساس داده‌های دسته‌ی اول اختصاص دارد. فعالیت دوم موسوم به «آزمایش حین آموزش»<sup>۷</sup>، به آزمایش مدل ساخته شده براساس داده‌های دسته‌ی دوم اختصاص دارد؛ در این مرحله مدل بهبود می‌یابد. در فعالیت نهایی که از آن با عنوان «پیش‌نگری»<sup>۸</sup> یاد می‌شود، مدل یک بار دیگر آزموده می‌شود و ضمن گرفتن خروجی از مدل، نتایج به دست آمده از خروجی با داده‌های دسته‌ی سوم مقایسه و عملکرد مدل با استفاده از روش‌های آماری ارزیابی می‌شود. تعداد نرون‌های لایه‌ی ورودی برابر با تعداد عناصر بردار ورودی و تعداد نرون‌های لایه‌ی خروجی برابر با تعداد عناصر بردار خروجی است. تحلیل دقیق و واقعی برای یافتن تعداد نرون‌های لایه‌ی میانی در کل بسیار پیچیده است. تعداد نرون‌های لایه‌ی مخفی تابعی است از تعداد عناصر بردار ورودی و نیز بیشینه تعداد نواحی از فضای ورودی، که به‌طور خطی از هم جدا می‌شوند. تعداد نرون‌های لایه‌ی مخفی عموماً به‌طور تجربی به دست می‌آید. ساده‌ترین و معمول‌ترین نوع شبکه‌های عصبی مصنوعی، شبکه‌های عصبی چندلایه‌ی پیش‌خور همراه با ناظر است که از روش پس انتشار خطا برای آموزش کمک می‌گیرد. در شکل ۳ یک مدل شبکه‌ی عصبی چندلایه که در هر لایه چند نرون دارد نشان داده شده است.

که در آن،  $x_k$  بردار فعلی وزن‌ها یا بایاس‌ها،  $g_k$  شیب فعلی و  $\alpha_k$  سرعت یادگیری است. در تحقیق حاضر از روش لونی-مارکوآرت<sup>۹</sup> در آموزش مدل استفاده شده است. این روش از شیوه‌های استاندارد بهینه‌سازی عددی برای تخمین ماتریس کارایی هسین<sup>۱۰</sup> استفاده می‌کند. همچنین توابع انتقال استفاده شده در مدل، تابع تانژانت سیگموئید است. خصوصیت این تابع، عدم محدودیت در مشتق‌پذیری است. با توجه به روابط استفاده شده در الگوریتم پس انتشار خطای چندلایه، دسترسی به تابعی که به‌طور نامحدود مشتق‌پذیر باشد ضرورت می‌یابد. همچنین با توجه به اجرای مدل برای حالات مختلفی از تعداد لایه‌های پنهان و تعداد متفاوت نرون‌ها،

$$x_{k+1} = x_k - \alpha_k g_k \quad (3)$$

برای ایجاد مدل شبکه‌های عصبی، از جعبه‌ابزار شبکه‌های عصبی نرم‌افزار MATLAB (نسخه‌ی ۲۰۱۴، ۷٫۶٫۰) استفاده شده است. چنان که مطرح شد، هر



شکل ۳. مدل شبکه‌های عصبی چندلایه.

در شکل ۵ تغییرات  $C_M$  برحسب  $w/y_1$  برای  $L/B$  های مختلف در سرریز کناری منقاری نشان داده شده است. با بررسی این شکل می‌توان دریافت که با افزایش نسبت  $w/y_1$  مقدار ضریب دبی کاهش می‌یابد. این نتیجه‌گیری در ارتباط با سرریزهای کناری ساده نیز صورت گرفته است. البته نرخ کاهش ضریب  $C_M$  در سرریز کناری منقاری کم‌تر از سرریز کناری ساده است، زیرا در یک عرض ثابت، طول سرریز کناری منقاری نسبت به سرریز کناری ساده بیشتر است و در نتیجه دبی بیشتری از سرریز کناری منقاری عبور می‌کند.

در شکل ۶ تغییرات  $C_M$  برحسب  $\sin(\delta/2)$  نمایش داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود مقدار  $C_M$  با افزایش این پارامتر ابتدا افزایش یافته و سپس تقریباً ثابت می‌ماند. برای دست‌یابی به تابع  $\Phi$  در رابطه‌ی ۲ برای تخمین ضریب دبی جریان، از نرم‌افزار ریاضی SPSS استفاده شده است. این نرم‌افزار از قابلیت تقریب‌زدن یک تابع بین چند متغیر برخوردار است و همچنین دارای توابع از پیش تعریف شده و مدل‌های آماری است. برای این کار از اطلاعات اندازه‌گیری شده‌ی آزمایشگاهی استفاده شده است. بدین منظور، به روش سعی و خطا و با فرض توابع مختلف برای متغیر  $C_M$  به‌عنوان متغیر وابسته در ارتباط با متغیرهای مستقل  $w/y_1$ ،  $\sin(\delta/2)$ ،  $Fr_1$ ،  $L/B$  معادلاتی برای  $C_M$  استخراج شد و سپس با استفاده از توابع خطای  $WQD$  و  $NRMSE$  (روابط ۶ و ۷)، مقدار خطای نتایج آزمایشگاهی

هم‌گرایی و دقت مدلی که در آن سه لایه و در هر لایه شش نرون وجود داشت، بیشتر از سایر مدل‌ها بوده است. در لایه‌ی خروجی نیز تنها پارامتر وابسته  $C_M$  قرار دارد و شبیه‌سازی این پارامتر توسط مدل انجام می‌پذیرد. برای نشان‌دادن استقلال بین پارامترهای ورودی، می‌توان از آزمون همبستگی استفاده کرد. چنانچه جواب این آزمون مثبت باشد، نشان از آن دارد که تعداد زیادی از داده‌های یک ورودی با تعداد زیادی از داده‌های ورودی دیگر در ارتباط‌اند. پاسخ منفی آزمون نیز به‌منزله‌ی آن است که تعداد کمی از داده‌های یک ورودی با تعداد زیادی از داده‌های ورودی دیگر در ارتباط‌اند. و بالاخره اگر جواب آزمون صفر شود، بین دو ورودی استقلال وجود دارد. رابطه‌ی ۴ نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی آزمون همبستگی است:

$$Cor(x, y) = \frac{Cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (4)$$

و در آن،  $Cov(x, y)$  مطابق رابطه‌ی ۵ تعریف می‌شود:

$$Cov(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (5)$$

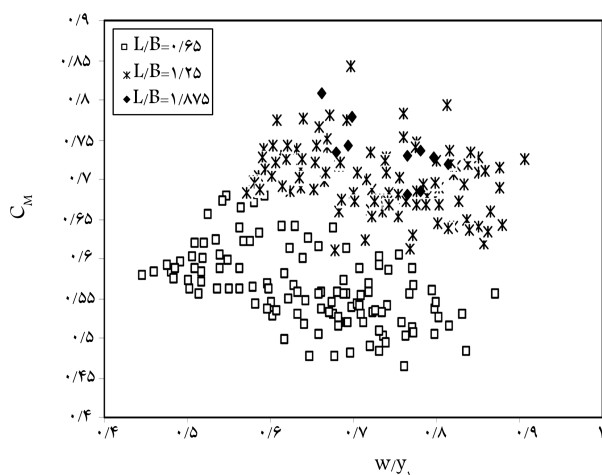
در روابط ۴ و ۵،  $\bar{x}$ ، میانگین  $x_i$  ها و  $\sigma_x$  انحراف معیار استاندارد آن‌هاست.

#### ۴. نتایج

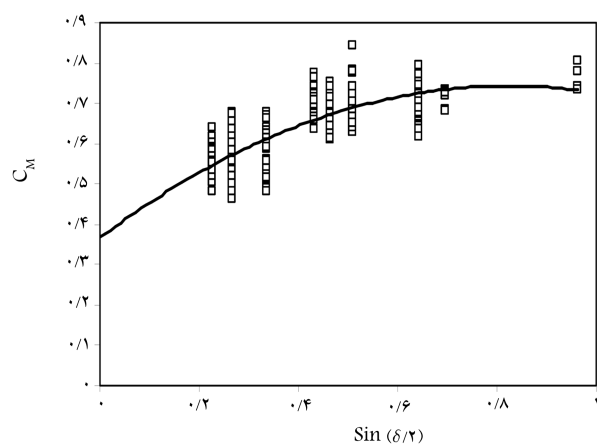
در این بخش نتایج مدل آزمایشگاهی براساس پارامترهای بی‌بعد به دست آمده در رابطه‌ی ۲ ارائه می‌شود. در شکل‌های ارائه‌شده در این بخش ارتباط هر یک از پارامترهای بی‌بعد با ضریب دبی جریان آورده شده است.

#### الف) نتایج آزمایشگاهی

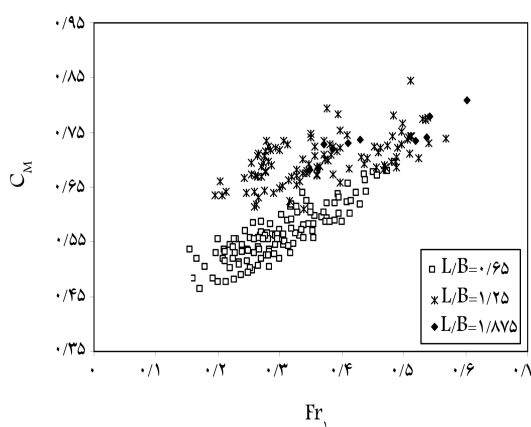
برای تعیین ضریب  $C_M$  آزمایشگاهی از رابطه‌ی معروف دیمارچی<sup>[۱]</sup> استفاده شده است. در شکل ۴ تغییرات  $C_M$  برحسب  $Fr_1$  برای  $L/B$  های مختلف در سرریز کناری منقاری نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، در بیشتر موارد بر اثر افزایش عدد فرود مقدار ضریب  $C_M$  افزایش می‌یابد. زیرا اینرسی جریان در راستای انحراف افزایش یافته و به‌تبع آن مقدار دبی عبوری از سرریز کناری افزایش می‌یابد.



شکل ۵. تغییرات  $C_M$  بر حسب  $w/y_1$  در سرریز کناری منقاری.



شکل ۶. تغییرات  $C_M$  بر حسب  $\sin(\delta/2)$ .



شکل ۴. تغییرات  $C_M$  بر حسب  $Fr_1$  در سرریز کناری منقاری.

و نتایج حاصل از روابط تعیین شد.

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum(f(x) - F(x))}{\sum(f(x) - \bar{f})}} \quad (6)$$

$$WQD = \frac{\sqrt{\sum(F(x)f(x)(f(x) - F(x))^2)}}{\sum(f(x)F(x))} \quad (7)$$

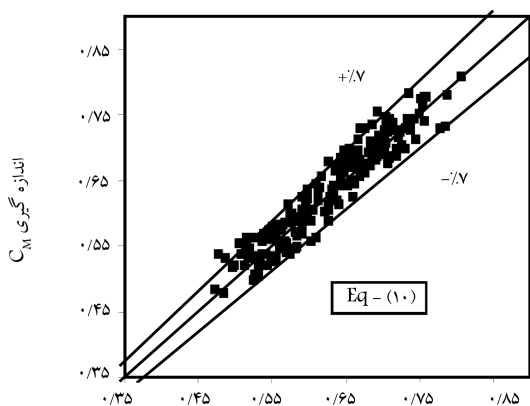
در این رابطه ها  $f(x)$  مقدار اندازه‌گیری شده،  $F(x)$  مقدار تخمینی و  $\bar{f}$  نشانگر

متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده است. هرچه مقدار به دست آمده از این توابع کم‌تر و به صفر نزدیک‌تر باشد، نتیجه‌ی تخمینی به جواب واقعی نزدیک‌تر خواهد بود. در جدول ۳، دقیق‌ترین روابط به دست آمده از نرم‌افزار SPSS و مقادیر خطای  $WQD$  و  $NRMSE$  و میزان همبستگی  $R^2$  برای هر یک ارائه شده است.

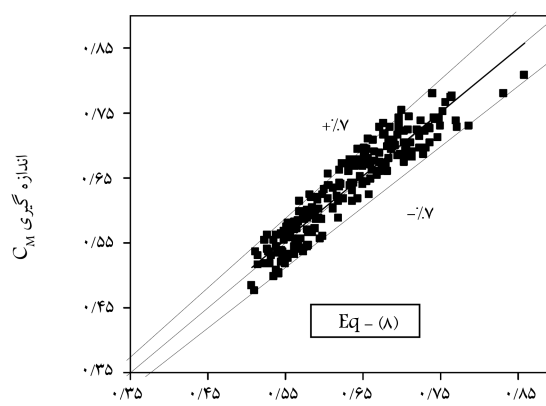
در شکل ۷ مقایسه‌ی نتایج حاصل از روابط تخمینی ۸ تا ۱۱ و مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی برای سرریزکناری متقاری نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که در میان روابط پیشنهادی، اختلاف مقادیر توابع خطا برای این چهار رابطه

جدول ۳. بهترین روابط تخمین ضریب  $C_M$  سرریزهای کناری متقاری.

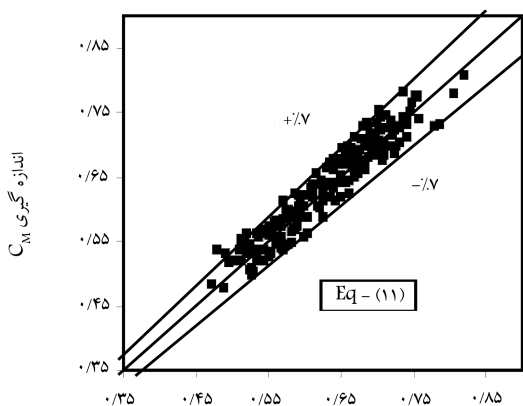
شماره‌ی معادله	معادله	WQD	NRMSE	R <sup>2</sup>
۸	$C_M = 0.123 + 0.233(\frac{w}{y_1}) + 0.587Fr_1 + 0.986(\frac{L}{B}) + 0.706 \sin(\delta/2)$	0.426	0.405	0.836
۹	$C_M = (0.382 - 0.215Fr_1) \times (-0.58 + 0.349(\frac{L}{B}) \sin(\delta/2) + 0.918(\frac{w}{y_1}) + 2.63Fr_1)$	0.405	0.395	0.824
۱۰	$C_M = [(0.22 + 0.863Fr_1)]^{(0.778 - 0.127(\frac{L}{B}) \sin(\delta/2) - 0.411(\frac{w}{y_1}))}$	0.393	0.387	0.850
۱۱	$C_M = [(0.105 + 0.789Fr_1)]^{(0.759 - 0.1145(\frac{L}{B}) - 0.093 \sin(\delta/2) - 0.322(\frac{w}{y_1}))}$	0.389	0.374	0.860



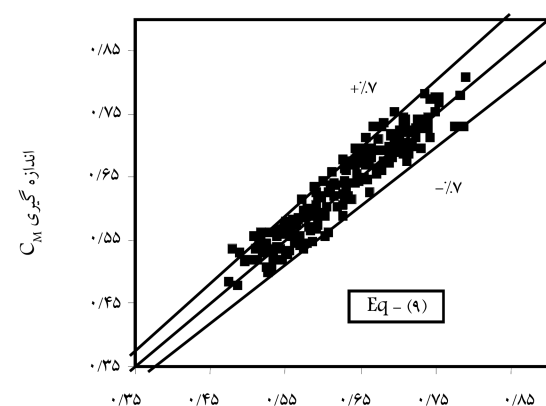
محاسباتی  $C_M$   
معادله‌ی ۱۰ (ج)



محاسباتی  $C_M$   
معادله‌ی ۸ (الف)



محاسباتی  $C_M$   
معادله‌ی ۱۱ (د)



محاسباتی  $C_M$   
معادله‌ی ۹ (ب)

شکل ۷. مقایسه‌ی نتایج حاصل از روابط تخمینی با مقادیر اندازه‌گیری شده برای سرریز کناری متقاری.

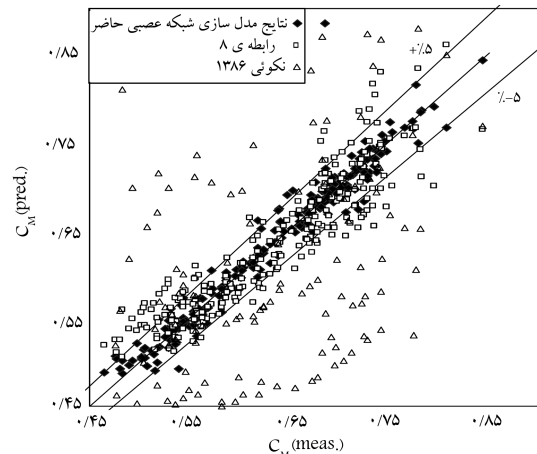
جدول ۴. نتایج تست همبستگی.

$F r_1$	$\sin(\delta/2)$	$L/B$	$w/y_1$	
-۰٫۴۳۶۰	-۰٫۱۰۶۳	۰٫۳۹۵۷	---	$w/y_1$
۰٫۴۴۳۳	-۰٫۰۲۱۶	---	۰٫۳۹۵۷	$L/B$
-۰٫۱۶۴۶	---	-۰٫۰۲۱۶	-۰٫۱۰۶۳	$\sin(\delta/2)$
---	-۰٫۱۶۴۶	۰٫۴۴۳۳	-۰٫۴۳۶۰	$F r_1$

ب) نتایج مدل شبکه‌های عصبی در جدول ۴ نتایج آزمون همبستگی مربوط به خروجی‌های مدل شبکه عصبی ارائه شده است. چنان که مشاهده می‌شود، بیشترین وابستگی بین دو پارامتر بی بعد  $F r_1$  و  $L/B$  است ولی بسیاری از اعداد موجود در جدول نزدیک به صفر یا منفی‌اند. بنابراین استقلال سری داده‌های ورودی مناسب است. برای مقایسه‌ی نتایج مدل شبکه‌های عصبی با نتایج آزمایشگاهی، از توابع خطای مذکور -- یعنی  $WQD$ ،  $NRMSE$  و  $R^2$  -- استفاده شده است. این مقادیر به ترتیب برابر  $۰٫۱۵۹$ ،  $۰٫۱۷۳۸$  و  $۰٫۹۶۹۸$  هستند. در شکل ۸ مقایسه‌ی نتایج از نتایج مربوط به مقادیر ضریب دبی سرریزکناری منقاری، حاصل از مدل شبکه‌های عصبی و مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی و رابطه‌ی پیشنهادی (رابطه ۸) نشان داده شده است.

## ۵. نتیجه‌گیری

چنان که اشاره شد، مطالعات بسیار زیادی در ارتباط با سرریزهای کناری مستطیلی ساده صورت گرفته است ولی در ارتباط با انواع دیگر فرم‌های هندسی سرریز و از جمله سرریزهای منقاری اطلاعات اندکی وجود دارد. در این نوشتار، براساس نتایج آزمایشگاهی و تحلیل ابعادی ارتباط پارامترهای بی بعد مؤثر بر ضریب دبی جریان در سرریزهای منقاری کناری ارائه شد و نهایتاً رابطه‌ی ۸ به عنوان ساده‌ترین رابطه با دقت مناسب برای تخمین ضریب دبی جریان برای این نوع سرریزها پیشنهاد شد. همچنین براساس نتایج آزمایشگاهی حاصله، یک مدل شبکه عصبی به منظور تخمین ضریب دبی جریان در سرریزهای منقاری کناری پایه‌ریزی شده و خروجی‌های حاصل از این مدل در دو حالت آموزش یافته و آموزش نیافته استخراج شد. بررسی و مقایسه‌ی نتایج نشان داد که مدل شبکه‌ی عصبی حاضر از دقت بسیار مناسب‌تری برخوردار است و لذا می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب برای تخمین ضریب دبی جریان در سرریزهای منقاری کناری مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۸. مقایسه‌ی نتایج حاصل از مدل شبکه‌های عصبی با نتایج حاصل از روابط سایر محققین، برای سرریز کناری منقاری.

-- که دقیق‌ترین روابط استخراج شده‌اند -- اندک است. لذا در میان کلیه‌ی روابط به دست آمده، رابطه‌ی ۸ به عنوان ساده‌ترین رابطه با دقت نسبتاً مناسب، برای تخمین ضریب دبی جریان و به تبع آن برای تخمین دبی عبوری از روی سرریزکناری منقاری پیشنهاد می‌شود.

## پانویس

## منابع

1. McCulloch
2. Rosenblatt
3. Minsky
4. Hopfield
5. Romelhart
6. training
7. test while training
8. forecasting
9. Levenberg-Marquardt
10. Hessian

۱. حسینی، سید محمود و ابریشمی، جلیل؛ هیدرولیک کانال‌های باز، انتشارات آستان قدس رضوی (۱۳۷۲).
2. Subramanya, K. and Awasthy, S.C. "Spatially varied flow over side weirs", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, **98**(1), pp. 1-10 (1972).
3. Ranga Raju, K.G.; Gupta, S.K. and Prasad, B. "Side weir in rectangular channel", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, **105**(5), pp. 547-554 (1979).

4. Cheong, H.F. "Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel", *J. Irrig. Drain. Engrg., ASCE*, **117**(4), pp. 461-475 (1991).
5. El-Khashab, A. and Smith, K.V.H. "Experimental investigation of flow over side weirs", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, **102** (9), pp. 1255-1268 (1976).
6. Ackers, P. "A theoretical consideration of side weirs on storm water overflows", *Proc. Institution of civil Engineers*, London, England, **6**, pp. 305-328 (1957).
7. Frazer, W., *The Behavior of Side Weirs in Prismatic Rectangular Channels*, Ph.D Thesis, Glasgow University, U.K. (1957).
8. Yu-Tech, L. "Discussion of spatially varied flow over side weirs", by Subramanya, K. and Awasthy, C., *J. Hydr. Engrg., ASCE*, **98** (1), pp. 2046-2048 (1972).
9. Nandesamoorthy, T. and Thomson, A. "Discussion of spatially varied flow over side-weirs", *J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, **98**(12), pp. 2234-2235 (1972).
10. Singh, R.; Marivannan, D. and Satyanarayana, T. "Discharge coefficient of rectangular weirs", *J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE*, **120**(4), pp. 814-819 (1994).
11. Jalili, M.R. and Borghei, S.M. "Discussion of discharge coefficient of rectangular side weirs", by Singh, R.; Manivannan, D. and Satyanarayana, T., *J. Irrig. Drain. Engrg., ASCE*, **122**(2), pp. 132 (1996).
12. Borghei, S.M.; Jalili, M.R. and Ghodsian, M., "Discharge coefficient for sharp crested side weirs in subcritical flow", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, **125**(10), pp. 1051-1056 (1999).
13. Ghodsian, M. "Flow over triangular side weir", *Scientica Iranica*, **11**(1,2), pp. 114-120 (2004).
۱۴. بیل، راسل؛ جکسون، تام و البرزی، محمود(مترجم)؛ آشنایی با شبکه‌های عصبی، مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۸۰).
15. Sajjad, A. and Simonovic, S.P. "An artificial neural networks model for generating hydrograph from hydro-meteorological parameters" *J. Hydrology*, **315**, pp. 236-251 (2005).
۱۶. اسماعیلی ورکی، مهدی؛ امید، محمود و امید، محمدحسن؛ «برآورد مشخصات پرش هیدرولیکی واگرا در مقاطع مستطیلی و ذوزنقه‌یی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی»، چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شیراز، صص. ۹۸۱-۹۹۰ (۱۳۸۲).
۱۷. منتظر، غلامعلی؛ مشفق، محمدذاکرو قدسیان، مسعود؛ «پیش‌بینی خیره آبگذری سرریزهای کنگره‌یی مثلثی در پلان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی»، چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شیراز، صص ۱۰۳۳-۱۰۴۰ (۱۳۸۴).
18. Yuhong, Z. and Wenxin, H. "Application of artificial neural network to predict the friction factor of open channel flow", *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat. Journal*, homepage: www.elsevier.com/locate/cnscns (2004).
19. Khorchani, M. and Blanpain, O. "Development of a discharge equation for side weir using artificial neural networks", *J. Hydroinformatics*, **07**, pp. 10 (2005).
۲۰. قبادیان، رسول و شفاعی بجستان، محمود؛ «بهبود یابی ضریب تخلیه سرریزهای کناری در کانال‌های آبیاری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی»، اولین همایش مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی (۱۳۸۵).
۲۱. هنر، تورج و طرازکار، محمدحسن؛ «کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین ضریب آب‌دهی سرریزهای جانبی»، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهارم، شماره ششم (۱۳۸۴).
۲۲. برقمی، سیدمحمود و کبیری سامانی، عبدالرضا؛ «تعیین ضریب دبی سرریزهای با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و روش تشابه ناقص»، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرمان، صص ۱۸۱-۱۸۸ (۱۳۸۴).
۲۳. نکویی، محمدعلی؛ بررسی و تعیین ضریب دبی سرریز جانبی متقارر بصورت آزمایشگاهی، پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۸۵).
۲۴. اسماعیلی، حجت؛ افزایش راندمان سرریزهای کناری با تغییر فرم هندسی ورودی، پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۸۸).