مهندسی عمران شریف
دوره‌ی ۲-۲۷، شماره‌ی ۴، ص. ۸۵-۹۲

تعیین ضریب دبی سرریزهای کناری منقاری بااستفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و مدل شبکه‌های عصبی

عبدالرضا کبیری سامانی (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی عمران
سیدرضا حجازی طاقانکی (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع
مسعود آقاجان عبدا... (دانشجوی کارشناسی ارشد)
حجت اسماعیلی (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

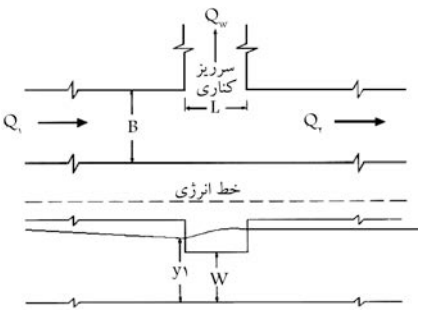
در ارتباط با سرریزهای مستطیلی کناری مطالعات زیادی انجام شده اما درمورد شکل‌های دیگر سرریز، نظیر سرریزهای منقاری، بررسی جامع و شناخته‌شده‌یی صورت نگرفته است. این پژوهش با استفاده از نتایج مدل آزمایشگاهی و بهره‌گیری از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی به بررسی مشخصات هیدرولیکی جریان در سرریزهای کناری منقاری می‌پردازد. نتایج حاصل از تحلیل ابعادی نشان می‌دهد که پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر ضریب دبی جریان در این نوع سرریزها (C_M) 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 (δ). 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.

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

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

۱. مقدمه

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 بهره جست. 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 ــ اعم از مستطیلی، مثلثی، ذوزنقه‌یی و منقاری ــ ساخته می‌شوند. در شکل ۱ شمایی از یک سرریز کناری ساده نمایش داده شده است. به‌طور کلی بررسی‌های تجربی انجام شده درمورد سرریزهای کناری به دو گروه قابل تقسیم‌اند. مطالعات گروه اول با فرض ثابت‌بودن انرژی در طول سرریز انجام شده است. در گروه دوم رفتار



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.

Archive of SID
www.SID.ir

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

اولین‌بار با نادیده‌گرفتن افت انرژی، از معادله‌ی انرژی برای به‌دست آوردن معادله‌ی حاکم بر جریان استفاده شد.[۱] اگر چه برخی محققین معتقدند عمل شاخه‌بی‌شدن جریان موجب افت انرژی نمی‌شود یا در مقایسه با افت ناشی از اصطکاک ناچیز است،[۲-۴] در مقابل عده‌یی بر این باورند که چون عمل شاخه‌یی شدن جریان موجب افت انرژی می‌شود[۵] نمی‌توان از آن صرف نظر کرد و باید از معادله‌ی اندازه حرکت برای به‌دست آوردن روابط مربوطه استفاده کرد. اگرچه در حال‌حاضر 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 ــ به‌خصوص در ارتباط با فرم‌های مختلف هندسی سرریز و نحوه‌ی استقرار آن‌ها در کانال انحرافی نسبت به کانال اصلی ــ 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 نظرگیرد 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.[۶-۱۳]

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 مک‌کولاچ[۱] ارائه شد؛ روزنبلات[۲] یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی به‌نام پرسپترون ارائه کرد؛ محدودیت‌های پرسپترون توسط مینسکی[۳] ثابت شد؛ و هاپفیلد[۴] شبکه‌های عصبی هاپفیلد را ارائه کرد.[۱۴] با پیدایش قانون پس‌انتشار خطا توسط روملهارت[۵]، تحول جدیدی در این زمینه ایجاد شد. سال ۱۹۹۰ سالِ آغاز تحقیقات گسترده در زمینه‌ی مدل شبکه‌های عصبی و ورود این مباحث در سایر علوم بود. با توجه به پویایی مدل‌های شبکه‌ی عصبی، محققینِ 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[۱۵] و برخی نیز از شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی در مقاطع مستطیلی و ذوزنقه‌یی واگرا بهره‌گرفته‌اند.[۱۶] در مطالعه‌یی دیگر، میزان آب‌گذری سرریزهای کنگره‌یی مثلثی در پلان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برآورد شد.[۱۷] با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های مختلفِ انجام‌شده به‌منظور تعیین ضریب اصطکاک دارسی ـ وایسباخ، یک مدل شبکه‌ی عصبی تهیه و روابطی در این زمینه ارائه شد.[۱۸] 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[۱۹] و با استفاده از توابع خطای موجود، نتایج این مدل با برخی از روابط ارائه‌شده توسط سایر محققین مقایسه شد. درخصوص سرریزهای کناری ساده تحقیقات مشابه دیگری ارائه شده است.[۲۰و۲۱] برخی از روابط ارائه‌شده توسط محققین مختلف برای اشکال مختلف سرریزهای کناری به‌طور خلاصه در جدول ۱ آمده است. با دقت در این جدول و مطالعه‌ی جامع

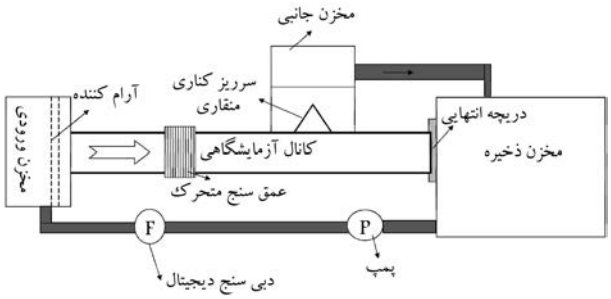
جدول ۱. روابط تعیین ضریب تخلیه جریان در سرریزهای کناری توسط سایر محققین.

نام محقق	سال انجام تحقیق	رابطه‌ی ارائه‌شده	ملاحظات
ناندسامورسی و تامسون[۹]	۱۹۷۲	$C_M = ۰/۴۳۲\sqrt{\frac{۲+Fr_۱^۲}{۱+۲Fr_۱^۲}}$	$Fr_۱ < ۱$
جلیلی و برقعی[۱۱]	۱۹۹۶	$C_M = ۰/۷۱ - ۰/۴۱Fr_۱ - ۰/۲۲\frac{w}{y_۱}$	سرریز لبه تیز مستطیلی
برقعی و همکاران[۱۲]	۱۹۹۹	$C_M = ۰/۷ - ۰/۴۸Fr_۱ - ۰/۳\frac{w}{y_۱} + ۰/۰۶\frac{L}{B}$	سرریز لبه تیز مستطیلی
برقعی و کبیری[۲۲]	۱۳۸۴	$C_M = \frac{۱۵/۶ - ۳/۱Fr_۱^۲}{۲۷/۶ + ۴/۷(\frac{w}{y_۱}) + ۱/۲(\frac{L}{B})}$	سرریز لبه تیز مستطیلی
نکویی[۲۳]	۱۳۸۵	$C_M = ۰/۲۵۳ - ۰/۱۱۹(w\sin(\delta/۲)/(y_۱ - w)) - ۰/۰۲۱(w\sin(\delta/۲)/(y_۱ - w))^۲ + ۰/۲۹۹(Fr_۱/\sin(\delta/۲)) - ۰/۰۶۴(Fr_۱/\sin(\delta/۲))^۲ + (۰/۰۴۴(L'/B) + ۰/۱۷۲(L'/L))(w\sin(\delta/۲)/(y_۱ - w))$	سرریز کناری منقاری در پلان
اسماعیلی[۲۴]	۱۳۸۸	$C_M = ۰/۱۲۳ + ۰/۲۳۳(\frac{w}{y_۱}) + ۰/۵۸۷Fr_۱ + ۰/۰۹۸۶(\frac{L}{B}) + ۰/۰۷۰۶\sin(\delta/۲)$	سرریز کناری منقاری در پلان

Archive of SID

www.SID.ir

تاریخچه‌ی پژوهش در ارتباط با سرریزهای کناری می‌توان دریافت که درخصوص فرم‌های مختلف هندسی سرریز و از جمله سرریزهای کناری منقاری مطالعه‌ی جامع و شناخته‌شده‌یی صورت نگرفته است. لذا در این تحقیق با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی برگرفته از مدل‌های مختلف سرریزهای کناری منقاری 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.



شکل ۲. پلان کلی آزمایش.

۲. تحلیل ابعادی و تجهیزات آزمایشگاهی

۱.۲. تحلیل ابعادی و پارامترهای مؤثر

در این پژوهش برای به دست آوردن ضریب دبی، پس از شناسایی تمامی متغیرهای مؤثر، با استفاده از نظریه‌ی π باکینگهام متغیرهای بی‌بعد به دست آمده‌اند. متغیرهای بی‌بعدی که با توجه به نتایج تجربی گذشته و آزمایش‌های صورت‌گرفته اثر ناچیزی دارند، حذف شدند و درنهایت 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 (ρ)، لزجت دینامیکی (μ)، کشش سطحی (σ)، 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 منقاری (δ) و شتاب ثقل (g). براین اساس رابطه‌ی بین متغیرهای مؤثر بر مسئله را می‌توان به‌صورت رابطه‌ی ۱ نوشت:

$$\Phi(\rho, \mu, g, \sigma, y_1, V_1, L, B, w, S_0, \delta, C_M) = 0 \qquad (1)$$

در هیدرولیک کانال‌های بازوقتی جریان آشفته باشد، تأثیر نیروی لزجت در مقایسه با نیروهای اینرسی اندک است؛ از آنجا که اصولاً وضعیت جریان درکانال‌ها 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 وبر نیز صرف‌نظر می‌شود. همچنین برخی از محققین با ناچیزدانستن اثر شیب کف در جریان‌های زیربحرانی از تأثیر S_0 نیز صرف‌نظر کرده‌اند.[۵] همچنین چون هیدرولیک پایین‌دست جریان وابسته به جریان بالادست است، لذا در نظرگرفتن هیدرولیک جریان تنها در یکی از مقاطع کافی است. یعنی:

$$C_M = \Phi\left(Fr_1, \frac{w}{y_1}, \frac{L}{B}, \delta\right) \qquad (2)$$

در ادامه با استفاده از رابطه‌ی ۲ و بهره‌گیری از نتایج مدل آزمایشگاهی، تابع Φ 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.[۲۴] در شکل ۲ شمای کلی مدل آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است. مقطع کانال مستطیلی به‌عرض ۴۰ سانتی‌متر و طول مفید ۸ متر است. دیواره‌ی کانال از جنس پلکسی‌گلاس شفاف، به‌ضخامت ۲ سانتی‌متر و دارای ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر است. آب پس از پمپاژ توسط پمپی با بیشینه ظرفیت ۵۰ 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 آرام‌کردن 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 درنتیجه 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 ۳/۵ متری از ابتدای کانال توسعه یافته است. برای اطمینان بیشتر سرریز کناری در فاصله‌ی ۴/۵ متری از ابتدای کانال نصب شد. دبی جریان قبل از سرریز کناری (Q_1) با استفاده از دبی‌سنج دیجیتال واسنجی‌شده، که در فاصله‌ی بین پمپ و مخزن بالادست قرار دارد، اندازه‌گیری شده و با استفاده از دریچه‌ی کشویی در انتهای کانال، سطح آب درکانال تنظیم می‌شد. 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 ــ به‌طول ۲ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۱/۵ متر ــ 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 به‌وسیله‌ی خط لوله به داخل این مخزن هدایت می‌شود. به‌منظور کاهش اثرات ورودی، کانال به‌صورت انحنادار به مخزن وصل شده است. مشخصه‌های هیدرولیکی و هندسی متغیر در آزمایش‌های انجام‌شده عبارت‌اند از: دبی، عمق، طول، ارتفاع و زاویه‌ی داخلی سرریزهای کناری منقاری. 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 ۰/۱۵ تا ۰/۷ بوده و شرایط جریان زیربحرانی برقرار بوده است. در مجموع حدود ۲۵۰ آزمایش در ۳۶ مدل آزمایشگاهی انجام شده است.

۳. مدل شبکه‌های عصبی و متدلوژی مورد استفاده

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

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. محدوده‌های اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر.

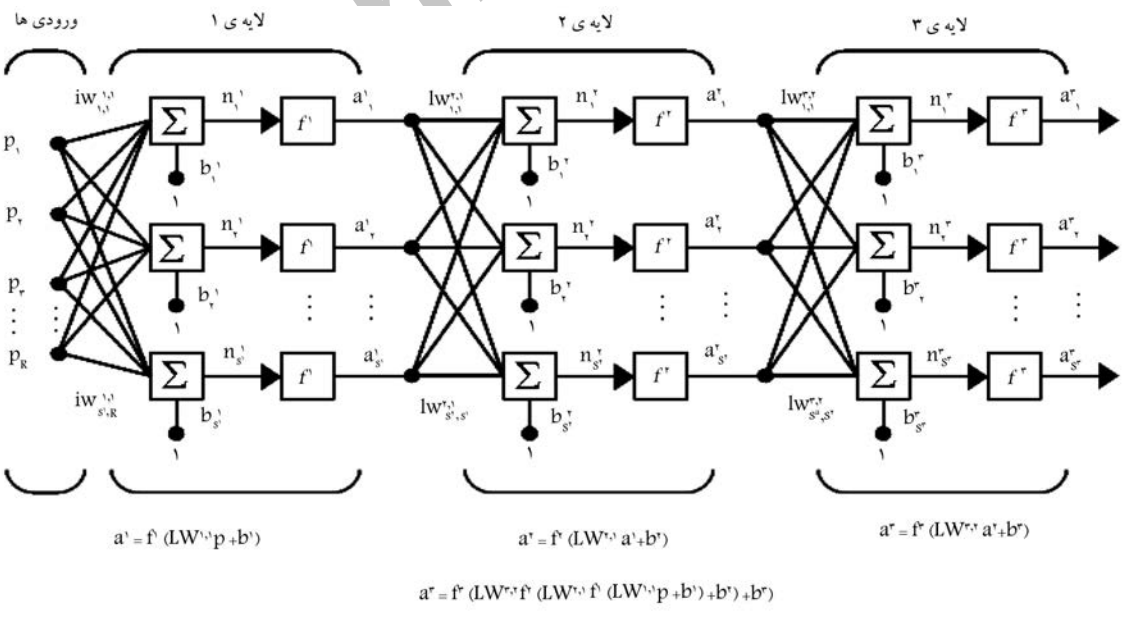
نوع سرریز	دبی بالادست Q (lit/s)	زاویه راس δ (deg.)	ارتفاع سرریز w (cm)	عرض سرریز L (cm)	فرود بالادست Fr_1	تعداد مدل آزمایشگاهی
منقاری	۱۰-۴۵	۷۵، ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۳۵	۱۰، ۱۵ و ۲۰	۲۶، ۵۰ و ۷۵	۰٫۷-۰٫۱۵	۲۷

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[6]» به ساخت مدلی براساس داده‌های دسته‌ی اول اختصاص دارد. فعالیت دوم موسوم به «آزمایش حین آموزش[7]»، 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[8]» 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.

برای ایجاد مدل شبکه‌های عصبی، از جعبه‌ابزار شبکه‌های عصبیِ نرم‌افزار MATLAB (نسخه‌ی ۷.۶.۰.۳۲۴) استفاده شده است. چنان که مطرح شد، هر مدل شبکه‌ی عصبی از سه لایه‌ی ورودی، پنهان و خروجی تشکیل شده است. در لایه‌ی ورودی، پارامترهای مستقل ورودی وارد مدل می‌شوند. پارامترهای مستقل ورودی همان پارامترهایی هستند که از تحلیل ابعادی (L/B، w/y_1، Fr_1، $\sin(\delta/2)$) به دست آمده‌اند. همچنین برای آموزش مدل، از الگوریتم پس‌انتشار خطا استفاده شده است. شبکه‌های پس‌انتشار شبکه‌های چندلایه‌یی هستند که از آن‌ها برای تقریب‌زدن یک تابع، یافتن رابطه‌یی بین ورودی و خروجی، و دسته‌بندی ورودی‌های براساس روش تعیین‌شده توسط طراح استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی مانند روش درهم‌آمیزی شیب‌ها و روش‌های نیوتن وجود دارند که مبتنی بر این الگوریتم استاندارد هستند. در روش پس‌انتشار خطا، اوزان و بایاس‌های موجود در معادلات مربوطه بهینه می‌شوند. در ساده‌ترین پیاده‌سازی، یادگیری پس‌انتشار خطا به‌شکل معادله‌ی ۳ است:

$$x_{k+1} = x_k - \alpha_k g_k \qquad (۳)$$

که در آن، x_k بردار فعلی وزن‌ها یا بایاس‌ها، g_k شیب فعلی و α_k سرعت یادگیری است. در تحقیق حاضر از روش لونبری-مارکوآرت[9] در آموزش مدل استفاده شده است. این روش از شیوه‌های استاندارد بهینه‌سازی عددی برای تخمین ماتریس کارآیی هسین[10] استفاده می‌کند. همچنین توابع انتقال استفاده‌شده در مدل، تابع تانژانت سیگموئید است. خصوصیت این تابع، عدم محدودیت در مشتق‌پذیری است. با توجه به روابط استفاده‌شده در الگوریتم پس‌انتشار 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،



شکل ۳. مدل شبکه‌های عصبی چندلایه.

www.SID.ir

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:

$$Cor(x,y)=\frac{Cov(x,y)}{\sigma_x\sigma_y} \qquad (۴)$$

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

$$Cov(x,y)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})(y_i-\overline{y}) \qquad (۵)$$

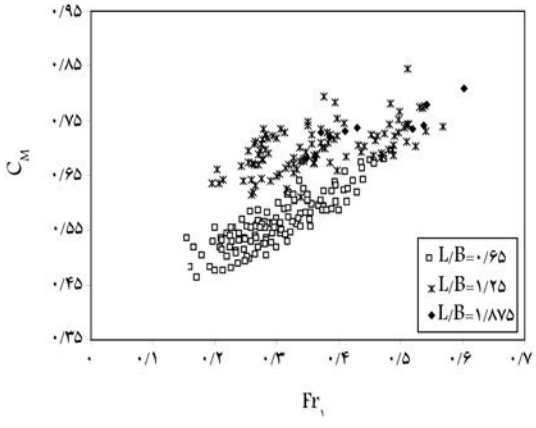
در روابط ۴ و ۵، $\overline{x}$، میانگین x_iها و σ_x انحراف معیار استاندارد آن‌هاست.

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 هریک از پارامترهای بی‌بعد با ضریب دبی جریان آورده شده است.

الف) نتایج آزمایشگاهی

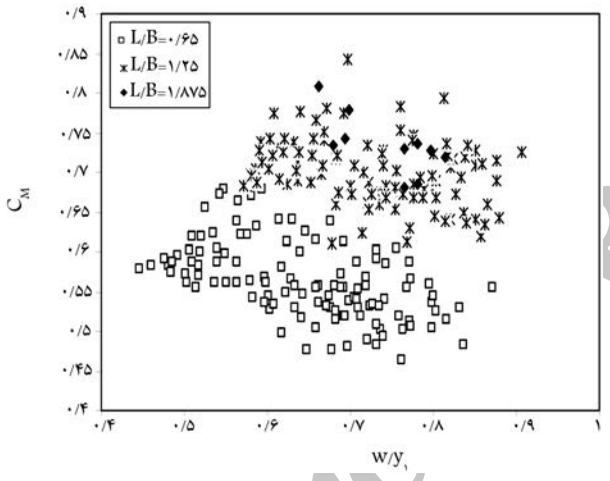
برای تعیین ضریب C_M آزمایشگاهی از رابطه‌ی معروف دیمارچی[۱] استفاده شده است. در شکل ۴ تغییرات C_M برحسب Fr_1 برای L/Bهای مختلف در سرریز کناری منقاری نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، در بیشتر موارد براثر افزایش عدد فرود مقدار ضریب C_M افزایش می‌یابد. زیرا اینرسی جریان در راستای انحراف افزایش یافته و به‌تبع آن مقدار دبی عبوری از سرریز کناری افزایش می‌یابد.



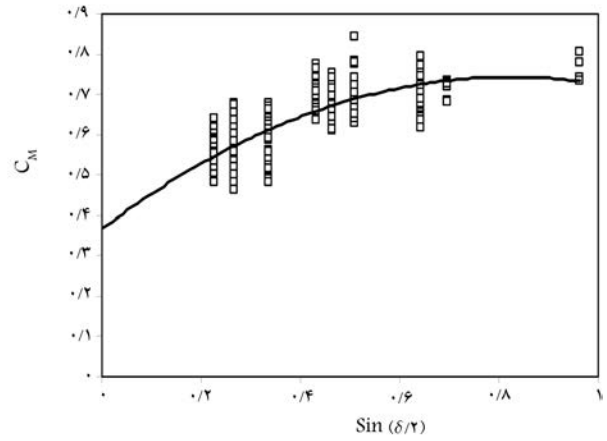
شکل ۴. تغییرات C_M بر حسب Fr_1 در سرریز کناری منقاری.

در شکل ۵ تغییرات C_M برحسب w/y_1 برای L/Bهای 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. چنان که مشاهده می‌شود مقدار C_M با افزایش این پارامتر ابتدا افزایش یافته و سپس تقریباً ثابت می‌ماند. برای دست‌یابی به تابع Φ 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 پیش‌تعریف شده و مدل‌های آماری است. برای این کار از اطلاعات اندازه‌گیری شده‌ی آزمایشگاهی استفاده شده است. بدین‌منظور، به روش سعی و خطا و با فرض توابع مختلف برای متغیر C_M به‌عنوان متغیر وابسته در ارتباط با متغیرهای مستقل ــ نظیر w/y_1، L/B، Fr_1، $\sin(\delta/2)$ ــ معادلاتی برای C_M استخراج شد و سپس با استفاده از توابع خطای WQD و $NRMSE$ (روابط ۶ و ۷)، مقدار خطای نتایج آزمایشگاهی



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



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

www.SID.ir

و نتایج حاصل از روابط تعیین شد.

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum(f(x) - F(x))}{\sum(f(x) - \overline{f})}} \quad (۶)$$

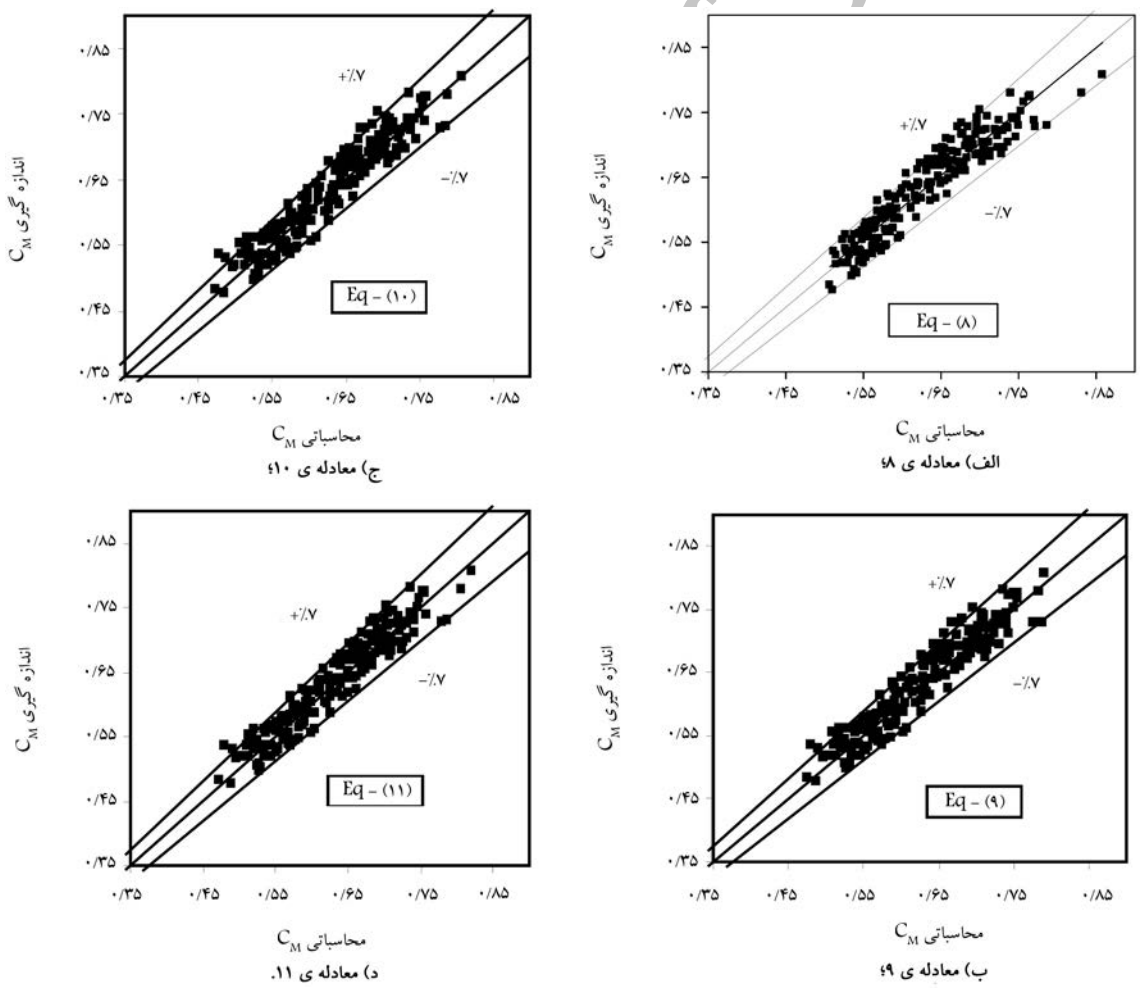
$$WQD = \frac{\sqrt{\sum(F(x)f(x)\,(f(x) - F(x))^{۲}}}{\sum(f(x)F(x))} \quad (۷)$$

در این رابطه‌ها $f(x)$ مقدار اندازه‌گیری‌شده، $F(x)$ مقدار تخمینی و $\overline{f}$ 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 به‌دست آمده از نرم‌افزار SPSS و مقادیر خطای WQD و $NRMSE$ و میزان همبستگی $R^{۲}$ برای هریک ارائه شده است.

در شکل ۷ مقایسه‌یی از نتایج حاصل از روابط تخمینی ۸ تا ۱۱ و مقادیر اندازه‌گیری‌شده آزمایشگاهی برای سرریزکناری منقاری 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 منقاری.

شماره‌ی معادله	معادله	WQD	$NRMSE$	$R^{۲}$
۸	$C_M = ۰/۱۲۳ + ۰/۲۳۳(\frac{w}{y_۱}) + ۰/۵۸۷Fr_۱ + ۰/۰۹۸۶(\frac{L}{B}) + ۰/۰۷۰۶\sin(\delta/۲)$	۰/۰۴۲۶	۰/۴۰۵	۰/۸۳۶
۹	$C_M = (۰/۳۸۲ - ۰/۲۱۵Fr_۱) \times (-۰/۰۵۸ + ۰/۳۴۹(\frac{L}{B})\sin(\delta/۲) + ۰/۹۱۸(\frac{w}{y_۱}) + ۳/۶۳Fr_۱)$	۰/۰۴۰۵	۰/۳۹۵	۰/۸۴۴
۱۰	$C_M = [(۰/۰۲۲ + ۰/۸۶۳Fr_۱)]^{(۰/۷۷۸ - ۰/۱۳۷(\frac{L}{B})\sin(\delta/۲) - ۰/۴۱۱(\frac{w}{y_۱}))}$	۰/۰۳۹۳	۰/۳۸۷	۰/۸۵۰
۱۱	$C_M = [(۰/۰۱۰۵ + ۰/۷۸۹Fr_۱)]^{(۰/۷۵۹ - ۰/۱۱۴۵(\frac{L}{B}) - ۰/۰۹۳Sin(\delta/۲) - ۰/۳۲۴(\frac{w}{y_۱}))}$	۰/۰۳۸۹	۰/۳۷۴	۰/۸۶۰



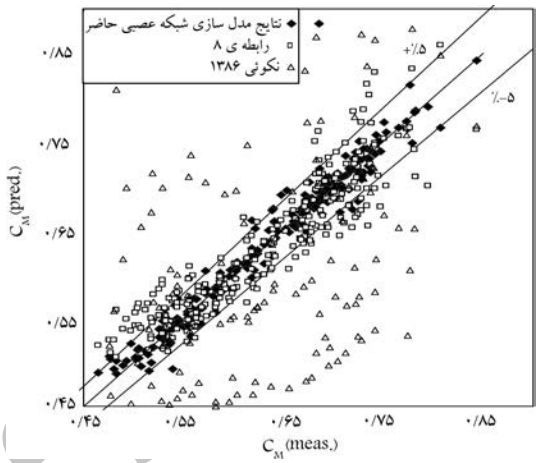
الف) معادله ی ۸؛ ب) معادله ی ۹؛ ج) معادله ی ۱۰؛ د) معادله ی ۱۱.

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

www.SID.ir

جدول ۴. نتایج تست همبستگی.

	w/y_1	L/B	$\sin(\delta/2)$	Fr_1
w/y_1	—	۰٫۳۹۵۷	−۰٫۱۰۶۳	−۰٫۴۳۶۰
L/B	۰٫۳۹۵۷	—	−۰٫۰۲۱۶	۰٫۴۴۳۳
$\sin(\delta/2)$	−۰٫۱۰۶۳	−۰٫۰۲۱۶	—	−۰٫۱۶۴۶
Fr_1	−۰٫۴۳۶۰	۰٫۴۴۳۳	−۰٫۱۶۴۶	—



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

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

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 بی‌بعد Fr_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 ــ یعنی WQD، $NRMSE$ و R^2 ــ استفاده شده است. این مقادیر به‌ترتیب برابر ۰٫۰۱۵۹، ۰٫۱۷۳۸ و ۰٫۹۶۹۸ هستند. در شکل ۸ مقایسه‌یی از نتایج مربوط به مقادیر ضریب دبی سرریز کناری منقاری، حاصل از مدل شبکه‌های عصبی و مقادیر اندازه‌گیری‌شده 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 بی‌بعد مؤثر بر ضریب دبی جریان در سرریزهای منقاری کناری ارائه شد و نهایتاً رابطه‌ی ۸ به‌عنوان 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 به‌منظور تخمین ضریب دبی جریان در سرریزهای منقاری کناری پایه‌ریزی شده و خروجی‌های حاصل از این مدل در دو حالت آموزش‌یافته و آموزش‌نیافته استخراج شد. بررسی و مقایسه‌ی نتایج نشان داد که مدل شبکه‌ی عصبی حاضر از دقت بسیار مناسب‌تری برخوردار است و لذا می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب برای تخمین ضریب دبی جریان در سرریزهای منقاری کناری مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

۱. حسینی، سیدمحمود 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).

پانوشت

1. McCulloch
2. Rosenbllat
3. Minsky
4. Hopfield
5. Romelhart
6. training
7. test while training
8. forecasting
9. Levenbery-Marqwardt
10. Hessian

Archive of SID
www.SID.ir

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، محمدذاکر و قدسیان، مسعود؛ «پیش بینی 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/cncns (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؛ «بهینه‌یابی 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. برقعی، 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 منقاری بصورت آزمایشگاهی، پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده‌ی 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، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۸۸).

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 subscritical 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 hydrometeorological parameters" *J. Hydrology,* **315**, pp. 236-251 (2005).

Archive of SID

www.SID.ir