

ارزیابی عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد پارامترهای هیدرولیکی سرریز پلان مثلثی

بهرام نورانی^۱، رضا نوروزی^۲، فرزین سلماسی^۳، هادی ارونقی^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۴

مقاله پژوهشی برگرفته از تحقیقات دانشجویان دکترا

چکیده

هدف از این تحقیق، ارائه یک رابطه برای تعیین ضریب دبی سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی است که در نهایت یک رابطه رگرسیونی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی بر اساس پارامترهای h/p و α با دقت زیاد ارائه شد. برای این منظور از دو مدل هوش مصنوعی ANN و GEP و نیز دو روش رگرسیونی MR-linear و MR-nonlinear در تخمین پارامتر بی بعد h/p و رابطه دبی - اشل این سرریزها استفاده شد. ارزیابی نتایج به دست آمده با استفاده از معیارهای آماری R^2 ، RMSE، NSE و RE% انجام گردید. مقادیر معیارهای آماری R^2 ، RMSE، NSE و RE% به ترتیب ۰/۹۹۸، ۰/۰۰۷۶، ۰/۹۹۷ و ۱/۷۴٪ برای مدل ANN، ۰/۹۸۳، ۰/۰۳۰۱، ۰/۹۹۸ و ۶/۸۶٪ برای مدل GEP، ۰/۹۸۶، ۰/۰۱۹۶، ۰/۹۸۵ و ۴/۰۹٪ برای مدل MR-linear و ۰/۹۸۷، ۰/۰۱۹۷، ۰/۹۸۴ و ۴/۰۹٪ برای مدل MR-nonlinear به دست آمد. نتایج معیارهای آماری، برتری ANN نسبت به سایر روش‌ها را نشان می‌دهد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که در سرریزهای پلان مثلثی بسته به زاویه قرارگیری، مقدار ضریب دبی جریان ۱ الی ۸ درصد نسبت به سرریزهای هم عرض کانال افزایش می‌یابد. ضمناً در شرایطی که بار آبی روی تاج این سرریزها کم باشد، کارایی بهتری از خود نشان خواهند داد.

واژه‌های کلیدی: سرریز لبه تیز پلان مثلثی، ضریب دبی جریان، دبی - اشل، ANN، GEP.

^۱ دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۷۸۲۲۶۱۹ پست الکترونیکی: Nourani.t_bahram@yahoo.com

^۲ دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۷۰۸۴۳۳۸ پست الکترونیکی: Rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir

^۳ استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۳۱۷۸۳۳۲ پست الکترونیکی: Salmasi@tabrizu.ac.ir (مسئول مکاتبه)

^۴ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۴۱۹۵۰۸۵ پست الکترونیکی: Arvanaghi@tabrizu.ac.ir



مقدمه

سرریز خطی بیشتر بوده و به تدریج با افزایش دبی جریان، شدت تداخل بیشتر می‌شود. این موضوع منجر به کاهش ضریب دبی جریان شده و مقدار آن متمایل به ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه پهن می‌شود.

Kumar et al. (2011) سرریزهای با پلان منحنی را بررسی کردند. این سرریزها می‌توانند به راحتی و با دقت بالا به عنوان یک وسیله اندازه‌گیری استفاده شوند. آن‌ها معادله رایج برای محاسبه ضریب دبی (C_d) را به دست آوردند که برای محاسبه C_d برای تمامی مقادیر در محدوده مشخص قابل استفاده می‌باشد. به خاطر ظرفیت تخلیه بالای این نوع سرریزها نیاز به ارتفاع آزاد در کانال‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه در این بخش کانال اقتصادی‌تر طراحی می‌شود. همچنین به خاطر شکل هندسی ساده طراحی، ساخت و نصب آن حتی در کانال‌های موجود بسیار آسان است. سرریز منحنی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه، دارای شکل پلان بهینه می‌باشد. آن‌ها اظهار داشتند که استفاده از سرریز منحنی با حداقل پیچیدگی در طراحی و نصب منجر به افزایش قابل توجهی در ضریب دبی خواهد شد.

Distefano and Ferro (2013) روند جریان عبوری از روی سرریز دارای شکل مثلثی در پلان را بررسی کردند و با استفاده از آنالیز ابعادی و تئوری تشابه، یک رابطه‌ای برای دبی-اشل این نوع سرریزها، بر اساس پارامترهای طول تاج، ارتفاع و زاویه دیواره استخراج نمودند.

Gupta (2014) مشخصات جریان روی سرریزهای W شکل لبه‌تیز در پلان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که راندمان این نوع سرریزها بهتر از سرریزهای معمولی است. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی انجام شده در این پژوهش، معادلاتی نیز برای محاسبه دبی ارائه شد. این معادلات با ۵ درصد نوسانات خطایی، قابلیت محاسبه مقدار دبی را داشت. حساسیت سرریز نسبت به هد آب نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که سرریز در هدهای کم و زوایای کوچک راس، بسیار حساس است. Nourani et al. (2019) به بررسی رابطه دبی-اشل و ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی با استفاده از نرم-افزار انسیس فلونت^۱ پرداختند. نتایج نشان داد که در سرریزهای پلان مثلثی با موقعیت زاویه قرارگیری مختلف، میزان ضریب دبی جریان ۱ الی ۸ درصد نسبت به

روش‌های بسیاری برای اندازه‌گیری دبی آب ورودی به کانال‌ها و همچنین کنترل سطح آب وجود دارد، که از عمومی‌ترین آن‌ها می‌توان استفاده از سرریزها، فلوم‌ها، روزنه‌ها و ایستگاه‌های اندازه‌گیری را نام برد. در میان این سازه‌ها، سرریزها به علت داشتن روابط ساده و نسبتاً دقیق کاربرد بیشتری دارند و از لحاظ قدمت، سادگی ساخت و اقتصادی بودن یکی از متداول‌ترین سازه‌های اندازه‌گیری و همچنین تنظیم سطح آب در کانال‌ها و رودخانه‌ها هستند. در سرریزهای مستقیم با اصلاح یک یا ترکیبی از سه عامل ضریب دبی، طول تاج سرریز و ارتفاع آب بالادست می‌توان دبی عبوری را تغییر داد (Oskuii, 2014).

در سرریزهای مستقیم محل احداث سرریز باید عریض شود تا طول موثر افزایش یابد. در بسیاری از موارد محدوده قابل دسترسی برای افزایش پهنای سرریز موجود نیست. اما در سرریزهای پلان مثلثی محور تاج سرریز به صورت غیرخطی بوده که در یک عرض معین، طول تاج بیشتری نسبت به سرریزهای متداول خطی دارند و به دلیل افزایش طول موثر سرریز پلان مثلثی نسبت به سرریز معمولی، دارای ضریب دبی بیشتری می‌باشند. از کنار هم قرارگیری دو یا چند سرریز پلان مثلثی یک سرریز چند وجهی ایجاد می‌شود (Carollo et al., 2012).

اولین مطالعات در خصوص ضوابط طراحی و عملکرد هیدرولیکی سرریزهای چند وجهی توسط Taylor (1968) و Hay and Taylor (1970) روی مدل‌های با پلان هندسی مثلثی، مستطیلی و دوزنقه‌ای با شکل تاج لبه‌تیز صورت پذیرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که بازده سرریزهای چند وجهی (مثلثی، مستطیلی و دوزنقه‌ای) در بار هیدرولیکی کم مطلوب است.

Crookston and Tullis (2012) خصوصیات تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در سرریزهای کنگره‌ای با دو و چهار سیکل مثلثی و زوایای راس مختلف را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌های انجام شده نشان داد که در دبی‌های کم، به دلیل تداخل کم تیغه‌های ریزشی، ضریب دبی جریان از

^۱ ANSYS FLUENT

توسعه یافته‌اند که در این میان مدل‌های هوشمند با الهام گرفتن از طبیعت قادر به تخمین پارامترهای مربوط به پدیده‌های طبیعی با دقت قابل قبول می‌باشند و نیز دقت قابل توجهی نسبت به سایر روش‌ها دارند. با توجه به بررسی منابع صورت گرفته مشاهده می‌شود که مطالعات محدودی با مدل‌های هوشمند برای تخمین ضریب دبی سرریزهای پلان مثلثی صورت گرفته است.

لذا در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی Kumar et al. (2011)، عملکرد مدل‌های هوشمند شبکه عصبی مصنوعی^۱ (ANN) و برنامه‌ریزی بیان ژن^۲ (GEP) و همچنین روش‌های رگرسیونی چندگانه خطی (MR-linear) و غیرخطی (MR-nonlinear) در تخمین ضریب دبی سرریزهای پلان مثلثی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین یک رابطه مستقیم و با دقت بالا برای تخمین ضریب دبی این نوع از سرریزها با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی با توجه به مشخصات هندسی استخراج گردید که با استفاده از این رابطه پیشنهادی و با به کارگیری آن در رابطه عمومی سرریزهای لبه‌تیز هم عرض کانال، می‌توان دبی جریان عبوری از روی این نوع سرریزهای لبه‌تیز غیرخطی (پلان مثلثی) را تعیین نمود.

مواد و روش‌ها

برای یک سرریز لبه‌تیز مستطیلی هم‌عرض کانال می‌توان نوشت:

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L h^{3/2} \quad (1)$$

$$h = \left(\frac{9}{8 C_d^2} \right)^{1/3} \left(\frac{Q^2}{L^3 g^3} \right) \quad (2)$$

$$K_s = \left(\frac{Q^2}{L^3 g^3} \right) \quad (3)$$

سرریزهای هم عرض کانال افزایش می‌یابد. محدوده ضریب دبی جریان با استفاده از رابطه پیشنهادی ۰/۵۹ تا ۰/۸۱ بدست آمد و به ازای زاویه ۱۵ درجه، ضریب دبی حداکثر حاصل شد. نیک‌پیک و کاشفی‌پور (۲۰۱۶)، به بررسی تاثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی ریاضی ضریب دبی سرریزهای پلان مثلثی (منقاری) و مایل پرداختند. آن‌ها ضریب دبی جریان برای سرریزهای نوک‌اردکی و مایل را برای سه زاویه مختلف و در سه ارتفاع تعیین و نتایج به دست آمده با ضریب دبی سرریز مستطیلی ساده را مورد بررسی قرار دادند. ایشان نتیجه گرفتند که سرریزهای نوک‌اردکی و مایل فقط برای ارتفاع آب کم در بالادست راندمان بالاتری دارند، در نتیجه می‌توانند دبی بیشتری را با ارتفاع کم آب بالادست عبور دهند. Emami et al. (2018) به بررسی عددی تاثیر پارامترهای هندسی سرریز پلان مثلثی (منقاری) بر ضریب دبی جریان پرداختند. در این مطالعه، نرم‌افزار فلونت به عنوان یک آزمایشگاه مجازی مورد استفاده قرار گرفت و شبیه‌سازی‌های عددی گسترده‌ای برای بررسی اثر هندسه بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که با تغییر زاویه راس سرریز، ضریب دبی در محدوده ارتفاع نسبی کمتر از ۰/۳ متر رضایت‌بخش است.

Shafiei et al. (2019) ضریب دبی سرریزهای غیرخطی با الگوریتم ANFIS-FFA را بررسی نمودند و نتایج نشان داد که دقت مدل ANFIS-FFA در پیش‌بینی ضریب دبی سرریزهای خطی بیشتر از مدل ANN است. Norouzi et al. (2019) عملکرد مدل‌های هوشمند ANNs و SVM را در پیش‌بینی ضریب دبی سرریزهای غیرخطی را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که عملکرد هر دو مدل در پیش‌بینی ضریب دبی سرریز غیرخطی قابل قبول است اما نتایج حاصل از مدل ANNs به داده‌های آزمایشگاهی نزدیکتر است.

پیش‌بینی ضریب دبی سرریزهای غیرمستقیم مورد توجه محققین امر بوده و بدین منظور روش‌های متعددی از جمله مدل‌های تجربی، نیمه - تجربی و مدل‌های هوشمند

¹ Artificial Neural Network

² Gene Expression Programming



۴ سانتی متر بیشتر باشد، می توان اثر کشش سطحی را نیز نادیده گرفت. لذا در این تحقیق از عدد وبر نیز صرف نظر شد. بنابراین با در نظر گرفتن موارد فوق و با توجه به اینکه $B/L = \text{Sin}\alpha$ می توان نوشت:

$$\frac{h}{p} = \omega \left(\frac{K_s}{p}, \frac{L}{p}, \text{Sin}\alpha \right) \quad (7)$$

شبکه عصبی مصنوعی

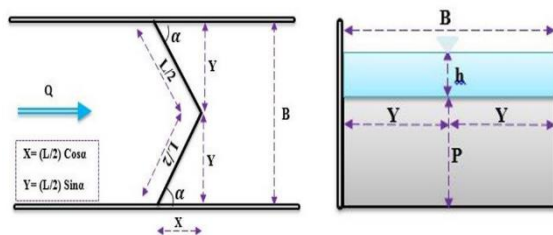
تمامی مسائل بهینه سازی شامل دو مرحله مدل سازی و برنامه ریزی است که به ترتیب شامل تشکیل تابع هدف، قیود و محدودیت ها (مرحله اول، مدل سازی) و تعیین شرایط بهینه در رسیدن به جواب ایده آل (مرحله دوم، برنامه ریزی) می باشند.

شبکه عصبی مصنوعی (ANN) متشکل از مجموعه ای از نرون ها با ارتباطات داخلی بین یکدیگر می باشد که قادر است بر اساس اطلاعات و داده های ورودی، جواب های خروجی را تهیه نماید. شبکه های عصبی معمولاً به صورت لایه لایه و منظم ایجاد می گردند. اولین لایه که اطلاعات و داده های ورودی به آن وارد می گردند لایه ورودی است. لایه های میانی لایه های مخفی و آخرین لایه که جواب های خروجی از مدل را فراهم می نماید، لایه خروجی می باشد (Norouzi et al, 2019). معماری بهینه شبکه در تحقیق حاضر بصورت ۱-۸-۳ (۳ لایه ورودی^۱، ۸ نرون در لایه پنهان^۲ و ۱ لایه خروجی^۳) و با تابع انتقال تانژانت سیگموئید برای لایه ورودی و تابع خطی برای لایه خروجی به همراه الگوریتم آموزشی لونیگ مارکوارت (LMA) و با تکرار ۱۰۰ انجام گردید. لازم به ذکر است که مدل تخمینی با شبکه عصبی مصنوعی در محیط نرم افزار ممتیکا^۴ به گونه ای تنظیم گردید که داده ها به صورت تصادفی^۵ برای هر دو دوره آزمون و آموزش انتخاب گردد. سپس فرایند تخمین با مدل مورد نظر انجام گیرد. بعد از انتخاب تصادفی

$$\frac{h}{p} = \left(\frac{9}{8 C_d^2} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow C_d = \frac{3}{\sqrt{8}} \left(\frac{K_s}{\frac{h}{p}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

برای یک سرریز لبه تیز پلان مثلثی که در شکل ۱ نشان داده شده، رابطه دبی-اشل می تواند به فرم رابطه ۵ بیان گردد:

$$\emptyset(h, Q, p, L, g, \mu, \rho, \sigma, B) = 0 \quad (5)$$



شکل (۱): نمایی از سرریز لبه تیز پلان مثلثی

در رابطه ۶، h ارتفاع آب بالای تاج سرریز، p ارتفاع سرریز، B عرض کانال، L طول تاج سرریز، σ کشش سطحی، ρ جرم واحد حجم سیال و μ لزجت دینامیکی سیال می باشد.

با استفاده تئوری باکینگهام^۱ می توان رابطه فوق را به پارامترهای بی بعد به فرم رابطه ۶ تبدیل نمود:

$$\frac{h}{p} = f \left(\frac{K_s}{p}, \frac{L}{p}, Re, We, \frac{B}{L} \right) \quad (6)$$

که در رابطه فوق Re عدد رینولدز است که هندرسون (۱۹۹۶) نشان داد که اگر عدد رینولدز به اندازه کافی بزرگ باشد، می توان از اثر لزجت صرف نظر کرد. در این پژوهش نیز جریان در سرریز کاملاً متلاطم بوده و می توان از عدد رینولدز صرف نظر کرد. همچنین در رابطه فوق We عدد وبر می باشد و در صورتی که ارتفاع آب روی سرریز از ۳ تا

¹ Buckingham's theory

² Input layer

³ Hidden layer

⁴ Output layer

⁵ Wolfram Mathematica

⁶ Random Sample

برنامه‌ریزی بیان ژن

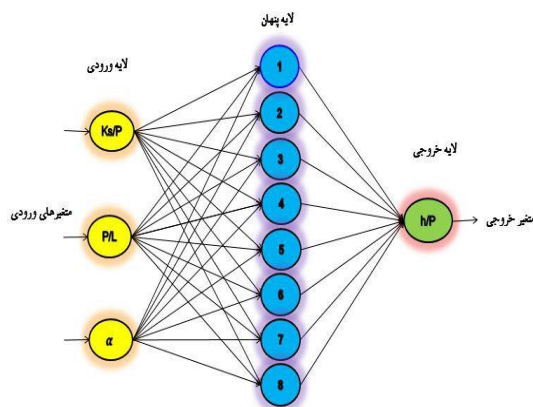
مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) تعمیم یافته الگوریتم ژنتیک می‌باشد که برای اولین بار بر اساس تئوری داروین ارائه شد. به این ترتیب که جمعیتی که در جهت تکامل به صورت انتخابی، جمعیت نامناسب را رها کرده و فرزندان اصلاح شده ایجاد می‌کنند. برنامه‌ریزی بیان ژن یک تکنیک برنامه‌ریزی خودکار می‌باشد که راه‌حل مسئله را با استفاده از برنامه کامپیوتری ارائه می‌کند. در این روش در ابتدای فرآیند هیچگونه رابطه تابعی در نظر گرفته نشده و این روش قادر به بهینه‌سازی ساختار مدل و مولفه‌های آن می‌باشد. برنامه‌ریزی بیان ژن بر خلاف الگوریتم ژنتیک روی ساختار درختی فرمول‌ها بجای سلسله ارقام دودویی عمل می‌کند. ساختارهای درختی از مجموعه توابع (عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها) و ترمینال‌ها (متغیرهای مسئله و اعداد ثابت) ایجاد می‌شوند (Koza, 1992).

مراحل برنامه‌ریزی بیان ژن به صورت زیر است:

- ۱- تولید یک جمعیت اولیه از فرمول‌ها که این فرمول‌ها از ترکیب تصادفی مجموعه توابع (عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها) و ترمینال‌ها (متغیرهای مسئله و اعداد ثابت) ایجاد می‌شوند.
- ۲- هر یک از افراد مذکور با استفاده از توابع برازش مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.
- ۳- تولید یک جمعیت جدید از فرمول‌ها
- ۴- گام سوم تا نیل به حداکثر تعداد تولید، تکرار خواهد شد.

لازم به ذکر می‌باشد که در تحقیق حاضر، برای به کارگیری روش برنامه‌ریزی بیان ژن از نرم‌افزار GenXpro Tools 4.0 استفاده گردید (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۴). پارامترهای مورد استفاده و نرخ آن‌ها جهت تخمین پارامتر مورد نظر در تحقیق حاضر با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن در صورتی که تعداد جمعیت تا ۱۰۰۰۰ در نظر گرفته شده است، جدول ۱ آمده است

داده‌ها برای هر دوره در مرحله بعدی تخمین با مدل مورد نظر انجام گردید و مقدار پارامترهای آماری ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) نیز محاسبه گردید. با توجه به اینکه داده‌ها در هر مرحله به صورت تصادفی انتخاب می‌شد، در هر مرحله مقادیر مختلفی برای ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا حاصل می‌گشت، بنابراین برنامه به نحوی نوشته شد که داده‌هایی که بالاترین ضریب تبیین و کمترین جذر میانگین مربعات خطا را دارند، در نظر گرفته شود و فرایند تخمین با مدل مورد نظر، برای این سری از داده‌ها انجام گیرد. بعد از ۱۰۰ بار تکرار شرایط انتخاب تصادفی فوق‌الذکر در نرم‌افزار متمتیکا، بهترین شرایط از لحاظ ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا انتخاب گردید ($R^2=0/998$ و $RMSE=0/00761$) و سپس این ترکیب از داده‌ها برای دوره آزمون و آموزش در سایر مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۲ ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.



شکل (۲): ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

جدول (۱): مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل GEP

مقدار	پارامتر
۷	اندازه سر (Head Size)
۳۰	تعداد کروموزومها (Chromosomes)
۳	تعداد ژن‌ها (Number of genes)
۰/۰۴۴	نرخ جهش (Mutation Rate)
۰/۱	نرخ وارون‌سازی (Inversion Rate)
۰/۳	نرخ ترکیب تک-نقطه‌ای (One-Point Recombination Rate)
۰/۳	نرخ ترکیب دو-نقطه‌ای (Two-Point Recombination Rate)
۰/۱	نرخ ترکیب ژن (Gene Recombination Rate)
۰/۱	نرخ ترانهش درج متوالی (IS Transposition Rate)
۰/۱	نرخ ترانهش ریشه درج متوالی (RIS Transposition Rate)
۰/۱	نرخ ترانهش ژن (Gene Transposition Rate)
RMSE	معیار خطای تابع برازش (Fitness Function Error Type)
جمع (+)	تابع پیوند (Linking Function)
۱۰۰۰۰	Evolve Until (Generation Number)

آن‌ها (۳۱ عدد) نیز برای دوره آزمون مورد استفاده قرار گرفته است.

رگرسیون چندگانه خطی و غیرخطی

علاوه بر دو مدل هوشمند شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن، از روش آماری تحلیل رگرسیون که رابطه‌ای بین دو یا چند متغیر کمی را برای تخمین متغیر وابسته فراهم می‌نماید، نیز استفاده گردید برای ایجاد مدل‌های رگرسیون چندگانه خطی و غیرخطی، از نرم‌افزار SPSS22 استفاده گردید که در این نرم‌افزار مدل رگرسیون خطی به صورت خودکار ایجاد می‌گردد و ضرایب مدل به دست می‌آید ولی برای مدل غیرخطی چندین رابطه رگرسیونی غیرخطی بر اساس روش سعی و خطا تعریف و مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مدل غیرخطی از میان

در تحقیق حاضر از دو مدل هوشمند مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در تخمین مقدار پارامتر بی‌بعد (h/P) با استفاده از ۳ پارامتر بی‌بعد K_s/P ، P/L و α استفاده شده است. برای این منظور از داده‌های آزمایشگاهی (Kumar et al., 2011) استفاده گردید. برای رسیدن به برنامه و ساختاری که بتواند روابط بین ورودی‌ها و خروجی مدل را تعمیم دهد، لازم است برنامه آموزش داده شود. برای این منظور چندین ساختار مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای ورودی و خروجی به دو دسته تقسیم‌بندی گردید. در هر دو مدل ANN و مدل GEP پارامترهای بی‌بعد K_s/P ، P/L و α به عنوان ورودی و پارامتر بی‌بعد h/P یعنی نسبت بار آبی به ارتفاع سرریز به عنوان خروجی معرفی گردید و همچنین در هر دو مدل ۷۵ درصد کل داده‌های موجود (۹۱ عدد) برای دوره آموزش و ۲۵ درصد

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (9)$$

$$RE \% = \frac{\sum_{i=1}^n (|P_i - O_i|)}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (10)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (11)$$

در این روابط O_i مقادیر حاصل از مقادیر مشاهداتی، P_i مقادیر حاصل از روش مدل‌های تخمین کننده، \bar{O} میانگین مقادیر حاصل از مقدار مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

در جدول ۲ پارامترهای آماری مجموعه داده‌ها برای دوره آزمون و آموزش برای بهترین شرایط انتخاب تصادفی (بالاترین ضریب تبیین و کمترین جذر میانگین مربعات خطا) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که واحد α بر حسب رادیان است

آن‌ها انتخاب گردید. در مدل‌های رگرسیونی نیز تعداد پارامترهای ورودی و خروجی برای دوره آزمون و آموزش همانند دو مدل هوشمند در تحقیق حاضر در نظر گرفته شد.

معیارهای ارزیابی دقت

برای ارزیابی، توانایی و دقت عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، مدل برنامه‌ریزی بیان ژن و مدل رگرسیون چندگانه خطی و غیرخطی در تخمین پارامتر h/P از چهار شاخص آماری استفاده شده است. معیارهای ارزیابی جهت تخمین پارامتر نسبت بار آبی به ارتفاع سرریز (h/P)، شامل ضریب تبیین^۱، جذر میانگین مربعات خطا^۲، درصد خطای نسبی^۳ و ضریب نش ساتکلف^۴ می‌باشند که هر کدام از آن‌ها به ترتیب از روابط (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌گردند.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (8)$$

جدول (۲): محدوده پارامترها برای داده‌های ورودی و خروجی در دوره آزمون و آموزش

	داده‌های آموزش				داده‌های آزمون			
	$\frac{Ks}{P}$	$\frac{P}{L}$	α (radian)	$\frac{h}{P}$	$\frac{Ks}{P}$	$\frac{P}{L}$	α (radian)	$\frac{h}{P}$
حداقل	۰/۰۷۵۸۵	۰/۰۸۵۰	۰/۲۶۱۷	۰/۰۸۷۶	۰/۰۸۵۲	۰/۰۸۵۰	۰/۲۶۱۷	۰/۰۹۶۸
حداکثر	۰/۵۳۱۷۴	۰/۳۷۱۷	۱/۵۷۰۸	۰/۷۴۴۸	۰/۵۰۹۱	۰/۳۷۱۷	۱/۵۷۰۸	۰/۷۵۶۵
میانگین	۰/۲۶۳۳۰	۰/۲۱۴۱	۰/۷۱۷۸	۰/۳۶۴۱	۰/۲۸۴۴	۰/۲۷۵۸	۰/۹۵۵۱	۰/۳۹۳۳
انحراف معیار	۰/۱۱۰۱۶	۰/۱۱۱۷	۰/۴۴۵۹	۰/۱۶۶۶	۰/۱۱۵۳	۰/۰۹۳۴	۰/۴۲۰۴	۰/۱۷۴۸
ضریب تغییرات	۰/۴۱۸۱	۰/۵۲۱۷	۰/۶۲۱۳	۰/۴۵۷۵	۰/۴۰۵۴	۰/۳۳۸۶	۰/۴۴۱۰	۰/۴۴۴۴

¹ Determination coefficient, R^2

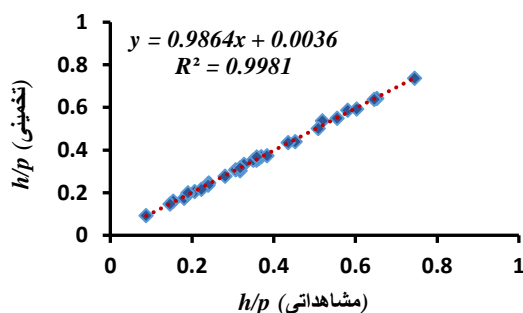
² Root Mean Square Error, RMSE

³ Percent Relative Error, RE%

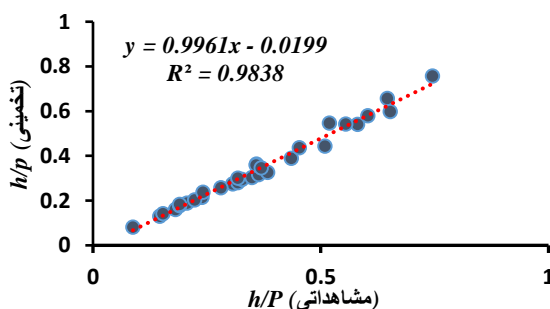
⁴ Nash-Sutcliffe Efficiency, NSE

رگرسیون و GEP بالاتر است و به نظر می‌رسد استفاده از این روش با به کارگیری ورودی‌های مناسب و استفاده از ساختار معماری بهینه به میزان قابل قبولی قادر به تخمین پارامتر وابسته مورد نظر می‌باشد. همچنین دقت خود داده‌ها و انتخاب صحیح ترکیب داده‌های آزمون و آموزش کارآیی مدل را تحت تاثیر قرار می‌دهد و در صورتی که بهترین ترکیب انتخاب گردد دقت تخمین با مدل نیز افزایش می‌یابد. در جدول ۳ معادلات رگرسیونی چندگانه خطی و غیرخطی نیز نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد این معادلات تقریباً از نتایج یکسانی برخوردار می‌باشند. لازم به ذکر است که در جدول ۳، α برحسب رادیان می‌باشد.

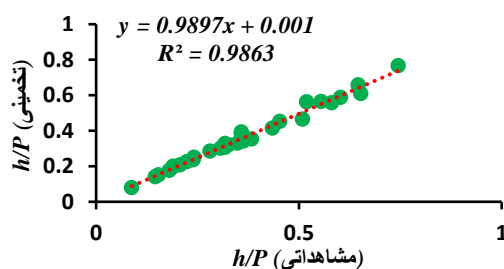
در شکل‌های ۳ الی ۶ پراکندگی داده‌ها برای دوره آزمون به ترتیب با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل برنامه‌ریزی بیان‌زن، رگرسیون چندگانه خطی و رگرسیون چندگانه غیر خطی نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های فوق‌الذکر مشاهده می‌گردد که بیشتر نقاط بر روی یا نزدیکی خط نیمساز قرار گرفته‌اند که این مقبولیت هر یک از مدل‌ها در تخمین مقدار نسبت بار آبی به ارتفاع سرریز (h/p) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به سایر مدل‌ها نتایج بسیار نزدیکی را نسبت به مقادیر مشاهداتی تخمین زده است و بنابراین از دقت بسیار بالایی در تخمین پارامتر مورد نظر یعنی مقدار (h/P) برخوردار است. در مجموع می‌توان گفت که دقت روش ANN به مراتب از روش‌های متداول



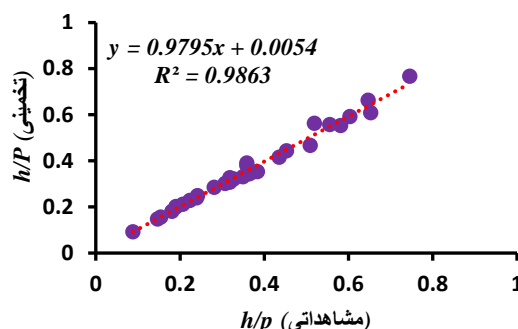
شکل (۳): مقایسه نمودار پراکندگی داده‌ها برای دوره تست مدل (ANN)



شکل (۴): مقایسه نمودار پراکندگی داده‌ها برای دوره تست مدل (GEP)



شکل (۵): مقایسه نمودار پراکندگی داده‌ها برای دوره تست مدل (MR-linear)



شکل (۶): مقایسه نمودار پراکندگی داده‌ها برای دوره تست مدل (MR-nonlinear)

جدول (۳): معادله رگرسیونی خطی و غیرخطی برای به دست آوردن ضریب دبی

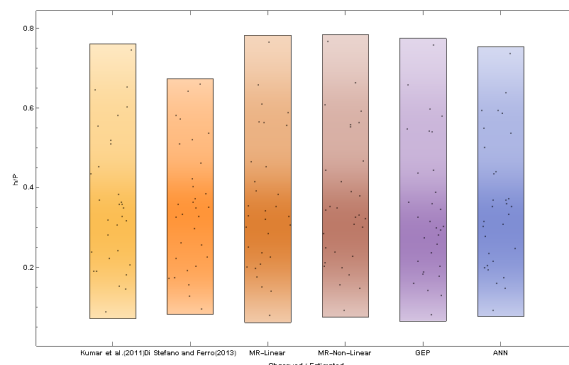
معادله	RE%	R ²
$\frac{h}{P} = 1.505 \times \left(\frac{k_s}{p}\right) + 0.006 \times \alpha - 0.031 \times \left(\frac{P}{L}\right) - 0.031$	۴/۱۶	۰/۹۸۳
$\frac{h}{P} = 1.568 \times \left(\frac{k_s}{p}\right)^{1.104} \times \alpha^{-0.023} \times \left(\frac{P}{L}\right)^{0.003}$	۴/۰۹	۰/۹۸۴

همچنین شکل ۱۲- ب نمودار ویولنی تابع توزیع احتمال را برای داده‌های مشاهداتی و تخمین زده شده را ارائه می‌دهد. مجدداً مطابق نمودار ویولنی واضح است که مدل شبکه عصبی مصنوعی تشابه بسیار نزدیکی با داده‌های مشاهداتی را دارد. برای داده‌های مشاهداتی و تخمینی با روش‌های فوق‌الذکر مقادیر احتمال به ازای مقادیر حداکثر ۰/۷۵٪، ۵۰٪، ۲۵٪ و حداقل به ترتیب (۰/۷۴۴، ۰/۵۰۹، ۰/۳۴۸، ۰/۲۲۳ و ۰/۰۸۷)، (۰/۶۵۹، ۰/۴۶۱، ۰/۳۴۸ و ۰/۲۲۶)، (۰/۷۶۵، ۰/۴۶۵، ۰/۳۳۰ و ۰/۲۲۱)، (۰/۷۶۷، ۰/۴۶۷، ۰/۳۳۱ و ۰/۲۲۸)، (۰/۷۶۷، ۰/۴۶۷، ۰/۳۳۱ و ۰/۲۲۸)، (۰/۷۵۷، ۰/۴۴۳، ۰/۳۰۳ و ۰/۲۰۳) و (۰/۷۳۷، ۰/۵۰۱، ۰/۳۵۲، ۰/۲۱۶ و ۰/۰۹۲) به دست آمده است.

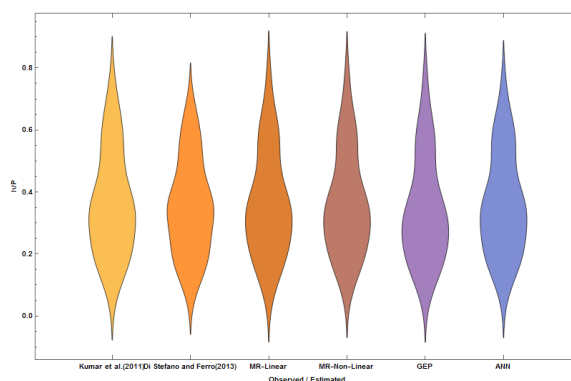
در شکل ۷ و ۸ به ترتیب نمودار چگالی^۱ و ویولنی^۲ در دوره آزمون برای داده‌های مشاهداتی حاصل از نتایج آزمایشگاهی (Kumar et al., 2011) و تخمین زده شده با مدل‌های هوشمند شبکه عصبی مصنوعی، برنامه‌ریزی بیان ژن، روش رگرسیون چندگانه خطی و غیرخطی و روش (Distefano and Ferro, 2013) نشان داده شده است. شکل ۱۲-الف نمودار دانسیته جعبه مستطیلی را نشان می‌دهد که درون آن پراکندگی نقاط برای داده‌های مشاهداتی و تخمینی زده شده دیده می‌شود. مطابق نمودار دانسیته جعبه‌ای معلوم می‌گردد که مدل شبکه عصبی مصنوعی تطابق بسیار نزدیکی با داده‌های مشاهداتی را دارد.

² Violin Plot

¹ Density Plot



شکل (۷): نمودار دانسیته برای داده‌ها در دوره تست برای داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی



شکل (۸): نمودار ویولنی برای داده‌ها در دوره تست برای داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی

معیارهای آماری نشان می‌دهند که مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش‌های رگرسیون چندگانه خطی، رگرسیون چندگانه غیر خطی، برنامه‌ریزی بیان ژن و روش (Distefano and Ferro, 2013) از دقت بالایی برخوردار می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت به کارگیری الگوریتم تکرار شونده در فرایند برنامه نویسی جهت انتخاب بهترین ترکیب داده‌های آموزش و آزمون در مدل ANN مفید بوده و باعث کاهش خطا و افزایش دقت مدل تخمین کننده فوق‌الذکر شده است. همانطور مشاهده می‌گردد، شبکه عصبی مصنوعی نتایج بسیار مشابهی نسبت به مقادیر مشاهده‌ای آزمایشگاهی (Kumar et al. (2011) در تخمین مقدار نسبت بار آب به ارتفاع سرریز (h/p) را ارائه داده است (جدول ۴).

جدول (۴): مقایسه نتایج (Di Stefano and Ferro (2013) با مدل MR-linear, MR-nonlinear, ANN, GEP برای دوره آزمون

داده‌های آزمون	داده‌های آزمون			
	R ²	RMSE	RE%	NSE
Di Stefano and Ferro (2013)	۰/۹۷۷	۰/۰۳۱۸	۶/۷۳	۰/۹۹۸
MR-linear	۰/۹۸۶	۰/۰۱۹۷	۴/۱۶	۰/۹۸۴
MR-nonlinear	۰/۹۸۷	۰/۰۱۹۶	۴/۰۹	۰/۹۸۵
ANN	۰/۹۹۸	۰/۰۰۷۶	۱/۷۴	۰/۹۹۷
GEP	۰/۹۸۳	۰/۰۳۰۱	۶/۸۶	۰/۹۹۸

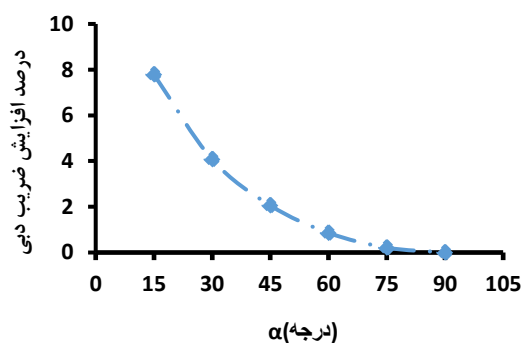
مثلی دبی بیشتری را می‌توانند از خود عبور دهند و این به دلیل افزایش طول تاج سرریز می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌گردد در زاویه ۱۵ درجه بیشترین افزایش در ضریب دبی (حدود ۸ درصد) اتفاق افتاده است.

در شکل ۱۰ رابطه ضریب دبی جریان با h/p در زاویه-های معین نشان داده شده است، همانطور که مشاهده می‌گردد با افزایش h/p ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد و این نشان می‌دهد که سرریزهای پلان مثلی در اشل‌های کم می‌توانند دبی بیشتری از خود عبور دهند، بنابراین در بار آبی کم نسبت به شرایطی که بار آبی زیاد است عملکرد بهتری را دارا می‌باشند. این روند ناشی از برهم کنش تیغه-های جریان در تاج سرریزهای پلان مثلی در بارهای آبی زیاد می‌باشد. در نهایت یک رابطه‌ای برای به دست آوردن ضریب دبی در این نوع سرریزها استخراج گردید که با قرار گیری در رابطه عمومی سرریزهای هم عرض کانال می‌توان مقدار جریان عبوری از سرریز لبه‌تیز پلان مثلی را برآورد نمود (رابطه ۱۳)

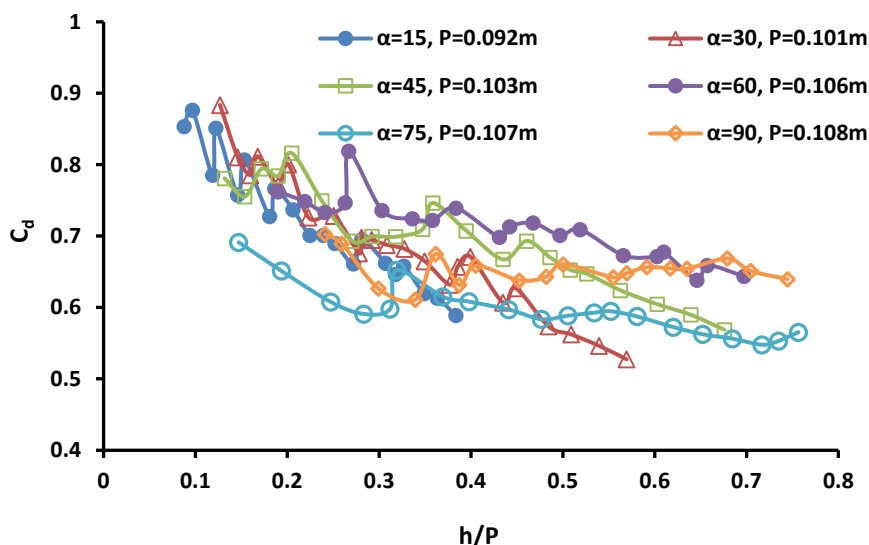
$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L h^{\frac{3}{2}} \quad (12)$$

$$Q = \frac{2}{3} \left(0.568 \times \left(\frac{h}{p} \right)^{-0.183} \sin \alpha^{0.06} \right) \sqrt{2g} L h^{\frac{3}{2}} \quad (13)$$

شکل ۹ درصد افزایش دبی در حالت پلان مثلی نسبت به حالت سرریز هم عرض کانال (α برابر ۹۰ درجه) را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با کاهش زاویه α ، درصد افزایش ضریب دبی افزایش می‌یابد و این نشان می‌دهد که به ازای یک شرایط ثابت و معین سرریزهای پلان



شکل (۹): درصد افزایش دبی در حالت پلان مثلی نسبت به حالت سرریز هم عرض کانال (α برابر ۹۰ درجه)



شکل (۱۰): تغییرات ضریب دبی با h/P در زاویه‌های مختلف

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به عملکرد مدل‌های هوشمند ANN و GEP و مدل‌های رگرسیونی MR-linear و MR-nonlinear در تخمین پارامتر بی‌بعد h/p رابطه دبی - اشل سرریزهای لبه‌تیز پلان مثلثی پرداخته شد. برای این منظور از داده‌های آزمایشگاهی (Kumar et al. (2011) استفاده شد. لازم به ذکر است که مدل ANN در محیط نرم‌افزار برنامه نویسی متمتیکا با روش انتخاب تصادفی از کل داده‌ها (۱۲۲ عدد) به عنوان داده‌های آزمون و آموزش به ترتیب با ۲۵ درصد (۳۱ عدد) و ۷۵ درصد (۹۱ عدد)، به طریقی انجام گرفت که بعد از تکرار چندین انتخاب تصادفی متفاوت از کل داده‌های موجود، داده‌های مربوط به شرایطی که بالاترین ضریب تبیین و کمترین جذر میانگین مربعات را دارد، برای فرایند تخمینی با استفاده از سایر مدل نیز فراخوانی گردد. ارزیابی نتایج به دست آمده با استفاده از معیارهای آماری R^2 ، RMSE، NSE و RE% انجام شده است. مقادیر معیارهای آماری R^2 ، RMSE، NSE و RE% به ترتیب ۰/۹۹۸، ۰/۰۰۷۶، ۰/۹۹۷ و ۱/۷۴٪ برای ANN، ۰/۹۸۳، ۰/۰۳۰۱، ۰/۹۹۸ و ۶/۸۶٪ برای GEP،

۰/۹۸۶، ۰/۰۱۹۶، ۰/۹۸۵ و ۴/۰۹٪ برای MR-linear و ۰/۹۸۷، ۰/۰۱۹۷، ۰/۹۸۴ و ۴/۰۹٪ برای MR-nonlinear می‌باشد. معیارهای آماری برتری ANN نسبت به سایر روش‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر به دست آمده با مدل‌ها با رابطه استخراجی (Distefano and Ferro, 2013) مقایسه گردید و نتایج خوبی ارائه داد. همچنین نمودارهای چگالی داده‌ها و دیاگرام ویولنی نیز استخراج شد و مشاهده شد که پراکندگی و توزیع احتمال داده‌ها با نتایج مدل ANN با داده‌های آزمایشگاهی (Kumar et al. (2011) تطابق خوبی دارد. ضریب دبی در سرریزهای پلان مثلثی ۱ تا ۸ درصد بسته به زاویه α می‌تواند نسبت به حالت سرریزهای هم عرض کانال افزایش یابد، بنابراین می‌توانند دبی بیشتری را از خود عبور دهند. لازم بذکر است که سرریزهای پلان مثلثی در بارهای آبی کم از عملکرد مناسبی برخوردار هستند.

منابع

دهقانی، ر.، م.ع. قربانی، م. محمد تشنه لب، ا. ریخته گر غیائی و ا. اسدی. ۱۳۹۴. مقایسه و ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی بی‌زین، برنامه‌ریزی بیان ژن، ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون خطی در تخمین بده جریان؛ مطالعه موردی حوضه صوفی چای. نشریه آبیاری و آب ایران، دوره ۵، شماره ۴، ص ۸۵-۶۵.

نیک پیک، پ. و م. کاشفی‌پور. ۱۳۹۵. تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی ریاضی ضریب دبی سرریزهای نوک اردکی و مایل. نشریه علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۳۹، شماره ۱، ص ۱۰-۱.

نورانی، ب.، ر. نوروزی، ف. رضایی و ف. سلماسی. ۱۳۹۸. بررسی رابطه دبی-اشل و ضریب دبی در سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. جلد ۵۳، شماره ۵، DOI:10.22060/CEEJ.2019.16931.6399

Carollo, F., V. Ferro and V. Pampalone. 2012. Experimental investigation of the outflow process over a triangular labyrinth weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(1): 73-90.

Crookston, B.M. and B.P. Tullis. 2012. Discharge efficiency of reservoir application specific labyrinth weirs. *Irrig. Drain. Engr. ASCE*. 138(6): 773-776.

Distefano, C and V. Ferro. 2013. A new approach for deducing the stage-discharge relationship of triangular in plan sharp-crested weirs. *Flow Measurement and Instrumentation*, 32: 71-75.

Emami, S., H. Arvanaghi and J. Parsa. 2018. Numerical Investigation of Geometric Parameters Effect of the Labyrinth Weir on the Discharge Coefficient. *Rehabilitation in Civil Engineering*, 6(1): 1-9.

Gupta, K.K., S. Kumar and Z. Ahmad. 2014. Flow characteristics of sharp-crested W-planform weirs. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Research*. 176-180.

Hay, N. and G. Taylor. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. *Hydraulic. Eng., ASCE*, 96(11): 2337-2357.

Henderson, F.M. 1996. Open channel flow, in: *Channel controls*, MacMillan, New York, pp. 174-176.

Kumar, S., Z. Ahmad, T. Mansoor and S.K. Himanshu. 2017. A New Approach to Analyze the Flow over Sharp Crested Curved Plan form Weir. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2(1): 2277-2290.

Norouzi, R., R. Daneshfaraz and A. Ghaderi. 2019. Investigation of discharge coefficient of trapezoidal labyrinth weirs using artificial neural networks and support vector machines. *Applied Water Science*. 9(7): 148.

Oskuii, M. 2014. Investigating the effect of upward slope on hydraulic performance of rectangular weir. *Sari Agricultural Sciences and Natural Resources*.

Shafiei, S., M. Najarchi, and S. Shabanlou. 2019. A novel approach using CFD and neuro-fuzzy-firefly algorithm in predicting labyrinth weir discharge coefficient. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 42(1): 44.

Taylor, G. 1968. *The Performance of Labyrinth Weirs*. University of Nottingham, UK.



Evaluation Performance of Gene Expression Programming and Artificial Neural Network Models in Estimation of Hydraulic Parameters in Triangular Plan Sharp-Crested Weirs

Bahram Nourani¹, Reza Norouzi², Farzin Salmasi³, Hadi Arvanaghi⁴

Abstract

The purpose of this study is to provide an equation for prediction of discharge coefficient (C_d) for triangular plan sharp-crested weirs. Using laboratory data, a regression equation was presented based on h/p and α parameters with a reasonable accuracy. In addition, the performance of artificial neural network (ANN), gene expression programming (GEP) models and regression models (MR-linear and MR-nonlinear) in the estimation of the h/p was investigated. The stage-discharge relationship for triangular sharp-crested weirs was investigated. The results were evaluated using statistical criteria R^2 , RMSE, NSE and RE%. The values of the R^2 , RMSE, NSE and RE% were respectively, 0.998, 0.0076, 0.997 and 1.74% for ANN, 0.983, 0.0301, 0.998 and 6.86% for GEP, 0.986, 0.0196, 0.985 and 4.09% for MR-linear and 0.987, 0.0197, 0.984 and 4.09% for MR-nonlinear. The results of statistical criteria indicated the superiority of ANN as compared to other methods. In addition, results showed that based on the angle of the triangular sharp-crested weirs, the C_d is increased from 1 to 8 % respect to the normal sharp-crested weirs with identical width (suppressed weirs). In a situation where the head on the crest of these weirs is low, they will show better performance.

Keywords: Triangular in plan sharp-crested weirs, Discharge coefficient, Stage-discharge, ANN, GEP.

¹ Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: Nourani.t_bahram@yahoo.com

² Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: Rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir

³ Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Corresponding author Email: Salmasi@tabrizu.ac.ir

⁴ Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: Arvanaghi@tabrizu.ac.ir



Evaluation Performance of Gene Expression Programming and Artificial Neural Network Models in Estimation of Hydraulic Parameters in Triangular Plan Sharp-Crested Weirs

Bahram Nourani¹, Reza Norouzi², Farzin Salmasi³, Hadi Arvanaghi⁴

Introduction

Weirs are one of the most important hydraulic structures for flow control, water discharge measurement and regulating of upstream water elevation in canals, irrigation networks and rivers. In linear weirs in plan-view, the flow rate can be changed by modifying one or a combination of three factors: discharge coefficient (C_d), length of weir and upstream water height (Oskuii, 2014). Many researchers have conducted extensively in experimental and numerical studies to estimate the nonlinear weir discharge coefficient (Hay and Taylor, 1970; Crookston and Tullis, 2012; Dabling and Tullis, 2017). Salmasi et al. (2019) Calculated the C_d of weirs with a triangular shape in plan form by ANSYS FLUENT software. Their results indicated that the triangular weirs in plan-view increase the C_d from 1 to 8% compared to the suppressed weir. Shafiei et al. (2019) predicted the C_d of the nonlinear weirs in the plan-view using a neuro-fuzzy-firefly algorithm. Results indicated that the ANFIS-FFA model is more accurate than the ANN. Norouzi et al. (2019) assessed the C_d of nonlinear weirs in plan-view. They compared the performance of ANNs and SVM methods in assessing the C_d . The results indicated that the performance of both techniques was acceptable, but the MLPNN model results were closer to the experimental results than the SVM model.

Literature review showed that limited studies have been done with intelligent models for estimating the C_d of triangular plan weirs. Therefore in the present study, using laboratory data of Kumar et al. (2011), the performance of artificial neural network (ANN) and gene expression programming (GEP) intelligent models as well as linear (MR-linear) and nonlinear (MR-nonlinear) regression methods is investigated for triangular plan weirs.

Methodology

For a rectangular sharp-crested can be written:

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L h^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

$$h = \left(\frac{9}{8 C_d^2} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{Q^{\frac{2}{3}}}{L^{\frac{2}{3}} g^{\frac{1}{3}}} \right) \quad (2)$$

¹ Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: Nourani.t_bahram@yahoo.com

² Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: Rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir

³ Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Corresponding author, Email: Salmasi@tabrizu.ac.ir

⁴ Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: Arvanaghi@tabrizu.ac.ir

$$K_s = \left(\frac{Q^{\frac{2}{3}}}{L^{\frac{2}{3}} g^{\frac{1}{3}}} \right) \quad (3)$$

$$\frac{h}{P} = \left(\frac{9}{8 C_d^2} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow C_d = \frac{3}{\sqrt{8}} \left(\frac{K_s}{\frac{h}{P}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

For a sharp-crested weirs with triangular shape in plan shown in Fig. 1, the stage-discharge relationship can be expressed in the form of Eq. 5.

$$\emptyset(h, Q, p, L, g, \mu, \rho, \sigma, B) = 0 \quad (5)$$

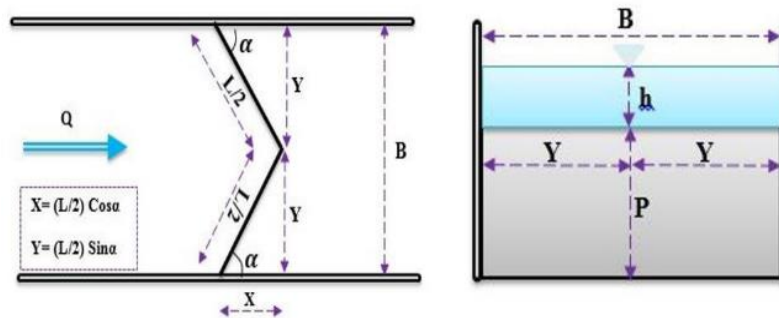


Figure 1- Sharp-crested weirs with triangular shape in plan

By simplifying the effective parameters, Eq. 6 is obtained:

$$\frac{h}{P} = \omega \left(\frac{K_s}{P}, \frac{L}{P}, \sin \alpha \right) \quad (6)$$

In the present study, two intelligent models of artificial neural network model and gene expression programming model have been used to estimate the amount of dimensionless parameter (h/P) using three dimensionless parameters K_s/P , P/L and α . for this purpose, experimental data of Kumar et al. (2011) were used. To achieve the program and the structure that can generalize the relationships between the inputs and outputs of the model, it is necessary to train the program. For this purpose, several structures were studied and input and output parameters were divided into two categories.

In both ANN and GEP models, the dimensionless parameters K_s/P , P/L and α were introduced as input and the dimensionless parameter h/P , ie the ratio of water height to weir height, was introduced as output, and also in both models, 75% of all available data (91 items) were used for the training course and 25% of them (31 items) were used for the test course. In addition to the two intelligent models of ANN and GEP, the statistical method of regression analysis, which provides a relationship between two or more quantitative variables to estimate the dependent variable, was also used. SPSS (version 22) software was used to create multiple linear and nonlinear regression models.



Discussion and Conclusion

The performance of MR-linear and MR-nonlinear regression models in estimating the dimensionless h/p parameter of the stage-discharge relationship were obtained as Eqs. 7 and 8.

$$\frac{h}{p} = 1.505 \times \left(\frac{k_s}{p}\right) + 0.006 \times \alpha - 0.031 \times \left(\frac{P}{L}\right) - 0.031 \quad (7)$$

$$\frac{h}{p} = 1.568 \times \left(\frac{k_s}{p}\right)^{1.104} \times \alpha^{-0.023} \times \left(\frac{P}{L}\right)^{0.003} \quad (8)$$

It should be noted that the ANN model in the Mathematica software with random selection method from the total data (122 data) as test and training data with 25% (31 data) and 75%, respectively (91 data), was performed. Evaluation of the results was performed using statistical criteria R2, RMSE, NSE and RE%. The statistical criteria of R2, RMSE, NSE and RE% were 0.998, 0.0076, 0.997 and 1.74% for ANN, 0.983, 0.0301, 0.998 and 6.86% for GEP, respectively. , 986, 0.096, 0.985 and 4.09% for MR-linear and 0.987, 0.0971, 0.984 and 4.09% for MR-nonlinear. Statistical criteria show the superiority of ANN over other methods. The values obtained from the models were compared with the relation of Distefano and Ferro (2013) which gave good results. Data density diagrams and violin diagrams were also extracted and it was observed that the scattering and probability distribution of the data with the results of the ANN model with the experimental data of Kumar et al. (2011) has a good fit.

References

- Crookston, B.M. and B.P. Tullis. 2012. Discharge efficiency of reservoir application specific labyrinth weirs. *Irrig. Drain. Engr. ASCE*. 138(6): 773-776.
- Dabling, M. and B. Tullis. 2017. Modifying the downstream hydrograph with staged labyrinth weirs, *Journal of Applied Water Engineering and Research* 6, 1-8. DOI:10.1080/23249676.2017.1287015
- Distefano, C. and Ferro, V., 2013. A new approach for deducing the stage-discharge relationship of triangular in plan sharp-crested weirs. *Flow Measurement and Instrumentation*, 32: 71-75.
- Hay, N. and Taylor, G., 1970 Performance and design of labyrinth weirs, *Hydraulic. Eng., ASCE* 96(11), 2337-2357.
- Kumar, S., Ahmad, Z., Mansoor T., and Himanshu, S.K., 2017. A New Approach to Analyze the Flow over Sharp Crested Curved Plan form Weir. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2(1): 2277-2290.
- Oskuii, M. 2014. Investigating the effect of upward slope on hydraulic performance of rectangular weir. *Sari Agricultural Sciences and Natural Resources*.
- Salmasi, F., Nourani, B., Norouzi, R., and Rezaei, F., 2019. Investigation the Stage- Discharge Relationship and Discharge Coefficient in Sharp-Crested Weirs with Triangular Shape in Plan, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. 53(5), 1-17. DOI:10.22060/CEEJ.2019.16931.6399