

ارزیابی مدل SVM و رگرسیون غیرخطی در محاسبه ضریب بده سرریزهای جانبی کلیدپیانویی برای بهره‌گیری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی

یاسر مهری^۱، سولماز اسماعیلی^۲، جابر سلطانی^{۳*}، مجتبی صانعی^۴ و محمد رستمی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۱۸

چکیده

سرریزهای کلیدپیانویی جایگزین مناسبی برای سرریزهای متداول در شبکه‌های آبیاری و زهکشی‌اند. با توجه به مشکلات تخلیه دبی و هم‌چنین کنترل تراز جریان در کانال‌های انتقال آب و سامانه‌های آبیاری و زهکشی استفاده از سرریزهایی که طول موثر بیش‌تری دارند، برای سرریز جانبی لازم و ضروری است. با بررسی آزمایشگاهی و انجام ۲۸۹ آزمایش بر روی سرریز جانبی کلیدپیانویی تیپ B در دو زاویه ۳۰ و ۱۲۰ درجه از قوس کانال، ضریب آب‌گذری سرریزها بدست آمد. سپس با بهره‌گیری از کدنویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB، با روش هوشمند ماشین بردار پشتیبان و با استفاده از نرم‌افزار DATAFIT برای رگرسیون غیرخطی مقدار ضریب بده سرریز کلیدپیانویی پیش‌بینی و با مقدار آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این تحقیق حاکی از انعطاف مناسب روش بردار پشتیبان نسبت به رگرسیون غیرخطی است. هم‌چنین با ارزیابی دو مدل مورد استفاده، نشان داده شد که دقت روش ماشین بردار پشتیبان با $RMSE=0/044$ و $R^2=0/95$ بیش‌تر از روش رگرسیون غیرخطی است.

واژه‌های کلیدی: بررسی آزمایشگاهی، رگرسیون، سرریز کلیدپیانویی، ضریب دبی، مدل‌های هوشمند

مقدمه

نوعی از این سرریزها هستند که مزایای بهتری نسبت به دیگر سرریزهای غیرخطی از لحاظ جانمایی، میزان تخلیه این سرریزها و ارتفاع آبی که در پشت سرریز جمع می‌شود دارا هستند (Saleh Issa et al., 2016). سرریزهای کلیدپیانویی برای اولین بار توسط اومنا و لمپریری توسعه داده شد، آن‌ها سرریز کنگره‌ای را با کلیدهای ورودی و خروجی ترکیب کردند (Lemperiere and Ouamane., 2003). شکل ۱ سرریز کلیدپیانویی تیپ B را قوس نشان می‌دهد. از همین طرح برای سرریزهایی که به صورت جانبی در کانال‌ها تعبیه می‌شوند می‌توان استفاده کرد. با توجه به تحقیقات گذشته قوس بیرونی کانال‌ها و رودخانه‌ها، مکان‌هایی مناسب جهت تعبیه سرریزهای جانبی هستند. در برخی موارد سرریزهای جانبی توانایی تخلیه دبی مورد نیاز را ندارند و بایستی به گونه‌ای طراحی شوند تا این عمل ممکن شود. بنابراین برای بهبود این موضوع و افزایش راندمان سرریز می‌توان سرریزهای غیرخطی کلیدپیانویی را در قوس رودخانه و کانال استفاده کرد.

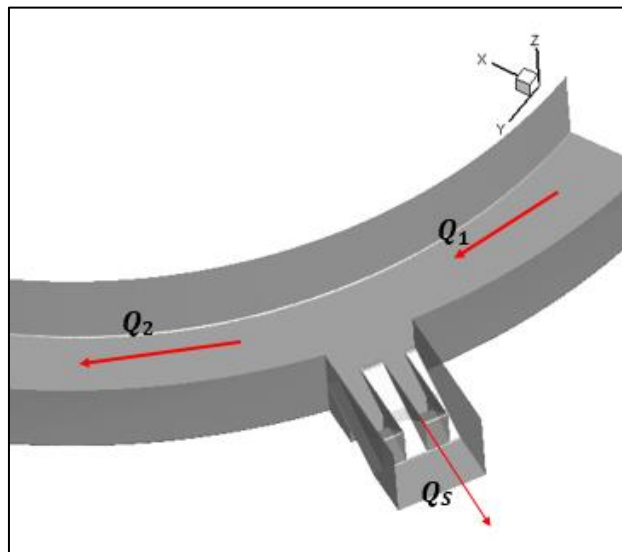
مهری و همکاران با بررسی آزمایشگاهی سرریز جانبی کلیدپیانویی تیپ C مقدار ضریب تخلیه سرریز را استخراج و پارامترهای موثر بر آن را بدست آوردند (Mehri et al., 2018). کلانکی و همکاران نرخ شکست لوله را با استفاده از مدل هیبرید SVR-PSO پیش‌بینی کردند و نتیجه گرفتند که این مدل توانایی

از روش‌های افزایش عملکرد هیدرولیکی سرریزها و بالا بردن توانایی تخلیه سرریزها، افزایش طول سرریزهای خطی است. با توجه به محدودیت‌های اقتصادی و مشکلاتی که در جانمایی سرریزها وجود دارد، استفاده از سرریزهایی که طراحی مناسب‌تری دارند لازم به نظر می‌رسد. تعویض سرریزهای خطی با سرریزهای غیر خطی می‌تواند راه حل مناسبی برای افزایش راندمان هیدرولیکی سرریز، بدون وجود مشکل جانمایی باشد و کاهش عرض جانمایی سرریز و طبق آن کاهش عرض کانال جانبی سبب کاهش هزینه‌های ساخت و اجرای سرریزهای خطی می‌شود (مهری و همکاران ۱۳۹۶). از انواع سرریزهای غیرخطی می‌توان به سرریزهای کنگره‌ای، مورب و قوسی و هم‌چنین سرریزهای کلیدپیانویی اشاره نمود. سرریزهای کلیدپیانویی

- ۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران
 - ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، پردیس اهوریحان دانشگاه تهران
 - ۳- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس اهوریحان دانشگاه تهران
 - ۴- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
 - ۵- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- *- نویسنده مسئول:
(Email: jsoltani@ut.ac.ir)

از قوس با استفاده از نرم افزار فلوئنت و مدل آشفتگی RSM شبیه سازی و دقت این مدل را بررسی کردند(مهری و همکاران ۱۳۹۷).

پیش بینی دقیق این موضوع را دارد (Kalanaki et al., 2013). مهری و همکاران ضریب تخلیه سرریز تیپ C را در زاویه ۱۲۰ درجه



شکل ۱- سرریز کلیدپیانویی تیپ B در قوس

قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که انرژی مخصوص در دو لبه سرریز تقریباً یکسان است و رابطه‌ای تجربی برای محاسبه ضریب تخلیه این سرریزها ارائه کردند (Khameneh et al., 2014). امیرگلو و همکاران عملکرد هیدرولیکی سرریز جانبی کنگره‌ای را در کانال مستقیم مورد بررسی قرار دادند و ضریب تخلیه این سرریز را زمانی که به صورت جانبی بود ارائه کردند و نتیجه گرفتند که ضریب تخلیه سرریز کنگره با افزایش پارامتر L/b افزایش پیدا می‌کند. همچنین زمانی که P/b افزایش پیدا می‌کند، مقدار متوسط ضریب تخلیه سرریز جانبی کنگره افزایش پیدا می‌کند. سرریز کنگره‌ای با زاویه دهانه ۴۵ درجه دارای بیشترین مقدار ضریب تخلیه نسبت به سرریزهای دیگر است (Emiroglu et al., 2009). اربیکوم و همکاران به بررسی فیزیکی و عددی سرریز کلیدپیانویی در کانال مستقیم پرداختند. در این تحقیق یک مدل یک‌بعدی برای پیش‌بینی ضریب تخلیه در سرریزهای کلیدپیانویی توسعه داده شد که با دقت قابل‌قبولی به پیش‌بینی ضریب تخلیه پرداخت. این مدل با دقت ۱۰ درصد توانست ضریب تخلیه سرریز کلیدپیانویی را پیش‌بینی کند (Ercicum et al., 2012). قاسم‌زاده و همکاران از نرم‌افزار FLOW 3D برای شبیه سازی جریان در سرریز کلیدپیانویی در کانال مستقیم استفاده کردند و دبی اشل سرریز کلیدپیانویی را مورد بررسی قرار داده و با مدل آزمایشگاهی مقایسه کردند که این مدل به خوبی توانست دبی اشل را مدل‌سازی کند (Ghasemzadeh et al., 2015). با توجه به مطالعات گذشته تاکنون تحقیق و مطالعه‌ای بر روی سرریز جانبی کلید پیانویی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی با پیش‌بینی ضریب

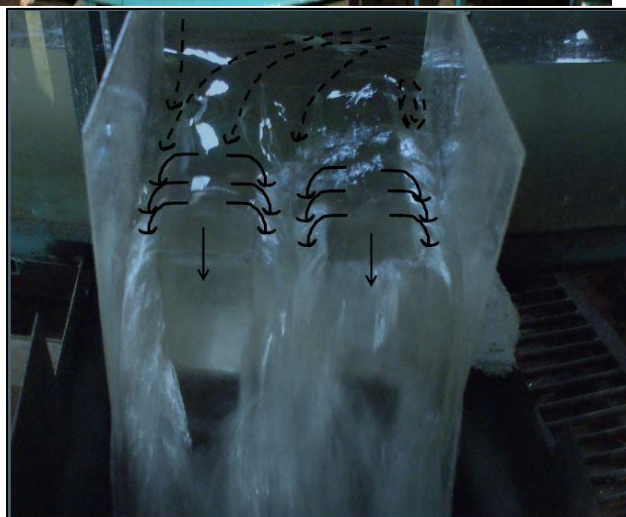
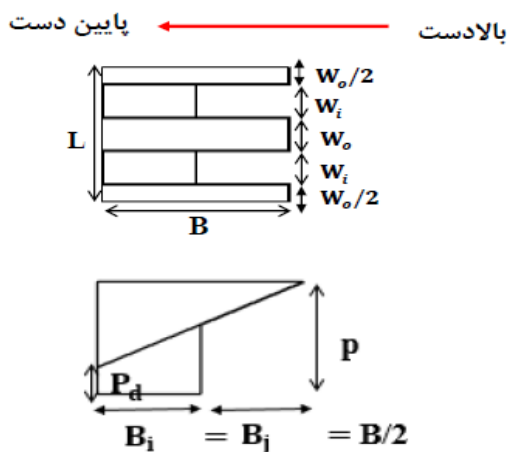
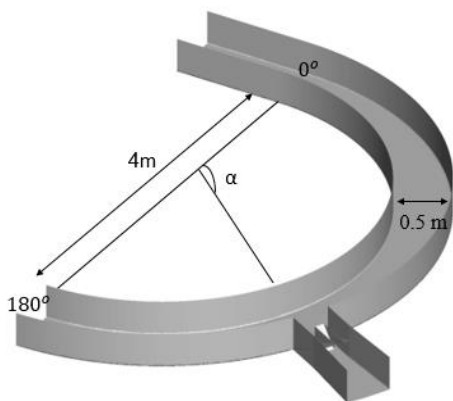
مهماندوست و همکاران ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع شده را با مدل SVR-GA و SVR مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند (Mehmandoust et al., 2017). عظیمی و همکاران ضریب تخلیه سرریز جانبی را در کانال مثلثی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیش‌بینی کردند و نتیجه گرفتند این مدل دارای دقت قابل‌قبولی در پیش‌بینی ضریب تخلیه سرریز جانبی است (Azimi et al., 2017). پروانه و برقی از سرریز مورب برای افزایش تخلیه در کانال مستقیم استفاده کردند و انرژی مخصوص لبه اول و دوم سرریز را مورد بررسی قرار دادند و رابطه‌ای تجربی برای سرریزهای جانبی مورب در کانال قوسی ارائه نمودند (Parvaneh and Borghei., 2009). کرمی و همکاران از روش ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی ضریب تخلیه سرریز کنگره‌ای مثلثی استفاده کردند (Karami et al., 2017). آقاسیوقلو و همکاران مطالعه‌ای آزمایشگاهی بر روی ضریب تخلیه سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی برای هر زاویه از قوس انجام دادند. آن‌ها برای محاسبه ضریب تخلیه از عمق مشخص استفاده کردند و لبه بالادست سرریز را معیار برای تعیین عمق جریان روی سرریز استفاده کردند و نتیجه گرفتند که پارامتر L/b بالاترین تاثیر را بر روی ضریب تخلیه دارد (Agaccioglu et al., 2012). روشنگر و همکاران با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده از مدل هوشمند بردار پشتیبان، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای دایره‌ای را پیش‌بینی کردند و نشان دادند این مدل دارای دقت قابل‌قبولی است (Roushangar et al., 2017). خامنه و همکاران ضریب تخلیه سرریز کنگره‌ای را با تعداد سیکل‌های عبوری مختلف مورد بررسی

دارای یک مخزن در بالادست کانال و سیستم آرام کننده است. جریان زمانی که از بالادست کانال وارد فلوم می‌شود با عبور از سیستم‌های آرام کننده زمانی که به سرریز جانبی در زاویه ۳۰ و ۱۲۰ درجه از کانال می‌رسد در صورتی که رقوم تراز سطح آب بالاتر از سرریز باشد سرریز شروع به عمل کرده و تخلیه دبی انجام می‌شود. در صورتی که رقوم در سرریز تامین نشد به صورت مصنوعی با استفاده از دریچه کشویی که در پایین دست کانال اصلی تعبیه شده است رقوم سطح آب در کانال تنظیم می‌شود. زمانی که سرریز شروع به تخلیه می‌کند جریان اضافی وارد کانال زهکش با مقطع مستطیلی می‌شود که با تعبیه سرریز کالیبره شده در این کانال مقدار دبی عبوری از این سرریز برداشت می‌شود که مجموعاً ۲۸۹ آزمایش انجام شد. هم‌چنین در جدول ۱ ابعاد سرریزها قابل مشاهده است.

تخلیه آن با استفاده از روش هوشمند ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون غیرخطی انجام نشده است. بنابراین هدف از این تحقیق در مرحله اول بدست آوردن ضریب تخلیه به صورت آزمایشگاهی و سپس ارزیابی عملکرد مدل ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون غیرخطی در پیش بینی آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این تحقیق در گروه مهندسی رودخانه و سواحل در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شد. اندازه فلوم قوسی مورد مطالعه با شعاع داخلی ۲ و عرض ۰/۵ متر است که در شکل ۲ قابل مشاهده است. این کانال از جنس پلاکسی گلاس بوده با شیب ۰/۰۰۱ و دارای یک سرریز مثلثی در پایین دست کانال اصلی است که دبی خروجی در آن اندازه‌گیری می‌شود. این فلوم با توجه به شکل



شکل ۲- تصویر کانال و سرریز مورد مطالعه

عرض شکاف سرریز، g شتاب ثقل، S_0 شیب کانال، ψ زاویه انحراف جریان، ν ویسکوزیته سینماتیکی، σ کشش سطحی، r_c شعاع از محور مرکزی کانال، ρ دانسیته جریان، P ارتفاع کل سرریز، n ضریب مانینگ سرریز، P_d پایه سرریز، l طول موثر سرریز، w_i عرض کلید ورودی، w_o عرض کلید خروجی، B طول سرریز در راستای جریان، S_{in} شیب کلیدهای ورودی، S_{out} شیب کلید خروجی می‌باشد. جدول ۲ محدوده متغیرهای کانال و دبی را نشان می‌دهد.

پارامترهایی که تاثیر بیش‌تری در ضریب تخلیه دارند را می‌توان مشاهده نمود.

$$C_d = f(b, h_1, V_1, L, g, r_c, \rho, P, P_d, B, \alpha) \quad (1)$$

با توجه به آنالیز ابعادی انجام شده ضریب تخلیه سرریز تابعی از پارامترهای رابطه ۲ است.

$$C_d = f\left(\frac{L}{b}, F_1, \frac{L}{r_c}, \frac{P}{h_1}, \frac{P_d}{B}, \alpha\right) \quad (2)$$

که در آن C_d ضریب تخلیه سرریز، b عرض کانال، h_1 عمق جریان در لبه بالادست سرریز، V_1 سرعت جریان در لبه اول جریان، L

جدول ۱- محدوده تغییرات ۱۲ سرریز مورد بررسی بر حسب سانتی‌متر

اندازه طولی سرریز B	طول موثر l	محدوده ارتفاع کلی سرریز P	طول هر کلید Wi=Wo	طول شکاف L	ارتفاع پایه Pd
۲۵-۲۵-۱۵	۷۵ الی ۱۷۵	۶ الی ۲۴	۳ الی ۸	۱۵-۲۵-۳۵	۰-۰/۰۳-۰/۰۷-۰/۱

جدول ۲- محدوده متغیرهای استفاده شده در کانال

متغیر	مقدار	واحد	علامت
عرض کانال	۰/۵	M	b
عمق کانال	۰/۵	M	Y
شیب کف کانال	۰/۰۰۱	-	S
دبی ورودی در بالادست کانال اصلی	۴۱-۶	LIT/S	Q_1
عرض شکاف ایجاد شده در بدنه کانال	۰/۱۵-۰/۲۵-۰/۳۵	M	L
عدد فرود	۰/۳-۰/۰۴	-	FI
شعاع از محور مرکزی کانال	۲/۲۵	M	R_c
شعاع داخلی کانال	۲	M	R
زوایای مورد بررسی	۱۲۰ و ۳۰	-	α

بین اندازه‌ی حاشیه اطمینان و مقدار خطا در پروسه آموزش است. دو معادله‌ی بنیادین SVR به صورت روابط ۳ و ۴ است.

$$\text{Minimize: } \frac{1}{2} \|w\|^2 + c \sum_{i=1}^n \xi_i \quad (3)$$

$$\text{شرط: } y_i(w^T x_i + b) \geq 1 - \xi_i, \quad \xi_i \geq 0 \quad (4)$$

در این جا x_i معرف داده‌های ورودی و y_i معرف داده‌های خروجی می‌باشد. تابع کرنل یک جدا کننده‌ی خطی بر اساس بردار خطی ایجاد و به صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود.

$$k(x_i, x_j) = x_i^T x_j \quad (5)$$

مدل رگرسیون غیرخطی

زمانی که بین پارامترهای ورودی و خروجی رابطه‌ای منطقی وجود داشته باشد و آزمایش‌ها نیز همین امر را ثابت کنند از مدل‌های آماری رگرسیونی می‌توان استفاده کرد. زمانی که معادلات رگرسیونی دارای عبارت غیرخطی مانند تابع نامبی، توانی یا لگاریتمی باشند، مدل رگرسیون غیرخطی نامیده می‌شوند. معادله ۶ و ۷ شاخص‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهند.

معرفی ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان (SVM) یک نوع سیستم یادگیری است که به منظور طبقه‌بندی، تخمین و برآورد تابع برازش داده‌ها در مسایل به کار می‌رود، به طوری که کم‌ترین خطا در گروه‌بندی داده‌ها یا تابع برازش رخ دهد. این روش بر مبنای تئوری یادگیری آماری استوار است که از اصل کمینه‌سازی ساختاری بهره می‌گیرد و موجب یک جواب بهینه کلی می‌گردد. در مدل SVM از مجموعه توابع به فرم $f(x) = w \cdot x + b$ برای پیش‌بینی استفاده می‌شود که w وزن بردار و b مقدار بایاس می‌باشد که به وسیله‌ی SVM در پروسه آموزش محاسبه می‌شوند به طوری که برای کمینه‌کردن خطای آزمون باید عبارت پیچیدگی حداقل شود که مستلزم کمینه‌سازی بردار وزن است. مقدار پهنای حاشیه $\frac{1}{\|w\|}$ می‌باشد که برای افزایش پهنای حاشیه باید مقدار $\|w\|^2$ را کمینه کنیم. در این مدل تفاوت بین داده‌های پیش‌بینی شده و داده‌های واقعی با ϵ نشان داده می‌شود. ξ^+ و ξ^- به عنوان متغیرهای خطی برای خطاهایی که توسط noise و یا سایر عوامل اتفاق می‌افتد، در نظر گرفته می‌شود. C پارامتر برای تعیین ارتباط

مورد استفاده قرار گرفت و از تابع RBF با توجه به دقت بالاتر نسبت به توابع دیگر استفاده شد. شکل ۳ عملکرد مدل SVM را در مرحله آموزش نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است مدل به خوبی روند ضریب تخلیه را در هر شماره داده پیش‌بینی کرده است. همچنین با توجه به نمودار، این پیش‌بینی دارای انحراف مناسبی است و مقدار خطای قابل‌قبولی در این قسمت وجود دارد. شکل ۴ داده‌های آزمایشگاهی ضریب تخلیه را در مقابل داده‌های پیش‌بینی شده در مرحله آموزش نشان می‌دهد.

شکل ۵ عملکرد این مدل را در مرحله آزمون نشان می‌دهد و همان‌گونه که مشاهده می‌گردد این مدل با دقت مناسب و با انحراف از معیار و خطای قابل‌قبول توانسته مقادیر آزمایشگاهی ضریب تخلیه را در مرحله آزمون پیش‌بینی کند. همچنین شکل ۶ مقادیر ضریب تخلیه آزمایشگاهی را در مقابل ضریب تخلیه پیش‌بینی شده در مرحله آزمون نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد داده‌های آزمایشگاهی با داده‌های پیش‌بینی شده دارای تطابق قابل‌قبول با انحراف از معیار ۰/۰۴۶ است که نشان می‌دهد داده‌ها دارای ارتباط معناداری با یکدیگر هستند.

$$R^2 = \left(\frac{\sum XY}{\sqrt{\sum X^2 \sum Y^2}} \right)^2 \quad (6)$$

$$RMSE = \left(\frac{\sum (X-Y)^2}{N} \right)^{0.5} \quad (7)$$

همچنین برای نرمال‌سازی داده‌ها از رابطه‌ی ۸ استفاده شد.

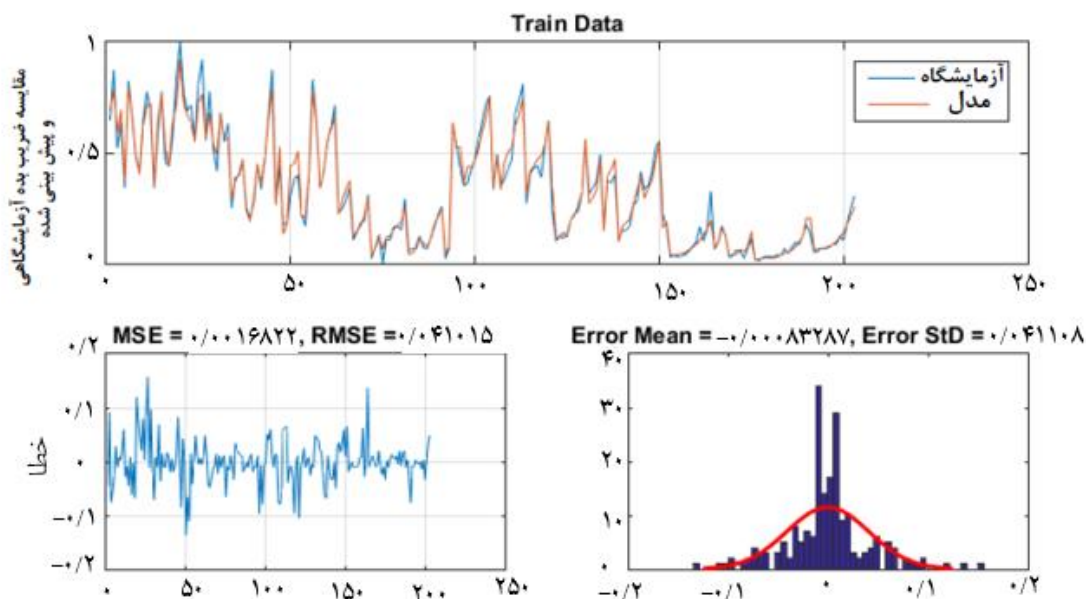
$$X = \frac{X_0 - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (8)$$

نتایج و بحث

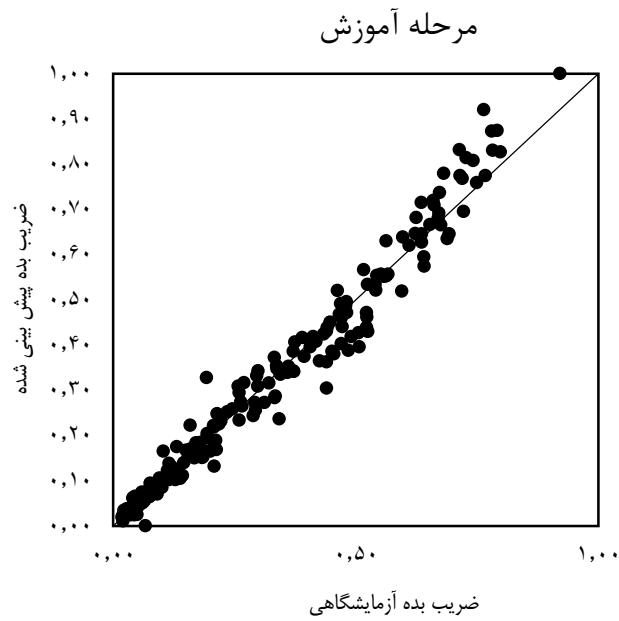
در این تحقیق ابتدا با بررسی آزمایشگاهی و با انجام ۲۸۹ آزمایش بر روی ضریب تخلیه سرریز جانبی کلیدپیانویی در دو زاویه ۳۰ و ۱۲۰ درجه و تعداد ۱۲ سرریز با طول و عرض‌های مختلف داده‌های موردنیاز به‌دست آمد. سپس با استفاده از ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون غیرخطی ضریب تخلیه سرریز جانبی کلیدپیانویی در دو زاویه ۳۰ و ۱۲۰ درجه از قوس، میزان توانایی این مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

ماشین بردار پشتیبان

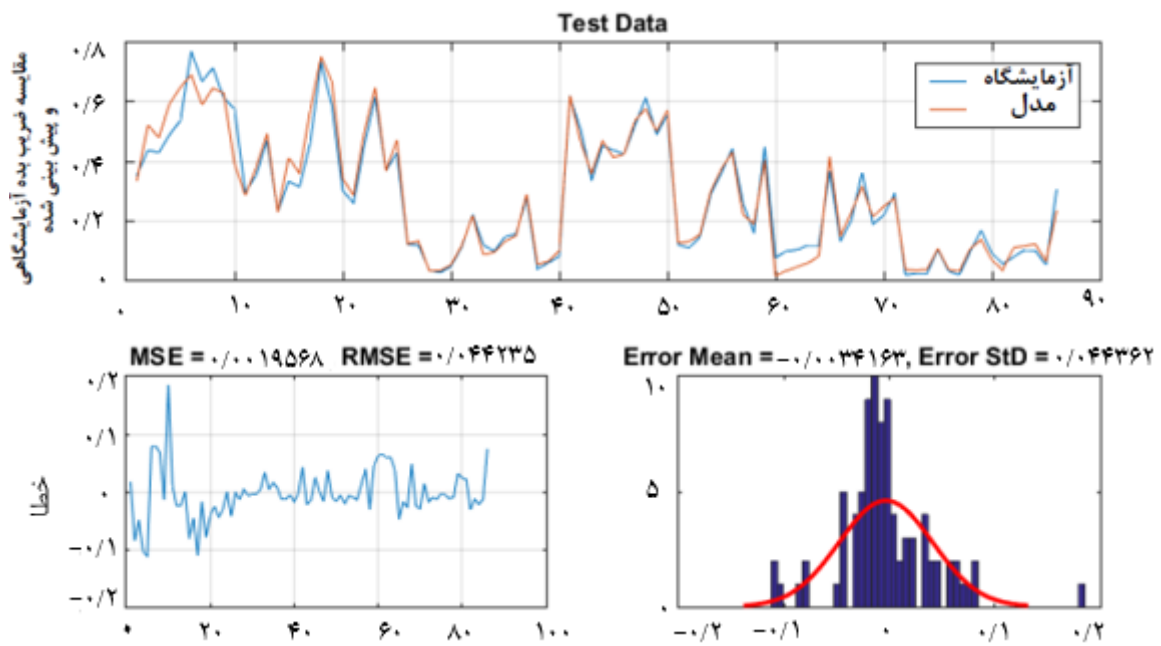
برای پیش‌بینی ضریب تخلیه سرریز ابتدا داده‌ها نرمال بین صفر و یک قرار داده شد و به دو بخش آموزش و آزمون تقسیم‌بندی شدند. ۷۰ درصد داده برای آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها برای مرحله آزمون



شکل ۳- عملکرد مدل svm در مرحله آموزش

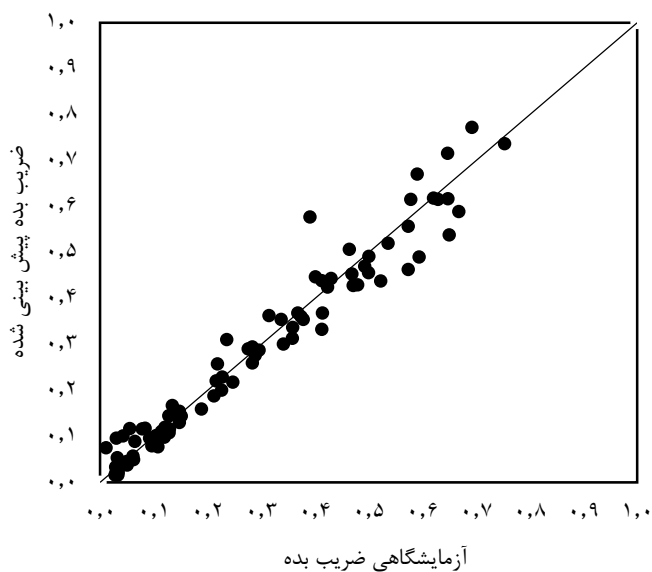


شکل ۴- مقایسه بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده در مرحله آموزش

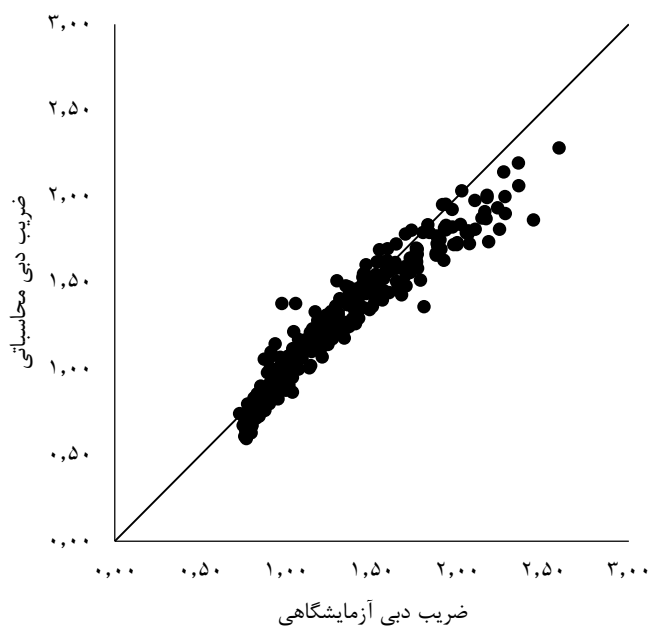


شکل ۵- عملکرد مدل SVM در مرحله آزمون

مرحله آزمون



شکل ۶- مقایسه بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده در مرحله آزمون



شکل ۷- بررسی دقت رابطه‌ی پیشنهادی برای سرریز کلیدپیانویی

رگرسیون غیرخطی

در این تحقیق رابطه‌ای تجربی برای پیش‌بینی مقدار ضریب تخلیه سرریز کلیدپیانویی با استفاده از نرم‌افزار DATAFIT و دقت آن مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به داده‌های آزمایشگاهی

رابطه‌ای بین پارامترهای ورودی موثر و پارامتر خروجی ضریب تخلیه در قطاع ۳۰ و ۱۲۰ درجه برای سرریز تیپ B ارایه شد. معادله ۹ معادله پیشنهادی برای ضریب تخلیه سرریز را نشان می‌دهد. در شکل ۷ دقت رابطه تجربی برای تعیین ضریب تخلیه سرریز ارایه شده است.

می‌شود از مدل SVM برای پیش‌بینی در سرریزهای جانبی استفاده شود.

$$C_d = \exp(-0.15 \frac{L}{b} - 0.248F_1 + 0.07 \frac{L}{r_c} + 2.492 \frac{P}{h_1} - 0.656 \frac{P_d}{B} - 0.0013\alpha - 1.156) \quad (9)$$

منابع

مهری، ی.، سلطانی، ج.، صانعی، م.، رستمی، م. و میکائیلی، ه. ۱۳۹۶. بررسی آزمایشگاهی ضریب تخلیه سرریز جانبی کلیدپیانویی در کانال قوسی شکل. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه محقق اردبیلی.

مهری، ی.، سلطانی، ج.، صانعی، م. و رستمی، م. ۱۳۹۷. بررسی عددی سرریز جانبی کلیدپیانویی تیپ C در زاویه ۱۲۰ از کانال قوسی با استفاده از FLUENT و مقایسه با مدل آزمایشگاهی. کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، دانشگاه تبریز.

Agaccioglu, H., Emiroglu M.E., Kaya, N. 2012. Discharge coefficient of side weirs in curved channels. Paper presented at the Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management. 165.6: 339-352.

Azimi, H., Bonakdari, H., Ebtehaj, I. 2017. A highly efficient gene expression programming model for predicting the discharge coefficient in a side weir along a trapezoidal canal. Irrigation and drainage. 66.4: 655-666.

Emiroglu, M.E., Kaya, N., Agaccioglu, H. 2009. Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel. Journal of irrigation and drainage engineering. 136.1: 37-46.

Ercicum, S., Machiels, O., Archambeau, P., Dewals, B and Piroton, M. 2010. 1D numerical approach to model the flow over a Piano Key Weir (PKW). Paper presented at the International Conference. SimHydro 2010: Hydraulic modeling and uncertainty.

Ghasemzadeh, F., Parsa, B and Noury, M. 2015. Numerical study of overflow capacity of spillways (with an emphasis on PK-weirs). Paper presented at the E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, Hague, The Netherlands.

Kalanaki, M., Soltani, J. and Tavassoli, S. 2013. The use of hybrid SVR-PSO model to predict pipes failure rates. International journal of science and engineering research 4.11: 1022-1025.

Karami, H., Karimi, S., Rahmimanesh, M., Farzin, S. 2017. Predicting discharge coefficient of triangular labyrinth weir using support vector regression, support vector regression-firefly, response surface methodology and principal component analysis. Flow measurement and instrumentation. 55: 75-81.

Khameneh, H.Z., Khodashenas, S.R and Esmaili, K.

مقایسه دو مدل SVM و رگرسیون غیرخطی

ارزیابی دو مدل بکار رفته شده در این تحقیق و مقایسه عملکرد هر یک از دو مدل رگرسیون بردار پشتیبان و رگرسیون غیرخطی ضروری است. با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که ماشین بردار پشتیبان دارای دقت بیش‌تری نسبت به رگرسیون غیرخطی است. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که دقت مدل SVM دارای $R^2 = 0.95$ و $RMSE = 0.044$ می‌باشد این در حالی است که دقت مدل رگرسیون غیرخطی دارای $R^2 = 0.93$ و $RMSE = 0.09$ است. علت این موضوع بهره‌گیری از کمینه کردن خطا در مدل SVM با استفاده از الگوریتم‌های مورد استفاده در این مدل است که سبب برتری این مدل شده است.

جدول ۳- ارزیابی دو مدل SVM و رگرسیون غیرخطی

رگرسیون غیرخطی		SVM		
آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	پارامتر
-	۰/۰۹	۰/۰۴۴	۰/۰۴۱	RMSE
-	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۷	R^2

نتیجه‌گیری

بهره‌گیری از سرریز جانبی کلیدپیانویی با توجه به طول موثر بیش‌تر در مناطق کوهستانی و در رودخانه و کانال‌های قوسی شکل برای استفاده در سرریزهای جانبی ضروری است. در این تحقیق با بررسی آزمایشگاهی، ضریب تخلیه سرریز نوع B در دو زاویه ۳۰ و ۱۲۰ درجه از قوس برداشت شد و مجموعاً ۲۸۹ آزمایش انجام گردید. بعد از نرمال کردن داده‌ها و با کدنویسی در محیط نرم‌افزار متلب از مدل هوشمند SVM و هم‌چنین مدل رگرسیون غیرخطی برای پیش‌بینی ضریب تخلیه سرریز جانبی کلیدپیانویی استفاده شد. از پارامترهای بدون بعد برای ورودی مدل‌ها استفاده شد. مقادیر بهینه ضرایب مدل SVM شامل ϵ و c با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی و در نهایت با سعی خطا بدست آمد. در این تحقیق در مرحله آموزش مدل SVM دارای مقادیر خطای $RMSE = 0.041$ و $R^2 = 0.97$ می‌باشد. با توجه به ارزیابی‌ها مدل SVM دارای دقت بالاتری با توجه به $RMSE = 0.044$ ، هم‌چنین $R^2 = 0.95$ نسبت به مدل رگرسیون غیرخطی با $RMSE = 0.09$ و $R^2 = 0.93$ است، علت این موضوع بهینه‌سازی مدل SVM و کمینه کردن مقدار خطای آن در محدوده مطالعاتی این تحقیق است به طوری که مراحل یادگیری در مدل SVM سبب بهبود نتایج پیش‌بینی شده است. بنابراین پیشنهاد

- Discharge Coefficient of a C-Type Piano Key Side Weir at 30° and 120° Sections of a Curved Channel. *Civil Engineering Journal*. 4.7:1702-1713.
- Parvaneh,A and Borghei,S. 2009. Oblique side weir. Paper presented at the Proceedings of the 33th congress of the international association for hydraulic research.
- Roushangar,K., Alami,M.T., Shiri,J., Asl,M.M. 2017. Determining discharge coefficient of labyrinth and arced labyrinth weirs using support vector machine. *Hydrology research*, nh2017214.
- Saleh Issa Khassaf,D., Aziz,L.J., Elkatib,Z.A. Hydraulic Behavior Of Piano Key Weir Type B Under Free Flow Conditions. 2014. The effect of increasing the number of cycles on the performance of labyrinth side weir. *Flow measurement and instrumentation*. 39: 35-45.
- Lempérière,F., Ouamane,A. 2003. The Piano Keys weir: a new cost-effective solution for spillways. *International Journal on Hydropower and Dams*. 10.5: 144-149.
- Mehmandoust,M., Soltani,J., Mashal,M., Kalanaki,M., Sadeghifar,R and Asadollahzade,T. 2017. Comparison of accuracy of Epsilon and Quadratic loss function for predicting saturated hydraulic conductivity by SVR and SVR-GA models *Bioscience Biotechnology Research Communications*.1:94-101.
- Mehri,Y., Soltani,J., Saneie,M and Rostami,M. 2018.

Evaluation of SVM and Nonlinear Regression Models for Predicting the Discharge Coefficient of Side Piano Key Weirs in Irrigation and Drainage Networks

Y.Mehri¹, S.Esmali², J.soltani*³, M. Saneie⁴, M. Rostami⁵

Received: May.08, 2018

Accepted: Jun.08, 2018

Abstract

Given the problems with incorporating common weirs into in irrigation and drainage, employing such weirs can be useful to overcome the difficulties resulting from linear weirs. A total of 289 data were carried out as control tests on piano key weirs type B. In this research, application and the performance of two models including SVM model and nonlinear regression models for estimation of the piano key weirs and discharge coefficient was studied. The SVM model were programmed using MATLAB and a nonlinear regression model was programmed using DATAFIT. Considering the results from the two studied models, it was found that SVM and nonlinear regression models are superior in estimating the discharge coefficient based on experimental data. The SVM model was the most accurate among the nonlinear regression models. Then analytical evaluation was made by using two models for determination of weir discharge coefficient. Statistical analysis of the results showed that SVM model with the least amount of RMSE and R^2 is the most reliable method in comparison to the other.

Keyword: Artificial intelligence model, Coefficient of discharge, Experimental study, Piano key weir, Regression

1- Ph.D. Student in Water Structures, Irrigation and Reclamation Department, University of Tehran, Iran
2- Ms.c Student, Irrigation and Drainage Engineering Department, Abouraihan Campus, University of Tehran
3-Assistant Professor, Irrigation and Drainage Engineering Department, Abouraihan Campus, University of Tehran
4- Assoc. Prof., Water Structures Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
5- Assistant Professor., Water Structures Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
(*- Corresponding Author Email: jsoltani@ut.ac.ir)