

بررسی مقایسه‌ای پارامترهای هیدرولیکی تاثیرگذار بر مشخصات پرش هیدرولیکی در کانال‌های با مقاطع مرکب با استفاده از روش مبتنی بر کرنل SVM

رامین تبریزی^۱، سید مهدی ثاقبیان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۸

چکیده

پرش هیدرولیکی متداول‌ترین روش جهت استهلاک انرژی جنبشی آب در پایین دست سرریزها، شوت‌ها و دریچه‌ها می‌باشد. تاکنون، روابط متعددی برای پیش‌بینی مشخصات پرش هیدرولیکی ارائه شده‌اند. به دلیل پیچیده بودن پدیده پرش، نتایج حاصل از این روابط در شرایط مختلف یکسان نبوده و جامعیتی برای تعمیم کلی ندارد. در تحقیق حاضر، مشخصات پرش هیدرولیکی از جمله نسبت اعماق متناوب و طول پرش در کانال‌های مرکب (مقطع مستطیلی و دوزنقه‌ای) با بستر زبر با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) تخمین زده شده است. مدل‌های متفاوتی تعریف شده و نرخ تأثیر پارامترهای ورودی در هر نوع کانال مورد بررسی قرار گرفته است. مقایسه نتایج حاصل از روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان قابلیت و کارایی بالای این روش را در تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی به خوبی نشان داد. ملاحظه گردید که مدل با پارامترهای ورودی (نسبت فاصله المان‌های زبر به ارتفاع آن‌ها) FR_1 , w/z (عدد فرود) منجر به نتایج دقیق‌تری می‌گردد و مشخصات المان‌های زبر به کار رفته در بستر کانال در تخمین مشخصات پرش تاثیرگذار است. بهترین حالت ارزیابی برای داده‌های آزمون در کانال دوزنقه‌ای برای نسبت اعماق متناوب با مقادیر $DC=0.975$, $R=0.979$ و $RMSE=0.046$ و برای طول پرش هیدرولیکی با مقادیر $DC=0.858$, $R=0.935$ و $RMSE=0.072$ بدست آمد. همچنین نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که عدد فرود تاثیرگذارترین پارامتر در تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی است.

واژه‌های کلیدی: بستر زبر، پرش هیدرولیکی، کانال مرکب، ماشین بردار پشتیبان

مقدمه

حوضچه‌های آرامش با شکل‌ها و مشخصات متفاوت و شرایط حاکم بر جریان آب ساخته شده و در هر مورد سعی شده تا اقتصادی‌ترین حالت انتخاب شود. به منظور عملکرد بهینه حوضچه آرامش لازم است که پرش کاملاً در حوضچه رخ دهد که به عمق آب پایین دست بستگی دارد. اگر به هر دلیلی تأمین عمق مورد نیاز برای وقوع پرش هیدرولیکی کلاسیک میسر نباشد و یا هزینه‌های حفاری به منظور پایین آوردن کف حوضچه مقرون به صرفه نباشد یکی از راه‌های حصول اطمینان از تشکیل پرش در حوضچه استفاده از واگرایی مقطع می‌باشد. پرش هیدرولیکی در مقاطع واگرا با شرایط جریان ورودی که عبارت‌اند از عمق اولیه پرش، عدد فرود جریان ورودی و پنجه پرش (فاصله عمق اولیه پرش از محل تغییر مقطع) توصیف می‌شود. تاکنون در مورد پرش هیدرولیکی مطالعات متعددی صورت پذیرفته است و روابط متعددی ارائه شده‌اند. بختیاری (۱۳۸۷) پارامترهای پرش هیدرولیکی در مقاطع واگرا را مورد بررسی قرارداد و تأثیر افزایش زاویه واگرایی را بر روی پارامترهای پرش هیدرولیکی مورد بررسی قرار داد. کلوسیوس و احمد با فرض تغییرات خطی بین عمق اولیه و ثانویه ی پرش در مقاطع مستطیلی واگرا، روابطی را برای نسبت عمق

یکی از روش‌های متداول استهلاک انرژی جنبشی جریان در پایین دست سازه‌های آبی در حوضچه‌های آرامش، پرش هیدرولیکی می‌باشد. پرش هیدرولیکی، یکی از مهم‌ترین پدیده‌ها در جریان متغیر سریع است که در آن جریان از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی تبدیل می‌شود. در اثر پدیده پرش هیدرولیکی عمق جریان در مسیر نسبتاً کوتاهی به میزان زیادی افزایش می‌یابد و در نتیجه ضمن ایجاد افت انرژی، از میزان سرعت جریان به اندازه قابل توجهی کاسته می‌شود. ابعاد حوضچه آرامش به مشخصات پرش هیدرولیکی به خصوص طول و عمق ثانویه پرش هیدرولیکی بستگی دارد. پارامترهایی چون طول پرش، نسبت عمق ثانویه به عمق اولیه و میزان افت انرژی از جمله پارامترهای مهمی هستند که بر اقتصادی کردن سازه حوضچه آرامش تأثیر فراوانی دارند. بر این اساس

۱- گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

۲- گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

(*- نویسنده مسئول: (Email: smsaghebian@iauh.ac.ir)

(ASCE, ۲۰۰۰). شیر و کیسی از روش‌های برنامه‌ریزی بیان ژن برای پیش‌بینی عمق آب‌های زیرزمینی استفاده کردند (Shiri, & Kisi., 2011). روشنگر و قاسم‌پور با استفاده از روش یادگیری ماشینی (SVM) Support Vector Machine به مدلسازی میزان رسوب انتقالی در سیستم‌های فاضلابی پرداختند (Roushangar, & Ghasempour., 2017). سیواپراگسام و لیونگ از مدل SVM برای پیش‌بینی بارش - رواناب حوضه Tryggevaelde واقع در کشور هلند استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل SVM دارای عملکردی بهتر از مدل Artificial Neural Network (ANN) است (Siviapragasam, & Liong., 2001). نتایج حاصل با روابط تجربی مقایسه گردید که بهتر بودن عملکرد SVM نسبت به روابط تجربی مشخص گردید. خان و کولیالی روش SVM را جهت پیش‌بینی سطح آب دریاچه بکار بردند (Khan, & Coulibaly., 1989). از آنجا که اندازه‌گیری دقیق مشخصات پرش هیدرولیکی جهت طراحی بهینه سازه‌های مستهلک کننده انرژی ضروری بوده و با توجه به پیچیدگی و عدم قطعیت موجود در پدیده پرش هیدرولیکی که باعث شده تا روابط نیمه تجربی موجود از دقت کافی برخوردار نبوده و در بیشتر موارد نتایج حاصله با خطاهای بزرگی همراه باشد، بنابراین مقاله حاضر روش جدید ماشین بردار پشتیبان را به عنوان روش فرامدل در تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی در دو نوع کانال مستطیلی و دوزنقه‌ای با شرایط بستر زبر مورد بررسی قرار داده است. در این راستا مدل‌هایی با پارامترهای ورودی متفاوت بر اساس مشخصات جریان و مشخصات المان‌های زبر تعریف گردید و تأثیر مدلسازی متفاوت بررسی شد. همچنین با استفاده از آنالیز حساسیت پارامترهای موثر در تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی در این نوع کانال‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

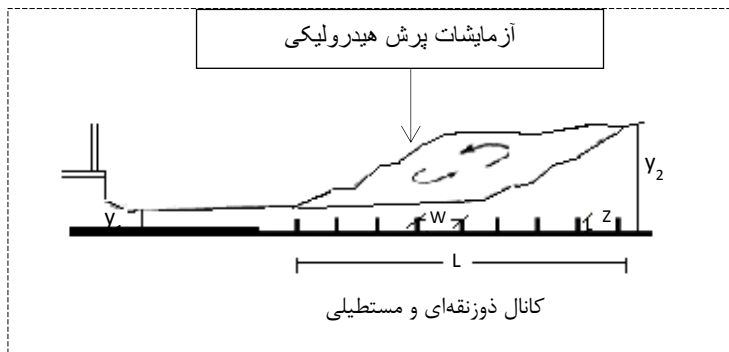
سری داده‌های مورداستفاده در تحقیق

در تحقیق کنونی از داده‌های آزمایشگاهی اوچمن استفاده شده است (Evcimen., 2005 & 2012). اوچمن آزمایش‌هایی را مطابق شکل (۱) در مورد پرش هیدرولیکی در دو نوع کانال مستطیلی و دوزنقه‌ای با در نظر گرفتن المان‌های زبر منشوری در بستر کانال‌ها انجام داد و مشخصات پرش هیدرولیکی را در این نوع کانال‌ها بررسی نمود. در جدول (۱) محدوده‌ی مشخصات هیدرولیکی و هندسی این آزمایش‌ها نشان داده شده است. پارامترهای به کار رفته در جدول (۱) و شکل (۱) شامل Fr_1 عدد فرود بالادست، L طول پرش، Y نسبت اعماق متناوب، y_1 و y_2 به ترتیب عمق جریان در بالادست و پایین دست، z ارتفاع المان‌های زبر و w فاصله بین المان‌های زبر به کار رفته در کف کانال است.

ثانویه به عمق اولیه و همچنین افت انرژی نسبی ارائه کردند (Koloseus, & Ahmad., 1969). هربراند با توجه به فشار هیدرولیکی و پراکندگی یکنواخت سرعت، فرمول مومنتم را پیشنهاد داد. در این فرمول تأثیر اصطکاک نادیده گرفته شده و انتهای کانال به صورت افقی فرض شده بود (Herbrand., 1970). گوپتا و همکاران نسبت طول و نسبت استهلاک انرژی را در پرش هیدرولیکی آزاد در کانال منشوری افقی مدل‌سازی نمودند و به این نتیجه دست یافتند که با افزایش عدد فرود مقادیر طول و میزان استهلاک انرژی بیشتر می‌شوند (Gupta et. al., 2013). بدیع زادگان و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی پرش هیدرولیکی روی بسترهای موج دار سینوسی افقی نشان دادند که مقادیر مختلف شیب موج زبری، تأثیر متفاوتی در کاهش نسبت عمق مزدوج نداشته و انواع مختلف زبری حدوداً به یک میزان، باعث کاهش عمق ثانویه می‌شوند. اسدی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی تأثیر قطر متوسط ذرات در شرایط زبری طبیعی بستر بر نسبت عمق ثانویه به اولیه، استهلاک انرژی نسبی پرش هیدرولیکی و ضریب نیروی برشی پرداختند و روابطی را برای هر یک از موارد فوق ارائه نمودند. اسدی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی آزمایشگاهی اثر زبری‌های مکعبی با آرایش‌های زیگزاگی و ردیفی در ردیف‌ها و زاویه‌های متفاوت بر طول پرش و استهلاک انرژی پرداختند. نتایج عملکرد بهتر آرایش زیگزاگی نسبت به ردیفی در کاهش طول پرش به میزان ۴۹ درصد را نشان داد. باباعلی و همکاران به مدل‌سازی محاسباتی پرش هیدرولیکی در حوضچه نشستن با دیوارهای همگر پرداختند و نتایج حاصله را با نتایج سایر محققین مقایسه نمودند (Babaali et al., 2015). ونگ و موزین به ارزیابی تجربی مشخصات آشفستگی در جریان دو مرحله‌ای پرش هیدرولیکی پرداختند (Wang & Murzyn, 2017). پالرمو و پالیارا با استفاده از روش نیمه تجربی استهلاک انرژی ناشی از پرش هیدرولیکی را در کانال‌های زبر شیبدار بررسی کردند و روابطی را در این زمینه ارائه کرده و با داده‌های آزمایشگاهی سایر محققین مقایسه نمودند (Palermo & Pagliara., 2018). به‌رحال کاربرد بسیاری از مدل‌های کلاسیک محدود به مواردی است که شامل فرضیات و شرایط توسعه و استخراج فرمول‌ها باشند و برای تمامی موارد نمی‌توان از آن‌ها استفاده کرد. از آنجا که اندازه‌گیری دقیق مشخصات پرش هیدرولیکی موجب بهینه‌سازی طراحی سازه‌های مستهلک‌کننده انرژی می‌گردد، لذا استفاده از روش‌های هوشمندی که بتوانند این پارامتر را دقیق‌تر تخمین بزنند ضروری به نظر می‌رسد. در دهه‌های اخیر روش‌های محاسباتی نرم (مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، برنامه‌ریزی ژنتیک، ماشین بردار پشتیبان، مدل‌های فازی) برای شبیه‌سازی رفتار سیستم‌ها در زمینه مهندسی آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این روش‌ها الهام گرفته از پدیده‌های موجود در طبیعت بوده و معمولاً دارای جواب بهتری نسبت به روش‌های کلاسیک می‌باشند

جدول ۱- محدوده‌ی داده‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها

نوع کانال	پارامترها					تعداد داده‌ها
	L/y_1	Fr_1	$Y(y_2/y_1)$	z (cm)	w/z	
مستطیلی با بستر زبر	۲۶.۳-۸۴.۲	۷.۲-۱۶.۶۹	۸.۷-۱۸.۸	۰.۶-۲	۲.۹	۱۱۳
دوزنقه‌ای با بستر زبر	۳۸-۱۵۱.۸	۳.۹۲-۱۳.۲۸	۴.۱۵-۱۴.۹۱	۱-۳	۰.۶۶-۸	۱۰۷



شکل ۱- جزئیات مربوط به کانال‌های استفاده شده در آزمایشات (Evecimen, 2005)

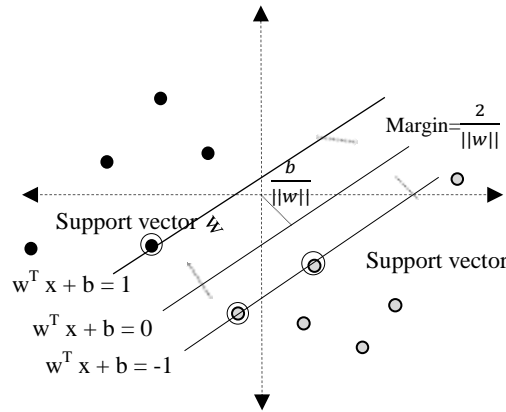
کار توسط کاربر به صورت سعی و خطا انجام می‌گیرد و با آزمودن مقادیر مختلف مقدار بهینه این پارامترها انتخاب می‌گردد. از طرفی روش SVM یک روش جعبه سیاه بوده و فیزیک پدیده مورد بررسی را لحاظ نمی‌کند و نسبت به داده حساس می‌باشد. در حالت کلی روش SVM نیاز به یک تابع کرنل مناسب با پدیده مورد بررسی و انتخاب پارامتر جریمه مناسب (c) نیاز دارد. انواع مختلف تابع کرنل در جدول (۲) نمایش داده شده است.

معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی کارایی روش استفاده شده در تخمین نسبت اعماق متناوب و طول پرش هیدرولیکی، از سه پارامتر آماری استفاده گردید که عبارت‌اند از: ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی (R)، همبستگی خطی بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی (DC) که یکی از معیارهای مهم ارزیابی قابلیت یک مدل است و هر چه مقدار آن نزدیک به یک باشد به معنی ارتباط بهتر داده‌ها می‌باشد و ریشه میانگین مربعات خطاها (RMSE) که بیانگر میزان انحراف بین مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد. هر چه مقدار R و DC برای یک مدل به یک نزدیک‌تر و مقدار RMSE کوچکتر باشد به معنی مطلوب بودن آن مدل می‌باشد. روابط این پارامترهای آماری به صورت زیر می‌باشد:

ماشین بردار پشتیبان SVM

الگوریتم SVM، جزء الگوریتم‌های تشخیص الگو دسته‌بندی می‌شود که برای اولین بار توسط وپنیک معرفی شد (Vapnik, 1995). مبنای کاری SVM دسته‌بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌شود خطی انتخاب شود که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد (شکل ۲). در واقع هدف الگوریتم SVM این است که خطی را بیابد که از داده‌های موجود در دو کلاس دارای بیشترین فاصله باشد و یا به عبارت دیگر دارای کمترین ریسک عملیاتی باشد. در مرحله بعد دو صفحه مرزی موازی با صفحه‌ی تفکیک کننده رسم می‌شود و تا زمانی که به داده‌ها برخورد کنند از هم دور می‌شوند. صفحه تفکیک کننده‌ای که بیشترین فاصله را از صفحات دسته‌بندی داشته باشد بهترین صفحه تفکیک کننده است. نزدیک‌ترین داده‌های آموزشی به صفحات تفکیک کننده، بردار پشتیبان نامیده می‌شود. در مسائلی که داده‌ها به طور خطی تفکیک پذیر نباشند، می‌توان با نگاشت داده‌ها به یک فضای ویژگی، آن‌ها را بصورت خطی جداپذیر نمود. نگاشت داده‌ها به فضای ویژگی با استفاده از توابع کرنل انجام می‌گیرد. در مسائل SVM انتخاب تابع کرنل بسیار مهم می‌باشد و انتخاب آن به نوع و ماهیت مسئله بستگی دارد؛ بنابراین نمی‌توان تابعی را به طور قطعی به عنوان تابع مناسب برای SVM معرفی کرد و نسبت به شرایط این موضوع می‌تواند متغیر باشد. هر یک از توابع کرنل پارامترهای مخصوص خود را دارند که برای رسیدن به جواب مناسب باید به صورت بهینه انتخاب شوند. این



شکل ۲- جداسازی داده‌ها در SVM و بردارهای پشتیبان

جدول ۲- انواع تابع کرنل

نوع کرنل	تابع کرنل	پارامتر کرنل
Linear	$K(x_i, x_j) = (x_i, x_j)$	-
Polynomial	$K(x_i, x_j) = ((x_i, x_j) + 1)^d$	d
RBF	$K(x_i, x_j) = \exp(-\frac{\ x_i - x_j\ ^2}{2\sigma^2})$	γ
Sigmoid	$K(x_i, x_j) = \tanh(-\alpha(x_i, x_j) + c)$	α, c

ثابتی‌اند و بر اساس آنکه داده‌ها در چه محدوده‌ای نرمالیزه خواهند شد انتخاب می‌گردند. محدوده‌ی نرمالیزه داده‌ها در این تحقیق بین ۰,۱ و ۱ انتخاب گردید (Dawson & Wilby., 1998). بنابراین مقادیر a و b به ترتیب برابر با ۰,۱ و ۰,۹ می‌باشد. لازم به توضیح است که معیار RMSE دارای واحدی برابر با واحد پارامتر مورد بررسی (در این مقاله L و Y) می‌باشد. اما به دلیل آنکه در تحقیق کنونی داده‌ها به صورت نرمالیزه شده مورد استفاده قرار گرفته‌اند RMSE بدون بعد خواهد بود.

شبیه‌سازی و نتایج و بحث

تعریف مدل‌های ورودی

با توجه به اینکه انتخاب مدل‌های ورودی در سامانه‌های هوشمند می‌تواند بر روی دقت جواب‌های حاصل از تحلیل تأثیر گذارد، لذا سعی گردید در مدل‌سازی SVM پارامترهای مناسب و مؤثر در تعیین مشخصات هیدرولیکی انتخاب گردد. در تعریف مدل‌ها، ترکیب متفاوتی از مشخصات جریان و هندسه المان‌های زبر به‌کاررفته در نظر گرفته شد تا تأثیر هر کدام از این پارامترها در تخمین مشخصات پرش مشخص گردد. در جدول (۳) مدل‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش آورده شده است. در این جدول Fr_1 نشان دهنده عدد فرود بالادست، پارامتر L بیانگر طول پرش، Y نسبت اعماق متناوب، γ_1 و γ_2 به ترتیب عمق جریان در بالادست و پایین دست، z ارتفاع

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (l_{mi} - l_{pi})^2}{N}} \quad (1)$$

$$DC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (l_{mi} - l_{pi})^2}{\sum_{i=1}^N (l_{mi} - \bar{l}_{mi})^2} \quad (2)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (l_{mi} - \bar{l}_{mi}) \times (l_{pi} - \bar{l}_{pi})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (l_{mi} - \bar{l}_{mi})^2 \times (l_{pi} - \bar{l}_{pi})^2}} \quad (3)$$

در روابط بالا L_m : مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{L}_m : متوسط مقدار اندازه‌گیری شده، L_p : مقدار پیش‌بینی شده، \bar{L}_p : متوسط مقدار پیش‌بینی شده و N تعداد داده‌هاست. یک نکته مهم در آموزش شبکه‌های عصبی نرمال‌سازی داده‌ها قبل از استفاده در مدل می‌باشد. این عمل خصوصاً وقتی دامنه تغییرات ورودی‌ها زیاد باشد کمک شایانی به آموزش بهتر و سریع‌تر مدل می‌کند. اصولاً واردکردن داده‌ها به‌صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود. برای نرمال‌سازی داده‌های تحقیق از رابطه (۴) استفاده شده است:

$$x_n = a + b \times \left(\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) \quad (4)$$

در رابطه بالا x_{\max} و x_{\min} به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار داده‌های مشاهده شده و x_n داده نرمال شده می‌باشد. a و b مقادیر

تخمین نسبت اعماق متناوب تاثیرگذار می‌باشد. نمودار مدل برتر برای سری داده‌های آموزش و آزمون برای هر دو کانال در شکل (۳) آورده شده است.

نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها مربوط به طول پرش هیدرولیکی
پارامترهای ارزیابی برای مدل‌های تعریف شده جهت تخمین طول پرش هیدرولیکی در جدول (۶) قابل مشاهده است. بررسی نتایج حاصل در دو کانال، نشان دهنده این مطلب است که مدل M(IV) با داشتن کمترین خطا در بین تمامی مدل‌ها بهترین نتایج را ارائه داده است و مدل برتر می‌باشد.

همانطور که از نتایج پیش‌بینی پیداست، در نظر گرفتن پارامترهای $(y_2 - y_1)/y_1$ باعث افزایش مقادیر ارزیابی DC، R و کاهش میزان خطا یا RMSE و در نتیجه افزایش دقت پیش‌بینی‌ها گردیده است. مقایسه نتایج مربوط به مدل‌های M(IV) و M(III)، M(I) نشان می‌دهد که استفاده از پارامترهای w/z و z/y_1 دقت مدل‌ها را افزایش داده‌اند. می‌توان نتیجه گرفت که مشخصات المان‌های زیر به کار رفته در بستر کانال در تخمین طول پرش نیز تاثیرگذار است. همچنین مشاهده می‌شود که روش SVM در تخمین طول پرش در کانال ذوزنقه‌ای نسبت به کانال مستطیلی موفق‌تر می‌باشد. با مقایسه نتایج جداول (۵) و (۶) ملاحظه می‌شود که روش ماشین بردار پشتیبان در تخمین نسبت اعماق متناوب نسبت به تخمین طول پرش هیدرولیکی موفق‌تر عمل می‌کند. شکل (۴) رابطه خطی بین L/y_1 حالت مشاهده و پیش‌بینی شده‌ی مدل برتر نسبت طول پرش به عمق اولیه را نشان می‌دهد.

آنالیز حساسیت

جهت بررسی تأثیر پارامترهای به کار رفته در مدل برتر هر مشخصه پرش هیدرولیکی آنالیز حساسیت انجام گرفت. برای این منظور با حذف تک‌تک پارامترهای مدل برتر و اجرای دوباره مدل و تعیین معیارهای ارزیابی میزان تأثیر پارامتر حذف شده در کاهش دقت مدل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت به صورت جدول (۷) شکل (۵) ارائه گردیده است. همانطور که از شکل مشخص است در هر دو حالت کانال مستطیلی و کانال ذوزنقه‌ای با بستر زیر با حذف عدد فرود دقت مدل تا حدود زیادی کاهش یافته است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که عدد فرود بیشترین تأثیر را در تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی داراست.

المان‌های زیر و w فاصله بین المان‌های زیر به کار رفته در کف کانال است. لازم به توضیح است که برای رسیدن به نتایج بهتر و دقیق‌تر روند آموزش چند بار تکرار گردید و نهایتاً الگوی ۲۵٪ داده‌ها جهت تست و ۷۵٪ داده‌ها جهت آموزش به عنوان الگوی برتر انتخاب شد.

جدول ۳- مدل‌های تعریف شده در تحقیق

مدل	پارامترهای ورودی	پارامترهای خروجی
M(I)	Fr_1	$L/y_1, Y$
M(II)	$Fr_1, (y_2 - y_1)/y_1$	$L/y_1, Y$
M(III)	$Fr_1, z/y_1$	$L/y_1, Y$
M(IV)	$Fr_1, w/z$	$L/y_1, Y$

نتایج و بحث

انتخاب تابع کرنل مناسب SVM

در این تحقیق برای انتخاب تابع کرنل مناسب روش ماشین بردار پشتیبان ابتدا مدل M(IV) در کانال مستطیلی و با در نظر گرفتن نسبت اعماق متناوب به عنوان پارامتر مورد بررسی با توابع کرنل مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق جدول (۴) نتایج نشان داد که تابع کرنل (RBF) در تخمین نسبت اعماق متناوب بهتر عمل می‌کند؛ و کرنل (Sigmoid) ضعیف‌ترین جواب را ارائه می‌دهد. بنابراین برای مدل‌های دیگر نیز از کرنل (RBF) استفاده گردید. همچنین برای یافتن بهینه‌ترین پارامترهای تابع کرنل از روش سعی و خطا استفاده شد و با آزمون مقادیر مختلف مقدار بهینه این پارامترها انتخاب گردید. نحوه کار به این صورت بود که به ازای مقدار ثابت γ ابتدا مقادیر بهینه ϵ و c به دست آمد، سپس مقدار γ تغییر پیدا کرد و با محاسبه پارامترهای آماری مقدار بهینه آن محاسبه گردید.

نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها مربوط به نسبت اعماق متناوب

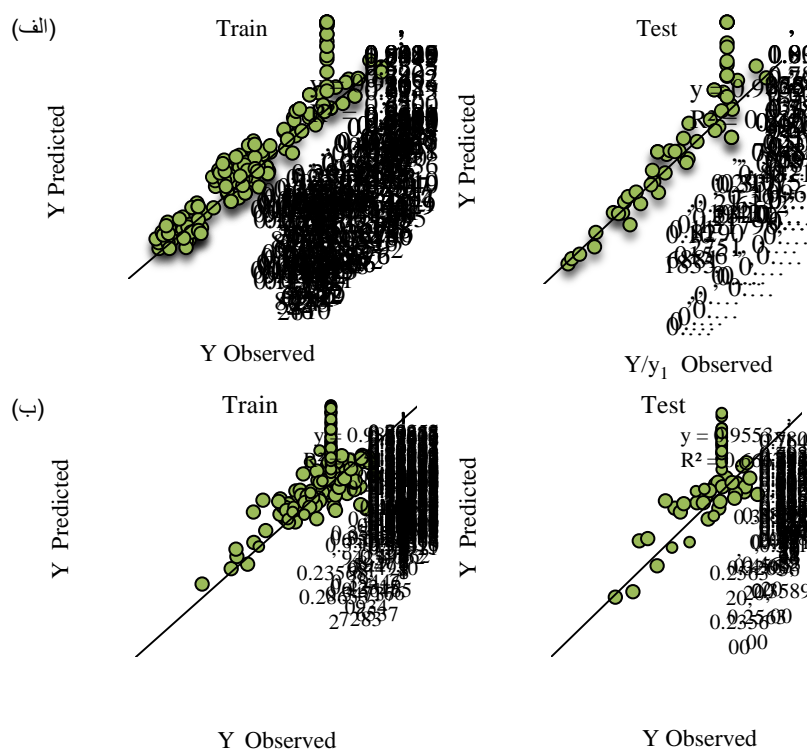
نتایج آنالیز مدل‌ها در تخمین نسبت اعماق متناوب در جدول (۵) و شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از سه معیارهای ارزیابی مدل برای داده‌های آموزش و آزمون مشاهده می‌شود که بین دو کانال مدل‌های تعریف شده برای کانال ذوزنقه‌ای نتایج دقیق‌تری را نسبت به کانال مستطیلی ارائه داده است و در بین مدل‌ها، مدل M(IV) با پارامترهای ورودی Fr_1 و w/z بیشترین کارایی را دارا می‌باشد. مطابق با نتایج ملاحظه می‌گردد که استفاده از پارامتر $(y_2 - y_1)/y_1$ در کنار عدد فرود باعث بهبود نتایج مدل‌ها شده‌اند. همچنین مقایسه نتایج مربوط به مدل‌های M(III) و M(I) نشان می‌دهد که استفاده از پارامتر z/y_1 نیز دقت مدل را تا حدودی افزایش داده است. این امر بیان‌گر آن است که مشخصات المان‌های زیر در

جدول ۴- پارامترهای آماری مدل M(IV) در کانال مستطیلی با توابع کرنل متفاوت

نوع کرنل	مرحله تست		
	R	DC	RMSE
Linear	۰.۸۹۹	۰.۷۵۵	۰.۲۳۳
Polynomial	۰.۹۰۳	۰.۸۱۲	۰.۱۰۵
RBF	۰.۹۷۸	۰.۹۴۲	۰.۰۵۵
Sigmoid	۰.۵۲۳	۰.۲۰۵	۰.۲۸۴

جدول ۵- نتایج مربوط به مدل‌های پیش‌بینی اعماق متناوب توسط SVM

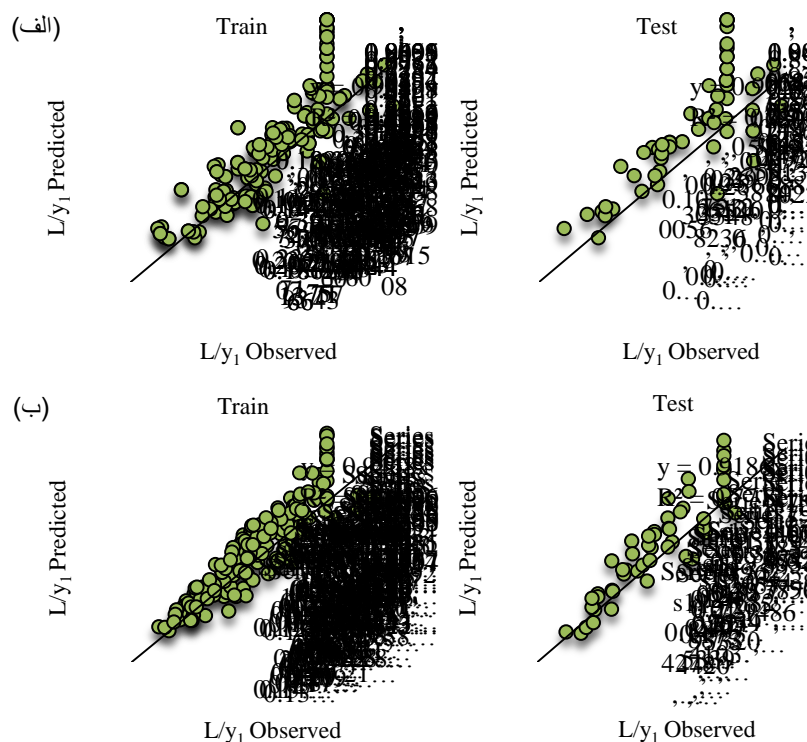
مدل	معیارهای ارزیابی					
	Train			Test		
	R	DC	RMSE	R	DC	RMSE
کانال مستطیلی						
M(I)	۰.۹۷۲	۰.۹۲۵	۰.۰۶۶	۰.۹۲۳	۰.۹۱۵	۰.۰۷۲
M(II)	۰.۹۸۱	۰.۹۶۲	۰.۰۵۱	۰.۹۷۳	۰.۹۳۹	۰.۰۶۱
M(III)	۰.۹۷۷	۰.۹۴۵	۰.۰۵۸	۰.۹۶۶	۰.۹۳۱	۰.۰۶۴
M(IV)	۰.۹۸۴	۰.۹۶۸	۰.۰۴۸	۰.۹۷۸	۰.۹۴۲	۰.۰۵۵
کانال دوزنقه‌ای						
M(I)	۰.۹۵۶	۰.۹۲۷	۰.۰۵۲	۰.۹۴۸	۰.۹۲۳	۰.۰۵۸
M(II)	۰.۹۸۸	۰.۹۶۸	۰.۰۴۷	۰.۹۷۵	۰.۹۴۶	۰.۰۵۱
M(III)	۰.۹۷۴	۰.۹۴۶	۰.۰۴۹	۰.۹۷۲	۰.۹۳۹	۰.۰۵۵
M(IV)	۰.۹۸۲	۰.۹۷۴	۰.۰۴۴	۰.۹۷۹	۰.۹۵۹	۰.۰۴۶



شکل ۳- رابطه خطی بین Y مشاهده شده و پیش‌بینی شده در مرحله آزمون مدل برتر: (الف) کانال مستطیلی و (ب) کانال دوزنقه‌ای

جدول ۶- نتایج مربوط به مدل‌های پیش‌بینی طول پرش هیدرولیکی توسط SVM

مدل	معیارهای ارزیابی					
	Train			Test		
	R	DC	RMSE	R	DC	RMSE
کانال مستطیلی						
M(I)	۰.۸۸۲	۰.۷۷۸	۰.۱۲۹	۰.۸۷۸	۰.۷۲۹	۰.۱۴۲
M(II)	۰.۸۸۴	۰.۸۰۳	۰.۱۱۸	۰.۸۸۱	۰.۷۶۶	۰.۱۳۵
M(III)	۰.۸۹۹	۰.۸۲۳	۰.۱۱۲	۰.۸۷۹	۰.۷۳۴	۰.۱۳۹
M(IV)	۰.۹۱۵	۰.۸۴۱	۰.۰۹۲	۰.۸۹۳	۰.۷۸۸	۰.۱۲۶
کانال دوزنقه‌ای						
M(I)	۰.۹۰۹	۰.۸۲۲	۰.۰۷۲	۰.۹۰۴	۰.۸۰۴	۰.۰۸۵
M(II)	۰.۹۱۲	۰.۸۳۱	۰.۰۶۷	۰.۹۰۹	۰.۸۱۱	۰.۰۸۲
M(III)	۰.۹۳۸	۰.۸۷۹	۰.۰۵۹	۰.۹۲۷	۰.۸۵۷	۰.۰۷۳
M(IV)	۰.۹۴۲	۰.۸۸۵	۰.۰۵۷	۰.۹۳۵	۰.۸۵۸	۰.۰۷۲



شکل ۴- رابطه خطی بین L_1/h_1 مشاهده شده و پیش‌بینی شده در مرحله آزمون مدل برتر: (الف) کانال مستطیلی و (ب) کانال دوزنقه‌ای

نتیجه‌گیری کلی

پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر مشخصات پرش هیدرولیکی، به دلیل نقشی که در صرفه‌جویی هزینه‌ها و زمان طراحی و اجرای سازه‌های کنترل‌کننده هیدرولیکی دارد، از موضوعات با اهمیت در مهندسی منابع آب محسوب می‌شود. لذا در این تحقیق به تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی در کانال‌های مرکب با مقطع مستطیلی و دوزنقه‌ای با بستر زبر با استفاده از روش هوشمند SVM پرداخته شد و نحوه‌ی

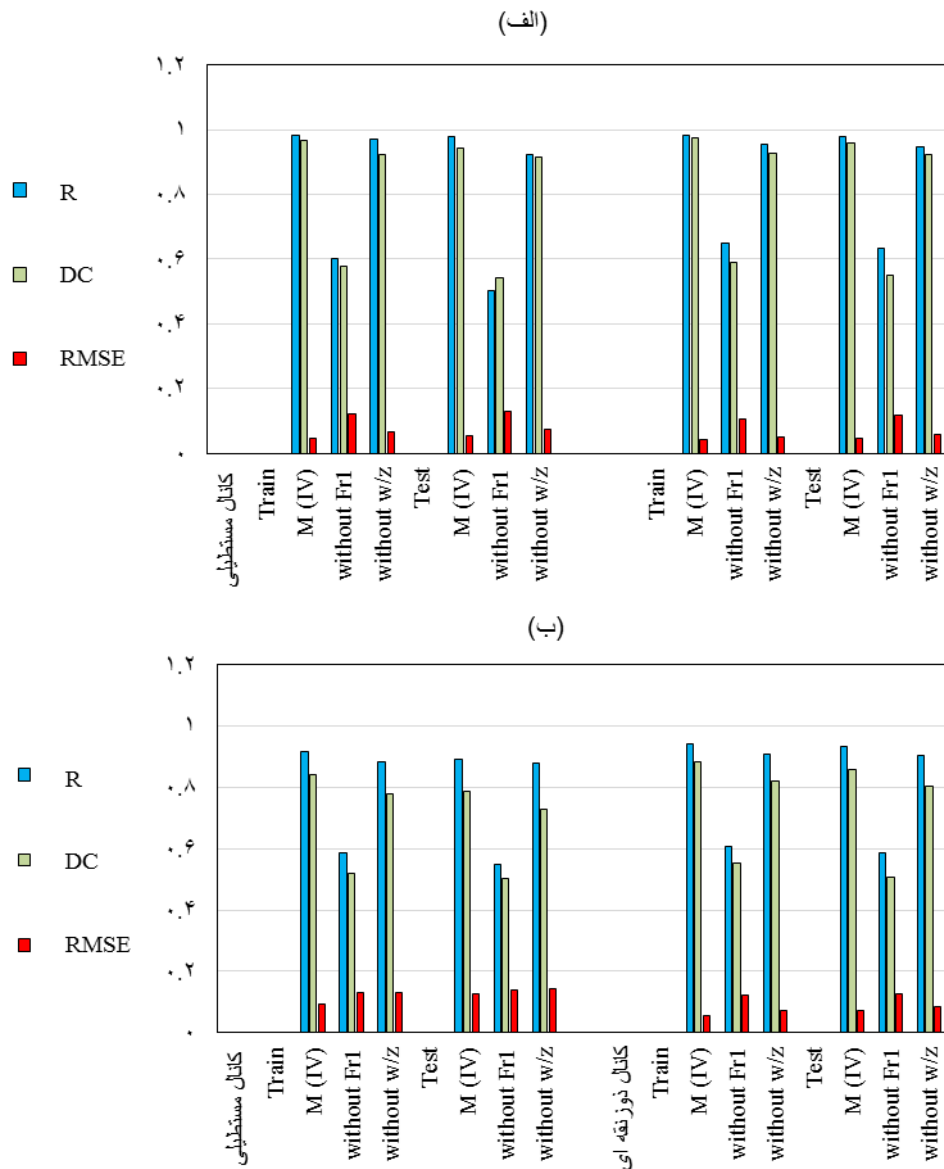
تاثیر پارامترهای مختلف به عنوان ورودی مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌هایی بر اساس پارامترهای مربوط به مشخصات جریان در بالادست و پایین‌دست پرش هیدرولیکی و ابعاد المان‌های زبر تعریف گردید و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که در تخمین نسبت اعماق متناوب و طول پرش هیدرولیکی در هر دو کانال مستطیلی و دوزنقه‌ای مدل M(IV) با پارامترهای ورودی $Fr_1, w/z$ با داشتن بیشترین R، DC و کمترین RMSE بهترین نتایج را ارائه می‌دهد. بهترین حالت ارزیابی برای داده‌های آزمون در کانال

دوزنقه‌ای با بستر زبر نسبت به کانال مستطیلی با بستر زبر نتایج دقیق‌تری ارائه داد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت نشان داد که عدد فرود بیشترین تاثیر را در تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی در کانال‌های مرکب داراست. با توجه به اینکه روش SVM یک روش داده‌گرا بوده و نسبت به داده حساس می‌باشد توصیه می‌گردد پارامترهای بررسی شده با استفاده از داده‌های با محدوده متفاوت از این تحقیق نیز بررسی گردند تا کارایی روش به کار رفته به خوبی مشاهده گردد.

دوزنقه‌ای برای نسبت اعماق متناوب با مقادیر $DC=0/975$ ، $RMSE=0/046$ و $R=0/979$ و برای طول پرش هیدرولیکی با مقادیر $DC=0/858$ ، $RMSE=0/072$ و $R=0/935$ بدست آمد. مطابق با نتایج ملاحظه گردید که استفاده از پارامترهای w/z ، $(y_2-y_1)/y_1$ و z/y_1 دقت مدل‌ها را تا حدودی افزایش داده‌اند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مشخصات المان‌های زبر به کار رفته در بستر کانال در تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی تاثیرگذار است. با مقایسه نتایج به دست آمده ملاحظه شد که روش ماشین بردار پشتیبان در تخمین نسبت اعماق متناوب نسبت به تخمین طول پرش هیدرولیکی موفق‌تر عمل می‌کند. همچنین مدل‌های تعریف شده در حالت کانال

جدول ۷- تاثیر نسبی هر یک از پارامترهای ورودی مدل برتر

مدل برتر	پارامتر حذف شده	معیار ارزیابی					
		Train			Test		
		R	DC	RMSE	R	DC	RMSE
نسبت اعماق متناوب در کانال مستطیلی							
M(IV)	M (IV)	۰.۹۸۴	۰.۹۶۸	۰.۰۴۸	۰.۹۷۸	۰.۹۴۲	۰.۰۵۵
	Fr_1	۰.۶۰۱	۰.۵۷۸	۰.۱۳۱	۰.۵۰۱	۰.۵۴۲	۰.۱۳۱
	w/z	۰.۹۷۲	۰.۹۲۵	۰.۰۶۶	۰.۹۲۳	۰.۹۱۵	۰.۰۷۲
طول پرش در کانال مستطیلی							
M(IV)	M (IV)	۰.۹۱۵	۰.۸۴۱	۰.۰۹۲	۰.۸۹۳	۰.۷۸۸	۰.۱۲۶
	Fr_1	۰.۵۸۵	۰.۵۱۸	۰.۱۳۱	۰.۵۴۷	۰.۵۰۱	۰.۱۳۹
	w/z	۰.۸۸۲	۰.۷۷۸	۰.۱۲۹	۰.۸۷۸	۰.۷۲۹	۰.۱۴۲
نسبت اعماق متناوب در کانال دوزنقه‌ای							
M(IV)	M (IV)	۰.۹۸۲	۰.۹۷۴	۰.۰۴۴	۰.۹۷۹	۰.۹۵۹	۰.۰۴۶
	Fr_1	۰.۶۵۱	۰.۵۸۹	۰.۱۰۴	۰.۶۳۵	۰.۵۵۱	۰.۱۱۹
	w/z	۰.۹۵۶	۰.۹۲۷	۰.۰۵۲	۰.۹۴۸	۰.۹۲۳	۰.۰۵۸
طول پرش در کانال دوزنقه‌ای							
M(IV)	M (IV)	۰.۹۴۲	۰.۸۸۵	۰.۰۵۷	۰.۹۳۵	۰.۸۵۸	۰.۰۷۲
	Fr_1	۰.۶۰۸	۰.۵۵۴	۰.۱۳۱	۰.۵۸۶	۰.۵۰۸	۰.۱۲۸
	w/z	۰.۹۰۹	۰.۸۲۲	۰.۰۷۲	۰.۹۰۴	۰.۸۰۴	۰.۰۸۵



شکل ۵- مقادیر خطاهای آزمون تحلیل حساسیت مدل‌های برتر (الف): نسبت اعماق متناوب، (ب): طول پرش هیدرولیکی

منابع

در مقاطع واگرا (تبدیل‌های خروجی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

بدیع زادگان، ر. اسماعیلی، ک. فغفورمغربی، م. صانعی، س.م. ۱۳۹۰. مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش کانال های آبیاری با بستر موج دار. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵(۳): ۶۷۶-۶۸۷.

ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology. 2000. Artificial Neural Networks in hydrology. I: Preliminary concepts. Journal of Hydrologic Eng. ASCE 5(2): 115-123.

اسدی، ف. فضل اولی، ر. عمادی، ع. ۱۳۹۵. بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی در شرایط بستر زبر با استفاده از مدل فیزیکی. مجله حفاظت آب و خاک. ۲۳(۵): ۲۹۵-۳۰۶.

اسدی، ف. فضل اولی، ر. عمادی، ع. ۱۳۹۵. مطالعه آزمایشگاهی استهلاك انرژی و طول پرش هیدرولیکی در شرایط بستر زبر با بلوک‌های مکعبی در پایین‌دست دریاچه کشویی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱(۴): ۵۹۷-۶۰۸.

بختیاری، م. ۱۳۷۸. بررسی هیدرولیکی پارامترهای جهش هیدرولیکی

- jump. Journal of the Hydraulics Division, 2(10): 775-780.
- Palermo, M. and Pagliara, S. 2018. Semi-theoretical approach for energy dissipation estimation at hydraulic jumps in rough sloped channels. Journal of Hydraulic Research, 21: 1-10.
- Roushangar, K. and Ghasempour, R. 2017 Prediction of non-cohesive sediment transport in circular channels in deposition and limit of deposition states using SVM. Journal of Water Science & Technology: Water Supply, 17(2): 537-551.
- Shiri, J., Kisi, O. 2011. Comparison of genetic programming with neuro-fuzzy systems for predicting short-term water table depth fluctuations. Journal of Comput. Geosci, 37 (10): 1692-1701.
- Siviapragasam, C. and Liang S. 2001. Rainfall and runoff forecasting with SSA-SVM approach. Journal of Hydroinformatics, 3: 141-152.
- Vapnik, V. 1995. The Nature of Statistical Learning Theory. Data Mining and Knowledge Discovery, 1-47.
- Wang, H. and Murzyn, F. 2017. Experimental assessment of characteristic turbulent scales in two-phase flow of hydraulic jump: from bottom to free surface. Environmental Fluid Mechanics, 17(1): 7-25.
- Babaali, H., Shamsai, A. and Vosoughifar, H. 2015. Computational modeling of the hydraulic jump in the stilling basin with convergence walls using CFD codes. Arabian Journal for Science and Engineering, 40(2): 381-95.
- Dawson, W.C. & Wilby, R. 1998 An artificial neural network approach to rainfall-runoff modelling. Journal of Hydrological Sciences, 43(1): 47-66.
- Evecimen, T, U. 2005. The effect of prismatic roughness elements on hydraulic jump: The degree master of science. Middle East technical University.
- Evcimen, T. U. 2012. Effect of prismatic roughness on hydraulic jump in trapezoidal channels. (Doctoral dissertation), Middle East Technical University.
- Gupta, S.K., Mehta R.C., & Dwivedi, V.K. 2013. "Modeling of relative length and relative energy loss of free hydraulic jump in horizontal prismatic channel", Procedia Engineering, 51: 529-537.
- Herbrand, K. 1970. Der räumliche Wechselsprung, Literaturstudie Bericht Nr. 18 der Versuchsanstalt für Wasserbau der Technischen Universität München, Oskar.
- Khan, M. S & Coulibaly, P. 2006. Application of Support Vector Machine in Lake Water Level Prediction. J. Hydrol. Eng, 11 (3): 199-205.
- Koloseus, H.J., Ahmad, D. 1969. Circular hydraulic

Comparative Study of Effective Hydraulic Parameters on Hydraulic Jump Characteristics in Channels with Compound Sections Using Kernel Based SVM Approach

R. Tabrizi¹, S. M. Saghebian^{2*}

Received: Nov.11, 2018

Accepted: Dec.29, 2018

Abstract

Hydraulic jump is the most common method of dissipating water's kinetic energy in downstream of spillways, shoots and valves. So far several relations have been developed to estimate hydraulic jump characteristics, however, the results of these equations are not general and acceptable due to the uncertainty of the function. In this study, hydraulic jump characteristics such as sequence depth ratio and hydraulic jump were estimated in compound channels (rectangular and trapezoidal channels) with rough beds using Support Vector Machine (SVM). Different models were developed and the influence rate of input parameters in each channel was investigated. Comparison of the obtained results of support vector machine showed the high efficiency of this method in estimation of hydraulic jump characteristics. It was observed that model with input parameters of Fr_1 (Fraud number), w/z (ratio of rough elements space to height of them) led to most accurate results and rough elements properties were effective in hydraulic jump characteristics estimation. The best result for test series was obtained for the sequence depth ratio with the values of $R=0.979$, $DC=0.975$ and $RMSE=0.046$ and for the hydraulic jump length with the values of $R=0.935$, $DC=0.858$ and $RMSE=0.072$ in trapezoidal channel. Also, the results of sensitivity analysis indicated that Fraud number is the most significant parameter in estimation of hydraulic jump characteristics.

Keywords: Compound channel, Hydraulic jump, Rough bed, Support Vector Machine

1- Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University- Ahar-Iran

2- Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University- Ahar-Iran

(* - Corresponding Author Email: smsaghebian@iau-ahar.ac.ir)