

تخمین مشخصات هیدرولیکی کانال‌های واگرای مستهلک کننده انرژی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان

کیومرث روشنگر* و ریحانه ولی‌زاده^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۱۲)

چکیده

پرش هیدرولیکی متداول‌ترین روش جهت استهلاک انرژی جنبشی آب در پایین‌دست سرریزها، شوت‌ها و دریچه‌ها می‌باشد. در تحقیق کنونی مشخصات هیدرولیکی از جمله نسبت اعماق متناوب، پرش هیدرولیکی و استهلاک انرژی در سه نوع کانال واگرای ناگهانی به صورت بدون مانع، دارای پله معکوس و بلوک مرکزی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان SVM که به عنوان یک روش یادگیری ماشین می‌باشد تخمین زده شده و نرخ تأثیر پارامترهای ورودی در هر پرش مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور مدل‌های مختلفی با استفاده از پارامترهای هیدرولیکی - هندسی تعریف شده و در کل تعداد ۹۳۶ داده مشاهداتی برای آموزش و آزمون مدل‌های سه نوع مختلف کانال واگرا استفاده گردید. همچنین عملکرد تعدادی از روابط نیمه تجربی موجود نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل با مدل‌های برتر SVM مقایسه گردید. نتایج حاصله ضمن تایید قابلیت روش ماشین بردار پشتیبان در تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی، کارایی این روش را نسبت به روابط نیمه تجربی به اثبات رساند. از نتایج به دست آمده مشخص گردید، مدلی که بیشترین دقت را در تخمین نسبت اعماق متناوب و استهلاک انرژی داراست مدل با پارامترهای $(Fr_1, h_1/B)$ و در تخمین طول پرش مدل با پارامترهای $(Fr_1, h_1/h_2)$ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مشخصات هیدرولیکی، کانال‌های واگرا، استهلاک انرژی، سیستم‌های هوشمند، ماشین بردار پشتیبان

۱. گروه آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

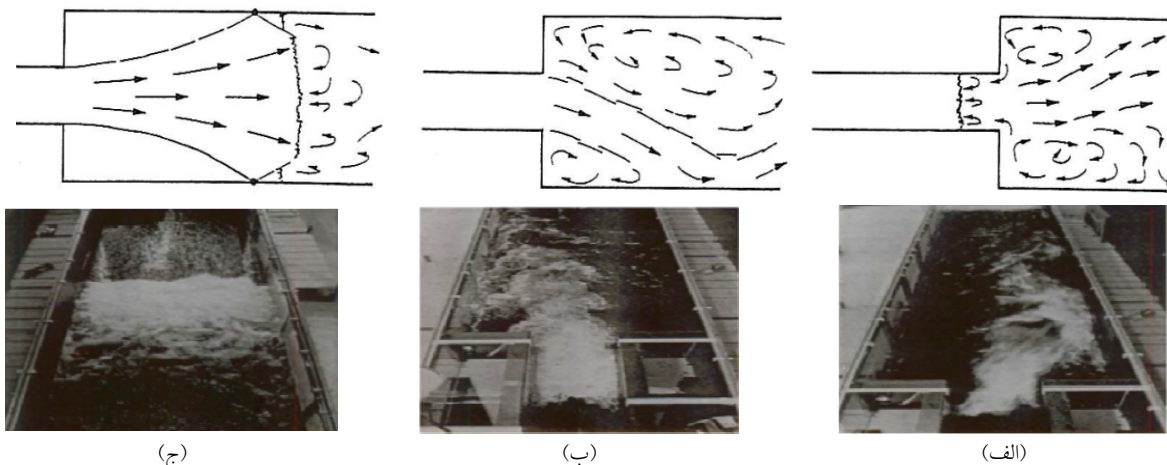
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: kroshangar@yahoo.com

مقدمه

دیواره‌های کانال پایین دست را قطع می‌کند قرار دارد. ج) پرش انتقالی (پرش T شکل): پرشی است که پنجه پرش در بالادست مقطع واگرا و عمود بر خط مرکزی کانال و بخشی از آن در پایین دست رخ می‌دهد. د) پرش کلاسیک: پرشی که تمام طول پرش (عمق اولیه و مزدوج پرش) در بالادست محل تغییر مقطع واگرا رخ می‌دهد. در شکل (۱) به ترتیب شکل شماتیک و تصویر آزمایشگاهی انواع این پرش‌ها نشان داده شده است.

تاکنون در مورد پرش هیدرولیکی در کانال‌های واگرا مطالعات متعددی صورت پذیرفته است و روابط متعددی برای پارامترهای مختلف هیدرولیکی با استفاده از روش‌های مختلف ارائه شده‌اند. کوسنزو (۹) آزمایشاتی را در مورد پرش‌های گسسته انجام داد و براساس نتایج تجربی وی رابطه‌ای را برای نسبت اعماق متناوب پیشنهاد داد. کلوسیوس و احمد با فرض تغییرات خطی بین عمق اولیه و ثانویه پرش در مقاطع مستطیلی واگرا و با استفاده از قوانین پیوستگی، انرژی و مومنتم، روابطی برای نسبت عمق ثانویه به عمق اولیه و همچنین افت انرژی نسبی ارائه کردند (۸). هربراند با توجه به فشار هیدرولیکی و پراکندگی یکنواخت سرعت فرمول مومنتم را پیشنهاد داد در فرمولی که او ارائه داد تأثیر اصطکاک نادیده گرفته شده و انتهای کانال به صورت افقی فرض شده است (۷). 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 (۵). برتیز بررسی‌های آزمایشگاهی را بر روی طول استوانه‌های سطحی که روی آب پدید می‌آیند انجام داد براساس اطلاعات آزمایشگاهی رابطه‌ای خطی ارائه گردید (۳). هاگر و همکاران نشان دادند طول استوانه در پرش فقط به Fr_1 و h_1 بستگی ندارد بلکه به W و به عدد رینولدز R نیز بستگی دارد و تأثیر این پارامترهای اضافه شده اگر $Fr_1 > 8$ باشد باید در نظر گرفته شود (۶). به هر حال کاربرد بسیاری از این فرمول‌ها محدود به مواردی است که شامل فرضیات و شرایط توسعه و استخراج فرمول‌ها

پرش یا جهش هیدرولیکی، یک جریان متغیر سریع در کانال‌های روباز بوده و پدیده‌ای 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. سازه‌هایی که باعث کاهش انرژی جریان و پایین آوردن سرعت به حد قابل قبولی می‌شوند، سازه‌های مستهلک کننده انرژی نامیده می‌شوند و حوضچه‌های آرامش از نوع پرشی، معمول‌ترین مستهلک کننده انرژی‌اند که در سازه‌های هیدرولیکی استفاده می‌شوند (۲). 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. مشکل اصلی حوضچه‌های واگرا تمایل به جریان نامتقارن می‌باشد که خود به دو عامل بزرگی منطقه آب ساکن و گستردگی کم جت ورودی بستگی دارد. پرش هیدرولیکی در مقاطع واگرا با شرایط جریان ورودی که عبارتند از عمق اولیه پرش، عدد فرود جریان ورودی و پنجه پرش (فاصله عمق اولیه پرش از محل تغییر مقطع) توصیف می‌شود. پرش در مقاطع واگرای ناگهانی با توجه به موقعیت پنجه پرش که وابسته به عمق پایاب است، به چهار نوع پرش به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شود: الف) پرش فرار (پرش R شکل): پرشی که کاملاً در پایین دست مقطع واگرا یعنی در مقطع عریض اتفاق بیفتد. در این نوع پرش پنجه پرش در پایین دست نقطه‌ای است که امواج عرضی به دیواره‌های کانال پایین دست (کانال عریض) ضربه می‌زنند. ب) پرش گسسته (پرش S شکل): در این جهش پنجه بین محل تغییر مقطع واگرا و نقطه‌ای که امواج عرضی



شکل ۱. الف) پرش R شکل در انبساط ناگهانی، ب) پرش S شکل در انبساط ناگهانی و ج) پرش T شکل در انبساط ناگهانی

بستر را پیش‌بینی کردند (۱۲). نتایج حاصل با روابط نیمه‌تجربی مقایسه گردید که بهتر بودن عملکرد SVM نسبت به روابط نیمه‌تجربی مشهود می‌باشد. به علت عدم قطعیت شدیدی که در پارامترهای کانال‌های واگرای استهلاک انرژی وجود دارد و اینکه تاکنون از روش‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی پارامترهای این پدیده استفاده نشده است، در این پژوهش روش ماشین بردار پشتیبان به‌عنوان یک روش فرامدل جهت تخمین پارامترها استفاده گردیده و نتایج حاصله مورد ارزیابی قرار گرفته است.

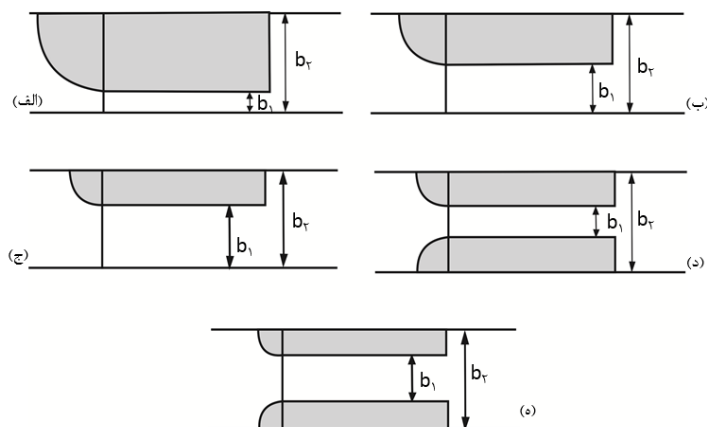
مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده

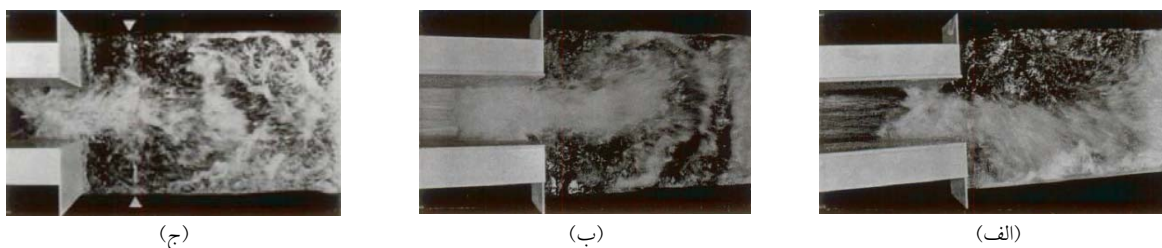
تاکنون کارهای تئوری و آزمایشگاهی متعددی جهت بررسی پدیده پرش هیدرولیکی در کانال‌های مستطیلی واگرا روی بستر افقی صاف صورت گرفته است. به‌عبارت دیگر پرش هیدرولیکی در کانال مستطیلی واگرا روی بستر افقی صاف به‌عنوان حالت پایه بیشتر مورد توجه و تحقیق قرار گرفته است. جهت بررسی عملکرد رگرسیون ماشین بردار پشتیبان در تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی و تأثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی از سه نوع کانال مستطیلی افقی با انبساط ناگهانی بدون مانع، با پله

باشند و برای تمامی موارد نمی‌توان از آنها استفاده کرد. با توجه به پیچیدگی پدیده پرش، نتایج حاصل از روابط دارای دقت کافی نبوده و نیاز به استفاده از روش‌هایی است که بتوانند مشخصات هیدرولیکی پرش را با دقت بالایی تخمین بزنند. در دهه‌های اخیر روش‌های محاسباتی نرم (مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، برنامه‌ریزی ژنتیک (GP)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و مدل‌های فازی (NF) 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. سیواپراگسم و همکاران 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 ANN است (۱۳). تری‌پاتیه برای پیش‌بینی بارش از روش SVM استفاده کرد و نتایج حاکی از عملکرد مناسب مدل SVM نسبت به مدل ANN بود (۱۴).

نوری و همکاران با استفاده از مدل‌های SVM و ANN به پیش‌بینی دبی ماهانه پرداختند و نتیجه گرفتند که مدل SVM از دقت بالاتری برخوردار است (۱۱). چی و همکاران مدل SVM را در پیش‌بینی دبی ماهانه مورد بررسی قرار دادند (۴). روش‌نگر و کوشه با استفاده از روش رگرسیون بردار پشتیبان، بار انتقالی



شکل ۲. پلان کانال نامتقارن: الف) $B=5$ ، ب) $B=2$ ، ج) $B=1/5$ و پلان کانال متقارن: د) $B=3$ ، ه) $B=2$



شکل ۳. الف) کانال بدون مانع، ب) کانال با پله معکوس و ج) کانال با بلوک مرکزی

(۱۵). مبنای کاری SVM دسته بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌شود خطی انتخاب شود که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد نحوه کار الگوریتم SVM به مانند اغلب روش‌های هوشمند به صورت آموزش و آزمون می‌باشد ولی بر خلاف سایر روش‌های هوش مصنوعی به جای اینکه خطای محاسباتی را کاهش دهد، ریسک عملیاتی عدم تقسیم‌بندی صحیح را به‌عنوان تابع هدف قرار داده و مقدار بهینه آن را به دست می‌آورد. برای برخی از مسائل، شاید معیار خطای محاسباتی به صفر هم برسد، اما در میان همه مدل‌هایی که دارای خطای صفر هستند، فقط یک مورد وجود دارد که کمترین ریسک عملیاتی را داراست. از این‌رو، در برخی موارد، خروجی VMS در کنار عملکرد بهتری که دارد، مقاومت بیشتری نیز نسبت به تغییر در داده‌ها از خود نشان خواهد داد. زیرا اساساً، طوری طراحی و آموزش داده شده است، که بتواند در مقابل چنین عدم اطمینانی، مقاومت نماید و عملکرد مطلوبی

معکوس و با بلوک مرکزی در دو حالت کانال متقارن و نامتقارن استفاده گردیده که شکل (۲) بیانگر شماتیک این دو حالت می‌باشد. داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در این مطالعه از نتایج کانال آزمایشگاهی موسسه آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه لوزان (۱) گرفته شده است که تصاویر این آزمایشات در شکل (۳) قابل مشاهده است. در جدول (۱) محدوده مشخصات هیدرولیکی و هندسی این آزمایشات نشان داده شده است. در شکل (۳) پرش هیدرولیکی در هر سه کانال و تأثیر پله معکوس و بلوک مرکزی نشان داده شده است.

ماشین بردار پشتیبان (SVM)

الگوریتم SVM، جز الگوریتم‌های تشخیص الگو دسته‌بندی می‌شود که برای اولین بار توسط وپنیک در سال ۱۹۹۵ معرفی شد. از الگوریتم SVM، در هر جایی که نیاز به تشخیص الگو یا دسته‌بندی اشیاء در کلاس‌های خاص باشد می‌توان استفاده کرد

جدول ۱. کانال‌های واگرای ناگهانی - محدوده داده‌های استفاده شده در آزمایشات

تعداد داده	Y	نسبت اعصاب متناوب	I_d (cm)	طول برش	x_v (cm)	مقطع انتهایی	x_v (cm)	موقعیت پنجه	x_v (cm)	عمق ثانویه	h_v (mm)	عمق اولیه	دبی Q $(\frac{L^3}{s})$	شکل کانال	B	نسبت انبساط	Fr_1	عدد فرود اولیه	$S = \frac{h_1}{h_2}$	ارتفاع نسبی بلوک	$S = \frac{h_1}{h_2}$	ارتفاع نسبی پله	$S = \frac{h_1}{h_2}$	عرض مقطع واگرا	h_v (m)	سری آزمایشات
۱۶۲	۷۰-۱۱۱۶	-	-	-	۵۲-۳۶۹	۴۱-۲۴۴	۴۱-۲۴۴	۱۳۳-۶۰۶	۲-۱/۸	نامتوازن	۵	۷/۶۵-۸/۱۲	۲-۱/۸	نامتوازن	۵	۷/۶۵-۸/۱۲	۲-۱/۸	۲-۱/۸	-	-	-	-	۰/۱۵	۱	۱	
۱۷۸	۷/۱۸-۱/۲۸	۴۱-۲۶۶	۴۱-۲۶۶	۳-۹۴	۷۳-۲۶۱/۵	۱۷۰-۹-۵۵/۳۹	۱۷۰-۹-۵۵/۳۹	۵/۱-۲/۹	۵/۱-۲/۹	مغزدار	۳	۷/۶۳-۸/۰۵	۵/۱-۲/۹	مغزدار	۳	۷/۶۳-۸/۰۵	۵/۱-۲/۹	۵/۱-۲/۹	-	-	-	-	۰/۱۵	۲	۲	
۹۱	۷/۳۶-۱۲/۰۵	۴۸-۲۰۷	۴۸-۲۰۷	-۹۱	۹/۸-۲/۵/۱	۱۲/۸-۴/۱/۴	۱۰-۴/۰	۱۰-۴/۰	۱۰-۴/۰	نامتوازن	۱/۵	۷/۶۵-۸/۱۲	۱۰-۴/۰	نامتوازن	۱/۵	۷/۶۵-۸/۱۲	۱۰-۴/۰	۷/۶۵-۸/۱۲	-	-	-	-	۰/۱۵	۳	۳	
۱۰۷	۴/۱۵-۱۲/۵۹	۶۱-۱۹۷	۶۱-۱۹۷	-۹۲	-/۱۵-۲/۶۸	۱/۸-۲/۷	۱۱-۳/۱۵	۱۵/۰-۱-۴/۸۲	۱۱-۳/۱۵	نامتوازن	۱/۵	۷/۶۳-۸/۰۵	۱۱-۳/۱۵	نامتوازن	۱/۵	۷/۶۳-۸/۰۵	۱۱-۳/۱۵	۷/۶۳-۸/۰۵	-	-	-	-	۰/۱۵	۱	۱	
۱۰۷	۴/۱۵-۱۲/۵۹	۶۱-۱۹۷	۶۱-۱۹۷	-۹۲	-/۱۵-۲/۶۸	۱/۸-۲/۷	۱۱-۳/۱۵	۱۵/۰-۱-۴/۸۲	۱۱-۳/۱۵	نامتوازن	۲	۷/۶۳-۸/۰۵	۱۱-۳/۱۵	نامتوازن	۲	۷/۶۳-۸/۰۵	۱۱-۳/۱۵	۷/۶۳-۸/۰۵	-	-	-	-	۰/۱۵	۲	۲	
۱۲۹	۱/۳۵-۱۱/۰۵	۵۴-۳/۱۸	۵۴-۳/۱۸	-۸۰	-/۸-۴/۰-۸	۸/۱-۲/۷	۶/۳-۲/۴	۱۵/۰-۵-۵۵/۹/۵	۶/۳-۲/۴	مغزدار	۳	۷/۶۳-۸/۰۵	۶/۳-۲/۴	مغزدار	۳	۷/۶۳-۸/۰۵	۶/۳-۲/۴	۷/۶۳-۸/۰۵	-	-	-	-	۰/۱۵	۳	۳	
۵۳	۷/۸۹-۸/۸۱	-	۲/۴-۵/۴۰	-	-	۱۳۳-۵/۱۲	۳/۶۸-۷/۵۵	۳/۱-۲/۵	۳/۱-۲/۵	مغزدار	۳	۳-۹	۳/۱-۲/۵	مغزدار	۳	۳-۹	۳-۹	۳-۹	-	-	-	-	۱/۱۵	۱	۱	
۵۷	۳/۰۷-۹/۸۸	-	۲۰-۸-۵/۴۴	-	-	۱۳۱-۵/۶۹	۳/۶۷-۷/۵۸	۳/۱-۲/۵	۳/۱-۲/۵	مغزدار	۳	۳-۹	۳/۱-۲/۵	مغزدار	۳	۳-۹	۳-۹	۳-۹	-	-	-	-	۱/۰	۲	۲	
۵۲	۳/۱۵-۱/۱۶۴	-	۲۰-۴-۵/۲۳	-	-	۱۳۱۵-۶۰	۳/۶۷-۷/۵۸	۳/۱-۲/۵	۳/۱-۲/۵	مغزدار	۱/۵	۳-۹	۳/۱-۲/۵	مغزدار	۱/۵	۳-۹	۳-۹	۳-۹	-	-	-	-	۰/۱۵	۳	۳	

جدول ۲. انواع تابع کرنل

پارامتر کرنل	فرمولاسیون	تابع کرنل
-	$K(x_i, x_j) = (x_i, x_j)$	خطی Linear
d	$K(x_i, x_j) = ((x_i, x_j) + 1)^d$	چند جمله‌ای Polynomial
γ	$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\ x_i - x_j\ ^2}{2\gamma^2}\right)$	تابع پایه شعاعی RBF
α, c	$K(x_i, x_j) = \tanh(-\alpha(x_i, x_j) + c)$	پ Sigmoid

جدول ۳. معیارهای ارزیابی

جذر میانگین مربعات خطاها	ضریب همبستگی	ضریب تعیین
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (L_m - L_p)^2}{N}}$	$R = \frac{\sum_{i=1}^N (L_m - \bar{L}_m) \times (L_p - \bar{L}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (L_m - \bar{L}_m)^2 \times \sum_{i=1}^N (L_p - \bar{L}_p)^2}}$	$DC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (L_m - L_p)^2}{\sum_{i=1}^N (L_m - \bar{L}_m)^2}$

قابل تفکیک نمی باشند باید توسط تکنیک ها و نگاشت های مختلف بتوان مسئله را به فضایی جدید انتقال داد که داده ها در آن به صورت خطی قابل تفکیک باشند پس تابع ϕ را نگاشتی است که داده های فضای X را به فضای Z خواهد برد.

$$f(x) = w\phi(x) + b \quad [1]$$

معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی کارایی روش استفاده شده برای تخمین مشخصات هیدرولیکی در کانال واگرا (نسبت اعماق متناوب، طول پرش و میزان استهلاك انرژی) در این مقاله از سه پارامتر آماری مطابق جدول (۳) استفاده گردید. در این روابط (R) ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی، (DC) همبستگی خطی بین مقادیر پیش بینی شده و واقعی و (RMSE) ریشه میانگین مربعات خطاها می باشد. هر چه مقدار R و DC به یک نزدیکتر و مقدار RMSE برای یک مدل کوچکتر باشد به معنی مطلوب بودن آن مدل می باشد (۱۰).

که در آن L_m : طول پرش یا نسبت اعماق مزدوج اندازه گیری شده، \bar{L}_m : متوسط طول پرش یا نسبت اعماق

را داشته باشد. البته SVM و تابع کرنل آن دارای پارامترهای مختلفی می باشد که نحوه تنظیم آنها در حصول جواب هر چه بهتر مسئله بسیار مؤثر می باشد. پس یافتن بهینه ترین پارامترها خود به نوعی مسئله بهینه سازی می باشد که با روش سعی و خطا و آزمودن مقادیر مختلف این پارامترها می تواند زمان بر باشد. لذا این مسئله نیز به وسیله الگوریتم های بهینه سازی حل می شود SVM قادر است مسئله را به فضای با ابعاد بیشتری ببرد که این کار توسط ترنند کرنل صورت می گیرد. در مسائل SVM انتخاب تابع کرنل بسیار مهم می باشد و انتخاب آن به نوع و ماهیت مسئله بستگی دارد. بنابراین نمی توان تابعی را به طور قطعی به عنوان تابع مناسب برای SVM معرفی کرد و نسبت به شرایط این موضوع می تواند متغیر باشد. انواع مختلف تابع کرنل در جدول (۲) نمایش داده شده است.

رگرسیون ماشین بردار پشتیبان

رگرسیون بردار پشتیبان (SVM) روشی است که با اتکا بر مبنای ماشین بردار پشتیبان می تواند به عنوان رگرسیونر در مسائل مهندسی عمل کند. در مجموعه داده هایی که به صورت خطی

جدول ۴. معادلات نیمه تجربی برای محاسبه طول پرش هیدرولیکی و نسبت اعماق متناوب

شماره معادله	مشخصات هیدرولیکی	محقق	معادله	ملاحظات
[۳]		Kusnetzow	$Y = \frac{0.5}{B} K_K \left[\sqrt{1 + 8BFr_1^2} - 1 \right]$	$K_K = 0.78 - \left(0.9 - \frac{1}{B} \right) \times 0.15$
[۴]	نسبت اعماق متناوب	Herbrand	$Y = Fr_1 \sqrt{\frac{2}{B} - \frac{1}{2B}}$	$Y = \frac{h_2}{h_1}$
[۵]		Hager	$\frac{Y^* - Y}{Y^* - 1} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{B}} \right) \times \left[-th\left(\frac{1}{9}X_1\right) \right]$	$Y^* = 0.5 \left[\sqrt{1 + 8BFr_1^2} - 1 \right]$
[۶]		Hager	$L_j = \left\{ 1 + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{B}} \right) \times \left[-th\left(\frac{1}{9}X_1\right) \right] \right\} L_j^*$	$L_j^* = h_1 \times 2.2 \cdot th\left(\frac{Fr_1 - 1}{2.2}\right)$
[۷]		Smetana	$L_j = 6 \times H_j$	$H_j = h_1 - h_2$
[۸]	طول پرش هیدرولیکی	Safranez	$L_j = 6h_1 \times Fr_1$	-
[۹]		Bakhmateff and Matezke	$L_j = 5 \times H_j$	-
[۱۰]		Silvester	$L_j = 6.02 \times H_j$	-

مزدوج اندازه‌گیری شده - L_p : طول پرش یا نسبت اعماق مزدوج پیش‌بینی شده، \bar{L}_p : متوسط طول پرش یا نسبت اعماق مزدوج پیش‌بینی شده می‌باشد N-: تعداد داده‌ها یک نکته مهم در آموزش شبکه‌های عصبی نرمال سازی 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 وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود. برای نرمال سازی داده‌های تحقیق از رابطه (۲) استفاده شده است (۱۰):

$$th(i) = \frac{\exp(i) - \exp(-i)}{\exp(i) + \exp(-i)}$$

مدل‌سازی، نتایج و بحث

مدل‌های ورودی

در مقاله کنونی عملکرد ماشین بردار پشتیبان در تخمین نسبت اعماق متناوب و طول پرش هیدرولیکی و همچنین استهلاک انرژی نسبی در کانال‌های واگرای افقی، با پله معکوس و بلوک مرکزی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه انتخاب مدل‌های ورودی در سیستم‌های 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؛ بنابراین مدل‌های متفاوتی

مزدوج اندازه‌گیری شده - L_p : طول پرش یا نسبت اعماق مزدوج پیش‌بینی شده، \bar{L}_p : متوسط طول پرش یا نسبت اعماق مزدوج پیش‌بینی شده می‌باشد N-: تعداد داده‌ها یک نکته مهم در آموزش شبکه‌های عصبی نرمال سازی 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 وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود. برای نرمال سازی داده‌های تحقیق از رابطه (۲) استفاده شده است (۱۰):

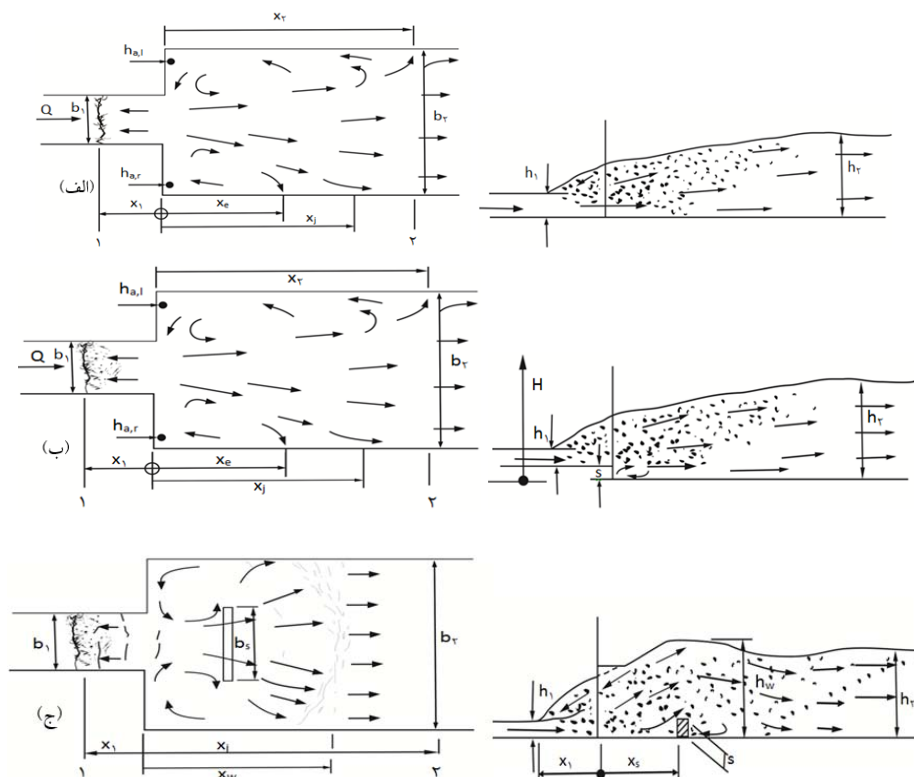
$$X_n = 0.1 + \left[0.9 \times \left(\frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right) \right] \quad [2]$$

X_{\min} و X_{\max} در این رابطه به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار داده‌های مشاهده شده و X_n داده نرمال شده می‌باشد.

معادلات نیمه تجربی تخمین پارامتر طول پرش هیدرولیکی و نسبت اعماق متناوب

تاکنون روابط نیمه تجربی محدودی برای برآورد طول پرش

با استفاده از نه سری داده در هر سه حالت کانال تعریف گردید



شکل ۴. جزئیات کانال‌های واگرا: پلان و مقطع واگرای ناگهانی، الف) بدون مانع، ب) با پله ی معکوس و ج) با بلوک مرکزی

جدول ۵. مدل‌های ورودی مشخصات هیدرولیکی- هندسی برای کانال‌های واگرای ناگهانی

مدل	توابع ورودی	توابع خروجی
S(I)	Fr_1	
S(II)	$Fr_1, \frac{h_1}{B}$	نسبت اعماق متناوب Y
S(III)	$Fr_1, \frac{S}{h_1}$	
L(I)	Fr_1	
L(II)	$Fr_1, \frac{h_2 - h_1}{h_1}$	طول پرش هیدرولیکی
L(III)	$Fr_1, \frac{h_2}{h_1}$	$\frac{L_j}{h_1}$
L(IV)	$Fr_1, \frac{S}{h_1}$	

بدون مانع و با پله معکوس و بلوک مرکزی می‌باشد. مدل‌های ورودی مشخصات هیدرولیکی- هندسی نیز در جدول (۵) نشان داده شده‌اند.

در جدول بالا $\Delta E = E_1 - E_2$ می‌باشد که از روابط زیر به دست آمده است:

و تأثیر پارامترهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای استفاده شده در مدل‌ها شامل: عدد فرود اولیه، عمق ثانویه و عمق اولیه، نسبت واگرایی، ارتفاع پله و بلوک مرکزی می‌باشد. پارامترهای مستقل نیز در تمامی مدل‌ها به صورت بی بعد مورد استفاده قرار گرفتند. شکل (۴) شامل جزئیات کانال‌های واگرای

جدول ۶. پارامترهای آماری مدل SVM با توابع کرنل متفاوت- مدل نسبت اعماق متناوب کانال واگرای بابلوک مرکزی

Test			Train			نوع کرنل
R	DC	RMSE	R	DC	RMSE	
۰/۹۷۲	۰/۹۳۹	۰/۰۵۹	۰/۹۸۱	۰/۹۶۲	۰/۰۴۲	Linear
۰/۹۶۶	۰/۷۳۸	۰/۱۲۳	۰/۹۷۳	۰/۸۹۷	۰/۱۱۸	Polynomial
۰/۹۹۳	۰/۹۸۵	۰/۰۲۸	۰/۹۹۴	۰/۹۸۷	۰/۰۲۶	RBF
۰/۳۴۳	۰/۰۹۵	۰/۲۷۳	۰/۵۷۴	۰/۱۰۸	۰/۲۰۳	Sigmoid

تمام مدل‌ها، مدلی به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد که ضریب همبستگی R و همبستگی خطی DC آن نزدیکترین مقدار به یک و ریشه میانگین مربعات خطا RMSE کوچکترین مقدار را دارد و در انتها نیز نتایج این‌روش با نتایج روابط نیمه‌تجربی مقایسه شد. نتایج کلی حاصل از آنالیز مدل‌ها در جداول (۷، ۸ و ۹) نشان داده شده است.

نسبت اعماق متناوب در کانال واگرا

نتایج آنالیز مدل‌ها در تخمین نسبت اعماق متناوب در جدول (۷) قابل مشاهده است. مطابق با در جدول (۷) و با بررسی معیارهای ارزیابی برای داده‌های آموزش و آزمون سه حالت کانال واگرا مشاهده می‌گردد که مدل S(II) در کانال با بلوک مرکزی با توجه به بیشترین ضریب همبستگی R و ضریب همبستگی خطی DC و کمترین خطا RMSE بهترین نتایج را داراست. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود که انتخاب عدد فرود اولیه به‌عنوان تنها پارامتر ورودی کارایی لازم را جهت تخمین نسبت اعماق متناوب در کانال‌های واگرا ندارد در نتیجه با افزودن نسبت ارتفاع پله یا بلوک به عمق اولیه دقت نتایج به مقدار کم افزایش یافته و با در نظر گرفتن نسبت عمق اولیه به نسبت انبساط بهبودی قابل توجهی در نتایج مشاهده می‌شود. مقایسه نتایج کانال با پله متقارن و نامتقارن نشان می‌دهد که روش ماشین بردار پشتیبان در تخمین نسبت اعماق متناوب در کانال با پله معکوس نامتقارن نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. شکل (۵) نمودار مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده مدل برتر نسبت اعماق متناوب را نشان می‌دهد.

$$E_1 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g}, \quad E_2 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad [3]$$

انتخاب تابع کرنل مناسب

در این مطالعه برای انتخاب تابع کرنل مناسب ماشین بردار پشتیبان، مدل نسبت اعماق متناوب کانال با بلوک مرکزی با کرنل‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق جدول (۶) نتیجه 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 آزمودن مقادیر مختلف مقدار بهینه این پارامترها انتخاب گردید. نحو کار به این صورت بود که به ازای مقدار ثابت γ ابتدا مقادیر بهینه E و C به‌دست آمد، سپس مقدار γ تغییر پیدا کرد و با محاسبه پارامترهای آماری مقدار بهینه آن محاسبه گردید.

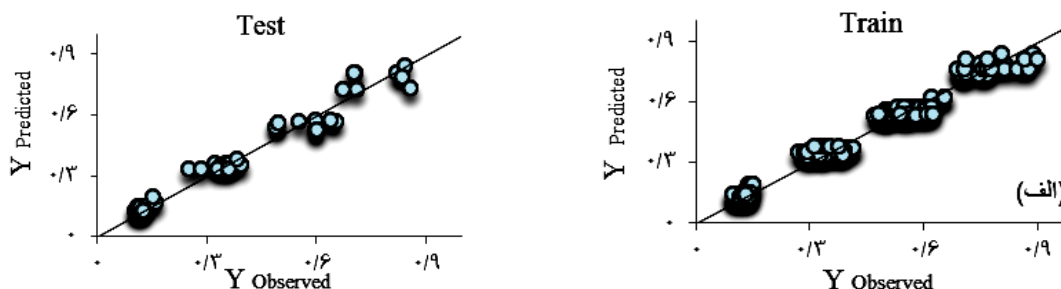
نتایج و بحث

تعریف مدل‌های پرش هیدرولیکی

در این مقاله جهت تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی در سه نوع مختلف کانال از مدل رگرسیون بردار پشتیبان استفاده شده است. با استفاده از متغیرهای مختلف مدل‌هایی جهت تخمین طول پرش هیدرولیکی و نسبت اعماق متناوب و نیز میزان استهلاک انرژی تعریف شد. سپس با آنالیز مدل‌ها و مقایسه معیارهای ارزیابی در مرحله آموزش و آزمون برای

جدول ۷. نتایج مربوط به مدل‌های برتر پیش‌بینی اعماق متناوب توسط SVM

نوع کانال	مدل‌های SVM	معیارهای ارزیابی					
		Train			Test		
		R	DC	RMSE	R	DC	RMSE
بدون مانع							
کانال متقارن	S(I)	۰/۹۵۸	۰/۹۱۶	۰/۰۴۴	۰/۹۵۵	۰/۹۱۱	۰/۰۴۳
	S(II)	۰/۹۷۷	۰/۹۵۲	۰/۰۳۴	۰/۹۴۵	۰/۸۸۲	۰/۰۴۹
کانال نامتقارن	S(I)	۰/۸۸۰	۰/۷۷۱	۰/۰۶۸	۰/۸۷۴	۰/۷۵۴	۰/۰۹۷
	S(II)	۰/۹۵۹	۰/۹۱۸	۰/۰۴۱	۰/۹۳۳	۰/۸۵۴	۰/۰۷۵
با پله معکوس							
کانال متقارن	S(I)	۰/۹۰۰	۰/۸۰۵	۰/۰۶۳	۰/۸۹۳	۰/۷۴۴	۰/۰۷۵
	S(II)	۰/۹۹۳	۰/۹۸۶	۰/۰۱۸	۰/۹۵۹	۰/۹۱۱	۰/۰۴۵
کانال نامتقارن	S(I)	۰/۹۴۷	۰/۸۹۶	۰/۰۴۸	۰/۹۳۱	۰/۸۶۴	۰/۰۵۴
	S(II)	۰/۹۶۳	۰/۹۲۲	۰/۰۵۲	۰/۹۶۲	۰/۹۰۸	۰/۰۵۶
	S(III)	۰/۹۹۳	۰/۹۸۵	۰/۰۲۹	۰/۹۸۹	۰/۹۷۷	۰/۰۲۸
	S(III)	۰/۹۸۰	۰/۹۶۱	۰/۰۳۶	۰/۹۸۰	۰/۹۵۹	۰/۰۳۷
با بلوک مرکزی							
کانال متقارن	S(I)	۰/۹۸۴	۰/۹۶۷	۰/۰۳۹	۰/۹۷۵	۰/۹۴۴	۰/۰۵۷
	S(II)	۰/۹۹۴	۰/۹۸۷	۰/۰۲۶	۰/۹۹۳	۰/۹۸۵	۰/۰۲۸
	S(III)	۰/۹۸۵	۰/۹۶۷	۰/۰۳۹	۰/۹۷۹	۰/۹۵۷	۰/۰۴۸



شکل ۵. نمودار مدل برتر بلوک مرکزی در تخمین اعماق متناوب، الف) مشاهده شده و ب) پیش‌بینی شده

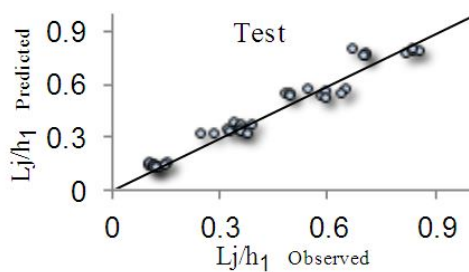
عمق اولیه باعث بهبود قابل توجه نتایج می‌گردد. با توجه به جدول (۸)، مشاهده می‌شود جهت تخمین طول پرش هیدرولیکی به صورت نسبی از عمق اولیه در کانال نامتقارن با پله معکوس در نظر گرفتن پارامترهای ورودی فقط Fr_1 و یا $(Fr_1, \frac{h_2 - h_1}{h_1})$ نتایج دقیق‌تری را نسبت به کانال متقارن با پله معکوس ارائه داده و همچنین مشاهده می‌شود که روش ماشین بردار پشتیبان در تخمین طول پرش در کانال با پله معکوس متقارن نسبت به نامتقارن و با پارامترهای ورودی $(Fr_1, \frac{h_2 - h_1}{h_1})$ و

طول پرش هیدرولیکی در کانال واگرا

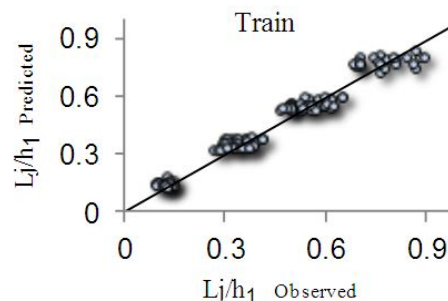
پارامترهای ارزیابی برای مدل‌های تعریف شده جهت تخمین طول پرش هیدرولیکی در جدول (۸) قابل مشاهده است. بررسی معیارهای ارزیابی برای داده‌های آموزش و آزمون مدل‌های تحلیل شده در هر سه کانال، نشان دهنده این مطلب است که مدل L(III) در کانال واگرای با بلوک مرکزی، بهترین نتایج را داراست. پس در حالت با بلوک، تخمین طول پرش به صورت بی‌بعد و نسبی از عمق اولیه و دخیل نمودن پارامترهایی از جمله عدد فرود اولیه و نسبت عمق ثانویه به

جدول ۸ نتایج مربوط به مدل‌های برتر پیش‌بینی طول پرش توسط SVM

معیارهای ارزیابی						مدل‌های SVM	نوع کانال
Train			Test				
R	DC	RMSE	R	DC	RMSE		
بدون مانع							
۰/۹۰۳	۰/۸۱۲	۰/۰۶۹	۰/۸۵۵	۰/۷۲۱	۰/۰۸۹	L(I)	کانال متقارن
۰/۹۰۸	۰/۸۱۹	۰/۰۶۹	۰/۸۵۵	۰/۷۲۲	۰/۰۸۸	L(II)	
۰/۹۰۷	۰/۸۱۸	۰/۰۶۹	۰/۸۵۲	۰/۷۰۶	۰/۰۹۰	L(III)	
با پله معکوس							
۰/۸۹۵	۰/۷۹۸	۰/۰۷۹	۰/۸۸۴	۰/۷۶۳	۰/۰۹۱	L(I)	کانال متقارن
۰/۹۲۹	۰/۸۵۷	۰/۰۶۹	۰/۹۱۲	۰/۸۲۷	۰/۰۷۷	L(II)	
۰/۹۲۵	۰/۸۵۰	۰/۰۷۰	۰/۹۱۰	۰/۸۲۷	۰/۰۷۷	L(III)	
۰/۹۳۵	۰/۸۷۷	۰/۰۶۵	۰/۹۳۰	۰/۸۴۸	۰/۰۶۹	L(IV)	
۰/۹۳۰	۰/۸۶۱	۰/۰۵۷	۰/۹۲۰	۰/۸۴۵	۰/۰۶۱	L(I)	کانال نامتقارن
۰/۹۵۶	۰/۹۱۲	۰/۰۴۸	۰/۹۲۱	۰/۸۳۳	۰/۰۶۶	L(II)	
۰/۹۱۲	۰/۸۲۹	۰/۰۶۵	۰/۸۶۹	۰/۷۵۰	۰/۰۸۸	L(III)	
۰/۹۲۳	۰/۸۵۶	۰/۰۶۱	۰/۸۹۸	۰/۸۰۰	۰/۰۸۱	L(IV)	
۰/۸۸۲	۰/۷۷۳	۰/۰۸۲	۰/۸۵۷	۰/۷۲۷	۰/۰۸۹	L(V)	ترکیب دو حالت متقارن و نامتقارن
با بلوک مرکزی							
۰/۹۳۵	۰/۸۷۲	۰/۰۷۹	۰/۸۹۸	۰/۷۹۷	۰/۱۰۳	L(I)	کانال متقارن
۰/۹۵۸	۰/۹۱۵	۰/۰۶۴	۰/۹۳۰	۰/۸۶۰	۰/۰۹۱	L(II)	
۰/۹۸۱	۰/۹۶۰	۰/۰۴۴	۰/۹۸۰	۰/۹۵۹	۰/۰۴۸	L(III)	
۰/۹۳۲	۰/۸۶۷	۰/۰۷۹	۰/۹۲۳	۰/۸۴۹	۰/۰۹۸	L(IV)	
۰/۹۲۱	۰/۸۴۰	۰/۰۸۵	۰/۹۲۰	۰/۸۳۰	۰/۱۰۲	L(V)	



(ب)



(الف)

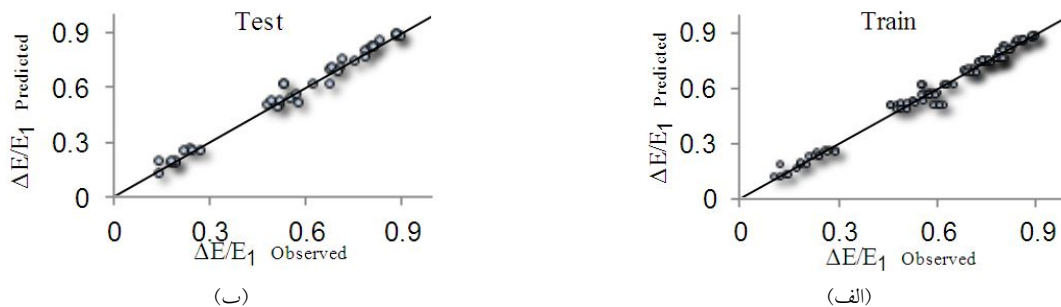
شکل ۶. نمودار مدل برتر بلوک مرکزی در تخمین طول پرش الف) مشاهده شده و ب) پیش‌بینی شده

با دقت کمتر و خطای بالاتری پیش‌بینی کند. شکل (۶) رابطه خطی بین $\frac{L_j}{h_1}$ حالت مشاهده و پیش‌بینی شده مدل برتر نسبت طول پرش به عمق اولیه را نشان می‌دهد.

$(Fr_{1,N})$ دقت بالاتری دارد. با توجه به (جدول ۸) مشاهده می‌شود که افزودن نسبت انبساط کانال $B = \frac{b_2}{b_1}$ ، به‌عنوان پارامتر ورودی جهت تخمین طول پرش در هر دو حالت پله معکوس و بلوک مرکزی، باعث می‌شود که مدل، طول پرش را

جدول ۹. نتایج مربوط به مدل های برتر پیش بینی استهلاك انرژی توسط SVM

معیارهای ارزیابی						مدل های SVM	نوع کانال
Train			Test				
R	DC	RMSE	R	DC	RMSE		
بدون مانع							
۰/۹۵۷	۰/۹۰۹	۰/۰۴۶	۰/۹۵۰	۰/۸۹۸	۰/۰۴۷	E(I)	کانال متقارن
۰/۹۹۲	۰/۹۸۴	۰/۰۲۹	۰/۹۸۹	۰/۹۷۸	۰/۰۳۴	E(II)	
۰/۸۷۳	۰/۷۵۶	۰/۰۷۲	۰/۸۶۷	۰/۷۴۱	۰/۱۰۰	E(I)	کانال نامتقارن
۰/۹۵۹	۰/۹۱۷	۰/۰۴۲	۰/۹۳۵	۰/۸۴۸	۰/۰۷۷	E(II)	
با پله معکوس							
۰/۸۹۰	۰/۷۹۰	۰/۰۶۹	۰/۸۶۹	۰/۷۱۰	۰/۰۸۱	E(I)	کانال متقارن
۰/۹۹۲	۰/۹۸۴	۰/۰۳۱	۰/۹۵۷	۰/۹۰۸	۰/۰۴۵	E(II)	
۰/۹۷۴	۰/۹۷۲	۰/۰۳۵	۰/۹۴۵	۰/۹۴۵	۰/۰۴۹	E(III)	کانال نامتقارن
۰/۹۶۱	۰/۹۲۴	۰/۰۵۲	۰/۹۵۹	۰/۹۱۸	۰/۰۵۴	E(I)	
۰/۹۷۹	۰/۹۸۴	۰/۰۲۹	۰/۹۷۶	۰/۹۸۱	۰/۰۳۲	E(II)	
۰/۹۸۹	۰/۹۷۷	۰/۰۲۷	۰/۹۵۶	۰/۹۰۸	۰/۰۵۵	E(III)	
۰/۹۸۰	۰/۹۶۱	۰/۰۴۵	۰/۹۷۶	۰/۹۵۳	۰/۰۴۷	E(I)	
۰/۹۹۳	۰/۹۸۵	۰/۰۲۷	۰/۹۹۲	۰/۹۸۴	۰/۰۳۰	E(II)	کانال متقارن
۰/۹۸۱	۰/۹۶۵	۰/۰۴۲	۰/۹۸۰	۰/۹۶۴	۰/۰۴۴	E(III)	



شکل ۷. نمودار مدل برتر بلوک مرکزی در تخمین استهلاك انرژی نسبی (الف) مشاهده شده و (ب) پیش بینی شده

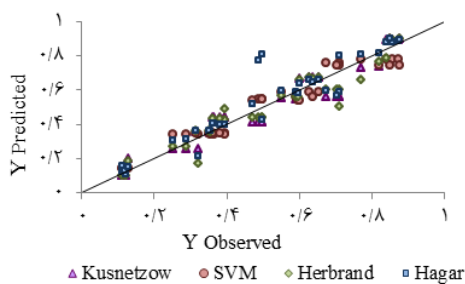
جایگزین کردن پارامتر $(\frac{h_1}{B})$ به همراه Fr_1 ، باعث می شود که مدل، مشخصه هیدرولیکی استهلاك انرژی نسبی را با دقت بیشتر و خطای کمتری پیش بینی کند. در روش SVM بدون نیاز و دسترسی به داده های پایین دست که لازمه محاسبه استهلاك انرژی است، می توان میزان استهلاك را فقط با استفاده از داده های بالادست محاسبه کرد و این مزیتی برای روش SVM نسبت به مدل های کلاسیک می باشد. شکل (۷) رابطه خطی بین $\frac{\Delta E}{E_1}$ حالت مشاهده و پیش بینی شده مدل برتر استهلاك انرژی

استهلاك انرژی نسبی در کانال واگرا

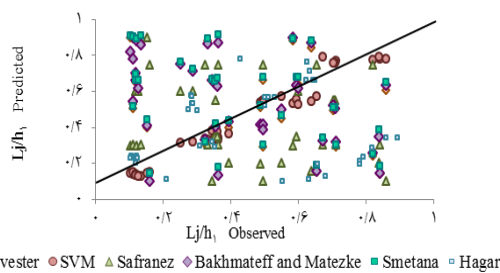
با بررسی عملکرد معیارهای ارزیابی برای داده های آموزش و آزمون مطابق با جدول (۹) مشاهده می شود که مدل CE(II) در کانال با بلوک مرکزی جهت تخمین استهلاك انرژی نسبی، دارای نتایج بهتری می باشد. همچنین با بررسی دقیق تر مشاهده می شود که در کانال با بلوک مرکزی، افزودن پارامتر نسبت ارتفاع بلوک به عمق اولیه جریان $(\frac{s}{h_1})$ به عدد فرود اولیه گرچه به مقدار کم ولی باعث بهبود نتایج می گردد و نیز

جدول ۱۰. مقایسه نتایج مدل برتر SVM با نتایج روابط نیمه تجربی

معیار های ارزیابی						بلوک مرکزی متقارن	روابط	مقارن
formula			Test (SVM)					
R	DC	RMSE	R	DC	RMSE			
۰/۹۵۳	۰/۹۱۷	۰/۰۷۵	۰/۹۹۳	۰/۹۸۵	۰/۰۲۸	$Y = \frac{\sqrt{\Delta}}{B} K_K \left[\sqrt{1 + \lambda B F r_1^2} - 1 \right]$	Kusnetzow	
۰/۹۵۶	۰/۹۱۵	۰/۰۷۰	۰/۹۹۳	۰/۹۸۵	۰/۰۲۸	$Y = F r_1 \sqrt{\frac{2}{B}} - \frac{1}{\sqrt{B}}$	Herbrand	
۰/۹۴۶	۰/۸۷۹	۰/۰۸۳	۰/۹۹۳	۰/۹۸۵	۰/۰۲۸	$\frac{Y^* - Y}{Y^* - 1} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{B}} \right) \times [1 - \text{th}(1/\sqrt{X_1})]$	Hager	
۰/۱۴۲	۰/۰۹۱	۰/۵۷۰	۰/۹۸۰	۰/۹۵۹	۰/۰۴۸	$L_j = \left\{ 1 + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{B}} \right) \times [1 - \text{th}(1/\sqrt{X_1})] \right\} L_j^*$	Hager	
۰/۸۳۷	۰/۲۳۰	۰/۴۷۰	۰/۹۸۰	۰/۹۵۹	۰/۰۴۸	$L_j = \epsilon \times H_j$	Smetana	
۰/۲۲۰	۰/۱۳۶	۰/۵۲۰	۰/۹۸۰	۰/۹۵۹	۰/۰۴۸	$L_j = \epsilon h_1 \times F r_1$	Safranez	
۰/۷۱۰	۰/۰۹۵	۰/۵۶۰	۰/۹۸۰	۰/۹۵۹	۰/۰۴۸	$L_j = \delta \times H_j$	Bakhmatef and Matezke	
۰/۷۱۲	۰/۱۲۵	۰/۵۴۱	۰/۹۸۰	۰/۹۵۹	۰/۰۴۸	$L_j = \epsilon / 0.2 \times H_j$	Silvester	



(ب)



(الف)

شکل ۸. مقایسه روابط نیمه تجربی با بهترین مدل SVM، الف) طول پرش و ب) اعماق متناوب

آزمون استفاده شده و نتایج حاصل با هم مقایسه گردیده‌اند. نتایج این مقایسه در جدول (۱۰) و شکل (۸) آورده شده است. در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان نتایج بهتری را نسبت به برخی از روابط نیمه تجربی موجود در تخمین اعماق متناوب و طول پرش هیدرولیکی در کانال واگرا دارا می‌باشند.

نسبی را نشان می‌دهد.

مقایسه نتایج روش ماشین بردار پشتیبان با روابط نیمه تجربی برای ارزیابی عملکرد روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان نسبت به برخی روابط نیمه تجربی موجود برای تخمین اعماق متناوب و طول پرش هیدرولیکی در کانال واگرا از داده‌های

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کلی

را با کمترین دقت نسبت به سایر مشخصات برآورد می‌کند. در استفاده از روش رگرسیون بردار پشتیبان SVM استفاده شد و مختلف، تابع کرنل RBF بهترین نتایج را در تخمین نسبت اعماق متناوب، طول پرش هیدرولیکی و استهلاك انرژی نسبی ارائه می‌دهد. یکی از ضعف‌های روش ماشین بردار پشتیبان حساس بودن نسبت به داده‌ها می‌باشد و برای موارد دیگر با محدوده داده‌های متفاوت از این تحقیق باید SVM مناسب آن مورد تعریف گردد. با این حال ارائه نتایج قطعی‌تر مستلزم تخمین مشخصات پرش هیدرولیکی با وجود انواع موانع در بستر کانال و در نظر گرفتن اثر شکل زبری مصالح کانال، در نظر گرفتن جریان در زمان وقوع پرش هیدرولیکی به صورت دو فازه (آب و هوا) و تأثیر بر روی مشخصات پرش و بررسی پرش هیدرولیکی در مباحث رودخانه‌ای از جمله تأثیر بار بستر و معلق بر روی مشخصات پرش هیدرولیکی است.

در این مقاله برای تخمین مشخصات هیدرولیکی در کانال‌های واگرا، از مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان SVM استفاده شد و تأثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه روابط نیمه تجربی و کلاسیک با نتایج حاصل از مدل‌های SVM نشان داد که نتایج روش SVM نسبت به روابط کلاسیک موجود دقیق‌تر و قابل اعتمادتر می‌باشد. همچنین ملاحظه گردید که: کانال واگرا با بلوک مرکزی در تخمین نسبت اعماق متناوب $(Y = \frac{h_2}{h_1})$ ، نسبت به حالات دیگر (کانال بدون مانع و شامل پله معکوس) نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. از میان مشخصات هیدرولیکی مورد مطالعه در این مقاله، مدل مشخصه هیدرولیکی $\frac{h_2}{h_1}$ را با پارامترهای مستقل $(Fr, \frac{h_1}{B})$ ، با بیشترین دقت و مشخصه هیدرولیکی $\frac{L_j}{h_1}$ با پارامترهای (Fr, B)

منابع مورد استفاده

1. Bremen, R., 1990. Expanding stilling basin (No. LCH-BOOK-2008-003). EPFL-LCH.
2. Bremen, R. and W. H. Hager. 1993. T-jump in abruptly expanding channel. J. Hydraul. Resour. 31(1): 61-78.
3. Bretz, N.V. and R. Sinniger. 1988. Ressaut hydraulique forcé par seuil (No. LCH-BOOK-2008-002). EPFL-LCH.
4. Ch, S., N. Anand, B. K. Panigrahi and S. Mathur. 2013. Streamflow forecasting by SVM with quantum behaved particle swarm optimization. J. Neurocomput 101: 18-23.
5. Gupta, S. K., Mehta, R. C. and V. K. Dwivedi. 2013. Modeling of relative length and relative energy loss of free hydraulic jump in horizontal prismatic channel. J. Procedia Eng. 51: 529-537.
6. Hager, W. H., R. Bremen and N. Kawagoshi. 1990. Classical hydraulic jump: length of roller. J. Hydraul. Res. 28(5): 591-608.
7. Herbrand, K. 1970. Der räumliche Wechselsprung, Literaturstudie Bericht Nr. 18 der Versuchsanstalt für Wasserbau der Technischen Universität München, Oskar v.
8. Koloseus, H. J. and D. Ahmad. 1969. Circular hydraulic jump. J. Hydraul. Div. 95: 409-422.
9. Kusnetzow, S. K. 1958. Die Fliessbewegung bei plotzlicher Verbreiterung des Strombettes. Hidrotechniceskoe Stroitelstvo. 27(6): 34-37.
10. Legates, D. R. and G. J. McCabe. 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. J. Water Resour. Res. 35(1): 233-241.
11. Noori, R., A. R. Karbassi, A. Moghaddamia, D. Han, M. H. Zokaei-Ashtiani, A. Farokhnia and M. G. Gousheh. 2011. Assessment of input variables determination on the SVM model performance using PCA, Gamma test, and forward selection techniques for monthly stream flow prediction. J. Hydrol. 401(3): 177-189.
12. Roushangar, K. and A. Koosheh. 2015. Evaluation of GA-SVR method for modeling bed load transport in gravel-bed rivers. J. Hydrol. 527:1142-1152.
13. Sivapragasam, C., S. Y. Liong and M. F. K. Pasha. 2001. Rainfall and runoff forecasting with SSA-SVM approach. J. Hydroinformatics 3(3): 141-152.
14. Tripathi, S., V. V. Srinivas and R. S. Nanjundiah. 2006. Downscaling of precipitation for climate change scenarios: a support vector machine approach. J. Hydrol. 330(3): 621-640.
15. Vapnik, V. 2000. The Nature of Statistical Learning Theory. pp. 1-47. Data Mining and Knowledge Discovery.

Estimating Hydraulic Characteristics of Expanding Channels Energy Dissipation using Support Vector Machine

K. Roushangar* and R. Valizadeh¹

(Received: June 22-2016 ; Accepted: Sept. 12-2016)

Abstract

Hydraulic jump is the most common method of dissipating water's kinetic energy in downstream of spillways, shoots and valve. In this paper, Support Vector Machine (SVM) method, as a machine learning method, have been used to estimate hydraulic characteristics such as the sequent depth ratio, jump length and energy loss in three different sudden expansions stilling basins, and the rate of influence of input parameters in each jump has been analyzed. In order to evaluate the performance of proposed method, 936 sets of the observed data have been used for training and testing process of three kinds of expanding channel models. Furthermore, a comparison between semi-theoretical approaches and the data obtained from the best SVM models have been carried out. The results confirmed the efficiency of SVM method for estimating the hydraulic jump characteristics and proved that this method performed well in comparison to the semi-theoretical relationships. The obtained results revealed that the superior model for the sequent depth ratio and relative energy dissipation was the model with $(Fr_1, h_1/B)$ parameters and the superior model for the length of hydraulic jump prediction was the model with $(Fr_1, h_2/h_1)$ parameters.

Keywords: Hydraulic characteristics, Expanding channels, Energy Dissipation, Intelligent systems, Support Vector Machine.

1. Dept. of Water, College of Civil Eng., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: kroshangar@yahoo.com