کاربرد الگوریتم نزدیک ترین همسایگی در پیش بینی میزان آسیب پذیری سرریز سدها در اثر پدیده کاویتاسیون

احسان فدائی کرمانی[۱]، غلامعباس بارانی [۲]، مهناز قائینی حصاروئیه [۳]

تاریخ دریافت:
تاریخ پذیرش:

چکیده

در تحقیق حاضر با استفاده الگوریتم نزدیک ترین همسایگی، روشی برای پیش بینی آسیب ناشی از پدیده کاویتاسیون در سرریز سدها ارائه میشود. در این مطالعه برمبنای سرعت جریان و شاخص کاویتاسیون پنج سطح مختلف برای خسارت کاویتاسیون در نظر گرفته شده، که شامل "خطر کاویتاسیون وجود ندارد" تا "حداکثر آسیب" می باشد. در ابتدا خصوصیات هیدرولیکی جریان روی سرریز سد شهید عباسپور به ازای مقادیر مختلف دبی جریان محاسبه و تعیین گردید. سپس با استفاده از الگوریتم نزدیک ترین همسایگی، محتمل ترین وضعیت خطر کاویتاسیون در این سرریز به ازای مقادیر مختلف دبی جریان و با در نظر گرفتن اثر توامان پارامترهای سرعت جریان و شاخص کاویتاسیون تخمین زده شده است. مقایسه نتایج حاصل از مدل با مشاهدات آسیب بر سرریز این سد طی سیلاب های سال های گذشته، نشان داد که الگوریتم نزدیک ترین همسایگی پیشبینی های قابل قبولی از سطح آسیب و نیز موقعیت آسیب ناشی از کاویتاسیون در سرریز این سد ارائه کرده است. در نهایت با استفاده از ضرایب آماری مختلف میزان دقت و کارایی مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر مناسب و قابل قبول ضریب همبستگی پیرسون (r=۰/۸۹۶)، میانگین خطای مطلق (MAE =۰/۱۰۱)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE =۰/۱۰۸) و ضریب کارایی مدل (EF=۰/۸۱۳)، نشان داد که این مدل قابل قبول و توانمند می باشد.

واژه‌های کلیدی: خسارت کاویتاسیون، سرریز سد شهید عباسپور، سرعت جریان ، شاخص کاویتاسیون ، الگوریتم نزدیک ترین همسایگی.

[۱] دانشجوی دکتری، دانشکده فنی مهندسی، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران. ۰۳۴-۳۳۲۲۰۰۵۴، ehsanhard@gmail.com.

[۲] استاد، دانشکده فنی مهندسی، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران. ۰۳۴-۳۳۲۲۰۰۵۴. gab@mail.uk.ac.ir . (مسئول مکاتبه)

[۳] استادیار، دانشکده فنی مهندسی، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران. ۰۳۴-۳۳۲۲۰۰۵۴ ، mghaeini@mail.uk.ac.ir.

مقدمه

پدیده کاویتاسیون پدیده نام آشنایی است که در اکثر سازه های هیدرولیکی که در معرض جریان هایی با سرعت بالا قرار دارند از جمله سرریز سدها، به عنوان یک خطر و چالش بزرگ مهندسی تلقی می شود. خسارات ناشی از این پدیده در سازههای هیدرولیکی همواره معضلی بزرگ بوده است. پدیده کاویتاسیون اغلب با فرایند جوشیدن آب در فشار اتمسفر مقایسه می شود. آب با افزایش دما در فشار ثابت به جوش آمده و از حالت مایع به گاز تبدیل می شود. با کاهش فشار منطقه، آب در دمای کمتری به جوش می آید. پدیده کاویتاسیون بر خلاف فرآیند جوشیدن آب، در دمای ثابت و در اثر کاهش فشار موضعی سیال به وقوع می پیوندد. (Khatsuria, 2005) کاویتاسیون پدیده ای است که در سرعت های بالا به وقوع می پیوندد و باعث ایجاد خرابی و حفره در سازه ها می شود. در یک سیستم هیدرولیکی با افزایش سرعت جریان، فشار موضعی جریان کاهش می یابد و این کاهش فشار امکان دارد تا حد فشار بخار سیال ادامه یابد تا حدی که سیال به حالت بخار درآید. همچنین احتمال دارد که در طول سرریز و یا مستهلک کننده انرژی در اثر وجود ناصافی ها و یا ناهمواری های موجود درکف، خطوط جریان از بستر خود جدا شده و بر اثر این جداشدگی فشار موضعی در محل جداشدگی کاهش یافته و حتی ممکن است به فشار بخار سیال برسد و سیال به بخار تبدیل شود . حبابهای بخار تولید شده پس از طی مسیر کوتاهی به منطقه ای با فشار بیشتر رسیده و منفجر می شوند و ایجاد سروصدا می کند. امواج ضربه ای ایجاد شده به مرز بین سیال و سازه ضربه های شدیدی وارد می کنند و منجر به ایجاد فرسایش و خوردگی روی مرز جامد سازه می شوند. تبدیل مجدد حباب ها به مایع و فشار حاصله از انفجار آنها گاهاً به ۱۵۰۰ مگا پاسکال می رسد. این فرایند دریک مدت زمان کوتاهی به وقوع می پیوندد و در اثر تداوم و تکرار زیاد وقوع آن ، بستر سرریزها دچار خوردگی می شود و به تدریج این خوردگی ها به حفره های بزرگ تبدیل می شوند (Falvey,1990).

معمولا برای بررسی امکان وقوع پدیده کاویتاسیون در سرریزها از شاخص کاویتاسیون (σ) استفاده می شود. زمانی که شاخص کاویتاسیون در هر نقطه از سرریز از مقدار بحرانی شروع کاویتاسیون (σ_i) بیشتر باشد امکان وقوع این پدیده کم است. معادله شماره ۱ نحوه محاسبه این شاخص را نمایش می‌دهد:

$$\sigma = \frac{P - P_v}{\rho \frac{V^2}{2}} \qquad (۱)$$

در معادله فوق P فشار موضعی سیال، P_V فشار بخار آب، V سرعت موضعی سیال و ρ جرم مخصوص آب می باشد.

سرریز ها از جمله سازه های هیدرولیکی می باشند که در معرض شدید وقوع کاویتاسون قرار دارند. تحقیقات و مطالعات گسترده ای پیرامون وقوع این پدیده در سرریزها انجام پذیرفته است. اهم فعالیت های انجام پذیرفته در این موضوع را می توان در مطالعه و بررسی مدل های هیدرولیکی از قبیل Hay (1988)، Mober (2000)، Nie (2001)، Dong (2006) و Su، Dong et al (2008)و Frizell et al(2013) تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاه اشاره کرد. در این تحقیقات اثر زبری و ناهواری های بستر و نیز سایر خصوصیات جریان و بستر جامد در شکل گیری و شدت آسیب کاویتاسیون مورد بررسی قرار گرفته است. نقش هوادهی جریان در کاهش وقوع پدیده کاویتاسون در بسیاری از تحقیقات مورد توجه و بررسی قرار گرفته است که از آن جمله می توان به Felder et al (2014) و Xu et al (2015) اشاره کرد.

با پیشرفت های حاصل شده در علم کامپیوتر ، استفاده از مدل‌های عددی نیز به عنوان ابزاری توانمند در خدمت مهندسان و طراحان جهت بررسی

خصوصیات جریان در سازه های هیدرولیکی به ویژه سرریزها قرار گرفته است. از این جمله می‌توان به فعالیت های Falvey (1990)، Charles (1999) و Zhou ، Cheng et al (2006)، Fadaei-Kermani et al (2016) و Valero et al (2016) اشاره کرد که با مدل سازی های عددی مکانیزم وقوع پدیده کاویتاسیون مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

اگرچه تا کنون مطالعات قابل توجهی پیرامون مکانیزم وقوع کاویتاسیون و نیز شدت آسیب این پدیده در سازه های هیدرولیکی صورت پذیرفته، اما در تمامی تحقیقات صورت پذیرفته اکثرا به نقش یک عامل در وقوع آسیب و تنها به ازای مقادیر خاصی از دبی و شرایط ویژه جریان توجه شده است. از طرف دیگر توجه به این امر ضروری است که لزوما کاویتاسیون در سرعت های بالا رخ نمی دهد. لذا نبود روشی جامع که ضمن بررسی عوامل مختلف در وقوع کاویتاسیون و نیز با در نظر گرفتن شرایط مختلف جریان بتواند پیشبینی های قابل قبولی از وقوع آسیب در سازه را در اختیار قرار دهد، همواره احساس شده است. در این تحقیق سعی بر آن شده است که با بهره گیری از الگوریتم نزدیک ترین همسایگی روشی جامع به منظور پیشبینی سطح آسیب ناشی از کاویتاسیون روی سرریزها و نیز محل وقوع آسیب با در نظر گرفتن شرایط مختلف جریان ارائه شود.

الگوریتم نزدیک ترین همسایگی

در حالت کلی از این الگوریتم به دو منظور استفاده می‌شود: برای تخمین تابع چگالی توزیع داده‌های تعلیم و برای طبقه بندی داده‌های تست بر اساس الگوهای تعلیم. بر خلاف توابع انتقالی کلاسیک مدل نزدیک ترین همسایگی از هیچ تابع ریاضی از پیش تعریف شده ای برای تخمین متغیرهای مختلف استفاده نمی کند. به طور کلی می توان گفت که مدل نزدیک ترین همسایگی یکی از روش های داده کاوی می باشد که هدف کلی ان طبقه بندی و تخمین ویژگی های یک سری داده های مجهول با توجه به بیشترین شباهت این داده ها با داده های معلوم که در همسایگی (نزدیکی) آن‌ها قرار دارند (Xindung and Kumar ، 2009). در این مدل داده های هدف مورد جستجو[1] با توجه به نزدیک ترین فاصله نسبت به داده های آموزش[2] (بانک داده مرجع)، طبقه بندی می شوند.

نخستین گام در استفاده از این مدل یافتن روش و رابطه ای برای محاسبه فاصله بین داده های مورد آزمایش و داده های تعلیم می باشد. معمولا برای تعیین فاصله بین داده های تعلیم و داده های آزمایش از فاصله اقلیدسی استفاده می شود.

$$d(X,Y)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^2} \qquad (۲)$$

که در آن X نماینده داده های تعلیم با پارامترهای مشخص (x_1 تا x_n) و Y نماینده داده های آموزش با همان تعداد پارامترهای مشخص (y_1 تا y_n) می باشد.

$$X=(x_1,x_2,...,x_n)$$
$$Y=(y_1,y_2,...,y_n)$$

پس از تعیین فاصله اقلیدسی بین داده ها، نمونه‌های بانک داده به ترتیب صعودی از کمترین فاصله (حداکثر تشابه) تا بیشترین فاصله (حداقل تشابه) از نونه مورد نظر طبقه بندی و ارزش‌گذاری می شوند.

قدم بعدی در این مدل یافتن تعداد نقاطی (k) از داده های آزمایش برای تخمین ویژگی های بانک داده مورد نظر می باشد. تعیین تعداد همسایه ها (k) ، یکی از کلیدی ترین و مهم ترین مراحل در این مدل به شمار می آید و میزان کارایی این روش به طور قابل ملاحظه ای به کیفیت انتخاب نزدیک‌ترین (مشابه ترین) نمونه ها از داده های بانک مرجع دارد. اگر k مقداری کوچک فرض شود، نتایج نسبت به تک نقطه

[1] Test data
[2] Training data

های نا متعارف مدل حساس می باشد و در صورتی که k مقداری بزرگ انتخاب گردد امکان قرار گرفتن نقاطی از دیگر کلاس ها در محدوده مورد نظر وجود دارد. معمولا بهترین مقدار k با استفاده از عملیات Cross-Validation قابل محاسبه می باشد (Xindung and Kumar، 2009).

تکنیک n-fold Cross-Validation یک روش آماری می باشد که در واقع کیفیت تخمین های یک مدل را بر اساس تعداد و نوع داده های ورودی مشخص می کند. در این روش داده های مدل به n قسمت مساوی تقسیم می شود. سپس برای n ایم قسمت، مدل با توجه به بقیه قسمت های مدل (n-1) فیت می شود و میزان خطای مدل برای پیش بینی قسمت n ام ارزیابی می شود. این روند آنقدر ادامه می یابد که تمامی قسمت ها را شامل شود (Hastie et al ، 2008).

مطالعه موردی

سد شهید عباسپور (کارون ۱) اولین پروژه تولید و ذخیره برقابی است که برروی بزرگترین رودخانه ایران، رودخانه کارون، احداث شده است. سطح رودخانه کارون که از ارتفاعات غربی زاگرس سرچشمه می‌گیرد، تا محل احداث سد به ۱۷۴۳۰ کیلومتر مربع می‌رسد. هدف از احداث این سد تامین آب مورد نیاز ۱۳۲ هکتار از اراضی کشاورزی پایین دست، تولید انرژی برقابی (با قدرت نصب ۱۰۰۰ مگاوات) و کنترل سیلاب های رودخانه کارون می باشد (مهندسین مشاور مهاب قدس ، ۱۹۹۴).

سد شهید عباسپور از نوع بتنی دو قوسی با ارتفاع ۲۰۰ متر و طول تاج ۳۸۰ متر در فاصله ۱۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در ۵۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان مسجد سلیمان احداث گردیده است. در جدول ۱ برخی از خصوصیات و مشخصات فنی این سد آورده شده است.

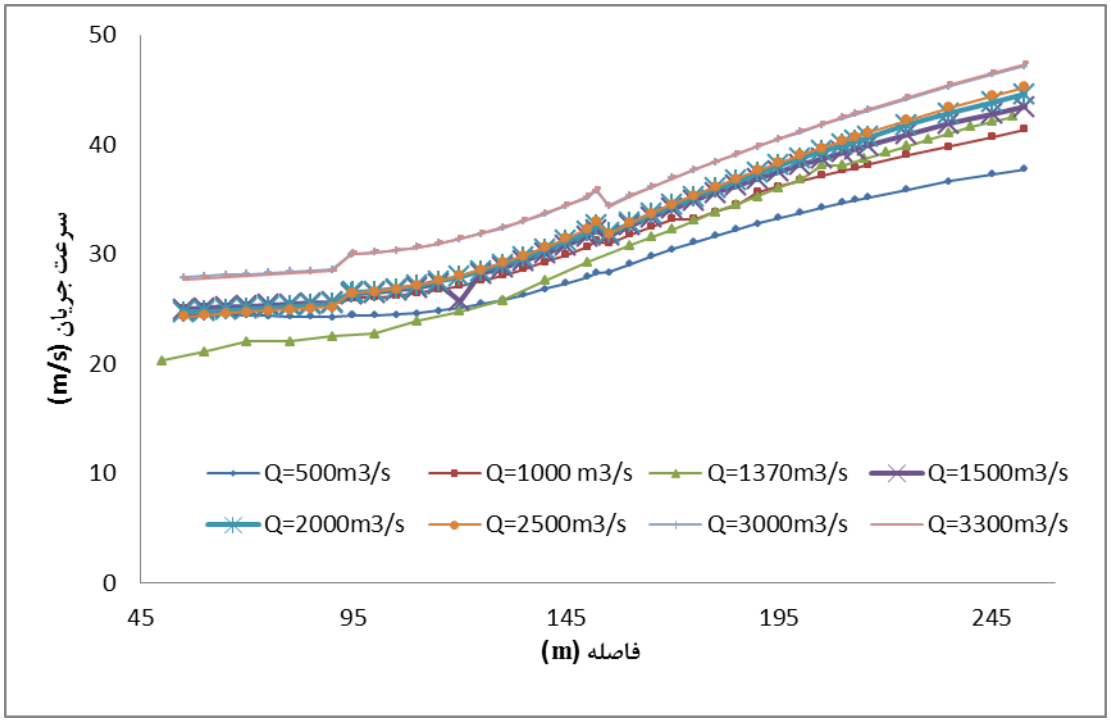
در پیشینه بهره برداری از سد شهید عباسپور، گزارش های متعدد از خسارت ناشی از پدیده کاویتاسیون بر سرریز این سد به چشم می خورد و این سد بارها در معرض خطر وقوع این پدیده قرار داشته است.

جدول (۱): مشخصات فنی سد شهید عباسپور (مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۹۹۴)

نوع سد	بتنی دو قوسی
ارتفاع سد از پی	۲۰۰ متر
طول تاج سد	۳۸۰ متر
رقوم تاج	۵۴۲ متر
حداکثر تراز نرمال	۵۳۰ متر
دریاچه	۲۹/۵ متر
عرض سد در پی	۶ متر
عرض سد در تاج	شوت سه دهانه
نوع سرریز	دریچه دار
رقوم تاج سرریز	۵۱۰ متر

پیاده سازی مدل

با شبیه‌سازی عددی جریان روی سرریز سد شهید عباسپور مشخصات هیدرولیکی جریان به ازای مقادیر مختلف دبی تعیین شده است (فدائی کرمانی و بارانی ، ۲۰۱۴). مشخصات هیدرولیکی جریان به ازای هشت مقدار مختلف دبی جریان محتمل روی سرریز محاسبه شده است. در شکل ۱ پروفیل سرعت جریان به ازای مقادیر مختلف دبی جریان نمایش داده می‌شود.



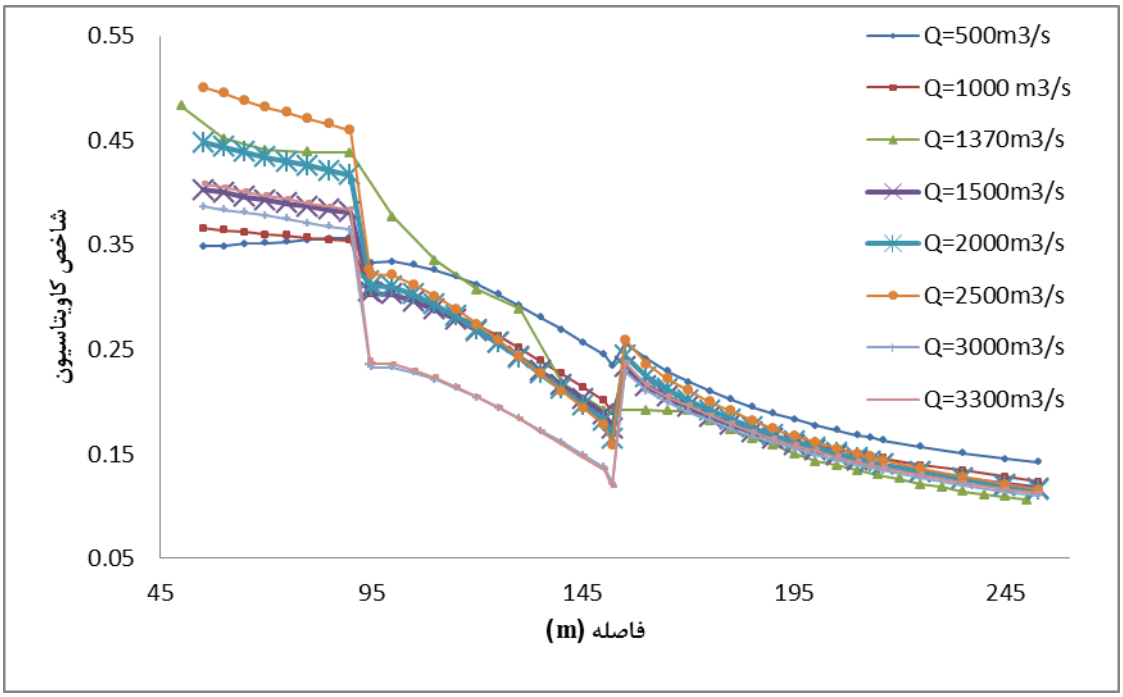
شکل (۱): پروفیل سرعت جریان در طول سرریز به ازای مقادیر مختلف دبی جریان

با توجه به مقادیر محاسبه شده برای فشار پیزومتریک و سرعت جریان، شاخص کاویتاسیون در طول سرریز به ازای تمامی مقادیر مختلف دبی جریان محاسبه می شود. در جریان با سطح آزاد و سرریزها با صرف نظر کردن از اثرات قوس قائم در کف، شاخص کاویتاسیون (معادله ۱) به صورت رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$\sigma = \frac{\frac{P_{At}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} + h\cos\theta}{\frac{V^2}{2g}} \qquad (۳)$$

که در آن. $\frac{P_{At}}{\gamma}$ فشار محیط اطراف می باشد که در شرایط طبیعی معادل یک اتمسفر و یا ۱۰/۳۳ متر ستون آب در نظر گرفته می شود. $\frac{P_v}{\gamma}$ فشار بخار مایع می شود که برای آب در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد ۲۴۵۰ پاسکال معادل ۰/۲۵ متر ستون آب می باشد. در محاسبات جهت در نظر گرفتن ضریب اطمینان مناسب این مقدار برابر ۱ در نظر گرفته می شود. θ زاویه کف تنداب نسبت به افق بر حسب درجه می باشد.

مقادیر شاخص کاویتاسیون محاسبه شده به ازای مقادیر مختلف دبی جریان در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ : شاخص کاویتاسیون جریان در طول سرریز به ازای مقادیر مختلف دبی جریان

در این تحقیق با توجه به مشاهدات و آزمایشات صورت گرفته برروی خسارت ناشی از کاویتاسیون بر روی سرریز سدهای مختلف و همچنین مکانیزم خسارت کاویتاسیون در سرریز سد شهید عباسپور، پنج سطح مختلف برای خسارت در نظر گرفته شده است (فدائی کرمانی و همکاران ، ۲۰۱۳).

قبل از ورود به مرحله کار با مدل نزدیک‌ترین همسایگی، بهتر است داده ها نرمال شوند. نرمال کردن داده زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که پایگاه داده ما شامل چندین متغیر با محدوده های متفاوت باشد. روش های مختلفی برای نرمال کردن داده‌ها وجود دارد. به عنوان مثال می توان با استفاده از رابطه ۴، داده هایی نرمال شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک تبدیل کرد.

جدول (۲) : سطح بندی خطر آسیب پدیده کاویتاسیون (فدائی کرمانی و همکاران، ۲۰۱۳)

کلاس	سطح خطر آسیب	محدوده شاخص کاویتاسیون	محدوده سرعت جریان (m/s)
۱	خطر کاویتاسون وجود ندارد	$\sigma > 1$	$V \leq 5$
۲	امکان وقوع کاویتاسیون وجود دارد	$0.45 < \sigma \leq 1$	$5 < V \leq 16$
۳	آسیب خفیف تا متوسط	$0.25 < \sigma \leq 0.45$	$16 < V \leq 25$
۴	آسیب شدید	$0.17 < \sigma \leq 0.25$	$25 < V \leq 40$
۵	حداکثر آسیب (نهایی)	$\sigma \leq 0.17$	$V > 40$

$$X' = \frac{x - \bar{x}}{\sigma(x)} \qquad (۴)$$

که در آن X' داده های نرمال شده و $\bar{x}$ میانگین داده‌ها و $\sigma(x)$ بیانگر انحراف معیار داده ها می باشد.

پس از محاسبه فاصله بین داده‌های آزمایش و تعلیم و مرتب کردن نتایج به صورت صعودی، تعداد k از نزدیک ترین همسایه ها جهت براورد وضعیت هر گروه از داده‌ها انتخاب می گردد. نحوه تعیین k به این صورت می باشد که مدل را با توجه به مقادیر مختلف k مورد ارزیابی قرار داده و با توجه به تکنیک Cross-Validation و تعیین مجموع مربعات خطا، مقداری از k که کمترین خطا را داشته باشد، برای مدل انتخاب می گردد و مدل بر اساس آن مقدار k عمل می کند. در نهایت با استفاده از یک سری شاخص های آماری، عملکرد مدل مورد ارزیابی و اعتبار سنجی قرار می‌گیرد.

یکی از شاخص‌های آماری که برای ارزیابی مدل‌ها از آن استفاده می شود، ضریب همیستگی پیرسون می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$r = \frac{n[\sum_{i=1}^{n} y_i x_i] - [\sum_{i=1}^{n} y_i][\sum_{i=1}^{n} x_i]}{\sqrt{[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} y_i)^2][n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2]}} \qquad (۵)$$

که در آن y_i مقادیر پیش بینی شده برای داده iام و x_i مقادیر مشاهده شده برای داده iام و n تعداد داده ها می باشد.

مقادیر ضریب همبستگی همواره بین [۱- و ۱] بوده و قضاوت بر اساس این ضریب آسان می باشد. با این حال باید توجه داشت که ضریب همبستگی نمی تواند به تنهایی شاخص مناسبی برای ارزیابی مدل باشد. چرا که ممکن است در یک مدل فرضی مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده دارای اختلافی فاحش باشند ولی این اختلافات به گونه ای باشد که از یک روند یکسان پیروی نمایند (قربانی و همکاران، ۲۰۰۹). لذا می توان از شاخص های آماری کمی دیگری نیز در کنار ضریب همبستگی برای برآورد دقت مدل استفاده کرد. در این مطالعه از ضرایب میانگین خطای مطلق[1] (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا[2] (RSME) و کارایی مدل[3] (EF) نیز برای ارزیابی مدل استفاده شده است. نحوه محاسبه این ضرایب به ترتیب در روابط ۶ تا ۸ آورده شده است.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - y_i|}{n} \qquad (۶)$$

$$RMSE = [\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2}{n}]^{0.5} \qquad (۷)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^{n} (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} \qquad (۸)$$

که در آن y_i مقادیر پیش بینی شده برای داده iام و x_i مقادیر مشاهده شده برای داده i ام و n تعداد داده ها و $\bar{x}$ مقدار میانگین داده ها می باشد.

نتایج و بحث

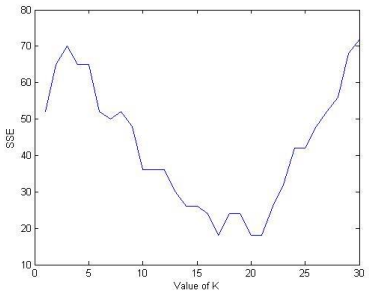
با توجه به مقادیر محاسبه شده برای شاخص کاویتاسیون و همچنین تعیین پروفیل سرعت جریان ، با استفاده از الگوریتم k-نزدیک‌ترین همسایگی محتمل‌ترین وضعیت آسیب کاویتاسیون در طول سرریز تخمین زده می شود.

به منظور بررسی وضعیت خسارت کاویتاسیون در سرریز سد شهید عباسپور با استفاده از مدل k نزدیک ترین همسایگی، طول سرریز به ۸ ناحیه ۲۵ متری تقسیم بندی شد. این ناحیه بندی از فاصله ۵۰ متری تاج سرریز تا ابتدای ورودی شوت به پرتاب کننده

[1] -Mean Absolute Error
[2] -Root Mean Square Error
[3] -Efficiency of Moel

جامی شکل سرریز را شامل می‌شود. در جدول ۳ مشخصات این ناحیه بندی‌ها آورده شده است.

در ابتدا مقدار بهینه k با استفاده از تکنیک Cross-Validation تعیین شده است. در شکل ۳ میزان دقت در تکنیک Cross-Validation جهت تعیین مقدار k بهینه بر اساس آماره مجموع مربعات خطا (SSE) نمایش داده شده است. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، مقدار k=21 دارای کمترین میزان خطا می باشد، لذا این مقدار k برای مدل نزدیک ترین همسایگی استفاده می شود.



شکل (۳): تعیین میزان k بهینه بر اساس آماره مجموع مربعات خطا

جدول (۳) : ناحیه بندی طول سرریز

ناحیه ۱	از ایستگاه ۵۰ تا ایستگاه ۷۵
ناحیه ۲	از ایستگاه ۷۵ تا ایستگاه ۱۰۰
ناحیه ۳	از ایستگاه ۱۰۰ تا ایستگاه ۱۲۵
ناحیه ۴	از ایستگاه ۱۲۵ تا ایستگاه ۱۵۰
ناحیه ۵	از ایستگاه ۱۵۰ تا ایستگاه ۱۷۵
ناحیه ۶	از ایستگاه ۱۷۵ تا ایستگاه ۲۰۰
ناحیه ۷	از ایستگاه ۲۰۰ تا ایستگاه ۲۲۵
ناحیه ۸	از ایستگاه ۲۲۵ تا ایستگاه ۲۵۰

پس تعیین تعداد k از نزدیک ترین همسایه ها، محتمل ترین وضعیت خطر وقوع آسیب ناشی از پدیده کاویتاسیون در نواحی مختلف طول سرریز با استفاده از مدل نزدیک ترین همسایگی تخمین زده می شود. در جدول ۴ نتایج حاصل از مدل در نواحی مختلف سرریز آورده شده است.

جدول (۴) : پیش بینی آسیب کاویتاسیون در سرریز سد شهید عباسپور با استفاده از مدل نزدیک‌ترین همسایگی

ناحیه	سطح آسیب	وضعیت
ناحیه ۱: از ایستگاه ۵۰ تا ایستگاه ۷۵	۳	آسیب خفیف تا متوسط
ناحیه ۲: از ایستگاه ۷۵ تا ایستگاه ۱۰۰	۳	آسیب خفیف تا متوسط
ناحیه ۳: از ایستگاه ۱۰۰ تا ایستگاه ۱۲۵	۴	آسیب شدید
ناحیه ۴: از ایستگاه ۱۲۵ تا ایستگاه ۱۵۰	۴	آسیب شدید
ناحیه ۵: از ایستگاه ۱۵۰ تا ایستگاه ۱۷۵	۴	آسیب شدید
ناحیه ۶: از ایستگاه ۱۷۵ تا ایستگاه ۲۰۰	۴	آسیب شدید
ناحیه ۷: از ایستگاه ۲۰۰ تا ایستگاه ۲۲۵	۵	حداکثر آسیب (نهایی)
ناحیه ۸: از ایستگاه ۲۲۵ تا ایستگاه ۲۵۰	۵	حداکثر آسیب (نهایی)

با توجه به نتایج حاصل از مدل نزدیک ترین همسایگی، از فاصله ۵۰ متری تاج سرریز تا ۱۰۰ متری احتمال آسیب ضعیف تا متوسط و از فاصله ۱۰۰ متری تا ۲۰۰ متری آسیب شدید و از فاصله

۲۰۰ متری تا انتهای شوت سرریز حداکثر آسیب (آسیب نهایی) ناشی از کاویتاسیون تخمین زده شده است. با مقایسه نتایج حاصل از مدل با گزارش های آسیب سرریز سد شهید عباسپور طی سیلاب های سالیان گذشته، می توان دریافت که نتایج حاصل از مدل از مطابقت مناسبی با وضعیت آسیب واقعی در سرریز این سد داشته است. به عنوان مثال در پی سیلاب سال ۱۳۵۶، در گذرگاه ۳ این سرریز از ایستگاه ۲۱۰ متری تا انتهای سرریز، حفره ای به پهنای چهار متر در بستر ظاهر گشت. همچنین در همان سال در گذرگاه ۱ و از ایستگاه ۲۱۰ متری تا انتهای پرتاب کننده جامی شکل سرریز حفره‌ای به عرض ۱۸ متر پدیدار شد که عمق این حفره تا فاصاله ۱/۵ متری زیر سنگ پی سرریز می رسید.

با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی شرایط مختلف دبی جریان و نقش توام سرعت جریان و شاخص کاویتاسیون در شکل‌گیری و شدت آسیب این پدیده مورد بررسی قرار گرفته که این امر سبب شده است مدل حاضر پیش بینی‌های قابل قبولی از سطح و مکان آسیب ارائه کند.

به منظور ارزیابی و تعیین میزان کارایی و دقت مدل، از ضرایب آماری همبستگی پیرسون، میانگین خطای مطلق، ریشه میانگین مربعات خطا و کارایی مدل استفاده شده است. مقادیر محاسبه شده این ضرایب در جدول ۵ آورده شده است.

با توجه به ضریب همبستگی، هرچه مقدار این ضریب از ۰/۵ بیشتر باشد و به ۱ نزدیک تر باشد عمکرد بهتر مدل را نشان میدهد. با توجه به مقدار خوب ضریب همبستگی و نیز مقدار تقریبا بالای ضریب کارایی مدل، می توان همبستگی مناسب و نیز میزان کارایی مدل نزدیک ترین همسایگی را نشان داد و از طرف دیگر مقدار تقریبا کم ضرایب میانگین خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا، میزان خطای کم و دقت خوب مدل را نشان می‌دهد.

جدول (۵): پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی میزان دقت مدل نزدیک ترین همسایگی

r	MAE	RMSE	EF
۰/۸۹۶	۰/۱۰۱	۰/۱۰۸	۰/۸۱۳

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به بررسی پدیده کاویتاسیون و نیز مکانیزم خسارت ناشی از این پدیده در سرریز سدها پرداخته شد. با توسعه الگوریتم نزدیک ترین همسایگی، روشی برای تخمین وضعیت آسیب ناشی از پدیده کاویتاسیون در سرریز سدها با در نظر گرفتن شرایط مختلف دبی جریان و نیز عوامل مهم موثر در وقوع خسارت، ارائه گردد. مدل مورد بررسی با استفاده از اطلاعات مربوط به سرریز سد شهید عباسپور مورد آزمایش قرار گرفت.

با استفاده از مدل نزدیک‌ترین همسایگی، محتمل ترین وضعیت آسیب ناشی از پدیده کاویتاسیون بر روی این سرریز به ازای مقادیر مختلف دبی جریان تخمین زده شد. مقایسه نتایج حاصل از مدل با مشاهدات و گزارشات موجود از آسیب واقعی کاویتاسیون در سرریز این سد طی سیلاب‌های گذشته نشان می‌دهد که مدل نزدیک ترین همسایگی پیش بینی‌های قابل قبولی از سطح آسیب و نیز موقعیت آسیب وارده بر سرریز این سد ارائه کرده است. ارزیابی مدل نزدیک ترین همسایگی با پارامترهای آماری نظیر ضریب همبستگی پیرسون، میانگین خطای مطلق، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب کارایی مدل، نشان داد که این مدل به صورت قابل قبول توانمند است. پیش بینی وضعیت آسیب و نیز تعیین نواحی که در معرض آسیب کاویتاسیون قرار دارند، این امکان را فراهم می آورد تا با توجه به میزان ریسک پدیده، تمهیدات مناسب به منظور پیشگیری از وقوع آسیب اتخاذ گردد.

مراجع

Charles, C. S., and F. Zhou. 1999. Simulation of free surface flow over spillway. J. Hydraulic Eng. 125(9), 959–967.

Cheng, X., Y., Chen, and L. Luo. 2006. Numerical simulation of air-water two-phase flow over stepped spillways. SCI CHINA SER E. 49(6), 674–684.

Dong, Z. Y., and P. L. Su. 2006. Cavitation control by aeration and its compressible characteristics. J. Hydrodyn. 18(4), 499–504.

Dong, Z., Z., Liu, Y., Wu, and D.Zhang. 2008. An experimental investigation of pressure and cavitation characteristics of high velocity flow over a cylindrical protrusion in the presence and absence of aeration. J. Hydrodyn. 20(1), 60–66.

Fadaei-Kermani., E, G. A., Barani, and M. Ghaeini-Hessaroeyeh. 2013. Investigation of Cavitation Damage Levels on Spillways. WASJ. 21(1), 73–78.

Fadaei-Kermani., E., and G. A. Barani. 2014. Numerical simulation of flow over spillway based on the CFD method. SCI IRAN. 21(1),.

Fadaei-Kermani, E., G. A. Barani, and M. Ghaeini-Hessaroeyeh. 2016., "Numerical Detection of Cavitation Damage on Dam Spillway." Civil Engineering Journal 2 (9), pp 484-490.

Falvey, H. T. 1990. Cavitation in chutes and Spillways. Engineering monograph No. 42,

Felder, S. and H., Chanson. 2014. Effects of step pool porosity upon flow aeration and energy dissipation on pooled stepped spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 140(4), p.04014002.

Frizell, K., F., Renna, and J. Matos. 2013. "Cavitation Potential of Flow on Stepped Spillways." J. Hydraulic. Eng., 139 (6), pp. 630-636.

United States Department of the Interior –Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.

Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaee, M. H. Mahdian and M. Kouchakzadeh. 2009, Site-Dependence Performance of Infiltration Models, Water Resour. Manag, 23, pp. 2777-2790.

Hastie, T., R.Tibshirani, and J. Friedman. 2008. The Elements of Statistical Learning. Springer series, California.

Hay, D. 1988. Model prototype correlation: Hydraulic structures. J. Hydraulic Eng. 113(8), 899–907.

Khatsuria, R. M. 2005. Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators. Marcel Dekker, New York, USA.

Mahab Ghodss Consulting Engineers. (1984). Karun Model Spillway. Hydraulic Department, Tehran.

Momber., M. W. 2000. Short Time Cavitation on Concrete. Comput. Struct. 24(1), 47–52.

Nie., M. 2001. Cavitation Prevention with Roughened Surface. J. Hydraulic Eng. 127(10), 47–52.

Valero, D. and García-Bartual, R., 2016. Calibration of an air entrainment model for CFD spillway applications. In Advances in Hydroinformatics (pp. 571-582). Springer Singapore.

Xindung, W. and V. Kumar. 2009. Top Ten Algorithm in Data Mining. Taylor & Francis Group, USA.

Xu, W., S., Luo, Q. Zheng, and J., Luo. 2015. Experimental study on pressure and aeration characteristics in stepped chute flows. Science China Technological Sciences, 58(4), pp.720-726.

Application of the Nearest Neighbor Algorithm to Predict Cavitation Damage on Spillways

Ehsan Fadaei-Kermani[1], Gholam Abbas Barani[2], Mahnaz Ghaeini-Hessaroeyeh[3]

Abstract

In this paper, the Nearest Neighbor Algorithm has been applied to predict cavitation damage on dam spillways. In this research, based on flow velocity and cavitation index, five different damage levels from 'no cavitation damage' to 'major cavitation damage' have been determined. The hydraulic characteristics of flow over the Shahid Abbaspour dam spillway were calculated for different flow rates. Then, the Nearest Neighbor Algorithm has been applied to predict cavitation damage levels and locations on this dam spillway for different flow rates. Comparison of the model results with the observed damages occurred during past floods on this spillway structure, shows that this algorithm predict damage levels and locations appropriately. Finally, the efficiency and precision of the model results have been evaluated by some statistical coefficients. Appropriate values of the correlation coefficient (r=0.896), the Mean Absolute Error (MAE=0.101), the Root Mean Square Error (RMSE=0.108) and Efficiency of model (EF=0.813) confirm that the present model can be suitable and efficient.

Keywords: Cavitation Damage, Shahid Abbaspour Dam Spillway, Flow Velocity, Cavitation Index, Nearest Neighbor Algorithm.

[1] PhD Student of Hydraulic Structure, Dept. of Civil Eng, Univ. of Shahid Bahonar, Kerman. .ehsanhard@gmail.com
[2] Professor, Dept. of Civil Eng, Univ. of Shahid Bahonar, Kerman gab@mail.uk.ac.ir.
[3] Assist. Professor, Dept. of Civil Eng, Univ. of Shahid Bahonar, Kerman, mghaeini@mail.uk.ac.ir.