

Study of Energy Dissipation of Gabion Structure Downstream of Ogee Weir Using Laboratory and Meta-Model Methods

Mahdi Majedi Asl^{1*}, Saeideh Valizadeh², Yavar Mohammad Taghizadeh³

1-Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hydraulic Structures, Univ. of Maragheh, Iran.

2- Ph.D.Student. Water and hydraulic structures, Univ. of Urmia, Iran.

3- M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

*mehdi.majedi@gmail.com

Received: 11 May 2021, Accepted: 18 August 2021 J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction Weirs are structures to provide the passage for excess water to flow from upstream to downstream in flood conditions. Since the special geometry of ogee weir in terms of matching the flow Trajectory with the surface of the weir, increases the efficiency of this type of weirs, so the use of terminal structures to dissipate destructive energy downstream of weir is of great importance. Increasing the water level in the Ogee weirs generally increases the contact level and head loss, but specifically in gabion weirs leads to increased permeability. One of the new methods of energy dissipation is the use of gabion structures, artificial roughness, blocks and lattice plates in the flow path as alternative solutions to using the stilling basins. Based on the results of previous research in the field of artificial intelligence, in the present study, the amount of energy consumption of the Ogee weir terminal structure (gabion structure) was predicted using the support vector machine and the effect of dimensions and grain size of the gabion structure. The amount of energy dissipation was also examined.

Methodology: For this purpose, the experiments were performed in a rectangular channel located in the hydraulic laboratory of Maragheh University, 13 meters long, 120 cm wide and 80 cm high, with a metal floor and a glass wall 1 cm thick, which allows accurate observation of flow behaviors. The gabion used in this experiment was made of rebar number 6 with a width of 120 cm, a length of 10 cm (in the direction of flow) and a variable height, then it was surrounded by a metal mesh with a thickness of 1 mm and a diameter of 1 cm. To predict energy dissipation in the support vector machine, we need a series of functions based on the parameters extracted in the dimensional analysis. Models with different percentages of training and testing (65-35, 70-30, 75-25 and 80-80) and using the radial basis function (RBF), with the appropriate gamma value obtained during trial and error, were checked by a support vector machine. The following criteria were used to evaluate the obtained results and evaluate the efficiency of the models. 1- Normal root mean square error (RMSE), which no matter how close the index (RMSE) is to zero, the model has high accuracy. 2. The normal root mean square error (NRMSE) where NRMSE below 10% indicates the accuracy of the model, 10-20% indicates the suitability of the model, 20-30% the average accuracy and more than 30% indicates the weakness of the model. 3. Performance coefficient (Nash and Sutcliffe) which shows the linear correlation between the measured and predicted values and the closer the value is to one, the better the data correlation.

Results and discussion: The results are presented in three sections: Laboratory, Soft Computing and Sensitivity Analysis. To study the energy dissipation of the downstream

gabion structure, the Ogee weir was performed according to the various variables extracted in the dimensional analysis, including the number and width of openings, grain size, and Froude number. It can be seen that in all models, energy dissipation values are directly related to the Froude number. At the same flow rate, with decreasing Froude number, the flow depth increases and most of the flow passes through the gabion structure as a weir and the energy dissipation decreases. At shallow flow where all or most of the flow passes through the structure, most of the energy dissipation is due to the collision of the flow with the particles inside the structure. However, in higher Froude numbers, the structure is submerged under the flow and both internal flow and overflow are effective in energy dissipation, with the difference that in overgrowth structures, overflow and in fine-grained structures, internal flow is predominant.

Conclusion: The results of this study showed that, at a constant opening, fine-grained has the highest amount of energy dissipation. In other words, with increasing the diameter of the rock grains, the volume of the pores increases and the flow passes more easily through the rock grains and the turbulence and flow of the flow in this area decreases, so the energy dissipation decreases. It can be seen that for all models, the values predicted by the support vector machine are close to the laboratory results, but in the Froude numbers the accuracy of the support vector machine is further reduced. The reason for this can be considered as turbulence and turbulence in higher Froude numbers. Finally, it can be stated that the energy dissipation of the gabion structure in the test and training phase has acceptable compliance and overlap with laboratory values. Sensitivity analysis showed that the parameter of relative water depth after gabion has the greatest effect on the correct prediction of energy consumption due to gabion structure.

Keywords: Gabion structure, support vector machine, energy dissipation.



© 2021 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.
This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

تبیین استهلاك انرژی سازه گابیونی در پایین دست سرریز اوجی به دو روش آزمایشگاهی و فرامدلی

مهدي ماجدی اصل^{*}، سعیده ولی زاده^۱، یاور محمد تقی زاده^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۲- دانشجوی دکتری، مهندسی عمران-آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه ارومیه

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران-آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه مراغه

*mehdi.majedi@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۷، وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: در این تحقیق، به پیش‌بینی میزان استهلاك انرژی سازه پایانه سرریز اوجی (سازه گابیونی) با استفاده از ماشین بردار پشتیبان پرداخته شد و تاثیر ابعاد و دانه‌بندی سازه گابیونی بر میزان استهلاك انرژی نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که در تمامی مدل‌های مورد بررسی، استهلاك انرژی جریان با کاهش قطر سنگدانه‌ها و میزان بازشدگی در عرض گابیون و افزایش ارتفاع سازه گابیونی رابطه مستقیم داشته و فراسنجه عمق نسبی آب پایین دست گابیون بیشترین تاثیر را در پیش‌بینی درست استهلاك انرژی ناشی از سازه گابیونی دارد. ارتباط بین سه نوع دانه‌بندی ریز، متوسط و درشت به ترتیب با قطرهای میانگین ۱۵، ۲۲ و ۳۰ میلی‌متری در بازشدگی‌های عرضی متفاوت با استهلاك انرژی سازه گابیونی در پایین دست سرریز اوجی نشان می‌دهد که در دبی یکسان با کاهش عدد فرود عمق جریان افزایش یافته و عمده جریان به صورت جریان روگذر از روی سازه گابیونی عبور می‌کند و میزان استهلاك انرژی کاهش می‌یابد. در عمق جریان کم که تمام یا قسمت اعظم جریان از درون سازه عبور می‌کند قسمت بیشتر استهلاك انرژی در اثر برخورد جریان با ذرات درون سازه است. این در حالی است که در اعداد فرود بیشتر، سازه در زیر جریان مستغرق شده و هر دو جریان درونگذر و روگذر در استهلاك انرژی موثر هستند با این تفاوت که در سازه‌های درشت‌دانه جریان روگذر و در سازه‌های ریزدانه جریان درون‌گذر غالب است.

کلید واژگان: سازه گابیونی، ماشین بردار پشتیبان، استهلاك انرژی.

۱- مقدمه

سازه گابیونی در ساختمان سدهای تاخیری، مهندسی رودخانه و حفاظت خاک استفاده می‌شود. بررسی شیب‌های سنگی نشان می‌دهد در شیب‌های به نسبت کم با افزایش اندازه زبری، مقاومت جریان زیاد شده و افت انرژی افزایش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش شیب میزان افت انرژی کاهش می‌یابد (Pagliara & Chiavaccini, 2006). سرریزهای پلکانی گابیونی افزون بر استهلاك انرژی در اثر عبور جریان از بین فضاهای خالی سنگدانه‌ها، دارای افت انرژی مضاعفی از خود نشان می‌دهند همچنین افت انرژی بیشتری نسبت به سرریز پلکانی ساده داشته و در شیب‌های ملایم به دلیل طولانی شدن مسیر جریان، انرژی جریان را

سرریزها سازه‌هایی برای عبور آب اضافی از بالادست به پایین دست رودخانه‌ها در شرایط سیلابی می‌باشند. از آنجایی که هندسه خاص سرریزهای اوجی به لحاظ انطباق تیغه جریان با سطح سرریز، سبب افزایش آنگذری این نوع سرریزها می‌شود لذا استفاده از سازه پایانه برای استهلاك انرژی زیانبار در پایین دست سرریزها اهمیت بالایی داشته است. از روش‌های نوین استهلاك انرژی استفاده از سازه‌های گابیونی، زبری‌های مصنوعی، بلوک و صفحه‌های مشبک در مسیر جریان به عنوان راهکارهای جایگزین به کارگیری حوضچه آرامش می‌باشد.

نسبی مربوط به سنگدانه با قطر متوسط ۱/۵ سانتی متر است که میزان استهلاک انرژی نسبی و طول پرش هیدرولیکی نسبی به ترتیب حدود ۹ درصد و ۸/۳ درصد بیشتر از سنگدانه با قطر ۳ سانتی متر است (Majedi Asl et al., 2020).

فراسنجه‌های تاثیرگذار در میزان استهلاک انرژی در اثر وجود سازه گابیونی و دیگر سازه‌های پایانه از انواع مختلفی تشکیل شده‌اند که بررسی هر یک مستلزم انجام آزمایشهای چندی در سطح آزمایشگاهی است. لذا در جهت تسریع این بررسی‌ها و آسانگری در انجام تحقیقات، مهندسان روش‌هایی را برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی موقعیت‌های مختلف ارائه داده‌اند که به محاسبات نرم معروف هستند. محاسبات نرم یکی از این روش‌ها است که در واقع از پدیده‌های رخ داده در طبیعت الگو گرفته و نسبت به روش‌های کلاسیک در زمان کمتری پاسخ‌های شایان پذیرشی ارائه می‌دهد. حقی‌آبی و همکاران از روش بردار پشتیبان (Support Vector Machin; SVM) برای پیش‌بینی استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی استفاده کردند. برای این منظور، مجموعه داده‌های آزمایشگاهی مرتبط با آن جمع‌آوری شد. برای مقایسه کارکرد SVM با سایر روش‌های محاسبات نرم، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه به عنوان نوع متداول مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ساخته شد. در ادامه برای استخراج موثرترین فراسنجه‌ها در مکانیسم افت انرژی، تجزیه و تحلیل حساسیت در هر دو مدل انجام گرفت. نتایج ایشان نشان داد که کارکرد SVM با ضریب تعیین (۰.۹۸) و ریشه متوسط مربعات خطا (۲.۶۱) برای پیش‌بینی افت انرژی مناسب است و در مقایسه با کارکرد MLP، دقت بالاتری دارد. همچنین آنالیز حساسیت فراسنجه‌ها نشان داد که شمار پله‌ها و نسبت عمق جریان بحرانی به ارتفاع پله‌ها موثرترین فراسنجه‌ها در پیش‌بینی افت انرژی هستند (Haghiabi et al., 2017).

بررسی‌های دیگری نیز در زمینه پیش‌بینی استهلاک انرژی انجام گرفته است (Haghiabi, 2017; Parsaie et al., 2016, 2018, 2019; Torabi et al., 2018).

پیش‌بینی عمق آبشستگی تک پایه قائم با استفاده از ماشین بردار پشتیبان در دو مدل فراسنجه‌های با بعد و بی‌بعد نشان

بیشتر مستهلاک می‌کنند (Chinnarasri et al., 2008). همچنین سازه‌های گابیونی پله‌ای ممکن است انرژی را تا حدود بیشینه ۸۷ درصد مستهلاک کند (Vashisth, 2017). بررسی هیدرولیک جریان در سرریزهای پله‌ای توری‌سنگی نشان داد که تاثیر آستانه‌ها در سرریزهای پله‌ای توری‌سنگی با شیب‌نمای پایین‌دست کمتر، بیشتر از حالتی است که سرریز دارای شیب‌نمای پایین‌دست تندتر است. از سویی تاثیر آستانه مستطیلی بر افت انرژی جریان حدود ۳ الی ۴ درصد بیشتر از تاثیر آستانه مثلثی است (Salmasi et al., 2020). این در حالی است که به کارگیری گابیون در شیب‌شکن‌ها نشان داد شیب‌شکن مایل گابیونی در مقایسه با شیب‌شکن مایل ساده به جهت به کارگیری گابیون در سطح شیب‌دار سازه، میزان افزایش استهلاک انرژی نسبی چمشگیری داشته است که به دلیل ویژگی‌های فیزیکی گابیون و وجود جریان درون‌گذر و روگذر بوده است و بازده استهلاک انرژی را به طور میانگین، ۵۶٪ نسبت به شیب شکن مایل ساده افزایش داد (Daneshfaraz et al., 2020a).

همچنین رفتار شیب شکن های مایل گابیونی در مقایسه با حوضچه‌های آرامش استاندارد (USBR) به صورت آزمایشگاهی نشان داد که شیب‌شکن مایل گابیونی به ترتیب باعث کاهش ۳۰، ۳۳، ۳۰ و ۳۶ درصدی انرژی نسبی باقی‌مانده پایین‌دست در مقایسه با حوضچه آرامش نوع یک، دو، سه و چهار شد (Daneshfaraz et al., 2020b). از دیگر موارد تاثیرگذار بر میزان استهلاک انرژی جریان در سازه‌های گابیونی تخلخل مصالح مورد استفاده در این نوع سازه‌ها است به طوری که تغییر فراسنجه تخلخل به نسبت شیب پایین‌دست سازه گابیونی دخالت بیشتری در تغییر میزان استهلاک انرژی جریان داشته و با کاهش تخلخل مصالح مصرفی استهلاک انرژی افزایش یافته است (Azizi et al., 2008). درشتی ذرات و مصالح مورد استفاده در سازه‌های گابیونی نیز در افزایش استهلاک انرژی و ضریب دبی تاثیر بسزایی داشته است (Aal et al., 2019). بررسی آزمایشگاهی کارکرد آب‌پایه تورسنگی بر میزان استهلاک انرژی پایین‌دست سرریزهای اوجی نشان داد با افزایش قطر سنگدانه، طول پرش هیدرولیکی نسبی و میزان استهلاک انرژی نسبی کاهش یافته و بیشترین میزان استهلاک انرژی

شناور به مساحت ۲ متر مربع و ضخامت ۲۰ سانتی متر روی سطح آب قرار داده شد. در مدل آزمایشگاهی سرریز از جنس ورق گالوانیزه به عرض ۱۲۰ سانتی متر، ارتفاع ۵۰ سانتی متر و شعاع پنجه ۰/۲۸ متر و تاج سرریز بر اساس دبی حداکثر ۴۵ لیتر بر ثانیه طراحی و اجرا گردید. همچنین محاسبات این سرریز براساس قوانین (USBR, 1987) است.

گابیون استفاده شده در این آزمایش، از میلگرد شماره ۶ به عرض ۱۲۰ سانتی متر، طول ۱۰ سانتی متر (در جهت جریان) و ارتفاع متغیر ساخته شد، سپس با توری فلزی به ضخامت ۱ میلی متر و قطر چشمه ۱ سانتی متر محصور شد. در همه آزمایش‌ها شیب آبراهه صفر در نظر گرفته شد. شکل ۲ نمای کلی آبراهه و تجهیزات نصب شده روی آن و شکل ۳ مدل ساخته شده سرریز و گابیون و جریان عبوری از آن و تشکیل پرش هیدرولیکی در پیش از گابیون را نشان می‌دهد. مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق ویژگی‌های هر مدل در جدول ۱ ارائه شده است. در شکل (۱) نیز شماتیکی کلی از آبراهه آزمایشگاهی به همراه مدل سرریز اوجی و سازه گابیونی به کار رفته در تحقیق حاضر نمایش داده شده است. فاصله سازه گابیونی از سرریز به گونه‌ای گزینش شد که در کوچک‌ترین حالت آن یعنی ارتفاع و ضخامت ۱۰ سانتی متری پرش هیدرولیکی از پنجه سرریز آغاز شود (آستانه استغراق)، که این فاصله ۱۳۸ سانتی متر به دست آمد.

۲-۱- تجزیه و تحلیل ابعادی

با بررسی ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی جریان عبوری از سرریز و سازه متخلخل گابیونی مطابق شکل (۲)، فراسنجه‌های تاثیرگذار بر میزان استهلاک انرژی در پایین دست این تحقیق به صورت رابطه (۱) معرفی شد.

$$f_1(q, \rho, \mu, g, y_0, h, w, y_1, y_2, y_3, L_j, \varepsilon, d, L_s, z, E_0, \Delta E) = 0 \quad (1)$$

h عمق آب پیش از سرریز، عمق آب پایین دست سرریز y_1 ، عمق آب قبل از سازه گابیونی y_2 ، عمق آب پس از سازه

داد که در حالت با بعد، پیش‌بینی عمق آبستگی حول تک پایه قائم برآورد دقیق تری نسبت به حالت بی‌بعد ارائه داده‌اند (Majedi Asl and Valizadeh, 2018). همچنین در راستای گزینش بهترین روش از بین روش‌های مختلف محاسبات نرم برای پیش‌بینی عمق پدیده‌هایی همچون آبستگی، از دو سری داده صحرائی مربوط به پایه پل‌های کشور آمریکا و داده‌های فروهلیچ استفاده شد و نتایج مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) با نتایج برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) و مدل رگرسیون غیرخطی مقایسه شد. نتایج نتایج نشان داد که از بین سه روش، بهترین کارکرد برای پیش‌بینی عمق آبستگی پایه پل توسط روش SVM رقم خورد (Majedi Asl et al., 2020). همچنین با مدلسازی عددی عمق آبستگی پیرامون انواع تک پایه و گروه پایه‌های مایل، تاثیر فراسنجه‌های هیدرولیکی و رسوبی را به طور مجزا و با هم بر میزان آبستگی بررسی و نشان دادند که پیش‌بینی یک فراسنجه وابسته توسط ماشین بردار پشتیبان زمانی مطلوب‌ترین نتیجه را ارائه می‌دهد که به‌طور جامع اکثریت فراسنجه‌های مستقل تاثیرگذار در فراسنجه وابسته، در پیش‌بینی دخیل باشند (Majedi Asl et al., 2017). بر اساس نتایج تحقیقات انجام گرفته پیشین در زمینه هوش مصنوعی، در تحقیق حاضر به پیش‌بینی میزان استهلاک انرژی سازه پایانه سرریز اوجی (سازه گابیونی) با استفاده از ماشین بردار پشتیبان پرداخته شد و تاثیر ابعاد و دانه‌بندی سازه گابیونی بر میزان استهلاک انرژی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

آزمایش‌های انجام شده در این بررسی در یک آبراهه مستطیلی واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه به طول ۱۳ متر، عرض ۱۲۰ سانتی متر و ارتفاع ۸۰ سانتی متر با کف فلزی و دیواره از جنس شیشه به ضخامت ۱ سانتی متر که مشاهده دقیق رفتارهای جریان را امکان پذیر می‌سازد، انجام شد. جریان مورد نیاز توسط یک پمپ که آب را از مخزن به داخل آبراهه پمپاژ می‌کند تامین می‌شود. برای کاهش تلاطم آب در مقطع ورودی آبراهه دو توری فلزی تعبیه شده و همچنین در ابتدای آبراهه یک قطعه فوم

آزمایش دارای میزانی ثابت می‌باشند، بنابراین این دو فراسنجه از معادله کنار گذاشته می‌شوند. همچنین در همه مدل‌های پژوهش جریان متلاطم است.

لذا فراسنجه بی بعد عدد رینولدز $(Re=6/2*10^6 \geq 2000)$ قابل نظر می‌باشد (Rajaratnam, 1967; Hager and Bremen, 1989). فراسنجه $\frac{Lj}{y_1}$ به دلیل عدم بررسی حذف شد و در نهایت با ساده‌سازی و تقسیم برخی فراسنجه‌های بی بعد برهم نیز رابطه استهلاک انرژی نسبی و طول نسبی پرش هیدرولیکی را می‌توان به صورت تابعی از عامل‌های بدون بعد زیر نوشت:

$$\frac{\Delta E}{E_0} f_4 \left(Fr, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_3}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{L_s}{y_1} \right) \quad (4)$$

۲-۲- محاسبه‌های استهلاک انرژی

از رابطه‌های ۵ و ۶ برای محاسبه میزان انرژی مخصوص و سرعت آب در پنجه سرریز استفاده می‌شود.

$$E_i = y_i + \frac{v_i^2}{2g} \quad (5)$$

$$V_1 = \sqrt{2g(z - \frac{H_d}{2})} \quad (6)$$

گابیونی Y_3 ، ρ جرم مخصوص آب، μ لزوجت پویایی (دینامیکی)، z ارتفاع سرریز، E_0 انرژی در بالادست، ΔE استهلاک انرژی، g شتاب گرانش زمین، q دبی واحد عرض، L طول سازه گابیونی، w عرض سازه گابیونی، ε باز شدگی در عرض سازه گابیونی که در شکل ۳ در ادامه نشان داده شده است. d قطر میانگین سنگ‌دانه‌ها، L_s فاصله سازه گابیونی از سرریز می‌باشد. فراسنجه‌ها بر مبنای روش پی باکینگهام تحلیل شد. برابر رابطه ۲، فراسنجه‌های بدون بعد استخراج شده در پیش‌بینی استهلاک انرژی سازه گابیونی استفاده شدند.

$$f_2 \left(\frac{q\rho}{\mu}, \frac{q}{y_1 \sqrt{gy_1}}, \frac{y_1}{y_1}, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_3}{y_1}, \frac{Lj}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{w}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{L_s}{y_1}, \frac{z}{y_1}, \frac{E_0}{y_1}, \frac{\Delta E}{y_1} \right) = 0 \quad (2)$$

با دقت در معادله ۲ مشخص شد که عبارت $\frac{q\rho}{\mu}$ نمایانگر عدد رینولدز است و عبارت $\frac{q}{y_1 \sqrt{gy_1}}$ معرف عدد فرود می‌باشد. لذا رابطه ۳ به ترتیب زیر بدست آمد:

$$f_3 \left(Re, Fr, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_3}{y_1}, \frac{Lj}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{w}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{L_s}{y_1}, \frac{z}{y_1}, \frac{E_0}{y_1}, \frac{\Delta E}{y_1} \right) = 0 \quad (3)$$

با توجه به اینکه عبارت‌های $\frac{z}{y_1}$ و $\frac{w}{y_1}$ در همه مدل‌های

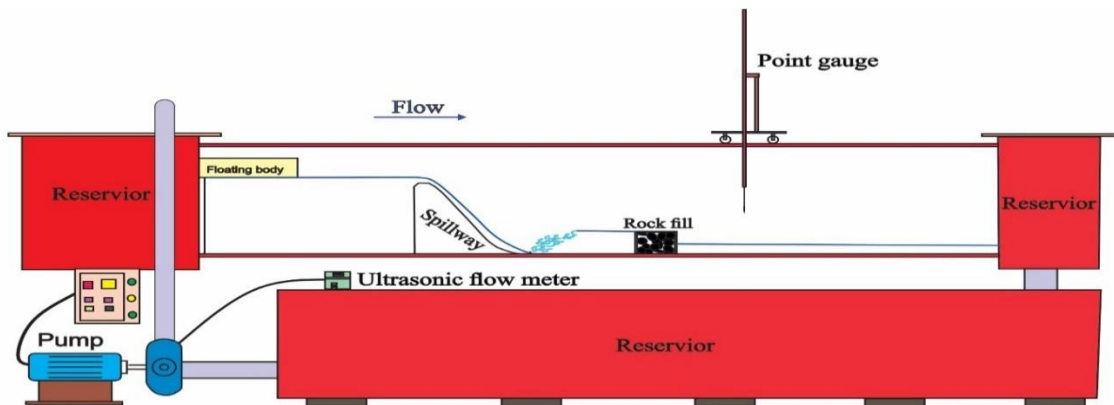


Fig. 1 General view of the laboratory channel along with the physical model of the present study

شکل ۱ نمای کلی آبراهه آزمایشگاهی به همراه مدل فیزیکی تحقیق

Table 1 Characteristics of hydraulic models used in backup vector machine

جدول ۱ ویژگی‌های مدل‌های هیدرولیکی مورد استفاده در ماشین بردار پشتیبان

mm	D ₅₀	Mm	h	mm	W	mm	ε	Lit/s	Q	model
						---				1
15, 22, 30		100, 50		100		100, 50		20, 25, 30,		2
						100, 50		35, 40		3

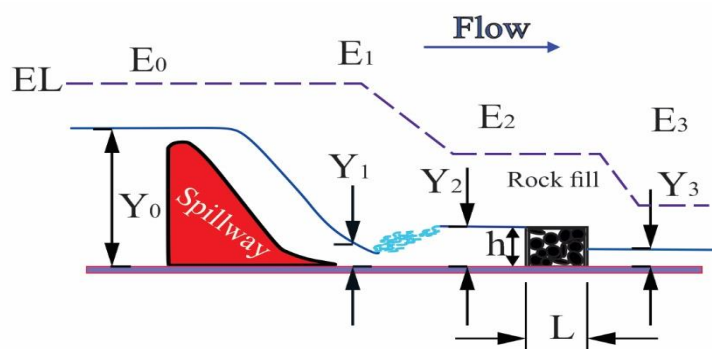


Fig. 2 Schematic of laboratory model with effective parameters
 شکل ۲ نمای کلی مدل آزمایشگاهی به همراه فراسنجه‌های تاثیرگذار

جدول (۲) نمایش داده شده است که با توجه به طبیعت مسئله هر یک کاربرد ویژه‌ای دارند (Roushangar et al, 2017). پرکاربردترین توابع کرنل در مسئله‌های ماشین بردار پشتیبان تابع‌های گوسیون (RBF) و کرنل حلقوی (ERBF) می‌باشد که در مسئله‌هایی که اطلاعاتی از نوع داده‌ها و طبیعت آنها در دست نباشد استفاده شود (Roushangar and Koosheh, 2015). همچنین برای تابع کرنل (Radial Basis Function; RBF) نیز باید مشخصه گاما (γ) بهینه شود و مشخصه‌های دیگر مدل SVM که میزان‌های ϵ و C می‌باشند نیز پس از میزان بهینه گاما، بهینه‌سازی می‌شوند.

۲-۴- روند ارزیابی مدل‌ها در ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی استهلاک انرژی در ماشین بردار پشتیبان نیاز به یک سری تابع‌های بر مبنای فراسنجه‌های استخراج شده در تحلیل ابعادی داریم که در جدول ۳ این تابع‌ها در قالب ۸ مدل ارائه شده است. مدل‌ها با در درصدهای مختلفی از آموزش و آزمون (۳۵-۶۵، ۷۰-۳۰، ۷۵-۲۵ و ۸۰-۲۰) و با استفاده از تابع پایه شعاعی (RBF)، با میزان گامای مناسب که طی آزمون و خطا به دست آمد، توسط ماشین بردار پشتیبان، بررسی شدند. برای بررسی نتایج بدست آمده و ارزیابی کارایی مدل‌ها از معیارهای زیر استفاده شد. ۱- خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، که هر چقدر شاخص (N) به صفر نزدیک باشد، مدل دارای دقت بالایی است. ۲- خطای جذر میانگین مربعات نرمال سازی شده (Normal Root Mean Square

با توجه به اینکه در سرریزهای اوجی میزان انرژی مخصوص در پنجه سرریز و بالادست سرریز میزانی ثابت و برابر فرض می‌شود (chanson, 2000) لذا رابطه ۵ را داریم:

$$E_0 = E_1 \quad (7)$$

و از رابطه ۸ نیز برای به دست آوردن عمق آب پایین دست سرریز استفاده می‌شود.

$$y_1 = E_0 - \frac{v_1^2}{2g} \quad (8)$$

عبور جریان به صورت درون‌گذر و روگذر از سازه گابیونی متخلخل باعث استهلاک انرژی می‌شود که به صورت رابطه ۹ ارائه شده است.

$$\Delta E = E_2 - E_3 \quad (9)$$

۲-۳- ماشین بردار پشتیبان (SVM)

الگوریتم SVM، یکی از الگوریتم‌های دسته‌بندی اشیاء یا تشخیص الگو در کلاس‌های خاص می‌باشد (Vapnik, 1995). ماشین بردار پشتیبان برعکس دیگر روش‌های هوش مصنوعی که خطای محاسبه‌ای را کاهش می‌دهند، در واقع ریسک عملیاتی را به عنوان تابع هدف قرار داده و میزان بهینه به دست می‌آورد. این روش همانند دیگر روش‌های هوشمند دارای مرحله آموزش (Train) و آزمون (Test) می‌باشد. بدین نحو که در آغاز درصد مشخصی از داده‌ها آزمایشگاهی مورد آموزش قرار گرفته و سپس آزمون گرفته می‌شود و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌شود. البته SVM و تابع کرنل آن دارای فراسنجه‌های مختلفی می‌باشد که نحوه چگونگی تنظیم آن‌ها در دستیابی به پاسخ هر چه بهتر مسئله بسیار موثر می‌باشد. انواع مختلف تابع کرنل در

۴- مربع ضریب همبستگی (Correlation Coefficient); R^2 این معیارها به ترتیب در رابطه‌های (۱۰) الی (۱۳) ارائه شده است. در این تحقیق مدلی که دارای R^2 و DC بیشتر و نزدیک به یک، فراسنجه خطا RMSE کمتر و نزدیک به صفر و NRMSE کمتر از ۱۰ درصد دارا باشد، به عنوان مدل بهینه و برتر گزینش خواهد شد.

(Error; NRMSE) که NRMSE زیر ۱۰ درصد نشان دهنده دقیق بودن مدل، ۲۰-۳۰ درصد مناسب بودن مدل، ۳۰-۴۰ درصد دقت میانگین و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل است. ۳- ضریب کارایی DC (Nash and Sutcliffe) که همبستگی خطی بین میزان‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد و هر چقدر میزان آن به عدد یک نزدیک باشد، ارتباط بهتر داده‌ها را نشان می‌دهد.

Table 2 Different kernel functions Different kernel functions (Roushangar et al., 2018)
جدول ۲ انواع تابع کرنل (Roushangar et al., 2018)

Kernel Function	Equation
Linear	$K(x_i, x_j) = (x_i, x_j)$
Polynomial	$K(x_i, x_j) = ((x_i, x_j) + 1)^d$
Radial basis function	$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\ x_i - x_j\ ^2}{2\sigma^2}\right)$
Sigmoid	$K(x_i, x_j) = \tanh(-a(x_i, x_j) + c)$

Table 3 Different input patterns to the backup vector machine
جدول ۳ الگوهای مختلف ورودی به ماشین بردار پشتیبان

Function	Model
$(Fr, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_3}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{L_s}{y_1})=0$	1
$(Fr, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_3}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{d}{y_1})=0$	2
$(Fr, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_3}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{L_s}{y_1})=0$	3
$(Fr, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_3}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{L_s}{y_1})=0$	4
$(Fr, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_3}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{L_s}{y_1})=0$	5
$(Fr, \frac{y_2}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{L_s}{y_1})=0$	6
$(Fr, \frac{y_3}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{L_s}{y_1})=0$	7
$(\frac{y_2}{y_1}, \frac{y_3}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{L_s}{y_1})=0$	8

$$DC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{exp} - X_{cal})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{exp} - \overline{X_{cal}})^2} \quad (12)$$

$$R^2 = \left(\frac{n \sum X_{exp} X_{cal} - (\sum X_{exp})(\sum X_{cal})}{\sqrt{(n \sum X_{exp}^2) - (\sum X_{exp})^2} \sqrt{(n \sum X_{cal}^2) - (\sum X_{cal})^2}} \right)^2 \quad (13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{exp} - X_{cal})^2} \quad (10)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{X_{exp}} \times 100 \quad (11)$$

۳- نتایج و بحث

نتایج در سه بخش آزمایشگاهی، محاسبات نرم و آنالیز حساسیت ارائه شده است. برای بررسی استهلاک انرژی

سازه گابیونی پایین دست سرریز اوجی (شکل ۳) بر طبق متغیرهای مختلف استخراج شده در تجزیه و تحلیل ابعادی ابعادی از جمله شمار و عرض بازشدگی، دانه بندی، عدد فرود انجام گرفت.



Fig. 3 View of the physical model of the Ogee series with the gabion structure at the bottom
 شکل ۳ نمای از مدل فیزیکی سرریز اوجی به همراه سازه گابیونی در پایین دست

۳-۱- نتایج آزمایشگاهی

شکل ۴ رابطه بین فراسنجه های بازشدگی، ارتفاع، استهلاک انرژی سازه گابیونی و عدد فرود جریان را نشان می دهد. مشاهده می شود که در همه مدل ها با افزایش عدد فرود استهلاک انرژی افزایش داشته است این در حالی است که برای ارتفاع سازه گابیونی ۵۰ میلی متر این افزایش استهلاک انرژی در هر سه نوع بازشدگی نامحسوس است. به عبارت دیگر با کاهش عدد فرود در دبی یکسان، عمق جریان افزایش یافته و جریان وجود سازه گابیونی را به عنوان یک بازدارنده کمتر احساس کرده و استهلاک انرژی کاهش می یابد. در سازه گابیونی با ارتفاع ۵۰ میلی متر نیز به علت کم بودن ارتفاع سازه، تغییر عدد فرود تغییر ناچیزی در استهلاک انرژی گذاشته است. همچنین مشاهده شد که در

عدد فرود یکسان افزایش ارتفاع سازه و کاهش بازشدگی در سازه گابیونی به دلیل افزایش گستره سنگ ریزه های در تماس با جریان، استهلاک انرژی سازه را افزایش می دهد. شکل ۵ ارتباط بین سه نوع دانه بندی ریز، متوسط و درشت به ترتیب با قطرهای میانگین ۱۵، ۲۲ و ۳۰ میلی متری و سه نوع بازشدگی را با استهلاک انرژی سازه گابیونی در پایین دست سرریز اوجی نشان می دهد. مشاهده می شود که در همه مدل ها، فراسنجه های استهلاک انرژی با عدد فرود رابطه ای مستقیم دارد. در دبی یکسان با کاهش عدد فرود عمق جریان افزایش یافته و عمده جریان به صورت جریان روگذر از روی سازه گابیونی عبور می کند و میزان استهلاک انرژی کاهش می یابد. در عمق جریان کم که همه یا قسمت اعظم جریان از درون سازه عبور می کند بیشترین استهلاک

بیشترین میزان استهلاك انرژی است. به عبارت دیگر با افزایش قطر دانه‌های سنگی، حجم خلل و فرج افزایش یافته و جریان آسان‌تر از میان دانه‌های سنگی عبور می‌کند و آشفستگی و درگیری جریان در این ناحیه کاهش می‌یابد لذا استهلاك انرژی کاهش پیدا می‌کند.

انرژی در اثر برخورد جریان با ذرات درون سازه است. این در حالی است که در اعداد فرود بیشتر، سازه در زیر جریان مستغرق شده و هر دو جریان درون‌گذر و روگذر در استهلاك انرژی موثر هستند با این تفاوت که در سازه‌های درشت‌دانه جریان روگذر و در سازه‌های ریزدانه جریان درون‌گذر غالب است. بنابراین در یک بازشدگی ثابت، دانه‌بندی ریز دارای

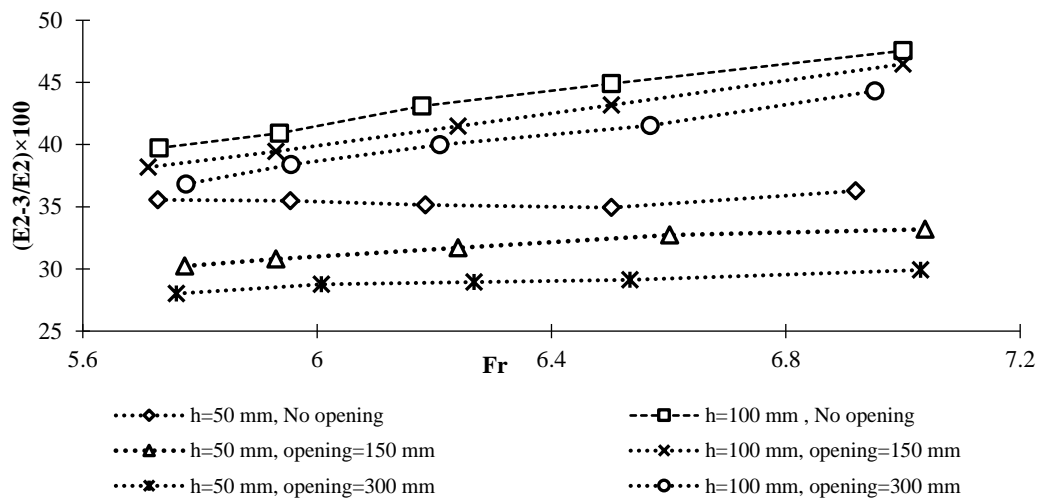


Fig.4 Changes in the energy consumption of the gabion structure versus the landing number of the stream

شکل ۴ تغییرپذیری‌های استهلاك انرژی سازه گابیون در مقابل عدد فرود جریان

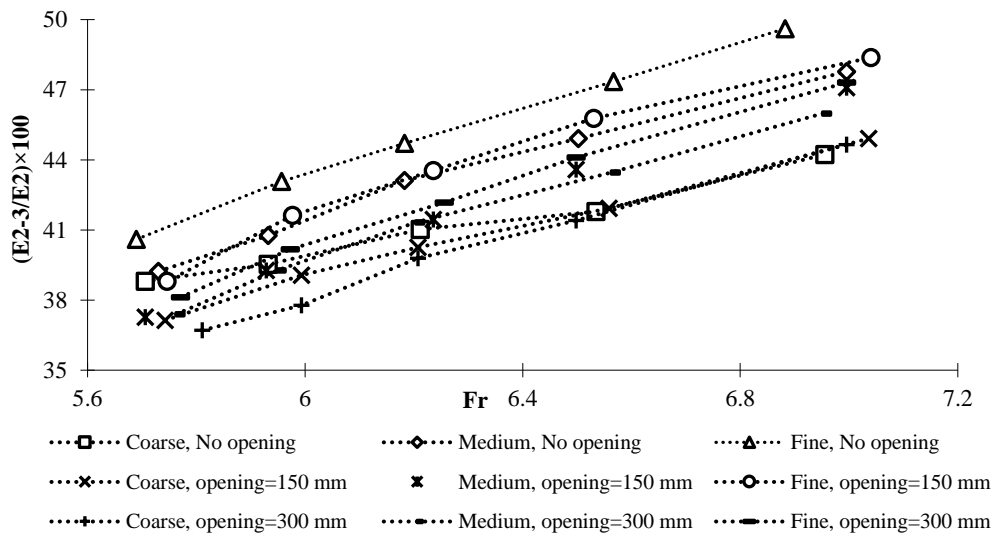


Fig. 5 Changes in energy consumption of gabion structure versus landing number for different granulations

شکل ۵ تغییرپذیری‌های استهلاك انرژی سازه گابیونی در مقابل عدد فرود برای دانه‌بندی‌های مختلف

۲۵ و ۸۰-۲۰) برای مدل (۱) برمبنای جدول (۳) با استفاده از تابع پایه شعاعی (RBF) استخراج شد. بنابر جدول (۴) مشخص شد که آموزش ۷۵ درصد داده‌ها و آزمون از ۲۵

۳-۲ نتایج SVM

در این بخش از تحقیق فراسنجه استهلاك انرژی با درصدهای مختلف آموزش و آزمون (۶۵-۳۵، ۷۰-۳۰، ۷۵-

(NRMSE=۰/۶۷۰۱) و (RMSE=۰/۰۰۱۷)، (DC=۰/۹۹۱۵) به عبارتی ماشین بردار پشتیبان برای شبیه‌سازی موقعیت درست جریان عبوری از درون سازه گابیونی و تشخیص جریان درونگذر و روگذر نیاز به مشخص شدن عمق جریان پیش و پس از این سازه داشته است. بنابراین در مدل ۶ به جهت نبود فراسنجه $\frac{y_3}{y_1}$ ، پیش‌بینی میزان استهلاک انرژی سازه گابیونی با مشکل روبرو شده است.

درصد مابقی بهترین نتیجه را در پیش‌بینی فراسنجه وابسته ارائه داده است. بنابراین در همه مدل‌های این تحقیق از ۷۵٪ داده‌ها برای آموزش و ۲۵٪ داده‌ها برای آزمون استفاده شد. همانطور که انتظار می‌رود وجود فراسنجه‌های مهمی همچون عمق آب پیش و بعد از سازه گابیونی، عدد فرود و بازشدگی سازه گابیونی در مدل ۵ با ترکیب $Fr, \frac{y_2}{y_1}$ ، $\frac{y_3}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{\epsilon}{y_1}, \frac{L_s}{y_1}$ موجب ارائه نتایج مناسب‌تری در مرحله آزمون برای شاخص‌های ارزیابی شده است ($R^2=۰/۹۸۸۸$).

Table 4 Results of different percentages used for the model (1)

جدول ۴ نتایج بررسی درصد‌های مختلف مورد استفاده برای مدل (۱)

TRAIN				TEST				Percentage
R^2	RMSE	NRMSE×100	DC	R^2	RMSE	RMSE*100	DC	
0.9900	0.00129	0.4973	0.9843	0.9677	0.0024	0.9475	0.9514	65 ~ 25
0.9912	0.00121	0.4682	0.9858	0.9750	0.0022	0.8611	0.9588	70 ~ 30
0.9915	0.00112	0.4322	0.9876	0.9783	0.0021	0.8301	0.9647	75 ~ 25
0.9893	0.00115	0.4447	0.9873	0.9747	0.0022	0.8644	0.9645	80 ~ 20

Table 5 Results of different models for gabion energy dissipation

جدول ۵ نتایج مدل‌های مختلف برای استهلاک انرژی ناشی از گابیون

TRAIN				TEST				Model
R^2	RMSE	NRMSE×100	DC	R^2	RMSE	NRMSE×100	DC	
0.9915	0.0011	0.4322	0.9876	0.9783	0.00215	0.8310	0.9647	1
0.9916	0.0010	0.3861	0.9866	0.9807	0.0020	0.7737	0.9665	2
0.9915	0.0011	0.4208	0.9882	0.9781	0.0021	0.8193	0.9656	3
0.9909	0.0010	0.3861	0.9887	0.9783	0.0020	0.7737	0.9686	4
0.9912	0.0014	0.5460	0.9841	0.9888	0.0017	0.6701	0.9751	5
0.9712	0.0017	0.6687	0.9710	0.8509	0.0044	1.7301	0.8464	6
0.9933	0.0010	0.3861	0.9909	0.9827	0.0018	0.6994	0.9748	7
0.9919	0.0012	0.4728	0.9903	0.9793	0.0019	0.7340	0.9730	8

شکل ۶- الف همبستگی میزان‌های استهلاک انرژی بردار پشتیبان است. در شکل ۶-ب محور افقی شمار داده‌ها و محور قائم میزان‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده استهلاک انرژی برای مدل ۵ را نشان می‌دهد که بیانگر همپوشانی خوب میزان‌های پیش‌بینی شده و آزمایشگاهی در تمام آزمایش‌ها است.

شکل ۶- الف همبستگی میزان‌های استهلاک انرژی بردار پشتیبان شده و آزمایشگاهی برای مدل برتر (مدل شماره ۵) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دو مرحله آموزش و آزمون همه داده‌ها بر روی خط ۴۵ درجه مشاهده می‌شوند که نشان از دقت بالای پیش‌بینی ماشین

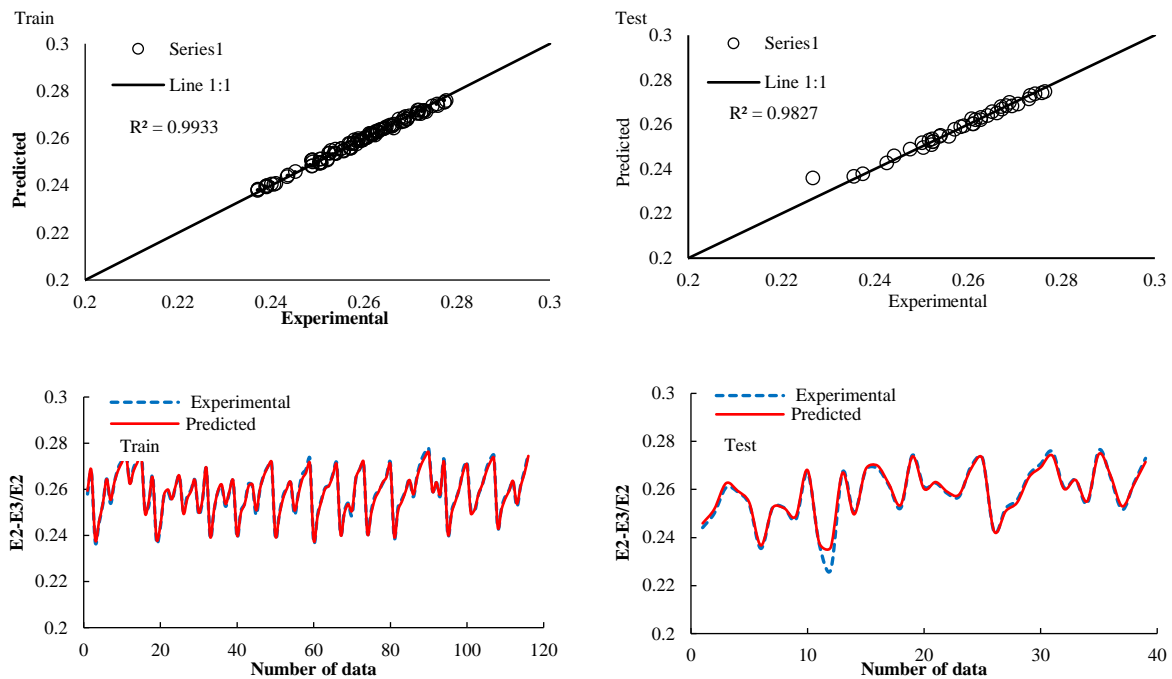


Fig. 6 Comparison of energy dissipation results of laboratory gabion and predicted structures for the superior model (Model No. 5)

شکل ۶ مقایسه نتایج استهلاك انرژی سازه گابیونی آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده برای مدل برتر (مدل شماره ۵)

از دقت ماشین بردار پشتیبان کاسته شده است. می‌توان علت این امر را تلاطم یا آشفتگی جریان در اعداد فرود بالاتر دانست. در نهایت می‌توان بیان کرد که استهلاك انرژی سازه گابیونی در مرحله آزمون و آموزش سازگاری و همپوشانی شایان‌پذیری با میزان‌های آزمایشگاهی دارد.

شکل ۷ میزان‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده استهلاك انرژی تحت فراسنجه‌های مستقل موجود در مدل ۵ در مقابل عدد فرود را نشان می‌دهد. لازم به یادآوری است که روند نزولی شکل از وجود همه آزمایش‌ها تحت همه دبی‌ها نشأت می‌گیرد. مشاهده می‌شود که برای تمامی مدل‌ها، میزان‌های پیش‌بینی شده توسط ماشین بردار پشتیبان نزدیک به نتایج آزمایشگاهی است ولی در اعداد فرود بیشتر

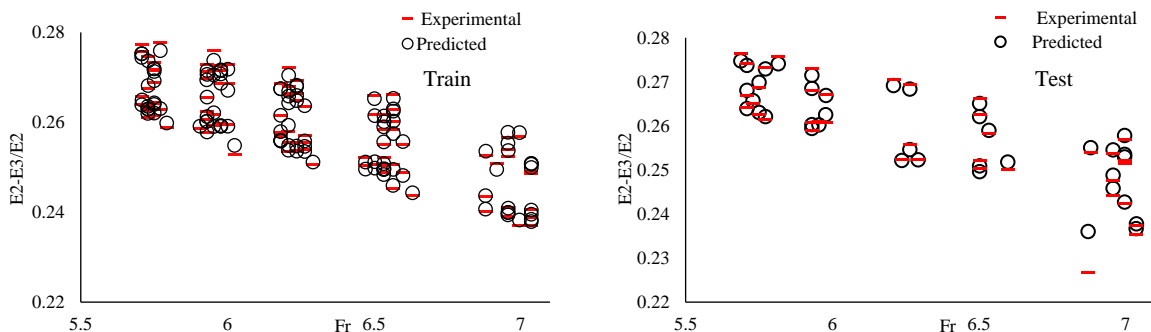


Fig. 7 Comparison of laboratory and predicted results of gabion structure energy consumption versus landing number (change for the superior model (Model No. 5))

شکل ۷ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده استهلاك انرژی سازه گابیونی در مقابل تغییر عدد فرود برای مدل برتر (مدل شماره ۵)

جدول ۶ آنالیز حساسیت فراسنجه‌های مستقل
Table 6 Sensitivity analysis of independent parameters

Test		Parameters
R^2	RMSE	
0.9711	0.0122	$\frac{\varepsilon}{y_1}$
0.9793	0.0019	Fr
0.9827	0.0018	$\frac{y_2}{y_1}$
0.8509	0.0044	$\frac{y_3}{y_1}$
0.9781	0.0021	$\frac{d}{y_1}$
0.9807	0.0020	$\frac{L_s}{y_1}$
0.9888	0.0017	$\frac{h}{y_1}$

۳-۳- آنالیز حساسیت

در این بخش میزان تاثیر هر یک از فراسنجه‌های مستقل در پیش‌بینی فراسنجه وابسته بررسی شد. بدین صورت که هر بار یکی از فراسنجه‌های مستقل از ترکیب حذف شد و پیش‌بینی برای استهلاك انرژی (فراسنجه وابسته) انجام گرفت. نتایج حاصل برای شاخص‌های ارزیابی نشان داد که موثرترین فراسنجه، فراسنجه $\frac{y_3}{y_1}$ است که با حذف آن بدترین نتیجه به دست آمده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این بررسی، ابتدا با استفاده از مدل آزمایشگاهی فراسنجه‌های هیدرولیکی سازه گابیونی موجود در پایین‌دست سرریز اوجی بررسی و سپس با بهره‌گیری از ماشین بردار پشتیبان به پیش‌بینی استهلاك انرژی این سازه پرداخته شد. در همین راستا از روش ماشین بردار پشتیبان در ۸ مدل مختلف استفاده شد. به منظور ارزیابی کارایی مدل‌ها و مقایسه میزان‌های پیش‌بینی شده با داده‌های آزمایشگاهی از شاخص‌های آماری مختلف استفاده شد. در ادامه نتایج کلی آزمایشگاهی و عددی حاصل از تحقیق ارائه شده عبارت‌اند از:

- در همه مدل‌های آزمایشی، کاهش قطر سنگدانه‌ها و افزایش ارتفاع سازه گابیونی باعث افزایش میزان استهلاك انرژی جریان شد.

- استفاده از سازه گابیونی در پایین‌دست سرریز اوجی، سبب استهلاك انرژی جریان و عبور جریان به صورت درون‌گذر و روگذر می‌شد. در نتیجه باعث کاهش فرسایش و آبشستگی پایین‌دست و از لحاظ اقتصادی نیز صرفه جویی در ایجاد سازه‌های مستهلک کننده انرژی می‌گردد.
- افزایش میزان بازشدگی در عرض گابیون و افزایش قطر سنگدانه به جهت عبور گسترده و حجم بیشتر جریان، باعث کاهش میزان استهلاك انرژی می‌شود.
- در همه مدل‌های آزمایشگاهی و عددی با افزایش فراسنجه عدد فرود، میزان استهلاك انرژی ناشی افزایش می‌یابد.
- بر اساس مدل‌های مورد بررسی، فراسنجه عمق نسبی آب پایین‌دست گابیون بیشترین تاثیر را در پیش‌بینی درست استهلاك انرژی ناشی از سازه گابیونی دارد.

۵- منابع

Aal, G.M.A., Fahmy, M.R., Elnikhely, E.A. and El-Tohamy, E. (2019). Energy dissipation and discharge coefficient over stepped gabion and buttress gabion spillway. *Technology*, 10(4), 260-267.

Azizi, A., Mofteh Halqi, M., Ziatara Ahmadi, Kh. and Golmaei, S. (2008). Investigation of the effect of

- support vector machine algorithm. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 7(2), 137-143. doi: 10.22126/arww.2021.5747.1189.
- Pagliara, S. and Chiavaccini, P. (2006). Energy dissipation on block ramps. *Journal of hydraulic Engineering*, ASCE, 132(1), 41-48.
- Parsaie, A., Haghiabi, A.H., Saneie, M. and Torabi, H. (2018). Applications of soft computing techniques for prediction of energy dissipation on stepped spillways. *Neural Computing and Applications*, 29(12), 1393-1409.
- Parsaie, A. and Haghiabi, A.H. (2019). Evaluation of energy dissipation on stepped spillway using evolutionary computing. *Applied Water Science*, 9(6), 1-7.
- Parsaie, A., Haghiabi, A.H., Saneie, M. and Torabi, H. (2016). Prediction of energy dissipation on the stepped spillway using the multivariate adaptive regression splines. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 22(3), 281-292.
- Parsaie, A., Haghiabi, A. H., Saneie, M. and Torabi, H. (2018). Prediction of energy dissipation of flow over stepped spillways using data-driven models. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42(1), 39-53.
- Rajaratnam, N. (1976). *Turbulent jets*, vol. 5, Elsevier.
- Roushangar K, Alami M.T., Majedi Asl, M. and Shiri, J. (2017). Modeling discharge coefficient of normal and inverted orientation labyrinth weirs using machine learning techniques. *ISH Journal of Hydraulic Engineering* 23(3), 331-340.
- Roushangar, K. and Koosheh, A. (2015). Evaluation of GA-SVR method for modeling bed load transport in gravel-bed Rivers. *Journal of Hydrology*, 527, 1142-1152.
- Salmasi, F., Razi, S., Hosseinzadeh, A. (2020). Dalir Laboratory study of the hydraulics of flow in gabion stepped weirs. *Amirkabir Journal of civil engineering*. 10.22060/CEEJ.2020.17256.6502 (In Persian).
- Torabi, H., Parsaie, A., Yonesi, H. and Mozafari, E. (2018). Energy dissipation on rough stepped spillways. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42(3), 325-330.
- USBR. (1987) *Design of Small Dams*, USA, Denver.
- porosity of materials used on flow energy loss in gabion stair overflows. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Gorgan University, 15(1), 158-150. (In Persian)
- Chanson, H. (2000). Forum article. Hydraulics of stepped spillways: current status. *Journal of hydraulic engineering*, 126(9), 636-637.
- Chinnarasri, C., Donjadee, S. and Israngkura, U. (2008). Hydraulic characteristics of gabion-stepped weirs. *Journal of hydraulic Engineering*. 134(8), 1147-1152.
- Daneshfaraz, R., Majediasl, M. and Bagherzadeh, M. (2020a). Laboratory study of energy dissipation and lower relative depth in gabion and simple slope. *Amirkabir civil engineering*. doi: 10.22060/ceej.2020.18059.6751 (In Persian).
- Daneshfaraz, R., Majediasl, M. and Bagherzadeh, M. (2020b). Experimental Analysis of Inclined Gabion Drop Behavior in Comparison to the Standard Stilling Basins (USBR). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(10), 2531-2541. (In Persian)
- Haghiabi A.H., Parsaie, A. and Emamgholizadeh, S. (2017). Prediction of discharge coefficient of triangular labyrinth weirs using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. *Alexandria Engineering Journal*. 57, 1773-1782.
- Haghiabi, A.H., Azamathulla, H.M. and Parsaie, A. (2017). Prediction of head loss on cascade weir using ANN and SVM. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 23(1), 102-110.
- Majedi-Asl, M. and Valizadeh, S. (2017). Application of SVM Algorithm in Predicting Vertical Pier Scour Depth. *Journal of Water and Soil Science*. 23, 166-181. (In Persian)
- Majedi-Asl, M., Valizadeh, S., Ashkan, F. and Hasanzadeh, E. (2017). Modeling Scour Depth around the Inclined Single and Group Piers. *Water and Soil Science*. 30(3), 62-74. (In Persian)
- Majedi-Asl, M., Daneshfaraz, R., Chabokpour, J., Ghorbani, B. and Bagherzadeh, M. (2020). Laboratory Study of the Performance of Gabion Sill on the Energy Dissipation of Downstream of Ogee Weirs. *Iranian Journal of Soil and Water Research* . 10.22059/ijswr.2020.309322.668725 (In Persian).
- Majedi-Asl, M., Daneshfaraz, R., Fuladipناه, M., Abraham, J. and Bagherzadeh, M. (2020). Simulation of bridge pier scour depth base on geometric characteristics and field data using

Vashisth, A. (2017). Energy dissipation over stepped gabion weir. *International Journal of Dynamics of Fluids*, 13(1), 153-159.

Vapnik, V.N. (1995). *The nature of statistical learning Theory*. Springer.