

## The Study of Energy Dissipation Due to the Use of Vertical Screen in the Downstream of Inclined Drops by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

R. Norouzi<sup>1</sup>, R. Daneshfaraz<sup>2</sup>, A. Bazayr<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of water engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

**ABSTRACT:** The aim of the current study, investigate the energy dissipation of the use of the vertical screen with two porosity ratios downstream of the inclined drop with three different angles, two heights of the drop, and the range of 200-700 l/min with an analysis of 140 laboratory models. The results revealed that the use of screens caused by an increase of at least 407% and a maximum of 903% of total relative energy dissipation efficiency to the plain inclined drop. The equations were presented to estimate the relative energy dissipation due to the use of a vertical screen downstream of the inclined drop with acceptable assessment criteria. Also, the contribution of each of the energy dissipation systems was presented. Then, intelligent models, Artificial neural network (ANN), and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) were compared to estimate the relative energy dissipation using three parameters  $\theta$ ,  $P$ , and  $yc/\Delta z$  using evaluation criteria. The values of  $R^2$  and RMSE for the ANFIS model, were 0.996 and 0.006, respectively, and for the ANN model were 0.992 and 0.008 respectively, which revealed the higher accuracy of the ANFIS model in the estimation of the relative energy dissipation than the ANN.

### Review History:

Received: Jul. 05, 2019

Revised: Aug. 28, 2019

Accepted: Aug. 28, 2019

Available Online: Aug. 30, 2019

### Keywords:

Energy depreciation,

Inclined drop,

Intelligent models,

Screen, Sub-critical flow.

### 1. Introduction

The kinetic energy of the flow increases the downstream of the drops. Extension structures are used to reduce this energy. Screens reduce the kinetic energy of the flow by causing water interference, imposing a hydraulic jump, and stabilizing at the downstream of the supercritical flow-generating structures. Daneshfaraz et al. [1] investigated the effect of the screen's location on the flow's energy dissipation. The results revealed that the presence of the screens caused by increased energy dissipation compared to the free jump.

Daneshfaraz et al. [2] investigated the effect of baffle performance with vertical screens downstream of the gate. The results revealed that models with baffle had more energy dissipation than without baffle models. The present study was performed for the first time to investigate the energy dissipation downstream of inclined drops by using screens. In addition, two intelligent models of artificial neural network (ANN) and the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) were used to estimate relative energy dissipation and their results were compared.

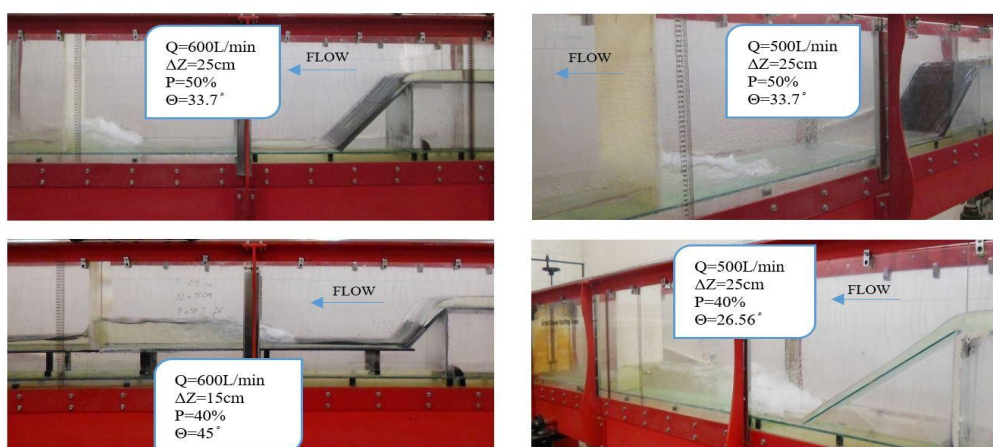


Fig. 1. View of inclined drop equipped with vertical screens.

\*Corresponding author's email: daneshfaraz@yahoo.com



Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit <https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>.

## 2. Methodology

To evaluate the effect parameters, the physical model was used in the hydraulic laboratory of Maragheh University. Experiments were conducted in a horizontal flume with a length of 5m, a width of 0.45m, and a height of 0.3m. The inclined drops were composed of glass boxes with two heights of 0.15, and 0.25m, and three angles of 26.56°, 33.7°, and 45°. Screens are made of polyethylene, with circular orifices and porosity ratios of 40, and 50%. Fig. 1 indicates an overview of the inclined drop equipped with a screen in the laboratory.

Dimensional analysis was performed by using the  $\pi$ -Buckingham theory and considering as duplicating variables and the dependent hydraulic quantity of relative energy dissipation was extracted based on dimensions independent parameters according to Eq. (1).

$$\frac{\Delta E}{E_0} = f_4(\theta, p, \frac{y_c}{\Delta z}) \quad (1)$$

Where  $p$  is the porosity of the screen,  $\theta$  is the angle of drop and  $y_c/\Delta z$  is the relative critical depth.

## 3. Results and Discussion

The relative energy dissipation changes based on the dimensional analysis, for plain inclined drops and inclined drops equipped with the vertical screen, with three angles and two ratios of porosity 40 and 50%, depends on the relative critical depth. Relative energy dissipation calculation resulted from the present study was compared with the results of the study of Moradi Sabz Koohi et al. [3] for plain inclined drops in two angles of 56.26 and 7.33 degrees to the relative critical depth. In all data of the present study and Moradi Sabz Koohi et al. [3], the relative energy dissipation decreased by increasing relative critical depth. The results indicate that the plain inclined drop of the present study was conducted at two angles of 26.56 and 33.7 degrees with the results of the study of Moradi Sabz Koohi et al. [3] is in close agreement.

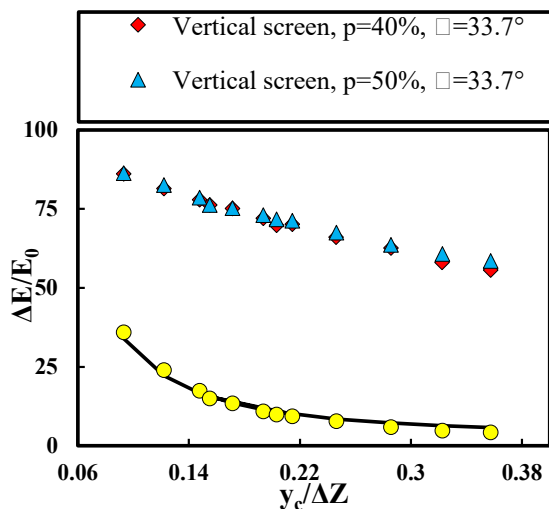


Fig. 2. Relative critical depth changes versus the relative energy dissipation.

Table 1. The results of ANN, ANFIS, and Eq. (13) models for training and test periods.

	Testing Data		Training Data	
	R2	RMSE	R2	RMSE
ANN	0.9925	0.008	0.989	0.0084
ANFIS	0.9966	0.006	0.991	0.0069
Equ.13	0.9036	0.195	0.893	0.203

Also, at a constant discharge (constant relative critical depth) energy dissipation increases by increasing drop height and increasing slope. In the present study can also be found that the presence of screens significantly increased the energy dissipation at all three slope angles by comparing the inclined drop equipped with vertical screens and plain inclined drop. A nonlinear Eq. (2) considering the experimental data for calculating the energy dissipation at the downstream of inclined drop equipped with vertical screens are presented.

$$\frac{\Delta E}{E_0} = -1.052\left(\frac{y_c}{\Delta Z}\right)^{0.429} \times 0.352(\theta)^{0.205} \times 0.943(p)^{-0.005} + 1.201 \quad (2)$$

Statistical criteria indicate that the ANFIS is more accurate than the ANN and the equation obtained from the experimental data. As seen, the ANFIS has provided very similar results to the laboratory values in predicting the amount of relative energy dissipation downstream of inclined drops with the use of screens (Table 1).

## 4. Conclusions

In the present study, the energy dissipation was investigated downstream of the inclined drops by using screens. The results indicated that at a constant flow rate, the energy dissipation increases by increasing drop height and slope angle. In the present study can also be found that the presence of screens significantly increased the energy dissipation at all three slope angles by comparing the inclined drop equipped with vertical screens and plain inclined drop. The screens used in inclined drops increased the total energy dissipation compared to the plain inclined drop of the 40% porosity for the Angles 26.56, 33.7, and 45 degrees respectively 9.89, 7.19, and 5.07. It also increases the porosity ratio of 50% for the given angles by 10.03, 7.36, and 5.23 times, respectively. By increasing the height of the inclined drop equipped with vertical screens 50% porosity compared to the 40% porosity, the contribution of the energy dissipation of the inclined drop and hydraulic jump increases, and the proportion of the screens decreases. Also, the two intelligent models of ANN and the ANFIS model were used in estimating relative energy dissipation ( $\Delta E/E_0$ ) using 3 parameters  $\theta$ ,  $P$ , and  $y_c/z$ . Then the estimated values ( $\Delta E/E_0$ ) were compared with the mentioned models using evaluation criteria. The results of this study revealed that both intelligent models have better accuracy in estimating ( $\Delta E/E_0$ ). ANFIS compared to ANN with R2 and RMSE 0.996 and 0.006 for ANFIS and 0.992 and 0.008 for ANN, respectively. It is highly accurate.

## References

- [1] R. Daneshfaraz, S. Sadeghfam, A. Rezazadeh Joudi, Experimental investigation on the effect of screen's location on the flow's energy dissipation, *Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(67) (2017) 47-62.
- [2] R. Daneshfaraz, S. Sadeghfam, A. Ghahramanzadeh, Three-dimensional numerical investigation of flow through screens as energy dissipators, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(10) (2017) 850-859.
- [3] A. Moradi Sabz Koohi, S. M. Kashefipour, M. Bina, Experimental Comparison of Energy Dissipation on Drop Structures, *JWSS-Isfahan University of Technology*, 15(56) (2011) 209-223

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

R. Norouzi, R. Daneshfaraz, A. Bazyar, *The Study of Energy Dissipation Due to the Use of Vertical Screen in the Downstream of Inclined Drops by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(3) (2021) 209-212.

DOI: [10.22060/ceej.2019.16694.6305](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.16694.6305)







## بررسی استهلاک انرژی ناشی از بکارگیری صفحات مشبک قائم در پایین دست شیب شکن های مایل با روش ترکیبی عصبی - فازی تطبیق پذیر

رضا نوروزی<sup>۱</sup>، رسول دانشفراز<sup>۲\*</sup>، علی بازاریار<sup>۲</sup>

۱- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
۲- گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۴  
بازنگری: ۱۳۹۸/۰۶/۰۶  
پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۶  
ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۰۶/۰۸

### کلمات کلیدی:

استهلاک انرژی،  
جریان زیر بحرانی،  
شیب شکن مایل،  
صفحات مشبک،  
مدل های هوشمند.

**خلاصه:** مطالعه حاضر با هدف بررسی استهلاک انرژی ناشی از بکارگیری صفحات مشبک به صورت قائم با دو نسبت تخلخل در پایین دست شیب شکن های مایل با سه زاویه متفاوت، دو ارتفاع شیب شکن و محدوده ی دبی ۲۰۰-۷۰۰ لیتر بر دقیقه با بررسی ۱۴۰ مدل آزمایشگاهی مختلف انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از صفحات مشبک منجر به افزایش حداقل ۴۰۷ و حداکثر ۹۰۳ درصدی راندمان استهلاک انرژی نسبی کل، نسبت به شیب شکن مایل ساده شد. روابطی برای تخمین استهلاک انرژی نسبی ناشی از بکارگیری صفحات مشبک قائم در پایین دست شیب شکن های مایل با معیارهای ارزیابی قابل قبول ارائه گردید. همچنین سهم هر کدام از سیستم های مستهلک کننده انرژی (سازه و جریان) ارائه شد. در ادامه از مدل های هوشمند، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و عصبی - فازی تطبیق پذیر (ANFIS) برای تخمین استهلاک انرژی نسبی با استفاده از ۳ پارامتر  $y_p / \Delta z$  و  $\theta$  و  $P$  با استفاده از معیارهای ارزیابی مورد مقایسه قرار گرفت نتایج تحقیق نشان داد مدل عصبی - فازی تطبیق پذیر با مقادیر  $R^2$  و RMSE به ترتیب برابر با ۰/۹۹۶ و ۰/۰۰۶ نسبت به مقادیر مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب برابر ۰/۹۹۲ و ۰/۰۰۸ از قابلیت بالائی در تخمین استهلاک انرژی نسبی برخوردار می باشد.

### ۱- مقدمه

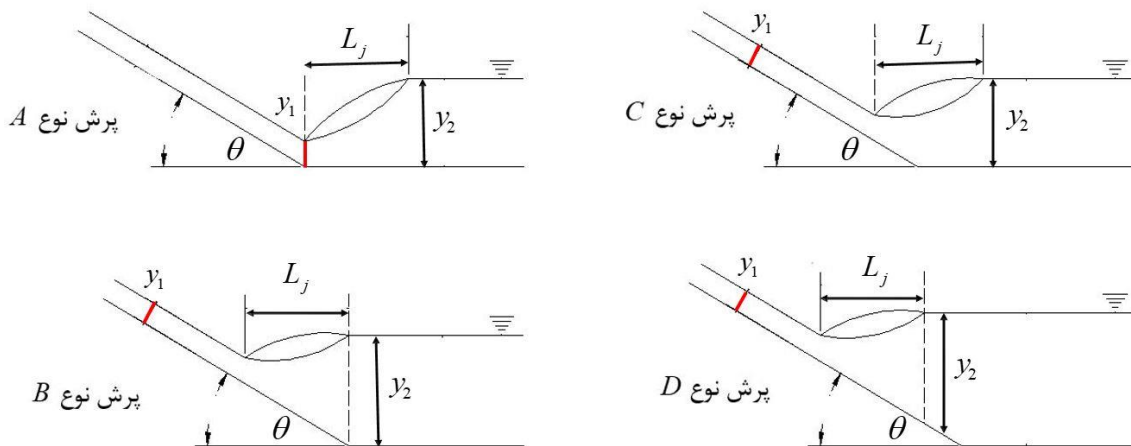
از جمله سازه های مولد جریان فوق بحرانی در کانال های آبیاری و زهکشی شیب شکن ها بوده و باعث استهلاک انرژی کل جریان می شوند. شیب شکن ها انواع مختلفی دارند و می توانند به صورت قائم و مایل، با سازه الحاقی و بدون سازه الحاقی اجرا شوند، از آنجایی که در پایین دست شیب شکن ها انرژی جنبشی جریان افزایش می یابد، برای کاهش این انرژی از سازه های الحاقی استفاده می شود. استهلاک انرژی جنبشی مخرب در پایین دست شیب شکن های قائم با در نظر گرفتن تمهیداتی به صورت مطالعات تجربی توسط ایسن و همکاران [۱]، هانگ و همکاران [۲]، کبیری سامانی و همکاران [۳] و دانشفراز

و همکاران [۴] بررسی شده است.

در مواردی که شیب طبیعی زمین به گونه ای باشد که استفاده از شیب شکن های قائم بدلیل محدودیت ارتفاعی مجاز نباشد، بکارگیری شیب شکن های مایل میتواند راهکار مناسبی برای تبدیل شیب تند زمین به شیب طراحی باشد. تا به حال تحقیقات اندک و بسیار محدودی بر روی شیب شکن های مایل صورت گرفته است. مطابق تقسیم بندی های کیندزواتر [۵] بسته به موقعیت پنجه پرش در سطح شیب شکن مایل یا تنداب و نیز موقعیت انتهای طول غلتاب نسبت به محل تقاطع شیب و قسمت افقی که وابسته به عمق پایاب است، چهار نوع پرش هیدرولیکی A، B، C و D تشکیل میگردد (شکل ۱).

\* نویسنده عهده دار مکاتبات: daneshfaraz@yahoo.com





شکل ۱. انواع پرش هیدرولیکی روی سطوح شیب‌دار

Fig. 1. Types of hydraulic jump on the inclined surfaces

جریان فوق بحرانی، سبب کاهش انرژی جنبشی جریان می‌شوند. مطالعات در زمینه کاربرد صفحات مشبک انجام شده به شرح زیر می‌باشند:

راجاراتنام و هورتینگ [۱۱] برای اولین بار از صفحات مشبک به عنوان مستهلک کننده انرژی در پایین دست سازه های هیدرولیکی استفاده نمودند. چاکیر [۱۲] نشان داد که ضخامت صفحات مشبک تأثیری بر استهلاک انرژی جریان ندارد. بالکیش [۱۳] نیز تأثیر زاویه قرارگیری صفحات مشبک را بصورت آزمایشگاهی بر روی میزان استهلاک انرژی بررسی نموده و نشان داد که زاویه قرارگیری صفحات مشبک نیز تأثیر چندانی بر استهلاک انرژی ندارد. تأثیر آرایش چندتایی صفحات مشبک بر استهلاک انرژی جریان نیز توسط اصلانکارا [۱۴] به صورت آزمایشگاهی بررسی شد و نتایج نشان داد که چیدمان صفحات مشبک به صورت چندتایی سبب افزایش استهلاک انرژی می‌شود. مطابق مطالعات صادق فام و همکاران [۱۵] بکارگیری صفحات مشبک در پایین دست سازه های مولد جریان فوق بحرانی منجر به تشکیل سه نوع پرش هیدرولیکی آزاد، مستغرق و کاذب گردید. دانشفراز و همکاران [۱۶] به بررسی آزمایشگاهی تأثیر محل قرارگیری صفحات مشبک در میزان استهلاک انرژی پرداخته و نشان دادند که برای تمامی حالات استفاده از صفحات مشبک، میزان استهلاک انرژی ناشی از استفاده از این صفحات بیشتر از استهلاک انرژی نسبی ناشی از پرش آزاد می‌باشد. همچنین نشان دادند که با افزایش عدد فرود، بازده این صفحات در استهلاک انرژی کل افزایش یافته ولی سهم خود این صفحات در استهلاک انرژی کل کاسته می‌شود.

واگنر [۶] با انجام مطالعه بر روی شیب شکن های مایل در رودخانه کلمبیا استهلاک انرژی در این سازه ها را بدست آورد. پیتیرکا [۷] نیز با انجام آزمایشاتی بر روی شیب شکن مایل دارای موانع، علاوه بر محاسبه استهلاک انرژی، ضوابط طراحی موانع را پیشنهاد نمود. اوتسا و یاسودا [۸] به بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی نوع B و D، بر روی سطوح شیب دار با زوایای ۸ الی ۶۰ درجه پرداخته و معادلاتی برای نسبت اعماق مزدوج و طول پرش هیدرولیکی ارائه کردند. شولچین و اکیب [۹] به بررسی آزمایشگاهی تأثیر عدد شیب شکن برای تخمین پرش هیدرولیکی در پایین دست شیب شکن قائم و مایل با سه زاویه و محدوده عمق بحرانی نسبی ۰/۱ تا ۰/۶ پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که عدد شیب شکن برای پیش بینی پرش هیدرولیکی در پایین دست شیب شکن های قائم مؤثر بوده ولی برای شیب شکن مایل کاربرد ندارد. مرادی سبزوکی و همکاران [۱۰] با مقایسه سه نوع شیب شکن رایج قائم، مایل مستطیلی و پلکانی در دو ارتفاع، دو زاویه و دو عدد پله متفاوت، نشان دادند که به ترتیب بیشترین و کمترین استهلاک انرژی مربوط به شیب شکن قائم و مایل می‌باشد.

در سالهای اخیر ایجاد تلاطم و جریان دوفازی (تداخل آب با هوا) یکی از روش های مؤثر شناخته شده برای افزایش استهلاک انرژی جریان می‌باشد. صفحات مشبک از جمله سازه های مستهلک کننده انرژی شناخته شده است که به صورت قائم در مقابل جریان قرار می‌گیرد. صفحات مشبک با ایجاد تداخل آب و هوا، تحمیل پرش هیدرولیکی و تثبیت محل تشکیل آن در پایین دست سازه های مولد



که SVM نتایج را بهبود میبخشد.

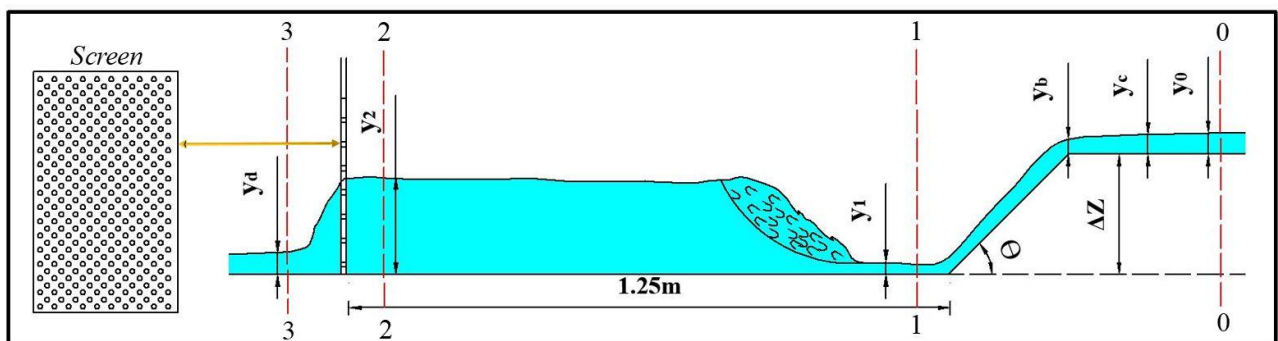
با توجه به تحقیقات پیشین در خصوص شیب شکن های مایل و ضرورت کاربرد این نوع سازه ها در کانالهای آبیاری و زهکشی برای تبدیل شیب تند زمین به شیب طراحی، یکی از معایب این سازه ها افزایش انرژی جنبشی در پایین دست می باشد. از آنجایی که صفحات مشبک به عنوان یک سازه مستهلک کننده انرژی با امکان ایجاد تلاطم با جریان دوفازی، تشکیل و تثبیت پرش هیدرولیکی میتواند در پایین دست شیب شکن مایل سبب افزایش استهلاک انرژی گردد، لذا مطالعه حاضر برای اولین بار جهت بررسی استهلاک انرژی در پایین دست شیب شکن های مایل با بکارگیری صفحات مشبک انجام شد و همچنین در ادامه از دو مدل هوشمند مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مدل عصبی فازی تطبیقپذیر (ANFIS) در تخمین استهلاک انرژی نسبی استفاده شد و نتایج آنها مورد مقایسه قرار گرفت. آزمایشات لازم در آزمایشگاه هیدرولیک بر روی ۱۴۰ مدل مختلف انجام و تعداد کل داده های تولید شده ۱۴۰ عدد می باشند.

## ۲- الگوسازی نظری یا تجربی

### ۲-۱- معرفی تجهیزات و مدل آزمایشگاهی

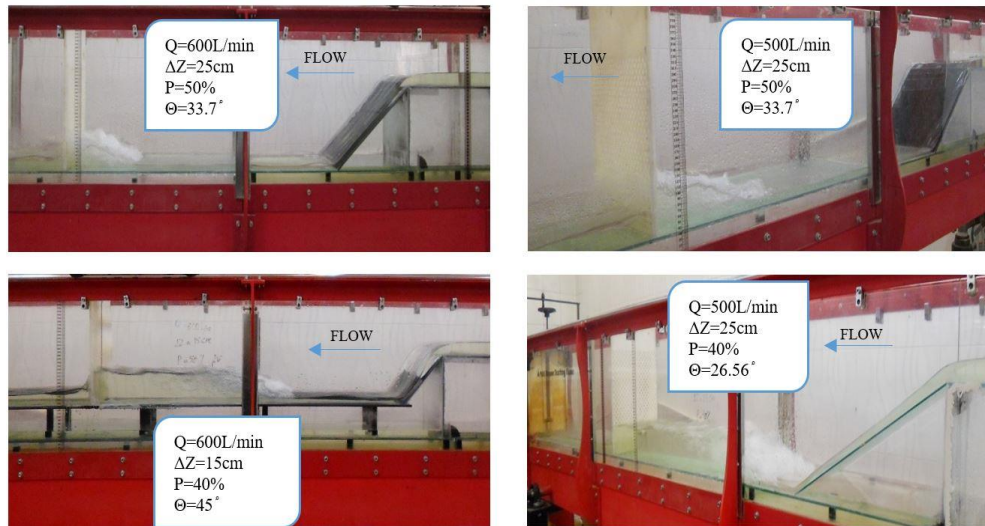
برای بررسی پارامترهای مؤثر، از مدل فیزیکی ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه بهره گرفته شده است. آزمایشهای مطالعه حاضر در فلومی به مقطع مستطیلی با شیب کف صفر به طول ۵، عرض ۰/۳ و ارتفاع ۰/۴۵ متر و دیواره و کف از جنس پلکسی گلس که این امر مشاهده دقیقتر و جزئیتر رفتارهای جریان را امکانپذیر مینماید، انجام شد. برای ایجاد سازه شیب شکن مایل با استفاده از باکسهای شیشه‌ای هم عرض کانال، به طول ۱/۲ متر، با دو ارتفاع

استهلاک انرژی ناشی از عوامل پرش هیدرولیکی، بلوک و صفحات مشبک نیز توسط دانشفراز و همکاران [۱۷] مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. بررسی استهلاک انرژی در این تحقیق نشان داد که در مدلهایی که در آنها بلوکهای مانع قبل از صفحات مشبک استفاده شده است، سبب افزایش استهلاک انرژی نسبت به مدلهای متناظر بدون بلوک می باشد. رضایی و همکاران [۱۸] با یک راهحل غیرسازه ای و دوستدار محیط زیست به بررسی آزمایشگاهی تأثیر رس و نانو رس مونت موریلونیتی بر کاهش آب شستگی در پایین دست صفحات مشبک قائم اقدام نموده و نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که استفاده از ترکیب رس و نانو رس مونت موریلونیتی تأثیری مثبت در کنترل آب شستگی دارد و در مواردی میتواند بسیار مفید باشد که از دیدگاه عملی نتوان با مصالحی نظیر بتن از بستر رودخانه محافظت کرد. نوروژی و همکاران [۱۹] به مطالعه مقایسه ای شبکه های عصبی مصنوعی و ماشین های بردار پشتیبان برای تخمین ضریب دبی سرریز کنگره ای پرداختند. در این مطالعه عملکرد شبکه های پرسپترون چند لایه (MLP)، شبکه های عصبی شعاعی (RBF) و ماشین های بردار پشتیبان (SVM) با تابع کرنل های مختلف در تخمین ضریب دبی سرریز کنگره ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد مدل MLP با RMSE،  $R^2$  و DC به ترتیب ۰/۰۱۹، ۰/۹۷۱ و ۰/۹۷۱ نسبت به سایر مدل ها قابل قبول تر و نزدیک تر به داده های آزمایشگاهی می باشد. صادق فام و همکاران [۲۰] به بررسی آزمایشگاهی آبشستگی جتهای جریان فوق بحرانی بالادست صفحات مشبک و ابعاد مدلسازی با استفاده از مدل هوشمند (AIMM) پرداختند. ابتدا با استفاده از داده های آزمایشگاهی مدلهای SFL و NF را اجرا گردید و سپس نتایج این مدلها به عنوان ورودی مدل SVM در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد



شکل ۲. شماتیکی از مدل آزمایشگاهی

Fig. 2. Schematic of the laboratory model



شکل ۳. نمای شیب شکن مایل مجهز به صفحات مشبک قائم

Fig. 3. View of inclined drop equipped with vertical screens

درصد نیز می‌تواند از تأثیرات این صفحات در استهلاک انرژی جریان کاسته شود. لذا در تحقیق حاضر تخلخل های ۴۰ و ۵۰ درصد برای صفحات مشبک انتخاب گردید.

شکل ۲ شماتیکی از مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. جریان در بالادست شیب شکن زیر بحرانی در نظر گرفته شده و در هر سری از آزمایشها ابتدا پمپ روشن شده و سپس دبی جریان بوسیله رواترهای نصب شده بر روی پمپ با خطای نسبی  $\pm 2\%$  درصد تنظیم گردید. جریان ورودی توسط پمپ وارد مخزن بالادست شده و با عبور از آرامکننده جریان وارد فلوم می‌گردد. با استفاده از عمق سنج نقطه‌های با دقت  $\pm 1$  میلی‌متر در پنج نقطه از مقطع عرضی، عمق لبه شیب شکن، عمق بالادست شیب شکن، عمق اولیه پرش هیدرولیکی، عمق ثانویه پرش قبل از صفحه مشبک و عمق پایین دست صفحات مشبک اندازه گیری گردید و مقادیر متوسط آن به عنوان عمق نهایی در نظر گرفته شد. در مجموع ۱۴۰ آزمایش در محدوده عدد فرود  $5/6$  تا  $7/26$  انجام شده که ۳۶ آزمایش مربوط به شیب شکن مایل ساده و ۱۰۴ آزمایش برای شیب شکن مایل مجهز به صفحات مشبک قائم میباشد.

شکل ۳ نمایی از شیب شکن مایل مجهز به صفحه مشبک در آزمایشگاه را نشان می‌دهد. پس از انجام آزمایشها و اندازه گیریهای انجام شده محاسبات مربوط به استهلاک انرژی سیستم انجام گردید.

## ۲-۲- محاسبه استهلاک انرژی

یکی از اهداف مطالعه حاضر بررسی تأثیر استفاده از صفحات

$0/15$  و  $0/25$  متر و سه زاویه  $26/56$ ،  $33/7$  و  $45$  درجه استفاده شد. ابعاد مدل با استفاده از ضوابط طراحی کفبندها و تثبیت کننده های بستر (ضابطه شماره ۷۰۱ صفحه ۱۱۹) زوایای شیب شکن  $26/56$  (طبق  $m=2$ )،  $33/7$  (طبق  $m=1.5$ ) و  $45$  (طبق  $m=1$ ) مایل انتخاب گردید. طبق ضابطه ۷۰۱، شیب کف قسمت مایل ۱ افقی به ۲ عمودی ( $m=0.5$ ) و ملایم تر انتخاب می‌شود، ولی بهتر است  $m=2$  اختیار شود. در مطالعات (شولیکین و اکیب ۲۰۱۰) نیز شیب  $m=1$  مورد استفاده قرار گرفته است. صفحات مشبک از جنس پلی اتیلن، با روزنه‌های دایره‌ای شکل به صورت زیگزاگی و نسبت تخلخل های ۴۰ و ۵۰ درصد تهیه شده و از آنجایی که مطابق مطالعات دانشفراز و همکاران [۱۶] فاصله قرارگیری صفحات مشبک از سازه مولد جریان فوق‌بحرانی بر میزان استهلاک انرژی در فاصله  $1/25$  متر عملکرد بهتری داشته است، لذا در تمامی مدلها فاصله صفحه مشبک از انتهای شیب مایل  $1/25$  متر در نظر گرفته شد. همچنین در تحقیقات پیشین صورت گرفته در زمینه صفحات مشبک نشان می‌دهد که این صفحات در تخلخل های ۴۰ و ۵۰ درصد بهترین عملکرد را در استهلاک انرژی کل جریان داشته اند (دانشفراز و همکاران ۲۰۱۹، دانشفراز و همکاران ۲۰۱۷، صادق فام و همکاران ۲۰۱۵، بالکیش ۲۰۰۴، چاکیر ۲۰۰۳، راجاراتنام و هورتینگ ۲۰۰۰). از طرفی تخلخل صفحات مشبک تعیین کننده تشکیل نوع پرش هیدرولیکی در پایین دست سازه مولد جریان فوق بحرانی می‌باشند. همچنین در تخلخل های کمتر از ۴۰ درصد صفحات مشبک می‌تواند حالت انسداد جریان رخ دهد و در تخلخل های بیشتر از ۵۰



پردازشگر تشکیل شده است. انتخاب نوع و تعداد ورودی های شبکه در کیفیت عملکرد شبکه تأثیر زیادی دارد و لایه های پنهان نقش سازمان دهی عملکرد یک شبکه ی عصبی را دارند [۱۹].

شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) رایج ترین مدل شبکه عصبی استفاده شده در مسائل علوم آب می باشد که برای آموزش این شبکه از الگوریتم پس انتشار خطا که یک روش یادگیری با ناظر است استفاده می شود. منظور از آموزش یک شبکه عصبی، تنظیم پارامترهای شبکه (وزنها و بایاسها) با ارائه الگو های آموزش است؛ بطوری که با ارائه مجدد همان الگوها خطای حاصل بین پاسخ مطلوب و شبکه حداقل گردد.

به طور کلی در شبکه پرسپترون چند لایه عموماً دو نوع سیگنال، یعنی سیگنال هایی که در مسیر رفت (از لایه ورودی به طرف لایه خروجی حرکت می کنند) و دیگری سیگنال های برگشت (از لایه خروجی به طرف لایه ورودی حرکت می کنند)، استفاده می شود که به ترتیب به نام سیگنال تابعی و خطا معروف هستند. تنظیم پارامترها در شبکه پرسپترون چند لایه توسط سیگنال خطا و سیگنال ورودی صورت می گیرد. تعیین تعداد لایه ها و نرون های موجود در آنها از مهمترین مسائل در مدل سازی با شبکه عصبی مصنوعی است. توکار و جانسون رایجترین توابع محرک استفاده شده در شبکه های انتشار برگشتی را توابع محرک سیگموئید و تانژانت هیپربولیک ذکر کردند [۲۲].

## ۲-۴- عصبی فازی تطبیق پذیر (ANFIS)

در سالهای اخیر از ترکیب شبکه های عصبی مصنوعی با منطق فازی، سیستم های عصبی- فازی تطبیق پذیر به وجود آمده اند. یک شبکه تطبیقی، یک ساختار پیشرو چندلایه است که رفتار کلی خروجی آن به وسیله مقدار یک مجموعه از پارامترهای قابل اصلاح تعیین میگردد. به عبارت دیگر ساختار شبکه تطبیقی شامل یک مجموعه از گره های متصل به هم است که به طور مستقیم به هم مرتبط شده اند و در آن هر گره یک واحد پردازش محسوب می شود. این سیستم ها مشکل اصلی در طراحی سیستم های فازی (به دست آوردن قواعد اگر- آنگاه در سیستم فازی) را به وسیله استفاده مؤثر از قابلیت یادگیری ANN جهت تولید خودکار این قواعد و بهینه سازی پارامترها، حل کرده اند که دو قانون این سیستم نیز به صورت

مشبک قائم در شیب شکن های مایل بر میزان استهلاک انرژی کل بوده که به منظور رسیدن به این هدف نحوه محاسبه انرژی کل در هر مقطع از سیستم بیان می گردد. در بالادست شیب شکن مایل برای محاسبه انرژی کل از رابطه (۱) ارائه شده توسط بختف [۲۱] استفاده گردید.

$$E_0 = \Delta Z + 1.5y_c \quad (1)$$

پارامترهای  $E_0$ ،  $\Delta z$  و  $y_c$  در رابطه (۱) به ترتیب بیانگر انرژی کل در بالادست شیب شکن مایل، ارتفاع شیب شکن و عمق بحرانی در بالادست شیب شکن می باشند.

برای محاسبه انرژی قبل و بعد از پرش هیدرولیکی و در پایین دست صفحات مشبک قائم از رابطه (۲) استفاده شد.

$$E_n = y_n + \frac{q^2}{2gy_n^2} \quad (2)$$

که در آن  $E_n$ ،  $y_n$ ،  $q$  و  $g$  به ترتیب انرژی کل در مقطع n ام، عمق جریان در مقطع n ام، دبی در واحد عرض و شتاب گرانش زمین می باشند. با بدست آوردن انرژی کل در بالادست شیب شکن مایل و مقطع n ام میتوان برای محاسبه درصد استهلاک انرژی نسبی بین دو مقطع n، ۰ از رابطه (۳) استفاده کرد.

$$\frac{\Delta E}{E_0} = \left( \frac{E_0 - E_n}{E_0} \right) \times 100 \quad (3)$$

در رابطه (۳):  $\Delta E/E_0$  استهلاک انرژی نسبی جریان می باشد. راندمان استهلاک انرژی نسبی نیز از رابطه (۴) حاصل گردید.

$$\eta = \left( \frac{\Delta E_s}{\Delta E_p} - 1 \right) \quad (4)$$

که در آن  $\eta$ ،  $\Delta E_s$  و  $\Delta E_p$  به ترتیب راندمان استهلاک انرژی نسبی، استهلاک انرژی نسبی در شیب شکن مایل مجهز به صفحات مشبک قائم و استهلاک انرژی نسبی در شیب شکن مایل ساده می باشد.

## ۲-۳- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه عصبی مصنوعی از تعدادی نرون تشکیل شده اند که به صورت لایه ای در کنار یکدیگر قرار گرفته اند. هر شبکه مصنوعی از لایه های ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده است که شبکه ورودی برای تهیه داده ها می باشد. لایه خروجی شامل مقادیر پیش بینی شده بوسیله شبکه عصبی بوده و لایه مخفی یا میانی از نودهای

عنوان ورودی و پارامتر ببعد  $\Delta E/E_0$  یعنی استهلاک انرژی نسبی در پایین دست شیب شکن های مایل با بکارگیری صفحات مشبک به عنوان خروجی معرفی گردید. در هر دو مدل ۷۰ درصد کل داده های موجود برای دوره آموزش و ۳۰ درصد آنها نیز برای دوره آزمون مورد استفاده قرار گرفته است.

## ۲-۵- معیارهای ارزیابی دقت

برای ارزیابی، توانایی و دقت عملکرد مدل های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مدل عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS) در تخمین استهلاک انرژی نسبی، از دو شاخص آماری استفاده شده است. معیارهای ارزیابی جهت تخمین پارامتر استهلاک انرژی نسبی در پایین دست شیب شکن های مایل با بکارگیری صفحات مشبک  $(\Delta E/E_0)$ ، شامل ضریب تعیین ( $R^2$ ) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) می باشند که هر کدام از آنها به ترتیب از روابط (۷) و (۸) محاسبه می گردند.

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (8)$$

در این روابط  $O_i$  مقادیر حاصل از مقادیر مشاهداتی (استخراجی از آزمایشگاه)،  $P_i$  مقادیر حاصل از روش مدل های پیش بینی کننده،  $\bar{O}$  میانگین مقادیر حاصل از مقدار مشاهداتی،  $\bar{P}$  میانگین مقادیر حاصل از مدل های پیش بینی کننده و  $n$  تعداد داده ها می باشد.

## ۲-۶- آنالیز ابعادی

پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر استهلاک انرژی شیب شکن مایل مجهز به صفحات مشبک قائم در رابطه (۹) آورده شده است.

$$\Delta E = f_1(\mu, \rho, g, q, \Delta Z, \theta, t, p, E_0, \gamma_0, \gamma_c, \gamma_b, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_d) \quad (9)$$

روابط (۵) و (۶) قابل بیان هستند:

$$\text{If } x \text{ is } A_1 \ \& \ y \text{ is } B_1 \ \& \ z \text{ is } C_1 \quad (5)$$

$$\text{Then } f = p_1x + q_1y + k_1z + r_1$$

$$\text{If } x \text{ is } A_2 \ \& \ y \text{ is } B_2 \ \& \ z \text{ is } C_2$$

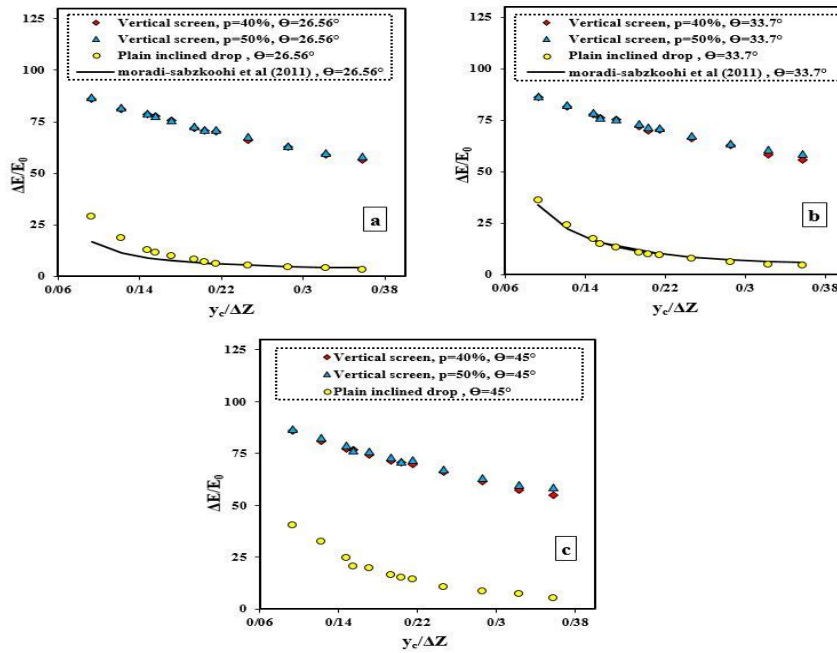
$$\text{Then } f = p_2x + q_2y + k_2z + r_2 \quad (6)$$

در ANFIS لازم است که در لایه اول نوع تابع عضویت و تعداد آن مشخص شود. برای این منظور در لایه اول، دو روش تفکیک شبکه ای و تفکیک خوشه ای جهت کلاسه بندی داده ها وجود دارد. انواع توابع موجود در این شبکه شامل مثلثی<sup>۱</sup>، گوسی<sup>۲</sup>، گوسی نوع دو<sup>۳</sup>، دوزنقه ای<sup>۴</sup> می باشد [۲۳]. همچنین دو نوع سیستم استنتاج فازی برای نگاشت ورودی به خروجی وجود دارد که شامل مدل فازی سوگنو<sup>۵</sup> و ممدانی<sup>۶</sup> است. مدل استنتاج فازی ممدانی، به صورت اصول فازی با خروجی برخوردار می کند. بدین مفهوم که تابع عضویت خروجی نیز مجموعه فازی است [۲۴]. در سیستم های فازی سوگنو توابع عضویت خروجی خطی و ثابت است. به بیان ساده در روش سوگنو، غی فازی کردن خروجی به دلیل خطی و ثابت بودن با روش های محدودی امکانپذیر است [۲۵]. لذا در این مطالعه از سیستم استنتاج فازی ممدانی و تابع مثلثی استفاده شد.

در تحقیق حاضر جهت شبیه سازی از نرمافزار استاتیسیتیکا برای مدل شبکه عصبی و از نرمافزار متلب برای مدل عصبی- فازی تطبیق پذیر استفاده گردید.

در این تحقیق از دو مدل هوشمند مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مدل عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS) در تخمین استهلاک انرژی نسبی  $(\Delta E/E_0)$  با استفاده از ۳ پارامتر  $\theta$ ،  $P$  و  $\gamma_c/\Delta Z$  استفاده شده است. که داده های موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه برداشت شده است و تعداد کل داده های تولید شده ۱۴۰ عدد می باشد. در مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مدل عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS) پارامترهای  $\theta$ ،  $P$  و  $\gamma_c/\Delta Z$  به

- 1 Trimf
- 2 Gaussmf
- 3 Gauss2mf
- 4 Trapmf
- 5 Sugeno Fuzzy Model
- 6 Mamdani Fuzzy Model



شکل ۴. تغییرات استهلاک انرژی نسبی در مقابل عمق بحرانی نسبی برای شیب شکن مایل ساده و مجهز به صفحات با نسبت تخلخل مختلف  
 $\theta = 45^\circ$  (c)  $\theta = 33.7^\circ$  (b)  $\theta = 26.56^\circ$  (a)

**Fig. 4. Relative energy dissipation variations versus relative critical depth for plain inclined drop equipped with screens with different porosity ratio**  
 $\theta = 45^\circ$  (c)  $\theta = 33.7^\circ$  (b)  $\theta = 26.56^\circ$  (a)

با ساده سازی پارامترهای بی بعد، رابطه (۱۰) به صورت زیر

خلاصه گردید:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = f_3(\text{Re}_0, Fr_0, \theta, p), \quad (11)$$

$$\left( \frac{t}{\Delta Z}, \frac{E_0}{\Delta Z}, \frac{y_c}{\Delta Z}, \frac{y_b}{y_c}, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_d}{\Delta Z} \right)$$

با توجه به اینکه در تمامی مدلها جریان کاملا متلاطم بوده و محدوده عدد رینولد مابین  $56/53078-52/91863$  میباشد، میتوان از  $\text{Re}_0$  صرفنظر نمود [۲۶]. همچنین از آنجایی که جریان در بالادست شیب شکن زیر بحرانی بوده و  $0.68 < Fr_0 < 0.80$  میباشد، از تأثیر عدد فرود بالادست نیز صرفنظر شد [۳]. از پارامتر ضخامت صفحات مشبک نیز به دلیل بی تأثیر بودن در استهلاک انرژی صرف نظر گردید [۱۳]. در مطالعه حاضر مشخصات پرش هیدرولیکی مد نظر نبوده به همین دلیل از پارامتر  $(y_2/y_1)$  صرف نظر میشود. همچنین به دلیل اینکه در استهلاک انرژی نسبی، انرژی در بالادست شیب شکن بررسی میگردد؛ لذا میتوان از پارامتر  $(E_0/\Delta Z)$  نیز صرفنظر کرد. در نتیجه پارامتر وابسته استهلاک انرژی نسبی را می توان تابعی از

که در آن،  $\Delta E$  استهلاک انرژی کل  $(\Delta E = E_0 - E_d)$  انرژی کل در بالادست شیب شکن  $(E_0 = \Delta Z + 1.5y_c)$ ،  $[L]$  انرژی کل در پایین دست شیب شکن  $[L]$ ،  $\mu$  لزجت دینامیکی  $[ML^{-1}T^{-1}]$ ،  $\rho$  جرم مخصوص آب  $[ML^{-3}]$ ،  $g$  شتاب گرانش زمین  $[LT^{-2}]$ ،  $q$  دبی واحد عرض  $[L^2T^{-1}]$ ،  $\Delta Z$  ارتفاع شیب شکن  $[L]$ ،  $\theta$  زاویه شیب شکن  $[-]$ ،  $t$  ضخامت صفحات مشبک  $[L]$ ،  $p$  نسبت تخلخل صفحه مشبک  $[-]$ ،  $y_0$  عمق بالادست شیب شکن  $[L]$ ،  $y_c$  عمق بحرانی  $[L]$ ،  $y_b$  عمق لبه شیب شکن  $[L]$ ،  $y_1$  عمق اولیه پرش هیدرولیکی  $[L]$ ،  $y_2$  عمق قبل از صفحه مشبک  $[L]$  و  $y_d$  عمق پایین دست صفحه مشبک  $[L]$  میباشد. با استفاده از روش پی باکینگهام و با در نظر گرفتن  $\rho$ ،  $g$  و  $y_0$  به عنوان متغیرهای تکراری تحلیل ابعادی انجام و کمیت هیدرولیکی وابسته استهلاک انرژی نسبی بر اساس پارامترهای مستقل بی بعد طبق رابطه (۱۰) استخراج گردید:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = f_2(\text{Re}_0, Fr_0, \frac{\Delta Z}{y_0}, \theta, p), \quad (10)$$

$$\left( \frac{t}{y_0}, \frac{E_0}{y_0}, \frac{y_c}{y_0}, \frac{y_b}{y_0}, \frac{y_1}{y_0}, \frac{y_2}{y_0}, \frac{y_d}{y_0} \right)$$

جدول ۱. راندمان استهلاک انرژی نسبی کل ( ) شیب شکن مایل مجهز به صفحات مشبک قائم نسبت به شیب شکن مایل ساده

**Table 1. Total relative energy dissipation efficiency of inclined drop equipped with vertical screen versus to plain inclined drop**

درصد تخلخل صفحه مشبک	زاویه شیب شکن مایل		
	$\theta = 26.6^\circ$	$\theta = 33.7^\circ$	$\theta = 45^\circ$
	راندمان استهلاک انرژی نسبی (%)		
P=40%	۸۸۹/۸۰	۶۱۹/۲۴	۴۰۷/۸۹
P=50%	۹۰۳/۶۰	۶۳۶/۶۴	۴۲۳/۳۲

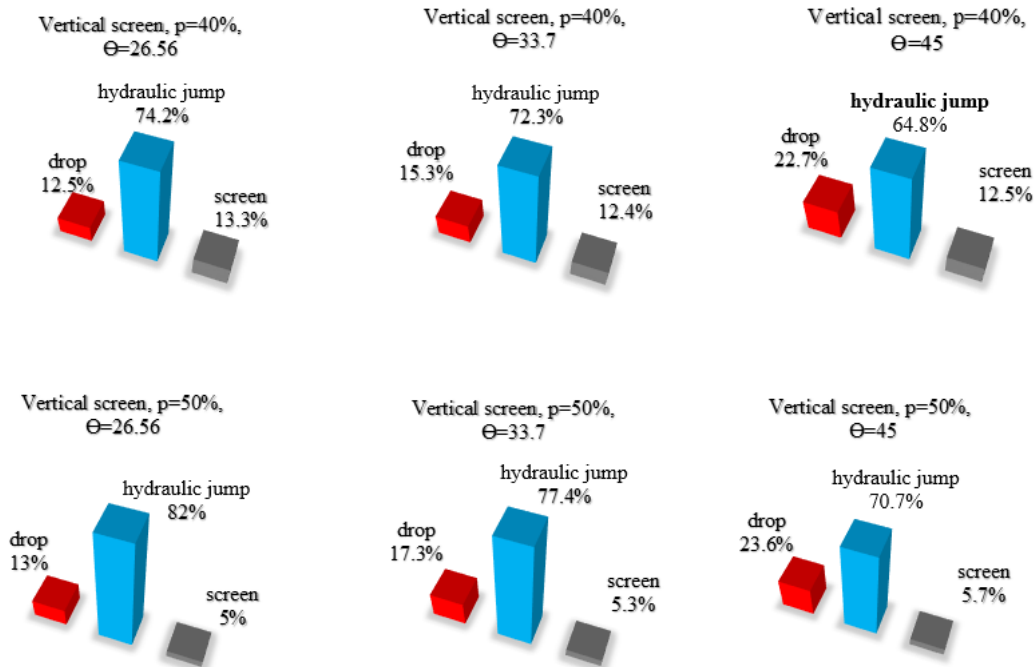
### ۳- نتایج و بحث

پارامترهای مستقل ( $\theta$ ,  $P$  و  $y_c/\Delta z$ ) بیان نمود.

تغییرات استهلاک انرژی نسبی براساس آنالیز ابعادی، برای شیب شکن مایل ساده و مجهز به صفحات مشبک قائم مطالعه حاضر با سه زاویه و دو نسبت تخلخل ۴۰ و ۵۰ درصد، بستگی به عمق بحرانی نسبی دارد. لذا در شکل های ۴-a تا ۴-c نتایج محاسبه استهلاک انرژی نسبی مطالعه حاضر با نتایج مطالعه مرادی سبزکوهی

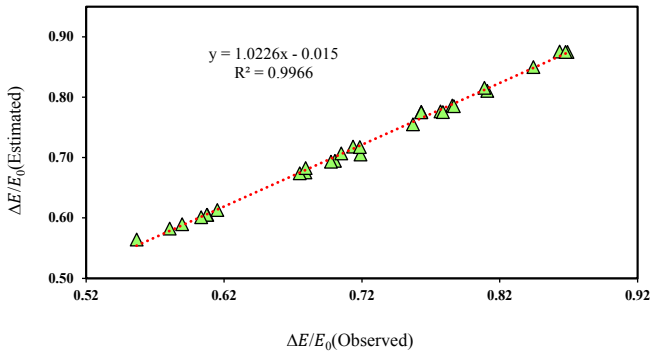
$$\frac{\Delta E}{E_0} = f_4(\theta, p, \frac{y_c}{\Delta z}) \quad (12)$$

که در آن  $y_c/\Delta z$  عمق بحرانی نسبی،  $\theta$  زاویه شیب شکن و  $p$  نسبت تخلخل صفحه مشبک می باشد.



شکل ۵. درصد تغییرات استهلاک انرژی برای سیستم های مستهلک کننده انرژی در زوایا و نسبت تخلخل مختلف

**Fig. 5. Percentage of energy dissipation changes for different energy dissipater systems at different angles and porosity ratios**



شکل ۶. مقایسه نمودار پراکندگی داده‌ها برای دوره آزمون مدل (ANFIS)  
**Fig. 6. Comparison of data scattering diagram for model test period (ANFIS)**

درصد می‌باشد. متوسط استهلاک انرژی نسبی کل شیب شکن مایل ساده برای تمامی مقادیر عمق بحرانی نسبی در زوایای ۲۶/۵۶، ۳۳/۷ و ۴۵ درجه، به ترتیب ۹، ۱۳ و ۱۷ درصد می‌باشد، که با افزایش زاویه ملاحظه می‌شود، استهلاک انرژی نسبی کل افزایش یافته و با نتایج مطالعات مرادی سبزه‌کوهی و همکاران [۱۰] نیز همخوانی دارد. همچنین در شیب شکن مایل مجهز به صفحات مشبک قائم و شیب شکن مایل ساده مطالعه حاضر نیز می‌توان دریافت که حضور صفحات مشبک باعث افزایش چشمگیر استهلاک انرژی در هر سه زاویه شیب شده است. برای هر سه زاویه شیب شکن مایل نیز با مقایسه درصد تخلخل صفحات مشبک چنین استنباط می‌شود که در اعماق بحرانی نسبی کمتر، استهلاک انرژی برای هر دو نسبت تخلخل دارای مقادیر نزدیک به هم می‌باشد. با افزایش عمق بحرانی نسبی نیز تأثیر صفحه مشبک با تخلخل ۵۰ درصد در استهلاک انرژی نسبی کل بیشتر به چشم می‌خورد.

از آنجایی که در پشت صفحه مشبک ۵۰ درصد بدلیل نوع پرش هیدرولیکی تشکیل یافته، تلاطم جریان زیاد بوده و عمق پایین دست آن نیز بیشتر از تخلخل ۴۰ درصدی است، لذا صفحه مشبک ۵۰ درصد دارای استهلاک انرژی نسبی کل بیشتری نسبت به تخلخل ۴۰

و همکاران [۱۰] برای شیب شکن مایل ساده در دو زاویه ۲۶/۵۶ و ۳۳/۷ درجه نسبت به عمق بحرانی نسبی مقایسه شده است. مطابق شکل، در تمامی داده‌های مربوط به مطالعه حاضر و مرادی سبزه‌کوهی و همکاران [۱۰] با افزایش عمق بحرانی نسبی، استهلاک انرژی نسبی کل کاهش می‌یابد. ملاحظه می‌شود که شیب شکن مایل ساده مطالعه حاضر در دو زاویه ۲۶/۵۶ و ۳۳/۷ درجه با تحقیقات مرادی سبزه‌کوهی و همکاران [۱۰] مطابقت و همپوشانی نزدیکی دارد.

همچنین در یک دبی ثابت (عمق بحرانی نسبی ثابت) با افزایش ارتفاع شیب شکن و افزایش شیب، استهلاک انرژی افزایش نیز می‌یابد. با مقایسه شیب شکن مایل مجهز به صفحات مشبک قائم و شیب شکن مایل ساده مطالعه حاضر نیز می‌توان دریافت که حضور صفحات مشبک باعث افزایش چشمگیر استهلاک انرژی در هر سه زاویه شیب شده است. برای هر سه زاویه شیب شکن مایل نیز با مقایسه درصد تخلخل صفحات مشبک چنین استنباط می‌شود که در اعماق بحرانی نسبی کمتر، استهلاک انرژی برای هر دو نسبت تخلخل دارای مقادیر نزدیک به هم می‌باشد. با افزایش عمق بحرانی نسبی نیز تأثیر صفحه مشبک با تخلخل ۵۰ درصد در استهلاک انرژی نسبی کل بیشتر به چشم می‌خورد.

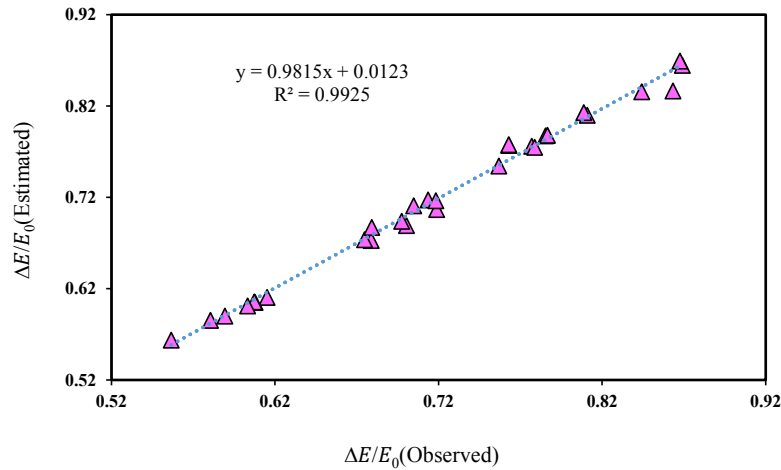
از آنجایی که در پشت صفحه مشبک ۵۰ درصد بدلیل نوع پرش هیدرولیکی تشکیل یافته، تلاطم جریان زیاد بوده و عمق پایین دست آن نیز بیشتر از تخلخل ۴۰ درصدی است، لذا صفحه مشبک ۵۰ درصد دارای استهلاک انرژی نسبی کل بیشتری نسبت به تخلخل ۴۰

جدول ۲. محدوده پارامترها برای داده‌های ورودی و خروجی در دوره آموزش و آزمون

**Table 2. Parameter range for input and output data during training and testing period**

	داده‌های آموزش				داده‌های آزمون			
	$\theta$	p	$yc/\Delta z$	$\Delta E/E_0$	$\theta$	p	$yc/\Delta z$	$\Delta E/E_0$
حداقل	۰/۴۶۳	۰/۴	۰/۰۹۳	۰/۵۴۷	۰	۰/۴	۰/۰۹۳	۰/۴۶۳
حداکثر	۰/۷۸۵	۰/۵	۰/۳۵۷	۰/۸۶۱	۱	۰/۵	۰/۳۵۷	۰/۷۸۵
میانگین	۰/۶۲	۰/۴۵	۰/۲۲	۰/۷	۰/۳۳۲	۰/۴۵۸	۰/۱۹۷	۰/۶۰۶
انحراف معیار	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۰۶	۰/۰۴۹	۰/۰۷۹	۰/۱۳
ضریب تغییرات	۰/۲۱۶	۰/۱۱۱	۰/۳۴۳	۰/۱۱۷	۰/۹۲۱	۰/۱۰۷	۰/۴۰۰	۰/۲۱۵





شکل ۷. مقایسه نمودار پراکندگی داده ها برای دوره آزمون مدل (ANN)  
**Fig. 7. Comparison of data scattering diagram for model test period (ANN)**

با توجه به این که صفحات مشبک باعث تشکیل پرش هیدرولیکی در پایین دست شیب شکن های مایل میشوند، لذا سازه شیب شکن، پرش هیدرولیکی و صفحه مشبک سهم جداگانه‌های در مستهلک شدن انرژی دارند. از این رو با استفاده از رابطه (۱۵)، سهم هر یک از مستهلک کننده‌های انرژی برای هر عمق بحرانی نسبی محاسبه شده و مقادیر متوسط آن در شکل ۵ نشان داده شده است.

$$\lambda = \frac{E_{n-1} - E_n}{E_u - E_d} \quad (15)$$

که در رابطه فوق  $\lambda$ ،  $E_n$ ،  $E_{n-1}$ ،  $E_u$ ،  $E_d$  به ترتیب سهم مستهلک کننده انرژی، انرژی در مقطع  $n-1$ ، انرژی در مقطع  $n$  ام، انرژی در بالادست شیب شکن مایل و انرژی در پایین دست صفحات مشبک می باشد.

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، با افزایش زاویه، در شیب شکن مایل مجهز به صفحه مشبک قائم در هر دو نسبت تخلخل، سهم استهلاک انرژی سازه شیب شکن افزایش می یابد. از طرفی با توجه به این که در نسبت تخلخل ۵۰ درصد کلیه پرشهای تشکیل یافته از نوع پرش A بوده و با افزایش ارتفاع شیب شکن، پرش تشکیل یافته در پشت صفحه مشبک از نوع پرش کاذب می‌گردد، به همین دلیل نسبت به صفحه مشبک ۴۰ درصدی، سهم پرش هیدرولیکی و سازه شیب شکن در استهلاک انرژی آن افزایش یافته و سهم صفحه مشبک کاهش می یابد. همچنین در نسبت تخلخل ۴۰ درصدی صفحه مشبک از آنجایی که ابتدا پرش نوع A تشکیل مییابد

ثابت نیز، با مقایسه متوسط استهلاک انرژی نسبی کل در هر زاویه استنباط میشود که زاویه تأثیر چندانی در استهلاک انرژی نسبی کل ندارد.

مطابق رابطه (۴)، راندمان استهلاک انرژی نسبی کل شیب شکن مایل مجهز به صفحات مشبک قائم نسبت به شیب شکن مایل ساده برای تمامی مقادیر نسبی عمق بحرانی و زاویه محاسبه شده و متوسط آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به جدول فوق مشاهده میشود که در هر سه زاویه صفحات مشبک با تخلخل ۵۰ درصد راندمان استهلاک انرژی نسبی کل بیشتری نسبت به صفحات مشبک با تخلخل ۴۰ درصدی دارند. رابطه غیرخطی (۱۳) و (۱۴) با در نظر گرفتن داده های آزمایشگاهی برای محاسبه استهلاک انرژی در پایین دست شیب شکن های مایل مجهز به صفحات مشبک قائم و شیب شکن های مایل ساده ارائه شده است. در رابطه (۱۴) از ضرب روابط بی بعد استفاده و پارامتر تخلخل صفحات مشبک به دلیل تأثیر کم آن صرف نظر شده است.

$$\frac{\Delta E}{E_0} = -1.052 \left( \frac{Y_c}{\Delta Z} \right)^{0.429} \times 0.352(\theta)^{0.205} \times 0.943(p)^{-0.005} + 1.201 \quad (13)$$

$$\frac{\Delta E}{E_0} = 0.01596 \left( \frac{Y_c}{\Delta Z} \right)^{-1.4869} \times (\theta)^{0.9037} + 1.24 \quad (14)$$

شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و معادله (۱۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های ۶، ۷ و ۸ مشاهده میگردد که بیشتر نقاط بر روی یا نزدیکی خط نیمساز قرار گرفته اند که این مقبولیت هر دو مدل و معادله (۱۳) در تخمین مقدار  $(\Delta E/E_0)$  را نشان میدهد ولی مدل عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS) نتایج بسیار نزدیکی را نسبت به مقادیر مشاهداتی (آزمایشگاهی) تخمین زده است و بنابراین از دقت بسیار بالایی در تخمین پارامتر مورد نظر یعنی مقدار  $(\Delta E/E_0)$  برخوردار است.

معیارهای آماری نشان می دهند که مدل عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS) نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و معادله حاصل از داده های آزمایشگاهی از دقت بالایی برخوردار می باشد. همانطور مشاهده می گردد، مدل عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS) نتایج بسیار مشابهی نسبت به مقادیر آزمایشگاهی در پیش بینی مقدار استهلاک انرژی نسبی در پایین دست شیب شکن های مایل با بکارگیری صفحات مشبک را ارائه داده است (جدول ۳).

#### ۴- نتیجه گیری

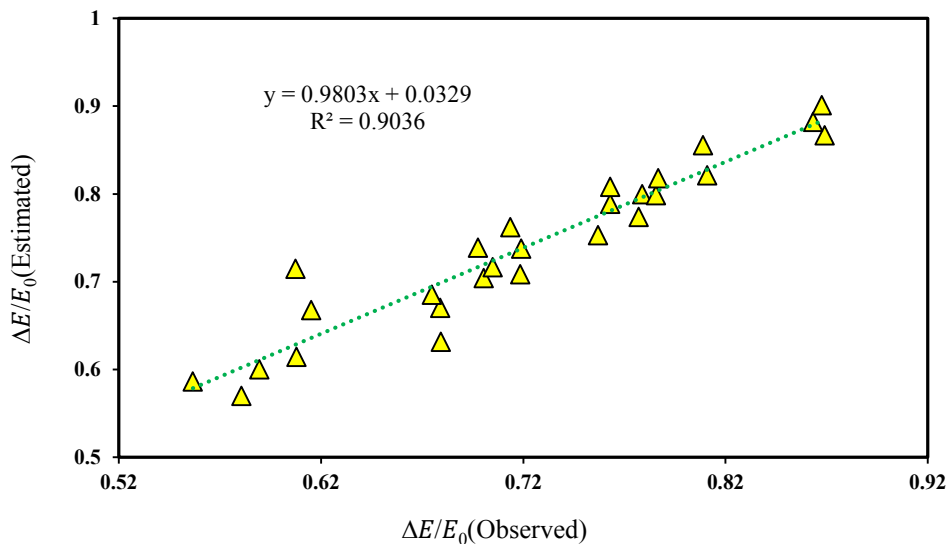
در مطالعه حاضر به بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی در پایین دست شیب شکن های مایل با بکارگیری صفحات مشبک پرداخته

و با افزایش عمق بحرانی نسبی پرش نوع B تشکیل میگردد، بر همین اساس در این نوع صفحه مشبک سهم پرش و سازه شیب شکن کمتر از صفحه مشبک ۵۰ درصد بوده و سهم صفحه مشبک در استهلاک انرژی بیشتر از صفحه مشبک ۵۰ درصد میباشد.

در جدول ۲ پارامترهای آماری مجموعه دادهها برای دوره آموزش و آزمون نشان داده شده است.

تابع تانژانت هیپربولیک متداول ترین شکل از توابع محرک شبکه پرسپترون چندلایه است، که در این تحقیق از آن برای ساخت لایه خروجی شبکههای عصبی مصنوعی استفاده گردید. آموزش شبکه های پرسپترون چند لایه با استفاده از الگوریتم آموزش پس انتشار خطا بنام الگوریتم لوبنبرگ مارکوارت به دلیل همگرایی سریع تر در آموزش شبکه، استفاده شد. جهت مدل سازی  $(\Delta E/E_0)$ ، شبکه ی عصبی دارای ۳ نرون در لایه ورودی  $(P, \theta)$  و  $(y_c / \Delta z)$  و یک نرون در لایه خروجی  $(\Delta E/E_0)$ ، مدل های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفتند که در نهایت ۴ نرون در لایه پنهان با مقادیر  $R^2$  و RMSE به ترتیب برابر  $0/992$  و  $0/008$  از قابلیت بالایی در تخمین استهلاک انرژی نسبی به دست آمد.

در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ پراکندگی داده ها برای دوره آزمون به ترتیب با استفاده از مدل عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS)، مدل



شکل ۸. مقایسه نمودار پراکندگی داده ها برای دوره آزمون معادله ۱۳

Fig. 8. Comparison of data scattering diagram for model test period (Eq. (13))

جدول ۳. نتایج مدل ANFIS، ANN و معادله ۱۳ برای دوره آموزش و آزمون

Table 3. Results of ANN, ANFIS and equation 13 for training and test period

	داده‌های آموزش		داده‌های آزمون	
	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE
ANN	۰/۹۹۲۵	۰/۰۰۸	۰/۹۸۹	۰/۰۰۸۴
ANFIS	۰/۹۹۶۶	۰/۰۰۶	۰/۹۹۱	۰/۰۰۶۹
Equ. 13	۰/۹۰۳۶	۰/۱۹۵	۰/۸۹۳	۰/۲۰۳

از دقت بهتری در تخمین  $(\Delta E/E_0)$  برخوردار میباشند. ولی مدل عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS) نسبت به شبکه عصبی مصنوعی (ANN) با  $R^2$  و RMSE به ترتیب برابر ۰/۹۹۶ و ۰/۰۰۶ برای (ANFIS) و ۰/۹۹۲ و ۰/۰۰۸ برای مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) از دقت بالایی برخوردار میباشد و در نهایت با در نظر گرفتن داده های آزمایشگاهی برای محاسبه استهلاک انرژی در پایین دست شیب شکن های مایل مجهز به صفحات مشبک قائم و شیب شکن های مایل ساده روابطی ارائه گردید.

۵- فهرست علائم

انرژی در بالادست صفحات مشبک	$E_0$
شتاب گرانش زمین	$g$
نسبت تخلخل صفحه مشبک	$P$
دبی واحد عرض	$q$
ضخامت صفحات مشبک	$t$
عمق بالادست شیب شکن	$y_0$
عمق بحرانی	$y_c$
عمق لبه شیب شکن	$y_b$
عمق اولیه پرش هیدرولیکی	$y_1$
عمق قبل از صفحه مشبک	$y_2$
عمق پایین دست صفحه مشبک	$y_d$
ارتفاع شیب شکن	$\Delta z$
جرم مخصوص آب	$\rho$
لزجت دینامیکی	$\mu$
زاویه شیب شیب شکن	$\theta$

شد. برای این منظور از دو ارتفاع ۰/۱۵ و ۰/۲۵ متر و سه زاویه ۴۰، ۳۳/۷ و ۲۶/۵۶ درجه برای شیب شکن و دو نسبت تخلخل ۴۰ و ۵۰ درصد برای صفحه مشبک استفاده شده است. در مجموع ۱۴۰ آزمایش در محدوده دبی ۲۰۰-۷۰۰ لیتر بر دقیقه در آزمایشگاه اجرا شد.

براساس نتایج آزمایشگاهی بدست آمده، در یک دبی ثابت با افزایش ارتفاع شیب شکن و افزایش زاویه سطح شیبدار، استهلاک انرژی افزایش می یابد. همچنین با مقایسه شیب شکن مایل مجهز به صفحات مشبک قائم و شیب شکن مایل ساده مطالعه حاضر نیز میتوان دریافت که حضور صفحات مشبک باعث افزایش چشمگیر استهلاک انرژی در هر سه زاویه شیب شکن مایل شده است. صفحات مشبک استفاده شده در شیب شکن های مایل استهلاک انرژی کل جریان را نسبت به شیب شکن مایل ساده در نسبت تخلخل ۴۰ درصد برای زاویه های ۳۳/۷، ۲۶/۵۶ و ۴۵ درجه به ترتیب ۹/۸۹، ۷/۱۹ و ۵/۰۷ برابر افزایش داد. همچنین در نسبت تخلخل ۵۰ درصد برای زاویه های آورده شده به ترتیب ۱۰/۰۳، ۷/۳۶ و ۵/۲۳ برابر افزایش میدهد. با افزایش ارتفاع شیب شکن مایل مجهز به صفحات مشبک قائم در تخلخل ۵۰ درصدی نسبت به تخلخل ۴۰ درصدی، سهم استهلاک انرژی شیب شکن و پرش هیدرولیکی افزایش و سهم صفحه مشبک کاهش می یابد.

و در ادامه از دو مدل هوشمند مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مدل عصبی- فازی تطبیقپذیر (ANFIS) در تخمین استهلاک انرژی نسبی  $(\Delta E/E_0)$  با استفاده از ۳ پارامتر  $\theta$ ،  $P$  و  $\Delta z$  استفاده شده است. سپس مقادیر تخمینی  $(\Delta E/E_0)$  با مدل های مذکور با استفاده از معیارهای ارزیابی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که هر دو مدل هوشمند

Engineering, 126(4) (2000) 310-312.

۶- مراجع

- [12] P. Cakir, Experimental investigation of energy dissipation through screens Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2003.
- [13] G. Balkis, Experimental investigation of energy dissipation through inclined screens Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2004.
- [14] V. Aslankara, Experimental investigation of tailwater effect on the energy dissipation through screens, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2007.
- [15] S. Sadeghfam, A.A. Akhtari, R. Daneshfaraz, G. Tayfur, Experimental investigation of screens as energy dissipaters in submerged hydraulic jump, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 38(2) (2015) 126-138.
- [16] R. Daneshfaraz, S. Sadeghfam, A. Rezazadeh Joudi, Experimental investigation on the effect of screen's location on the flow's energy dissipation, Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 17(67) (2017) 47-62.
- [17] R. Daneshfaraz, S. Sadeghfam, A. Ghahramanzadeh, Three-dimensional numerical investigation of flow through screens as energy dissipaters, Canadian Journal of Civil Engineering, 44(10) (2017) 850-859.
- [18] M. Rezaie, A. Qhaderi, R. Daneshfaraz, Experimental Investigation of Clay and Nano-Clay Montmorillonite Effect on Scour Reduction at Downstream of Screen, Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 19(73) (2019) 1-16.
- [19] R. Norouzi, R. Daneshfaraz, A. Ghaderi, Investigation of discharge coefficient of trapezoidal labyrinth weirs using artificial neural networks and support vector machines, Applied Water Science, 9(7) (2019) 148.
- [20] S. Sadeghfam, R. Daneshfaraz, R. Khatibi, O. Minaei, Experimental studies on scour of supercritical flow jets in upstream of screens and modelling scouring dimensions
- [1] I.I. Esen, J.M. Alhumoud, K.A. Hannan, Energy Loss at a Drop Structure with a Step at the Base, Journal of Water international, 29(4) (2004) 523-529.
- [2] Y.M. Hong, H.S. Huang, S. Wan, Drop characteristics of free-falling nappe for aerated straight-drop spillway, Journal of Hydraulic Research, 48(1) (2010) 125-129.
- [3] A.R. Kabiri-Samani, E. Bakhshian, M.R. Chamani, Flow characteristics of grid drop-type, dissipaters, Journal of Flow Measurement and Instrumentation, 54(298-306) (2017).
- [4] R. Daneshfaraz, S. Sadeghfam, V. Hasannia, Experimental investigating effect of Froude number on hydraulic parameters of vertical drop with supercritical flow upstream, Amirkabir Journal of Civil Engineering, (2019).
- [5] C.E. Kindsvater, The hydraulic jump in sloping channels, Transactions ASCE, 1944.
- [6] W.E. Wagner, Hydraulic Model Studies of the Check Intake Structure-Potholes East Canal, 1956.
- [7] A.J. Peterka, Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters engineering monograph, US Bureau of Reclamation, Denver Colorado, 1958.
- [8] A. Ohtsu, Y. Yasuda, Hydraulic jump in sloping channels, Journal of Hydraulic Engineering, 11(7) (1991) 905-921.
- [9] M. Sholichin, S. Akib, Development of drop number performance for estimate hydraulic jump on vertical and sloped drop structure, International Journal of Physical Sciences, 5(11) (2010) 1678-1687.
- [10] A. Moradi Sabz Koochi, S.M. Kashefipour, M. Bina, Experimental Comparison of Energy Dissipation on Drop Structures, JWSS-Isfahan University of Technology, 15(56) (2011) 209-223.
- [11] N. Rajaratnam, K.I. Hurtig, Screen-type energy dissipator for hydraulic structures, Journal of Hydraulic

- [24] E.H. Mamdani, Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic system, *Journal of Fuzzy Sets and Systems* 26 (1997) 1182 -1191.
- [25] A. Tilmant, P. Fortemps, M. Vanclooster, Effect of averaging operator in fuzzy optimization of reservoir operation, *Journal of Water Resources Management* 16 (2002) 1-22.
- [26] N. Rajaratnam, *Turbulent jets* Elsevier, 1976
- using artificial intelligence to combine multiple models (AIMM), *Journal of Hydroinformatics*, (2019).
- [21] B.A. Bakhmeteff, *Hydraulics of open channels* 1932.
- [22] M.A. Ghorbani, R. Khatibi, B. Hosseini, M. Bilgili, Relative importance of parameters affecting wind speed prediction using artificial neural networks, *Journal of Theor Appl Climatol* 114(1) (2013).
- [23] H. Tabari, S. Marofi, A. Savziparvar, Estimation of daily pan evaporation using artificial neural networks, *Journal of Irrigation Science*, 16(1) (2010) 47-59.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

R. Norouzi, R. Daneshfaraz, A. Bazyar, *The Study of Energy Dissipation Due to the Use of Vertical Screen in the Downstream of Inclined Drops by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(3) (2021) 921-934.

DOI: [10.22060/ceej.2019.16694.6305](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.16694.6305)

