



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Effect of Angle and Geometric Shape of Block on Flow Energy Dissipation in Baffled Chute

Rasoul Daneshfaraz^{1*}, Amir Ghaderi² and Alireza Bagheri³

¹Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran

²PhD Alumni, Department of Water and Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

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

Paper information

Received: May 02, 2022

Revised: July 16, 2022

Accepted: July 18, 2022

Keywords:

Angle of Chute

Baffled Chute

Energy Dissipation

Shape of Block

*Corresponding author:
daneshfaraz@maragheh.ac.ir



Abstract

Controlling the excess flow energy when using the inclined chute to transfer water is always one of the important hydraulic issues. In the present study, the effect of determining how the shape of the blocks and the longitudinal distance between them affects the energy dissipation under various angles of chutes was evaluated experimentally. The experiments were carried out on three chutes with angles of 20, 23, and 26.6 degrees, five different geometric shapes of blocks, and three different longitudinal distances of 1.5H, 2H, and 2.5H (H is block height). The results indicated that the energy dissipation rate on smooth chute models was between 21.38 to 66%. The baffles on the chute create the flow resistance, and the difference between the energy dissipation rate in baffled chute models compared to smooth chutes is between 21 and 61%. By increasing the angle of the chute from 20 to 26.6 degrees, the energy dissipation on smooth and baffled chutes decreases by 22 and 6%, respectively. Increasing the longitudinal distance between the blocks reduces energy dissipation in all models. For the superior model, a 66% increase in the longitudinal distance between the blocks decreases the energy dissipation rate by 10%.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access paper distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Inclined chutes are constructed with or without blocks. It is critical to reduce the energy flow downstream of inclined chutes to avoid erosion and the formation of a pit in the downstream channel. If a major part of the energy is consumed during the over chute and before reaching the downstream river, it will reduce the dimensions of the downstream stilling basin or

even eliminate them. Even though a lot of research has been done on inclined chutes and the necessity of using these types of structures in irrigation and drainage channels is clear to researchers, little attention has been paid to the geometric and hydraulic parameters affecting the performance of these structures. Therefore, the main object of this research is to investigate the influence of the chute angle and different longitudinal distances between the rows of



baffled blocks in different geometric shapes on the energy dissipation of the flow over a baffled chute. In this research, the factors that affect the amount of energy used by the flow over the baffled chute were also found and evaluated.

Material and Methods

The laboratory tests were performed in a rectangular flume of 1.2 m in width, 0.8 m in depth, and 12 m in length at the hydraulics laboratory of Maragheh University. The flume

had glass walls to improve flow visibility and reduce friction (Fig. 1). Flow in the flume was supplied by a pump with a maximum capacity of 55 l/s and was pumped into the flume's head tank. An ultrasonic flow meter with a precision of ± 1 l/s was used on the transmission pipe to measure the discharge. Two screen plates were used for flow relaxation, and also one floating Styrofoam plate fixed along with the flow was used to reduce water level fluctuations.

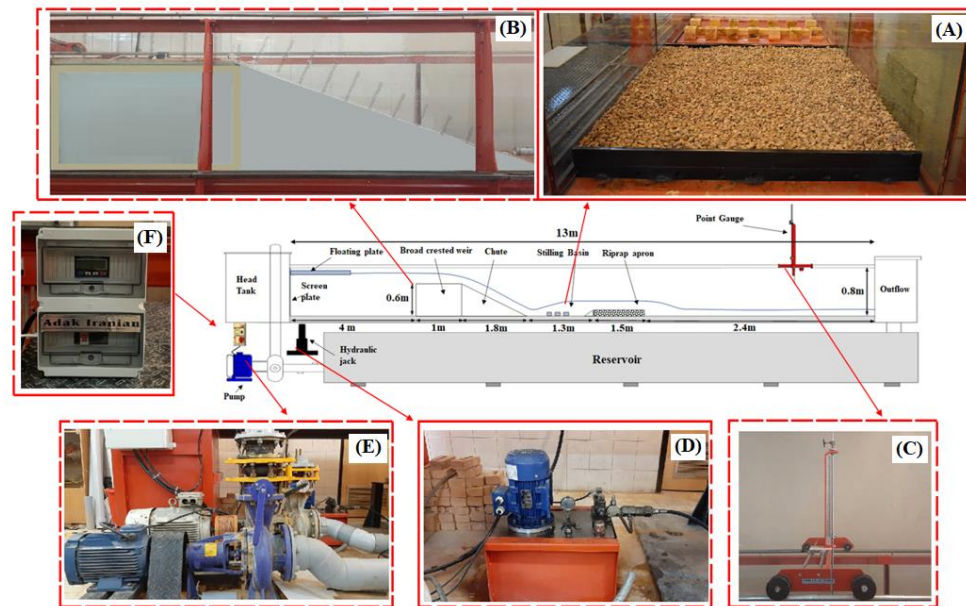


Fig. 1 Schematic view of the experimental setup: a) Riprap apron, b) Chute, c) Point gauge, d) Hydraulic jack, e) Pump and f) Flowmeter

The flow depth was determined by a pointer gauge with an accuracy of ± 1 mm. The flow depths were measured at a distance of 2 m from the upstream of the chute and after a hydraulic jump into the stilling basin. The experiments were carried out on three chutes with angles of 20, 23, and 26.6 degrees; five different geometric

shapes of blocks; and three different longitudinal distances of 1.5H, 2H, and 2.5H (H block height). A total of 322 tests in different hydraulic condition were examined. The hydraulic characteristics of the flow in the experiments of this research are presented in Table 1.

Table 1 Parameters of models investigated in the present study

Model number	Chute slope, θ (°)	Discharge, Q (l/s)	Critical depth, y_c (m)	Upstream depth, H_1 (m)	Froude Number, Fr (-)	Longitudinal Distances of Blocks S_1 (m)	Transverse Distances of Blocks, S_w (m)
M1	20-23-26.6	25.2-52.8	0.028-0.049	0.061-0.103	3.1-10.6	0.135, 0.18, 0.225	0.108
M2	20-23-26.6	25-53	0.028-0.05	0.062-0.105	3.15-10.7	0.135, 0.18, 0.225	0.108
M3	20-23-26.6	25.1-53	0.028-0.05	0.06-0.103	3.12-10.6	0.135, 0.18, 0.225	0.108
M4	20-23-26.6	25.15-53.1	0.028-0.25	0.061-0.105	3.14-10.5	0.135, 0.18, 0.225	0.108
M5	20-23-26.6	25.2-52.9	0.028-0.05	0.06-0.103	3.15-10.8	0.135, 0.18, 0.225	0.108

Results

In Fig. 2, the variation in energy dissipation for chute models at three different chute angles is presented. It can be seen that in all models, the energy dissipation increases with the increase in the H_{dam}/y_c ratio. In other words, the energy dissipation on the smooth chute models is higher at low flow rates (low y_c). In addition, with the

increase in the chute angle, the energy dissipation increases at a higher rate. The energy dissipation varies between 21.38 and 66%. Fig. 2 shows the variation in energy dissipation in terms of the dimensionless ratio of L/y_c . It can be seen that with the increase in the length of the chute, the flow velocity and its flow energy increase, and due to the greater contact surface of the

water with the bed of the chute, the energy dissipation increases.

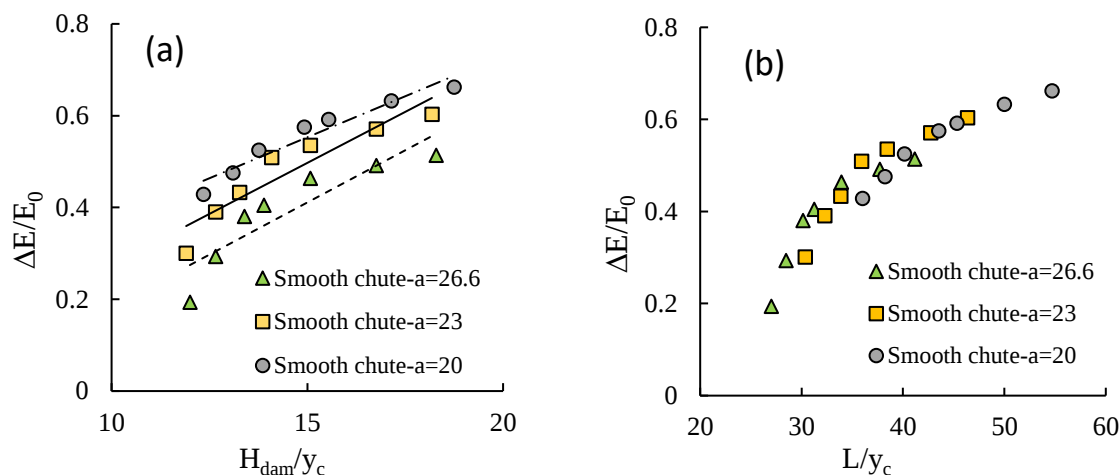


Fig. 2 Variation of energy dissipation on smooth: a) versus H_{dam}/y_c ; b) versus L/y_c

The effect of the longitudinal distances of the blocks in the chute on the energy dissipation is shown in Fig. 3. It can be seen that by increasing the distance between the blocks in the longitudinal direction, the energy dissipation decreases for all models. As an

example, for the chute with an angle of 26.6° and the M2 and M4 models, by increasing the longitudinal distance of the blocks from $1.5H$ to $2.5H$ (H is the height of the block) by 66%, the dissipation decreases by 10 and 7%, respectively.

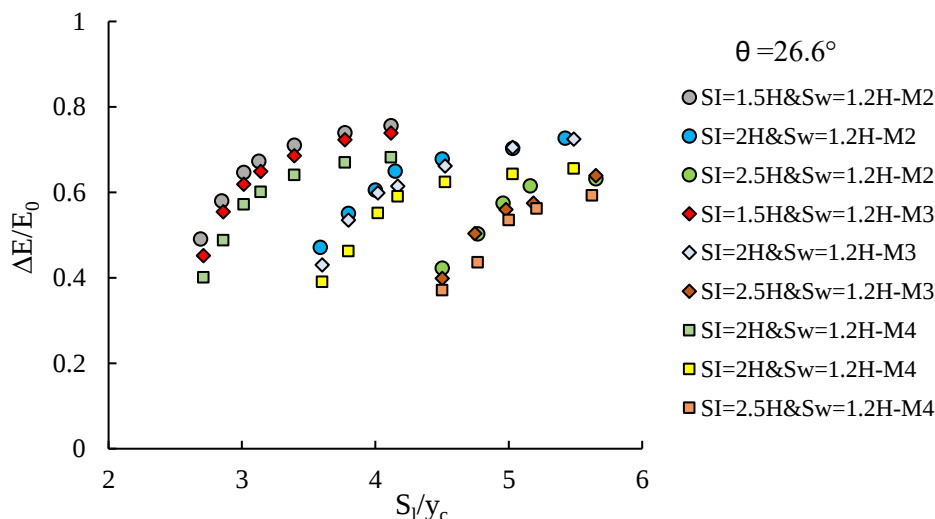


Fig. 3 Comparison of energy dissipation on baffled chute at different longitudinal distances and angle of chutes

Conclusions

In this study, the effects of the angle of the chute and the different geometric shapes of the blocks on the chute at different longitudinal distances of the blocks were studied and compared with the smooth chute. The results indicate that the energy dissipation rate on smooth chute models was between 21 and 66%. The baffles on the chute create the flow resistance, and the difference between the energy dissipation rate in baffled chute models compared to smooth chutes is between 21 and 61%. By increasing the angle of the chute from 20 to 26.6° degrees, the energy dissipation on smooth and baffled chutes decreases by 22 and 6%, respectively. Increasing

the longitudinal distance between the blocks reduces energy dissipation in all models. For the superior model, a 66% increase in the longitudinal distance between the blocks decreases the energy dissipation rate by 10%.

Data Availability

All relevant data are included in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

اثر زاویه و شکل هندسی بلوک های شوت مانع دار بر میزان استهلاک انرژی جریان

رسول دانشفراز^{۱*}، امیر قادری^۲ و علیرضا باقری^۳

^۱استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
^۲آدنش آموخته دکتری، گروه آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه زنجان، ایران
^۳دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۲/۱۲]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۴/۲۵]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۴/۲۷]

واژه های کلیدی:

استهلاک انرژی

شوت مانع دار

شکل بلوک

زاویه شوت

*نویسنده مسئول:

daneshfaraz@maragheh.ac.ir



کنترل انرژی اضافی جریان هنگام استفاده از شوت مایل برای انتقال آب از مسائل مهم هیدرولیکی است. در پژوهش حاضر، تأثیر شکل هندسی بلوک ها و فواصل طولی اجرا شده بر روی شوت در زوایای مختلف بر میزان استهلاک انرژی جریان عبوری ارزیابی شد. آزمایش ها بر روی سه شوت با زوایای ۲۰، ۲۳ و ۲۶/۶° و با پنج شکل هندسی مختلف از بلوک ها و در سه فواصل طولی مختلف $H/5$ ، $2H/5$ و H (ارتفاع بلوک) نسبت به هم در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که میزان استهلاک انرژی بر روی مدل های شوت بدون مانع بین ۲۱/۳۸ تا ۶۶/۲۲٪ است. ایجاد بلوک بر روی شوت باعث ایجاد سطح مقاومتی در برابر جریان شده و اختلاف بین نرخ استهلاک انرژی در مدل های شوت با مانع نسبت به شوت بدون مانع، بین ۲۱ تا ۶۱٪ است. با افزایش زاویه شوت از ۲۰° تا ۲۶/۶°، میزان استهلاک انرژی جریان در شوت بدون مانع و شوت مانع دار به ترتیب ۲۲ و ۶٪ کاهش می یابد. افزایش فاصله طولی بین بلوک ها، باعث کاهش استهلاک انرژی در تمامی مدل ها می شود. برای مدل برتر، افزایش ۶۶٪ در فاصله طولی بین بلوک ها باعث کاهش ۱۰٪ در میزان استهلاک انرژی می شود.

۱- مقدمه

بخش عمده ای از انرژی در طول شوت سرریز و قبل از رسیدن به پنجه سرریز و رودخانه پایین دست آن، مستهلک شود، سبب کاهش ابعاد مستهلک کننده های پایین دست و یا حتی حذف آن ها را موجب خواهد شد. در نتیجه این اقدامات سبب کاهش مسائل فنی از جمله طراحی و هزینه های اقتصادی می شود (Kaya and Emiroglu 2010). به طور کلی سازه های مستهلک کننده انرژی به دو دسته کلی

شیب شکن های مایل یا شوت های مایل در مواقعی که شیب زمین از شیب کانال بیشتر باشد مورد استفاده قرار می گیرند. این سازه ها برای اختلاف سطح بستر تا ارتفاع ۵ m کاربرد دارند. شوت های مایل اکثراً با کف مانع دار و بدون مانع دار اجرا می شوند. کاهش انرژی جریان در پایین دست شوت های مایل برای پیش گیری از فرسایش و ایجاد گودال در کانال پایین دست از اهمیت بسزایی برخوردار است. در صورتی که



ویژگی‌های هوادهی بر روی شوت‌های مانع‌دار باشند. Dursun et al. (2016) با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی، روابطی را برای پیش‌بینی طول نقطه شروع هوادهی بر روی شوت‌های مانع‌دار ارائه دادند. نتایج آنان نشان داد که ناحیه هوادهی بر روی شوت مانع‌دار نسبت به سرریز پلکانی بزرگ‌تر بوده و اختلاط آب و هوا بیش‌تری اتفاق می‌افتد. (Brown and Crowley 2018) به بررسی عددی جریان عبوری از شوت مانع‌دار بر اساس توصیه‌های طراحی USBR پرداختند. نتایج عددی آنان نشان داد که تطابق خوبی بین نتایج تئوری ارائه شده در توصیه‌های طراحی USBR¹ دارد و مدل عددی می‌تواند جریان عبوری از شوت‌های مانع‌دار را به‌خوبی شبیه‌سازی و پارامترهای تأثیرگذار بر طراحی این نوع از سازه‌های مستهلک‌کننده انرژی را مورد ارزیابی قرار دهد. Sarkamaryan and Ghomeshi (2019) با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی تأثیر المان‌های مستغرق بر روی تندآب بر روی میزان استهلاک انرژی جریان عبوری پرداختند. با بررسی نتایج مدل‌های همراه با مانع و مقایسه آن‌ها نسبت به مدل‌های بدون مانع، مشاهده کردند که میزان استهلاک انرژی تا ۴۴٪ افزایش می‌یابد. با کاهش شیب تندآب، میزان افت انرژی نسبی افزایش و روند کاهش افت انرژی با شیب کمتری اتفاق می‌افتد.

Nugroho et al. (2019) با تغییر در محل بلوک‌ها در راستای طولی شوت، مقدار استهلاک انرژی جریان را نسبت به شوت بدون مانع بررسی و مقایسه کردند. نتایج آنان نشان داد که ایجاد مانع بر روی شوت، باعث ایجاد آشفتگی جریان در طول شوت می‌شود. بیش‌ترین استهلاک انرژی زمانی اتفاق می‌افتد که عمق جریان برابر با ارتفاع بلوک‌ها باشد. در این حالت میزان استهلاک انرژی در حدود ۳۰ الی ۵۰٪ است. (Rafiei et al. 2020) عوامل مؤثر بر میزان استهلاک انرژی جریان عبوری از شوت‌های مانع‌دار را به کمک نرم‌افزار FLOW-3D بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش فاصله بین بلوک‌ها، میزان استهلاک انرژی جریان کاهش می‌یابد. در شیب یکسان و سایر ابعاد مشابه، افزایش طول شوت به میزان سه برابر، افزایش استهلاک ۲۱/۴٪ را به دنبال دارد و روند استهلاک انرژی با افزایش شیب شوت کاهش می‌یابد. همچنین افزایش ارتفاع بلوک‌ها در افزایش

مستهلاک‌کننده‌های نوع پرش هیدرولیکی و مستهلک‌کننده‌های نوع ضربه‌ای تقسیم می‌شوند (Katourani and Kashefipour 2014). مستهلک‌کننده‌های نوع ضربه‌ای آب را به مانع‌هایی هدایت می‌کنند که باعث انحراف جریان از مسیر مستقیم خود شده و با ایجاد سطوح بالایی از آشفتگی در جریان باعث استهلاک انرژی جریان می‌شود. یکی از مستهلک‌کننده‌های نوع ضربه‌ای استفاده از شوت‌های مانع‌دار است که کاربرد نسبتاً زیادی در شبکه‌های زهکشی روباز دارند (Rafiei et al. 2020).

پژوهش‌های مختلفی در این سال‌ها بر روی عملکرد هیدرولیکی شوت‌های مانع‌دار انجام و پیشنهادهایی ارائه شده است. (Kaya and Emiroglu 2010) میزان هوادهی ایجاد شده ناشی از برخورد جریان با بلوک‌های تعبیه‌شده بر روی شوت را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که افزایش ارتفاع بلوک‌ها، یکی از پارامترهای مهم در میزان هوادهی جریان می‌باشد. خطر پدیده کاویتاسیون بر روی شوت‌های مانع‌دار، به علت ایجاد ناحیه گسترده‌ای از اختلاط آب و هوا، وجود ندارد. (Rahmanshahi Zahabi and Shafai Bejestan 2012) تأثیر ایجاد زبری بر روی بستر تندآب در ارتفاع مختلف را بر روی استهلاک انرژی جریان بررسی کردند. نتایج آزمایش‌های آنان نشان داد که با وجود زبری بستر تندآب، میزان استهلاک انرژی ۱۲ تا ۴۸٪ نسبت به مدل با بستر صاف افزایش می‌یابد. (Katourani and Kashefipour 2012) تأثیر ابعاد بلوک‌ها ایجاد شده بر روی کف شوت در میزان استهلاک انرژی جریان را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش عرض بلوک‌ها میزان استهلاک انرژی افزایش می‌یابد. همچنین بیش‌ترین استهلاک انرژی جریان در شوت با شیب کم اتفاق می‌افتد. (Jam et al. 2014) مقایسه عملکرد شوت‌های همراه با بلوک‌های دندانه‌ای با سرریز پلکانی در میزان استهلاک انرژی جریان پرداختند. آنان مشاهده کردند که استفاده از بلوک‌های دندانه‌ای بر روی شوت باعث افزایش ۲۱٪ میزان راندمان استهلاک انرژی نسبت به سرریز پلکانی می‌شود.

(Gerger et al. 2017) با استفاده از چند مدل پیشرفته محاسبات نرم، طول نقطه شروع هوادهی بر روی شوت‌های همراه با بلوک در اشکال مختلف با داده‌های آزمایشگاهی تخمین زدند. نتایج آنان نشان داد که تقریباً اکثر مدل‌های محاسبات نرم می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد در پیش‌بینی

¹United States Bureau of Reclamation

آبیاری و زهکشی برای محققین واضح است، اما توجه کمی به پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر عملکرد این نوع از سازه‌ها انجام شده است. بنابراین، هدف این پژوهش بررسی آزمایشگاهی تأثیر زاویه شوت و فواصل مختلف طولی بین ردیف‌های موانع در اشکال هندسی مختلفی از بلوک‌های بکار رفته بر میزان استهلاك انرژی جریان عبوری از شوت‌های مانع‌دار است. همچنین عوامل مؤثر بر روی میزان استهلاك انرژی جریان عبوری از شوت مانع‌دار در این تحقیق شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آنالیز ابعادی

به‌منظور دستیابی به اهداف تحقیق، ابتدا به شناخت پارامترهای مؤثر بر استهلاك انرژی جریان در پایین‌دست شوت مانع‌دار اقدام نموده و با تجزیه و تحلیل ابعادی رابطه کلی، شامل پارامترهای بدون بعد استخراج شد. پارامترهای مؤثر در این آزمایش‌ها در رابطه (۱) ارائه شده است (Ghaderi and Abbasi, 2021a):

$$f_1\left(\frac{\Delta E}{E_0}, q, y_c, H_{dam}, L, H, S_l, S_w, \theta, \sigma, \rho, \mu, g\right) = 0 \quad (1)$$

که $\Delta E/E_0$ افت نسبی انرژی، q دبی در واحد عرض جریان، شوت، y_c عمق بحرانی، H_{dam} ارتفاع شوت، L طول شوت، H ارتفاع بلوک، S_l فاصله طولی بلوک‌ها، S_w فاصله عرضی بلوک، θ زاویه شوت، σ کشش سطحی، ρ چگالی آب، μ لزجت دینامیکی و g شتاب گرانش زمین می‌باشد. با روش پی-باکینگهام تحلیل ابعادی صورت گرفت و رابطه بدون بعد (۲)، حاصل شد:

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = f_2\left(\frac{H_{dam}}{y_c}, \frac{L}{y_c}, \frac{H}{y_c}, \frac{S_l}{y_c}, \frac{S_w}{y_c}, Fr, Re, We, \theta\right) = 0 \quad (2)$$

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = f_3\left(\frac{H_{dam}}{y_c}, \frac{L}{y_c}, \frac{S_l}{y_c}, Fr, \theta\right) \quad (3)$$

۲-۲- مدل‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی

کلیدیه مراحل انجام این آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه انجام شد. آزمایش‌ها در کانال آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی به طول ۱۲، عرض ۱/۲، ارتفاع ۰/۸ m و با کف فلزی و دیواره‌هایی از جنس شیشه به ضخامت ۱ cm انجام شد. اندازه-گیری دبی جریان ورودی کانال توسط دبی-سنج التراسونیک با دقت ۰/۰۱ l/s که بر روی لوله ورودی

میزان استهلاك انرژی مؤثر است. (Rahmanshahi and Shafai Bejestan (2020 کاربرد استفاده از دو مدل ریاضی در پیش‌بینی پارامترهای هیدرولیکی جریان عبوری از شوت همراه با زبری مصنوعی را بررسی کردند. نتایج آنان حاکی از موفقیت این دو مدل در پیش‌بینی رفتار جریان عبوری از شوت همراه با زبری بود. به‌طوریکه با افزایش تراکم زبری و افزایش شیب شوت، میزان استهلاك انرژی جریان افزایش می‌یابد. Daneshfaraz et al. (2021a) اثر ایجاد المان‌های ایجاد شده بر روی شیب‌شکن مایل را بر مشخصات هیدرولیکی جریان عبوری از آن بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که ایجاد المان بر روی شیب‌شکن مایل تا ۸۸٪ باعث افزایش استهلاك انرژی جریان عبوری می‌گردد. همچنین با افزایش عمق نسبی بحرانی، عمق پایاب و طول پرش‌هیدرولیکی در پایین‌دست شیب‌شکن مایل همراه با المان افزایش می‌یابد. Daneshfaraz et al. (2021b) به ارزیابی پارامترهای هندسی بلوک‌های تعبیه شده بر روی شیب‌شکن مایل بر روی میزان استهلاك انرژی جریان پرداختند. نتایج نشان داد که تعبیه بلوک‌هایی مثلثی، استوانه‌ای و خفافی شکل بر روی شیب شیب‌شکن به ترتیب ۶۵، ۷۶ و ۸۵٪ انرژی جریان را مستهلک می‌نمایند.

با بررسی کاربرد و نتایج گذشته انجام شده بر روی شوت‌ها، می‌توان گفت یکی از معایب شوت‌ها یا شیب‌شکن‌های مایل، افزایش انرژی جنبشی در پایین‌دست آن‌ها می‌باشد. لذا ایجاد بلوک بر روی کف این نوع از سازه‌ها می‌تواند عملکرد آن‌ها را در برابر افزایش میزان استهلاك انرژی بهبود بخشد. با آنکه تحقیقات زیادی بر روی شوت‌ها و شیب‌شکن‌های مایل صورت گرفته و ضرورت کاربرد این نوع سازه‌ها در کانال‌های

با توجه به اینکه در پژوهش حاضر، ارتفاع بلوک‌ها و فاصله عرضی آن‌ها در راستای عرضی کانال ثابت می‌باشد، می‌توان از رابطه بالا حذف شوند. همچنین با توجه به اینکه ارتفاع آب بر روی لبه‌ی شوت در تمامی مدل‌ها بیش‌تر از ۴ cm می‌باشد، از تأثیر کشش سطحی و در نتیجه عدد وبر می‌توان صرف‌نظر کرد (Ghaderi et al. 2020). به دلیل ماهیت آشفته جریان از تأثیر لزجت نیز صرف‌نظر می‌شود (Daneshfaraz et al. 2021c, Daneshfaraz et al. 2021d). لذا رابطه (۲) به رابطه (۳) خلاصه می‌شود:

(توری) تعبیه شده در ابتدای فلوم استفاده شد. عمق جریان توسط عمق‌سنج نقطه‌ای با دقت 0.1 mm اندازه‌گیری شد (شکل ۱).

جریان به فلوم نصب شده بود، اندازه‌گیری شد. دبی مورد نیاز توسط پمپی با توان 55 l/s از مخزن اصلی به کانال هدایت می‌شود. برای جلوگیری از تلاطم جریان در مقطع ورودی به کانال از چند لایه صفحه مشبک



شکل ۱- طرح کلی از فلوم و مدل آزمایشگاهی: الف- حوضچه آرامش و باکس سنگریزه‌ای، ب- شوت، ج- عمق‌سنج، د- بالابر هیدرولیکی، ه- پمپ و ی- دبی‌سنج

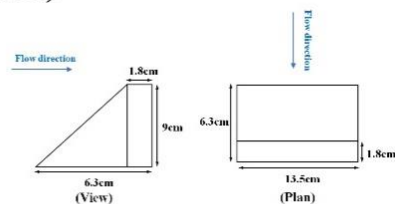
Fig. 1 Schematic view of the setup and the experimental model: a) Stilling Basin and Riprap apron, b) Chute c) Point gauge, d) Hydraulic jack, e) Pump and f) Flowmeter

آرامش از یک باکس سنگریزه‌ای به طول $1/5 \text{ m}$ طول و عرض $1/2 \text{ m}$ و با ضخامت 0.08 m پر شده از ذرات با قطر متوسط d_{50} برابر 0.25 m در نظر گرفته شد (Ghaderi and Abbasi 2021b). آزمایش‌ها در ۵ نوع از شکل بلوک و در سه فاصله طولی مختلف و با فاصله عرضی ثابت و براساس نسبتی از ارتفاع بلوک (H) انجام و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. در مجموع ۳۲۲ آزمایش مختلف با دبی‌های ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و 53 l/s ، میزان استهلاک انرژی جریان عبوری از شوت مانع‌دار مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۲) نمایی از مدل‌های بلوک تعبیه شده بر روی شوت و نحوه چیدمان آن‌ها را نشان می‌دهد. مشخصات هیدرولیکی جریان در آزمایش‌ها پژوهش حاضر در جدول (۱) ارائه شده است.

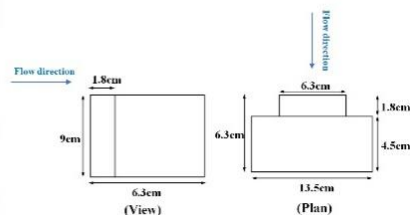
همه آزمایش‌ها با ساخت مدل‌های فیزیکی شوت در سه زاویه شوت ۲۳، ۲۶/۶° و ارتفاع ثابت 0.6 m و طول شوت به ترتیب $1/75$ ، $1/53$ و $1/34 \text{ m}$ ساخته شده از فوم فشرده نسبتاً سخت با ضخامت 0.15 m انجام شد. از یک سرریز لبه‌پهن به طول و ارتفاع به ترتیب 1 و 0.6 m و هم عرض کانال برای کنترل دبی استفاده شد (Ghaderi and Abbasi 2021a). در پایین‌دست مدل‌های شوت مانع‌دار، یک حوضچه آرامش تیپ III براساس معیارهای طراحی USBR و برای جریان ورودی با عدد فرود ۸ طراحی شد. از این‌رو حوضچه آرامش دارای $1/3 \text{ m}$ طول، $1/2 \text{ m}$ عرض و با سه ردیف بلوک‌های غیرممتد مکعبی شکل از جنس چوب به ارتفاع 0.45 m انجام شد. جهت جلوگیری از فرسایش در پایین‌دست حوضچه آرامش و ایجاد پرش در داخل حوضچه



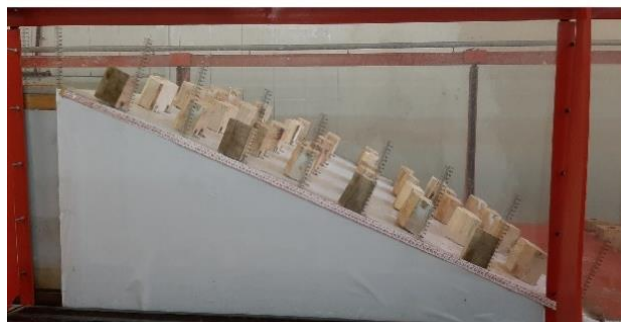
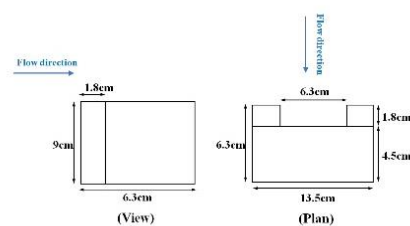
(M1)



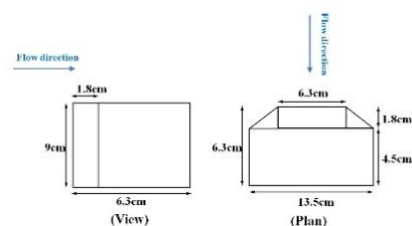
(M2)



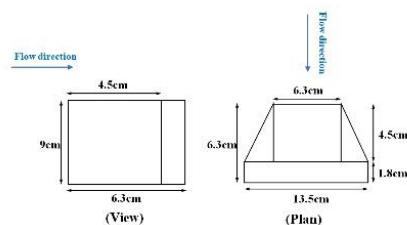
(M3)



(M4)



(M5)



شکل ۲- مدل‌های بلوک استفاده شده بر روی شوت پژوهش حاضر

Fig. 2 Models of blocks used in present study

جدول ۱- پارامترهای مدل‌های آزمایشگاهی بررسی شده در پژوهش حاضر

Table 2 Parameters of models investigated in the present study

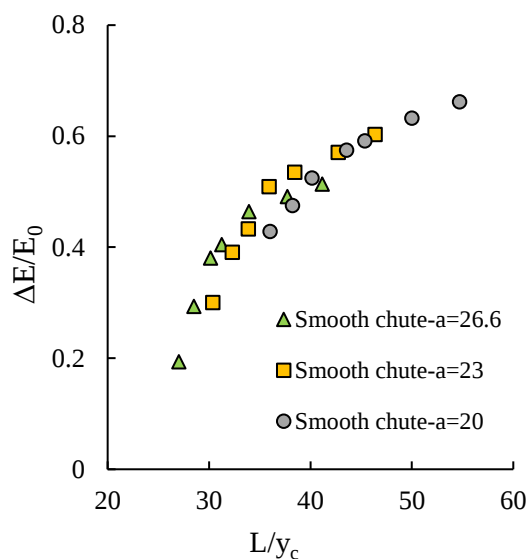
Model number	Chute slope, θ (°)	Discharge, Q (l/s)	Critical depth, y_c (m)	Upstream depth, H_1 (m)	Froude number, Fr (-)	Longitudinal distances of blocks, S_1 (m)	Transverse distances of blocks Sw (m)
M1	20-23-26.6	25.2-52.8	0.028-0.049	0.061-0.103	3.1-10.6	0.135, 0.18, 0.225	0.108
M2	20-23-26.6	25-53	0.028-0.05	0.062-0.105	3.15-10.7	0.135, 0.18, 0.225	0.108
M3	20-23-26.6	25.1-53	0.028-0.05	0.06-0.103	3.12-10.6	0.135, 0.18, 0.225	0.108
M4	20-23-26.6	25.15-53.1	0.028-0.25	0.061-0.105	3.14-10.5	0.135, 0.18, 0.225	0.108
M5	20-23-26.6	25.2-52.9	0.028-0.05	0.06-0.103	3.15-10.8	0.135, 0.18, 0.225	0.108

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- استهلاک انرژی مدل‌های شوت بدون مانع

در شکل (۳)، تغییرات استهلاک انرژی جریان برای مدل‌های شوت بدون مانع در سه زاویه شوت مختلف ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در تمامی مدل‌ها با افزایش نسبت H_{dam}/y_c میزان استهلاک انرژی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر میزان استهلاک انرژی بر روی مدل‌های شوت در دبی‌های کم (y_c کم) بیش‌تر است.

می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش طول شوت، سرعت جریان و انرژی آن افزایش یافته و در اثر سطح تماس بیشتر آب با بستر شوت، میزان استهلاک انرژی بیش‌تری شکل می‌گیرد.

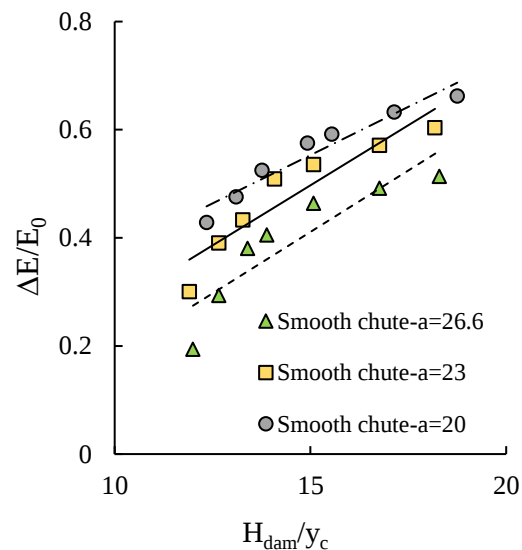


شکل ۴- تغییرات استهلاک انرژی جریان به ازای نسبت بدون بعد L/y_c

Fig. 4 Variation of energy dissipation on smooth versus L/y_c

۳-۲- استهلاک انرژی مدل‌های شوت مانع‌دار

در شکل (۵) تغییرات مقدار استهلاک انرژی در برابر نسبت y_c/H_{dam} برای مدل شوت صاف و مدل‌های شوت مانع‌دار در هر سه زاویه شوت مختلف ارائه شده است. مشاهده می‌شود در هر سه زاویه شوت، ایجاد بلوک بر روی شوت باعث افزایش مقدار استهلاک انرژی نسبت به شوت بدون مانع می‌گردد. در هر یک از زاویه شوت مشخص، با افزایش y_c که در واقع نشان‌دهنده افزایش دبی است، میزان استهلاک انرژی برای تمامی شکل‌های مختلف از بلوک‌ها کاهش می‌یابد. علت آن کاهش نیروی پسا^۱ کل که عاملی مقاوم در برابر جریان



شکل ۳- تغییرات استهلاک انرژی جریان در مدل‌های شوت بدون مانع در زاویه شوت مختلف

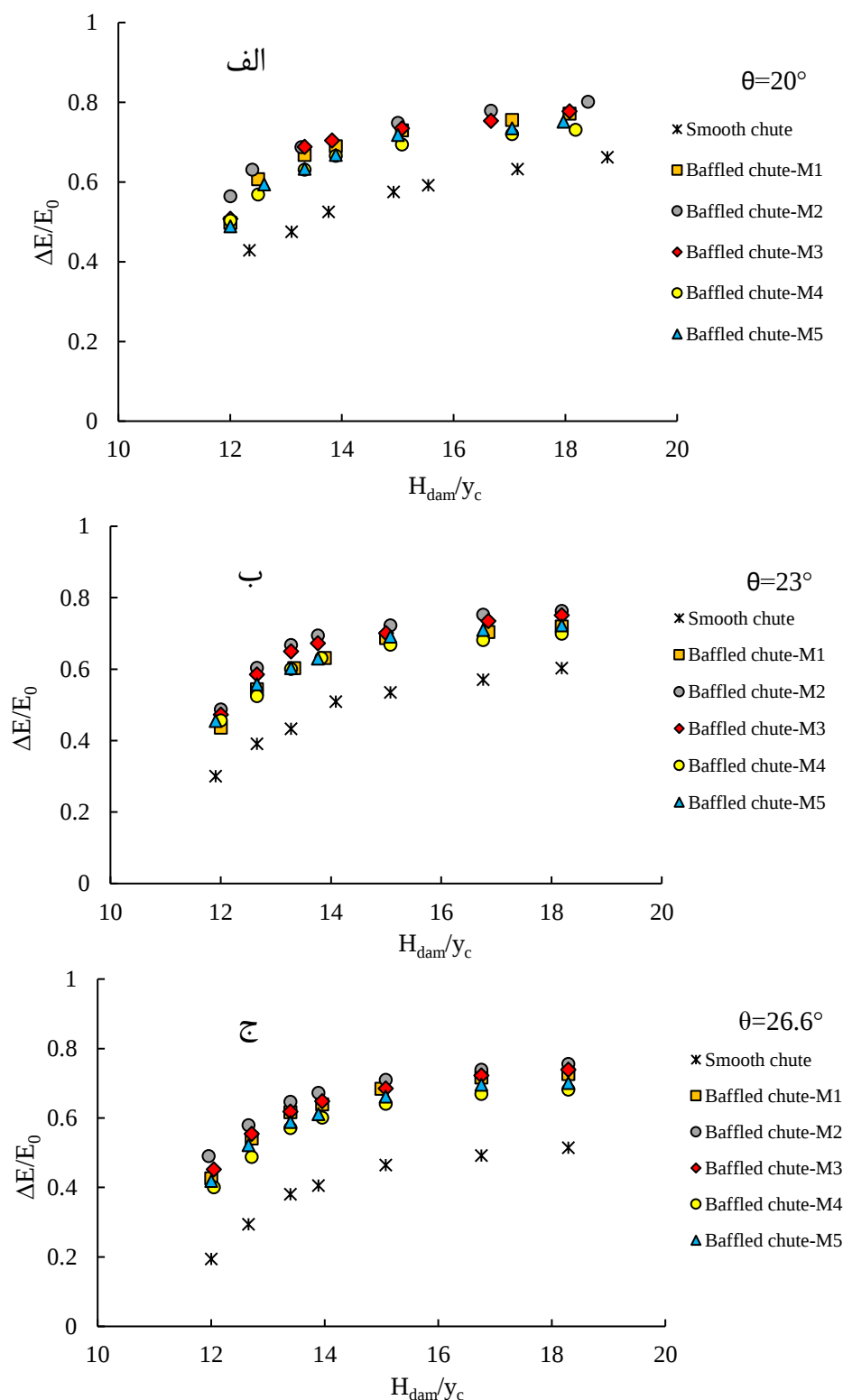
Fig. 3 Variation of energy dissipation on smooth at different angles

همچنین با افزایش زاویه شوت، روند افزایش استهلاک انرژی با آهنگ بیش‌تری اتفاق می‌افتد. در حالت کلی بر روی مدل‌های شوت بدون مانع، میزان استهلاک انرژی جریان نسبت به انرژی بالادست در محدوده دبی‌های مورد بررسی، بین ۲۱ تا ۶۶٪ متغیر است. در شکل (۴) تغییرات استهلاک انرژی جریان به ازای نسبت بی‌بعد طول نسبی شوت (L/y_c) نشان

¹Drag

شوت ۲۰، ۲۳ و ۲۶/۶ به طور میانگین به ترتیب ۲۹/۴، ۲۱/۶ و ۴۱/۵٪ و مدل M4 به ترتیب ۱۴/۳، ۲۲/۴ و ۳۳/۷٪ نسبت به شوت بدون مانع، باعث افزایش میزان استهلاک انرژی جریان می‌شوند.

برای کاهش انرژی آن می‌باشد، هست. با مقایسه اشکال مختلف بلوک‌ها بر روی شوت، مدل M2 بهترین عملکرد و مدل M4 ضعیف‌تر از سایر مدل‌ها در استهلاک انرژی جریان عبوری از روی شوت نقش داشتند. مدل M2 در زوایای

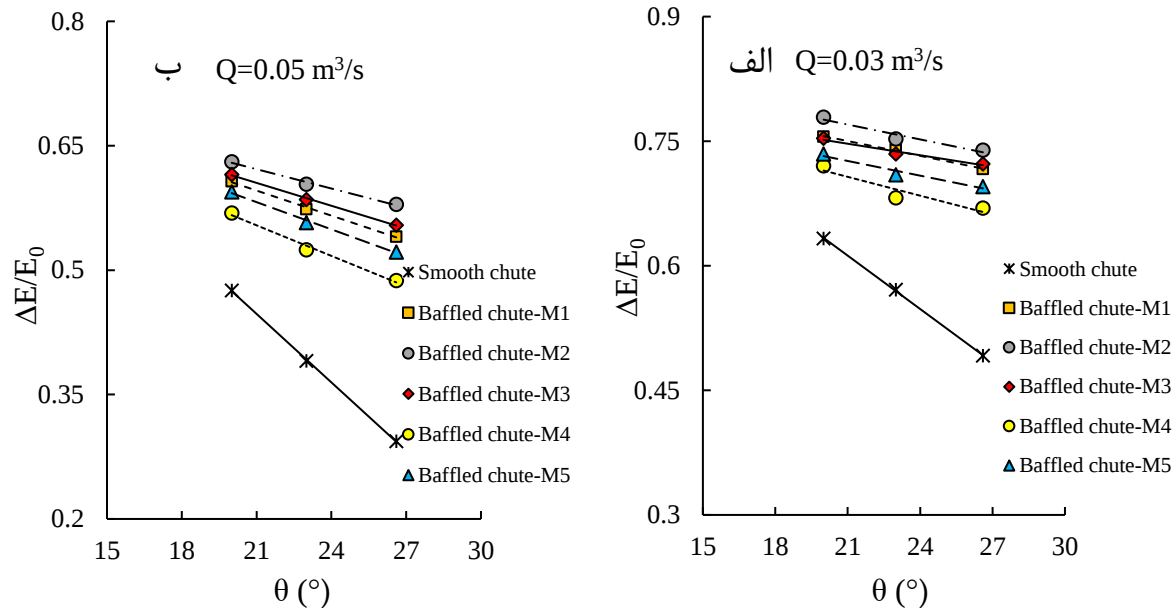


شکل ۵- مقایسه میزان استهلاک انرژی جریان عبوری از مدل‌های شوت مانع‌دار و شوت بدون مانع در زاویه‌های شوت: الف- ۲۰°، ب- ۲۳° و ج- ۲۶/۶°

Fig. 5 Comparison of energy dissipation on smooth and baffled chute at angles: a) 20, b) 23 and c) 26.6°

کاهش می‌یابد. این در حالی است که در مدل‌های همراه با مانع به‌طور متوسط استهلاک انرژی با افزایش زاویه شوت ۶٪ کاهش می‌یابد. با افزایش دبی، میزان استهلاک انرژی جریان در تمامی مدل‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین عملکرد شوت‌های مانع‌دار در دبی‌های کم، بهتر است. در تمامی زوایای شوت، مدل M2 نسبت به سایر شکل بلوک‌ها، باعث استهلاک بیش‌تر جریان می‌شود.

در شکل (۶) تأثیر زاویه شوت بر روی استهلاک انرژی مدل‌های شوت مانع‌دار را نسبت به مدل‌های بدون مانع نشان می‌دهد. برای مدل‌های شوت، با افزایش زاویه شوت، میزان استهلاک انرژی جریان کاهش می‌یابد. روند کاهشی استهلاک انرژی با افزایش زاویه شوت در مدل‌های بدون مانع، بیش‌تر از مدل‌های مانع‌دار است. بطوریکه در شوت‌های بدون مانع با افزایش زاویه شوت از ۲۰ تا ۲۶/۶°، میزان استهلاک انرژی جریان ۲۲٪

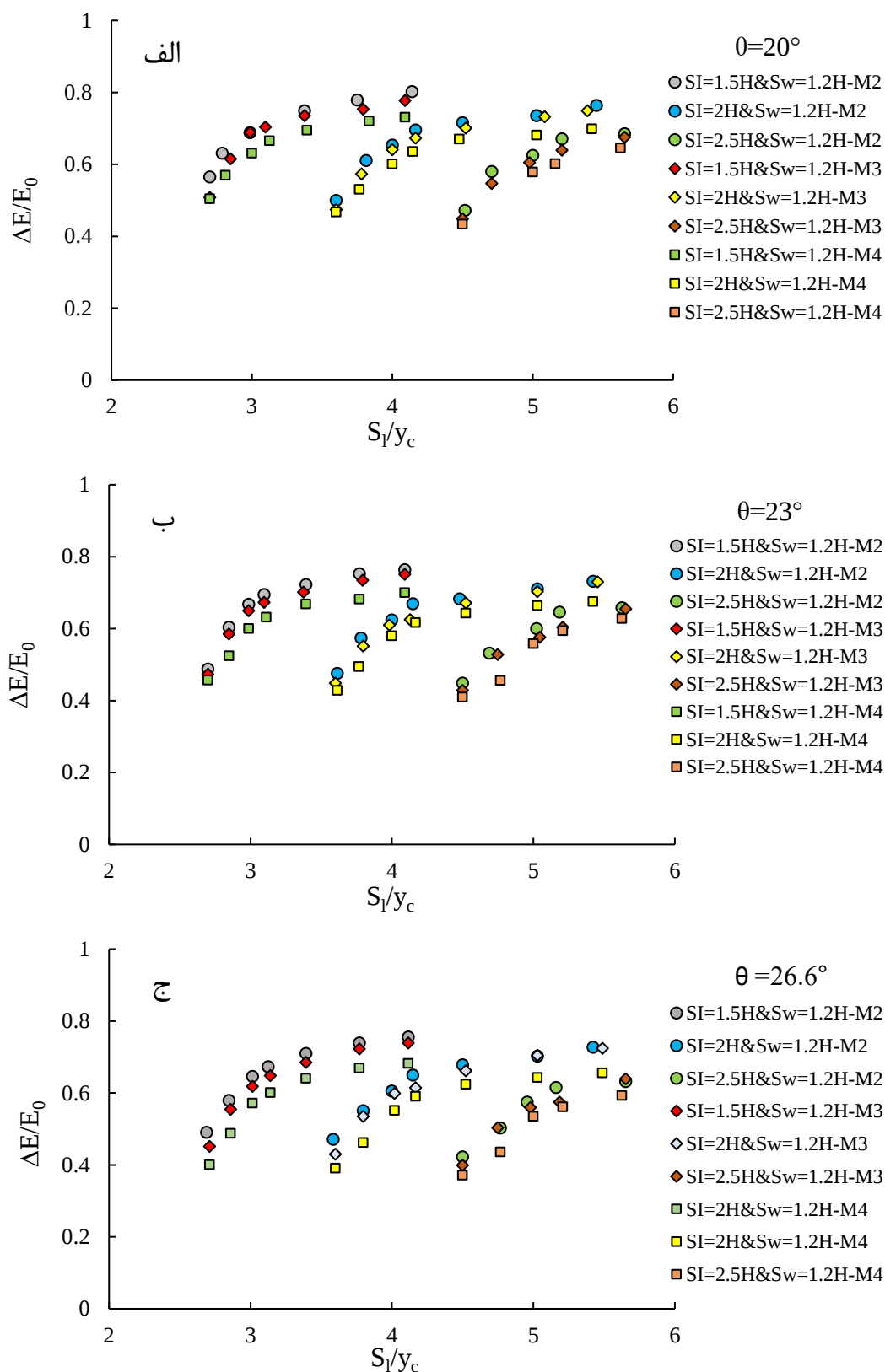


شکل ۶- تأثیر زاویه شوت بر استهلاک انرژی جریان عبوری از مدل‌های شوت مانع‌دار و شوت بدون مانع: الف- در دبی ۰/۰۳ و ب- ۰/۰۵ m³/s

Fig. 6 The effect of angle of chute on energy dissipation at smooth and baffled chute: a) Q=0.03 and b) Q=0.05 m³/s

شوت ۲۶/۶° و مدل‌های M2 و M4 با افزایش فاصله طولی بلوک‌ها از 1.5H به 2.5H (ارتفاع بلوک) به میزان ۶۶/۶٪، نرخ استهلاک انرژی جریان به‌ترتیب ۱۰ و ۷٪ کاهش می‌یابد. همچنین برای زاویه شوت ۲۰° و مدل‌های M2 و M4 با افزایش فاصله طولی بلوک‌ها از 1.5H به 2.5H، نرخ استهلاک انرژی جریان به‌ترتیب ۱۰ و ۹٪ کاهش می‌یابد.

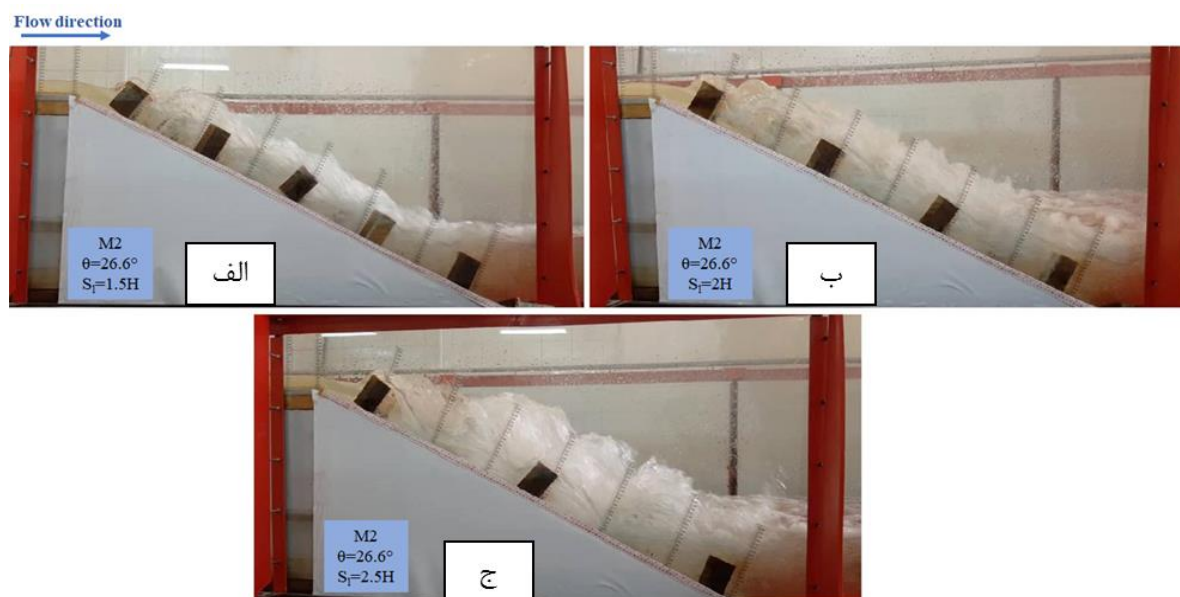
در شکل (۷) نتایج تأثیر فاصله‌های طولی بلوک‌های روی شوت بر میزان استهلاک انرژی جریان ارائه شده است. مشاهده می‌شود، با افزایش فاصله بین بلوک‌ها در راستای طولی، میزان استهلاک انرژی برای تمامی مدل‌ها کاهش می‌یابد. علت آن می‌تواند کاهش تراکم بلوک‌ها با افزایش فاصله آن‌ها در یک طول مشخص و کاهش سطح برخورد جریان با بلوک‌ها به‌عنوان عامل مقاوم در برابر جریان باشد. به‌عنوان نمونه برای زاویه



شکل ۷- مقایسه استهلاک انرژی مدل‌های شوت مانع‌دار در فواصل طولی و زاویه‌های شوت مختلف: الف- ۲۰، ب- ۲۳ و ج- ۲۶/۶°
 Fig. 7 Comparison of energy dissipation on baffled chute at different longitudinal distances and angle of chutes:
 a) 20, b) 23 and c) 26.6°

شکل (۸) جریان عبوری از مدل شوت M2 را برای هر سه بین بلوک‌ها بر روی شوت باعث محصور شدن جریان در بین بلوک‌ها شده و تداخل جریان را افزایش می‌دهد. لذا هر چه فاصله طولی بلوک‌های روی شوت را نمایش می‌دهد. تراکم

فاصله طولی بین بلوک‌ها کم باشد، جهش جت جریان در اثر به‌نوعی عامل مقاوم در برابر جریان است، بیش‌تر می‌شود و انرژی جنبشی بیش‌تری تلف می‌گردد. برخورد با بلوک‌ها کمتر شده و اثر بلوک‌ها بر روی جریان که



شکل ۸- برخورد جریان عبوری از شوت مانع‌دار در دبی ۴۰ l/s برای بلوک‌های روی شوت با فاصله طولی مختلف: الف- ۱/۵ H، ب- H و ج- ۲/۵ H

Fig. 8 Collision of the flow passing over the on baffled chute at discharge 40 l/s for the blocks on the baffled chute with the different longitudinal distances: a) 1.5 H, b) 2 H and c) 2.5 H

جدول ۲- نتایج مقدار استهلاک انرژی (درصد) برای مدل برتر M2 در زاویه شوت و فواصل طولی مختلف
Table 2 Results of energy dissipation (percentage) for M2 as a superior model at different longitudinal distances and angle of chutes

Angle	Chute	Longitudinal distances (m)	Q (l/s)						
			25	30	35	40	45	50	54
26.6	Smooth	-	51.39	49.15	46.60	40.51	38.06	29.37	19.38
		0.135	75.55	73.91	70.99	67.22	64.61	57.94	49.03
	Baffled	0.180	72.66	70.23	67.77	64.94	60.49	55.05	47.13
		0.225	70.92	67.09	63.12	61.50	57.45	50.27	40.24
23	Smooth	-	60.33	57.10	53.54	50.91	43.32	39.07	30.08
		0.135	76.34	75.25	72.34	69.43	66.74	60.35	48.73
	Baffled	0.180	73.13	71.06	68.28	66.93	62.38	57.41	47.56
		0.225	71.87	69.45	65.80	64.61	60	53.20	44.84
20	Smooth	-	66.22	63.26	59.19	57.51	52.50	47.54	42.84
		0.135	80.16	77.89	74.85	71.35	68.79	63.09	56.44
	Baffled	0.180	76.34	73.54	71.59	69.51	65.30	61.02	49.95
		0.225	74.10	71.88 [^]	68.48	67.04	62.49	58.01	47.18

که درصد افزایش میزان استهلاک انرژی جریان در مدل شوت مانع‌دار نسبت به مدل شوت بدون مانع در زاویه شوت بیش‌تر (زاویه ۲۶/۶°) اتفاق می‌افتد. برای یک مدل شوت ثابت با افزایش دبی، میزان استهلاک انرژی جریان کاهش می‌یابد. همچنانکه اشاره شد، در مدل M2 تراکم بین بلوک‌ها بر روی شوت باعث برخورد جریان در بین بلوک‌ها شده و تداخل جریان را افزایش می‌دهد. لذا علاوه بر تداخل بیش‌تر

جدول (۲) خلاصه نتایج استهلاک انرژی نسبی و در جدول (۳)، درصد افزایش استهلاک انرژی جریان در مدل برتر M2 را نسبت به مدل‌های شوت بدون مانع در زوایای مختلف شوت، فواصل طولی مختلف و دبی‌های مختلف نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود، با آن‌که با کاهش زاویه شوت، مقدار استهلاک انرژی جریان برای یک دبی مشخص افزایش می‌یابد، همچنین، با دقت در جدول (۳) می‌توان مشاهده کرد

می‌دهد. با کاهش زاویه شوت، مقدار استهلاک انرژی جریان برای یک دبی مشخص افزایش می‌یابد، در جدول (۳) افزایش درصد میزان استهلاک انرژی جریان در مدل شوت مانع‌دار نسبت به مدل شوت بدون مانع در زاویه شوت بیش‌تر (زاویه $26/6^\circ$) اتفاق می‌افتد. برای یک مدل شوت ثابت با افزایش دبی، میزان استهلاک انرژی جریان کاهش می‌یابد.

که باعث تلاطم و استهلاک انرژی می‌گردد، همچنین هر چه فاصله طولی بین بلوک‌ها کم باشد، در اثر برخورد هر چه بیش‌تر جریان با بلوک‌ها انرژی بیش‌تری مستهلک می‌گردد (جدول ۲).

در جدول (۳) درصد افزایش استهلاک انرژی جریان در مدل برتر M2 را نسبت به مدل‌های شوت بدون مانع در زوایای مختلف شوت، فواصل طولی مختلف و دبی‌های مختلف نشان

جدول ۳- افزایش استهلاک انرژی (درصد) در مدل برتر M2 نسبت به مدل بدون مانع در زاویه شوت و فواصل طولی مختلف

Table 3 Increase of energy dissipation (percentage) for M2 as a superior model compared to smooth chutes at different longitudinal distances and angle of chutes

M2	Longitudinal distances (m)	Q (l/s)						
		25	30	35	40	45	50	54
26.6	0.135	31.97	33.50	34.63	39.77	41.09	49.31	61
	0.180	29.26	30	31.53	37.62	37	46.63	58.88
	0.225	27.53	26.74	26.49	34.14	33.75	41.58	54.12
23	0.135	20.96	24.12	25.59	26.66	35.09	35.25	38.27
	0.180	17.49	19.64	21.59	23.92	30.54	31.93	36.75
	0.225	16.04	17.77	18.63	21.19	27.79	26.54	32.91
20	0.135	17.39	18.87	20.92	21.28	23.67	24.64	24.09
	0.180	13.26	13.97	17.32	17.26	19.59	22.09	14.23
	0.225	10.63	11.99	13.53	14.21	15.98	18.04	9.20

موازی روی شوت، باعث افزایش آشفستگی و افزایش میزان استهلاک انرژی جریان نسبت به شوت بدون مانع می‌گردد.

۴- اختلاف بین نرخ استهلاک انرژی در مدل‌های شوت با مانع نسبت به شوت بدون مانع، بین ۲۱ تا ۶۱٪ می‌باشد. در بین اشکال مختلفی از بلوک‌ها، مدل M2 بیش‌تر از سایر مدل‌ها باعث استهلاک انرژی جریان می‌شود.

۵- برای هر مدل شوت همراه با مانع، اختلاف بیش‌تر بین نرخ استهلاک انرژی نسبت به شوت بدون مانع در دبی‌های بالا و در زاویه شوت بیش‌تر یعنی $26/6^\circ$ اتفاق می‌افتد.

با توجه ثابت بودن ارتفاع بلوک‌ها در پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود که تغییر ارتفاع بلوک و رعایت نمودن و ننمودن معیار USBR در طراحی بررسی شود. همچنین به دلیل محدودیت ابعاد کانال آزمایشگاهی پیشنهاد می‌شود که آزمایش‌ها در کانالی با ابعاد متفاوت با شرایط هیدرولیکی یکسان انجام گیرد و تأثیر اثر مقیاس بر روی نتایج ارزیابی شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر زاویه شوت و اشکال مختلف هندسی بلوک‌های ایجاد شده بر روی شوت، در فواصل طولی مختلف بلوک‌ها بر روی استهلاک انرژی جریان و در شرایطی هیدرولیکی متفاوت بررسی و با مدل‌های شوت بدون مانع مقایسه شد. خلاصه‌ای از نتایج پژوهش حاضر به شرح زیر می‌باشند:

۱- عملکرد مدل‌های شوت بدون مانع در زوایای مختلف شوت بر میزان استهلاک انرژی در دبی‌های کم بهتر است. بر روی مدل‌های شوت بدون مانع، میزان استهلاک انرژی در محدوده دبی‌های مورد بررسی، بین ۲۱ تا ۶۶٪ بود.

۲- در شوت‌های بدون مانع با افزایش زاویه شوت، میزان استهلاک انرژی جریان کاهش می‌یابد. این در حالی است که در مدل‌های شوت همراه با مانع به‌طور متوسط استهلاک انرژی با افزایش زاویه شوت کاهش یافت.

۳- ایجاد بلوک، باعث ایجاد سطح مقاومتری در برابر جریان شده و با برخورد جریان به بلوک‌ها و انحراف آن‌ها از مسیر

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

References

- Brown, C. and Crowley, R. (2018). United States Bureau of Reclamation Type IX Baffled Chute Spillways: A New Examination of Accepted Design Methodology Using CFD and Monte Carlo Simulations, Part I. In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings 7(1), 13. DOI: [10.3390/ECWS-3-05805](https://doi.org/10.3390/ECWS-3-05805)
- Daneshfaraz, R., Aminvash, E., Bagherzadeh, M., Ghaderi, A., Kuriqi, A., Najibi, A. and Ricardo, A. M. (2021a). Laboratory investigation of hydraulic parameters on inclined drop equipped with fishway elements. *Symmet.*, 13(9), 1643. DOI: [10.3390/sym13091643](https://doi.org/10.3390/sym13091643)
- Daneshfaraz, R., Aminvash, E., Di Francesco, S., Najibi, A. and Abraham, J. (2021b). Three-dimensional study of the effect of block roughness geometry on inclined drop. *J. Numer. Method. Civil Eng.*, 6(1), 1-9. DOI: [10.52547/nmce.6.1.1](https://doi.org/10.52547/nmce.6.1.1)
- Daneshfaraz, R., Ghaderi, A. and Khajei, N. (2021c). Experimental study of the effect of vertical screen diameter on energy dissipation at downstream vertical drop. *Environ. Water Eng.*, 7(2), 356-365. DOI: [10.22034/jewe.2021.260857](https://doi.org/10.22034/jewe.2021.260857).1481 [In Persian].
- Daneshfaraz, R., Bagherzadeh, M., Ghaderi, A., Di Francesco, S. & Asl, M. M. (2021d). Experimental investigation of gabion inclined drops as a sustainable solution for hydraulic energy loss. *Ain Shams Eng. J.*, 12(4), 3451-3459. DOI: [10.1016/j.asej.2021.03.013](https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.03.013)
- Dursun, O. F., Talu, M. F., Kaya, N. and Alcin, O. F. (2016). Length prediction of non-aerated region flow at baffled chutes using intelligent nonlinear regression methods. *Environ. Earth Sci.*, 75(8), 680. DOI: [10.1007/s12665-016-5486-8](https://doi.org/10.1007/s12665-016-5486-8)
- Ghaderi, A., Daneshfaraz, R., Torabi, M., Abraham, J. and Azamathulla, H. M. (2020). Experimental investigation on effective scouring parameters downstream from stepped spillways. *Water Suppl.*, 20(5), 1988-1998. DOI: [10.2166/ws.2020.113](https://doi.org/10.2166/ws.2020.113)
- Ghaderi, A. and Abbasi, S. (2021a). Experimental and numerical study of the effects of geometric appendage elements on energy dissipation over stepped spillway. *Water*, 13, 957. DOI: [10.3390/w13070957](https://doi.org/10.3390/w13070957) [In Persian]
- Ghaderi, A. and Abbasi, S. (2021b). Experimental study of energy dissipation over stepped spillway with appendage elements on the steps. *Iran. J. Irrig. Drain.*, 15(3), 494-509 DOI: [20.1001.1.20087942.1400.15.3.2.6](https://doi.org/20.1001.1.20087942.1400.15.3.2.6)
- Gerger, R., Kisi, O., Faruk Dursun, O. and Emin Emiroglu, M. (2017). Applicability of several soft computing approaches in modeling oxygen transfer efficiency at baffled chutes. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 143(5), 04016085. DOI: [10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001153](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001153)
- Jam, M., Talebbeydokhti, N. and Mardashti, A. (2014). Evaluation of energy dissipation over dentate blocks spillway and comparing the energy dissipation with stepped spillway. *J. Hydraul.*, 9(2), 1-10. DOI: [10.30482/jhyd.2014.8548](https://doi.org/10.30482/jhyd.2014.8548) [In Persian].
- Katourani, S. and Kashefipour, S. M. (2012). Experimental investigation the effect of space and size of baffles on energy dissipation in baffled apron drop. *Arch. Des. Sci.*, 65(6), 278-288.
- Katourani, S. and Kashefipoor, S. (2014). Effect of the geometric characteristics of baffled and bed slopes of drop on hydraulic flow conditions in baffled apron drop. *Irrig. Sci. Eng.*, 37(2), 51-59. DOI: [20.1001.1.25885952.1393.37.2.5.5](https://doi.org/20.1001.1.25885952.1393.37.2.5.5) [In Persian].
- Kaya, N. and Emiroglu, M. E. (2010). Study of oxygen transfer efficiency at baffled chutes. *Proceed. Instit. Civil Eng. Water Manage.*, 163(9), 447-456. DOI: [10.1680/wama.900029](https://doi.org/10.1680/wama.900029)
- Nugroho, J., Soekarno, I. and Soeharno, A. W. H. (2019). Experimental study of energy dissipation at baffled chute spillway. *J. Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 26(1), 33-37. DOI: [10.5614/jts.2019.26.1.5](https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.1.5)

- Rahmanshahi, M. and Shafai Bejestan, M. (2020). Gene-expression programming approach for development of a mathematical model of energy dissipation on block ramps. J. Irrig. Drain. Eng., 146(2), 04019033. DOI: [10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001442](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001442)
- Rahmanshahi Zahabi, M. and Shafai Bejestan, M. (2012). Experimental investigation of the effect of chute bed roughness height on energy dissipation. Water Soil Sci., 22(2), 95-106. [In Persian].
- Rafiei, H., Bazargan, J. and Babakhani, A. (2020). Numerical study of the effective parameters on the energy dissipation rate of the baffled chutes. Iran. J. Irrig. Drain., 14(3), 796-806. DOI: [20.1001.1.20087942.1399.14.3.6.3](https://doi.org/10.1001.1.20087942.1399.14.3.6.3) [In Persian].
- Sarkamaryan, S. and Ghomeshi, M. (2019). Study of energy dissipation in the chute with submerged obstacle using physical model. Watershed Eng. Manage., 11(3), 691-700. DOI: [10.22092/ijwmse.2017.115220.1352](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.115220.1352) [In Persian].

How to cite this paper:

Daneshfaraz, R., Ghaderi, A. and Bagheri, A. (2023). Effect of angle and geometric shape of block on flow energy dissipation in baffled chute. Environ. Water Eng., 9(2), 225–240. DOI: [10.22034/EWE.2022.340443.1774](https://doi.org/10.22034/EWE.2022.340443.1774)
