



مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



تأثیر هندسه شیب شکن پلکانی و هیدرولیک جریان بر میزان استهلاک انرژی

علی ساعدی، علی عصاره *

گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

نویسنده مسئول، پست الکترونیک: ali_assareh_2003@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۶/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۹

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2020.208295.2333

چکیده

شیب شکن‌ها به سبب سادگی ساخت و بهره‌برداری، از جمله رایج‌ترین ساختمان‌های آبی جهت کاهش انرژی جریان آب در شبکه‌های آبیاری هستند. لذا در این تحقیق تأثیر شیب سازه، تعداد پلکان، ارتفاع سازه و مشخصات هیدرولیکی جریان بر میزان استهلاک انرژی در شیب شکن‌های پلکانی مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های آزمایشی مورد استفاده در ۲ ارتفاع ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری، ۲ شیب مجرای ۲۶/۵ درجه (به ۱) و ۳۳/۳ درجه (به ۱/۵) و تعداد ۳، ۵ و ۷ پلکان ساخته شد. کلیه آزمایش‌ها در ۴ دبی مختلف ۱۰، ۱۳، ۱۵ و ۲۰ لیتر بر ثانیه در یک فلوم آزمایشگاهی، به طول ۱۳ متر، عرض ۵۰ و عمق ۶۰ سانتی‌متر انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش میزان $\frac{yC}{\Delta z}$ میزان استهلاک انرژی کاسته می‌شود. همچنین به ازای مقدار مشخص $\frac{yC}{\Delta z}$ ، افزایش تعداد پلکان‌ها باعث کاهش میزان استهلاک نسبی انرژی گردید. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش شیب سازه، میزان استهلاک نسبی انرژی افزایش می‌یابد. بیشترین میزان استهلاک نسبی انرژی برای مدل با شیب $Z=2$ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری و کمترین میزان استهلاک نسبی انرژی برای مدل با شیب $Z=1.5$ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری بدست آمد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عدد فرود، میزان استهلاک نسبی انرژی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: استهلاک انرژی، شیب سازه، شیب شکن پلکانی، هیدرولیک جریان.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

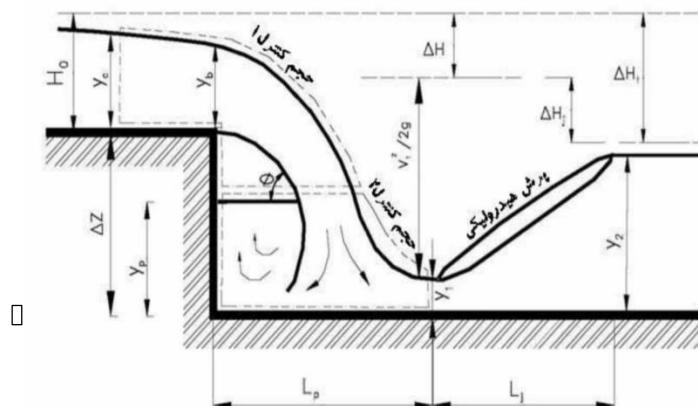


۱. مقدمه

USBR برای اختلاف ارتفاع کمتر از ۰/۹ متر (۳ فوت) از شیب شکن‌های قائم و ۰/۹ تا ۴/۵ متر (۳ تا ۱۵ فوت) از شیب شکن‌های مایل مستطیلی (سرسره) و لوله‌ای استفاده می‌شود. برای اختلاف ارتفاعات بیشتر می‌توان از یک سری شیب شکن متوالی و یا یک تند آب استفاده نمود. با توجه به نقش پلکان‌ها در ایجاد زبری در سال‌های اخیر شیب شکن‌های پلکانی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. شناخت بهتر پارامترهای مؤثر در تخمین خصوصیات هیدرولیکی جریان از جمله استهلاک انرژی ناشی از ساختمان شیب شکن و میزان افت انرژی پرش، کاهش ابعاد ساختمانی این سازه هیدرولیکی و حوضچه پایین دست آن را موجب شده است و از این نظر صرفه-جویی اقتصادی قابل توجهی را به همراه دارد (Chen et al., 2002). ایده استفاده از شیب شکن پلکانی زمانی مطرح گردید که مشاهده شد پلکان‌ها با ایجاد زبری‌های بزرگ در مسیر جریان، سبب استهلاک بیشتر انرژی می‌شوند. شکل (۱) پارامترهای مختلف هندسی شیب شکن پلکانی را نشان می‌دهد.

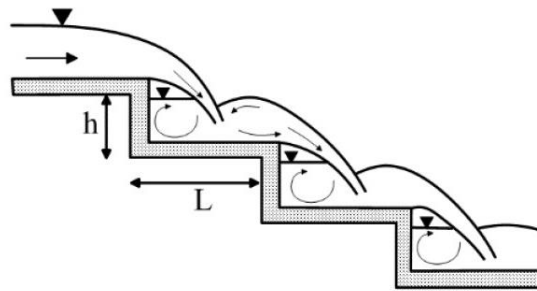
در این شکل y_1, y_2, y_c, p, y به ترتیب عمق روی لبه شیب شکن، عمق قبل از پرش هیدرولیکی، عمق ثانویه پرش، عمق بحرانی قبل از شیب شکن و عمق زیر جت-ریزشی جریان می‌باشد. همچنین $\Delta H_0, \Delta H, \Delta H_j, \Delta H_1, \Delta Z$ و ϕ به ترتیب انرژی مخصوص جریان قبل از شیب شکن، استهلاک انرژی سازه، تلفات انرژی پرش، تلفات انرژی کل، ارتفاع هندسی شیب شکن و زاویه برخورد جت ریزشی به حوضچه زیرین است. در این شکل h ارتفاع قائم و L طول افقی هر پلکان است. در حرکت آب از روی پلکان‌ها سه نوع رژیم جریان شامل: رژیم ریزشی با دبی کم، جریان انتقالی با دبی متوسط (رژیم تبدیلی) و جریان غیر ریزشی با دبی زیاد (جریان رویه‌ای) ممکن است بوجود آید (شکل ۲).

به منظور جلوگیری از خسارات ناشی از انرژی آب در سرعت‌های فوق بحرانی و از بین بردن انرژی جنبشی اضافی موجود، لازم است از سازه‌هایی خاص، به نام سازه‌های مستهلک کننده انرژی استفاده شود (Saadi and Sajadi, 2018). سرعت زیاد جریان آب باعث فرسایش بستر و کناره‌های کانال بویژه در کانال‌های خاکی می‌گردد. مقطع ریزشی یا شیب شکن به همراه حوضچه آرامش پایین دست آن، از سازه‌های هیدرولیکی مؤثر جهت تعدیل شیب و استهلاک انرژی در کانال‌های احداث شده در زمین‌های با شیب تند می‌باشد (Salmasi and Oronaghi, 2013). سرریزهای پلکانی از زمان‌های بسیار قدیم (حدود ۳۵۰۰ سال پیش) مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Chanson., 2002). وجود شیب شکن باعث خواهد شد تا انرژی مخرب آب به سه صورت اختلاط جریان با هوا، برخورد جریان با کف کانال پایین دست و چرخش آب در حوضچه گردابی از بین برود (Hydari Arjloo et al., 2009). از پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مؤثر بر افت انرژی جریان در سرریزهای پلکانی می‌توان به دبی جریان، ورود هوا به داخل جریان، ارتفاع پلکان‌ها، تعداد پلکان‌ها، شیب سرریز و نوع رژیم جریان اشاره نمود (Chanson., 2002). درصد عمده‌ای از انرژی جریان در نتیجه وقوع پدیده پرش هیدرولیکی در پایین دست ساختمان شیب شکن مستهلک می‌گردد و درصد قابل توجه دیگری نیز در ضمن عبور از روی شیب شکن و قبل از رخداد پرش تلف می‌شود (Beyrami and Ilaghi-Hoseiny, 2004). شیب شکن‌ها انواع مختلفی دارند از آن جمله می‌توان به شیب شکن قائم، شیب شکن مایل دار، شیب شکن مایل مستطیلی یا سرسره، شیب شکن مایل لوله‌ای و شیب شکن پلکانی اشاره نمود (Chinnarasri, 2004 and Wongwisess, 2004). براساس معیارهای موسسه

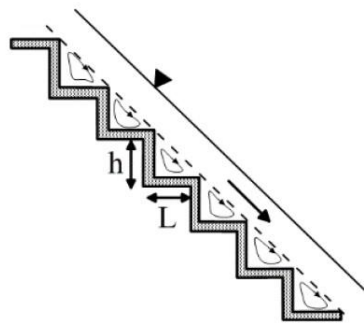


شکل ۱- معرفی شیب شکن پلکانی و اجزاء آن (منبع: مرادی سبز کوهی و همکاران، ۱۳۹۰)

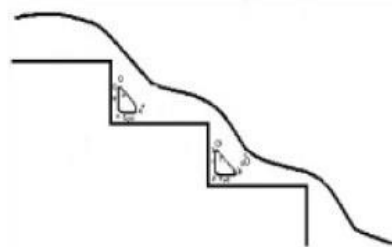
Fig. 1- Introduction of the stair slope breaker and its components (Source: Moradi Sabz Kohi et al., 2019)



الف) جریان ریزشی
A) falling current



ب) جریان غیر ریزشی
b) Non-falling flow



ج) جریان بینابینی
c) Interstitial flow

شکل ۲- هندسه عمومی رژیم‌های جریان از روی سرریز پلکانی (منبع: سوری و مجتهدی، ۱۳۹۴)

Fig. 2- General geometry of flow regimes over a stepped spillway (Source: Suri and Mojtahedi, 2014)

است. بر اساس تحقیقات (Fabian et al., 2003)، استهلاک نسبی انرژی در سرریزهای پلکانی با رژیم جریان ریزشی دارای پرفش هیدرولیکی کامل از رابطه (۱) قابل استخراج است

در رژیم جریان رویه‌ای، جریان به صورت چسبیده به روی پله‌ها جریان می‌یابد (Amador et al., 2004). در این رژیم نوک پله‌ها به صورت نوعی کف کاذب عمل می‌نماید. در فضای گوه‌ای شکل بین پله‌ها قسمتی از جریان محصور شده و حالت چرخشی به خود می‌گیرد. قسمت عمده‌ای از استهلاک انرژی سازه در رژیم جریان

در رژیم جریان ریزشی، پلکان‌ها به صورت یک سری شیب شکن قائم در زیر آنها عمل می‌کنند. به عبارتی در جریان ریزشی جریان به صورت یک جت از هر پله به پله پایین‌تر برخورد می‌کند. و استهلاک انرژی، به واسطه شکست جت در هوا و مخلوط شدن آن در روی پله، همراه با ایجاد پرفش هیدرولیکی جزئی انجام می‌شود (Chanson and Toombes, 2001). به طور کلی رژیم جریان ریزشی در دبی‌های کم و ارتفاع نسبی زیاد پلکان‌ها شکل می‌گیرد. تحقیقات زیادی روی رژیم جریان ریزشی در گذشته صورت گرفته

استفاده از رابطه (۲) در حالت جریان زیر بحرانی (Subcritical) مطرح باشد، عمق y_u برابر عمق بحرانی جریان (y_c) و عدد $Fr_u = 1$ خواهد بود. در صورت استفاده از رابطه (۲) برای شرایط جریان فوق بحرانی به دلیل عدم تاثیر تئوریک شیب شکن روی پروفیل سطح آب، y_u را می‌توان عمق جریان نرمال کانال بالادست در نظر گرفت.

رابطه (۳) برای تخمین عمق y_1 قبل از پرش در شیب شکن‌ها ارائه شد (White et al., 1943). این رابطه در استاندارد USBR برای طراحی استفاده شده است. با استفاده از رابطه (۳)، انرژی جریان در مقطع قبل از پرش، (H_1) از رابطه (۴) قابل حصول است. از طرفی کل انرژی جریان قبل از شیب شکن (H_1) را در رژیم زیر بحرانی بالادست می‌توان به صورت رابطه (۵) نوشت. نهایتاً میزان نسبی استهلاک انرژی شیب شکن از رابطه $\left(\frac{\Delta H}{H_t} = \frac{H_t - H_1}{H_t}\right)$ قابل محاسبه می‌باشد.

Chinnarasri و Wongwises (2006) با انجام مطالعات و مدل کردن انواع مختلف پلکان (افقی، مایل و پلکان با زائده انتهایی) بر روی تند آب با تعداد پلکان مختلف، به بررسی استهلاک انرژی و رابطه آن با عمق بحرانی نسبی پرداختند. نتایج نشان داد که پلکان با زائده انتهایی اثر قابل ملاحظه‌ای نسبت به دو نوع دیگر پلکان، بر روی استهلاک انرژی دارد. Felder و Chanson (2011) آزمایش‌هایی روی مدل فیزیکی سرریز پله‌ای به ارتفاع یک متر و شیب ۲۶/۶ درجه انجام دادند. در تحقیق آنها ۵ حالت مختلف برای پله‌ها در نظر گرفته شد و میزان انرژی باقی مانده در پایین دست سرریز اندازه‌گیری گردید.

$$\frac{\Delta H}{H_t} = 1 - \left[\frac{0.54 \left(\frac{y_c}{h}\right)^{2.75} + \frac{3}{2} \left(\frac{y_c}{h}\right)^{-0.55}}{\frac{1}{5} + \left(\frac{H_t}{y_c}\right)} \right] \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\frac{y_p}{y_u} = \sqrt{\left(\frac{y_1}{y_u}\right) + 2Fr_u^2 \frac{y_u}{y_1} - (2Fr_u^2 + 1)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\frac{y_1}{y_c} = \frac{\sqrt{2}}{1/061 + \sqrt{1/5 + \Delta Z/y_c}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\frac{H_1}{y_c} = \frac{\sqrt{2}}{1/061 + \sqrt{1/5 + \Delta Z/y_c}} + 0.25 \left(1/061 + \sqrt{\frac{\Delta Z}{y_c}} + 1/5\right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$H_t = \Delta Z + 1/5 y_c \quad \text{رابطه (۵)}$$

رویه‌ای در نتیجه انتقال تنش برشی از جریان روی کف کاذب به جریان چرخشی محصور در فضای گوه‌ای بین پله‌ها و حفظ چرخش آن صورت می‌گیرد. در نتایج این تحقیقات که عمدتاً با فرض شکل-گیری جریان یکنواخت آب- هوا روی مجرای پلکانی به دست آمده با افزایش تعداد پلکان‌ها میزان استهلاک انرژی نسبی $\Delta H/H_t$ افزایش می‌یابد. Oronaghi و Salmasi (2013) نشان دادند که در شرایط رژیم رویه‌ای با فرض شکل‌گیری جریان یکنواخت آب و هوا روی مجرای پلکانی به ازای شرایط هندسی و هیدرولیکی یکسان، افزایش تعداد پله‌ها تا حدی باعث افزایش $\Delta H/H_t$ و از آن به بعد باعث کاهش $\Delta H/H_t$ می‌شود که روشی نیز برای به دست آوردن آن ارائه نموده است. حد واسط بین جریان ریزشی با دبی کم و جریان رویه‌ای با دبی زیاد یک نوع رژیم جریان وجود دارد. این نوع رژیم، رژیم تبدیلی نامیده می‌شود. رژیم جریان تبدیلی دارای خصوصیات رفتاری بسیار نامنظم همراه با تغییرات سریع خصوصیات جریان روی هر پلکان می‌باشد. با توجه به اینکه شرایط تبدیلی تحت تاثیر نوسانات شدید هیدرودینامیکی قرار دارد، در عمل می‌بایست از شرایط وقوع آن به شدت اجتناب نمود. تاکنون پیش-بینی خصوصیات جریان در رژیم‌های تبدیلی با توجه به مبانی تئوریک امکان پذیر نبوده و فقط اطلاعات مختصری بر اساس مشاهداتی که در دانشگاه کوئینزلند صورت گرفته در دسترس می‌باشد. بنابراین رژیم جریان تبدیلی بهتر است که در دبی‌های کم بوقوع بیوندد و در محدوده‌ای که امکان وقوع جریان تبدیلی وجود دارد می‌بایست شرایط با ساخت مدل فیزیکی بررسی گردد.

Rouse (1943) با استفاده از اصول مقدار حرکت رابطه (۲) را جهت تعیین نسبت y_p/y_u ارائه نمود که در آن: Fr_u : عدد فرود جریان بالادست شیب شکن می‌باشد. سایر پارامترهای موجود در رابطه قبلاً تعریف گردیده‌اند. در بالادست شیب شکن، چنانچه

با توجه به اینکه در کلیه آزمایش‌ها جریان به صورت آشفته بود؛ لذا عدد رینولدز حذف گردید. به منظور بررسی تأثیر هندسه شیب شکن و هیدرولیک جریان عبوری از آن در استهلاک انرژی سازه، پس از تعیین پارامترهای هندسی و هیدرولیکی تأثیرگذار، تعداد ۱۲ مدل فیزیکی از شیب شکن‌های پلکانی از جنس پلگسی گلاس ساخته شد. شیب شکن‌ها به عرض ۵۰ سانتی‌متر در دو ارتفاع ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری، ۲ شیب سازه، ۱/۵:۱ و ۲:۱، با تعداد ۳، ۵ و ۷ پلکان ساخته شدند. کلیه آزمایش‌ها در ۴ دبی مختلف ۱۰، ۱۳، ۱۵ و ۲۰ لیتر بر ثانیه در فلوم آزمایشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی اهواز به طول ۱۳ متر، عرض ۵۰ و عمق ۶۰ سانتی‌متر واقع در منطقه چنیبه انجام شد. پس از نصب مدل‌های ساخته شده و برقراری شرایط ماندگار پارامترهای مختلف جریان اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری عمق یا رقوم سطح جریان در هر مقطع با استفاده از سطح سنج با ورنیه با دقت ۰/۱ میلی‌متر، صورت گرفت. برای اندازه‌گیری دبی از یک سرریز مثلثی ۶۰ درجه که قبل از شروع آزمایشات کالیبره شده بود، استفاده گردید. نمایی از تجهیزات استفاده شده در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است.

گرچه نتایج نشان داد که تعداد پله اثر زیادی در انرژی باقیمانده پایین دست سرریز ندارد، لیکن سرریز دارای ۱۰ پله در حالی که هر کدام از پله‌ها ۱۰ سانتی‌متر ارتفاع داشته باشد، انرژی باقیمانده کمتری در پایین دست دارد و همین امر نشان دهنده‌ی استهلاک انرژی بیشتری در این سرریز است. لذا این تحقیق با هدف بررسی تأثیر مشخصات هیدرولیکی جریان بر میزان استهلاک انرژی در شیب شکن‌های پلکانی در شرایط آزمایشگاهی انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

به منظور یافتن رابطه بین عوامل موثر بر استهلاک انرژی سرریز پلکانی تحلیل ابعادی روی پارامترهای موثر انجام شد. استهلاک انرژی سرریز را می‌توان به صورت یک متغیر وابسته به متغیرهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی (رابطه ۶) نوشت. که در آن: N : تعداد پله (بدون بعد)، g : شتاب ثقل دارای بعد (LT^{-2}) ، p : جرم مخصوص دارای بعد (ML^{-3}) ، V : سرعت آب در کانال دارای بعد $(ML^{-1}T^{-1})$ ، μ : لزجت دینامیکی دارای بعد $(ML^{-1}T^{-1})$ ، yc : عمق بحرانی دارای بعد (L) و ΔZ : ارتفاع هندسی شیب شکن است. آنالیز ابعادی بر مبنای روش ماتریسی تابع افت انرژی نسبتی $\frac{\Delta H}{Ht}$ را برای سرریزهای پلکانی می‌توان به صورت رابطه ۷ نشان داد.

$$\frac{\Delta H}{Ht} = f(N, g, \rho, V, \mu, yc, \Delta Z) \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\frac{\Delta H}{Ht} = f(N, Re, Fr, \frac{yc}{\Delta Z}) \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\frac{y_2}{y_1} = 1/2 (\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1) \quad \text{رابطه (۸)}$$



شکل ۳- نمایی از فلوم ۱۳ متری

Fig. 3- A view of the 13-meter flume



شکل ۴- نمایی از سرریز با ۳ پله، ارتفاع ۲۰ سانتی متر و شیب ۱:۲

Fig. 4- A view of the spillway with 3 steps, height 20 cm and slope 1:2

۳. نتایج

نتایج نشان داد با افزایش میزان $\frac{y_c}{\Delta z}$ ، میزان استهلاک انرژی کاسته می‌شود (شکل‌های ۵ تا ۸). زیرا با افزایش دبی، مقدار عمق بحرانی و پارامتر بی بعد $\frac{y_c}{\Delta z}$ افزایش یافته و مقدار استهلاک انرژی کاسته می‌شود. این امر را این گونه می‌توان توجیه نمود که با افزایش دبی، عمق جریان عبوری از سرریز افزایش یافته و زبری نسبی که بصورت $h \cos \phi / D$ (ارتفاع پله، ϕ زاویه شیب وجه پایین دست و D قطر هیدرولیکی) معرفی می‌شود کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه ضریب اصطکاک f رابطه مستقیمی با زبری نسبی دارد، بنابراین با افزایش دبی استهلاک انرژی کاهش می‌یابد (Fazeli and Heidary, 2017, Taroumideh et al., 2018).

همچنین به ازای مقدار مشخص $\frac{y_c}{\Delta z}$ ، افزایش تعداد پلکان‌ها باعث کاهش میزان استهلاک نسبی انرژی شد (شکل‌های ۵ تا ۸). اثر تغییرات تعداد پلکان بر میزان افت انرژی نسبی در شیب شکن پلکانی در تحقیق حاضر، در مقایسه با پژوهش‌های قبلی (Chamani and Rajaratnam, 1994, 1999, Fabian et al., 2003) نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. از آنجایی که روابط ارائه شده در خصوص میزان استهلاک انرژی با فرض وقوع پرش هیدرولیکی کامل روی هر پلکان تحلیل و نتیجه شده است، به نظر می‌آید علت اختلاف اساسی مذکور نیز در همین مورد باشد چرا که شیب مجرای تند انتخاب شده برای تحقیق حاضر و در نتیجه طول کم پلکان‌ها شرایط لازم برای وقوع پرش هیدرولیکی روی هر پلکان را در هیچ یک از آزمایشات رژیم جریان ریزشی در تحقیق حاضر فراهم ناساخته است. در واقع استهلاک انرژی روی هر پلکان در رژیم جریان ریزشی شامل دو قسمت افت ناشی از ریزش از پلکان قبل و پرش هیدرولیکی روی خود پلکان است. بدیهی است که با افزایش شیب مجرا تاثیر قسمت اول بیشتر و قسمت دوم کمتر خواهد شد. با توجه به شکل‌های (۵) الی (۸) نتیجه می‌شود که با افزایش شیب، میزان استهلاک نسبی انرژی افزایش

پس از اطمینان از محکم بودن نصب مدل، پمپ، پس از هواگیری فعال شده و شیر تنظیم دبی کم کم باز شد تا دبی مورد نظر بالادست سرریز مثلی تنظیم گردد. با توجه به نصب اشل‌های متفاوت در مکان‌های معین مقدار H_0, y_b, y_1, y_2, y_c قرائت شد. با توجه به وقوع عمق بحرانی در فاصله کمی قبل از لبه شیب شکن در بالادست و اندازه‌گیری دبی جریان عبوری، میزان انرژی جریان در بالادست مدل از رابطه (۶) به دست آمد، که در این رابطه: H_t کل انرژی جریان در بالادست هر مدل، ΔZ ارتفاع دقیق هر مدل و y_c عمق بحرانی جریان عبوری از مدل است که از رابطه $y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$ حاصل می‌شود. با اندازه‌گیری میزان انرژی

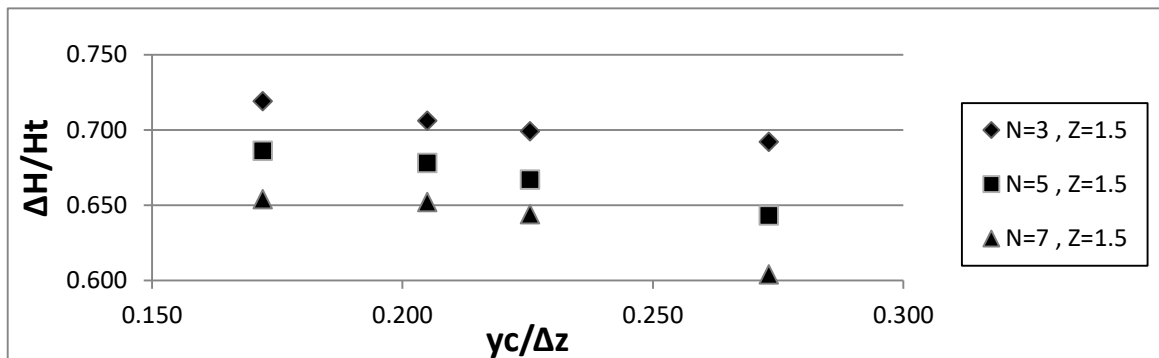
در پایین دست سازه و اختلاف انرژی بالادست و پایین دست، افت انرژی سازه به دست می‌آید که نتیجه تأثیر توام شکل هندسی مدل و شرایط جریان در آن است. برای تعیین میزان انرژی در پایاب مدل‌ها از دو روش اندازه‌گیری مستقیم عمق قبل از پرش y_1 و اندازه‌گیری عمق ثانویه پرش y_2 و محاسبه y_1 استفاده می‌شود. نتایج اولیه و استفاده از تجارب محققین قبلی مثل Felder و Chanson (2011) نشان داد که اندازه‌گیری مستقیم عمق اولیه پرش با توجه به سرعت بالای جریان فوق بحرانی در این مقطع و خطای اندازه‌گیری بیشتر عمق به علت دخول جریان هوا، میزان استهلاک انرژی سازه را بیش از واقعیت نشان خواهد داد، لذا روش دوم یعنی اندازه‌گیری y_2 و محاسبه y_1 ، با توجه به کاهش پدیده دخول هوا در پایاب پرش به عنوان روش دقیق‌تری انتخاب و ملاک محاسبات انرژی در کلیه مدل‌ها قرار گرفت. رابطه اعماق مزدوج پرش به صورت رابطه (۸) است.

پس از محاسبه y_1 به کمک رابطه انرژی $(H_1 = y_1 + V_1^2 / 2g)$ بدست می‌آید و با توجه به بدست آوردن مقدار H_t ، مقدار $\Delta H = H_t - H_1$ محاسبه می‌گردد.

می‌یابد. در واقع هرچه شیب وجه بالادست تندتر باشد استهلاک انرژی نسبی افزایش می‌یابد و علت آن افزایش اندازه حرکات تبادلی بین جریان چرخشی زیر هر پله و جریان غیرریزشی است. Taroumideh et al. (2018) بیان داشتند اثر شیب تند احتمالاً مربوط به تلاطم ایجاد شده در اثر سرعت جریان بیشتر بر روی هر پله در حالت رژیم ریزشی می‌باشد.

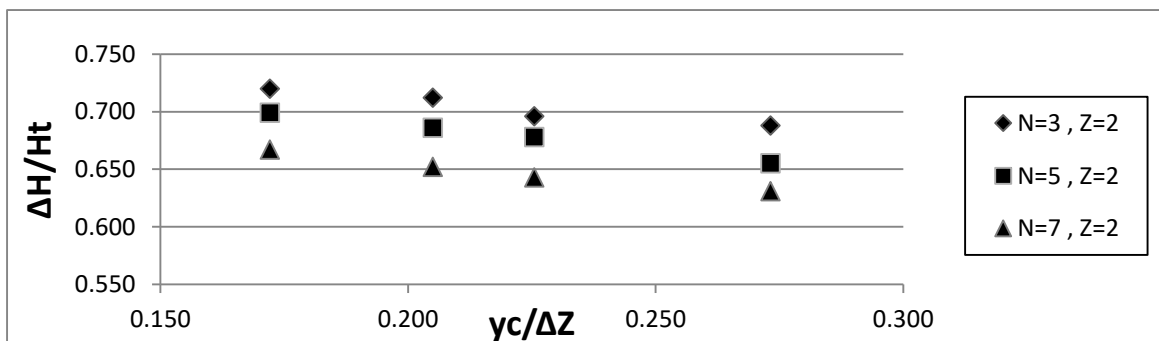
در این تحقیق بیشترین میزان استهلاک نسبی انرژی برای مدل با شیب $z=2$ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری به میزان 0.761 و کمترین میزان استهلاک نسبی انرژی برای مدل با شیب $z=1.5$ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری به میزان 0.604 بدست آمد. همچنین نتایج آزمایش نشان داد با افزایش عدد فرود که بیان کننده افزایش دبی جریان می‌باشد میزان استهلاک نسبی انرژی کاهش می‌یابد (شکل-های ۹ تا ۱۲). علت این امر را می‌توان به چسبندگی جریان بر روی سطح پله مرتبط دانست (Haji Azizi et al., 2016). زیرا در دبی‌های بیشتر، سرعت جریان بیشتر بوده و جریان دارای افتادگی کمتری بر روی سطح پله شده و در نهایت منجر به کاهش تنش برشی می‌شود. به عبارتی افزایش دبی، سبب کاهش اثر زبری پله‌ها در استهلاک انرژی می‌شود (Moradi Sabzkohi et al., 2011).

شکل ۵- تغییرات نسبت به $\frac{\Delta H}{Ht}$ نسبت به $\frac{yc}{\Delta z}$ برای مدل با شیب $z=1.5$ و ارتفاع ۲۰ سانتی متری



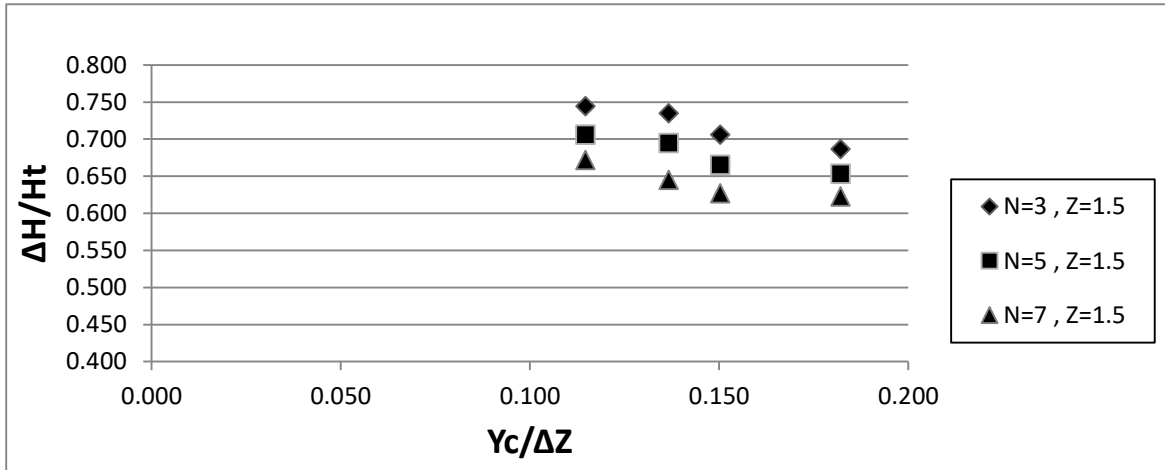
شکل ۵- تغییرات نسبت به $\frac{\Delta H}{Ht}$ نسبت به $\frac{yc}{\Delta z}$ برای مدل با شیب $z=1.5$ و ارتفاع ۲۰ سانتی متری

Fig. 5- Changes of $\Delta H/Ht$ compared to $yc/\Delta z$ for the model with a slope of $z=1.5$ and a height of 20cm.



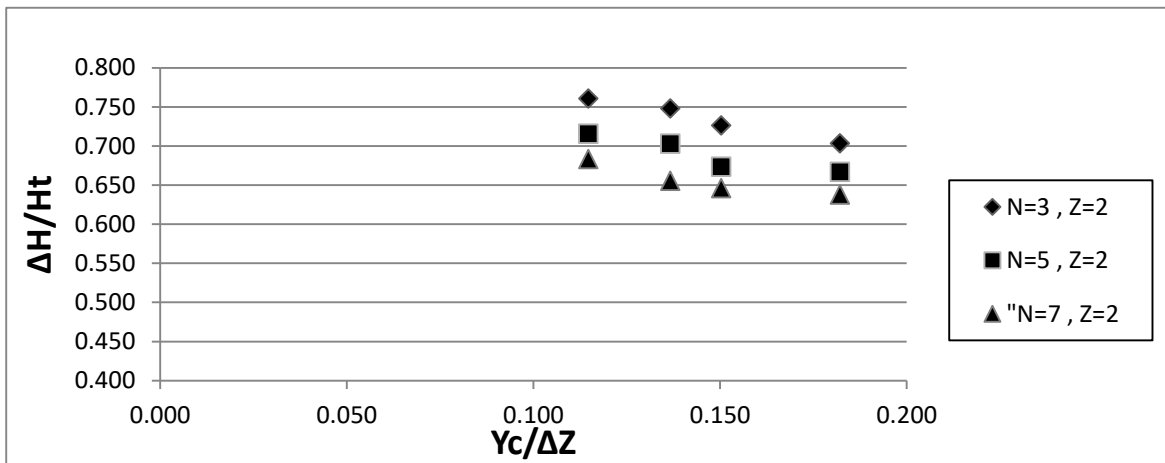
شکل ۶- تغییرات نسبت به $\frac{\Delta H}{Ht}$ نسبت به $\frac{yc}{\Delta z}$ برای مدل با شیب $z=2$ و ارتفاع ۲۰ سانتی متری

Fig. 6- Changes of $\Delta H/Ht$ compared to $yc/\Delta z$ for the model with a slope of $z=2$ and a height of 20 cm



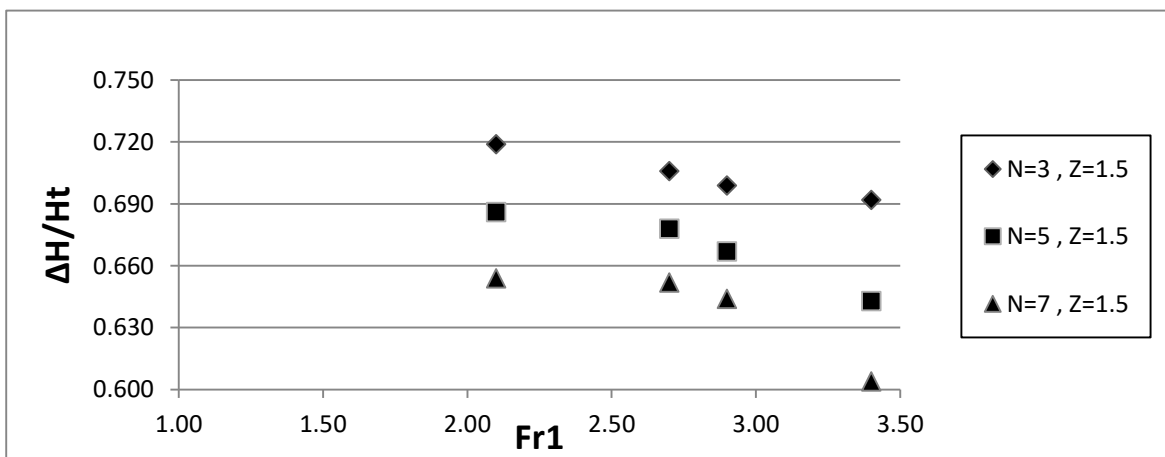
شکل ۷- تغییرات $\frac{\Delta H}{Ht}$ نسبت به $\frac{yc}{\Delta z}$ برای مدل با شیب $z=1.5$ و ارتفاع ۳۰ سانتی متری

Fig. 7- Changes of $\Delta H/Ht$ compared to $yc/\Delta z$ for the model with a slope of $z=1.5$ and a height of 30 cm.



شکل ۸- تغییرات $\frac{\Delta H}{Ht}$ نسبت به $\frac{yc}{\Delta z}$ برای مدل با شیب $z=2$ و ارتفاع ۳۰ سانتی متری

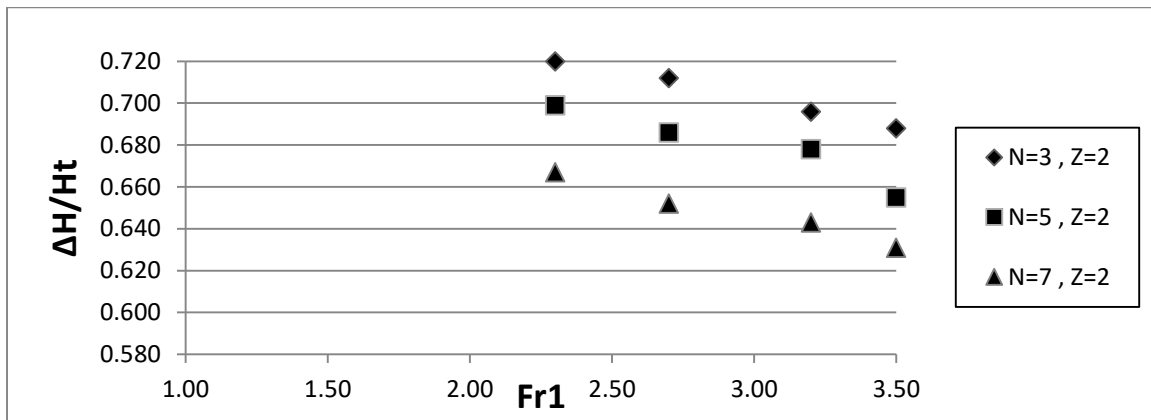
Fig. 8- Changes of $\Delta H/Ht$ compared to $yc/\Delta z$ for the model with a slope of $z=2$ and a height of 30 cm



شکل ۹- تغییرات $\frac{\Delta H}{Ht}$ نسبت به عدد فرود برای مدل با شیب $z=1.5$ و ارتفاع ۲۰ سانتی متری

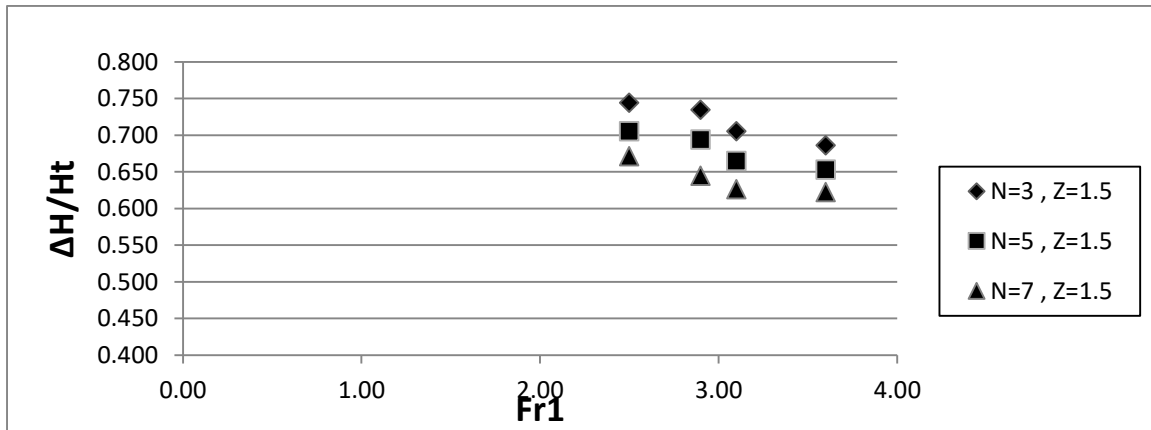
Fig. 9- Changes of $\Delta H/Ht$ in relation to the Froude number for the model with a slope of $z=1.5$ and a height of 20 cm

شکل (۱۰) تغییرات $\frac{\Delta H}{H_t}$ نسبت به عدد فرود برای مدل با شیب $z=1.5$ و ارتفاع 30 سانتی متری و شکل (۱۱) برای مدل با شیب $z=2$ و ارتفاع 30 سانتی متری را نشان می‌دهد.



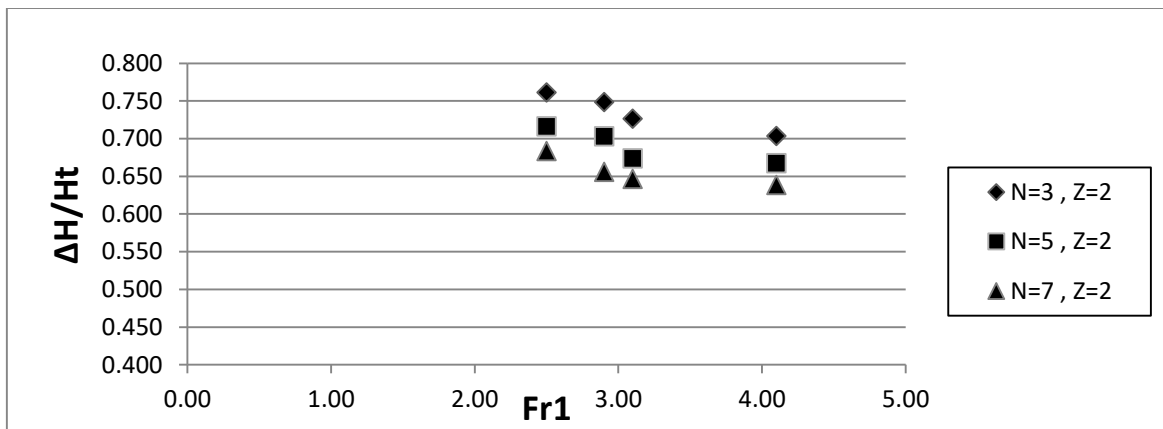
شکل ۱۰- تغییرات $\frac{\Delta H}{H_t}$ نسبت به عدد فرود برای مدل با شیب $z=2$ و ارتفاع 20 سانتی متری

Fig. 10- Changes of $\Delta H/H_t$ in relation to the Froude number for the model with a slope of $z=2$ and a height of 20 cm



شکل ۱۱- تغییرات $\frac{\Delta H}{H_t}$ نسبت به عدد فرود برای مدل با شیب $z=1.5$ و ارتفاع 30 سانتی متری

Fig. 11- Changes of $\Delta H/H_t$ in relation to the Froude number for the model with a slope of $z=1.5$ and a height of 30 cm



شکل ۱۲- تغییرات $\frac{\Delta H}{H_t}$ نسبت به عدد فرود برای مدل با شیب $z=2$ و ارتفاع 30 سانتی متری

Fig. 12- Changes of $\Delta H/H_t$ in relation to the Froude number for the model with a slope of $z=2$ and a height of 30 cm

به نظر می‌آید علت اختلاف اساسی مذکور نیز در همین مورد باشد چرا که شیب مجرای تند انتخاب شده برای تحقیق حاضر و در نتیجه طول کم پلکان‌ها شرایط لازم برای وقوع پرش هیدرولیکی روی هر پلکان را در هیچ یک از آزمایشات رژیم جریان ریزشی در تحقیق حاضر فراهم نساخته است. همچنین نتایج آزمایش نشان داد با افزایش عدد فرود که بیان کننده افزایش دبی جریان می‌باشد میزان استهلاک نسبی انرژی کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند، از همکاری بی دریغ مسئولین محترم دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی برای در اختیار گذاردن امکانات آزمایشگاهی و معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، صمیمانه تشکر نمایند.

References:

- Amador, A., Van der Graaf, G., Sánchez-Juny, M., Dolz, J., Sánchez-Tembleque, F., Puertas, J. and Girona, C.J., 2004, July. Characterization of the flow field in a stepped spillway by PIV. In *Proc. 12th Symp. Applications Laser to Fluid Mechanics* (pp. 12-15).
- Beirami, M.K. and Hoseiny, M.I., 2022. Forced Hydraulic Jump by One and Two Continuous Sills in a Horizontal Stilling Basin. *Journal of Advanced Materials in Engineering (Esteghlal)*, 24(1), pp.97-119. (In Persian)
- Chamani M.R. and N. Rajaratnam .1994. Jet Flow On Stepped Spillways . *Jurnal of Hydraulic Engineering (ASCE)* 120(2) : 254-259.
- Chamani, M.R. and Rajaratnam, N., 1999. Characteristics of skimming flow over stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(4), pp.361-368.
- Chanson, H. and Toombes, L., 2001. Experimental investigations of air entrainment in transition and skimming flows down a stepped chute: application to embankment overflow stepped spillways.
- Chanson, H., 2002. *Hydraulics of stepped chutes and spillways*. CRC Press.
- Chen, Q., Dai, G. and Liu, H., 2002. Volume of fluid model for turbulence numerical simulation of stepped spillway overflow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(7), pp.683-688.

۴. بحث و نتیجه گیری

برای بررسی تاثیر مشخصات هیدرولیکی جریان بر میزان استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی، ۱۲ مدل فیزیکی در ۲ ارتفاع ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری، ۲ شیب مجرای ۲۶/۵ (۲به۱) و ۳۳/۳ درجه (۱/۵به۱) و تعداد ۳، ۵ و ۷ پلکان ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که: با افزایش میزان $\frac{yc}{\Delta z}$ ، میزان استهلاک انرژی کاسته می‌شود. همچنین افزایش تعداد پلکان و کاهش زاویه مجرا در محدوده متغیرهای مورد بررسی باعث کاهش میزان نسبی استهلاک انرژی شد. اثر تغییرات تعداد پلکان روی افت انرژی نسبی در شیب شکن پلکانی تحقیق حاضر در مقایسه با پژوهش‌های قبلی نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. از آنجائیکه روابط ارائه شده در خصوص میزان استهلاک انرژی با فرض وقوع پرش هیدرولیکی کامل روی هر پلکان تحلیل و نتیجه شده است،

- Chinnarasri, C. and Wongwises, S., 2006. Flow patterns and energy dissipation over various stepped chutes. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 132(1), pp.70-76.
- Chinnarasri, C. and Wongwises, S., 2004. Flow regimes and energy loss on chutes with upward inclined steps. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31(5), pp.870-879.
- Fabian A. Bombardelli and Arthur R. Schmidt. 2003. Book Reviews. *Journal of Hydraulic Research*, 41(3), pp. 327-330.
- Fazeli, E. and Heidari, M.M., 2018. Evaluation of Energy Dissipation and Hydraulic Characteristics of Flow on Simple and Inclined Stepped Spillways using FLUENT Model. *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(3), pp.185-199. (In Persian)
- Felder, S. and Chanson, H., 2011. Energy dissipation down a stepped spillway with nonuniform step heights. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(11), pp.1543-1548.
- Haji Azizi, S., Samadi, A. and Salmasi, F., 2016. Numerical Study of Flow on Stepped Spillway and Its Comparison with Experimental Results. *Water and Soil Science*, 26(2-1), pp.155-165, (In Persian).
- Hydari Arjloo, S., Mosavi, Jahromi, S. H. And Farazmand, S., 2009. Investigation of Flow Hydraulic in stepped spillway whith Using Physical Models. *Proceedings of the 2th national Conference on Irrigation and Drainage Networks management*. January-

- 20-1-2009. University of Shahid Chamran, (In Persian).
- Moradi Sabzkohi, A., Kashefipour, S. M. and Bina, M., 2011. In vitro comparison of energy dissipation rate in slopers. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 15(56): pp 209-221. (In Persian).
- Rouse, H., 1943. Discussion to "Energy loss at base of a Free overfall" by WL Moore. *Trans. ASCE*, 108(1383), p.1.
- Saadi, H. and Sajadi, S. M., 2018. Experimental Investigation of Hydraulic Jump Characteristics in Ogee Spillway Stilling Basin by Perforated Stepped Sill. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*. 19(70), pp 85-98. (In Persian).
- Salmasi, F. and Oronaghi, H., 2013. The effect of the slope on the energy damping of the flow over a stepped spillway. *Journal of Environment and Water Engineering*. 1(1): pp 47-56. (In Persian).
- Shahheydari, H., Nodoshan, E.J., Barati, R. and Moghadam, M.A., 2015. Discharge coefficient and energy dissipation over stepped spillway under skimming flow regime. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19, pp.1174-1182.
- Sori, N. and Mojtahedi, A., 2015. Investigation of effects of the geometry on rate of energy dissipation of the flow over the stepped spillway using fuzzy inference systems. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 45(80), pp.25-39.
- Taroumiddeh, F., Fazloulou, R., Emadi, A. and Mirnaseri, M., 2018. Investigation the Effect of Longitudinal Profile of Stepped Spillway on Flow Energy Dissipation. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(2), pp.248-259.
- White, M.P., Bakhmeteff, B.A., Feodoroff, N.V., Kindsvater, C.E., Christiansen, J.E., Hall, L.S. and Rouse, H., 1943. Discussion of "White on Energy Loss". *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 108(1), pp.1361-1387.



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>

Original Article



Effect of the Hydraulic Characteristics of Flow on the Rate of Energy Dissipation in Stepped Chutes Structures

Ali Saedi, Ali Asareh*

Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

* Corresponding Author E-mail: ali_assareh_2003@yahoo.com

Received: 10 November 2019

Revise Date: 2 September 2020

Accepted: 5 September 2020

DOI: 10.22113/JMST.2020.208295.2333

Abstract

Due to the simplicity of operation, Stepped Chutes are among the most common water buildings to reduce water flow energy in irrigation systems. So this research has studied the impact of structure slope, the number of stairs and structure height on energy dissipation rate in stepped chutes. Experimental models used in 2, 20 and 30 cm height, 26.5-degree slope channels (1: 2) and 33.3 degrees (1: 1.5) and in 3, 5, and 7 stairs were built. All tests were done in 4 different rate discharges 10, 13, 15 and 20 liters per second in the laboratory flume, Islamic Azad University of Ahvaz. The results showed that by increasing the amount of $\frac{y^c}{\Delta z}$ the energy dissipation rate will be reduced. It can be also seen that for a certain value of $\frac{y^c}{\Delta z}$, the increase in the number of stairs reduces the amount of relative energy dissipation. Also Results showed that increasing the slope, the relative energy dissipation rate increases. In this study, the maximum amount of relative energy dissipation for a model with a slope of $z = 2$ and a height of 30 cm obtained and the minimum amount of energy dissipation for a model with a slope of $z = 1.5$ and a height of 20 cm obtained. Results showed that increasing the Froude number, the energy dissipation rate will be reduced.

Keywords: Energy Dissipation, Stepped Chutes, Structure Slope, Hydraulic Flow

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

