

# ارزیابی استهلاك انرژی روی سرریز دندانه‌دار بلوکی و مقایسه آن با سرریز پلکانی

محبوبه جم<sup>1</sup>، ناصر طالب بیدختی<sup>2\*</sup>، اسدالله مردشتی<sup>3</sup>

1- کارشناس ارشد سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

2- استاد بخش راه و ساختمان و محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

3- استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

\* شیراز، کد پستی 7134851156

taleb@shirazu.ac.ir

**چکیده** - کوشش‌های بسیاری برای افزایش راندمان استهلاك انرژی روی سرریز انجام شده است. در این پژوهش، شوت، به وسیله بلوک‌های دندانه‌دار از جنس تفلون و با شکل هندسی و چیدمان نوآوری شده پوشش داده شده است. آزمایش‌ها در سه شیب و شش دبی، برای پنج مدل آرایش متفاوت انجام شد. بر اساس نتایج آزمایشگاهی، تأثیر مستقیم هندسه زبری روی استهلاك انرژی بررسی گردید. همچنین افزایش میزان استهلاك انرژی به دلیل استفاده از چیدمان مختلط بلوک‌ها با اندازه‌های مختلف، مشاهده شد. نهایتاً با توجه به استهلاك انرژی و عملکرد بالای سرریز پلکانی، مقایسه‌ای بین میزان استهلاك نسبی انرژی در سرریز پلکانی و سرریز پژوهش حاضر در زبری‌های معادل انجام شد که افزایش استهلاك نسبی انرژی سرریز جدید تا 21% نسبت به سرریز پلکانی مشاهده شد.

**کلیدواژگان:** بلوک دندانه‌دار، استهلاك انرژی، تحقیقات آزمایشگاهی، زبری، سرریز پلکانی.

## 1- مقدمه

ممکن است کل سازه هیدرولیکی مورد نظر را زیر سوال ببرد. بنابراین باید به طریقی انرژی جریان مذکور مستهلک شود. برای استهلاك انرژی، مستهلک کننده‌های مختلفی وجود دارند که از جمله می‌توان انواع حوضچه‌های آرامش، پرتاب کننده جامی پرش اسکی و... را نام برد. اما در صورتی که بخش عمده‌ای از انرژی در طول سرریز و قبل از رسیدن به پنجه سرریز و رودخانه پایین دست آن، مستهلک شود، کاهش ابعادی مستهلک کننده‌های مذکور و یا حتی حذف آن‌ها را موجب خواهد شد که باعث ساده‌تر

سرریزها برای عبور مطمئن و ایمن جریان پرانرژی آب طراحی می‌شوند. هنگامی که آب از هر نوع سرریزی، از ارتفاع بالا به پایین سرازیر می‌شود، مقدار زیادی از انرژی پتانسیل آن در تاج سرریز به انرژی جنبشی در پنجه سرریز تبدیل می‌شود و هر چه اختلاف ارتفاع سرریز و پایاب بیشتر باشد، این تبدیل انرژی شدیدتر و در نتیجه سرعت جریان بالاتر خواهد بود. چنین جریانی با انرژی جنبشی بالا، دارای قدرت تخریب قابل توجهی است که

مختلف آزمایشگاهی حدود 10% بوده است (Chanson and Gonzalez, 2004). البته احتمالاً بیشتر الگوها به دلیل افزایش محدود راندمان استهلاک انرژی در مقابل تحمیل هزینه اجرایی قابل ملاحظه به طرح، تاکنون از لحاظ طراحی حرفه ای، عمومیت اجرایی پیدا نکرده‌اند. در این راستا یکی از اهداف اولیه و اصلی این پژوهش، طراحی و ارائه یک سرریز با هندسه و آرایش زبری جدید، برای استهلاک بالای انرژی در طول آن است. از آنجا که این شکل سرریز، ابداعی بوده و تاکنون هیچ تحقیقی روی آن صورت نگرفته است، هدف اصلی، ارائه و معرفی و اثبات عملکرد و کارایی مثبت آن است. لازم به ذکر است که این طراحی، به علت پیش ساخته بودن بلوک‌ها که باعث افزایش در سرعت و سهولت اجرای پروژه می‌شود، دارای ویژگی‌های اجرایی است. در نهایت، با توجه به استهلاک بالای انرژی بر روی سرریز پلکانی و عملکرد مناسب آن، با ارزیابی و برآورد عملکرد این سرریز جدید، پیش بینی بهینه بودن آن نسبت به سرریز پلکانی در زبری‌های معادل، مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

## 2- روش تحقیق

جریان آب روی یک بستر زبر و ناهموار، بسیار متلاطم است و این نوع جریان می‌تواند بخش عمده ای از انرژی خود را مستهلک کند (Chanson, 2002). زبری زیاد بستر انواعی از سرریزها از جمله سرریز پلکانی و سرریز تحقیق حاضر، باعث می‌شود که هوای زیادی وارد جریان شده و جریان به صورت دوفازی درآید. در این پژوهش، با توجه به اینکه اندازه گیری جریان ریزشی در پنجه چنین سرریزهایی از طریق ابزار پیشرفته و دقیق اندازه‌گیری غلظت هوا، بسیار سخت و پرهزینه است، برای اندازه‌گیری انرژی باقی‌مانده در پایین دست سرریز، با توجه به وضعیت دوفازی جریان، از روش جدید گودال آب شستگی پایین دست سرریز، ناشی از جت آب ورودی

و کم هزینه‌تر شدن مسائل فنی و اقتصادی می‌شود. در این راستا، سرریز پلکانی، رایج ترین سازه هیدرولیکی است. در حقیقت، جریان عبوری از روی پله‌ها بسیار متلاطم بوده و افزایش قابل توجه استهلاک انرژی را به همراه خواهد داشت.

در راستای افزایش راندمان استهلاک انرژی روی بستر سرریزها، بخصوص سرریز پلکانی، کوشش‌های مختلفی در طی یک قرن اخیر انجام گرفته است. تمامی این تلاش‌ها در راستای تشدید میزان تلاطم جریان ریزشی و به تبع آن افزایش استهلاک انرژی بوده است که از جمله آن می‌توان فرم‌های مختلف تحقیقاتی که توسط Chanson and Gonzalez (2004) جمع‌بندی شده است را نام برد. همچنین، (Barani et al. 2005) و Chinnarasri and Wongwises (2006) بر روی پله‌های با شیب معکوس و پله‌های با آستانه انتهایی تحقیقات آزمایشگاهی انجام داده‌اند و نهایتاً افزایش راندمان تا 10% توسط آن‌ها گزارش شده است. (Peruginelli and Pagliara 2000) برای ارزیابی و مقایسه استهلاک انرژی بر روی سرریز پلکانی، سرریز سرسره‌ای ساده، سرریز آبشاره‌ای و نهایتاً سرریز شیبدار با سنگپوش، تحقیقاتی انجام داده‌اند. نتایج جالب این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که افت انرژی سرریز شیبدار با سنگپوش از همه بیشتر بوده، سپس سرریز پلکانی و بعد سازه آبشاره‌ای و از همه کمتر سرریز سرسره‌ای ساده می‌باشد. پژوهش دیگری را مردشتی و طالب بیدختی (1386)، به صورت الگوی جدید سرریز پلکانی مرکب انجام دادند که در آن از ایده فرم طبیعی بستر رودخانه‌های پر شیب کوهستانی با الگوی پله - حوضچه‌ای استفاده کردند. به عبارت دیگر پله‌های معمول در سرریز پلکانی مرکب نقش قلوه سنگ‌های بزرگ در سیستم پله - حوضچه‌ای در رودخانه‌های کوهستانی را دارند.

حداکثر افزایش راندمان استهلاک انرژی گزارش شده از سوی محققان مختلف، در آزمایش بر روی مدل‌های

که توسط مردشتی و همکاران (1386) ارائه گردید، استفاده شده است. به دلیل تبدیل انرژی پتانسیل موجود در تاج سرریز به انرژی جنبشی در پنجه، جریان در پنجه بسیار پرسرعت بوده و باعث شکل‌گیری و تشکیل گودال آب شستگی در پایین‌دست سرریز می‌شود. با توجه به عمل متقابل بین انرژی باقی‌مانده در پایین‌دست سرریز و توسعه گودال آب شستگی، مردشتی و همکاران (1386) روی ارتباط بین ابعاد مشخصه گودال (از جمله عمق و طول گودال ( $l_s, h_s$ ) و عمق و طول پشته ( $l_p, h_p$ ) (شکل 1)) با مشخصه‌های جریان خروجی از سرریز سرسره‌ای (از جمله عدد فرود، توان جریان و ... پژوهشی انجام دادند که در نتیجه آن، ارتباط بسبار خوبی بین عمق گودال با توان خروجی جریان به دست آمد. در حقیقت، هرچه انرژی تیغه جریان خروجی از سرریز بیشتر باشد، عمق فرسایش بیشتر خواهد شد. رابطه (1) بر اساس این ارتباط برای دانه‌بندی  $d_{50}=2.5$  cm توسط مردشتی و همکاران (1386) بدست آمده که از شیب سرریز مستقل است.

که توسط مردشتی و همکاران (1386) ارائه گردید، استفاده شده است.

به دلیل تبدیل انرژی پتانسیل موجود در تاج سرریز به انرژی جنبشی در پنجه، جریان در پنجه بسیار پرسرعت بوده و باعث شکل‌گیری و تشکیل گودال آب شستگی در پایین‌دست سرریز می‌شود. با توجه به عمل متقابل بین انرژی باقی‌مانده در پایین‌دست سرریز و توسعه گودال آب شستگی، مردشتی و همکاران (1386) روی ارتباط بین ابعاد مشخصه گودال (از جمله عمق و طول گودال ( $l_s, h_s$ ) و عمق و طول پشته ( $l_p, h_p$ ) (شکل 1)) با مشخصه‌های جریان خروجی از سرریز سرسره‌ای (از جمله عدد فرود، توان جریان و ... پژوهشی انجام دادند که در نتیجه آن، ارتباط بسبار خوبی بین عمق گودال با توان خروجی جریان به دست آمد. در حقیقت، هرچه انرژی تیغه جریان خروجی از سرریز بیشتر باشد، عمق فرسایش بیشتر خواهد شد. رابطه (1) بر اساس این ارتباط برای دانه‌بندی  $d_{50}=2.5$  cm توسط مردشتی و همکاران (1386) بدست آمده که از شیب سرریز مستقل است.

$$P_A = 1.05 h_s^{1.92} + 5h_s + 3.1 \quad (1)$$

$$P_A = \gamma q (E_{res} - E_t) \quad (2)$$

که  $E_{res}(m)$  انرژی جریان ریزشی در انتهای سرریز،  $E_t(m^2s^{-1})$  انرژی جریان در پایین‌دست گودال فرسایشی،  $q(m^2s^{-1})$  دبی جریان در واحد عرض و  $\gamma(Nm^{-3})$  وزن مخصوص آب است.

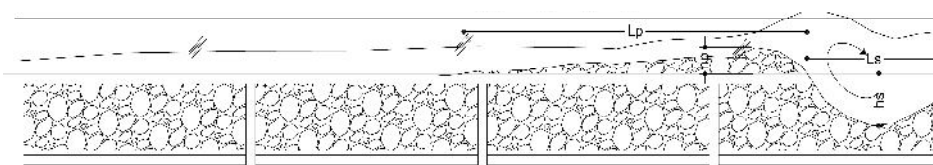
نهایتاً میزان استهلاك انرژی از رابطه (3) محاسبه می‌شود:

$$\Delta E = E_0 - E_{res} \quad (3)$$

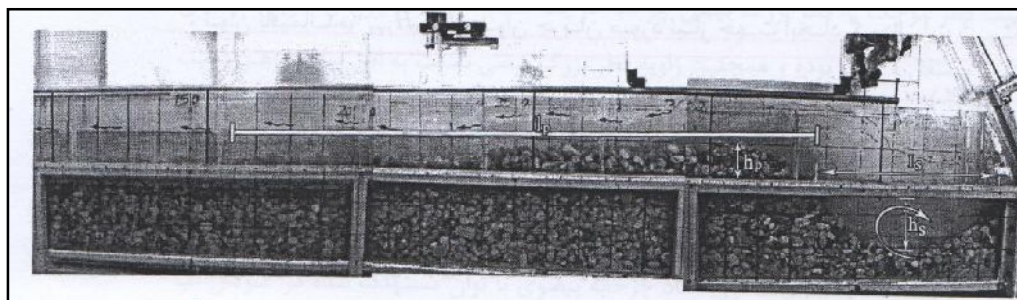
که  $E_0(m)$  انرژی جریان ورودی به سرریز و  $\Delta E(m)$  میزان استهلاك انرژی است.

جدول 1 مشخصات شن مورد استفاده در حوضچه شنی، برای دستیابی به رابطه (1) را نشان می‌دهد.

کانال حوضچه شنی



الف) شماتیک ابعاد مشخصه گودال آب‌شستگی



ب) تصویر ابعاد مشخصه گودال آب‌شستگی

شکل 1 ابعاد مشخصه گودال آب‌شستگی در حوضچه شنی

جدول 1 مشخصات شن مورد استفاده در حوضچه شنی مردشتی و همکاران (1386)

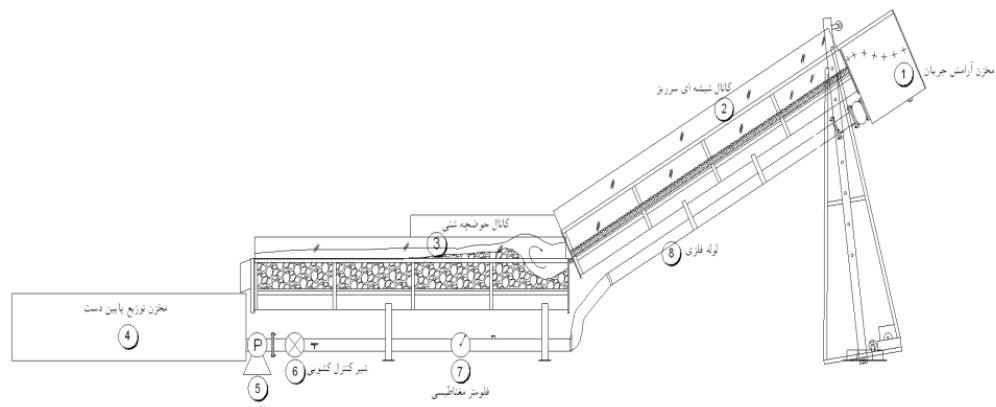
$\Phi$ ( $^{\circ}$ )	C (Kg cm $^{-2}$ )	D $_{50}$ (mm)	$\gamma_s$ (gr cm $^{-3}$ )	$\gamma_d$ (gr cm $^{-3}$ )
41	0	0/25	1/862	1/475

### 3- ساختار آزمایشگاهی، مدل و روش آزمایش

مجموعه آزمایشگاهی پژوهش حاضر، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز قرار دارد که شامل اجزای زیر است: 1) مخزن آرامش جریان در بالادست کانال که توسط پیرومتر نصب شده کنار آن به همراه یک خطکش قائم، تراز سطح آب ورودی به سیستم، قابل برداشت می‌باشد 2) کانال شیشه‌ای سرریز به عرض 20 سانتی‌متر، طول 4 متر و دیواره‌های شیشه‌ای به ارتفاع 50 سانتی‌متر که امکان قرارگیری در شیب‌های مختلف 28-3 درجه (به فاصله 5 درجه) نسبت به افق را دارد 3) کانال افقی حوضچه شنی به عرض 20 سانتی‌متر، طول 4 متر، عمق شن 30 سانتی‌متر و 40 سانتی‌متر لبه آزاد 4) مخزن پایین‌دست کانال به ابعاد 3/5 متر در 3 متر و عمق 70 سانتی‌متر با احتساب 10 سانتی‌متر لبه آزاد 5) پمپ سانتریفیوژ با قدرت آبدهی حداکثر 60 لیتر در ثانیه در ارتفاع 10 متر 6) شیر کنترل کشویی به قطر 10 سانتی‌متر 4 اینچ 7) دستگاه سنجش دبی مغناطیسی با دقت 0/1 لیتر در ثانیه 8) لوله فلزی انتقال به قطر 10 سانتی‌متر 4 اینچ 9) به طول کلی 11/5 متر سیمای شماتیک

مجموعه، در شکل 2 ارائه شده است. برای اندازه‌گیری عمق جریان در طول کانال سرریز و کانال حوضچه شنی از ارتفاع‌سنج الکترونیکی با دقت 0/01 میلی‌متر استفاده شده است و عمق جریان از میانگین‌گیری اعماق برداشت شده در راست، چپ و وسط هر مقطع از کانال محاسبه شده است. برای اندازه‌گیری دبی جریان از فلومتر مغناطیسی با دقت 0/1 لیتر در ثانیه استفاده شده است.

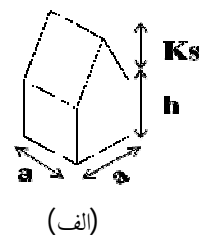
با توجه به توان پمپ، ارتفاع حداکثر کانال و ارتفاع دیواره‌های شیشه‌ای کانال سرریز و حوضچه شنی، محدوده دبی‌های مورد آزمایش به ترتیب 5، 10، 15، 20، 25 و 30 لیتر در ثانیه بوده است. شیب‌هایی که با توجه به محدودیت فضای آزمایشگاه، مورد آزمایش قرار گرفت، شیب‌های 18/8، 23 و 28 درجه است. آزمایش‌ها بر روی سرریز دندانه‌دار بلوکی برای 5 مدل ابعادی و قرارگیری بلوک‌ها، تحت عناوین: A, B, C, D, E که در مجموع 90 حالت را شامل می‌شود، انجام گرفته است. بلوک‌ها از تفلون ساخته شده‌اند و شکل هندسی آنها در شکل 3- الف ارائه شده است. این بلوک‌ها در سه ابعاد مختلف ساخته شده‌اند و در تمام آزمایش‌ها (همان‌گونه که در شکل 3- ب نشان داده شده است) بلوک‌ها طوری روی بستر شوت کنار هم نصب شده‌اند که هر بلوک نسبت به بلوک مجاور خود 90 درجه دوران یافته است.



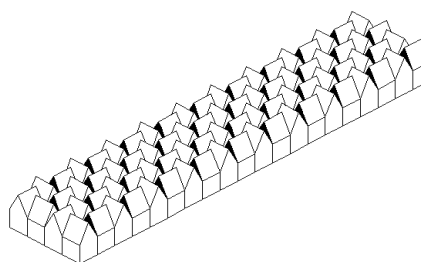
شکل 2 ساختار آزمایشگاهی

جدول 2 ابعاد سرریز دندانه دار بلوکی بر حسب نام مدل

مدل	$Ks$ (cm)	$a$ (cm)	$h$ (cm)	آرایش قرارگیری
A	2	2	5	یکنواخت
B	3	4	4	یکنواخت
C	5	5	5	یکنواخت
D	ترکیب آرایشات مدل B, C			ترکیبی
E	ترکیب آرایشات مدل A, B, C			ترکیبی



(الف)



(ب)

شکل 3 الف) نمای شماتیک و ابعادی از یک نمونه دندانه بلوکی (از جنس تفلون) ب) نمای شماتیک آرایش قرارگیری دندانه‌های بلوکی در سطح سرریز



مدل B



مدل D

شکل 4 نمونه‌ای از آرایش قرارگیری بلوک‌ها در مدل 2 یکنواخت (B) و ترکیبی (D) مورد آزمایش

در این پژوهش، 5 آرایش مختلف با استفاده از این بلوک‌ها، مطالعه شده است، بطوری که کل سطح سرریز به وسیله آنها پوشش داده می‌شود. در مدل‌های A, B, C بلوک‌ها در هر مدل، ابعاد یکنواخت و یکسانی دارند و جزئیات ابعادی آنها در جدول 2 شرح داده شده است. در مدل‌های D, E که بر اساس نتایج به دست آمده از مدل‌های یکنواخت انتخاب شده است، سطح سرریز با بلوکهای هم اندازه پوشش داده نمی‌شود، بلکه یک آرایش ترکیبی از مدل‌های یکنواخت ایجاد می‌شود. مدل D ترکیب بلوک‌های مدل یکنواخت B و C و مدل E ترکیبی از سه اندازه موجود از بلوک‌ها یا به عبارتی ترکیب مدل‌های یکنواخت A, B و C می‌باشد. شکل 4، نمایی از 2 نمونه از مدل‌های مورد آزمایش را در محیط آزمایشگاهی نشان می‌دهد.

در جدول 2 خلاصه ابعادی مدل‌ها بر اساس پارامترهای تعریف شده در شکل 3- الف ارائه شده است. شکل 4 آرایش‌های مختلف مورد آزمایش را نشان می‌دهد.

#### 4- تجزیه و تحلیل نتایج

در این مطالعه، دو هدف اصلی دنبال می‌شود. اولین هدف، ارزیابی استهلاک انرژی روی مدل‌های مختلف سرریز نوآوری شده است و هدف دیگر، مقایسه استهلاک انرژی برآورد شده سرریز مذکور با سرریز پلکانی است.

#### 4-1- ارزیابی استهلاک انرژی روی سرریز دنداندار

##### بلوکی

در ابتدا، میزان استهلاک انرژی نسبی سرریز دنداندار بلوکی ( $\Delta E/E_0$ ) در مقابل نسبت بدون بعد ( $d_c/H_{dam}$ ) که  $d_c$  عمق بحرانی جریان و  $H_{dam}$  ارتفاع سرریز است، برای سه شیب 18/8، 23 و 28 درجه و سه آرایش ساده با ارتفاع دندان 2، 3 و 5 سانتی‌متر، در شکل 5 برای دبی‌های مختلف ترسیم شد. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های مربوط به این مدل‌های با آرایش یکنواخت (A,B,C)، در رژیم‌های جریان یکسان، میزان استهلاک نسبی انرژی در آرایش C بیشتر از B و در B بیشتر از A می‌باشد.

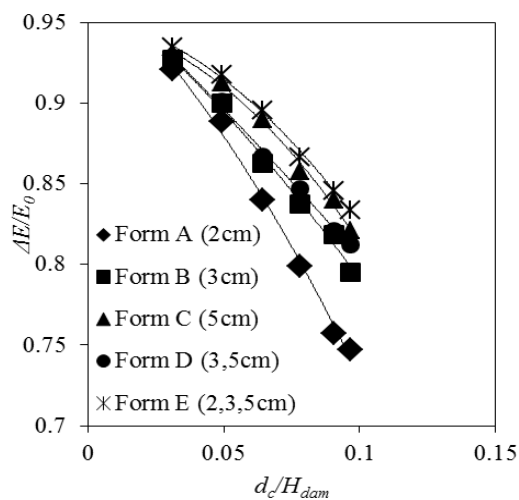
نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع دندان‌ها، میزان استهلاک نسبی انرژی نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه آرایش مناسب برای دو مدل با آرایش فرارگیری بلوک‌های با ابعاد مختلف به صورت ترکیبی، برای نیل به استهلاک انرژی بالاتر پیش‌بینی شد که اولین مدل ترکیبی از ترکیب 2 مدل یکنواخت با استهلاک انرژی بیشتر (مدل B, C) و دومین مدل ترکیبی از ترکیب بلوک‌ها در 3 ابعاد مختلف (ترکیب هر 3 مدل یکنواخت)، حاصل گردید. نتیجه نهایی استهلاک نسبی انرژی 5 آرایش مورد آزمایش در سه شیب مذکور برای دبی‌های مختلف، در مجموعه شکل 6 برای شیب‌های مختلف سرریز، قابل مشاهده و مقایسه است. در واقع با توجه به این شکل، تأثیر و روند تغییرات دبی و تغییرات ابعاد آرایش‌های مختلف (ابعاد دندان‌ها) در میزان استهلاک نسبی انرژی، قابل مشاهده است.

در واقعیت بلوک‌های دنداندار در سرریز دنداندار بلوکی به 2 علت اصلی سبب ایجاد استهلاک انرژی می‌شوند:  
1- از یک طرف، وجود این بلوک‌های دنداندار در مسیر حرکت آب با شکل هندسی خاص، نقش موانع متعدد و مؤثر را در برابر آب ایفا می‌کند که تبع آن انتظار استهلاک انرژی را ایجاد می‌کند.

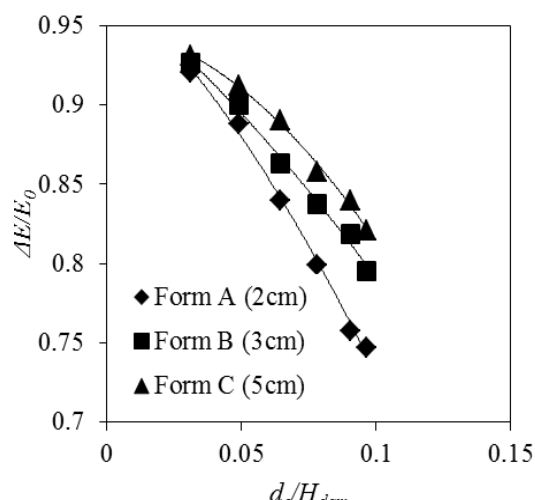
2- از طرف دیگر به علت شکل خاص این بلوک‌ها و همچنین شکل قرارگیری آنها نسبت به هم (90 درجه دوران)، فضای مناسبی بین بلوک‌ها، برای ایجاد و استقرار گردابه‌ها وجود دارد که خود در جهت تشدید تلاطم و استهلاک عمل می‌کند.

در هر مرحله از آزمایش (فرارگیری سیستم در شیب و دبی مورد نظر) ابتدا تراز سطح آب در داخل مخزن آرامش در بالادست کانال سرریز قرائت گردید که معرف انرژی اولیه، در آن آزمایش خواهد بود. پس از به تعادل رسیدن گودال آب شستگی (خروجی سنگدانه از داخل گودال به خارج از آن وجود نداشته باشد) که به طور متوسط 15-20 دقیقه به طول می‌انجامد، مراحل زیر انجام شد:

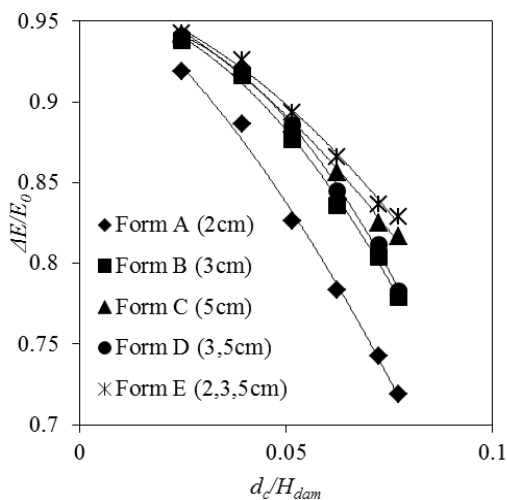
ارتفاع سطح آب در پایین‌دست کانال شنی (از محلی که نوسانات سطح آب، تحت تأثیر چرخابه بیضوی متلاطم گودال آب شستگی قرار نداشت) توسط ارتفاع‌سنج الکترونیکی، در راست، چپ و وسط هر مقطع از کانال برداشت گردید و برای برآورد میزان انرژی باقی‌مانده در پایین دست سرریز دنداندار بلوکی از روابط (1) و (2) استفاده شد، بطوری که در هر آزمایش، پس از به تعادل رسیدن گودال آب شستگی حوضچه شنی، پمپ خاموش گردید و بعد از تخلیه آب از داخل سنگدانه‌ها، اقدام به برداشت توپوگرافی گودال آب شستگی شد. پس از تعیین عمق گودال  $h_s$  مقدار  $P_A$  از رابطه (1) محاسبه شد و با استفاده از رابطه (2) و اندازه‌گیری  $q$  و  $H_t$ ، مقدار انرژی باقی‌مانده جریان ریزشی در انتهای سرریز  $H_{res}$  و در نتیجه میزان استهلاک انرژی از رابطه (3) محاسبه گردید.



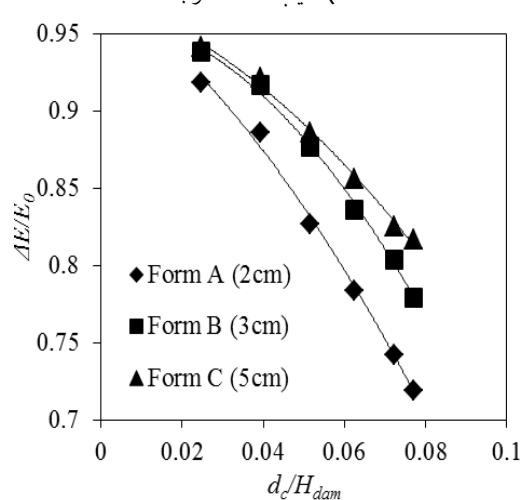
الف) شیب 18/8 درجه



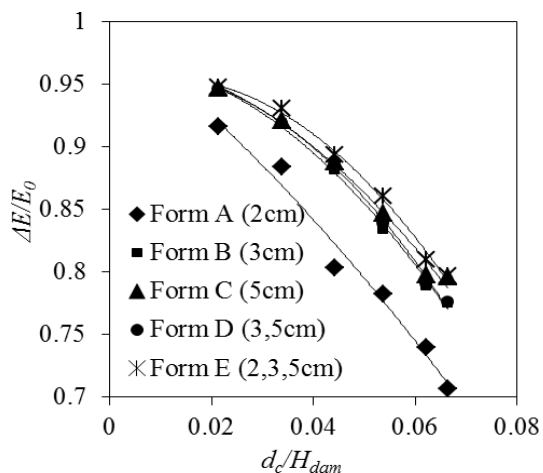
الف) شیب 18/8 درجه



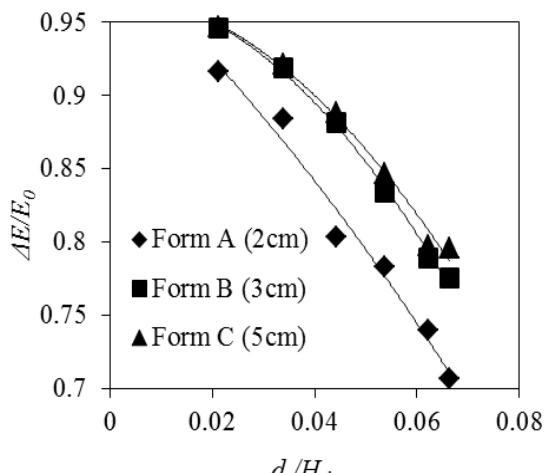
ب) شیب 23 درجه



ب) شیب 23 درجه



ج) شیب 28 درجه



ج) شیب 28 درجه

شکل 6 نمودارهای مقایسه‌ای استهلاک نسبی انرژی ( $\Delta E/E_0$ ) در مقابل عمق بحرانی نسبی ( $d_c/H_{dam}$ ) در 5 آرایش مختلف بلوک‌های دندان‌دار

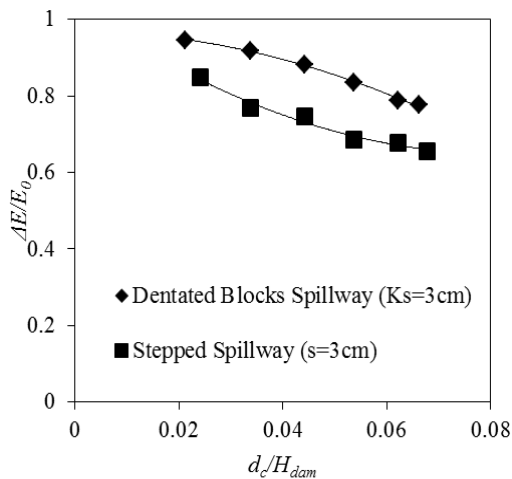
شکل 5 نمودارهای مقایسه‌ای استهلاک نسبی انرژی ( $\Delta E/E_0$ ) در مقابل عمق بحرانی نسبی ( $d_c/H_{dam}$ )، در 3 آرایش یکنواخت بلوک‌های دندان‌دار

استهلاک انرژی سرریز دندانه‌دار بلوکی نسبت به سرریز پلکانی در زبری‌های معادل می‌باشد. در این راستا، از نتایج مردشتی و همکاران (1386)، میزان نسبی استهلاک انرژی سرریز پلکانی برای 4 خیز پلکانی 3، 5، 8 و 12 سانتی‌متری در دو شیب 18/8 و 28 درجه روی همین سیستم آزمایشگاهی استفاده شده است. در نتیجه مقایسه راندمان استهلاک دو سرریز در زبری‌های معادل، در خیز پلکان و زبری سرریز پلکانی 3 و 5 سانتی‌متر در شیب و دبی‌های یکسان صورت گرفته است. شکل‌های 7 و 8 تغییرات استهلاک انرژی نسبی در مقابل نسبت بدون بعد  $(d_c / H_{dam})$  را در هر شیب نشان می‌دهند.

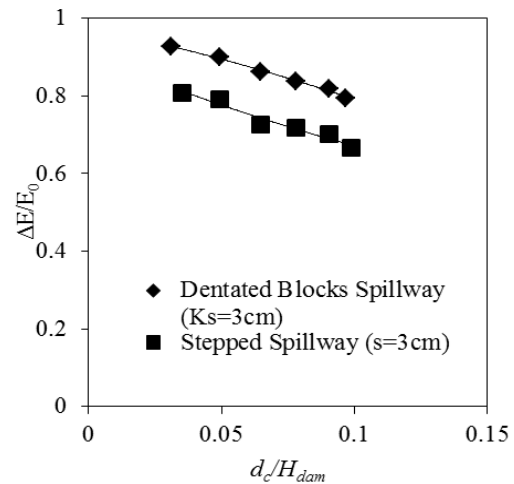
با توجه به نتایج، استهلاک نسبی انرژی به ترتیب در مدل‌های E، C، D، B و A بیشترین مقدار را به خود اختصاص می‌داد. در واقع نتایج نشان می‌دهد که عامل بی‌نظمی در زبری بستر در افزایش استهلاک انرژی مؤثر است. همچنین با توجه به روند تغییرات، با افزایش دبی جریان و به تبع آن افزایش نسبت بدون بعد  $(d_c / H_{dam})$ ، میزان استهلاک انرژی بر روی سرریز دندانه‌دار بلوکی کاهش می‌یابد.

#### 4-2- مقایسه استهلاک انرژی سرریز دندانه‌دار بلوکی با سرریز پلکانی

هدف نهایی در این تحقیق، مقایسه عملکرد و راندمان

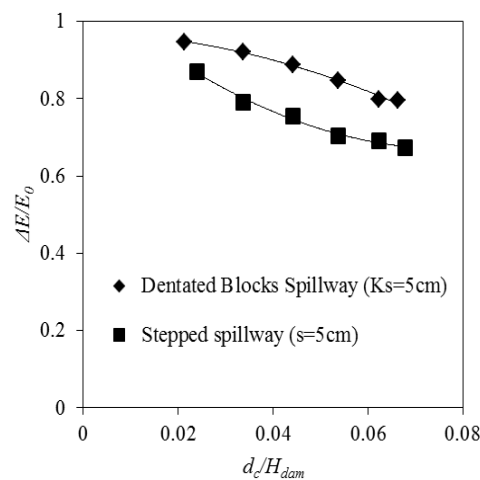


ب) شیب 28 درجه

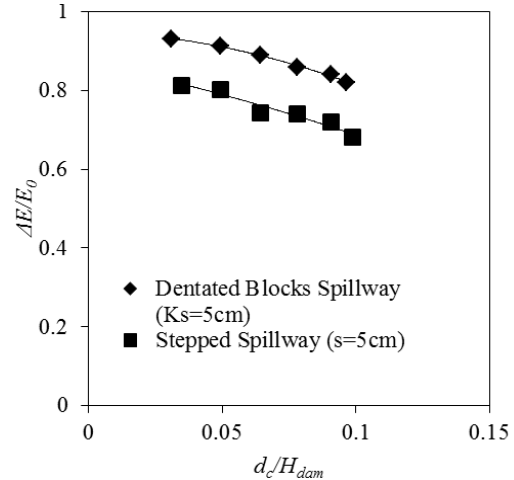


الف) شیب 18/8 درجه

شکل 7 مقایسه میزان نسبی استهلاک انرژی سرریز پلکانی و دندانه‌دار بلوکی در زبری معادل 3 سانتی‌متر



ب) شیب 28 درجه



الف) شیب 18/8 درجه

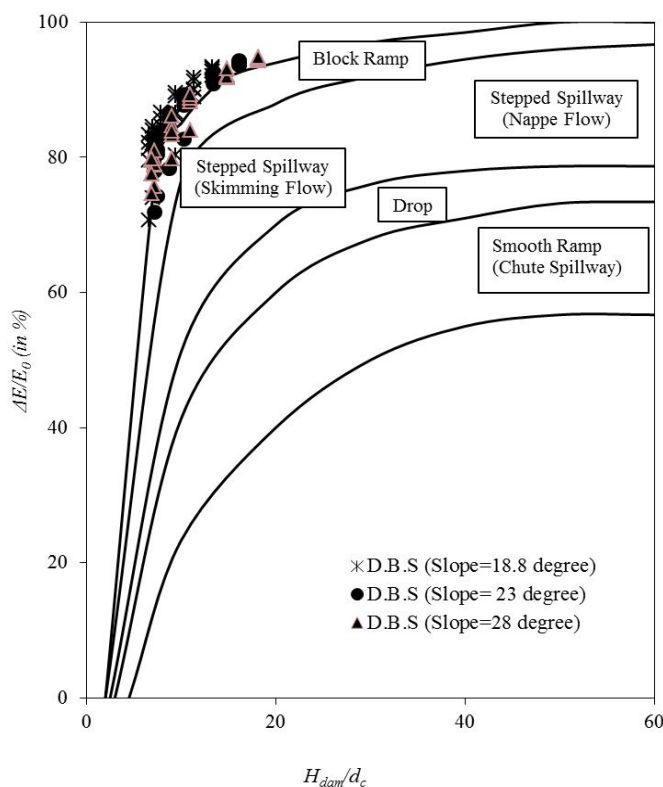
شکل 8 مقایسه میزان نسبی استهلاک انرژی سرریز پلکانی و دندانه‌دار بلوکی در زبری معادل 5 سانتی‌متر



### 5- نتیجه گیری

در این پژوهش، یک سرریز با اجزای زبری و آرایش چیدمان جدید، معرفی و میزان استهلاک انرژی روی این سرریز ارزیابی شد. نتایج آزمایشگاهی بررسی مدل سرریز دنداندار بلوکی نشان داد که هندسه اجزای زبری، روی میزان استهلاک انرژی مؤثر است، بطوری که در آرایش‌های یکنواخت (پوشش کل سرریز با بلوک‌های هم‌اندازه) با افزایش ابعاد زبری، در رژیم‌های جریان یکسان، میزان استهلاک نسبی انرژی افزایش می‌یابد و با توجه به نتایج حاصل از آرایش‌های ترکیبی، مشاهده شد که میزان بی‌نظمی ایجاد شده در مجموعه به دلیل استفاده از ابعاد مختلفی از بلوک‌ها، می‌تواند به افزایش میزان استهلاک نسبی انرژی کمک کند، به طوری که آرایش متشکل از سه ابعاد مختلف بلوک‌ها، بیشترین استهلاک را در میان دیگر آرایش‌ها به خود اختصاص داد.

مجموعه این نتایج، نشانگر عملکرد هیدرولیکی بهتر الگوی زبری و آرایش جدید مطرح شده نسبت به سرریز پلکانی معمول می‌باشد که باعث افزایش استهلاک نسبی انرژی تا 21% نسبت به سرریز پلکانی می‌شود. در نهایت، برای مقایسه وسیع‌تر و جامع‌تر و مشاهده عملکرد مناسب سرریز دنداندار بلوکی، نتایج استهلاک نسبی انرژی حاصل از کل آزمایش‌ها، به منحنی ارائه شده توسط Peruginelli & Pagliara (2000) برای دستیابی به دید جامع‌تر اضافه گردید. شکل 9 استهلاک انرژی سرریز مورد مطالعه در این پژوهش را با سرریز پلکانی، سرسره‌ای و سنگپوش نشان می‌دهد که عملکرد مناسب سرریز دنداندار بلوکی را تأیید می‌کند. با توجه به نتایج به دست آمده در رابطه با عملکرد مناسب و راندمان بالای 21% استهلاک انرژی روی سرریز دنداندار بلوکی نسبت به سرریز پلکانی، پیشنهاد می‌شود تا مطالعات بیشتری روی این سرریز جدید، برای دستیابی به ابعاد و آرایش بهینه، از لحاظ اقتصادی و هیدرولیکی انجام گیرد.



شکل 9 مقایسه استهلاک نسبی انرژی در سرریز دنداندار بلوکی با سرریزهای سرسره‌ای، پلکانی و سنگپوش (Peruginelli and Pagliara, 2000)

## 8- منابع

مردشتی، ا.، و طالب بیدختی، ن. (1386). "ارتقا استهلاك انرژی سرریزهای پلکانی با استفاده از فرایند پله - حوضچه‌ای رودخانه‌های کوهستانی"، مجله تحقیقات منابع آب ایران، 3 (2) (مسلسل 8)، ص.ص. 48-61.

مردشتی، ا.، طالب بیدختی، ن.، و جوان، م. (1386). "ارزیابی استهلاك انرژی جریان دو فازی روگذر سرریز پلکانی به کمک گودال آبستگي پایین دست"، مجله هیدرولیک، 4، ص.ص. 1-22.

Barani, G.A., Rahnama, M.B., and Sohrabpoor, N. (2005). "Investigation of flow energy dissipation over different stepped spillways." American Journal of Applied Sciences 2, pp. 1101-1105.

Chanson, H. (2002). *The Hydraulics of stepped chutes and spillways*, Balkema, ISBN 90 58003522.

Chanson, H. and Gonzalez, C.A. (2004). "Stepped spillways for embankment dams. Review, progress and development in overflow hydraulics." Hydraulics of Dams and River Structures Conference, Tehran, Taylor and Francis Group, London.

Chinnarasri, C. and Wongwiset, S. (2006). "Flow patterns and energy dissipation over various stepped chutes", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 132, (1), pp. 70-76.

Peruginelli, A. and Pagliara, S. (2000). "Energy dissipation among stepped channel, drop and ramp structures", Proc. Int. Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, VAW, ETH Zurich, Monor, H.E., and Hager, W.H., (Eds).

همچنین در تمام آزمایش‌ها، کاهش میزان استهلاك انرژی بر روی سرریز دنداندار بلوکی با افزایش دبی جریان، قابل مشاهده بود. نهایتاً مجموعه نتایج آزمایشگاهی بررسی مدل سرریز دنداندار بلوکی، نشانگر عملکرد هیدرولیکی و اجرایی بهتر الگوی زبری و آرایش جدید مطرح شده نسبت به سرریز پلکانی معمول می‌باشد. در حقیقت با قرارگیری اجزای زبری با هندسه مورد نظر تحت آرایش مذکور، فضای مناسبی بین این اجزا برای تشکیل و استقرار گردابه‌های چرخشی جریان ایجاد می‌شود که باعث افزایش استهلاك نسبی انرژی تا 21% نسبت به سرریز پلکانی می‌شود.

## 7- فهرست علائم

$d_c$	عمق بحرانی جریان
$E_0$	انرژی اولیه
$E_{res}$	انرژی باقی‌مانده در انتهای سرریز
$E_t$	انرژی در پایین دست گودال آبستگي
$H_{dam}$	ارتفاع کل سرریز
$h_p$	عمق پشته پروفیل گودال آبستگي
$h_s$	عمق گودال پروفیل گودال آبستگي
$K_s$	ارتفاع بلوک‌های دنداندار
$l_p$	طول پشته پروفیل گودال آبستگي
$l_s$	طول گودال پروفیل گودال آبستگي
$P_A$	توان خروجی جریان در واحد عرض
$q$	دبی جریان در واحد عرض سرریز
$s$	ارتفاع پله سرریز پلکانی
$\alpha$	شیب سرریز
$\gamma$	وزن مخصوص آب
$\Delta E$	استهلاك انرژی