

بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی جریان از روی سرریز گابیونی پله‌ای

فرزین سلماسی^{1*}، داود فرسادی زاده¹ و حسن محیط²

تاریخ دریافت: 88/5/6 تاریخ پذیرش: 89/7/20

1- استادیار و دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

2- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبه: Email: Ferzin.salmasi@gmail.com

چکیده

سرریزهای گابیونی یا توریسنگی پله‌ای کاربردهای زیادی در ساختمان سدها، مهندسی رودخانه و حفاظت خاک دارند. این نوع سرریزها از انعطاف زیادتری نسبت به نوع صلب آن برخوردار بوده و در مقابل بارهای ناشی از فشار آب مقاوم و پایدار هستند. استهلاک انرژی جریان از روی چنین سازه‌ای به علت وجود جریان درون‌گذر و روگذر پله‌ها زیاد بوده و لذا هزینه‌های ساخت حوضچه آرامش کاهش می‌یابد. از خصوصیات مهم این نوع سازه، جریان درون‌گذر از داخل جسم متخلخل سرریز است که پیچیدگی‌هایی را در رفتار جریان ایجاد می‌کند. اکثر تحقیقات انجام یافته تاکنون مربوط به سرریزهای پلکانی سدهای بزرگ بتنی و صلب بوده است و در مقایسه با آن، مطالعات بر روی سرریزهای پلکانی گابیونی بسیار اندک بوده است. بررسی هیدرولیکی عبور جریان از روی پله‌ها و نیز محیط متخلخل درون سازه گابیونی و محاسبه افت انرژی از اهداف این پژوهش می‌باشند. برای این منظور 9 مدل فیزیکی از سرریز گابیونی پله‌ای با 3 تخلخل مختلف و شیب‌های 1:1 و 1:2 ساخته شد. برای بررسی نفوذ پذیری پله‌ها در افت انرژی، وجه افقی و عمودی پله‌ها توسط ورق آهنی نفوذ ناپذیر گردید. نتایج نشان می‌دهند که در دبی‌های بالا که رژیم جریان غیر ریزشی یا شبه صاف اتفاق می‌افتد، استهلاک انرژی در سرریز گابیونی بیشتر است که این مورد باید در طراحی مد نظر قرار گیرد. در واقع در دبی‌های بیشتر، جریان به دو بخش روگذر و درون‌گذر تفکیک می‌شود. پله‌ها زیر آب قرار می‌گیرند و تاثیر زبری آنها کمتر شده و در مقابل تاثیر جریان درون‌گذر در افت انرژی افزایش می‌یابد. استهلاک انرژی در سرریز دارای پله‌های نفوذ ناپذیر (دارای ورق آهنی در پله‌های افقی و عمودی تواما) در دبی‌های کم بیشتر از سایرین است و در مرحله بعد به ترتیب سرریز گابیونی، سرریز با دیواره عمودی غیر قابل نفوذ و سپس سرریز با کف افقی غیر قابل نفوذ قرار دارند. افزایش تخلخل از 38 تا 42 درصد موجب افزایش استهلاک انرژی گردید. همچنین با کاهش شیب از 1:1 به 1:2 بر میزان استهلاک انرژی افزوده شد.

واژه‌های کلیدی: استهلاک انرژی جریان، تخلخل، سرریز گابیونی پله‌ای، شیب سرریز

Experimental Evaluation of Energy Dissipation over Gabion Stepped Spillway

F Salmasi^{1*}, D Farsadizade¹ and H Mohit²

Received: 28 July 2009 Accepted: 12 October 2010

¹ Asist. Prof., and Assoc. Prof., Dept of Water Engin., Univ. of Tabriz, Iran

² MSc. Student, Dept. of Hydraulic Structures, Univ. of Tabriz, Iran

*Corresponding Author: Email: Ferzin.salmasi@gmail.com

Abstract

Stepped gabion spillways have many applications in dam structure, river engineering and soil conservation works. These types of weirs have more flexibility in respect to rigid (impervious) type and are more stable against water pressure. Energy dissipation through this weir is high due to over flow and inflow from steps, so the cost of stilling basin construction can be reduced. Flowing water through the body of weir is one of its important characteristics that make flow condition more complex. Most of the researches until now were on rigid stepped weir in large dams and there are a few studies on gabion stepped spillways. The purpose of this study is to investigate flow over and through the gabion stepped spillway body and determine energy dissipation rate. For this purpose 8 physical gabion stepped spillways with 3 different porosities 38 to 42 percent and two slopes 1:1 & 1:2 (V:H) were made and iron plate on each horizontal or vertical step was used to study the effect of step pervious on energy dissipation. Results show that at higher discharge, energy dissipation is more in pervious (gabion) spillway. In fact at higher discharge or skimming flow regime, energy dissipation divided in to over flow and inflow through the spillway body. In this situation energy dissipation through the spillway body have more effect on total energy dissipation. Thus in skimming flow regime, gabion stepped spillway will have greater energy dissipation. At lower discharge, energy dissipation is more in impervious stepped spillway. In this condition other rank belongs to gabion, step with vertical plate and step with horizontal plate respectively. Gabion with higher porosity had bigger energy dissipation and with increasing in discharge, their differences tend to zero. Slope decreasing from 1:1 to 1:2 causes more energy dissipation.

Keywords: Energy dissipation, Porosity, Spillway slope, Stepped gabion spillway

مقدمه

پیراس و همکاران (1992) تحقیقاتی بر روی مدل فیزیکی از سرریزهای پلکانی گابیونی همگن و کوچک انجام دادند. هدف آنها محاسبه استهلاک انرژی جریان از روی سازه و تعیین ابعاد هندسی حوضچه آرامش آن بوده است. تغییر شکل گابیون و فاکتورهای تاثیرگذار روی مقاومت آن در مقابل سیلابها نیز مورد آزمون قرار گرفته است. پله‌ها به چهار حالت به شرح زیر ساخته شدند:

1- گابیونی تخت (یا صاف) بدون هیچگونه حفاظت. 2- دارای لایه‌ای از بتن برای حفاظت در برابر بار رسوبی سنگین رودخانه. 3- دارای لایه بتنی حفاظ با شیب معکوس و 4- دارای آستانه انتهایی.

نتایج حاصله برای سرریز گابیونی پلکانی با سطح صاف (بدون حفاظت) نشان داد که در مقایسه با آزمایشات رند (1955) روی پله بتنی به ارتفاع h ، سرریز گابیونی 10 درصد استهلاک انرژی بیشتری را نشان داد که علت آن می‌تواند با نفوذپذیری گابیون، اختلاف در زبری سطح گابیون- بتن و شیب سرریز تفسیر نمود. نفوذ ناپذیر کردن کف پله‌ها توسط لایه بتن از راندمان استهلاک انرژی می‌کاهد. ضمناً طول حوضچه آرامش به اندازه 8 و 15 درصد به ترتیب برای شیب‌های 1:3 و 1:2 (افقی: عمودی) افزایش نشان می‌دهد (شیب ملایمتر استهلاک انرژی را افزایش می‌دهد و برعکس). در خصوص پله‌های با شیب معکوس و آستانه‌دار مشاهده شد که در جریان ریزشی، ضربات جریان آب روی پله‌ها گرفته شد و موجب بهبود وقوع پرش هیدرولیکی گردید. در این حالت کاهش حدود 10 درصد در طول حوضچه آرامش قابل پیش‌بینی است.

عزیزی و همکاران (1378) آزمایشاتی روی سرریز گابیونی دارای 3 عدد پله انجام دادند. ضمناً در تمام آزمایشات شیب وجه بالادست 1:1 انتخاب گردید که علت آن پایداری بیشتر سازه در برابر نیروی هیدرواستاتیک آب بوده است. نتایج نشان داد که با افزایش تخلخل، مقدار افت نسبی انرژی جریان کاهش می‌یابد و شیب منحنی در تخلخل‌های بالاتر از 38

سازه‌های گابیونی (یا توری‌سنگی) کاربردهای زیادی در ساخت سازه‌های آبی داشته و هم‌اکنون در بسیاری از کشورها در احداث سدهای کوچک و انواع سرریزها مورد استفاده قرار می‌گیرند. ساخت سرریزهای گابیونی ساده و راحت است و در مقابل بارهای ناشی از فشار آب مقاوم و پایدار هستند. استهلاک انرژی جریان از روی چنین سازه‌ای نیز زیاد بوده و لذا هزینه‌های ساخت حوضچه آرامش کاهش می‌یابد. علاوه بر کاربرد در سدها و سرریزها می‌توان از آن در عملیات آبخیزداری جهت کنترل فرسایش در آبراهه‌ها و یا ساحل‌سازی کناره‌های رودخانه در نزدیکی آبگیر یا قوس‌ها استفاده نمود. در این حالت علاوه بر حفظ و کمک به پایداری خاک، در مناطق دارای سنگ فراوان از هزینه ساخت سازه بتنی نیز کاسته می‌شود. از خصوصیات مهم این نوع سازه، جریان درون گذر از داخل جسم متخلخل سرریز است که ایجاد پیچیدگی در رفتار جریان را می‌نماید. اکثر تحقیقات انجام یافته تاکنون مربوط به سرریزهای پلکانی سدهای بزرگ بتنی یا سرریزهای پلکانی صلب بدون تخلخل بوده است (چانسون 1994، چمنی و راجاراتنام 1999، گونزالز و همکاران 2008) و در مقایسه با آن، مطالعات بر روی سرریزهای پلکانی گابیونی (دارای تخلخل) بسیار اندک بوده است. از پارامترهای هندسی موثر در جریان می‌توان به ارتفاع سرریز، تعداد پله‌ها، شیب سرریز، عرض سرریز و تخلخل سنگ‌های درون توری اشاره نمود. از پارامترهای مهم هیدرولیکی نیز می‌توان به دبی جریان، عمق آب در پنجه سرریز قبل از پرش هیدرولیکی، عمق آب روی پله‌ها و استهلاک انرژی اشاره نمود. با ترکیب مناسب پارامترهای موثر می‌توان به پارامترهای بی‌بعدی دست یافت که تحلیل و کاربرد نتایج را مفیدتر خواهد ساخت. می‌توان با پوشش دادن پله‌ها با لایه‌ای از بتن (غیر قابل نفوذ کردن پله افقی یا عمودی یا هر دو)، مجدداً تحلیل‌های دیگری انجام داد و به نتایج جدیدی دست یافت.

کوشش بر آن است تا اثر اندازه ذرات کاربردی در سازه توریسنگی (گابیونی) روی استهلاک انرژی بررسی گردد. از اهداف دیگر تحقیق تاثیر غیر قابل نفوذ کردن پله افقی، عمودی و افقی - عمودی (هر دو توأم) بر روی استهلاک انرژی جریان است.

مواد و روش ها

این طرح در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام پذیرفت. آزمایشگاه دارای یک مخزن اصلی آب زیرزمینی است که آب توسط پمپ به برج اصلی آزمایشگاه که حدود 3/7 متر ارتفاع دارد، منتقل و سپس به سمت کانال هدایت می‌شود. در محل ورودی آب به کانال شیر فلکه جهت کنترل میزان دبی ورودی قرار دارد. کانال با مقطع مستطیلی و از جنس فلزی - شیشه‌ای است. طول آن 9 متر، عرض 25 سانتی‌متر و ارتفاع آن 50 سانتی‌متر است. یک دریچه در انتهای کانال جهت کنترل عمق آب پایین‌دست و محل تشکیل پرش هیدرولیکی نصب گردیده است. آب جریان یافته در کانال به داخل یک مخزن در انتهای آن منتقل می‌گردد که با استفاده از سرریز مثلثی نصب شده روی دیواره بتنی مخزن می‌توان دبی را اندازه گرفت. دو ریل موازی در بالای بدنه کانال، جهت حرکت شاخص مدرج (لیمینمتر) مجهز به ورنیه با دقت 0/1 میلی‌متر برای اندازه گیری عمق آب نصب شده است.

عرض مدل‌های فیزیکی ساخته شده از سرریز پلکانی گابیونی 25 سانتی‌متر، تعداد پله ها 3 با ارتفاع هر پله 10 سانتی‌متر و شیب سرریزها 1:1 و 1:2 بود. تخلخل سازه‌های گابیونی نیز پس از اندازه‌گیری برابر 38، 40 و 42 درصد بدست آمد. برای تعیین درصد تخلخل بدین صورت عمل شد که حجم سازه توری سنگی با توجه به ابعاد آن حاصل می‌شود. میزان تخلخل از رابطه 1 حاصل می‌شود:

$$e = \frac{V_{Void}}{V_{Total}} \quad [1]$$

درصد کاهش افت نسبی انرژی قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد که این امر به دلیل افزایش مقدار جریان درون - گذر نسبت به جریان روگذر است. روند منحنی‌های راندمان انرژی - تخلخل بیانگر این موضوع است که جریان روگذر باعث افت انرژی بیشتری نسبت به جریان درون گذر می‌شود. در دبی‌های پایین که قسمت عمده جریان به صورت درون‌گذر است، افزایش تخلخل باعث کاهش یکنواخت انرژی می‌گردد. زیرا افت انرژی به علت اصطکاک سنگدانه‌های محیط متخلخل بوده در حالی که دبی‌های زیاد افزایش تخلخل باعث تغییر قسمتی از جریان از روگذر به درون‌گذر می‌گردد و با توجه به اینکه جریان درون‌گذر باعث افت اندکی نسبت به جریان روگذر می‌شود، افت نسبی انرژی به صورت ناگهانی کاهش می‌یابد. کاهش شیب پایین دست از 1:1 به 1:2 یا 1:3 باعث افزایش افت نسبی انرژی می‌گردد.

در مطالعات ابراهیمی و همکاران (1384) تعداد 9 مدل از سرریز گابیونی پلکانی ساخته و مورد آزمایش قرار گرفته است. عرض و ارتفاع فلووم 60 سانتی‌متر است. سرریزها دارای 3 پله هر کدام به ارتفاع 10 سانتی‌متر و ارتفاع کل سرریز 30 سانتی‌متر بود. شیب پایین دست 1:1، 1:2 و 1:3 انتخاب شد. برخی نتایج مهم عبارت بودند از:

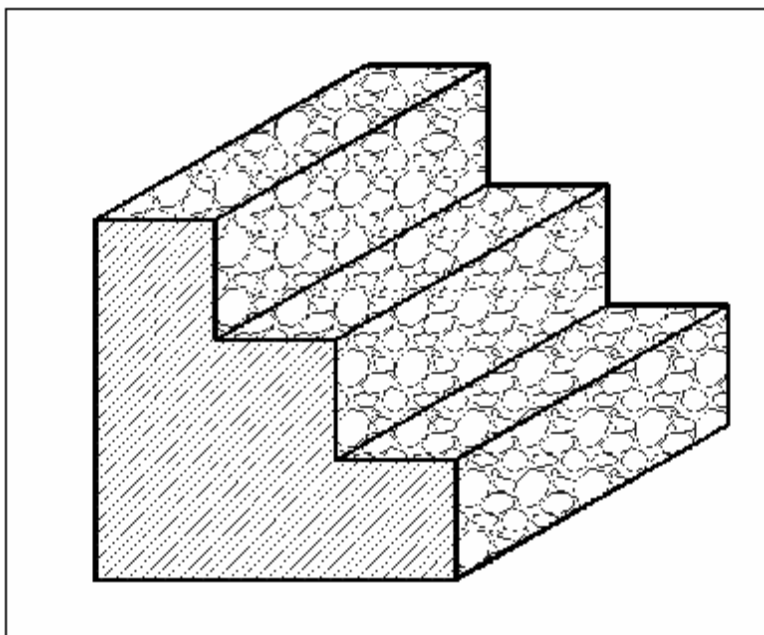
1- سرعت جریان آب در سرآب و پایاب مدل‌ها نسبت به افزایش دبی جریان افزایش می‌یابند و حداقل سرعت آب در سرآب و پایاب مربوط به مدل‌هایی است که بالادست آنها نفوذناپذیر و تخته روی پلکان پایین دست آنها قرار دارد و در دبی حداکثر مربوط به شیب پایین - دست 1:3 است. 2- کاهش شیب پایین‌دست عموماً به دلیل افزایش تلاطم جریان باعث اتلاف انرژی بیشتری در تمامی گزینه‌ها می‌گردد. 3- در مدل بالادست نفوذپذیر و بدون تخته روی پله‌ها در تمام شیب‌ها با افزایش بده جریان، افت انرژی کاهش می‌یابد که در مدل با شیب پایین‌دست 1:2 از دو مدل دیگر بیشتر است.

هدف از این تحقیق انجام آزمایش برای بررسی هیدرولیکی جریان از روی پله‌ها و نیز محیط متخلخل درون سازه گابیونی و محاسبه افت انرژی می‌باشد.

سرریز، برای کشیدن تور روی سرریز نیز کاربرد دارد. توری با عبور به صورت زیگ زاگی از زیر و روی میله‌ها بر روی قاب کشیده شده و روی قاب را پوشش می‌دهد. با ایجاد روزنه‌هایی در قاب اصلی سازه، توری به دیواره اصلی سازه دوخته شد. سپس قلوه سنگ‌ها در ابعاد مورد نظر در داخل توری ریخته و سعی گردیده که تمام حجم داخلی سازه را که توسط توری محصور گردیده است، پر کند. سپس با قرار دادن این سازه درون کانال و آب‌بندی آن، آزمایشات انجام پذیرفت. همچنین این سازه دارای صفحاتی به ابعاد 10×25 سانتی‌متر می‌باشد که توسط دو عدد پیچ ریز به سازه‌ی اولیه پیچ می‌شود. این قابلیت سبب کاهش زمان نصب صفحات آهنی بر روی سازه گردید. شکل 1 نمایش سه بعدی از سرریز پله‌ای گابیونی و شکل 2 مدل فیزیکی سرریز پله‌ای گابیونی با شیب 1:2 نصب شده داخل کانال را نشان می‌دهند.

در رابطه 1 V_{void} حجم خلل و فرج بر حسب سانتی-متر مکعب و V_{Total} حجم کل واحد توری سنگی می‌باشد. برای تعیین حجم خلل و فرج، توری سنگی را در ظرف حاوی مقدار مشخص آب قرار می‌دهیم. این ظرف به نحوی است که لبریز از آب می‌باشد و با قرار دادن توری سنگی در ظرف، مقداری از آب سرریز می‌شود. می‌توان با اندازه‌گیری مقدار کاهش حجم آب در ظرف، حجم توده سنگ موجود در توری سنگی را تعیین نمود. با معلوم بودن حجم توری سنگی و تعیین اختلاف بین دو حجم اندازه‌گیری شده، می‌توان حجم خلل و فرج را تعیین کرد.

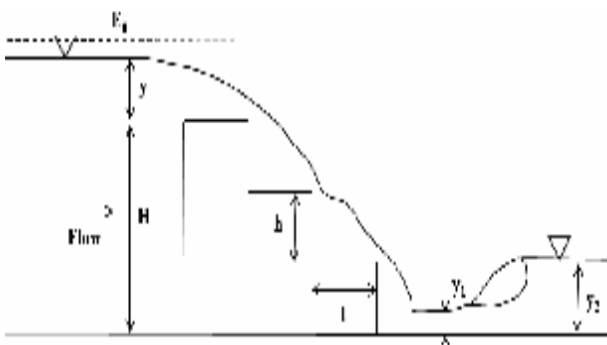
برای ساخت سرریزها دو ورق فلزی به ضخامت 2 میلی‌متر به نحوی برش داده شد تا در سمت راست و چپ سرریز قرار گیرد. برای قرار دادن پله‌ها و اتصال این دو ورق به یکدیگر از میله‌های فلزی به قطر 7 میلی‌متر استفاده گردیده است. این میله‌ها علاوه بر وظیفه اتصال بین دو صفحه و ایجاد پایداری و شکل اولیه



شکل 1- نمایش سه بعدی از سرریز پله‌ای گابیونی به ارتفاع 30 و عرض 25 سانتی‌متر



شکل 2- مدل فیزیکی سرریز پله‌ای گابیونی با شیب 1:2 نصب شده داخل کانال.



شکل 3- ابعاد هندسی و هیدرولیکی مدل فیزیکی

جریان در پایین دست سرریز دارای تلاطم زیاد و توام با ورود هوا است. لذا برای کاهش خطای اندازه‌گیری عمق آب قبل از پرش هیدرولیکی، عمق بعد از پرش اندازه‌گیری شد و برای محاسبه استهلاک انرژی، عمق قبل از پرش توسط رابطه اعماق مزدوج به صورت زیر محاسبه گردید:

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} \quad [3]$$

$$y_1 = \frac{y_2}{2} \left(\sqrt{1 + 8 * \left(\frac{y_c}{y_2} \right)^3} - 1 \right) \quad [4]$$

از دیگر مسائل مطرح در این پژوهش اندازه ذرات سنگی داخل توری سنگی می‌باشد. برای تعیین اندازه ذرات از الک استفاده گردید. به این ترتیب که اندازه دانه‌های سنگی بین قطرهای 16 تا 19 میلی‌متر، 19/1 تا 25 میلی‌متر و 25/1 تا 38 میلی‌متر از توده سنگ انتخاب و در مکانی بطور جداگانه جمع‌آوری گردیدند. از این ذرات جهت انجام آزمایشات استفاده شد. بدین ترتیب که در هر مرحله از آزمایش، ذرات سنگی با قطر متفاوت با اندازه قبلی برای ایجاد درصد تخلخل بکار رفت. بدین ترتیب تخلخل‌های 38، 40 و 42 درصد بدست آمد. انرژی کل در بالادست سرریز به صورت زیر محاسبه گردید:

$$E_o = H + y + \frac{V_a^2}{2g} = H + y + \frac{q^2}{2gy^2} \quad [2]$$

در رابطه فوق H برابر ارتفاع کل سرریز می‌باشد که با توجه به اندازه دقیق مدل پس از ساخته شدن در رابطه قرار داده شده است. y عمق آب نسبت به تاج سرریز در فاصله‌ای حدود 60 سانتی متری در بالادست سرریز می‌باشد. V_a مقدار سرعت نزدیک شدن آب به سرریز و q دبی در واحد عرض است (شکل 3).

G مربوط به سرریز پله‌ای گابیونی، GH مربوط به سرریز پله‌ای گابیونی با کف افقی غیر قابل نفوذ، GV مربوط به سرریز پله‌ای گابیونی با دیواره عمودی غیر قابل نفوذ و GHV مربوط به سرریز پله‌ای گابیونی با کف افقی و دیواره عمودی غیر قابل نفوذ هستند.

در شکل 4 میزان استهلاك نسبی انرژی جریان در مقابل دبی در واحد عرض سرریز پله‌ای گابیونی با شیب 1:1 رسم گردیده است. شکل مورد نظر مربوط به اندازه ذرات سنگ 16-19 میلی‌متر (تخلخل معادل 38 درصد) می‌باشد.

در روابط 3 و 4، y_2 عمق اندازه‌گیری شده بعد از پرش هیدرولیکی، y_1 عمق محاسبه شده قبل از پرش و $y_c = (q^2 / g)^{1/3}$ عمق بحرانی است که به صورت محاسبه گردیده است. مقدار استهلاك انرژی نسبی به صورت زیر تعریف شده است:

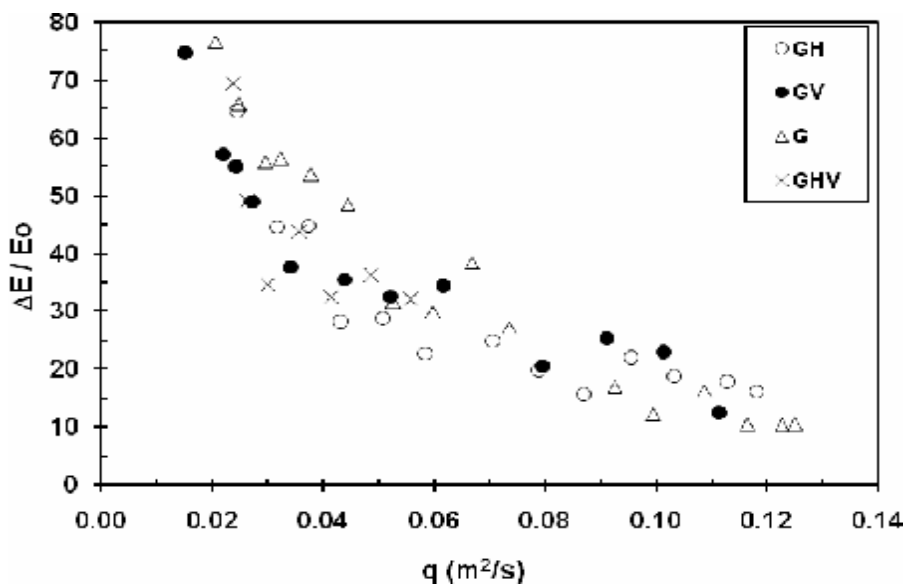
$$\frac{\Delta E}{E_o} = \frac{E_o - E_1}{E_o} = 1 - \frac{E_1}{E_o} \quad [5]$$

که پارامترهای آن قبلاً معرفی شده اند.

نتایج و بحث

علامت‌های مشخص شده در کنار شکل‌ها به-

صورت زیر تعریف می‌شوند:



شکل 4- تغییرات استهلاك نسبی انرژی در مقابل دبی در واحد عرض سرریز پله‌ای گابیونی مربوط به اندازه ذرات 16-19 میلی‌متر و شیب سرریز 1:1

مدل G (در دبی‌های کمتر از 0/05) نسبت به بقیه موارد اندکی بیشتر است.
- استهلاك نسبی انرژی جریان در مدل GHV نسبت به بقیه موارد تا حدودی کمتر است.
- غیر قابل نفوذ کردن پله‌ها از استهلاك انرژی جریان می‌کاهد و در مقابل، نفوذپذیری گابیون موجب

با توجه به شکل 4 ملاحظه می‌شود که:

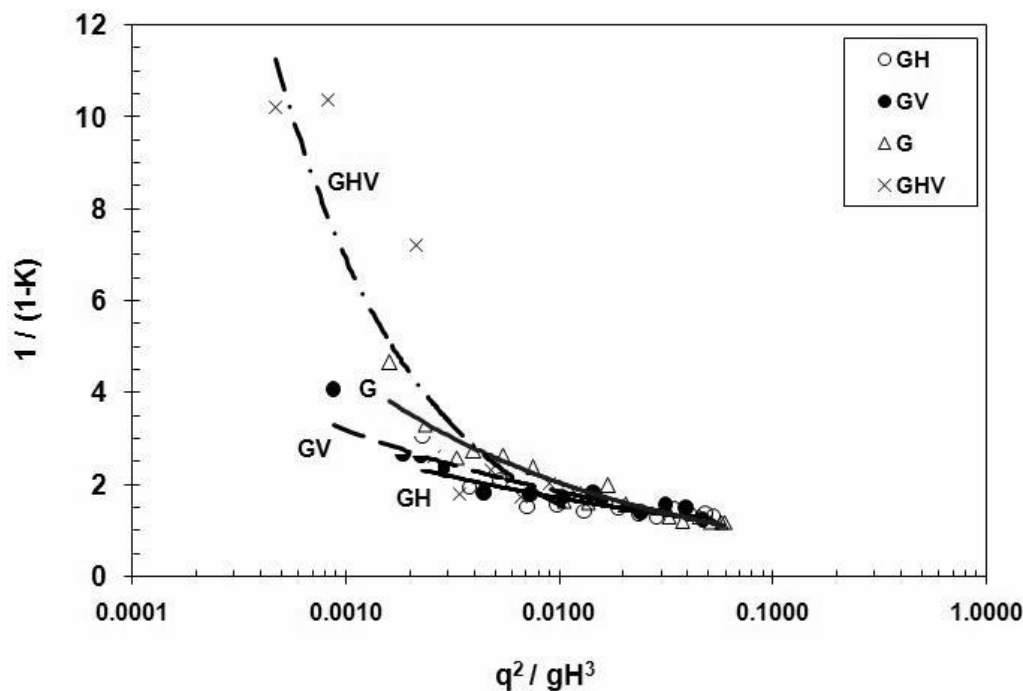
- در تمامی موارد استهلاك نسبی انرژی جریان با افزایش دبی کاهش می‌یابد.
- بین استهلاك نسبی انرژی جریان در مدل‌های فیزیکی چهارگانه فوق‌الذکر تفاوت قابل ملاحظه‌ای قابل تشخیص نیست. ولی می‌توان گفت که استهلاك نسبی انرژی در

افقی از پارامتر بی بعد q^2 / gH^3 و در محور عمودی از پارامتر بی بعد $1/(1-K)$ استفاده شد که در آن $K = (E_o - E_1)/H$ می‌باشد. همچنین محور افقی به صورت لگاریتمی تعریف شد. نتیجه کار در شکل 5 نشان داده شده است.

افزایش آن می‌گردد. علت آن جریان درون‌گذر از داخل بدنه سرریز است که استهلاک انرژی را نسبت به سایر موارد افزایش می‌دهد.

در شکل فوق تفاوت قابل تشخیصی در افت انرژی بین مدل GH با مدل GV دیده نمی‌شود.

برای درک بهتر و کسب اطلاعات بیشتر از شکل بالا، اقدام به تغییر مقیاس شد. بدین صورت که در محور



شکل 5- تغییرات استهلاک نسبی انرژی به صورت $K = (E_o - E_1)/H$ در مقابل q^2 / gH^3 برای سرریز پله‌ای گابیونی مربوط به اندازه ذرات 16-19 میلی‌متر و شیب سرریز 1:1

انرژی در سرریزهای نفوذ پذیر بیشتر از نوع صلب (GHV) می‌گردد. این بدین معنا است که در سرریزهای نفوذپذیر در دبی‌های کم که تمام یا قسمت اعظم جریان از درون سازه عبور می‌کند، استهلاک انرژی کمتر از نوع نفوذ ناپذیر است و به دلیل عدم عبور جریان از روی پله‌ها، فقط اثر تصادم جریان با ذرات درون گابیون باعث استهلاک انرژی می‌گردد. بنابراین تاثیر زبری پله‌ها در دبی‌های کم بر استهلاک در اثر جریان درون‌گذر غالب است. ولی در دبی‌های بیشتر، جریان به دو بخش روگذر و درون‌گذر تفکیک

مطابق شکل 5 مشاهده می‌شود که تفکیک نقاط آزمایشی از یکدیگر به نحو بهتری صورت گرفته است. لذا با تغییر پارامترهای هیدرولیکی می‌توان به نتایج بهتری دست یافت. استهلاک انرژی در سرریز دارای پله-های نفوذ ناپذیر یعنی GHV در دبی‌های کم بیشتر از سایرین است و در مرحله بعد به ترتیب سرریز گابیونی (G)، سرریز با دیواره عمودی غیر قابل نفوذ (GV) و سپس سرریز با کف افقی غیر قابل نفوذ (GH) قرار دارند. هر چند که افت انرژی در سه سرریز اخیر تفاوت اندکی با یکدیگر نشان می‌دهند. با افزایش دبی، استهلاک

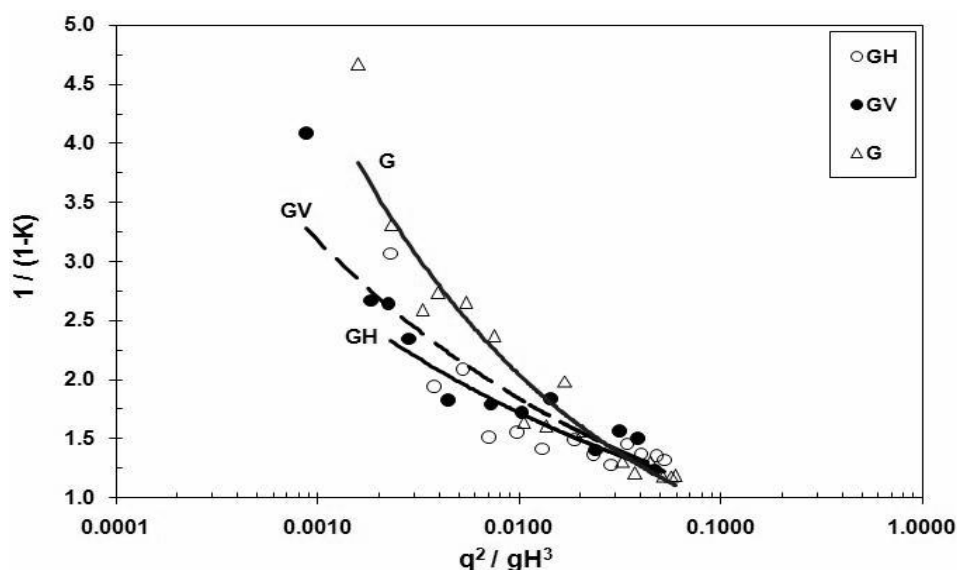
تشخیص داده می‌شود. منحنی‌های برازش داده شده در شکل 5، به شرح جدول 1 می‌باشند.

در مقایسه بین دو سرریز GV, GH می‌توان گفت که در نوع GV جریان به صورت معکوس از پایین به بالا در سطح افقی هر پله بوده و این جریان معکوس باعث تلاطم بیشتر و افزایش افت انرژی نسبت به نوع GH می‌گردد. برای درک بهتر این تفاوت در شکل 6 فقط از سازه نفوذپذیر استفاده شده و نوع نفوذ ناپذیر حذف شده است.

می‌شود. پله‌ها زیر آب مستغرق شده و تاثیر زبری آنها کمتر شده و در مقابل تاثیر جریان درون‌گذر در افت انرژی پیشی می‌گیرد. در این حالت چون تاثیر جریان درون‌گذر در استهلاک انرژی بیشتر است، لذا افت انرژی بیشتر در سرریز نفوذپذیر مشاهده می‌گردد. نکته مفید مربوط به طراحی این است که چون طراحی سرریزها بر اساس حداکثر سیل صورت می‌گیرد، لذا در این گونه موارد هم جریان درون‌گذر و هم جریان روگذر بروز خواهد نمود. لذا مطابق بحث قبلی، سازه گابیونی نفوذپذیر و بدون هیچگونه صفحه غیر قابل نفوذ، مناسب طراحی

جدول 1- روابط برازش داده شده برای نقاط آزمایشی در شکل 5 و شیب سرریز 1:1

نوع سرریز	رابطه برازش داده شده	ضریب r^2
GHV	$\frac{1}{1-K} = 0.0804 \left(\frac{q^2}{gH^3} \right)^{-0.6442}$	0/8
G	$\frac{1}{1-K} = 0.4195 \left(\frac{q^2}{gH^3} \right)^{-0.3434}$	0/94
GV	$\frac{1}{1-K} = 0.613 \left(\frac{q^2}{gH^3} \right)^{-0.2383}$	0/88
GH	$\frac{1}{1-K} = 0.6636 \left(\frac{q^2}{gH^3} \right)^{-0.2061}$	0/74

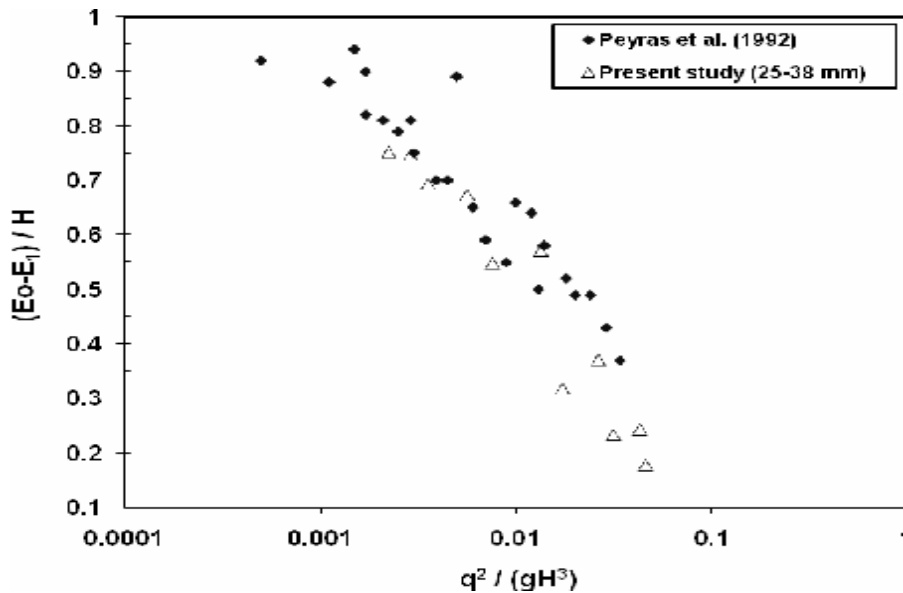


شکل 6- تغییرات استهلاک نسبی انرژی به صورت $K = (E_o - E_1) / H$ در مقابل q^2 / gH^3 برای سرریز پله‌ای گابیونی

مربوط به اندازه ذرات 16-19 میلی‌متر و شیب سرریز 1:1

38 میلی‌متری با نتایج پیراس و همکاران (1992) به ازای شیب 1:1 سرریز در هر دو پژوهش در شکل 7 ارائه شده است.

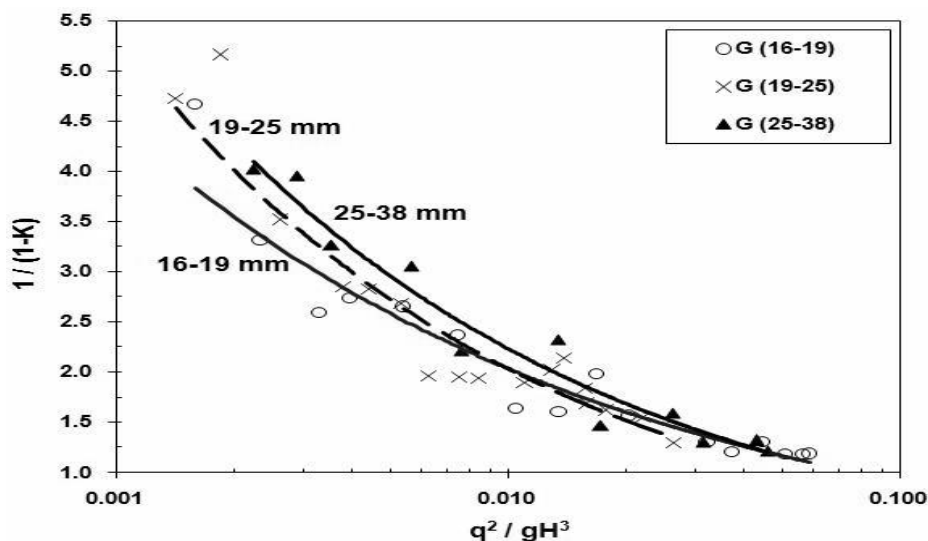
پیراس و همکاران (1992) در آزمایشات خود از اندازه ذرات 30-45 میلی‌متر استفاده نمودند. جهت مقایسه، نتایج تحقیق حاضر با اندازه ذرات سنگی 25 تا



شکل 7- مقایسه نتایج این پژوهش با تحقیقات پیراس و همکاران (1992) برای سرریز پله‌ای گابیونی با شیب 1:1

میلی‌متر در سرریز گابیونی (G) با شیب 1:1 به ازای دبی در واحد عرض رسم شده است. مطابق شکل مذکور، بزرگ بودن اندازه ذرات (تخلخل بیشتر) تا حدودی در افزایش استهلاك انرژی موثر است و با افزایش دبی، این تفاوت به صفر نزدیک می‌شود.

با توجه به شکل 7 ملاحظه می‌گردد که روند استهلاك انرژی در دو آزمایش تقریباً یکسان بوده و اختلاف جزئی می‌تواند مربوط به شرایط آزمایش و اختلاف در اندازه ذرات سنگی باشد. در شکل 8 تغییرات استهلاك انرژی مربوط به اندازه ذرات 19-16، 19-25 و 25-38



شکل 8- تغییرات استهلاك انرژی نسبی به صورت $K = \frac{E_0 - E_1}{H}$ در برابر $\frac{q^2}{gH^3}$ مربوط به اندازه ذرات 19-16، 19-25 و 25-38 میلی‌متر در سرریز گابیونی (G) با شیب 1:1

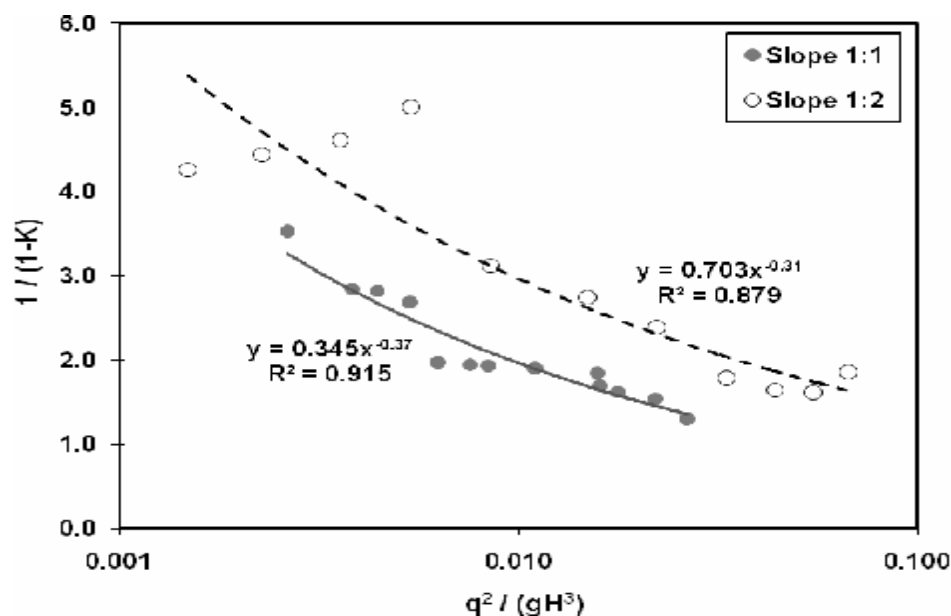
و همکاران (1384)، مفتاح و بیات (1388) و عزیزی و همکاران (1387) به همراه نتایج پژوهش حاضر برای سرریز گابیونی (G) با شیب 1:1 جهت مقایسه ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که تفاوت استهلاك انرژی محققین نامبرده و این پژوهش بسیار است و استهلاك انرژی پژوهش حاضر عموماً کمتر می‌باشد. ولی همانطوری که قبلاً نشان داده شد، نتایج این پژوهش با نتایج آزمایشات پیراس و همکاران (1992) همخوانی خوبی دارد.

منحنی‌های برازش داده شده در شکل 8، به شرح جدول 2 می‌باشند.

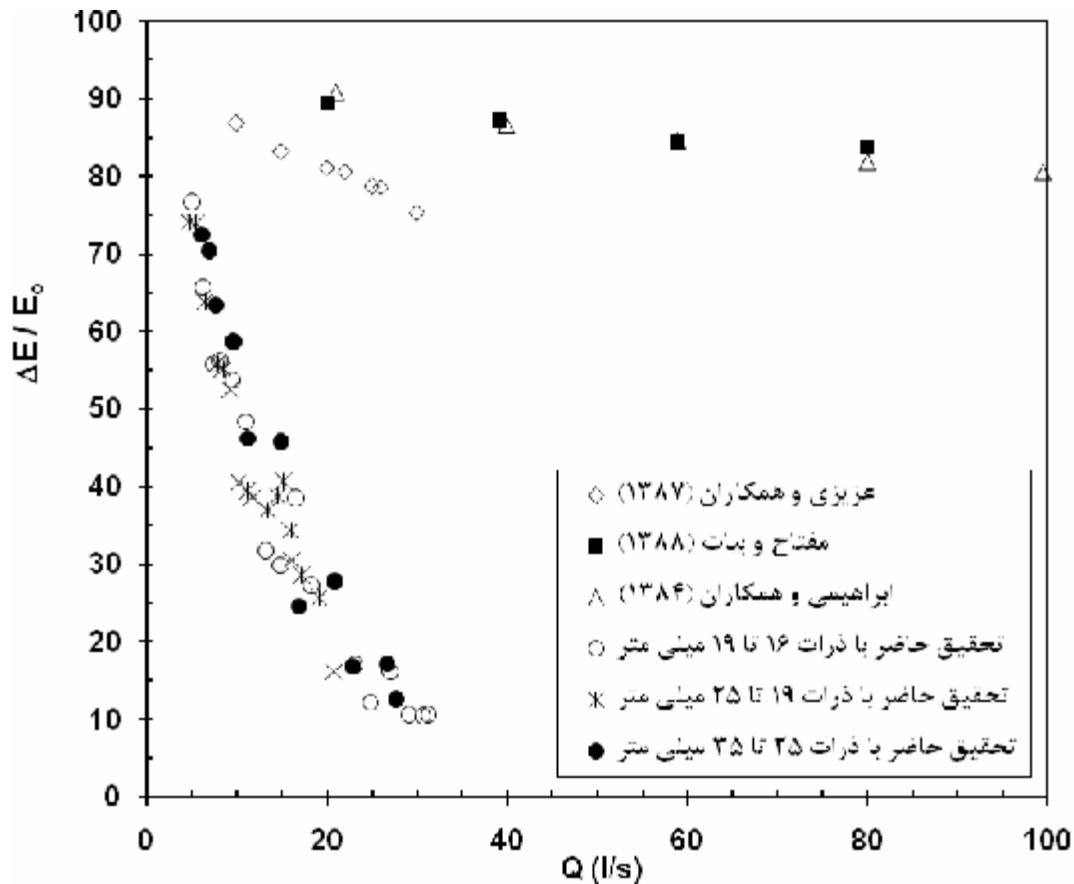
در شکل 9 تغییرات استهلاك انرژی نسبی در دو شیب 1:1 و 1:2 در سرریز گابیونی با اندازه ذرات 16 تا 19 میلی‌متر رسم شده است. ملاحظه می‌شود که کاهش شیب به 1:2 موجب افزایش افت انرژی گردیده است. کاهش شیب باعث افزایش طول وجه شیب‌دار و پلکانی سرریز شده و اثر افت انرژی توأم پله‌ها و جسم متخلخل افزایش می‌یابد. در شکل 10 تغییرات استهلاك انرژی نسبی در برابر دبی مربوط به نتایج آزمایشات ابراهیمی

جدول 2- روابط برازش داده شده برای نقاط آزمایشی در شکل 8 و شیب سرریز 1:1

اندازه ذرات (میلی‌متر)	رابطه برازش داده شده	ضریب i^2
19-16	$\frac{1}{1-K} = 0.4195 \left(\frac{q^2}{gH^3} \right)^{-0.3434}$	0/94
25-19	$\frac{1}{1-K} = 0.2937 \left(\frac{q^2}{gH^3} \right)^{-0.4207}$	0/91
38-25	$\frac{1}{1-K} = 0.3442 \left(\frac{q^2}{gH^3} \right)^{-0.406}$	0/95



شکل 9- تغییرات استهلاك انرژی نسبی به ازای شیب 1:1 و شیب 1:2 مربوط به اندازه ذرات 16-19 میلی‌متر در سرریز گابیونی (G)



شکل 10- تغییرات استهلاک انرژی نسبی در برابر دبی مربوط به اندازه ذرات 19-16، 19-25 و 25-38 میلی‌متر در سرریز گابیونی (G) با شیب 1:1

نتیجه گیری

فراوان کاربرد سازه‌های گابیونی مقرون به صرفه خواهد بود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح پژوهشی استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی می‌باشد که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا گردیده است. بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به خاطر فراهم نمودن فضای مناسب تحقیق و امکانات مالی صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

1- در رژیم جریان غیرریزشی که در دبی‌های بالا اتفاق می‌افتد، سرریزهای گابیونی استهلاک انرژی بالاتری را نسبت به نوع سرریزهای نفوذ ناپذیر یا نیمه نفوذپذیر نشان می‌دهند.

2- افزایش بزرگی سنگدانه‌ها در داخل گابیون تا حدودی موجب افزایش استهلاک انرژی جریان می‌گردد.

3- با کاهش شیب سرریز از 1:1 به 1:2 (افقی): عمودی) بر میزان استهلاک انرژی افزوده می‌شود.

4- استفاده از پارامترهای بی‌بعد مناسب، در تحلیل نتایج بسیار مفید است.

5- سازه‌های گابیونی از انعطاف‌پذیری مناسب در برابر نیروها برخوردار بوده و در مناطق دارای سنگ

منابع مورد استفاده

- ابراهیمی ن ق، کاشفی پور م و ابراهیمی ک، 1384. بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان بر روی مدل سرریز توری- سنگی پلکانی. صفحه های 108-120. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. خرداد ماه، دانشکده مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- عزیزی ا، مفتاح هلقی م، تبار احمدی ض و گلمائی ح، 1387. بررسی تاثیر تخلخل مصالح مورد استفاده بر افت انرژی جریان در سرریزهای پلکانی گابیونی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان. جلد شانزدهم، شماره اول. صفحه های 150-158
- مفتاح هلقی م، عزیزی ا، دهقانی ا و الحسینی ن، 1388. استهلاك انرژی جریان در سرریزهای پلکانی توری سنگی با به کارگیری صفحات نفوذناپذیر. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان. جلد شانزدهم، شماره دوم. صفحه های 234-241.
- Chamani MR and Rajaratnam N, 1999. Characteristics of skimming flow over stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 125(4): 361-368.
- Chanson H, 1994. Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes. *Journal of Hydraulic Research, IAHR* 32(2): 213-218.
- Gonzalez Carlos A, Takahashi M and Chanson H, 2008. An experimental study of effects of step roughness in skimming flows on stepped chutes. *Journal of Hydraulic Research, IAHR* 46(2): 24-35.
- Peyras L, Royet P and Degoutte G, 1992. Flow and energy dissipation over stepped gabion weirs. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 118(5): 707-717.
- Rand W, 1955. Flow geometry at straight drop spillway. *Proceedings, ASCE* 81(791): 1-13.