

## بررسی تأثیر تخلخل مصالح مورد استفاده بر افت انرژی جریان در سرریزهای پلکانی گابیونی

\*احمد عزیزی<sup>۱</sup>، مهدی مفتاح‌هلقی<sup>۲</sup>، میرخالق ضیاء تباراحمدی<sup>۳</sup> و سیدحسن گلمائی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی دانشگاه مازندران، <sup>۲</sup>استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۳</sup>استاد گروه مهندسی آب دانشگاه مازندران، <sup>۴</sup>استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه مازندران

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۸/۲۳

### چکیده

سازه‌های توریسنگی و مهمترین آنها، سرریزهای پلکانی گابیونی به لحاظ پایداری مناسب، اقتصادی بودن و افت بالای انرژی آب، کاربرد گسترده‌ای در مهندسی هیدرولیک دارد. از آنجا که حل معادلات حاکم بر جریان آب در محیط متخلخل سنگدانه‌ای بسیار پیچیده است با کاربرد مدل‌های فیزیکی می‌توان برآورد مناسبی از افت انرژی و رفتار سازه در مقابل تغییر پارامترهای مؤثر بر آن داشت. افت انرژی سرریزهای پلکانی گابیونی تابعی از شیب‌های بالادست و پایین‌دست سرریز، تخلخل و عدد آبشار است. تغییر تخلخل باعث تغییر نسبت جریان درون‌گذر به روگذر شده و به تبع آن میزان افت انرژی تغییر می‌یابد. در این تحقیق با آزمایش‌های انجام شده روی ۱۲ نمونه مدل فیزیکی، شامل ۴ تخلخل متفاوت ۳۰، ۳۴، ۳۸ و ۴۲ درصد و ۳ شیب مختلف پایین‌دست ۱:۱، ۱:۲، ۱:۳ و با انتخاب دبی‌های متفاوت از ۱۰ تا ۴۰ لیتر بر ثانیه تأثیر تخلخل بر میزان افت انرژی بررسی شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تخلخل، بیشتر از شیب پایین دست بر افت انرژی جریان تأثیر می‌گذارد و با کاهش تخلخل، افت انرژی افزایش می‌یابد. همچنین از تخلخل ۳۸ درصد به بالا، افت انرژی به‌شدت کاهش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** سرریزهای پلکانی گابیونی، افت انرژی، تخلخل، معادلات بدون بعد.

### مقدمه

گسترده‌ای در مهندسی هیدرولیک، دارند محدود می‌باشد. سرریزهای پلکانی گابیونی به لحاظ افت قابل توجه انرژی به‌دلیل جریان آب درون‌گذر و روگذر، پایداری مناسب و اقتصادی بودن در حفاظت بستر رودخانه‌ها، حفاظت حوضه‌های آبخیز و ساخت بندهای انحرافی کوتاه مناسب می‌باشند. تحقیقاتی توسط پیراس و همکاران (۱۹۹۲)، استفنس (۱۹۷۹)، مفتاح‌هلقی و بیات (۱۹۹۶)، شفافی بجستان و کاظمی‌نسبان (۱۹۹۷) و ابراهیمی و همکاران (۲۰۰۵) روی این سرریزها انجام شده است.

سرریزهای پلکانی باعث افت قابل توجه انرژی آب می‌گردند. این سرریزها انرژی جریان را تا ۷۵ درصد بیشتر از سرریزهای اوجی کاهش می‌دهند که این امر باعث کاهش ابعاد تأسیسات پایانه (حوضچه‌های آرامش) تا نصف اندازه‌های معمول می‌گردد (علومی، ۱۹۹۶). تحقیقات گسترده‌ای بر روی این سرریزها انجام شده است اما تحقیقات، روی سرریزهای پلکانی گابیونی که کاربرد

پایین دست، گزینه‌ای که در آن بالادست نفوذناپذیر و روی پله‌ها دارای لایه پوششی می‌باشد افت انرژی بیشتری دارد (۲) اتلاف انرژی در گزینه با شیب پایین دست ۱:۳ عموماً بیشتر از سایر گزینه‌ها می‌باشد. (۳) شیب ۱:۲ عموماً اتلاف انرژی کمتری نسبت به سایر گزینه‌ها دارد.

بنابراین مجموعه مطالعات و تحقیقات محققین مختلف تماماً بر روی اثر شیب‌های بالادست و پایین دست، عدد آبشار، تعداد پله‌ها و دبی جریان بوده که تقریباً نتایج یکسانی از آزمایش‌های مختلف به دست آورده‌اند. در این تحقیق سعی شده است ضمن لحاظ تمام معیارهای فنی ساخت توربین‌ها، در جهت تکمیل مطالعات قبلی، تأثیر تخلخل دانه‌های سنگی، نیز بر روی افت انرژی جریان مورد بررسی قرار گیرد و سپس یک رابطه کلی برای برآورد افت انرژی که دربرگیرنده تعداد زیادی از پارامترهای مؤثر باشد، به دست آید. لازم به ذکر است که در مورد تأثیر تخلخل، مطالعات خاصی در ایران و یا سایر کشورها انجام نگرفته و یا در صورت انتشار نیافته است.

## مواد و روش‌ها

**استخراج روابط بدون بعد:** سرریزهای پلکانی به دلیل جریان آب درونگذر و روگذر باعث افت انرژی می‌گردند. عوامل مؤثر بر افت انرژی که در مجموعه مطالعات سایر محققین در نظر گرفته شده است، عبارتند از: دبی جریان، ارتفاع و طول پله‌ها، ارتفاع سرریز و شتاب ثقل. در این تحقیق تعداد پله‌ها ثابت و ۳ عدد در نظر گرفته شده است زیرا افزایش تعداد پله‌ها بیش از ۳ عدد باعث کاهش افت انرژی می‌گردد. بنابراین عوامل مؤثر بر افت انرژی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta E = f(q, n, l, h, H, g) \quad (1)$$

که در آن  $\Delta E$  افت انرژی جریان،  $q$  دبی جریان در واحد عرض،  $n$  تخلخل دانه‌های سنگی،  $l$  طول پله‌ها در جهت جریان،  $h$  ارتفاع پله‌ها،  $H$  ارتفاع سرریز و  $g$  شتاب ثقل می‌باشد.

پیراس و همکاران (۱۹۹۲) تحقیقاتی را در مورد جریان و افت انرژی بر روی سرریزهای پلکانی گابیونی انجام دادند. تحقیقات آنها نشان می‌دهد که اولاً بندهای پلکانی گابیونی قادر به تحمل دبی جریان تا ۳ مترمکعب بر ثانیه در واحد عرض می‌باشند و معکوس نمودن شیب پله‌ها و همچنین ریختن یک لایه بتن بر روی پله‌ها باعث اتلاف انرژی بسیار خوبی می‌شود.

بر اساس آزمایش‌های استفنسن (۱۹۷۹)، افزایش تعداد پله‌ها تا ۳ عدد باعث افزایش افت انرژی و پس از آن باعث کاهش آن می‌گردد زیرا باعث تغییر رژیم جریان خواهد شد.

مفتاح هلقی و بیات (۱۹۹۶) با انجام آزمایش‌هایی تأثیر شیب بالادست و پایین دست سرریز را بر افت انرژی بررسی نمودند. این آزمایش‌ها نشان داد که با ملایم شدن شیب بالادست، حرکت جریان روگذر ساده‌تر انجام شده و بنابراین افت انرژی جریان کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، با ملایم شدن شیب بالادست، خطوط جریان تقریباً به موازات هم حرکت نموده و افت انرژی را کاهش می‌دهند همچنین بیشترین افت انرژی در شیب بالادست قائم رخ می‌دهد اما به لحاظ پایداری سازه‌ای توصیه به شیب بالادست ۱:۱ شده است.

شفاعی بجمستان و کاظمی نسبان (۱۹۹۷) با ساخت دو نوع سرریز گابیونی ساده و با پله‌های گود به مطالعه در مورد ضرائب افت انرژی در سرریزهای پلکانی پرداخته و با انجام ۲۵ آزمایش نتیجه گرفتند که رابطه چانسون (۲۰۰۲) را می‌توان برای پیش‌بینی محل تبدیل رژیم جریان ریزشی<sup>۱</sup> به رژیم جریان شبه صاف<sup>۲</sup>، در سرریزهای پلکانی گابیونی بکار برد.

ابراهیمی و همکاران (۲۰۰۵) مقایسه‌ای بین پوشش‌دار بودن و نبودن تاج، روی پله‌ها و نمای قائم بالادست سرریزهای پلکانی در شیب‌های ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳ انجام دادند و نتیجه گرفتند: (۱) در تمامی شیب‌های نمای

۱۱ متر است. آب از یک مخزن ۱۳ مترمکعبی زیرزمینی توسط یک پمپ گریز از مرکز به ابتدای کانال پمپاژ می‌گردد و پس از آرام شدن در یک مخزن مستطیلی وارد کانال می‌گردد. در این تحقیق با توجه به پایداری سازه‌ای شیب بالادست سرریز ثابت (۱:۱) و شیب پایین دست متغیر در نظر گرفته شده است (مفتاح‌لقی و بیات، ۱۹۹۶). مدل فیزیکی از قفسه‌های گابیونی به ابعاد  $10 \times 10 \times 30$  سانتی‌متر ساخته شده و تخلخل‌های مختلف که هدف این تحقیق می‌باشد با توجه به حجم کل هر قفسه (۳۰۰۰ سانتی‌متر مکعب) به صورت زیر اندازه‌گیری شده است:

استوانه‌ای به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و قطر ۱۵ سانتی‌متر که در تراز ۳۰ سانتی‌متری دارای یک سرریز می‌باشد مورد استفاده قرار گرفته است. استوانه تا تراز ۳۰ سانتی‌متری پر از آب بوده و با قرار دادن قفسه‌ها در داخل استوانه و اندازه‌گیری حجم آب سرریز شده به وسیله استوانه مدرج، حجم دانه‌های سنگ و حجم فضای خالی و در نتیجه تخلخل دانه‌های سنگ در هر توریسنگ تعیین شده است. به این ترتیب تخلخل‌های ۳۰، ۳۴، ۳۸ و ۴۲ درصد در ۳۶ قفسه گابیونی مورد استفاده در هر مرحله ایجاد گردید و به ازای هر تخلخل، شیب‌های پایین دست ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳ ایجاد شد و برای حداقل ۵ دبی عبوری از کانال از ۱۰ تا ۴۰ لیتر بر ثانیه و تعداد ۳ پله، عمق آب بالادست و پایین دست سرریز اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است متوسط قطر دانه‌های سنگ به کار رفته در این تحقیق  $31/3$  میلی‌متر بوده است.

بنابراین عوامل بدون بعد مؤثر بر افت انرژی به روش  $\pi$  باکینگهام به صورت زیر حاصل می‌گردد (مفتاح‌هلقى و بیات، ۱۹۹۶):

$$\frac{\Delta E}{E_0} = f\left(\frac{q^2}{gh^3}, n, \frac{h}{L}\right) = f\left(\frac{q^2}{gh^3}, n, i\right) \quad (2)$$

که در آن  $E_0$  انرژی جریان در بالادست و  $\frac{\Delta E}{E_0}$  نسبت

افت انرژی می‌باشد.

مقدار انرژی تلف شده بین بالادست و پایین دست سرریز، براساس معادله انرژی، به صورت تفاضل انرژی جریان در بالادست و پایین دست سرریز محاسبه می‌شود. مقدار انرژی جریان ( $E$ ) از معادله زیر به دست می‌آید:

$$E = y + \frac{v^2}{2g} = y + \frac{q^2}{2gy^2} \quad (3)$$

$$\Delta E = E_1 - E_2 \quad (4)$$

که در آن  $y$  عمق آب،  $E_1$  انرژی مخصوص قبل از سرریز،  $E_2$  انرژی مخصوص بعد از سرریز (در پایین ست سرریز)،  $v$  سرعت جریان و  $q$  دبی در واحد عرض کانال می‌باشد.

جهت بررسی و تعیین رابطه افت انرژی جریان، ابتدا روند تغییرات راندمان انرژی جریان نسبت به هر کدام از متغیرهای مؤثر، به طور مجزا مورد بررسی قرار گرفت و سپس به کمک نرم‌فزارهای SPSS و SAS اثر همزمان تمامی پارامترها به صورت رابطه نهایی به دست آمد.

**تجهیزات آزمایشگاهی:** کانال مستطیلی مورد استفاده از جنس پلکسی لاس به عرض تقریبی ۶۰ سانتی‌متر و طول



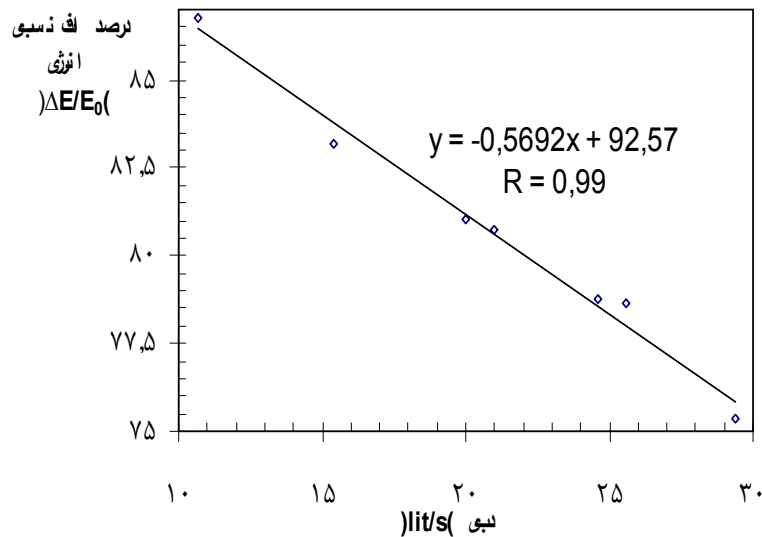
شکل ۱- سرریز پلکانی گابیونی در تخلخل ۴۲ درصد، شیب پایین دست ۱:۲، دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه.

## نتایج و بحث

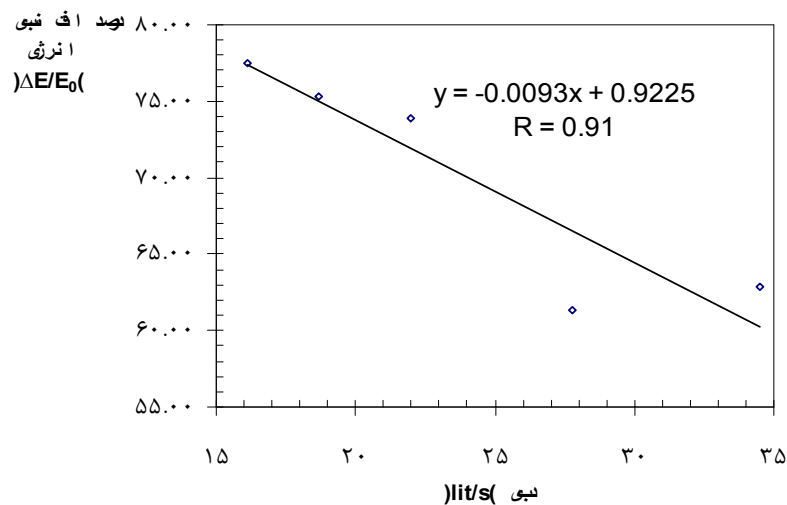
به منظور بررسی اثر پارامترهای مؤثر بر افت انرژی، در نمودارهای رسم شده به ترتیب اثر هر کدام از عوامل به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بر اساس آزمایش‌های انجام شده، اثر دبی بر روی افت نسبی انرژی در شکل‌های ۲ و ۳ ترسیم شده است. به طوری که ملاحظه می‌گردد رابطه خطی بسیار خوبی بین این دو پارامتر مشاهده می‌گردد. رابطه خطی مذکور از ضریب همبستگی ۰/۹۹ و ۰/۹۲ برخوردار است. به منظور مقایسه با نتایج سایر محققین در شکل ۴ نتایج

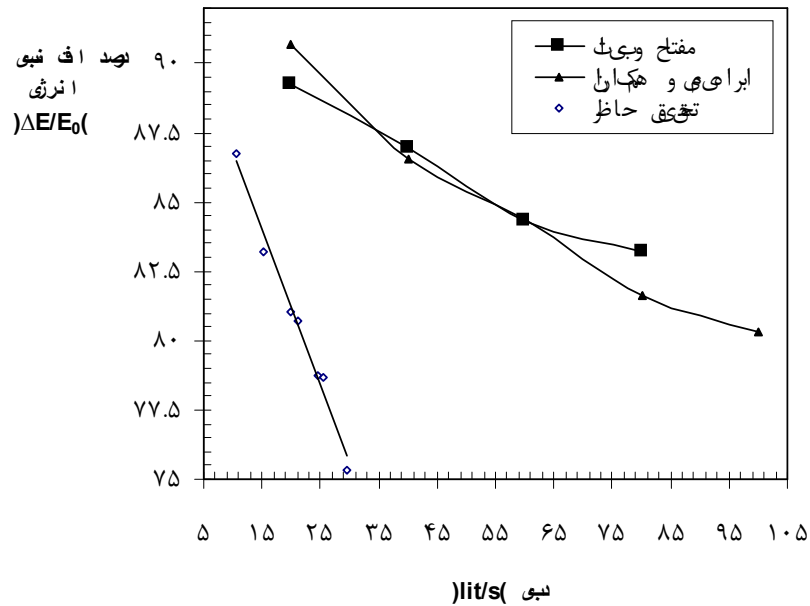
آزمایش‌های مفتاح و بیات (۱۹۹۶) و ابراهیمی و همکاران (۲۰۰۵) با تحقیق حاضر به طور مقایسه‌ای ترسیم شده است. لازم به ذکر است که در آزمایش‌های ابراهیمی و همکاران (۲۰۰۵) تمامی شیب بالادست قائم بوده، ولی شکل رسم شده برای شیب بالادست ۱:۱ و پایین‌دست ۱:۱ انتخاب شده است. با توجه به اختلاف تخلخل در آزمایش‌های محققین مختلف و همچنین اختلاف دامنه دبی در آزمایش‌ها رابطه خطی معنی‌داری بین دبی و افت نسبی انرژی مشاهده می‌شود.



شکل ۲- تاثیر دبی بر نسبت افت نسبی انرژی در تخلخل ۳۰ درصد، شیب بالادست و پایین‌دست ۱:۱.



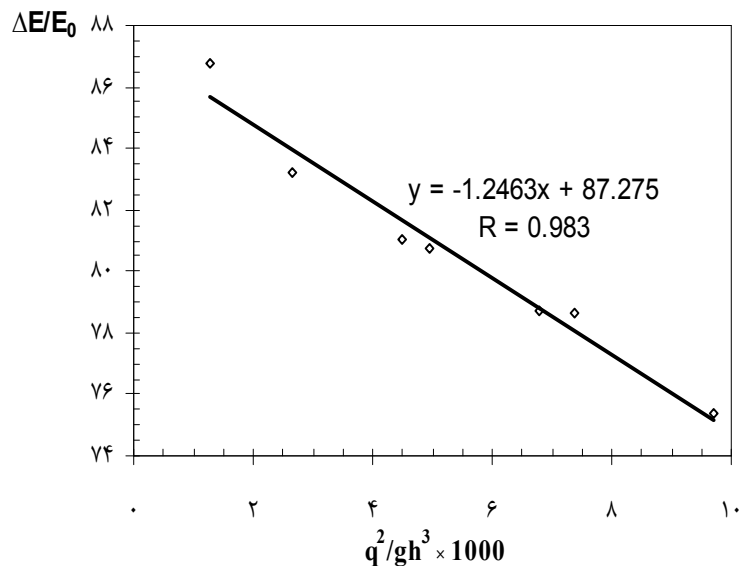
شکل ۳- تاثیر دبی بر افت نسبی انرژی در تخلخل ۴۲ درصد، شیب بالادست ۱:۱ و پایین‌دست ۱:۱.



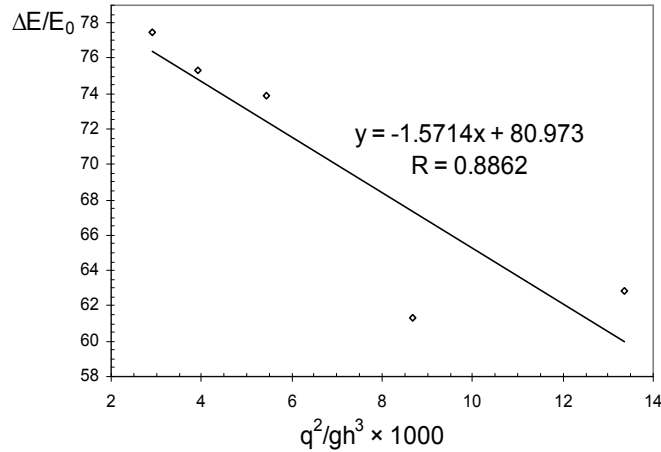
شکل ۴- تأثیر دبی بر نسبت افت نسبی انرژی برای شیب بالادست ۱:۱ و پایین دست ۱:۱.

درصد دارای ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹۸۳ و ۰/۸۸۶ می باشد. پیراس و همکاران (۱۹۹۲)، شفافی بجنستان (۱۹۹۷) و استفنسن (۱۹۷۹) نشان دادند که بین پارامتر عدد آبشار و افت نسبی انرژی به ارتفاع سرریز رابطه نیمه لگاریتمی برقرار است.

در شکل های ۵ و ۶ تأثیر عدد آبشار بر افت نسبی انرژی جریان بررسی شده است. شکل ها برای کمترین و بیشترین تخلخل (۳۰ و ۴۲ درصد) انتخاب شده اند. نتایج به دست آمده مانند تأثیر دبی، نشان می دهد که رابطه خطی مناسبی بین عدد آبشار و افت نسبی انرژی جریان برقرار است. روابط خطوط رگرسیونی در تخلخل های ۳۰ و ۴۲



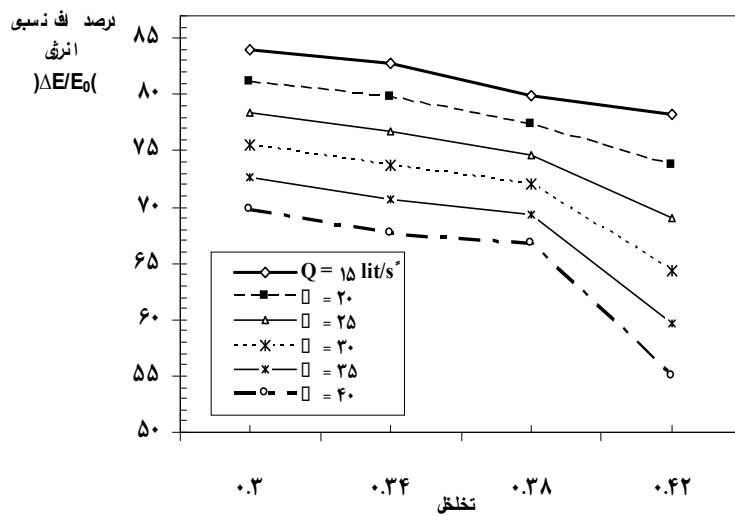
شکل ۵- تأثیر عدد آبشار ( $\frac{q^2}{gh^3}$ ) بر افت نسبی انرژی در تخلخل ۳۰ درصد و شیب پایین دست ۱:۱.



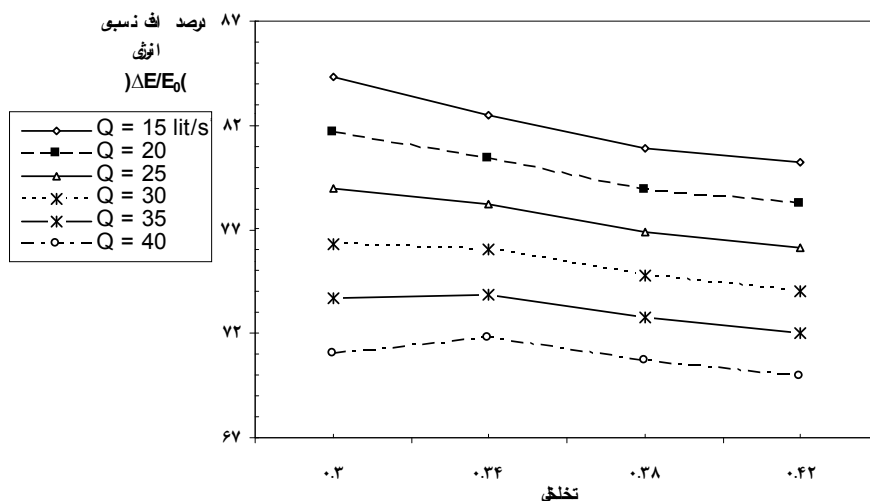
شکل ۶- تاثیر عدد آبشار ( $\frac{q^2}{gh^3}$ ) بر افت نسبی انرژی در تخلخل ۳۴ درصد و شیب پایین دست ۱:۳.

همچنین، رابطه بین تخلخل و افت نسبی انرژی در تمام دبی‌ها، از روند تقریباً یکسانی برخوردار است. در دبی‌های پایین که قسمت عمده جریان به صورت درونگذر است، افزایش تخلخل باعث کاهش یکنواخت انرژی می‌گردد زیرا افت نسبی انرژی بعلت اصطکاک سنگدانه‌های محیط متخلخل بوده، در حالی که در دبی‌های زیاد، افزایش تخلخل باعث تغییر قسمتی از جریان، از روگذر به درونگذر شده و با توجه به اینکه، جریان درونگذر باعث افت اندکی نسبت به جریان روگذر می‌گردد افت نسبی انرژی به صورت ناگهانی کاهش می‌یابد.

به منظور بررسی اثر تخلخل بر افت نسبی انرژی جریان، در شکل‌های ۷ و ۸ تأثیر تخلخل به ازاء دبی‌های مختلف ترسیم شده است. بررسی شکل مذکور نشان می‌دهد که با افزایش تخلخل میزان افت نسبی انرژی جریان کاهش می‌یابد. این کاهش از تخلخل ۳۸ درصد به بالا بخصوص در دبی‌های بزرگتر، محسوس‌تر است. در تخلخل بالا به دلیل افزایش مقدار جریان درونگذر و به تبع آن کاهش جریان روگذر از مقدار افت نسبی انرژی کاسته می‌شود، زیرا در انتقال ممتوم و ریزش جریان از روی پله‌ها، انرژی جریان بیشتر مستهلک می‌شود (مفتاح هلقی و بیات، ۱۹۹۶؛ ابراهیمی و همکاران، ۲۰۰۰).



شکل ۷- تأثیر تخلخل بر راندمان افت نسبی انرژی در شیب بالادست و پایین دست ۱:۱.



شکل ۸- تأثیر تخلخل بر راندمان افت نسبی انرژی در شیب بالادست ۱:۱ و پایین دست ۱:۳.

حالت‌های متفاوت، در نهایت رابطه‌ای با ضریب همبستگی  $0/89$  نتیجه گردید که ضریب همبستگی این رابطه، نسبت به سایر روابط، از معنی‌داری بالاتری برخوردار است. در شکل ۹ رابطه بین افت نسبی انرژی محاسبه شده از رابطه نهایی، در مقایسه با مقادیر افت نسبی انرژی مشاهده‌ای ترسیم شده است. خط رگرسیون رسم شده در این حالت تقریباً به موازات نیمساز ربع اول محورهای مختصات بوده و این حاکی از اطمینان بسیار بالا به رابطه به دست آمده می‌باشد.

تحلیل حساسیت بر روی ضرایب و نماهای رابطه به دست آمده (معادله ۴)، مورد بررسی قرار گرفت. در این حالت با افزایش یا کاهش ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد این ضرائب، مقادیر افت نسبی انرژی محاسبه و با مقادیر افت نسبی انرژی حاصل از رابطه نهایی مقایسه گردید. نتایج، حاکی از حساسیت بیشتر پارامترهای دبی و تخلخل می‌باشد، به طوری که با افزایش یا کاهش ۵۰ درصد ضریب جمله تخلخل در رابطه نهایی، مقادیر افت نسبی  $123/7$  و  $103/7$  درصد تغییر می‌نماید.

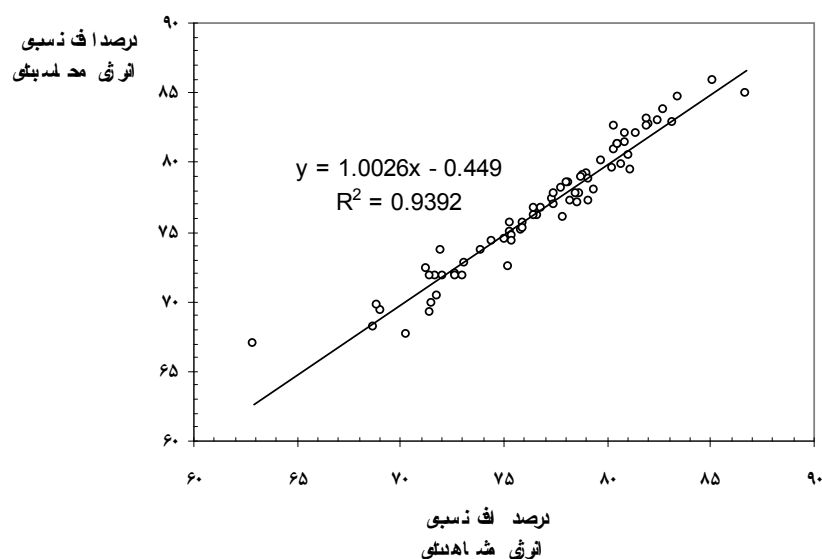
جهت تعیین رابطه مناسب بین میزان افت نسبی انرژی و پارامترهای مؤثر بر آن، با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS آماری، مدل‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفت. روابط حاصل در جدول ۱ ارائه شده است. اولین رابطه ایجاد شده به صورت خطی است. در این رابطه ضریب همبستگی  $0/84$  نتیجه شده است. روابط دوم تا چهارم ارائه شده، روابط غیرخطی می‌باشند. در رابطه دوم به دلیل تأثیر ناچیز شیب، این پارامتر از مدل حذف، ولی ضریب همبستگی معنی‌داری با مقدار  $0/8$  نتیجه گردید.

از آنجا که شیب نمای پلکان‌ها، از پارامترهای بسیار مهم در افت نسبی انرژی می‌باشد، استفاده از این رابطه، در شرایط خاص می‌تواند همراه با خطای فاحشی باشد. در رابطه سوم اثر شیب نمای پایین دست سرریز در مدل لحاظ و در این حالت ضریب همبستگی معنی‌داری به صورت  $0/84$  نتیجه گردید که ضریب همبستگی رابطه سوم به مقدار یک درصد بیشتر از ضریب همبستگی رابطه دوم می‌باشد. روابط دوم و سوم به صورت توابع لگاریتمی می‌باشند.

در رابطه چهارم با ایجاد رابطه خطی بین افت نسبی انرژی و پارامترهای مؤثر، با توان‌های ۱ تا ۳ و ایجاد

جدول ۱- روابط به دست آمده بین پارامترهای بدون بعد.

شماره	معادلات راندمان انرژی	$R^2$
۱	$\frac{\Delta E}{E} \times 100 = 100.49 - 828.96 \left( \frac{q^2}{gh^3} \right) - 3.61i - 43n$	$R^2 = 0.784$
۲	$\frac{\Delta E}{E} \times 100 = 41.49 \left( \frac{q^2}{gh^3} \right)^{-0.082} \times n^{-0.193}$	$R^2 = 0.78$
۳	$\frac{\Delta E}{E} \times 100 = 4897.78 \times \left( \frac{q^2}{gh^3} \right)^{-0.08} \times i^{-0.03} \times n^{-0.19}$	$R^2 = 0.784$
۴	$\frac{\Delta E}{E} \times 100 = 92.349 - 1660.45 \left( \frac{q^2}{gh^3} \right) - 2.19i^3 - 118.4n^3 + 43359.22 \left( \frac{q^2}{gh^3} \right)^2$	$R^2 = 0.789$



شکل ۹- رابطه بین مقادیر افت نسبی انرژی محاسباتی و مشاهداتی در تمام آزمایش‌های بر مبنای رابطه نهایی.

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده، نتیجه گیری می‌شود که:

۱- با افزایش تخلخل، مقدار افت نسبی انرژی جریان کاهش می‌یابد و شیب منحنی در تخلخل‌های بالاتر از ۳۸ درصد کاهش افت نسبی انرژی قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد که این امر به دلیل افزایش مقدار جریان درون‌گذر نسبت به جریان روگذر می‌باشد. روند منحنی‌های راندمان

انرژی - تخلخل (شکل ۵) بیان‌گر این موضوع است که جریان روگذر باعث افت انرژی بیشتری نسبت به جریان درون‌گذر می‌شود.

۲- با توجه به بررسی‌های انجام شده بر روی پارامترهای بدون بعد مؤثر بر انرژی، رابطه زیر جهت برآورد مقدار افت نسبی انرژی جریان در سرریزهای پلکانی گابیونی پیشنهاد می‌گردد:

$$R^2 = 0.89$$

$$\frac{\Delta E}{E} \times 100 = 92.349 - 1660.45 \left( \frac{q^2}{gh^3} \right) - 2.19i^3 - 118.4n^3 + 43359.22 \left( \frac{q^2}{gh^3} \right)^2$$

۳- بررسی تحلیل حساسیت ضرائب رابطه افت انرژی، نشان می‌دهد که تأثیر تخلخل بر افت انرژی، بیشتر از



شیب پایین دست سرریز است. بنابراین با به حداقل رساندن تخلخل، می توان افت نسبی انرژی را به مقدار بیشتری نسبت به کاهش شیب پایین دست افزایش داد.

۴- در دبی های پایین که قسمت عمده جریان به صورت درون گذر است، افزایش تخلخل باعث کاهش یکنواخت انرژی می گردد. زیرا افت انرژی به علت اصطکاک سنگدانه های محیط متخلخل بوده در حالی که در دبی های زیاد، افزایش تخلخل باعث تغییر قسمتی از جریان، از روگذر به درون گذر می گردد و با توجه به اینکه جریان

درون گذر باعث افت اندکی نسبت به جریان روگذر می شود، افت نسبی انرژی به صورت ناگهانی کاهش می یابد.

۵- افزایش شیب پایین دست از ۱:۱ به ۱:۲ یا ۱:۳ باعث افزایش افت نسبی انرژی می گردد.

۶- در یک تخلخل ثابت با افزایش دبی و یا عدد آبخار  $(\frac{q^2}{gh^3})$  مقدار انرژی مستهلک شده در سرریزهای پلکانی گابیونی کاهش می یابد.

### منابع

- 1.Chanson, H. 2002. The hydraulics of stepped chutes and spillways. printed by: Grafisch produktiebedrijf Gorter. steenwijk. The Netherlands. swets and zeitlinger B.V. liss. 384p
- 2.Ebrahimi, N., Kashefi Poor, M., and Ebrahimi, K. 2005. Evaluating the Hydraulic Flow Characteristics on the Model of Stepped Gabion Weirs. Fifth Conference of Iranian Hydraulic Association. Faculty of Engineering. Shahid Bahonar University of kerman. Pp: 1173-1181
- 3.Meftah, M., and Bayat, H. 1996. Energy Loss on Stepped Gabion Weirs. Gorgan, Journal of Agri. Sci. & Natur. Resour. 4: 55-61.
- 4.Oloomi, N. 1996. Energy Loss in Stepped Weirs. Sciences Journal of Khaje Nasir Toosi University of Technology. 1: 14-19
- 5.Peyras, L., Royet, P., and Degoutte, G. 1992. Flow and Energy Dissipation over Stepped Gabion Weirs. Asce Journal of Hydraulic Engineering. 118(2): 707-717.
- 6.Shafaie Bajestan, M., and Kazemi Nesban, Gh. 1997. Experimental Evaluating of the Energy Loss in Stepped Gabion Weirs. First Conference of Iranian Hydraulic Association. Faculty of Civil Engineering. Khaje Nasir Toosi Univ. of Technology. Tehran. Pp: 87-96.
- 7.Stephenson, D. 1979. Gabion Energy Dissipaters. proceedings International Commission On large Dames. New Dehli. Pp: 33-43.
- 8.Stephenson, D. 1993. Rockfill in Hydraulic Eengineering, translated by Poor Goodarzi, F. Tehran. daily science publishing institute. 302p.

## **Evaluating the affection of used material porosity on energy dissipation in gabion stepped weirs**

**\* A. Azizi<sup>1</sup>, M. Meftah Helghie<sup>2</sup>, M.Z. Ahmadi<sup>3</sup> and S.A. Golmayie<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Former M.Sc. student, Dept. of Assistant Prof. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>2</sup>Prof. Dept. of Water Engineering, University of Mazandaran, Iran,

<sup>3</sup>Assistant Prof. Dept., of Water Engineering, University of Mazandaran, Iran

---

---

### **Abstract**

Gabion weirs and specially stepped gabion spillways are structurally stable and efficient energy dissipaters with a wide application in hydraulic engineering. Since flow equations in porous media such as stones are difficult to solve, estimation of energy dissipation and structure behavior as a function of effective parameters using physical models seems rational. Energy dissipation with stepped gabion spillways is a function of up and down slope inclinations, porosity and drop number (as a function of flow). A change in porosity affects the ratio of inflow to over-flow, affecting energy loss. A considerable reduction in energy loss ratio was observed with increasing porosity, above 38 percent specially, using twelve physical models with two parameters, including four porosities (30, 34, 38 and 42 percent) and three inclinations. The inflow to overflow ratio is increased with increasing porosity, indicating the energy loss with flow over the steps is greater relative to friction with stones, contrary to a reduction in inflow friction loss with the increasing porosity. With 1:1, 1:2 and 1:3 Weirs down slope inclinations and different inflow rates from 10~40 lit/s, four equations were obtained for the combined effect of all parameters on the ratio of energy loss using SPSS and SAS soft wares in this research. The results indicate that the porosity is more efficient than downstairs slope on energy dissipation. With decreasing the porosity, the energy loss increase and from porosity=38%, the energy loss increase much more.

**Keywords:** Stepped gabion weirs; Energy dissipation; Porosity; Dimensionless equation.

---

\* - Corresponding Author; Email: ahmad\_azizi54@yahoo.com