مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی
جلد شانزدهم، ویژه‌نامه ۲، ۱۳۸۸
www.jasnr.info
www.sid.ir
www.magiran.com/jasnr

استهلاک انرژی جریان در سرریزهای پلکانی توری‌سنگی با به‌کارگیری صفحات نفوذناپذیر

*مهدی مفتاح‌هلقی[۱]، احمد عزیزی[۲]، امیراحمد دهقانی[۱] و نرگس‌سادات الحسینی[۳]

[۱]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]کارشناس‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۲۵

چکیده

امروزه سازه‌های توری‌سنگی به‌دلیل سهولت اجرا، دسترسی آسان، دوام و اقتصادی بودن، به‌صورت گسترده جهت حفاظت از سازه‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سرریزهای پلکانی توری‌سنگی، بیشتر در مسیر رودخانه‌ها جهت حفاظت از بستر رودخانه و حوزه‌های آب‌خیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این‌گونه سرریزها به لحاظ کارآیی مناسب در استهلاک انرژی جریان، مورد توجه بیشتر طراحان قرار گرفته است. در این سرریزها دو نوع جریان روگذر و درون‌گذر وجود دارد که در استهلاک انرژی نقش دارند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که افت انرژی جریان روگذر به‌مراتب از جریان درون‌گذر بیشتر است. در این پژوهش به‌منظور افزایش پراکنش انرژی جریان از یک‌سو و افزایش پایداری سازه‌ای از سوی دیگر از صفحات فلزی در اندازه‌های مختلف در درون توری‌سنگ‌ها استفاده گردید و نقش ارتفاع صفحه در میزان افت انرژی مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایش‌های انجام شده شیب بالادست به‌دلیل پایداری سازه‌ای ۱:۱، شیب‌های پایین‌دست ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳، ارتفاع سرریز ۳۰ سانتی‌متر، ارتفاع صفحه‌ها ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر و دبی جریان در محدوده ۱۰ الی ٤٠ لیتر بر ثانیه بوده است. نتایج آزمایش‌ها، افزایش راندمان افت انرژی جریان در صفحات با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر را نسبت به سایر حالات نشان داده است. بیش‌ترین استهلاک انرژی مشاهده شده در دبی ۱۳/۵ لیتر بر ثانیه، شیب پایین‌دست ۱:۱ و ارتفاع صفحه ۱۰ سانتی‌متری، ۸۲/٦ درصد بوده است.

واژه‌های کلیدی: سرریز گابیونی پلکانی، پراکنش انرژی جریان، صفحه نفوذناپذیر

مقدمه

کاهش خسارات ناشی از وقوع جریان‌ها در بخش‌های کنترل سیلاب، حفاظت آب و خاک، حفاظت از سازه‌های آبی و جلوگیری از پرشدن مخازن سدها، ضرورت استفاده از سازه‌های مقاوم و پایدار در طبیعت را مضاعف می‌نماید. از میان سازه‌های حفاظتی، سازه‌های توری‌سنگی به لحاظ مقاومت برشی بالا، پایداری در مقابل واژگونی، انعطاف‌پذیری و سهولت اجرا، کاربرد گسترده‌ای در حفاظت خاک و جلوگیری از آب‌شستگی خاک اطراف سازه‌های آبی دارند. سرریزهای پلکانی در مسیر جریان آب، جهت از بین بردن انرژی آب و کاهش قدرت فرسایشی آن به‌کار می‌رود تا ضمن کاهش انرژی جریان، مقداری از رسوبات معلق در بالادست را تله‌اندازی نماید (استفنسن، ۱۹۷۹).

* مسئول مکاتبه: meftah_20@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

به‌منظور بررسی راهکار کاهش انرژی جریان در رودخانه‌ها، یکی از راه‌حل‌های مسأله استفاده از سازه‌های توری‌سنگی می‌باشد. در این راستا لازم است با طراحی بهینه سازه‌ها، از بیش‌ترین راندمان انرژی برخوردار شد. بنابراین در این بررسی اثر صفحات فلزی برروی پراکنش انرژی جریان مورد بررسی قرار گرفته است.

پیراس و همکاران (۱۹۹۲) پژوهش‌هایی را در مورد استهلاک انرژی در این‌گونه سرریزها انجام داده و نشان دادند که بندهای پلکانی توری‌سنگی قادر به تحمل دبی جریان تا ۳ مترمکعب بر ثانیه در واحد عرض می‌باشند همچنین معکوس نمودن شیب پله‌ها و ریختن یک لایه بتن برروی پله‌ها باعث افزایش استهلاک انرژی می‌گردد. براساس آزمایش‌های استفنسن (۱۹۹۳)، افزایش تعداد پله‌ها تا ۳ عدد باعث افزایش استهلاک انرژی و با افزایش تعداد پله‌ها افت انرژی کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش تعداد پله‌ها رژیم جریان تغییر خواهد نمود.

مفتاح‌هلقی و بیات (۲۰۰۷) با انجام آزمایش‌هایی، تأثیر شیب بالادست و پایین‌دست سرریز را بر افت انرژی بررسی نمودند و نشان دادند که سرریز پلکانی توری‌سنگی با شیب بالادست قائم و شیب پایین‌دست ۱:٤، بیش‌ترین مقدار افت انرژی جریان را خواهد داشت اما به لحاظ پایداری سازه‌های، شیب بالادست ۱:۱ توصیه می‌شود.

شفائی‌بجستان و کاظمی‌نسبان (۱۹۹۷) با ساخت دو نوع سرریز توری‌سنگی ساده و با پله‌های گود، به مطالعه در مورد ضرایب افت انرژی در سرریزهای پلکانی پرداختند و نشان دادند که رابطه چانسون (۲۰۰۲) را می‌توان برای پیش‌بینی محل تبدیل رژیم جریان ریزشی[1] به رژیم جریان شبه‌صاف[2]، در سرریزهای پلکانی توری‌سنگی به‌کار برد.

ابراهیمی و همکاران (۲۰۰۵) مقایسه‌ای بین پوشش‌دار بودن و نبودن تاج سرریز، روی پله‌ها و نمای قائم بالادست سرریزهای پلکانی در شیب‌های ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳ انجام داده و نتایج زیر را به‌دست آوردند: ۱) در تمامی شیب‌های پایین‌دست، گزینه‌ای که در آن بالادست نفوذپذیر و روی پله‌ها دارای لایه پوششی می‌باشد استهلاک انرژی بیشتری دارد ۲) اتلاف انرژی در گزینه با شیب پایین‌دست ۱:۳ به‌طور عموم بیشتر از سایر گزینه‌ها می‌باشد.

عزیزی و همکاران (۲۰۰۸) با انجام آزمایش‌هایی برروی سرریزهای پلکانی توری‌سنگی، در تخلخل‌های مختلف نشان دادند که با کم شدن تخلخل سنگ‌دانه‌ها و به‌دنبال آن کاهش جریان عبوری از درون سنگ‌دانه‌ها، مقدار تلفات انرژی افزایش می‌یابد و رابطه افت انرژی، با توجه به عوامل بدون بعد مؤثر بر آن را ارایه نمودند.

مرور بررسی‌های انجام شده برروی سرریزهای پلکانی توری‌سنگی نشان می‌دهد که عمده بررسی‌ها برروی تأثیر دبی، شیب پلکان‌ها در بالادست و پایین‌دست، رژیم جریان انتقالی، تأثیر تعداد پله‌ها و تخلخل سنگ‌دانه‌ها بر میزان پراکنش انرژی جریان استوار بوده است.

در پژوهش حاضر، با به‌کار گرفتن صفحات فلزی نفوذناپذیر به ارتفاع‌های مختلف در درون سرریز، روند تأثیر آن بر استهلاک انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. این صفحات ضمن کمک به پایداری سازه، سبب می‌شود که رسوبات جریان تا حدی قبل از محل صفحه تله‌اندازی و در نیمه پایین‌دست سرریز، به‌صورت معلق همراه جریان حمل گردند.

مواد و روش‌ها

سرریزهای پلکانی توری‌سنگی به‌دلیل جریان آب درون‌گذر و روگذر، باعث افت انرژی می‌گردند. آب درون‌گذر از درون محیط متخلخل درشت‌دانه عبور می‌کند و بر اثر اصطکاک سنگ‌دانه‌ها، انرژی آن از بین می‌رود. آب روگذر بر اثر عبور از روی پلکان‌ها، انرژی خود را از دست می‌دهد. پارامترهای مؤثر بر افت انرژی را می‌توان با توجه به صفحات مورد استفاده در درون سرریز، به‌صورت زیر برشمرد:

دبی جریان، تعداد پله‌ها، طول و ارتفاع پله‌ها، ارتفاع سرریز، شتاب ثقل، ارتفاع صفحه، تخلخل و عمق آب بالادست و پایین‌دست.

1- Nappe Flow
2- Skimming Flow

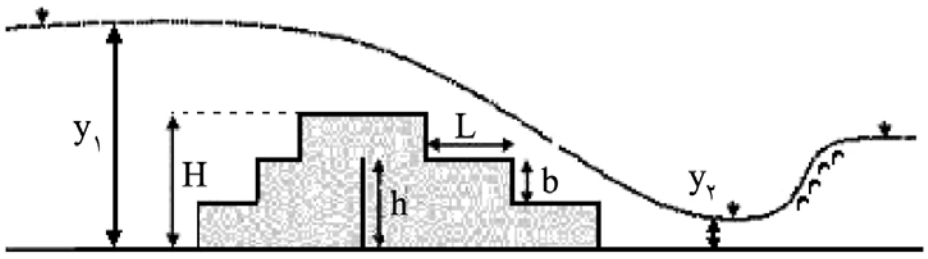
Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین عوامل مؤثر بر تلفات انرژی به‌صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$\Delta E = F(q,n,l,b,H,g,h,y_1,y_2) \qquad (1)$$

که در این رابطه، ΔE: استهلاک انرژی، q: دبی در واحد عرض، n: تخلخل، l و b به‌ترتیب طول و ارتفاع پله‌ها، h: ارتفاع صفحه، H: ارتفاع سرریز، g: شتاب ثقل، y_1 و y_2: به‌ترتیب عمق آب بالادست و پایین‌دست سرریز می‌باشند. در شکل ۱ پارامترهای هندسی سرریز نشان داده شده است.



شکل ۱- پارامترهای هندسی سرریز پلکانی توری‌سنگی.

با استفاده از آنالیز ابعادی (روش π باکینگهام) و ساده کردن پارامترهای بدون بعد و همچنین با توجه به این‌که در آزمایش‌های انجام شده ارتفاع سرریز، شیب بالادست و تخلخل، جهت بررسی اثر ارتفاع صفحه، ثابت در نظر گرفته شده‌اند، رابطه استهلاک انرژی نسبی را می‌توان به‌صورت تابعی از عوامل بدون بعد به‌صورت زیر نوشت:

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f(n, Fr, \frac{l}{b}, \frac{y_1}{y_2}, \frac{h}{H}, \frac{y_c}{y_1}) \qquad (2)$$

که در رابطه‌های یادشده: $y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$ (عمق بحرانی)، $E_1 = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2}$ (انرژی آب در بالادست سرریز)، n تخلخل مصالح سنگی، y_1 عمق جریان بالادست، y_2 عمق جریان پایین‌دست، h: ارتفاع سپر، H: ارتفاع سرریز، $\frac{l}{b}$ شیب پایین‌دست سرریز، ($Fr = \frac{q}{\sqrt{gy^3}}$) عدد فرود جریان، و $E_2 = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2}$ (انرژی آب در پایاب سرریز) می‌باشد. لازم به ذکر است می‌توان از ترکیب گروه‌های بدون بعد، تعدادی گروه بدون بعد دیگر به‌دست آورد بنابراین در ادامه تعدادی پارامتر بدون بعد دیگر مورد بررسی قرار گرفته است.

آزمایش‌ها برروی سرریزهای پلکانی توری‌سنگی با تعداد ۳ پله، شیب بالادست ثابت ۱:۱، تخلخل ۴۲ درصد، شیب پایین‌دست ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳، سه صفحه فلزی به ارتفاع‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر و به‌ازای حداقل ٤ دبی عبوری در محدوده ۱۰ الی ٤۰ لیتر بر ثانیه و در مجموع ٥٤ آزمایش انجام شد. نتایج به‌دست آمده از این آزمایش‌ها همچنین با حالتی‌که صفحه فلزی در سازه سرریز به‌کار نرفته است، مقایسه گردید.

آزمایش‌ها در کانال آزمایشگاهی با عرض ٦۰ سانتی‌متر و طول ۱۱ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گردید (شکل ۲). سیستم جریان درون کانال چرخشی و آب از یک مخزن ۱۳ مترمکعبی زیرزمینی، توسط پمپ به داخل کانال پمپاژ و پس از عبور از آرام‌کننده‌ها وارد کانال گردیده و سپس در انتهای کانال، دبی جریان توسط سرریز اندازه‌گیری و دوباره آب به درون مخزن هدایت می‌گردد. سرریزهای توری‌سنگی در فاصله ٦ متری از ابتدای کانال واقع شده است. در این آزمایش‌ها عمق بالادست و پایین‌دست و دبی حجمی در پایین‌دست کانال اندازه‌گیری و سپس مقادیر انرژی جریان بالادست و پایین‌دست محاسبه و در نهایت درصد افت انرژی از رابطه $\frac{E_1 - E_2}{E_1} \times ۱۰۰$ محاسبه شده است.

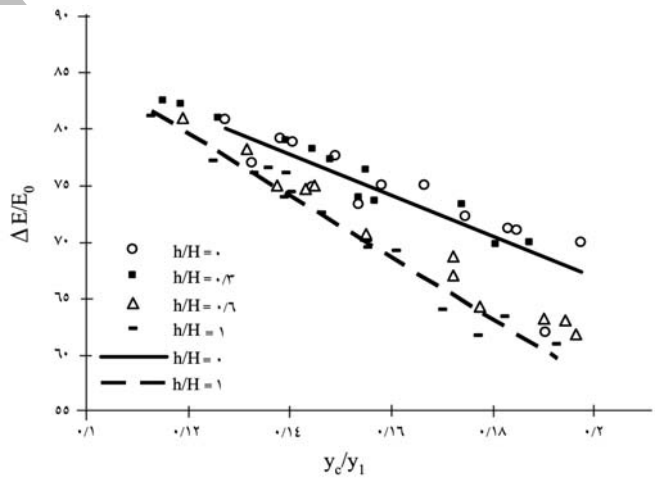
Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۲- نمایی از کانال آزمایشگاهی به‌کار رفته در تحقیق.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی تأثیر ارتفاع صفحه فلزی برروی افت انرژی، ابتدا رابطه تغییرات درصد افت انرژی به‌ازای نسبت بدون بعد $\frac{y_c}{y_1}$ یعنی نسبت عمق بحرانی به عمق جریان بالادست در شکل ۳ ترسیم گردید. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود با افزایش نسبت بدون بعد $\frac{y_c}{y_1}$، مقدار افت انرژی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع صفحه در داخل سرریز، نسبت $\frac{y_c}{y_1}$ کاهش می‌یابد. این کاهش با ثابت بودن مقدار y_c، در نتیجه افزایش عمق y_1 به‌ازای افزایش ارتفاع صفحه است و این نشان‌دهنده این است که سهم جریان روگذر افزایش می‌یابد و دلیل آن افزایش ارتفاع آب بالای ارتفاع سرریز می‌باشد. همچنین شکل یادشده نشان می‌دهد شیب خط رگرسیون برای حالت‌های $\frac{h}{H}$ از ۰ تا ۰/۳ ملایم‌تر از ۰/٦ تا ۱ می‌باشد. یعنی در $\frac{h}{H}=1$ (ارتفاع صفحه ۳۰ سانتی‌متر)، کاهش مقدار مشخصی از $\frac{y_c}{y_1}$، تأثیر بیش‌تری در افت انرژی نسبت به حالت بدون صفحه و یا $\frac{h}{H}=0/3$ (ارتفاع صفحه ۱۰ سانتی‌متری) دارد. خطوط رگرسیون نشان می‌دهد با کاهش $\frac{y_c}{y_1}$ یعنی افزایش y_1 و در واقع افزایش جریان روگذر، استهلاک انرژی افزایش می‌یابد که این موضوع در بررسی‌های سایر محققان از جمله مفتاح‌هلقی و بیات (۲۰۰۷) و عزیزی و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده می‌شود.



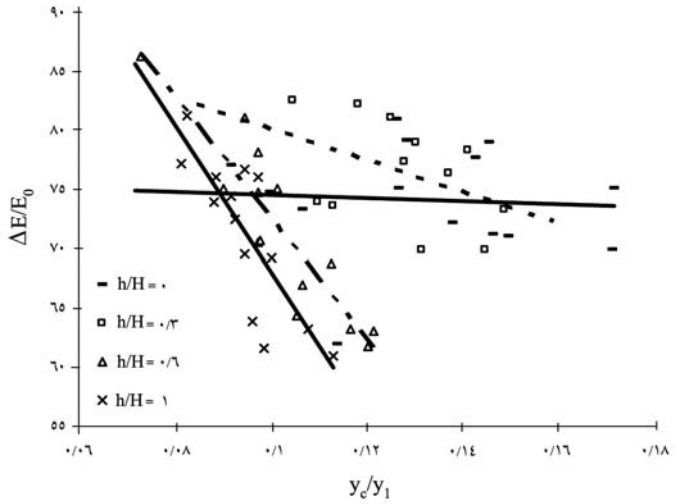
شکل ۳- رابطه استهلاک انرژی به $\frac{y_c}{y_1}$ در ارتفاع‌های مختلف صفحات.

Archive of SID

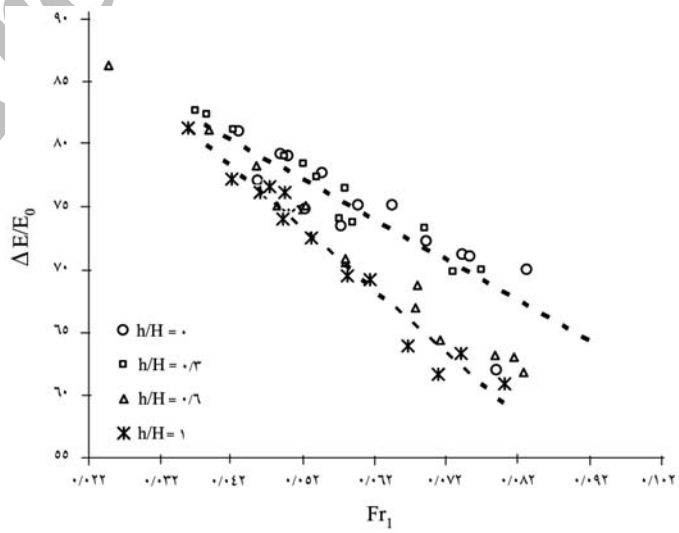
www.SID.ir

برای بررسی وضعیت جریان پایین‌دست، در شکل ٤ رابطه تغییرات استهلاک انرژی به‌ازای $\frac{y_2}{y_1}$ ترسیم شد. بررسی شکل یادشده نشان می‌دهد که افزایش نسبت $\frac{y_2}{y_1}$ در حالت بدون صفحه، تأثیر کمتری برروی پراکنش انرژی جریان دارد. چون در این حالت، در دبی‌های مختلف، مجموع جریان درون‌گذر و روگذر، با کم‌ترین افت در درون محیط متخلخل اتفاق می‌افتد ولی با افزایش ارتفاع صفحه، و به‌عبارتی طولانی‌شدن مسیر حرکت جریان در داخل سرریز و افزایش سهم جریان روگذر، با کاهش نسبت $\frac{y_2}{y_1}$، راندمان استهلاک انرژی به‌شدت افزایش می‌یابد. که این نشان‌دهنده افزایش y_1 و همچنین کاهش y_2 و در نتیجه افزایش استهلاک انرژی به‌دلیل جریان روگذر می‌باشد.

به‌منظور بررسی تأثیر پارامترهای سرعت و عمق جریان بالادست و پایین‌دست و همچنین ارتفاع صفحه برروی پراکنش انرژی جریان، در شکل‌های ٥ و ٦، رابطه تغییرات استهلاک انرژی با عدد فرود بررسی شده است.



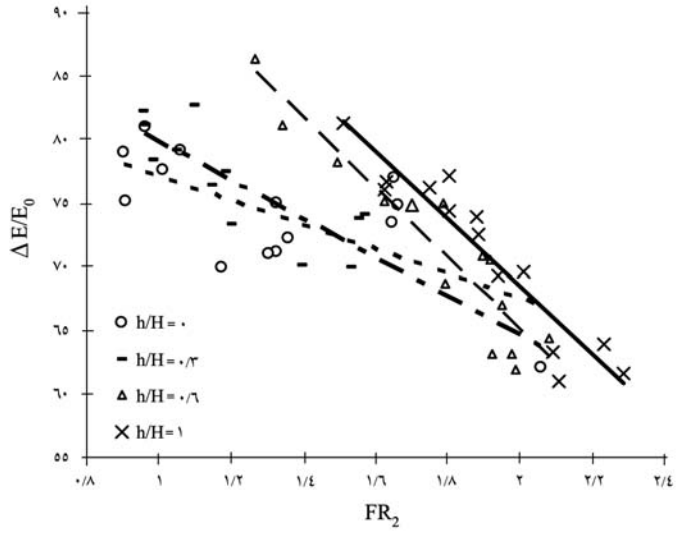
شکل ٤- استهلاک انرژی نسبت به $\frac{y_2}{y_1}$.



شکل ٥- تأثیر عدد فرود بالادست بر استهلاک انرژی.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٦- تأثیر عدد فرود پایین‌دست بر استهلاک انرژی.

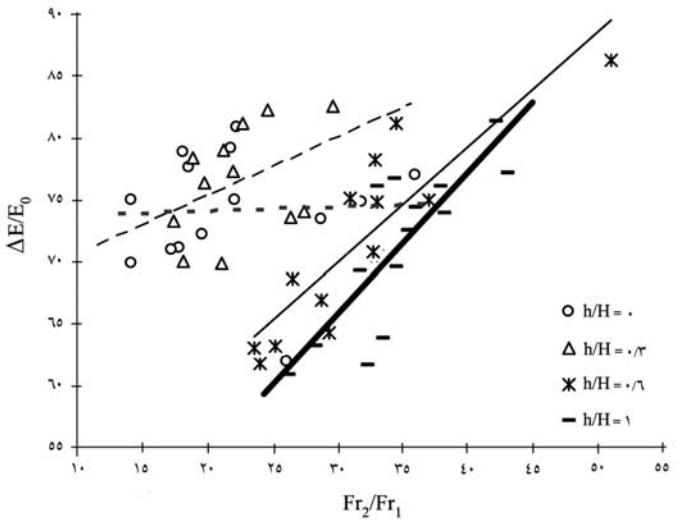
نتایج نشان می‌دهد با افزایش عدد فرود بالادست که در نتیجه کاهش عمق بالادست است، استهلاک انرژی نیز کاهش می‌یابد و با افزایش عدد فرود پایین‌دست که در اثر کاهش عمق پایین‌دست است راندمان استهلاک انرژی نیز کاهش می‌یابد. شکل ٦ نشان می‌دهد که در حالت $\frac{h}{H}=۱$ (صفحه ۳۰ سانتی‌متری) مقادیر عدد فرود پایین‌دست بیشتر از سایر حالت‌هاست. این امر نشان‌دهنده آن است که مسیر جریان درون‌گذر در این حالت به‌طور کامل مسدود و تمام جریان حالت روگذر دارد و تصادم نکردن جریان درون‌گذر با جریان روگذر، سبب کاهش عمق جریان پایین‌دست و در واقع افزایش عدد فرود پایین‌دست شده است. برای مقایسه تأثیر متقابل عدد فرود بالادست و پایین‌دست بر استهلاک انرژی در شکل ۷ رابطه $\frac{Fr_۲}{Fr_۱}$ با استهلاک انرژی بررسی شده است.

بررسی این شکل نشان می‌دهد که در $\frac{h}{H}=۱$ (ارتفاع صفحه ۳۰ سانتی‌متر) قطع جریان پیوسته درون‌گذر و در واقع افزایش جریان روگذر سبب شده است که عمق جریان بالادست افزایش (کاهش عدد فرود بالادست) و همچنین عمق جریان در پایین‌دست کاهش (افزایش عدد فرود پایین‌دست) یابد. در $\frac{h}{H}=۱$ (ارتفاع صفحه ۳۰ سانتی‌متر) نسبت $\frac{Fr_۲}{Fr_۱}$ افزایش بیشتری نسبت به سایر ارتفاعات صفحه دارد. همچنین در هر ارتفاع صفحه، افزایش این نسبت با افزایش راندمان استهلاک انرژی رابطه مستقیم دارد.

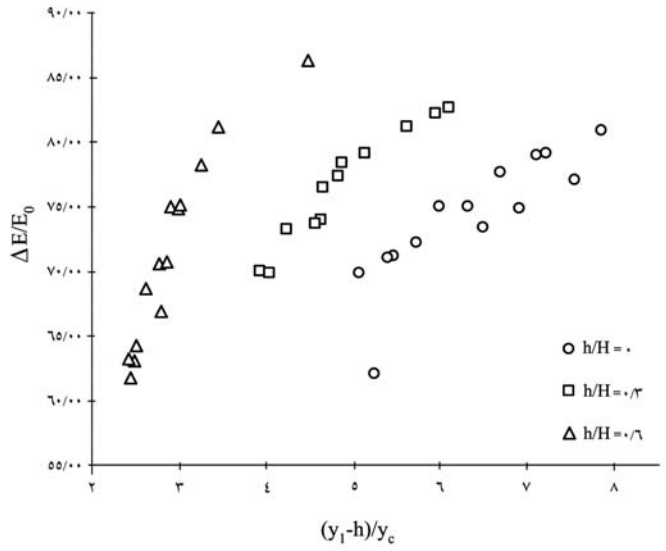
در شکل ۸ تغییرات نسبت بدون بعد $\frac{y_۱-h}{y_c}$ به‌ازای راندمان استهلاک انرژی رسم شده است. رابطه یادشده نشان می‌دهد نسبت ارتفاع آب بالای صفحه به عمق بحرانی رابطه مستقیم با استهلاک انرژی دارد. یعنی در یک y_c ثابت، افزایش ارتفاع آب برروی سرریز، به‌دلیل کاهش عدد فرود بالادست، سبب پراکنش بیشتر انرژی می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷- رابطه $\frac{Fr_۲}{Fr_۱}$ با استهلاک انرژی.



شکل ۸- بررسی تأثیر عمق نسبی آب روی صفحه فلزی بر استهلاک انرژی.

نتیجه‌گیری

- با افزایش عمق جریان بالادست و در واقع افزایش جریان روگذر، استهلاک انرژی افزایش می‌یابد.

- با افزایش نسبت $\frac{Fr_۲}{Fr_۱}$ برای یک ارتفاع مشخص صفحه که در اثر افزایش جریان روگذر (به‌طور عمده با افزایش عمق بالادست و کاهش مقدار جزیی عمق پایین‌دست همراه است) است راندمان انرژی افزایش می‌یابد.

- با افزایش ارتفاع صفحه، نسبت $\frac{y_۲}{y_۱}$ کاهش و در یک ارتفاع صفحه ثابت کاهش $\frac{y_۲}{y_۱}$ سبب افزایش استهلاک انرژی می‌گردد.

www.SID.ir

منابع

1.Azizi, A., Meftah, H.M., Ahmadi, M.Z., and Golmayie, S.A. 2008. Evaluating the Affection of Used Material Porosity on Energy Dissipation in Gabion Stepped Weirs. J. Agri. Sci. and Natur. Resour. 15: 1. 150-158. (In Persian)

2.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.

3.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. (In Persian)

4.Meftah Halaghi, M., and Bayat, H. 2007. Energy Loss on Stepped Gabion Weirs. Proceeding of the 3rd conference of watersheds, soil and water resources management. Kerman. Shahid Bahonar University of Kerman, Pp: 1051-1054. (In Persian)

5.Peyras, L., Royet, P., and Degoutte, G. 1992. Flow and Energy Dissipation over Stepped Gabion Weirs. ASCE J. Hydr. Engine. 118: 2. 707-717.

6.Shafaie Bajestan, M., and Kazemi Nesban, Gh. 1997. Experimental Evaluating of the Energy Loss in Stepped Gabion Weirs. Proceeding of the first Conference of Iranian Hydraulic Association. Faculty of Civil Engineering. Khaje Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Pp: 87-96. (In Persian)

7.Stephenson, D. 1979. Gabion Energy Dissipaters. proceedings of the International Commission On large Dames. New Dehli, Pp: 33-43.

8.Stephenson, D. 1993. Rockfill in Hydraulic Engineering, translated by Poor Goodarzi, F. Tehran. Danesh science publishing institute, 302p.

Archive of SID

www.SID.ir

J. Agric. Sci. Natur. Resour., Vol. 16(Special issue 2), 2009
www.jasnr.info
www.sid.ir
www.magiran.com/jasnr

Energy Dissipation of Gabion Stepped Weirs by Using Impermiable Plates

[*]M. Meftah Halaghi[1], A. Azizi[2], A.A. Dehghani[1] and N. Alhoseini[3]
[1]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
[2]M.Sc., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
[3]Former M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

Due to high performance, stability and economics, gabion structures are widely used for protecting the hydraulic structures. Gabion stepped weirs are usually used in river beds and catchments. These structures are attractive for designers because they can be used for dissipating of energy. In these weirs, there are two types of flow, inflow and over flow. The previous studies show that over flow is more effective than inflow for dissipating the energy. In this study, three sizes of plates have been used inside of gabion stepped weirs for assessing the energy dissipation. In the experiments, upstream slope is 1:1, downstream slope is 1:1, 1:2, 1:3, the height of the weir is 30 cm, height of the plates is 10, 20, 30 cm and the discharge differs from 10 to 40 liter per second. The width, height and length of the flume are 60 cm, 60 cm, and 11.5 m respectively. The results show that the optimum height of plate for getting maximum energy dissipation (82.5%) is 10 cm, which is occurred in discharge 13.5 liter per second.

Keywords: Gabion stepped weirs; Energy dissipation; Impermeable plate

Archive of SID

* Corresponding Author; Email: meftah_20@yahoo.com

www.SID.ir