نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره5 جلد 11، آذر - دی 1396، ص. 910-900

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 11, Des.-Jan. 2017, p. 900-910

تحلیل آزمایشگاهی تلفات انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی در شرایط بدون رسوب و با رسوب‌گذاری در بالادست سازه

سید حسین رجائی[1]، سعیدرضا خداشناس[2*]، کاظم اسماعیلی[3]

تاریخ دریافت: 1395/2/7 تاریخ پذیرش: 1396/1/28

چکیده

سرریزهای پلکانی گابیونی از پرکاربردترین سازه‌ها در اجرای بندهای انحرافی و سازه‌های حفاظتی رودخانه‌ها هستند. در عمده‌ی طرح‌های اجرایی به‌خصوص در سازه‌های حفاظتی و مهندسی رودخانه بالادست این فرم از سازه‌ها در سال‌های اولیه بهره‌برداری از رسوبات انباشته می‌شود. انباشت رسوب در طرح‌های آبخیزداری به عنوان یکی از اهداف اجرایی این سازه‌ها است. در این پژوهش تحلیل افت انرژی در این نوع سازه و مقایسه آن در دو حالت بدون رسوب و بارسوب‌گذاری در بالادست سازه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور مدل آزمایشگاهی سرریزهای پلکانی گابیونی در سه حالت 1، 2 و 3 پله با شیب بدنه در بالادست قائم و در پایین‌دست 1:1 ساخته و در یک فلوم آزمایشگاهی به عرض 50 سانتی‌متر و طول 11 متر تحت دبی‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد تلفات انرژی در سرریزهای گابیونی بدون رسوبات تا 75 درصد به دست می‌آید. به‌دلیل تخلخل بدنه در گابیون‌های بدون رسوب، دبی‌های کم جریان به‌صورت درون‌گذر از داخل بدنه عبور می‌کند. در این حالت با افزایش دبی تلفات انرژی هم افزایش می‌یابد. هنگامی که بخشی از جریان به‌صورت روگذر ایجاد شده و جریان تلفیقی روگذر و درون‌گذر مشاهده شود، افزایش دبی موجب کاهش تلفات انرژی خواهد شد. در سرریزهای دارای رسوبات بطور کلی افزایش دبی موجب کاهش تلفات انرژی است. در دامنه دبی‌های درون‌گذر سرریزهای گابیونی بدون رسوب، راندمان تلفات انرژی سرریزهای دارای رسوب در عدد شیب‌شکن یکسان بیش‌تر است در صورتی‌که در دامنه دبی‌های روگذر راندمان تلفات انرژی مدل‌های بدون رسوب بیش‌تر است. در این تحقیق روابطی برای محاسبه راندمان تلفات انرژی برای سرریزهای پلکانی گابیونی در دامنه اعداد شیب‌شکن بین 0/0002 تا 0/03 برای دو حالت با رسوب و بدون رسوب در بالادست سرریز ارایه شده است.

واژه‌های کلیدی: افت انرژی، بندهای انحرافی، سرریز پلکانی، سرریز گابیونی، فرسایش و رسوب.

مقدمه

استفاده از سرریزهای پلکانی در انواع سازه‌های هیدرولیکی نظیر سدها و بندهای انحرافی در نقاط مختلف جهان دارای سابقه طولانی است. مزیت کاربرد این نوع سازه‌ها به دلیل افت انرژی زیادی است که در مقایسه با سایر انواع سرریز ایجاد می‌کنند. بنابراین در بسیاری از سازه‌های آبی به کار گرفته می‌شوند. گسترش استفاده از بتن غلطکی(RCC) در سال‌های اخیر در سدهای بزرگ موجب شده است پژوهش‌های گسترده‌ای در خصوص سرریزهای پلکانی انجام شود. استفاده از سرریزهای پلکانی در بندهای انحرافی کوچک و همچنین سازه‌های حفاظتی و تاخیری در آبراهه‌ها و پروژه‌های آبخیزداری از جمله موارد پر کاربرد این نوع سازه است. در بندهای انحرافی که دارای ارتفاع کم هستند، معمولا به‌دلیل تعداد کم پله‌ها شرایط جریان هیدرولیکی دارای تفاوت‌هایی با سرریز سدهای بلند است. همچنین در خصوص مصالح بکار رفته در این سازه‌ها علاوه بر مصالح صلب نظیر بتن، سنگ و ملات، استفاده از مصالح گابیونی نیز دارای کاربرد زیادی است. موضوع افت انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی در تکمیل پژوهش‌های مرتبط با فرم پلکانی سرریزها در تحقیقات جدید در حال گسترش است. مرور منابع علمی نشان می‌دهد تاکنون چندین پژوهش در این خصوص در ایران و سایر کشورها به انجام رسیده است. در این تحقیقات شرایط مدل آزمایشگاهی عموما در حالت مدل سرریز گابیونی بدون انباشت رسوبات در بالادست سازه است. از آنجا که در بسیاری از طرح‌های اجرایی خصوصا پروژه‌های حفاظتی و طرح‌های آبخیزداری به‌دلیل شرایط رودخانه و ارتفاع کم سازه، در

1- دکتری علوم و مهندسی آب، سازه‌های آبی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
2- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
3- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

سال‌های اولیه بهره‌برداری مخزن این نوع از بندها با رسوبات پر می‌شود، لازم است شرایط هیدرولیکی پس از انباشت رسوبات نیز مورد ارزیابی قرارگیرد. بنابراین در این تحقیق وضعیت افت انرژی جریان در سرریزهای گابیونی در دو حالت بدون رسوب و با رسوبات در بالادست سازه مورد مقایسه قرار گرفت.

پژوهش‌های آزمایشگاهی در خصوص سرریز پلکانی در طی سال‌های اخیر عمدتا به‌صورت مدل‌های متنوع سرریز پلکانی انجام شده است. چانسون گزارش کاملی از مبانی هیدرولیکی و طراحی سرریزهای پلکانی صلب را تدوین کرده است (Chanson., 2001). در خصوص بررسی وضعیت سرریز پلکانی گابیونی منابع علمی موجود نشان می‌دهد اولین تحقیقات توسط استیونسون با ساخت مدلی آزمایشگاهی با مقیاس 1:10 و برای یک سرریز پلکانی 4 متری انجام شد. نتایج تحقیق وی نشان داد شیب سازه در بالادست بر رژیم جریان از روی سرریز موثر است به نحوی‌که هرچقدر این شیب کاهش یابد افت انرژی نیز کاهش خواهد یافت. همچنین افزایش تعداد پله‌ها تا 3 عدد موجب افزایش افت انرژی می‌شود (Stephenson., 1979). پیراس و همکاران هیدرولیک جریان روی سرریزهای گابیونی پلکانی را در چهار حالت؛ سرریز پلکانی ساده بدون پوشش حفاظتی، سرریز پلکانی با پوشش حفاظتی روی سطح افقی پله‌ها، سرریز پلکانی با پوشش روی سطح پله با شیب سطح منفی و سرریز پلکانی با آستانه انتهایی در لبه پله، را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس تحقیقات آن‌ها سرریز پلکانی گابیونی به نسبت سرریزهای پلکانی با مصالح صلب بیش از 10 درصد افت انرژی بیش‌تر دارد. همچنین شیب معکوس سطح پله و اجرای آستانه انتهایی در جریان ریزشی موجب بهبود تشکیل پرش هیدرولیکی می‌شود (Peyras et al., 1992). کیلز موضوع جریان از داخل بدنه سرریزهای گابیونی را مورد بررسی قرار داد و نشان داد جریان در داخل بدنه سرریز گابیونی از معادله دارسی برای محیط‌های متخلخل پیروی نمی‌کند. همچنین تفکیک جریان درون‌گذر و روگذر در سازه‌های گابیونی جهت تحلیل هیدرولیکی لازم است (Kells., 1993). وی همچنین در تحقیق دیگری ضمن پوشش‌دار کردن بخشی از سطوح پلکان تاثیر مهم جریان درون‌گذر عبوری از بدنه سازه‌های گابیونی در تلفات انرژی را نشان داد(Kells., 1994). کاظمی نسبان و شفاعی بجستان (1376 و Shafai-Bejestan and Kazemi-Nasaban., 2011) ضمن بررسی میزان استهلاک انرژی در سرریزهای گابیونی در سه شیب مختلف، رابطه‌ای برای شیب پله پایین دست 1:3/5 ارایه کردند. ابراهیمی و همکاران (1384) با انجام سه مدل آزمایشگاهی در حالت‌های گابیون ساده، گابیون با صفحه نفوذناپذیر قائم و گابیون با صفحه نفوذناپذیر افقی روی سطح پله و در سه شیب مختلف، موضوع تلفات انرژی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که کاهش شیب پایین‌دست موجب افزایش افت انرژی می‌شود، افزایش دبی موجب کاهش راندمان تلفات انرژی خواهد شد و صفحات نفوذناپذیر قائم در بالادست موجب افزایش افت انرژی می‌شود. عزیزی و همکاران (1387) با بررسی موضوع تخلخل مصالح مورد استفاده در سازه‌ی گابیونی نتیجه گرفتند که افزایش تخلخل سازه موجب کاهش تلفات انرژی می‌شود. مفتاح هلقی و همکاران (1388) به‌کارگیری صفحات نفوذناپذیر قائم در داخل سرریز گابیونی را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که افزایش ارتفاع صفحه موجب افت بیش‌تر انرژی در سازه خواهد شد. سلماسی، فرسادی‌زاده و محیط (1390) در یک تحقیق آزمایشگاهی میزان تلفات انرژی در سازه‌های گابیونی با 3 پله و در چهار حالت بدون حفاظت (G)، سازه با دیوار نفوذناپذیر قائم (GV)، سازه با دیوار نفوذناپذیر افقی (GH) و سازه با ترکیب دیوار افقی و قائم (GHV) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین چهار حالت مختلف آزمایش وجود ندارد و فقط در حالت GHV استهلاک انرژی تا حدودی کم‌تر از سایر موارد بود. چیناراسری و همکاران به بررسی افت انرژی در سریزهای پلکانی گابیونی در یک مدل با تعداد 20 پله گابیونی پرداختند. در تحقیق آن‌ها تاثیر پارامترهایی نظیر شیب سرریز، تعداد پله و قطر سنگ‌ها بر افت انرژی بررسی شد. نتایج نشان داد سرریزهای گابیونی در مقایسه با سرریزهای صلب حدود 10 درصد تلفات انرژی بیش‌تر ایجاد می‌شود، تاثیر قطر سنگ‌ها بر میزان تلفات انرژی اثبات نشد و همچنین اثر تعداد پله در تلفات انرژی سازه‌های گابیونی مشاهده نشد (Chinnarasri et al., 2008). داتراک در بحثی پیرامون مقاله چیناراسری و همکاران (Chinnarasri et al., 2008) رابطه‌ی پیشنهادی آن‌ها را با نمودار جدیدی اصلاح کرد (Dhatrak., 2009). سلماسی، چمنی و فرسادی‌زاده (Salmasi; Chamani and Farsadizade., 2012) کارهای سلماسی و همکاران (1390) را با نتایج کارهای پیراس و همکاران(Peyras et al., 1992)، کیلز (Kells., 1994) و چیناراسرای و همکاران (Chinnarasri et al., 2008) درخصوص میزان تلفات انرژی مقایسه کردند و نشان دادند مطابقت خوبی بین نتایج کار سلماسی با نتایج کارهای پیراس و کیلز وجود دارد. سلماسی، ستاری و پال (Salmasi; Sattari and Pal., 2012) با بررسی نتایج آزمایشگاهی سلماسی و همکاران (1390) و پیراس و همکاران (Peyras et al., 1992) فرایند تصمیم‌گیری در خصوص میزان تلفات انرژی در مدل‌های مختلف آزمایش شده را در قالب یک شبکه یا درخت تصمیم‌گیری بیان کردند. نظری و غلامی (Nazari and Gholami., 2014) ضمن بررسی آزمایشگاهی سریزهای پلکانی گابیونی، وضعیت تلفات انرژی و همچنین نرخ برداشت رسوبات در پنجه سرریز را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از سه مدل آزمایشگاهی دارای 4 پله به ارتفاع 10 سانتی‌متر استفاده کردند. نتایج نشان داد میزان تلفات انرژی رابطه مستقیمی با عمق جریان پایین دست (TW) و رابطه‌ی معکوسی با

دبی جریان در کانال دارد. آن‌ها همچنین نرخ برداشت رسوبات در پایین‌دست را مورد بررسی قرار دادند. خطیبی و همکاران (Khatibi et al., 2014) با روش شبکه عصبی و هوش مصنوعی رابطه‌ای برای تخمین تلفات انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی ارایه دادند. وودریج و چانسون با انجام یک سری آزمایش در خصوص سرریز پلکانی گابیونی با تعداد 10 پله در چهار حالت سرریز پلکانی به‌صورت بدنه صلب غیرگابیونی (مدل 1)، سرریز پلکانی به‌صورت گابیونی با قراردادن یک باکس گابیونی روی هر پله در مرحله قبل (مدل 2)، قرار دادن پوشش نفوذناپذیر در سطح پله در 9 پله‌ی پایین‌دست (مدل 3) و قرار دادن پوشش نفوذ ناپذیر برروی تمام 10 پله (مدل 4)، موضوع تلفات انرژی را مورد بررسی قرار دادند. در پژوهش آن‌ها سعی شده است در هر یک از حالت‌های چهارگانه فوق انواع رژیم جریان روی سرریز پلکانی شامل جریان ریزشی (Nappe Flow)، جریان انتقالی (Transition Flow) و جریان رویه‌ای(Skimming Flow) در دبی‌های مختلف تفکیک شود. نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان افت انرژی به ترتیب مربوط به مدل 4، 3، 2 و 1 است و در هر حالت گابیونی، افت انرژی از حالت سرریزهای صلب بیش‌تر است. در این تحقیق بحث مبسوطی درخصوص اختلاط هوا در جریان عبوری سرریز شده است (Wuthrich & Chanson., 2014). پاگلریا و همکاران در بررسی ساختار هیدرودینامیکی و فرسایندگی سازه‌های مستهلک کننده انرژی مدل سرریز گابیونی با سه پله را به‌عنوان یکی از مدل‌های آزمایشگاهی خود مورد ارزیابی قرار دادند. مقایسه انجام شده در تحقیق آن‌ها بین سازه‌های خشکه‌چین و گابیونی انجام شد (Pagliaraa et al., 2015). زانگ و چانسون موضوع اختلاط هوا در جریان عبوری از سرریزهای گابیونی و تعیین سطح جریان روی سرریز و جریان درون‌گذر از داخل گابیون را مورد بررسی قرار دادند (Zhang and Chanson., 2016).

سوابق تحقیق در خصوص سرریزهای پلکانی با مصالح گابیونی نشان می‌دهد در مدل‌سازی بندهای انحرافی و یا سرریزهای پلکانی در سدهای بزرگ وضعیت انباشت رسوبات در بالادست در نظر گرفته نشده است. انباشت رسوبات در بالادست سازه قطعا شرایط هیدرولیکی سازه را تغییر خواهد داد و همان‌طور که قبلا بیان شد با توجه به این‌که بالادست سازه‌های گابیونی کوتاه معمولا در سال‌های اولیه احداث با رسوبات پر می‌شود می‌توان گفت در بیش‌تر عمر مفید این‌گونه سازه‌ها شرایط انباشت رسوب حاکم است. سرریزهای پلکانی گابیونی که در سازه‌های کوتاه نظیر بندهای انحرافی و سازه‌های حفاظتی مورد استفاده قرار می‌گیرد بسته به ارتفاع مورد نظر دارای 1، 2 و یا 3 پله با ارتفاع متوسط 1 متری هستند. این سازه‌ها به‌خصوص در پروژه‌های مهندسی رودخانه کاربرد زیادی دارند. انباشت رسوبات در بالادست این سازه‌ها در بسیاری از طرح‌ها به‌خصوص پروژه‌های آبخیزداری از اهداف اجرایی سازه است. شکل 1 نمونه‌ای از این سازه‌ها را نشان می‌دهد.

شکل 1- سازه سرریز گابیونی با رسوبات بالادست

استفاده ضوابط و معیارهای طراحی سازه‌های گابیونی بدون رسوب به دلیل شرایط متفاوت هیدرولیکی از اشکالات برخی طرح‌های اجراشده است. شناخت وضعیت افت انرژی در سرریزهای گابیونی کوتاه و مقایسه آن در دو حالت با و بدون رسوب‌گذاری در بالادست سازه در شرایط یکسان آزمایشگاهی از اهداف این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

مراحل اجرایی طرح در آزمایشگاه هیدرولیک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام شد. مدل آزمایشگاهی در یک فلوم هیدرولیکی به عرض 50 سانتی‌متر، طول 11 متر و ارتفاع 1 متری با دبی حداکثر 65 لیتر بر ثانیه انجام شد. شکل 2 وضعیت فلوم مذکور را نشان می‌دهد.

هدف این تحقیق مقایسه شرایط سرریزهای پلکانی گابیونی در حالت بدون رسوب و با رسوب‌گذاری در بالادست سازه‌های کوتاه بود، بر اساس توصیه چانسون، مقیاس مدل در مدل‌سازی سرریزهای پلکانی تا $L_r = \frac{1}{10}$ قابل قبول است (Chanson., 2001). با توجه به ابعاد فلوم هیدرولیکی به‌کار رفته در این تحقیق و همچنین با توجه به ابعاد سازه‌های گابیونی اجرا شده در عرصه‌های اجرایی که معمولا با باکس‌های 1^m در 1^m و شیب بدنه در پایین دست 1:1 ساخته می‌شوند، مقیاس مدل در این تحقیق $L_r = \frac{1}{5}$ انتخاب شد. بنابراین ارتفاع و طول پله‌ها در مدل 20 سانتی‌متر بدست آمد. در خصوص دبی مدل بر اساس تشابه فرودی می‌توان رابطه 1 را نوشت:

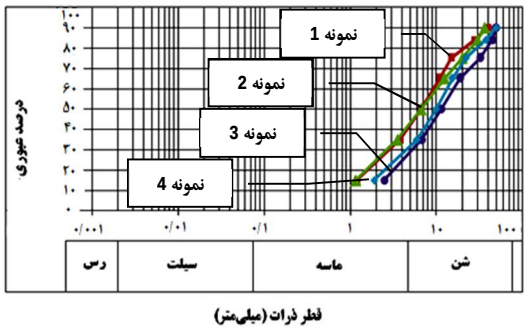
$$\left.\begin{aligned} Q_r &= L_r^{5/2} \\ q_r &= \frac{Q_r}{L_r} = L_r^{3/2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow q_r = \frac{q_m}{q_P} = 0.2^{1.5}$$

$$\therefore q_P = 11.18 q_m \qquad (1)$$

شکل 2- فلوم هیدرولیکی آزمایشگاه هیدرولیک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

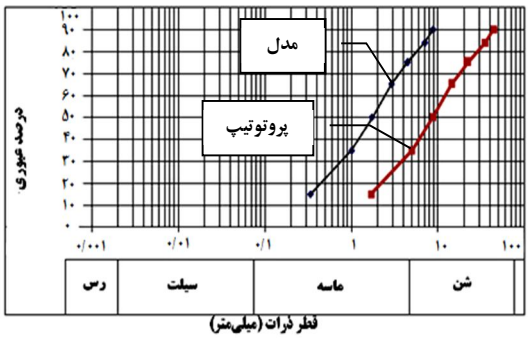
بر این اساس و با توجه به قابلیت دبی حداکثر فلوم، برای عرض 50 سانتی‌متر، دبی در واحد عرض پروتوتیپ تا $q_p = 1.45^{m^3/S_m}$ قابل شبیه‌سازی است. همچنین درخصوص سنگ‌های به‌کار رفته در مدل، باتوجه به مقیاس مدل‌سازی از سنگ‌های با قطر بین 4 تا 8 سانتی‌متر که معرف سنگ‌های با قطر 20 تا 40 سانتی‌متر در پروتوتیپ است استفاده شده است. درخصوص شبیه‌سازی رسوبات در بالادست سازه‌ها بر اساس نتایج تحقیق عباسی و همکاران (1390) در حوضه آبریز رودخانه کارده در شمال مشهد، دانه‌بندی رسوبات در بالادست تعداد چهار نمونه از گابیون‌های احداثی استخراج شد. نتایج این دانه‌بندی به‌صورت شکل 3 است.

پس از تهیه منحنی دانه‌بندی رسوبات با میانگین‌گیری از نتایج، منحنی متوسط دانه‌بندی این چهار نمونه استخراج شد. سپس بر اساس مقیاس مدل منحنی دانه‌بندی رسوبات مورد نیاز برای مدل آزمایشگاهی تهیه شد. شکل 4 وضعیت این دو منحنی را نشان می‌دهد.



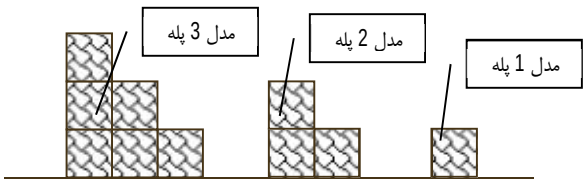
شکل 3- منحنی دانه‌بندی رسوبات در بالادست سرریز گابیونی

بر اساس نتایج برای رسوبات مدل مقدار $d_{15} = 0.34^{mm}$، $d_{50} = 1.74^{mm}$ و $d_{85} = 7.07^{mm}$ بدست آمد. با توجه به نتایج این بخش ابتدا مقداری از رسوبات پشت یکی از سازه‌های اجرا شده به آزمایشگاه منتقل شد و سپس با الک‌کردن آن و تفکیک رسوبات با قطرهای مختلف، متناسب با منحنی رسوبات مورد نیاز برای مدل، مجددا ترکیب شد. از این رسوبات در بالادست مدل سرریز پلکانی دارای رسوب استفاده شد.



شکل 4- منحنی دانه‌بندی رسوبات در مدل و پروتوتیپ

در مرحله بعد دو سری مدل سرریز پلکانی گابیونی طراحی و ساخته شد. سری اول سرریز پلکانی گابیونی بدون رسوبات (G) و سری دوم در شرایط گابیون دارای رسوبات (S)، آزمایش‌های سرریز پلکانی گابیونی در سه وضعیت 1، 2 و 3 پله انجام شد. که ارتفاع هر پله 20 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بنابراین ارتفاع کلی مدل (H) در سه حالت فوق 20، 40 و 60 سانتی‌متر بدست آمد. شکل‌های 5، 6 و 7 مدل‌های مذکور را نشان می‌دهد.

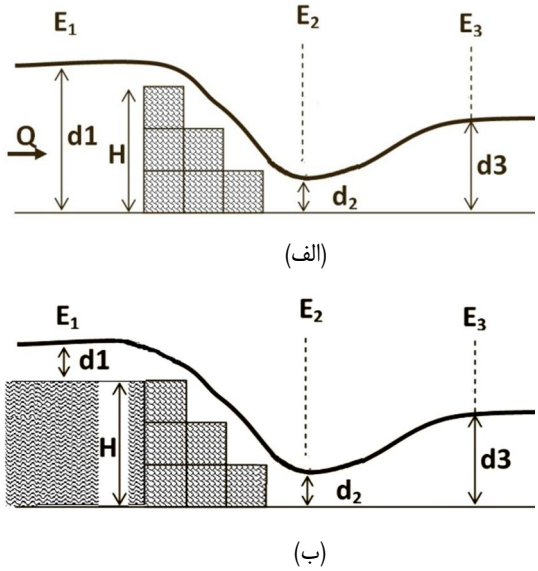


شکل 5- فرم مدل‌های 1، 2 و 3 پله‌ای سرریز گابیونی

شکل 6- مدل سرریز پلکانی گابیونی بدون رسوب

شکل 7- مدل سرریز پلکانی گابیونی با رسوب در بالادست

در هرآزمایش مقدار دبی(Q)، عمق‌جریان در بالادست سرریز (d_1)، عمق جریان فوق بحرانی در پایین دست سرریز(d_2) و عمق ثانویه پرش هیدرولیکی (d_3) در کانال اندازه‌گیری شد. درخصوص عمق جریات در بالادست در حالت بدون رسوب نسبت به کف فلوم و در حالت بارسوب نسبت به سطح رسوبات اندازه‌گیری شده است. دبی کانال به کمک سرریز مثلثی انتهای کانال اندازه‌گیری شده و محاسبه‌ی عمق جریان بعد از مدل سرریز به دلیل تلاطم جریان، براساس محاسبه‌ی عمق اولیه‌ی پرش هیدرولیکی متناظر با d_3 بدست آمد. این روش در مطالعات سرریزهای پلکانی گابیونی در کارهای پیراس و همکاران (Peyras et al., 1992)، کیلز (Kells., 1994) و چیناراسری و همکاران (Chinnarasri et al., 2008) و ... به‌کار رفته است. تثبیت پرش در پنجه سرریز به کمک یک دریچه لولایی در انتهای فلوم انجام شده است. درخصوص دقت اندازه‌گیری باتوجه به اینکه دبی به کمک سرریز مثلثی و با قرائت منحنی دبی- اشل اندازه‌گیری شده است، میزان خطا بین 1/1 تا 2 درصد محاسبه شد. اندازه‌گیری عمق جریان نیز به کمک اشل با دقت یک میلی‌متر انجام شده است. در هر آزمایش انرژی اولیه‌ی جریان (E_1) و انرژی جریان بعد از مدل سرریز (E_2) و میزان تلفات (ΔE) محاسبه شد. شکل 8 وضعیت پارامترهای اندازه‌گیری مدل در دو حالت با و بدون رسوبات را نشان می‌دهد.



شکل 8- پارامترهای مدل سرریز پلکانی گابیونی با شیب پایین‌دست 1:1 (الف- بدون رسوب در بالادست. ب- با رسوب در بالادست)

برای تحلیل هیدرولیکی افت انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی در ابتدا سعی شد بر اساس تئوری باکینگهام پارامترهای بدون بعدی برای محاسبه راندمان افت انرژی (η) بدست آید. با توجه به مرور تحقیقات گذشته می‌توان گفت در یک سرریز پلکانی گابیونی پارامترهای دبی در واحد عرض (q)، ارتفاع پلکان (H)، شتاب ثقل (g)، شیب بدنه سرریز در پایین‌دست (i) و تخلخل مصالح بدنه (n) موثر است. انباشت رسوبات در بالادست فقط شکل مقطع کانال ورودی جریان در مدل را تغییر و نقشی در تحلیل ابعادی نخواهد داشت، بنابراین تحلیل به‌صورت رابطه 2 خواهد شد:

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_1} \times 100 = f(q, H, g, i, n) \qquad (2)$$

در بین پارامترهای فوق مقادیر i و n پارامترهای بدون بعد هستند بنابراین به‌عنوان عوامل بدون بعد پذیرفته می‌شوند. با توجه به تعداد سه متغیر باقی‌مانده که دارای دو بعد هستند نیاز به یک عامل بدون بعد دیگر وجود دارد. پس از محاسبه پارامتر سوم به‌صورت $\frac{q^2}{gH^3}$ بدست آمد. این عامل در شیب شکن‌ها به نام عدد شیب‌شکن (D) یا عدد آبشار شناخته می‌شود. بر این اساس راندمان تلفات انرژی (η) در سازه‌های گابیونی تابعی از پارامترهای عدد شیب‌شکن $(\frac{q^2}{gH^3})$، تخلخل مصالح (n) و شیب پایین‌دست سازه (i) است.

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_1} \times 100 = f(\frac{q^2}{gH^3}, i, n) \qquad (3)$$

با توجه به این‌که در این تحقیق مدل آزمایشگاهی بر اساس تشابه فرودی مدل‌سازی شده و ابعاد سنگ‌ها و تخلخل در طول

آزمایش‌ها تغییر نکرده و همچنین شیب بدنه سرریز گابیونی در پایین‌دست مشابه سازه‌های تیپ و با شیب یک به یک اجرا شده است، مقادیر i و n در طول آزمایش‌ها ثابت است بنابراین تغییرات راندمان تلفات انرژی صرفا تابعی از عدد شیب‌شکن خواهد بود. محاسبات مربوط به پارامترهای مختلف از روابط 4 تا 10 بدست می‌آید:

$$Q = A_i V_i = 0.5 \times d_i \times V_i \quad (4)$$

$$Fr_i = \frac{V_i}{\sqrt{g d_i}} \quad (5)$$

$$d_2 = \frac{d_3}{2}(\sqrt{1 + 8 Fr_3^{\,2}} - 1) \quad (6)$$

$$E_i = d_i + \frac{V_i^{\,2}}{2g} \quad (7\text{- الف})$$

$$E_1 = H + d_1 + \frac{V_1^{\,2}}{2g} \quad (7\text{- ب، در حالت مخزن با رسوب})$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (8)$$

$$D = (\frac{q^2}{gH^3}) \text{ (عدد شیب‌شکن)} \quad (9)$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_1} \times 100 \quad (10)$$

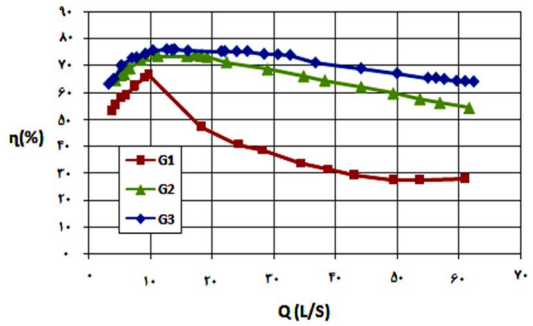
در طول آزمایش‌ها برای هر دو حالت سرریز گابیونی بدون رسوبات و سرریز گابیونی با رسوبات در سه وضعیت 1، 2 و 3 پله با شیب بالادست قائم و شیب پایین‌دست 1 به 1 در مجموع تعداد 58 آزمایش انجام شد. در تحلیل نتایج مدل گابیونی بدون رسوب به‌صورت G_n نامگذاری شد که اندیس n با اعداد 1، 2 و 3 معرف تعداد پله‌های مدل است. در خصوص مدل دارای رسوب، این نامگذاری به‌صورت S_n است. شکل‌های 9 و 10 نمونه‌ای از آزمایش‌های مربوط به سرریز بدون رسوب و سرریز گابیونی با رسوب را نشان می‌دهد.

شکل 9- نمونه آزمایش برروی مدل سرریز پلکانی گابیونی بدون رسوب

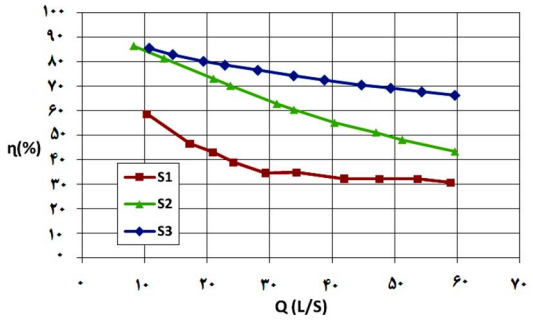
شکل 10- نمونه آزمایش برروی مدل سرریز پلکانی گابیونی با رسوب

نتایج و بحث

به منظور بررسی اولیه در خصوص نتایج محاسبه راندمان تلفات انرژی در دو مدل سرریز پلکانی گابیونی بدون رسوب و گابیون دارای رسوبات در بالادست ابتدا روند تغییرات این پارامتر با توجه به تغییرات دبی به‌صورت شکل‌های 11 و 12 ارایه می‌شود. دامنه تغییرات دبی در این آزمایش‌ها بین 3/29 تا 62/36 لیتر برثانیه بود.



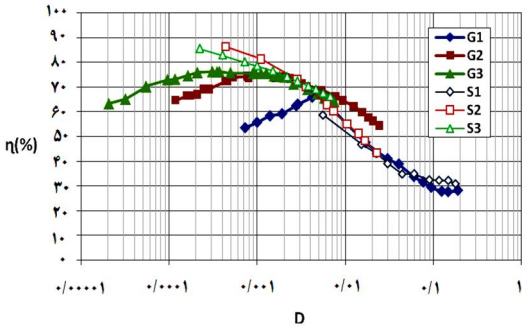
شکل 11- درصد تلفات انرژی بر اساس دبی جریان در آزمایش‌های سرریز گابیونی بدون رسوب



شکل 12- درصد تلفات انرژی بر اساس دبی جریان در آزمایش‌های سرریز گابیونی با رسوب در بالادست

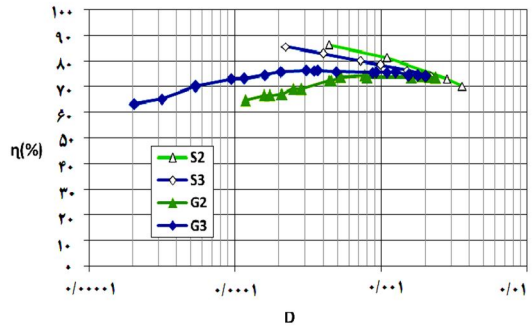
محور افقی این شکل‌ها بدون بعد نیست با این وجود شکل‌های

11 و 12 نشان می‌دهد در دبی‌های مساوی افزایش تعداد پله همراه با افزایش ارتفاع سرریز، موجب افزایش تلفات انرژی خواهد شد. البته این روند بر اساس نظر استیونسون تا 3 پله مشهود است و افزایش تعداد پله‌ها از 4 پله به بعد تاثیر مشهودی بر تلفات انرژی ندارد (Stephenson., 1979). از طرفی در شکل 11 مدل آزمایش G با افزایش دبی در هر سه مدل 1، 2 و 3 پله، ابتدا روند تلفات انرژی افزایشی و سپس به‌صورت کاهشی خواهد بود. در صورتی‌که در شکل 12 مدل S، این روند صرفا کاهشی است. علت این امر ناشی از نوع جریان عبوری در سازه گابیونی بدون رسوب است. به دلیل تخلخل بدنه، در دبی‌های کم جریان به‌صورت درون‌گذر از داخل بدنه سرریز عبور می‌کند. در این حالت با افزایش دبی راندمان تلفات انرژی افزایش می‌یابد. پس از رسیدن دبی به حدی که تیغه جریان بر روی تاج سرریز تشکیل شود، جریان به‌صورت تلفیقی درون‌گذر و روگذر است و با افزایش دبی راندمان تلفات انرژی کاهش می‌یابد. در مدل سرریز گابیونی با رسوبات (S) از ابتدا تیغه جریان روی تاج سرریز تشکیل شده و رژیم جریان ریزشی است. با توجه به این‌که براساس تحلیل ابعادی تلفات انرژی تابعی از عدد شیب‌شکن (D) بدست آمد، برای کلیه آزمایش‌های درصد تلفات انرژی در مقابل عدد شیب‌شکن ترسیم و در شکل 13 ارایه شد.

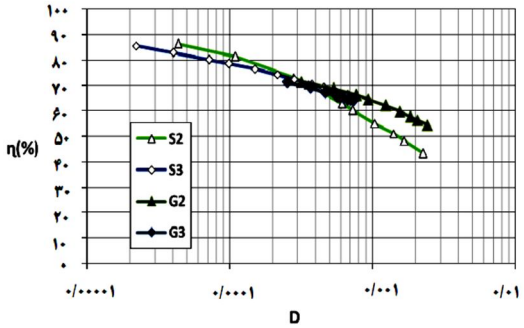


شکل 13- درصد تلفات انرژی بر اساس عدد شیب‌شکن در تمام آزمایش‌های سرریز گابیونی بدون رسوب و با رسوبات بالادست

در شکل 13 داده‌های مربوط به راندمان تلفات انرژی (η) بر حسب درصد در مقابل عدد شیب شکن(D) در کلیه سرریزهای گابیونی بدون رسوب و با رسوب ارایه شده است. در این شکل مشاهده می‌شود داده‌های گابیون G_1 پراکندگی بیش‌تری نسبت به دو حالت دیگر دارد و تحدب منحنی در اعدا شیب‌شکن مختلف با حالت 2 و 3 پله متفاوت است. می‌توان علت آن را عدم تشکیل پلکان در این فرم دانست و در عمل یک پله را باید به‌عنوان یک شیب‌شکن تحلیل نمود. همچنین نتایج داده‌های مربوط به مدل S_1 روندی متفاوت از نتایج مربوط به مدل‌های S_2 و S_3 دارد به نحوی‌که تحدب منحنی داده‌ها مربوط به حالت یک پله به سمت پایین است ولی تحدب منحنی داده‌های حالت 2 و 3 پله به سمت بالا است. بنابراین در مدل سریزهای پلکانی گابیونی، مدل دارای یک پله در هر دو سری آزمایش‌ها دارای روند متفاوتی است، بنابراین به منظور تحلیل مناسب‌تر نتایج سرریز پلکانی داده‌های دو حالت G_1 و S_1 از نمودار کلی حذف شد. از طرفی در حالت بدون رسوبات در دبی‌های کم، تمام جریان به‌صورت درون‌گذر خواهد بود. بنابراین نمودارها به دو بخش برای دبی‌های کم با جریان درون‌گذر و دبی‌های با جریان درون‌گذر و روگذر تفکیک شد (شکل‌های 14 و 15).



شکل 14- درصد تلفات انرژی در آزمایش‌های با جریان درون‌گذر سرریز گابیونی بدون رسوب و با رسوبات بالادست



شکل 15- درصد تلفات انرژی در آزمایش‌های با جریان درون‌گذر و روگذر سرریز گابیونی بدون رسوب و با رسوبات بالادست

شکل 14 نشان می‌دهد در دبی‌های کم راندمان تلفات انرژی در مدل S بیش‌تر از مد G است این بدان معنی است که اثر جریان ریزشی بر تلفات انرژی بیش از اثر عبور جریان از بدنه متخلخل سازه‌ی گابیونی است. مجموع نتایج راندمان تلفات انرژی هر دو مدل، در دبی‌های کم با افزایش دبی تا رسیدن به مرز دبی جریان دو فازی در گابیون ساده، به سمت راندمان حدود 75 درصد همگرا است و پس‌ازآن روند به‌صورت شکل 14 ادامه می‌یابد. شکل 15 نشان می‌دهد پس از تشکیل تیغه جریان بر روی تاج سرریز گابیونی ساده راندمان تلفات انرژی در مدل G بیش‌تر از مدل S خواهد بود. به‌عبارتی در شرایط انباشت رسوبات در بالادست سرریز پلکانی گابیونی

راندمان تلفات انرژی کاهش می‌یابد. در خصوص مدل‌های G_2 و G_3 در شرایط تشکیل جریان روگذر اختلاف مقادیر راندمان تلفات انرژی بین 1/7 تا 2/5 درصد است. این مقدار چندان معنی‌دار نیست و می‌توان گفت در این حالت شرایط اجرایی و محدودیت‌های طراحی مبنای انتخاب تعداد پله خواهد بود.

نکته دیگر که در این بخش باید به آن اشاره شود این است که با توجه به عبور بخشی از جریان از داخل بدنه سرریز گابیونی بدون رسوبات، طبیعتا عمق تیغه جریان روی تاج سرریز در دبی‌های برابر کم‌تر از حالت جریان عبوری از روی تاج سرریز پلکانی گابیونی با رسوبات بالادست است. این نکته باید در طراحی این فرم از سازه به‌خصوص در محاسبه ارتفاع آزاد دیواره‌های جانبی سرریز مدنظر قرار گیرد.

برای یافتن روابطی برای محاسبه افت انرژی در سرریزهای گابیونی با توجه به روندهای مشاهده شده در نتایج این تحقیق و مقایسه با کارهای محققین گذشته، ابتدا برای نتایج فرم‌های G_2 و G_3 در حالت جریان ترکیبی روگذر و درون‌گذر توابعی لگاریتمی برازش داده شد که با توجه به آنالیز ابعادی انجام شده تابعی از عدد شیب‌شکن بود. همان‌طور که در شکل 15 مشاهده می‌شود، با توجه به شباهت زیاد روند نتایج در مدل G_2 و G_3 سعی شد با دخالت پارامتر تعداد پله (N) و انجام رگرسیون چندمتغیره یک رابطه برای مجموع نتایج ارایه شود. نتیجه محاسبات به‌صورت رابطه 11 می‌باشد.

$$\eta = -8.184Ln(D) - 1.98(N) + 29.3 \qquad (11)$$

در این رابطه D عدد شیب‌شکن و N تعداد پله (2 یا 3 پله) می‌باشد. برای تعیین صحت و دقت این رابطه و میزان همبستگی پارامترها در رابطه فوق با توجه به تعداد داده‌های دخالت داده شده در رگرسیون بر اساس روش‌های آماری مقدار ضریب تشخیص (R^2) که معرف میزان همبستگی پارامترهای رابطه مذکور است محاسبه شد که مقدار پارامتر مذکور برابر با R^2=0/97 بدست آمد. از طرفی سطح معنی‌دار بودن رابطه بر اساس آزمون فیشر (آزمون F) محاسبه شد که نتایج نشان داد همبستگی داده‌ها در رابطه 10 در سطح 99 درصد معنی‌دار است. بر اساس نتایج این تحقیق رابطه 10 برای پلکان گابیونی (G) دارای 2 و 3 پله در بازه عدد شیب‌شکن 0/03> D >0/002 قابل توصیه است.

برای نتایج مربوط به پلکان گابیونی با رسوبات بالادست ابتدا سعی شد مشابه حالت قبل یک رابطه کلی برای نتایج مدل S_2 و S_3 ارایه شود. اما به دلیل اختلاف شیب منحنی‌های مربوطه که در شکل 14 نیز مشاهده می‌شود، ارایه رابطه کلی ممکن نبود بنابراین روابط 12 و 13 برای این دو حالت به‌صورت تابعی از عدد شیب‌شکن ارایه شد.

$$\eta_{S2} = -1.68(Ln(D))^2 - 30.4Ln(D) - 48.23 \qquad (12)$$
$$R^2 = 0.995$$

$$\eta_{S3} = -5.67\,Ln(D) + 38.6 \qquad (13)$$
$$R^2 = 0.99$$

رابطه 11 برای مدل S_2 و رابطه 13 برای مدل S_3 در بازه عدد شیب‌شکن 0/03> D >0/0002 قابل توصیه است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلفات انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی با توجه به کاربرد این نوع سازه در بندهای انحرافی و سازه‌های اصلاحی بررسی شده است. باتوجه به این‌که در بسیاری از کارهای اجرایی سرریزهای پلکانی گابیونی با 1، 2 و 3 پله به‌صورت تیپ ساخته می‌شود، در این پژوهش تلفات انرژی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی وضعیت تلفات انرژی در حالت سرریزهای پلکانی گابیونی با انباشتگی رسوبات در بالادست سازه نیز از اهداف این تحقیق بود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد تلفات انرژی در فرم سازه‌های پلکانی گابیونی دارای یک پله روند متفاوتی نسبت به حالت دو و سه پله دارد. جریان درون‌گذر در سازه‌های گابیونی نقش مهمی در تلفات انرژی دارد. افزایش دبی و افزایش عدد شیب‌شکن در حالت جریان درون‌گذر در سرریزهای گابیونی بدون رسوب موجب افزایش راندمان تلفات انرژی تا محدوده 75 درصد تلفات انرژی می‌شود. در شرایط جریان تلفیقی درون‌گذر و روگذر با افزایش دبی و عدد شیب‌شکن راندمان تلفات انرژی کاهش می‌یابد. در مدل سرریزهای گابیونی با انباشت رسوبات در بالادست روند تغییرات راندمان تلفات انرژی بر اساس دبی و عدد شیب‌شکن روند کاهشی است. در دبی‌های کم و جریان درون‌گذر راندمان تلفات انرژی در مدل دارای رسوب بیش‌تر از مدل بدون رسوبات است. در صورتی‌که در دبی‌های دارای جریان تلفیقی روگذر و درون‌گذر تلفات انرژی در مدل‌های دارای رسوبات نسبت به حالت بدون رسوب کم‌تر است. به‌طور طبیعی به دلیل اختلاف شرایط جریان عبوری در دو حالت سازه‌های گابیونی، عمق تیغه جریان روی تاج سرریزهای گابیونی دارای رسوبات بیش‌تر از حالت بدون رسوب است. در خصوص ارایه رابطه برای محاسبه راندمان تلفات انرژی در مدل سرریزهای گابیونی پلکانی بدون رسوب (G) رابطه 11 برای پلکان گابیونی 2 و 3 پله در بازه عدد شیب‌شکن 0/03> D >0/002 ارایه شد و برای حالت سرریزهای گابیونی با انباشت رسوبات در بالادست، رابطه 12 برای مدل سرریز گابیونی یک پله با رسوبات (S_1) و رابطه 13 برای مدل دو پله با رسوبات (S_2) در بازه عدد شیب‌شکن 0/03> D >0/0002 ارایه شد.

پیشنهاد می‌شود موارد زیر در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد:

آنجام آزمایش‌های مشابه برای سرریزهای 4 و 5 پله‌ای با هدف مشخص نمودن اثر تعداد پله‌ها.

انجام آزمایش با شیب‌های مختلف بدنه در پایین‌دست سرریز. بررسی وضعیت حوضچه آرامش سرریزهای گابیونی. بررسی اثر تغییرات تخلخل بدنه گابیونی سرریز بر تلفات انرژی. پیشنهاد می‌شود در طرح‌های اجرایی شرایط هیدرولیکی سرریزها در وضعیت با انباشت رسوب مبنا قرار گیرد. این امر در طراحی ابعاد سازه موثر خواهد بود.

منابع

ابراهیمی،ن.ق.، کاشفی‌پور،م و ابراهیمی،ک. 1384. بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان بر روی مدل سرریز توری سنگی پلکانی. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. خردادماه، دانشکده مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان.

چانسون،ه. 1384. هیدرولیک شوت‌ها و سرریزهای پلکانی. ترجمه ابوالفضل شمسایی، فرزاد پاک‌نهال دانشگاه صنعتی شریف، موسسه انتشارات علمی. 518 صفحه– وزیری

سلماسی،ف.، فرسادی‌زاده،د و محیط،ح. 1390. بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی جریان از روی سرریز گابیونی پله‌ای. نشریه دانش آب و خاک. 21. 4: 164-152.

عباسی،ع.ا.، حبیبی،م.، صدیق،ر.، رجایی،س.ح.، اعظمی‌راد،م. 1390. بررسی بهینه‌سازی روش‌های تعیین محل و فاصله بین بندهای اصلاحی در آبخیزهای مناطق خشک و نیمه‌خشک. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.

عزیزی، ا.، مفتاح هلقی،م.، تبار احمدی،ض و گلمایی،ح. 1387. بررسی تاثیر تخلخل مصالح مورد استفاده بر افت انرژی جریان در سرریزهای پلکانی گابیونی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان. 15. 1: 158-150.

مفتاح هلقی،م.، عزیزی،ا.، دهقانی،ا.، الحسینی،ن. 1388. استهلاک انرژی جریان در سرریزهای پلکانی توری سنگی با به‌کارگیری صفحات نفوذناپذیر. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان . 16. 2: 241-234.

کاظمی‌نسبان،غ و شفاعی بجستان،م. 1376. بررسی آزمایشگاهی میزان استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی. اولین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران. تهران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی. 78-96.

Chanson,H. 1994. Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes. Journal of Hydraulic Research. 32.2: 213-218.

Chanson,H. 2001. The Hydraulics of Stepped Chutes and Spillways. Balkema, Lisse, The Netherlands (ISBN 90 5809 352 2)

Chinnarasri,C., Donjadee,S., Israngkura,U. 2008. Hydraulic characteristics of gabion-stepped weirs. Journal of Hydraulic Engineering. 134.8: 1147-1152

Dhatrak,A.I., Tatewar,S.P. 2009. Discussion of "Hydraulic Characteristics of Gabion-Stepped Weirs" by Chaiyuth Chinnarasri, Somachai Donjadee, and Udomsak Israngkura. Journal of Hydraulic Engineering. 135.10:871-872.

Kells,J.A. 1993. Spatially varied flow over rockfill embankments. Canadian Journal of Civil Engineering. 20.5: 820-827.

Kells,J.A. 1994. Energy dissipation at a gabion weir with throughflow and overflow. In annual Conference Canadian society for civil engineering. Winnipeg, Canada. June (pp. 1-4).

Khatibi,R., Salmasi,F., Ghorbani,M.A., Asadi,H. 2014. Modelling Energy Dissipation Over Stepped-gabion Weirs by Artificial Intelligence. Journal of Water resources management. 28.7: 1807-1821.

Khatibi,R., Salmasi,F., Ghorbani,M.A., Asadi,H. 2014. Modelling Energy Dissipation Over Stepped-gabion Weirs by Artificial Intelligence. Journal of Water resources management. 28.7: 1807-1821.

Nazari,S., Gholami,R. 2014. Laboratory evaluation of Scour rate and energy dissipation in Gabion Stepped Weirs with considering the effect of Discharge and tail water depth. Journal of Applied Science and Agriculture. 9.4: 1424-1439.

Pagliaraa,S., Palermoa,M., Mahmoudi Kurdistania,S., Sagvand Hassanabadia,L. 2015. Erosive and hydrodynamic processes downstream of low-head control structures. Journal of Hydraulic Research. 3.2:122-131.

Peyras,L., Royet,P., Degoutte,G. 1992. Flow and energy dissipation over stepped gabion weirs. Journal of Hydraulic Engineering. 118.5:707-717.

Salmasi,F., Sattari,M.T., Pal,M. 2012. Application of data mining on evaluation of energy dissipation over low gabion-stepped weir. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 36. 95-106.

Salmasi,F., Chamani,M,R., Farsadizade,D. 2012. Experimental study of energy dissipation over steooed gabion spillways with low heights. Journal of Transactions of Civil Engineering. 36.C2: 253-264 Printed in The Islamic Republic of Iran, Shiraz University.

Shafai-Bejestan,M., Kazemi-Nasaban,G.H. 2011. Experimental Study on Gabion Stepped Spillway. Experimental Methods in Hydraulic Research Geoplanet. Journal of Earth and Planetary Sciences. 1: 267-274

Zhang,J., Chen,J.,Wang,Y. 2012. Experimental study on time-averaged pressures in stepped spillway. Journal of Hydraulic Research. 50.2: 236-240.

Zhang,G., Chanson,H. 2014. Step Cavity and Gabion Aeration on a Gabion Stepped Spillway. 5th International Symposium on Hydraulic Structures Brisbane, Australia, 25-27 June 2014.

Zhang,G., Chanson,H. 2016. Gabion Stepped Spillway: Interactions between Free-Surface, Cavity, and Seepage Flows. Technical Note. Journal of Hydraulic Engineering. 142.5. Paper 0601-0606.

Stephenson,D. 1979. Gabion Energy Dissipators. 13th International Congress on. Large Dams. New Delhi. India. 50(R3): 33-43

Wuthrich,D., Chanson,H. 2014. Aeration and Energy Dissipation over Stepped Gabion Spillways: a Physical Study. School of Civil Engineering, The University of Queensland. REPORT No. CH92/13. ISBN 9781742720944

Wuthrich,D., Chanson,H. 2014. Hydraulics, Air Entrainment, and Energy Dissipation on a Gabion Stepped Weir. Journal of Hydraulic Engineering. 140.9.4036-4046.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 11, Des.-Jan. 2017, p. 900-910

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره5 جلد 11، آذر - دی 1396، ص. 910-900

Laboratory Analysis of Energy Losses in Gabion Steeped Spillways With and Without Sedimentation at Upstream

S. H. Rajaei[1], S. R. Khodashenas[2*], K. Esmaili[3]
Recived: Feb.25, 2017 Accepted: Apr.17, 2017

Abstract

Energy losses in steeped spillways is one of the most important design parameters in this structure. Stepped spillways are used in high dams, diversio dams and in watershed structures. Gabion stepped spillways are usually used in diversion dams and structures of river protection. They are used in most projects, Specially in projects of stabilizing river and filling with sediment at upstream is one of the goals. Since gabion structures in many places is a good option, gabion stepped spillways are being built with a height between 1 to 3 meters and these structures usually can be built with the same form. Therefore this form of gabion in the early years are filled with sediment. In this research compare the energy losses in two form of gabions stepped spillways (gabions stepped spillways with and without sedimentation at upstream) is done. To reach this goal, models of gabion stepped spillways with and without sedimentation were built with the same geometric dimensions and were installed in a laboratory flume with 50^{cm} width and 11^{m} length. Spillways have 1, 2 and 3 steps. The result showed that the maximum efficiency of energy loss in the gabion stepped spillways without sedimentation, occur up to 75%. At low flow rates, in the gabion without sedimentation flow traverses through the porous body. In this mood, when discharge increases the energy losses will increase too, but in the flow passing through and upper gabion, energy losses will be reduced. In gabion stepped spillways with sedimentation, increasing flow always makes reduce energy losses. When current passes through the porous body, in gabion without sediment energy losses is less than gabion with sediment. But when current passes from the top of gabion, in gabion without sediment energy losses is more than gabion with sediment. This study present three formulas for calculating energy losses in Gabion stepped spillways..

Keywords: Diversion dam, Gabion, Head loss, Sedimentation, Steeped spillways

1-Ph.D Student of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- Associate professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)