

ارزیابی تحقیقات انجام‌شده در خصوص محاسبه تلفات انرژی در بندهای آبخیزداری گابیونی

آروین سروری^۱، سید حسین رجائی^{۲*}، سید هاشم حسینی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت جام

۲- محقق بخش تحقیقات آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (h.rajaei@areeo.ac.ir)

۳- استادیار و هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت جام

چکیده

سرریزهای پلکانی گابیونی در طرح‌های آبخیزداری کاربرد زیادی دارند. این نوع سازه به دلیل سهولت اجرا و در دسترس بودن مصالح دارای هزینه کمتری نسبت به سرریزهای بتنی و سنگی ملاتی هستند. موضوع تلفات انرژی در این نوع سازه به عنوان یک پارامتر مؤثر در طراحی سازه از موضوعات مورد نظر محققین مختلف بوده است. در این مقاله مروری بر تحقیقات مرتبط با بحث تلفات انرژی در سرریزهای گابیونی پلکانی شده است. بررسی انجام شده نشان می‌دهد راندمان تلفات انرژی در این سازه‌ها ۶۰ تا ۸۵ درصد است و نسبت به سازه‌های با بدنه صلب مشابه ۱۵ تا ۲۰ درصد تلفات انرژی بیشتری دارند. در تحقیقات گذشته به موضع اثر جریان درونگذر در سازه گابیونی کمتر پرداخته شده است. همچنین رعایت تشابه هندسی در مدل‌سازی در برخی نمونه‌های آزمایشگاهی مغفول مانده است. برخی تحقیقات نیز جنبه کاربردی نداشته و عملاً در کارهای اجرایی به کار گرفته نمی‌شود. با توجه به گستردگی استفاده از این نوع سازه در طرح‌های آبخیزداری و مهندسی رودخانه تشخیص صحیح میزان تلفات انرژی در انواع سازه‌های گابیونی کمک شایانی به طراحی صحیح و کاهش هزینه‌های اجرایی این نوع سازه خواهد کرد. درمجموع موضع سازه‌های گابیونی مقوله مناسبی برای ادامه تحقیقات از جنبه‌های مختلف است که قابل توصیه به محققین و اساتید علم هیدرولیک و آبخیزداری خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: گابیون، تلفات انرژی، سرریز پلکانی، سازه‌های حفاظتی

مقدمه

تاریخچه سرریزهای گابیونی نشان می‌دهد که این نوع سرریز بیشتر پلکانی بود و به دو صورت بلند و کوتاه به کار گرفته می‌شود. سرریزهای گابیونی بلند به عنوان یک پوشش حفاظتی بر روی یک سرریز صلب با ارتفاع بیش از چهار متر قرار می‌گیرد. این نوع سرریز از تعداد زیادی پله برخوردار می‌باشد. سرریز گابیونی کوتاه دارای ساختاری یکپارچه هستند که ارتفاع آن تا چهار متر می‌رسد. از سرریز گابیونی کوتاه به عنوان بندهای انحرافی و همچنین بندهای اصلاحی استفاده می‌شود. سنگ‌ها و توری‌های فلزی، مصالح اصلی این سازه را تشکیل می‌دهند. این امر باعث شده تا این سازه از نظر هزینه‌ها و تطابق مناسب با محیط‌زیست پیرامون خود از اهمیت بالایی برخوردار باشد. شکل ۱ و ۲ وضعیت سرریزهای گابیونی کوتاه و بلند را نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۱- (الف) بند گابیونی آبخیزداری با ارتفاع کم، (ب) سرریز گابیونی بر روی یک سازه خاکی بلند

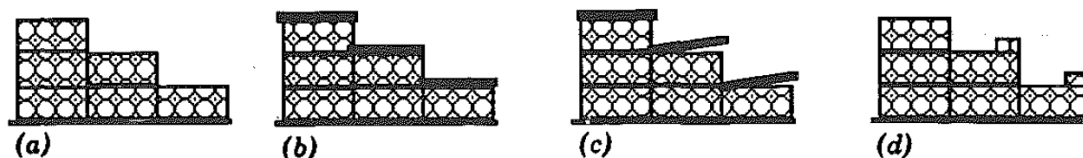
مزیت نسبی استفاده از سازه گابیونی به عنوان بند اصلاحی علاوه بر سهولت اجرا و هزینه کمتر نسبت به سازه‌های بتنی با سنگ و سیمانی، میزان تلفات انرژی جریان عبوری بر روی این نوع سازه است. در این خصوص تحقیقات متنوعی انجام شده است که در این مقاله سعی شده است با مرور منابع موجود، نقاط قوت و ضعف تحقیقات گذشته مورد ارزیابی قرار گیرد.

بررسی تحقیقات انجام شده در خصوص تلفات انرژی در سازه‌های گابیونی

اولین بار Stephenson (۱۹۷۹) در مطالعات خود به بررسی تلفات انرژی جریان بر روی سرریزهای گابیونی کوتاه پرداخت. استیونسون مدل خود را با مقیاس ۱:۱۰ (پروتوتیپ: مدل) برای سرریزی به ارتفاع چهار متر مدل سازی کرد. نتایج کار وی نشان داد تعداد پله‌های سرریز گابیونی تا سه پله افت انرژی قابل توجهی از خود نشان می‌دهد و افزایش بیش از سه پله تأثیر چندانی بر افزایش افت انرژی ندارد. همچنین استیونسون در مطالعات خود به بررسی شیب بالا دست سرریز گابیونی پرداخت. کار وی نشان داد شیب قائم بیشترین افت انرژی را در سرریزهای گابیونی از خود نشان می‌دهد.

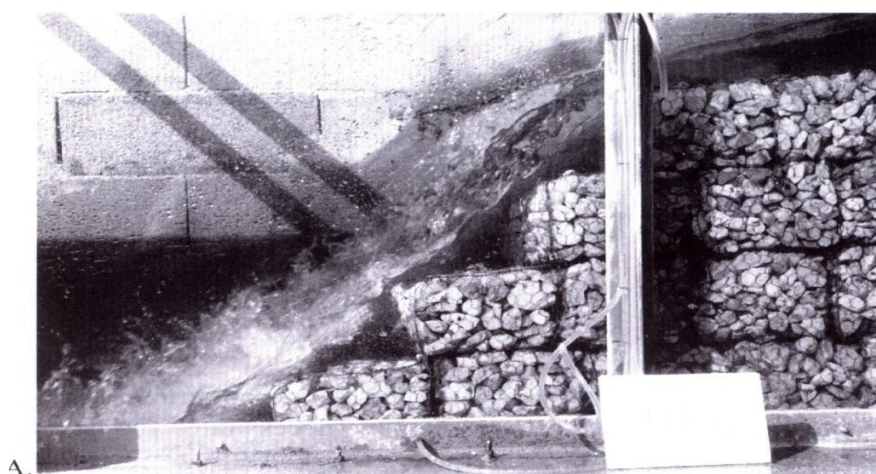
Peyras و همکاران (۱۹۹۲) در تحقیقات خود به بررسی شرایط هیدرولیکی جریان از روی سرریزهای گابیونی پرداختند.

آزمایش‌های آن‌ها بر روی چهار مدل سرریز گابیونی پلکانی با مقیاس $L_r = \frac{1}{5}$ انجام گرفت. مدل کار آن‌ها دارای سه پله با بدنه بدون پوشش، با پوشش حفاظتی بر روی سطح افقی پله‌ها، پوشش روی سطح پله با شیب منفی و با آستانه انتهایی در لبه پله است (شکل ۲). نتایج کار آن‌ها نشان می‌دهد با کاهش شیب بدنه در پایین دست باعث افزایش تلفات انرژی جریان می‌شود و همچنین در دی‌های بالا از روند تلفات کاسته می‌شود.



شکل ۲- مدل‌های چهارگانه در آزمایش‌های پیراس و همکاران (۱۹۹۲)

شکل ۳ نمونه آزمایش‌های پیراس را نشان می‌دهد.



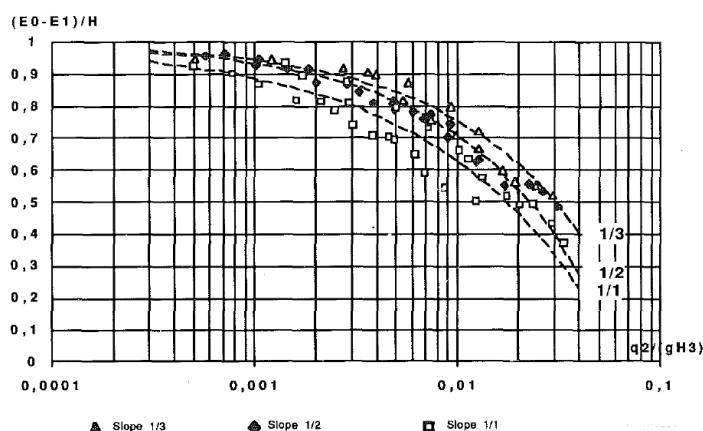
شکل ۳- نمونه‌ای از آزمایش‌های پیراس و همکاران (۱۹۹۲)

در تحقیق پیراس و همکاران (۱۹۹۲) برای تحلیل افت انرژی سرریز گابیونی، نسبت تلفات انرژی به ارتفاع کلی سرریز $(\frac{\Delta E}{H})$ ، بر

اساس تحلیل ابعادی تابعی از شیب بدنه سرریز در پایین دست (i) و عدد شیب‌شکن $(D = \frac{q^2}{gH^3})$ بدست آمد.

$$\frac{\Delta E}{H} = f(i, \frac{q^2}{gH^3}) \quad (1)$$

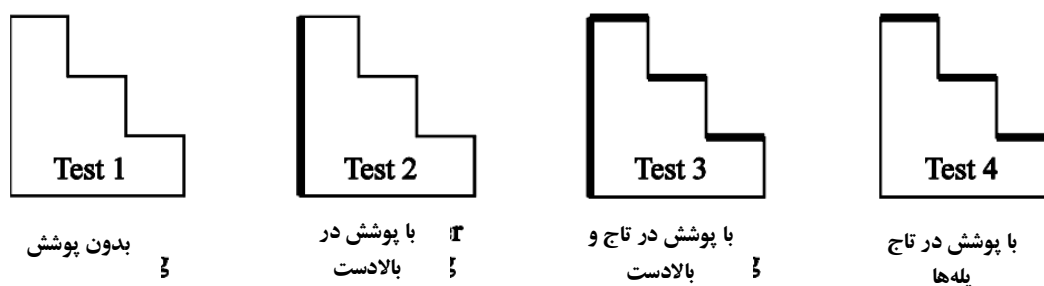
با توجه به سه شیب سرریز $(i = \frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3})$ در مدل‌های آزمایشگاهی آن‌ها، نمودار شکل ۴ برای کلیه آزمایش‌های انجام‌شده ارائه شد.



شکل ۴- تلفات انرژی سرریز گابیونی برحسب عدد شیب شکن در سه شیب سرریز (پیراس و همکاران، ۱۹۹۲)

Kells (۱۹۹۳) در مطالعات خود به بررسی عبور جریان از داخل بدنه متخلخل سرریز گابیونی پرداخت. مدل سرریز وی دارای سه

پله و در دو شیب ۱ به ۱ و شیب ۱ به ۲ با مقیاس $L_r = \frac{1}{8}$ بوده است. همچنین وی برای مدل های خود با استفاده از ورق های نفوذ ناپذیر چهار حالت سرریز گابیونی بدون پوشش نفوذ ناپذیر، با پوشش نفوذ ناپذیر در وجه قائم بالا دست، پوشش نفوذ ناپذیر در وجه بالا دست و تاج هر پله و همچنین پوشش نفوذ ناپذیر در تاج هر پله مطرح کرد. نتایج آزمایش های او نشان داد که عبور جریان در داخل بدنه سرریز گابیونی با معادله داری در محیط متخلخل متفاوت است و همچنین تفکیک جریان به دو صورت درون گذر و رو گذر برای تحلیل هیدرولیکی لازم است. همچنین آزمایش های وی نشان داد جریان درون گذر اهمیت بالایی در افزایش تلفات انرژی جریان دارد. شکل ۵ وضعیت آزمایش های کیلز را نشان می دهد.



شکل ۵- مدل های چهارگانه پوشش نفوذناپذیر در پلکان گابیونی در تحقیق کیلز (۱۹۹۳)

مفتاح هلقی و بیات (۱۳۷۵) در مطالعات خود به بررسی پلکانی کردن بالا دست سرریز گابیونی پرداختن. آن ها کاری مشابه کار Stephenson (۱۹۷۹) انجام داده اند و به نتیجه ای مشابه رسیدن با توجه به گفته آن ها بیشترین تلفات در شیب قائم بالا دست سرریز گابیونی به وجود می آید. در تحقیق آن ها برای شیب بالادست سازه به صورت ۱ به ۱ رابطه افت انرژی تابعی از دبی فرض شده و روابط به صورت جدول ۱ در شیب های مختلف پایین دست ارائه شد.

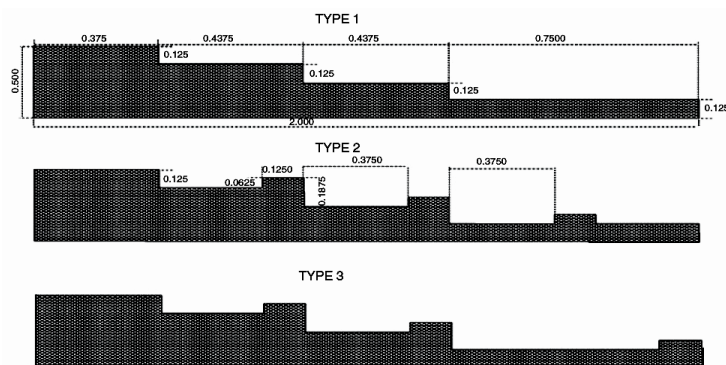
جدول ۱- رابطه افت انرژی برحسب دبی عبوری (مفتاح هلقی و بیات، ۱۳۷۵)

شیب پایین دست	معادله افت انرژی	R ²
۱:۱	Ln(ΔE)=4.424-0.0072Q	۰/۹۹۶
۱:۲	Ln(ΔE)=4.467-0.0083Q	۰/۹۹۸
۱:۳	Ln(ΔE)=4.437-0.0072Q	۰/۹۹۹
۱:۴	Ln(ΔE)=4.458-0.0079Q	۰/۹۹۹

کاظمی نسبان و شفاعی بجستان (۱۳۷۶) به بررسی میزان تلفات انرژی جریان در سرریزهای گابیونی پرداخت. آن‌ها مدل سرریزهای خود را بر مبنای سه پله و در سه شیب پایین دست مختلف ۱:۳/۵ (افقی : قائم) و شیب ۱:۳ بدون آستانه انتهایی و شیب ۱:۳/۵ با آستانه انتهایی طراحی کردن (شکل ۶). نتایج آزمایشات آن‌ها نشان داد که آستانه انتهایی باعث افزایش اتلاف انرژی جریان می‌شود و همچنین آن‌ها کار خود را با تحقیق Peyras و همکاران (۱۹۹۲) مقایسه کردن و رابطه زیر برای شیب پله پایین دست ۱:۳/۵ رسیدن.

$$\frac{1}{1 - \frac{\Delta E}{H}} = 1.736 \left(\frac{q^2}{gH^3} \right)^{-0.2795} \quad (2)$$

همچنین نتایج کار آن‌ها نشان داد پارامترهای شیب پایین دست ملایم، تعداد پله تا سه عدد و جریان ریزشی که در تحقیقات محققین قبلی به آن‌ها پرداخته شده بود باعث افزایش تلفات انرژی جریان می‌شود.



شکل ۶- سه مدل سرریز گابیونی در کارهای کاظمی نسبان و شفاعی بجستان (۱۳۷۶)

ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی تلفات انرژی جریان در سرریز گابیونی پرداختند. آن‌ها سه مدل آزمایشگاهی به صورت گابیونی ساده، گابیونی با صفحه نفوذ ناپذیر قائم و گابیونی با صفحه نفوذ ناپذیر افقی در پله های سرریز که دارای سه شیب مختلف ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳ بود مورد آزمایش قرار دادن. نتایج کار آن‌ها نشان داد در دبی‌های بالا از تلفات انرژی جریان کاسته می‌شود و همچنین استفاده از صفحات نفوذ ناپذیر قائم در بالادست باعث افزایش تلفات انرژی جریان می‌شود. در مدل شیب پایین دست ۱:۳ بیشترین تلفات را نشان می‌دهد.

عزیزی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی میزان تخلخل مصالح سنگی در افت انرژی جریان سرریزهای گابیونی پرداختند. آن‌ها مصالح سنگی خود را با چهار تخلخل ۳۰، ۳۴، ۳۸ و ۴۲ انتخاب کردن و آزمایشات خود را بر اساس این تخلخل‌ها انجام داد. نتایج کار آن‌ها نشان

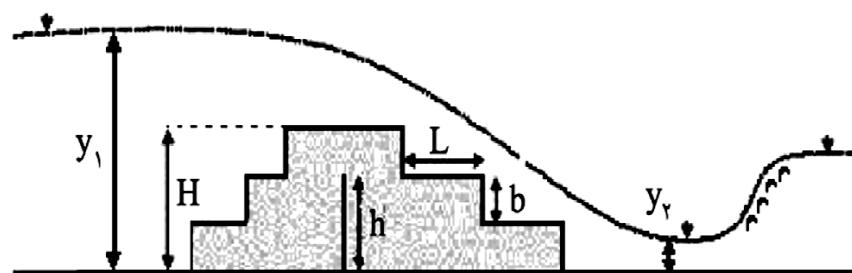
می دهد افزایش تخلخل باعث کاهش تلفات انرژی جریان در سرریزهای گابیونی می شود. همچنین آن ها با قرار دادن پارامتر تخلخل (e) در رابطه راندمان انرژی، به رابطه ای برای محاسبه افت انرژی به صورت تابعی از عدد شیب شکن، شیب پایین دست سرریز و تخلخل مصالح دست یافتن.

$$\frac{\Delta E}{E_0} = f\left(e, i, \frac{q^2}{gH^3}\right) \quad (3)$$

آن ها رابطه ۴ را برای محاسبه افت انرژی به صورت تابعی از عدد شیب شکن، شیب پایین دست سرریز و تخلخل مصالح ارائه دادند.

$$\frac{\Delta E}{E_0} \times 100 = 92.349 - 1660.45 \left(\frac{q^2}{gH^3}\right) - 2.19i^3 - 118.4e^3 + 43359.22 \left(\frac{q^2}{gH^3}\right)^2 \quad (4)$$

مفتاح هلقی و همکاران (۱۳۸۸) با به کارگیری صفحات نفوذ ناپذیر در داخل بدنه سرریز گابیونی به بررسی افت تلفات پرداختن. آن ها مدل خود را براساس نمونه قبلی خود (مفتاحی و بیات، ۱۳۷۵) به صورت پلکانی در دو جهت بالادست و پایین دست طراحی کردن. نتایج کار آن ها نشان داد افزایش ارتفاع صفحه نفوذ ناپذیر باعث افزایش میزان تلفات انرژی جریان می شود. فرم آزمایش های آن ها به صورت شکل ۷ است.



شکل ۷- مدل آزمایش های مربوط به تأثیر صفحات نفوذ ناپذیر قائم در داخل بدنه سازه (مفتاح هلقی و همکاران، ۱۳۸۸)

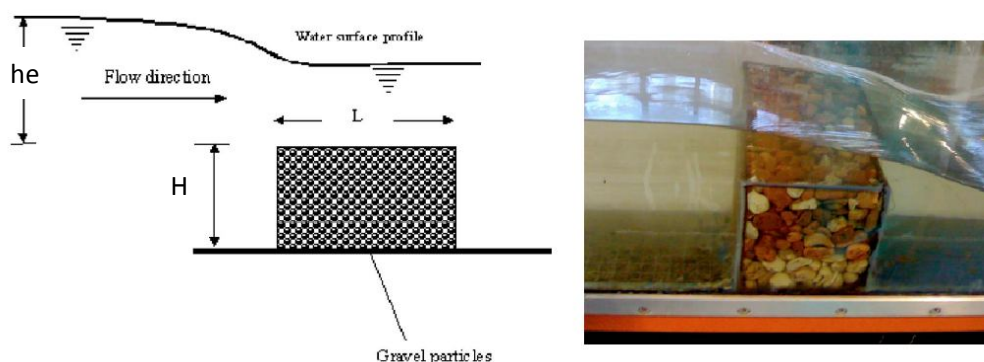
آزمایش هایی در مورد دبی جریان بر روی سرریز های گابیونی انجام داد. مدل ارائه شده به وسیله Mohamed (۲۰۰۹) به صورت یک پله درابعادی به طول ۱۵ و ارتفاع ۱۵ سانتی متر ساخته شد. هدف کار وی محاسبه پروفیل جریان آب بر روی تاج سرریز و همچنین به دست آوردن رابطه ای برای دبی جریان از روی سرریزهای گابیونی بوده است. وی به وسیله یک سرریز نفوذ ناپذیر صلب با همان ابعاد سرریز گابیونی و با تکرار آزمایش ها و مقایسه نتایج آن ها به رابطه زیر در خصوص محاسبه دبی بر روی تاج سرریز رسید.

$$Q = CB\sqrt{gh_e}^{1.5} \quad (5)$$

در این رابطه B طول سرریز، h_e عمق آب روی تاج سرریز است و ضریب C از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$C = -1.31 + 0.47 \log(R_e) - 0.84 \frac{h_e}{L} + 1.01 \frac{d_m}{H} \quad (6)$$

در این رابطه L طول تاج سرریز، H ارتفاع سرریز، Re عدد رینولدز و d_m قطر متوسط سنگ ها در داخل گابیون است. مدل آزمایشی وی در شکل ۸ ارائه شده است.



شکل ۸- مدل آزمایشگاهی برای محاسبه ضریب دبی جریان سرریز گابیونی در تحقیق محمد (۲۰۰۹)

سلماسی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیق خود به بررسی آزمایشگاهی میزان استهلاك انرژی جریان بر روی سرریزهای گابیونی پرداختند. آن‌ها آزمایشات خود را بر روی سرریزهای گابیونی سه پلکانی با ارتفاع هر پله ۱۰ سانتی‌متر که با شیب‌های ۱:۱ و ۱:۲ در سه تخلخل ۳۸، ۴۰ و ۴۲ بود انجام دادند. آن‌ها چهار حالت سرریز پلکانی گابیونی G، سرریز پلکانی گابیونی با کف افقی غیرقابل نفوذ GH، سرریز پلکانی گابیونی با دیواره عمودی غیر قابل نفوذ GV و سرریز پلکانی گابیونی با کف افقی و دیواره عمودی غیر قابل نفوذ GHV برای آزمایش به کار بردن. آزمایشات آن‌ها نشان داد که در تمام حالات با افزایش دبی جریان از میزان استهلاك انرژی جریان کاسته می‌شود و همچنین استهلاك انرژی در بین چهار حالت آزمایش تفاوت قابل ملاحظه‌ای از خود نشان نمی‌دهد. برخی از نتایج کار آن‌ها همانند پژوهش‌های قبلی است. شکل ۹ وضعیت دو مدل آزمایشگاهی در کار سلماسی و همکاران (۱۳۹۰) را نشان می‌دهد.



شکل ۹- مدل آزمایش‌های مربوط سلماسی و همکاران (۱۳۹۰) - سمت چپ (G) و سمت راست (GH)

رجائی و همکاران (۱۳۹۶-الف) در پژوهش خود به مقایسه تلفات انرژی جریان بر روی سرریزهای پلکانی گابیونی کوتاه با سرریزهای صلب پرداختن. مدل ارائه شده به‌وسیله آن‌ها به صورت پلکانی تا سه پله که ارتفاع هر پله ۲۰ سانتی‌متر و مقیاس $L_r = \frac{1}{5}$ است (شکل ۱۰). آن‌ها براساس اصول مدل‌سازی هیدرولیکی توانستن بیشترین تطابق را بین مدل خود با پروتوتیپ که نمونه اصلی در طبیعت است را به‌وجود آورند. این مدل‌سازی براساس مقیاس فقط در دو پژوهش دیگر مورد توجه قرار گرفته بوده است. در تحقیقات جدید

توجهی به این امر نشده بود. آن‌ها با مقایسه نمونه‌های گابیونی و صلب به این نتیجه رسیدن که بیشترین تلفات در گابیون دو و سه پله است. این تلفات به طور متوسط در دو پله ۱۶/۹ و در سه پله ۱۶/۳ بیشتر از مدل سرریز با بدنه صلب است. رجائی و همکاران (۱۳۹۶-ب) در تحقیق دیگری موضوع اثر رسوبات در بالادست سرریز گابیونی بر تلفات انرژی را بررسی کردند (شکل ۱۱) و نشان دادند 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 صورتی که در دبی‌های دارای جریان تلفاتی روگذر و درونگذر تلفات انرژی در مدل‌های دارای رسوبات نسبت به حالت بدون رسوب کمتر است.

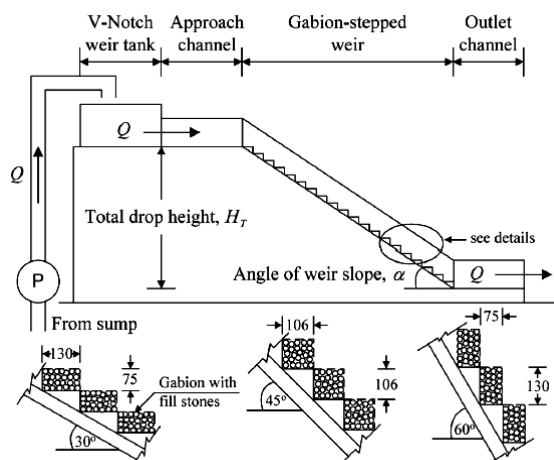


شکل ۱۱: نمونه آزمایش برروی مدل سرریز پلکانی گابیونی با رسوب- رجائی و همکاران (۱۳۹۶-ب)



شکل ۱۰- نمونه آزمایش برروی مدل سرریز پلکانی گابیونی- رجائی و همکاران (۱۳۹۶-الف)

علاوه بر سرریزهای گابیونی کوتاه در سال‌های اخیر بررسی سرریز گابیونی برروی سدهای بلند نیز مورد توجه محققین قرار گرفته است. Chinnarasri و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی آزمایشگاهی تلفات انرژی جریان در سرریزهای پلکانی گابیونی و همچنین به بررسی مولفه‌هایی نظیر تعداد پله، قطر سنگ، شیب سرریز و عدد آبشار پرداختند. مدل آزمایشگاهی آن‌ها در سه ارتفاع ۱/۵، ۲/۱۲ و ۲/۶۰ ساخته شد. سه شیب ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه برای بدنه سرریز در پایین دست در نظر گرفته شد. تعداد پله‌ها در آزمایشات آن‌ها ۲۰ پله بوده است که بر این اساس ارتفاع هر پله ۷/۵، ۱۰/۶ و ۱۲/۹ سانتی‌متر و عرض هر پله به ترتیب ۱۲/۹، ۱۰/۶ و ۷/۵ سانتی‌متر مدنظر قرار می‌گیرد. همچنین آن‌ها سرریز خود را برای یک سد مرتفع مدل کرده اند (شکل ۱۲). آن‌ها بدنه سازه آزمایشگاهی را با مصالح نفوذ ناپذیر ساختن و بر روی بدنه شیب‌دار پایین دست آن تعداد زیادی پله‌های گابیونی به صورت تکی قرار دادن. در سرریزهای گابیونی فوق به دلیل ارتفاع بلند سازه و همچنین تعداد زیاد پله‌ها امکان تشکیل جریان‌ها در فرم‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌کند. جریان معمولاً در چنین سازه‌هایی به صورت جریان ریزشی، انتقالی و رویه‌ای خواهد بود. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که در سرریزهای گابیونی تلفات انرژی ۱۰ درصد بیشتر از سرریزهای صلب بوده است.



شکل ۱۲- مدل آزمایشگاهی چیناراسری و همکاران (۲۰۰۸)

. همچنین آن‌ها رابطه ی زیر را برای آستانه تشکیل جریان رویه در سرریزهای پلکانی گابیونی ارائه کردند.

$$\frac{y_c}{h} \geq 0.61 \left(\frac{h}{l} \right)^{-0.26} \quad (7)$$

در این رابطه y_c عمق بحرانی جریان، h ارتفاع و l طول هر پله است.

Chanson و Wuthrich (۲۰۱۴) مدل آزمایشگاهی خود را با ۱۰ پله و در چهار حالت مدل کردند. مدل ارائه شده به وسیله آن‌ها شباهت زیادی به مدل Chinnarasri و همکاران (۲۰۰۸) دارد. چهار حالت آن‌ها شامل بدنه صلب غیر گابیونی، سرریز پلکانی گابیونی با قرار دادن یک باکس گابیونی روی هر پله در مرحله قبل، پوشش نفوذ ناپذیر در سطح پله در نه پله ی پایین دست و قراردادن پوشش نفوذناپذیر بر روی سطح تمام ۱۰ پله است. نتایج نشان داد بیشترین میزان تلفات مربوط به قراردادن پوشش نفوذناپذیر بر روی تمام ۱۰ پله است. شکل ۱۳ و ۱۴ نمونه‌ای از آزمایش‌های آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴- مدل سرریز پلکانی با یک ردیف جعبه گابیون
 (وودریج و چانسون، ۲۰۱۴)



شکل ۱۳- مدل سرریز پلکانی صلب (غیر گابیونی)
 (وودریج و چانسون، ۲۰۱۴)

ارزیابی تحقیقات گذشته

تفاوت سرریز سدهای بلند و بندهای گابیونی کوتاه

اولین نکته که در بررسی مباحث بخش قبل مشخص می‌شود این است که در مطالعات مربوط به سرریزهای گابیونی به تفاوت این گونه از سازه‌ها در بندهای کوتاه با سازه سرریز سدهای بزرگ یا تنداب‌ها اشاره‌ای نشده است. سرریزهای پلکانی گابیونی کوتاه به صورت مستقل به عنوان سازه‌ی اصلی در اجرای برخی بندهای انحرافی، سازه‌های اصلاحی در مهندسی رودخانه و سازه‌های حفاظتی در کارهای آبخیزداری و آب و خاک به کار می‌رود. اصلی‌ترین تفاوت در این است که در سدهای مرتفع سرریز پلکانی به عنوان بخش مکمل سازه‌ی اصلی بوده و درواقع پلکان، تغییر در بستر تنداب یا شوت سرریز اصلی سداست (شکل ۱ ب). در این شرایط معمولاً تعداد پله‌ها زیاد بوده و شیب پایین دست سرریز تابع شیب بدنه‌ی سد یا تنداب است. درواقع معیار اصلی طراحی بر اساس پایداری بدنه‌ی سد بوده که خود منجر به تعیین ارتفاع، تعیین شیب بدنه و سایر پارامترها خواهد شد. در صورتی که در سازه‌های گابیونی کوتاه، تمام بدنه‌ی سازه به صورت پلکان طراحی می‌شود و ارتفاع پله‌ها و شیب پایین دست پلکان مؤثر در تعادل سازه و معیار طراحی است. در این سازه‌ها معمولاً تعداد پله کم است. در کارهای اجرایی مرسوم است که این نوع سازه‌ها را با توجه به تعداد پله‌ی ۱، ۲ یا ۳ پله به اسامی گابیون G1، G2 و G3 می‌نامند. شکل‌های ۱۵ تا ۱۷ نمونه‌ای از این سازه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶- بند گابیونی با سرریز پلکانی نوع G2



شکل ۱۵- بند گابیونی با سرریز پلکانی نوع G1



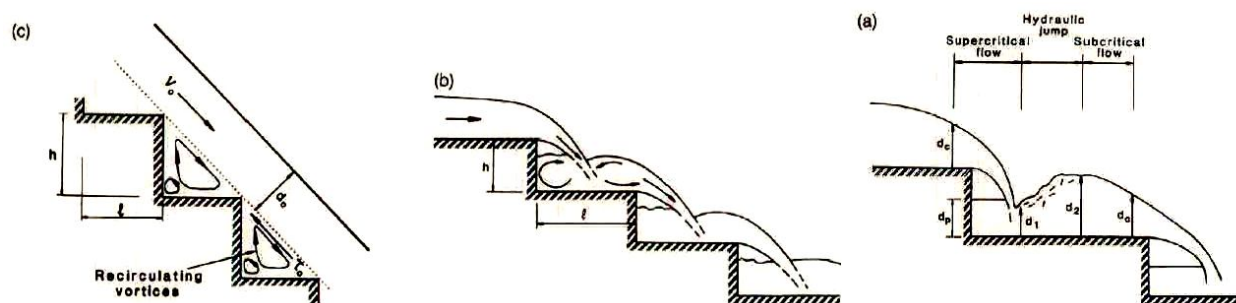
شکل ۱۷- بند گابیونی با سرریز پلکانی نوع G3

مدل‌های آزمایشگاهی که در کارهای محققین گذشته دیده می‌شود بعضاً این تفاوت در مدل‌سازی را دارد. مدل‌های آزمایشگاهی برخی محققین همچون Peyras و همکاران (۱۹۹۲) Kells (۱۹۹۳)، کاظمی نسبان و شفاعةجستان (۱۳۷۶)، ابراهیمی و همکاران

(۱۳۸۴)، عزیزی و همکاران (۱۳۸۷)، مفتاح هلقی و همکاران (۱۳۸۸)، سلماسی و همکاران (۱۳۹۰) مشابه سرریزهای بندهای گابیونی کوتاه است. مدل آزمایشگاهی Chinnarasri و همکاران (۲۰۰۸) و Wuthrich و Chanson (۲۰۱۴) شبیه سرریز سدهای بلند و تندابها است. این تفاوت در تحلیل نتایج آنها نیز مشهود است. به عنوان مثال سلماسی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت نتایج کارهای خود را با کارهای Peyras و همکاران (۱۹۹۲) و Kells (۱۹۹۳) و عدم تطابق آن با نتایج کارهای Chinnarasri و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند. همچنین Wuthrich و Chanson (۲۰۱۴) اختلاف بین نتایج کارهای خودشان با کارهای Peyras و همکاران (۱۹۹۲) را بیان کرده اند.

رژیم جریان در سرریز سازه های گابیونی

رژیم جریان بر روی سرریزهای پلکانی بسته به شدت جریان به سه حالت Nappe Flow، Transition Flow و Skimming می باشد. Chanson (۲۰۰۲) در یک سرریز پلکانی تغییر رژیم جریان در سه حالت فوق به ترتیب با افزایش دبی عبوری از روی سرریز مشاهده می شود. شکل ۱۸ وضعیت جریان در این سه حالت را نشان می دهد.



شکل ۱۸: انواع رژیم جریان بر روی سرریز پلکانی. (a) Nappe Flow، (b) Transition Flow، (c) Skimming Flow (Chanson, 2002)

در سدهای بلند معمولاً طول شوت و تعداد پله ها به نحوی است که استقرار کامل رژیم جریان محقق می شود. ولی در سرریزهای کوتاه با تعداد کم پلکان امکان استقرار کامل رژیم جریان همواره محقق نمی شود. می توان گفت تعداد کم پله ها در بندهای کوتاه بعضاً شرایط کافی برای ایجاد رژیم های مختلف عبوری از روی سرریزهای پلکانی شامل رژیم ریزشی، انتقالی و رویه ای را فراهم نمی کند. این شرایط برای رژیم جریان رویه ای بسیار مشهود است چرا که برای ایجاد این رژیم جریان، لازم است لایه ی مرزی تشکیل شده در ابتدای سرریز با توسعه ی قشر حد تا سطح جریان ادامه یابد. این شرایط با تعداد کم پله ها معمولاً محقق نمی شود و عملاً رژیم جریان علی رغم داشتن پتانسیل تبدیل، به رژیم رویه ای نخواهد رسید. البته گزارش جریان رویه ای در برخی مقالات به دلیل دبی بسیار بالای کانال است که چنانچه بر اساس معیارهای مدل سازی هیدرولیکی به نمونه اصلی (پروتوتیپ) تعمیم داده شود دبی های بسیار بزرگی را شامل خواهد شد. به عنوان مثال با تعمیم دبی در واحد عرض جریان در مدل (Peyras و همکاران، ۱۹۹۲) به نمونه اصلی به عدد $2/8$ مترمکعب بر ثانیه در متر منتهی می شود که این عدد در بسیاری از آبراهه هایی که در آن سازه گابیونی در عرض رودخانه ساخته می شود، بیش از دبی غالب رودخانه است.

مقیاس مدل سازی هیدرولیکی

نکته ی دیگر در خصوص پژوهش های گذشته این است که در اغلب تحقیقات به موضوع مقیاس مدل سازی توجه نشده است. با توجه به عدم انتخاب مقیاس مدل در تشابه هندسی بین مدل و نمونه اصلی، عدم تناسب ابعاد سنگ ها در مدل و سازه ی وجود دارد. با توجه به نوع سازه های گابیونی، قطر سنگ ها معمولاً بین ۲۰ تا ۴۰ سانتی متر است و نوع سنگ ها معمولاً از سنگ های شکسته ی کوهی

است. در صورتی که در عمده‌ی مدل‌های بررسی‌شده، نوع سنگ از سنگ‌های گرد گوشه رودخانه‌ای بوده و ابعاد نیز کوچک انتخاب‌شده که تناسب هندسی کافی با نمونه اصلی ندارد. برخی از دانه‌بندی مصالح در تحقیقات سفای بجستان، سلماسی، ابراهیمی، چیناراسری دارای چنین وضعیتی است. عدم رعایت تناسب ابعاد سنگ‌ها و کوچک بودن آنها باعث می‌شود رژیم جریان درون‌گذر در بدنه‌ی سرریز به سمت فرم جریان عبوری در محیط‌های متخلخل پیش برود. وقتی ابعاد سنگ‌ها کوچک می‌شود قطر حفرات بین آنها نیز کم می‌شود. در این وضعیت در شرایطی که رژیم جریان درون‌گذر در نمونه اصلی از نوع جریان متلاطم بوده و اثر لزجت سیال قابل اغماض است، در مدل جریان حفره‌ای به سمت جریان لایه‌ای پیش رفته و در این حالت اثر لزجت مؤثر خواهد بود. در همین خصوص تیزگوشه بودن یا گردگوشه بودن سنگ‌ها در مدل هم قابل‌بحث خواهد بود. بیشتر گابیون‌های اجرایی از سنگ‌های تیزگوشه ساخته می‌شود.

عدم تفکیک جریان درون‌گذر و روگذر در سازه گابیونی

یکی از مهمترین تفاوت‌های موجود در جریان عبوری از سازه‌های گابیونی با سازه‌های صلب، وجود جریان درون‌گذر از داخل بدنه متخلخل سازه است. این بخش از جریان خصوصاً در سال‌های اولیه احداث سازه‌های گابیونی که رسوبات کمتری در داخل بدنه سازه تجمع یافته است نقش مهمی در شرایط هیدرولیکی جریان در سازه گابیونی دارد. در تحقیقات گذشته صرفاً در مقاله کیلز و تحقیقات رجائی و همکاران به این موضوع بصورت جداگانه پرداخته شده و نتایج آزمایش‌ها در بخش جریان درون‌گذر بصورت مجزا بحث شده است. در سایر تحقیقات آزمایش‌های خاص این بخش از جریان انجام نشده است.

کاربردی بودن مدل‌های آزمایشگاهی

فرم مدل‌های آزمایشگاهی از نظر کاربردی نیز قابل بحث است. برخی آزمایش‌ها ممکن است از بعد آکادمیک و صرفاً تغییر شرایط جریان قابل توجه باشد ولی از نظر کاربردی و اجرایی محل بحث است. در چند طرح پژوهشی مدلی از سرریز گابیونی با صفحات نفوذناپذیر قائم (شکل ۷) و آستانه انتهایی در هر پله (تیپ ۲ و ۳ شکل ۶) ساخته شده است. این مدل‌ها با توجه به شرایط اجرایی موجود در کشور و همچنین تجربه‌ی طراحان و پیمانکاران تاکنون در هیچ پروژه‌ی اجرایی توصیه یا اجرا نشده است. با توجه به ابعاد گابیون‌های موجود و جعبه‌های فلزی گابیونی در بازار عملاً قابل‌اجرا نیست. موضوعات مختلفی که در خصوص این نوع سازه مناسب است به صورت پروژه تحقیقاتی بررسی شود می‌تواند شامل مقایسه سازه‌های شیب‌دار با سازه پلکانی، اثر تعداد پله تا پنج مورد، اثر تخلخل مصالح سنگی و اثر فرم تیزگوشه یا گردگوشه بودن سنگ‌ها بر میزان تلفات انرژی باشد.

نتیجه گیری

همان‌طور که در بخش‌های قبل بیان شد موضوع تلفات انرژی در انواع سازه‌های گابیونی به دلیل گستردگی کاربرد آن خصوصاً در طرح‌های آبخیزداری و مهندسی رودخانه، از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که در طراحی سازه و ابعاد اجرایی آن مؤثر است. بررسی تحقیقات گذشته در این خصوص نشان می‌دهد تلفات انرژی در نوع سازه‌های گابیونی ۱۵ تا ۲۰ درصد بیشتر از سازه‌های صلب است. برخی نکات در خصوص تحقیقات مربوط به این نوع سازه باید مد نظر قرار گیرد که عبارتند از: تفاوت نوع سرریزهای گابیونی در سازه‌های بلند و کوتاه، نوع رژیم جریان عبوری از روی سازه‌های گابیونی، معیار صحیح انتخاب مقیاس مدل و رعایت تشابه در ابعاد و مصالح سازه گابیونی، توجه به جریان درون‌گذر در سازه‌های گابیونی، ساخت مدل‌های کاربردی متناسب با نمونه پروتوتیپ در طرح‌های اجرایی. به هر حال باتوجه به راندمان تلفات انرژی در سرریزهای گابیونی که دست‌کم ۱۵ تا ۲۰ درصد بیشتر از سازه‌های با بدنه صلب گزارش شده است، استفاده از این نوع سازه از نظر هیدرولیکی و تلفات انرژی توصیه می‌شود. همچنین باید افزود فرم پلکانی سرریزها صرفاً از جهت شکل سرریز خود میزان تلفات انرژی بالایی را ایجاد می‌کند. بر اساس بررسی منابع موجود در دب‌ی غالب رودخانه‌هایی که این فرم از سرریزها (بند‌های گابیونی پلکانی) به‌عنوان سازه حفاظتی و آبخیزداری به‌کار می‌رود، رژیم جریان عبوری به فرم ریزشی بوده و تلفات انرژی بین ۶۰ تا ۸۵

درصد ایجاد می‌شود. این امر باعث می‌شود سازه‌های مکمل حفاظتی نظیر حوضچه‌های آرامش و ریپرپ پایین‌دست سازه از نظر اجرایی کم هزینه‌تر و ساده‌تر طراحی و اجرا شود.

منابع

- ابراهیمی، ن، ق، کاشفی‌پور، م، ابراهیمی، ک، ۱۳۸۴، بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان بر روی مدل سرریز توری سنگی پلکانی. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، خرداد ماه، دانشکده مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- رجائی، س، ح، خداشناس، س، ر، اسماعیلی، ک، ۱۳۹۶-الف. بررسی آزمایشگاهی افت انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی کوتاه و مقایسه آن با سرریزهای صلب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۲، جلد ۱۱، خرداد - تیر ۱۳۹۶، ص ۱۸۱-۱۹۱
- رجائی، س، ح، خداشناس، س، ر، اسماعیلی، ک، ۱۳۹۶-ب. تحلیل آزمایشگاهی تلفات انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی در شرایط بدون رسوب و با رسوبگذاری در بالادست سازه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۵، جلد ۱۱، دی ۱۳۹۶، ص ۹۰۰-۹۱۰
- سلماسی، ف، فرسادی‌زاده، د، محیط، ح، ۱۳۹۰، بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی جریان از روی سرریز گابیونی پله‌ای. نشریه دانش آب و خاک. ۴. ۲۱. عزیز، ا، مفتاح‌هلقی، م، تبار احمدی، ض، گلماهی، ح، ۱۳۸۷، بررسی تاثیر تخلخل مصالح مورد استفاده بر افت انرژی جریان در سرریزهای پلکانی گابیونی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان. ۱۵: ۱. ۱۵۸-۱۵۰.
- مفتاح‌هلقی، م، عزیز، ا، دهقانی، ا، الحسینی، ن، ۱۳۸۸، استهلاک انرژی جریان در سرریزهای پلکانی توری سنگی با به‌کارگیری صفحات نفوذناپذیر. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان. ۱۶: ۲. ۲۴۱-۲۳۴.
- کاظمی‌نسبان، غ، شفاعی بجستان، م، ۱۳۷۶، بررسی آزمایشگاهی میزان استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی. اولین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران. تهران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی. ص ۷۸-۹۶.
- Chinnarasri, C., Donjadee, S., Israngkura, U. 2008. Hydraulic characteristics of gabion-stepped weirs. Journal of Hydraulic Engineering. 134.8: 1147-1152
- Kells, J. A. (1993). Spatially varied flow over rockfill embankments. Canadian Journal of Civil Engineering, 20(5), 820-827.
- Mohamed, H. I. (2009). Flow over gabion weirs. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 136(8), 573-577
- 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., Mahesh, P. 2012. Application of data mining on evaluation of energy dissipation over low gabion-stepped weir. Turk J Agric For 36. 95-106. TÜBİTAK
- Salmasi, F., Chamani, M. R., Farsadizade, D. 2012. Experimental study of energy dissipation over stepped gabion spillways with low heights. IJST, Transactions of Civil Engineering. 36. 2: 253-264 Printed in The Islamic Republic of Iran, Shiraz University
- Stephenson, D. 1979. Gabion Energy Dissipators. Proc 13th ICOLD Congress, 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.