

تعیین ضریب دبی در سرریزهای گابیونی در حالت آزاد و مستغرق

فرزین سلماسی*¹، اکرم عباسپور²، حجت احمدی³

تاریخ دریافت: 93/10/19 تاریخ پذیرش: 94/10/19

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

²- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

³- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Salmasi@tabrizu.ac.ir

چکیده

سرریزها سازه‌های هیدرولیکی هستند که به منظور تنظیم، کنترل و انحراف آب در مسیر جریان احداث می‌شوند. سازه‌های گابیونی به دلیل سهولت اجرا، نفوذپذیر بودن، دسترسی آسان و اقتصادی بودن به صورت گسترده در طرح‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سازه‌های متخلخل گابیونی از حیث مصالح و عملکرد با طبیعت اطراف سازگاری دارند و بنابراین از دیدگاه اکولوژیک نیز ارزشمند می‌باشند. در این تحقیق برای بررسی ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه‌پهن مستطیلی، اقدام به ساخت هشت مدل فیزیکی از سرریز گابیونی و دو مدل سرریز صلب گردید. نتایج حاصل از سرریز گابیونی با نتایج به دست آمده از سرریز صلب با همان ابعاد مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص شد که ضریب دبی جریان در سرریز گابیونی بزرگ‌تر از سرریز صلب است. همچنین معادلات رگرسیون چندمتغیره بر اساس نظریه تحلیل ابعادی برای محاسبه دبی عبوری بر روی سرریز گابیونی برای دو حالت آزاد و مستغرق به دست آمد. مشاهده شد که ضریب دبی جریان سرریز گابیونی در حالت جریان آزاد حدود 16/7 درصد نسبت به حالت مستغرق بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: استغراق، تخلخل، سرریز، ضریب دبی، گابیون

Determination of Discharge Coefficient in Gabion Weirs at Free and Submerged Condition

F Salmasi^{1*}, A Abbaspour², H Ahmadi³

Received: 9 January 2015 Accepted: 9 January 2016

¹- Assoc. Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

²- Assis. Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

³- M.Sc. Graduate of Water Structures, Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

* Corresponding Author, Email: Salmasi@tabrizu.ac.ir

Abstract

Weirs are hydraulic structures that are built for regulating, controlling and diverting water in the flow direction. Gabion structures are used extensively in water projects due to the ease of construction, permeability, accessibility and economic efficiency. Porous gabion structures are adaptable to the environment due to their material and performance and also are valuable from ecologic view point. In this study, 8 physical models of gabion weirs and 2 models of solid weirs were built for determining discharge coefficient in gabion rectangular broad crested weirs. Comparisons between gabion weirs with solid weirs were done and they showed that the discharge coefficient in gabion weirs was greater than that in solid weirs. In addition, the regression relations based on the dimensional analysis for the flow through gabion weirs were obtained for both the free and submerged conditions. Results showed that the discharge coefficient of gabion weirs in free condition was 16.7 % greater than that of the submerged condition.

Keywords: Discharge coefficient, Gabion, Porosity, Submergence, Weir

مقدمه

می‌توان به کنترل فرسایش رودخانه‌ها توسط سازه‌های متخلخل اشاره نمود.

از دیگر مزایای این سازه می‌توان به انعطاف‌پذیری در برابر نیروهای خمشی و کششی، دوام، نفوذپذیری و مقرون‌به‌صرفه بودن آن اشاره نمود. زیرا مصالح سنگی معمولاً در منطقه به‌طور طبیعی وجود داشته و تنها جمع‌آوری آن‌ها و قرار دادن درون توری کفایت می‌کند. در گذشته در کانال‌ها از سرریزهای نفوذناپذیر بتنی جهت تنظیم و اندازه‌گیری دبی جریان استفاده می‌شد. اما امروزه از سازه‌های جایگزین ساخته‌شده از سنگ و درون تور مانند

سرریزها سازه‌هایی هستند که به‌منظور تنظیم، کنترل و انحراف آب در مسیر جریان (و معمولاً عمود بر جریان) احداث می‌شوند. سرریزها معمولاً از مصالح نفوذناپذیر مثل بتن ساخته می‌شوند که فقط توانایی عبور جریان از روی تاج خود را دارا می‌باشند. اما امروزه توجه به سرریزهای متخلخلی که جریان را از درون نیز عبور می‌دهند، بیشتر گردیده است. این نوع سرریزهای متخلخل به‌نام سرریز گابیونی یا توری-سنگی نیز خوانده می‌شوند. سرریز گابیونی دارای مزایایی نسبت به سرریز صلب هست که از میان آن‌ها

نسبت جریان از داخل خلل و فرج به جریان از روی سرریز در حدود 0/25 تا 0/5 بوده است.

میچیوکو و همکاران (2005) هیدرودینامیک سرریز گابیونی را از دیدگاه نظری و تجربی آزمایش کردند. آن‌ها با انجام تجزیه و تحلیل یک‌بعدی روی جریان ماندگار غیریکنواخت از میان سرریز، نشان دادند که وقتی عدد رینولدز بزرگ‌تر از 5000 شود، تأثیرپذیری دبی از مقیاس از بین می‌رود و جریان لایه-ای تأثیر کمی بر سرعت جریان دارد.

در تحقیق دیگری میچیوکو و همکاران (2007) جریان در اطراف سرریز گابیونی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند که جرم و مومنتم بین جریان اصلی و سرریز متخلخل در اطراف گوشه‌های بالادست و پایین‌دست سرریز آنجا که خطوط جریان به هم نزدیک می‌شوند، مبادله می‌شود.

لئو و همکاران (2008) در زمینه جریان متلاطم در نزدیکی سازه‌های نصب‌شده در انتهای کانال روباز مستطیلی مطالعاتی انجام دادند. سه مدل سازه در این مطالعه استفاده کردند که دارای تخلخل‌های صفر، 34/9 و 47/5 درصد بودند. آن‌ها نشان دادند که برای سازه‌های متخلخل منطقه گردش که در جهت پایین‌دست کشیده شده است ناشی از تراوش جریان از میان سنگریزه‌های سازه هست. ضمناً در سازه‌ای با تخلخل 47/5 درصد بیشترین کاهش سرعت در حدود 45% در مقایسه با سازه صلب هست.

محمد (2010) جریان بر روی سرریز گابیونی را مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفت که جریان بر روی سرریز گابیونی با جریان بر روی سرریز صلب متفاوت بوده و شامل دو قسمت هست. یک بخش از جریان از روی سرریز و دیگری از میان خلل و فرج سرریز گابیونی صورت می‌گیرد. برای یک دبی مشخص بار آب روی سرریز گابیونی کمتر از سرریز صلب هست، و بار آب با افزایش تخلخل سرریز گابیونی کاهش پیدا می‌کند. استفاده از معادلات سرریز صلب

سرریز گابیونی استفاده می‌شود، که این نوع سرریز از نظر طبیعی و سازگاری با محیط‌زیست نسبت به سرریزهای بتنی ترجیح داده می‌شود (چانسون 2006). از نظر کیفیت آب، مواد فیزیکی و شیمیایی مانند رسوبات و مواد آلی معلق می‌تواند از طریق بدنه نفوذپذیر به پایین‌دست منتقل شود. این امر در نهایت باعث به کمینه رسیدن رسوب و انباشت آن در پشت سرریز می‌شود. همچنین بین سنگ‌ها باکتری‌های ساکن بر روی دانه‌ها ممکن است مواد آلی را تجزیه کنند. این واکنش‌های بیوشیمیایی منجر به تصفیه آب رودخانه یا کانال، حین حرکت آب از درون خلل و فرج موجود در سرریز گابیونی می‌شود (محمد 2010). البته واضح است که گرفتگی سازه گابیونی توسط رسوبات بستگی به تخلخل و دانه‌بندی رسوبات دارد و تاکنون گزارشی در خصوص مشکل آن منتشر نشده است و خود می‌تواند موضوع تحقیق دیگری قرار گیرد.

بنابراین سرریز گابیونی سازه‌ای با کمترین تأثیر منفی بر روی محیط‌زیست، سازگار با آن هست. همچنین انتظار می‌رود که تلاطم ایجادشده در خلل و فرج سرریز گابیونی، باعث افزایش هوادهی شود که سبب تجزیه هوازی مواد آلی می‌گردد.

مشخصات جریان بر روی سرریز لبه‌پهن مستطیلی مورد توجه تعداد زیادی از محققان قرار گرفته است. به‌عنوان مثال می‌توان به تحقیقات هاگر و اسپوالت (1994)، گاگوس و همکاران (2006) سارکر و رودز (2004) و سلماسی و همکاران (2011) اشاره نمود که همگی در مورد سرریز صلب (نفوذناپذیر) بوده‌اند. در مورد سرریز گابیونی می‌توان به تحقیق سلماسی و همکاران (2012) اشاره نمود که متمرکز بر استهلاك انرژی در سرریزهای پله‌ای بوده است.

کلز (1993) روشی را برای تعیین شرایط جریان سرریز سنگریزه‌ای مستطیل شکل برای هر دو جریان روگذر و میان‌گذر ارائه داد. مطابق تحقیقات کلز (1994)

شیب فلوم ثابت و برابر است با 0/002 هست. این فلوم در بالادست مجهز به آرامکننده جریان ورودی و در پایین دست مجهز به یک دریچه با قابلیت کنترل عمق پایاب هست. بیشینه دبی جریان عبوری در فلوم 50 لیتر بر ثانیه بوده و دبی جریان در این محدوده با دقت خوبی توسط شیر فلکه ابتدای فلوم تنظیم می شود. قابل ذکر است که بر روی دیواره های فلوم جهت سهولت در حرکت تجهیزات مربوط به اندازه گیری ها، دو ردیف ریل تعبیه شده است. آب فلوم به وسیله یک پمپ به قدرت 100 اسب بخار به فلوم پمپاژ می شود. پروفیل سطح آب با نقطه سنج مجهز به ورنیه با دقت 0/1 میلی-متر اندازه گیری می گردید.

تحقیق حاضر از 10 مدل فیزیکی تشکیل می گردد که 8 مورد از آنها سرریز گابیونی و 2 مورد بعدی سرریز صلب هست. هشت مدل سرریز گابیونی با دو ارتفاع و طول مختلف ساخته شد که 4 مدل اول دارای ارتفاع و طول 15 سانتی متر و 4 مدل دیگر دارای ارتفاع و طول 30 سانتی متر هست و دو مدل سرریز صلب نیز شبیه سرریز گابیونی است.

سرریز گابیونی با میله های فولادی بافته شده و یک صفحه شبکه بندی شده با دهانه و روزنه های کوچک تر از مواد و مصالحی که از آن پر می شود، ساخته می شود تا بتواند مصالح و سنگریزه ها را در سبد گابیونی نگه دارد. در شکل 1 مقطع عرضی سرریز لبه پهن گابیونی ارائه گردیده است.

در شکل های 2 و 3 تصویر سرریز صلب و گابیونی مورد استفاده در آزمایش ها دیده می شود.

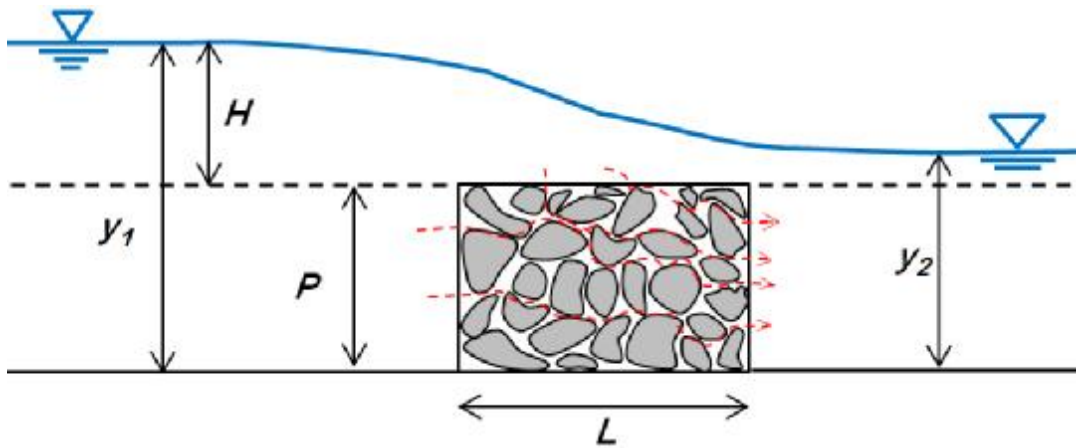
برای محاسبه دبی سرریز گابیونی باعث ایجاد خطا در محاسبه دبی می شود.

سلماسی و همکاران (2012) آزمایش هایی روی سرریز گابیونی از نوع پلکانی انجام دادند. برای بررسی نفوذپذیری پله ها در افت انرژی، وجه افقی و عمودی پله ها توسط ورق آهنی نفوذناپذیر گردید. نتایج نشان دادند که در دبی های بالا که رژیم جریان غیر ریزشی یا شبه صاف اتفاق می افتد، استهلاک انرژی در سرریز گابیونی بیشتر است. استهلاک انرژی در سرریز دارای پله های نفوذناپذیر (دارای ورق آهنی در پله های افقی و عمودی) در دبی های کم بیشتر از سایرین است و در مرحله بعد به ترتیب سرریز گابیونی، سرریز با دیواره عمودی غیرقابل نفوذ و سپس سرریز با کف افقی غیرقابل نفوذ قرار دارند. افزایش تخلخل از 38 تا 42 درصد موجب افزایش استهلاک انرژی گردید. همچنین با کاهش شیب از 1:1 به 1:2 بر میزان استهلاک انرژی افزوده شد.

هدف از این تحقیق انجام آزمایش هایی روی مدل های مختلف فیزیکی از سرریز گابیونی است تا تأثیر عوامل مختلف مانند عمق آب، تخلخل، قطر سنگ و ابعاد هندسی سازه بر روی ضریب دبی جریان در حالت جریان آزاد و مستغرق تعیین گردد. برای این منظور 8 مدل فیزیکی سرریز گابیونی و 2 مدل فیزیکی سرریز صلب ساخته شد.

مواد و روش ها

آزمایش ها در یک فلوم آزمایشگاهی به طول 10 متر، عرض 25 سانتی متر و ارتفاع 50 سانتی متر از جنس فلز با دیواره های شیشه ای و در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام گرفت. این فلوم بر روی یک شاسی به ارتفاع 110 سانتی متر از سطح زمین قرار گرفته است.



شکل 1- نمایی از مدل فیزیکی استفاده شده در آزمایش و پارامترهای آن.



شکل 2- سرریز لبه پهن صلب استفاده شده در این تحقیق.



شکل 3 - سرریز گابیونی استفاده شده در این تحقیق.

$$Q = CB\sqrt{gH}^{1.5} \quad [2]$$

که در رابطه 2 مقدار C ضریب دبی خوانده می-شود.

تحلیل ابعادی

رابطه تابع دبی را می توان به صورت زیر بیان نمود:

$$Q = f_1 \left(\frac{Q}{BH^{1.5}\sqrt{g}}, \frac{y_1}{H}, \frac{y_2}{H}, \frac{B}{H}, \frac{H}{L}, \frac{P}{L}, \frac{d_m}{H}, n, g, r, \frac{\rho}{\mu} \right) \quad [3]$$

که در آن y_1 و y_2 به ترتیب عمق آب بالادست و عمق آب پایین دست سرریز گابیونی هست. B عرض کانال؛ H هد آب روی سرریز؛ P ارتفاع سرریز؛ L طول سرریز، d_m قطر متوسط شن به کاررفته در سرریز گابیونی (تعیین شده توسط الک)؛ n تخلخل مصالح سنگی، ρ دانسیته سیال؛ g شتاب گرانش زمین و μ ویسکوزیته دینامیکی سیال می باشند. با استفاده از قضیه π باکینگهام رابطه 3 به صورت بی بعد زیر تبدیل می شود:

$$\frac{Q}{BH^{1.5}\sqrt{g}} = f_2 \left(\frac{y_1}{H}, \frac{y_2}{H}, \frac{B}{H}, \frac{H}{L}, \frac{P}{L}, \frac{d_m}{H}, n, \frac{\rho}{\mu} \right) \quad [4]$$

عبارت سمت چپ معادله 4 به نام ضریب دبی خوانده می شود. همچنین $R_c = Q\rho/\mu B$ و $S_r = (y_1 - y_2)/H$ به ترتیب عدد رینولدز و نسبت استغراق می باشند. نسبت استغراق مربوط به شرایطی است که در آن عمق آب پایاب به بالاتر از تاج سرریز می رسد. تحقیقات قبلی حاکی از آن است که با وقوع استغراق، از ضریب دبی کاسته شده و معمولاً سرریزها برای حالت جریان آزاد طراحی و کالیبره می گردند. در این تحقیق روابط مختلف برای هر دو شرایط آزاد و مستغرق در سرریز گابیونی

سرریز لبه پهن مستطیلی صلب از ورق گالوانیزه با ضخامت 3 میلی متر ساخته شده و سرریز گابیونی از شن طبیعی با چهار قطر مختلف که این مواد درون سبد ساخته شده از فلز و توری قرار می گیرند. برای تعیین اندازه متوسط ذرات سنگی از آزمایش دانه بندی و الک های استاندارد استفاده گردید. به این ترتیب اندازه متوسط دانه های سنگی 3، 1/55، 1 و 0/5 سانتی متر و به حجم مورد نیاز از توده شن جدا گردیدند. آزمایش برای دامنه های مختلفی از ارتفاع سرریز P، طول سرریز L، اعداد رینولدز، و اعداد فرود انجام شد.

آزمایش هایی که در فلوم 10 متری مورد آزمایش قرار گرفت در جدول 1 آمده است.

برای تعیین درصد تخلخل بدین صورت عمل شد که حجم سازه توری سنگی به سادگی با توجه به ابعاد آن حاصل می شود. از طرفی میزان تخلخل از رابطه $e = V_{Void} / V_{Total}$ به دست می آید. که در آن V_{Void} حجم خلل و فرج بر حسب سانتی متر مکعب و V_{Total} حجم کل واحد توری سنگی هست. برای تعیین حجم خلل و فرج، توری سنگی را در ظرف حاوی مقدار مشخص آب قرار می دهیم. این ظرف به نحوی است که لبریز از آب هست و با قرار دادن توری سنگی در ظرف، مقداری از آب سرریز می شود. می توان با اندازه گیری مقدار کاهش حجم آب در ظرف، حجم توده سنگ موجود در توری سنگی را تعیین نمود. با معلوم بودن حجم توری سنگی و تعیین اختلاف بین دو حجم اندازه گیری شده، می توان حجم خلل و فرج را تعیین کرد.

چندین رابطه برای محاسبه دبی جریان در سرریز لبه پهن مستطیلی وجود دارد. رابطه 1 در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

$$Q = (2/3)C_d B \sqrt{2gH}^{1.5} \quad [1]$$

رابطه 1 را می توان به صورت رابطه 2 نیز نوشت:

بیشتر، ضریب دبی نیز تقریباً از یک مقدار ثابتی برخوردار باشد. با افزایش دبی و یا افزایش H/L ، روند داده‌های آزمایشی حاکی از همگرا شدن روند تغییرات داده‌ها در دو سرریز گابیونی و صلب است و لذا می‌توان گفت که افزایش دبی موجب ثابت گردیدن تقریبی ضریب دبی می‌گردد.

از تحلیل رگرسیون چندگانه می‌توان با مرتبط کردن پارامترهای بی‌بعد موجود در رابطه 5 برای به‌دست آوردن یک فرمول تجربی برای محاسبه ضریب دبی سرریز گابیونی در شرایط جریان آزاد استفاده نمود. رابطه توسعه‌یافته ضریب دبی جریان آزاد با استفاده از رگرسیون چندگانه خطی به‌صورت زیر به دست آمد:

$$C = 0.121 - 0.119 \frac{\frac{\partial H}{\partial L} \frac{\partial \phi}{\partial \phi}}{\frac{\partial H}{\partial L} \frac{\partial \phi}{\partial \phi}} + 1.521(n) - 0.096 \frac{\frac{\partial \phi}{\partial P} \frac{\partial \phi}{\partial \phi}}{\frac{\partial \phi}{\partial P} \frac{\partial \phi}{\partial \phi}}, R^2 = 0.745 \quad [7]$$

لازم به توضیح است رابطه 7 مربوط به جریان آزاد است که در آن عمق آب پایاب (y_2) کوچک‌تر از ارتفاع سرریز (P) بوده و لذا از نسبت استغراق (S_r) استفاده نگردیده است. در شکل 7 ضریب دبی محاسبه‌شده با استفاده از رابطه 7 در مقابل ضریب دبی مشاهده‌شده در شرایط جریان آزاد را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است، هماهنگی خوبی بین ضریب دبی محاسبه‌شده با ضریب دبی مشاهده‌شده وجود دارد.

فرمول به‌دست‌آمده ضریب دبی با استفاده از رگرسیون چند متغیره غیرخطی به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$C = 1.316 \frac{\frac{\partial H}{\partial L} \frac{\partial \phi}{\partial \phi}}{\frac{\partial H}{\partial L} \frac{\partial \phi}{\partial \phi}}^{-0.139} * (n)^{0.969} * \frac{\frac{\partial \phi}{\partial P} \frac{\partial \phi}{\partial \phi}}{\frac{\partial \phi}{\partial P} \frac{\partial \phi}{\partial \phi}}^{-0.046}, R^2 = 0.728 \quad [8]$$

به‌دست آورده می‌شود. رابطه 4 را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$C = f_3(R_e, H/L, d_m / p, n, S_r) \quad [5]$$

از طرفی در تعریف عدد رینولدز در بحث فوق‌الذکر تنها عامل متغیر همان دبی جریان (Q) است که آن هم به‌صورت بار آب روی سرریز در عامل بی‌بعد (H/L) ظاهر شده است. لذا H/L و R_e از یکدیگر مستقل نبوده و عدد رینولدز نیز از رابطه 5 قابل حذف بوده و رابطه نهایی به‌صورت رابطه 6 قابل ارائه است.

$$C = f_4(H/L, d_m / p, n, S_r) \quad [6]$$

نتایج و بحث

جریان در حالت آزاد

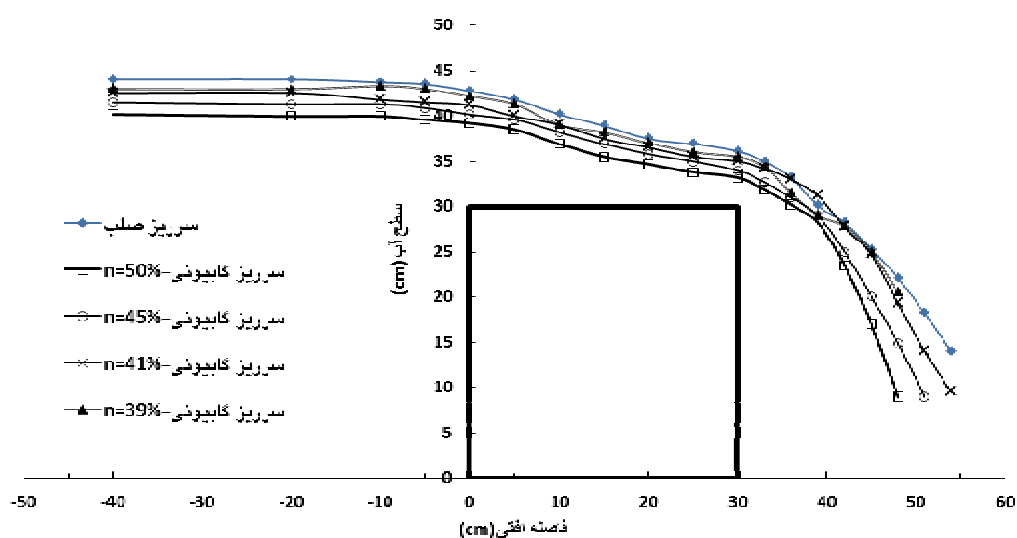
شکل 4 پروفیل سطح آب در طول سرریز گابیونی با تخلخل‌های مختلف و همچنین سرریز صلب، برای دبی و عمق آب پایین‌دست یکسان در شرایط جریان آزاد را نشان می‌دهد. شکل 4 نشان می‌دهد که با افزایش تخلخل یا افزایش اندازه متوسط ذرات به‌کار رفته در سرریز گابیونی، بار آبی بر روی سرریز کاهش می‌یابد.

شکل‌های 5 و 6 مقایسه بین ضریب دبی محاسبه‌شده از رابطه 4 برای سرریز صلب و سرریز گابیونی با تخلخل‌های مختلف را نشان می‌دهد. شکل 5 برای سرریز به ارتفاع 15 سانتی‌متر و شکل 6 برای سرریز به ارتفاع 30 سانتی‌متر است. ملاحظه می‌گردد که ضریب دبی سرریز گابیونی بیشتر از سرریز صلب هست. همچنین در سرریز گابیونی نیز با افزایش تخلخل ضریب دبی افزایش می‌یابد.

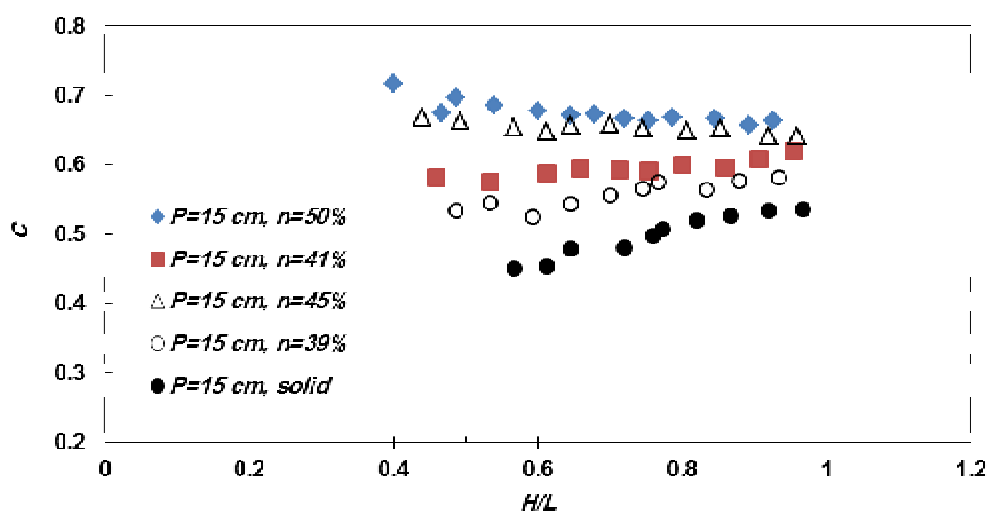
به‌نظر می‌رسد که سرریز گابیونی با جریان آزاد، کمتر متأثر از تغییرات H/L نسبت به سرریز صلب بوده است. علت آن تقسیم جریان به دو قسمت روگذر و درون‌گذر است که اجاره می‌دهد ضمن عبور دبی

جدول 1- مشخصات هندسی مدل‌های فیزیکی.

پارامتر	نماد	مقدار	واحد
ارتفاع سرریز	P	30 و 15	cm
طول سرریز	L	30 و 15	cm
دبی	Q	متغیر	$L s^{-1}$
قطر متوسط شن	d_m	0/5، 1، 1/55، 3	cm
تخلخل	n	0/39 و 0/41، 0/45، 0/5	-
نسبت استغراق	S_r	0/855 - 0/049	-



شکل 4- پروفیل سطح آب بر روی سرریز کابیونی و صلب در شرایط جریان آزاد.

شکل 5- تغییرات ضریب دبی نسبت به H/L در شرایط جریان آزاد برای سرریز به ارتفاع 15 سانتی‌متر.

مصالح گابیون است. به بیان دیگر مقایسه شکل‌های 5 و 6 (مربوط به ضریب دبی در حالت جریان آزاد) با شکل‌های 9 و 10 برای حالت مستغرق حاکی از آن است که ضریب دبی در حالت مستغرق دارای نوسانات و تغییرات نسبتاً کمتری است و از این بابت ارجحیت دارد، ولی عمده ایراد جریان مستغرق در کاهش ضریب دبی است. زیرا مطابق شکل‌های یادشده، متوسط ضریب دبی در حالت جریان مستغرق برابر 0/52 است که نسبت به متوسط حالت جریان آزاد (برابر 0/62) حدود 16/7 درصد کاهش نشان می‌دهد.

پارامترهای بی‌بعد به دست آمده در رابطه 5، با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه خطی جهت فرمول‌بندی کردن و توسعه دادن، معادله ضریب دبی بر روی سرریز گابیونی در شرایط جریان مستغرق به صورت زیر هست:

$$C = 0.278 - 0.061 \frac{\frac{\partial H}{\partial L} \frac{\partial}{\partial}}{\frac{\partial}{\partial}} - 0.014 \frac{\frac{\partial}{\partial} \frac{\partial}{\partial}}{\frac{\partial}{\partial} \frac{\partial}{\partial}} + 0.666(n) + 0.068(S_r), R^2 = 0.83 \quad [10]$$

با توجه به رابطه 10، تأثیر تخلخل بیشتر از سایر عوامل در تعیین ضریب دبی است. دلیل آن مقدار ضریب ثابت پارامتر بی‌بعد تخلخل مصالح سنگی هست که بیش از سایر ضرایب است. شکل 11 ضریب دبی محاسبه شده با استفاده از معادله 10 را در مقابل ضریب دبی مشاهده شده در شرایط جریان مستغرق را نشان می‌دهد.

از بین چند رابطه غیرخطی آزمون شده، نهایتاً رابطه 11 با دقت بیشتر برای تعیین ضریب دبی به صورت زیر به دست آمد:

فرم دیگری از رگرسیون چندگانه غیرخطی به صورت رابطه 9 هست:

$$C = 16.241 - 331.12 \frac{\frac{\partial H}{\partial L} \frac{\partial}{\partial}^{0.01}}{\frac{\partial}{\partial}} + 1.782(n)^{2.324} + 347.686 \quad [9]$$

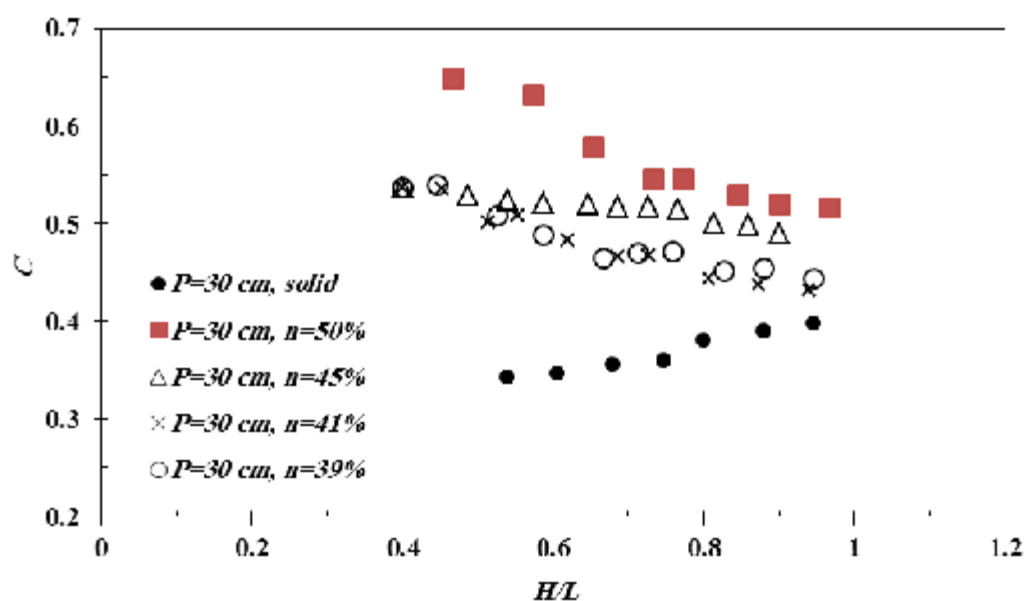
$$\frac{\frac{\partial}{\partial} \frac{\partial}{\partial} \frac{\partial}{\partial}}{\frac{\partial}{\partial} \frac{\partial}{\partial}}^{-8.71e-5}, R^2 = 0.707$$

مطابق معادلات 7، 8 و 9 واضح است که تأثیر تخلخل سرریز نسبت به سایر پارامترهای بی‌بعد برای تعیین ضریب دبی بیشتر بوده و ضمناً رگرسیون خطی بر رگرسیون غیرخطی ارجح است.

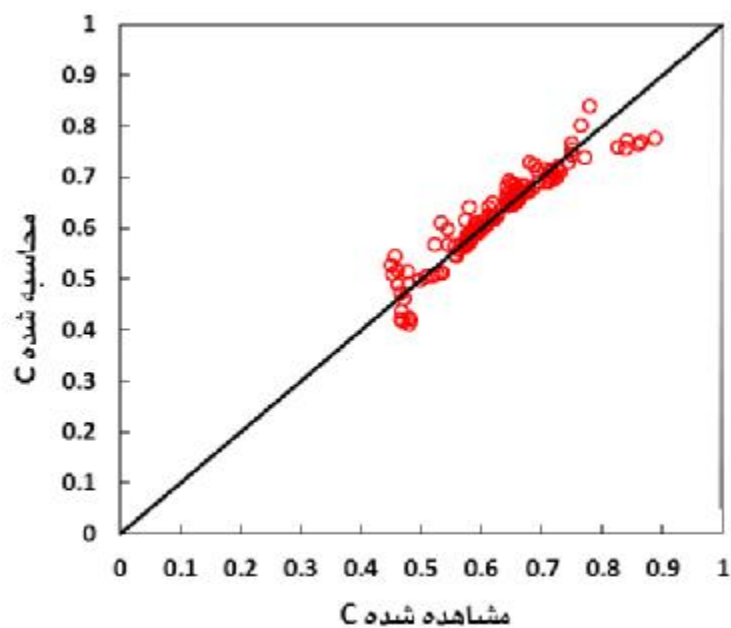
جریان در حالت استغرق

در شکل 8 پروفیل سطح آب بر روی سرریز گابیونی با تخلخل‌های مختلف و سرریز صلب با دبی و عمق پایین دست یکسان در شرایط جریان مستغرق ارائه شده است. با توجه به شکل 8 ملاحظه می‌شود که بار آبی روی سرریز گابیونی با افزایش تخلخل و افزایش اندازه ذرات به کار رفته در آن، کاهش می‌یابد و همچنین در یک دبی و عمق پایین دست یکسان، بار آبی سرریز گابیونی کمتر از سرریز صلب هست. ضمناً نسبت کاهش هد آب در حالت مستغرق در مقایسه با حالت آزاد (شکل 4) کمتر هست. هر چند این نتایج قابل پیش‌بینی بودند ولی در اینجا هدف به دست آوردن روابط کمی بین متغیرهای مورد بحث هستند که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌گردد.

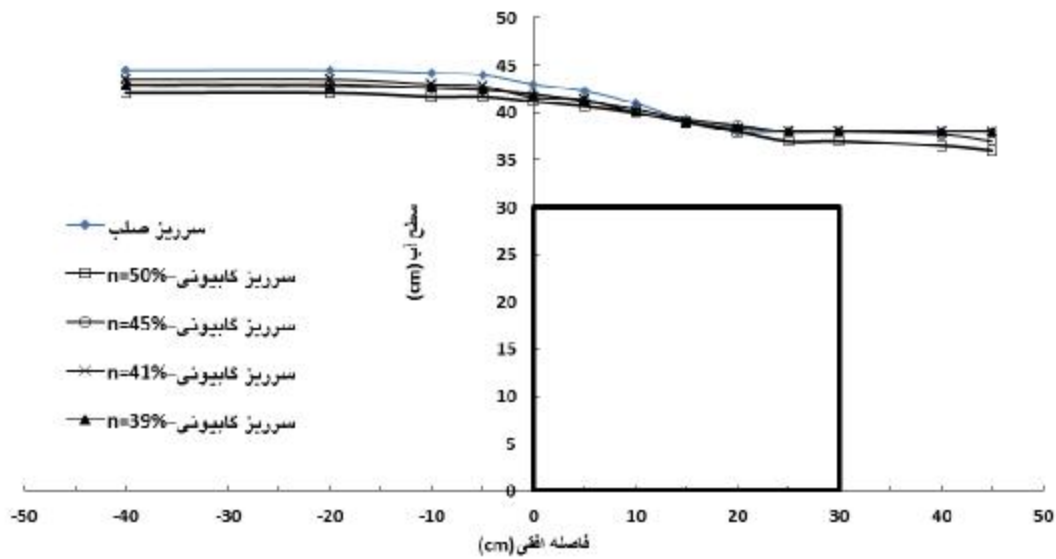
در شکل‌های 9 و 10 تغییرات ضریب دبی نسبت به H/L در شرایط جریان مستغرق برای سرریز به ارتفاع 15 و 30 سانتی‌متر به ترتیب ارائه گردیده است. مطابق شکل‌های مذکور می‌توان ملاحظه نمود که در حالت مستغرق، ضریب دبی کمتر متأثر از تخلخل



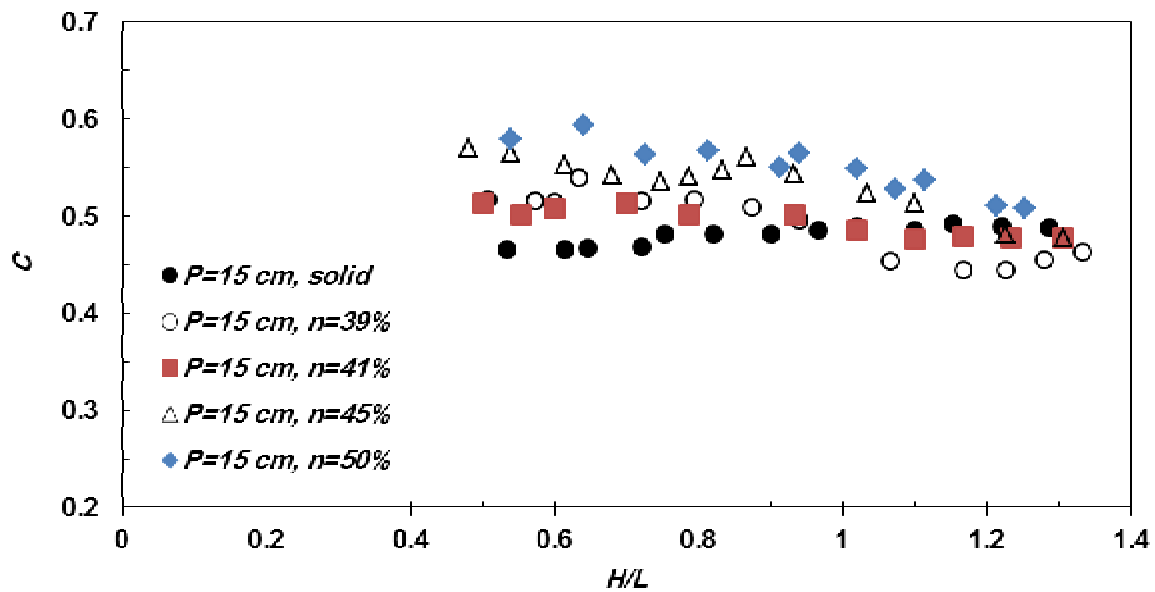
شکل 6- تغییرات ضریب دبی نسبت به H/L در شرایط جریان آزاد برای سرریز به ارتفاع 30 سانتی‌متر.



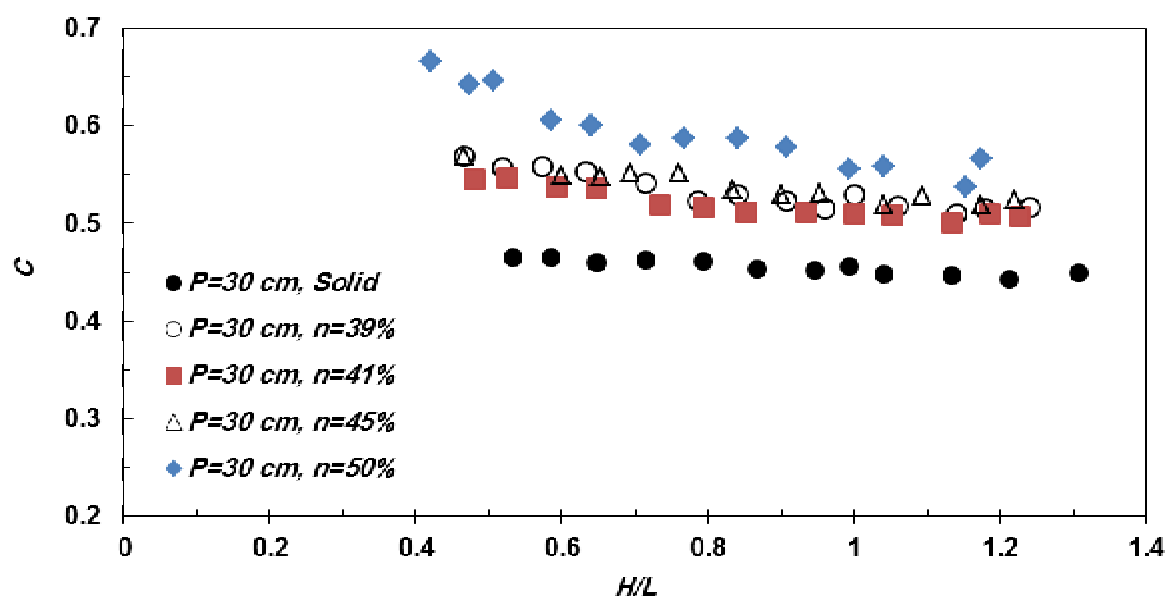
شکل 7- ضریب دبی محاسبه‌شده با استفاده از رابطه 7 در مقابل ضریب دبی مشاهده‌شده در شرایط جریان آزاد.



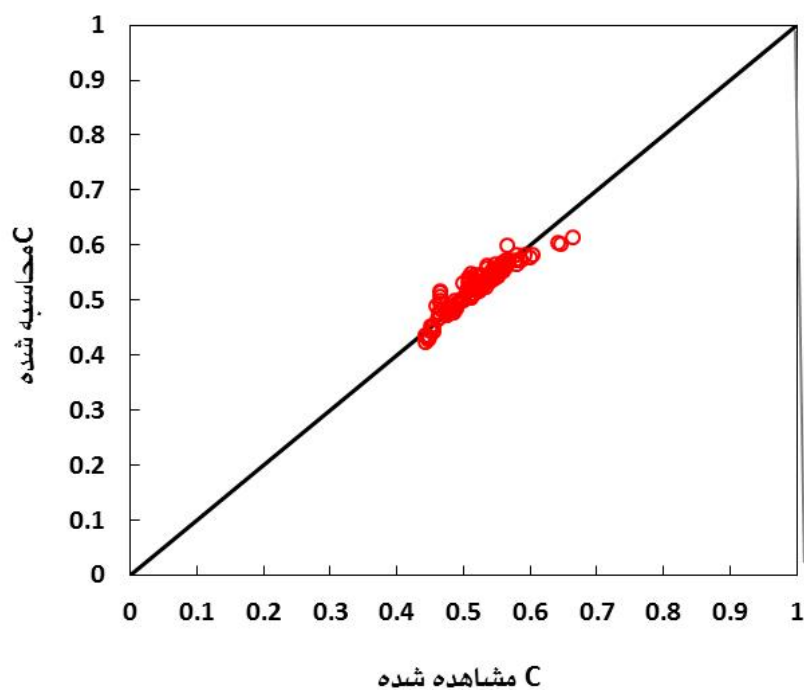
شکل 8- پروفیل سطح آب بر روی سرریز گابیونی در شرایط جریان مستغرق.



شکل 9- تغییرات ضریب دبی نسبت به H/L در شرایط جریان مستغرق برای سرریز به ارتفاع 15 سانتی‌متر.



شکل 10- تغییرات ضریب دبی نسبت به H/L در شرایط جریان مستغرق برای سرریز به ارتفاع 30 سانتی‌متر.



شکل 11- ضریب دبی محاسبه‌شده با استفاده از معادله 10 در مقابل ضریب دبی مشاهده شده در شرایط جریان

مستغرق.

بخش تقسیم می‌شود، یکی جریان روگذر و دیگری جریان درون‌گذر هست. در یک دبی مشخص، بار آبی بر روی سرریز گابیونی کمتر از بار آبی بر روی سرریز صلب هست. همچنین با افزایش تخلخل ذرات به-کار رفته در سرریز گابیونی، بار آبی کاهش پیدا می‌کند. استفاده از رابطه دبی سرریز لبه‌پهن مستطیلی صلب برای محاسبه دبی سرریز گابیونی باعث ایجاد خطا در محاسبات دبی می‌شود. متوسط ضریب دبی سرریز گابیونی در حالت آزاد 0/62 و در حالت مستغرق برابر 0/52 به دست آمد که کاهش 16/7 درصدی در حالت مستغرق دیده می‌شود. معادلات تجزیه و تحلیل رگرسیون چندمتغیره بر اساس مفهوم تحلیل ابعادی برای محاسبه دبی بر روی سرریز گابیونی در حالت جریان آزاد و مستغرق توسعه داده شد.

$$C = 0.782 \frac{H}{L} \left(\frac{C_m}{C} \right)^{-0.331} \left(\frac{P}{\phi} \right)^{-0.013} \quad [11]$$

$$(n)^{1.932} (S_r)^{0.167} + 0.391, R^2 = 0.852$$

مقایسه روابط 10 و 11 برای شرایط جریان مستغرق، نشان‌دهنده دقت تقریباً برابر دو رابطه غیرخطی و خطی است، هر چند کاربرد رابطه خطی راحت‌تر است.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه، یک سری آزمایش‌های آزمایشگاهی برای بررسی جریان بر روی سرریز گابیونی انجام شد. هشت مدل فیزیکی سرریز گابیونی و دو مدل سرریز صلب استفاده گردید. با تجزیه و تحلیل نتایج تجربی، نتایج زیر را می‌توان بیان کرد:

ماهیت جریان بر روی سرریز گابیونی از سرریز صلب متفاوت است. که در آن جریان را به دو

منابع مورد استفاده

- Chanson H, 2006. Discussion of discharge through a permeable rubble mound weir. *Journal of Hydraulic Engineering* 132(4): 432-434.
- Gogos M, Defne Z and Ozkandemir V, 2006. Broad-crested weirs with rectangular compound cross sections. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 132(3): 272-280.
- Hager H and Schwalt M, 1994. Broad-crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 120(1): 13-26.
- Kells JA, 1993. Spatially varied flow over rock fill embankments. *Canadian Journal of Civil Engineering* 20: 820-827.
- Kells JA, 1994. Reply on discussion of spatially varied flow over rock fill embankments. *Canadian Journal of Civil Engineering* 21: 163-166.
- Leu JM, Chan HC and Chu MS, 2008. Comparison of turbulent flow over solid and porous structures mounted on the bottom of a rectangular channel. *Flow Measurement and Instrumentation* 19: 1-7.
- Michioku K, Maeno S, Furusawa T and Haneda M, 2005. Discharge through a permeable rubble mound weir. *Journal of Hydraulic Engineering* 131(1): 1-10.
- Michioku K, Takehara K and Etoh T, 2007. An experimental study on flow field in and around rubble mound river structures. *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering* 25(2): 37-45.
- Mohamed H, 2010. Flow over gabion weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 136(8): 573-577.
- Salmasi F, Chamani MR and Farsadizadeh D, 2012. Experimental study of energy dissipation over stepped gabion spillways with low heights. *Iranian Journal of Science and Technology (IJST), Transaction B: Engineering, Civil Engineering, Shiraz university* 36(C2): 253-264.
- Salmasi F, Poorescandar S, Hosseinzadeh Dalir A and Farsadizadeh D, 2011. Discharge relations for rectangular broad-crested weirs. *Journal of Agricultural Sciences* 17: 324-336.
- Sarker MA and Rhodes DG, 2004. Calculation of free-surface profile over a rectangular broad-crested weir. *Flow Measurement and Instrumentation* 15(4): 215-219.