



دانشگاه فردوسی مشهد

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12378.2695

برآورد آزمایشگاهی ضریب دبی در آبگیرهای کفی با محیط متخلخل

حسین شریعتی^۱، سعیدرضا خداشناس^۲ و کاظم اسماعیلی^۳

^۱دانش آموخته دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد،

^۲دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۲

چکیده

سابقه و هدف: یکی از روش‌های مناسب برای آبیگری از رودخانه‌های کوهستانی، بکارگیری آبگیر کفی مشبک می‌باشد. از اشکال مختلف آبگیرهای کفی که تاکنون کم‌تر مورد مطالعه قرار گرفته، استفاده از آبگیرهای کفی با محیط متخلخل است که از نظر طراحی و اجرا هزینه کم‌تری نسبت به آبگیرهای کفی مشبک دارد. با توجه به جدید بودن ایده استفاده از آبگیر کفی با محیط متخلخل و محدودیت اطلاعات کافی جهت طراحی و ساخت این نوع آبگیر در پژوهش حاضر سعی شده است با در نظر گرفتن شرایط منطبق بر واقعیت رفتار هیدرولیکی این آبگیرها مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: به منظور مدل کردن آبگیر کفی با محیط متخلخل و انجام آزمایش‌ها از یک کانال آزمایشگاهی با طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر با جدار شیشه‌ای به عنوان کانال اصلی و کانالی شیشه‌ای با طول ۱ متر، ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و عرض ۴۵ سانتی‌متر (متناسب با دهانه خروجی آبگیر) به عنوان کانال انحراف استفاده شد. جهت تعبیه آبگیر در فاصله ۵ متری از ابتدای کانال اصلی با در نظر گرفتن یک فضای خالی به گونه‌ای که در این فضا امکان اجرای سه طول $L_1=15\text{cm}$ ، $L_2=30\text{cm}$ ، $L_3=45\text{cm}$ ، سه ارتفاع $H_1=10\text{cm}$ ، $H_2=15\text{cm}$ ، $H_3=20\text{cm}$ و سه شیب $S_1=0\%$ ، $S_2=10\%$ ، $S_3=20\%$ برای آبگیر فراهم بود، استفاده شد. محیط داخل آبگیر از ۴ نوع دانه‌بندی با قطرهای متوسط $P_1=9/72\text{mm}$ ، $P_2=13/41\text{mm}$ ، $P_3=15/30\text{mm}$ ، $P_4=17/75\text{mm}$ در هر آزمایش با عبور دبی‌های مختلف از روی آبگیر و اندازه‌گیری میزان دبی انحرافی، نسبت‌های دبی منحرف شده به دبی کل ($\lambda = \frac{Q_d}{Q_t}$) در مقابل دبی کل جریان بالادست (Q_t) برای مدل‌های مختلف آبگیر ترسیم و تأثیر پارامترهای مختلف بر میزان دبی منحرف شده توسط آبگیر کف متخلخل مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری دبی از سرریزهای لبه‌تیز مستطیلی واقع در ابتدا و انتهای کانال اصلی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج آزمایش‌ها بیانگر آن بود که با افزایش دبی ورودی میزان دبی انحرافی افزایش می‌یابد اما نسبت دبی انحرافی به دبی ورودی روند کاهشی دارد. افزایش قطر سنگدانه‌های محیط آبگیر افزایش دبی انحرافی از آبگیر را

* مسئول مکاتبه: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

به‌همراه دارد به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میزان دبی انحرافی مربوط به دانه‌بندی نوع P₄ بود که این امر ناشی از بیش‌تر بودن فضاهای خالی در این دانه‌بندی است. افزایش ضریب یکنواختی مصالح داخل آبگیر موجب پرشدن خلل و فرج و کاهش تخلخل و به‌تبع آن کاهش مجاری عبور جریان و تقلیل ۴ تا ۶ درصدی دبی انحرافی از آبگیر شد. بررسی دبی انحرافی برای طول و ارتفاعات مختلف آبگیر نشان داد که افزایش طول آبگیر از L₁ به L₃ برای مدل آبگیری با ارتفاع H₁ و سنگدانه‌هایی با قطر ۱۳/۴۱mm باعث افزایش ۲۳ درصد در نسبت دبی انحرافی به دبی ورودی برای دبی ورودی ۱۲/۲۵ لیتر بر ثانیه شد. افزایش ارتفاع آبگیر از ۱۰cm به ۲۰cm در آبگیری به طول ۳۰cm و برای سنگدانه‌های با متوسط قطر ۱۷/۷۵mm در دبی ۱۷ لیتر بر ثانیه موجب افزایش دبی انحرافی تا ۱۰ درصد می‌گردد. میزان جریان انحرافی با افزایش شیب سطح آبگیر از ۰ به ۲۰٪ با روند کاهشی همراه است. این کاهش می‌تواند ناشی از تغییر ناگهانی شیب سطح آبگیر در محل ورود جریان به ناحیه محیط متخلخل و جداشدگی جریان در این ناحیه باشد. حداقل و حداکثر نسبت دبی انحرافی به دبی ورودی در آزمایش‌های این پژوهش به‌ترتیب ۱۳ و ۹۰ درصد است.

نتیجه‌گیری: با افزایش دبی جاری در کانال، میزان دبی انحراف روند افزایشی دارد ولی به‌تدریج و با افزایش دبی ورودی از شدت جریان انحرافی تقریباً کاسته شده و نهایتاً به مقدار ثابتی می‌رسد. اندازه ذرات محیط متخلخل بر روند دبی انحراف تأثیر قابل‌ملاحظه داشته چنان‌که با افزایش اندازه ذرات، میزان دبی انحرافی روند افزایشی را نشان می‌دهد. با افزایش شیب سطح بالایی محیط متخلخل از میزان گذردهی محیط متخلخل کاسته می‌شود. بیش‌ترین جریان انحرافی با آب زلال از محیط متخلخل با شیب سطح صفر می‌باشد. افزایش طول و ارتفاع آبگیر نیز موجب افزایش دبی انحرافی از آبگیر می‌گردد. بر اساس تحلیل ابعادی و داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها و استفاده از برازش چندمتغیره بین پارامترهای بی‌بعد استخراج شده رابطه‌ای برای محاسبه ضریب دبی آبگیر کفی متخلخل با ضریب تبیین ۰/۹۱۵ ارائه گردید. مقایسه نتایج ضریب دبی جریان اندازه‌گیری شده و نتایج محاسباتی همبستگی مناسب بین داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر ریاضی تخمین شده را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آبگیری از رودخانه، آبگیر کفی، ضریب انحراف، محیط متخلخل

مقدمه

شده و جریان متوسط رودخانه کم می‌باشد بیش‌تر استفاده می‌شوند (۱). کف‌های مشبک سازه‌های استاندارد هستند که کاربرد وسیعی در انحراف آب به سمت توربین‌ها، ته‌نشین کردن رسوبات و مواد جامد معلق در آب که از فاصله بین میله‌ها بزرگ‌تر باشند و آبگیری از رودخانه دارند. سازه آبگیر کفی در قسمتی از طول و در بخشی از عرض در کف مجرا به‌صورت بازشدگی ایجاد می‌شود و آب از طریق این بازشدگی به داخل کانال فرعی منتقل می‌شود. بر روی این بازشدگی یک قاب با میله‌هایی از جنس فولاد به

آبگیری از رودخانه به روش‌های متعددی صورت می‌گیرد که هر یک ویژگی‌ها و محدودیت‌های خاص خود را دارند. غالباً در رودخانه‌های نسبتاً کوچک کوهستانی که در آن‌ها شیب تند، بستر نامنظم، رسوبات انتقالی زیاد و سیلاب‌های ناگهانی مانع از استفاده از سدهای دریچه‌دار و بندهای انحرافی با سرریز بتنی می‌شود، آبگیرهای کفی مشبک مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین در محل‌هایی که سنگ‌ها و تخته‌سنگ‌های بزرگ در رودخانه حمل

کانالی با عرض ۰/۲۵ متر، در شرایط آب زلال و رژیم جریان فوق بحرانی در بالادست کف مشبک انجام دادند. آن‌ها رابطه‌ای برای ضریب تخلیه کف مشبک بر اساس آنالیز ابعادی به دست آوردند (۱۰).
کومار و همکاران (۲۰۱۰) خصوصیات آبگیرهای مشبک در حالت آزاد و مستغرق را مورد مطالعه قرار دادند. متغیرهای آزمایش‌های آنان شامل: شیب کف، شیب سطح مشبک، ضخامت، طول و فاصله بین مشبک‌ها بود. آنان روابطی برای ضریب آبگذری در حالت آزاد و مستغرق ارائه نمودند (۶).

شکل مشبک نصب می‌گردد. در شکل ۱ تصویری از آبگیر کفی اجرا شده در رودخانه نشان داده شده است. جریان در آبگیرهای کفی مشبک از نوع جریان متغیر مکانی با کاهش دبی می‌باشد که برای به دست آوردن پروفیل جریان با در نظر گرفتن فرضیات موسستکو (۱۹۵۷) معادله دینامیکی حاکم بر پروفیل سطح آب به صورت رابطه ۱ به دست می‌آید (۳).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Qy(-dQ/dx)}{gB^2y^3 - Q^2} \quad (1)$$

ریگتی و لانزونی (۲۰۰۸) پژوهش‌هایی را بر روی یک مدل فیزیکی از آبگیر کفی میله‌های طولی در



شکل ۱- تصویر آبگیر کفی در رودخانه با میله‌های طولی.

Figure 1. Sketch of Floor intake at river bottom rack.

قرار دادند. هدف آن‌ها تعیین ضریب دبی آبگیر در سه شبکه با میله‌های طولی و عرضی در سه فضای عبوری و شیب مختلف بود (۱).
مسجدی و تاییدی (۲۰۱۴) اثر شیب آبراهه و قطر میله‌ها را بر ضریب تخلیه آبگیر مشبک بررسی نمودند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد افزایش قطر میلگردهای کف مشبک، کاهش شیب کف مشبک و افزایش عمق جریان در بالادست شبکه در یک فضای

کاستیلو و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی آزمایشگاهی و عددی کف‌های مشبک در حالت آب همراه با رسوب پرداختند. آن‌ها با استفاده از روش‌های عددی و داده‌های آزمایشگاهی رابطه‌ای برای بازشدگی مؤثر بین میله‌های مشبک ارائه نمودند. همچنین آن‌ها شیب بهینه ۳۰ درصد را برای مشبک‌ها پیشنهاد کردند (۲).
بینا و همکاران (۲۰۱۲) با انجام آزمایش‌هایی ویژگی‌های آبگیر کفی با شبکه متقاطع را مورد ارزیابی

دانه‌بندی با قطر مشخص برای محیط آبرگیر و سه شیب برای سطح آبرگیر تأثیر این عوامل بر میزان آنگذری از آبرگیر به بررسی کردند. نتایج پژوهش‌های آنان نشان داد با افزایش قطر ذرات و کاهش شیب سطح آبرگیر میزان دبی انحرافی افزایش می‌یابد. همچنین مطالعه پروفیل‌های تشکیل شده در سطح آبرگیر حاکی از تشکیل پروفیل نوع B_1 (جریان در بالادست و روی آبرگیر فوق بحرانی و در پایین دست همراه با پرش هیدرولیکی) در بیشترین حالت را داشت. پژوهش‌های کوروش‌وحید و همکاران (۲۰۱۱) منجر به ارائه رابطه غیرخطی برای ضریب آنگذری آبرگیر با محیط متخلخل گردید (۵).

پوراسماعیل و مغربی (۲۰۱۴) با بررسی روابط تخمین دبی انحرافی ارائه شده توسط کوروش‌وحید و همکاران (۲۰۱۱) و مقایسه این روابط با مبانی هیدرولیکی آبرگیرهای کفی بازنگری روابط ارائه شده را امری ضروری دانستند. آن‌ها با معرفی ضریب C_d به‌عنوان ضریب آنگذری آبرگیر میزان دبی منحرف شده توسط آبرگیر را از رابطه زیر محاسبه نمودند:

$$Q_d = C_d W L n \sqrt{2gy_1 \cos^2 \alpha} \quad (2)$$

پوراسماعیل و مغربی (۲۰۱۴) بر اساس تجزیه و تحلیل ابعادی و استفاده از داده‌های آزمایشگاهی رابطه‌ای را برای تخمین ضریب آنگذری پیشنهاد کردند (۹).

در آزمایش‌های پژوهشگران قبلی برای تفکیک جریان منحرف شده از جریان عبور نکرده از آبرگیر کفی متخلخل با دو طبقه کردن کانال اصلی از یک کانال انحراف به موازات کانال اصلی و به‌صورت تحتانی در قسمت پایین دست آبرگیر استفاده شده، به‌گونه‌ای که جریان منحرف شده با جریان اصلی در کانال هم جهت بود، اما در عمل کانال انحراف در

عبوری ثابت باعث افزایش ضریب تخلیه آبرگیر کفی می‌گردد. آنان بیان داشتند که با افزایش قطر میله‌های طولی در فضای بازشدگی ثابت، سطح تماس آب با میله‌ها کم‌تر شده و در نتیجه افت انرژی کم‌تر و دبی بیش‌تری از شبکه آبرگیر عبور می‌کند (۸). استفاده از مشبک‌های میله‌ای در کف رودخانه مشکلاتی به همراه دارد که از جمله مهم‌ترین آن‌ها آسیب‌دیدگی، زنگ‌زدگی و در نهایت از کارافتادگی آن‌ها و همچنین مشکلات مربوط به نگهداری سیستم و تخلیه رسوبات است. بر اساس مشاهدات لاند (۲۰۰۵) در ۵۰ نیروگاه برق در نروژ بیشترین مشکلات آبرگیرهای کف مشبک مربوط به گرفتگی مشبک‌ها در اثر رسوبات، یخ و قطعات شناور موجود در آب و تجمع رسوبات رد شده از مشبک‌ها در کانال انتقال آب در پایین دست آبرگیر بود (۷). به‌منظور فائق آمدن بر مشکلات اشاره شده در آبرگیرهای کفی مشبک، برای اولین بار ایده جایگزینی یک محیط متخلخل تراوا به‌جای شبکه مشبک مطرح شد (۴). در این روش بعد از حفر ترانشه در کف رودخانه مصالحی با دانه‌بندی مناسب در ترانشه ریخته شده و سپس از طریق یک کانال انحراف می‌توان اقدام به آنگیری از رودخانه نمود. مقداری از آب وارد محیط متخلخل شده و بخش دیگری از آب از روی آبرگیر گذشته و به رودخانه هدایت می‌شود. هر چند استفاده از محیط متخلخل نیز با محدودیت‌هایی نظیر ته‌نشین شدن رسوبات عبوری از آبرگیر در کانال انتقال و دبی عبوری کم‌تر جریان نسبت به کف‌های مشبک همراه بوده، اما هزینه کم طراحی و کارایی این سیستم در بلندمدت در کنار کاهش مشکلات اشاره شده آبرگیرهای کفی مشبک از مزایای این نوع آبرگیرها می‌باشد.

کوروش‌وحید و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی خصوصیات هیدرولیکی آبرگیرهای کفی با محیط متخلخل پرداختند. آن‌ها با استفاده از چهار نوع

با معرفی ضریب C_d به عنوان ضریب آبگذری و استفاده از رابطه ۲ برای میزان دبی انحرافی توسط آبگیر می توان نوشت:

$$C_d = f\left(Fr, \frac{y}{L}, \frac{d_{50}}{L}, \frac{H}{L}, \frac{W}{L}, S, n\right) \quad (5)$$

در پژوهش حاضر برای تعیین میزان تأثیر پارامترهای ارائه شده به انجام آزمایشاتی در کانالی به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۵ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد پرداخته شد. جهت انحراف آب از آبگیر از کانالی به طول ۱ متر، عرضی متناسب با دهانه خروجی آبگیر و ارتفاع ۰/۵ متر از جنس شیشه و عمود بر کانال اصلی استفاده شد (شکل ۲). به منظور تعبیه آبگیر در فاصله ۵ متری از ابتدای کانال اصلی فضای خالی تعبیه شد. این فضا به گونه ای بود که امکان اجرای سه طول و سه ارتفاع مختلف برای آبگیر وجود داشت. به منظور اندازه گیری جریان ورودی و جریان عبور نکرده از آبگیر از دو سرریز لبه تیز مستطیلی نصب شده در ابتدا و انتهای کانال استفاده شد و دبی انحرافی از آبگیر کفی متخلخل از تفاوت جریان ورودی و جریان عبوری از سرریز پایین دست به دست آمد. برای کاهش تلاطم جریان بعد از سرریز بالادست و قبل از سرریز پایین دست آرام کننده هایی قرار داده شد. بستر کانال در بالادست و پایین دست آبگیر از رسوبات رودخانه ای با دانه بندی مشخص بالا آورده شد که این بستر با استفاده از شبکه توری سیمی پوشانده شد تا شرایط جریان زلال (بدون رسوب) حاکم باشد.

در این پژوهش از سه طول، سه ارتفاع، سه شیب و شش نوع دانه بندی برای آبگیر کفی متخلخل انتخاب گردید تا اثر هر یک از این عوامل بر میزان جریان انحرافی توسط آبگیر مورد بررسی قرار گیرد.

آبگیرهای کفی عمود بر کانال اصلی اجرا می شود که این مسأله پارامترهای هیدرولیکی جریان و متعاقباً میزان دبی انحرافی توسط آبگیر را تحت تأثیر قرار می دهد. همچنین در آزمایش های پیشین با در نظر گرفتن ارتفاع و طول ثابت برای آبگیر تأثیر این دو عامل مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین در پژوهش حاضر با هدف مطالعه دقیق تر رفتار هیدرولیکی کف های متخلخل ضمن اجرای کانالی عمود بر کانال اصلی به عنوان کانال انحراف به بررسی عوامل مختلفی همچون طول و ارتفاع آبگیر، دانه بندی محیط آبگیر و شیب های متفاوت نصب آبگیر پرداخته شده است.

مواد و روش ها

در مدل سازی جریان بر روی یک آبگیر کفی محیط متخلخل مهم ترین هدف تعیین مقدار دبی منحرف شده در شرایط مختلف جریان در کانال اصلی است که با صرف نظر از اثرات مربوط به کشش سطحی و تراکم پذیری سیال می توان رابطه ای به صورت زیر را برای جریان خروجی از آبگیر در نظر گرفت:

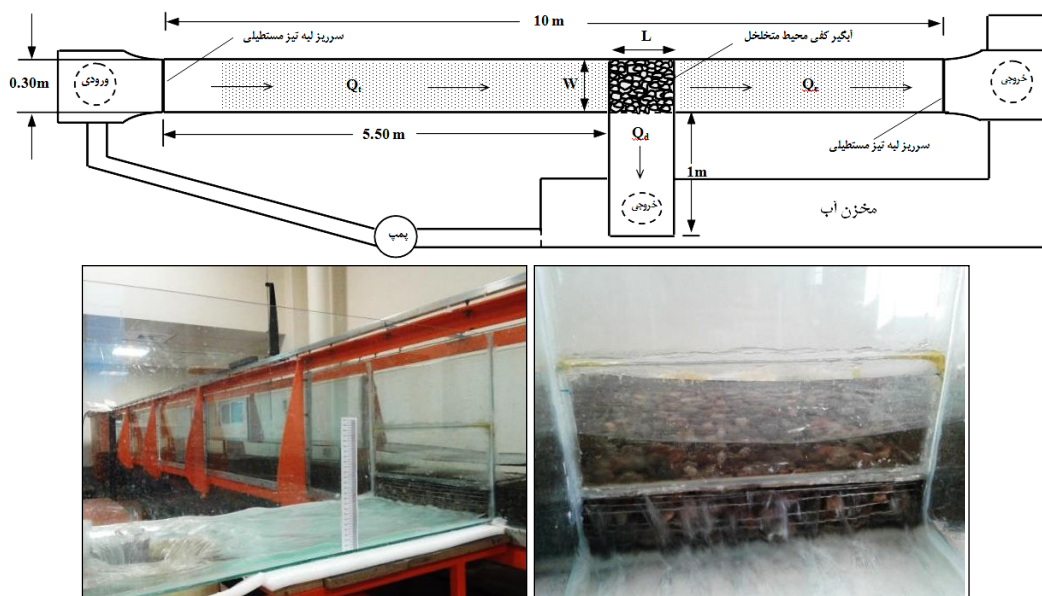
$$F(Q_d, V, \rho, y, g, n, d_{50}, L, H, W, S) = 0 \quad (3)$$

که در آن، Q_d دبی انحرافی توسط آبگیر، V سرعت جریان بالادست، y عمق جریان آب بالادست، g شتاب جاذبه، n تخلخل محیط متخلخل، d_{50} قطر متوسط سنگدانه های، L طول آبگیر، H ارتفاع آبگیر و W عرض کانال بالادست می باشد. از آنجایی که تعداد متغیرها و ابعاد اصلی رابطه ۹ به ترتیب برابر ۱۱ و ۳ عدد است، ۸ پارامتر بی بعد به صورت زیر قابل استخراج می باشد.

$$\frac{Q_d}{\sqrt{g} L W} = f\left(\frac{y}{L}, \frac{d_{50}}{L}, \frac{H}{L}, \frac{W}{L}, \frac{V}{\sqrt{g} y}, S, n\right) \quad (4)$$

عبور دبی‌های ورودی مختلف از روی آبگیر میزان دبی انحرافی برای هر یک از مدل‌های آبگیر اندازه‌گیری می‌شد. در جدول ۱ مشخصات مدل‌های مختلف آبگیر کفی محیط متخلخل ذکر شده است.

به منظور بررسی تأثیر ضریب یکنواختی مصالح داخل آبگیر بر دبی انحراف، دانه‌بندی‌های نوع ۵ و ۶ به گونه‌ای انتخاب شد تا دارای قطر متوسطی برابر با دانه‌بندی‌های نوع ۲ و ۴ و ضریب یکنواختی متفاوت با آنان باشند. روند آزمایش‌ها بدین گونه بود که با



شکل ۲- کانال آزمایشگاهی.

Figure 2. Experimental flume.

جدول ۱- مشخصات مدل‌های مختلف آبگیر.

Table 1. Characteristic different models of intake.

دبی ورودی (l/s) Inflow discharge	شیب آبگیر (%) Surface slop intake	ارتفاع آبگیر (cm) Height of intake	طول آبگیر (cm) Length of intake	ضریب یکنواختی Uniform cifficient	تخلخل Porosity	قطر متوسط ذرات آبگیر (mm) Mean grain size of intake
Q ₁₁ = 6.30				Cu=1.41	n ₁ =0.394	P ₁ =9.720
Q ₁₂ =9.40	S ₁ = 0	H ₁ =10	L ₁ =15	Cu=1.42	n ₂ =0.389	P ₂ =13.41
Q ₁₃ =12.25	S ₂ =10	H ₂ =15	L ₂ =30	Cu=1.63	n ₃ =0.387	P ₃ =15.30
Q ₁₄ =14.82	S ₃ =20	H ₃ =20	L ₃ =45	Cu=1.38	n ₄ =0.413	P ₄ =17.75
Q ₁₅ =17.00				Cu=2.03	n ₅ =0.392	P ₅ =13.41
				Cu=1.73	n ₆ =0.414	P ₆ =17.80

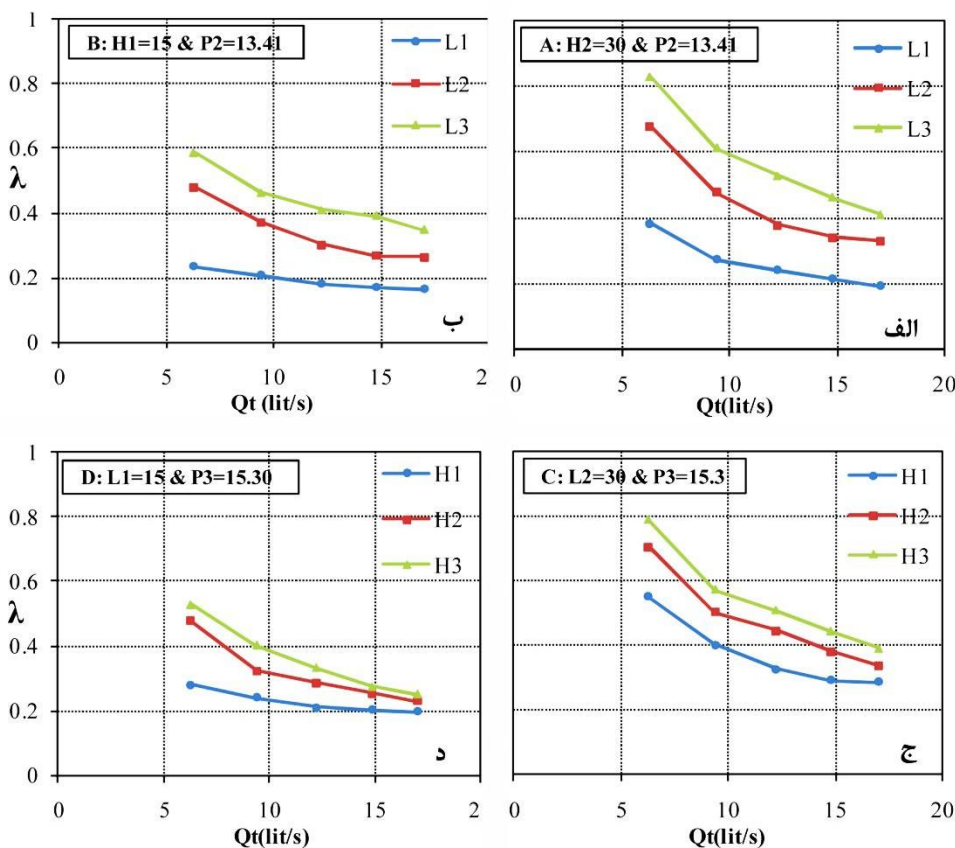
محیط سنگدانه‌ای، حجم و وزن مواد سنگدانه در هر آزمایش تعیین و سعی گردید در همه آزمایش‌های مشابه، تخلخل ثابت نگه داشته شود.

از آنجایی که برای آزمایش‌های مختلف با توجه به طول، ارتفاع و شیب مختلف آبگیر لازم بود سنگدانه‌ها از داخل آبگیر تخلیه و مجدداً داخل محیط آبگیر قرار گیرند، برای یکنواخت نگه‌داشتن تخلخل

نتایج و بحث

جهت بررسی تأثیر عوامل مختلف بر میزان دبی انحرافی توسط آبگیر ضمن انجام آزمایش‌های متعدد، نسبت‌های دبی منحرف شده به دبی کل ($\lambda = \frac{Q_d}{Q_t}$) در مقابل دبی کل جریان بالادست (Q_1) برای مدل‌های مختلف آبگیر ترسیم و تأثیر پارامترهای مختلف بر میزان دبی منحرف شده توسط آبگیر کف متخلخل بر اساس نتایج آزمایش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۳ نسبت دبی انحراف به دبی کل در مقابل دبی‌های کل مختلف برای طول و ارتفاع متفاوت آبگیر ترسیم شده است. مشاهده می‌شود که افزایش طول آبگیر از L_1 به L_3 موجب افزایش دبی انحرافی از آبگیر شده است، به گونه‌ای که افزایش طول از L_1 به L_3 برای آبگیری با سنگدانه‌های P_2 در ارتفاع H_1 موجب افزایش ۱۸ درصدی λ در دبی کل ۱۴/۸۲ لیتر

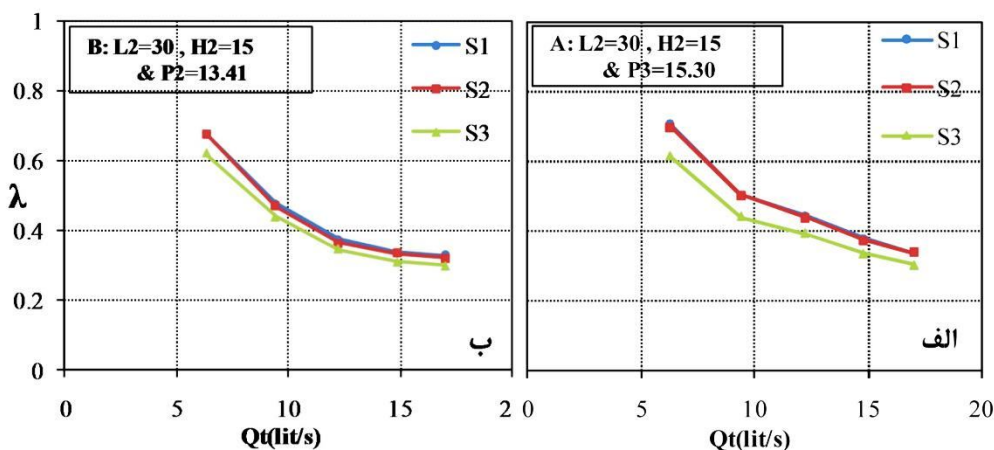
بر ثانیه شده است (شکل ۳-ب). این روند با توجه به رابطه ۲ و افزایش مساحت آبگیر در اثر افزایش طول قابل پیش‌بینی بود. در شکل ۳ (الف) همچنین تأثیر افزایش طول آبگیر بر میزان دبی انحرافی برای سنگدانه‌های P_2 با ارتفاع H_2 نشان داده شده است. درصد افزایش λ با افزایش طول آبگیر در دبی کل ۱۴/۸۲ لیتر بر ثانیه در این حالت ۲۰ درصد به دست آمد. به منظور بررسی تأثیر ارتفاع آبگیر بر میزان دبی انحرافی تغییرات دبی انحرافی برای دانه‌بندی P_3 و طول‌های L_1 و L_2 در ارتفاعات مختلف مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳-ج و د). همان‌گونه که قابل مشاهده است به ازای یک دبی ثابت با افزایش ارتفاع آبگیر از H_1 به H_3 دبی انحرافی افزایش می‌یابد که میزان این افزایش در دبی‌های پایین بیش‌تر می‌باشد.



شکل ۳- تأثیر طول و ارتفاعات مختلف آبگیر بر میزان دبی انحرافی آبگیر.
 Figure 3. Effect of length and height on the rate of diverted discharge.

درصد، از ۰/۶۱ در دبی ۶/۳ لیتر بر ثانیه به ۰/۳۰ در دبی ۱۷ لیتر بر ثانیه کاهش می‌یابد، در صورتی که این میزان در شیب صفر از ۰/۷۱ در دبی ۶/۳ لیتر بر ثانیه به ۰/۳۴ در دبی ۱۷ لیتر بر ثانیه رسیده است. همچنین نتایج دبی‌های منحرف‌شده در دو شیب صفر و ۱۰ درصد مقادیر بسیار نزدیک به هم را نشان می‌دهند که این امر در شکل ۴ (الف) و (ب) قابل مشاهده می‌باشد.

به‌منظور بررسی تأثیر شیب سطح آبگیر بر میزان جریان انحرافی در شکل ۴ نتایج تعدادی از آزمایش‌ها نشان داده شده است. این نتایج بیانگر آن است که میزان جریان انحرافی با افزایش شیب روند کاهشی دارد. کاهش دبی منحرف شده توسط آبگیر می‌تواند ناشی از تغییر ناگهانی شیب بستر آبگیر در محل ورود جریان به ناحیه محیط متخلخل و جداشدگی جریان در این ناحیه باشد. به‌عنوان مثال میزان دبی منحرف شده به دبی ورودی در دانه‌بندی P₂ در شیب ۲۰

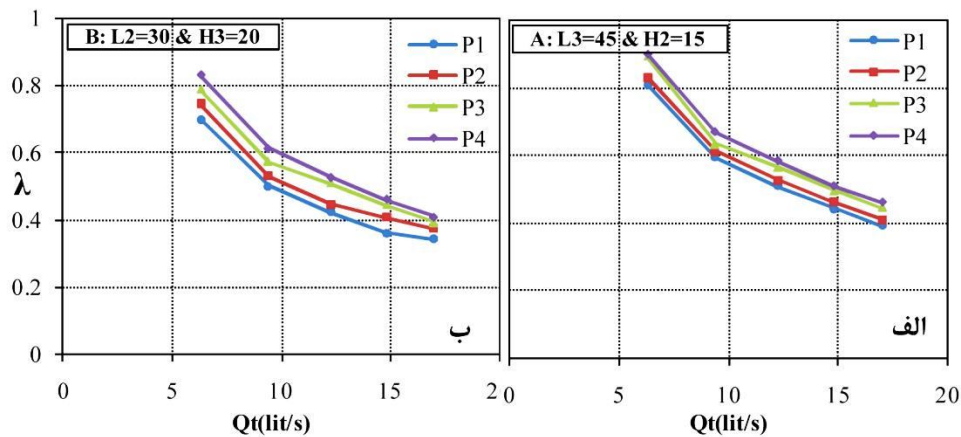


شکل ۴- تأثیر شیب سطح آبگیر بر میزان دبی انحرافی آبگیر.

Figure 4. Effect of intake surface slope on the rate of diverted discharge.

آنست که با افزایش دبی ورودی میزان دبی انحرافی افزایش می‌یابد، اما نسبت دبی انحرافی به دبی ورودی روند کاهشی دارد به‌عنوان مثال برای آبگیر با طول L₃ و ارتفاع H₂ در دانه‌بندی P₂ و Q_i=۶/۳ لیتر بر ثانیه نسبت دبی انحرافی به دبی ورودی ($\lambda = \frac{Q_d}{Q_i}$) برابر ۰/۸۳ و همین نسبت در دبی ورودی ۱۷ لیتر بر ثانیه برابر ۰/۴۱ است. این امر می‌تواند به‌دلیل افزایش سرعت در دبی‌های بالا و کاهش درگیری جریان آب با محیط متخلخل در دبی‌های بالاتر باشد که منجر به کاهش نسبت دبی انحرافی به دبی ورودی در دبی‌های بالای ورودی می‌شود.

در شکل ۵ تغییرات درصد دبی انحرافی به دبی ورودی در برابر دبی ورودی برای دانه‌بندی‌های مختلف محیط آبگیر رسم شده است. همان‌گونه که قابل مشاهده است برای طول‌ها و ارتفاعات مختلف آبگیر افزایش قطر سنگدانه‌ها محیط آبگیر افزایش دبی انحرافی از آبگیر را به‌همراه دارد. به‌عنوان مثال درصد دبی انحرافی در دبی ورودی ۱۷ لیتر بر ثانیه برای دانه‌بندی P₁ و P₄ به‌ترتیب برابر ۳۴ و ۴۱ درصد است (آبگیر با طول L₂ و ارتفاع H₃). این امر ناشی از بیش‌تر بودن فضاهای خالی در دانه‌بندی نوع P₄ است. روند تغییرات دبی انحرافی در برابر دبی ورودی بیانگر

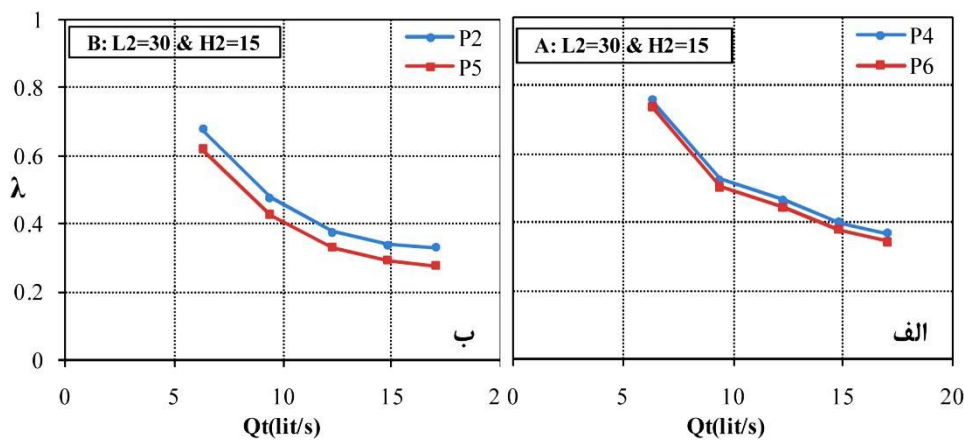


شکل ۵- تأثیر اندازه ذرات بر دبی انحرافی آبگیر.

Figure 5. Effect of grain size on the rate of diverted discharge.

درشت‌دانه توسط مصالح ریزدانه پر شده و این امر موجب کاهش تخلخل و به تبع آن کاهش مجاری عبور جریان و تقلیل دبی انحرافی از آبگیر می‌شود. این روند همچنین در سنگدانه‌های P_4 و P_6 که دارای قطر متوسطی مشابه ($d_{50}=17/75\text{mm}$) و ضرایب یکنواختی متفاوتی هستند، نیز قابل مشاهده است هر چند که با توجه به نزدیک بودن ضریب یکنواختی در این حالت (ضریب یکنواختی سنگدانه‌های P_4 و P_6 به ترتیب $1/38$ و $1/33$ بود) نسبت دبی انحرافی به دبی ورودی در این دو نمونه نزدیک بهم بود که روند این تغییرات در شکل ۶ (الف) نشان داده شده است.

ضریب یکنواختی سنگدانه‌ها از تقسیم d_{60} به d_{10} آن‌ها به دست می‌آید و بر این اساس هرچه ضریب یکنواختی به یک نزدیک‌تر باشد مصالح یکنواخت‌تر است. به منظور بررسی تأثیر ضریب یکنواختی محیط سنگدانه‌ای آبگیر بر میزان دبی انحرافی از سنگدانه‌های P_2 و P_5 که دارای قطر متوسطی برابر $13/41$ میلی‌متر و ضریب یکنواختی متفاوتی که به ترتیب برابر $1/42$ و $2/03$ بود، استفاده شد (شکل ۶-ب). نتایج نشان داد با افزایش ضریب یکنواختی درصد نسبت دبی انحرافی به دبی ورودی بین ۴ تا ۶ درصد کاهش می‌یابد. در واقع با افزایش ضریب یکنواختی خلل و فرج ذرات



شکل ۶- تأثیر ضریب یکنواختی ذرات بر میزان دبی انحرافی.

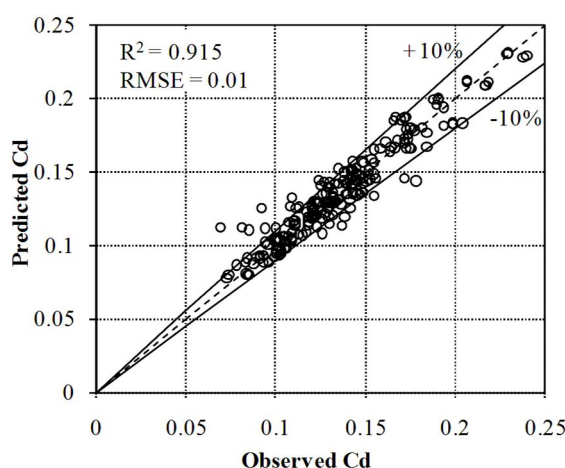
Figure 6. Effect of uniform coefficient grain on the rate of diverted discharge.

$$C_d = 1.103n^{0.817} \left(\frac{d_{50}}{L}\right)^{0.316} \left(\frac{y}{L}\right)^{-0.031} \left(\frac{H}{L}\right)^{0.597} \quad (6)$$

$$Fr^{0.279} \left(S + \frac{W}{L}\right)^{-0.532} \quad R^2 = 0.915$$

که در آن، n تخلخل محیط آبرگیر، y عمق بالادست آبرگیر، d_{50} قطر متوسط سنگدانه‌ها آبرگیر، L طول آبرگیر، H ارتفاع آبرگیر، S شیب سطح آبرگیر، W عرض کانال و Fr عدد فرود بالادست آبرگیر می‌باشد. در شکل ۷ مقادیر C_d حاصل از نتایج آزمایشگاهی با نتایج رابطه ۶ مقایسه شده است. پراکنش نقاط حول خط ۴۵ انطباق مناسب بین نتایج آزمایشگاهی و مقادیر تخمینی رابطه ۶ را نشان می‌دهد.

بر اساس داده‌های به‌دست آمده از ۲۰۰ آزمایش و استفاده از برازش چندمتغیره بین پارامترهای بی‌بعد استخراج شده رابطه ۶ برای محاسبه ضریب دبی آبرگیر کفی متخلخل با استفاده از نرم‌افزار SPSS به‌دست آمد برای دستیابی به بهترین رابطه، داده‌های موجود به دو دسته تقسیم شدند. از ۸۰ درصد داده‌ها برای محاسبات مربوط به رگرسیون چندمتغیره استفاده شد و ۲۰ درصد باقی‌مانده به‌عنوان داده‌های آزمون مورد استفاده قرار گرفتند. این دسته‌بندی به‌صورت کاملاً تصادفی انجام شد. شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در رابطه ۶ به‌ترتیب برابر ۰/۹۱۵ و ۰/۰۱ محاسبه گردید.

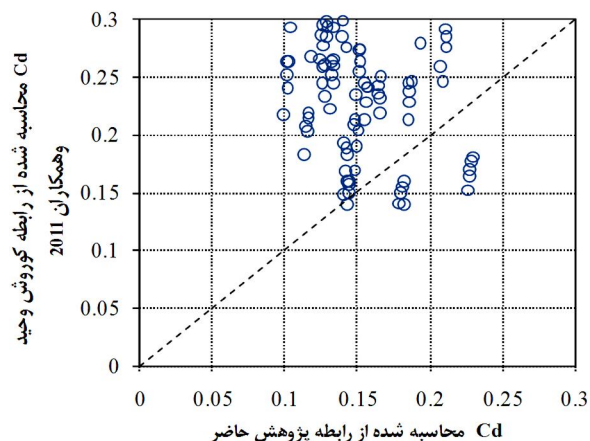


شکل ۷- مقایسه نتایج ضریب دبی اندازه‌گیری شده با نتایج محاسباتی.

Figure 7. Comparison between calculated and measured C_d .

انحرافی (C_d) با استفاده از رابطه کوروش‌وحید و همکاران (۲۰۱۱) و رابطه پیشنهادی پژوهش حاضر صورت گرفته است. میانگین ضریب دبی محاسبه شده در این پژوهش ۰/۱۴ و در پژوهش کوروش‌وحید و همکاران (۲۰۱۱) ۰/۳ بود. همان‌گونه هم که در شکل ۸ قابل مشاهده است، پراکنندگی اکثر نقاط در قسمت بالای خط $y=x$ واقع شده که این امر نشان از کاهش ضریب دبی انحرافی در پژوهش حاضر است.

بررسی نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر بیانگر کاهش دبی منحرف شده در شرایط جدید را دارد. نسبت دبی منحرف شده به دبی ورودی در نتایج کوروش‌وحید (۲۰۱۱) بین ۰/۴۳ تا ۰/۸۰ بود که این نسبت در پژوهش حاضر به ۰/۲۹ تا ۰/۵۵ تقلیل یافته است. این کاهش می‌تواند ناشی از تغییر شرایط آزمایش‌ها و ایجاد کانال انحرافی به‌صورت عمود بر کانال اصلی باشد. در شکل ۸ با به‌کارگیری متغیرهای این پژوهش مقایسه‌ای بین ضریب دبی جریان



شکل ۸- مقایسه رابطه ضریب دبی (Cd) در پژوهش حاضر با کوروش‌وحید و همکاران (۲۰۱۱).

Figure 8. Comparison of present study Cd equation with kooroshvahid et al. (2011).

میزان دبی انحرافی از آبگیر افزایش می‌یابد. افزایش ضریب یکنواختی مصالح داخل آبگیر موجب پرشدن خلل و فرج و کاهش تخلخل و به تبع آن کاهش مجاری عبور جریان و تقلیل ۴ تا ۶ درصدی دبی انحرافی از آبگیر شد. بررسی دبی انحرافی برای طول و ارتفاعات مختلف آبگیر نشان داد که افزایش طول آبگیر از L_1 به L_3 برای مدل آبگیری با ارتفاع H_1 و سنگدانه‌هایی با قطر $13/41\text{mm}$ باعث افزایش ۲۳ درصد در نسبت دبی انحرافی به دبی ورودی برای دبی ورودی $12/25$ لیتر بر ثانیه شد. افزایش ارتفاع آبگیر از 10cm به 20cm در آبگیری به طول 30cm و برای سنگدانه‌های با متوسط قطر $17/75\text{mm}$ در دبی 17 لیتر بر ثانیه موجب افزایش دبی انحرافی تا 10 درصد می‌گردد. میزان جریان انحرافی با افزایش شیب سطح آبگیر از 0 به 20% با روند کاهشی همراه است. این کاهش می‌تواند ناشی از تغییر ناگهانی شیب سطح آبگیر در محل ورود جریان به ناحیه محیط متخلخل و جداشدگی جریان در این ناحیه باشد. حداقل و حداکثر نسبت دبی انحرافی به دبی ورودی در آزمایش‌های این پژوهش به ترتیب 13 و 90 درصد است. در نهایت با استفاده از تحلیل داده‌های به دست

نتیجه‌گیری

هر یک از روش‌های آبگیری که تاکنون توسعه یافته‌اند برای رودخانه‌های خاص و شرایط جریان ویژه‌ای مناسبند. در رودخانه‌های کوهستانی آبگیرهای کفی مشبک روشی مناسب برای آبگیری محسوب می‌شوند، اما با توجه به مشکلات و محدودیت‌های این نوع آبگیر استفاده از روش جدید آبگیر کفی با محیط متخلخل می‌تواند جایگزین مناسبی برای آبگیرهای مشبک باشد. بنابراین در پژوهش حاضر به بررسی آزمایشگاهی گذردهی جریان در آبگیرهای کفی با محیط متخلخل پرداخته شد. بدین منظور با در نظر گرفتن طول، ارتفاع و دانه‌بندی مختلف برای محیط متخلخل ویژگی‌های این نوع آبگیر بررسی شد. همچنین با توجه به متفاوت بودن مدل‌سازی جریان در آبگیر با شرایط طبیعی در پژوهش‌های پیشین، در این پژوهش سعی گردید نحوه ساخت مدل آزمایشگاهی به شرایط طبیعی نزدیک‌تر باشد. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش جریان ورودی بالادست، دبی انحرافی افزایش می‌یابد اما روند افزایش آن به تدریج با افزایش دبی کاهش یافت. با افزایش اندازه ذرات، طول و ارتفاع محیط متخلخل،

آمده از آزمایش‌ها رابطه جهت تخمین ضریب
آبگذری پیشنهاد گردید.
نظر به این‌که آزمایش‌های پژوهش حاضر در
شرایط آب زلال صورت پذیرفته است، لزوم پژوهش‌های
بیش‌تر در خصوص این نوع آبگیر در شرایط جریان
رسوبی و بررسی میزان دبی انحراف در این شرایط
ضروری به‌نظر می‌رسد که این امر می‌تواند در
پژوهش‌های آتی مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1. Bina, K., Maghrebi, M.F., and Abrishami, J. 2012. Experimental investigation of discharge coefficient in mesh panel bottom. *J. Water Wastewater*. 1: 24-33. (In Persian)
2. Castillo, L.G., Garcia, J.T., and Carrillo, J.M. 2016. Experimental and numerical study of bottom rack occlusion by flow with gravel-sized sediment. Application to Ephemeral Streams in Semi-Arid Regions. 8: 1-18.
3. Hosseyni, S.M., and Abrishami, J. 2007. Open channel hydraulics. Press, 17p. (In Persian)
4. Kooroshvahid, F., Esmaili, K., Maghrebi, M.F., Alizadeh, A., and Naghavi, B. 2010. Flow discharge in bottom intakes with porous media. *J. Water Soil*. 24: 2. 347-358. (In Persian)
5. Kooroshvahid, F., Esmaili, K., and Naghavi, B. 2011. Experimental study on hydraulic characteristics of bottom intake with granular porous media. *J. Special Topics & Reviews in Porous Media*. 2: 301-311.
6. Kumar, S., Ahmad, Z., Kothiyari, U.C., and Mittal, M.K. 2010. Discharge characteristics of a trench weir. *J. Flow Measure. Instrument*. 21:80-87.
7. Lund, S. 2005. Inntak til Smakraftverk. M.Sc. Thesis, Department of Hydraulic and Environmental Engineering., N.T.N.U, Norway.
8. Masjedi, A., and Taeedi, A. 2014. Laboratory study of channel slope and rod diameter effect on intake discharge coefficient under rack floor condition. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour*. 18: 67. 301-308. (In Persian)
9. Poursmaeil, S., and Maghrebi, M.F. 2014. Experimental study on hydraulic characteristics of porous bottom intake in clear water. *J. Water Soil*. 28: 1. 35-45. (In Persian)
10. Righetti, M., and Lanzoni, S. 2008. Experimental study of the flow field over bottom intake racks. *J. Hydr. Engin*. 134: 15-22.



Laboratory of Estimation of the Discharge Coefficient in New System of Bottom Intake with Porous Media

H. Shariati¹, *S.R. Khodashenas² and K. Esmaili³

¹Ph.D. Graduate, Dept. of Water Structures, Ferdowsi University of Mashhad,

²Professor., Dept. of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad,

³Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 12.18.2016; Accepted: 04.22.2018

Abstract

Background and Objectives: Bottom intake is one of the suitable methods for diverting water in mountainous rivers. Among the different forms of bottom intake, that have been studied so far, the use of bottom intake with porous media which can be considered as a suitable substitute for bottom rack intakes due to the reduction difficulties of bottom rack and low cost of design and execution. Since the idea of using bottom intake with porous media is new and information is limited to design and construct this kind of intake, the present research tried to consider the condition of the hydraulic behavior of these intakes in accordance with the reality.

Materials and Methods: In order to model a bottom intake with porous medium and conduct experiments, a main flume with the walls of the glass materials in the dimensions of the 10* 0.30* 0.50 cube meter and a diverted flume by the dimensions of the 1* 0.45* 0.50 cube meter was used. To prepare an intake in the distance of 5 m at the beginning of main flume, the space has been considered so that the possibility of conduction is with three length, height and slope ($L_1=15$ cm, $L_2=30$ cm, $L_3=45$ cm) ($H_1=10$ cm, $H_2=15$ cm, $H_3=20$ cm) ($S_1=0\%$, $S_2=10\%$, $S_3=20\%$). The inner surrounding of intake was filled with four different types of gravel with average diameter $P_1=9.72$ mm, $P_2=13.41$ mm, $P_3=15.30$ mm, $P_4=17.75$ mm. In every experiment by passing different discharges over intake, was measured the rate of diverted discharge for different models of intake was drawn and the effect of different parameters on the rate diverted discharge was studied, by bottom porous intake. We used rectangular weir at the end and beginning of main flume to measure discharge.

Results: The results showed that inflow discharge increases the rate of diverted discharge but the proportion of diverted discharge to inflow discharge is on the decrease. By increasing the grain size, the diverted discharge increase, so that grain size P_4 has most rate of diverted discharge. It's the result of void space increasing in this kind of grain size. By increasing uniform coefficient grain of intake, the porosity and void space of granular material decreases, and consequently diverted discharge decreases between 4 and 6 percent. Researching on diverted discharge with different length and height showed increasing intake length from L_1 to L_3 for intake with height H_1 for P_2 ($d_{50}=13.41$ mm) gradation and $Q_t=12.25$ lit/s, the Q_d/Q_t is increased up to 23 percent. Increasing intake height from 10 cm to 30 cm for intake with length 30 cm for P_4 ($d_{50}=17.75$ mm) gradation and $Q_t=17$ lit/s, the Q_d/Q_t is increased up to 10 percent. By increasing the slope of intake surface from 0% to 20%, diverted discharge decrease, this kind of decrease is the result of unexpected change in the surface slope of intake and separating flow in the entrance of porous media intake. The minimum and maximum the rate of diverted discharge in the experiments in this study was 13% and 90% respectively.

* Corresponding Author; Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

Conclusion: The results showed that by increasing the inflow discharge, the diverted discharge increases too; however, for larger values of the discharge, the ratio of the diverted to the upstream flow approaches a final constant value. Grain size of the porous media has a great influence on the diverted flow. By increasing the grain size, the diverted flow increases. By increasing the surface slope of bottom intake with porous media, the diverted flow decreases. Maximum diverted flow occurs at zero surface slope of the intake. Increasing intake length and height, causes increasing in diverted discharge. By using dimensionl analysis, experimental datas and multivariate regression, a new equation to estimated diverted discharge cifficient with coefficient of determination $R^2=0.915$, was suggested. The theoretical predictions in comparison with the experimental results have shown good consistency.

Keywords: Bottom intake, Discharge cifficient, Porous media, River intake