

تأثیر ابعاد و اندازه ذرات آبیگر بر ضریب دبی آبیگرهای کفی متخلخل با استفاده از مدل فیزیکی

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

۱- دانش آموخته دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد. khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۷

چکیده

در رودخانه‌های کوهستانی یکی از مناسب‌ترین روش‌های آبیگری استفاده از آبیگرهای کفی می‌باشد. آبیگرهای کفی با محیط متخلخل یکی از اشکال مختلف آبیگرهای کفی بوده که تا کنون کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در تحقیقات پیشین نحوه ساخت مدل‌های آزمایشگاهی با آنچه در شرایط طبیعی وجود دارد تفاوت اساسی داشته، لذا در این پژوهش تلاش شده کاستی روش‌های قبلی برطرف شود. در مقاله حاضر به منظور بررسی تأثیر ابعاد آبیگر بر ضریب دبی جریان انحرافی مدل‌های مختلفی از آبیگر با سه طول (L=۱۵,۳۰,۴۵cm) و سه ارتفاع (H=۱۰,۱۵,۲۰cm) در کانال آزمایشگاهی تعبیه و فضای داخل آبیگر نیز توسط چهار نوع سنگدانه با دانه‌بندی مختلف (d₅₀=۹/۷۲, ۱۳/۴, ۱۵/۴, ۱۷/۷۵mm) پر گردید. در هر سری از آزمایش‌ها (مجموعاً ۱۸۰ آزمایش) با عبور دبی‌های متفاوت از روی آبیگر دبی انحرافی توسط آبیگر کفی متخلخل اندازه‌گیری شد. مقایسه نتایج بدست آمده از این تحقیق با تحقیقات پیشین نشان از کاهش ۱۰ درصدی در میزان دبی انحرافی توسط آبیگر را داشت. در نهایت با استفاده از تحلیل ابعادی و رگرسیون چند متغیره معادله‌ای با ضریب همبستگی R^۲ = ۰/۸۵ جهت برآورد ضریب دبی جریان انحرافی این نوع آبیگر، تحت تأثیر پارامترهای مختلف ارائه گردید.

کلید واژه‌ها: آبیگر کفی، محیط متخلخل، جریان متغیر مکانی، رودخانه کوهستانی.

مقدمه

یکی از روش‌های تأمین آب مورد نیاز در بخش‌های مختلف برداشت مستقیم از رودخانه می‌باشد. نحوه آبیگری از رودخانه با توجه به شرایط جریان، اقلیم و توپوگرافی منطقه تعیین می‌گردد. روش آبیگری از کف یکی از مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین راه‌های آبیگری از رودخانه کوهستانی با شیب تند است (Kumar et al., 2010). از آنجا که نیروگاه‌های برقابی کوچک در کنار رودخانه‌های کوهستانی با شیب زیاد ساخته می‌شوند، آبیگر کفی به عنوان یکی از اجزای مهم پروژه‌های برق آبی کوچک شناخته می‌شود. در این روش آبیگری پس از حفر یک ترانشه در امتداد عرض بستر رودخانه آب منحرف شده و با کارگذاری یک شبکه میله‌ای بر روی آن، تلاش می‌شود از ورود رسوب به داخل کانال انتقال جلوگیری به عمل آمده و آبیگری به حداکثر برسد (Kumar and Ahmad, 2015).

نحوه قرارگیری آبیگر کفی در مقطع رودخانه به گونه‌ای است که زمانی که جریان آب از روی آن می‌گذرد مقدار دبی رودخانه در طول آبیگر کاهش می‌یابد با فرض شرایط پایدار برای جریان رودخانه یک جریان ماندگار متغیر مکانی با کاهش دبی بر

هیدرولیک آبیگر کفی حاکم است و نرخ تغییر دبی انحرافی در واحد عرض در شرایط مورد نظر با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\frac{dq}{dx} = C_q \omega \sqrt{2gY} \quad (1)$$

که در آن dq دبی انحرافی در طول بخشی از آبیگر به طول dx، ω نسبت منفذ که عبارتست از مساحت بازشدگی بین میله‌ها به مساحت کل و Y مقدار مربوط به بار آبی است. مقادیری که محققین تاکنون به جای Y در نظر گرفته‌اند شامل: D متوسط عمق جریان نزدیک شونده به آبیگر، H₀ هد ویژه جریان عبوری از شبکه، D(x) متوسط عمق جریان در طول آبیگر و E₀ انرژی مخصوص در مقطع بالادست می‌باشد.

اولین تعریف هیدرولیکی از آبیگرهای کفی توسط Orth et al. (1954) ارائه گردید. آنها آزمایش‌هایی بر روی مدل فیزیکی کف مشبک در کانال با شیب ۲۰ درصد و پنج مقطع با شکل‌های هندسی متفاوت از میله‌های عرضی انجام دادند (Bina et al., 2010). یکی از گسترده‌ترین تحقیقات انجام شده اخیر در خصوص رفتار آبیگرهای کفی، توسط Brunella et al. (2003) انجام گرفت. آن‌ها در تحقیقاتشان از کف‌های مشبک با زوایای

شریعی و همکاران: تاثیر ابعاد و اندازه ذرات آبرگیر بر ضریب دبی...

$$C_d = 6.17 \times 10^{-5} \frac{Fr_1^{0.664} (y_1/d_{50})^{0.44}}{n^{7.877} (S_p + y_1/L)^{0.332}} \quad (2)$$

$$C_d = 3.625 \times 10^{-5} \frac{Fr_1^{0.739} (y_1/d_{50})^{0.509}}{n^{8.518} (S_p + y_1/L)^{0.363}} \quad (3)$$

در روابط فوق C_d ضریب دبی، Fr_1 عدد فرود بالادست، y_1 عمق جریان بالادست آبرگیر، d_{50} قطر متوسط مصالح آبرگیر، n تخلخل آبرگیر و L طول آبرگیر می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این روابط ضریب دبی رابطه معکوس با تخلخل و قطر ذرات دارد در حالی که از نظر تئوریک ضریب دبی بایستی با تخلخل و قطر ذرات رابطه مستقیمی داشته باشد که این امر از اشکالات روابط ارائه شده (۲) و (۳) می‌باشد. نسبت دبی انحرافی به دبی کل ورودی به آبرگیر برای دانه‌بندی‌های مختلف و شیب آبرگیر صفر در آزمایش‌های Kooroshvahid et al. (2011) به صورت جدول (۱) ارائه گردید.

Pouresmaeil و Maghrebi (2014) نیز آزمایش‌هایی در کانالی به طول ۱۰ متر، عرض ۴۰ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر انجام دادند. آنان از سه نوع دانه‌بندی برای محیط متخلخل استفاده کردند و نشان دادند عملکرد آبرگیر نسبت مستقیم با قطر متوسط ذرات و رابطه معکوس با ضریب یکنواختی دانه‌بندی دارد. آنان با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی رابطه‌ای (۴) را برای ضریب دبی ارائه کردند.

$$C_d = 0.445 Fr_1^{-0.217} \left(\frac{y_1 \cos^2 \theta}{L} \right)^{-0.18} \left(\frac{h_D}{L} \right)^{0.539} C_u^{-0.222} \left(\frac{d_{50}}{L} \right)^{0.333} \quad (4)$$

در آزمایش‌های پیشین برای تفکیک جریان عبوری از محیط متخلخل و جریان باقیمانده کانال در قسمت پایین دست آبرگیر از یک کانال تحتانی بصورت موازی و زیر کانال اصلی استفاده شده و جریان انحراف یافته با جریان اصلی هم جهت بوده است اما در عمل کانال انحراف در آبرگیرهای کفی عمود بر کانال اصلی اجرا می‌شود که این مسئله می‌تواند پارامترهای هیدرولیکی جریان و متعاقباً میزان دبی انحرافی توسط آبرگیر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این‌رو در تحقیق حاضر سعی شده است تا با اجرای کانالی عمود بر کانال اصلی به عنوان کانال انحراف قسمتی از کاستی‌های پژوهش‌های قبلی که در شرایط طبیعی رودخانه‌ها رخ می‌دهد، مورد بررسی قرار گیرند. همچنین با توجه به ثابت بودن ضخامت محیط متخلخل در آزمایش‌های پیشین در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر این عامل در کنار سایر عوامل مؤثر بر آبرگیری محیط متخلخل پرداخته شد.

صفر، ۷، ۱۹، ۲۸، ۳۵، ۳۹، ۴۴ و ۵۱ درجه نسبت به افق استفاده کردند. نتایج آن‌ها در نهایت به رسم پروفیل سرعت، استخراج معادله دیفرانسیلی برای تعیین پروفیل سرعت، تخمین معادله‌ای برای تعیین میزان انحراف آب و روابطی برای جلوگیری از پس‌زدگی جریان در کانال آبرگیر منجر شد. Righetti و Lanzoni (2008) الگوی جریان بر روی کف مشبک با میله‌های طولی را با برداشت پروفیل سطح آب و اندازه‌گیری بردارهای سرعت در نقاط مختلف جریان روی شبکه و حتی در فاصله بین میله‌ها به کمک سرعت سنج لیزری به‌دست آوردند. آن‌ها با رسم بردارهای سرعت روی میله‌ها و بین میله‌های آبرگیر کفی مشبک نشان دادند مولفه‌های قائم بردار سرعت در فضای بین میله‌ها بزرگتر از مولفه‌های قائم سرعت در جریان روی میله‌ها می‌باشد.

عمده‌ترین مشکل در آبرگیرهای کفی مشبک مربوط به گرفتگی شبکه نرده‌ای در اثر رسوبات، یخ و قطعات شناور موجود در آب و تجمع رسوبات رد شده از آشغالگیر در کانال انتقال آب در پایین دست آبرگیر می‌باشد (Pouresmaeil and Maghrebi, 2014). برای رفع این مشکلات در آبرگیرهای کف مشبک، ایده جایگزینی یک محیط متخلخل بجای شبکه آشغالگیر مطرح شده است. در این نوع آبرگیری پس از حفر ترانشه در کف رودخانه، مصالحی با دانه‌بندی مناسب در ترانشه ریخته شده و سپس می‌توان از طریق یک کانال انحراف اقدام به آبرگیری نمود. وجود خلل و فرج در محیط پاره سنگی سبب می‌شود مقداری از آب وارد این محیط شود و بخش دیگری از آب از روی آبرگیر گذشته و به رودخانه هدایت شود. از جمله مزایای این نوع آبرگیر می‌توان به مواردی همچون تامین آب فاقد رسوب و مواد معلق، رعایت موارد زیست محیطی، تحمل شرایط مختلف جوی و مقابله با مشکل یخ زدگی، فرسایش و زنگ‌زدگی، کارایی مناسب در شرایط مختلف هیدرولیکی و عدم تأثیر و تخریب در اثر سیلاب، سهولت ساخت و قابلیت اجرا، ارزانی و دسترس بودن مصالح و مقاومت مناسب در مقابل نیروهای استاتیکی و دینامیکی به علت قرارگیری سازه در دل خاک اشاره کرد. در عین حال دبی کم جریان نسبت به کف‌های مشبک از معایب این نوع از آبرگیرها محسوب می‌شود. با وجود سابقه طولانی برای تحقیقات در کف‌های مشبک در رابطه با کف‌های متخلخل پژوهش‌های اندکی انجام شده است. Kooroshvahid et al. (2010) به بررسی گذردهی جریان در آبرگیرهای کفی با محیط متخلخل در شرایط آب زلال پرداختند. نتایج آنان نشان داد ضریب آبرگیری محیط متخلخل در حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد ضریب آبرگیری با کف مشبک می‌باشد. با افزایش جریان ورودی بالادست، دبی انحرافی نیز افزایش یافت اما این روند افزایش بتدریج با افزایش دبی کاهش یافت. آنان برای تخمین ضریب دبی انحرافی توسط آبرگیر با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و رابطه انرژی بین کانال بالادست و کانال انحراف روابط زیر را ارائه نمودند:

طرفی چون در این پژوهش جریان زلال مورد بررسی قرار گرفت روی بستر بالادست و پایین دست با استفاده از شبکه توری پوشانده شد. در این تحقیق چهار نوع دانه بندی برای محیط متخلخل، سه طول و سه ارتفاع برای آبیگر انتخاب شد و با عبور پنج دبی مختلف از روی آبیگر، در مجموع ۱۸۰ آزمایش انجام گردید تا بتوان میزان تأثیر پارامترهای موثر بر دبی انحرافی را بررسی نمود (جدول ۲). در تمامی آزمایش ها شیب کانال ثابت و برابر ۰/۰۰۵ انتخاب گردید. برای اندازه گیری عمق جریان در کانال از عمق سنج با دقت $\pm 0/1$ میلی متر استفاده شد. در این پژوهش به منظور ارزیابی روابط ارائه شده از شاخص های ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و درصد خطای نسبی برآورد (Error) استفاده شده است که از روابط (۵)، (۶) و (۷) قابل محاسبه اند.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}} \right)^2 \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - y)^2}{n}} \quad (6)$$

$$Error = \frac{\sum |x - y|}{\sum x} \times 100 \quad (7)$$

در روابط بالا، x مقدار مشاهداتی، \bar{x} میانگین مقادیر x ، y مقدار محاسباتی، \bar{y} میانگین مقادیر y و n تعداد داده ها هست.

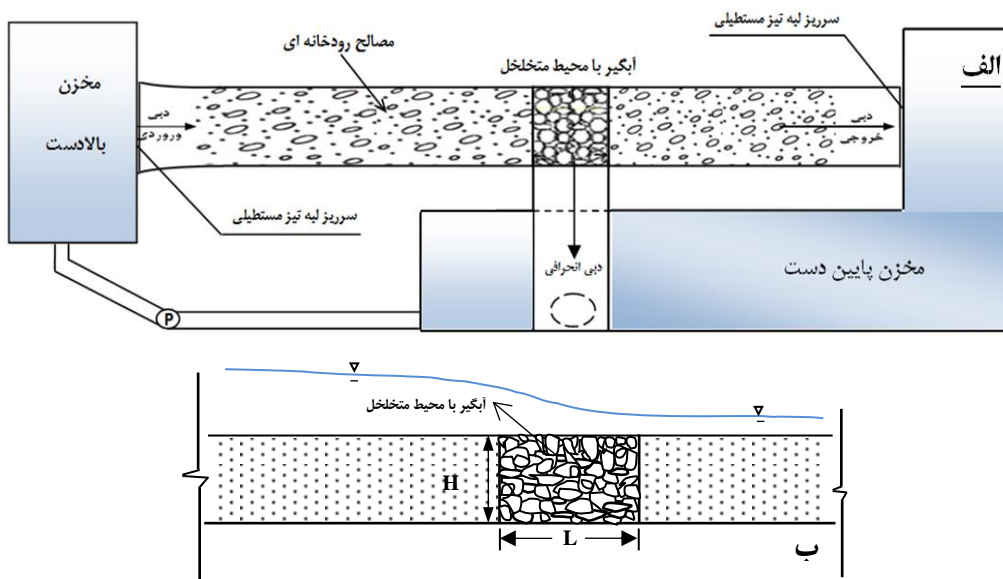
مواد و روش ها

مطالعات آزمایشگاهی این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در کانالی به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۵ متر با جنس دیواره شیشه ای انجام گرفت. آبیگری از محیط متخلخل توسط کانال جانبی عمود بر کانال اصلی به طول یک متر و عرض ۰/۴۵ متر از جنس شیشه انجام شد. شکل های (۱) و (۲) شمای کانال آزمایشگاهی و مدل آبیگر کفی با محیط متخلخل را نشان می دهد. برای اندازه گیری جریان ورودی و جریان عبور نکرده از محیط متخلخل به ترتیب از سرریز مستطیلی در بالادست و پایین دست استفاده شد. دبی انحرافی از محیط متخلخل از تفاوت جریان ورودی به کانال و جریان عبور کرده از روی سرریز پایین دست می آید. به منظور فرارگیری مواد سنگ دانه در کانال یک فضای خالی با سه طول و سه ارتفاع مختلف در فاصله ۵/۵ متری از ابتدای کانال تعبیه شد. این موقعیت بگونه ای در نظر گرفته شد تا شرایط جریان توسعه یافته قبل از آبیگر فراهم گردد. تاکنون نسبت های مختلفی برای محاسبه طول لازم برای توسعه یافتگی جریان ارائه شده که بطور تقریبی در کانال ها آن را ۳۰ تا ۱۰۰ برابر عمق جریان در نظر می گیرند. همچنین با استفاده از روابط مربوط به توسعه لایه مرزی نظیر رابطه $\frac{\delta}{x} = 0.024 / (x/k)^{0.13}$ نیز می توان طول لازم جهت توسعه یافتگی جریان را محاسبه نمود. در این رابطه δ ضخامت لایه مرزی آشفته در فاصله x از شروع جریان و k ارتفاع زبری بستر است (Chow, 1959). در پژوهش حاضر با توجه به رابطه مذکور و حداکثر عمق جریان (۱۰ cm) این طول پنج متر محاسبه گردید. لذا با توجه به شرایط کانال و طول محاسبه شده آبیگر در فاصله ۵/۵ متری از ابتدای کانال قرار گرفت. بستر کانال در بالادست و پایین دست آبیگر با مصالح با دانه بندی مشخص بالا آورده شد. از

جدول ۱- نسبت دبی انحرافی به دبی کل برای دانه بندی های مختلف در آزمایش های (Kooroshvahid et al., 2011)

قطر متوسط ذرات (mm)	نسبت دبی انحراف به دبی ورودی (%)
۸/۵	۲۲/۹-۸۸
۱۱/۵	۲۴/۶-۹۱/۲
۱۴/۵	۲۷/۴-۹۸/۵
۱۷/۵	۲۹/۱-۹۹

شریعتی و همکاران: تاثیر ابعاد و اندازه ذرات آبگیر بر ضریب دبی...



شکل ۱- الف) پلان کانال اصلی، کانال انحراف و آبگیر کفی محیط متخلخل ب) مقطع طولی از آبگیر کفی



شکل ۲- کانال آزمایشگاهی، کانال انحراف و آبگیر کفی محیط متخلخل

جدول ۲- مشخصات پارامترهای آزمایش

نام پارامتر	علامت اختصاری	مقادیر پارامتر برای هر آزمایش
طول آبگیر (cm)	L	۱۵، ۳۰، ۴۵
ارتفاع آبگیر (cm)	H	۱۰، ۱۵، ۲۰
قطر متوسط سنگدانه داخل آبگیر (mm)	G	۹/۷۲، ۱۳/۴، ۱۵/۴، ۱۷/۷۵
تخلخل محیط آبگیر	n	۰/۳۸۷، ۰/۳۸۹، ۰/۳۹۴، ۰/۴۱۳
دبی ورودی آزمایشها (lit/s)	Q _t	۵-۱۷

نتایج و بحث

در تحقیق حاضر با آزمایش بر روی مدل به بررسی میزان دبی انحراف (Q_d) براساس دبی ورودی (Q_t) پرداخته شد. بدین منظور از چهار نوع دانه بندی مختلف برای محیط متخلخل، سه طول و سه ارتفاع (ضخامت) برای آبیگر استفاده شد. در شکل (۳) تغییرات دبی انحرافی در برابر دبی ورودی برای دانه بندی های مختلف محیط آبیگر در طول L_2 (۳۰cm) و ارتفاع H_1 (۱۰cm) رسم شده است. روند تغییرات دبی انحرافی در برابر دبی ورودی حاکی از آنست که با افزایش دبی ورودی میزان دبی انحرافی افزایش می یابد اما درصد دبی انحرافی نسبت به دبی ورودی روند کاهشی دارد به عنوان مثال در دانه بندی G_1 و $Q_t=6/3$ درصد دبی انحرافی نسبت به دبی ورودی (Q_d/Q_t) برابر $29/5$ و همین نسبت در دبی ورودی ۱۷ لیتر بر ثانیه برابر ۱۶ درصد است که این امر می تواند ناشی از افزایش سرعت و کاهش زمان لازم جهت نفوذ و ورود جریان آب بداخل محیط متخلخل در دبی های بالاتر باشد. همچنین با افزایش قطر ذرات محیط آبیگر میزان دبی انحرافی نیز افزایش می یابد به گونه ای که درصد دبی انحرافی در دبی ورودی ۱۷ لیتر بر ثانیه برای دانه بندی G_1 و G_4 به ترتیب برابر ۱۶ و $20/7$ درصد و بدلیل نفوذپذیری بیشتر دانه بندی نوع G_4 می باشد.

شکل (۴) و (۵) روند تغییرات دبی انحرافی در برابر دبی ورودی برای دانه بندی G_2 و G_3 در طول های مختلف آبیگر را نشان می دهد. به ازای یک دبی ثابت با افزایش طول آبیگر از L_1 به L_3 درصد دبی انحرافی افزایش می یابد که میزان این افزایش در دبی های پایین بیشتر می باشد. به منظور بررسی تاثیر ارتفاع آبیگر بر میزان دبی انحرافی تغییرات درصد دبی انحرافی نسبت به دبی ورودی برای دانه بندی های G_3 و G_4 در ارتفاع های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. همان گونه که در شکل (۶) قابل مشاهده است با افزایش ارتفاع آبیگر میزان دبی انحراف نیز افزایش داشته است.

تحلیل ابعادی

کاربرد تحلیل ابعادی در یک پدیده فیزیکی در واقع تعیین رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته پدیده است. پارامترهای موثر در ضریب دبی انحراف یافته توسط آبیگر را می توان به صورت زیر تعریف نمود:

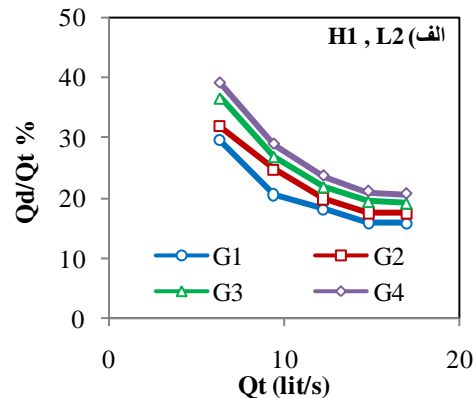
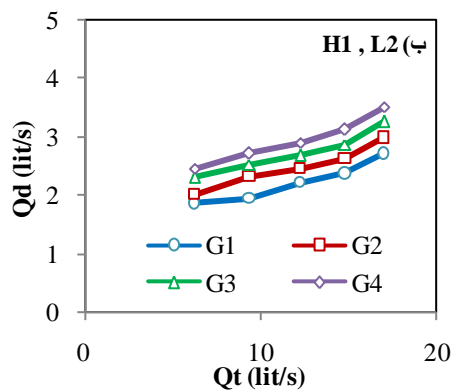
$$C_d = f(V_1, y_1, \rho, \nu, g, n, d_{50}, L, H) = 0 \quad (8)$$

که در آن C_d ضریب دبی انحرافی توسط آبیگر، V_1 سرعت جریان بالادست، y_1 عمق جریان آب بالادست، ρ چگالی، ν لزجت سینماتیک، g شتاب جاذبه، n تخلخل محیط متخلخل، d_{50} قطر متوسط سنگدانه های داخل آبیگر، L طول آبیگر، H ارتفاع آبیگر یا همان ضخامت محیط متخلخل می باشد. با بکاربردن تئوری باکینگهام و فرض پارامترهای d_{50} ، ρ و g به عنوان متغیرهای تکراری، رابطه ای کلی برای تعیین ضریب دبی انحرافی از آبیگر به صورت زیر حاصل می شود

$$C_d = f(Re, \frac{L}{d_{50}}, \frac{y_1}{d_{50}}, \frac{H}{d_{50}}, n) \quad (9)$$

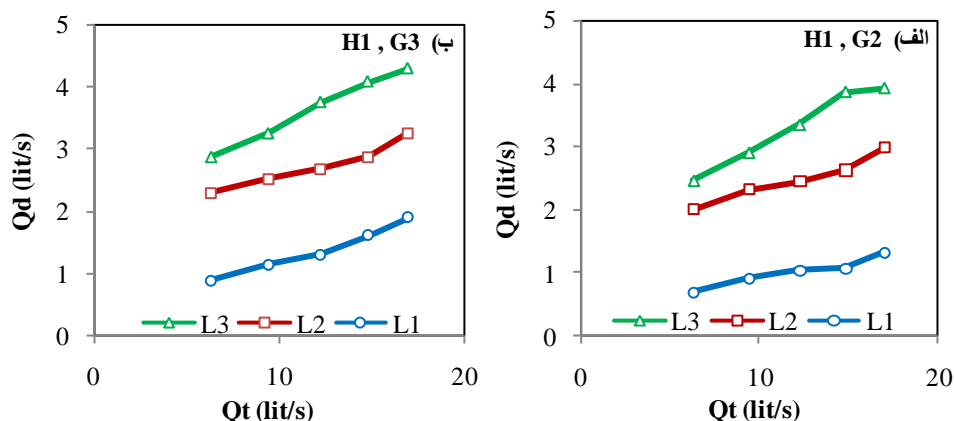
در رابطه فوق $Re = \frac{V_1 d_{50}}{\nu}$ عدد رینولدز سنگدانه های داخل آبیگر می باشد. در تحقیقات قبلی با در نظر گرفتن رابطه (۱) جهت تعیین دبی انحرافی از آبیگر و تحلیل ابعادی صرفاً روابطی برای محاسبه C_d ارائه شده است. اما با استفاده از تحلیل ابعادی و معرفی Q_d و Q_t به عنوان دبی ورودی و دبی انحرافی از آبیگر می توان رابطه زیر را نیز جهت تعیین مستقیم دبی انحرافی توسط آبیگر کفی محیط متخلخل نوشت.

$$\frac{Q_d}{Q_t} = f(Re, \frac{L}{d_{50}}, \frac{y_1}{d_{50}}, \frac{H}{d_{50}}, n) \quad (10)$$

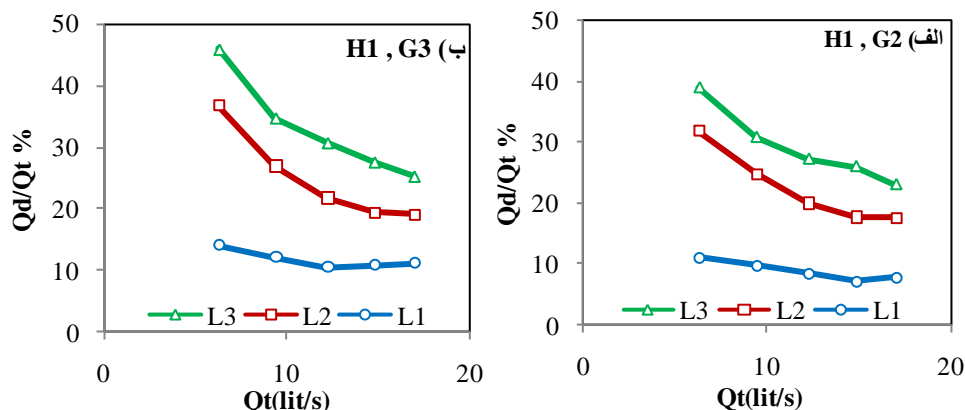


شکل ۳- روند تغییرات دبی انحراف نسبت به دبی ورودی برای دانه بندی مختلف در طول L_2 و ارتفاع H_1

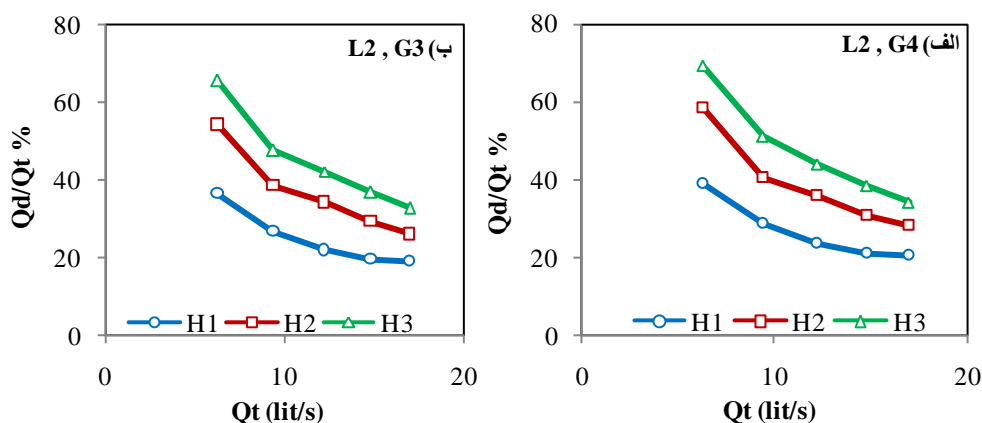
شریعتی و همکاران: تاثیر ابعاد و اندازه ذرات آبگیر بر ضریب دبی...



شکل ۴- تغییرات دبی انحرافی در برابر دبی ورودی برای طول‌های مختلف آبگیر در دانه‌بندی H_1 و ارتفاع G_2 و G_3



شکل ۵- تغییرات درصد دبی انحرافی در برابر دبی ورودی برای طول‌های مختلف آبگیر در دانه‌بندی H_1 و ارتفاع G_2 و G_3



شکل ۶- تغییرات درصد دبی انحرافی در برابر دبی ورودی برای ارتفاعات مختلف آبگیر در دانه‌بندی L_2 و طول G_3 و G_4

گرفت و رابطه (۱۱) بدین منظور به‌دست آمد. جهت ارزیابی روابط ارائه شده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. در رابطه فوق n

بر اساس نتایج به‌دست آمده و به‌منظور بررسی توأم عوامل مؤثر بر ضریب دبی آبگیر کفی متخلخل به کمک نرم افزار SPSS بین متغیرها و پارامترهای بی بعد موجود، برازش چند متغیره انجام

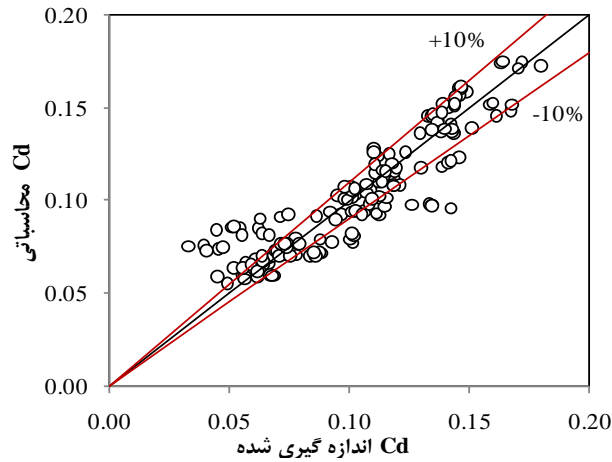
تخمینی رابطه فوق را نشان می‌دهد. برای تخمین دبی انحرافی (Q_d) نسبت به دبی ورودی (Q_i) نیز رابطه (۱۲) که با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و برازش نتایج با کمک نرم افزار SPSS حاصل شده پیشنهاد می‌گردد. شکل (۸) مقایسه مقادیر Q_d بدست آمده در آزمایشگاه با نتایج بدست آمده از رابطه (۱۲) را نشان می‌دهد.

تخلخل محیط آبیگر، y_1 عمق بالادست، d_{50} قطر متوسط سنگدانه‌ها آبیگر، L طول آبیگر، H ارتفاع آبیگر و Re عدد رینولدز سنگدانه‌های داخل آبیگر می‌باشد.

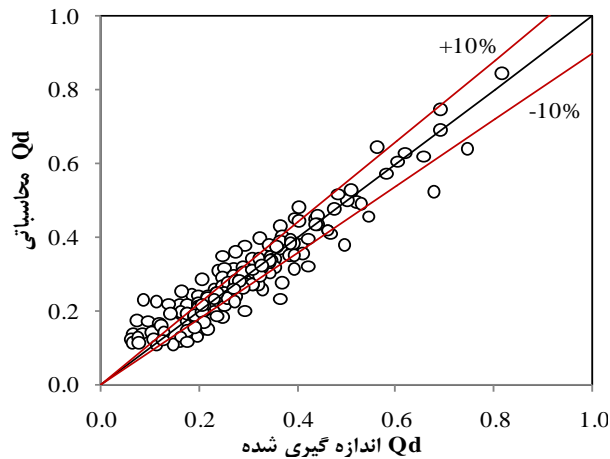
در شکل (۷) مقادیر C_d بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی با نتایج بدست آمده از رابطه (۱۱) مقایسه شده است. پراکنش نقاط حول خط ۴۵ درجه انطباق مناسب بین نتایج آزمایشگاهی و مقادیر

$$C_d = 0.001n^{1.372} \left(\frac{L}{d_{50}}\right)^{0.320} \left(\frac{y_1}{d_{50}}\right)^{-0.383} \left(\frac{H}{d_{50}}\right)^{0.158} Re^{0.586} \quad R^2 = 0.854 \quad (11)$$

$$\frac{Q_d}{Q_i} = 0.659n^{3.213} \left(\frac{L}{d_{50}}\right)^{0.571} \left(\frac{y_1}{d_{50}}\right)^{-1.180} \left(\frac{H}{d_{50}}\right)^{0.558} Re^{0.2} \quad R^2 = 0.894 \quad (12)$$

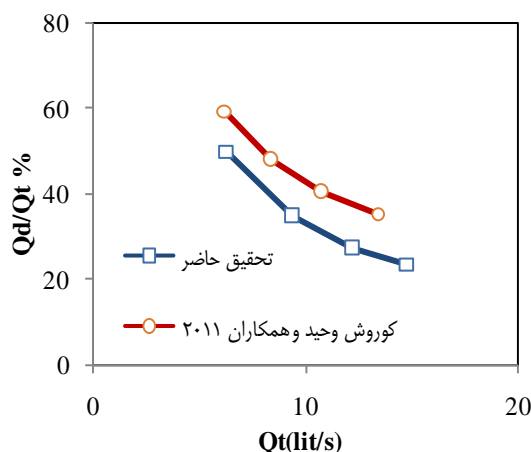


شکل ۷- مقایسه ضریب C_d محاسباتی با اندازه گیری شده با دامنه خطای $\pm 10\%$



شکل ۸- مقایسه ضریب Q_d محاسباتی با اندازه گیری شده با دامنه خطای $\pm 10\%$

شریعی و همکاران: تاثیر ابعاد و اندازه ذرات آبرگیر بر ضریب دبی...



شکل ۹- مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج (Kooroshvahid et al., 2011)

که این اعداد در پژوهش حاضر به ۲۴ تا ۵۰ درصد تقلیل یافته است.

نتیجه گیری

از آنجایی که استفاده از آبرگیرهای کفی مشبک با مشکلات مربوط به نگهداری و تخلیه رسوب، ناپایداری جریان در کانال انحراف، یخ زدن و پوسیدن شبکه فلزی همراه است، استفاده از یک محیط متخلخل برای آبرگیر کفی با توجه به هزینه‌های کمتر طراحی و کارایی بیشتر در بلند مدت می‌تواند روش مناسبی برای آبرگیری از رودخانه‌های کوهستانی باشد. لذا در پژوهش حاضر به بررسی آزمایشگاهی گذردهی جریان در آبرگیرهای کفی با محیط متخلخل پرداخته شد. بدین منظور با در نظر گرفتن طول، ارتفاع و دانه‌بندی مختلف برای محیط متخلخل ویژگی‌های این نوع آبرگیر بررسی شد. همچنین با توجه به متفاوت بودن مدل‌سازی جریان در آبرگیر با شرایط طبیعی در تحقیقات پیشین، در این پژوهش سعی گردید نحوه ساخت مدل آزمایشگاهی به شرایط طبیعی نزدیک‌تر باشد. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش اندازه ذرات، طول و ارتفاع محیط متخلخل، میزان دبی انحرافی از آبرگیر افزایش می‌یابد. کمترین و بیشترین نسبت Q_d/Q_t در آزمایش‌ها ۱۶ و ۸۲ درصد بود که بترتیب به مدل آبرگیرهای با مشخصات $G_4L_3H_3$ و $G_1L_1H_1$ مربوط می‌شد. متوسط ضریب دبی انحرافی توسط آبرگیر در این پژوهش ۰/۱ برآورد گردید. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات قبل حاکی از کاهش ۱۰ دبی انحراف در شرایط جدید را داشت. در نهایت با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و بر اساس برآزش غیرخطی، روابط (۱۱) و (۱۲) برای تخمین ضریب دبی جریان و نسبت دبی انحرافی از آبرگیر به دبی ورودی به آبرگیر در محدوده عدد فرود ۰/۷ تا ۱/۴۱ پیشنهاد شد.

خطای نسبی برآورد (Error) روابط ارائه شده (۱۱) و (۱۲) با استفاده از رابطه (۷) به ترتیب برابر ۳/۴ و ۵/۶ درصد محاسبه شد. همچنین جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) رابطه (۱۱) برابر ۰/۱۳ و در رابطه (۱۲) این عدد برابر ۰/۰۴۸ می‌باشد.

مقایسه نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر با نتایج Kooroshvahid et al. (2011) حاکی از کاهش دبی انحرافی در شرایط جدید می‌باشد، به گونه‌ای که میانگین ضریب دبی محاسبه شده با استفاده از روابط (۲) و (۳) حدود ۰/۳ بوده، که این عدد در تحقیق حاضر به ۰/۱ کاهش یافته است. این امر می‌تواند ناشی از تغییر شرایط آزمایش‌ها و ایجاد کانال انحرافی بصورت عمود بر کانال اصلی باشد. در آزمایش‌های محققین پیشین جریان پس از ورود به آبرگیر موازی با جریان ورودی از آبرگیر خارج و تغییر در خطوط جریان ایجاد نمی‌گردید، اما در این تحقیق با توجه به عمود بودن کانال انحراف به کانال اصلی، جریان ورودی به آبرگیر مجبور است با تغییر مسیر وارد کانال انحراف گردد که بنظر می‌رسد این امر بدلیل انحنای خطوط جریان و افزایش افت باعث کاهش میزان دبی عبوری از آبرگیر شده است. در شکل (۹) نتایج پژوهش حاضر با Kooroshvahide et al. (2011) مقایسه شده است. این مقایسه به گونه‌ای انجام شد که شرایط آزمایش و نوع دانه‌بندی محیط متخلخل برای هر دو آزمایش مشابه باشد. همان‌گونه که در شکل قابل مشاهده است نسبت دبی انحراف به دبی ورودی در تحقیق حاضر نسبت به تحقیق Kooroshvahide et al. (2011) کاهش یافته است، به گونه‌ای که نسبت دبی انحراف به دبی ورودی در نتایج Kooroshvahide et al. (2011) بین ۳۵ تا ۶۰ درصد بوده

منابع

1-Bina, K., Maghrebi, M.F. and Abrishami, J., 2012. Experimental investigation of discharge coefficient in mesh panel bottom. *Journal of Water and Wastewater*, 1, pp.24-33. (In Persian).

- 2-Brunella, S., Hager, W.H. and Minor, H.E., 2003. Hydraulics of bottom rack intake. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(1), pp. 2-10.
- 3-Chow, V.T., 1959. *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Book Co, New York, NY.
- 4- Kooroshvahid, F., Esmaili, K., Maghrebi, M.F., Alizadeh, A. and Naghavi, B., 2010. Flow discharge in bottom intakes with porous media. *Journal of Water and Soil*. 24(2), pp.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. *Special Topics & Reviews in Porous Media-An International Journal*, 2, pp. 301-311.
- 6-Kumar, S. and Ahmad, Z., 2015. Experimental investigation on ingestion of sediment into trench weirs. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 21, pp.343-352.
- 7-Kumar, S., Ahmad, Z. Kothyari, U.C. and Mittal, M.K., 2010. Discharge Characteristics of a Trench Weir. *Flow Measurement and Instrumentation*. 21, pp. 80-87.
- 8- Orth, J., Chardonnet, E. and Meynardi, G., 1954. Study of bottom type water intake grids. *Houille Blanche*. 3, pp. 343-351.
- 9.Pouresmaeil, S. and Maghrebi, M.F., 2014. Experimental study on hydraulic characteristics of porous bottom intake in clear water. *Journal of Water and Soil*. 28(1), pp.35-45.(In Persian).
- 10- Righetti, M. and Lanzoni, S., 2008. Experimental Study of the Flow Field over Bottom Intake Racks. *Journal of Hydraulic Engineering*. 134, pp. 15-22.



EXTENDED ABSTRACT

Effect of Intake Particle Dimension and Grain Size on Discharge Coefficient in Porous Bottom Intakes Using Physical Modeling

H.Shariati¹, S.R. Khodashenas^{2*} and K.Esmaili³

1- Ph.D. Graduate, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.

2- *Corresponding Author: Professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.(*khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir*).

3-Associate Professor., Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.

Received:7 July 2016

Accepted:31 January 2017

Keyword: Bottom intake, Mountainous River, Porous media, spatially varied flow.

Introduction

Water intake from the river is done using several methods. Each method has its own features and limitations. In steep mountain rivers with irregular bed, high values of sediment transport and flash floods may prevent the application of gated dams; therefore, the bottom intakes are often used. In this method, in some part of the river width and length, a trench is created with a proper cross section and water is flowed through this trench into the diversion channel. In order to prevent the coarse particles to enter, top of the trench is covered with bottom rack bars. Corrosion of the bars, clogging, and maintenance are the common problems of bottom racks, which make them unusable in long term. To solve these problems, a new system of bottom intake with porous media is introduced. In this method, after trenching in the river bed, materials with appropriate aggregation are dumped in the trench and water intakes from the river through a diversion channel. This means that a portion of flow into the porous media; then move to the diversion channel. Another portion of the water passes over the bottom intake and finally drive to the river. Usage of the porous media has, however, many limitations; but it has some advantages, such as, no suspended solids in the water, respect for the environmental problems, no change in natural morphology of the river, withstanding in different weather conditions, and dealing with the problem of freezing, and corrosion, easy to construct and applicability, affordability and availability of materials. Despite a long history of research in thre field of bottom rack intakes, few studies about these structures with porous media have been previously done. In previous experiments, in order to separate the diverted flow from the non-passed flow, a bottom intake with porous media with a diversion channel parallel to the main channel was used, so that the diverted flow was unidirectional to the main channel. But, in practice, diversion channel in the bottom intakes is usually performed perpendicular to the main channel. Therefore, it affects the hydraulic parameters and diverted discharge. Besides, in previous experiments, by considering the constant height and length, the effect of these two factors has not been investigated for the intake. Therefore, in the present study, in order to precisely investigate the hydraulic behavior of the bottom rack intakes, in addition to the implementation of a channel perpendicular to the main channel as a diversion channel, various factors such as the length and height of the intake, the effects of uniformity of particles and different slopes of intake have been experimentally investigated. The results of experiments on laboratory models in this study may reveal some of the unknown points in application of this method and it provides the possibility of design and operation of this structure in the natural environment.

Methodology

In order to model a bottom intake with porous medium and to 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 and height ($L_1=15$ cm, $L_2=30$ cm, $L_3=45$ cm) ($H_1=10$ cm, $H_2=15$ cm, $H_3=20$ cm). The inner surrounding of intake was filled with four different types of gravel with the average diameters of $P_1=9.72$ mm, $P_2=13.41$ mm, $P_3=15.30$ mm, $P_4=17.75$ mm. In every experiment by passing different discharges over the intake, the rate of the diverted discharge was measured. Rectangular weir was selected at the end and beginning of the main flume to measure the flowrate.

Results and Discussion

The results showed that inflow discharge increases the rate of diverted discharge but the proportion of diverted discharge to inflow discharge is decreasing. Grain size of the porous media has a great influence on the diverted flow. By increasing the grain size, the void spaces of granular material increases, and consequently, the diverted flow increases. Therefore, that grain size P_4 has the highest rate of diverted discharge. The result of void space increasing in this kind of grain size. Researching on diverted discharge with different length and height showed increasing intake length and height from L_1 to L_3 , H_1 to H_3 causes increasing in diverted discharge. The results of this study indicated the reduction of diverted discharge at the new conditions. The ratio of diverted discharge to the inflow rate in Kooroshvahid, et al (2011)' experiments was in the range of 35 to 60 percent; while this ratio is decreased and it is in the range of 24 to 50 percent.

Conclusions

In mountain rivers, bottom rack intakes are suitable method, but given the limitations these types of intakes, the application of the bottom intakes with porous media can be a viable alternative for bottom rack intakes. Therefore, in this study, an experimental study of flow conductivity in bottom intake with porous media was performed. For this purpose, by taking into account the length, height and aggregates with different grain size distributions for porous media, the characteristics of these intakes were investigated. Finally, by using dimensional analysis, experimental data and multivariate regression, a new equation to estimated diverted discharge coefficient with coefficient of determination $R^2=0.854$, was suggested. The theoretical predictions in comparison with the experimental results have shown good consistency.

References

- 1-Brunella, S., Hager, W.H. and Minor, H.E., 2003. Hydraulics of bottom rack intake. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(1), pp. 2–10.
- 2-Kooroshvahid, F., Esmaili, K. and Naghavi, B., 2011. Experimental Study on Hydraulic Characteristics of Bottom Intake with Granular Porous Media. *Special Topics & Reviews in Porous Media-An International Journal*, 2, pp. 301-311.
- 3-Kumar, S. and Ahmad, Z., 2015. Experimental investigation on ingestion of sediment into trench weirs. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 21, pp.343-352.
- 4-Righetti, M. and Lanzoni, S., 2008. Experimental Study of the Flow Field over Bottom Intake Racks. *Journal of Hydraulic Engineering*. 134, pp. 15-22.