

بررسی گذردهی جریان در آبگیرهای کفی با محیط متخلخل

فاطمه کوروش وحید^{۱*} - کاظم اسماعیلی^۲ - محمود فغفور مغربی^۳ - امین علیزاده^۴ - بنیامین نقوی^۵

تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۳

تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۱۷

چکیده

یکی از مناسبترین روش‌های انحراف جریان در رودخانه‌های پرشیب بکارگیری آبگیر کفی می‌باشد. گزینه آبگیر کفی با محیط متخلخل شیوه جدیدی برای انحراف جریان جهت جایگزینی با آبگیرهای با کف مشبک است. برای بررسی اثر خصوصیات هیدرولیکی جریان، موثر بر میزان دبی انحرافی مدلی آزمایشگاهی طراحی گردید که در آن امکان اندازه‌گیری جریان ورودی، جریان انحرافی و جریان باقی مانده (عبور نکرده از محیط متخلخل) مد نظر بوده است. در این تحقیق تأثیر توأم عواملی همچون شیب سطح بالایی آبگیر و اندازه ذرات محیط متخلخل در دبی‌های مختلف بر میزان جریان انحرافی (در حالت جریان آب زلال) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش جریان ورودی نرخ تغییر دبی انحراف ابتدا زیاد و سپس به صفر می‌رسد. همچنین با افزایش شیب سطح بالایی آبگیر میزان انحراف جریان کاهش می‌یابد. اندازه ذرات محیط متخلخل نیز بر میزان دبی انحراف تأثیر قابل ملاحظه داشته چنانکه با افزایش اندازه ذرات، میزان دبی انحرافی روند افزایشی را نشان می‌دهد. از نتایج آنالیز ابعادی و آزمایشگاهی برای تعیین مقدار ضریب جریان محیط متخلخل استفاده گردید. تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد مقدار این ضریب در حدود ۰/۱ است. در نهایت رابطه‌ای نیز برای برآورد مقدار جریان عبوری از آبگیر کفی با محیط متخلخل پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: آبگیر کفی، محیط متخلخل، ضریب شدت جریان، جریان‌های با سطح آزاد

مقدمه

(۸). درابیر^۷ (۵) با استفاده از مدلی با ابعاد واقعی، تحقیقاتی بر روی آبگیر کفی با کف مشبک انجام داد. در این تحقیق شیب بهینه برای کف مشبک بین ۲۰ و ۳۰ درصد بدست آمد.

انحراف جریان از نظر هیدرولیکی در دو روش آبگیری از طریق کف مشبک و آبگیری بصورت محیط متخلخل در کف با یکدیگر متفاوت است. زیرا عبور جریان از کف مشبک رفتار روزنه‌ای دارد، در حالیکه عبور جریان از محیط متخلخل بسته به رژیم جریان در این محیط، متغیر خواهد بود. این دو روش آبگیری دارای شباهت‌هایی نیز می‌باشند. با توجه به اینکه جریان اصلی بر روی آبگیر در هر دو روش، متغیر مکانی با دبی کاهشی می‌باشد لذا پروفیل‌های تشکیل شده بر روی سطح آب بسیار شبیه به هم پیش بینی می‌شود (۲).

نرخ تغییر دبی انحرافی در آبگیرهای کفی با کف مشبک در واحد عرض با فرض خروجی به صورت روزنه با رابطه زیر بیان می‌شود (۹):

$$\frac{dq}{dx} = C_d \varepsilon \sqrt{2gY} \quad (1)$$

که در آن dq دبی انحرافی در طول بخشی از شبکه طولی dx در واحد عرض، ε عبارتست از مساحت بازشدگی به مساحت کل، C_d ضریب دبی و Y هد هیدرولیکی است. مشخصاً مقادیر C_d به

روش آبگیری از کف یکی از کارآمدترین و مطمئن‌ترین راه‌های آبگیری از رودخانه‌های کوهستانی با شیب تند و همراه با رسوبات درشت دانه است (۳). در روش آبگیری از کف رودخانه با کف مشبک پس از حفر یک ترانشه با مقطع مناسب در جهت عرضی، در قسمتی یا تمامی عرض رودخانه اقدام به جمع آوری و انحراف جریان عبوری می‌شود (۱). برای جلوگیری از ورود ذرات درشت بستر معمولاً از یک شبکه فلزی برای پوشش روی کانال انحراف استفاده می‌گردد. استفاده از شبکه فلزی مشکلاتی به همراه دارد که از جمله مهمترین آنها مشکلات مربوط به نگهداری و تخلیه رسوبات از سیستم، ناپایداری جریان در کانال انحراف، یخ زدن و پوسیدن است.

اولین تعریف هیدرولیکی از آبگیرهای کفی توسط اورت^۶ و همکاران در سال ۱۹۵۴ در کانالی با شیب ۲۰ درصد ارائه شده است

۱، ۲، ۴ و ۵- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، استاد و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (* نویسنده مسئول: Email: f_kooroshvahid@yahoo.com)
۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

آماده سازی مدل فیزیکی

مدل مورد نظر در فلوم موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ سانتی متر و ارتفاع ۵۰ سانتی متر اجرا گردید. به منظور مدل سازی محیط متخلخل در فلوم موجود، یک فضای خالی (ترانشه) به فاصله ۵ متر از ابتدای کانال در نظر گرفته شد. برای تفکیک جریان عبور کرده از محیط متخلخل و جریان باقیمانده لازم بود کانال در قسمت پایین دست آبگیر کفی دو طبقه اجرا شود طوری که جریان عبور کرده از محیط متخلخل از قسمت پایینی و جریان باقیمانده از قسمت فوقانی آن بطور مستقل عبور نمایند. بنابراین کانالی دو طبقه از ورق پلکسی گلس در بالادست و پایین دست محل تعیین شده برای آبگیر ساخته شد. تراز کف کانال فوقانی (پایین دست آبگیر) نیز بر مبنای برآوردهای اولیه از بیشترین عمق احتمالی در کانال پایین دست برابر ۱۰ سانتی متر بدست آمد. به جهت اندازه گیری میزان جریان ورودی و جریان باقیمانده (عبور نکرده از محیط متخلخل) دو سرریز مستطیلی به ترتیب در پایین دست مخزن ابتدایی کانال (ورودی جریان به کانال) و سرریز دیگری در پایین دست در قسمت شیبدار آن نصب گردید و دبی انحرافی از محیط متخلخل نیز از اختلاف جریان ورودی و جریان عبور کرده از سرریز پایین دست بدست آمد. برای کاهش تلاطم جریان یک آرام کننده بعد از سرریز ابتدایی و آرام کننده دیگری قبل از سرریز پایین دست قرار داده شد تا به این ترتیب جریان با سرعتی کم و بدون تلاطم زیاد ناشی از افت تراز کف کانال به سرریز نزدیک گردد (شکل ۱).

به منظور شبیه سازی آبگیر کفی با محیط متخلخل، سه محفظه از جنس آهن گالوانیزه با شیبهای سطح بالایی K_p (ناشی از اختلاف ارتفاع دیواره بالادست و پایین دست) صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد، عرض ۳۰ و طول ثابت ۲۰ سانتی متر ساخته شد. ارتفاع دیواره پایین دست محفظه ها ثابت و ۱۰ سانتی متر انتخاب گردید و ارتفاع دیواره بالادست مطابق با تراز کف کانال بالادست آبگیر در ارتفاع های ۱۰، ۱۲ و ۱۴ سانتیمتر تغییر داده شد (شکل ۲). از آنجا که جریان ورودی به محیط آبگیر فقط امکان خروج از دیواره پایین دست را داشت، برای جلوگیری از حرکت سنگدانه ها در اثر عبور جریان، میله هایی به قطر ۱/۵ میلیمتر بصورت موازی و در فواصل معین در دیواره پایین دست محفظه ها نصب گردید. یک توری گالوانیزه نیز برای پوشش روی سنگدانه ها جهت جلوگیری از حرکت سنگدانه ها از سطح محیط متخلخل به کانال فوقانی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳).

در این تحقیق چهار نوع دانه بندی (بروش الک استاندارد ASTM) و با قطر متوسط d_{50} به ترتیب ۸/۵، ۱۱/۵، ۱۴/۵ و ۱۷/۵ میلیمتر و نماد P1، P2، P3 و P4 برای محیط متخلخل و از مصالح رودخانه ای انتخاب شد تا اثر اندازه ذرات محیط متخلخل بر میزان جریان انحرافی توسط آبگیر مورد بررسی قرار گیرد.

تعریف هد هیدرولیکی وابسته است. مقادیری که محققین تاکنون به جای Y در رابطه ۱ در نظر گرفته اند، شامل D مقدار محلی عمق متوسط جریان در طول کانال، H_0 هد ویژه جریان عبوری از شبکه، $D(x)$ عمق جریان محلی و E_0 مقدار انرژی مخصوص در مقطع بالادست می باشد. بررسی تحقیقات انجام گرفته نشان می دهد تاکنون تعریف مشخص و ثابتی از هد هیدرولیکی مربوطه که بتوان در معادله ۱ بکار برد، ارائه نشده است (۹). در تحلیل تئوری رابطه ۱ فرض می شود که میدان جریان روی شبکه آبگیر یک بعدی بوده (۱۱) و استهلاک انرژی در طول آن یا خیلی جزئی است و یا در دو سوی شیب کف متعادل می باشد (۷). اندازه گیری سرعت سطح آزاد توسط برونلا^۱ و همکاران (۴) اثبات می کند که اثرات استهلاکی به جز در انتهای شبکه جزئی است. در جریان های متغیر مکانی از نوع کاهشی، کاسته شدن جریان باعث تغییرات قابل ملاحظه و آنی در جریان نمی شود و لذا افت انرژی را می توان مساوی صفر قرار داده و از معادله انرژی در روابط استفاده کرد (۱۰).

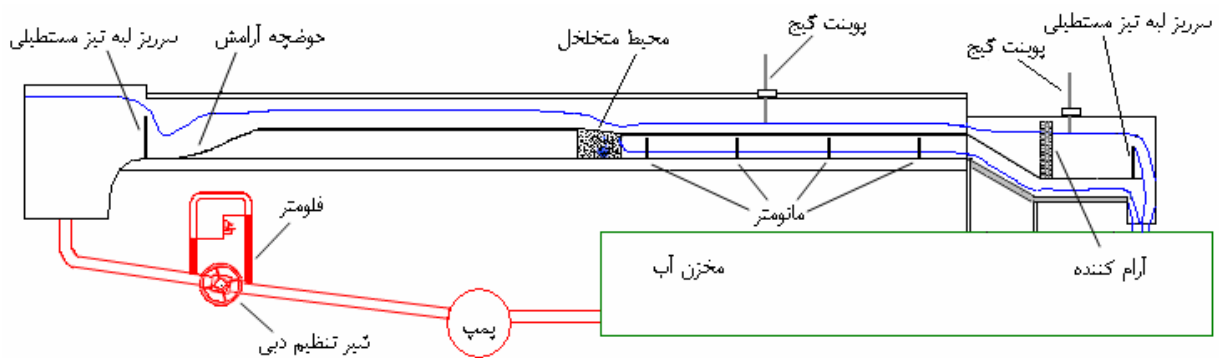
در هیدرولیک جریان محیط متخلخل (سنگدانه ای)، سرعت جریان به دو صورت تعریف می شود. سرعت ظاهری V که از تقسیم دبی جریان بر سطح مقطع کلی جریان (سطح عمود بر جریان شامل فضای خالی و سنگدانه) بدست می آید. چون در محیط متخلخل سطح مقطع جریان ثابت نیست، لذا مقدار متوسط آن در محاسبات استفاده شده و سرعت متوسط ظاهری بدست می آید:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (۲)$$

و سرعت واقعی جریان V_n که از تقسیم دبی بر سطح فضای عبوری جریان (فضای بین سنگدانه ها) و یا سرعت ظاهری بر تخلخل حاصل می شود (۶):

$$V_n = \frac{V}{n} = \frac{Q}{nA} \quad (۳)$$

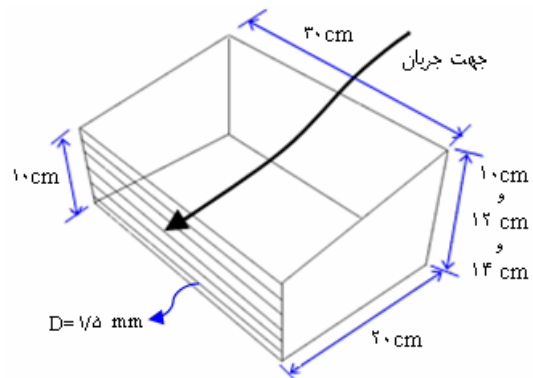
در این تحقیق به بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان در کانال اصلی و خصوصیات هندسی ذرات محیط سنگدانه ای بر میزان جریان عبوری از آن پرداخته می شود. ارائه رابطه ای جهت برآورد دبی انحرافی از آبگیر کفی با محیط متخلخل و نیز تخمین ضریب گذردهی جریان از محیط متخلخل از اهداف مورد نظر می باشد. برای این منظور نخست پارامترهای هیدرولیکی موثر در این پدیده معرفی شده و سپس با بکارگیری آنالیز ابعادی گروه های بدون بعد موثر تعیین و با استفاده از برازش غیر خطی روابطی برای ضریب شدت جریان ارائه می شود.



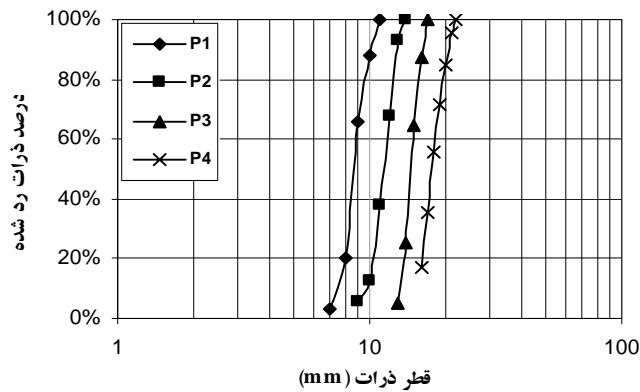
(شکل ۱) - نمای کلی از مدل فیزیکی آبگیر کفی با محیط متخلخل



(شکل ۳) - نمای کلی از محیط متخلخل آبگیر



(شکل ۲) نمای سه بعدی از فضای محیط متخلخل



(شکل ۴) - منحنی دانه بندی سنگدانه ها در محیط متخلخل

در تمامی آزمایشات K_0 شیب فلوم برابر 0.05 و تغییرات دبی جریان بین $3/4$ تا $23/8$ لیتر بر ثانیه بود. اندازه‌گیری عمق جریان در کانال بالادست توسط عمق سنج با دقت ± 0.1 میلی‌متر و در کانال تحتانی بوسیله مانومتر با دقت ± 0.5 میلی‌متر انجام گرفت. روند آزمایشات نیز بدین ترتیب در نظر گرفته شد که در هر شیب سطح

کنترل ضریب یکنواختی مواد دانه‌بندی شده نشان داد مقدار $C_u < 1/2$ می‌باشد. غیریکنواختی ذرات موجب کاهش فضای خالی بین ذرات درشت‌تر در اثر قرارگیری ذرات ریزتر بین آنها گشته و کاهش جریان انحرافی را در پی خواهد داشت. منحنی دانه‌بندی مواد انتخابی در شکل ۴ آورده شده است.

انحرافی نسبت به دبی ورودی Q_d/Q_t در $Q_t = 3/4 \text{ lit/s}$ برابر با ۱۰۰٪ و در $Q_t = 23/8 \text{ lit/s}$ برابر با ۲۶٪ می‌باشد.

آبگیر، چهار دانه‌بندی و در هر دانه‌بندی ۸ دبی انتخابی در جریان آب زلال مورد آزمایش قرار گیرد.

بررسی نتایج

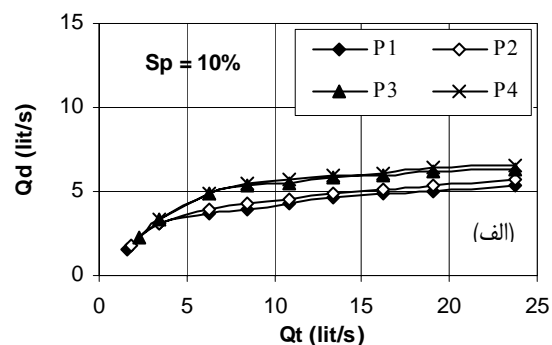
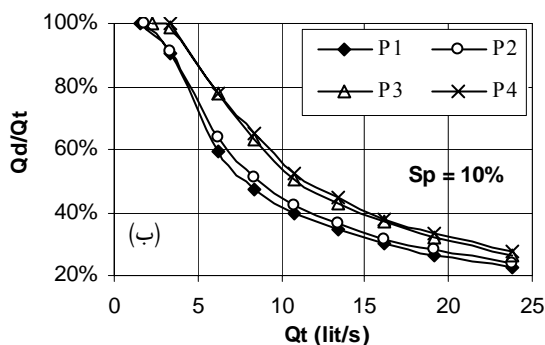
گذردهی جریان از محیط متخلخل

اندازه ذرات در محیط متخلخل از عوامل موثر بر میزان جریان انحرافی می‌باشد چنانکه با افزایش اندازه ذرات، درصد دبی انحرافی روند افزایشی نشان می‌دهد (شکل ۶). به عنوان مثال مقایسه دو دانه‌بندی P1 و P4 در $S_p = 0$ نشان می‌دهد میزان درصد دبی انحرافی Q_d/Q_t در $Q_t = 23/8 \text{ lit/s}$ برای P1 برابر با ۲۳٪ و برای P4 برابر با ۲۹٪ می‌باشد. روند کلی حاکی از آن است که دانه‌بندی P4 نسبت به دانه‌بندی‌های ریزتر، دبی بیشتری را از خود عبور می‌دهد که ناشی از بیشتر بودن فضاهای خالی در این دانه‌بندی است. همچنین در تمام S_p ها به ازاء هر مقدار مشخص از d_{50} نسبت دبی انحرافی با کاهش دبی افزایش می‌یابد. از سویی روند تغییرات دبی حاکی از آنست که در دبی‌های بیشتر روند افزایش درصد جریان انحرافی با افزایش قطر متوسط ذرات از شیب کمتری برخوردار است. نتایج مقایسه سه شیب سطح آبگیر نیز نشان می‌دهد به ازاء یک مقدار مشخص d_{50} درصد دبی انحرافی در شیب‌های زیاد، کمتر از شیب‌های کم است.

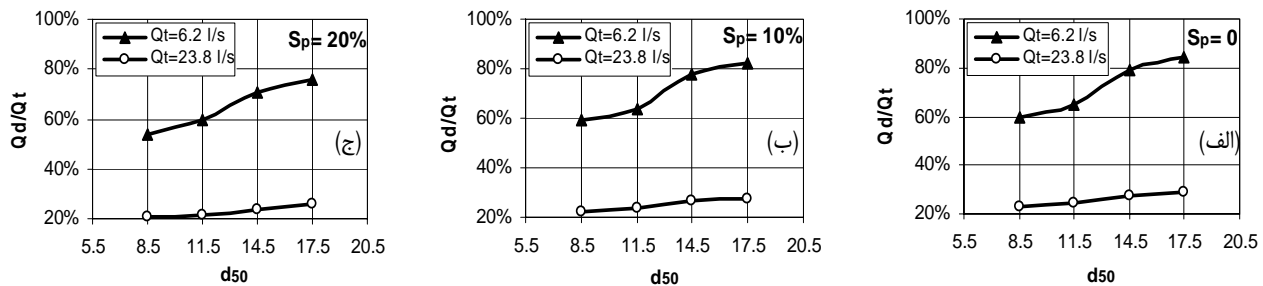
تأثیر شیب سطح بالایی محیط متخلخل

نتایج نشان می‌دهد با افزایش S_p انحراف جریان کاهش می‌یابد. در شکل ۷ مقایسه سه شیب سطح آبگیر برای دو نوع دانه‌بندی به صورت نمونه آورده شده است. چنانکه ملاحظه می‌گردد با افزایش S_p در هر دبی، میزان درصد دبی انحرافی کاهش نشان می‌دهد که مقدار آن در دبی‌های بالاتر، بیشتر است.

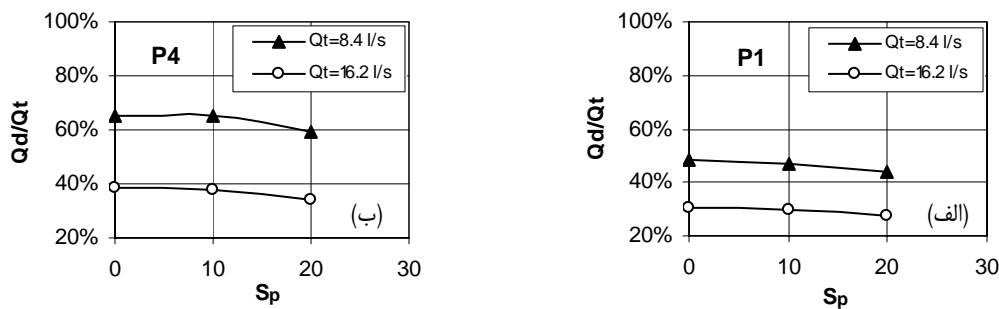
به طور کلی میزان جریان انحرافی توسط آبگیرها تابعی از میزان جریان ورودی است. هر چند با افزایش جریان رودخانه انتظار انحراف جریان بیشتر وجود دارد اما سیستم انحراف تحت هر شرایط هیدرولیکی روند یکسانی در انحراف جریان نشان نمی‌دهد. در این تحقیق با انجام آزمایشات بر روی مدل فیزیکی، نتایج مربوط به میزان انحراف جریان Q_d بر اساس میزان دبی ورودی Q_t در چهار نوع دانه‌بندی مصالح محیط متخلخل و در سه شیب سطح آبگیر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش دبی جاری در کانال بالادست آبگیر، میزان دبی انحراف روند افزایشی داشته که این روند برای تمام انواع دانه‌بندی محیط متخلخل تقریباً یکسان است (شکل ۵ الف). هر چند که روند افزایش دبی انحرافی با افزایش دبی ورودی مشاهده می‌شود اما بتدریج و با افزایش دبی ورودی از میزان افزایش دبی انحرافی کم شده و به مقدار ثابتی می‌رسد. چنانکه، در دانه‌بندی P3 در شیب ۱۰ درصد سطح آبگیر (شکل ۵ الف)، دبی انحرافی در $Q_t = 3/4 \text{ lit/s}$ برابر با $3/4 \text{ lit/s}$ و در $Q_t = 23/8 \text{ lit/s}$ برابر با $6/26$ می‌باشد. این امر به خاطر افزایش سرعت و کاهش درگیری جریان آب با محیط متخلخل در دبی‌های بالا و غلبه نیروهای هیدرودینامیکی بر نیروی ثقل است که مانع از گذر بیشتر آب از کانال تحتانی می‌شود. کاهش شیب نمودارها (شکل ۵ ب) با افزایش دبی ورودی نیز به خوبی نشان می‌دهد که تغییرات دبی انحرافی با افزایش دبی ورودی کاهش می‌یابد و سیستم آبگیری بنابر ظرفیت خود حداکثر دبی معینی را از خود عبور می‌دهد. به عنوان مثال در این شکل، در دانه‌بندی P3 در شیب ۱۰ درصد سطح آبگیر، درصد دبی



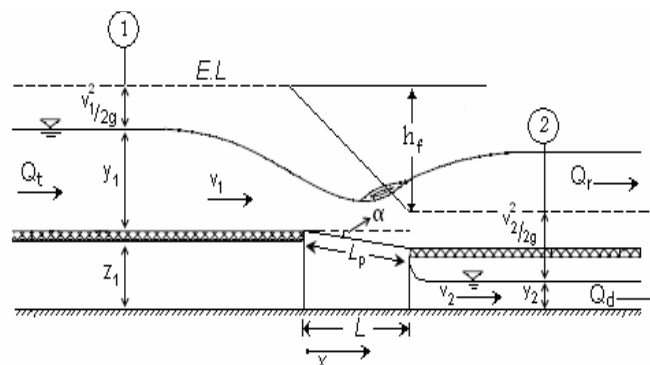
(شکل ۵) - روند تغییر جریان انحرافی در برابر تغییر جریان ورودی



شکل ۶- تأثیر اندازه مواد محیط متخلخل بر گذردهی جریان در سه شیب سطح آبگیر



شکل ۷- تأثیر شیب سطح بالایی محیط متخلخل بر گذردهی جریان در دانه‌بندی P4 و P1



شکل ۸- مشخصات هیدرولیکی انحراف جریان از آبگیر کفی با محیط متخلخل

مدل پیشنهادی دبی انحراف از آبگیر کفی با محیط متخلخل برای دستیابی به مدل مناسبی که بیان‌کننده میزان جریان عبوری از محیط متخلخل باشد رابطه انرژی و پیوستگی مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به شکل (۸) معادله انرژی در طول خط جریان بین دو مقطع ۱ و ۲، در بالادست آبگیر و کانال انحراف به صورت زیر نوشته می‌شود (به علت فاصله کم بین مقطع ۱ و ۲ اثر شیب طولی کانال کم و قابل صرف‌نظر است و کانال به صورت افقی فرض می‌شود):

همچنین از مقایسه نتایج مربوط به دانه‌بندی P4 و P1 مشاهده می‌شود حداکثر دبی انحراف در دانه‌بندی کوچکتر کمتر از مقدار آن در دانه‌بندی بزرگتر است. بنظر می‌رسد این موضوع ناشی از مقاومت بیشتر در عبور جریان از میان ذرات ریزتر نسبت به ذرات درشت‌تر بوده که موجب می‌گردد مولفه افقی سرعت در لایه‌های نزدیک سطح از مقدار بیشتری نسبت به حالت دیگر برخوردار باشد و لذا جریان کمتری از محیط متخلخل عبور نماید. درصد کاهش دبی انحراف از شیب صفر به شیب ۱۰ درصد نسبت به کاهش درصد انحراف از شیب ۱۰ به ۲۰ درصد کمتر محسوس است.

$$Q_d = C_d n L B \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \quad (10)$$

در رابطه ۱۰، $(y_1 - y_2)$ اختلاف سطح آب در بالادست آبگیر و کانال انحراف، g شتاب ثقل، L طول آبگیر، B عرض آبگیر، $A = LB$ سطح مقطع آبگیر و $A_m = nLB$ سطح مقطع جریان در محیط متخلخل سنگدانه‌ای که شامل مجموع سطح فضای خالی بین سنگدانه‌ها که سیال درون آن در صفحه‌ای عمود بر جهت جریان برقرار است. رابطه ۱۰ برای محاسبه مقدار دبی انحراف در آبگیر کفی با محیط متخلخل با سطح افقی کاربرد دارد. با وارد نمودن زاویه شیب سطح بالایی (α) در رابطه ۱۰ می‌توان آن را در حالت کلی برای انواع آبگیر کفی با شیب سطح بالایی و بدون آن بکار برد (رابطه ۱۱):

$$Q_d = C_d n L B \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \rightarrow Q_d = C_d n B \frac{L}{\cos \alpha} \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \quad (11)$$

در صورتیکه به جای $y_1 - y_2$ بتوان H_1 انرژی کل در بالادست (نسبت به مبنای سطح کانال تحتانی) را در نظر گرفت، عوامل مورد نیاز جهت اندازه‌گیری کلاً به مقطع ۱ منتقل شده و رابطه دیگری حاصل می‌شود که مقادیر C_d بدست آمده از آن نزدیک به مقادیر C_d بدست آمده از رابطه پیشنهادی ۱۱ خواهد بود.

$$Q_d = C_d n B \frac{L}{\cos \alpha} \sqrt{2gH_1} \quad (12)$$

در رابطه ۱۲، $H_1 = y_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g}$ انرژی بالادست آبگیر و سایر پارامترها مشابه پارامترهای بکار رفته در رابطه ۱۱ می‌باشند. از آنجایی که اندازه‌گیری هد سرعت همواره با دشواری‌هایی در عمل روبرو است، در صورتیکه تغییرات این هد تقریباً ناچیز باشد به راحتی می‌توان با صرفنظر از آن رابطه ۱۲ را به صورت رابطه ۱۳ معرفی کرد:

$$Q_d = C_d n B \frac{L}{\cos \alpha} \sqrt{2g(y_1 + z_1)} \quad (13)$$

هریک از روابط معرفی شده ۱۱ الی ۱۳ را می‌توان جهت برآورد C_d استفاده نمود. به نظر می‌رسد زمانیکه فرضیات کمتری در محاسبه C_d وارد شده باشد C_d در گستره وسیعتری از Q_d اعتبار و کارایی دارد.

آنالیز ابعادی

با بکارگیری متغیرهای هیدرولیکی و هندسی موثر بر میزان جریان انحرافی می‌توان رابطه‌ای جهت برآورد مقدار ضریب شدت جریان بدست آورد. بدین منظور ابتدا با بکارگیری آنالیز ابعادی متغیرهای بدون بعد موثر بر ضریب شدت جریان از محیط متخلخل مشخص و سپس به بررسی چگونگی تاثیر آنها پرداخته می‌شود. اندازه‌گیری مقدار جریان انحرافی در هر آزمایش و نیز مقادیر اندازه‌گیری

$$y_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (4)$$

با توجه به شرایط آزمایشگاهی مقدار $\frac{V_1^2}{2g}$ نسبت به $\frac{V_2^2}{2g}$ کم

بوده و می‌توان از آن در رابطه ۴ صرفنظر کرد. با عبور جریان از محیط متخلخل و افت انرژی در مسیر حرکت، به نظر می‌رسد سرعت خروجی از محیط متخلخل کمتر از سرعت ورودی باشد اما به لحاظ اختلاف ارتفاع کف کانال بالادست آبگیر و کانال انحراف و اثر نیروی ثقل، تأثیر افت بر سرعت جریان درون محیط متخلخل تعدیل شده، می‌توان رابطه ۴ را به صورت رابطه ۵ نوشت:

$$\frac{V_2^2}{2g} = (y_1 - y_2) + z_1 - h_f \quad (5)$$

در رابطه ۵، h_f افت انرژی در واحد وزن سیال در طول آبگیر می‌باشد. رابطه ۵ بصورت ۶ مرتب می‌شود:

$$V_2 = \sqrt{2g(y_1 - y_2) \left(1 + \frac{z_1 - h_f}{y_1 - y_2} \right)} \quad (6)$$

از آنجا که افت هد h_f نزدیک به اختلاف تراز بین سطح کانال در بالادست و سطح کانال تحتانی می‌باشد، می‌توان از مقدار $\frac{z_1 - h_f}{y_1 - y_2}$ در رابطه ۶ صرفنظر کرد. خطای حاصل از حذف این مقدار توسط C_d ضریب دبی جریان جبران خواهد شد. با فرض نزدیک بودن مقدار سرعت متوسط درون محیط متخلخل به سرعت خروجی می‌توان رابطه سرعت متوسط تئوری درون محیط متخلخل را به صورت زیر معرفی کرد:

$$V = \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \quad (7)$$

طبق رابطه پیوستگی و با در نظر گرفتن سرعت واقعی در محیط متخلخل با توجه به رابطه ۳، دبی انحرافی در آبگیر کفی با محیط متخلخل در واحد عرض و طول به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{dq}{dx} = C_d n V \quad (8)$$

در رابطه ۸، n تخلخل سنگدانه‌ها، C_d ضریب دبی محیط متخلخل و V سرعت متوسط تئوری جریان عبوری از محیط متخلخل می‌باشد. با انتگرال‌گیری از رابطه ۸ در طول آبگیر رابطه‌ای برای دبی انحراف در واحد عرض آبگیر به صورت زیر بدست می‌آید:

$$q_d = C_d n L V \quad (9)$$

مقدار دبی انحراف آبگیر با جایگزینی سرعت از رابطه ۷ در رابطه ۹ به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

می‌یابد. شکل (۹) نشان می‌دهد با افزایش $\frac{y_1}{L}$ ضریب دبی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش قطر متوسط ذرات به ازاء یک مقدار مشخص از $\frac{y_1}{L}$ مقدار ضریب دبی روند افزایشی دارد. در شکل (۱۰) تغییرات C_d در مقابل $\frac{y_1}{d_{50}}$ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود با افزایش نسبت مذکور بر میزان ضریب دبی افزوده می‌شود، همچنین به ازاء یک مقدار مشخص از $\frac{y_1}{d_{50}}$ با افزایش قطر متوسط ذرات ضریب دبی افزایش نشان می‌دهد.

در شکل (۱۱) تغییرات ضریب دبی جریان به صورت تابعی از عدد فرود بالادست ترسیم شده است. با افزایش عدد فرود بالادست ضریب شدت جریان افزایش می‌یابد و به ازاء یک Fr_1 مشخص با افزایش قطر متوسط ذرات، ضریب دبی روند افزایشی نشان می‌دهد. در شکل (۱۲) تغییرات C_d با شیب سطح بالایی محیط متخلخل نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد ضریب دبی جریان با افزایش شیب محیط متخلخل کاهش می‌یابد. با افزایش شیب سطح آبگیر سرعت جریان بر روی آبگیر افزایش یافته و میزان جریان کمتری توسط محیط متخلخل منحرف می‌شود. با توجه به شکل (۱۲) با افزایش دبی به ازاء یک شیب مشخص سطح آبگیر، ضریب دبی افزایش می‌یابد.

شکل (۱۳) نشان می‌دهد C_d تابع تغییرات تخلخل محیط متخلخل نیز می‌باشد. با کاهش قطر متوسط ذرات محیط متخلخل، تخلخل افزایش خواهد یافت که به سبب آن میزان ضریب دبی جریان روند کاهش را نشان می‌دهد. به ازاء یک مقدار مشخص تخلخل نیز با افزایش قطر متوسط ذرات، ضریب دبی افزایش می‌یابد.

شده پارامترهای هیدرولیکی امکان برآورد دبی جریان با استفاده از روابط تئوری و از آنجا تعیین ضریب دبی جریان را فراهم می‌کند. با صرفنظر کردن از اثرات مربوط به کشش سطحی و تراکم‌پذیری مایع، قانون فیزیکی حاکم بر جریان خروجی در طول آبگیر، شکل زیر را به خود می‌گیرد:

$$F(\rho, g, V_1, y_1, n, d_{50}, L, S_p, S_0) = 0 \quad (14)$$

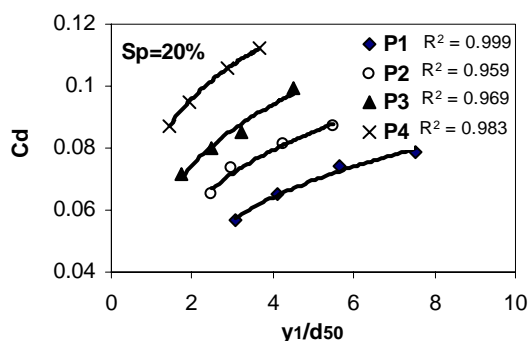
در رابطه فوق ρ چگالی آب، g شتاب جاذبه، V_1 سرعت جریان بالادست، y_1 عمق جریان بالادست، n تخلخل محیط متخلخل، d_{50} قطر متوسط سنگدانه‌ها، L طول آبگیر، S_p شیب سطح بالایی محیط متخلخل و S_0 شیب کانال می‌باشد. با انتخاب y_1, V_1 و ρ به عنوان متغیرهای اصلی و استفاده از قضیه Π باکینگهام داریم:

$$C_d = \phi\left(\frac{y_1}{L}, \frac{y_1}{d_{50}}, Fr_1, n, S_p\right) \quad (15)$$

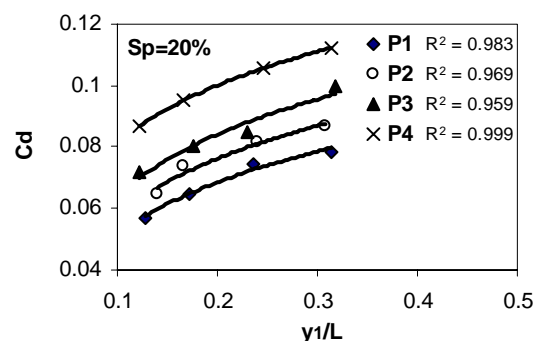
در رابطه فوق $Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$ عدد فرود بالادست است. همچنین با توجه به ثابت بودن شیب طولی کانال S_0 نیز در رابطه ۱۵ منظور نشده است.

بررسی اثر گروه های بدون بعد موثر بر ضریب دبی

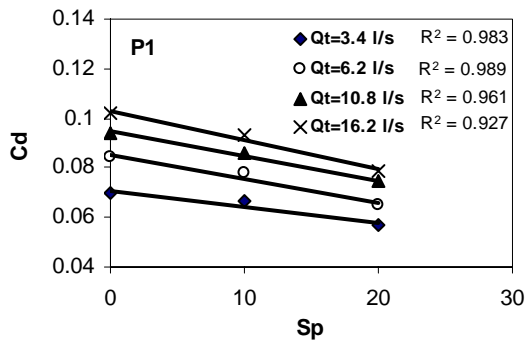
ضریب دبی C_d به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای بدون بعدی است که بصورت ناشناخته‌ای در محیط متخلخل رفتار می‌کند و از پارامترهای کلیدی در طراحی سازه آبگیر می‌باشد. C_d به صورت دبی منحرف شده آزمایشگاهی (و یا میدانی) به دبی منحرف شده نظری تعریف می‌شود. در شکل (۹) اثر نسبت عمق جریان در کانال بالادست به طول آبگیر $\frac{y_1}{L}$ در برابر ضریب دبی C_d نشان داده شده است. با افزایش طول آبگیر به علت افزایش مقاومت در مقابل جریان و افزایش افت‌های منته‌جه از آن ضریب دبی جریان کاهش



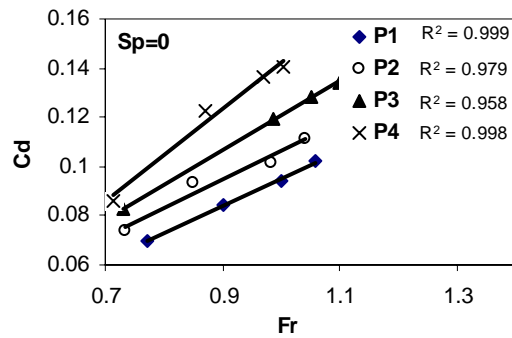
شکل (۱۰) - اثر نسبت عمق آب بالادست به قطر ذرات



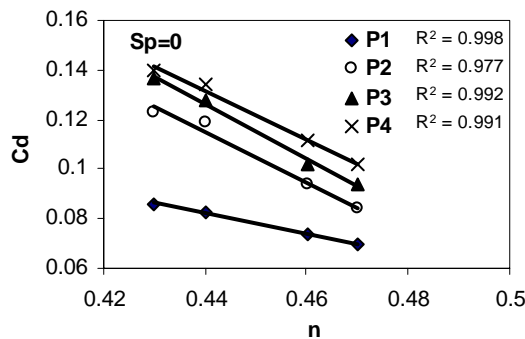
شکل (۹) - اثر نسبت عمق آب بالادست به طول آبگیر



(شکل ۱۲) - اثر شیب سطح آبگیر بر ضریب دبی



(شکل ۱۱) اثر عدد فرود بالادست بر ضریب دبی



(شکل ۱۳) - اثر تخلخل محیط متخلخل بر ضریب دبی

آمد:

$$C_d = 3.625 \times 10^{-5} \frac{Fr_1^{0.739} \left(\frac{y_1}{d_{50}}\right)^{0.509}}{n^{8.518} \left(S_p + \frac{y_1}{L}\right)^{0.363}} \quad R^2 = 91.8\% \quad (16)$$

در رابطه ۱۶، y_1 عمق جریان بالادست، n تخلخل محیط متخلخل، d_{50} قطر متوسط سنگدانه‌ها، L طول آبگیر، S_p شیب سطح بالایی محیط متخلخل و Fr_1 عدد فرود بالادست می‌باشد.

رابطه ۱۶ نشان می‌دهد ضریب دبی با Fr_1 و $\frac{y_1}{d_{50}}$ رابطه مستقیم دارد. این نتیجه حاکی از آنست که با افزایش دبی، گذردهی بطور نسبی افزایش می‌یابد. همچنین ضریب دبی با n و مجموع $\frac{y_1}{L}$ و شیب سطح آبگیر S_p رابطه معکوس دارد. دانه‌بندی‌های ریزدانه تخلخل بالاتری دارند اما حجم بیشتری از فضای آگیری را اشغال می‌کنند لذا دانه‌بندی‌های درشت‌دانه تر گذردهی بهتری خواهند داشت. همچنین با افزایش شیب سطح آبگیر، جریان با سرعت

در این تحقیق با توجه به سه رابطه ارائه شده دبی انحرافی، مقادیر بدست آمده برای ضریب دبی جریان در آزمایشگاه $0.14 < C_d < 0.06$ بدست آمد.

رابطه پیشنهادی ضریب دبی

با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و روش برازش می‌توان رابطه‌ای جهت محاسبه ضریب شدت جریان ارائه کرد. به منظور بررسی عوامل موثر بر روند تغییرات گذردهی آبگیر کفی با محیط متخلخل، با استفاده از نرم افزار SPSS و به روش مرحله‌ای بین متغیرهای موجود برازش چند متغیره صورت گرفت. عواملی که به عنوان متغیر مستقل در معادله برازش مد نظر قرار می‌گیرند باید متغیرهای هیدرولیکی و هندسی حاصل از آنالیز ابعادی را در برگیرند. برای ارائه یک رابطه کلی برای آبگیرهای کفی با سطح فوقانی

افقی و شیب‌دار، مجموع دو پارامتر S_p و $\frac{y_1}{L}$ به عنوان یک پارامتر بی بعد در نظر گرفته شد. بهترین مدل ضریب دبی برای آبگیر کفی از رابطه ۱۱ به صورت غیر خطی با ضریب تبیین (R^2) ۹۱/۸٪ بدست

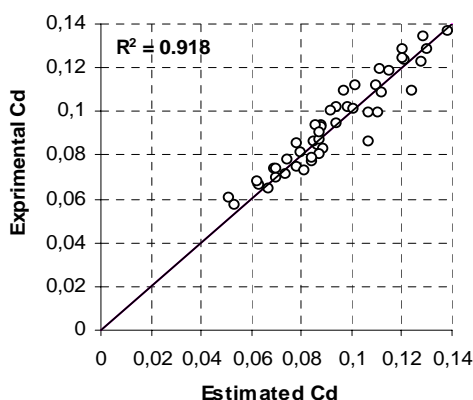
شکل (۱۵) مقایسه مقادیر C_d بدست آمده در آزمایشگاه با نتایج بدست آمده از رابطه ۱۷ را نشان می‌دهد.

در صورتیکه رابطه ۱۳ مبنای محاسبه C_d قرار گیرد، بطور مشابه با روابط ۱۶ و ۱۷ می‌توان رابطه‌ای با برازش غیر خطی ارائه نمود. به منظور لحاظ نمودن اثرات هد سرعت در بالادست با توجه به حذف این عامل در معادله ۱۳ بنظر می‌رسد ارائه دو رابطه مجزا که اثرات جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی را بر روی ضریب دبی لحاظ نماید، ضروری می‌باشد. با سعی و خطای انجام شده مشاهده شد که این روابط از ضرایب تبیین بالاتری برخوردار خواهند بود. روابط حاصل در معادلات ۱۸ و ۱۹ به ترتیب برای جریان‌های زیر بحرانی و فوق بحرانی ارائه شده‌اند:

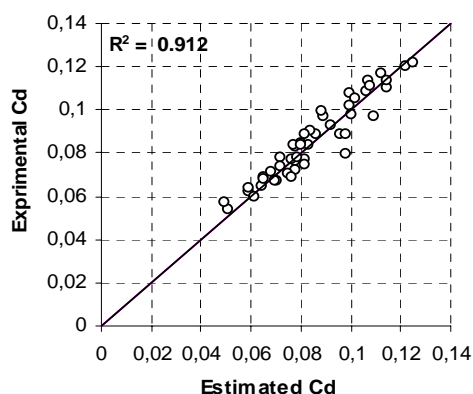
بیشتری از روی آبگیر عبور کرده و کمتر وارد محیط متخلخل می‌شود.

در شکل (۱۴) مقادیر C_d بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی با نتایج بدست آمده از رابطه ۱۶ جهت مقایسه حول خط ۴۵ رسم شده‌اند. پراکنش ناچیز نقاط حاکی از انطباق خوب بین مقادیر ضریب دبی از رابطه ۱۶ و مقادیر آزمایشگاهی می‌باشد. همچنین رابطه C_d با توجه به رابطه ۱۲ و با استفاده از برازش غیر خطی به صورت زیر بدست آمد:

$$C_d = 6.17 \times 10^{-5} \frac{Fr_1^{0.664} \left(\frac{y_1}{d_{50}} \right)^{0.440}}{n^{7.877} \left(S_p + \frac{y_1}{L} \right)^{0.332}} \quad R^2 = 91.2\% \quad (17)$$



(شکل ۱۴) - مقایسه نتایج ضریب دبی جریان آزمایشگاهی با نتایج محاسباتی از معادله ۱۶



(شکل ۱۵) - مقایسه نتایج ضریب دبی جریان آزمایشگاهی با نتایج محاسباتی از معادله ۱۷

$$C_d = 1.48 \times 10^{-5} \frac{Fr_1^{0.447} \left(\frac{y_1}{d_{50}} \right)^{0.719}}{n^{9.565} \left(S_p + \frac{y_1}{L} \right)^{0.219}} \quad R^2 = 93.2\% \quad \text{جریان زیربحرانی:} \quad (18)$$

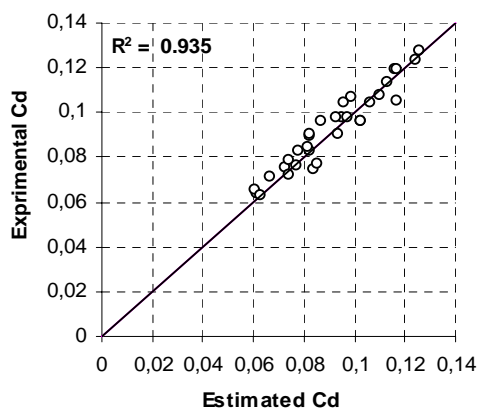
$$C_d = 2.252 \times 10^{-5} \frac{Fr_1^{0.932} \left(\frac{y_1}{d_{50}} \right)^{0.523}}{n^{8.872} \left(S_p + \frac{y_1}{L} \right)^{0.490}} \quad R^2 = 93.5\% \quad \text{جریان فوق بحرانی:} \quad (19)$$

افزایش مولفه افقی سرعت بر روی آبگیر) کاهش می‌یابد. با افزایش شیب سطح بالایی محیط متخلخل آبگیر، از میزان دبی انحراف کاسته می‌شود. اندازه ذرات محیط متخلخل نیز بر روند دبی انحراف تاثیر قابل ملاحظه داشته چنانکه با افزایش اندازه ذرات، میزان دبی انحراف روند افزایشی را نشان می‌دهد. در این تحقیق سه رابطه جهت محاسبه دبی انحرافی از آبگیر پیشنهاد گردید. همچنین با استفاده از برآزش غیرخطی، چهار رابطه برای ضریب دبی جریان برحسب پارامترهای بی بعد بدست آمده، ارائه شد که می‌توان هر یک از روابط ارائه شده برای ضریب دبی را به همراه رابطه پیشنهادی برای دبی انحرافی از آبگیر، برای آبگیرهای کفی با محیط متخلخل بکار برد. طبق نتایج، ضریب دبی جریان با عدد فرود بالادست Fr_1 و نسبت عمق آب بالادست به قطر متوسط ذرات $\frac{y_1}{d_{50}}$ رابطه مستقیم و با تخلخل n و مجموع نسبت عمق آب بالادست به طول آبگیر $\frac{y_1}{L}$ و شیب سطح آبگیر S_p رابطه معکوس دارد.

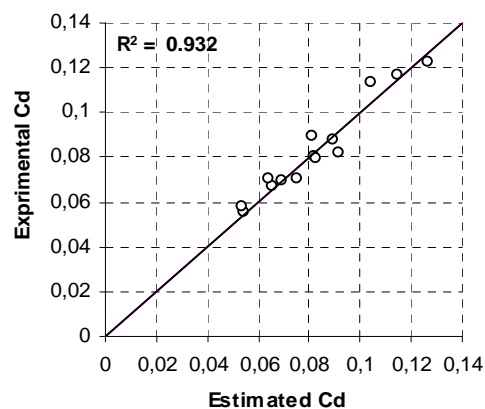
تعاریف پارامترهای بکار رفته در رابطه ۱۸ و ۱۹ نیز مشابه تعاریف پارامترهای رابطه ۱۶ می‌باشد. در شکل‌های (۱۶ و ۱۷) مقادیر C_d بدست آمده در آزمایشگاه با نتایج بدست آمده از روابط ۱۸ و ۱۹ مقایسه شده اند. نتایج اشکال (۱۶ و ۱۷) نیز نشان می‌دهند انطباق خوبی بین مقادیر C_d بدست آمده از روابط ارائه شده با مقادیر آزمایشگاهی وجود دارد.

خلاصه و نتیجه گیری

در این مطالعه شیوه جدیدی برای آبگیری از رودخانه‌های شیبدار پیشنهاد شد که در آن محیط متخلخل جایگزین کفهای مشبک در سیستم آبگیری از بستر رودخانه شده است. مقایسه نتایج بدست آمده از تحقیق اخیر و نتایج سایر تحقیقات در مورد کف های مشبک مبین آنست که ضریب گذردهی آبگیر کفی با محیط متخلخل در حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد ضریب گذردهی آبگیر کفی با کف مشبک است. همچنین نتایج نشان داد با افزایش جریان ورودی بالادست، دبی انحراف نیز افزایش داشته، اما روند افزایش آن بتدریج با افزایش دبی



(شکل ۱۷) - مقایسه نتایج ضریب دبی آزمایشگاهی با



(شکل ۱۶) - مقایسه نتایج ضریب دبی آزمایشگاهی با

منابع

- ۱- فغفور مغربی م، و رزاز م. ۱۳۸۵. بررسی عددی و آزمایشگاهی رفتار هیدرولیکی آبگیرهای کفی. هفتمین کنفرانس بین المللی عمران، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- کورش وحید ف، نقوی ب، فغفور مغربی م، و اسماعیلی ک. ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی شکل گیری پروفیل های سطح آب در روش جدید آبگیری از رودخانه از طریق آبگیر کفی با محیط متخلخل. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
- 3- Bouvard M. 1992. Mobile barrages and intakes on sediment transporting rivers. IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- 4- Brunella S., Hager W. H., and Minor H.E. 2003. Hydraulics of bottom rack intake. J. Hydraul. Eng., 129(1), 2–10.
- 5- Drobir H. 1981. Entwurf von Wasserfassungen im Hochgebirge. Osterr. Wasserwirtsch., 33(11/12), 243–253.
- 6- Li B., Garga V.K., and Davies M.H. 1998. Relationship for non Darcy flow in rockfill. Journal of Hydraulic Engineering, 120(6), 206-212.
- 7- Nosedo G. 1955. Operation and design of bottom intake racks." Proc., VI General Meeting IAHR, Vol. 3, The Hague, C17-1-C17-11.
- 8- Orth J., Chardonnet E., and Meynardi G. 1954. Etude de grilles pour prises d'eau du type 'en-dessous' (Study of bottom type water intake grids). Houille Blanche, 3, 343–351.
- 9- Righetti M., and Lanzoni S. 2008. Experimental study of the flow field over bottom intake racks." *Journal of Hydraulic Engineering*, 134, 1-15.
- 10- Subramanya k. 1982. Flow in Open Channels, New Delhi, Mc Graw-Hill Book Company.
- 11- Venkataraman P., Nasser M.S., and Ramamurthy A.S. 1979. Flow behavior in power channels with bottom diversion works." Proc., XVIII IAHR Conf., Vol. 4, Cagliari, Italy, 115–122.

Flow Discharge in Bottom Intakes with Porous Media

F. Koorosh Vahid^{1*} - K. Esmaili² - M. Faghfur Maghrebi³ – A. Alizadeh⁴ – B. Naghavi⁵

Abstract

Bottom intake is one of the most appropriate systems for diverting discharge in steep rivers. Bottom intake with porous media is a new system of diverting discharge which can be replaced by bottom rack intakes. To investigate the hydraulic flow characteristics on diverted discharge of this intake, an experimental model was designed in which the inflow, diverted discharge and remained flow of porous media intake can be measured. In the present research, measurements of the diverted discharge were performed for different rates of flow, grain size distributions as well as surface slopes of intake with clear water. According to the obtained results, by increasing the inflow discharge, the rate of diverted discharge increases gradually and then reaches to a constant value. Any increment of the surface slope above the intake also decrease the relation diverted flow. It is found that the grain size of the porous media has a great influence on the diverted flow. By increasing the grain size diverted flow increases, too. Dimensional analysis and experimental results were used to estimate the discharge coefficient of porous media. Analytical analysis on experimental data shows that the discharge coefficient of porous media intake is about 0.1. Also an empirical-theoretical relation is proposed to evaluate the diverted discharge of this kind of bottom intakes.

Keywords: Bottom intake, Porous media, Discharge coefficient, Free surface flow

1,2,4,5– Ms Student, Assistant Prof., Professor and Ms Student, Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding author Email: f_kooroshvahid@yahoo.com)

3- Associate Prof. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad