

بررسی اثر غلظت جریان حاوی رسوب چسبنده بر ضریب دبی آبیگر کفی با محیط متخلخل

ساسان مددی^۱، علیرضا عمادی^۲، رامین فضل اولی^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۴/۳۱

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱

مقاله برگرفته از رساله دکتری

چکیده

آبیگری از رودخانه جهت کشاورزی یا استفاده در صنعت به روش ثقلی به شیوه‌های مختلفی امکان‌پذیر می‌باشد که استفاده از محیط متخلخل یکی از این روش‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه در طبیعت معمولاً جریان آب همراه با رسوب می‌باشد لازم است انحراف آب در این جریان‌ها مورد بررسی قرار بگیرد. در پژوهش حاضر با ساخت مدل آزمایشگاهی تاثیر عواملی مانند: اندازه دانه‌بندی محیط متخلخل، غلظت رسوبات چسبنده و دبی‌های ورودی متفاوت بر میزان دبی انحرافی آبیگر کفی با محیط متخلخل بررسی شد. نتایج نشان داد ضریب دبی در اندازه سنگ‌دانه $D_{50} = 16/5 \text{ mm}$ در دبی $20/7$ لیتر بر ثانیه با غلظت‌های $1/5$ ، 3 ، $6/5$ و 8 گرم در لیتر به ترتیب $0/038$ ، $0/035$ ، $0/034$ و $0/033$ است. کاهش سرعت جریان عبوری از داخل محیط متخلخل به دلیل افزایش غلظت، می‌تواند دلیلی برای کاهش ضریب گذردهی باشد. ضریب دبی برای غلظت 3 gr/lit در دبی $20/7$ لیتر بر ثانیه برای اندازه سنگ‌دانه با D_{50} ، $11/5$ ، $16/5$ و 25 میلی‌متر به ترتیب $0/025$ ، $0/035$ و $0/042$ است. این مسأله به دلیل بالاتر بودن مقدار تخلخل در اندازه سنگ‌دانه $D_{50} = 25 \text{ mm}$ نسبت به $D_{50} = 16/5 \text{ mm}$ و $D_{50} = 11/5 \text{ mm}$ می‌باشد. نشان داد که در دبی‌های پایین‌تر تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی ورودی بیشتر می‌باشد ولی با افزایش دبی ورودی به مقدار ثابت می‌رسد. با بررسی داده‌های بدست آمده و استفاده از تحلیل ابعادی و رگرسیون چند متغیره، روابطی برای تخمین دبی و ضریب دبی برای این آبیگر پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: انحراف آب، تحلیل ابعادی، رسوب، محیط پاره سنگی، مدل فیزیکی.

^۱ دانشجوی دکترای سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، sasan.madadi@yahoo.com ، ۰۱۱۳۳۶۸۷۵۷۴

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، ۰۱۱۳۳۶۸۷۵۷۴، a.emadi@sanru.ac.ir ، emadia355@yahoo.com (نویسنده مسئول)

^۳ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، ۰۱۱۳۳۶۸۷۵۷۴، r.fazloulou@sanru.ac.ir ، raminfazl@yahoo.com



مقدمه

یکی از روش‌های انحراف آب در رودخانه‌های کوهستانی که شیب کافی وجود دارد استفاده از آبگیر کفی می‌باشد. در این نوع آبگیرها صفحه مشبکی در کف رودخانه وظیفه انحراف آب را انجام می‌دهد. استفاده از مصالح متخلخل به جای صفحات مشبک راهکار مناسبی برای افزایش مقاومت آبگیرهای کفی و سازگاری بیشتر با محیط زیست می‌باشد. با توجه به اینکه آب رودخانه‌ها حاوی رسوبات می‌باشد انسداد محیط متخلخل و کاهش ضریب دبی ممکن است رخ دهد.

در مهندسی هیدرولیک، رسوبات چسبنده به ترکیبی شامل لای و رس با قطر ته‌نشینی کمتر از ۵۰ میکرومتر تا کسری از یک میکرومتر و نیز حاوی مقادیری از مواد آلی، اطلاق می‌شود (Partheniades, ۲۰۰۷). خاصیت چسبندگی به خصوصیات مقاوم در برابر فرسایش خاک مربوط می‌شود، بنابراین عامل چسبندگی نیز باید در رابطه بین نیروهای فرساینده اصلی در جریان و خصوصیات فیزیکی ذرات وارد شود. وجود رسوب معلق درون جریان عبوری از محیط متخلخل و ته‌نشینی آن بر مشخصات هیدرولیکی جریان تأثیر می‌گذارد.

تقی‌پور (۱۳۹۱) تأثیر پوشش گیاهی و زبری بستر را بر جریان خروجی کف مشبک مورد بررسی قرار دادند. آزمایش‌ها نشان داد پوشش سنگی نسبت به پوشش گیاهی اثر بیشتری بر دبی انحرافی داشته و هرچه تراکم پوشش و زبری بستر بیشتر شود دبی انحرافی بیشتر می‌شود و پرش ایجادشده روی آبگیر به سمت بالادست آبگیر حرکت می‌کند. قرنجیک (۱۳۹۵) طرحی از آبگیر کفی با هندسه جدید اشکی را معرفی و مورد بررسی قرار داد. آزمایش‌ها در شرایط جریان زلال و همچنین بستر رسوبی با دو دانه‌بندی یکنواخت و غیریکنواخت انجام شد. با استفاده از روش تحلیل ابعادی و رگرسیون چند متغیره بین مشاهدات آزمایشگاهی، معادلاتی برای تخمین ضریب دبی در جریان زلال و رسوبدار ارائه نمود. سرحدی (۱۳۹۵) با هدف بررسی رفتار هیدرولیکی

آبگیر کفی با میله‌های طولی و تأثیر عوامل مختلف بر دبی خروجی از کف مطالعاتی انجام داد. او پنج نوع شکل مقطع مختلف برای میله‌های آبگیر کفی انتخاب و پس از تحلیل عددی، بهترین مقطع از نظر نسبت دبی منحرف شده انتخاب کرد. (Hager et al. (1987) پژوهش‌های زیادی در خصوص پیدا کردن طول لازم برای انحراف تمام دبی، بدست آوردن نیمرخ سطح آزاد آب و همچنین توزیع دبی در طول کف مشبک انجام دادند. (Subramanya & Shukla (1988) جریان بر روی آبگیر کفی را به ۵ دسته تقسیم کردند. نتایج به دست آمده نشان داد برای کانال افقی، جریان زیر بحرانی در بالادست و فوق بحرانی در پایین دست آبگیر رخ می‌دهد و نسبت جریان منحرف شده با افزایش نسبت طول آبگیر به عمق بحرانی و نسبت فاصله خالص بین میله‌ها به قطر میله‌ها به طور مؤثری افزایش می‌یابد. (Brunella et al. (2003) رابطه‌ای بر اساس پارامترهای مؤثر از قبیل ضریب تخلیه و نسبت بازشدگی به کل سطح برای طراحی مناسب کف مشبک در کانال مستطیلی به دست آوردند. (Ghosh & Ahmad (2006) پژوهش خود را بر پارامترهای جریان روی شبکه آبگیر کفی ساخته‌شده از میله‌های مسطح انجام دادند. بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش‌های آن‌ها، روابط قبلی در مورد ضریب تخلیه صحیح و با دقت نبوده و رابطه جدیدی برای ضریب تخلیه جریان با مقدار خطای $\pm 10\%$ ارائه کردند. (Kumar & Ahmad (2015) میزان رسوبات جمع شده در آبگیرهای کفی مشبک را بررسی کردند و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی معادله‌ای برای درصد رسوبات وارد شده از کانال اصلی به کانال انحراف ارائه دادند. (Castillo et al. (2016) به مطالعه آزمایشگاهی و عددی آبگیرهای کفی مشبک در جریان زلال و جریان رسوبدار پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که شیب بهینه برای انحراف بیشترین مقدار دبی ۳۰ درصد است. (Carrillo et al. (2018) به مطالعه آزمایشگاهی و عددی آبگیرهای کفی با روزنه‌های دایروی در جریان زلال پرداختند. آنها معادلاتی جهت برآورد ضریب دبی

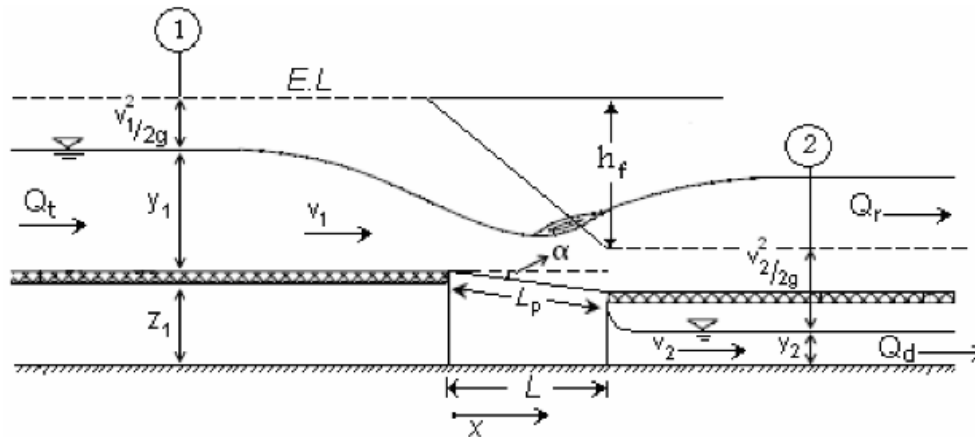
افزایش می‌یابد. (Salehi et al. (2005) بیان کردند که رفتار جریان در محیط متخلخل پاره‌سنگی به دلیل بزرگی اندازه ذرات و منافذ و بروز سرعت‌های بالا و آشفتگی در جریان بسیار پیچیده می‌باشد. از این رو بر خلاف محیط‌های ریزدانه که جریان در آن ورقه‌ای بوده و قانون دارسی معتبر است، استفاده از قانون دارسی برای برآورد عامل‌های مختلف جریان در محیط‌های درشت‌دانه دارای خطای قابل توجه‌ای است. Shin et al (2015) مطالعه‌ای در خصوص مدل فولکول (follicle) تصادفی رسوب چسبیده معلق در آب انجام دادند. نتایج آنها نشان داد تشکیل فلکول‌ها در ۱۵ دقیقه اول فرایند ته‌نشینی رسوبات چسبیده انجام می‌شود و در این بازه زمانی اندازه فولکول‌ها به حداکثر رسیده و پس از آن تقریباً ثابت می‌ماند تا اینکه ته‌نشینی اتفاق بیافتد. همانطور که بیان شد مطالعات زیادی در خصوص آبیگر کفی و آبیگر کفی با محیط متخلخل در شرایط جریان حاوی رسوب غیرچسبیده و جریان زلال صورت گرفته است اما بررسی در شرایط جریان حاوی رسوب چسبیده صورت نگرفته. هدف از این پژوهش بررسی انحراف جریان از آبیگر کفی متخلخل در شرایط جریان حاوی رسوب چسبیده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

روابط تئوری

جریان در آبیگرهای کفی از نوع جریان متغیر مکانی با کاهش دبی است. در جریان متغیر مکانی در هر مقطع، تغییرات عمق جریان و دبی نسبت به زمان صفر است ولی مقادیر مذکور در طول مسیر تغییر می‌یابند. در شکل ۱ مقطع طولی از آبیگر با محیط متخلخل همراه با مشخصات هیدرولیکی جریان نمایش داده شده است.

و مقدار دبی انحراف یافته از آبیگر کفی با روزه‌های دایروی ارائه کردند که تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشت. (Bhave & Kumar (2020) رابطه جدیدی برای تحلیل نیمرخ سطح آب بر روی آبیگر کفی ارائه دادند. کوروش وحید و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی مقایسه‌ای بین آبگذری جریان‌های زلال و رسوبدار در آبیگر کفی با محیط متخلخل انجام دادند. تأثیر توام عواملی همچون اندازه دانه‌بندی ذرات محیط متخلخل و شیب سطح آبیگر در دبی‌های مختلف را بر میزان جریان انحرافی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد وجود رسوبات گذردهی را نسبت به جریان زلال ۵ تا ۳۵ درصد کاهش می‌دهد. نقوی و همکاران (۱۳۸۸) در مقایسه‌ای بین آبگذری جریان‌های زلال و رسوبدار در آبیگری با آبیگر کفی با محیط متخلخل تأثیر توام اندازه دانه‌بندی ذرات محیط متخلخل و شیب سطح آبیگر در دبی‌های مختلف بر میزان جریان انحرافی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تأثیر گرفتگی ناشی از رسوبات در جریان رسوبدار با افزایش شیب سطح محیط متخلخل کاهش یافته و ضریب گذردهی جریان افزایش می‌یابد. پوراسماعیل و فغفور مغربی (۱۳۹۳) هیدرولیک جریان زلال در آبیگر کف متخلخل را مورد بررسی آزمایشگاهی قرار دادند. آنها روابط ارائه شده در پژوهش‌های گذشته را با نتایج حاصل از آزمایش‌های خود مقایسه و علت عدم تطابق این روابط را مورد بررسی قرار دادند. شریعتی و همکاران (۱۳۹۶) عوامل موثر بر آبگذری جریان از آبیگر کفی با محیط متخلخل در شرایط آب زلال را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که هرچه اندازه سنگدانه‌های محیط متخلخل آبیگر بزرگتر و دانه‌بندی یکنواخت‌تر باشد میزان دبی انحرافی از آبیگر بیشتر خواهد بود. Leps (1973) جریان و افزایش مقاومت اصطکاکی، کاهش سرعت سیال و بالا رفتن نیمرخ سطح آب در محیط سنگدانه می‌شود. با غیر یکنواخت شدن دانه‌بندی نیز اندازه متوسط منافذ کاهش یافته و طول مسیر آب



شکل (۱): مقطع طولی از آبگیر کفی با محیط متخلخل

شامل فضای خالی و سنگدانه) بدست می‌آید. چون در محیط متخلخل سطح مقطع جریان ثابت نیست، مقدار متوسط آن در محاسبات استفاده می‌شود و سرعت متوسط ظاهری طبق رابطه ۳ بدست می‌آید:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (۳)$$

در رابطه فوق V سرعت ظاهری جریان عبوری از محیط متخلخل، A سطح مقطع جریان می‌باشد. سرعت واقعی جریان V_n از تقسیم سرعت ظاهری بر تخلخل (n) طبق رابطه ۴ بدست می‌آید:

$$V_n = \frac{V}{n} = \frac{Q}{nA} \quad (۴)$$

طبق رابطه پیوستگی و با نظر گرفتن سرعت واقعی در محیط متخلخل، دبی انحرافی در واحد طول و عرض آبگیر به صورت رابطه ۵ می‌باشد:

$$\frac{dq}{dx} = C_d n V_n \quad (۵)$$

که در آن،

C_d ضریب دبی که وابسته به پارامترهای مختلفی چون نسبت ابعاد آبگیر، مشخصات هیدرولیکی جریان و دانه-بندی مصالح درون آبگیر می‌باشد. با انتگرال‌گیری از رابطه فوق و استفاده از رابطه ۲ میزان دبی انحرافی از آبگیر به صورت رابطه ۶ ارائه می‌شود:

$$Q_d = C_d n V_n L_p B = C_d n L_p B \sqrt{2gE_1} \quad (۶)$$

که در این رابطه،

مقدار ضریب شدت جریان در آزمایشگاه، از تقسیم دبی انحرافی واقعی مشاهده شده در آزمایشگاه (Q_d) بر

معادلات دیفرانسیلی جریان متغیر مکانی در کانال مستطیلی را می‌توان به صورت رابطه ۱ نوشت (Mostkow(1957)):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Qy \left(\frac{dQ}{dx} \right)}{gb^2y^3 - Q^2} \quad (۱)$$

که در آن،

Q = دبی کانال، b = عرض کانال، y = عمق جریان، g = شتاب ثقل. این رابطه با تقریب مناسبی برای کانال‌های مستطیلی در آبگیرهای کفی قابل پذیرش خواهد بود. موستکو (۱۹۵۷) رابطه ۲ را جهت برآورد مقدار دبی منحرف شده توسط آبگیر کفی پیشنهاد داد:

$$Q_d = C_q \omega B L_p \sqrt{2gE_1} \quad (۲)$$

که در آن،

Q_d = دبی منحرف شده، ω = نسبت منفذ یعنی نسبت مساحت بازشدگی به مساحت کل، B = عرض آبگیر، L_p = طول خیس شده آبگیر، E_1 = انرژی مخصوص جریان نزدیک شونده و C_q = ضریب دبی که به خصوصیات هیدرولیکی جریان عبوری، هندسه شبکه و میله‌های شکل دهنده شبکه بستگی دارد. با توجه به اینکه جریان روی آبگیر با کف مشبک و کف با محیط متخلخل از نوع متغیر مکانی می‌باشد، پروفیل تشکیل شده روی دو نوع آبگیر مشابه است.

در هیدرولیک جریان در محیط‌های سنگدانه‌ای، سرعت جریان به دو صورت سرعت ظاهری و سرعت واقعی تعریف می‌شود. سرعت ظاهری از تقسیم دبی جریان بر سطح مقطع کل جریان (سطح عمود بر جریان

با توجه به اینکه شرایط جریان در کانال تحتانی آزاد است و در بالادست (محل آبیگر کفی) تأثیری ندارد و همچنین شیب کف کانال و شیب سطح آبیگر ثابت و جریان در بالادست آبیگر آشفته است از رابطه ۶ و ۹ می‌توان نوشت:

$$C_d = f\left(\frac{E_1}{L_p}, \frac{y_1}{L_p}, Fr_1, \frac{D_{50}}{L_p}, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{C}{\rho_w}\right) \quad (10)$$

برای بررسی تأثیر سایر پارامترها بر مقدار ضریب دبی، آزمایش‌ها در سه اندازه سنگ‌دانه با D_{50} برابر با ۱/۵، ۳/۱۵ و ۶/۲۵ میلی‌متر و شیب سطح آبیگر برابر با ۱۰ درصد و غلظت‌های ۱/۵، ۳، ۶/۱۵ و ۸ گرم در لیتر برای شش دبی کل متفاوت انجام گردید.

تجهیزات آزمایشگاهی

برای انجام آزمایش‌ها فلولم آزمایشگاهی دو طبقه به طول ۱۲ متر، عرض ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۶ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ساخته شد. در این کانال دبی کل با استفاده از فلومتر اولتراسونیک و دبی باقیمانده در کانال اصلی با استفاده از سرریز مثلثی به دقت $\pm 0/01$ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری عمق آب با پوینت گیج به دقت ± 1 میلی‌متر انجام شد.

طول مورد نیاز برای ایجاد شرایط جریان توسعه یافته قبل از آبیگر کنترل و طول ۷/۵ متر برای ایجاد شرایط توسعه یافته در کلیه دبی‌های مورد آزمایش، مناسب تشخیص داده شد. بستر کانال در بالادست و پایین دست محیط متخلخل از جنس شیشه می‌باشد. برای تثبیت سنگدانه‌های سطح و همچنین برای حفظ سنگدانه‌ها در پایین دست آبیگر از توری فلزی استفاده گردید. در شکل ۲ تصویری شماتیک از پروفیل و پلان کانال آزمایشگاهی نمایش داده شده است.

دبی محاسبه شده از رابطه تئوری $(Q_d)_T$ طبق رابطه ۷ بدست می‌آید:

$$C_d = \frac{(Q_d)_E}{(Q_d)_T} = \frac{Q_d}{nL_p B \sqrt{2gE_1}} \quad (7)$$

تحلیل ابعادی

برای شناخت پارامترهای بدون بعد موثر بر مساله، تحلیل ابعادی انجام شد. با استفاده از قضیه پی باکینگهام می‌توان رابطه ۸ را نوشت:

$$q_d = \quad (8)$$

$$\phi\left(\frac{L_p}{L_p}, n, E_1, y_1, y_2, g, V_1, \alpha, h, S_0, D_{50}, \rho_w, \rho_s, \mu, C\right)$$

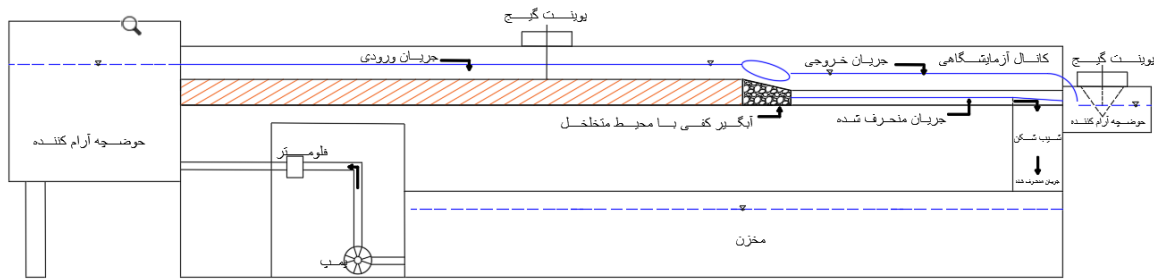
که در این رابطه q_d دبی انحراف یافته توسط آبیگر در واحد عرض آبیگر، L_p طول تصویر مایل آبیگر، n ضریب تخلخل مصالح موجود در آبیگر، E_1 انرژی مخصوص جریان نزدیک شونده، y_1 عمق جریان در بالادست، y_2 عمق جریان در کانال تحتانی، g شتاب جاذبه زمین، V_1 سرعت در بالادست آبیگر، α زاویه سطح آبیگر نسبت به افق، h ارتفاع پایین دست آبیگر، S_0 شیب کف کانال می‌باشد، D_{50} اندازه ذره‌ای است که ۵۰ درصد وزنی ذرات محیط متخلخل از آن کوچک‌تر است، ρ_w چگالی آب زلال، ρ_s چگالی آب حاوی رسوب، μ گرانیوی آب حاوی رسوب و C غلظت مواد رسوبی.

با توجه به اینکه تعداد متغیرهای رابطه ۸ برابر ۱۶ عدد و تعداد ابعاد اصلی سه عدد می‌باشد، لذا ۱۳ پارامتر بدون بعد قابل استخراج می‌باشد.

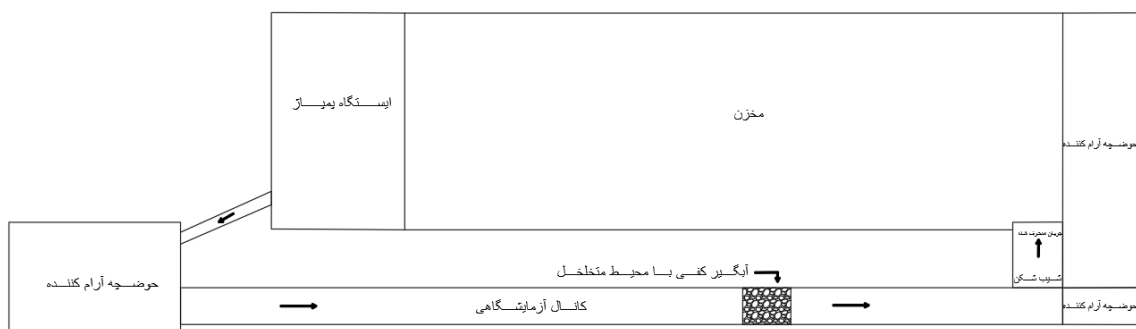
$$\frac{q_d}{L_p \sqrt{gE_1}} = \quad (9)$$

$$\phi\left(n, \frac{E_1}{L_p}, \frac{y_1}{L_p}, \frac{y_2}{L_p}, \frac{V_1}{\sqrt{gE_1}}, \alpha, \frac{h}{L_p}, S_0, \frac{D_{50}}{L_p}, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{\mu}{\rho_s V y_1}, \frac{C}{\rho_w}\right)$$

عبارت $\frac{V_1}{\sqrt{gE_1}}$ عدد فرود و $\frac{\mu}{\rho_s V y_1}$ معکوس عدد رینولدز در بالادست آبیگر می‌باشد.



الف) پروفیل کانال آزمایشگاهی



ب) پلان کانال آزمایشگاهی

شکل (۲): تصویری شماتیک از کانال آزمایشگاهی (الف: پروفیل کانال آزمایشگاهی، ب: پلان کانال آزمایشگاهی)

حاوی رسوب می‌باشد صورت پذیرفت که مقادیر دبی کل، دبی انحراف، عمق جریان در بالادست، سرعت جریان، غلظت رسوب موجود در جریان اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه غلظت‌های مختلفی برای بررسی اثر رسوب چسبنده بر میزان دبی انحرافی ایجاد شد، غلظت جریان با نمونه‌گیری اندازه‌گیری شد. برای ایجاد غلظت‌های مختلف با توجه به حجم مخزن رسوبات چسبنده به مخزن اضافه شد. در این پژوهش چهار غلظت مختلف به ترتیب ۱/۵، ۳، ۶/۵ و ۸ گرم در لیتر ایجاد و اندازه‌گیری‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر غلظت جریان حاوی رسوب بر ضریب دبی

در شکل ۳ تغییرات ضریب دبی در مقابل دبی ورودی برای غلظت‌های مختلف با اندازه سنگدانه‌های ثابت رسم شده است. در یک دانه‌بندی ثابت از محیط متخلخل با افزایش غلظت جریان حاوی رسوب، مقدار

محیط متخلخل و مواد رسوبی

سنگدانه‌های محیط متخلخل با عبور دادن از الک‌های با قطر مش ۳۰، ۲۰، ۱۳ و ۱۰ میلی‌متر به‌طور یکنواخت انتخاب شدند. مشخصات فیزیکی سنگدانه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

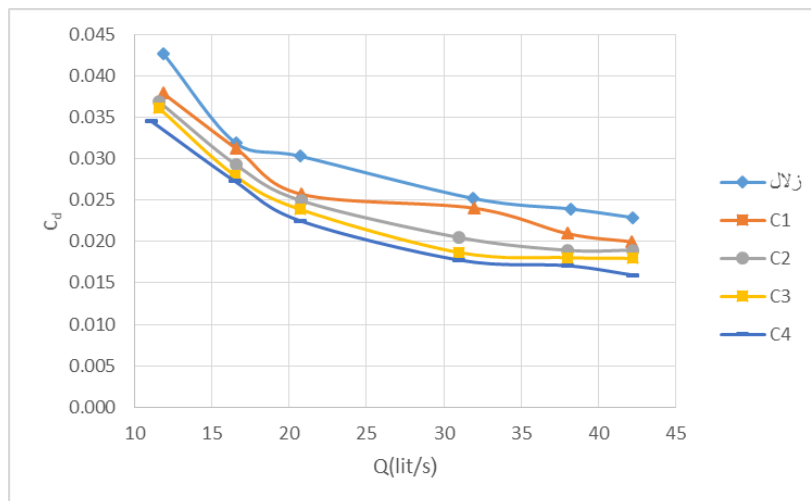
جدول (۱): مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های محیط

متخلخل			
نوع مصالح	D_{50} (mm)	γ_s (gr/cm ³)	n
آبگیر ۱	۱۱/۵	۲/۴۱۴	۰/۴۷۷
آبگیر ۲	۱۶/۵	۲/۳۶۴	۰/۵۰۸
آبگیر ۳	۲۵	۲/۳۳۰	۰/۵۴۵

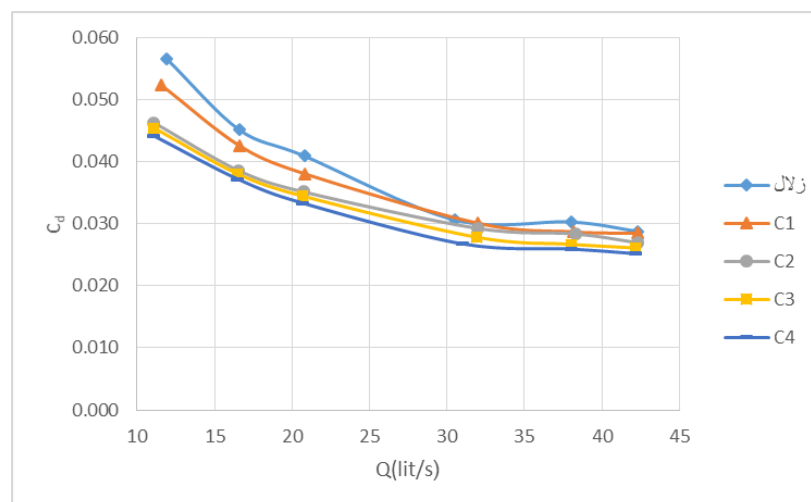
برای ایجاد جریان رسوبی از رسوب بنتونیت استفاده شد. بر این اساس تعداد ۲۷۰ آزمایش که شامل ۵۴ داده برداری در آب زلال و ۲۱۶ داده برداری در آب

متخلخل به دلیل افزایش غلظت، می‌تواند دلیلی برای کاهش ضریب دبی باشد. در پژوهش‌های پیشین وجود رسوب غیرچسبنده باعث کاهش ضریب دبی بود که در این پژوهش نیز وجود رسوب چسبنده باعث کاهش ضریب دبی شد.

ضریب دبی کاهش می‌یابد. به عنوان نمونه در شکل ۳ (ب) ضریب دبی برای اندازه سنگ‌دانه $D_{50} = 16/5mm$ در دبی ۲۰/۷ لیتر بر ثانیه برای آب زلال و جریان حاوی رسوب با غلظت‌های ۱/۵، ۳، ۶/۵ و ۸ گرم در لیتر به ترتیب ۰/۰۴۱، ۰/۰۳۸، ۰/۰۳۵، ۰/۰۳۴ و ۰/۰۳۳ است. کاهش سرعت جریان عبوری از داخل محیط

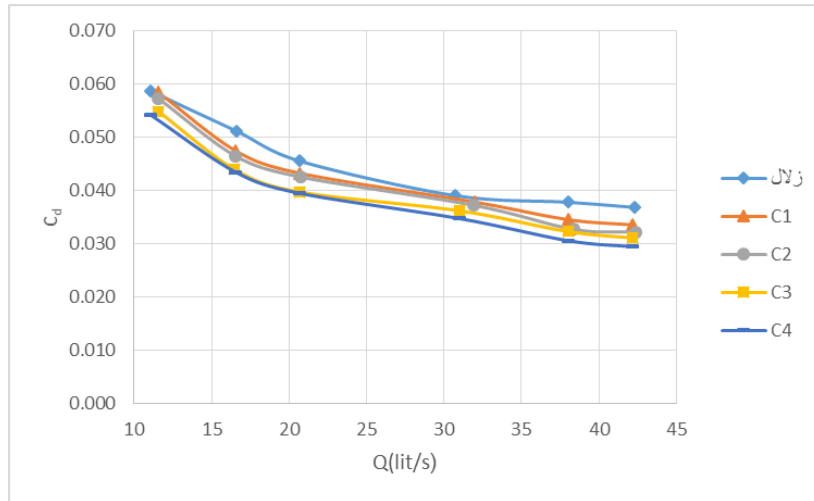


الف



ب

شکل (۳): تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی در آبیگر (الف): آبیگر با اندازه سنگ‌دانه $D_{50} = 11/5mm$ ، ب: آبیگر با اندازه سنگ‌دانه $D_{50} = 16/5mm$ و ج: آبیگر با اندازه سنگ‌دانه $D_{50} = 25mm$

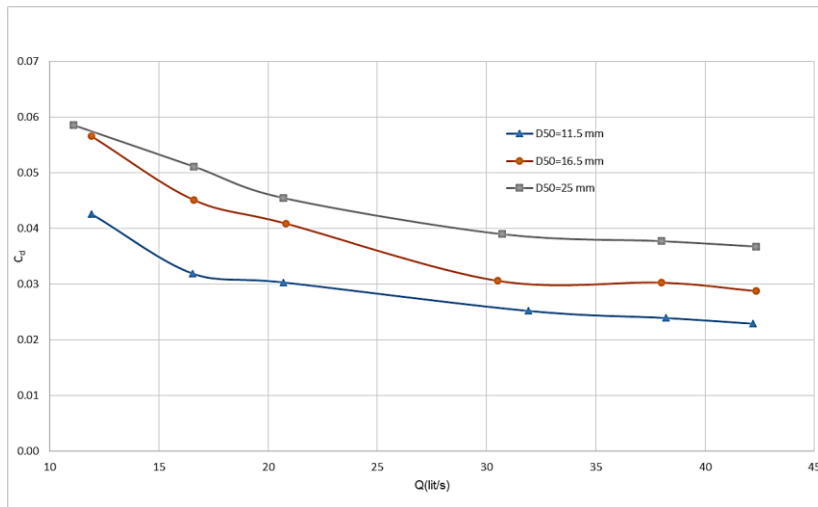


ج

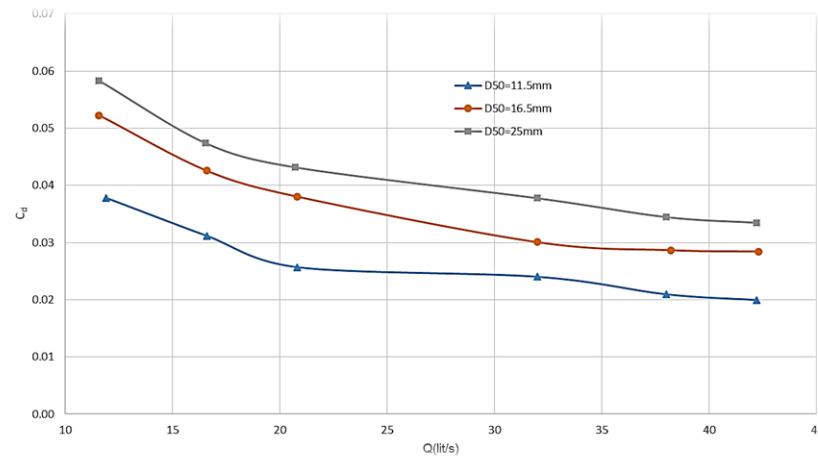
ادامه شکل (۳): تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی در آبگیر (الف): آبگیر با اندازه سنگدانه $D_{50} = 11/5 \text{ mm}$ ، ب: آبگیر با اندازه سنگدانه $D_{50} = 16/5 \text{ mm}$ و ج: آبگیر با اندازه سنگدانه $D_{50} = 25 \text{ mm}$

نسبت به $D_{50} = 16/5 \text{ mm}$ و $D_{50} = 11/5 \text{ mm}$ می-باشد. مقدار ضریب دبی با افزایش دبی ورودی کاهش می‌یابد، این امر می‌تواند به دلیل افزایش سرعت عبور جریان از سطح آبگیر باشد. البته در دبی‌های بالاتر تغییرات ضریب دبی کاهش می‌یابد که این نشان می‌دهد محیط متخلخل ظرفیتی مشخص برای انحراف جریان دارد و از یک مقداری به بعد با افزایش دبی در کانال اصلی مقدار ضریب دبی تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌کند. در پژوهش‌های گذشته نیز افزایش تخلخل باعث افزایش ضریب دبی شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

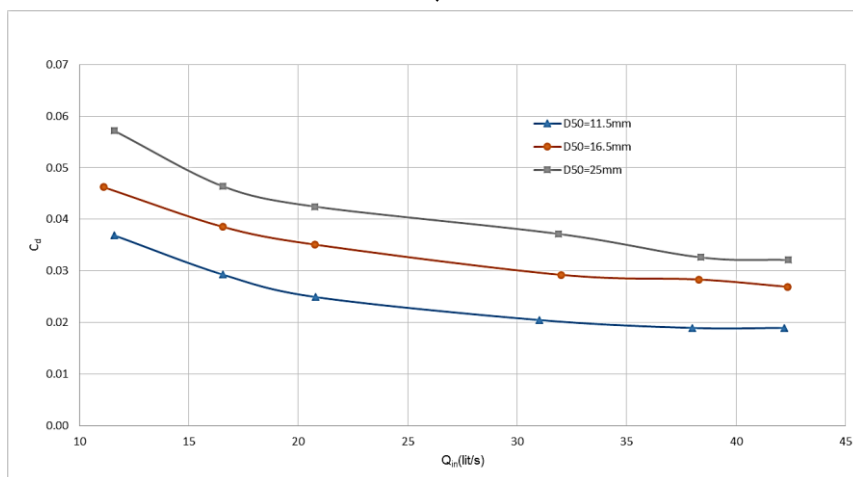
تأثیر دانه‌بندی محیط متخلخل بر روی ضریب دبی در شکل ۴ هر یک از نمودارها تغییرات ضریب دبی در مقابل دبی ورودی برای دانه‌بندی‌های مختلف آبگیر در یک غلظت ثابت را نشان می‌دهند. همانطور که ملاحظه می‌شود برای هر سه دانه‌بندی، مقدار ضریب دبی با افزایش اندازه سنگدانه‌ها، افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه در شکل ۴ (ج) ضریب دبی برای غلظت $C_2 = 3 \text{ gr/lit}$ در دبی $20/7$ لیتر بر ثانیه برای اندازه سنگدانه با $D_{50} = 11/5$ ، $16/5$ و 25 میلی‌متر به ترتیب $0/025$ ، $0/035$ و $0/042$ است. این مسأله به دلیل بالاتر بودن مقدار تخلخل در اندازه سنگدانه $D_{50} = 25 \text{ mm}$



الف

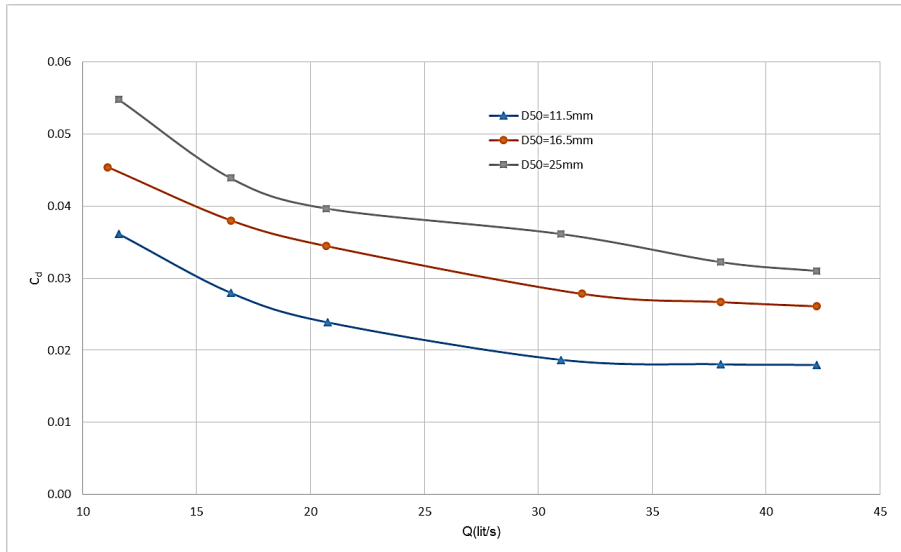


ب

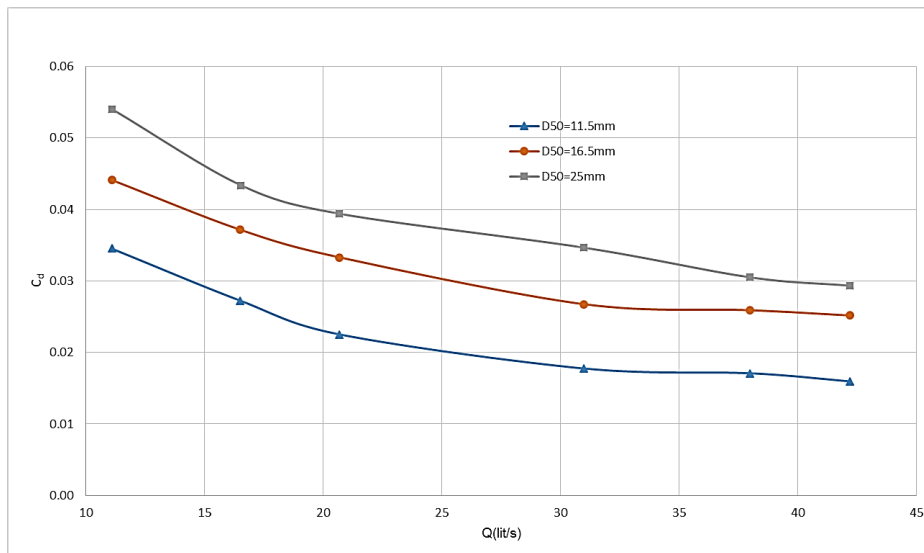


ج

شکل (۴): تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی در غلظت‌های مختلف (الف: زلال، ب: $C = 1/5 \text{ gr/lit}$ ، ج: $C = 3 \text{ gr/lit}$ ، د: $C = 6/5 \text{ gr/lit}$ و ه: $C = 8 \text{ gr/lit}$).



د



ه

ادامه شکل (۴): تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی در غلظت‌های مختلف (الف: زلال، ب: $C = 1/5 \text{ gr/lit}$ ، ج: $C = 3 \text{ gr/lit}$ ، د: $C = 6/5 \text{ gr/lit}$ و ه: $C = 8 \text{ gr/lit}$)

مانده داده‌ها برای آزمون رابطه، مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره در نرم‌افزار Minitab رابطه‌ی ۱۲ با ضریب تعیین $R^2 = 0.96$ بین ضریب دبی و پارامترهای بدون بعد مؤثر ارائه شد. با توجه به اینکه شیب کانال اصلی ثابت است، از رابطه ۱۰ می‌توان نوشت:

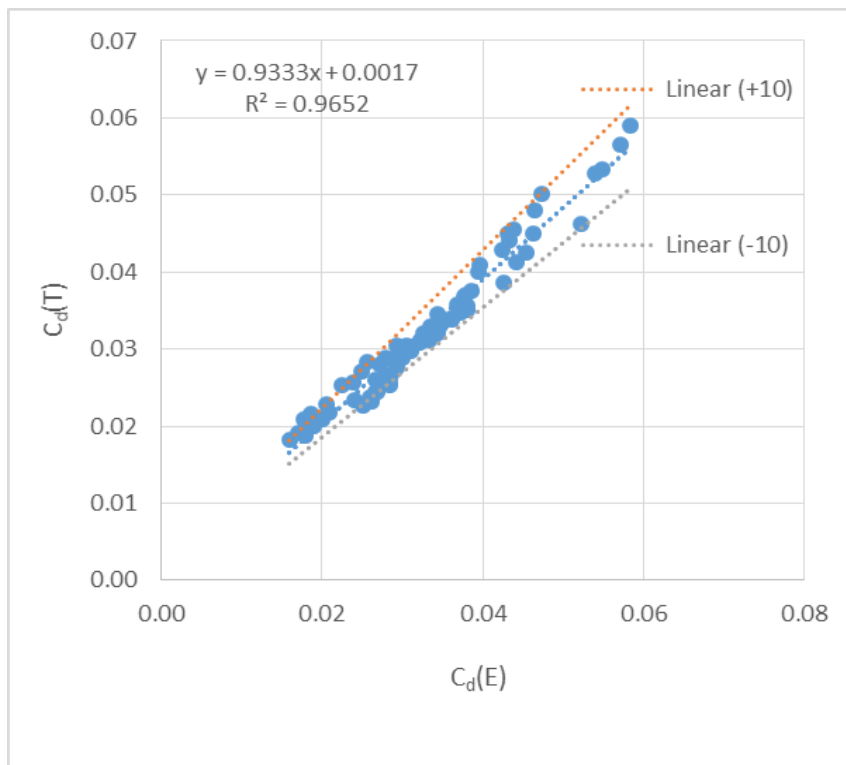
در این پژوهش با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی رابطه‌ای ریاضی برای تخمین ضریب دبی ارائه شد. از ۸۰ درصد داده‌ها برای محاسبات مربوط به همبستگی چند متغیره استفاده شد و ۲۰ درصد باقی مانده به عنوان داده‌های آزمون مورد استفاده قرار گرفتند. این دسته‌بندی به طور کاملاً تصادفی انجام شد. به منظور مقایسه نتایج حاصل از رابطه ارائه شده، ۲۰ درصد باقی

$$C_d = \left(\frac{E_1}{L_p}\right)^{a_1} \left(\frac{y_1}{L_p}\right)^{a_2} Fr_1^{a_3} \left(\frac{D_{50}}{L_p}\right)^{a_4} \left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right)^{a_5} \left(\frac{C}{\rho_w}\right)^{a_6} \quad (11)$$

$$C_d = \left(\frac{E_1 \cos \alpha}{L}\right)^{-9.15} \left(\frac{y_1 \cos \alpha}{L}\right)^{8.47} Fr_1^{9.02} \left(\frac{D_{50} \cos \alpha}{L}\right)^{0.59} \left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right)^{-9.48} \left(\frac{C}{\rho_w}\right)^{-0.039} \quad (12)$$

بر اساس رابطه ۱۲ ضریب دبی آبیگر با عمق جریان، عدد فرود بالادست و اندازه سنگدانه مصالح آبیگر رابطه مستقیم و با انرژی مخصوص، چگالی جریان حاوی رسوب و غلظت مواد رسوبی موجود در جریان رابطه عکس دارد که با مبانی تحلیلی مطابقت دارد.

نتایج حاصل از داده‌های دسته آزمون در شکل ۵ آورده شده است. در شکل ۵، مقادیر ضریب دبی بدست آمده از رابطه ۱۲ با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. پراکنش نقاط حول خط ۴۵ درجه، انطباق مناسب بین نتایج آزمایشگاهی و مقادیر تخمینی رابطه فوق را نشان می‌دهد.



شکل (۵): مقایسه نتایج ضریب دبی جریان اندازه‌گیری شده با نتایج محاسباتی



نتیجه گیری

در این پژوهش عوامل موثر بر گذردهی جریان از آبگیر با محیط متخلخل در جریان حاوی رسوب مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، در شدت جریان‌های مختلف عبوری از سطح آبگیر، دانه‌بندی‌های مختلف سنگدانه‌های آبگیر و غلظت‌های مختلف جریان حاوی رسوب، مقدار دبی انحرافی از آبگیر اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت تا ضریب گذردهی در این شرایط بدست آید. همچنین روابط جدیدی برای تخمین دبی انحراف یافته توسط آبگیر ارائه گردید. نتایج نشان داد

مقدار دبی منحرف شده توسط آبگیر با طول، عرض، تخلخل، عدد فرود در مقطع بالادست آبگیر و قطر متوسط مصالح رابطه مسقیم و با انرژی مخصوص در مقطع بالادست آبگیر، چگالی جریان حاوی رسوب و غلظت مواد رسوبی موجود در جریان رابطه معکوس دارد. در این پژوهش رابطه ۶ برای تخمین میزان دبی منحرف شده توسط آبگیر و رابطه ۱۲ برای تخمین ضریب دبی پیشنهاد می‌گردد. این روابط در محدوده عدد فرود $1/33$ تا $1/45$ و در شرایط عدم پس‌زدگی جریان قابل استفاده است.

منابع

- تقی‌پور، ه. ۱۳۹۱. مطالعه آزمایشگاهی جریان عبوری از کف مشبک و تعیین معادله ضریب آبگذری جریان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- پوراسماعیل، س. م، فغفور مغربی. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی هیدرولیک جریان زلال در آبگیر کف متخلخل. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸، ۱. ۳۵-۴۵.
- سرحدی، ر. ۱۳۹۵. بررسی آبگیر کفی با میله‌های طولی و تأثیر عوامل مختلف بر دبی خروجی از کف. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران. موسسه غیرانتفاعی آموزش عالی اشراق.
- شریعتی، ح. س. ر، خدانشناس و ک، اسماعیلی. ۱۳۹۶. بررسی عوامل موثر بر آبگذری جریان از آبگیر کفی با محیط متخلخل در شرایط آب زلال. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و ذهکشی. ۶۹، ۱۸. ۳۰-۱۷.
- قرنجیک، آ. ۱۳۹۵. بررسی اثر کاهش عرض بر عملکرد طرح نوینی از آبگیر کفی در جریان زلال و رسوبدار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی. دانشگاه فردوسی مشهد.
- کوروش وحید، ف. ب، نقوی. ک، اسماعیلی. و م، فغفور مغربی. ۱۳۸۸. مقایسه آبگذری جریان‌های زلال و رسوبدار در روش‌های نوین آبگیر کفی با محیط متخلخل. هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- نقوی، ب. س. ر، خدانشناس. م، فغفور مغربی. ک، اسماعیلی. و م. ر، اکبرزاده. ۱۳۸۷. مطالعه آزمایشگاهی رسوب گرفتگی در سیستم جدید آبگیری از کف با استفاده از محیط متخلخل. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز.
- نقوی، ب. م، فغفور مغربی. ک، اسماعیلی. س. ر، خدانشناس. و ف، کوروش وحید. ۱۳۸۸. مقایسه آبگذری آبگیر کفی با محیط متخلخل در جریان‌های زلال و رسوبدار. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۳، ۲. ۱۳۵-۱۲۲.
- Bhave, S. and Kumar, S. 2020. A New Approach to analyze the Water Surface Profile Over the Trench Weir. *Advances in Water Resources Engineering and Management. Lecture Notes in Civil Engineering* 39, 71-79.
- Brunella, S., W, Hager. and H.E, Minor. 2003. Hydraulics of bottom rack intake. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 129(1): 2-10.



Castillo, L.G., García, 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. *Water*.8(4),166. Dio: 10.3390/w8040166.

Carrillo, J. M., García, J. T and Castillo, L.G.2018. Experimental and Numerical Modelling of Bottom Intake Racks with Circular Bars. *Water*.10(5),605. Doi:10.3390/w10050605.

Ghosh, S. and Z, Ahmad. 2006, "Characteristics of Flow over Bottom Racks", *Water and Energy Int.*, CBIP, Vol.63, No. 2, pp 47-55.

Hager, W.H. 1987. Lateral Outflow over Side-Weirs, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE,113(4):491504.

Kumar, S. and Ahmad, Z. 2015. Experimental investigation on ingestion of sediment into trench weirs. *ISH J. Hydraulic. Eng.* 21, 343-352.

Leps T.M. 1973. *Flow Through Rockfill in Embankment Dam Engineering*. John Wiley. New York.

Mostkow, M.A. 1957. "A Theoretical Study of Bottom Type Water Intakes", *La Hoille Blanche*, No. 4, Sep.

Partheniades, E. 2007. *Engineering properties and hydraulic behavior of cohesive sediments*. CRC Press, Taylor and Francis Group, 338 pages.

Salehi, R., H, Rahimi. and M.H, Omid. 2005. An Empirical Study on Turblent Flow through Confined Coarse Porous Media. *Iranian Journal Agriculture Science*, 36(2): 263- 271.

Subramanya, K. and S.K, Shukla. 1988. Discharge diversion characteristics of trench weirs. *Inst. Engineering. India Journal*. 69(3): 163-168.

Shin, H.J., M. Son and G. Lee. 2015. Stochastic flocculation model for cohesive sediment suspended in water. *Water* 2015, 7, 2527- 2541; doi: 10.3390/w7052527.



Investigating the effect of flow Density containing cohesive sediment on discharge coefficient of bottom intake with porous media

Sasan Madadi¹, Alireza Emadi², Ramin Fazloulou³

Abstract

Water diversion from river for agriculture or industry based on gravity is possible according to different methods where using porous media is one of its methods. It is necessary to study the water diversion in such flows because there is sediment in water flow in the nature. Different methods such as: porous media grain size, cohesive sediment density and various water discharging were studied in this research by making experimental model. The obtained results show that discharge coefficient in $D_{50} = 16.5$ mm in discharge 20.7 lit/s with 1.5, 3, 6.5 and 8 gr/lit density are 0.038, 0.035, 0.034 and 0.033 respectively. Reducing the flow velocity in porous media is because of increasing in density which is a reason of reducing in discharge coefficient. The discharge coefficient for 3 gr/lit density in discharge of 20.7 lit/s for the D_{50} , 11.5, 16.5 and 25 mm are 0.025, 0.035 and 0.042. This is happened because of higher porosity in $D_{50} = 25$ mm than $D_{50} = 16.5$ mm and $D_{50} = 11.5$ mm. it was observed that in lower discharges, discharge coefficient changes are more than inlet discharge but it is stable by increasing the inlet discharge. By analyzing the obtained data and using dimensional analyzing and multivariate regression, relationships to estimate discharge and discharge coefficient were proposed for this intake.

Key words: Water diversion, Dimensional analysis, Rock fill, Sediment, Physical model.

¹ PhD student, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran. sasan.madadi@yahoo.com

² Associate Professor, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran. emadia355@yahoo.com, a.emadi@sanru.ac.ir. (Corresponding Author)

³ Associate Professor, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran. raminfazl@yahoo.com, r.fazloulou@sanru.ac.ir.

Extended Abstract

Research Paper

Investigating the effect of flow Density containing cohesive sediment on discharge coefficient of bottom intake with porous media

Sasan Madadi¹Alireza Emadi²,Ramin Fazloula³

¹ PhD student, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran. sasan.madadi@yahoo.com.

² Associate Professor, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran. emadia355@yahoo.com, a.emadi@sanru.ac.ir. (Corresponding Author)

³ Associate Professor, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran. raminfazl@yahoo.com, r.fazloula@sanru.ac.ir.



10.22125/IWE.2020.240517.1394

Received:
21, July. 2020
Accepted:
01. September. 2022
Available online:
10. January. 2022

Keywords: MARS, Measurement curve, Suspended sediment, Tireh-Marboreh, Tree model M5

Abstract

In the present study, the M5 tree algorithm and MARS multivariate comparative regression have been used as new methods for estimating the suspended sediment load in comparison with the sediment measurement curve method. The information used in this study includes water flow and sediment discharge related to four hydrometric stations of Doroud and Tireh Marvak hydrometric stations on Tireh river, as well as Marbareh Doroud and Marbareh Darreh Takht on Marbareh river in Lorestan province. For fabrication and validation of the models, the flow rate with one, two and three days delay and the flow rate of the same day with rain as input parameters and the suspended sediment load flow rate were considered as output parameters. Statistical analyzes were used to evaluate the efficiency of the models and compare their results with conventional methods. In Marbareh Doroud station, the values of RMSE and R2 for the M5 model were 0.47 and 0.71, respectively, and for the MARS model were 0.46 and 0.72, respectively, while in the measurement curve method they were 0.56 and 0.64. The performance of the proposed models indicates an improvement in their accuracy and ability to estimate the suspended sediment load. The results showed that the equations presented by the M5 and MARS tree models are more accurate than the measurement curve. Based on the results, it was observed that the two methods M5 and MARS have provided close answers to each other, but finally, due to the simple and conceptual structure of the M5 model, this method is a more appropriate method for estimating the

Investigating the effect of flow Density containing cohesive sediment on discharge coefficient of bottom intake with porous media

suspended load in the case range. The study was selected. In addition, the study of the relationships obtained from the two models M5 and MARS showed that among the input parameters, the flow rate of the previous day and the same day were used to estimate the suspended load and the prediction values were affected more than anything. These two factors have been.

1. Introduction

Withdrawal from the river for agriculture or industrial use by gravity method is possible in various ways that the use of porous environment is one of these methods. Due to the fact that in nature, water flow is usually accompanied by sediment and it is necessary to study the water diversion in these flows. In the present study, by constructing a laboratory model, the effect of factors such as: grain size of porous medium, concentration of cohesive sediments and different inlet flows on the amount of deflection flow of bottom with porous medium was investigated

2. Materials and Methods

For experiments, a two-level laboratory flume 12 meters long, 0.5 meters wide and 0.6 meters high was built in the hydraulic laboratory of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. In this channel, the total flow was measured using an ultrasonic flowmeter and the remaining flow in the main channel was measured to the nearest 0.01 liters per second, using a triangular weir. Water depth was measured with a point gauge to the nearest ± 1 mm. The length required to create the developed flow conditions before the control reservoir and the length of 7.5 m to create the developed conditions in all tested discharges were deemed appropriate. The porous environment, above and below of channel bed is made of glass. Metal mesh was used to stabilize the surface aggregates and also to keep the aggregates downstream of the catchment. The aggregates of the porous medium were selected uniformly by passing through sieves with mesh diameters of 30, 20, 13 and 10 mm. Bentonite sediment was used to create sediment flow. Based on this, 270 experiments were performed, which include 54 data samples in clear water and 216 data samples in sediment-containing water was taken. Due to the fact that different concentrations were created to investigate the effect of cohesive sediment on the amount of deflection flow, the flow concentration was measured by sampling. To create different concentrations according to the volume of the tank, sticky sediments were added to the tank. In this study, four different concentrations of 1.5, 3, 6.5 and 8 g / l were created and measured, respectively.

3. Results

The results showed that the discharge coefficient in aggregate size was $D_{50} = 16.5$ mm in a flow rate of 20.7 liters per second with concentrations of 1.5, 3, 6.5 and 8 g / l, respectively, 0.038, 0.035, 0.034 and 0.033. Reducing the flow rate through the porous medium due to increasing concentration can be a reason to reduce the permeability. The discharge coefficient for the concentration of 3 gr / lit in the discharge is 20.7 liters per second for the aggregate size with D_{50} , 11.5, 16.5 and 25 mm are 0.025, 0.035 and 0.042, respectively. This issue is due to the higher amount of porosity in the aggregate size of $D_{50} = 25$ mm compared to $D_{50} = 16.5$ mm and $D_{50} = 11.5$ mm. Results Showed that in lower discharges the changes of discharge coefficient are more than the input discharge but with increasing the input discharge reaches a constant value

4. Discussion and Conclusion

By reviewing the obtained data and using dimensional analysis and multivariate regression, relations for estimating the discharge and discharge coefficient for this catchment have been proposed. For all three granulations, the discharge coefficient increases with increasing aggregate size. Flow coefficient for $C_2 = 3$ gr./ lit concentration in flow of 20.7 liters per second for aggregate size with D_{50} , 11.5, 16.5

Investigating the effect of flow Density containing cohesive sediment on discharge coefficient of bottom intake with porous media

and 25 mm Is 0.025, 0.035 and 0.042, respectively. Also, the study of physical relations shows that the distribution of points around the 45 ° line shows the appropriate agreement between the laboratory results and the estimated values of the above relation. Also, the catchment flow coefficient is directly related to the flow depth, upstream landing number and aggregate size of the catchment materials and is inversely related to the specific energy, density of the sediment-containing stream and concentration of sediment in the stream, which is in accordance with analytical principles.

.5. Six important references

1. Bhave, S. and Kumar, S. 2020. A New Approach to analyze the Water Surface Profile over the Trench Weir. *Advances in Water Resources Engineering and Management. Lecture Notes in Civil Engineering* 39, 71-79.
2. Carrillo, J. M., García, J. T and Castillo, L.G.2018. Experimental and Numerical Modelling of Bottom Intake Racks with Circular Bars. *Water*.10 (5), 605. DOI: 10.3390/w10050605.
3. Castillo, L.G., García, 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. *Water*. 8(4), 166. DOI: 10.3390/w8040166.
4. Kumar, S. and Ahmad, Z. 2015. Experimental investigation on ingestion of sediment into trench weirs. *ISH J. Hydraulic. Eng.* 21, 343-352.
5. Subramanya, K. and S.K, Shukla. 1988. Discharge diversion characteristics of trench weirs. *Inst. Engineering. India Journal*. 69(3): 163-168.
6. Shin, H.J., M. Son and G. Lee. 2015. Stochastic flocculation model for cohesive sediment suspended in water. *Water* 2015, 7, 2527- 2541; doi: 10.3390/w7052527

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.