



## بررسی آزمایشگاهی عوامل موثر بر گذردهی جریان در سازه آبگیر تحتانی متخلخل

ساسان مددی<sup>۱</sup>، علیرضا عمادی<sup>۲</sup>، رامین فضل اولی<sup>۳</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۹

مقاله برگرفته از رساله دکتری

### چکیده

روش‌های متعددی برای آبیاری از رودخانه‌ها وجود دارد که هر یک ویژگی‌ها و محدودیت‌های خاص خود را دارند. آبیاری به روش ثقلی به شیوه‌های مختلفی امکان‌پذیر می‌باشد که استفاده از آبگیر تحتانی متخلخل یکی از این روش‌ها می‌باشد. در پژوهش حاضر با ساخت مدل آزمایشگاهی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و اجرای ۵۴ آزمایش، تاثیر دانه‌بندی و شیب سطح آبگیر تحتانی متخلخل و نیز دبی ورودی بر میزان دبی انحرافی آبگیر بررسی شد. نتایج نشان داد ضریب دبی برای سطح افقی آبگیر در دبی ۱۱/۹ لیتر بر ثانیه برای دانه‌بندی‌های با  $D_{50}$  ۱۱/۵ و ۲۵ میلی‌متر به ترتیب ۰/۰۵۳ و ۰/۰۶۸ است که نشان دهنده افزایش ضریب دبی با افزایش  $D_{50}$  ذرات محیط آبگیر است. همچنین ضریب دبی برای دانه‌بندی  $11/5\text{mm}$  در دبی ۱۱/۹ لیتر بر ثانیه برای شیب سطح ۰ و ۲۰ درصد به ترتیب ۰/۰۵۳ و ۰/۰۳۹ است که نشان دهنده کاهش ضریب دبی با افزایش شیب سطح آبگیر تحتانی است. با رسم تغییرات ضریب دبی جریان منحرف شده توسط آبگیر نسبت به دبی ورودی مشاهده شد که در دبی‌های کمتر تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی ورودی بیشتر می‌باشد ولی با افزایش دبی ورودی به مقدار ثابتی می‌رسد. با بررسی داده‌های بدست آمده و استفاده از تحلیل ابعادی و رگرسیون چند متغیره بین نتایج آزمایش‌ها، روابطی برای تخمین دبی و ضریب آبگذری برای این آبگیر پیشنهاد شده است.

**واژه‌های کلیدی:** انحراف آب، تحلیل ابعادی، رگرسیون چند متغیره، محیط پاره سنگی، مدل فیزیکی.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترای سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، ۰۱۱۳۳۶۸۷۵۷۴

sasan.madadi@yahoo.com

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، ۰۱۱۳۳۶۸۷۵۷۴، [emadia355@yahoo.com](mailto:emadia355@yahoo.com)

[a.emadi@sanru.ac.ir](mailto:a.emadi@sanru.ac.ir) (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، ۰۱۱۳۳۶۸۷۵۷۴، [raminfazl@yahoo.com](mailto:raminfazl@yahoo.com)

r.fazloulou@sanru.ac.ir



## مقدمه

آبگیری از جریان آب در رودخانه‌ها معمولاً به دو روش پمپاژ و ثقلی صورت می‌گیرد. روش ثقلی به دلیل پیوسته بودن و عدم نیاز به صرف انرژی بر روش پمپاژ ارجحیت دارد. آبگیرهای با محیط متخلخل کاربردهای وسیعی در انحراف آب به سمت توربین‌ها، جمع‌آوری رواناب ناشی از بارندگی در خیابان‌ها، بزرگراه‌ها، عرشه پل‌های بزرگ و ته‌نشین نمودن رسوبات و مواد جامد معلق در آب دارند. با وجود اینکه استفاده از آبگیر با محیط متخلخل یک راه مناسب برای آبگیری از رودخانه است، متأسفانه در حال حاضر به دلیل کمبود مطالعات کافی، استفاده محدودی از این روش آبگیری می‌شود. مطابقت با محیط و جلوگیری از مشکلات زیست محیطی، عدم زنگ زدگی، مقاومت در برابر آسیب‌دیدگی و سهولت در نگهداری از جمله مزایای این سامانه نسبت به کف مشبک می‌باشد. از جمله محدودیت‌هایی که برای این سیستم می‌توان متصور شد، مشکلات مربوط به انسداد و عدم گذردهی و آبگیری مناسب از این نوع آبگیر است. لذا باید با انتخاب مناسب‌ترین دانه‌بندی و اعمال اقدامات لازم جهت بهینه‌سازی این سازه، مشکلات مربوط به انسداد را به حداقل رساند (نقوی و همکاران، ۱۳۸۷). جریان اصلی بر روی آبگیر متغیر مکانی با کاهش دبی می‌باشد.

تقی‌پور (۱۳۹۱) تأثیر پوشش گیاهی و زبری بستر بر جریان خروجی کف مشبک را مورد بررسی قرار دادند. آزمایش‌ها نشان داد پوشش گیاهی و پوشش سنگ بر دبی انحرافی از آبگیر اثر می‌گذارند به نحوی که 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. در این پژوهش با استفاده از روش آنالیز ابعادی و رگرسیون چند متغیره بین مشاهدات آزمایشگاهی، معادلاتی برای تخمین ضریب آبگذری در جریان زلال و رسوبدار ارائه شده است.

سرحدی (۱۳۹۵) با هدف بررسی دقیق رفتار هیدرولیکی آبگیر کفی با میله‌های طولی و تأثیر عوامل مختلف بر دبی خروجی از کف مطالعاتی انجام داد.

Hager et al. (1987) در مورد کف‌های مشبک 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) پژوهش‌هایی در مورد آبگیر کفی انجام دادند. آنها 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، نسبت جریان منحرف شده به جریان بالادست با افزایش نسبت‌های طول آبگیر به عمق بحرانی و فاصله خالص بین میله‌ها به قطر میله‌ها به طور مؤثری افزایش می‌یابد.

Brunella et al. (2003) پژوهش‌هایی را با استفاده از کانال مستطیلی انجام دادند و رابطه‌ای بر اساس پارامترهای موثر از قبیل ضریب تخلیه و نسبت بازشدگی به کل سطح برای طراحی مناسب کف مشبک 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 موجود در مورد ضریب تخلیه صحیح و با دقت نبوده و رابطه جدیدی برای ضریب تخلیه جریان با مقدار خطای  $\pm 10\%$  درصد ارائه کردند.

Kumar & Ahmad (2015) در کانالی به طول ۱۷، عرض ۰/۵ و ارتفاع ۰/۶۴ متر 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. نتایج تحقیقات آنها نشان می‌دهد زمانی که نسبت قطر رسوبات به فاصله‌ی میله‌ای شبکه کمتر از ۰/۷۵ باشد تمامی رسوبات کانال اصلی وارد کانال انحراف می‌شود و برای نسبت‌های بزرگتر از ۰/۷۵ میزان رسوبات ورودی به کانال انحراف کاهش می‌یابد و به مقدار دبی انحراف بستگی دارد.

جریان افزایش می‌یابد. معادلات تجربی بدست آمده از ضرایب گذردهی نشان دادند که مهمترین عوامل جهت بهبود عملکرد آبیگر انتخاب دانه‌بندی و شیب مناسب برای محیط متخلخل آبیگر است که بواسطه آن نسبت تغییرات ضریب گذردهی جریان رسوبدار به زلال ناچیز می‌شود.

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 آزمایشات خود مقایسه و علت عدم تطابق این روابط را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش با استفاده از روش تحلیل ابعادی و رگرسیون چند متغیره بین مشاهدات آزمایشگاهی، معادلات جدیدی برای تخمین دبی انحرافی و ضریب آبگذری، ارائه گردید.

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. همچنین افزایش طول و ضخامت آبیگر، میزان دبی انحرافی از آبیگر را افزایش داد.

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 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 داری معتبر است، استفاده از قانون داری برای برآورد عامل‌های مختلف جریان در محیط‌های درشت‌دانه دارای خطای قابل توجهی است. برای این منظور به طور اصولی از روابط دیگری که بیانگر یک ارتباط غیرخطی بین سرعت و گرادیان هیدرولیکی در این نوع محیط‌ها بوده و به روابط غیرداری معروف هستند استفاده می‌شود.

Castillo et al. (2016) به مطالعه آزمایشگاهی و عددی آبیگرهای کفی مشبک در جریان زلال و جریان رسوبدار پرداختند و در کانالی به طول ۵، عرض ۰/۵ و ارتفاع ۰/۳ متر برای آبیگری با سه نسبت بازشدگی متفاوت برای میله‌های آبیگر مشبک و چهار شیب مختلف آبیگر آزمایش‌هایی انجام دادند. آنها نتایج خود را با روش‌های عددی مورد استفاده در دینامیک سیالات محاسباتی، ارزیابی و مقایسه کردند که بین این دو همخوانی مناسبی برقرار است؛ همچنین شیب بهینه ۳۰ درصد را برای آبیگر کفی مشبک پیشنهاد کردند.

Carrillo et al. (2018) به مطالعه آزمایشگاهی و عددی آبیگرهای کفی با روزنه‌های دایروی در جریان زلال پرداختند. آنها معادلاتی جهت برآورد ضریب دبی و مقدار دبی انحراف یافته از آبیگر کفی با روزنه‌های 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. آنها با مقایسه داده‌های مشاهده شده و داده‌های برآورد شده توسط رابطه، به این نتیجه رسیدند که رابطه ارائه شده با دقت بالایی نیمرخ سطح آب بر روی آبیگر کفی را محاسبه می‌کند.

کوروش وحید و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی مقایسه‌ای بین آبگذری جریان‌های زلال و رسوبدار در روش نوین آبیگر کفی با محیط متخلخل انجام دادند. آنها با ساخت کانالی دو طبقه که امکان تفکیک جریان عبوری از آبیگر را فراهم می‌کرد، 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 و گزارش دادند که: 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



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:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

سرعت واقعی جریان  $V_n$  از تقسیم سرعت ظاهری بر تخلخل طبق رابطه ۴ بدست می‌آید:

$$V_n = \frac{V}{n} = \frac{Q}{nA} \quad (4)$$

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

$$\frac{dq}{dx} = C_d n V_n \quad (5)$$

که در آن،

$n$  = تخلخل محیط متخلخل،  $C_d$  = ضریب دبی که وابسته به پارامترهای مختلفی چون نسبت ابعاد آبگیر، مشخصات هیدرولیکی جریان و دانه‌بندی مصالح درون آبگیر می‌باشد و  $V$  = سرعت تئوری جریان عبوری از محیط متخلخل می‌باشد. با انتگرال‌گیری از رابطه فوق و استفاده از رابطه ۲ میزان دبی انحرافی از آبگیر به صورت رابطه ۶ ارائه می‌شود:

$$Q_d = C_d n V L_p B = C_d n L_p B \sqrt{2gE_1} \quad (6)$$

که در این رابطه،

مقدار ضریب شدت جریان در آزمایشگاه، از تقسیم دبی انحرافی واقعی مشاهده شده در آزمایشگاه  $((Q_d)_E)$  بر دبی محاسبه شده از رابطه تئوری  $((Q_d)_T)$  طبق رابطه ۷ بدست می‌آید:

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

در شکل ۱ نمایی از آبگیر با محیط متخلخل همراه با مشخصات هیدرولیکی جریان نمایش داده شده است.

### تحلیل ابعادی

در این پژوهش برای بررسی جریان منحرف شده توسط آبگیر با محیط متخلخل، مدلی آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ساخته شد و آزمایش‌های لازم برای استخراج رابطه ریاضی

در پژوهش‌های گذشته جریان انحرافی در کانالی به موازات جریان اصلی بوده، در این پژوهش نیز چنین است با این تفاوت که بخشی از کانال انحراف عمود بر جریان اصلی می‌باشد تا شرایط آزمایشگاهی تطابق بیشتری با شرایط واقعی داشته باشد. همچنین در این پژوهش از ابعاد متفاوتی برای آبگیر و روابط متفاوتی برای دبی انحرافی از آبگیر تحتانی متخلخل نسبت به گذشته استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

#### معادلات حاکم

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.

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

$$\frac{dy}{dx} = \quad (1)$$

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

که در آن،

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

$$Q_d = \quad (2)$$

$$C_q \omega B L_p \sqrt{2gE_1}$$

که در آن،

$Q_d$  = دبی محرف شده،  $\omega$  = 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.

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



با توجه به اینکه تعداد متغیرهای رابطه ۸ برابر ۱۴ عدد و تعداد ابعاد اصلی ۳ عدد می‌باشد، لذا ۱۱ پارامتر بدون بعد قابل استخراج می‌باشد.

$$\phi\left(n, \frac{E_1}{L_p}, \frac{y_1}{L_p}, \frac{y_2}{L_p}, \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}, \alpha, \frac{h}{L_p}, S_0, \frac{D_{50}}{L_p}, \frac{\mu}{\rho Vy_1}\right) = \frac{q_d}{L_p \sqrt{gE_1}}$$

عبارت  $\frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$  عدد فرود و  $\frac{\mu}{\rho Vy_1}$  عدد رینولدز در بالادست آبیگر می‌باشد.

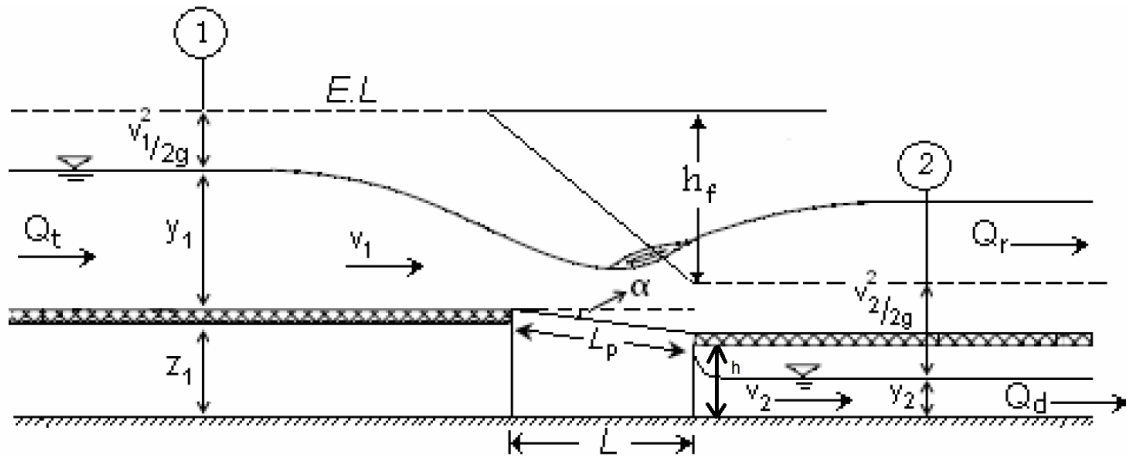
با توجه به اینکه شرایط جریان در کانال تحتانی آزاد و در بالادست (محل آبیگر کفی) تأثیری ندارد و همچنین شیب کف کانال ثابت و جریان در بالادست آبیگر آشفته است از رابطه ۶ می‌توان نوشت:

مناسب انجام شد. برای شناخت پارامترهای بدون بعد موثر بر مساله، تحلیل ابعادی صورت گرفت. با استفاده از قضیه پی باکینگهام می‌توان نوشت:

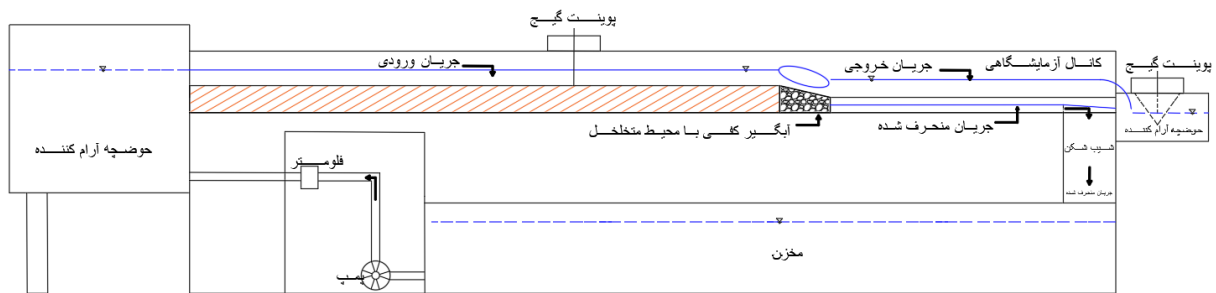
$$q_d = \phi(L_p, n, E_1, y_1, y_2, g, V_1, \alpha, h, S_0, D_{50}, \rho, \mu)$$

که در این رابطه  $q_d$  دبی انحراف یافته توسط آبیگر در واحد عرض آبیگر،  $L$  طول تصویر افقی آبیگر،  $n$  تخلخل مصالح موجود در آبیگر (نسبت حجم فضای خالی  $V_v$  به حجم کل مصالح  $V_t$ )،  $E_1$  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،  $\alpha$  زاویه سطح آبیگر نسبت به افق،  $h$  ارتفاع پایین‌دست آبیگر،  $S_0$  شیب کف کانال می‌باشد،  $D_{50}$  قطر الکی است که ۵۰ درصد دانه‌بندی محیط متخلخل از آن ریزترند،  $\rho$  چگالی آب زلال و  $\mu$  لزجت دینامیکی سیال می‌باشد.

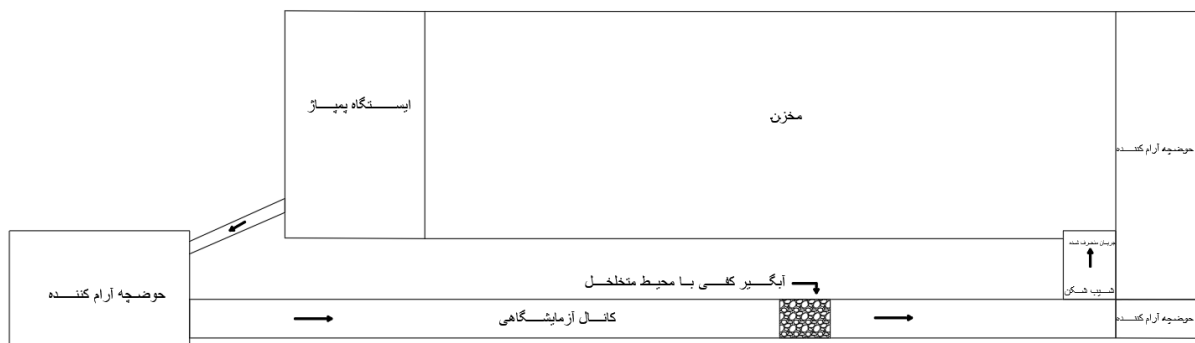
$$C_d = f\left(\frac{E_1}{L_p}, \frac{y_1}{L_p}, Fr_1, \frac{h}{L_p}, \frac{D_{50}}{L_p}\right) \quad (۸)$$



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



الف) پروفیل کانال آزمایشگاهی



ب) پلان کانال آزمایشگاهی

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

ایجاد گردید. در این کانال دبی کل با استفاده از فلومتر اولتراسونیک و دبی باقیمانده در کانال اصلی با استفاده از سرریز مثلی به دقت  $\pm 0.1\%$  لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری

### تجهیزات آزمایشگاهی

برای انجام آزمایش‌ها کانال آزمایشگاهی دو طبقه به طول ۱۲ متر، عرض  $0.5$  متر و ارتفاع  $0.6$  متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری



بر این اساس تعداد ۵۴ آزمایش صورت پذیرفت که مقادیر دبی کل، دبی انحراف، عمق جریان در بالادست، سرعت جریان و سایر مشخصه‌های مورد نظر پژوهش اندازه‌گیری شد.

### نتایج و بحث

در این بخش نمودار مقادیر ضریب دبی محاسبه شده در مقابل دبی کل ترسیم گردید و تغییرات مشاهده شده مورد بررسی قرار گرفت.

#### تأثیر اندازه سنگدانه‌های آبرگیر بر روی ضریب دبی

در شکل ۳ تغییرات ضریب دبی در مقابل دبی ورودی برای دانه‌بندی‌های مختلف با شیب‌های مختلف سطح آبرگیر رسم شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود برای هر سه شیب سطح آبرگیر، مقدار ضریب دبی با افزایش اندازه سنگدانه‌ها، افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه ضریب دبی برای سطح افقی آبرگیر در دبی ۱۱/۹ لیتر بر ثانیه برای دانه‌بندی‌های با  $D_{50}$  ۱۱/۵ و ۲۵ میلی‌متر به ترتیب ۰/۰۵۳ و ۰/۰۶۸ است. این مسأله به دلیل بالاتر بودن مقدار ضریب تخلخل در دانه‌بندی  $D_{50} = 25\text{mm}$  نسبت به  $D_{50} = 11.5\text{mm}$  می‌باشد. مقدار ضریب دبی با افزایش دبی ورودی کاهش می‌یابد، این امر می‌تواند به دلیل افزایش سرعت عبور جریان از سطح آبرگیر 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 ملاحظه‌ی نمی‌کند.

گردید. اندازه‌گیری عمق آب با پوینت گیج به دقت  $\pm 1$  میلی‌متر انجام شد.

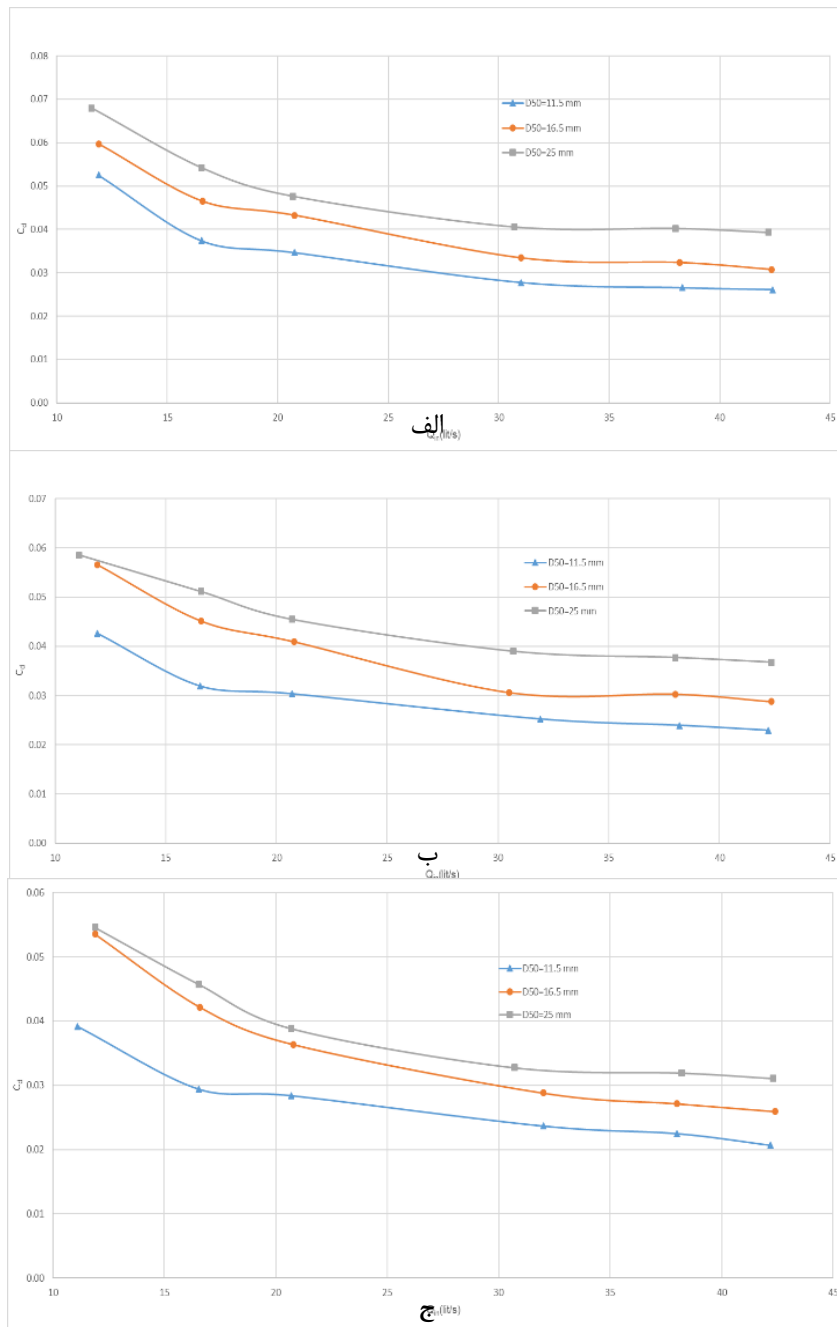
طول مورد نیاز برای ایجاد شرایط جریان توسعه یافته قبل از آبرگیر کنترل و طول ۷/۵ متر برای ایجاد شرایط توسعه یافته در کلیه دبی‌های مورد آزمایش، مناسب تشخیص داده شد. بستر کانال در بالادست و پایین‌دست محیط متخلخل از جنس شیشه می‌باشد. برای تثبیت سنگدانه‌های سطح و همچنین در وجه پایین‌دست آبرگیر نیز از توری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

این مطالعه در شدت جریان‌های مختلف عبوری از سطح آبرگیر، دانه‌بندی‌های مختلف سنگدانه‌های آبرگیر و شیب‌های مختلف سطح آبرگیر، مقدار دبی انحرافی از آبرگیر را مورد بررسی قرار می‌دهد تا ضریب گذردهی در این شرایط مشخص شود.

برای بررسی تأثیر سایر پارامترها بر مقدار ضریب دبی، آزمایش‌هایی بر اساس سه شیب مختلف سطح آبرگیر شامل صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد و سه دانه‌بندی مختلف با  $D_{50}$  مساوی با ۱۱/۵، ۱۶/۵ و ۲۵ میلی‌متر و ۶ دبی کل متفاوت در کانال اصلی انجام گردید. سنگدانه‌های محیط متخلخل با عبور دادن از الک‌های با شماره ۳۰، ۲۰، ۱۳، ۱۰ میلی‌متر به‌طور یکنواخت انتخاب شدند. مشخصات فیزیکی سنگدانه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول (۱): مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های محیط متخلخل

n	$\gamma_s(\text{gr/cm}^3)$	$D_{50}$ (mm)	نوع مصالح آبرگیر
۰/۴۷۷	۲/۴۱۴	۱۱/۵	۱
۰/۵۰۸	۲/۳۶۴	۱۶/۵	۲
۰/۵۴۵	۲/۳۳۰	۲۵	۳



شکل (۳): تغییرات ضریب دبی برای دانه‌بندی‌های مختلف (الف: آبگیر با سطح افقی، ب: آبگیر با شیب سطح ۱۰ درصد و ج: آبگیر با شیب سطح ۲۰ درصد)

تأثیر شیب سطح آبگیر بر روی ضریب دبی در شکل ۴ تغییرات ضریب دبی در مقابل دبی ورودی برای شیب‌های مختلف سطح آبگیر با دانه‌بندی‌های مختلف آبگیر رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود برای همه دانه‌بندی‌های محیط آبگیر، ضریب دبی با کاهش شیب سطح آبگیر، افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه ضریب دبی برای دانه‌بندی  $D_{50} = 11/5 \text{ mm}$  در دبی  $11/9$  لیتر بر ثانیه برای شیب سطح ۰ و ۲۰ درصد به ترتیب  $0/039$  و  $0/053$  است. با وجود اینکه افزایش شیب آبگیر باعث افزایش طول و در نتیجه افزایش سطح آبگیر می‌شود، مشاهده می‌شود

تأثیر شیب سطح آبگیر بر روی ضریب دبی در شکل ۴ تغییرات ضریب دبی در مقابل دبی ورودی برای شیب‌های مختلف سطح آبگیر با دانه‌بندی‌های مختلف آبگیر رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود برای همه دانه‌بندی‌های محیط آبگیر، ضریب دبی با کاهش شیب



در این پژوهش با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی رابطه‌ای ریاضی برای تخمین ضریب دبی ارائه گردید. برای این منظور با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره در نرم‌افزار Minitab رابطه‌ی ۱۲ با ضریب تعیین  $R^2 = 0.94$  بین ضریب دبی و پارامترهای بدون بعد مؤثر ارائه شد. با توجه به اینکه شیب کانال اصل ثابت است، از رابطه ۱۰ می‌توان نوشت:

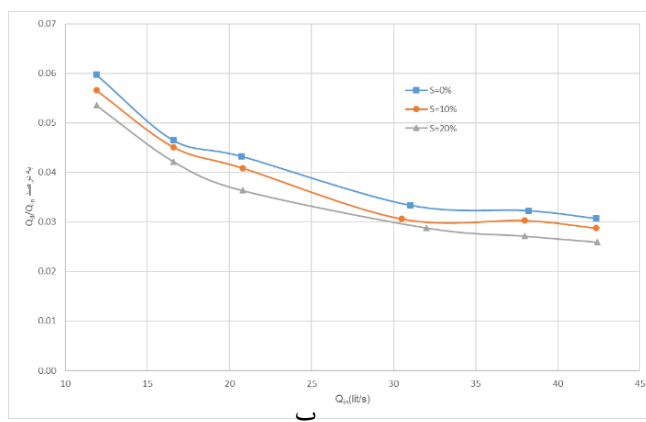
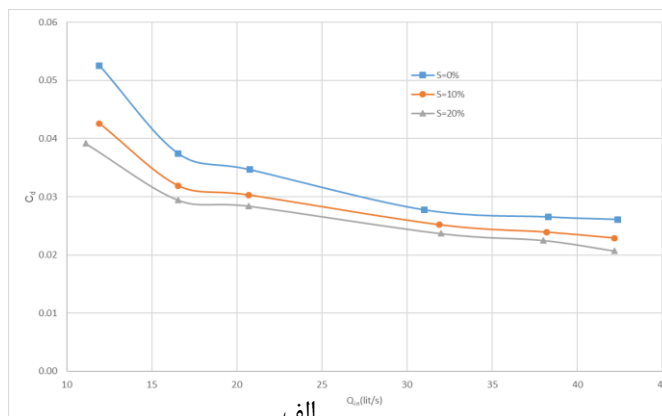
$$C_d = \left(\frac{E_1}{L_p}\right)^{a_1} \left(\frac{\gamma_1}{L_p}\right)^{a_2} Fr_1^{a_3} \left(\frac{h}{L_p}\right)^{a_4} \left(\frac{D_{50}}{L_p}\right)^{a_5} \quad (9)$$

$$C_d = \left(\frac{E_1 \cos \alpha}{L}\right)^{-8.4017} \left(\frac{\gamma_1 \cos \alpha}{L}\right)^{7.6542} Fr_1^{7.61763} \left(\frac{h \cos \alpha}{L}\right)^{0.273075} \left(\frac{D_{50} \cos \alpha}{L}\right)^{0.448589} \quad (10)$$

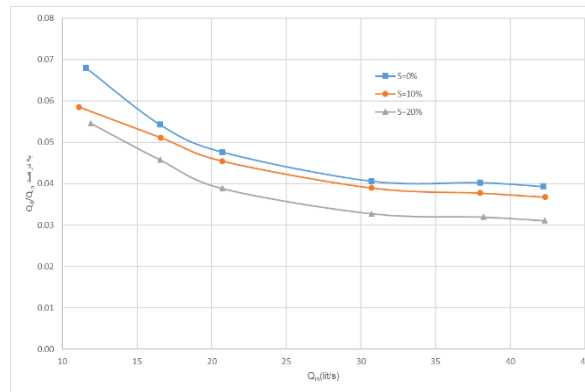
بر اساس رابطه ۱۲ ضریب آبگذری آبگیر با عمق جریان، عدد فرود بالادست، شیب سطح آبگیر و دانه بندی مصالح آبگیر رابطه مستقیم دارد که با مبانی تحلیلی مطابقت دارد.

که ضریب دبی کاهش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت مقدار ضریب دبی صرفاً به سطح آبگیر وابسته نیست و پارامترهای دیگری نیز بر آن تاثیر گذارند. این امر می‌تواند به دلیل فرصت نفوذ آب به داخل محیط آبگیر در شیب کم‌تر نسبت شیب بیشتر باشد به عبارتی افزایش شیب سطح آبگیر باعث افزایش سرعت عبور جریان از روی آبگیر می‌شود که این موضوع می‌تواند مقدار ضریب دبی را کاهش دهد.

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.

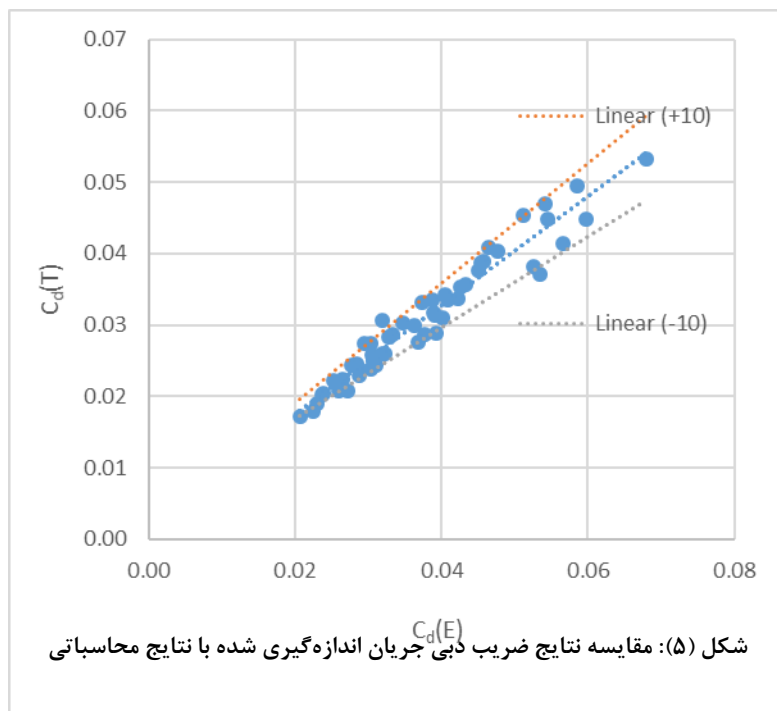


شکل (۴): تغییرات ضریب دبی برای شیب‌های مختلف سطح آبگیر (الف: آبگیر با دانه‌بندی با  $D_{50} = 5/11$  mm، ب: آبگیر با دانه‌بندی با  $D_{50} = 5/16$  mm و ج: آبگیر با دانه‌بندی با  $D_{50} = 25$  mm)



ج

ادامه شکل (۴): تغییرات ضریب دبی برای شیب‌های مختلف سطح آبگیر (الف: آبگیر با دانه‌بندی با  $D_{50} = 11/5 \text{ mm}$ ، ب: آبگیر با دانه‌بندی با  $D_{50} = 16/5 \text{ mm}$  و ج: آبگیر با دانه‌بندی با  $D_{50} = 25 \text{ mm}$ )



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

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش عوامل موثر بر گذردهی جریان از آبگیر با محیط متخلخل در جریان زلال مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، در شدت جریان‌های مختلف عبوری از سطح آبگیر، دانه‌بندی‌های مختلف سنگدانه‌های آبگیر و شیب‌های مختلف سطح آبگیر، 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، ارتفاع، تخلخل، عدد فرود در مقطع بالادست آبگیر و قطر متوسط مصالح رابطه مستقیم و با شیب سطح آبگیر و انرژی مخصوص در مقطع بالادست آبگیر رابطه معکوس دارد. در این پژوهش رابطه ۶ برای تخمین میزان دبی منحرف شده توسط آبگیر و رابطه ۱۲ برای تخمین ضریب آبگذری پیشنهاد می‌گردد. این روابط در محدوده عدد فرود  $1/33$



تا ۱/۵۱ و در شرایط عدم پس زدگی جریان قابل استفاده

است

## منابع

- تقی‌پور، ه. ۱۳۹۱. مطالعه آزمایشگاهی جریان عبوری از کف مشبک و تعیین معادله ضریب دبی 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. ۴۵-۳۵.
- 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.، خدائشناس 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 دهکشی. 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.، خدائشناس. 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.، خدائشناس. 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. Hydraul. Eng.* 21, 343-352.
- Leps T.M. 1973. *Flow Through Rock fill 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.
- 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.



## Experimental Study on Water Diversion from Bottom with Porous Media

Sasan. Madadi<sup>1</sup>, Ali Reza. Emadi<sup>2</sup>, Ramin. Fazlouloula<sup>3</sup>

### Abstract

There are several methods for diverting discharge in rivers. Each of these methods has its own benefits and limitations. Gravity flow intake in rivers is possible in different ways; one of these ways is using porous media. The present research deals with an experimental model in Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, doing 54 experiments to find out the effect of grain size of porous media, surface slope of porous media and different inflow on diverted discharge rate in bottom intake with porous media. The results show that discharge coefficient for horizontal intake surface at  $11.9 \text{ m}^3/\text{s}$  and grain size with  $D_{50}$  11.5 and 25 mm is equal to 0.053 and 0.068 respectively. It means discharge coefficient increases with increasing  $D_{50}$  of porous media's grain size. Also when flow rate is  $11.9 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $D_{50}$  equals to 11.5 mm, for two surface slope 0 and 20% the discharge coefficient is 0.053 and 0.039; that shows that increasing surface slope because decreasing discharge coefficient. Drawing the Intake diverted discharge coefficient changes vs inflow shows that discharge coefficient variation versus of inflow is higher at lower inflows but increasing inflow makes it stable. With analyzing the obtained data and using dimensional analysis and multiple regression on experiment results, an equation is proposed for estimating flow and discharge coefficient for this type of intake.

**Key words:** Bottom intake, Diverting water, Discharge coefficient, Porous media.

---

<sup>1</sup> PhD student, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran.  
[sasan.madadi@yahoo.com](mailto:sasan.madadi@yahoo.com).

<sup>2</sup> Associate Professor, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran.  
[emadia355@yahoo.com](mailto:emadia355@yahoo.com), [a.emadi@sanru.ac.ir](mailto:a.emadi@sanru.ac.ir). (Corresponding Author)

<sup>3</sup> Associate Professor, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran.  
[raminfazl@yahoo.com](mailto:raminfazl@yahoo.com), [r.fazlouloula@sanru.ac.ir](mailto:r.fazlouloula@sanru.ac.ir).



## Experimental Study on Water Diversion from Bottem with Porous Media

Sasan. Madadi<sup>1</sup>, Ali Reza. Emadi<sup>2</sup>, Ramin. Fazloula<sup>3</sup>

### Abstract

**Introduction:** There are several methods for diverting discharge in rivers, which has its own characteristics and limitations. Gravity flow intake in rivers is possible in different ways, and the use of porous bottom intake is one of these methods. In this study, to investigate the flow diverted by the reservoir with the porous medium, a laboratory model was made in the hydraulic laboratory of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources and the necessary experiments were performed to extract the appropriate mathematical relationship. Despite of previous studies, the deviation current in a channel is parallel to the main current stream, the part of the deviation channel is perpendicular to the main current so that the laboratory conditions are more consistent with the real conditions.

**Methodology:** For experiments, a two-story laboratory canal with a length of 12 meters, width of 0.5 meters and height of 0.6 meters was created 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 overflow. Water depth was measured with a point gauge to the nearest  $\pm 1$  mm. The required length to create the developed flow conditions before the control catchment and the length of 7.5 m in all tested discharges were deemed appropriate. The channel bed above and below the porous environment is made of glass. Metal mesh was used to stabilize the surface aggregates and also in the downstream part of the reservoir to preserve the aggregates. This study investigates the amount of diversion discharge from the catchment at the intensity of different currents passing through the catchment surface, different granulations of catchment aggregates and different slopes of the catchment surface to determine the permeability coefficient in these conditions. To investigate the effect of other parameters on the flow rate, experiments based on three different slopes of the catchment surface including zero, 10 and 20% and three different granulations with  $D_{50}$  equal to 11.5, 16.5 and 25 mm and 6 different total discharges were made in the main channel. The aggregates of the porous medium were selected uniformly by passing through 30, 20, 13, 10 mm sieves.

**Discussion and Conclusion:** The diagram of the changes in the deflected flow rate relative to the inlet flow rate for different aggregate sizes showed that the amount of deflected flow rate increases with increasing aggregate size. Also, the results showed that the discharge coefficient for the horizontal surface of the catchment at a flow rate of 11.9 liters per second for granulations with  $D_{50}$ , 11.5 and 25 mm is 0.053 and 0.068, respectively, which indicates an increase in the discharge coefficient with increase  $D_{50}$  particles in the intake environment. This could be due to the increased velocity of the flow through the surface of the reservoir. However, at higher flows, the changes in the flow coefficient decrease, which indicates that the porous medium has a certain capacity for current deviation, and from a certain value onwards, the flow coefficient does not change significantly with increasing flow in the main channel. Examination of the changes of the deflected flow rate compared to the inlet flow rate for different slopes of the catchment area shows that for all grains of the catchment environment, the amount of diverted flow rate increases with decreasing slope of the catchment area. Additionally, the discharge coefficient for grain size  $D_{50} = 11.5$  mm in the discharge of 11.9 liters per second for the

<sup>1</sup> PhD student, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran. [sasan.madadi@yahoo.com](mailto:sasan.madadi@yahoo.com).

<sup>2</sup> Associate Professor, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran. [emadia355@yahoo.com](mailto:emadia355@yahoo.com), [a.emadi@sanru.ac.ir](mailto:a.emadi@sanru.ac.ir). (Corresponding Author)

<sup>3</sup> Associate Professor, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran. [raminfazl@yahoo.com](mailto:raminfazl@yahoo.com), [r.fazloula@sanru.ac.ir](mailto:r.fazloula@sanru.ac.ir).



level slope of 0 and 20% is 0.053 and 0.039, respectively, which indicates a decrease in the discharge coefficient with increasing slope of the lower catchment surface. This can be due to the possibility of water infiltration into the catchment environment at a lower slope than the slope ratio, in other words, increasing the slope of the catchment surface increases the flow rate through the catchment, which can reduce the flow rate. By plotting the changes in the discharge coefficient, the flow diverted by the reservoir to the inlet discharge was observed, which in lower discharges changes in discharge coefficient is greater than the inlet discharge, but with increasing inlet discharge reaches a constant value. The results showed that the amount of discharge diverted by the bottom intake was directly related to the length, width, height, porosity, landing number in the upstream section of the intake and the average diameter of materials and inversely related to the slope of the bottom intake surface and specific energy in the upstream section of the intake. By reviewing the obtained data and using dimensional analysis and multivariate regression between the test results, relationships for estimating the flow rate and permeability coefficient for this catchment have been proposed. These relationships can be used in the range of fraud number 1.33 to 1.51 and in conditions of no flow reversal.

**Key words:** Bottom intake, Diverting water, Discharge coefficient, Porous media.

**The most important references:**

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.

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.

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): 35-45.

Shariati, H. Khodashenas, S. R. and Esmaili, K. 2017. Evaluation of Factors Affecting Flow Discharge in Bottom Intakes through Porous Media with Clear Water. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*. 18:17-30.