

مقایسه آبگذری آبگیر کفی با محیط متخلخل در جریان‌های زلال و رسوبدار

بنیامین نقوی^۱ - محمود فغفور مغربی^{۲*} - کاظم اسماعیلی^۳ - سعیدرضا خداشناس^۴ - فاطمه کورش وحید^۵

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۸۸/۲/۲۷

چکیده

آبگیر کفی با صفحات مشبک از جمله مناسبترین روش‌های انحراف جریان در رودخانه‌های پرشیب به شمار می‌رود. با این وجود زنگزدگی و از کار افتادگی شبکه‌های فلزی این نوع آبگیر در بلند مدت مشکلاتی به همراه دارد که با جایگزینی یک محیط متخلخل می‌توان بر این مشکلات فائق آمد. هرچند این محیط نیز می‌تواند با محدودیت‌هایی همچون گرفتگی فضای متخلخل و کاهش آبگیری همراه باشد اما هزینه کم طراحی، کارایی آن در بلند مدت و عدم نیاز به نگهداری، تحقیق در این زمینه را ضروری می‌نماید. با ساخت کانالی دو طبقه که امکان تفکیک جریان عبوری از آبگیر با محیط متخلخل را فراهم می‌کند، تأثیر توام عواملی همچون اندازه دانه‌بندی ذرات محیط متخلخل و شیب سطح بالایی محیط متخلخل در دبی‌های مختلف بر میزان جریان انحرافی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی رسوبگرفتگی و کاهش گذردهی آبگیر، آزمایشات با چندین نوع رسوب مختلف تکرار و با نتایج جریان بدون رسوب مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که تأثیر گرفتگی ناشی از رسوبات در جریان رسوبدار با افزایش شیب سطح محیط متخلخل کاهش یافته و ضریب گذردهی جریان افزایش می‌یابد. علاوه بر این ضریب گذردهی در هر دو حالت حدوداً بین ۰/۰۶ تا ۰/۱۳ بوده و وجود رسوبات، گذردهی آبگیر را در شرایط مختلف نسبت به جریان زلال ۵ تا ۳۵٪ کاهش می‌دهد. معادلات تجربی بدست آمده از ضرایب گذردهی نشان می‌دهند که مهمترین عوامل جهت بهبود عملکرد آبگیر انتخاب دانه‌بندی و شیب مناسب برای محیط متخلخل آبگیر است که بواسطه آن نسبت تغییرات ضریب گذردهی جریان رسوبدار به زلال ناچیز می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبگیر کفی، محیط متخلخل، ضریب گذردهی، جریان زلال، جریان رسوبدار، گرفتگی

مقدمه

روش آبگیری از کف یکی از کارآمدترین و مطمئن‌ترین راه‌های آبگیری از رودخانه‌های کوهستانی حاوی رسوبات درشت دانه و با شیب تند است (۱). 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 (۲). برای جلوگیری از ورود ذرات درشت بستر به داخل ترانشه معمولاً از یک شبکه فلزی به عنوان رسوبگیر استفاده می‌گردد. اولین تعریف هیدرولیکی از آبگیرهای کفی توسط اورث و

همکاران (۱۳) در کانالی با شیب ۲۰ درصد ارائه شده است. درایبر (۸) با استفاده از مدلی با ابعاد واقعی تحقیقاتی بر روی آبگیر کفی با کف مشبک انجام داد و در این تحقیق شیب بهینه برای کف مشبک بین ۲۰ و ۳۰ درصد بدست آمد. اما برای برآورد دبی انحراف در آبگیرهای کفی هنوز نیاز به تحقیقات زیادی است.

استفاده از شبکه فلزی مشکلاتی به همراه دارد که از جمله مهمترین آنها مشکلات مربوط به نگهداری سیستم و تخلیه رسوبات از سیستم، ناپایداری جریان در کانال انحراف، و یخ زدن و پوسیدن شبکه فلزی است. از جمله اقداماتی که می‌توان برای حل این مشکلات مطرح کرد جایگزینی یک محیط متخلخل با کف‌های مشبک آبگیر کفی است. هرچند این محیط نیز می‌تواند با محدودیت‌هایی همراه باشد اما هزینه کم طراحی و کارایی این سیستم در بلند مدت تحقیق در این زمینه را ضروری می‌کند. محدودیت‌هایی که برای این سیستم می‌توان متصور شد، مشکلات مربوط به رسوبگیری و عدم گذردهی و در نتیجه آبگیری مناسب از

۱-۵- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
* نویسنده مسئول: (Email: maghrebi@ferdowsi.um.ac.ir)

۳-۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

زهکشی و ذخیره آنها را شدیداً کاهش داده و نفوذ رواناب سطحی به داخل بستر یا لایه نفوذپذیر را با مشکل مواجه کند (۴ و ۹). بستر رودخانه در نتیجه ترسیب و انباشتگی رسوبات ریزدانه دچار گرفتگی شده و ترکیبات آب زیرزمینی، تغذیه آب زیرزمینی از بستر رودخانه، ظرفیت سیستم چاه و کیفیت آب زیرزمینی منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ترسیب مواد معلق باعث کاهش هدایت هیدرولیکی و شسته شدن بستر باعث افزایش هدایت هیدرولیکی کف رودخانه می‌شود (۱۲).

مطالعات نشان می‌دهد که فرآیند لای گذاری در محیط متخلخل توسط سه فاکتور اصلی کنترل می‌شود. این سه فاکتور عبارتند از نسبت اندازه ذرات رسوب و شن، غلظت رسوبات و سرعت جریان نشت (۵)، (۷) و (۱۷).

نسبت اندازه مصالح محیط متخلخل درشت دانه به رسوبات می‌تواند توسط یک پارامتر ساده به نام نسبت اندازه ذرات R_S به صورت زیر تعریف شود (۱۸) و (۱۹):

$$R_S = \frac{(D_{15})_{Gr}}{(d_{85})_{Sed}} \quad (2)$$

که در آن $(D_{15})_{Gr}$ و $(d_{85})_{Sed}$ به ترتیب قطر الکی است که ۱۵ و ۸۵٪ دانه‌بندی محیط متخلخل و رسوبات از آن ریزترند. مطالعات وو و هوانگ (۲۱) نشان داد که نسبت اندازه R_S ، فاکتور حاکم بر توزیع ته نشینی رسوبات است. طبق گزارش ساکیوادیول و اینشتین (۱۷) هنگامی که نسبت اندازه بزرگتر از ۱۵ باشد، کمتر از ۱٪ حجم منافذ کل با رسوبات ته نشین شده اشغال می‌شود.

تان و همکاران (۲۰) برای پیش بینی کاهش نفوذپذیری بستر نفوذپذیر با استفاده از معادله کوزنی - کارمن و بر اساس k_0 نفوذپذیری قائم اولیه بستر نفوذپذیر (m/s)، n تخلخل، مقدار ماده مسدود کننده و ضریب تجربی آزمایشگاهی α که تابعی از نسبت اندازه R_S و ضریب یکنواختی آنها C_u است، فرمول تئوری - تجربی زیر را ارائه دادند:

$$k = k_0 \frac{(1-n)^2}{n^3} \frac{(n-\alpha\sigma)^3}{[1-(n-\alpha\sigma)]^2} \quad (3)$$

در معادله فوق σ ته نشینی ویژه و یا نسبت حجم رسوب ته نشین شده (∇_C) به حجم کل محیط تخلخل (∇_T) بوده و به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\sigma = \frac{\nabla_C}{\nabla_T} \quad (4)$$

در هیدرولیک جریان محیط متخلخل (سنگدانه‌ای)، سرعت جریان به دو صورت تعریف می‌شود. سرعت ظاهری V که از تقسیم دبی جریان بر سطح مقطع کلی جریان (سطح عمود بر جریان شامل فضای خالی و سنگدانه) بدست می‌آید که چون در محیط متخلخل سطح مقطع جریان ثابت نیست، لذا مقدار متوسط آن در محاسبات

این نوع آبیگر است. لذا باید با انتخاب مناسبترین دانه‌بندی و اعمال اقدامات لازم جهت بهینه‌سازی این طرح، مشکلات مربوط به رسوبگیری را به حداقل رساند.

آبیگری از چنین محیط متخلخلی را می‌توان با گذردهی جریان از بستر رودخانه به سمت آب‌های زیرزمینی و گرفتگی و آبیگری فیلترها مقایسه کرد. گرچه شیوه انحراف جریان از نظر هیدرولیکی در دو روش انحراف از طریق کف مشبک و انحراف جریان از طریق محیط متخلخل در کف با یکدیگر متفاوت است اما دارای شباهت‌هایی نیز می‌باشند. چنانکه جریان اصلی بر روی آبیگر متغیر مکانی با دبی کاهشی بوده و لذا پروفیل‌های تشکیل شده بسیار شبیه به هم پیش بینی می‌شود. اما جریان عبوری از کف مشبک رفتار روزنه‌ای داشته در حالیکه عبور جریان از محیط متخلخل بسته به رژیم جریان در این محیط، متغیر خواهد بود.

نرخ تغییر دبی انحرافی در واحد عرض را می‌توان با رابطه زیر بیان کرد (۱۴):

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

که در آن dq دبی انحرافی در طول بخشی از شبکه طولی dx در واحد عرض، ε نسبت مساحت بازشدگی به مساحت کل، C_d ضریب دبی و Y مقدار مربوط به هد است. مشخصاً مقادیر C_d به تعریف هد هیدرولیکی وابسته است. روش‌های مختلفی برای تخمین C_d و Y در کارهای تحقیقاتی پیشنهاد شده است. مقادیری که تاکنون به جای Y در رابطه ۱ در نظر گرفته شده 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 می‌باشد. بررسی تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد تاکنون تعریف مشخص و ثابتی از هد هیدرولیکی مربوطه که بتوان در معادله ۱ بکار برد ارائه نشده است (۱۴).

طبق مطالعات لپس (۱۰) کوچکتر شدن اندازه سنگدانه‌ها در یک محیط متخلخل باعث افزایش مقاومت در برابر جریان و افزایش مقاومت اصطکاکی، کاهش سرعت سیال و بالا رفتن پروفیل سطح آب در محیط سنگدانه می‌شود. با غیر یکنواخت شدن دانه بندی نیز اندازه متوسط منافذ کاهش یافته و طول مسیر آب افزایش می‌یابد.

مطالعات شالشی (۱۵) در خصوص لایگذاری در بستر رودخانه و محیط‌های متخلخل نیز نشان می‌دهد که کاهش هدایت هیدرولیکی اساساً به تنش برشی بی بعد جریان، غلظت بار معلق، گرادیان هیدرولیکی مابین رودخانه و آب زیرزمینی و توزیع دانه‌بندی بستر رودخانه بستگی دارد. برای یک بستر مشخص، متغیرهای فیزیکی همچون شرایط جریان، بار معلق، توزیع دانه بندی و شکل ذرات معلق، گرادیان هیدرولیکی جریان نشستی و جهت آن می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر فرآیند گرفتگی بگذارند (۶ و ۱۶).

گرفتگی بسترهای نفوذپذیر توسط ذرات خارجی می‌تواند ظرفیت

استفاده شده و سرعت متوسط ظاهری بدست می‌آید:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

و سرعت واقعی جریان V_n که از تقسیم دبی بر سطح فضای عبوری جریان (فضای بین سنگدانه‌ها) و یا سرعت ظاهری بر تخلخل حاصل می‌شود (۱۱):

$$V_n = \frac{V}{n} = \frac{Q}{nA} \quad (6)$$

هدف از این تحقیق بررسی کارایی مدل جدید آبیگر کفی با محیط متخلخل و شناسایی پارامترهای موثر جهت بهبود عملکرد این نوع آبیگر است. لذا با ساخت مدلی آزمایشگاهی و برداشت داده‌ها در شرایط مختلف، گذردهی آبیگر با محیط متخلخل در دو جریان زلال و رسوبدار، شرایط هیدرولیکی جریان در بالادست آبیگر و تأثیر خصوصیات محیط سنگدانه‌ای و دیگر عوامل محیطی بر میزان جریان عبوری از کانال انحراف و نقش و تأثیر وجود رسوبات بر میزان کاهش گذردهی آبیگر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به کمک رابطه بدست آمده از برآورد دبی انحرافی از آبیگر کفی با محیط متخلخل و مقادیر اندازه گیری شده جریان در آزمایشگاه، مقادیر ضریب دبی جریان برای محیط متخلخل بدست آمد. علاوه بر این بر مبنای پارامترهای هیدرولیکی جریان، به کمک رگرسیون غیر خطی و بکارگیری گروه‌های بدون بعد بدست آمده از آنالیز ابعادی رابطه‌ای برای ضریب شدت جریان در دو حالت جریان زلال و رسوبدار بدست آمد.

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 تأثیر آنها پرداخته می‌شود. اندازه‌گیری مقدار جریان انحرافی در هر آزمایش و نیز مقادیر اندازه گیری شده پارامترهای هیدرولیکی امکان برآورد دبی جریان با استفاده از روابط تنوری و از آنجا تعیین ضریب دبی جریان را فراهم می‌کند.

با صرفنظر کردن از اثرات مربوط به کشش سطحی و تراکم پذیری مایع، قانون فیزیکی حاکم بر جریان خروجی در طول آبیگر برای جریان زلال شکل زیر را به خود می‌گیرد:

$$f(\rho, g, V_1, y_1, n, d_{50}, L, S_p, S_0, form) = 0 \quad (7)$$

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 آبیگر، S_p شیب سطح بالایی محیط متخلخل، S_0 شیب کانال و $form$ نشان‌دهنده شکل آبیگر می‌باشد. با انتخاب y_1 ، V_1 و ρ به عنوان متغیرهای

اصلی و استفاده از قضیه Π باکینگهام داریم:

$$C_d = \phi\left(\frac{y_1}{d_{50}}, j, Fr, n, S_p, S_0, form\right) \quad (8)$$

در رابطه فوق j نسبت عمق آب در کانال بالادست به طول آبیگر، $\left(\frac{y_1}{L}\right)$ و $Fr = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$ عدد فرود بالادست می‌باشد. با توجه به یکسان بودن شکل آبیگر و شیب کانال عوامل S_0 و $form$ از رابطه ۸ حذف می‌شوند:

$$C_d = \phi\left(\frac{y_1}{d_{50}}, j, Fr, n, S_p\right) \quad (9)$$

در جریان رسوبدار مجموع پارامترهای بی بعدی که در تحلیل‌های صورت گرفته موثر شناخته شدند به شرح زیر است:

$$f(R_S, R_{15}, R_{50}, S_p, \sigma, n, i, j, Fr, Re, I, \Theta, form) = 0 \quad (10)$$

که در آن R_{15} و R_{50} بصورت زیر بیان می‌شوند:

$$R_{15} = \frac{D_{15}}{d_{15}}, \quad R_{50} = \frac{D_{50}}{d_{50}} \quad (11)$$

در رابطه ۱۱، D_{15} و D_{50} به ترتیب قطر الکی است که ۱۵ و ۵۰٪ دانه‌بندی محیط متخلخل و d_{15} و d_{50} قطر الکی است که به ترتیب ۱۵، ۵۰ و ۸۵ درصد رسوبات از آن ریزترند.

σ ته نشینی ویژه، i گرادیان هیدرولیکی، Re عدد رینولدز جریان بالادست، $I = C/\rho_w$ نسبت غلظت آب رسوبدار (که حاصل تقسیم دبی رسوب بر دبی جریان بوده و بر حسب گرم بر لیتر تعریف می‌شود) به چگالی آب زلال و Θ تنش برشی بی بعد (فاکتور شیلدز) است. در این حالت ضریب دبی تابع عوامل ذیل تشخیص داده شد:

$$C_d = f(Fr, Re, i, \Theta, \sigma, R_{50}, S_p) \quad (12)$$

همانطور که مشاهده می‌شود، علاوه بر مشخصات هیدرولیکی جریان و مشخصات فیزیکی محیط متخلخل، تخلخل و درصد گرفتگی نیز بر ضریب گذردهی موثرند.

مواد و روش‌ها

ساخت مدل آزمایشگاهی

برای ساخت مدل، از فلوم موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ سانتی متر و ارتفاع ۵۰ سانتی متر استفاده گردید. دیواره این فلوم از شیشه بوده که امکان مشاهده جریان را فراهم می‌نمود و کف آن از ورق گالوانیزه رنگ شده ساخته شده است. به منظور ایجاد آبیگر کفی در فلوم از کانالی دو طبقه با ورق پلکسی گلس استفاده شد و محیط آبیگری به صورت یک فضای خالی (تراشه) در فاصله ۵ متر از ابتدای کانال ایجاد شد (شکل ۱).

برای تفکیک جریان عبور کرده از محیط متخلخل و جریان باقی‌مانده لازم بود کانال در قسمت پایین دست آبیگر کفی، دو طبقه

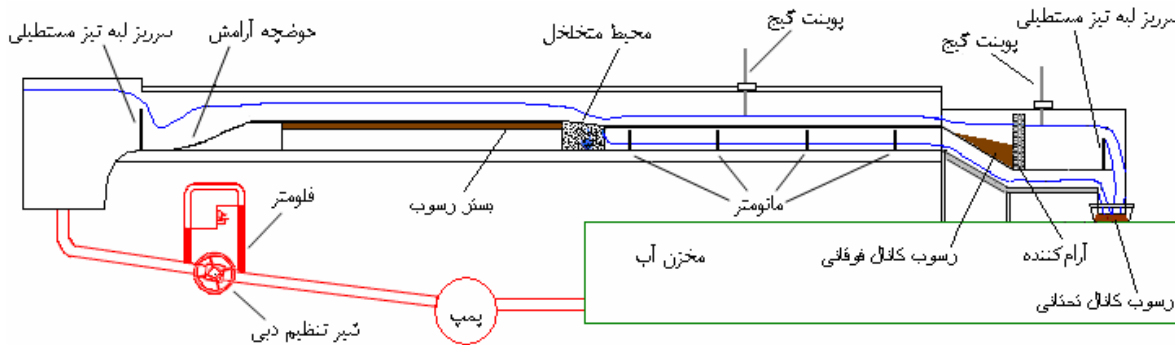
برای ایجاد شیب در سطح آبیگر، ارتفاع دیواره پایین دست ۱۰ سانتی متر انتخاب و ارتفاع دیواره بالادست مطابق با تراز کف کانال بالادست آبیگر در ارتفاع های ۱۰، ۱۲ و ۱۴ سانتیمتر تغییر می‌کرد (شکل ۲). برای جلوگیری از شسته شدن سنگدانه‌ها در سطح محیط متخلخل ناشی از عبور جریان، از یک توری گالوانیزه جهت تثبیت آنها استفاده شد. از آنجا که جریان ورودی به محیط آبیگر فقط امکان خروج از دیواره پایین دست را داشت، برای جلوگیری از انتقال سنگدانه‌ها به کانال تحتانی و ایجاد کمترین مقاومت در برابر جریان، از میله‌هایی به قطر ۱/۵ میلی‌متر که بصورت موازی در دیواره پایین دست قرار داده شدند، استفاده شد.

مواد محیط متخلخل از مصالح رودخانه‌ای انتخاب شد و سپس به روش الک استاندارد ASTM دانه‌بندی گردید. سه نوع دانه‌بندی برای محیط متخلخل با نماد P1، P2 و P3 با d_{50} به ترتیب ۸/۵، ۱۱/۵ و ۱۴/۵ میلی‌متر انتخاب شد تا بتوان اثر اندازه ذرات محیط متخلخل را بر میزان جریان انحرافی توسط آبیگر مورد بررسی قرار داد. ضریب یکنواختی (σ_g) تمامی دانه بندی‌های انتخابی نزدیک به ۱/۱ است.

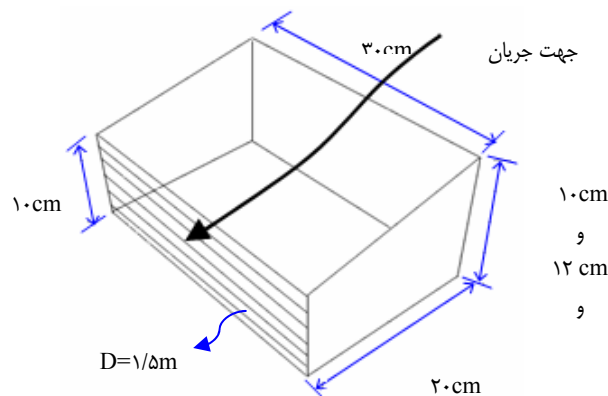
اجرا شود طوری که جریان عبور کرده از محیط متخلخل به عنوان جریان انحرافی از کانال تحتانی و جریان باقیمانده از کانال فوقانی آن بطور مستقل عبور نمایند. بر مبنای برآوردهای اولیه، حداکثر عمق احتمالی در کانال پایین دست در دبی‌های بالا کمتر از ۱۰ سانتی متر برآورد شد. لذا ارتفاع کانال فوقانی (پایین دست آبیگر) برابر ۱۰ سانتیمتر اختیار شد.

با نصب یک سرریز مستطیلی در ابتدای فلوم (پس از مخزن آب) و سرریز دیگری در پایین دست فلوم و بر روی کانال فوقانی (قسمت شیبدار فلوم) به ترتیب میزان جریان ورودی و جریان باقیمانده (عبور نکرده از محیط متخلخل) قابل اندازه گیری شدند. دبی انحرافی از محیط متخلخل از اختلاف جریان ورودی و جریان عبور کرده از سرریز پایین بدست می‌آمد. برای کاهش تلاطم جریان یک آرام کننده بعد از سرریز ابتدایی و آرام کننده دیگری قبل از سرریز پایین دست قرارداد شده بود. به این ترتیب جریان با سرعتی کم و بدون تلاطم زیاد ناشی از افت تراز کف کانال به سرریز نزدیک می‌گردید.

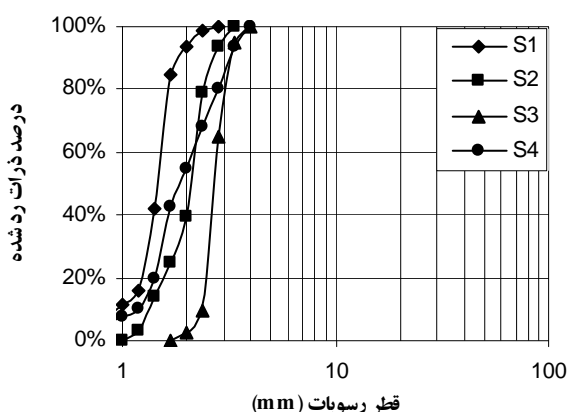
برای ساخت آبیگر کفی با محیط متخلخل، سه محفظه از جنس آهن گالوانیزه با ۳ شیب سطحی S_p صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد، عرض ۳۰ (منطبق با عرض فلوم) و طول ثابت ۲۰ سانتی متر ساخته شد.



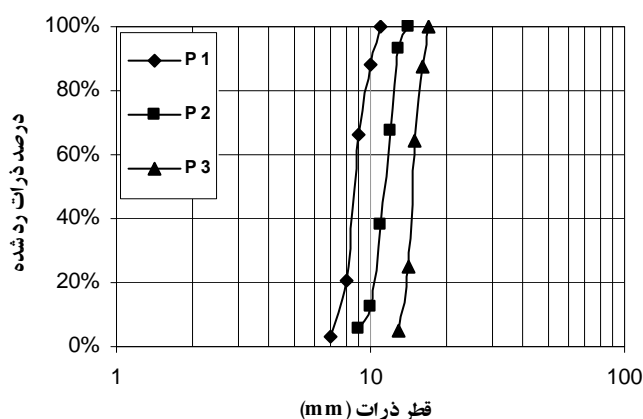
(شکل ۱) - نمای کلی از مدل ساخته شده در آزمایشگاه



(شکل ۲) - نمای سه بعدی از فضای محیط آبیگری



(شکل ۴) - منحنی دانه بندی رسوبات



(شکل ۳) - منحنی دانه بندی سنگدانه ها

نتایج

بررسی گذردهی جریان انحرافی در جریان زلال

به طور کلی میزان جریان انحرافی در محل آبیگرها تابعی از میزان جریان ورودی است. در مواردی که شرایط طبیعی رودخانه اجازه دهد می‌توان تمامی جریان رودخانه را منحرف کرد. در طراحی سیستم های انحراف همواره سعی می‌گردد شرایط به گونه‌ای ایجاد گردد تا بتوان دبی طرح را برداشت نمود. هرچند با افزایش جریان رودخانه امکان انحراف جریان بیشتری وجود دارد اما سیستم انحراف تحت هر شرایط هیدرولیکی روند یکسانی در انحراف جریان نشان نمی‌دهد. در این تحقیق با آزمایشات بر روی مدل، نتایج مربوط به میزان انحراف جریان Q_d بر اساس میزان دبی ورودی Q_i در سه نوع دانه‌بندی مصالح محیط متخلخل و در سه شیب سطح آبیگر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش دبی جاری در کانال، میزان دبی انحراف روند افزایشی داشته که این روند در تمامی حالات سه دانه بندی تقریباً یکسان است. هر چند که روند افزایش دبی انحراف با افزایش دبی ورودی مشاهده می‌شود اما بتدریج و با افزایش دبی ورودی از شدت جریان انحرافی کاسته شده به مقدار ثابتی می‌رسد. مطابق با شکل ۵، درصد افزایش دبی انحرافی با افزایش دبی ورودی کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، در دانه بندی P1 و در شیب صفر، میزان دبی انحرافی $\Psi = Q_d / Q_i$ در دبی $3/4 \text{ lit/s}$ برابر با ۱۰۰٪ و در دبی $23/8 \text{ lit/s}$ برابر با ۲۹٪ می‌باشد.

مطابق مطالعات انجام شده، اندازه ذرات در محیط متخلخل از عوامل موثر بر میزان جریان انحرافی می‌باشد (۲۰). نتایج بدست آمده از شکل ۵ نیز نشان می‌دهد که به ازاء یک دبی ورودی مشخص Q_i با افزایش اندازه ذرات، درصد دبی انحرافی روند افزایشی دارد. به

منحنی دانه‌بندی مواد انتخابی در شکل ۳ آورده شده است. همچنین به منظور تغذیه رسوب از نوع رسوب S1، S2، S3 و S4 و با d_{50} به ترتیب $1/45$ ، $2/1$ ، $2/7$ و $1/85$ در بالادست محیط متخلخل به صورت بار بستر استفاده شد (شکل ۴). ضریب یکنواختی رسوبات انتخابی نیز به ترتیب $1/2$ ، $1/3$ ، $1/1$ و $1/4$ است. شایان ذکر است که رسوبات S4 مخلوط رسوبات S1، S2 و S3 است. با توجه به حداکثر دبی و حداکثر زمان اجرای آزمایش و همچنین محاسبات مربوط به انتقال بار بستر، بستر رسوبی به عمق ۵ سانتیمتر و طول $3/5$ متر ایجاد شد. در این حالت حجم رسوبی که در این فضا جهت ایجاد گذردهی پایدار حدی قرار می‌گیرد کافی بوده و سیستم تا زمان برقراری تعادل نسبی در جریان عبوری از محیط متخلخل با کمبود رسوب مواجه نخواهد شد.

در تمام آزمایشات شیب فلوم S_0 ثابت و $0/005$ در نظر گرفته شد. تغییرات دبی جریان در آزمایشات با آب زلال بین حداقل $3/4$ تا حداکثر $23/8$ لیتر بر ثانیه بوده است. روند آزمایشات با آب زلال بدین صورت بود که در هر شیب سطح آبیگر، سه دانه بندی و در هر دانه‌بندی ۸ دبی انتخابی مورد آزمایش قرار می‌گرفت. برای اندازه گیری عمق جریان در کانال بالادست از پوینت گیج با دقت $\pm 0/1$ میلی‌متر و در کانال تحتانی از مانومتر با دقت $\pm 0/5$ میلی‌متر استفاده شد.

در بخش جریان رسوبدار تنها ۴ دبی $6/2$ ، $8/4$ ، $10/8$ و $13/4$ لیتر بر ثانیه اندازه گیری شد. در طی ۳۰ دقیقه زمان آزمایش جریان رسوبدار، روند تغییرات زمانی گذردهی کانال انحراف ثبت شد. مشاهده شد که در تمامی آزمایشات، مدت زمان لازم برای آنکه دبی کانال تحتانی به حد ثابتی برسد، بر حسب نوع دانه بندی محیط، نوع رسوبات و دبی کانال حدود ۱۵ الی ۲۰ دقیقه است. در نهایت دبی پایدار کانال انحراف با دبی جریان در حالت زلال مقایسه شد.

بررسی گذردهی جریان انحرافی در جریان رسوبدار

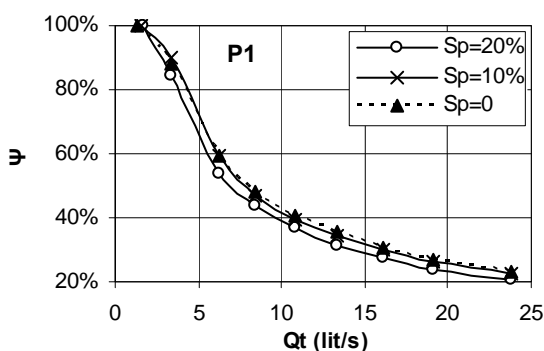
در جریان رسوبدار، تأثیر توام عوامل مختلف شامل دانه بندی محیط متخلخل آبیگر، دانه بندی رسوبات و شیب سطح بالایی محیط متخلخل در دبی های مختلف بر گذردهی جریان انحرافی مورد مطالعه قرار گرفت. همانند جریان زلال، برای بررسی تغییرات دبی کانال انحراف در دبی های مختلف از نسبت بی بعد Ψ_s بصورت زیر استفاده شد:

$$\Psi_s = \frac{Q_{ds}}{Q_t} \times 100 \quad (13)$$

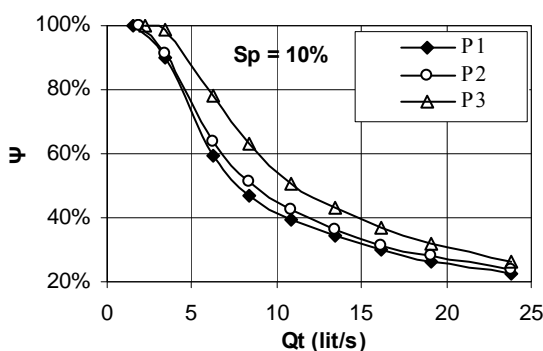
که در آن Q_{ds} دبی کانال انحراف در جریان رسوبدار و Q_t دبی کل کانال اصلی است. در شکل ۷ نمونه‌ای از روند تغییرات Ψ_s در دبی‌های مختلف تحت تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل نشان داده شده است.

عنوان مثال مقایسه دو دانه بندی P1 و P3 در $S_p = 10\%$ نشان می‌دهد میزان دبی انحرافی، (Ψ) در $Q_t = 23/8 \text{ lit/s}$ برای P1 برابر با ۲۲٪ و برای P3 برابر با ۲۶٪ می‌باشد. روند کلی حاکی از آن است که دانه‌بندی P3 نسبت به دانه‌بندی‌های ریزتر، دبی بیشتری را از خود عبور می‌دهد که ناشی از بیشتر بودن فضاهای خالی در این دانه بندی است.

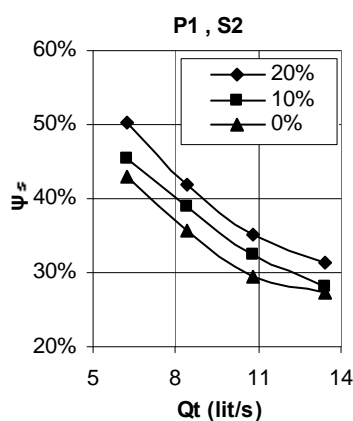
همچنین نتایج نشان داد با افزایش S_p انحراف جریان کاهش می‌یابد. در شکل ۶ مقایسه سه شیب سطح آبیگر برای دانه‌بندی P1 به صورت نمونه آورده شده است. چنانکه ملاحظه می‌گردد با افزایش S_p در هر دبی، میزان درصد دبی انحراف کاهش نشان می‌دهد که مقدار آن در دبی‌های بیشتر، بیشتر است. در واقع افزایش شیب سطح آبیگر، افزایش سرعت جریان را در پی دارد و باعث کاهش نسبی دبی انحراف خواهد شد. 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.



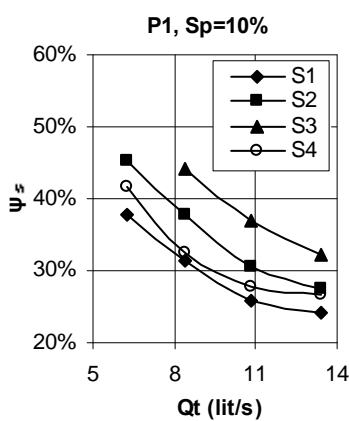
شکل ۶) میزان درصد دبی انحرافی با افزایش شیب سطح آبیگر



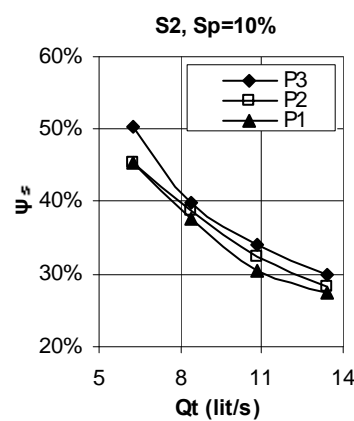
شکل ۵) میزان درصد دبی انحرافی با افزایش دبی ورودی



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۷) بررسی تأثیر عوامل مختلف بر روند تغییرات Ψ_s در دبی‌های مختلف. (الف) دانه بندی، (ب) رسوب، و (ج) شیب محیط متخلخل

سرعت عبور رسوبات از روی محیط متخلخل افزایش یافته و امکان ته نشینی کاهش می‌یابد.

با بکارگیری داده‌های مربوط به میزان دبی عبوری از کانال تحتانی در شرایط زلال و دبی بدست آمده در جریان رسوبدار، میزان کاهش گذردهی جریان تحت شرایط جریان با رسوب نسبت به شرایط بدون رسوب را می‌توان با رابطه زیر ارزیابی نمود:

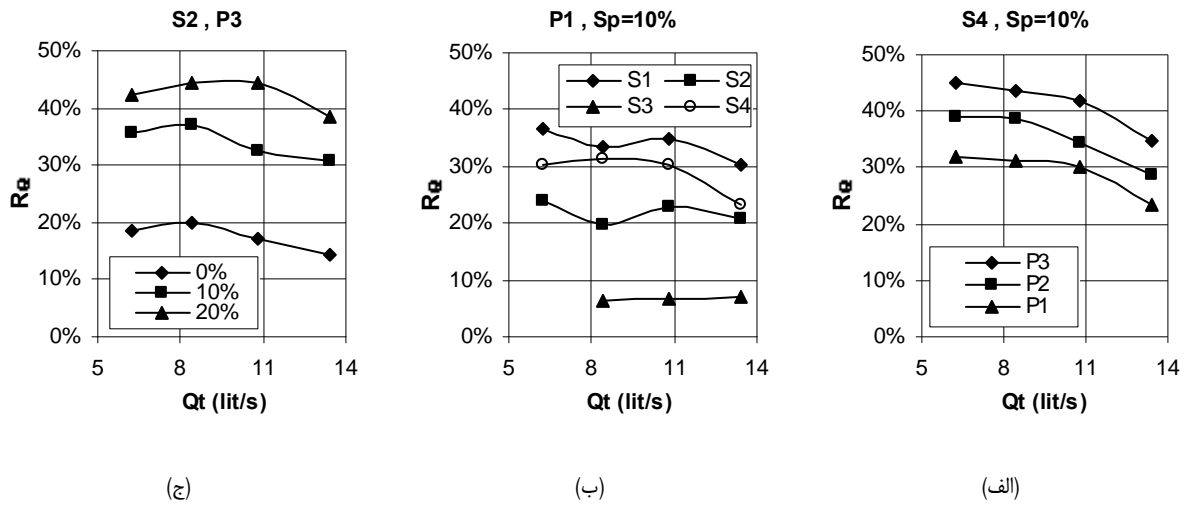
$$R_Q = 1 - \frac{Q_{ds}}{Q_d} \quad (14)$$

در رابطه فوق Q_d دبی کانال تحتانی در حالت جریان بدون رسوب (آب زلال) و Q_{ds} دبی کانال تحتانی در حالت رسوبدار است. در شکل ۸ میزان تغییرات R_Q تحت تأثیر متغیرهای مختلف نشان داده شده است. نمودارهای مربوط به کاهش گذردهی R_Q نشان‌دهنده میزان کاهش درصد عبور دبی کانال تحتانی تحت شرایط مختلف از لحاظ شیب و رسوب بوده و با استناد به آن می‌توان مقایسه معنی داری با شرایط جریان زلال انجام داد. مقایسه دانه‌بندی‌های مختلف در شکل ۸ (الف)، حاکی از آن است که درصد کاهش گذردهی نسبی در دانه‌بندی‌های بزرگتر بیشتر بوده و هرچه دانه‌بندی ریزتر می‌شود اثر رسوب گرفتگی در محیط متخلخل کاهش یافته و دبی کانال تحتانی با شرایط جریان بدون رسوب تفاوت چندانی ندارد به طوری که در برخی حالات R_Q به ۲۵٪ نیز می‌رسد. شایان ذکر است که این نسبت تحت تأثیر شیب محیط متخلخل و نوع رسوبات نیز بوده که تأثیر این عوامل نیز بصورت مجزا قابل بررسی است. در شکل ۸ (ب)، مشاهده می‌شود که رسوبات S3 کمترین و رسوبات S1 بیشترین تأثیر را در کاهش گذردهی کانال انحراف داشته و گذردهی در این دو حالت به ترتیب کمتر از ۱۰٪ و ۴۰٪ شرایط بدون رسوب است. علت بروز این روند را باید در بزرگ بودن قطر رسوبات S3 و کوچک بودن رسوبات S1 دانست که به ترتیب گرفتگی کمتر و بیشتری را در محیط متخلخل ایجاد می‌کنند. در نمودارهای اخیر نیز مانند شکل ۷ مشاهده می‌شود که رسوبات S4 حالتی مابین رسوبات S1 و S2 داشته و حدود ۲۰٪ تا ۳۰٪ جریان فاقد رسوب قابلیت گذردهی دارد. شکل ۸ (ج) نشان می‌دهد که همواره با افزایش شیب، نسبت گذردهی در کانال انحراف افزایش می‌یابد. روند تغییرات R_Q نسبت به افزایش دبی نزولی است اما در هر شیب نسبت این تغییرات جزئی است و حداکثر کاهش گذردهی نسبی حدوداً ۵٪ است. علت گذردهی بهتر در شیب‌های بالاتر نیز کاهش گرفتگی محیط متخلخل در این شیب‌ها است. در تمامی نمودارهای شکل ۸ مشاهده می‌شود که با افزایش دبی، گذردهی جریان رسوبدار و زلال به یکدیگر نزدیک می‌شوند.

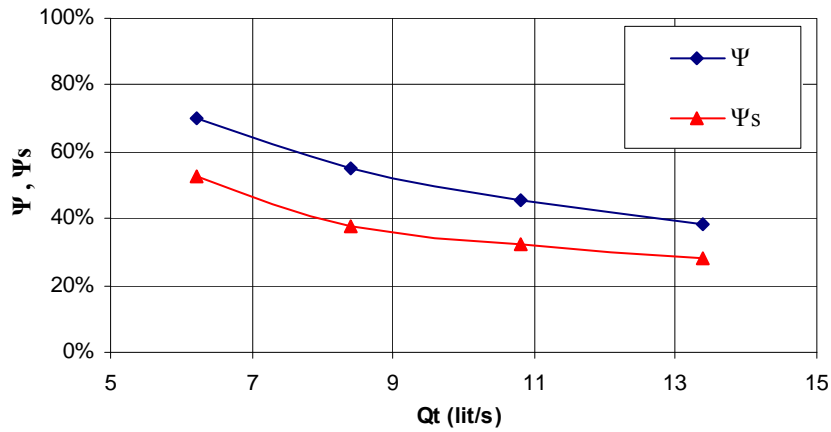
مشاهده می‌شود که در کلیه حالات با افزایش دبی، درصد عبور دبی تحتانی به دبی کل کاهش می‌یابد و لذا بهترین گذردهی کانال تحتانی در دبی‌های کم رخ می‌دهد. همچنین همواره با افزایش دبی Ψ_s کاهش می‌یابد که این امر به خاطر فرار آب از روی سطح محیط متخلخل و کاهش برخورد جریان آب با محیط متخلخل در دبی‌های بالا و غلبه نیروهای هیدرودینامیکی بر نیروی ثقل است که مانع از گذر بیشتر آب از کانال تحتانی می‌شود.

به طور طبیعی و بر اساس شکل ۷ (الف)، بیشترین گذردهی برای دانه‌بندی‌های بزرگتر رخ می‌دهد، هرچند نسبت قطر سنگدانه‌ها به رسوبات در تغییر درصد گذردهی نقش بسزایی دارد. در شکل ۷ (ب)، مشاهده می‌شود که همواره رسوبات ریزدانه گرفتگی بیشتری ایجاد کرده‌اند و لذا گذردهی نسبی یک دانه‌بندی مشخص با رسوبات درشت دانه‌تر بیشتر بوده است. این مطلب متأثر از نسبت R_Q است به طوری که گرفتگی رسوبات ریزدانه و دانه‌بندی‌های درشت دانه بیشتر بوده و در این حالات درصد کاهش Ψ_s بیشتر از دیگر حالات است. صرف نظر از رسوبات S4، در انواع دیگر رسوبات مشاهده می‌شود که همواره در دانه‌بندی و شیب‌های مختلف، گذردهی نسبی دانه‌بندی‌های مختلف تحت تأثیر رسوبات S3 بیشتر از S2 و S2 بیشتر از S1 است. رسوب S4 مخلوط رسوبات قبلی بوده که به عبارتی حالت واقعی رسوبات در طبیعت محسوب می‌شود. Ψ_s در این نوع رسوب غالباً بین رسوبات S1 و S2 بوده و لذا در طبیعت نیز باید انتظار گذردهی نسبی در حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد را داشت.

در شکل ۷ (ج) مشاهده می‌شود که در شیب ۲۰ درصد بیشترین و در شیب صفر کمترین گذردهی از کانال انحراف رخ می‌دهد. در توضیح علت گذردهی بهتر کانال انحراف در شیب‌های بیشتر باید گفت که رسوبات ورودی به محیط متخلخل غالباً در لایه سطحی انباشته می‌شوند و یک لایه غیر قابل نفوذ را ایجاد می‌کنند. البته بسته به نوع R_Q محیط، نحوه گرفتگی متفاوت خواهد بود اما گرفتگی سطحی تقریباً در تمام حالات رخ می‌دهد. در شیب‌های کم رسوبات مستقیماً به محیط متخلخل راه پیدا کرده و با گذر زمان و عبور رسوبات بیشتر، گرفتگی لایه سطحی بیشتر شده و نفوذ آب به لایه‌های پایینی محیط به سختی صورت می‌گیرد. اما در شیب‌های زیاد به خاطر وجود شیب با وجود آنکه رسوبات در فضاهای خالی محیط سنگدانه‌ای نفوذ کرده و گذردهی را کاهش می‌دهند اما رسوبات لایه سطحی غالباً با جریان شسته شده و لایه سطحی در این حالت به اندازه شیب صفر دچار گرفتگی نمی‌شود. به عبارت دیگر نفوذپذیری لایه سطحی در شیب‌های بالاتر بیشتر بوده و لذا محیط متخلخل دبی بیشتری را از خود عبور می‌دهد. علاوه بر این در شیب صفر سرعت جریان روی محیط متخلخل کمتر و امکان ته نشینی بیشتر است در حالیکه در شیب‌های غیر صفر به خاطر وجود شیب،



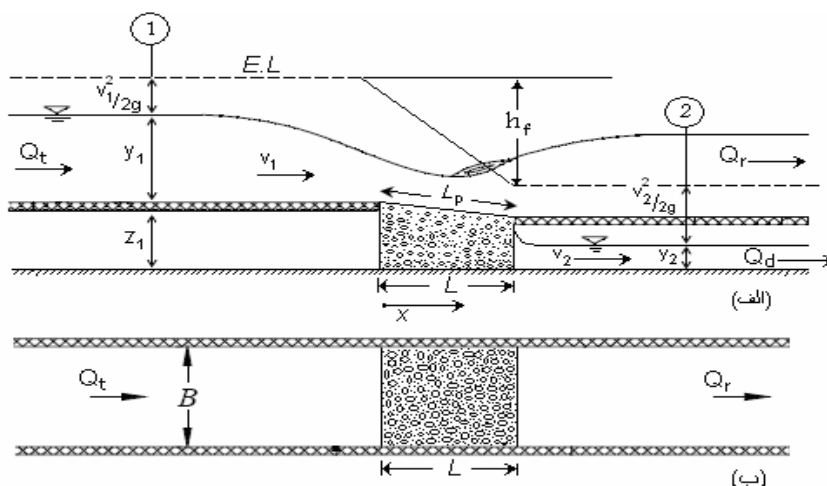
(شکل ۸) - بررسی عوامل مختلف بر روند تغییرات R_Q در دبی‌های مختلف. (الف) دانه بندی، (ب) رسوب و (ج) شیب محیط متخلخل



(شکل ۹) - مقایسه نسبی دبی تحتانی به دبی کل در جریان‌های زلال و رسوبدار در یک حالت نمونه

(جدول ۱) - محدوده R_Q برای شیب‌های مختلف محفظه و بازه‌های R_S

R_S			شیب محفظه
>6	$4/5-6$	$2/5-4/5$	
$<0/5$	$0/5-0/6$	$0/6-0/8$	%۰
$<0/6$	$0/6-0/7$	$0/7-0/9$	%۱۰
$<0/75$	$0/75-0/8$	$0/75-0/95$	%۲۰



(شکل ۱۰) - مشخصات هیدرولیکی جریان آبگیر کفی با محیط متخلخل (الف) مقطع طولی آبگیر (ب) پلان آبگیر

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 ۱۵ 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، تاثیر افت بر سرعت جریان درون محیط متخلخل تعدیل شده، می‌توان رابطه ۱۵ را به صورت ۱۶ نوشت:

$$\frac{V_2^2}{2g} = (y_1 - y_2) + z_1 - h_f \quad (16)$$

در رابطه ۱۶، h_f افت انرژی در واحد وزن سیال در طول آبگیر می‌باشد. رابطه ۱۶ بصورت ۱۷ مرتب می‌شود:

$$V_2 = \sqrt{2g(y_1 - y_2) \left(1 + \frac{z_1 - h_f}{y_1 - y_2} \right)} \quad (17)$$

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 ۱۷ 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:

$$V = \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \quad (18)$$

طبق رابطه پیوستگی و با در نظر گرفتن سرعت واقعی در محیط متخلخل با توجه به رابطه ۱۶ دبی انحرافی در آبگیر کفی با محیط متخلخل در واحد عرض و طول به صورت زیر می‌باشد:

به منظور بررسی روند تغییرات دبی کانال تحتانی به دبی کل در جریان رسوبدار و زلال، در یک حالت نمونه (شکل ۹) مشاهده می‌شود که با افزایش دبی، اختلاف Ψ و Ψ_s در جریان زلال و رسوبدار از ۲۰٪ در دبی‌های پایین ($\Psi = ۷۰\%$ و $\Psi_s = ۵۰\%$) به ۸٪ در دبی‌های بالا ($\Psi = ۳۸\%$ و $\Psi_s = ۳۰\%$) کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد عامل گرفتگی در دبی‌های کمتر مؤثرتر است. در نتیجه با وجود کاهش سطح تماس آب با محیط متخلخل در دبی‌های بالا، کاهش گرفتگی سبب افزایش نسبی گذردهی کانال تحتانی می‌شود. کاهش اختلاف در گذردهی کانال تحتانی در دبی‌های بالا برای جریان‌های زلال و رسوبدار باعث افزایش نسبی R_Q می‌شود.

با توجه به تأثیر مستقیم R_S بر روند تغییرات R_Q ، در محدوده آزمایشات انجام شده می‌توان جدول ذیل را ارائه داد:

در جدول (۱) مشاهده می‌شود که در شیب‌های بالاتر، نسبت گذردهی آبگیر در جریان رسوبدار و زلال بیشتر بوده و R_S های کمتر از ۴/۵ عملکرد بهتری دارند.

رابطه پیشنهادی دبی انحرافی از آبگیر کفی با محیط متخلخل

شکل ۱۰ معادله انرژی در طول خط جریان بین دو مقطع ۱ و ۲ را نشان می‌دهد.

با توجه به این شکل معادله انرژی 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 کردن بوده و کانال به صورت افقی فرض می‌شود):

$$y_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (15)$$

به منظور اجتناب از ارائه دو فرمول مجزا برای آگیر کفی با سطح فوقانی افقی و شیب‌دار، مجموع دو پارامتر S_p و J به عنوان یک پارامتر بی بعد وارد معادله برازش شد تا رابطه بدست آمده قادر باشد به ازای مقدار صفر برای شیب سطح آگیر در حالت افقی جواب مناسبی تولید کند. بهترین رابطه ضریب دبی برای آگیر کفی با محیط متخلخل در جریان آب زلال به صورت غیر خطی با ضریب تبیین ۹۱/۸٪ بدست آمد:

$$C_d = 3.625 \times 10^{-5} \frac{Fr^{0.739} \left(\frac{y_1}{d_{50}} \right)^{0.509}}{n^{8.518} (S_p + j)^{0.363}} \quad R^2 = 91.8\% \quad (23)$$

رابطه ۲۳ نشان می‌دهد ضریب دبی با عدد فرود بالادست Fr و نسبت عمق آب بالادست به قطر متوسط ذرات $\frac{y_1}{d_{50}}$ رابطه مستقیم دارد. این نتیجه حاکی از آنست که با افزایش دبی، گذردهی بطور نسبی افزایش می‌یابد. همچنین ضریب دبی با تخلخل n و مجموع نسبت عمق آب بالادست به طول آگیر J و شیب سطح آگیر S_p رابطه معکوس دارد. دانه بندی‌های ریزدانه تخلخل بالاتری دارند اما حجم بیشتری از فضای آگیری را اشغال می‌کنند لذا دانه بندی‌های درشت دانه تر گذردهی بهتری خواهند داشت. همچنین با افزایش شیب سطح آگیر، جریان با سرعت بیشتری از روی آگیر عبور کرده و کمتر وارد محیط متخلخل می‌شود.

ضریب دبی جریان در جریان رسوبدار را می‌توان شکل معادله ۲۴ نوشت:

$$C_d = 3.1 \times 10^{-4} \frac{Fr^{0.5} \Theta^{0.7} Re^{0.45} \sigma^{0.261} (S_p + j)}{i^{2.8} R_{50}^{0.356}} \quad R^2 = 0.86\% \quad (24)$$

در این حالت با ورود رسوبات به جریان، ضریب دبی تحت تاثیر عواملی چون فاکتور شیلدز، عدد رینولدز و ته نشینی ویژه تغییر می‌کند. با افزایش دبی جریان (Fr) با وجود اینکه رسوبات بیشتری به محیط متخلخل راه پیدا می‌کنند (Θ و σ) اما به واسطه کاهش نسبی هد آب (i) گذردهی افزایش می‌یابد. همچنین هرچه رسوبات درشت دانه تر باشند نسبت اندازه (R_{50}) کاهش یافته و گذردهی افزایش می‌یابد. در این حالت بر خلاف جریان زلال با افزایش شیب گذردهی جریان افزایش می‌یابد که در بخش ۳-۶ این موضوع بطور مبسوطی مورد مطالعه قرار گرفته است.

در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ مقادیر C_d بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی با نتایج بدست آمده از روابط ۲۳ و ۲۴ مقایسه شده‌اند. پراکنش ناچیز نقاط ($\pm 10\%$) حاکی از انطباق خوب بین مقادیر ضریب دبی از روابط مذکور و مقادیر آزمایشگاهی می‌باشد. ملاحظه می‌شود که دامنه تغییرات ضریب گذردهی در جریان زلال از ۰/۰۶ تا ۰/۱۴ و در جریان رسوبدار از ۰/۰۵۵ تا ۰/۱۱۳ است هرچند که در جریان رسوبدار بیشترین تراکم تا بازه ۰/۱ دیده می‌شود.

$$\frac{dq}{dx} = C_d n V \quad (19)$$

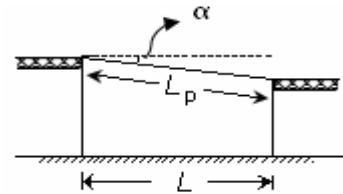
در رابطه ۱۹، n تخلخل سنگدانه‌ها، C_d ضریب دبی محیط متخلخل و V سرعت متوسط تئوری جریان عبوری از محیط متخلخل می‌باشد. با انتگرال‌گیری از رابطه ۱۹ در طول آگیر رابطه‌ای برای دبی انحراف در واحد عرض آگیر به صورت زیر بدست می‌آید:

$$Q_d = C_d n L V \quad (20)$$

مقدار دبی انحراف آگیر با جایگزینی سرعت از رابطه ۱۸ در رابطه ۲۰ به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$Q_d = C_d n L B \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \quad (21)$$

در رابطه ۲۱، $(y_1 - y_2)$ اختلاف سطح آب در بالادست آگیر و کانال انحراف، g شتاب ثقل، L طول آگیر، B عرض آگیر، $A = LB$ سطح مقطع آگیر 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 ۲۱ برای محاسبه مقدار دبی انحراف در آگیر کفی با محیط متخلخل با سطح افقی کاربرد دارد. با وارد نمودن زاویه شیب سطح بالایی (شکل ۱۱) در رابطه ۲۱ می‌توان آن را در حالت کلی برای انواع آگیر کفی با شیب سطح بالایی و بدون آن بکار برد (رابطه ۲۲):



(شکل ۱۱) - طول آگیر با سطح شیب‌دار

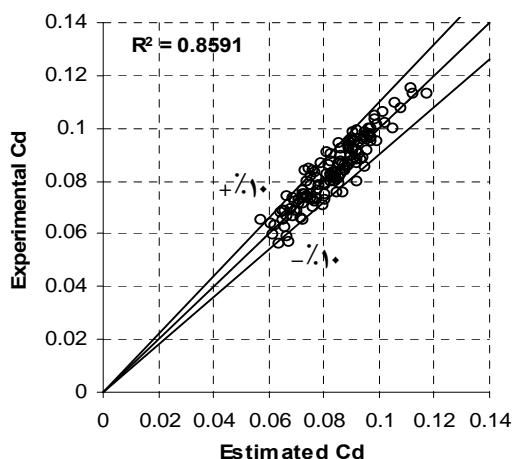
α زاویه سطح بالایی محیط متخلخل با افق می‌باشد.

$$Q_d = C_d n B L_p \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \rightarrow \quad (22)$$

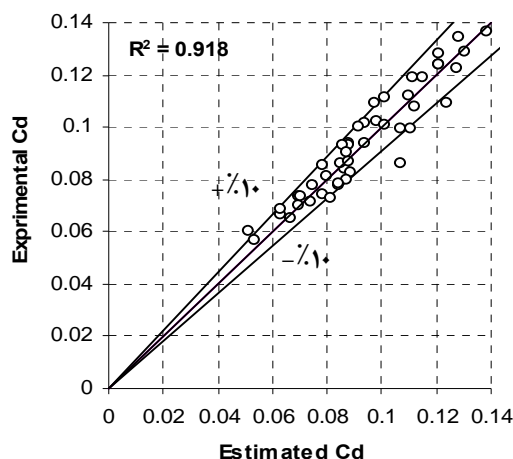
$$Q_d = C_d \frac{A_m}{\cos \alpha} \sqrt{2g(y_1 - y_2)}$$

ضریب دبی

با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و روش ریاضی برازش می‌توان رابطه‌ای جهت محاسبه ضریب شدت جریان ارائه کرد. به منظور بررسی توام عوامل موثر بر روند تغییرات گذردهی آگیر 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 مطالعه می‌شوند باید متغیرهای هیدرولیکی و هندسی را در برگیرند. این متغیرهای مستقل شامل کلیه متغیرهای بی‌بعد شده به روش آنالیز ابعادی می‌باشند.



(شکل ۱۳) - ضریب C_d محاسباتی و اندازه‌گیری شده در جریان رسوبدار



(شکل ۱۲) - ضریب C_d محاسباتی و اندازه‌گیری شده در جریان زلال

(جدول ۲) - بازه ضریب C_d در جریان زلال و رسوبدار در شیبهای مختلف

نوع جریان	شیب سطح آبگیر ($S_p\%$)		
	۲۰٪	۱۰٪	۰٪
جریان زلال	۰/۰۶۲ - ۰/۱۲۳	۰/۰۷۰ - ۰/۱۳۳	۰/۰۷۵ - ۰/۱۴
جریان رسوبدار	۰/۰۶۰ - ۰/۱۱۳	۰/۰۵۸ - ۰/۱	۰/۰۵۵ - ۰/۰۹

با توجه به تحقیقات ریگتی و لانزونی (۱۴) بر روی کف مشبک با میله‌های طولی و اندازه‌گیری سرعت جریان دوبعدی بالای سطح آبگیر و اندازه‌گیری زاویه ورودی به شبکه آبگیر می‌توان دریافت که با افزایش شیب سطح آبگیر زاویه ورودی خطوط جریان به محیط متخلخل کاهش یافته و در نتیجه مولفه قائم سرعت ورودی به محیط متخلخل نیز نسبت به مولفه افقی کاهش می‌یابد. به واسطه افزایش مولفه افقی سرعت، بیشتر جریان از روی آبگیر عبور کرده و کمتر وارد محیط آبگیر می‌شود.

در شیب کم سطح آبگیر با محیط متخلخل نیز بیشترین دبی در ابتدای طول آبگیر منحرف شده و هر چه جریان به انتهای آبگیر می‌رسد از میزان دبی منحرف شده کاسته می‌گردد. با افزایش شیب سطح محیط متخلخل، جریان بر روی آبگیر شتاب می‌گیرد و از انحراف دبی در ابتدای آبگیر کاسته می‌شود و این در حالیست که دبی انحراف در طول آبگیر هم روند کاهشی دارد. بنابراین می‌توان گفت یکی از عوامل مهم در کاهش میزان جریان انحرافی افزایش شیب سطح آبگیر است. اما در جریان رسوبدار بر خلاف جریان زلال، با افزایش شیب سطح آبگیر ضریب گذردهی آن افزایش می‌یابد. در توضیح این پدیده باید گفت که در جریان رسوبدار، رسوبگرایی لایه سطحی آبگیر تأثیر چشمگیری در کاهش گذردهی محیط دارد و

مقایسه ضریب C_d جریان زلال و رسوبدار در شیبهای مختلف

مقایسه ضرایب دبی C_d در جریان آب زلال و جریان رسوبدار نشان داد که در جریان آب زلال با افزایش شیب بالای آبگیر ضریب دبی کاهش می‌یابد اما در جریان رسوبدار با افزایش شیب ضریب دبی افزایش می‌یابد (جدول ۲). با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که در شیب صفر ضریب گذردهی آبگیر در جریان زلال تا ۰/۱۴ افزایش یافته در حالیکه در جریان رسوبدار حداکثر ۰/۰۹ بدست آمده است. اما با افزایش شیب آبگیر، گذردهی جریان زلال و رسوبدار به ترتیب و بطور نسبی کاهش و افزایش یافته است به طوریکه اختلاف حداکثر ضریب دبی در دو حالت رسوبدار و زلال در شیب صفر ۰/۰۵ ($0/14 - 0/09 = 0/05$)، در شیب ۱۰٪ برابر ۰/۰۳۳ ($0/133 - 0/1 = 0/033$) و در شیب ۲۰٪ برابر با ۰/۰۱ ($0/113 - 0/06 = 0/053$) است که نشان می‌دهد در شیب صفر گرفتگی بیشتر از شیب ۱۰ درصد و در شیب ۱۰ درصد بیشتر از شیب ۲۰ درصد است. لذا کاهش گرفتگی ناشی از افزایش شیب در جریان رسوبدار و کاهش گذردهی جریان زلال با افزایش شیب سبب می‌شود که ضرایب دبی دو جریان در شیبهای بالاتر به یکدیگر نزدیکتر شوند.

جریان آب زلال و رسوبدار روند افزایشی دارد اما روند افزایشی آن با افزایش دبی ورودی ثابت نیست و بتدریج به مقدار ثابتی خواهد رسید. اندازه ذرات محیط متخلخل نیز بر روند دبی انحراف تأثیر قابل ملاحظه داشته چنانکه با افزایش اندازه ذرات، میزان دبی انحراف روند افزایشی را نشان می‌دهد هرچند که در جریان رسوبدار این روند بسیار تحت تأثیر قطر رسوبات است. در جریان آب زلال با افزایش شیب سطح بالایی محیط متخلخل آبیگر، از میزان دبی انحراف کاسته می‌شود و این در حالیست که در جریان آب رسوبدار افزایش شیب سطح آبیگر باعث افزایش جریان انحرافی می‌گردد. بیشترین کمترین میزان تغییرات ضریب گذردهی جریان رسوبدار به جریان زلال ۳۵ و ۵٪ بوده که به ترتیب در شیب‌های صفر و ۲۰ درصد رخ داده است. با افزایش شیب سطح آبیگر، سرعت جریان آب بر روی آبیگر افزایش یافته و بیشتر رسوبات از سطح آبیگر به پایین دست غلتیده و کمتر وارد محیط متخلخل می‌شوند. بنابراین با کاهش گرفتگی لایه سطحی محیط متخلخل جریان انحرافی نسبت به شیب‌های کمتر در سطح آبیگر افزایش می‌یابد. همچنین در این تحقیق رابطه‌ای جهت محاسبه دبی انحرافی از آبیگر پیشنهاد گردید. با استفاده از برازش غیرخطی روابطی نیز برای ضریب دبی جریان در دو حالت جریان آب زلال و رسوبدار برحسب پارامترهای بی بعد بدست آمده، ارائه شد.

چنانکه گفته شد در شیب‌های کمتر شتاب جریان کمتر است که این امر سبب افزایش ته نشینی رسوبات در لایه سطحی آبیگر می‌شود. با افزایش شیب و افزایش شتاب جریان، رسوبات بیشتری از لایه سطحی شسته شده و لذا گذردهی کانال انحراف افزایش می‌یابد. اما همچنان مشاهده می‌شود که در تمامی شیب‌ها همواره ضریب گذردهی جریان رسوبدار بواسطه وجود رسوبات و گرفتگی محیط متخلخل نسبت به جریان زلال گذردهی کمتری را نشان می‌دهد. لذا در نظر گرفتن عامل شیب سطح آبیگر می‌تواند نقش مهمی در کاهش گرفتگی آبیگر کفی با محیط متخلخل و افزایش میزان دبی انحراف داشته باشد.

نتیجه گیری

در این مطالعه شیوه جدیدی برای آبیگری از رودخانه‌ها پیشنهاد شد که در آن محیط متخلخل جایگزین کف‌های مشبک در سیستم آبیگری از کف رودخانه شده است. هرچند ضریب گذردهی آبیگر کفی با محیط متخلخل حدوداً ۱۰ تا ۳۰٪ ضریب گذردهی آبیگر کفی با کف مشبک است اما کارایی سیستم در بلند مدت، عدم نیاز به نیروی انسانی جهت حفظ و نگهداری سیستم و همچنین حفظ شرایط طبیعی رودخانه و ایجاد شرایط زیست محیطی مناسب برای رودخانه و منطقه از مزایای این سیستم به شمار می‌رود. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش دبی ورودی بالادست، میزان دبی انحراف در دو حالت

منابع

- ۱- فغفور مغربی م. و رزاز م. ۱۳۸۵. بررسی عددی و آزمایشگاهی رفتار هیدرولیکی آبیگرهای کفی. هفتمین کنفرانس بین المللی عمران. دانشگاه تربیت مدرس.
- 2- Bouvard M. 1992. Mobile Barrages and Intakes on Sediment Transporting Rivers, IAHR monograph series, Rotterdam, Balkema.
- 3- Brunella S., Hager W., and Minor H.E. 2003. Hydraulics of bottom rack intake. Hydraulic Engineering. ASCE, 129 (1):2-10.
- 4- Blazejeski R., and Sadzide M.B. 1997. Soil clogging phenomena in constructed wetlands with surface flow. Water Science Technology. 35(5):183-188.
- 5- Behnke J.J. 1969. Clogging in surface spreading operations for artificial ground-water recharge. Water Resource. Res. 5(4):870-876.
- 6- Carling P.A. 1984. Deposition of fine and coarse sand in an open-work gravel bed. Fish Aquatic Science, 41: 263-270.
- 7- Cunningham A.B., Anderson C.J., and Bouwer H. 1987. Effect of sediment laden- flow on channel bed clogging. Irrigation and Drainage Engineering., ASCE. 113(1):106-118.
- 8- Drobir H. 1981. Entwurf von Wasserfassungen im Hochgebirge. O`sterr. Wasserwirtsch, 3311:243-253. in German
- 9- Field R., Masters H., and Singer M. 1982. Porous pavement: Research, development, and demonstration. Transport Engineering. ASCE. 108(3):244-258.
- 10- Leps T.M. 1973. Flow Through Rockfill in Embankment Dam Engineering. John Wiley. New York.
- 11- Li B., Garga V.K., and Davies M.H. 1998. Relationship for non Darcy flow in rockfill. Hydraulic Engineering, 120(6):206-212.
- 12- Mucha I., Banský U., Hlavatý Z., and Rodák D. 2006. Impact of river bed clogging-colmatation-on ground water. Riverbank Filtration Hydrology, Springer. 43-72.
- 13- Orth J., Chardonnet E., and Meynardi G. 1954. Study of bottom type water intake grids. Houille Blanche, 3:343-

- 351.
- 14- Righetti M., and Lanzoni S. 2008. Experimental study of the flow field over bottom intake racks. *Hydraulic Engineering*, 134:1-15.
 - 15- Schälchli U. 1995. Basic equations for siltation of river beds. . *Hydraulic Engineering*. ASCE, 121(3):274–287.
 - 16- Schälchli U. 1992. The clogging of coarse gravel river beds by fine sediment. *Hydrology*. Springer, 189-197
 - 17- Sakthivadivel R., and Einstein H.A. 1970. Clogging of porous column of spheres by sediment. *Hydraulic. Div.*, ASCE. 96(2):461–472.
 - 18- Sowers G.B., and Sowers G.F. 1970. *Introductory soil mechanics and foundations*. Macmillan, New York.
 - 19- Sherard J.L., Dunnigan, L.P., and Talbot, J.R. 1984. Basic properties of sand and gravel filters. *Geotechnical. Engineering*. ASCE, 110(6):684– 700.
 - 20- Tan S.A., Fwa T.F., and Han C.T. 2003. Clogging evaluation of permeable bases. *Transport Engineering*. ASCE, 129(3):309- 315.
 - 21- Wu F.C., and Huang H.T., 2000.” Hydraulic resistance induced by deposition of sediment in porous media.” *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 126(7), 547-551.

On the comparison of the diverted discharges in a bottom intake with porous media in clear water and sediment flow

B. Naghavi¹ - M. F. Maghrebi^{*2} - K. Esmaili³ - S.R. Khodashenas⁴ - F. K. Vahid⁵

Abstract

Bottom rack intake is one of the most appropriate structures for diverting water in steep rivers. The problems of corrosion, deformity and clogging of the bottom racks in long term, inspires a new system of bottom intake in which a filled trench of porous media is replaced by the bottom racks. Diversion of a specified amount of discharge through the porous media when void space in the granular material are filled with fine sediment in comparison to the bottom racks, requires much larger structure. However, for the new system of water intake, lower cost of construction and maintenance and higher compatibility with the river morphology in long term are considered as major advantages. The present research deals with an experimental model with two-storey channel, the lower one is used to divert water through the porous media and the upper one is used to convey the remained flow. 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 and sediment flow. The influence of clogging phenomena on diverted discharge is also examined. The experimental results show that the effect of clogging in sediment flow in comparison to the clear water is decreased as the surface slope of the porous media is increased. It is revealed that the discharge coefficient of bottom intake when clear water is passed through the channel is varied in the range of 0.06 to 0.13. When sediment flow is passed over the bottom intake, due to clogging phenomena discharge coefficient is reduced up to 5 to 35% in comparison to the clear water. Experimental equations prepared for the discharge coefficients show that the significant factors affecting the efficiency of the water intakes are grain size distribution and surface slope of the bottom intake. The results show that the discharge coefficients for the water intake with the clear water and sediment flow when the above mentioned factors are selected appropriately are close to each other.

Key words: Bottom intake, Porous media, Discharge coefficient, Clear water flow, Sediment flow, Clogging

1,5- M.Sc. Student of Water Structures, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

2- Associate professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding author Email: maghrebi@ferdowsi.um.ac.ir)

3,4- Assistant professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad