

مقایسه آبگذری جریانهای زلال و رسوبدار در روش نوین آبیگر کفی با محیط متخلخل

فاطمه کورش وحید (کارشناس ارشد سازه های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد)

بنیامین نقوی (کارشناس ارشد سازه های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد)

کاظم اسماعیلی (استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد)

محمود فغفور مغربی (دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد)

f_kooroshvahid@yahoo.com

چکیده

آبیگر کفی با محیط متخلخل ایده‌ای جدید برای انحراف جریان در رودخانه‌ها به شمار می‌رود. در این تحقیق با ساخت کانالی دوطبقه که امکان تفکیک جریان عبوری از آبیگر را فراهم می‌کند، تاثیر توام عواملی همچون اندازه دانه‌بندی ذرات محیط متخلخل و شیب سطح آبیگر در دبی‌های مختلف بر میزان جریان انحرافی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی رسوبگرفتگی و کاهش گذردهی آبیگر، آزمایشات با چندین نوع رسوب تکرار و با نتایج جریان زلال مقایسه شد. وجود رسوبات، گذردهی را نسبت به جریان زلال 5 تا 35٪ کاهش می‌دهد.

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

مقدمه

روش آبیگری از کف یکی از کارآمدترین و مطمئن‌ترین راه‌های آبیگری از رودخانه‌های کوهستانی با رسوبات درشت دانه و شیب تند است. در روش آبیگری 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 می‌شود. برای جلوگیری از ورود ذرات درشت بستر به داخل ترانشه معمولاً از یک شبکه فلزی به عنوان رسوبگیر استفاده می‌گردد. استفاده از شبکه فلزی مشکلاتی به همراه دارد که از مهمترین آنها مشکلات مربوط به نگهداری سیستم، تخلیه رسوبات از سیستم، ناپایداری جریان در کانال انحراف، یخ زدن و پوسیدن شبکه است. از جمله اقداماتی که می‌توان برای حل این مشکلات مطرح کرد جایگزینی یک محیط متخلخل با کفهای مشبک است.

آبیگری از چنین محیط متخلخلی را می‌توان با گذردهی جریان از بستر رودخانه به سمت آبهای زیرزمینی و گرفتگی و آلودگی فیلترها مقایسه کرد. مطالعات شالشی (1995) در خصوص لایگذاری در بستر رودخانه و محیط‌های متخلخل نشان می‌دهد که کاهش هدایت هیدرولیکی به تنش برشی بی بعد جریان، غلظت بار معلق، گرادیان هیدرولیکی مابین رودخانه و آب زیرزمینی و توزیع دانه‌بندی بستر رودخانه بستگی دارد [1]. برای یک بستر مشخص، متغیرهای فیزیکی همچون شرایط جریان، بار معلق، توزیع دانه‌بندی و شکل ذرات معلق، گرادیان هیدرولیکی جریان نشستی و جهت آن می‌تواند تاثیر عمده‌ای بر فرآیند گرفتگی بگذارند [2]. بستر رودخانه در نتیجه ترسیب و انباشتگی رسوبات ریزدانه دچار گرفتگی شده و ترکیبات آب زیرزمینی و تغذیه آن از بستر رودخانه، ظرفیت سیستم چاه و کیفیت آب زیرزمینی منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ترسیب مواد معلق باعث کاهش هدایت هیدرولیکی و شسته شدن بستر باعث افزایش هدایت هیدرولیکی کف رودخانه می‌شود [3]. مطالعات کانینگهام و همکاران (1987) نشان داد که فرآیند لای‌گذاری در محیط متخلخل توسط سه فاکتور اصلی کنترل می‌شود. این سه فاکتور شامل نسبت اندازه ذرات رسوب و شن، غلظت رسوبات و سرعت جریان نشست است [4]. نسبت

اندازه مصالح محیط متخلخل درشت‌دانه به رسوبات می‌تواند توسط یک پارامتر ساده به نام نسبت اندازه ذرات و به صورت $R_S = \frac{(D_{15})_{Gr}}{(d_{85})_{Sed}}$ تعریف شود [5]. که در آن $(D_{15})_{Gr}$ و $(d_{85})_{Sed}$ به ترتیب قطر الکی است که 15 و 85٪ دانه‌بندی محیط متخلخل و رسوبات از آن ریزند. مطالعات وو و هوانگ (2000) نشان داد که نسبت اندازه R_S ، فاکتور حاکم بر توزیع ته‌نشینی رسوبات است [6]. طبق گزارش ساکسیوادیول و اینشتین (1970) هنگامی که نسبت اندازه بزرگتر از 15 باشد، کمتر از 1٪ حجم منافذ کل با رسوبات ته‌نشین شده اشغال می‌شود [7]. تان و همکاران (2003) برای پیش‌بینی کاهش نفوذپذیری بستر نفوذپذیر با استفاده از معادله کوزنی - کارمن و بر اساس k_0 نفوذپذیری قائم اولیه بستر نفوذپذیر n (m/s)، 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 [8]:

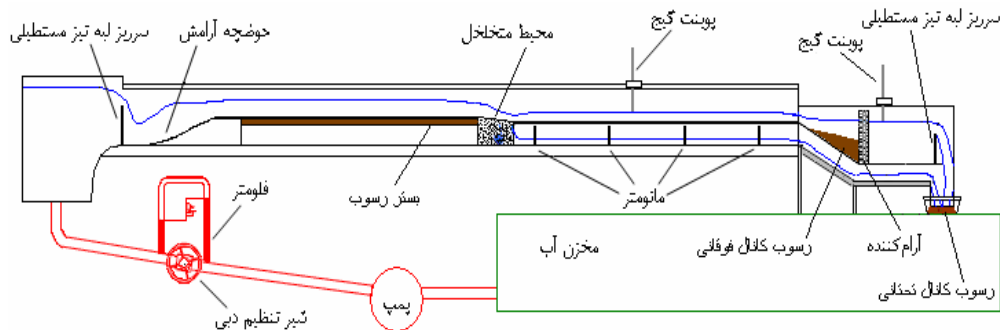
$$k = k_0 \frac{(1-n)^2}{n^3} \frac{(n-as)^3}{[1-(n-as)]^2} \quad (1)$$

در معادله فوق $s = \frac{\nabla C}{\nabla T}$ ته‌نشینی ویژه تعریف می‌شود که در آن ∇C حجم رسوب ته‌نشین شده و ∇T حجم کل محیط تخلخل می‌باشد.

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، گزدهی آبیگر با محیط متخلخل در دو جریان زلال و رسوبدار، شرایط هیدرولیکی جریان در بالادست آبیگر و تاثیر خصوصیات محیط سنگدانه‌ای و دیگر عوامل محیطی بر میزان جریان عبوری از کانال انحراف و نقش و تاثیر وجود رسوبات بر میزان کاهش گزدهی 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.

ساخت مدل آزمایشگاهی

برای ساخت مدل، از فلوم با طول 10 متر، عرض 30 سانتیمتر و ارتفاع 50 سانتیمتر استفاده گردید. برای تفکیک جریان عبور کرده از محیط متخلخل و جریان باقی مانده لازم بود کانال در قسمت پایین دست آبیگر کفی، دو طبقه اجرا شود (شکل 1).



شکل (1) نمای کلی از مدل ساخته شده در آزمایشگاه

ارتفاع کانال فوقانی (پایین دست آبیگر) بر مبنای برآوردهای اولیه حداکثر عمق احتمالی در کانال پایین دست در دبیهای بالا، 10 سانتیمتر برآورد 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 دست می‌آمد. برای کاهش تلاطم جریان یک آرام کننده بعد از سرریز ابتدایی و آرام کننده دیگری قبل از سرریز پایین دست قرار داده شد. برای ساخت آبیگر کفی با محیط متخلخل، سه محفظه از جنس آهن گالوانیزه با 3 شیب سطحی S_m صفر، 10 و 20 درصد، عرض 30 (منطبق با عرض فلوم) و طول ثابت 20 سانتیمتر ساخته شد. برای ایجاد شیب در سطح آبیگر، ارتفاع دیواره پایین دست 10 سانتیمتر انتخاب و ارتفاع دیواره بالادست مطابق با تراز کف کانال

بالادست آبیگر در ارتفاع های 10، 12 و 14 سانتیمتر تغییر می‌کرد. برای جلوگیری از شسته شدن سنگدانه‌ها در سطح محیط متخلخل ناشی از عبور جریان، از یک توری گالوانیزه جهت تثبیت آنها استفاده شد. همچنین برای جلوگیری از انتقال سنگدانه‌ها به کانال تحتانی و ایجاد کمترین مقاومت در برابر جریان، از میله‌هایی به قطر 1/5 میلی‌متر که بصورت موازی در دیواره پایین دست قرار دادند، استفاده شد. مواد محیط متخلخل از مصالح رودخانه‌ای انتخاب و به روش الک استاندارد ASTM دانه‌بندی گردید. سه نوع دانه‌بندی برای محیط متخلخل با نماد P1، P2، P3 انتخاب شد (جدول 1). به منظور تغذیه رسوب نیز از 4 نوع رسوب S1، S2، S3 و S4 که مخلوط 3 رسوب موجود است در بالادست محیط متخلخل به صورت بار بستر استفاده شد (جدول 2).

جدول (2) اندازه دانه بندی رسوبات (mm)

نوع رسوب	d_{15}	d_{50}	d_{85}
S1	1.15	1.45	1.7
S2	1.4	2.1	2.5
S3	2.45	2.7	3.1
S4	1.31	1.85	3

جدول (1) اندازه دانه بندی سنگدانه ها (mm)

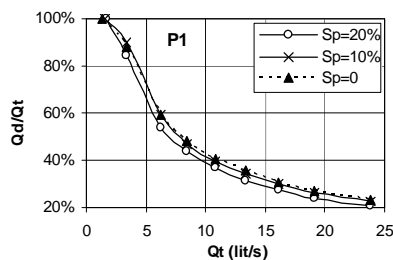
نوع دانه بندی	D_{15}	D_{50}	D_{85}
P1	7.8	8.5	9.8
P2	10.2	11.5	12.6
P3	13.4	14.5	15.8

با توجه به حداکثر دبی و حداکثر زمان اجرای آزمایش و همچنین محاسبات مربوط به انتقال بار بستر، بستر رسوبی به عمق 5 سانتیمتر و طول 3/5 متر ایجاد شد. 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 دانه‌بندی و در هر دانه‌بندی 8 دبی انتخابی مورد آزمایش قرار می‌گرفت. در طی 30 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 دانه‌بندی محیط، نوع رسوبات و دبی کانال حدود 15 الی 20 دقیقه است.

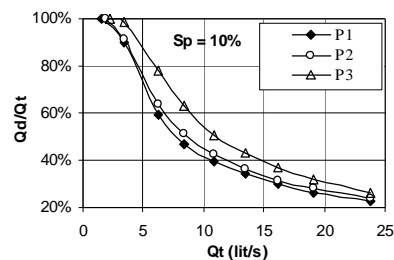
نتایج

بررسی گذردهی جریان انحرافی در جریان زلال

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 دانه‌بندی 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 2، درصد افزایش دبی انحرافی با افزایش دبی ورودی کاهش می‌یابد. همچنین نتایج شکل 2 نشان می‌دهد به ازاء یک دبی ورودی مشخص Q_i با افزایش اندازه ذرات، درصد دبی انحرافی روند افزایشی دارد. در شکل 3 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 می‌یابد که مقدار آن در دبی های بیشتر، بیشتر است. افزایش شیب سطح آبیگر، افزایش سرعت جریان را در پی دارد و باعث کاهش قابل توجه دبی انحراف خواهد شد.



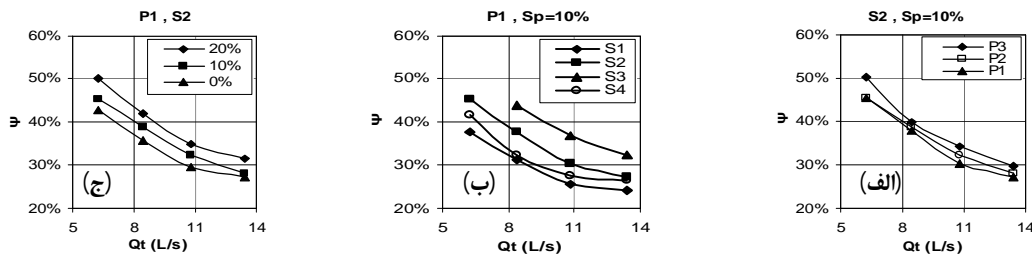
شکل (3) میزان درصد دبی انحرافی با افزایش شیب سطح آبیگر



شکل (2) میزان درصد دبی انحرافی با افزایش دبی ورودی

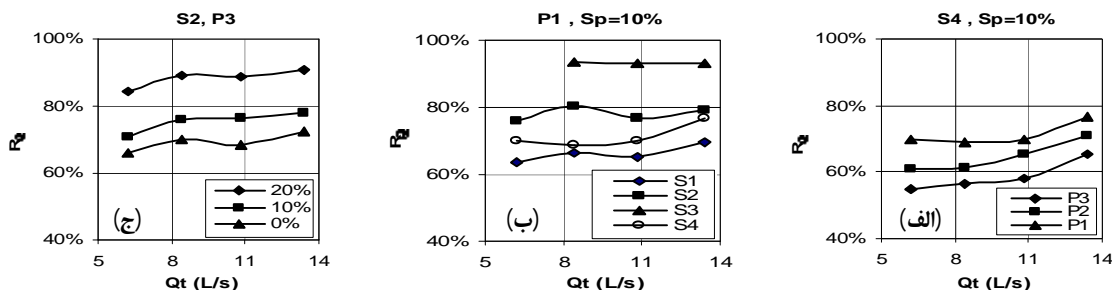
بررسی گذردهی جریان انحرافی در جریان رسوبدار

برای بررسی تغییرات دبی کانال انحراف در دبی‌های مختلف از نسبت بی بعد $\Psi = (Q_{ds}/Q_i) \times 100$ استفاده شد. که Q_{ds} دبی کانال انحراف در جریان رسوبدار و Q_i دبی کل کانال اصلی می‌باشد. در شکل (4) مشاهده می‌شود که در کلیه حالات با افزایش دبی، درصد دبی تحتانی به دبی کل کاهش می‌یابد که این امر به خاطر فرار آب از روی سطح آبگیر و کاهش برخورد جریان با محیط متخلخل و غلبه نیروهای هیدرودینامیکی بر نیروی ثقل است. با توجه به شکل (4-الف)، بیشترین گذردهی برای دانه‌بندی‌های بزرگتر رخ می‌دهد. در شکل (4-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_S است به طوری که گرفتگی رسوبات ریزدانه و دانه‌بندی‌های درشت دانه بیشتر بوده و در این حالات درصد کاهش Ψ 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 تاثیر 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 در این نوع رسوب غالباً بین رسوبات S1 و S2 بوده و لذا در طبیعت نیز باید انتظار گذردهی نسبی در حدود 25 تا 40 درصد را داشت. در شکل (4-ج) مشاهده می‌شود که در شیب 20% بیشترین و در شیب صفر کمترین گذردهی رخ می‌دهد. در توضیح علت گذردهی بهتر در شیب‌های بیشتر باید گفت که رسوبات ورودی به آبگیر غالباً در لایه سطحی انباشته می‌شوند و یک لایه غیر قابل نفوذ را ایجاد می‌کنند. البته بسته به نوع R_S 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.



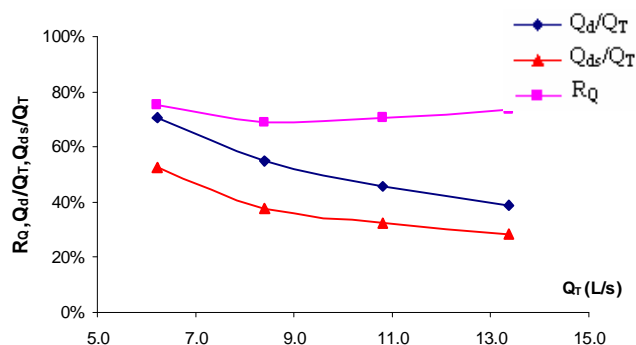
شکل (4) بررسی تاثیر عوامل مختلف بر روند تغییرات Ψ در دبیهای مختلف. (الف) دانه بندی، (ب) رسوب، و (ج) شیب محیط متخلخل

با بکارگیری داده های مربوط به میزان دبی عبوری از کانال تحتانی در شرایط زلال (Q_d) و در جریان رسوبدار (Q_{ds})، میزان گذردهی تحت شرایط جریان با رسوب نسبت به شرایط بدون رسوب ($R_Q = Q_{ds}/Q_d$) را می‌توان مورد ارزیابی قرار داد. در شکل (5) تاثیر متغیرهای مختلف بر روند تغییرات R_Q نشان داده شده است. نمودارهای مربوط به گذردهی نسبی R_Q نشان‌دهنده درصد عبور دبی کانال تحتانی تحت شرایط مختلف از لحاظ شیب و رسوب بوده و با استناد به آن می‌توان مقایسه معنی‌داری با شرایط جریان زلال انجام داد. مقایسه دانه‌بندی‌های مختلف در شکل (5-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 85٪ نیز می‌رسد. البته این نسبت تحت تاثیر شیب آبگیر و نوع رسوبات نیز می‌باشد. در شکل (5-ب)، مشاهده می‌شود که رسوبات S3 کمترین و رسوبات S1 بیشترین تاثیر را در کاهش گذردهی داشته و گذردهی نسبی در این دو حالت به ترتیب بیش از 80٪ و 60٪ شرایط بدون رسوب است. این روند را باید در بزرگ بودن قطر رسوبات S3 و کوچک بودن رسوبات S1 دانست که به ترتیب گرفتگی کمتر و بیشتری را ایجاد می‌کند. در نمودارهای اخیر نیز مشاهده می‌شود که رسوبات S4 حالتی مابین رسوبات S1 و S2 داشته و حدود 60٪ تا 70٪ جریان فاقد رسوب قابلیت گذردهی دارد. شکل (5-ج) نشان می‌دهد که همواره با افزایش شیب، نسبت گذردهی افزایش می‌یابد. روند تغییرات R_Q نسبت به افزایش دبی صعودی است اما در هر شیب نسبت این تغییرات جزئی است و حداکثر افزایش گذردهی نسبی حدوداً 5٪ است.



شکل (5) بررسی عوامل مختلف بر روند تغییرات R_Q در دبی های مختلف. (الف) دانه بندی، (ب) رسوب و (ج) شیب محیط متخلخل

به منظور بررسی روند تغییرات دبی انحرافی به دبی کل در جریان رسوبدار و زلال، در یک حالت نمونه (شکل 6) مشاهده می شود که با افزایش دبی، اختلاف ۱۷ در جریان زلال و رسوبدار از ۲۰٪ در دبی های پایین به ۷٪ در دبی های بالا کاهش می یابد که نشان می دهد عامل گرفتگی در دبی های کمتر موثرتر است. با وجود کاهش سطح تماس آب با آبرگیر در دبی های بالا، کاهش گرفتگی سبب افزایش نسبی گذردهی می شود. کاهش اختلاف در دبی انحرافی در دبی های بالا برای جریان های زلال و رسوبدار باعث افزایش نسبی R_Q می شود.



شکل (6) مقایسه نسبی دبی انحرافی به دبی کل در جریان رسوبدار و زلال در یک حالت نمونه

با توجه به تاثیر مستقیم R_S بر روند تغییرات R_Q ، در محدوده آزمایشات انجام شده می توان جدول (3) را ارائه داد. در این جدول مشاهده می شود که در شیب های بالاتر، نسبت گذردهی آبرگیر در جریان رسوبدار و زلال بیشتر بوده و R_S های کمتر از 4/5 عملکرد بهتری دارند.

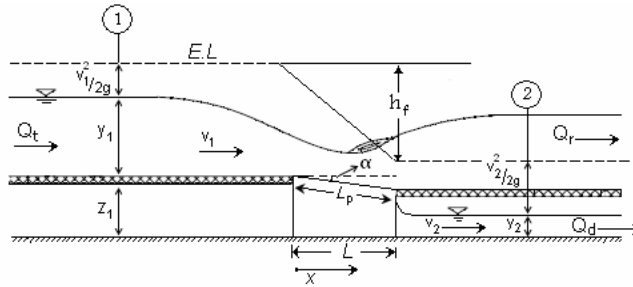
جدول (3) محدوده R_Q برای شیب های مختلف محفظه و بازه های R_S

R_S			شیب محفظه
> 6	4.5 - 6	2.5 - 4.5	
< 0.5	0.5 - 0.6	0.6 - 0.8	% 0
< 0.6	0.6 - 0.7	0.7 - 0.9	% 10
< 0.75	0.75 - 0.8	0.75 - 0.95	% 20

رابطه پیشنهادی دبی انحرافی از آبرگیر کفی با محیط متخلخل

با توجه به شکل (7) معادله انرژی بین دو مقطع 1 و 2، در بالادست آبرگیر و کانال انحراف به صورت زیر نوشته می شود:

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



شکل (7) مشخصات هیدرولیکی جریان آبگیر کفی با محیط متخلخل

با توجه به شرایط آزمایشگاهی مقدار $V_1^2/2g$ نسبت به $V_2^2/2g$ کم بوده و می‌توان از آن در رابطه (2) 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 می‌شود:

$$V_2 = \sqrt{2g(y_1 - y_2) \left(1 + \frac{z_1 - h_f}{y_1 - y_2} \right)} \quad (3)$$

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 (3) صرفنظر کرد. خطای حاصل از حذف این مقدار توسط 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:

$$V = \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \quad (4)$$

طبق رابطه پیوستگی، دبی انحرافی در آبگیر کفی با محیط متخلخل در واحد طول به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{dQ_d}{dx} = C_d B n V \quad (5)$$

در رابطه (5)، n تخلخل سنگدانه‌ها، C_d ضریب دبی محیط متخلخل و V سرعت متوسط تئوری جریان عبوری از محیط متخلخل می‌باشد. با انتگرال‌گیری از رابطه 5 در طول آبگیر و جایگزینی سرعت از رابطه (4) مقدار دبی انحرافی به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$Q_d = C_d n L B \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \quad (6)$$

در رابطه (6)، $(y_1 - y_2)$ اختلاف سطح آب در بالادست آبگیر و کانال انحراف، g شتاب ثقل، L طول آبگیر، B عرض آبگیر، $A = LB$ سطح مقطع آبگیر و $A_m = nLB$ سطح مقطع جریان در محیط متخلخل سنگدانه‌ای که شامل مجموع سطح فضای خالی بین سنگدانه‌ها که سیال درون آن در صفحه‌ای عمود بر جهت جریان برقرار است. با وارد نمودن زاویه شیب سطح بالایی محیط متخلخل با افق (a) در رابطه (6) می‌توان آن را در حالت کلی برای انواع آبگیر کفی با شیب سطح بالایی و بدون آن بکار برد (رابطه 7):

$$Q_d = C_d n L B \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \rightarrow Q_d = C_d \frac{A_m}{\cos a} \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \quad (7)$$

آنالیز ابعادی

می‌توان با استفاده از آنالیز ابعادی متغیرهای بدون بعد موثر بر ضریب دبی را مشخص و رابطه‌ای جهت برآورد مقدار آن بدست آورد. با صرفنظر از اثرات کشش سطحی و تراکم‌پذیری مایع، قانون فیزیکی حاکم بر جریان خروجی برای جریان زلال شکل زیر را به خود می‌گیرد:

$$f(r, g, V_1, y_1, n, d_{50}, L, S_p, S_0, form) = 0 \quad (8)$$

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

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

در رابطه فوق j نسبت عمق آب در کانال بالادست به طول آبیگر (y_1/L) و $Fr = V_1/\sqrt{gy_1}$ عدد فرود بالادست می‌باشد. با توجه به یکسان بودن شکل آبیگر و شیب کانال، عوامل S_0 و S_p از رابطه (9) حذف شدند.

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

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

که در آن $R_s = \frac{D_{15}}{d_{85}}$ ، $R_{15} = \frac{D_{15}}{d_{15}}$ و $R_{50} = \frac{D_{50}}{d_{50}}$ می‌باشد. D_{50} و D_{15} به ترتیب قطر الکی است که 15 و 50٪ دانه بندی محیط متخلخل و d_{50} و d_{85} قطر الکی است که به ترتیب 15، 50 و 85 درصد رسوبات از آن ریزترند. S ته نشینی ویژه، i گرادیان هیدرولیکی، Re عدد رینولدز جریان بالادست، $I = C/R_w$ نسبت غلظت آب رسوبدار (که حاصل تقسیم دبی رسوب بر دبی جریان بوده و بر حسب گرم بر لیتر می‌باشد) به چگالی آب زلال و Θ تنش برشی بی بعد (فاکتور شیلدز) است. در این حالت C_d تابع عوامل زیر است:

$$C_d = f(Fr, Re, i, \Theta, S, R_{50}, S_p) \quad (11)$$

ضریب دبی

با بکارگیری از داده‌های آزمایشگاهی و با استفاده از نرم افزار SPSS و به روش مرحله‌ای بین متغیرهای بی‌بعد شده به روش آنالیز ابعادی برازش چند متغیره صورت گرفت و بهترین رابطه C_d برای جریان زلال به صورت غیرخطی زیر بدست آمد:

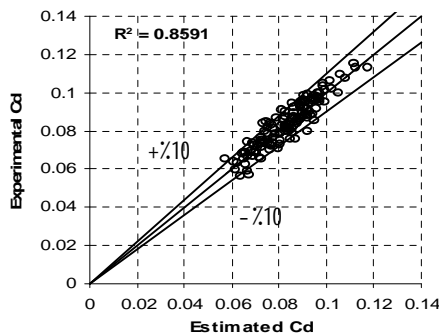
$$C_d = 3.625 \times 10^{-5} \frac{Fr^{0.739} \left(\frac{y_1}{d_{50}}\right)^{0.509}}{n^{8.518} (S_p + j)^{0.363}} \quad R^2 = 91.8\% \quad (12)$$

رابطه (12) نشان می‌دهد C_d با Fr و y_1/d_{50} رابطه مستقیم و با n و مجموع j و S_p رابطه معکوس دارد.

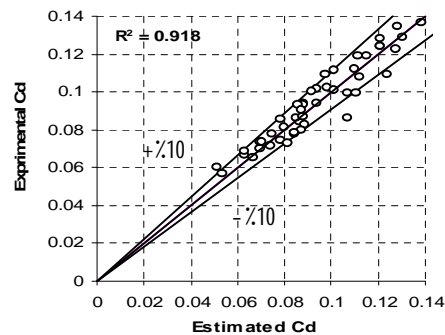
همچنین رابطه C_d در جریان رسوبدار را می‌توان به شکل معادله (13) نوشت:

$$C_d = 3.1 \times 10^{-4} \frac{Fr^{0.5} \Theta^{0.7} Re^{0.45} S^{0.261} (S_p + j)}{i^{2.8} R_{50}^{0.356}} \quad R^2 = 0.86\% \quad (13)$$

با ورود رسوبات به جریان، ضریب دبی تحت تاثیر عواملی چون فاکتور شیلدز، عدد رینولدز و ته نشینی ویژه تغییر می‌کند. با افزایش دبی (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. هرچه رسوبات درشت‌دانه تر باشند نسبت اندازه R_{50} کاهش یافته و C_d افزایش می‌یابد. در این حالت بر خلاف جریان زلال با افزایش شیب، C_d افزایش می‌یابد. در شکل‌های (8) و (9) مقادیر C_d بدست آمده از روابط (12) و (13) و نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند. پراکنش ناچیز نقاط حاکی از انطباق خوب بین مقادیر C_d از روابط مذکور و مقادیر آزمایشگاهی می‌باشد.



شکل (9) ضریب C_d محاسباتی و اندازه‌گیری شده در جریان رسوبدار



شکل (8) ضریب C_d محاسباتی و اندازه‌گیری شده در جریان زلال

مقایسه ضریب C_d جریان زلال و رسوبدار در شیب‌های مختلف

مقایسه ضرایب دبی در جریان زلال و رسوبدار نشان داد در جریان زلال با افزایش شیب سطح آبگیر C_d کاهش و در جریان رسوبدار C_d افزایش می‌یابد. با توجه به جدول (4)، در شیب صفر C_d در جریان زلال تا 0/14 افزایش یافته و در جریان رسوبدار حداکثر 0/09 بدست آمده است. با افزایش S_p ، گذردهی جریان زلال و رسوبدار به ترتیب و بطور نسبی کاهش و افزایش یافته است. اختلاف حداکثر C_d در دو حالت رسوبدار و زلال در شیب صفر 0/05، در شیب 10٪ برابر 0/033 و در شیب 20٪ برابر با 0/01 است که نشان می‌دهد در شیب صفر گرفتگی بیشتر از شیب 10٪ و در شیب 10٪ بیشتر از شیب 20٪ 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.

جدول (4) بازه ضریب C_d در جریان زلال و رسوبدار در شیب‌های مختلف

شیب سطح آبگیر (S_p)			نوع جریان
20 %	10 %	0 %	
0.062 – 0.123	0.07 – 0.133	0.075 – 0.14	جریان زلال
0.06 – 0.113	0.058 – 0.1	0.055 – 0.09	جریان رسوبدار

نتیجه گیری

در این مطالعه شیوه جدیدی برای آبیگری از رودخانه‌ها پیشنهاد شد که در آن محیط متخلخل جایگزین کفهای مشبک شده است. هرچند ضریب گذردهی آبگیر کفی با محیط متخلخل حدوداً 10 تا 30٪ ضریب گذردهی کفهای مشبک است اما کارایی سیستم در بلند مدت، عدم نیاز به نیروی انسانی جهت حفظ و نگهداری سیستم، حفظ شرایط طبیعی رودخانه، 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 جریان زلال و رسوبدار روند افزایشی دارد اما روند افزایشی آن با افزایش دبی ورودی ثابت نیست و بتدریج به مقدار ثابتی خواهد رسید. با افزایش اندازه ذرات نیز میزان دبی انحراف روند افزایشی را نشان می‌دهد هرچند در جریان رسوبدار این روند بسیار تحت تاثیر قطر رسوبات است. در جریان زلال با افزایش شیب سطح آبگیر، از میزان دبی انحراف کاسته می‌شود ولی در جریان رسوبدار باعث افزایش جریان انحرافی می‌گردد. بیشترین و کمترین میزان تغییرات ضریب گذردهی جریان رسوبدار به جریان زلال 35% و 5% بوده که به ترتیب در شیب‌های صفر و 20٪ رخ داده است. با افزایش S_p ، سرعت جریان بر روی آبگیر افزایش یافته و بیشتر رسوبات از سطح آبگیر به پایین دست غلتیده و کمتر وارد محیط متخلخل می‌شوند لذا جریان انحرافی نسبت به شیب‌های کمتر در سطح آبگیر افزایش می‌یابد.

منابع

- [1] Schälchli, U. (1995). "Basic equations for siltation of river beds." J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol.121, No.33, PP. 274–287.
- [2] Carling, P.A. (1984). "Deposition of fine and coarse sand in an open-work gravel bed.", Can. J. Fish. Aquat. Sci, Vol.41, PP. 263- 270.
- [3] Mucha, I., Banský, U., Hlavatý, Z. and Rodák, D. (2006). "Impact of river bed clogging-colmatation-on ground water." Journal of Riverbank Filtration Hydrology, Springer, PP. 43–72.
- [4] Cunningham, A. B., Anderson, C. J. and Bouwer, H. (1987). "Effect of sediment laden- flow on channel bed clogging." Journal of Irrigation and Drain. Engrg., ASCE, Vol.113, No.1, PP. 106-118.
- [5] Sherard, J. L., Dunnigan, L. P. and Talbot, J. R. (1984). "Basic properties of sand and gravel filters." J. Geotech. Engrg. ASCE, Vol.110, No.6, PP. 684– 700.
- [6] Wu, F. C. and Huang, H. T. (2000). "Hydraulic resistance induced by deposition of sediment in porous media." J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol.126, No.7, PP. 547-551.
- [7] Sakthivadivel, R. and Einstein, H. A. (1970). "Clogging of porous column of spheres by sediment." J. Hydr. Div., ASCE, Vol.96, No.2, PP. 461–472.
- [8] Tan, S. A., Fwa, T. F. and Han, C. T. (2003). "Clogging evaluation of permeable bases." J. Transp. Engrg. ASCE, Vol.129, No.3, PP. 309- 315.

Comparison of the discharge coefficient of clear water and sediment flow in new system of Bottom intake with porous media

Fatemeh Koorosh vahid

Msc of hydraulic structures engineering, Department of water engineering, Ferdowsi University of Mashhad,
f_kooroshvahid@yahoo.com

Benyamin Naghavi

Msc of hydraulic structures engineering, Department of water engineering, Ferdowsi University of Mashhad,

Kazem Esmaili

Assistant professor of hydraulic structures engineering, Department of water engineering, Ferdowsi University of
Mashhad, Iran.

Mahmoud Faghfur Maghrebi

Associate professor of civil engineering, Faculty of engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

ABSTRACT

Bottom intake with porous media is a new idea for diverting discharge in steep rivers. In the present research a two- storey channel was made to separate the diverted flow through intake from the approaching one. In order to investigate some parameters which affect the rate of diversion flow, the items were considered such as grain size distribution of porous media and Surface slope of intake in different rates of flow. The influence of clogging phenomena on diverted discharge is also examined. Due to clogging phenomena discharge coefficient is reduced up to 5 to 35% in comparison to the clear water.

Keywords : bottom intake, porous media, discharge coefficient, clear water flow, sediment flow, clogging