

مطالعه آزمایشگاهی میزان آبگذری سیستم آبگیری از کف با استفاده از محیط متخلخل تحت اثر جریان رسوبات

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

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۸۸/۲/۲۷

چکیده

از جمله روشهای مرسوم در آبگیری از رودخانه در مناطق کوهستانی، سیستم آبگیری از کف با استفاده از کفهای مشبک است. بروز مشکلات ناشی از آسیب دیدگی و زنگ زدگی میله‌های شبکه در کف رودخانه، ایده جایگزینی یک محیط متخلخل تراوا با این سیستم را مطرح می‌کند. در این سیستم نیز مهمترین مسئله، گرفتگی فضای متخلخل و کاهش آبگیری از آن است. در تحقیق حاضر تاثیر توام عواملی همچون دانه بندی، رسوبات، شیب طولی محیط متخلخل و تغییرات دبی بررسی شد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد با انتخاب دانه بندی و شیب مناسب (بر اساس نوع رسوبات موجود در رودخانه)، با وجود آنکه بخشی از فضای متخلخل توسط رسوبات معلق گرفته می‌شود، درصد کاهش دبی در گرفتگی حدی این محیط با حالت جریان بدون رسوب (آب زلال) حاکی از گذردهی قابل قبول این سیستم در بلند مدت و عدم نیاز به نیروی انسانی جهت نگهداری آن است. به منظور تشخیص پارامترهای موثر بر مقاومت نفوذی ناشی از رسوبگذاری در آبگیر کفی با محیط متخلخل، با کمک قانون نفوذ سطحی دارسی معادله ای تجربی-تئوری معرفی شد که نشان می‌دهد مقاومت نفوذی در این محیط تابعی از نسبت اندازه رسوبات و محیط متخلخل، عدد رینولدز و گرادیان هیدرولیکی است. نتایج نشان می‌دهند که معادله پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی هماهنگی مناسبی دارند.

واژه‌های کلیدی: آبگیری از کف، محیط متخلخل، گرفتگی، انتقال رسوب، کاهش دبی، مقاومت نفوذی

مقدمه

استفاده قرار می‌گیرند (۷). کفهای مشبک، در ساخت جریان شکنهای کوچک نیز بکار می‌روند (۱۴). در برخی حالات که ارتفاع آب پایین دست در کانالهای منشوری افزایش می‌یابد، می‌توان از کف مشبک به عنوان مستهلک کننده انرژی استفاده کرد. تمامی این سازه‌ها برای دستیابی به حداکثر آب ممکن در حداقل طول طراحی شده‌اند. طراحی آبگیرهای بستر رودخانه به گونه‌ایست که بتواند در شرایط حدی نیز که کل بار بستر در طی سیلاب از روی کف مشبک عبور می‌کند آبگیری کنند و لذا برای کاهش پدیده گرفتگی غالباً از میله‌های طولی استفاده می‌شود (۱۶).

احداث این میله‌ها در کف رودخانه مشکلاتی به همراه دارد که از جمله مهمترین آنها آسیب دیدگی، زنگ زدگی و در نهایت از کارافتادگی آنها و همچنین مشکلات مربوط به نگهداری سیستم و تخلیه رسوبات است. به منظور فائق آمدن بر این مشکلات، ایده جایگزینی یک محیط متخلخل تراوا با این سیستم مطرح شد. 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

آبگیری از رودخانه به روش‌های متعددی صورت می‌گیرد که هر یک ویژگیها و محدودیت‌های خاص خود را دارند. از جمله این روش‌ها می‌توان به سیستم آبگیری از کف با استفاده از کفهای مشبک اشاره کرد. این نوع آبگیرهای حاوی آشغالگیر که در بستر رودخانه‌ها قرار می‌گیرند، غالباً در رودخانه‌های نسبتاً کوچک کوهستانی که در آنها شیب تند، بستر نامنظم، رسوبات انتقالی زیاد و سیلابهای ناگهانی مانع از استفاده از سدهای دریاچه‌دار می‌شود مورد

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* نویسنده مسئول : (Email: Saeedkhodashenas@yahoo.fr)

۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

۵- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

$$k(t) = \frac{gL}{v(rm_s + \beta)} = \frac{gL}{v\left(r\frac{C\nabla_A}{A_F} + \beta\right)} = \frac{gL}{v\sqrt{\beta^2 + \frac{2g\Delta h}{v}rCt}} \quad (2)$$

که در آن L طول نشت V ، ویسکوزیته سینماتیک (m^2/s) ، ∇_A نرخ نشت جمعی (حجم نشت) (m^3) ، A_F سطح نفوذ (m^2) ، r مقاومت نفوذی ویژه (m/kg) ، C غلظت بار معلق (kg/m^3) ، β مقاومت نفوذی بستر رودخانه تمیز (m^{-1}) ، Δh بار فشاری (m) و g شتاب ثقل (m/s^2) است. تغییرات زمانی k در رودخانه های شنی از روندی معمولی پیروی می کند که منعکس کننده ورود و شسته شدن رسوبات ریزدانه است.

مطالعات آزمایشگاهی وو و هوانگ (۲۳) بر روی ترسیب آبی رسوبات رها شده در محیط متخلخل و مقاومت هیدرولیکی ایجاد شده نشان داد که رابطه تغییرات هدایت هیدرولیکی با ته نشینی رسوبات بصورت زیر است:

$$k(\sigma_s) = \frac{gL}{v\sqrt{\beta^2 + \frac{2g\Delta h}{v}r'\sigma_s}} \quad (3)$$

در معادله فوق r' مقاومت هیدرولیکی ناشی از لای گذاری سریع و σ_s تراز ته نشینی است.

مطالعات بنک (۵)، ساکسیوادبول و اینشتین (۱۷) و کانینگهام و همکاران (۱۰) نشان می دهد که فرآیند لای گذاری در محیط متخلخل توسط سه فاکتور اصلی کنترل می شود. این سه فاکتور عبارتند از اندازه ذرات رسوب و شن، غلظت رسوبات و سرعت جریان نشت.

نسبت اندازه مصالح محیط متخلخل درشت دانه به رسوبات می تواند توسط یک پارامتر ساده به نام نسبت اندازه ذرات R_S به صورت زیر تعریف شود (۲۱ و ۱۸):

$$R_S = \frac{(D_{15})_{Gr}}{(d_{85})_{Sed}} \quad (4)$$

که در آن $(D_{15})_{Gr}$ و $(d_{85})_{Sed}$ به ترتیب قطر الکی است که ۱۵ و ۸۵٪ دانه بندی محیط متخلخل و رسوبات از آن ریزترند.

مطالعات وو و هوانگ (۲۳) نشان داد که نسبت اندازه R_S ، فاکتور حاکم بر توزیع ته نشینی رسوبات است. طبق گزارش ساکسیوادبول و اینشتین (۱۷) هنگامی که نسبت اندازه بزرگتر از ۱۵ باشد، کمتر از ۱٪ حجم منافذ کل با رسوبات ته نشین شده اشغال می شود.

تان و همکاران (۲۲) 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:

ضروری می کند. از جمله محدودیتهایی که برای این سیستم می توان متصور شد، مشکلات مربوط به رسوبگیری و عدم گذردهی و در نتیجه آبیگری مناسب از این نوع آبیگر است. لذا باید با انتخاب مناسبترین دانه بندی و اعمال اقدامات لازم جهت بهینه سازی این طرح، مشکلات مربوط به رسوبگیری را به حداقل رساند. آبیگری از چنین محیط متخلخلی را می توان با گذردهی جریان از بستر رودخانه به سمت آبهای زیرزمینی و گرفتگی و آبیگری فیلترها مقایسه کرد.

مطالعات شالشی (۲۰) در خصوص لایگذاری در بستر رودخانه و محیطهای متخلخل نشان می دهد کاهش هدایت هیدرولیکی k اساساً به تنش برشی بی بعد جریان Θ ، غلظت بار معلق C ، گرادیان هیدرولیکی مابین رودخانه و آب زیرزمینی i و توزیع دانه بندی بستر رودخانه d_{10}/d_m بستگی دارد که در آن d_m اندازه میانه ذرات تشکیل دهنده بستر است.

مدل طراحی فیلترها که توسط بارتون و بوشبرگر (۴) ارائه شده، تاثیر شکل دانه های مختلف در انتقال و نگهداری ذرات را نشان می دهد. در مورد قابلیت گرفتگی فیلترها هرچه دانه بندی ذرات تیز گوشه تر باشد، بازه گسترده تری از ذرات می تواند در فضای فیلتر قرار گیرد و فیلتری که گرفتگی عمقی را افزایش دهد، ذرات بیشتری را با افت انرژی کمتر می گیرد (۱۷). به منظور افزایش عملکرد فیلترها در جهت جلوگیری از خروج مواد بستر و اطمینان از نفوذپذیری کافی، لون و همکاران (۱۳) پارامتر d^* را به عنوان اندازه منفذ کنترل طراحی فیلتر به شکل زیر معرفی کردند:

$$d^* = \frac{8d_{85}}{C_{UB} + 4.72} \quad (1)$$

در معادله فوق d_{85} قطر الکی است که ۸۵٪ دانه بندی مواد بستر از آن ریزتر بوده و C_{UB} نیز ضریب یکنواختی مواد بستر است.

برای یک بستر مشخص، متغیرهای فیزیکی همچون شرایط جریان، بار معلق، توزیع دانه بندی و شکل ذرات معلق، گرادیان هیدرولیکی جریان نشی و جهت آن می تواند تاثیر عمده ای بر فرآیند گرفتگی بگذارند (۱۹) و (۹). گرفتگی بسترهای نفوذپذیر توسط ذرات خارجی می تواند ظرفیت زهکشی و ذخیره آنها را شدیداً کاهش داده و نفوذ رواناب سطحی به داخل بستر یا لایه نفوذپذیر را با مشکل مواجه کند (۱۲) و (۶). 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 تاثیر قرار می دهد. ترسیب مواد معلق باعث کاهش هدایت هیدرولیکی و شسته شدن بستر باعث افزایش هدایت هیدرولیکی کف رودخانه می شود (۱۵).

شالشی (۱۰) فرآیند لای گذاری و گرفتگی بستر رودخانه را با تغییرات k در واحد زمان بصورت زیر توصیف کرد:

مواد و روشها

به منظور شبیه سازی آبیگر کفی با محیط متخلخل سنگدانه‌ای از سه حجم مکعب مستطیلی با طول ۲۰، عرض ۳۰ و ارتفاع ۱۰ سانتی متر استفاده شد. برای ایجاد شیب‌های ۰، ۱۰ و ۲۰٪ در سطح فوقانی محیط متخلخل، ارتفاع وجه بالادست به ترتیب ۰، ۲ و ۴ سانتیمتر بیش از وجه پایین دست اختیار شد. انتخاب شیبهای مذکور بر اساس توصیه‌ها و مطالعات انجام شده توسط کار محققین استوار بوده است (۸) و (۱). محیط متخلخل با ۳ نوع دانه بندی مختلف (P1، P2 و P3) و به نحوی انتخاب شد که بتوان مقایسه معنی داری مابین سنگدانه‌های ریزدانه و درشت دانه انجام داد (شکل ۱). به منظور تغذیه رسوب از ۴ نوع رسوب (S1، S2، S3 و S4) در بالادست محیط متخلخل به صورت بار بستر استفاده شد (شکل ۲). با توجه به حداکثر دبی و حداکثر زمان اجرای آزمایش و همچنین محاسبات مربوط به انتقال بار بستر، بستر رسوبی به ارتفاع ۵ سانتیمتر و طول ۱/۵ متر ایجاد شد. در این حالت حجم رسوبی که در این فضا جهت ایجاد گذردهی پایدار حدی قرار می‌گیرد کافی بوده و سیستم با کمبود رسوب مواجه نخواهد شد.

با توجه به اینکه از جمله پارامترهای مهم و دخیل در این آزمایش نسبت اندازه رسوبات و سنگدانه هاست، لذا R_S مربوط به رسوبات و سنگدانه های محیط متخلخل در جدول ۱ آورده شده است.

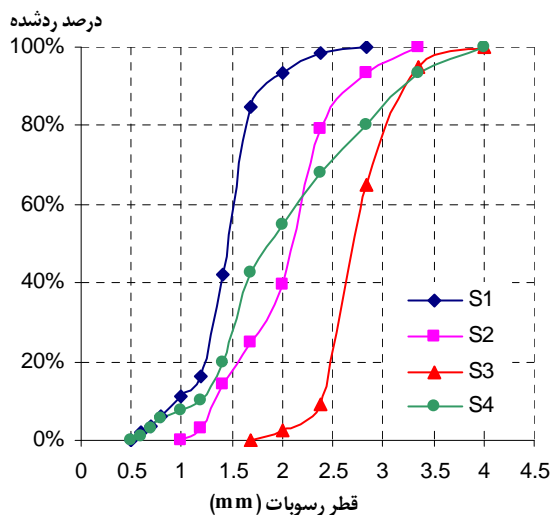
$$k = k_0 \frac{(1-n)^2}{n^3} \frac{(n-\alpha\sigma)^3}{[1-(n-\alpha\sigma)]^2} \quad (5)$$

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:

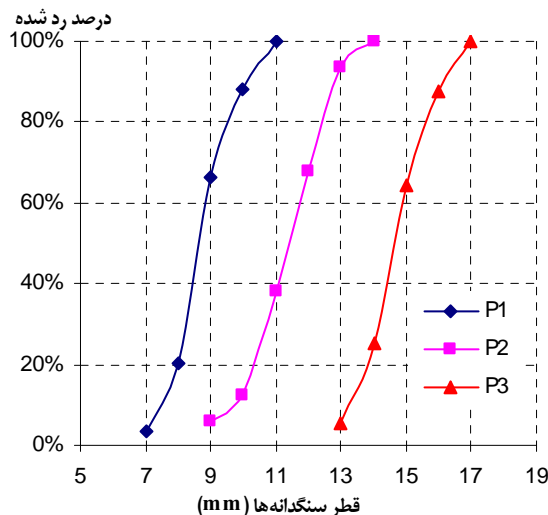
$$\sigma = \frac{\nabla_C}{\nabla_T} \quad (6)$$

طبق گزارش ساکیوادیول و اینشتین (۱۷)، ذرات معلق رسوب با قطری برابر یا بزرگتر از نصف میانگین قطر منافذ خاک ته نشین خواهند شد و با گذر زمان حجم خاک را کاملاً مسدود خواهند کرد و ذرات معلق رسوب با قطری کمتر از نصف میانگین قطر منافذ خاک در منافذ ایستا سقوط خواهند کرد و یا با فشار جریان شسته یا پرتاب شده و در نتیجه نیروی چسبندگی درون ذره ای به دیگر ذرات می‌چسبند.

هدف از تحقیق حاضر بررسی رفتار هیدرولیکی آبیگر کفی با محیط متخلخل می‌باشد. در این رابطه مقایسه این رفتار با رفتار آبیگرهای کفی مشبک و همچنین بررسی امکان گرفتگی و کاهش کارایی سیستم در گذردهی مطلوب، از اولویت تحقیقاتی بیشتری برخوردار بوده است.



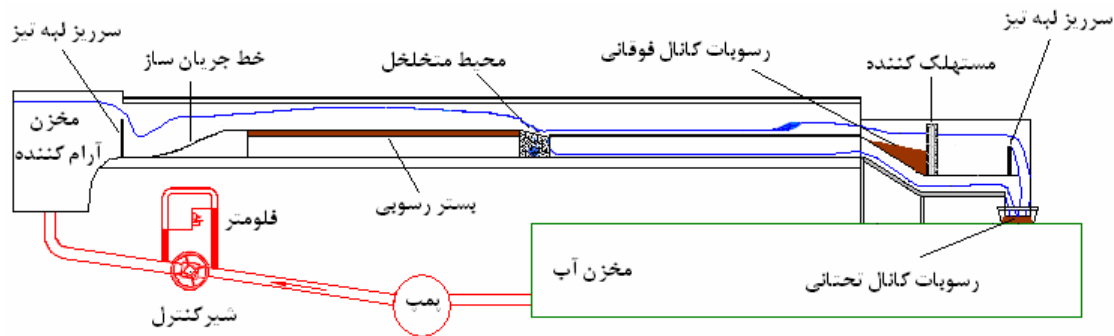
(شکل ۲) - منحنی دانه بندی رسوبات



(شکل ۱) - منحنی دانه بندی سنگدانه ها

(جدول ۱) - نسبت اندازه دانه بندی ها و رسوبات مختلف (R_S)

نوع رسوب	نوع دانه بندی		
	P3	P2	P1
S1	۸/۰۷	۶/۰۴	۴/۶۴
S2	۵/۳	۳/۹۶	۳/۰۵
S3	۴/۳۴	۳/۲۵	۲/۵۰
S4	۴/۵۲	۳/۳۸	۲/۶۰



(شکل ۳) - مدل آزمایشگاهی مربوط به آزمایشات با رسوب کف

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.

نتایج

آنالیز ابعادی نشان می‌دهد که دبی کانال انحراف در جریان رسوبدار (Q_{ds}) تابع متغیرهای مستقل ذیل است:

$$Q_{ds} = f(Q_T, D_x, d_x, R_S, S_p, \sigma) \quad (7)$$

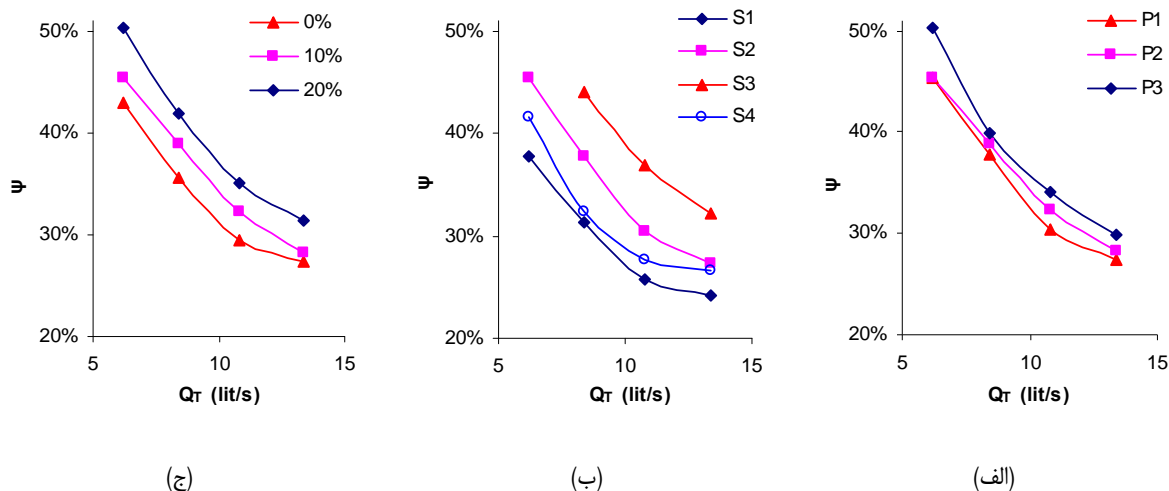
که در آن Q_T دبی کل کانال اصلی، D_x و d_x به ترتیب قطر دانه بندی محیط متخلخل و رسوبات و x قطر الکی است که $x\%$ دانه بندی محیط متخلخل و رسوبات از آن ریز ترند. S_p شیب محیط متخلخل و σ ته نشینی ویژه است که در رابطه (۶) تعریف شد.

با بکارگیری داده های مربوط به میزان دبی عبوری از کانال تحتانی در شرایط بدون رسوب (۲) و دبی بدست آمده در جریان رسوبدار، میزان گذردهی جریان تحت شرایط جریان با رسوب نسبت به شرایط بدون رسوب را می‌توان ارزیابی نمود:

$$R_Q = \frac{Q_{ds}}{Q_d} \quad (8)$$

آزمایشات در یک فلوم آزمایشگاهی با عرض ۳۰ cm، ارتفاع ۵۰ cm و طول ۱۰m انجام شد. در شکل ۳ مدل آزمایشگاهی همراه مقطع مورد آزمایش به صورت شماتیک نشان داده شده است. به منظور ایجاد آبیگر کفی به عنوان کانال انحراف، از یک کانال دو طبقه استفاده شد و محیط متخلخل در فاصله ۵ متر از بالادست قرار گرفت. در محل محیط متخلخل مقداری از آب از روی آن عبور کرده و در کانال فوقانی ادامه مسیر می‌داد و بخشی از آن از داخل محیط سنگدانه‌ای وارد کانال تحتانی شده و آبیگری از کف صورت می‌گرفت. انتقال رسوب به صورت سیستم بسته بود به این ترتیب که در انتهای فلوم و در محل ورود آب به داخل مخزن، رسوبات عبوری از کانال تحتانی جمع آوری می‌شد. در انتهای فلوم و در کانال فوقانی با استفاده از یک سرریز دبی کانال فوقانی اندازه گیری می‌شد. اختلاف قرائت سرریز بالادست و پایین دست معادل دبی کانال تحتانی بود. رسوبات عبوری از روی محیط متخلخل نیز در کانال فوقانی و در پشت سرریز انباشته می‌شد.

برای مجموع آزمایشات که شامل تغییر ۳ نوع دانه بندی، ۴ نوع رسوب و ۳ شیب محیط متخلخل است، ۴ دبی ۶/۲، ۸/۴، ۱۰/۸ و ۱۳/۴ لیتر بر ثانیه اندازه گیری شد که کنترل آن توسط فلومتر و یک سرریز در بالادست صورت گرفت. دبی ۶/۲ لیتر بر ثانیه قادر به عبور رسوبات S3 نبود و لذا در مجموع ۱۳۵ قرائت دبی صورت گرفت. شیب طولی کانال در تمام آزمایشات ثابت و برابر ۰/۰۰۵ در نظر گرفته شد. در طی ۳۰ دقیقه زمان آزمایش، روند تغییرات زمانی



(شکل ۴) - بررسی عوامل مختلف بر روند تغییرات Ψ در دبیهای مختلف. (الف) دانه بندی، (ب) رسوب و (ج) شیب محیط متخلخل

گذردهی نسبی یک دانه بندی مشخص با رسوبات درشت دانه تر بیشتر بوده است. این مطلب متأثر از نسبت R_S است به طوریکه گرفتگی رسوبات ریزدانه و دانه بندیهای 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 می شود که همواره در دانه بندی و شیبهای مختلف، گذردهی نسبی دانه بندیهای 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 می شود. Ψ 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 نمودار ۴- (ج) مشاهده می شود که در شیب ۲۰٪ بیشترین و در شیب ۱۰٪ کمترین گذردهی از کانال انحراف رخ می دهد. در توضیح علت گذردهی بهتر کانال انحراف در شیبهای بیشتر باید گفت که رسوبات ورودی به محیط متخلخل غالباً در لایه سطحی انباشته می شوند و یک لایه غیر قابل نفوذ را ایجاد می کنند. البته بسته به نوع R_S محیط نحوه گرفتگی متفاوت خواهد بود اما گرفتگی سطحی تقریباً در تمام حالات رخ می دهد. 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 لایه های پایینی محیط به سختی صورت می گیرد. اما در شیبهای زیاد به خاطر وجود شیب با وجود آنکه رسوبات در فضاهای خالی محیط سنگدانه ای نفوذ کرده و گذردهی را کاهش می دهند اما رسوبات لایه سطحی غالباً با جریان شسته شده و لایه سطحی در این حالت به اندازه شیب صفر دچار گرفتگی نمی شود. به عبارت دیگر نفوذپذیری لایه سطحی در شیبهای

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. میزان گذردهی نسبی جریان را تحت تاثیر عوامل موجود می توان به طور جداگانه تفسیر کرد. علاوه بر این برای بررسی تغییرات دبی کانال انحراف در دبیهای مختلف می توان از نسبت بی بعد Ψ بصورت ذیل بهره برد:

$$\Psi = \frac{Q_{ds}}{Q_T} \times 100 \quad (9)$$

با کمک این پارامترهای بی بعد، تاثیر هر یک از ۴ متغیر مستقل شامل نوع دانه بندی محیط متخلخل، رسوبات، شیب محیط متخلخل و دبی در قالب نمودارهایی برای بررسی گذردهی کانال انحراف مورد بررسی قرار گرفت.

در شکل ۴ نمونه ای از روند تغییرات Ψ در دبی های مختلف تحت تاثیر هر یک از متغیرهای مستقل نشان داده شده است. مشاهده می شود که در کلیه حالات با افزایش دبی درصد عبور دبی تحتانی به دبی کل کاهش می یابد و لذا بهترین گذردهی کانال تحتانی در دبیهای کم رخ می دهد. همچنین همواره با افزایش دبی Ψ کاهش می یابد 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 می شود.

با توجه به شکل ۴- (الف) بیشترین گذردهی برای دانه بندی های بزرگتر رخ می دهد، هر چند نسبت قطر سنگدانه ها به رسوبات در تغییر درصد گذردهی نقش بسزایی دارد. در نمودار ۴- (ب) مشاهده می شود که همواره رسوبات ریزدانه گرفتگی بیشتری ایجاد کرده اند و لذا

رسوب قابلیت گذردهی دارد.

شکل ۵- (ج) نشان می‌دهد که همواره با افزایش شیب نسبت گذردهی در کانال انحراف 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 حدودا ۵٪ است. علت گذردهی بهتر در شیبهای بالاتر نیز کاهش گرفتگی محیط متخلخل در این شیبهاست. در تمامی نمودارهای شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش دبی، گذردهی جریان رسوبدار و زلال به یکدیگر نزدیک می‌شوند.

به منظور بررسی روند تغییرات دبی کانال تحتانی به دبی کل در جریان رسوبدار و زلال، در یک حالت نمونه (شکل ۶) مشاهده می‌شود که با افزایش دبی، اختلاف ۷٪ در جریان زلال و رسوبدار از ۲۰٪ در دبیهای پایین به ۷٪ در دبیهای بالا کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد عامل گرفتگی در دبیهای کمتر موثرتر است.

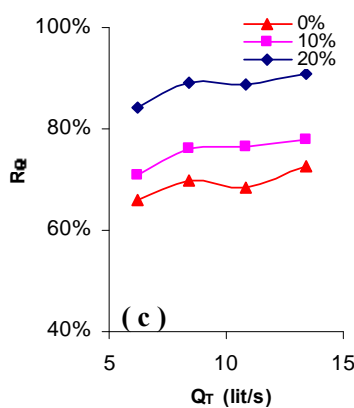
طبق گزارش دیپلاس (۱۱) با افزایش دبی، رسوبات بیشتری از محیط متخلخل شسته شده و لذا با گرفتگی کمتر محیط متخلخل گذردهی آن افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تنش برشی و به خاطر تاثیر نیروهای هیدرودینامیکی رانش و برآ که مانع از ته نشینی رسوبات می‌شوند، میزان ته نشینی ذرات بطور قابل توجهی کاهش یافته و حجم بیشتری از رسوبات به پایین دست انتقال می‌یابند (۳). 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.

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

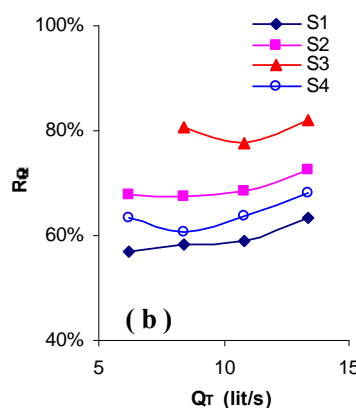
در شکل ۵ تاثیر متغیرهای مختلف بر روند تغییرات R_Q نشان داده شده است. نمودارهای مربوط به گذردهی نسبی (R_Q) نشان‌دهنده درصد عبور دبی کانال تحتانی تحت شرایط مختلف از لحاظ شیب و رسوب بوده و با استناد به آن می‌توان مقایسه معنی داری با شرایط جریان زلال انجام داد.

مقایسه دانه‌بندیهای مختلف در شکل ۵- (الف) حاکی از آن است که درصد کاهش گذردهی نسبی در دانه‌بندیهای بزرگتر بیشتر بوده و هرچه دانه بندی ریزتر می‌شود اثر رسوبگرفتگی 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 ۸۵٪ نیز می‌رسد. شایان ذکر است که این نسبت تحت تاثیر شیب محیط متخلخل و نوع رسوبات نیز بوده که تاثیر این عوامل نیز بصورت مجزا قابل بررسی است.

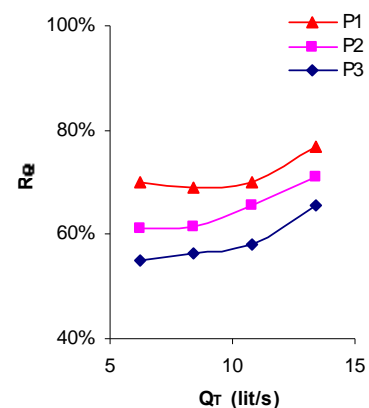
در شکل ۵- (ب) مشاهده می‌شود که رسوبات S3 کمترین و رسوبات S1 بیشترین تاثیر را در کاهش گذردهی کانال انحراف داشته و گذردهی نسبی در این دو حالت به ترتیب بیش از ۸۰ و ۶۰٪ شرایط بدون رسوب است. علت بروز این روند را باید در بزرگ بودن قطر رسوبات S3 و کوچک بودن رسوبات S1 دانست که به ترتیب گرفتگی کمتر و بیشتری را در محیط متخلخل ایجاد می‌کنند. در نمودارهای اخیر نیز مانند شکل ۴ مشاهده می‌شود که رسوبات S4 حالتی مابین رسوبات S1 و S2 داشته و حدود ۶۰ تا ۷۰٪ جریان فاقد



(ج)

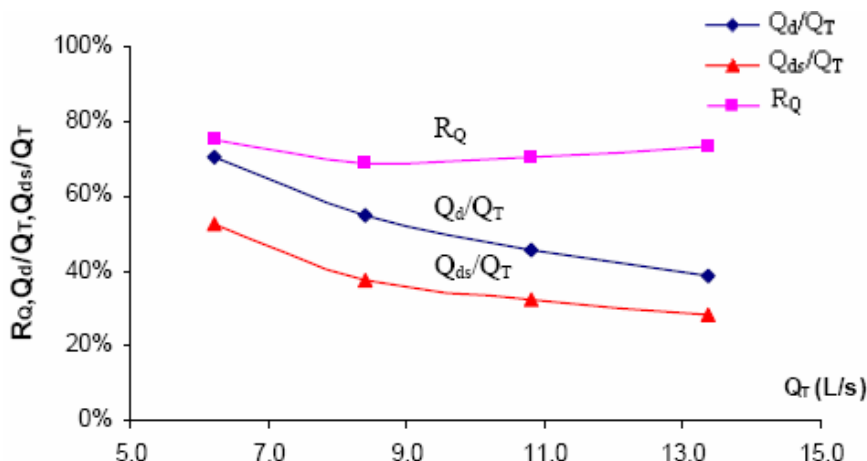


(ب)



(الف)

(شکل ۵)- بررسی عوامل مختلف بر روند تغییرات R_Q در دبیهای مختلف. (الف) دانه بندی، (ب) رسوب و (ج) شیب محیط متخلخل



(شکل ۶) - مقایسه نسبی دبی تحتانی به دبی کل در جریان رسوبدار و زلال در یک حالت نمونه

(جدول ۲) - محدوده RQ برای شیبهای مختلف جعبه و بازه‌های RS

شیب جعبه	RS		
	۲/۵-۴/۵	۴/۵-۶	>۶
%۰	۰/۶-۰/۸	۰/۵-۰/۶	<۰/۵
%۱۰	۰/۷-۰/۹	۰/۶-۰/۷	<۰/۶
%۲۰	۰/۷۵-۰/۹۵	۰/۷۵-۰/۸	<۰/۷۵

۵۰٪ دانه‌بندی محیط متخلخل و d_{15} ، d_{50} و d_{85} قطر الکی است که به ترتیب ۱۵، ۵۰ و ۸۵٪ رسوبات از آن ریزترند. S_p شیب محیط متخلخل، σ ته نشینی ویژه، n تخلخل محیط متخلخل، i گرایان هیدرولیکی، z نسبت ارتفاع آب در کانال بالادست به طول جعبه (H/L) ، Fr عدد فرود جریان، Re عدد رینولدز، $I=C/\rho_w$ 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 که به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\Theta = \frac{HS_f}{(s-I)D_m} \quad (12)$$

در این معادله H عمق جریان بالادست، S_f شیب خط انرژی، s چگالی نسبی رسوبات (۲/۶۵) و D_m قطر متوسط دانه‌بندی محیط متخلخل است.

ضریب گذردهی محیط متخلخل (C_d)

وجود برخی عوامل سبب تفاوت دبی کانال انحراف بدست آمده در شرایط آزمایشگاهی با دبی بدست آمده از محاسبات هیدرولیکی می‌شود. برای تشخیص این عوامل ابتدا ضریب آلودگی (C_d) را که

با توجه به تاثیر مستقیم R_S بر روند تغییرات R_Q ، در محدوده آزمایشات انجام شده می‌توان جدول ۲ را ارائه داد: در جدول ۲ مشاهده می‌شود که در شیبهای بالاتر، نسبت گذردهی آبیگر در جریان رسوبدار و زلال بیشتر بوده و R_S های کمتر از ۴/۵ عملکرد بهتری دارند.

تحلیل ابعادی و استخراج روابط حاکم

به منظور بررسی توام عوامل موثر بر روند تغییرات گذردهی آبیگر کفی با محیط متخلخل، با استفاده از نرم افزار SPSS مابین متغیرها و پارامترهای بی‌بعد موجود رگرسیون چند متغیره گرفته شد. با توجه به رسوبدار بودن جریان، مجموع متغیرهای هیدرولیکی، هندسی و متغیرهای مربوط به رسوب و گرفتگی در آنالیز ابعادی مورد توجه قرار گرفت. مجموع پارامترهای بی‌بعدی که در این تحلیلها موثر شناخته شدند به شرح زیر است:

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

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

$$R_S = \frac{D_{15}}{d_{85}}, \quad R_{15} = \frac{D_{15}}{d_{15}}, \quad R_{50} = \frac{D_{50}}{d_{50}} \quad (11)$$

در رابطه (۱۱)، D_{15} و D_{50} به ترتیب قطر الکی است که ۱۵ و

مستقل معرفی شده رگرسیون چند متغیره می‌گیریم. عوامل موثر بر ضریب C_d به شرح زیر می‌باشند:

$$C_d = f(\text{Fr}, \text{Re}, i, \Theta, \sigma, R_{50}, S_p) \quad (16)$$

همانطور که مشاهده می‌شود، علاوه بر مشخصات هیدرولیکی جریان و مشخصات فیزیکی محیط متخلخل، تخلخل و درصد گرفتگی نیز بر ضریب گذردهی موثرند. بهترین رابطه غیر خطی که می‌توان برای ضریب دبی جریان نوشت به شکل معادله (۱۷) است:

$$C_d = 4.4 \times 10^{-4} \frac{\text{Fr}^{1.092} \Theta^{0.968} \text{Re}^{0.572} \sigma^{0.269}}{i^{3.157} R_{50}^{0.284} S_p^{0.074}} \quad (17)$$

در شکل ۷ نتایج حاصل از محاسبه ضریب C_d با استفاده از معادله (۱۷) و نتایج حاصل از اندازه‌گیریهای آزمایشگاهی با یکدیگر مقایسه شده است.

با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که همواره ضریب آبگذری آبگیر محیط متخلخل در جریان رسوبدار در بازه ۰/۰۵ تا ۰/۱۲ قرار می‌گیرد. ضریب تبیین معادله (۱۷) نیز با داده‌های آزمایشگاهی نزدیک به ۸۶٪ است.

معادله مقاومت نفوذی

با استفاده از معادله نفوذ سطحی داریم می‌توان شرایط جریان در یک محیط متخلخل که دچار گرفتگی شده را بدست آورد (شالشلی، ۱۹۹۵):

حاصل تقسیم دبی آزمایشگاهی بر دبی تئوری است محاسبه نموده و سپس به کمک رگرسیون چند متغیره به جستجوی متغیرهای موثر می‌پردازیم.

دبی تئوری را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$Q_t = A \times V = A \times \sqrt{2g\Delta h} \quad (13)$$

که در آن Δh اختلاف ارتفاع آب در کانال بالادست و کانال تحتانی است. A نیز سطح مقطعی است که آب از آن به داخل محیط و سپس به کانال انحراف راه می‌یابد و مقدار آن را می‌توان از معادله ذیل بدست آورد:

$$A = W \times \frac{L}{\cos \alpha} \quad (14)$$

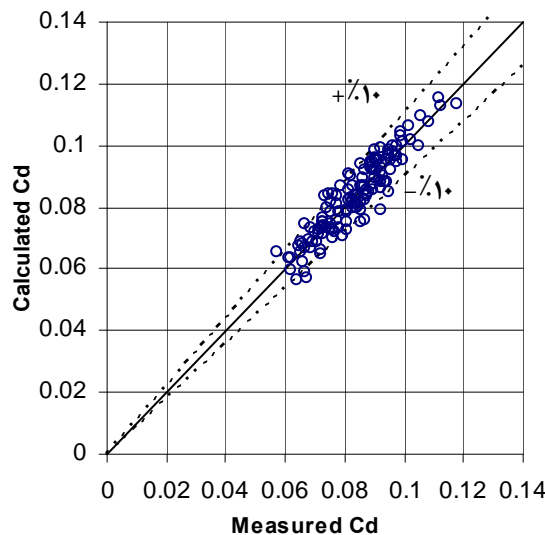
در معادله فوق W عرض، L طول تصویر افقی محیط متخلخل و α شیب آن است.

با توجه با اینکه آب از فضای خالی مابین سنگدانه‌ها در فضای تخلخل عبور می‌کند بنابراین مساحت بدست آمده در ضریب n هرنوع سنگدانه باید ضرب شود.

در جریان رسوبدار، فضای تخلخل تحت اثر گرفتگی کاهش یافته و لذا ضریب n نیز کاهش خواهد یافت. نهایتاً با اعمال n اصلاح شده، معادله کلی برای محاسبه دبی عبوری به شکل زیر خواهد بود:

$$Q_r = C_d \times A_r \times V = C_d \times \frac{W \times L}{\cos \alpha} \times n \times \sqrt{2g\Delta h} \quad (15)$$

در معادله فوق C_d ضریب آبگذری آبگیر با محیط متخلخل است. حال برای تشخیص عوامل موثر بر ضریب C_d مابین متغیرهای



(شکل ۷) - مقایسه ضریب C_d محاسباتی و ضریب C_d اندازه‌گیری شده

می شود، نشان دهنده مقاومت نفوذی اضافی ناشی از ته نشینی ذرات با جرم $C \nabla_A$ است. با جایگذاری α در معادله (۲۲) داریم:

$$\frac{Q_d}{Q_{ds}} = 1 + \frac{\alpha}{2\beta} \quad (۲۳)$$

مقایسه معادلات (۲) و (۳) نشان می دهد که هدایت هیدرولیکی محیط متخلخلی که دچار گرفتگی شده به میزان $R_C = \frac{2g\Delta h}{v}$ جریان را کاهش داده است. ضریب R_C مبین مقاومت ناشی از گرفتگی بوده که در معادله (۲) به شکل $R_C = r.C.t$ ارائه شده است. در این معادله Γ مقاومت نفوذی ویژه بوده و لذا داریم:

$$R_C = r.C.t = \frac{1.2 \times 10^{12} \cdot \Theta^{0.5}}{(d_{10} / d_m)^{3.5} \text{Re}^{1.5} i^{0.67}} Ct \quad (۲۴)$$

همانطور که مشاهده می شود r تابع رینولدز، گرادیان هیدرولیکی، فاکتور شیلدز و قطر ذرات محیط است. طبق نظر وو و هوانگ (۲۰۰۰) برای حجمی از شن که رسوبات بصورت آبی دریافت می کند، عبارت R_C مربوط به معادله (۲) را می توان به خاطر طبیعت فرآیند ته نشینی به شکل $R_C = r'\sigma_s$ تغییر داده و معادله تجربی حاصله را به شکل زیر ارائه داد:

$$\begin{aligned} R_C &= r'\sigma_s \\ &= \exp(0.13X^3 - 2.26X^2 + 4.49X + 22.41) \quad (۲۵) \\ X &= R_S^{-1.89} I^{0.13} V^{-1.71} \end{aligned}$$

مشاهده می شود که R_C مربوط به معادله (۳) تابع نسبت ذرات (R_S) ، غلظت رسوبات (I) و سرعت نشت (V) تشخیص داده شده است. با بازنویسی معادلات (۲) و (۳) به شکل معادله (۲۶) داریم:

$$\beta^2 + \Phi = \left(\frac{Lg}{k_S v} \right)^2 \quad (۲۶)$$

در معادله فوق k_S هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل در شرایط جریان رسوبدار است. با انتخاب $\beta_S = \frac{Lg}{k_S v}$ داریم:

$$\Phi = \beta_S^2 - \beta^2 \quad (۲۷)$$

با استفاده از معادله فوق و داده های آزمایشگاهی، R_C مربوط به آبیگری کفی با محیط متخلخل تابع عوامل ذیل تشخیص داده شد:

$$R_C = f(R_{50}, i, \text{Re}) \quad (۲۸)$$

بهترین معادله ای که با آن می توان R_C را تعریف کرد به این

$$\frac{d\nabla_A}{dt} = \frac{A_F \Delta P_G}{\mu \left(\frac{rC \nabla_A}{A_F} + \beta \right)} \quad (۱۸)$$

در معادله فوق ΔP_G اختلاف فشار ناشی از نفوذ (N/m^2) و μ ویسکوزیته دینامیک (kg/ms) است. بقیه پارامترها در معادله (۲) معرفی شده اند. با انتخاب $\Delta P_G = \rho g \Delta h$ و انتگرال گیری از معادله فوق خواهیم داشت:

$$\frac{rC \nabla_A^2}{2A_F} + \beta \nabla_A = \frac{A_F g \Delta h}{v} t \quad (۱۹)$$

که در آن β تابع هدایت هیدرولیکی ماکزیمم (k_0) بوده و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\beta = \frac{Lg}{k_0 v} \quad (۲۰)$$

طبق معادله دارسی با داشتن سطح نفوذ می توان مقدار جریان ناشی از شیب هیدرولیکی را از رابطه $Q = k_0 \frac{\Delta h}{L} A_F$ بدست آورد. با جایگذاری این رابطه در معادله (۲۰) داریم:

$$\beta = \frac{g \Delta h A_F}{v Q} \quad (۲۱)$$

که در آن Q معادل دبی عبوری از محیط متخلخل تحت شرایط بدون رسوب است. لذا در مقایسه با شرایط آزمایشگاهی، این دبی را می توان در حکم دبی عبوری از کانال تختانی قلمداد کرد (Q_d).

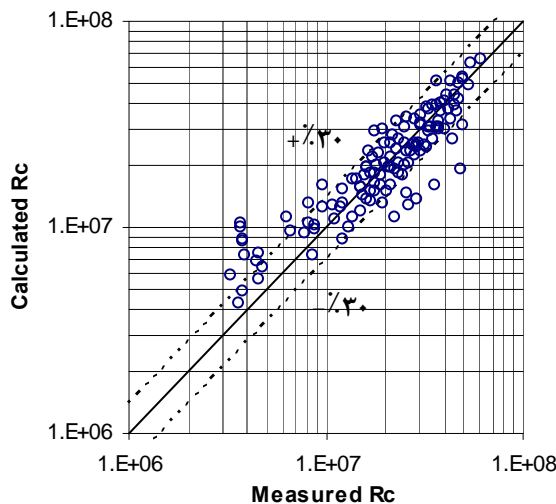
در معادله (۱۹)، ∇_A حجم نشت از محیط متخلخل تحت شرایطی است که محیط دچار گرفتگی شده و لذا ∇_A / t دبی عبوری از محیط متخلخل تحت شرایط جریان رسوبدار خواهد بود. با انتخاب $Q_S = \nabla_A / t$ به عنوان دبی عبوری از محیط متخلخل در شرایط جریان رسوبدار و مقایسه با شرایط آزمایشگاهی، Q_S دبی کانال تختانی در جریان رسوبدار خواهد بود (Q_{ds}). با استفاده از معادله (۲۱) و جایگزینی Q_d و Q_{ds} در معادله (۱۹) داریم:

$$\frac{rC \nabla_A}{2A_F} + \beta = \beta \frac{Q_d}{Q_{ds}} \quad (۲۲)$$

طبق نظر شالشی (۱۹۹۵)، عبارت $\frac{rC \nabla_A}{A_F}$ که با α نشان داده

شکل است:

$$R_C = 5.7 \times 10^7 \frac{R_{50}^{1.991}}{Re^{0.68} i^{4.038}} \quad (29)$$



(شکل ۸) - مقایسه R_C محاسباتی و R_C اندازه گیری شده

نسبت اندازه ذرات محیط متخلخل به رسوبات و گرادیان هیدرولیکی از مهمترین عوامل موثر بر مقاومت ناشی از گرفتگی هستند.

نتیجه گیری

در این مطالعه، سیستم جدیدی برای آبیگری از کف در آبراهه های طبیعی پیشنهاد شده که در آن محیط متخلخل تراوا جایگزین میله های شبکه آبیگر کفی شده است. هرچند گذردهی کانال انحراف در سیستم اخیر در مقایسه با آبیگری با کف مشبک کمتر است اما کارایی این سیستم در بلند مدت، عدم نیاز به نیروی انسانی جهت نگهداری، در دسترس بودن مصالح سنگدانه ای در محل و اقتصادی بودن طرح اجرای آنرا توجیه می کند.

نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که گذردهی کانال انحراف تحت تاثیر نوع رسوبات رودخانه و دانه بندی محیط متخلخل آبیگر متغیر است اما پس از آنکه محیط متخلخل از لحاظ گرفتگی به حد تعادل رسید آبدی آبیگر ثابت می شود. مهمترین اقدام موثر جهت بهبود گذردهی آبیگر، انتخاب دانه بندی مناسب محیط متخلخل است و انتخاب نوع دانه بندی محیط متخلخل نیز متاثر از نوع رسوبات رودخانه و نسبت R_S است. در محدوده آزمایشات انجام شده در $4/5 \leq R_S$ گذردهی بهتری مشاهده شد. علاوه بر این مشاهده شد که ایجاد

در معادله فوق R_C با i و Re نسبت عکس داشته و لذا با افزایش گرادیان هیدرولیکی مقاومت در مقابل نفوذ کاهش و سرعت نفوذ افزایش می یابد. در آزمایشات نیز مشاهده می شود که در دبیهای بالا با افزایش گرادیان هیدرولیکی دبی کانال تحتانی افزایش نسبی نشان می دهد. لذا در مورد افزایش R_Q در دبی های بالا، علاوه بر اینکه گرفتگی محیط متخلخل کمتر شده، افزایش گرادیان هیدرولیکی و در نتیجه کاهش مقاومت نفوذی نیز تاثیر گذار بوده است. با افزایش R_{50} فضای تخلخل محیط متخلخل افزایش می یابد. در این حالت با راهیابی رسوبات بیشتر به محیط متخلخل گرفتگی نیز افزایش یافته و در نتیجه مقاومت نفوذی افزایش می یابد.

در شکل ۸ مقادیر محاسباتی بدست آمده از معادله (۲۹) و نتایج آزمایشگاهی با یکدیگر مقایسه شده اند. ضریب تبیین بین مقادیر محاسباتی و مقادیر اندازه گیری $79/2\%$ بوده و R_C در بازه 4×10^6 تا 7×10^7 قرار می گیرد. ضریب R_C مربوط به R_S های بالاتر از ۶ بین 3×10^7 تا 7×10^7 ، R_S های $4/5$ تا ۶ بین 1×10^7 تا 3×10^7 و R_S های کمتر از $4/5$ بین 4×10^6 تا 1×10^7 قرار گرفته اند. ملاحظه می شود که R_S های کمتر از $4/5$ کمترین مقاومت نفوذ و لذا بهترین گذردهی را در آبیگری از محیط متخلخل دارند. مقایسه معادله (۲۹) با معادلات (۲۴) و (۲۵) نشان می دهد که

نفوذی نیز مشاهده می‌شود که افزایش گرادیان هیدرولیکی باعث افزایش نفوذپذیری می‌شود. شایان ذکر است که معادله مقاومت نفوذی بر اساس مطالعات آزمایشگاهی بدست آمده که در آن $10 < R_{50} < 3$ ، $7800 < Re < 3400$ و $1 < i < 0.6$ محدوده آزمایشات را دربرمی‌گیرد.

شیب در سطح فوقانی محیط متخلخل آبیگیر، گرفتگی سطحی را کاهش داده و رسوبات با سرعت بیشتری از سطح محیط عبور می‌کنند. به این ترتیب گذردهی سیستم نیز افزایش خواهد یافت. با استناد به معادله ضریب گذردهی می‌توان دریافت که گرادیان هیدرولیکی و شیب محیط متخلخل به ترتیب بیشترین و کمترین تاثیر را بر گذردهی دارند و لذا افزایش طول آبیگر از اقدامات موثری است که جهت افزایش گذردهی می‌توان انجام داد. در معادله مقاومت

منابع

- ۱- فغفور مغربی، م. و رزاز، م. (۱۳۸۵). "بررسی عددی و آزمایشگاهی رفتار هیدرولیکی آبیگرهای کفی"، هفتمین کنفرانس بین‌المللی عمران، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- کورش وحید، ف. نقوی، ب. اسماعیلی، ک. و فغفور مغربی، م. (۱۳۸۷). "بررسی آزمایشگاهی خصوصیات هیدرولیکی جریان بر میزان آب انحرافی از رودخانه از طریق آبیگر کفی با محیط متخلخل"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- 3- Ahfir, N-D. Wang, HQ. Benamar, A. Alem, Abdellah. Massei, N. and Dupont J-P. (2007) "Transport and deposition of suspended particles in saturated porous media: hydrodynamic effect." *Hydrogeology Journal.*, Springer, 15, 659-668
- 4- Barton, M. H. and Buchberger, S. G. (2007). "Effect of media grain shape on particle straining during filtration." *J. Environ. Engrg.*, ASCE, 133(2), 211-219
- 5- Behnke, J. J. (1969). "Clogging in surface spreading operations for artificial ground-water recharge." *Water Resour. Res.*, 5(4), 870-876.
- 6- Blazejeski, R., and Sadzide, M. B. (1997), "Soil clogging phenomena in constructed wetlands with surface flow." *Water Sci. Technol.*, 35(5), 183-188.
- 7- Bouvard, M. (1992). "Mobile barrages and intakes on sediment transporting rivers." *IAHR Monograph*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- 8- Brunella, S., Hager, W. H., and Minor, H.-E. (2003). "Hydraulics of bottom rack intake." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 129(1), 2-10.
- 9- Carling, P. A. (1984) "Deposition of fine and coarse sand in an open-work gravel bed." *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41, 263-270.
- 10- Cunningham, A. B., Anderson, C. J., and Bouwer, H. (1987). "Effect of sediment laden-flow on channel bed clogging." *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, 113(1), 106-118.
- 11- Diplas, P. (1991). "Interaction of fine sediment with coarse gravel matrix." *Proc. of the Fifth Federal Interagency Sediment Conf.*
- 12- Field, R., Masters, H., and Singer, M. (1982). "Porous pavement: Research, development, and demonstration." *J. Transp. Engrg.*, ASCE, 108(3), 244-258.
- 13- Lone, M. A., Hussain, B., and Asawa, G. L. (2005). "Filter Design Criteria for Graded Cohesionless Bases." *J. Geotech. and Geoenviron. Engrg.*, ASCE, 131(2), 251-259
- 14- Mizuyama, T., and Mizuno, H. (1994). "Behavior of debris flow at control structures." *Proc., IAHR Int. Workshop on Floods and Inundations Related to Large Earth Movements*, C2.1-C2.12.
- 15- 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. 43-72.
- 16- Righetti, M., Lanzoni, S. (2008). "Experimental study of the flow field over bottom intake racks." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 134(1), 15-22
- 17- Sakthivadivel, R., and Einstein, H. A. (1970). "Clogging of porous column of spheres by sediment." *J. Hydr. Div.*, ASCE, 96(2), 461-472.
- 18- Sherard, J. L., Dunnigan, L. P., and Talbot, J. R. (1984). "Basic properties of sand and gravel filters." *J. Geotech. Engrg.* ASCE, 110(6), 684-700.
- 19- Schälchli, U. (1992). "The clogging of coarse gravel river beds by fine sediment" *Journal of Hydrology. Engrg.*, Springer, 189-197
- 20- Schälchli, U. (1995). "Basic equations for siltation of river beds." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 121(3), 274-287.
- 21- Sowers, G. B., and Sowers, G. F. (1970). *Introductory soil mechanics and foundations*. Macmillan, New York.
- 22- Tan, S. A., Fwa, T. F., and Han, C. T. (2003). "Clogging evaluation of permeable bases." *J. Transp. Engrg.* ASCE, 129(3), 309-315
- 23- Wu, F. C., and Huang, H. T., (2000). "Hydraulic resistance induced by deposition of sediment in porous media." *J.*

Experimental study of diverted discharge of bottom intakes with porous media in sediment flow

B. Naghavi¹ - S. R. Khodashenas^{2*} - M. Faghfur Maghrebi³ - K. Esmaili⁴ - F. Kurosh vahid⁵

Abstract

Bottom rack intake is one of the most popular structures used for diverting water in mountain region. Corrosion and rotten problems of bottom racks inspire the introduction of a new system of bottom intake in which a porous media is replaced by the bottom rack. Obviously, clogging and reduction of diverted discharge are the most important problems in this new system, too. In this paper, the effects of different media grain size, longitudinal slope, sediment grain size and flow discharge are investigated. Results show that despite of clogging role of suspended sediments in porous media, using appropriate grain size and slope for the porous media, would attenuate the side effects of the problem. Compare with clear water flow, the discharge reduction induced by clogging is not significant and efficiency of system in long time and no operation effort are confirmed. To recognize the effective parameters on infiltration resistance in porous medium intake an empirical theoretical formulation has been diverted from the Darcy's law in surface infiltration. The equation is found to be dependent on size ratio, Reynolds number and hydraulic gradient. The theoretical predictions have been compared with experimental results, with good agreement.

Key words: Bottom intake, Porous media, clogging, Discharge reduction, Infiltration resistance

1- M.Sc. student of Water Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Assistant professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,
(* - Corresponding author Email: Saeedkhodashenas@yahoo.fr)
3- Associate professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
4- Assistant professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
5- M.Sc. student of Water Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad