سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران
انجمن علمی و مهندسی منابع آب ایران
۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷ - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی عمران

مطالعه آزمایشگاهی رسوب گرفتگی در سیستم جدید آبگیری از کف با استفاده از محیط متخلخل

*** بنیامین نقوی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد**
سعیدرضا خداشناس، محمود فغفور مغربی، کاظم اسماعیلی، محمدرضا اکبرزاده، اعضای هیئت علمی گروه مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
پست الکترونیکی: ben_na80@yahoo.com

چکیده

از جمله روشهای مرسوم در آبگیری از رودخانه در مناطق کوهستانی، سیستم آبگیری از کف با استفاده از کف‌های مشبک است. در این سیستم، بروز مشکلات ناشی از آسیب دیدگی و زنگ‌زدگی 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 مطالعات آزمایشگاهی انجام شده تاثیر توام عواملی همچون دانه بندی، رسوبات، شیب طولی محیط متخلخل و تغییرات دبی بررسی شد. نتایج نشان میدهد با انتخاب دانه بندی و شیب مناسب بر اساس نوع رسوبات موجود در رودخانه، با وجود آنکه بخشی از فضای متخلخل توسط رسوبات گرفته می‌شود اما مقایسه 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.

کلید واژه ها: ***آبگیری از کف، محیط متخلخل، گرفتگی، انتقال رسوب، کاهش دبی***

۱- مقدمه

در بحث آبگیری از رودخانه روش‌های متعددی وجود دارد که هر یک ویژگیها و محدودیت‌های خاص خود را دارند. از جمله این روش‌ها، به ویژه در مناطق کوهستانی، می‌توان به سیستم آبگیری از کف با استفاده از کف‌های مشبک اشاره کرد. در این سیستم پس از حفر یک ترانشه به منظور انحراف آب، با کارگذاری میله‌هایی در کف رودخانه و در داخل ترانشه تلاش می‌شود که از ورود رسوبات کف به داخل کانال انتقال جلوگیری به عمل آمده و آبگیری به حداکثر برسد. احداث میله ها در کف رودخانه مشکلاتی به همراه دارد که از جمله مهمترین آنها آسیب دیدگی، زنگ زدگی و در نهایت از کارافتادگی

آن 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 می‌شود. 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. از جمله محدودیتهایی که برای این سیستم میتوان متصور شد، مشکلات مربوط به رسوبگیری و عدم گذردهی و آبگیری مناسب از این نوع آبگیر 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.

مطالعات شالشلی (Schälchli,1995) در خصوص لایگذاری در بستر رودخانه و محیطهای متخلخل نشان می‌دهد کاهش هدایت هیدرولیکی k اساسا" 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[۱].

برای یک بستر مشخص، متغیرهای فیزیکی همچون شرایط جریان، بار معلق، توزیع دانه بندی و شکل ذرات معلق، گرادیان هیدرولیکی جریان نشتی و جهت آن می‌تواند تاثیر عمده ای بر فرآیند گرفتگی بگذارند [۲] و [۳].

فرآیند لای‌گذاری و گرفتگی بستر رودخانه را می‌توان با تغییرات k در واحد زمان توصیف کرد. تغییرات k با زمان در رودخانه های شنی از روندی معمولی پیروی می‌کند که منعکس کننده ورود و شسته شدن رسوبات ریزدانه است [۱]. معادله حاصل از مطالعات آزمایشگاهی وو (Wu,2000) که به بررسی ترسیب آنی رسوبات رها شده در محیط متخلخل و مقاومت هیدرولیکی ایجاد شده می‌پردازد، تغییرات هدایت هیدرولیکی با ته نشینی رسوبات را تابعی از σ، ته نشینی ویژه و یا نسبت حجم رسوب ته نشین شده به حجم کل محیط تخلخل و R_{15}، نسبت d_{15} رسوبات به D_{15} شن، معرفی میکند[۴]:

$$\frac{V_C}{V_T} \qquad (۱)$$

مطالعات نشان می‌دهد که فرآیند لایگذاری در محیط متخلخل توسط سه فاکتور اصلی کنترل می‌شوند. این سه فاکتور عبارتند از اندازهٔ ذرات رسوب و شن، غلظت رسوبات و سرعت جریان نشت [۵]، [۶] و [۷]. نسبت اندازهٔ شن به ماسه می‌تواند توسط یک پارامتر ساده به نام نسبت اندازهٔ ذرات R_s به صورت نسبت (D_{15}شن) به (d_{85}رسوبات) تعریف شود [۸]:

$$R_S \quad \frac{(D_{15})_{Gravel}}{(d_{85})_{Sedement}} \qquad (۲)$$

مطالعات انیشتین و ساکسیوادیول(Sakthivadivel & Einstein,1970) نشان می‌دهدکه نسبت اندازه R_s، فاکتور حاکم بر توزیع ته نشینی رسوبات است. طبق گزارش این دو هنگامی که نسبت اندازه بزرگتر از ۱۵ باشد،کمتر از ۱٪ حجم منافذ کل با رسوبات ته نشین شده اشغال می‌شود[۶].

گرفتگی بسترهای نفوذپذیر توسط ذرات خارجی می‌تواند ظرفیت زهکشی و ذخیره آنها را شدیدا کاهش داده و رواناب سطحی برای نفوذ به داخل بسترمخزن یا لایه نفوذپذیر با مشکل مواجه خواهد شد [۹] و [۱۰]. تان و همکاران (Tan et.al,2003) برای پیش بینی کاهش نفوذپذیری بستر نفوذپذیر با استفاده از معادله کوزنی کارمن و بر اساس نفوذپذیری قائم اولیه بستر نفوذپذیرk_0، تخلخل n، مقدار ماده مسدود کننده و ضریب تجربی آزمایشگاهی αکه تابعی است از نسبت D_{15} مواد بستر نفوذپذیر به d_{85} ماده مسدود کننده و ضریب یکنواختی آنها C_u، فرمول تئوری– تجربی زیر را ارائه

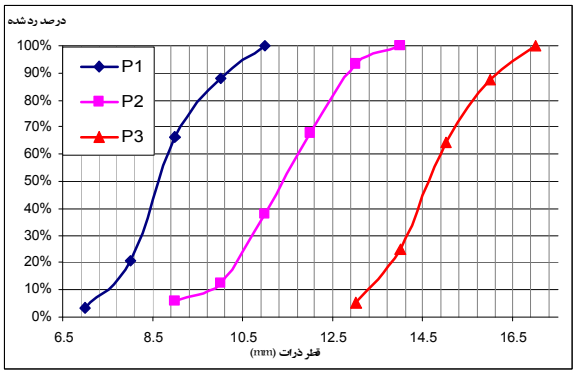
دادند[۱۱]:

$$k \quad k_0 \frac{(1 \quad n)^2}{n^3} \frac{(n \qquad)^3}{[1 \quad (n \qquad)]^2} \qquad (۳)$$

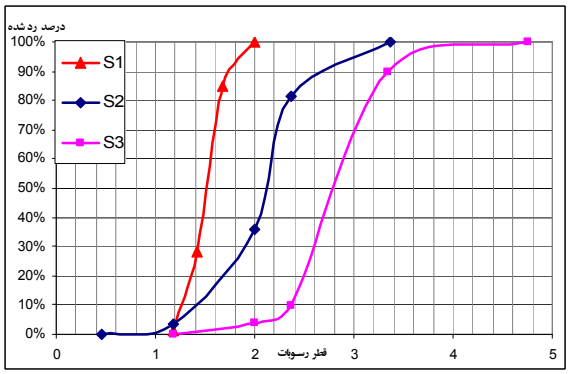
طبق گزارش ساکسیوادیول و اینشتین، ذرات معلق رسوب با قطری برابر یا بزرگتر از نصف میانگین قطر منافذ خاک ته نشین خواهند شد و با گذر زمان حجم خاک را کاملا مسدود خواهند کرد و ذرات معلق رسوب با قطری کمتر از نصف میانگین قطر منافذ خاک در منافذ ایستا سقوط خواهند کرد و یا با فشارجریان شسته یا پرتاب شده و در نتیجه نیروی چسبندگی درون ذره ای به دیگر ذرات می‌چسبند [۶].

۲- مواد و روشها

به منظور شبیه سازی آبگیر کفی با محیط متخلخل سنگدانه‌ای از سه حجم مکعب مستطیلی با طول ۲۰، عرض ۳۰ و ارتفاع ۱۰ سانتی متراستفاده شد. برای ایجاد شیب‌های ۰، ۱۰ و ۲۰٪ درسطح فوقانی محیط متخلخل، ارتفاع وجه بالادست به ترتیب ۰، ۲ و ۴ سانتیمتر بیش از وجه پایین‌دست اختیار شد. انتخاب شیبهای مذکور بر اساس توصیه‌ها و مطالعات انجام شده توسط کار محققین استوار بوده است [۱۲] و [۱۳] . 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 (شکل۱). به منظور تغذیه رسوب ۳



شکل۱. *منحنی دانه بندی سنگدانه ها*



شکل۲. *منحنی دانه بندی رسوبات*

نوع رسوب (S1، S2 و S3) در بالادست محیط متخلخل به صورت بار بستر به ارتفاع ۵ سانتیمتر و در طول ۳/۵ متر ریخته شد (شکل۲). برای این منظور کف کانال در بالادست محیط متخلخل به ارتفاع ۵ سانتیمتر پایین آورده شده و از رسوبات پر شد. با توجه به حداکثر دبی و حداکثر زمان اجرای آزمایش و همچنین محاسبات مربوط به انتقال بار بستر، حجم رسوبی که در این فضا جهت ایجاد گذردهی پایدار حدی قرار می‌گیرد کافی بوده و سیستم با کمبود رسوب مواجه نخواهد شد.

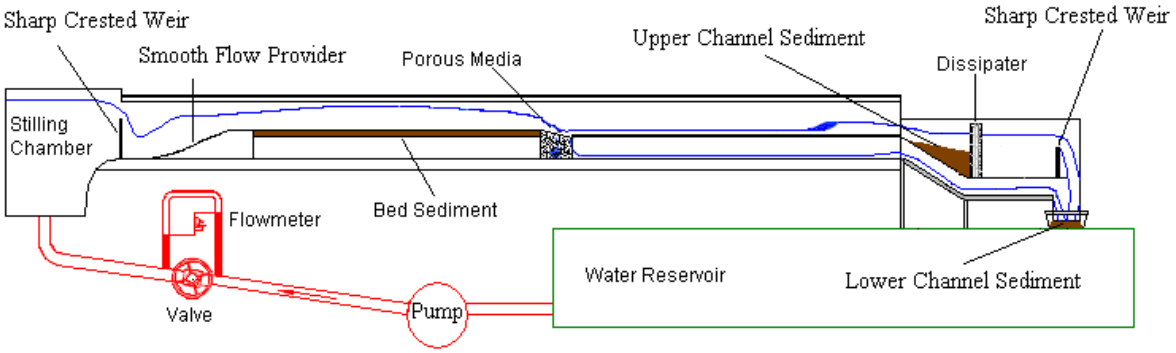
با توجه به اینکه از جمله پارامترهای مهم و دخیل در این آزمایش نسبت اندازه رسوبات و سنگدانه هاست، لذا R_s مربوط به رسوبات و سنگدانه های محیط متخلخل در جدول ۱ آورده شده است.

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 آبگیر 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

جدول۱. *نسبت اندازه R_s سنگدانه ها به رسوبات*

نوع رسوب	نوع دانه بندی		
	P1	P2	P3
S1	4.64	6.04	8.07
S2	3.05	3.96	5.29
S3	2.5	3.25	4.34

مقداری از آب از روی آن عبور کرده و در کانال فوقانی ادامه مسیر می‌دهد و بخشی از آن از داخل محیط سنگدانه‌ای وارد کانال تحتانی شده و آبگیری از کف صورت می‌گیرد. انتقال رسوب به صورت سیستم بسته است به این ترتیب که در انتهای فلوم و در محل ورود آب به داخل مخزن، رسوبات عبوری از کانال تحتانی جمع آوری می‌شود. در انتهای فلوم و در کانال فوقانی با استفاده از یک سرریز دبی کانال فوقانی اندازه گیری می‌شود. اختلاف قرائت سرریز بالادست و پایین دست معادل دبی کانال تحتانی خواهد بود. رسوبات عبوری از روی محیط متخلخل نیز در کانال فوقانی و در پشت سرریز انباشته می‌شوند.



شکل۳. *مدل آزمایشگاهی مربوط به آزمایشات با رسوب کف*

۳- روند آزمایشات

برای هر آزمایش که شامل تغییر ۳ نوع دانه بندی، ۳ نوع رسوب و ۳ شیب محیط متخلخل است، ۴ دبی ۶/۲، ۸/۴، ۱۰/۸ و ۱۳/۴ lit/s اندازه گیری می‌شود که کنترل آن توسط فلومتر و یک سرریز در بالادست صورت می‌گیرد. به این ترتیب مجموعا" ۱۰۸ 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، رسوبات کانال تحتانی هر ۱۰ دقیقه یکبار در طی آزمایشات برداشت و توزین شد. به این ترتیب

روند کاهش رسوبات با زمان در کانال تحتانی، کاهش گذردهی رسوب و در نتیجه گرفتگی محیط متخلخل در گذر زمان مشخص شد. علاوه بر این در پایان هر آزمایش، رسوبات باقیمانده در محیط متخلخل و رسوبات پشت سرریز نیز جمع‌آوری و توزین 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 ۵ الی ۱۰ دقیقه است.

۴- بررسی نتایج

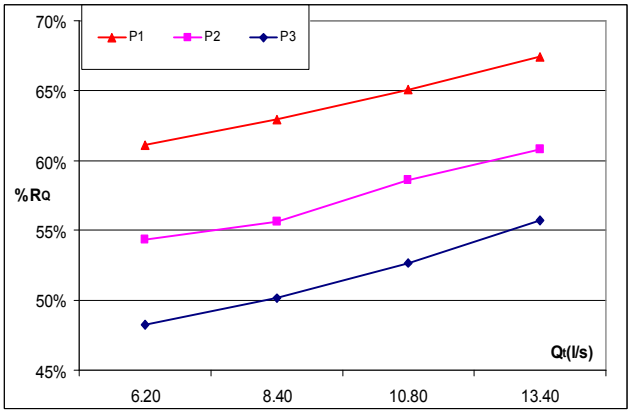
با توجه به اینکه پیش از این آزمایشات، میزان دبی عبوری از کانال تحتانی در حالات مختلف و در شرایط بدون رسوب اندازه گیری شده بود، لذا با اضافه شدن رسوب، میزان گذردهی جریان تحت شرایط جریان با رسوب نسبت به شرایط بدون رسوب را می‌توان ارزیابی نمود:

$$R_Q \quad \frac{Q_{ds}}{Q_d} \qquad (۴)$$

که در آن 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 زیر به طور جداگانه می‌توان تفسیر کرد.

٤-١- تاثیر دانه بندی در گذردهی دبی تحتانی

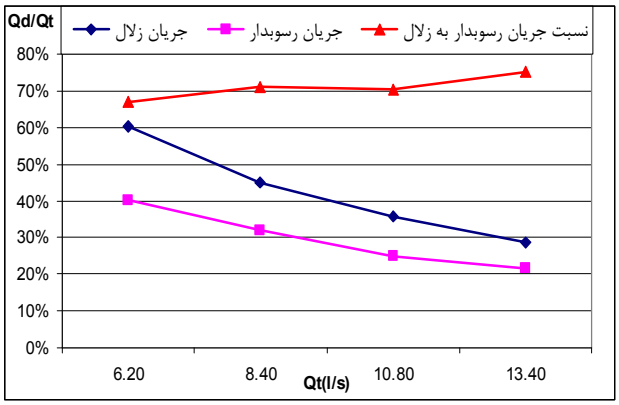
مقایسه درصد گذردهی دبی در دانه بندی‌های مختلف نشان می‌دهد که بطور کلی کمترین میزان گذردهی نسبی مربوط به دانه بندی P3 و بیشترین میزان مربوط به دانه بندی P1 است (شکل ۴). همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دبی, میزان گذردهی نسبی کانال افزایش می‌یابد. در دانه‌بندی P3 مشاهده می‌شود که گذردهی کانال تحتانی در دبی l/s ۶/۲ نسبت



شکل ٤. *تاثیر دانه بندی بر گذردهی نسبی دبی تحتانی*

به حالت جریان بدون رسوب ۴۸٪ و در دبی l/s ۱۳/۴، ۵۶٪ و در دانه‌بندی P1 و در همین دبیها میزان گذردهی به ترتیب ۶۱٪ و ۶۷٪ است. این در حالیست که در تمام دانه‌بندی‌ها و در هر دو جریان رسوبدار و زلال، نسبت دبی تحتانی به دبی کل (Q_d/Q_t) با افزایش دبی کاهش می‌یابد که این امر به خاطر کاهش درگیری جریان آب با محیط متخلخل در دبیهای بالا و

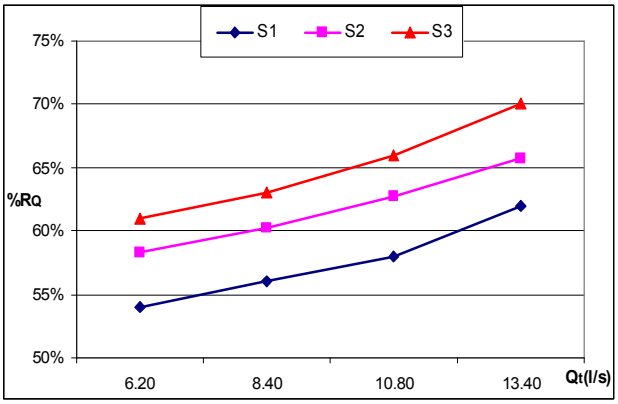
غلبه نیروهای هیدرودینامیکی بر نیروی ثقل است که مانع از گذر بیشتر آب از کانال تحتانی می‌شود(شکل۵). با افزایش دبی، اختلاف (Q_d/Q_t) جریان زلال و رسوبدار از ۲۰٪ در دبیهای پایین به ۷٪ در دبیهای بالا کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد عامل گرفتگی در دبیهای کمترموثرتر است حال آنکه با افزایش دبی، حجم بیشتری از رسوبات بستر بالادست شسته شده و لذا حجم نسبی رسوبات ورودی به داخل محیط متخلخل نیز افزایش می‌یابد. این بدان معناست که در دبیهای بالا کاهش درگیری آب با محیط متخلخل نسبت به عامل گرفتگی، در کاهش گذردهی کانال تحتانی موثرتر است.



شکل۵. *مقایسه نسبی دبی تحتانی به دبی کل در جریان رسوبدار و زلال*

٤-۲- تاثیر رسوب در گذردهی کانال تحتانی

نتایج نشان می‌دهد که گذردهی کانال تحتانی برای رسوبات درشت دانه بهتر از رسوبات ریزدانه است. با توجه به پارامتر بی بعد R_S می‌توان گفت هرچه R_S بزرگتر باشد، گرفتگی منافذ بیشتر است چراکه اندازه رسوبات نسبت به فضای تخلخل محیط بسیار ریزتر بوده و لذا رسوبات به راحتی در فضای تخلخل قرار گرفته و باعث کاهش دبی می‌شود(شکل۶).



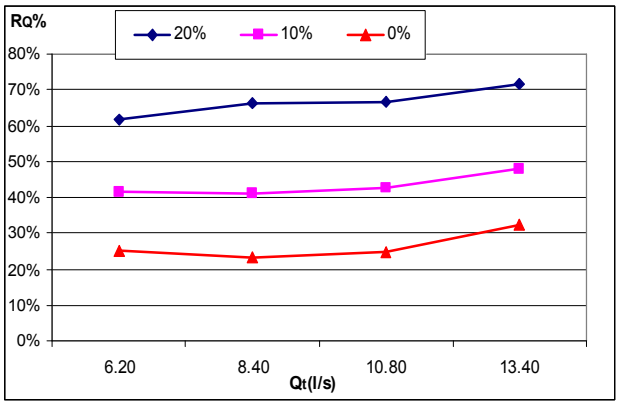
شکل٦. *تاثیر رسوب بر گذردهی نسبی دبی تحتانی*

مقایسه R_Q نشان از آن دارد که رسوبات S1 نسبت به رسوبات S3 به طور قابل توجهی گذردهی کانال تحتانی را کاهش داده است. در دبی ۶/۲ l/s وجود رسوبات S1 سبب شده گذردهی کانال تحتانی ۵۴٪ دبی تحتانی در حالت جریان زلال باشد در حالیکه رسوبات S3 در این دبی ۶۱٪ گذردهی داشته‌اند. به عبارت دیگر رسوبات S1 و S3 به ترتیب ۴۶٪ و ۳۹٪ نسبت به حالت جریان زلال کاهش گذردهی داشته‌اند.

با افزایش دبی، میزان R_Q نیز افزایش می‌یابد. این بدان معناست که در دبیهای پایین‌تر امکان گرفتگی منافذ محیط متخلخل بیشتر است و لذا درصد گذردهی نسبت به دبیهای بالاتر کمتر است. علاوه بر این میزان گرفتگی رسوبات S3<S2<S1 است.

٤-۳- تاثیر شیب S در گذردهی دبی کانال تحتانی

بطور کلی گذردهی نسبی کانال تحتانی با افزایش شیب، افزایش می‌یابد(شکل۷). با افزایش شیب، درصد کاهش دبی تحتانی بویژه در R_S های بزرگ کاهش یافته و لذا در شیب ۰٪ بیشترین کاهش دبی رخ می‌دهد. درصد گرفتگی نیز بطور کلی با افزایش شیب کاهش می‌یابد. مشاهده می‌شود که درصد گذردهی نسبی در شیبهای ۰ و ۲۰٪ و در دبی ۶/۲ l/s به ترتیب ۲۵٪ و ۶۲٪ که این اختلاف فاحش صرفا" به دلیل گرفتگی بیشتر محیط متخلخل در شیبهای کمتر است.



شکل۷. *تاثیر شیب بر گذردهی نسبی دبی تحتانی*

٤-٤- تاثیر در گذردهی دبی کانال تحتانی

با افزایش دبی، حجم بیشتری از رسوبات بستر بالادست شسته شده و لذا حجم نسبی رسوبات ورودی به داخل محیط متخلخل افزایش می‌یابد. با افزایش رسوبات، حجم فضای خالی محیط سنگدانه‌ای کاهش یافته و در نتیجه دبی کانال تحتانی کاهش می‌یابد. عامل کنترل کننده در اشغال فضای تخلل R_S است و نسبت به در کاهش درصد دبی کانال تحتانی عامل موثرتری است.

٤-٥- تاثیر رسوبات کانال تحتانی در گذردهی دبی کانال تحتانی

در هر بار عبور جریان در کانال درصدی از رسوبات در محیط متخلخل تله اندازی می‌شوند و بخش اعظمی از رسوبات از کانال فوقانی و تحتانی عبور می‌کنند. مقایسه درصد وزنی رسوبات کانال فوقانی و تحتانی نشان می‌دهد که در

R_S های بزرگ, درصد بیشتری از رسوبات از کانال تحتانی رد می‌شود و با کاهش شیب محیط متخلخل, این درصد افزایش می‌یابد. برعکس در R_S های کوچک درصد بیشتر رسوبات از کانال فوقانی عبور می‌کند و با کاهش شیب محیط متخلخل درصد عبور رسوبات از کانال فوقانی کاهش می‌یابد. این تفاوت در نحوه تجمع رسوبات در R_S های مختلف, بر دبی جریان تحتانی در R_S های بزرگ تاثیرگذار بوده و باعث کاهش گذردهی کانال تحتانی می‌شود. برای سنجش این عامل در کاهش دبی, از پارامتر بی بعد R_W استفاده می‌شود که نشاندهنده نسبت وزنی رسوبات کانال تحتانی به مجموع رسوبات کانال تحتانی, فوقانی و رسوبات تله اندازی شده در محیط متخلخل است:

$$R_W \quad \frac{(Ws)_d}{(Ws)_T} \qquad (۵)$$

۵- جمع‌بندی و نتیجه گیری

رگرسیون چند متغیره در نرم افزار SPSS نشان می‌دهد که ضریب تبیین برای متغیر وابسته R_Q و متغیرهای مستقل R_S ، S , و R_W ، 0.915 R^2 است که نشاندهنده همبستگی بالا بین متغیرهای مذکور و متغیر وابسته است. نتایج نشان می‌دهدکه R_S بیشترین تاثیر و پس از آن به ترتیب S , و R_W بیشترین اثر را بر کاهش گذردهی کانال تحتانی دارند.

تغییر R_S منوط به تغییر سنگدانه‌های محیط متخلخل است. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که با توجه به نوع رسوبات، بیشترین گذردهی نسبی مربوط به R_S های کوچکتر است و برای تولید R_S های کوچک باید قطر نسبی رسوبات و سنگدانه‌ها به یکدیگر نزدیک باشند. با انتخاب این نوع سنگدانه‌ها می‌توان بر مشکل گرفتگی فائق آمده و گذردهی نسبی را افزایش داد. با این حال باید در نظر داشت که برای رسوبات بسیار ریزدانه و تولید R_S های کوچک، قطر سنگدانه‌ها نیز کاهش یافته که این به معنای کاهش فضای تخلخل محیط سنگدانه‌ای و در نتیجه کاهش قدرت زهکشی و گذردهی محیط است. لذا باید برای R_S محدوده‌ای انتخاب کرد که بتواند علاوه بر گرفتگی کم، گذردهی مناسبی نیز داشته باشد. با توجه به آزمایشات و در شرایط مختلف مشاهده می‌شود که $R_S \leq ۴$ محدوده مناسبی برای انتخاب سنگدانه‌هاست.

افزایش شیب محیط متخلخل از دیگر اقدامات عملی جهت کاهش گرفتگی و افزایش گذردهی است. با این حال محدوده شیب بهینه ۲۰ تا ۳۰٪ بوده و در شیبهای بیشتر، نتایج معکوس خواهد بود. در شیبهای کمتر هرچند میزان درگیری آب با محیط متخلخل افزایش می‌یابد اما به همان میزان رسوبات نیز با قدرت بیشتری وارد محیط شده و گرفتگی را به شکل فزاینده‌ای افزایش می‌دهند.

۶- مراجع

[1] Schälchli, U. (1995). ‘‘Basic equations for siltation of river beds.’’ Journal of Hydraulic. Engrg., ASCE, 121(3), 274–287.
[2] Schälchli, U. (1992). ‘‘The clogging of coarse gravel river beds by fine sediment ’’ Journal of Hydrology. Engrg., Springer, 189-197
[3] Carling, P . A ., (1984)”Deposition of fine and coarse sand in an open-work gravel bed.”, Can . J . Fish . aquat . Sci. 41 : 263- 270 .
[4] Wu, F. C., and Huang, H. T., (2000).” Hydraulic resistance induced by deposition of sediment in porous media.” Journal of Hydr. Eng., ASCE, Vol. 126, No. 7, 547-551

[5] Behnke, J. J. (1969). ‘‘Clogging in surface spreading operations for artificial ground-water recharge.’’ Water Resour. Res., 5(4), 870–876.
[6] Sakthivadivel, R., and Einstein, H. A. (1970). ‘‘Clogging of porous column of spheres by sediment.’’ J. Hydr. Div., ASCE, 96(2), 461–472.
[7] 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, 113(1), 106-118.
[8] 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.
[9] Field, R., Masters, H., and Singer, M. (1982), ‘‘Porous pavement: Research, development, and demonstration.’’ Transp. Eng. J. ASCE, 108~3, 244–258.
[10] Blazejeski, R., and Sadzide, M. B. (1997), ‘‘Soil clogging phenomena in constructed wetlands with surface flow.’’ Water Sci. Technol., 35~5, 183–188.
[11] Tan, S. A., Fwa, T. F., and Han, C. T. (2003). ‘‘Clogging evaluation of permeable bases.’’ Journal of Transport Eng. ASCE, 309- 315
[12] Brunella, S., W. Hager and H.E. Minor (2003), "Hydraulics of Bottom Rack Intake", J. of Hydraulic Engineering, ASCE, 129(1), Jan. 2003.
[۱۳] فغفور مغربی ،م. و رزاز، م. (۱۳۸۵). "بررسی عددی و آزمایشگاهی رفتار هیدرولیکی آبگیرهای کفی" هفتمین کنفرانس بین‌المللی عمران، دانشگاه تربیت مدرس.