



هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران

۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۸

دانشگاه شیراز

شیراز



CODE: W3360

CODE: W3360

بررسی انتقال رسوب و رسوب گرفتگی در آبگیرهای کفی با محیط متخلخل

بنیامین نقوی^۱، فاطمه کورش وحید^۲، سعیدرضا خداشناس^۳، محمود فغفور مغربی^۴، کاظم اسماعیلی^۵

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۵- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

ben_na80@yahoo.com

خلاصه

مشکلات ناشی از احداث میله‌های آبگیر کفی در کفهای مشبک ایده جایگزینی یک محیط متخلخل با این میله‌ها را مطرح کرد. سیستم اخیر از لحاظ کاهش انتقال رسوب به کانال انحراف بسیار موثر عمل کرده و علاوه بر گذردهی مناسب در بلند مدت، محیط نیز از لحاظ رسوب گرفتگی به حالت تعادلی و خودپالایی رسیده و لذا جهت نگهداری از سیستم نیازی به نیروی انسانی نخواهد بود. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد با انتخاب دانه بندی و شیب مناسب آبگیر بر اساس نوع رسوبات علاوه بر گذردهی قابل قبول از سیستم می‌توان انتقال و رسوب گرفتگی سیستم را نیز کنترل کرد.

واژه های کلیدی: آبگیری از کف، محیط متخلخل، گرفتگی، انتقال رسوب



بررسی انتقال رسوب و رسوب‌گرفتنی در آبگیرهای کفی با محیط متخلخل

بنیامین نقوی^۱، فاطمه کورش وحید^۲، سعیدرضا خداشناس^۳، محمود فغفور مغربی^۴،
کاظم اسماعیلی^۵

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۵- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

ben_na80@yahoo.com

خلاصه

مشکلات ناشی از احداث میله‌های آبگیر کفی در کنه‌های مشبک ایده جایگزینی یک محیط متخلخل با این میله‌ها را مطرح کرد. سیستم اخیر از لحاظ کاهش انتقال رسوب به کانال انحراف بسیار موثر عمل کرده و علاوه بر گذردهی مناسب در بلند مدت، محیط نیز از لحاظ رسوب‌گرفتنی به حالت تعادلی و خودپالایی رسیده و لذا جهت نگهداری از سیستم نیازی به نیروی انسانی نخواهد بود. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد با انتخاب دانه بندی و شیب مناسب آبگیر بر اساس نوع رسوبات علاوه بر گذردهی قابل قبول از سیستم می‌توان انتقال و رسوب‌گرفتنی سیستم را نیز کنترل کرد.

کلمات کلیدی: آبگیری از کف، محیط متخلخل، گرفتنی، انتقال رسوب

۱. مقدمه

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 مجهز به آشغالگیر که در بستر رودخانه‌ها نصب می‌شوند، غالباً در رودخانه‌های نسبتاً کوچک کوهستانی که در آنها شیب تند، بستر نامنظم، رسوبات انتقالی زیاد و سیلابهای ناگهانی مانع از استفاده از سدهای درجه‌دار می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. کفهای مشبک، در ساخت جریان شکنهای کوچک نیز بکار می‌روند [۲]. در برخی حالات که ارتفاع آب پایین دست در کانالهای منشوری افزایش یافته، 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 گرفتنی غالباً از میله‌های طولی استفاده می‌شود [۳].

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 ضروری می‌کند. از جمله محدودیتهایی که برای این سیستم می‌توان متصور شد، مشکلات مربوط به رسوبگیری و عدم گذردهی و در نتیجه 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. آبگیری از چنین محیط متخلخلی را می‌توان با گذردهی جریان از بستر رودخانه به سمت آبهای زیرزمینی و گرفتنی و آبگذری فیلترها مقایسه کرد.

مطالعات شالشی [۴] در خصوص لایگذاری در بستر رودخانه و محیطهای متخلخل نشان می‌دهد 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 [۵] ارائه شده، تاثیر شکل دانه‌های مختلف در انتقال و نگهداری ذرات را نشان می‌دهد. 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. گرفتگی سطحی، مساحت مقطع عرضی موجود در یک صفحه واحد از محیط متخلخل را کاهش می دهد در حالیکه گرفتگی عمقی در صفحات افقی مختلفی رخ می دهد که به سیال اجازه می دهد در جهت منافذ مجاور که دچار گرفتگی نشده اند منحرف شوند. این وضعیت باعث کاهش افت انرژی در گرفتگی هر ذره می شود. فیلتری که گرفتگی عمقی را افزایش دهد، ذرات بیشتری را با افت انرژی کمتر می گیرد [۶].

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 [۷] و [۸]. 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 [۹] و [۱۰]. 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 [۱۱].

مطالعات نشان می دهد که فرآیند لای گذاری در محیط متخلخل توسط سه فاکتور اصلی کنترل می شود [۶]، [۱۲] و [۱۳]. این سه فاکتور عبارتند از اندازه ذرات رسوب و شن، غلظت رسوبات و سرعت جریان نشی.

نسبت اندازه مصالح محیط متخلخل به اندازه ذرات رسوبی بستر رودخانه می تواند توسط یک پارامتر ساده به نام نسبت اندازه ذرات R_S به صورت زیر تعریف شود [۱۴] و [۱۵]:

$$R_S = \frac{(D_{15})_{Gr}}{(d_{85})_{Sed}} \quad (1)$$

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 ریز ترند. همچنین مطالعات وو و هوانگ [۱۶] نشان داد که R_S ، فاکتور حاکم بر توزیع ته نشینی رسوبات است. طبق گزارش ساکسوادیول و اینشتین [۶] هنگامی که R_S بزرگتر از ۱۵ باشد، کمتر از ۱٪ حجم منافذ کل با رسوبات ته نشین شده اشغال می شود.

تان و همکاران [۱۷] 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 Cu است، فرمول تئوری - تجربی زیر را ارائه دادند:

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

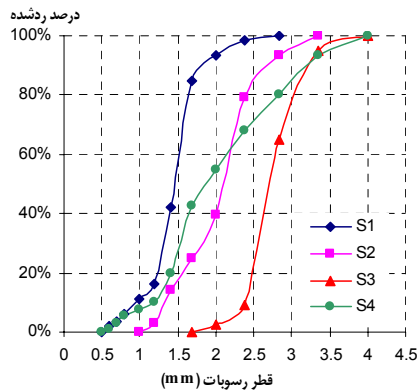
در معادله فوق σ ته نشینی ویژه و یا نسبت حجم رسوب ته نشین شده (∇_C) به حجم کل محیط تخلخل (∇_T) بوده و به شکل زیر تعریف می شود:

$$\sigma = \frac{\nabla_C}{\nabla_T} \quad (3)$$

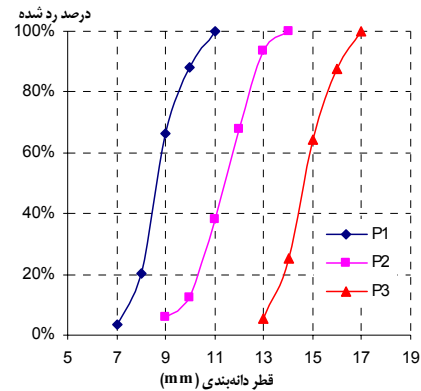
طبق گزارش ساکسوادیول و اینشتین [۶]، ذرات معلق رسوب با قطری برابر یا بزرگتر از نصف میانگین قطر منافذ خاک ته نشین خواهند شد و با گذر زمان حجم خاک را کاملاً مسدود خواهند کرد و ذرات معلق رسوب با قطری کمتر از نصف میانگین قطر منافذ خاک در منافذ ایستا سقوط خواهند کرد و یا با فشار جریان شسته یا پرتاب شده و در نتیجه نیروی چسبندگی درون ذره ای به دیگر ذرات می چسبند. مطالعات آد و همکاران [۱۸] در خصوص بازده نیروی نشی در تله اندازی رسوبات در سد پاره سنگی نشان می دهد که سرعت جریان نشی در داخل سد پاره سنگی تابعی است از نفوذپذیری محیط پاره سنگی و هد هیدرولیکی متغیری که در نتیجه اختلاف تراز آب در طول سد ایجاد می شود. فرآیند تله اندازی رسوبات در شن با تله اندازی رسوبات در محیط سنگریزه ای متفاوت بوده به نحویکه در محیط شنی رسوبات معلق با فرآیند فیلتراسیون به تله می افتند در حالیکه در محیط پاره سنگی تله اندازی رسوبات در نتیجه سقوط ذرات معلق رخ می دهد. در تحقیق حاضر نحوه رسوبگرفتگی و عبور رسوبات از سیستم جدید آبنگیر کفی با محیط متخلخل در مقیاس آزمایشگاهی مطالعه شده و هدف بررسی امکان کارایی این سیستم در بلند مدت است. با مقایسه دبی جریان رسوبدار در آبنگیر کفی با محیط متخلخل با دبی جریان در شرایط بدون رسوب [۱۹] نتایج قابل قبولی در خصوص کاربردی بودن طرح قابل استخراج است.

۲. مواد و روشها

به منظور شبیه سازی آبیگری 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 صفر، ۱۰ و ۲۰٪ در سطح فوقانی محیط متخلخل، اختلاف ارتفاع وجه بالادست به ترتیب صفر، ۲ و ۴ سانتیمتر اختیار شد. انتخاب شیبهای مذکور بر اساس توصیه‌ها و مطالعات انجام شده توسط سایر محققین استوار بوده است [۲۰] و [۲۱]. محیط متخلخل با ۳ نوع دانه بندی مختلف (P1، P2 و P3) انتخاب شد و به منظور تغذیه رسوب از ۴ نوع رسوب (S1، S2، S3 و S4) در بالادست محیط متخلخل به صورت بار بستر استفاده شد. آنالیز دانه‌بندی مواد محیط متخلخل و رسوبات بستر به ترتیب در شکل‌های (۱) و (۲) آورده شده است. بر اساس بررسیهای اولیه و با توجه به حداکثر دبی و حداکثر زمان اجرای آزمایش ضخامت مواد رسوبی در بستر کانال ۵ سانتیمتر و طول ۱/۵ متر در نظر گرفته 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.



شکل ۲- منحنی دانه بندی رسوبات



شکل ۱- منحنی دانه بندی سنگدانه ها

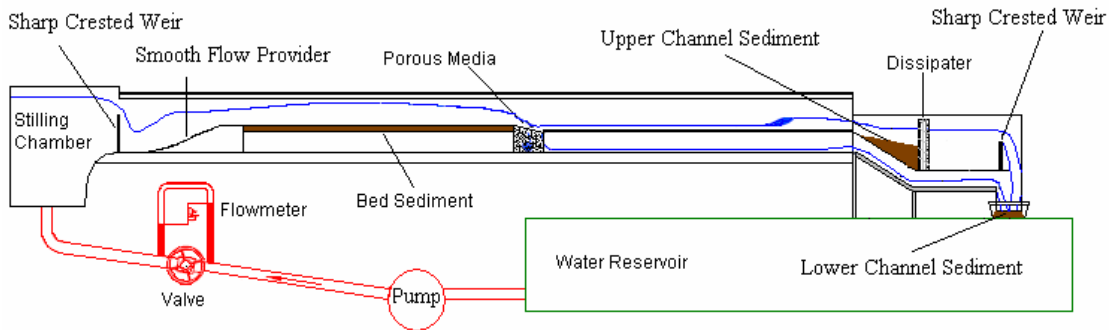
با توجه به اهمیت RS مقادیر آن محاسبه و در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱- نسبت اندازه دانه بندی ها و روبات مختلف (R_s)

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

آزمایشات در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی در یک فلوم مستطیلی با عرض ۳۰ cm، ارتفاع ۵۰ cm و طول ۱۰ m انجام شد. در شکل ۳ مدل آزمایشگاهی همراه مقطع مورد آزمایش به صورت شماتیک نشان داده شده است. به منظور ایجاد آبیگری 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 می‌دهد و بخشی از آن از داخل محیط سنگدانه‌ای وارد کانال تحتانی شده و آبیگری 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. 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 lit/s

اندازه گیری می شود که کنترل آن توسط فلومتر و یک سرریز در بالادست صورت می گیرد. دبی $6/2 \text{ lit/s}$ قادر به عبور رسوبات S3 نبوده و لذا در مجموع ۱۳۵ قرات دبی صورت گرفت. شیب طولی کانال در تمام آزمایشات ثابت و برابر $0/005$ در نظر گرفته شد. به منظور بررسی روند تغییرات رسوبدهی محیط متخلخل در طی ۳۰ دقیقه زمان آزمایش، رسوبات عبوری از کانال تحتانی در بازه های زمانی ۱۰ دقیقه ای جمع آوری و توزین شد. همچنین با جمع آوری مجموع رسوبات تله اندازی شده در محیط و در لایه های مختلف، نحوه رسوب گرفتگی محیط متخلخل مطالعه شد. در انتهای هر آزمایش حجم رسوبات عبوری از روی محیط متخلخل نیز که در پشت سرریز پایین دست متجمع شده بود اندازه گیری شد. علاوه بر این درصد گرفتگی رسوبات تحت تاثیر دبی جریان در حالات مختلف از لحاظ دانه بندی و شیب محیط متخلخل و همچنین نوع رسوبات بررسی شد.

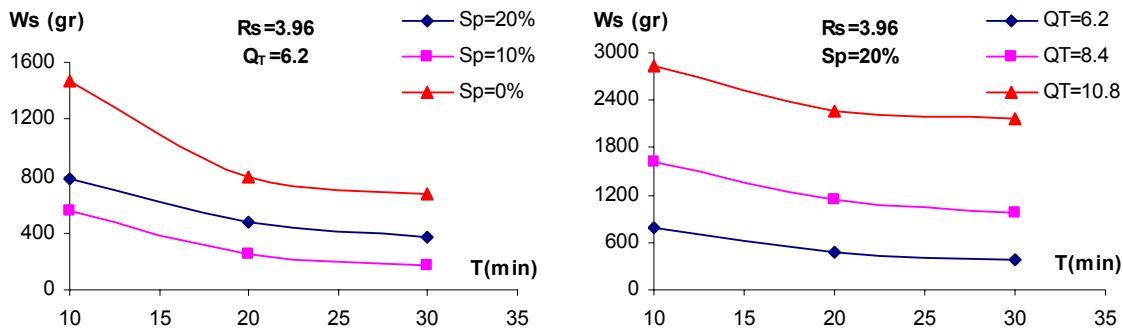


شکل ۳- مدل آزمایشگاهی مربوط به آزمایشات با رسوب کف

۳. بررسی نتایج

تغییرات زمانی رسوبدهی کانال انحراف

در نمودارهای شکل ۴ گذردهی رسوب از کانال تحتانی برای یک حالت نمونه در $RS=3/96$ رسم شده است. در شکل دیده می شود که با گذر زمان، حجم رسوبات عبوری از کانال تحتانی کاهش یافته و انتظار می رود پس از مدت زمانی به مقدار ثابتی برسد. در واقع لحظه ای که محیط از لحاظ گرفتگی به حالت پایدار رسیده و حجم رسوب ورودی و خروجی ثابت شده باشد، دبی کانال تحتانی نیز به تعادل رسیده است. طبق مشاهدات آزمایشگاهی، دبی کانال تحتانی در ۱۵ الی ۲۰ دقیقه اول به تعادل می رسد اما محیط متخلخل از لحاظ دریافت و عبور رسوبات در کش و قوس است تا اینکه بتواند به تعادل برسد. در RS های دیگر نیز روند نزولی شکل ۴ همچنان دیده می شود با این تفاوت که در RS های کوچک حجم رسوبات عبوری از کانال تحتانی کمتر و در RS های بزرگ این حجم بیشتر است. علاوه بر این باید گفت که در RS های بزرگ برای ثابت شدن رسوبدهی کانال تحتانی زمان بیشتری نیاز است. رسوبات کانال فوقانی در انتهای زمان ۳۰ دقیقه ای آزمایش جمع آوری و توزین شد.



ب) روند تغییرات انتقال رسوب با شیب

الف) روند تغییرات انتقال رسوب با دبی

شکل ۴- تغییرات رسوبدهی کانال انحراف با زمان برای حالت $RS=3/96$



مشاهدات آزمایشگاهی نشان می دهد که روند عبور رسوبات از کانال فوقانی کاملاً برعکس روند مشاهداتی در شکل ۴ بوده به نحوی که با گذر زمان حجم رسوبات عبوری از روی محیط افزایش یافته تا به یک مقدار مشخص رسیده و ثابت بماند.

رسوب‌گرفتنی لایه‌های مختلف آبگیر کفی با محیط متخلخل

در انتهای هر آزمایش، مجموع سنگ و رسوبات داخل جعبه در ۳ لایه مجزا از داخل جعبه برداشته شده و وزن رسوبات هر لایه اندازه‌گیری شد. سپس برای تشخیص میزان گرفتگی در هر لایه، با تقسیم وزن رسوبات در هر لایه بر مقدار کل رسوبات تله‌اندازی شده در محیط متخلخل، درصد وزنی رسوبات هر لایه محاسبه شد.

نمودارهای شکل ۵ درصد عمقی محیط متخلخل و احتمال تجمعی ۱ رسوبات در هر لایه را در حالات مختلف نشان می‌دهد. نمودارهای شکل ۵ تنها چند حالت نمونه را برای مشاهده روند تغییرات رسوبگیری در لایه‌های مختلف نشان می‌دهد و باید اشاره کرد که تاثیر توام متغیرهای دانه‌بندی، رسوب، شیب محیط متخلخل و دبی جریان در بررسی روند گرفتگی لایه‌ها بسیار حائز اهمیت است.

در شکل (۵-الف) مشاهده می‌شود که برای یک نوع رسوب مشخص و در شیب و دبی ثابت دانه‌بندی درشت دانه بطور کلی حجم رسوب بیشتری دریافت کرده است.

همچنین در تمامی حالات لایه اول بیشتر از لایه دوم و لایه دوم بیشتر از لایه سوم دچار رسوب گرفتگی شده است. مجدداً مقدار رسوباتی که دانه بندی‌های مختلف در لایه های مختلف دریافت کرده‌اند با کاهش قطر دانه‌بندی محیط متخلخل کاهش یافته‌اند. در شکل (۵-ب) مشاهده می‌شود که رسوبات ریزدانه در لایه اول کمتر تجمع کرده و به لایه‌های پایتیر نفوذ می‌کنند و رسوبات درشت دانه در لایه اول تجمع بیشتری دارند. رسوبات S4 که ترکیب رسوبات قبلی است در فاصله رسوبات S1 و S2 قرار گرفته و رسوبات S3 که درشت ترین رسوبات موجود در آزمایشات محسوب می‌شود، در لایه اول بیشترین تجمع را داشته و کمتر به لایه های پایینی نفوذ می‌کند. تاثیر شیب در نحوه رسوب‌گرفتنی لایه ها در شکل (۵-ج) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش شیب محیط متخلخل رسوبات کمتری در لایه سطحی محیط تجمع می‌کنند. وجود شیب سبب می‌شود تا رسوبات بواسطه وجود شیب ثقلی از سطح شسته شده و لذا در مقایسه با شیب ۰٪ گرفتگی کمتری در لایه اول ایجاد کنند.

در شکل (۵-د) مشاهده می‌شود که برای مقادیر RS کوچکتر، اکثر رسوبات ورودی در سطح و لایه بالایی ته نشین می‌شوند و با بزرگتر شدن RS، رسوبات ته نشین شده تمایل دارند تا با یکنواختی بیشتری در عمق توزیع شوند. از سوی دیگر، هنگامیکه RS بزرگتر است، به خاطر پایین بودن راندمان انتقال رسوبات، بخش بزرگتری از رسوبات ورودی به عمق جعبه نفوذ می‌کنند. مقایسه نحوه رسوب گرفتگی لایه‌های مختلف تحت تاثیر شیب نشان می‌دهد که توزیع رسوبات در عمق محیط متخلخل بیش از آنکه متأثر از شیب جعبه باشد تحت تاثیر RS بوده و همانطور که اشاره شد در RS های بزرگتر نفوذ عمقی رسوبات بیشتر است چراکه در RS های بزرگ، قطر فضاهای خالی ناشی از چیدمان سنگدانه‌ها چندین برابر قطر رسوبات بوده و رسوبات ورودی به لایه سطحی در اثر شدت جریان بالادست به لایه‌های زیرین نفوذ می‌کنند.

مقایسه تاثیر دبی در نحوه گرفتگی نیز نشان می‌دهد که مقدار ته نشینی رسوبات در لایه های بالایی تقریباً برای دبی‌های مختلف برابر است اما در لایه‌های پایینی جعبه و بویژه برای RS های بزرگ، افزایش دبی باعث ته نشینی بیشتر رسوبات می‌شود. در مطالعات وو و هوانگ [۱۶] نیز توزیع احتمال تجمعی رسوبات ته نشین شده در سرعتهای نشت مختلف نشان می‌دهد که منحنی‌های توزیع در لایه‌های بالاتر موازی‌ترند. این مطلب نشان می‌دهد که مقدار ته‌نشینی رسوبات در لایه‌های بالایی تقریباً برای سرعتهای نشت مختلف برابر است، در حالیکه در بخشهای پایتیر محیط متخلخل سرعت نشت بزرگتر باعث ته‌نشینی رسوبات با مقادیر بیشتر می‌شود.

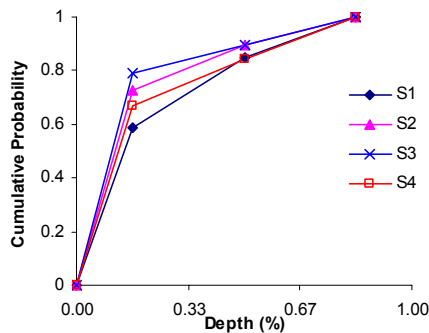
همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار رسوباتی که در لایه سطحی باقی می‌مانند و از درون جعبه عبور می‌کنند، مسلماً به مقدار رسوبات ورودی وابسته‌اند. وو و هوانگ [۱۶] نیز اعلام کردند که هم مقادیر نسبی و هم مقادیر دقیق ماسه که در بالای سطح فیلتر باقی می‌مانند و از درون فیلتر عبور می‌کنند، به مقدار رسوبات ورودی وابسته‌اند. با این حال، الگوهای ته نشینی برای RS های مختلف متفاوت است به نحوی که برای رسوبات درشت دانه، اساساً توزیع در احتمال ته نشینی سطحی متفاوت است، در حالیکه برای رسوبات ریزتر تفاوت اساسی در احتمال نفوذ عمقی است. این بدان معناست که رسوبات درشت دانه بیشتر در لایه‌های سطحی ته نشین شده و کمتر به لایه‌های پایینی نفوذ می‌کند و لذا تفاوت الگوی ته نشینی بیشتر در سطح مشهود است. برعکس در رسوبات ریزدانه نفوذ رسوبات به لایه های پایین تر بیشتر بوده و تفاوت ته نشینی در لایه های پایینی رخ می‌دهد. این موضوع در مشاهدات وو و هوانگ [۱۶] نیز گزارش شده است.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که هنگامی که مقدار رسوبات ورودی افزایش می‌یابد، راندمان انتقال از محیط متخلخل کاهش می‌یابد.

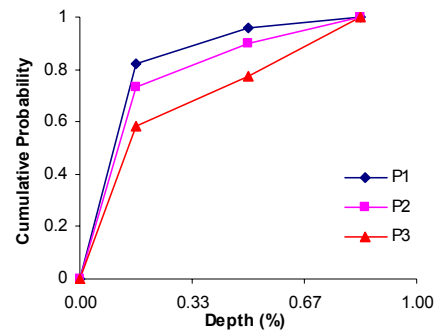
¹ Cumulative Probability



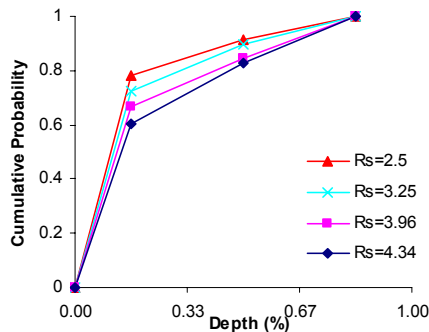
مقایسه تغییرات ته نشینی رسوبات با سرعت نشست نشان می‌دهد که مقدار رسوبات نفوذ یافته در فضای محیط متخلخل با افزایش سرعت نشست افزایش می‌یابد. کانینگهام و همکاران [۱۳] نیز اعلام کردند فرآیند ته نشینی که در نتیجه سقوط ثقیل رخ می‌دهد، با گردابان هیدرولیکی افزایش می‌یابد.



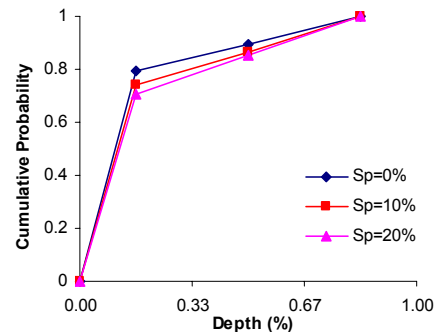
ب) تاثیر رسوب



الف) تاثیر دانه بندی



د) تاثیر Rs



ج) تاثیر شیب

شکل ۵. مقایسه تاثیر عوامل مختلف در نحوه رسوبگرفتگی در لایه های مختلف آبگیر با محیط متخلخل

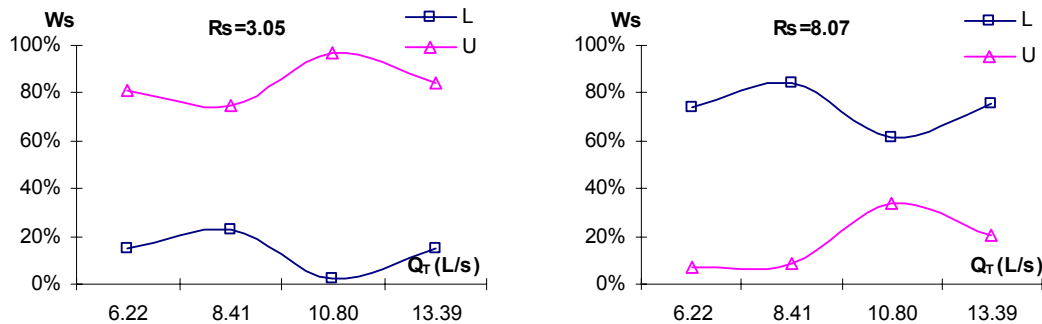
در RS های بزرگ، علاوه بر افزایش رسوبات داخل جعبه، درصد رسوبات عبوری از کانال تحتانی نیز افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار رسوبات ته نشین شده با عمق کاهش می‌یابد. برای مقادیر با RS کوچکتر (که شامل ماسه های نسبتا درشت تا شن می‌شود)، اکثر ماسه های ورودی در سطح و لایه بالایی فیلتر ته نشین می‌شوند. به طور واضح، RS فاکتور حاکم بر توزیع ته نشینی رسوبات است [۱۶]. انیشتین و ساکسویادپول [۶] گزارش کردند هنگامی که RS بزرگتر از ۱۵ باشد، کمتر از ۱٪ حجم منافذ کل با رسوبات ته نشین شده اشغال می‌شود. در نتایج آزمایشات وو و هوانگ [۱۶] نیز مشاهده می‌شود که در RS های بزرگتر درصد تجمعی رسوبات در انتها حدودا ۴۰٪ است و لذا ۶۰٪ رسوبات اولیه به خاطر فراخ بودن قطر فضای تخلخل نسبت به قطر رسوبات از محیط متخلخل خارج شده‌اند. در سری آزمایشات مربوط به آبگیر کفی با محیط متخلخل رسوبات راه یافته به لایه‌های پایینی راه گریز و فراری نداشته و لذا در کف جعبه متجمع شده‌اند.

روند عبور رسوبات از کانالهای اصلی و انحراف

در نتیجه انتقال جریان رسوبدار از بالادست به پایین دست بخشی از رسوبات از روی محیط متخلخل گذشته و در کانال فوقانی (اصلی) جریان می‌یابند و بخشی دیگر به داخل محیط متخلخل راه یافته که مقدار اندکی از آن در داخل محیط تله‌اندازی شده و مابقی به کانال انحراف (تحتانی) راه می‌یابند. در انتهای هر آزمایش وزن خشک رسوبات کانال تحتانی، فوقانی و رسوبات تله‌اندازی شده در محیط متخلخل اندازه‌گیری شده و درصد وزنی هریک مشخص شد. در نمودارهای شکل ۶ "U" نماد درصد وزنی رسوبات کانال فوقانی و "L" درصد وزنی رسوبات کانال تحتانی است. درصد وزنی رسوبات محیط متخلخل نسبت به درصد L و U ناچیز بوده و لذا از آوردن این درصد در نمودارها خودداری شده است. حاصل جمع درصد های L و U در هردی و تفاضل ۱ از این مجموع معادل درصد رسوبات تله‌اندازی شده در محیط متخلخل خواهد بود.

مقایسه نمودارها نشان می‌دهد که عامل کنترل کننده در نحوه عبور رسوبات از رو و درون محیط متخلخل مستقیماً با Rs در ارتباط است به نحویکه در Rs های بزرگ، حجم رسوبات تحتانی بیشتر از فوقانی است و با کاهش شیب جعبه این نسبت افزایش یافته و درصد عبور رسوبات از کانال تحتانی بیشتر می‌شود. در Rs های کوچک روند کاملاً برعکس Rs های بزرگ بوده و حجم رسوبات تحتانی کمتر از رسوبات فوقانی است و همانند حالت قبل با کاهش شیب جعبه حجم رسوبات تحتانی افزایش می‌یابد. علت بروز رفتار متفاوت گذردهی رسوبات تحت تاثیر Rs های مختلف ناشی از تفاوت در فضای خالی موجود در محیط متخلخل است به نحوی که هنگامیکه دانه بندی محیط متخلخل درشت تر است رسوبات به راحتی به محیط و لایه های پایینی راه یافته و لذا حجم بیشتری از رسوبات از کانال تحتانی عبور می‌کند. در Rs های کوچکتر و تحت شرایطی که رسوبات تغییر نکرده مشاهده می‌شود که رسوبات کمتر به لایه های پایینی نفوذ کرده و لذا حجم بیشتری از رسوبات از کانال فوقانی عبور می‌کند. در شکل (۵-د) نیز مشاهده می‌شود که در Rs های کوچکتر رسوبات بیشتر در لایه فوقانی تجمع کرده و کمتر به لایه های پایینی نفوذ می‌کنند که این مطلب موید نحوه گذردهی رسوبات در شکل ۶ می‌باشد.

تاثیر دبی جریان در نحوه گذردهی رسوبات نیز تحت تاثیر Rs ، دبی رسوب و شبیهی مختلف متفاوت است اما شکل کلی به این نحو است که با افزایش دبی، حجم رسوبات عبوری از کانال فوقانی افزایش و کانال تحتانی کاهش می‌یابد. این اتفاق را می‌توان به غلبه نیروهای هیدرودینامیکی بر نیروهای ثقلی و عدم ته نشینی رسوبات در بستر متخلخل نسبت داد.



شکل ۶. روند عبور رسوبات از کانالهای اصلی و انحراف تحت تاثیر Rs های مختلف

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه، سیستم جدیدی برای آبیگری از کف رودخانه های کوهستانی پیشنهاد شده که در آن محیط متخلخل تراوا جایگزین میله های شبکه آبیگری کفی شده است. هرچند گذردهی کانال انحراف در سیستم اخیر در مقایسه با آبیگری با کف مشبک مقدار کمتری است اما کارایی این سیستم در بلند مدت، خودپالایی سیستم از لحاظ رسوبگرفتگی و در نتیجه عدم نیاز به نیروی انسانی جهت نگهداری، در دسترس بودن مصالح سنگدانه ای در محل و اقتصادی بودن طرح اجرای آنرا توجیه می‌کند.

نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که با گذر زمان، حجم رسوبات عبوری از کانال تحتانی کاهش یافته و لحظه ای که محیط از لحاظ گرفتگی به حالت پایدار رسیده و حجم رسوب ورودی و خروجی ثابت شده باشد، دبی کانال تحتانی نیز به تعادل رسیده است. محیطهای متخلخل با دانه بندی درشت تر غالباً بیشتر دچار رسوبگرفتگی شده و هرچه رسوبات ریزدانه تر باشد، با یکنواختی بیشتری به عمق محیط متخلخل رسوخ کرده و لذا گذردهی را بیشتر کاهش می‌دهند. محیط متخلخل با دانه بندی ریزتر نیز هرچند رسوبگرفتگی کمتری را تجربه می‌کنند اما فضای تخلخل کم آنها مانع از گذردهی مناسب سیستم خواهد بود. تاثیر توام دانه بندی محیط متخلخل و نوع رسوبات که در غالب نسبتی به نام Rs مطالعه شد نشان می‌دهد که در محدوده $Rs \leq 4/5$ علاوه بر گذردهی بهتر، رسوبگرفتگی کمتری نیز در محیط متخلخل رخ می‌دهد. در این محدوده حجم رسوبات عبوری از کانال تحتانی نیز بسیار کمتر بوده و رسوبات غالباً از کانال فوقانی عبور می‌کنند. در تمامی Rs های مطالعه شده حجم رسوبات تله اندازی شده در لایه اول بیشتر از رسوبات گیر کرده در لایه های دوم و سوم بوده و با افزایش نسبت Rs حجم رسوبات ورودی به لایه های پایین تر افزایش می‌یابد. وجود شیب در سطح محیط متخلخل سبب بروز گرفتگی کمتر و عبور بیشتر رسوبات از لایه سطحی شده و لذا گذردهی جریان در این حالت بیشتر خواهد بود.



۵. مراجع

1. Bouvard, M. (1992). "Mobile barrages and intakes on sediment transporting rivers." *IAHR Monograph*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
2. 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.
3. Righetti, M., Lanzoni, S. (2008). "Experimental study of the flow field over bottom intake racks." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 134(1), 15-22
4. Schälchli, U. (1995). "Basic equations for siltation of river beds." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 121(3), 274–287.
5. 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
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. Schälchli, U. (1992). "The clogging of coarse gravel river beds by fine sediment." *Journal of Hydrology. Engrg.*, Springer, 189-197
8. Carling, P. A., (1984) "Deposition of fine and coarse sand in an open-work gravel bed." *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41, 263- 270.
9. Field, R., Masters, H., and Singer, M. (1982). "Porous pavement: Research, development, and demonstration." *J. Transp. Engrg.*, 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. 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.
12. Behnke, J. J. (1969). "Clogging in surface spreading operations for artificial ground-water recharge." *Water Resour. Res.*, 5(4), 870–876.
13. 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.
14. Sowers, G. B., and Sowers, G. F. (1970). *Introductory soil mechanics and foundations*. Macmillan, New York.
15. 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.
16. 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
17. Tan, S. A., Fwa, T. F., and Han, C. T. (2003). "Clogging evaluation of permeable bases." *J. Transp. Engrg.* ASCE, 129(3), 309- 315
18. Ade, F., Long, D., Savatsky, L., and Wu, S. (2001). "Laboratory testing of sediment trap efficiency of seepage flow through rockfill dike" *Bridging the Gap: Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges* May 20, ASCE, 111-186.
۱۹. 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 آبگیر کفی با محیط متخلخل "، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
20. Brunella, S., Hager, W. H., and Minor, H.-E. (2003). "Hydraulics of bottom rack intake." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 129(1), 2–10.
۲۱. فغفور مغربی، م. و رزاز، م. (۱۳۸۵). " بررسی عددی و آزمایشگاهی رفتار هیدرولیکی آبگیرهای کفی "، هفتمین کنفرانس بین‌المللی عمران، دانشگاه تربیت مدرس.