

بررسی آزمایشگاهی تأثیر دانه‌بندی و وجود سازه‌های متقاطع بر عمق چاله آبستگي كناره رودخانه‌ها ناشی از فرسایش نشی

هدیه سلامت روندی^{۱*}، محمدرضا مجد زاده طباطبایی^۲، محمدحسین خرازی فرد^۳ و سعید قربان‌بیگی^۴

* نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد عمران مهندسی رودخانه hediehsalamat@stud.pwut.ac.ir

۲- استادیار، عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی آب، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

۳- مربی، عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی آب، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

۴- استادیار، عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی آب، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۶

چکیده

علی‌رغم پژوهش‌های انجام شده بر روی مکانیزم فرسایش کناره رودخانه‌ها، هنوز درک کاملی نسبت به فرآیند زیرشویی در تخریب کناره وجود ندارد. از آنجایی که این تخریب باعث تخلیه رسوبات از لایه‌های کناری رودخانه‌ها به داخل این مجاری می‌شود و در نتیجه بر هیدرولیک و ریخت‌شناسی رودخانه تأثیر به‌سزایی دارد لذا فهم هر چه بهتر این فرآیند، امکان پایدارسازی را برای دست‌اندرکاران ممکن می‌سازد. هدف این تحقیق مطالعه‌ی فرسایش نشی (جوشش) کناره‌ی رودخانه‌ها در دو حالت وجود و عدم وجود سازه‌ی متقاطع (همچون لوله‌ی زهکش یا لوله‌ی انتقال گاز...) در لایه ماسه‌ای با دانه بندی متفاوت در کناره‌ی رودخانه می‌باشد. بررسی‌ها در یک مدل آزمایشگاهی و در گرادیان‌های هیدرولیکی متفاوت با اندازه‌گیری عمق چاله‌ی آبستگي ناشی از فرسایش نشی در کناره (درون لایه‌ی ماسه‌ای) صورت گرفته است. نتایج بیان‌کننده‌ی مؤثر بودن اندازه‌ی ذرات و وجود سازه‌ی متقاطع و گرادیان (ثابت در طول زمان متغیر) در چگونگی شکل‌گیری فرسایش می‌باشد.

کلیدواژه: فرسایش کناره، فرسایش نشی، جوشش، جریان زیرسطحی، عمق چاله‌ی آبستگي، کناره‌ی رودخانه، سازه‌ی متقاطع.

مقدمه

رودخانه‌ها و نهرها محصول حوضه‌های آبریزشان هستند و معمولاً به عنوان یک سیستم پویا شناخته می‌شوند، به این معنی که در طول زمان در حال تغییرند. یکی از این تغییرات فرسایش کناره‌های رودخانه‌هاست که می‌تواند دلایل متعددی از قبیل بالا و پایین رفتن سطح آب رودخانه و کشتیرانی و تغییرات جوی و بالا-رفتن سطح آب زیرزمینی یا نفوذ آب بارندگی، آب ناشی از زهکش‌های کشاورزی و غیره داشته باشد. از بین عوامل مؤثر بر فرسایش کناره، فرایند فرسایش نشی^۱ یا زیرسطحی^۲ است که موجب زیرشویی در لایه‌ی نفوذپذیر کناره که در بین دو لایه‌ی نفوذناپذیر قرار گرفته شده، می‌شود و در نتیجه این زیرشویی منجر به ریزش توده‌ای لایه بالایی و شکست کناره می‌شود. فرسایش کناره‌ی رودخانه مسئله‌ی مهمی را در مدیریت رودخانه‌ها بیان می‌کند. تغییرات جانبی رودخانه^۳ در اثر فرایندهای فرسایش کناره هزینه‌های سنگینی را با عنوان اقدامات پایدارسازی

کناره در بردارد، زیرا این نوع فرسایش ایجاد یک منبع اساسی جهت تولید و انتقال رسوب می‌باشد. (۵) فرآیند فرسایش لوله‌ای شکل (نقیبی)^۴ از عوامل پیچیده‌ی تغییر مورفولوژی در رودخانه‌ها است. این نوع از فرسایش کناره پیامدهای رسوبی نامطلوبی را در پائین دست یک سیستم رودخانه به جای می‌گذارد و از عمده‌ترین منابع تولید رسوبات رودخانه‌ای است که علاوه بر اثرگذاری بر خصوصیات مجاری رودخانه‌ها، در توسعه پهنه سیلابی، مدیریت منابع آب و کنترل میزان رسوبگذاری در مخازن سدها نیز اثر آن حائز اهمیت است، ولی تشخیص رخداد آن در اغلب موارد امری پیچیده و مشکل است (۳) زیرا به دلیل عدم وجود جریان زهکشی به هنگام بازدیدهای میدانی و ترکیب این نوع فرسایش با سایر انواع فرسایش کناره باعث پوشیده ماندن ماهیت آن شده و در نتیجه مدلسازی و پایش نرخ فرسایشی آن را دشوار می‌سازد. هرچند اهمیت این نوع از فرسایش در سدهای خاکی بسیار مورد توجه بوده (۳) و همواره پایش می‌شود ولی علی‌رغم فراگیر بودن آن در اکثر نقاط جهان،

۱- Seepage erosion
۲- Subsurface
۳- Lateral river changes

مراحل فرایند فرسایش نشتی (لوله‌ای شکل) در شکل (۱) آمده است. قسمت الف شکل (۱) فرسایش نشتی را در درون لایه‌ی ماسه‌ای نشان می‌دهد که شروع به حمل ذرات ماسه از داخل لایه‌ی ماسه‌ای کناره‌ی رودخانه کرده و آنها را وارد رودخانه می‌کند، در قسمت ب ادامه‌ی فرسایش نشتی و پسروی لایه‌ی ماسه‌ای را نشان می‌دهد و در نتیجه‌ی زیرکنی لایه‌ی چسبیده سربار، لایه به صورت توده‌ای در اثر وزن خود فروریخته می‌شود، در قسمت ج واژگونی و لغزش توده‌ی لایه‌ی سربار بعد از ادامه‌ی زیرکنی نشان داده شده است.

هدف مطالعه‌ی حاضر، بررسی فرسایش نشتی در کناره‌ی شبیه‌سازی شده‌ی رودخانه در یک دستگاه آزمایشگاهی است. در این تحقیق فرسایش نشتی در دو حالت با وجود لوله‌ی مدفون در لایه‌ی ماسه‌ای کناره‌ی رودخانه و بدون وجود آن بررسی شده است.

آزمایش‌ها

شش آزمایش در یک دستگاه آزمایشگاهی جهت بررسی فرسایش نشتی انجام شد که سه آزمایش بدون وجود لوله در کناره در سه دانه‌بندی $0.8-0.4$ ، $1.2-0.8$ و $2-1$ میلی‌متر و ۳ آزمایش دیگر در حالت وجود لوله با دانه‌بندی‌های مذکور، جهت بررسی فرسایش نشتی صورت گرفته است. مدل کناره‌ی رودخانه در مخزن خاک از سه لایه، رس در زیر به ارتفاع 0.05 متر، ماسه در وسط به ارتفاع 0.1 متر (با سه دانه‌بندی مختلف) و رس ماسه‌دار به عنوان سربار و به ارتفاع 0.4 متر در بالا، در دو حالت با لوله و بدون لوله شبیه‌سازی شد.

تجهیزات آزمایش

دستگاه آزمایش مطابق شکل (۲-الف) یک مخزن از جنس پلکسی دارای دو قسمت، که در یکی خاک و دیگری آب است. مخزن خاک آن به طول و ارتفاع ۱ و عرض 0.5 متر می‌باشد، انتهای مخزن خاک مطابق شکل (۲) برای تسهیل در هدایت آب، رسوب و اندازه‌گیری دبی نشتی از لایه‌ی ماسه، به شکل ناودانی ساخته شده است. مخزن آب به طول 0.1 متر، ارتفاع ۱ متر و عرض 0.5 متر است، جزئیات بیشتر در شکل (۲-الف و ب) آمده است و مطابق شکل محل تعبیه شیر ورودی جریان و شیرهای خروجی آب جهت نگهداشت ارتفاع آبی تعبیه شده است. مطابق شکل (۲-ب) بین دو مخزن خاک و آب یک صفحه پلکسی مشبک با سوراخ‌های به قطر سه میلی‌متر، جهت هدایت یکنواخت آب از مخزن به داخل لایه‌ی ماسه‌ای قرار دارد. سوراخ‌های صفحه مشبک تا ارتفاع 0.2 متری باز نگاه‌داشته شده‌اند. لایه‌های خاک در شماتیک نشان داده شده‌اند.

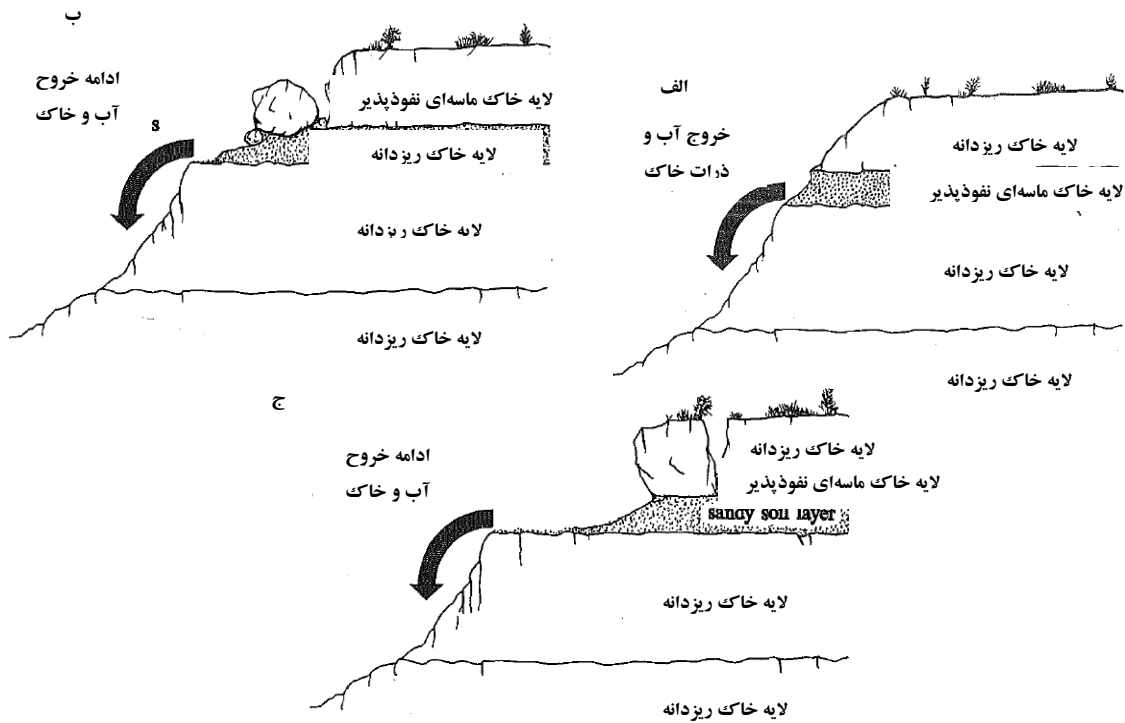
در زمینه کناره‌های رودخانه و اثر آن در تغییرات مورفولوژی آبراهه‌ها کمتر مورد توجه محققین بوده است. این پدیده موجب ایجاد خسارت‌های فراوان به اراضی حاصلخیز کشاورزی و سازه‌های موجود در مجاورت رودخانه می‌گردد (۱).

در برخی موارد بیرون ریزی آب و خاک در زیر سطح آب در رودخانه‌ها یا سطح دریاچه اتفاق می‌افتد (۳)، این شرایط وقتی که آب دوباره به درون لایه نفوذپذیر در کناره رودخانه در طول سیلاب وارد می‌شود رایج‌تر است و هنگامی که گرادیان هیدرولیکی در هر لایه‌ای به طرف رودخانه هدایت می‌شود، لایه نفوذپذیر شروع به تخلیه دوباره آب به درون رودخانه می‌کند. اگر گرادیان هیدرولیکی به حد بحرانی برسد، ذرات خاک موجود در کناره شروع به حرکت می‌کنند. گاهی چنین زیر شویی‌هایی از طریق اختلاف دمای آب خارج شده در اثر نشست و آب رودخانه شناسایی می‌شود برای مثال جریان نشست سرد به یک نقطه‌ی کم عمق نزدیک کناره می‌تواند ذکر گردد (۳ و ۴).

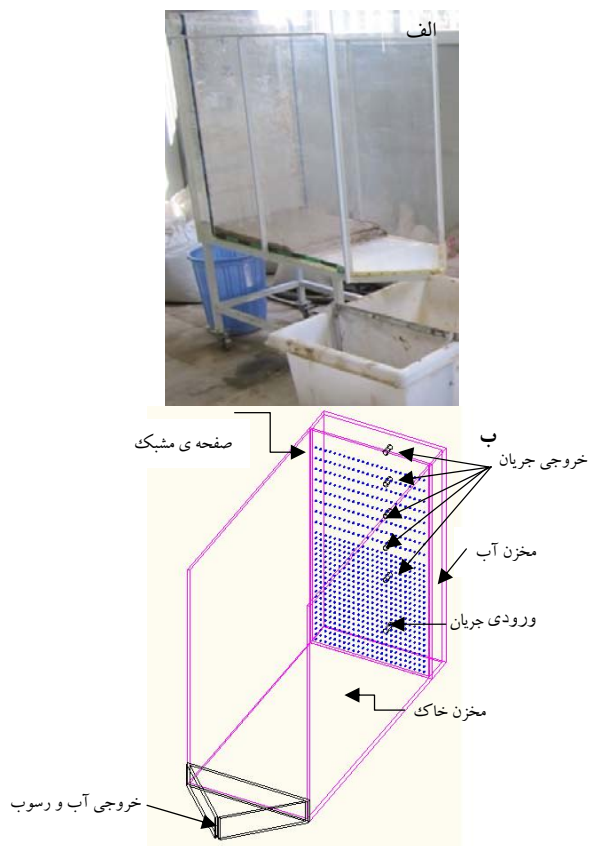
نقش آب زیرسطحی و زیرزمینی به عنوان تأمین کننده بخشی از جریان رودخانه قبلاً شناخته شده است. همچنین نقش فشار آب حفره‌ای ناشی از جریان آب زیرسطحی که پایداری کناره را تحت تأثیر قرار می‌دهد پیشتر تا حدودی بررسی و مطالعه شده اما نقش آن در فرسایش نشتی به خوبی شناخته نشده است. هاوارد و مک لان^۱ با انجام آزمایش‌هایی نقش نشست را بر فرسایش توده ماسه‌ای مورد بررسی قرار دادند. با این حال آنچه بیش از همه به تمرکز جریان نشست و ایجاد نیرو برای خروج ذرات می‌انجامد، لایه‌بندی کناره و اختلاف هدایت هیدرولیکی لایه‌ها می‌باشد، در حالیکه آزمایش‌های آنها بر روی توده‌ی یکنواخت ماسه‌ای انجام شده و این حالت در طبیعت اجازه‌ی چنین تمرکز جریانی را نمی‌دهد. هاگرتی^۲ با مطالعات و مشاهدات صحرائی بسیار زیاد درک کیفی بسیار خوبی از پدیده نشست و فرسایش ناشی از آن را ارائه کرد (۲). بنا به مطالعات هاگرتی علت اصلی فرسایش لوله‌ای شکل قرارگیری یک لایه نفوذپذیر در بین لایه‌های ریزدانه و چسبیده است که باعث می‌شود این لایه با زهکشی آب از یک منبع و خروج ذرات رسوب همراه با آب عامل تخریب کناره می‌شود (۳). شروع فرسایش لوله‌ای بستگی به گرادیان هیدرولیکی خروجی دارد. با نفوذ بارندگی در سراسر ناحیه‌های خاک، هدایت هیدرولیکی بین ذرات خاک کاهش می‌یابد و کاهش نفوذپذیری خاک، منجر به آهسته شدن حرکت جریان قائم شده و جریان جانبی را تسریع می‌کند. با جابجایی ذرات، گرادیان هیدرولیکی در ناحیه برداشت افزایش می‌یابد و افزایش موضعی در گرادیان می‌تواند تراوش بیشتری را ایجاد کند که به نوبه خود باعث افزایش فرسایش می‌شود. به غیر از عامل نفوذ بارندگی، وجود جریان خروجی از مخازن فاضلاب و جریان جانبی نشست در مجاورت خطوط لوله مدفون باعث فرایند فرسایش نشتی شود (۴).

1- Haward and Mc Lane

2- Hagerty



شکل ۱- فرآیند فرسایش لوله‌ای شکل (نقبی) در کناره رودخانه (۳)



شکل ۲- الف- دستگاه آزمایش، ب- شماتیک دستگاه

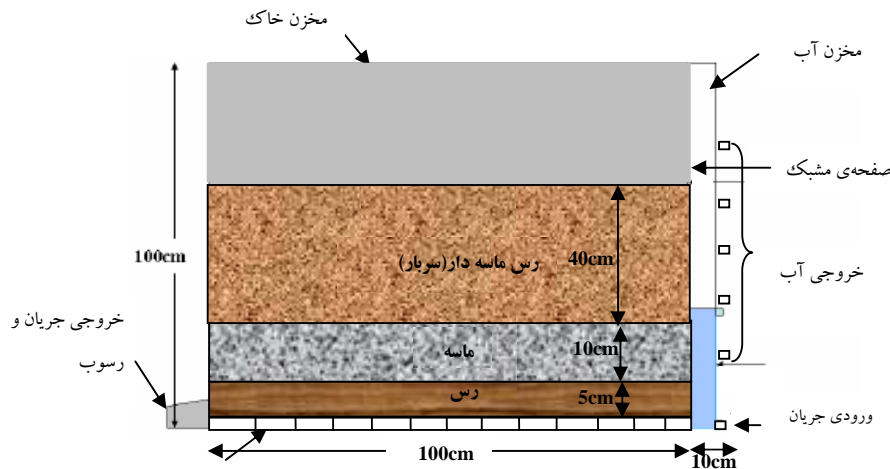
آماده‌کردن مدل (دیواره‌ی رودخانه) برای آزمایش

کناره‌ی طراحی شده در مدل مطابق شکل (۳) از سه لایه رس و ماسه و رس ماسه‌دار ساخته شده‌است: لایه‌ی رس در پایین با چسبندگی بالا و نفوذپذیری ناچیز و با ارتفاع ۰/۰۵ متر و طول ۰/۵۵ متر و هم عرض دستگاه می‌باشد، لایه‌ی ماسه‌ای با ارتفاع ۰/۱ متر و طول ۰/۵۵ متر و هم عرض دستگاه با سه دانه‌بندی ۰/۷-۰/۸ میلی‌متر و ۰/۸-۱/۲ میلی‌متر و ۱-۲ میلی‌متر در وسط قرار می‌گیرد، و بررسی‌ها روی این لایه انجام می‌شود. لایه‌ی بالایی که نقش سربار را دارد از جنس رس ماسه‌دار با چگالی مرطوب ۲/۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به ارتفاع ۰/۴ متر و طول ۰/۵۵ متر و هم عرض دستگاه می‌باشد. شکل (۴) روش قرار گرفتن لوله در کناره را در دستگاه نشان می‌دهد.

روش انجام آزمایش

بعد از آماده‌شدن نمونه، آب از شیر ورودی، وارد مخزن آب می‌شود و از طریق صفحه‌ی مشبک وارد نمونه می‌شود و در ارتفاع‌های معینی ثابت نگه‌داشته می‌شود تا تغییرات و پدیده‌های

احتمالی مشاهده شود و در صورت عدم مشاهده فرسایش ارتفاع آب تغییر داده می‌شود. در هنگام ورود جریان از مخزن آب به درون نمونه، بعد از رسیدن جریان به انتهای لایه‌ی ماسه‌ای و خروج آب، دبی‌های نشت در هر گرادیان در طول زمان ثابت بودن گرادیان اندازه‌گیری می‌شود. در گرادیان‌های پایین فرسایش و پسروی مشاهده نمی‌شود و بعد از گذشتن از یک گرادیان بحرانی مربوط به هر دانه‌بندی فرسایش شروع می‌شود و در زمان شروع پسروی در گرادیان ثابت عمق چاله‌ی فرسایش با خاکش اندازه‌گیری می‌شود و در گرادیان مورد نظر ثبت می‌شود. اندازه‌گیری‌های انجام گرفته شده در انجام آزمایش‌ها شامل زمان، ارتفاع آب، دبی خروجی از قسمت ناودانی شکل دستگاه در خروجی، طول پسروی و وزن رسوبات زیرشویی شده از چاله‌ی فرسایش در لایه‌ی ماسه‌ای می‌باشد. محاسبات شامل گرادیان هیدرولیکی $i=h/L$ (که در این رابطه h ارتفاع آب، و L طول کناره‌ی رودخانه است که قبل از پسروی طول آن ۰/۵۵ متر و بعد از پسروی این طول



شکل ۳- نمای دستگاه

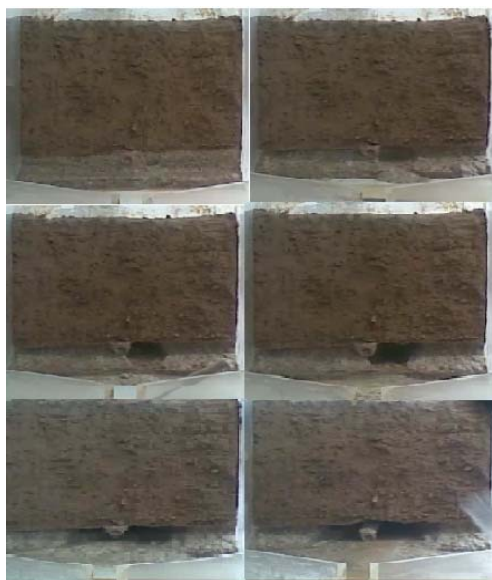
متر نواری جهت اندازه‌گیری
فاصله‌ی فرسایش یافته



شکل ۴- قرار دادن لوله در لایه‌ی ماسه‌ای



شکل ۵- پسروری مربوط به دانه‌بندی ۰/۴-۰/۸ میلی‌متر

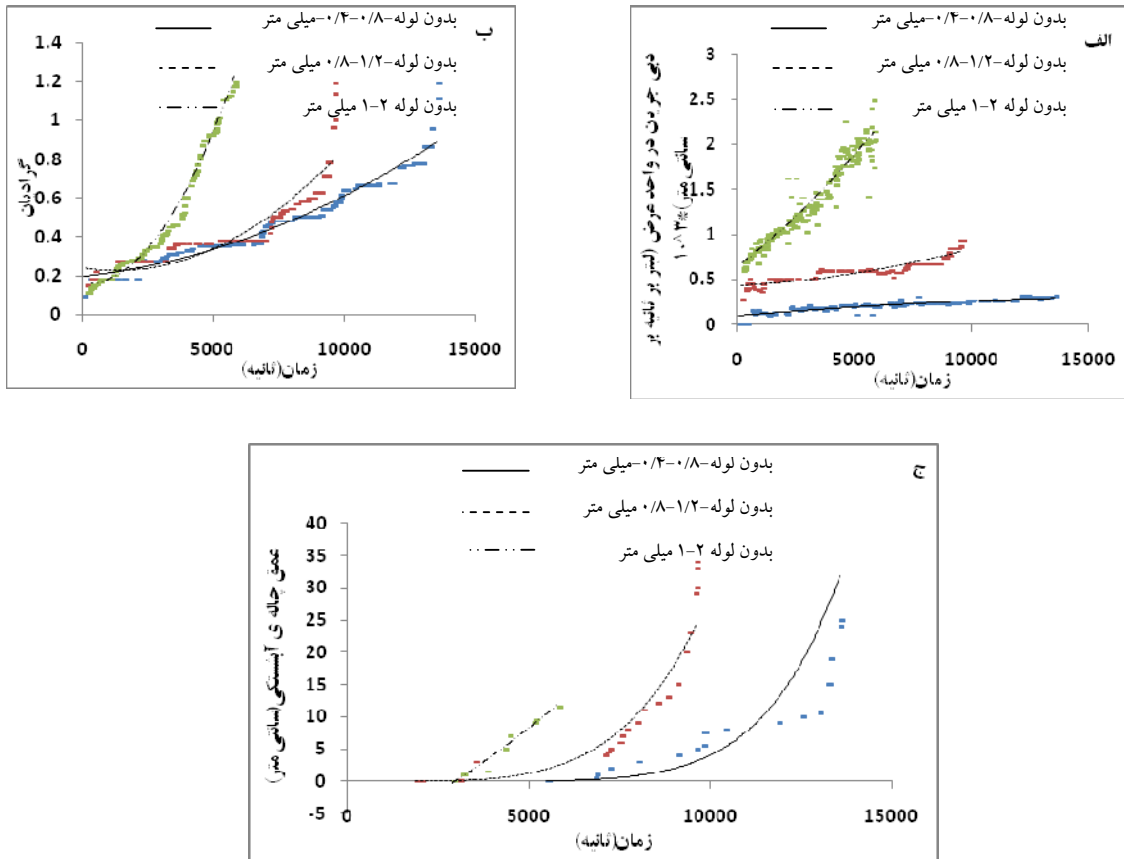


شکل ۶- مراحل شروع پسروری در حالت با لوله- دانه‌بندی ۰/۸-۱/۲ میلی‌متر، الف: قبل از شروع فرسایش، ب: شروع فرسایش از کناره‌ی لوله، ج: ادامه‌ی فرسایش از همان سمت شروع فرسایش، د: افزایش پسروری و شروع پسروری از سمت دیگر لوله، ه: فرسایش اطراف لوله و تشکیل یک لوله‌ی فرسایش تا نزدیک مخزن آب، و: روان شدن ماسه اطراف لوله در اثر افتادن لوله و پایان آزمایش

در هنگام شروع فرسایش ابتدا توده‌ای از ماسه ریزش و به دنبال ریزش ماسه، فرسایش در ارتفاع معینی ادامه پیدا می‌کند تا حدی که فرسایش در این ارتفاع پایدار شده و متوقف می‌شود. پس از توقف فرسایش در یک ارتفاع، افزایش ارتفاع صورت می‌گیرد (این افزایش با سرعتی حدود ۰/۲-۰/۱ میلی‌متر صورت می‌گیرد)، آزمایش تا کامل شدن حفرة ناشی از فرسایش تا مخزن و روان شدن ماسه در حالت بدون لوله و در حالت با لوله تا جابه‌جایی لوله و روان شدن ماسه اطراف آن ادامه پیدا می‌کند.

کمتر می‌شود)، سرعت، عدد رینولدز، دبی و وزن رسوبات در واحد عرض می‌باشد. شکل (۵) پسروری مربوط به دانه‌بندی ۰/۴-۰/۸ میلی‌متر را نشان می‌دهد.

فرسایش لایه‌ی ماسه از جبهه‌ی جلویی آغاز شده و به طرف عقب پسروری می‌کند، در حالت بدون لوله فرسایش ممکن است از یک نقطه یا کل سطح شروع شود ولی در حالت با لوله فرسایش از اطراف لوله شروع شده و پسروری می‌کند. جهت تحلیل دقیق‌تر آزمایش‌ها و ثبت همه‌ی مراحل پدیده‌ی فرسایش، عکس‌ها و فیلم‌هایی تهیه شده است، شکل (۶) مراحل پیشرفت فرسایش در یکی از آزمایش‌های با لوله با دانه‌بندی ۰/۸-۱/۲ میلی‌متر را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نمودارهای دبی و گرادیان و عمق چاهلی آبهستگی در طول زمان برای هر سه دانه‌بندی در حالت بدون لوله، الف: دبی در طول زمان، ب: گرادیان در طول زمان، ج: عمق چاهلی آبهستگی در مقابل زمان

بزرگتر باشد، افزایش گرادیان در زمان کم‌تری صورت می‌گیرد و در واقع افزایش هد در دانه‌بندی بزرگتر زودتر بر روی گرادیان تأثیر می‌گذارد که این نکته مؤید نتیجه شکل (۷-الف) نیز می‌باشد (از آنجایی که دبی جریان با گرادیان هیدرولیکی رابطه مستقیم دارد، مشاهدات آزمایشگاهی موجود نیز بیان‌گر مورد فوق می‌باشد).

شکل (۷-ج)، طول پسروی را در مقابل زمان نشان می‌دهد که در دانه‌بندی بزرگتر فرسایش زودتر اتفاق می‌افتاد که این می‌تواند مرتبط با دبی نشستی مربوط به دانه‌بندی بزرگتر باشد.

در ادامه به بررسی دقیق‌تر رابطه‌ی گرادیان و دبی با پسروی در سه دانه‌بندی طبق نمودارها پرداخته می‌شود.

با توجه به شکل (۸-الف) شروع آبهستگی در سه دانه‌بندی در دبی‌های مختلف رخ می‌دهد و همان‌طوری که در این شکل مشاهده می‌شود، شروع آبهستگی مربوط به دانه‌بندی کوچکتر ماسه در دبی نشستی کمتر است و نرخ افزایش آن در دانه‌بندی کوچکتر بیشتر است. با توجه به این شکل نرخ افزایش پسروی در

نتایج آزمایشات

پس از انجام آزمایش‌ها و برداشت اطلاعات که قبلاً موارد آن بیان شد، ابتدا نمودارهای مرتبط با داده‌ها ارایه و سپس بر اساس آنها تحلیل‌های مربوطه همراه با منحنی‌های آنها بیان می‌گردد.

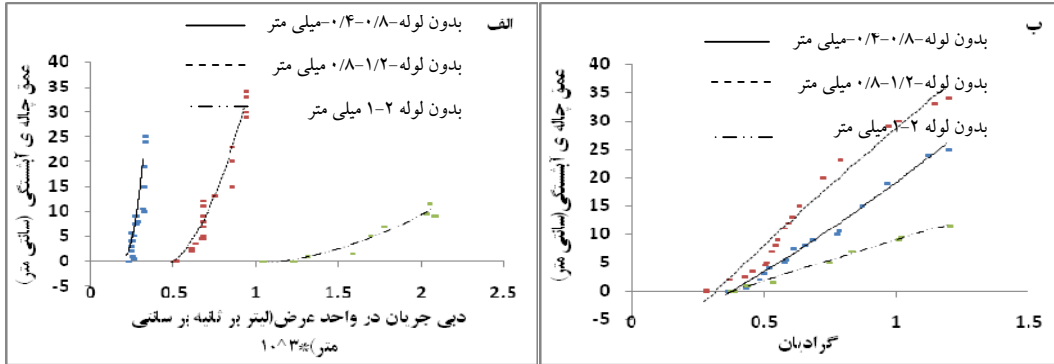
بررسی نتایج دو سری آزمایش با و بدون لوله

آزمایش‌های بدون لوله

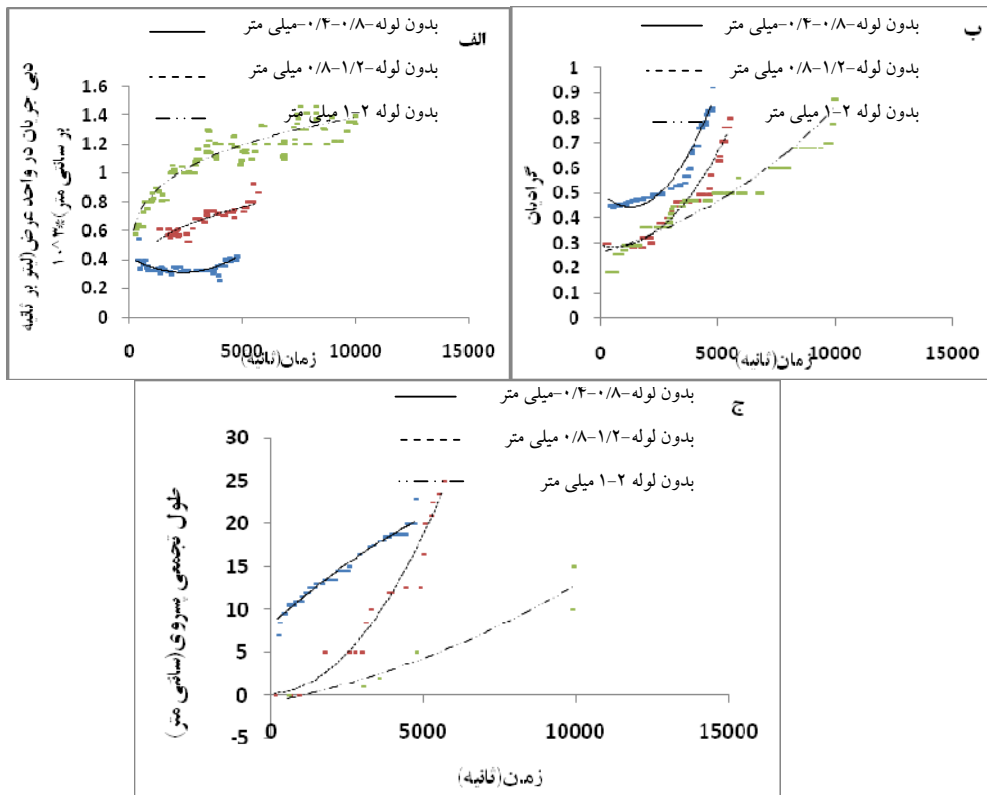
شکل (۷) نمودارهای دبی جریان در واحد عرض، گرادیان و طول پسروی را در طول زمان نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۷-الف) دبی نشستی ذرات بزرگتر بیشتر از ذرات کوچکتر است که به دلیل بزرگتر بودن خلل و فرج بین ذرات با توجه به یکنواختی قطر دانه‌ها است.

شکل (۷-ب) گرادیان هیدرولیکی را در طول زمان نشان می‌دهد. با توجه به اینکه گرادیان هیدرولیکی از رابطه‌ی $i=h/L$ به دست می‌آید، این نمودار تحت تأثیر نرخ افزایش هد و نرخ پسروی فرسایش است. در کل با توجه به این نمودار، هر چه دانه‌بندی



شکل ۸- نمودار عمق چاله‌ی آبستگي در مقابل گراديان و دبي جريان برای هر سه دانه بندی، الف: طول پروی در مقابل دبي جريان در واحد عرض، ب: عمق چاله‌ی آبستگي در مقابل گراديان



شکل ۹- نمودارهای دبي و گراديان و عمق چاله‌ی آبستگي در طول زمان برای هر سه دانه بندی در حالت با لوله، الف: دبي در طول زمان، ب: گراديان در طول زمان، ج: عمق چاله‌ی آبستگي در مقابل زمان

شکل (۸-ب) مشاهده می‌شود به دلیل بزرگتر شدن لوله‌های جریان موجود در دانه بندی با قطر بزرگتر و افزایش دبي نشتی، ذرات با قطر بزرگتر زودتر فرسایش می‌یابند، ولیکن این نتیجه قطعی نخواهد بود و به میزان اختلاف دبي نشتی سه دانه بندی بستگی دارد. برای مثال اگر اختلاف دبي نشتی در دو دانه بندی ۱/۲ - ۰/۸ میلی‌متر و ۲ - ۱ میلی‌متر آنقدر زیاد نباشد که بتواند بر اندازه‌ی ذرات غالب شود در این صورت دانه بندی ریزتر که دبي نشتی آستانه‌ی حرکت پایین‌تری دارد، زودتر شروع به فرسایش

مقابل دبي نیز برای سه دانه بندی متفاوت است و همان طوری که مشاهده می‌شود هر چه دانه بندی کوچکتر می‌شود نرخ افزایش پروی در مقابل دبي افزایش می‌یابد. با توجه به نکات بیان شده در توضیحات مربوط به شکل (۷-الف) در یک گراديان و تراز ثابت دبي نشتی در ذرات با قطر بزرگتر با توجه به یکنواختی دانه‌ها به دلیل بزرگتر شدن فضای خالی و به هم پیوسته‌ی بین دانه‌ها، بیشتر خواهد بود و در نتیجه لوله‌های جریان نیز در این دانه بندی بزرگتر می‌گردند و همان طور که در

ذره‌ی کوچک نسبت به ذره‌ی بزرگتر و نیز کوچک بودن سطح تماس بین ذرات کوچکتر است، و در نتیجه دبی نشستی آستانه‌ی حرکت ذرات کوچکتر نسبت به ذرات بزرگتر کمتر است.

مقایسه‌ی نتایج دو آزمایش با و بدون لوله برای هر یک از سه دانه‌بندی

ماسه با دانه‌بندی ۰/۸-۰/۴ میلی‌متر

در ادامه نمودارهای مربوط به دانه‌بندی ۰/۴-۰/۸ میلی‌متر ارائه و تحلیل می‌گردند.

شکل (۱۱) مربوط به دانه‌بندی ۰/۴-۰/۸ میلی‌متر می‌باشند که برای مقایسه‌ی دو حالت با و بدون لوله رسم شده‌اند. همان‌طور که در شکل (۱۱-الف) مشاهده می‌شود در یک زمان معین دبی نشستی در حالت با لوله بیشتر از حالت بدون لوله می‌باشد و این به واسطه وجود مسیر نشستی بزرگتر در حالت با لوله نسبت به حالت بدون لوله است، زیرا وجود لوله در داخل ماسه، باعث ایجاد بازشدگی در محل جدایی ماسه و لوله می‌شود و فرسایش دانه‌های ماسه از کناره‌ی لوله نیز به واسطه این امر و افزایش دبی نشستی می‌باشد.

شکل (۱۱-ب) عمق چاله‌ی آبخستگی در مقابل زمان را نشان می‌دهد که همانند شکل (۱۱-الف) در یک زمان معین مقدار آبخستگی در حالت با لوله بیشتر از حالت بدون لوله است، و آبخستگی در حالت بدون لوله دیرتر اتفاق می‌افتد و بر اساس دو شکل (۱۱-الف و ب) مشاهده می‌شود که پسروی عمق چاله‌ی آبخستگی با دبی نشستی رابطه‌ی مستقیم دارد.

خواهد کرد و با مراجعه به شکل (۸-ب) این نتیجه در رابطه با دانه‌بندی ۱-۲ میلی‌متر قابل مشاهده است، این نمودار نشان می‌دهد که اندازه‌ی دانه‌بندی بر دبی نشستی غالب بوده و دانه‌بندی ۱-۲ میلی‌متر در یک گرادیان ثابت فرسایش کمتری داشته است.

آزمایش‌های با لوله

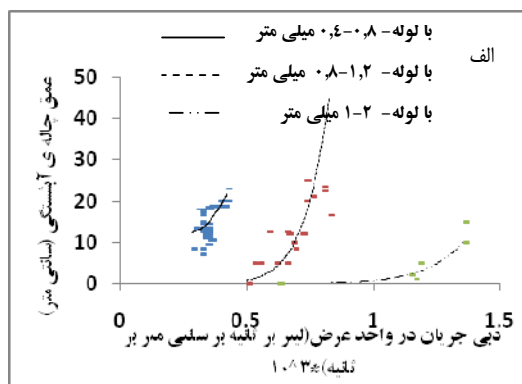
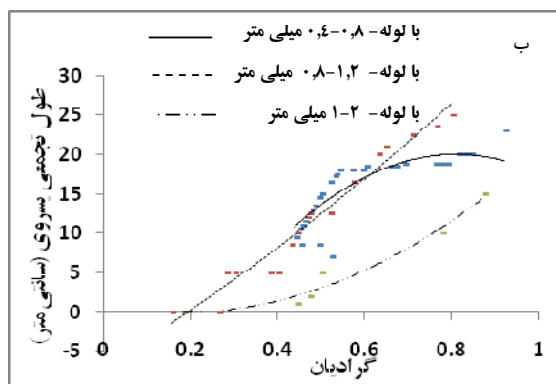
شکل (۹) نمودارهای دبی جریان در واحد عرض، گرادیان و طول پسروی را در طول زمان در حال نصب لوله در لایه ماسه نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۹-الف) مشاهده می‌شود که با بزرگتر شدن دانه‌بندی ماسه، دبی نشستی افزایش می‌یابد.

شکل (۹-ب) افزایش گرادیان در طول زمان را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه نرخ افزایش ارتفاع در هر سه دانه‌بندی یکسان است، بنابراین شکل (۹-ب) تغییرات طول نمونه را نشان می‌دهد.

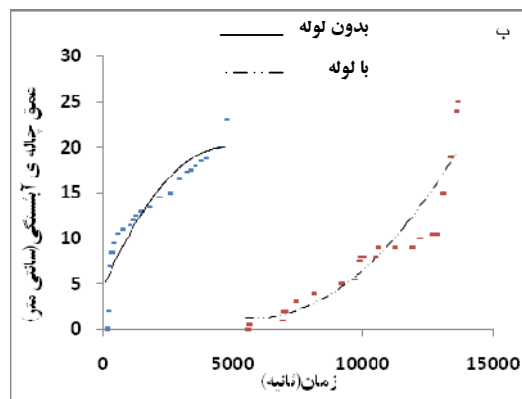
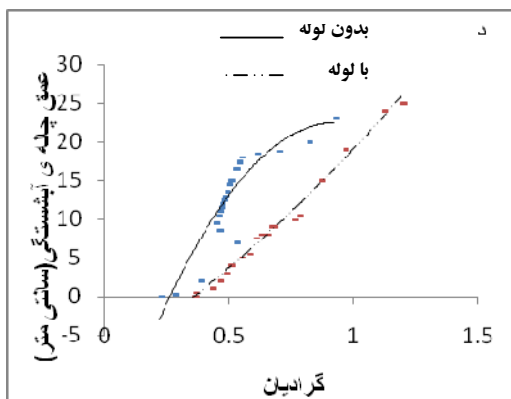
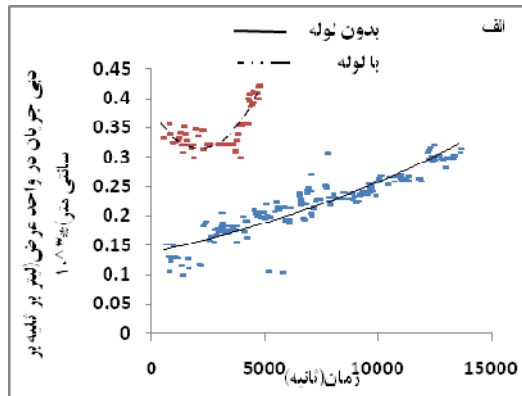
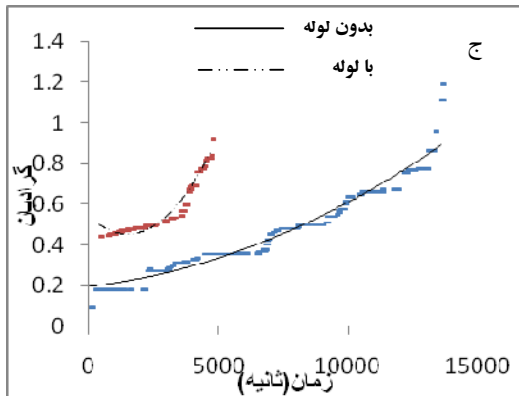
با توجه به شکل (۹-ج) نمودارها همان روندی را دارند که نمودار شکل (۹-ب) دارد و در یک زمان ثابت طول پسروی دانه‌بندی ریزدانه‌تر به دلیل کمتر بودن وزن ذرات ریزدانه نسبت به درشت دانه و سهولت حمل ذرات ریزدانه، بیشتر است و هر چه دانه‌بندی ریزتر باشد فرسایش بیشتری مشاهده خواهد شد.

شکل (۱۰) طول پسروی در مقابل گرادیان و دبی جریان را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۱۰-الف) یک طول پسروی معین برای دانه‌بندی کوچکتر در دبی نشستی پایین‌تر صورت می‌گیرد یا به عبارتی در یک دبی نشستی پایین‌تر، طول پسروی مربوط به دانه‌بندی کوچکتر، بیشتر است که این به دلیل وزن کمتر یک



شکل ۱۰- نمودار عمق چاله‌ی آبخستگی در مقابل گرادیان و دبی جریان برای هر سه دانه بندی در حالت با لوله، الف: عمق چاله آبخستگی در مقابل دبی جریان در واحد عرض، ب: عمق چاله آبخستگی در مقابل گرادیان.



شکل ۱۱- نمودارهای مربوط به دانه بندی ۰/۸-۰/۴ میلی‌متر در دو حالت با و بدون لوله، الف: دبی جریان در واحد عرض در طول زمان، ب: عمق چاله آبستگي در طول زمان، ج: گرادیان در طول زمان، د: عمق چاله آبستگي در مقابل گرادیان

شد عمق چاله‌ی آبستگي را تحت خود تأثیر قرار می‌دهد، و بر این اساس تمام موارد ذکر شده در رابطه با شکل (۱۱) توسط نمودارهای شکل (۱۲) نیز تأیید می‌گردد.

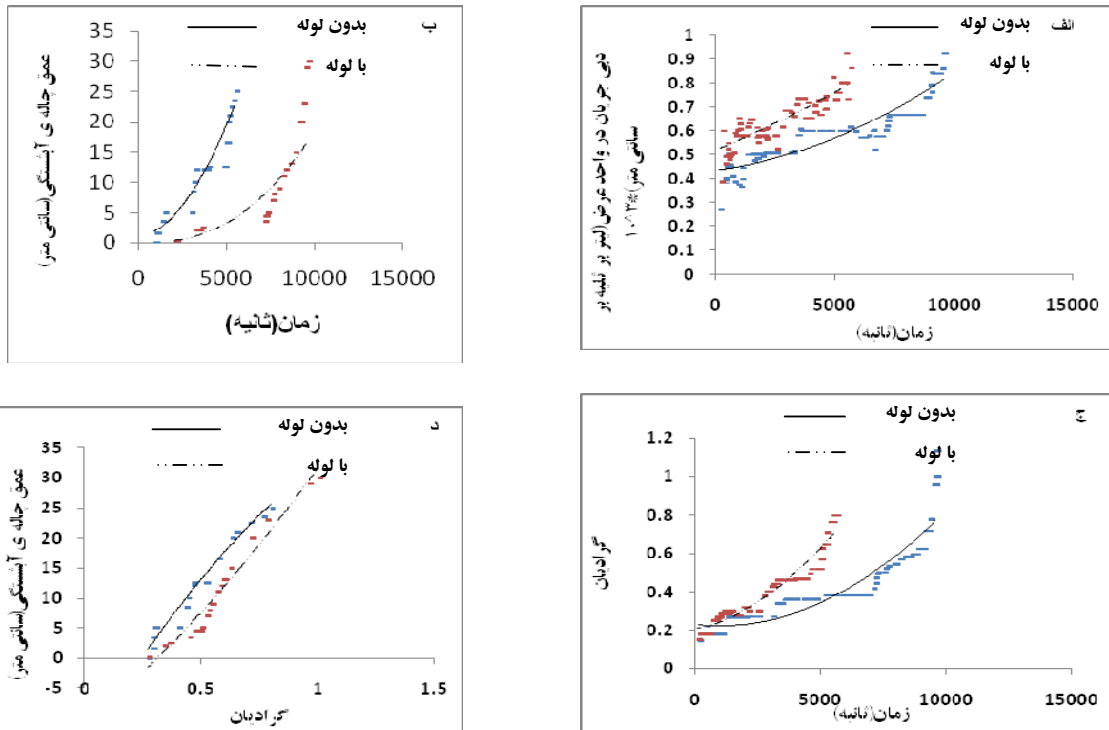
ماسه با دانه‌بندی ۱-۲ میلی‌متر

با توجه به اینکه نرخ افزایش ارتفاع در دانه‌بندی ۱/۲-۰/۸ میلی‌متر برای هر دو حالت با و بدون لوله مانند دانه‌بندی ۰/۴-۰/۸ میلی‌متر است، انتظار می‌رود دانه‌بندی ۱-۲ میلی‌متر همین روند را داشته باشد، اما از آنجایی که نرخ افزایش ارتفاع در حالت بدون لوله در دانه‌بندی ۱-۲ میلی‌متر هشت برابر نرخ افزایش ارتفاع دو دانه‌بندی دیگر و چهار برابر حالت با لوله می‌باشد، باعث شده که نمودارهای شکل (۱۳- الف و ب و ج) حالتی متفاوت با نمودارهای مشابه در دو شکل (۱۱) و (۱۲) را نشان دهند و در نمودار قسمت د شکل (۱۳) که انتظار می‌رود در یک گرادیان ثابت عمق چاله‌ی آبستگي بیشتر از حالت بدون لوله باشد مشاهده می‌شود که دو نمودار تقریباً روی هم افتاده‌اند و

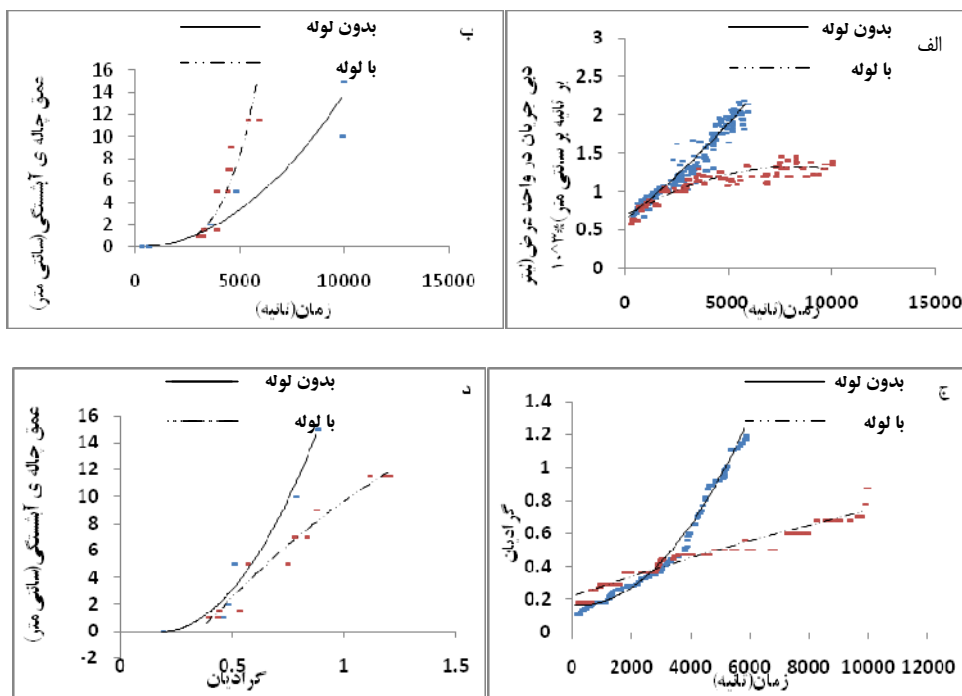
با توجه به رابطه‌ی گرادیان، گرادیان با عمق چاله‌ی آبستگي رابطه‌ی مستقیم دارد بنابراین با افزایش عمق چاله، گرادیان هم افزایش می‌یابد، شکل (۱۱- ج) هم این موضوع را تأیید می‌کند. شکل (۱۱- د) تغییرات عمق چاله را در مقابل گرادیان نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که در یک گرادیان ثابت عمق چاله‌ی آبستگي در حالت با لوله بیشتر از حالت بدون لوله است یا به عبارت دیگر آبستگي یکسان برای دانه بندی بزرگتر در گرادیان کمتر اتفاق می‌افتد. در حالت وجود لوله در دیواره ناهمگنی در مرز بین لوله و خاک، باعث تسهیل حرکت جریان در این حد فاصل شده و جریان در محل، باعث تسهیل در انتقال ذرات خاک و تسریع فرسایش می‌شود.

ماسه با دانه‌بندی ۱/۲-۰/۸ میلی‌متر

شکل (۱۲) نمودارهای مربوط به دانه‌بندی ۱/۲-۰/۸ میلی‌متر را نشان می‌دهد، علاوه بر دو عامل دبی نشستی از لایه‌ی ماسه و گرادیان، نرخ افزایش ارتفاع همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده



شکل ۱۲- دانه‌بندی ۱/۲-۰/۸ میلی‌متر در دو حالت با و بدون لوله، الف: دبی جریان در واحد عرض در طول زمان، ب: عمق چاله‌ی آبستگي در طول زمان، ج: گراديان در مقابل زمان، د: عمق چاله‌ی آبستگي در مقابل گراديان.



شکل ۱۳- دانه‌بندی ۲-۱ میلی‌متر در دو حالت با و بدون لوله، الف: دبی جریان در واحد عرض در طول زمان، ب: عمق چاله‌ی آبستگي در طول زمان، ج: گراديان در مقابل زمان، د: عمق چاله‌ی آبستگي در مقابل گراديان.



شکل ۱۴- محل شروع فرسایش، الف: حالت بدون لوله، ب: حالت با لوله

ارتفاع نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نرخ افزایش ارتفاع بالا باعث سریع‌تر و بیشتر شدن فرسایش می‌شود.

این به خاطر این است که زیاد بودن نرخ افزایش ارتفاع در حالت بدون لوله تأثیر گرادیان روی فرسایش را در مقایسه دو حالت با هم کم کرده‌است.

بررسی تأثیر وجود و عدم وجود لوله در دیواره

نتایج نشان می‌دهد که وجود لوله در دیواره باعث افزایش دبی نشستی از لایه‌ی نفوذپذیر شده و در نتیجه میزان فرسایش و عمق چاله‌ی آبستگي را بیشتر خواهد کرد، همچنین با توجه به نتایج آزمایشات با افزایش گرادیان میزان فرسایش بیشتر می‌شود و در صورت وجود لوله در دیواره‌ی رودخانه در یک گرادیان ثابت، عمق چاله‌ی آبستگي در حالت با لوله بیشتر از حالت بدون لوله است. همچنین با توجه به آزمایشات انجام شده و شکل محل شروع فرسایش در حالت با لوله در اطراف لوله می‌باشد در حالیکه در حالت بدون لوله در دیواره‌ها یا کل سطح لایه‌ی ماسه است.

نتیجه‌گیری

نتایج جداگانه‌ی تأثیر اندازه‌ی ذرات در دو حالت وجود و عدم وجود لوله

با توجه به نتایج به دست آمده، دانه‌بندی کوچکتر در دبی نشستی پایین‌تری شروع به فرسایش می‌کند و در یک طول پسروی معین دبی نشستی مربوط به دانه‌بندی کوچکتر کمتر است، نتایج به دست آمده در صورتی است که نرخ افزایش ارتفاع یکسان باشد و همان‌طور که در دانه‌بندی ۱-۲ میلی‌متر مشاهده شد نرخ افزایش

منابع

- ایمان شعار، ف، حسن‌زاده، ی. و م. مجدزاده طباطبایی. ۱۳۸۹. مبانی اساسی و شواهد فرسایش لوله‌ای شکل در کناره‌های رودخانه‌ها. نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۲۳-۲۱ اردیبهشت ماه، ۱۰ ص.
- رستمی پور، م، مجدزاده طباطبایی، م، قربان بیگی، س. و ا. خورسندی آقایی. ۱۳۸۶. بررسی آزمایشگاهی فرسایش در اثر نشست آب از کناره رودخانه به عنوان عاملی مهم در فرسایش و کناره. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۲۳-۲۱ آبان ماه، ۸ ص.
- Hagerty, D. J. 1991a. Piping/sapping erosion I: Identification and Diagnosis. Journal of Hydraulic Engineering, 117: 991-1008.
- Hagerty, D. J. 1991b. Piping/sapping erosion II: Basic consideration. Journal of Hydraulic Engineering, 117: 1009-1025.
- Rinaldi, M., Casagli, N., Dapporto, S. and A. Gargini. 2004. Monitoring and modeling of pore water pressure changes and riverbank stability during flow events. Earth Surface Processes and Landforms Journal, 29: 237-254.