

مطالعه آزمایشگاهی مکان یابی و شکل حفره ها در مدیریت برداشت مصالح رودخانه ای

حامد حق نظر، رامین امینی^۲، مجتبی صانعی^۳

۱. دانشجوی دکتری مهندسی عمران - سازه های هیدرولیکی دانشگاه صنعتی شاهرود

۲. دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود

۳. دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۵/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۵/۲۱)

چکیده

رودخانه ها به عنوان یکی از مهمترین منابع قرضه مصالح سنگی محسوب می شوند و برداشت مصالح شن و ماسه ای از رودخانه ها با توجه به ویژگی های مورفولوژی آن و خصوصیات هیدرولیکی و ظرفیت حمل رسوب جریان از یک سو و نحوه برداشت مصالح از سوی دیگر میتواند اثرات منفی بر رودخانه ها داشته باشد لذا در این تحقیق با استفاده از مطالعه آزمایشگاهی، اثر فاصله و نوع برداشت دو حفره متوالی به منظور پرشدگی و احیای آنها جهت مدیریت برداشت با در نظر گرفتن آورد رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که با افزایش فاصله بین حفره ها، حفره بالادست به لحاظ حجم پر شده تغییری نمی کند. اما برداشت در راستای عرض کانال سبب افزایش ۱۰ درصدی حجم پر شده و افزایش ۴۲ درصدی سرعت مهاجرت حفره بالادست به سمت پایین دست می شود. از طرفی با دو برابر کردن فاصله بین حفره ها، برداشت در راستای عرض کانال باعث افزایش ۲۸ درصدی حجم پر شده حفره پایین دست نسبت به برداشت در راستای طول خواهد شد اما با دو برابر شدن فاصله بین حفره ها، کاهش سرعت مهاجرت برای حفره پایین دست نزدیک به ۷۰ درصد بوده و در حالت برداشت در راستای طول و یا عرض کانال تفاوت محسوسی ندارد

واژه های کلیدی: حفره برداشت، پرشدگی، سرعت مهاجرت، مصالح رودخانه ای

مقدمه

استفاده از شن و ماسه از دیرباز به همراه پیشرفت انسان در امور عمرانی کاربرد بیشتری یافته است و در حال حاضر رودخانه ها به عنوان یکی از مهمترین منابع قرضه مصالح سنگی محسوب می شوند. تامین مصالح مورد نیاز طرحهای عمرانی به عنوان یکی از شاخص های مهم و تعیین کننده در هزینه تمام شده، زمان اجرا و کیفیت طرح ها به شمار می آید. مصالح رودخانه ای به جهت دسترسی آسان، باعث کاهش هزینه ها شده و این امر سبب استفاده روز افزون از این منابع شده است. از جمله عوامل موثر در برداشت مصالح شن و ماسه ای از رودخانه ها با توجه به ویژگی های مورفولوژی آن و خصوصیات هیدرولیکی و ظرفیت حمل رسوب جریان از یک سو و نحوه برداشت مصالح از سوی دیگر میتواند اثرات منفی بر آنها داشته باشد و اگر در قالب ضوابط فنی و بر طبق دستورالعمل های کنترل کننده انجام نگیرد، قطعاً موجب آثار منفی از قبیل بهم خوردن تعادل طبیعی رودخانه، تخریب زمین های اطراف، آبیان و زیستگاه های پرندگان و جانوران منطقه خواهد شد. لذا ضرورت انجام

مطالعات مربوط به امکان سنجی برداشت شن و ماسه از رودخانه ها و ارائه راهکارهایی جهت کاهش اثرات ناشی از برداشت مصالح از لحاظ هیدرولیکی کاملاً ضروری می باشد. Wayne *et al.* (1989) در پژوهشی میدانی در رودخانه Hunter استرالیا و با نمونه برداری و تخمین بار بستر در ۵ ایستگاه این رودخانه به این نتیجه رسیدند که میزان برداشت شن و ماسه در این رودخانه سبب از بین رفتن لایه آرمور شنی و کاهش ارتفاع بستر شده و مقدار برداشت آن بیشتر از مقدار آورد رسوب سالیانه می باشد. Lee *et al.* (1993) به بررسی آزمایشگاهی مهاجرت حفره برداشت مستطیلی با دانه بندی یکنواخت پرداختند. ایشان تغییر شکل و مهاجرت حفره مستطیلی را به دو مرحله تقسیم کردند. مرحله اول از ابتدای شروع آزمایش تا لحظه ای است که در درون حفره، شیب بالادست (به دلیل پر شدن و مهاجرت به پایین) به شیب پایین دست برسد و از این زمان مرحله دوم شروع میشود. مرحله اول را دوره انتقال نامیدند که در طول این دوره حداکثر عمق آبستتگی کم و بیش ثابت میماند و مرحله دوم را دوره پخشیدگی نامیدند که در این مرحله حداکثر عمق آبستتگی با گذشت زمان شروع به کاهش میکند. ایشان دریافتند که حداکثر عمق آبستتگی در انتهای

استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS.04 پرداختند. این مطالعه با برداشت میدانی رودخانه صفاورد و تعریف دو سناریو در اثر برداشت بر مورفولوژی رودخانه که یکی برداشت مصالح از بستر رودخانه با اعماق ۱، ۲ و ۳ متر و دیگری برداشت مصالح از کناره های رودخانه با عرض ۱۵، ۳۰ و ۴۵ متر می باشد انجام دادند. نتایج مدل در تعیین تنش برشی برای سیلاب ۲ و ۵ ساله نشان داد که تاثیر تعمیق بیشتر از تاثیر تعریض بوده و تنش برشی شدیدتری ایجاد میکند. Ghafouri Azar *et al.* (2012) در پژوهشی با عنوان اثرات ناشی از حفره برداشت مصالح شن و ماسه بر پروفیل بستر رودخانه در شرایط آزمایشگاهی تغییرات زمانی و مکانی حفره برداشت را تحت شرایط مختلف جریان بررسی کردند. ایشان نتیجه گرفتند. در اثر برداشت شن و ماسه با گذشت زمان، جریان سبب میشود که رسوبات از بالادست حفره برداشته شده و با رسوبگذاری در دیوار بالادست و فرسایش در دیوار پایین دست در طول رودخانه منتقل شود. Li *et al.* (2013) به بررسی آزمایشگاهی و عددی جابجایی حفره برداشت مصالح پرداختند. آزمایش ها در دو حالت آب زلال و بستر متحرک با حفره برداشت با مقطع مثلثی انجام شد. نتایج نشان میدهد در شرایط آب زلال حفره جابجا نشده بلکه زاویه قرارگیری مصالح به دلیل فرسایش لبه بالادست و پایین دست کاهش یافته و سبب پر شدن قعر حفره می شود در شرایط بستر متحرک شیب بالادست به سمت عقب فرسایش پیدا کرده اما به دلیل ورود بار بستر، شیب بالادست حفره پر شده و در زاویه قرارگیری استقرار مصالح قرار میگیرد. اما در پایین دست فرسایش اتفاق می افتد. Madyise (2013) به بررسی میدانی رودخانه های منطقه Gaborone در آفریقای جنوبی پرداخت. ایشان با نمونه برداری میدانی از ۳ ناحیه مختلف برداشت مصالح، طول، عرض، عمق و سایر مشخصات حفره را برداشت کرد و معایب و مزایای برداشت شن و ماسه را بر محیط زیست و اکولوژی این منطقه بیان کرد. ایشان به این نتیجه رسیدند که تخریب دیواره رودخانه و فرسایش آن بیشترین تاثیر منفی ناشی از برداشت مصالح از رودخانه می باشد. Jang *et al.* (2015) با بررسی آزمایشگاهی و عددی رفتار حفره برداشت مصالح در کانال به این نتیجه رسیدند که رسوبات بالادست در حفره نشست کرده و حفره با شیب ثابت به پایین دست مهاجرت می کند. ایشان نشان دادند که با افزایش سرعت مهاجرت حفره، عمق حفره کاهش می یابد و همچنین سرعت مهاجرت به رسوب ورودی بستگی دارد. با توجه به مطالعات گذشته بیشتر تحقیقات انجام شده بصورت میدانی و با تمرکز بر تاثیر زیست محیطی برداشت مصالح بوده و از طرفی

دوره انتقال رخ میدهد. Decker *et al.* (1999) به بررسی اثرات ناشی از برداشت مصالح رودخانه ای بر زندگی و محیط زیست ماهیان در رودخانه های ایالت Georgia در آمریکا پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که برداشت مصالح اثرات زیان آوری بر شرایط زیست محیطی ماهیان به جای میگذارد. Salehi *et al.* (2002) به بررسی آزمایشگاهی و میدانی جابجایی حفره برداشت مصالح پرداختند. در بخش میدانی با حفره گودالهایی بر روی رودخانه گاورد در استان کردستان نحوه تغییرات این گودال ها ثبت شد. در مطالعه آزمایشگاهی با ایجاد حفره هایی در کف فوم، اثر طول و عمق حفره و دبی جریان بر جابجایی آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سرعت جابجایی حفره ها با دبی جریان و طول حفره نسبت مستقیم و با عمق حفره نسبت عکس دارد. از بین پارامترهای ذکر شده عمق حفره بیشترین اثر را بر جابجایی داشته است. Boudaghpour and Hashemi (2008) در مطالعه میدانی رودخانه چشمه کیل در شمال ایران، اثرات زیست محیطی برداشت بی رویه شن و ماسه از این رودخانه را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند برداشت شن و ماسه سبب ته نشست رس و لای شده و سبب می شود لایه نفوذ ناپذیر ایجاد شود و این امر از نشت آب به سفره های آب زیر زمینی جلوگیری می کند. Padmalal *et al.* (2008) به بررسی اثرات ناشی از برداشت شن و ماسه از رودخانه های هند پرداختند. ایشان با اندازه گیری های میدانی به این نتیجه رسیدند که برداشت مصالح سبب کاهش ۷ الی ۱۵ سانتی متری در تراز بستر می شود. همچنین حجم برداشت مصالح ۴۰ برابر بیشتر از حد مجاز تخمین زده شد. Bruce Melton (2009) به بررسی میدانی اثرات برداشت شن و ماسه از رودخانه Rio Tigre کاستاریکا پرداخت. ایشان به این نتیجه رسید که برداشت مصالح از رودخانه پایداری رودخانه را به دلیل از بین بردن لایه آرمور به هم میزند همچنین تعریض بستر رودخانه به واسطه برداشت شن و ماسه سبب افزایش سرعت جریان شده و فرسایش بستر را به همراه خواهد داشت. Ashraf *et al.* (2011) در پژوهشی میدانی در رودخانه Selangor مالزی با نمونه برداری از ۴ منبع برداشت شن و ماسه از این رودخانه و با مدل ریاضی انتقال رسوب به این نتیجه رسیدند که برداشت شن و ماسه، باربستر در محل برداشت راکاهش و علاوه بر آن قدرت حمل جریان در پایین دست را افزایش و فرسایش بالادست و کناره رودخانه را در پی داشته و میزان گل آلودگی و اندازه و نوع رسوبات انتقالی را نیز تغییر داده است. Amiri Tokaldany and Azizian (2011) به بررسی تعیین مکان های مناسب برداشت مصالح رودخانه ای با

بدون بعد موجود، شکل نهایی آنالیز ابعادی برای بررسی فرسایش و رسوبگذاری حفره برداشت مصالح بدست آمد.

$$\frac{V}{V_0} = f\left(\frac{L}{y}, \frac{l}{b}\right) \quad (\text{رابطه ۳})$$

آزمایش‌ها در آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در کانال آزمایشگاهی به طول مفید ۱۱ متر و عرض ۱/۵ متر و ارتفاع ۵۰ سانتی متر انجام شد. شکل (۱) تصویری از کانال آزمایشگاهی مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویر کانال آزمایشگاهی

حفره‌های بکار رفته در آزمایش‌ها به صورت هرم مستطیلی ناقص می‌باشد. در سری اول آزمایش‌ها، بعد بلند تر حفره در راستای طول کانال و بعد کوتاه تر در راستای عرض کانال قرار داده شد و در سری دوم آزمایش‌ها عکس این حالت در نظر گرفته شد. ابعاد کلی حفره‌ها $۹/۵ \times ۳۶ \times ۴۶$ سانتی متر بوده بنابراین دو نسبت $\frac{l}{b}$ برابر $۱/۲۸$ و $۰/۷۸$ در نظر گرفته شد. در واقع $\frac{l}{b} = ۱/۲۸$ بیانگر برداشت بیشتر مصالح در راستای طول کانال و $\frac{l}{b} = ۰/۷۸$ بیانگر برداشت بیشتر در راستای عرض کانال می‌باشد. جهت ایجاد حفره در کانال از قالب فلزی استفاده شده و دو حفره در راستای جریان با نسبت‌های مختلف $\frac{l}{y}$ و دو نسبت $\frac{l}{b}$ فوق‌الذکر، مطابق جدول (۱) تعبیه شدند. نسبت $\frac{l}{y}$ بیانگر اثر فاصله بین حفره‌ها و نسبت $\frac{l}{b}$ نشان دهنده نوع و شکل برداشت مصالح می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر و مشخصات جانمایی حفره‌ها در آزمایش‌ها

$\frac{L}{y}$	۸	۱۲	۱۶	۸	۱۲	۱۶
$\frac{l}{b}$	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۸

مصالح مورد استفاده از نوع ماسه یکنواخت با قطر متوسط ۱ میلی‌متر و ضریب یکنواختی ۱/۴۶ می‌باشد. در شکل (۲)

تحقیقات آزمایشگاهی بر روی سرعت مهاجرت حفره متمرکز شده است. از طرفی با توجه به اینکه میزان پرشدگی و همچنین محل مناسب جهت پر شدن بهتر حفره نقش مهمی در زمان بندی برداشت و همچنین بازگشت رودخانه به شرایط پایدار دارد لذا در این تحقیق با استفاده از مطالعه آزمایشگاهی اثر فاصله و شکل برداشت حفره‌ها به منظور پرشدگی و احیای آنها جهت مدیریت برداشت با در نظر گرفتن آورد رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

به منظور یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر فرسایش و رسوبگذاری حفره برداشت مصالح، آنالیز ابعادی روی پارامترهای مؤثر انجام شد. متغیرهای مستقل و مؤثر در این زمینه عبارتند از: عرض کانال (B) و شیب طولی مجرا (S_0)، فاصله حفره‌ها از هم (L)، فاصله حفره از دیواره (S)، حجم اولیه حفره قبل از آزمایش (V_0)، طول حفره (l)، عرض حفره (b)، سرعت متوسط جریان در مقطع قبل از حفره (U)، سرعت آستانه حرکت مصالح بستر (U_c) و عمق جریان (y)، قطر متوسط مصالح (d_{50})، غلظت رسوب ورودی (C_s)، وزن مخصوص رسوبات (ρ_s) و انحراف استاندارد توزیع اندازه مصالح (σ_g)، جرم مخصوص آب (ρ)، شتاب ثقل (g) و لزجت سینماتیکی سیال (ν). با انتخاب حجم نهایی حفره در انتهای آزمایش (V) به عنوان متغیر وابسته، رابطه‌ی (۱) بدست می‌آید:

$$V = f(B, S_0, L, S, V_0, l, b, C_s, U, U_c, y, d_{50}, \sigma_g, \nu, \rho, \rho_s, g) \quad (\text{رابطه ۱})$$

با در نظر گرفتن ρ ، g و y به عنوان متغیرهای تکراری، شکل کلی رابطه بالا را با استفاده از روش Π باکینگهام، می‌توان به صورت رابطه‌ی (۲) نوشت:

$$\frac{V}{y^3} = f\left(\frac{B}{y}, \frac{L}{y}, \frac{l}{y}, \frac{b}{y}, \frac{S}{y}, \frac{V_0}{y^3}, \frac{U}{\sqrt{gy}}, \frac{U_c}{\sqrt{gy}}, \frac{d_{50}}{y}, \sigma_g, \frac{g^2 y^2}{\nu}, \frac{\rho_s}{\rho}\right)$$

در این تحقیق پارامترهای بدون بعد S_0 ، σ_g و $\frac{\rho_s}{\rho}$ و C_s و $\frac{d_{50}}{y}$ مقداری ثابت در نظر گرفته شده اند اما این امر دلیلی بر بی تاثیر بودن این پارامترها بر ماهیت مسئله و آنالیز ابعادی نیست و در صورت تغییر این پارامترها نتایج تغییر پذیر می‌باشد. با ترکیب $\frac{U}{\sqrt{gy}}$ و $\frac{U_c}{\sqrt{gy}}$ پارامتر بی‌بعد $\frac{Uy}{\nu}$ و با توجه به آشفته بودن جریان، می‌توان از اثرات عدد رینولدز صرف نظر کرد. با ترکیب $\frac{U}{\sqrt{gy}}$ و $\frac{U_c}{\sqrt{gy}}$ پارامتر بی‌بعد $\frac{u}{u_c}$ حاصل می‌شود که این نسبت ثابت و در تمام آزمایشها ۱/۲ در نظر گرفته شده است و از اعداد بی‌بعد حذف می‌شود. با ترکیب سازی پارامترهای

پس از مدت زمان آزمایش (۶۰ دقیقه) مقادیر رسوب درون حوضچه جمع آوری، خشک و توزین شده و مشخص شد که در هر دقیقه حدوداً ۲۸۰ گرم رسوب از مقطع این کانال عبور می‌کند. این مقدار به عنوان تزریق رسوب در طول آزمایش به سیستم اعمال شد. جهت انجام آزمایش‌ها اصلی، در ابتدا با استفاده از صاف کننده بستر، سطح کانال هموار شده و حفره در



خط
مجد
توس
و ج
فرس
بیش
حفر
روی
س ۶

آزمایش ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شده و تغییرات بستر در خط مرکزی شکل ۳- قالب فلزی جهت تعبیه حفره‌ها قبل از شروع آزمایش^۲ در نسبت $\frac{l}{b} = 1/28$ در ۱۹ نقطه طولی و برای نسبت $\frac{l}{b} = 0/78$ در ۱۸ نقطه طولی برداشت شده تا میزان مهاجرت حفره‌ها و تغییرات آن به جهت فرسایش و رسوب گذاری مشخص شود. پس از پایان آزمایش، به منظور تعیین میزان پرشدگی، حفره‌ها در راستای طولی و عرضی شبکه بندی شده و توپوگرافی بستر برداشت شده است.

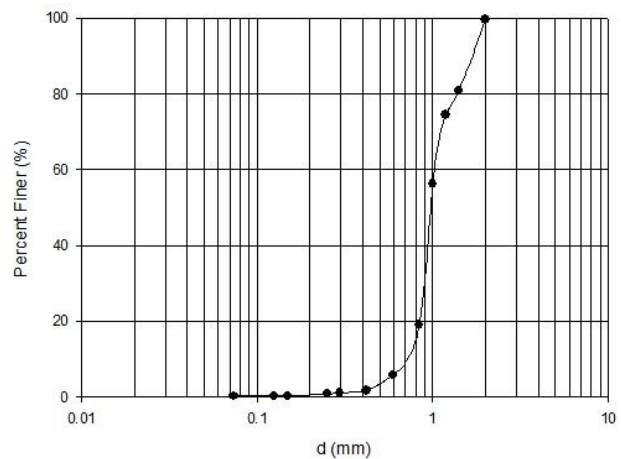
نتایج و بحث

با شروع آزمایش مشاهده شد که مصالح از بالادست به داخل حفره‌ها رسوب گذاری شده و در شیب بالادست و کف حفره نشست می‌کنند و باعث پیشروی شیب بالادست حفره به سمت پایین دست می‌شوند. همچنین مصالح از لبه پایینی حفره فرسایش می‌یابند و به سمت پایین دست حرکت می‌کنند همچنین حداکثر عمق حفره کاهش یافته و به سمت پایین دست حرکت می‌کند. نتایج حفره‌های بالادست و پایین دست بصورت مجزا به شرح ذیل ارائه شده است.

حفره بالادست

همانگونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود در هر سه نسبت $\frac{l}{y}$ پس از ۶۰ دقیقه حفره بالادست تغییر شکل یکسان دارد. و این امر مستقل از شکل و نوع برداشت بوده و در هر دو نسبت $\frac{l}{b}$

منحنی دانه بندی استفاده شده در آزمایش‌ها نشان داده شده است. شکل (۳) قالب‌های فلزی جهت تعبیه حفره‌ها در بستر کانال را نشان می‌دهد. به منظور دقت بیشتر، هر آزمایش دو بار انجام شده و میانگین دو آزمایش به عنوان معرف نتایج برای آن حالت استفاده شده و در مجموع دوازده آزمایش انجام شد.

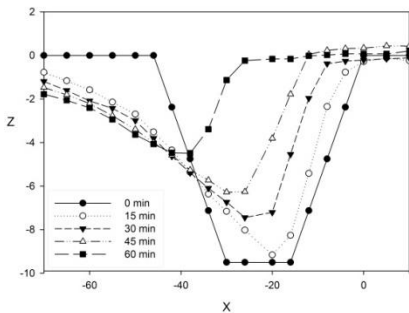


شکل ۲- منحنی دانه بندی در آزمایش‌ها

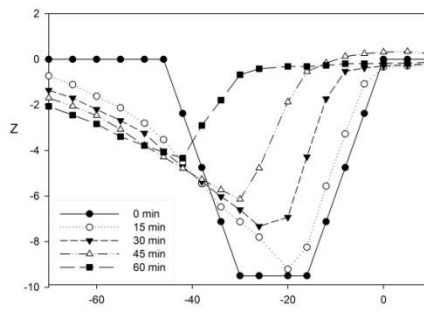
قبل از انجام آزمایش‌ها لازم بود که سرعت آستانه حرکت مصالح بستر و همچنین میزان تزریق رسوب از بالادست مشخص شود. روابط تجربی متعددی جهت تعیین سرعت آستانه حرکت مصالح وجود دارد اما بدلیل اینکه این روابط برای شرایط خاصی استخراج شده و قابل تعمیم به همه‌ی موارد نیست لذا به منظور صحت و دقت بیشتر، آزمایش آستانه حرکت در کانال مذکور انجام شد. بدینگونه که بستر کاملاً صاف و هموار شده و پس از باز کردن پمپ و غرقاب شدن کانال با استفاده از سرریز بادبزی در پایین دست، عمق جریان برابر ۶ سانتی متر برقرار شد. سپس دبی به آهستگی افزایش پیدا کرده و عمق جریان روی دریچه ثابت نگه داشته شد. در دبی مشخصی و در عمق ثابت ۶ سانتی متر مصالح بستر شروع به حرکت نمودند. این لحظه به عنوان آستانه حرکت انتخاب شده و با قرائت ارتفاع آب روی سرریز مستطیلی پایین دست، دبی در واحد عرض در این لحظه معادل $19/08 \text{ lit/s.m}$ ثبت شد. با توجه به مشخصات هیدرولیکی کانال اعم از عمق و عرض، سرعت آستانه حرکت معادل $0/318$ متر بر ثانیه بدست آمد. با توجه به نسبت $\frac{u}{u_c} = 1/2$ دبی آزمایش‌های اصلی $34/4$ لیتر بر ثانیه محاسبه شد. پس از این مرحله، در آزمایشی دیگر حوضچه‌ای در پایین دست کانال روی بستر ایجاد شد تا پس از صاف کردن بستر و غرقاب شدن کانال و تنظیم شرایط آزمایشگاهی در عمق و دبی آزمایش‌ها، مصالح فرسایش یافته از بستر، در آن ته نشین شود.

تر شده و این امر سبب می‌شود فاصله شیب بالادست و پایین دست حفره کم شود و با حرکت حفره به سمت پایین دست زودتر به شیب پایین دست می‌رسد. این امر باعث تسریع در پر شدن حفره و بالا آمدن قعر حفره می‌شود.

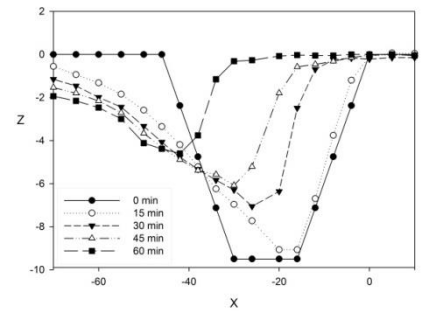
صادق است. بنابراین دورتر شدن حفره پایین دست تاثیری بر پرشدگی و پیشروی حفره بالادست ندارد. اما میزان پرشدگی و مهاجرت حفره بالادست در $\frac{l}{b} = 0.78$ بیشتر از $\frac{l}{b} = 1.28$ می‌باشد زیرا عرض حفره در این حالت بیشتر شده و مقدار بیشتری از رسوب وارد حفره می‌شود. از طرفی طول حفره کوتاه



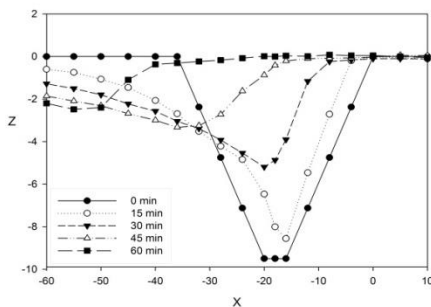
(الف)



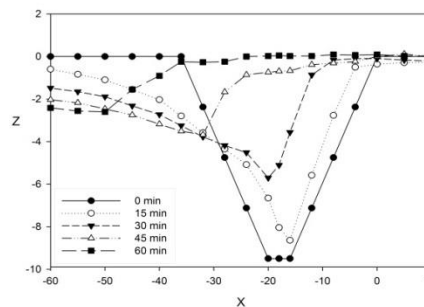
(ب)



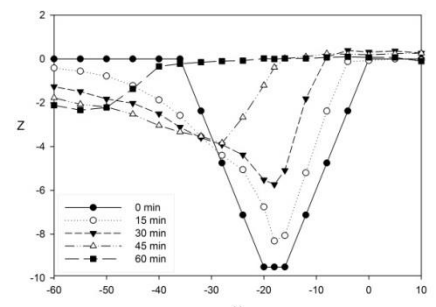
(ج)



(د)



(ه)

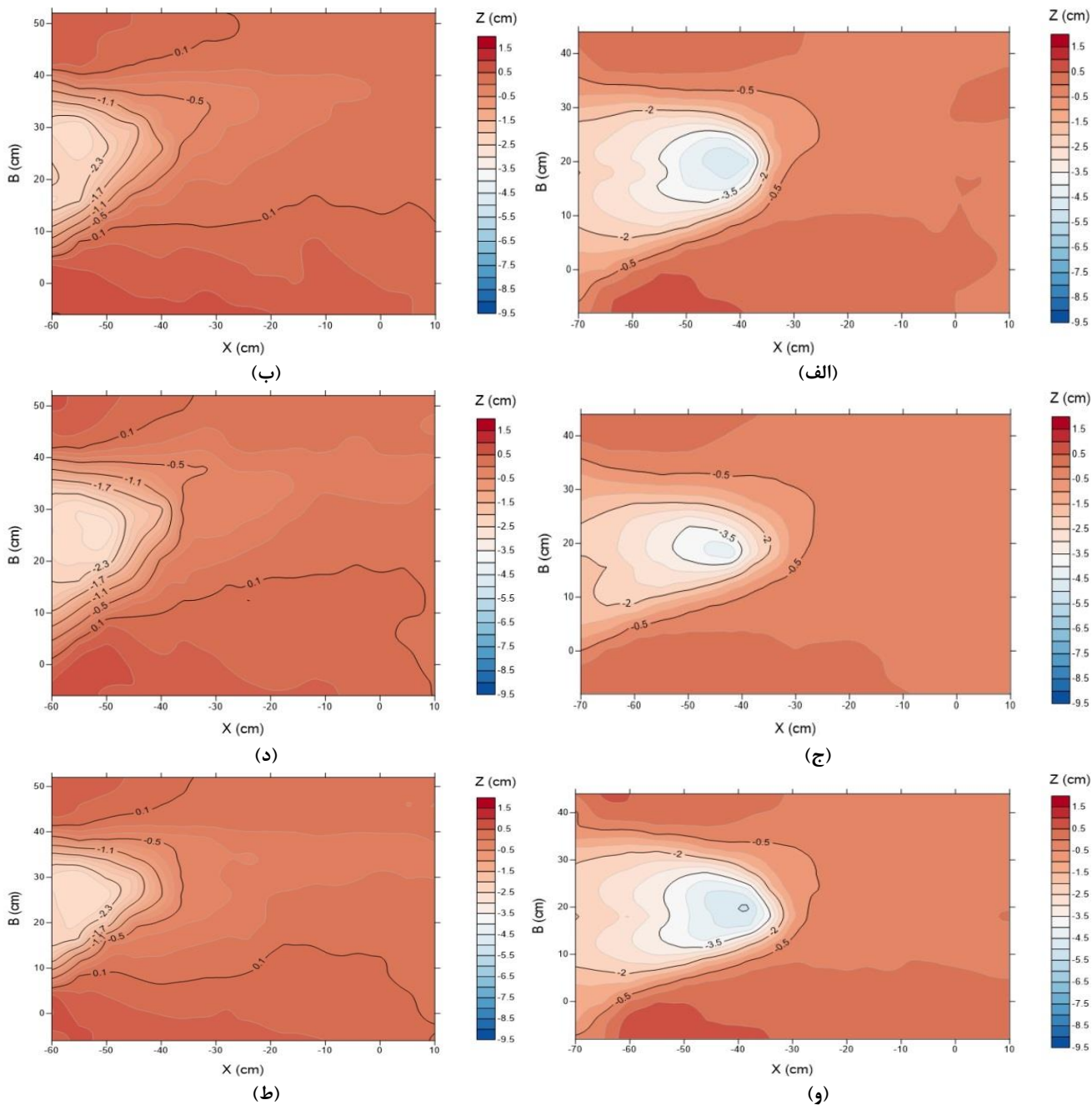


(و)

شکل ۴- الگوی انتقال رسوب در حفره بالادست و اطراف آن (الف) $\frac{l}{b} = 1.28$ و $\frac{L}{y} = 8$ (ب) $\frac{l}{b} = 1.28$ و $\frac{L}{y} = 12$ (ج) $\frac{l}{b} = 1.28$ و $\frac{L}{y} = 16$ (د) $\frac{l}{b} = 0.78$ و $\frac{L}{y} = 8$ (ه) $\frac{l}{b} = 0.78$ و $\frac{L}{y} = 12$ (و) $\frac{l}{b} = 0.78$ و $\frac{L}{y} = 16$ (جهت جریان از راست به چپ)

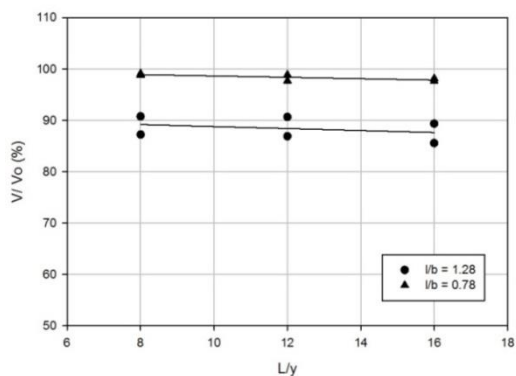
بالادست تاثیری ندارد. اما براساس شکل های (۴) و (۵) میزان کمی پرشدگی و پیشروی در حالت برداشت در راستای عرض کانال بیشتر از برداشت در راستای طول کانال می‌باشد. تاثیر فاصله بین حفره‌ها در تغییرات حجم حفره بالادست در قالب بهترین برآزش از نقاط در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که با دور تر شدن حفره پایین دست، حجم حفره بالادست کاهش نامحسوسی می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که دور تر شدن حفره پایین دست در پرشدگی حفره بالادست تاثیر گذار نمی‌باشد. اما برداشت از حفره بالادست در راستای عرض باعث افزایش ۱۰ درصدی حجم پر شده نسبت به برداشت در راستای طول خواهد شد.

همانگونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود بالادست حفره پس از گذشت زمان به حالت دایره ای تبدیل می‌شود و این نشان دهنده این است که میزان رسوب گذاری در کنج‌ها بیشتر از ضلع‌های حفره است. در پایین دست حالت کشیدگی اتفاق می‌افتد که نشان می‌دهد فرسایش در ضلع‌ها بیشتر از فرسایش در کنج‌ها است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که تغییرات دوبعدی توپوگرافی حفره و اطراف آن به لحاظ کیفی با افزایش فاصله حفره پایین دست تغییر آنچنانی نمی‌کند و پر شدن حفره به صورت نیم دایره و فرسایش آن به صورت یکسان از لبه پایین دست صورت می‌گیرد. این امر نشان می‌دهد که جابجایی حفره پایین دست بر شکل پر شدن و فرسایش حفره



شکل ۵- تغییرات دو بعدی حفره بالادست و اطراف آن (الف) $\frac{L}{y} = 8$ و $\frac{l}{b} = 1/28$ (ب) $\frac{L}{y} = 8$ و $\frac{l}{b} = 0.78$ (ج) $\frac{L}{y} = 8$ و $\frac{l}{b} = 1/28$ (د) $\frac{L}{y} = 12$ و $\frac{l}{b} = 0.78$ (ه) $\frac{L}{y} = 12$ و $\frac{l}{b} = 1/28$ (و) $\frac{L}{y} = 16$ و $\frac{l}{b} = 0.78$ (جهت جریان از راست به چپ)

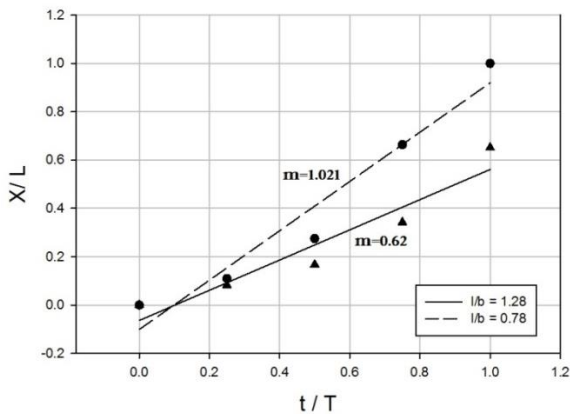
مهاجرت حفره به سمت پایین دست به طور کلی موجب محو شدن حفره می شود و از جهت احیای حفره مطلوب می باشد. لذا مهاجرت حفره ها نیز جهت تعیین مکان و شکل مناسب برداشت حائز اهمیت می باشد. شکل ۷ نمودار بدون بعد مکان- زمان پیشانی حفره بالادست را نشان می دهد. بعد طول مهاجرت با طول حفره و بعد زمان مهاجرت با زمان نهایی آزمایش بی بعد شده است و شیب هر کدام از نمودارها بیانگر سرعت مهاجرت پیشانی حفره به سمت پایین دست است. بدین صورت که اگر شیب نمودار (m) بزرگتر از یک باشد یعنی در



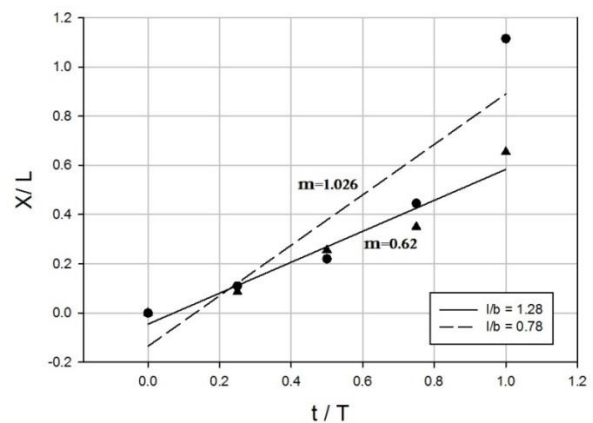
شکل ۶- تاثیر فاصله بین حفره ها بر پرشدگی حفره بالادست

صورتی برداشت در راستای عرض کانال صورت گیرد شیب نمودار (m) برای هر نسبت ۱۶ و $\frac{L}{y} = 12.8$ به ترتیب ۱/۰۲۳ و ۱/۰۲۱، ۱/۰۲۶، $m = 1/0.26$ می‌باشد که نشان دهنده پر شدن کامل در زمان آزمایش است. اما در صورتی که حفره در راستای طول کانال برداشت شود به ترتیب ۰/۵۷ و ۰/۶۲، $m = 0.62$ بوده که نشان می‌دهد حفره به طور کامل پر نشده است. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که در صورت برداشت مصالح در راستای عرض کانال سرعت مهاجرت در حدود ۴۲ درصد افزایش می‌یابد.

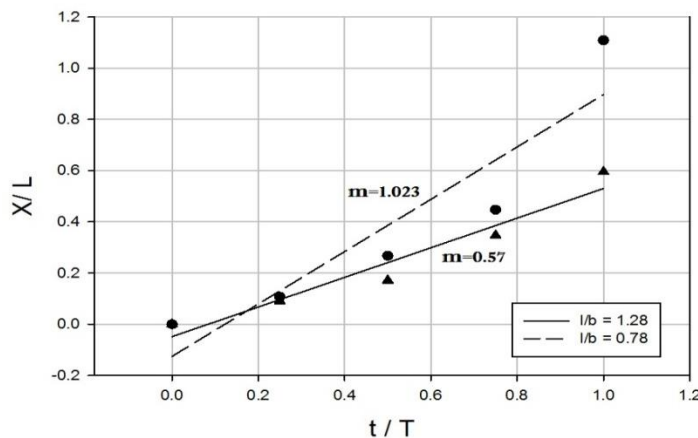
زمان ۶۰ دقیقه حفره نه تنها پر شده بلکه به پایین دست نیز مهاجرت کرده است. اگر $m = 1$ باشد یعنی در زمان آزمایش مرز بالادست حفره به مرز پایین دست رسیده و طول کل حفره پر شده است. اگر $m < 1$ باشد بدین معنی است که مهاجرت حفره در زمان آزمایش کم بوده و حفره کامل پر نشده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود افزایش فاصله بین حفره‌ها در سرعت مهاجرت بی‌تاثیر است و هر چه حفره دور تر یا نزدیک تر شود سرعت مهاجرت برای هر نسبت $\frac{L}{b}$ تغییر نمی‌کند. اما نسبت $\frac{L}{b}$ برای سرعت مهاجرت تاثیر گذار می‌باشد. در



(ب)



(الف)



(ج)

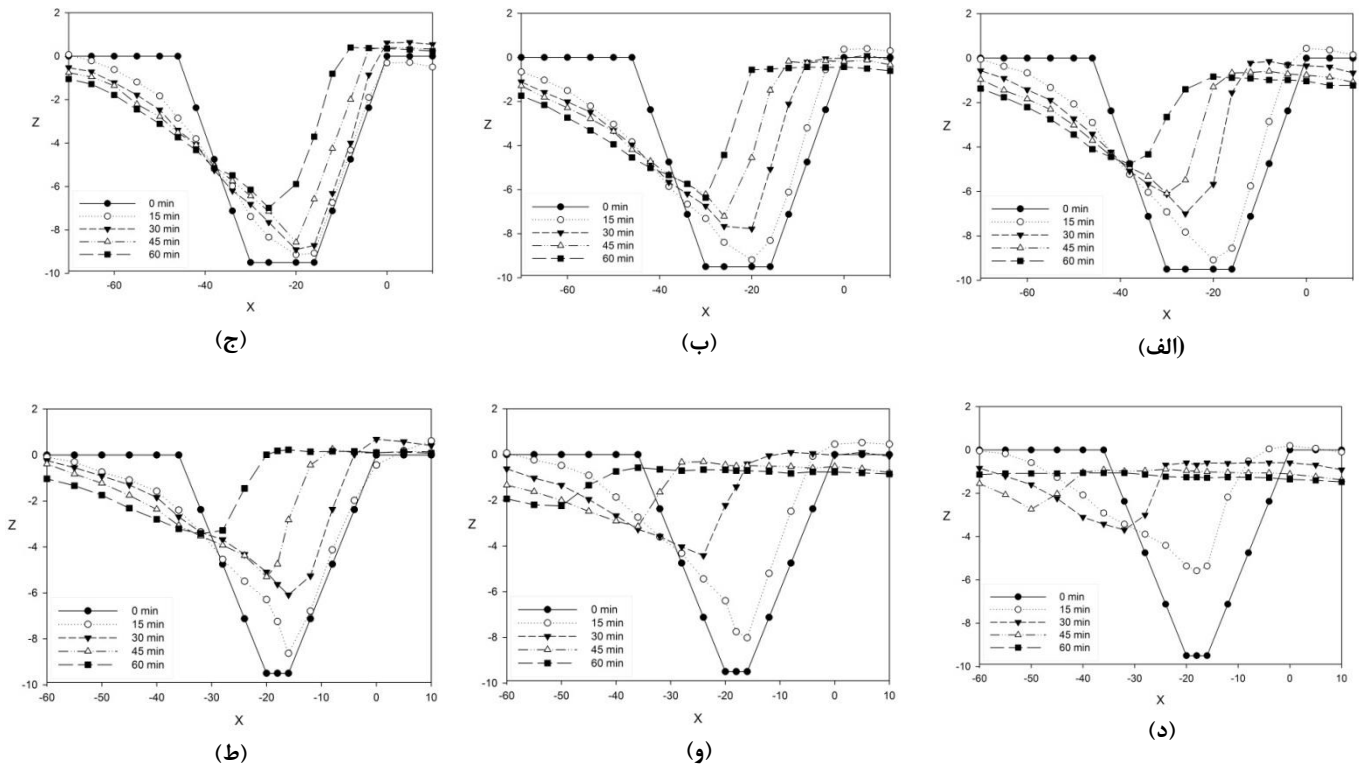
شکل ۷: نمودار بدون بعد مکان-زمان پیشانی حفره بالادست (الف) $\frac{L}{y} = 8$ (ب) $\frac{L}{y} = 12$ (ج) $\frac{L}{y} = 16$

حفره پایین دست بر مبنای فرسایش حفره بالادست است. وقتی حفره پایین دست به بالادست نزدیک باشد به لحاظ کمی مقدار بیشتری از رسوبات فرسایش یافته از بالادست به حفره پایین دست نشست می‌کند و رسوبات زودتر از حفره بالادست به حفره پایین دست می‌رسند و باعث مهاجرت بیشتر حفره به

حفره پایین دست همانگونه که در شکل (الف الی ج) مشاهده می‌شود در نسبت $\frac{L}{b} = 1/28$ ، با دورتر شدن حفره پایین دست از میزان رسوب گذاری درون حفره و مهاجرت حفره به سمت پایین دست کاسته می‌شود. این امر به این علت اتفاق می‌افتد که پر شدن

فرسایش یافته از حفره بالادست به حفره پایین دست برسد و از طرفی باید فاصله بیشتری را نیز طی کند. اما میزان پرشدگی با توجه به این شکل قابل پیش بینی نبوده و نتایج با استفاده از برداشت توپوگرافی سطح حفره در قسمت های بعدی ارائه خواهد شد.

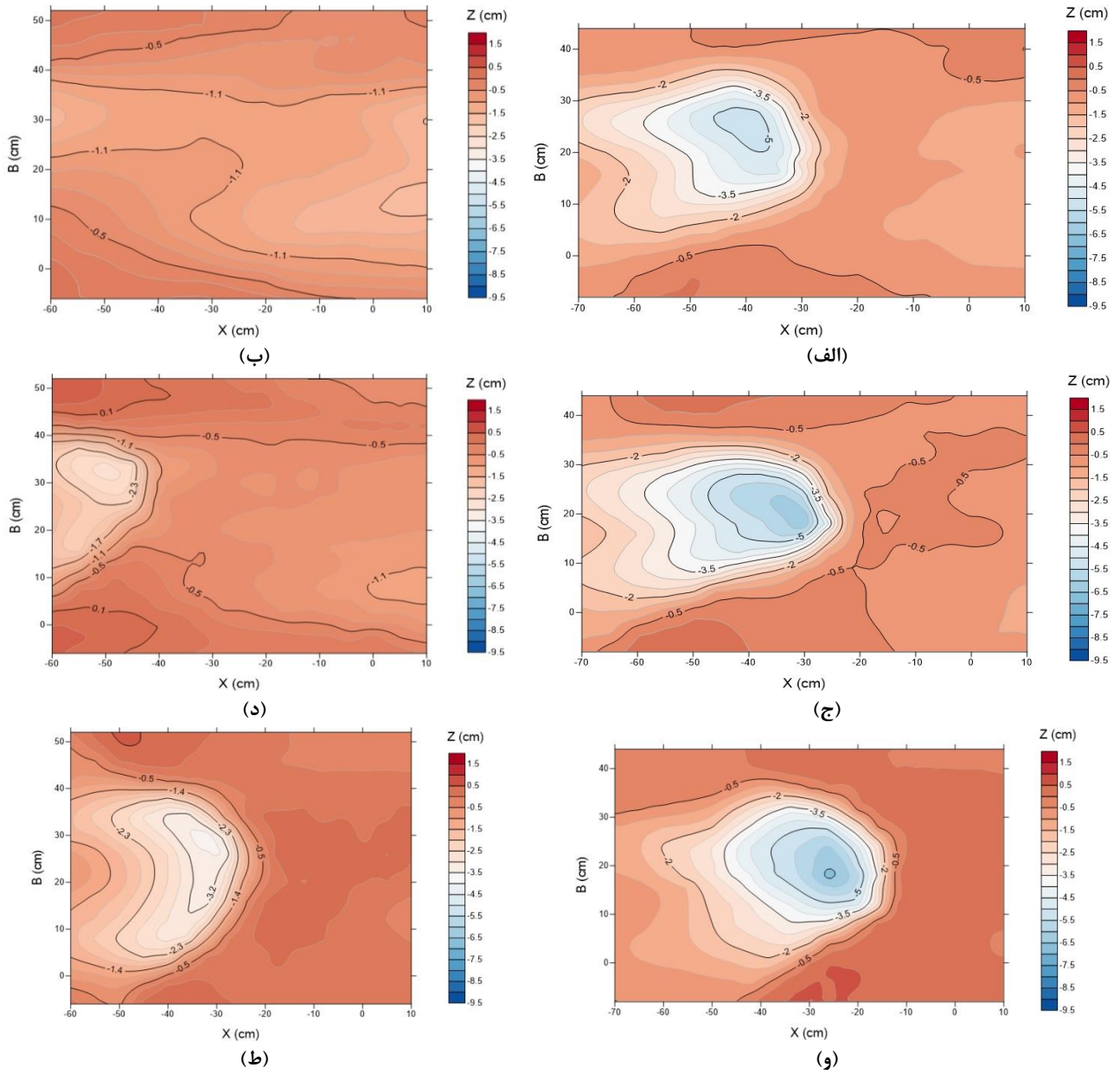
سمت پایین دست می شوند. همانگونه در شکل (۸-د الی ظ) مشاهده می شود با دورتر شدن حفره، میزان مهاجرت حفره به سمت پایین دست کم می شود. هر چه فاصله دو حفره افزایش یابد میزان پرشدگی حفره پایین دست در هر گام زمانی ۱۵ دقیقه کاهش می یابد زیرا زمان بیشتری لازم است تا مصالح



شکل ۸- الگوی انتقال رسوب در حفره پایین دست و اطراف آن (الف) $\frac{L}{y} = 8$ و $\frac{l}{b} = 1/28$ (ب) $\frac{L}{y} = 12$ و $\frac{l}{b} = 1/28$ (ج) $\frac{L}{y} = 16$ و $\frac{l}{b} = 1/28$ (د) $\frac{L}{y} = 8$ و $\frac{l}{b} = 0.78$ (ه) $\frac{L}{y} = 12$ و $\frac{l}{b} = 0.78$ (و) $\frac{L}{y} = 8$ و $\frac{l}{b} = 0.78$ (ز) جهت جریان از راست به چپ

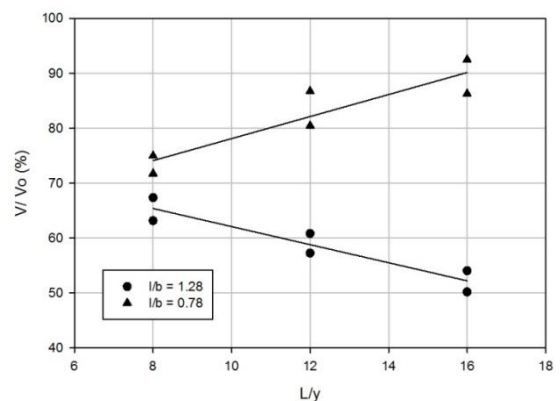
یابد. اما اگر برداشت در راستای عرض کانال انجام شود عکس نتیجه قبل اتفاق می افتد و با افزایش فاصله بین حفره ها حجم پر شده حفره پایین دست افزایش می یابد. اگر چه در شکل (۸-د) و (۹-د) حفره کاملا پر شده است اما بدلیل فرسایش شده ی حفره، پایین آمده و این امر سبب می شود از حجم پر شده کاسته شود. همانگونه که مشاهده می شود حفره در حالت $\frac{L}{y} = 8$ پس از گذشت زمان کاملا به پایین دست مهاجرت کرده و کل حفره پر شده است. این امر در حالت $\frac{L}{y} = 12$ نیز اتفاق می افتد. اما حجم پر شده نسبت به دو حالت دیگر کمتر است و این امر بخاطر پایین افتادگی تراز سطح حفره اتفاق می افتد. به گونه ای که در $\frac{L}{y} = 8$ ، یا به عبارتی با دو برابر کردن فاصله بین حفره ها، برداشت در راستای طول کانال باشد، با افزایش ۲۸ درصدی حجم پر شده حفره پایین دست خواهد شد.

براساس شکل (۹) و با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی، حرکت رسوبات فرسایش یافته از بالادست به گونه ای است که از دو طرف حفره به صورت مورب و واگرا حرکت کرده و با پیشروی به سمت جلو بر سطح آن افزوده می شود این امر سبب می شود هر چه فاصله حفره پایین دست دورتر باشد مقادیر کمتری از رسوب فرسایش یافته وارد حفره پایین دست شود و مقداری از رسوبات فرسایش یافته از اطراف حفره پایین دست فرار می کند و این امر مستقل از نوع و شکل برداشت می باشد. تاثیر فاصله بین حفره ها در تغییرات حجم حفره پایین دست در قالب بهترین برازش از نقاط در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می شود که با دور تر شدن حفره پایین دست، حجم پر شده حفره به نوع و شکل برداشت بستگی دارد. اگر برداشت در راستای طول کانال باشد، با افزایش فاصله بین حفره ها، حجم پر شده حفره پایین دست کاهش می



شکل ۹- تغییرات دو بعدی حفره پایین دست و اطراف آن الف) $\frac{l}{b} = \frac{1}{28}$ و $\frac{l}{y} = 8$ ب) $\frac{l}{b} = \frac{1}{78}$ و $\frac{l}{y} = 8$ ج) $\frac{l}{b} = \frac{1}{28}$ و $\frac{l}{y} = 16$ د) $\frac{l}{b} = \frac{1}{78}$ و $\frac{l}{y} = 12$ (جهت جریان از راست به چپ)

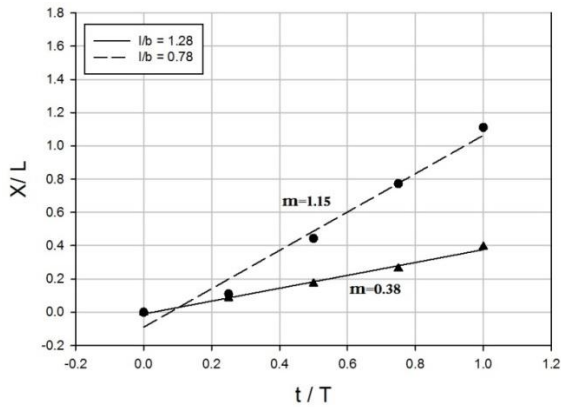
شکل ۱۱ نمودار بدون بعد مکان- زمان پیشانی حفره پایین دست را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود هم افزایش فاصله بین حفره‌ها و هم نوع و شکل برداشت در سرعت مهاجرت تاثیر گذار است. در حالی که برداشت در راستای طول کانال انجام شود با افزایش فاصله بین حفره‌ها، سرعت مهاجرت حفره پایین دست کاهش یافته به گونه‌ای که شیب نمودار (m) برای هر نسبت ۱۶ و ۱۲، ۸ به ترتیب ۰/۱۶، ۰/۳۸ و ۰/۵۹، m می‌باشد و این بیانگر این مطلب است که با دو برابر کردن فاصله بین حفره‌ها، سرعت مهاجرت در حالت برداشت در



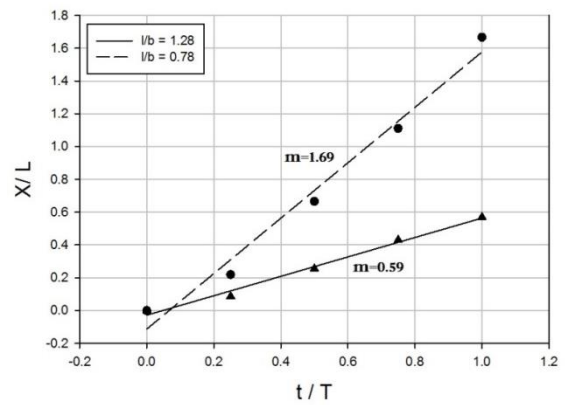
شکل ۱۰- تاثیر فاصله بین حفره‌ها بر پرشدگی حفره پایین دست

نسبت ۱۶ و $\frac{L}{y} = 12.8$ به ترتیب 0.54 و $1/15$ می باشد و این بیانگر این مطلب است که با دو برابر کردن فاصله بین حفره ها، سرعت مهاجرت در حالت برداشت در راستای عرض کانال ۶۸ درصد کاهش می یابد.

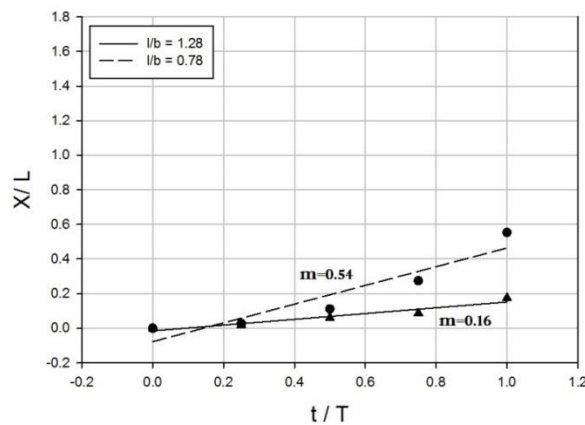
راستای طول کانال ۷۳ درصد کاهش می یابد اما در هیچکدام حفره کامل پر نمی شود چون مقدار m کوچکتر از یک است. در حالتی که برداشت در راستای عرض کانال انجام شود هرگاه فاصله بین حفره ها افزایش یابد، سرعت مهاجرت حفره پایین دست نیز کاهش یافته به گونه ای که شیب نمودار (m) برای هر



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۱۱: نمودار بدون بعد مکان-زمان پیشانی حفره پایین دست (الف) $\frac{L}{y} = 8$ (ب) $\frac{L}{y} = 12$ (ج) $\frac{L}{y} = 16$

افزایش ۱۰ درصدی حجم پر شده حفره بالادست می شود. افزایش فاصله بین حفره ها، در سرعت مهاجرت حفره بالادست بی تاثیر است اما نوع و شکل برداشت در سرعت مهاجرت تاثیر گذار می باشد. نتایج نشان میدهد که در صورت برداشت مصالح در راستای عرض کانال سرعت مهاجرت در حدود ۴۲ درصد افزایش می یابد.

حفره پایین دست متأثر از فاصله بین حفره ها و نوع و شکل برداشت می باشد به گونه ای که اگر برداشت در راستای طول کانال باشد، با افزایش فاصله بین حفره ها، حجم پر شده حفره پایین دست کاهش می یابد. اما اگر برداشت در راستای

نتیجه گیری

در این مطالعه آزمایشگاهی، تاثیر فاصله و نوع برداشت حفره های متوالی در مدیریت بهره برداری و برداشت مصالح رودخانه ای به لحاظ میزان پرشدگی و مهاجرت حفره ها (بدون در نظر گرفتن مهاجرت پس رونده) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش ها نشان می دهد:

با افزایش فاصله بین حفره ها، حفره بالادست به لحاظ حجم پر شده تغییری نمی کند و این امر مستقل از شکل و نوع برداشت بوده و در هر دو برداشت در راستای طول یا عرض کانال صادق است. اما برداشت در راستای عرض کانال سبب

افزایش فاصله بین حفره‌ها و همچنین نوع و شکل برداشت در سرعت مهاجرت حفره پایین دست تاثیر گذار است. با دو برابر کردن فاصله بین حفره‌ها، سرعت مهاجرت در حالت برداشت در راستای طول کانال ۷۳ درصد کاهش یافته و در حالت برداشت در راستای عرض کانال ۶۸ درصد کاهش می‌یابد.

عرض کانال انجام شود عکس نتیجه قبل اتفاق می‌افتد و با افزایش فاصله بین حفره‌ها حجم پر شده حفره پایین دست افزایش می‌یابد. با دو برابر کردن فاصله بین حفره‌ها، برداشت در راستای عرض کانال باعث افزایش ۲۸ درصدی حجم پر شده حفره پایین دست نسبت به برداشت در راستای طول خواهد شد.

REFERENCES

- Amiri Tokaldany, E., Azizian, A. (2011). Determining Appropriate Locations for Bed Material Extraction Using The HEC-RAS.04 Numerical Model, 5th National Conference on Civil Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (in Farsi)
- Ashraf, M.A., Jamil Maah, M., Yusoff, I., Wajid, A., Mahmood, K. (2011). Sand mining effects, causes and concerns: A case study from Bestari Jaya, Selangor, Peninsular Malaysia, Scientific Research and Essays, 6(6), 1216-1231
- Boudaghpour, S., Hashemi Monfared, S.A. (2008). Environmental Effects of Irregular Extracting of Gravel from River Beds. WSEAS Transactions on Environment and Development, 4(5)
- Bruce Melton, P.E. (2009). In-stream gravel mining impacts and environmental degradation feedback associated with gravel mining on the Rio Tigre of the OSA Peninsula, Costa Rica, and the proposed ADI Jimenez Gravel Mining Concession, Melton Engineering Services Austin 8103 Kirkham Austin, Texas 78736
- Decker, C., Keyes, J., Rhett Jackson, C., Shelton, J., Jackson, B. (1999). Effects of sand dredging on channel morphology, invertebrate communities and fish communities in urban dekalb county streams, Proceedings of the 1999 Georgia Water Resources Conference. USA
- Ghafouri Azar, M., Davoudi, M.H., Amiri, E. (2011). Effects of Gravel and Sand Mining Pits on The River Bed Profile, 6th National Conference on civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. (in Farsi)
- Jang, C., Shimizu, Y., Lee, G.H. (2015). Numerical Simulation of the Fluvial Processes in the Channels by Sediment Mining” KSCE Journal of Civil Engineering 19(3):771-778
- Lee, H.Y., Fu, D.T., Song, M.H. (1993). Migration of Rectangular mining pit composed of uniform sediment. Journal of Hydraulic Engineering, Asce, 119(1)
- Li, J., Qi, M., Jin, Y. (2013). Experimental and Numerical Investigation of Riverbed Evolution in Post-Damaged Conditions”, Proceeding of 2013 IAHR World Congress, China
- Madyise, T. (2013). Case study on environmental impacts of sand mining and gravel extraction for urban development in Gaborone, M.Sc. thesis, University of South Africa.
- Padmalal, D., Maya, K., Sreebha, S., Sreeja, R. (2008). Environmental effects of river sand mining: a case from the river catchments of vembanad lake, southwest coast of India. Environmental Geology, 54: 879-889.
- Salehi Neishabouri, S.A.A., Farhadzadeh, A., Amini, Ata. (2002). Experimental and field study on mining-pit migration. International Journal of Sediment Research, 17(4): 323-331
- Wayne, D., Geary, P.M., Outhet, D.N. (1989). Potential impacts of sand and gravel extraction on the Hunter River, New South Wales, Australian Geographical Studies.