

بررسی آزمایشگاهی تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده شش کانال آبیاری در استان خوزستان

ناصر وجدانی^۱ و مهدی قمشی^۲

چکیده

تحقیقات انجام شده درخصوص آستانه حرکت رسوبات در مجاری روباز، محدود به مواد رسوبی اصطلاحاً درشت دانه (ماسه و ذرات درشت تر از آن) بوده و در برگرفته مواد رسوبی دانه ریز مثل رس و سیلت نمی باشد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی پدیده فرسایش و تعیین تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده چند کانال در استان خوزستان است. آزمایشهای مورد نظر در دو فاز فیزیکی - شیمیایی و هیدرولیکی روی رسوبات ریز دانه جمع آوری شده از مواد بستر کانالهای آبیاری شش منطقه خوزستان شامل دشت اوان، هندیجان، ویس، شادگان، خلف آباد و وصیله که دارای رسوبات چسبنده بودند صورت گرفت. نتایج آزمایشگاهی نشان داد فرسایش رسوبات چسبنده بصورت تصادفی و مطابق با تئوری فرسایش اینیشتن و هون لی، هنگام شکستن تصادفی زیر لایه آرام و غلبه نیروهای هیدرولیکی محرک بر نیروهای مقاوم اتفاق می افتد. مقادیر تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات این کانالها بین $0/96$ برای منطقه شادگان تا $2/30$ نیوتن بر مترمربع برای منطقه هندیجان متغیر است. از نتایج بدست آمده می توان جهت طراحی کانالهای انتقال آب و بررسی پدیده فرسایش و انتقال رسوبات رودخانه ها و کانالها در این مناطق و مناطق مشابه که دارای رسوبات چسبنده می باشند، استفاده کرد.

کلید واژه ها: رسوبات چسبنده، آستانه حرکت، تنش برشی بحرانی، فرسایش و رسوبگذاری کانالها

مقدمه

می باشند وارد شبکه های آبیاری شده و مشکلات بعضاً لاینحلی را به وجود می آورند. بعضی از مشکلاتی که در اثر انتقال رسوبات به شبکه های آبیاری به وجود می آید عبارت است از:

- ۱- در نتیجه ته نشین شدن مواد رسوبی در کانالها، ظرفیت جریان کم می شود.
- ۲- وجود مواد درشت دانه، موجب فرسایش و خرابی دیواره های کانال می شود.
- ۳- قطع آب برای لایروبی کانالها باعث قطع جریان آب به طرف مزارع می شود.

رودخانه ها به همراه آب مقداری رسوب با خود حمل می کنند. این رسوب حاصل فرسایش کف و دیواره رودخانه و یا فرسایشی است که در اثر وقوع بارندگی و جاری شدن رواناب سطحی روی حوضه آبریز رودخانه به وجود آمده است. میزان رسوبی که یک رودخانه قادر است حمل نماید، بستگی به دبی آن، شرایط هیدرولیکی رودخانه، نوع و میزان رسوبات کف و عوامل دیگر دارد. نتیجه اینکه این رسوبات از محلهای آگیری رودخانه که معمولاً به صورت آگیری های ثقلی یا ایستگاه های پمپاژ

۱- دانشجوی سابق کارشناس ارشد سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و مهندسین مشاور سامان آبراه

تاریخ دریافت: ۸۲/۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۸۵/۷/۳

(Nnvejdani@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- هزینه اقتصادی لایروبی کانالها بسیار گران تمام می‌شود.

طراحی کانالها معمولاً بر اساس سرعتی صورت می‌گیرد که رسوبات معلق جریان ته‌نشین نشوند. معیار مورد استفاده در حال حاضر، بر اساس انتقال رسوبات غیرچسبنده (ماسه و ذرات درشت‌تر از آن) می‌باشد. حال این سؤال پیش می‌آید که "چرا در بیشتر کانالهای خوزستان و مناطق دیگر، میزان رسوبات ته‌نشین شده بسیار بالا است." جواب این سؤال در این حقیقت نهفته است که در خوزستان و مناطق مشابه، ذرات رسوبی اکثراً ریزدانه می‌باشند و همین مسئله سبب ایجاد چسبندگی در رسوبات ته‌نشین شده می‌شود. نحوه فرسایش این رسوبات که اصطلاحاً رسوبات چسبنده نامیده می‌شوند با رسوبات غیرچسبنده بسیار متفاوت است. در این رسوبات قبل از اینکه فرسایش اتفاق بیافتد باید چسبندگی بین ذرات شکسته شود، یعنی تنش برشی وارده از طرف جریان باید بیشتر از تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات باشد.

یک ذره رسوبی که در معرض جریان آب قرار دارد تحت تأثیر دو دسته نیرو می‌باشد:

۱) نیروهای هیدرولیکی که ناشی از جریان آب بوده و به عنوان نیروی محرک یا مخرب عمل می‌کنند.

۲) نیروهای مقاوم که در رسوبات چسبنده به طور عمده شامل نیروهای جاذبه و الکتروشمیایی بین ذرات و در رسوبات غیرچسبنده ناشی از وزن ذرات می‌باشد.

نیروهای هیدرولیکی وارد بر یک ذره خود به دو نیروی کششی در جهت جریان و نیروهای بالابرنده (Lift) عمود بر جریان تقسیم می‌شوند. تنش برشی جریان (τ_0) برابر مجموع نیروهای کششی وارد بر ذرات رس می‌باشد. یعنی:

$$\tau_0 = \sum_{i=1}^N F_i \quad (1)$$

که در این رابطه، N تعداد ذرات رسوبی در واحد سطح بستر و F_i نیروی کششی وارد بر ذرات می‌باشد (۸). فرسایش ذرات موقعی اتفاق می‌افتد که نیروی محرک وارد بر ذرات بر نیروهای مقاوم بین ذرات غلبه کند. لحظه‌ای که ذرات در اثر فرایند فوق، شروع به حرکت می‌کنند را اصطلاحاً آستانه حرکت ذرات می‌گویند. تنش برشی و سرعت جریان در لحظه آستانه حرکت رسوبات را بترتیب، تنش برشی بحرانی و سرعت بحرانی جریان می‌گویند. شرایط شروع آستانه حرکت ذرات به خصوصیات جریان نظیر سرعت و عمق و همچنین خصوصیات مواد رسوبی چون اندازه، شکل و چگالی ذره در مورد رسوبات غیرچسبنده و میزان پیوند و چسبندگی بین ذرات در رسوبات چسبنده بستگی دارد.

در یک مجرای روباز که جریان متلاطم برقرار است، منطقه جریان از سه قسمت متلاطم، منطقه بینابینی و لایه مرزی آرام تشکیل شده است. در ابتدای شروع جریان که لایه مرزی شروع به تشکیل می‌کند، ابتدا به صورت لایه ای با جریان آرام می‌باشد که در آن ذرات سیال در لایه‌هایی صاف و یکنواخت حرکت می‌کنند، با افزایش ضخامت لایه مرزی، ناپایداری لایه افزایش یافته و نهایتاً به لایه متلاطم جریان تبدیل می‌شود که در آن ذرات سیال در مسیرهای تصادفی حرکت می‌کنند. وقتی که لایه مرزی به لایه متلاطم تبدیل شد، هنوز لایه بسیار نازکی در مجاورت مرز وجود دارد که دارای حرکت آرام است. به این لایه، زیرلایه آرام^۱ گفته می‌شود. مقدار و اثر تنش برشی جریان به ضخامت این لایه بستگی دارد.

تنش برشی جریان در اثر فعالیت‌های مولکولی ذرات سیال، مدام از ناحیه متلاطم جریان به ناحیه زیرلایه آرام و برعکس در حال انتقال می‌باشد. تنشی که در زیرلایه آرام تشکیل می‌شود تنش

1- Laminar Sublayer

ناشی از لزجت بوده و از قانون لزجت نیوتن پیروی می‌کند و با توجه به اینکه گرادیان سرعت در زیرلایه آرام جزئی می‌باشد، مقدار این تنش نیز اندک است و توانائی شکستن پیوند بین ذرات را ندارد. نتیجه اینکه اگر ضخامت زیرلایه آرام ثابت باشد پدیده فرسایش و انتقال ذرات ریز موجود در مرزها به ناحیه متلاطم جریان قابل توجه نمی‌باشد. اینشتن و هون-لی برای توضیح این پدیده، تئوری ایجاد و شکستن تصادفی لایه‌های آرام را ارائه نمودند (۷). این تئوری بیان می‌کند که در ابتدای شکل یافتن و ایجاد لایه آرام، جریان متلاطم مدام اطراف مرز جریان دارد، در نتیجه تنش برشی زیاد که به صورت تدریجی ولایه به لایه حرکت را کند می‌کند رشد ضخامت زیرلایه آرام رخ می‌دهد. این لایه به محض اینکه ضخامت آن به قدری بزرگ شود که سبب ناپایداری آن گردد به طور ناگهانی شکسته شده و کاملاً از بین می‌رود.

محققین فوق معادله زیر را برای بیان تنش برشی لحظه ای به دست آوردند:

$$\tau_o = \mu \frac{V_0}{\sqrt{\pi vt}} \quad (2)$$

در این معادله V_0 سرعت در ناحیه متلاطم جریان نزدیک زیرلایه آرام، t زمان و μ و ν به ترتیب لزجت دینامیکی و سینماتیکی سیال می‌باشند. معادله ۲ برای حالت $0 \leq t \leq T$ معتبر است که در آن T پیوند رشد زیرلایه آرام است.

بنابراین، مطابق این تئوری، مقدار تنش برشی در هر نقطه از بستر از یک مقدار بی نهایت در لحظه $t=0$ تا یک مقدار حداقل $\mu \frac{V_0}{\sqrt{\pi \nu T}}$ در لحظه $t=T$ متغیر است. مقدار متوسط این تنش برابر $RS \gamma$ می‌باشد (۸).

اگر V_0 در مدت زمان فرایند ایجاد و شکستن زیرلایه آرام ثابت باشد تغییرات τ_o بر اساس معادله ۲ به صورت پیرودی خواهد بود. اما

برای مهندسی هیدرولیک تعیین حد متوسطی به عنوان آستانه حرکت ذرات حائز اهمیت می‌باشد، زیرا چنانچه شرایط هیدرولیکی در این لحظه معلوم و مشخص باشد، می‌توان از آن در حل مسائلی نظیر طراحی کانالهای خاکی پایدار، یافتن الگوئی مناسب برای طراحی کانالهای آبیاری بتنی جهت به حداقل رساندن رسوبگذاری و محاسبه مقدار رسوب حمل شده توسط جریان در رودخانه‌ها استفاده کرد. از طرفی تحقیقات آستانه حرکت در مجاری روباز محدود به مواد رسوبی درشت دانه بوده و در برگیرنده مواد رسوبی دانه ریز مثل رس و سیلت نمی‌گردد.

در مورد رسوبات چسبنده به علت دخالت ماهیت شیمیائی ذرات در پروسه حرکت و ته نشینی، پیدا کردن شرایطی کلی برای آستانه حرکت این رسوبات بسیار مشکل است. لذا پیدا کردن شرایط هیدرولیکی در لحظه شروع حرکت این رسوبات وابسته به انجام

حد روانی، حد خمیری و اندازه‌گیری SAR رسوبات بود.

دستگاه دانه‌بندی لیزری موجود توسط شرکت انگلیسی مالورن به منظور دانه‌بندی ذرات با استفاده از اشعه لیزر طراحی و ساخته شده است. این دستگاه که بر پایه تفکیک لیزری^۱ ذرات بنا شده است قابلیت‌های زیادی داشته و دامنه‌های گسترده‌ای از ذرات را پوشش می‌دهد که بسته به نوع لنز دستگاه، دانه بندی در محدوده ۰/۰۵ تا ۳۴۸۰ میکرون می‌تواند انجام گیرد. حد روانی رسوبات با استفاده از دستگاه کاساگرانده در آزمایشگاه مکانیک خاک گروه آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز و حد خمیری نیز در همین آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. SAR رسوبات نیز در آزمایشگاه خاکشناسی گروه خاکشناسی دانشگاه مذکور تعیین شد. با استفاده از نتایج مذکور و نتایج دانه‌بندی ذرات، رسوبات به شرح زیر بر اساس سیستم رده بندی یونیفاید رده بندی شدند(۱):

- دشت اوان : رس آلی به همراه سیلت (لای) آلی با خمیری اندک، علامت گروه OL با ۳۶ درصد رس.
- هندیجان (ده ملا): رس لای دار غیر آلی با خمیری اندک، علامت گروه CL با ۳۸ درصد رس.
- ویس : رس آلی به همراه سیلت آلی با خمیری اندک، علامت گروه OL با ۳۶ درصد رس.
- خلف آباد: لای رس دار با خمیری اندک، علامت گروه ML با ۲۷ درصد رس.
- وصله: رس آلی به همراه سیلت آلی با خمیری اندک، علامت گروه OL با ۳۶ درصد رس.
- شادگان: رس لای دار غیر آلی با خمیرائی اندک، علامت گروه CL با ۴۸ درصد رس.

تجهیزات آزمایشگاهی

تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در آزمایشهای هیدرولیکی به شرح زیر می‌باشند:

آزمایشهای فیزیکی و هیدرولیکی می باشد. این آزمایشها به ما نشان خواهد داد که چگونه می توان به آستانه حرکت این رسوبات رسید و در نتیجه برای طراحی کانالهای آبیاری، آیا می توان بر مشکل رسوبگذاری ذرات ریزدانه فائق آمد و الگوئی مناسب برای طراحی کانالها پیدا کرد. بر همین اساس تحقیق حاضر با هدف بررسی پدیده فرسایش رسوبات چسبنده و تعیین شرایط هیدرولیکی آستانه حرکت این رسوبات که شامل تنش برشی بحرانی و سرعت بحرانی رسوبات بوده انجام گرفت. آزمایشهای مورد نظر در دو فاز فیزیکی- شیمیایی جهت شناخت خواص رسوبات و هیدرولیکی جهت تعیین آستانه حرکت رسوبات در آزمایشگاههای خاکشناسی، مکانیک خاک و هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفتند.

مواد و روش ها

محل و موقعیت برداشت نمونه‌های رسوب

به منظور بررسی و تعیین شرایط هیدرولیکی آستانه حرکت و همچنین شناخت خواص فیزیکی - شیمیایی آنها، از رسوبات ریزدانه ته‌نشین شده در کانالها و نه‌رهای سنتی آبیاری شش منطقه در خوزستان نمونه‌های رسوب برداشت گردید. این مناطق شامل:

- دشت اوان (کانال بتنی EV-PC)، هندیجان (نهر سنتی ده‌ملا)، شادگان (نهر سنتی منصوره)، خلف آباد (کانال بتنی آبیاری موجود)، وصله (کانال خاکی وصله)، ویس (کانال بتنی R.C).
- لازم به ذکر است نمونه برداری رسوب به صورت دست خورده انجام پذیرفت.

آزمایشهای فیزیکی - شیمیایی رسوبات

آزمایشهایی که به منظور شناخت خواص فیزیکی - شیمیائی رسوبات انجام گرفت. شامل دانه‌بندی ذرات با دستگاه دانه‌بندی لیزری، تعیین

1- Laser Diffraction

حرکت رسوبات چسبیده باید رابطه‌ای بین میزان فرسایش رسوبات و تنش برشی جریان در سرعت‌های مختلف پیدا شود. میزان فرسایش از طریق اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری رسوبات و حجم فرسایش یافته رسوبی بعد از هر آزمایش به دست می‌آید.

جرم مخصوص ظاهری با استفاده از یک نمونه استوانه‌ای که از بستر رسوبی برداشت می‌شد تعیین گردید. منظور از حجم فرسایش یافته رسوبات حجمی از بستر است که بعد از هر آزمایش فرسایش یافته و به صورت حفره هائی در بستر نمایان می‌شود. با توجه به اینکه این حفره‌ها بعد از آزمایش از آب پر می‌باشند، حجم آنها از طریق مکش بوسیله سرنگی با حجم ۲۰ سی سی و در صورت بزرگ بودن حفره‌های ایجاد شده، حجم آنها با پیپت مدرج اندازه‌گیری شد.

– **انحراف رسوبات فرسایش یافته:** از آنجا که در تحقیق حاضر جریان آب درون فلوم به صورت چرخشی می‌باشد، در آزمایش‌های با سرعت بالا که میزان فرسایش زیاد بوده، رسوبات کنده شده وارد سیکل جریان می‌شوند و علاوه بر ته‌نشینی در مخزن آزمایشگاه، وارد جریان اصلی آب درون فلوم شده و غلظت آب جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهند و در انجام آزمایش‌ها ایجاد اختلال می‌کنند. به همین منظور از یک عدد طشتک و یک عدد پمپ سانتریفوژ برای انحراف رسوبات استفاده شد. آب سرریز شده از سرریز مثلثی واقع در پائین دست فلوم وارد طشتک شده و از آنجا توسط پمپ مذکور به بیرون از آزمایشگاه هدایت می‌شود.

آزمایش‌های هیدرولیکی

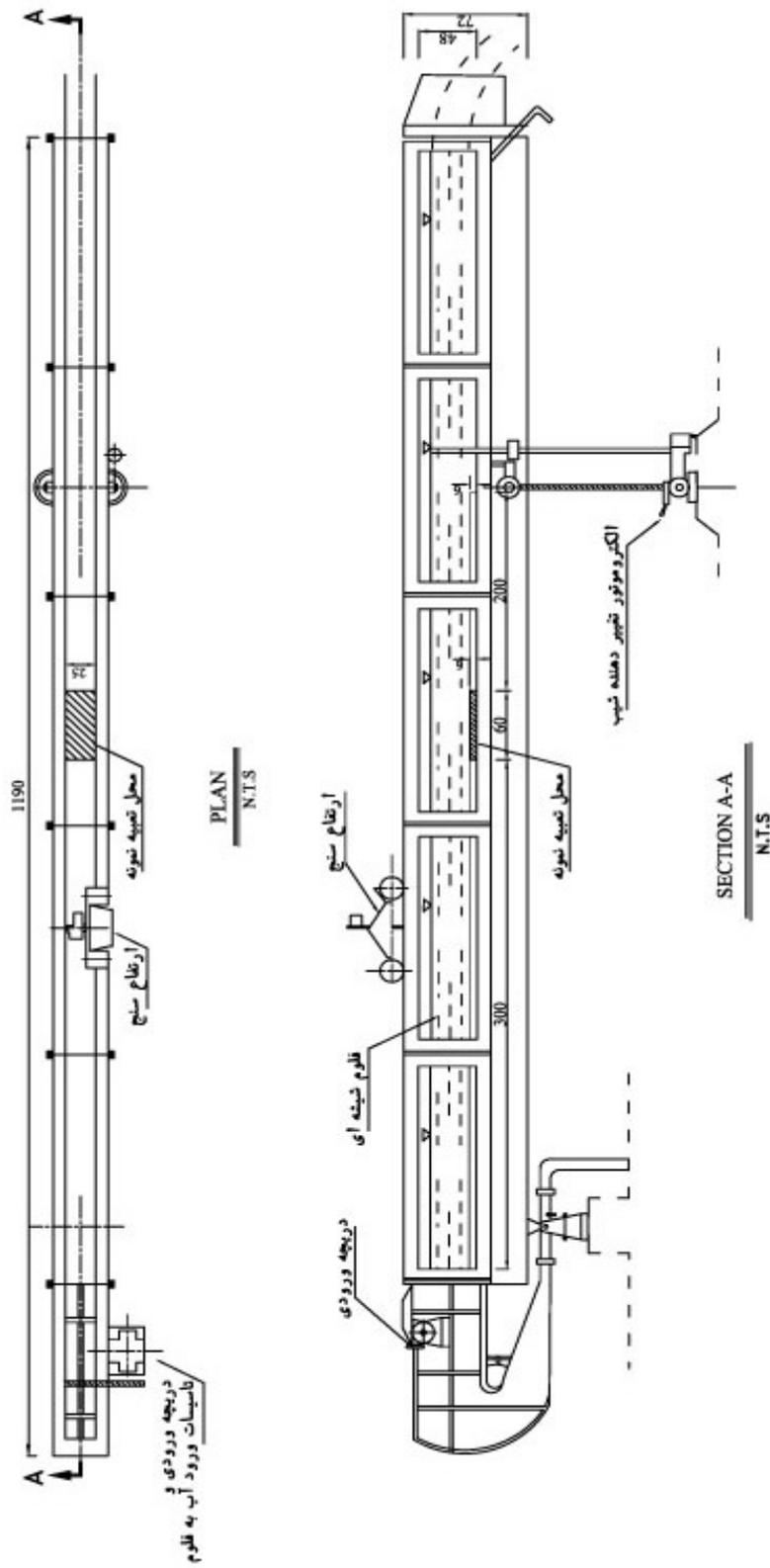
برای تعیین تنش برشی بحرانی رسوبات باید رابطه بین تنش برشی جریان و میزان فرسایش رسوبات به دست آید (۵، ۶ و ۱۰). تنش برشی جریان از رابطه:

$$\tau = \gamma R S \quad (3)$$

– **فلوم آزمایشگاهی:** فلوم یا کانال روباز مورد استفاده کانالی مستطیلی شکل بود که چهار چوب آن از جنس آهن و دیواره‌های آن از جنس شیشه می‌باشند. عرض فلوم ۲۵ سانتی‌متر، طول آن ۱۱/۹ متر و عمق آن ۴۸ سانتی‌متر است. حداکثر دبی ورودی به کانال که توسط دریچه‌ای کنترل می‌شود، ۶۰ لیتر در ثانیه می‌باشد. عمق آب درون فلوم توسط لیمینومتر یا ارتفاع سنجی که روی دو ریل موازی در لبه‌های بالائی فلوم قرار دارد و در طول کانال قابل حرکت است، اندازه‌گیری می‌شود. شیب کانال قابل تغییر می‌باشد و از حدود ۳- (شیب معکوس) تا ۱۰ درصد توسط یک الکتروموتور که در زیر فلوم نصب شده، تغییر می‌کند. اندازه‌گیری مقدار دبی عبوری از کانال توسط یک سرریز مثلثی ۵۳ درجه که در پائین دست کانال نصب شده است، انجام می‌گیرد.

– **محل تعبیه نمونه‌های رسوب در درون فلوم:** به منظور انجام آزمایش‌ها، نمونه‌های دست خورده ابتدا کف فلوم پهن گردید. برای جلوگیری از برخورد مستقیم آب به نمونه، کف کانال به وسیله ورق‌های پلکسی گلاس به ارتفاع ۶ سانتی متر بالا آورده شد. بدین ترتیب که ۳ متر از ابتدای کانال را به ارتفاع ۶ سانتی متر بالا آورده بعد از آن ۶۰ سانتی متر از طول کانال برای قرار دادن نمونه خالی گذاشته شد. سپس ۲ متر دیگر که بعد از محل قرارگیری نمونه بود، نیز به ارتفاع ۶ سانتی متر بالا آورده شد. بنابراین با بالا آوردن کف کانال در محدوده‌ای معین و ایجاد محفظه‌ای به ابعاد ۶×۲۵×۶۰ سانتی متر درون آن، امکان قرار دادن نمونه در کف کانال و حرکت جریان آب از روی نمونه ایجاد گردید. در شکل شماره ۱ پلان و مقطع فلوم، همچنین محل تعبیه نمونه رسوب در درون فلوم نشان داده شده است.

– **اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری رسوبات و حجم فرسایش یافته:** به منظور پیدا کردن آستانه



شکل ۱ - پلان و مقطع فلوم آزمایشگاهی و محل تعبیه نمونه رسوب (ابعاد بر حسب سانتی متر)

بود (معمولاً یک یا دو آزمایش آخر برای رسوبات هر منطقه) سیستم انحراف رسوبات فرسایش یافته مورد استفاده قرار گرفت.

در آزمایشهای هیدرولیکی، مقادیر اولیه زیر برداشت گردید:

برداشت نمونه استوانه‌ای از بستر رسوبی به منظور محاسبه جرم مخصوص ظاهری رسوبات، هد سرریز مثلثی (Hw)، عمق آب درون فلوم (Hf)، شیب فلوم (S)، مدت زمان هر آزمایش (T) و حجم فرسایش یافته رسوبات بعد از آزمایش (Ve).

با استفاده از پارامترهای فوق، مقادیر زیر جهت پیدا کردن شرایط هیدرولیکی آستانه حرکت رسوبات محاسبه شدند:

جرم مخصوص ظاهری رسوبات (ρ)، سرعت آب درون فلوم (V)، دبی جریان (Q)، تنش برشی جریان (τ) و میزان فرسایش رسوبات (E).

لازم به ذکر است که هد سرریز مثلثی (Hw) در محاسبه دبی جریان و عمق آب درون فلوم (Hf) در محاسبه شعاع هیدرولیکی جهت تعیین تنش برشی جریان مورد استفاده قرار گرفتند. مقدار دبی در تمام آزمایشها برابر ۱۶/۲ لیتر بر ثانیه، شیب فلوم بین ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۸ و مدت زمان هر آزمایش بین ۵۰ تا ۶۰ دقیقه متغیر بود. در جدول شماره ۱ پارامترهای اصلی اندازه گیری شده و محاسبه شده در آزمایشهای هیدرولیکی در جدول شماره ۲ مشخصات فیزیکی - شیمیایی اندازه گیری شده رسوبات ذکر شد است

نتایج

به منظور پیدا کردن تنش برشی بحرانی رسوبات، که جزء پارامترهای هیدرولیکی در آستانه حرکت رسوبات می‌باشد، کافی است رابطه بین تنش برشی جریان و میزان فرسایش رسوبات پیدا شود. روابط بین این دو عامل برای رسوبات شش منطقه مذکور

قابل محاسبه است که در این رابطه τ متوسط تنش برشی جریان وارده بر کف، R شعاع هیدرولیکی جریان، γ وزن مخصوص آب و S شیب خط انرژی (که در اینجا با توجه به یکنواخت بودن جریان، برابر شیب کف فلوم است) می‌باشد. لازم به ذکر است که تنش برشی که در کانالها به عنوان تنش برشی کف مورد استفاده قرار می‌گیرد، تنش برشی متوسط جریان بوده که از رابطه ۳ قابل محاسبه است و تنش برشی لحظه‌ای مطابق رابطه ۲، در شرایط میدانی استفاده نمی‌شود.

با داشتن حجم فرسایش (v_e) و جرم مخصوص ظاهری رسوبات (ρ) از رابطه:

$$m = \rho \cdot v_e \quad (4)$$

جرم رسوبات فرسایش یافته (m) به دست آمده و با داشتن مدت زمان آزمایش (T) و سطح فرسایش (A)، میزان فرسایش (E) بر حسب گرم بر سانتی‌متر مربع در دقیقه از رابطه ۵ بدست می‌آید. منظور از سطح فرسایش، سطحی است که تحت فرسایش قرار می‌گیرد. که در اینجا برابر سطح خارجی نمونه می‌باشد که با توجه به عرض فلوم (۲۵ سانتی متر) و طول محل نمونه (۶۰ سانتی متر) این سطح برابر ۱۵۰۰ سانتی‌متر مربع است.

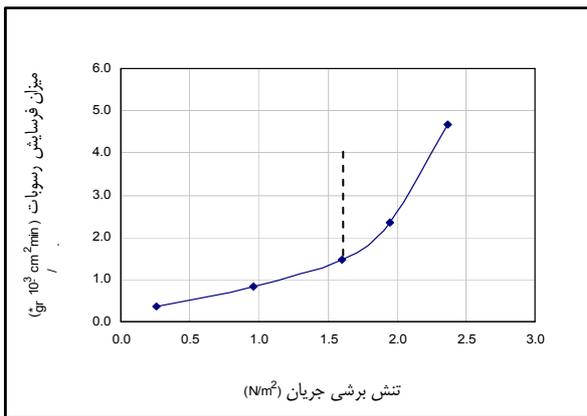
$$E = \frac{m}{A \cdot T} \quad (5)$$

نحوه انجام آزمایشها، بدین ترتیب بوده که ابتدا رسوبات در محل در نظر گرفته شده درون فلوم ریخته شده و کاملاً صاف و پهن شدند. سپس جرم مخصوص ظاهری رسوبات اندازه‌گیری شد. آزمایشها با دبی ثابت شروع شد و شیب فلوم عامل متغیر در انجام آزمایشها بود. انجام آزمایشها با زیاد کردن شیب تا مشاهده فرسایش با حجم نسبتاً زیاد ادامه یافت. بسته به نوع ترکیبات و چسبندگی رسوبات، ۵ تا ۷ مرحله آزمایش برای رسوبات هر منطقه انجام گرفت. لازم به ذکر است که در مرحله‌ای از آزمایشها که میزان فرسایش قابل توجه

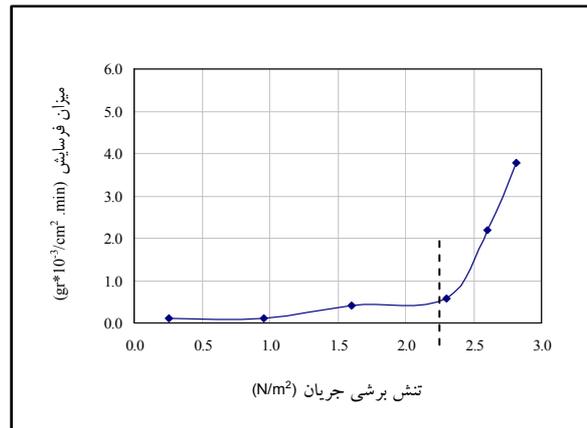
بدست آمده و در شکل‌های ۲ الی ۷ این روابط نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- پارامترهای اصلی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در آزمایشهای هیدرولیکی، جهت تعیین شرایط هیدرولیکی آستانه حرکت رسوبات

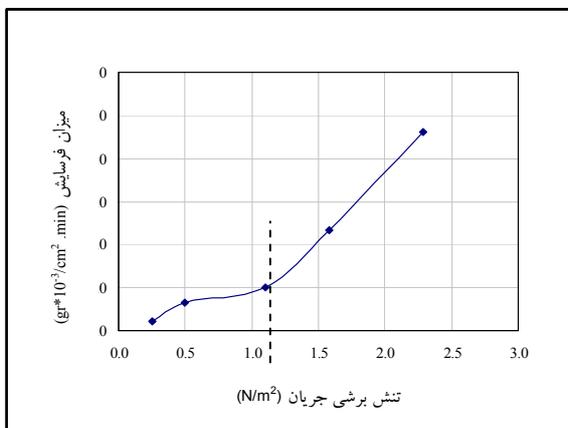
نام منطقه	شماره آزمایش	Q (L/S)	S (m/m)	T (min)	V (m/s)	τ (N/m ²)	E (gr/cm ² .min)
دشت اوان	۱	۱۶/۲	۰/۰۰۰۵	۵۱	۰/۷۱	۰/۲۶	۵/۶۴*۱۰ ^{-۵}
	۲	۱۶/۲	۰/۰۰۱	۶۰	۰/۷۳	۰/۵۱	۶/۱۵*۱۰ ^{-۵}
	۳	۱۶/۲	۰/۰۰۲	۵۳	۰/۸۰	۰/۹۶	۸/۹۲*۱۰ ^{-۵}
	۴	۱۶/۲	۰/۰۰۳۳	۵۵	۱/۰۴	۱/۳۴	۹/۰۲*۱۰ ^{-۵}
	۵	۱۶/۲	۰/۰۰۴	۶۰	۱/۰۸	۱/۵۹	۳/۰۹*۱۰ ^{-۴}
	۶	۱۶/۲	۰/۰۰۵	۵۵	۱/۱۲	۱/۹۴	۱/۱۶*۱۰ ^{-۳}
	۷	۱۶/۲	۰/۰۰۶	۵۷	۱/۱۶	۲/۲۷	۲/۹۳*۱۰ ^{-۳}
شادگان	۱	۱۶/۲	۰/۰۰۰۵	۵۰	۰/۷۱	۰/۲۶	۴/۳۷*۱۰ ^{-۴}
	۲	۱۶/۲	۰/۰۰۲	۵۷	۰/۸۰	۰/۹۶	۶/۳۵*۱۰ ^{-۴}
	۳	۱۶/۲	۰/۰۰۳	۵۱	۱/۰۱	۱/۲۴	۱/۱۱۷*۱۰ ^{-۳}
	۴	۱۶/۲	۰/۰۰۴	۵۵	۱/۰۸	۱/۵۹	۱/۴۵*۱۰ ^{-۳}
	۵	۱۶/۲	۰/۰۰۶۵	۵۸	۱/۲۰	۲/۴	۳/۱۸*۱۰ ^{-۳}
وصیله	۱	۱۶/۲	۰/۰۰۰۵	۴۸	۰/۷۰	۰/۲۵	۲/۶۲*۱۰ ^{-۵}
	۲	۱۶/۲	۰/۰۰۲	۵۱	۰/۸۰	۰/۹۶	۶/۹۶*۱۰ ^{-۵}
	۳	۱۶/۲	۰/۰۰۳	۵۵	۱/۰۳	۱/۲۳	۵/۰۶*۱۰ ^{-۴}
	۴	۱۶/۲	۰/۰۰۴	۵۳	۱/۰۷	۱/۵۹	۱/۶۴*۱۰ ^{-۳}
	۵	۱۶/۲	۰/۰۰۵	۴۹	۱/۱۰	۱/۹۶	۵/۷۰*۱۰ ^{-۳}
خلف آباد	۱	۱۶/۲	۰/۰۰۰۵	۴۵	۰/۷۱	۰/۲۵	۲/۰۸*۱۰ ^{-۴}
	۲	۱۶/۲	۰/۰۰۱	۵۱	۰/۷۳	۰/۵۰	۶/۵۹*۱۰ ^{-۴}
	۳	۱۶/۲	۰/۰۰۲۳	۵۵	۰/۸۱	۱/۱۰	۹/۹۸*۱۰ ^{-۴}
	۴	۱۶/۲	۰/۰۰۴	۵۵	۱/۰۹	۱/۵۸	۲/۳۳*۱۰ ^{-۳}
	۵	۱۶/۲	۰/۰۰۶	۵۶	۱/۱۴	۲/۲۹	۴/۶۱*۱۰ ^{-۳}
هندیجان	۱	۱۶/۲	۰/۰۰۰۵	۴۱	۰/۷۰	۰/۲۶	۱/۰۶*۱۰ ^{-۴}
	۲	۱۶/۲	۰/۰۰۲	۶۰	۰/۸۰	۰/۹۶	۱/۰۷*۱۰ ^{-۴}
	۳	۱۶/۲	۰/۰۰۴	۴۵	۱/۰۶	۱/۶۰	۴/۱۹*۱۰ ^{-۴}
	۴	۱۶/۲	۰/۰۰۶	۴۸	۱/۱۳	۲/۳۰	۵/۶۵*۱۰ ^{-۴}
	۵	۱۶/۲	۰/۰۰۷	۵۱	۱/۲	۲/۶۰	۲/۲*۱۰ ^{-۳}
	۶	۱۶/۲	۰/۰۰۸	۵۷	۱/۲۸	۲/۸۱	۳/۷۹*۱۰ ^{-۳}
ویس	۱	۱۶/۲	۰/۰۰۰۵	۵۰	۰/۷۰	۰/۲۶	۳/۶۷*۱۰ ^{-۴}
	۲	۱۶/۲	۰/۰۰۲	۵۴	۰/۸۰	۰/۹۶	۸/۳۴*۱۰ ^{-۴}
	۳	۱۶/۲	۰/۰۰۴	۵۳	۱/۰۶	۱/۶۰	۲/۳۵*۱۰ ^{-۴}
	۴	۱۶/۲	۰/۰۰۵	۵۲	۱/۱۰	۱/۹۵	۴/۶۷*۱۰ ^{-۳}
	۵	۱۶/۲	۰/۰۰۶۵	۴۱	۱/۲۲	۲/۳۷	۵/۷۰*۱۰ ^{-۳}



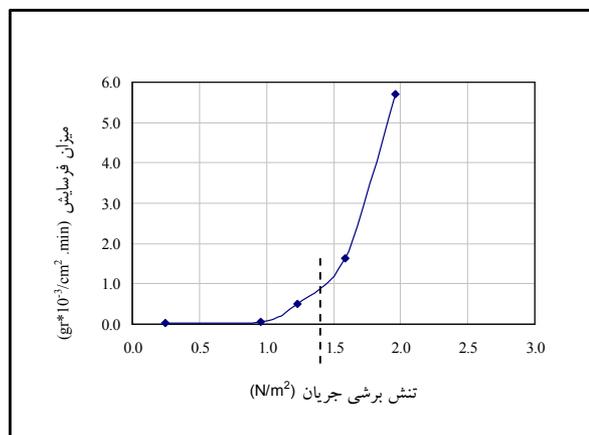
شکل ۵- رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه ویس



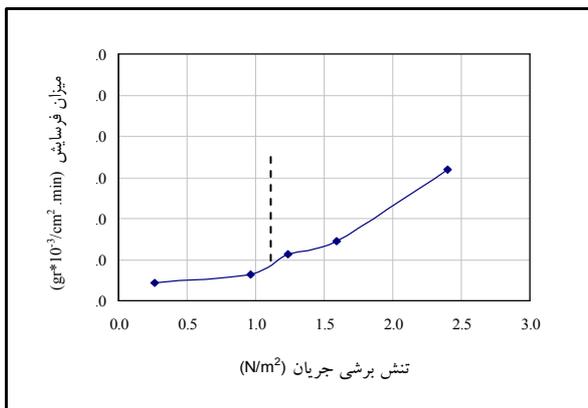
شکل ۲- رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه همدان



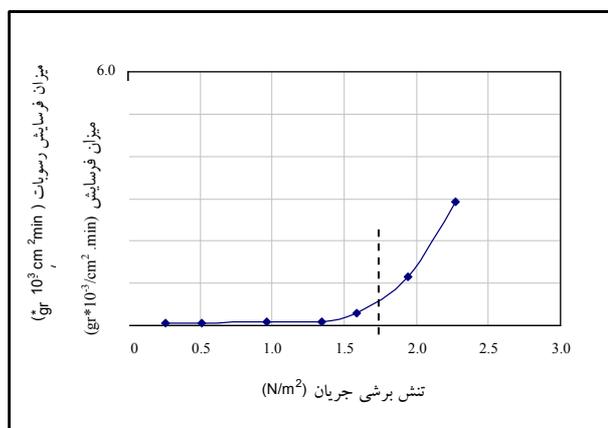
شکل ۶- رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه خلف آباد



شکل ۳- رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه وصیله



شکل ۷- رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه شادگان



شکل ۴- رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه دشت اوان

کوچکتری خرد می شوند و در انتها در پائین دست جریان به حالت ذرات ریز معلق در می آیند.

۲- فرسایش ذرات رس، بسته به تنش برشی جریان به صورت تصادفی اتفاق می افتد. که علت آن شکستن تصادفی زیر لایه آرام بر اساس تئوری اینشتن و هون-لی می باشد.

۳- فرم بستر فرسایش یافته قبل از حالت بحرانی، به صورت حفره هایی کوچک و پراکنده در سطح بستر نمایان شد و بعد از حالت بحرانی، حفره‌هایی بزرگ که در نتیجه بزرگ شدن حفره های کوچک اولیه بود، در سطح بستر دیده شد.

۴- شدت میزان فرسایش تا قبل از لحظه آستانه حرکت رسوبات مقداری کم و جزئی بود. ولی همین مقدار بعد از لحظه آستانه حرکت رسوبات تا چندین برابر افزایش یافت. که علت آن تغییر نحوه فرسایش از حالت فرسایش ذرات تکی رس به فرسایش توده ای رسوبات می باشد.

۵- از نتایج تنش برشی بحرانی بدست آمده در تحقیق حاضر، می توان جهت طراحی شبکه های آبیاری، همچنین بررسی پدیده فرسایش و انتقال رسوبات رودخانه ها و کانالها در مناطقی که رسوبات برداشت شده استفاده کرد و به طور کلی برای طراحی کانالهای انتقال آب در مناطقی که رسوبات از نوع چسبنده و ریزدانه می باشند به جای استفاده از معیار حرکت رسوبات غیر چسبنده (که معمولاً

در این تحقیق با توجه به مشاهدات صورت گرفته در حین آزمایشها و با توجه به رابطه تنش برشی جریان و میزان فرسایش رسوبات، آستانه حرکت لحظه ای در نظر گرفته شده که میزان فرسایش به طور ناگهانی زیاد شده است (۸و۴). در نقطه ای از نمودارهای مذکور که شیب آن تغییر قابل توجهی یافته است، تنش برشی جریان و سرعت جریان، بترتیب تنش برشی بحرانی و سرعت بحرانی رسوبات می باشند که در جدول ۳ این پارامترها ارائه شده اند. در شکل های ۲ الی ۷ لحظه آستانه حرکت رسوبات، با خط چین نشان داده شده است.

نتیجه گیری و بحث

بر اساس آزمایشهای انجام شده، مشاهدات و اندازه گیری های صورت گرفته، نتایج حاصله به طور خلاصه به شرح زیر می باشد:

۱- مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که رسوبات تا قبل از بوجود آمدن حالت بحرانی (آستانه حرکت) به صورت ذرات ریز از بستر جدا شده و توسط جریان حمل می شوند ولی پس از برقراری حالت بحرانی، دیگر به صورت ذرات ریز از کف جدا نشده بلکه به صورت قطعاتی که چندین برابر ذرات تشکیل دهنده رسوبات می باشند از کف کنده شده و به حرکت در می آیند. قطعات رسوب که بدین صورت از کف جدا می شوند، ابتدا به صورت غلطان به حرکت در آمده و پس از مدتی به قطعات

جدول ۲- مشخصات فیزیکی - شیمیایی رسوبات

نام منطقه	میزان رس (%)	میزان سیلت (%)	میزان ماسه (%)	حد روانی (%)	شاخص خمیرائی (%)	نسبت جذب سدیم	رده بندی رسوبات	جرم مخصوص ظاهری (Kg/m ³)
دشت اوان	۳۶	۶۴	۰	۴۶/۶	۱۷/۸	۵	OL	۱۷۳۰/۵۷
شادگان	۴۸	۵۲	۰	۲۴/۳	۶/۸	۹/۶	CL	۱۷۰۸/۱۴
وصیله	۳۶	۶۴	۰	۳۶/۲	۹/۶	۵/۳	OL	۱۷۲۱/۳۹
خلف آباد	۲۷	۷۳	۰	۲۸/۲	۶/۱	۸/۹	ML	۱۹۵۵/۶۴
هندیجان	۳۸	۶۲	۰	۲۸/۲	۷/۴	۷/۳	CL	۱۹۷۷/۳۶
ویس	۳۶	۶۴	۰	۲۸/۱	۴/۹	۵/۸	OL	۱۹۲۵/۱۲

جدول ۳- تنش برشی و سرعت بحرانی رسوبات چسبنده مورد آزمایش

سرعت بحرانی (m/s)	تنش برشی بحرانی (N/m ²)	نام منطقه برداشت رسوب
۱/۰۸	۱/۵۹	دشت اوان
۰/۸	۰/۹۶	شادگان
۱/۰۳	۱/۲۳	وصیله
۰/۸۱	۱/۱۰	خلف آباد
۱/۱۳	۲/۳۰	هندیجان
۱/۰۶	۱/۶۰	ویس

استانداردهای مهندسی آب سازمان آب و برق خوزستان، پروژه شماره ۷۹۲۰۶/۴۴ تأمین گردیده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می شود.

استفاده می شود (بهتر است از تنش برشی بحرانی فرسایش این رسوبات به عنوان معیاری برای طراحی کانالهای منطقه استفاده شود).

سپاسگزاری

بخشی از خدمات و هزینه های مالی این مطالعه در قالب طرح تحقیقاتی، توسط دفتر تحقیقات و

منابع

- ابن جلال، ر. و شفاعی بجنستان، م. ۱۳۷۶. اصول نظری و عملی مکانیک خاک. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ دوم، صص ۱۰۶-۱۱۹.
- قمشی، م. و وجدانی، ن. ۱۳۸۱. تعیین تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده و نقش آن در طراحی کانالهای روباز. گزارش نهائی طرح تحقیقاتی کاربردی به شماره ۷۹۲۰۶/۴۴. سازمان آب و برق خوزستان، شورای تحقیقات آب، صص ۱-۱۵۲.
- Hamm, L., and Migniot, C. 1993. Elements of cohesive sediment deposition, consolidation and erosion. In: Abbott, M. B., and Price, W. A. (eds.) Coastal Estuarial and Harbour Engineers Reference Book, London: Chapman & Hall, pp :93-106.
- Krone, B. 1999. Effects of bed structure on erosion of cohesive sediment. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125(12): 1297-1301.

5. Otsube, K. 1988. Critical shear stress of cohesive bottom sediment. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 14(10): 1241-1256.
6. Purchase, T. M., and Mehta, A. J. 1985. Erosion of soft cohesive sediment deposition. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 111(10): 1308-1326.
7. Eineston, H. A., and Li, Huon, Shear Transmission from a Turbulent Flow to its Viscous Boundary Sublayer. Mimeographed Notes, University of California, Berkeley, Calif, pp:225-238
8. Partheniathes, E. 1965. Erosion and deposition of cohesive soils. Journal of Hydraulic Division, ASCE, 91 :105-137.
9. Raudkivi, A. J. 1998. Loose boundary hydraulic. Balkema, A. A. Publishing Co.Inc.; Rotterdam, pp:220-265 .
10. Ravents, T. M., and Schwend, P. M. 1999. Flume measurement of sediment erodibility in boston harbor. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125(10): 998-1005.