

تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده و نقش آن در طراحی کانالهای روباز

مهدی قمشی و ناصر وجدانی

چکیده: بررسی چگونگی حرکت و ته نشینی رسوبات چسبنده، به علت دخالت ماهیت شیمیایی و الکترومغناطیسی ذرات، تحقیقات در این زمینه را اندکی مشکل نموده است. این مسئله در رودخانه‌هایی که وجود این ذرات در بار رسوبی آنها قابل ملاحظه است، باعث تأثیر جدی در برآورد بار رسوبی معلق می‌گردد. مضافاً اینکه این ذرات از محل‌های آبیاری وارد کانالهای آبیاری شده و با ته نشین شدن در کانالها مشکلات فراوانی را ایجاد می‌کنند. دلیل این مسئله حضور رسوبات دانه ریز بوده که باید بصورت موردی بررسی گردد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی پدیده فرسایش و تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده، همچنین بررسی مشکل رسوبگذاری کانالهائی در منطقه خوزستان می‌باشد. آزمایشهای مورد نظر بر روی رسوبات ریزدانه جمع آوری شده از مواد بستر کانالهای آبیاری شش منطقه در خوزستان شامل دشت اوان، هندیجان، ویس، شادگان، خلف آباد و وصیله که دارای رسوبات چسبنده می‌باشند، صورت گرفت. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات این کانالها بین ۰/۹۶ تا ۲/۳۰ نیوتن بر مترمربع برای منطقه هندیجان متغیر است. از سه مورد مقایسه انجام شده بین تنش برشی آزمایشگاهی رسوبات و تنش برشی حداکثر موجود در کانالها مشخص شد که در دو مورد (ویس و دشت اوان) تنش برشی آزمایشگاهی بیشتر از تنش برشی موجود در کانال بوده و در یک مورد (چمران-وصیله) تنش برشی آزمایشگاهی کمتر از حداکثر تنش موجود بدست آمده است. بنابراین برای کانال چمران این انتظار می‌رود که دبی طراحی کانال، رسوباتی را که در بستر کانال ته نشین می‌شوند را فرسایش دهد. نکته مهم مطالعه حاضر این است که برای طراحی کانالها در مناطقی که بار رسوبی جریان اکثراً ریزدانه می‌باشد، پیدا کردن تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات و استفاده از آن به عنوان معیاری درست جهت طراحی کانالها حائز اهمیت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رسوبات چسبنده، آستانه حرکت رسوبات، تنش برشی بحرانی فرسایش، رسوبگذاری کانالها

۱. مقدمه

متلاشی شدن تدریجی پوسته جامد کره زمین، تحت تاثیر عوامل مختلف و انتقال مواد حاصل از آن توسط جریانهای سطحی و باد، فرسایش بستر رودخانه‌ها، فرسایش بستر کانال و انتقال مواد خارجی موجود در اطراف کانال به داخل آنها، عمده‌ترین منابع تشکیل رسوب در کانالهای آبیاری می‌باشند. رسوبات ته نشین شده

مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۱/۲۳ دریافت شده و در تاریخ ۱۳۸۳/۸/۴ به تصویب نهایی رسیده است.

دکتر مهدی قمشی، دانشیار گروه سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران

اهواز. Ghomeshi_m@scu.ac.ir

ناصر وجدانی، کارشناس ارشد تأسیسات آبیاری، مهندسین مشاور سامان

آبراه اهواز. nnvejdani@yahoo.com

در این کانالها دو نوعند، رسوبات درشت دانه یا غیر چسبنده که شامل ماسه و ذرات درشت تر از آن می‌شوند و نوع دوم شامل رسوبات ریزدانه می‌باشد. این رسوبات که اصطلاحاً رسوبات چسبنده نامیده می‌شوند، رسوباتی هستند که بین ذرات آنها پیوند و چسبندگی وجود داشته باشد. چنانچه ۸۰ تا ۹۰ درصد رسوبات یک منطقه از ۰/۰۷۵ میلیمتر (الک شماره ۲۰۰) کوچکتر باشند، فقط وجود ۵ تا ۱۰ درصد رس کافی است که به این رسوبات، رسوبات چسبنده گفته شود. خاصیت چسبندگی این رسوبات ناشی از نیروهای الکتروشیمیایی بین ذرات می‌باشد. این نیروها که نیروهای غالب بین ذرات بوده از لحاظ مقدار از نیروی وزن ذرات بزرگتر می‌باشند و ضمناً با بسیاری از عوامل محیطی رسوبات و ترکیبات آنها مرتبط هستند. همین مسأله سبب پیچیدگی در

بررسی پدیده‌های هیدرولیکی مربوط به رسوبات چسبنده، از جمله آستانه حرکت ذرات شده است. برای مهندسان هیدرولیک تعیین حد متوسطی به عنوان آستانه حرکت ذرات حائز اهمیت می باشد. زیرا چنانچه شرایط هیدرولیکی در این لحظه معلوم و مشخص باشد، می توان از آن در حل مسائلی نظیر طراحی کانالهای خاکی پایدار (طرح کانال بدون فرسایش)، یافتن الگویی مناسب برای طراحی کانالهای آبیاری بتنی جهت به حداقل رساندن رسوبگذاری، طراحی اندازه سنگ فرش برای جلوگیری از فرسایش بستر و بدنه کانال و محاسبه مقدار رسوب حمل شده توسط جریان در رودخانه ها، استفاده کرد. از طرفی بررسی‌های تحقیقاتی آستانه حرکت در مجاری روباز محدود به مواد رسوبی درشت دانه شده و در برگرفته مواد رسوبی دانه ریز نمی گردد. برای شرایط آستانه حرکت رسوبات درشت دانه فرمولها و روابط زیادی ارائه شده که دیاگرام شیلدز معروفترین آنها می باشد، اما تحقیقات در این زمینه، برای رسوبات ریز دانه بسیار محدود و کم بوده است. در مورد این رسوبات به علت دخالت ماهیت شیمیایی ذرات در پروسه حرکت و ته نشینی، که خود با بسیاری از عوامل فیزیکی- شیمیایی آب جریان و رسوبات مرتبط است، پیدا کردن شرایط کلی برای آستانه حرکت این رسوبات بسیار مشکل است. لذا پیدا کردن شرایط هیدرولیکی در لحظه شروع حرکت این رسوبات، وابسته به انجام آزمایشهای فیزیکی و کارهای آزمایشگاهی می باشد.

۲. فرآیند فرسایش و آستانه حرکت رسوبات چسبنده

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

(۱) نیروهای هیدرولیکی که ناشی از جریان آب بوده و به عنوان نیروی محرک عمل می کنند.

(۲) نیروهای مقاوم که در رسوبات چسبنده بطور عمده شامل نیروهای جاذبه و الکتروشیمیایی بین ذرات و در رسوبات غیرچسبنده ناشی از وزن ذرات می باشد.

نیروهای هیدرولیکی وارد بر یک ذره خود به دو نیروی کششی (دراگ) در جهت جریان و نیروهای بالابرنده (لیفت) عمود بر جریان تقسیم می شوند و تنش برشی جریان (τ_o) برابر مجموع نیروهای کششی وارد بر ذرات رس می باشد، یعنی:

بررسی پدیده‌های هیدرولیکی مربوط به رسوبات چسبنده، از جمله آستانه حرکت ذرات شده است. برای مهندسان هیدرولیک تعیین حد متوسطی به عنوان آستانه حرکت ذرات حائز اهمیت می باشد. زیرا چنانچه شرایط هیدرولیکی در این لحظه معلوم و مشخص باشد، می توان از آن در حل مسائلی نظیر طراحی کانالهای خاکی پایدار (طرح کانال بدون فرسایش)، یافتن الگویی مناسب برای طراحی کانالهای آبیاری بتنی جهت به حداقل رساندن رسوبگذاری، طراحی اندازه سنگ فرش برای جلوگیری از فرسایش بستر و بدنه کانال و محاسبه مقدار رسوب حمل شده توسط جریان در رودخانه ها، استفاده کرد. از طرفی بررسی‌های تحقیقاتی آستانه حرکت در مجاری روباز محدود به مواد رسوبی درشت دانه شده و در برگرفته مواد رسوبی دانه ریز نمی گردد. برای شرایط آستانه حرکت رسوبات درشت دانه فرمولها و روابط زیادی ارائه شده که دیاگرام شیلدز معروفترین آنها می باشد، اما تحقیقات در این زمینه، برای رسوبات ریز دانه بسیار محدود و کم بوده است. در مورد این رسوبات به علت دخالت ماهیت شیمیایی ذرات در پروسه حرکت و ته نشینی، که خود با بسیاری از عوامل فیزیکی- شیمیایی آب جریان و رسوبات مرتبط است، پیدا کردن شرایط کلی برای آستانه حرکت این رسوبات بسیار مشکل است. لذا پیدا کردن شرایط هیدرولیکی در لحظه شروع حرکت این رسوبات، وابسته به انجام آزمایشهای فیزیکی و کارهای آزمایشگاهی می باشد.

۲. فرآیند فرسایش و آستانه حرکت رسوبات چسبنده

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

(۱) نیروهای هیدرولیکی که ناشی از جریان آب بوده و به عنوان نیروی محرک عمل می کنند.

(۲) نیروهای مقاوم که در رسوبات چسبنده بطور عمده شامل نیروهای جاذبه و الکتروشیمیایی بین ذرات و در رسوبات غیرچسبنده ناشی از وزن ذرات می باشد.

نیروهای هیدرولیکی وارد بر یک ذره خود به دو نیروی کششی (دراگ) در جهت جریان و نیروهای بالابرنده (لیفت) عمود بر جریان تقسیم می شوند و تنش برشی جریان (τ_o) برابر مجموع نیروهای کششی وارد بر ذرات رس می باشد، یعنی:

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

که در این رابطه، N تعداد ذرات رسوبی در واحد سطح بستر و F_i هم نیروی کششی وارد بر ذرات می باشد [9]. فرسایش ذرات موقعی پیش می آید که نیروی محرک وارد بر ذرات بر نیروهای مقاوم بین ذرات غلبه کند.

در یک مجرای روباز که جریان متلاطم (آشفته) برقرار است، منطقه جریان از سه قسمت متلاطم (توربولنت)، منطقه بینابینی و لایه مرزی آرام (لامینار) تشکیل شده است. در ابتدای شروع جریان که

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

در این معادله V_0 سرعت در ناحیه متلاطم جریان نزدیک زیرلایه آرام، t بیان کننده زمان و μ و ν بترتیب بیانگر لزجت دینامیکی و سینماتیکی سیال می باشند. معادله (۲) برای حالت $0 \leq t \leq T$ معتبر است که در آن T پریرود رشد زیرلایه آرام است. بنابراین مطابق با این تئوری، مقدار تنش برشی در هر نقطه از بستر از یک مقدار بی نهایت تا یک مقدار حداقل $\frac{V_0}{\sqrt{\pi \nu T}}$ متغیر بوده و مقدار متوسط این تنش برابر $\gamma R S$ می باشد.

اگر V_0 در مدت زمان پروسه ایجاد و شکستن زیرلایه آرام ثابت باشد تغییرات τ_o براساس معادله (۲) به صورت پریرودیک خواهد بود. اما V_0 سرعتی از ناحیه متلاطم جریان است که بصورت تصادفی در تغییر است، در نتیجه τ_o تغییراتی بصورت تصادفی باید داشته باشد. بنابراین برای فرسایش یک ذره رس دو شرط لازم است، یکی شکستن زیر لایه آرام که بصورت تصادفی اتفاق می افتد

¹ Laminar Sublayer

استفاده از اصول هیدرولیک حرکت آب در بین استوانه های دوار، نمونه های از خاک را به شکل استوانه در آورده و آنرا داخل دستگاه قرار داد و اجازه داد استوانه با سرعتی مشخص برای مدت معینی بچرخد. با اندازه گیری ابعاد نمونه، قبل و بعد از آزمایش، میزان فرسایش نمونه را بدست آورده و تنش برشی جریان را از روی سرعت دورانی استوانه محاسبه کرد. وی با تعیین رابطه بین تنش برشی جریان و میزان فرسایش، تنش برشی بحرانی را که خاک تحت آن شروع به فرسایش می کند، را تعیین کرد که این مقدار برای نمونه های مختلف بین ۵ تا ۲۰ دین بر سانتیمتر مربع متغیر بود. وی در ادامه تحقیقات خود میزان فرسایش و آستانه حرکت خاکهای چسبنده را با استفاده از فلوم نیز بررسی کرد، سپس مقایسه ای بین نتایج حاصله از فلوم و استوانه دوار انجام داد. نتایج این بررسی نشان داد که مقدار تنش برشی بحرانی بدست آمده بوسیله هر یک از وسیله های اندازه گیری یکسان، ولی میزان فرسایش اندازه گیری شده در دو روش متفاوت است (میزان فرسایش در روش استوانه دوار کمتر از روس فلوم بدست آمد) [۵] و [۶].

میرت خولوا در سال ۱۹۸۸ با استفاده از تحقیقی که بر روی پدیده فرسایش رسوبات چسبنده انجام داد، نشان داد که آبتشویی رسوبات چسبنده در چند مرحله اتفاق می افتد. بدین ترتیب که ابتدا ذراتی به صورت پراکنده و به دنبال آن توده های کوچکی از کف جدا شده و با جریان شسته می شوند. این عمل منجر به ایجاد بستری زیرتر نسبت به حالت اولیه می شود که به موجب آن تکانهای ناشی از نیروهای کششی (دراگ) و بالابرنده (لیفت) افزایش می یابد، در نتیجه پیوند بین توده های رسوب بستر به تدریج سست شده تا حدی که این توده ها به صورت آبی از بستر کنده شده و پس از معلق شدن و از هم پاشیدن به صورت ذرات ریزی توسط جریان حمل می شوند و سیکل های بعدی را طی می کنند [۸].

پدیده فرسایش رسوبات چسبنده به پارامترهایی چون اندازه ذرات، نسبت پراکندگی رسها، درصد رس، حدود اثر برگ، مقاومت برشی و کششی رسوبات، درصد رطوبت، مقدار نمک، درجه حرارت محیط رسوبات، نسبت جذب سدیم (SAR) و ظرفیت تبادل یونی (CEC) بستگی دارد [۱۱] و [۱۲].

۳. برداشت نمونه های رسوب

جهت بررسی آستانه حرکت، همچنین شناخت خواص فیزیکی - شیمیایی رسوبات، از رسوبات ریزدانه ته نشین شده در کانالها و نهرهای سنتی آبیاری شش منطقه در خوزستان شامل دشت اوان، هنديجان، ویس، شادگان، خلف آباد و وصیله (چمران) نمونه برداری رسوب به صورت دست خورده انجام پذیرفت.

و دیگر اینکه نیروهای هیدرولیکی اعمال شده بر ذرات بر نیروهای مقاوم بین ذرات غالب شوند. در صورتی که چنین اتفاقی بیافتد ذرات رس فرسایش می یابند که بسته به قدرت جریان اندازه ذرات فرسایش یافته می تواند از ذرات نامرئی شروع شده و تا قطعاتی چند سانتیمتری برسد.

لحظه ای که ذرات در اثر فرآیند فرسایش، شروع به حرکت می کنند را اصطلاحاً آستانه حرکت ذرات می گویند. شروع حرکت ذرات به خصوصیات جریان نظیر سرعت و عمق، همچنین خصوصیات مواد رسوبی چون اندازه، شکل و چگالی ذره در مورد رسوبات غیر چسبنده و میزان پیوند و چسبندگی بین ذرات در رسوبات چسبنده بستگی دارد [۱۱] و [۱۰]. شرایط هیدرولیکی لحظه آستانه حرکت ذرات معمولاً با تنش برشی بحرانی (تنش برشی جریان در آستانه حرکت) یا سرعت بحرانی تعریف می شود.

در مورد رسوبات غیر چسبنده، وزن ذرات مهمترین عامل مقاوم در برابر حرکت رسوبات است. اما در مورد رسوبات چسبنده وزن ذرات در مقایسه با نیروهای الکتروشیمیایی بین ذرات بسیار جزئی است. برای حرکت این رسوبات نیروهای نسبتاً بزرگی (در مقایسه با رسوبات غیر چسبنده) به منظور شکستن پیوندهای بین ذرات لازم است. تحقیقات انجام شده توسط اسمردون و بیسلی (۱۹۶۱)، پیرس و همکاران (۱۹۷۰)، ویسر (۱۹۷۰)، وان دن تمپلی (۱۹۷۲)، لایلی و اسمردون (۱۹۶۵) و دان (۱۹۵۹) نشان داد که تنش برشی بحرانی رسوبات چسبنده نسبت معکوس با قطر ذرات داشته و متناسب با $d-1$ تا $d-4/3$ بوده، که d قطر ذرات می باشد [۷]. در مورد رسوبات غیر چسبنده تحقیقات مانترز (۱۹۷۳) [۷]، شیلدز (۱۹۶۳)، گسler (۱۹۷۱)، وایت (۱۹۴۰) و کالینسکی (۱۹۴۷) نشان داد که تنش برش بحرانی این رسوبات نسبت مستقیم با قطر ذرات دارد [۱۱].

پاردنیادس در سال ۱۹۶۵ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه کمبریج، تحقیقاتی بر روی فرسایش و ته نشینی رسوبات چسبنده درون یک فلوم آزمایشگاهی انجام داد. هدف اصلی او از این مطالعه بررسی تأثیر تنش برشی جریان، غلظت رسوبات چسبنده معلق و مقاومت برشی بستر روی میزان فرسایش بسترهای چسبنده در کانالهای روباز بود. وی به منظور تعیین تنش برشی بحرانی حرکت رسوبات، رابطه بین میزان فرسایش رسوبات و تنش برشی جریان را بدست آورد، که میزان فرسایش رسوبات را با اندازه گیری میزان غلظت مواد رسوبی معلق فرسایش یافته، در طول مدت آزمایش تعیین کرد. پاردنیادس سرعت بحرانی رسوبات چسبنده مورد آزمایش را 0.8 فوت بر ثانیه و تنش برشی بحرانی این رسوبات 0.23 پوند بر فوت مربع بدست آورد [۹].

علیزاده در سال ۱۹۷۵ در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه کالیفرنیا تحقیقی به منظور بدست آوردن تنش برشی بحرانی خاکهای چسبنده با استفاده از استوانه های دوار انجام داد. وی با

سانتی‌متر، طول آن ۱۱/۹ متر و ارتفاع آن ۴۸ سانتی‌متر است. حداکثر دبی ورودی به کانال که توسط دریچه‌های کنترل می‌شود، ۶۰ لیتر در ثانیه می‌باشد. عمق آب درون فلوم توسط لیمینتر یا ارتفاع سنجی که بر روی دو ریل موازی در لبه‌های بالائی فلوم که در طول کانال قابل حرکت است، اندازه‌گیری می‌شود. شیب کانال قابل تغییر بوده 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، انجام می‌گیرد.

- محل تعبیه نمونه درون فلوم: به منظور انجام آزمایشات، نمونه‌های دست خورده بایستی کف فلوم پهن شوند. جهت جلوگیری از برخورد مستقیم آب به نمونه، کف کانال بوسیله ورق‌های پلکسی گلاس به ارتفاع ۶ سانتی‌متر بالا آورده شد. بدین ترتیب که ۳ متر از ابتدای کانال را به ارتفاع ۶ سانتی‌متر بالا آورده بعد از آن ۶۰ سانتی‌متر 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 سانتی‌متر بالا آورده شد. بنابراین با بالا آوردن کف کانال در محدوده‌ای معین و ایجاد محفظه‌ای به ابعاد $۶ \times ۲۵ \times ۶۰$ سانتی‌متر درون آن، امکان قرار دادن نمونه در کف کانال و حرکت جریان آب از روی نمونه ایجاد گردید.

- وسایل اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری رسوبات و حجم فرسایش یافته: به منظور پیدا کردن آستانه حرکت رسوبات چسبیده باید رابطه‌ای بین میزان فرسایش رسوبات و تنش برشی جریان در سرعتهای مختلف پیدا شود، که میزان فرسایش از طریق اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری رسوبات و حجم فرسایش یافته رسوبی بعد از هر آزمایش بدست می‌آید.

جرم مخصوص ظاهری رسوبات 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 حفره‌ای 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.

- تجهیزات مورد استفاده جهت 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 تنشینی 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 جهت انحراف رسوبات استفاده شده است. آب سرریز

۴. آزمایشهای فیزیکی - شیمیائی رسوبات

آزمایشهایی که به منظور شناخت خواص فیزیکی - شیمیائی رسوبات انجام گرفتند. شامل دانه‌بندی ذرات با دستگاه دانه‌بندی لیزری تعیین حدروانی، حدخمیری و اندازه‌گیری SAR رسوبات بود. دستگاه دانه‌بندی لیزری مذکور، توسط شرکت انگلیسی مالورن بمنظور دانه‌بندی ذرات با استفاده از اشعه لیزر در طی سالهای ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷ طراحی و ساخته شده است. این دستگاه که بر پایه تفکیک لیزری 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 کازاگرانده در آزمایشگاه مکانیک خاک گروه آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز و حد خمیری نیز در همین آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. جهت تعیین نسبت جذب سدیم (SAR) رسوبات، بایستی میزان سدیم، کلسیم و منیزیم رسوبات اندازه‌گیری شود. به همین منظور در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه چمران اهواز ابتدا از رسوبات مورد نظر گل اشباع تهیه کرده سپس از آن عصاره اشباعی بوسیله دستگاه پمپ کننده استخراج گردید. میزان سدیم در عصاره اشباع بوسیله دستگاه فلم فوتومتر و منحنی استاندارد دستگاه و میزان کلسیم و منیزیم نیز از طریق تیتراسیون شیمیائی بر حسب میلی اکیوالانت در لیتر تعیین شدند.

با استفاده از نتایج آزمایشهای فیزیکی - شیمیائی، رسوبات به شرح زیر رده‌بندی شدند [۲] و [۳]:

- دشت اوان : رس آلی به همراه سیلت (لای) آلی با خمیرائی اندک، علامت گروه OL با ۳۶ درصد رس، SAR برابر ۵ .
- هندبجان(ده ملا) : رس لای دار غیر آلی با خمیرائی اندک، علامت گروه CL با ۳۸ درصد رس، SAR برابر ۷/۲ .
- ویس : رس آلی بهمراه سیلت آلی با خمیرائی اندک، علامت گروه OL با ۳۶ درصد رس، SAR برابر ۵/۸ .
- خلف آباد : لای رس دار با خمیرائی اندک، علامت گروه ML با ۲۷ درصد رس، SAR برابر ۸/۹ .
- وصیله: رس آلی بهمراه سیلت آلی با خمیرائی اندک، علامت گروه OL با ۳۶ درصد رس، SAR برابر ۵/۳ .
- شادگان: رس لای دار غیر آلی با خمیرائی اندک، علامت گروه CL با ۴۸ درصد رس، SAR برابر ۹/۶ .

۵. تجهیزات آزمایشگاهی

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

- فلوم آزمایشگاهی: فلوم یا کانال روباز مورد استفاده کانالی مستطیلی شکل بوده که چهار چوب آن از جنس آهن و دیواره‌های آن از جنس شیشه و پلکسی گلاس می‌باشند. عرض فلوم ۲۵

می‌گرفت ابتدا با شیب صفر شروع شده و بعد از ۱۵ دقیقه شیب فلوم به شیب مورد نظر رسانده شد. این حالت نیز ۵۰ تا ۶۰ دقیقه ادامه داشت و اندازه‌گیریها مانند حالت قبل صورت گرفتند.

انجام آزمایشات با زیاد کردن شیب به طریق فوق، تا مشاهده فرسایش با حجم نسبتاً زیاد ادامه یافت. که بسته به نوع ترکیبات و چسبندگی رسوبات، ۵ تا ۷ مرحله آزمایش برای رسوبات هر منطقه و کلاً ۳۳ آزمایش هیدرولیکی انجام گرفت. لازم به ذکر است که در مراحل اولیه از آزمایشها که میزان فرسایش قابل توجه بود (معمولاً یک یا دو آزمایش آخر برای رسوبات هر منطقه) سیستم انحراف رسوبات به منظور انحراف رسوبات فرسایش یافته مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که آزمایشات با دبی ثابت انجام گرفته و شیب فلوم عامل متغیر در انجام آزمایشات بود.

در آزمایشات هیدرولیکی مقادیر اولیه زیر برداشت گردید:

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

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

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

۷. نتایج آزمایشهای هیدرولیکی

بمنظور پیدا کردن شرایط هیدرولیکی آستانه حرکت رسوبات چسبنده، باید رابطه بین تنش برشی جریان و عاملی که نشان دهنده میزان حرکت رسوبات باشد، پیدا شود. در مورد رسوبات چسبنده این عامل می‌تواند غلظت مواد معلق (رسوبات فرسایش یافته معلق) یا اینکه میزان فرسایش رسوبات در طول آزمایش باشد. در تحقیق حاضر میزان فرسایش رسوبات بعنوان عامل نشان دهنده میزان حرکت رسوبات انتخاب و اندازه‌گیری شد. بنابراین برای پیدا کردن تنش برشی بحرانی رسوبات، کفایت رابطه بین تنش برشی جریان و میزان فرسایش رسوبات پیدا شود. رابطه بین این دو عامل برای رسوبات مناطق معرفی شده، در شکل‌های (۱) الی (۶) نشان داده شده است.

در این تحقیق با توجه به مشاهدات صورت گرفته در حین آزمایشات و با توجه به رابطه تنش برشی جریان و میزان فرسایش رسوبات، آستانه حرکت ذرات، لحظه‌ای در نظر گرفته شده که میزان فرسایش به طور ناگهانی زیاد شده است، یعنی نقطه‌ای از نمودارهای مذکور که شیب آن تغییر قابل توجهی کرده است. تنش برشی و سرعت جریان در این لحظه، بترتیب تنش برشی بحرانی و سرعت بحرانی رسوبات بوده که در جدول (۱) این پارامترها آمده‌اند.

شده از سرریز مثلثی واقع در پائین دست فلوم وارد طشتک شده و از آنجا توسط پمپ مذکور به بیرون از آزمایشگاه هدایت می‌شود [۳].

۶. آزمایشهای هیدرولیکی

جهت تعیین تنش برشی بحرانی رسوبات باید رابطه بین تنش برشی جریان و میزان فرسایش رسوبات بدست آید [13] و [14] و [15]. تنش برشی کف از رابطه ذیل قابل محاسبه است.

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

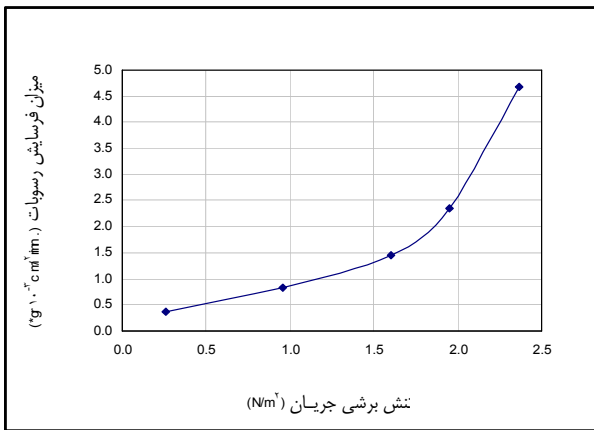
در این رابطه τ متوسط برشی جریان وارده بر کف، R شعاع هیدرولیکی جریان، γ وزن مخصوص آب و S شیب خط انرژی (که در اینجا با توجه به یکنواخت بودن جریان، برابر شیب کف فلوم است) می‌باشد.

میزان فرسایش رسوبات، با اندازه‌گیری حجم فرسایش و جرم مخصوص ظاهری رسوبات، همچنین با داشتن مدت زمان آزمایش قابل محاسبه است. بدین ترتیب که با داشتن حجم فرسایش (V) و جرم مخصوص ظاهری رسوبات (ρ) از رابطه:

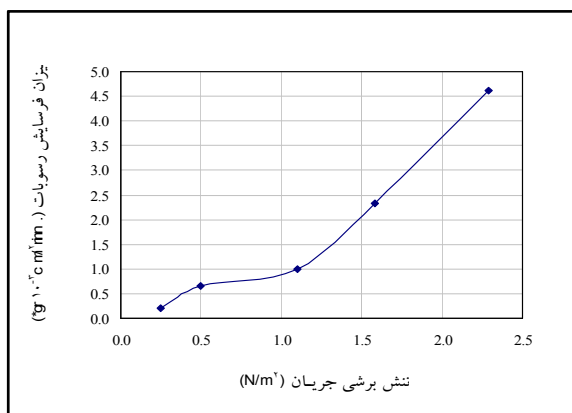
$$m = \rho \cdot V \quad (4)$$

جرم رسوبات فرسایش یافته (m) بدست آمده و با داشتن مدت زمان آزمایش و سطح فرسایش، میزان فرسایش برحسب گرم در سانتی‌مترمربع در دقیقه بدست می‌آید. منظور از سطح فرسایش، سطحی است که تحت فرسایش قرار می‌گیرد. که در اینجا برابر سطح خارجی نمونه می‌باشد که باتوجه به عرض فلوم (۲۵ سانتیمتر) و طول محل نمونه (۶۰ سانتیمتر) این سطح برابر ۱۵۰۰ سانتی‌متر مربع است.

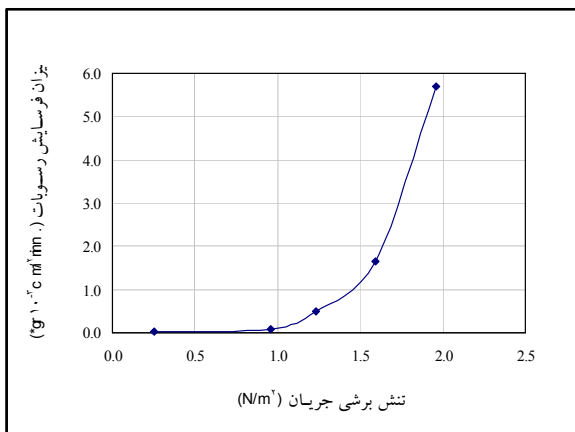
نحوه انجام آزمایشات، بدین ترتیب بوده که ابتدا رسوبات در محل در نظر گرفته شده درون فلوم، ریخته شده و کاملاً صاف و پهن شدند. سپس جرم مخصوص ظاهری رسوبات اندازه‌گیری شد. بعد از آماده شدن بستر، شیب فلوم را روی صفر تنظیم کرده، سپس پمپ را روشن نموده تا جریان آب درون فلوم برقرار گردد، مدت ۱۵ دقیقه این حالت ادامه داشت. این حالت که در ابتدای هر آزمایش رعایت گردید، بمنظور یکنواخت شدن جریان پمپ و ایجاد شرایطی مناسب و اولیه برای زیاد کردن شیب بود و هیچ اندازه‌گیری در این حالت صورت نگرفت. بعد از این مرحله، شیب فلوم را زیاد کرده و به مدت ۵۰ تا ۶۰ دقیقه جریان درون فلوم با این شیب، ادامه داشت. در این حالت هد سرریز مثلثی به منظور بدست آوردن دبی و عمق آب درون فلوم، توسط ارتفاع سنج، بمنظور محاسبه تنش برشی و سرعت جریان قرائت شدند. در انتهای این مرحله، پمپ خاموش گردید، تاحجم فرسایش یافته اندازه‌گیری شود. بعد از این مرحله حفره‌های ایجاد شده در سطح بستر با رسوبات پر شدند و سطح نمونه به منظور انجام آزمایش بعدی، کاملاً صاف و صیقلی گردید. آزمایش بعدی که با شیب بیشتری نسبت به حالت قبل انجام



شکل ۳. رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه ویس



شکل ۴. رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه خلف آباد



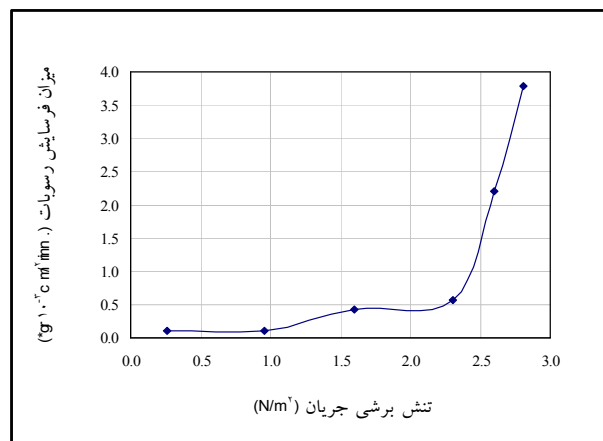
شکل ۵. رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه وصیله

برای رسوبات منطقه دشت اوان، آزمایشها در هفت مرحله انجام گرفت. مرحله اول با سرعت ۰/۷۱ متر بر ثانیه شروع شد و به مدت ۵۱ دقیقه ادامه داشت.

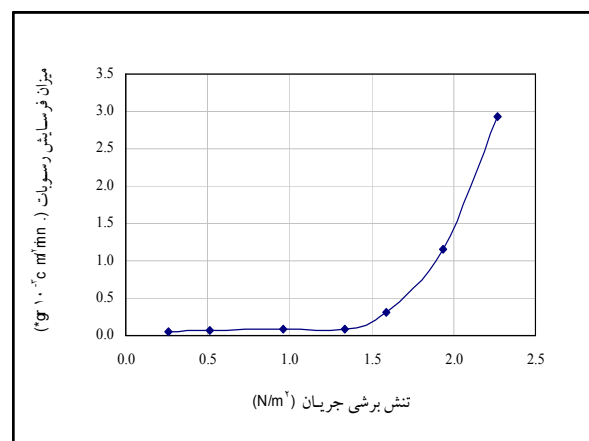
همانطوریکه در شکل‌های (۱) الی (۶) مشاهده می‌شود، با افزایش تنش برشی جریان، میزان فرسایش زیاد شده، ولی این افزایش در میزان فرسایش تا قبل از لحظه آستانه حرکت رسوبات مقداری کم و جزئی بوده ولی بعد از لحظه آستانه حرکت رسوبات نحوه افزایش میزان فرسایش تغییر کرده و گرادیان میزان فرسایش تا چندین برابر افزایش یافته که علت آن تبدیل نحوه فرسایش از حالت ذرات تکی رس به فرسایش توده‌ای رسوبات می‌باشد.

۸. مشاهدات آزمایشگاهی

مشاهداتی که از نحوه فرسایش مرحله به مرحله رسوبات صورت گرفته، برای رسوبات یک منطقه (دشت اوان)، با توجه به مشابه بودن نحوه فرسایش رسوبات جمع‌آوری شده، در ذیل ذکر شده است:



شکل ۱. رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه هنديجان

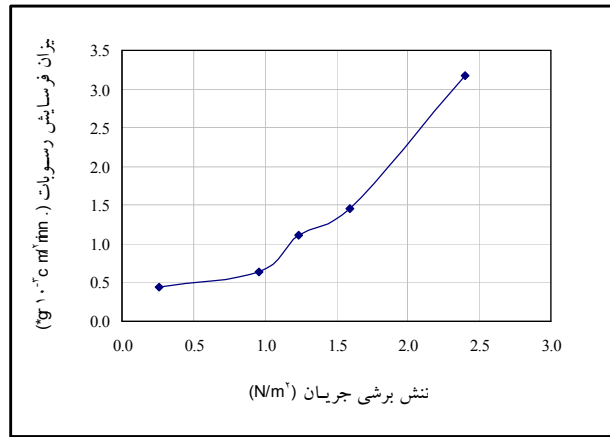


شکل ۲. رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه دشت اوان

شدند. نسبت میزان فرسایش بین این مرحله و مرحله چهارم حدود ۳ بود.

مرحله ششم با سرعت ۱/۹۴ و مرحله هفتم با سرعت ۲/۲۷ متر بر ثانیه انجام گرفتند. در این دو مرحله نحوه فرسایش بدین صورت بود که از سطح بستر قطعاتی به ابعاد چند سانتی متر به صورت آنی جدا شده و توسط جریان حمل شدند. این جدا شدن قطعات رسوب، در زمانهای تصادفی رخ می‌داد. بنظر می‌رسید این زمان موقعی بود که پیوند بین توده جدا شده و سطح بستر به اندازه کافی سست شود تا حدی که بصورت آنی از بستر کنده و توسط جریان حمل شود. نسبت میزان فرسایش بین مرحله ششم و پنجم حدود ۳ و مقدار این نسبت بین این مرحله و مرحله اول برابر ۲۲ بود. در سطح بستر بعد از مرحله ششم و هفتم حفره‌ها و چاله‌های بزرگ دیده می‌شد. در شکل‌های (۷) و (۸) بستر فرسایش یافته برترتیب بعد از مرحله اول و هفتم نشان داده شده‌است. همانطور که ملاحظه می‌شود بعد از مرحله اول حفره‌هایی بسیار ریز و بعد از مرحله هفتم حفره‌های عمیق و وسیع در سطح بستر تشکیل شده‌است. لحظه آستانه حرکت این رسوبات با توجه به مشاهدات صورت گرفته و رابطه بین میزان فرسایش و تنش برشی جریان، مرحله پنجم در نظر گرفته شده‌است.

مشاهدات آزمایشگاهی طبق آنچه که در بالا گفته شد با تئوری فرسایش اینیشتن و هون‌لی تطابق دارد. در این تئوری گفته شد که برای فرسایش یک ذره رس، دو شرط لازم است یکی شکستن زیر لایه آرام که بصورت تصادفی اتفاق می‌افتد و دیگر اینکه نیروهای هیدرولیکی اعمال شده بر ذرات بر نیروهای مقاوم بین ذرات که شامل نیروهای جاذبه و پیوندی بین ذرات می‌باشد غالب شوند. در صورتی که چنین اتفاقی بیافتد ذرات رس فرسایش می‌یابند که بسته به قدرت جریان اندازه ذرات فرسایش یافته می‌تواند از ذرات نامرئی شروع و تا قطعاتی چند سانتی متری برسد. در مرحله اول تا چهارم آزمایش که حفره‌هایی کوچک در سطح بستر ایجاد می‌شود نشان دهنده این است که شکستن زیر لایه آرام اتفاق می‌افتد ولی قدرت جریان در حدی نیست که پیوندهای قوی بین ذرات را بشکند و فرسایش سطحی^۲ اتفاق می‌افتد. ولی از مرحله پنجم به بعد دو پدیده با هم اتفاق می‌افتند. نتیجه آن، ابتدا ایجاد حفره‌هایی کوچک، سپس بزرگ شدن حفره‌ها و جدا شدن قطعاتی بزرگ از سطح بستر است، در این حالت فرسایش توده‌ای^۳ اتفاق افتاده و شدت آن لحظه به لحظه بیشتر می‌شود و در مراحل بعدی آزمایش نیز این حالت رخ می‌دهد. لازم به ذکر است که حفره‌های ایجاد شده و ناصافی‌هایی که در سطح بستر ایجاد می‌شوند به تلاطم و شکستن زیر لایه آرام در محل‌های مربوط کمک می‌کند، که نتیجه آن، گسترش فرسایش در محل‌های مذکور می‌باشد. همچنین



شکل ۶. رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای رسوبات منطقه شادگان

جدول ۱. تنش برشی و سرعت بحرانی رسوبات چسبنده مورد

آزمایش

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

میزان فرسایش در این مرحله کم و جزئی بود. نحوه فرسایش بدین ترتیب بود که در ابتدا ذراتی به صورت پراکنده و به دنبال آن توده‌های کوچکی از کف جدا شده و با جریان شسته می‌شدند، این حالت تا انتهای این مرحله ادامه داشت و نتیجه آن ایجاد حفره‌هایی کوچک و پراکنده در سطح بستر بود. مرحله دوم با سرعت ۰/۷۳، مرحله سوم با سرعت ۰/۸ و مرحله چهارم با سرعت ۱/۰۴ متر بر ثانیه انجام گرفتند در تمام این مراحل مانند مرحله اول فرسایش کم و جزئی بود فقط حجم حفره‌های ایجاد شده در هر مرحله نسبت به مرحله قبل، کمی بزرگتر شده بود. نسبت میزان فرسایش بین مرحله چهارم و سوم حدود ۱/۱ و مقدار این نسبت بین مرحله چهارم و اول حدود ۱/۸ بود، مرحله پنجم با سرعت ۱/۰۸ متر بر ثانیه شروع شد و به مدت ۶۰ دقیقه ادامه داشت. در این مرحله فرسایش، در ۱۵ دقیقه اول مانند مراحل قبل بصورت ایجاد حفره‌هایی کوچک در سطح بستر بود و در ۴۵ دقیقه بعد، حفره‌های ایجاد شده در اثر تنش برشی وارد از طرف جریان بزرگتر شده، توده‌های نسبتاً بزرگتری از بستر جدا شده و توسط جریان حمل

² Surface Erosion

³ Mass Erosion

۳) قطع آب جهت لایروبی کانالها باعث قطع جریان آب بطرف مزارع میشود.

۴) هزینه اقتصادی لایروبی کانالها بسیار گران تمام میشود.

۵) رسوبگذاری موجب بوجود آمدن شرایط مناسب جهت رشد علفهای هرز شده که خود باعث صدمه دیدن پوشش کانال و تلفات ناشی از مصرف آب بوسیله این گیاهان می شود.

بنابراین مقابله با مشکل رسوبگذاری کانالها، از جمله مسائلی است که در طراحی و برنامه ریزی شبکه های آبیاری باید گنجانده شود. لذا بمنظور بررسی وضعیت رسوبگذاری کانالهایی که نمونه برداری رسوب از آنها صورت گرفته، مقایسه ای بین تنش برشی موجود در این کانالها بر مبنای دبی طراحی و مقادیر تنش برشی بحرانی آزمایشگاهی آنها انجام گرفته است، که در جدول (۲) این مقادیر آمده اند (مقایسه مذکور برای سه منطقه ویس، دشت اوان و چمران صورت گرفته است). همانطور که در جدول (۲) ملاحظه می شود برای مناطق ویس و دشت اوان تنش برشی بحرانی بدست آمده در آزمایشگاه بیشتر از تنش برشی حداکثر کانال در حالت فعلی می باشد. این بدین معنی است که اگر در این کانالها، حداکثر دبی هم جریان داشته باشد باز هم رسوبات ته نشین شده در آستانه حرکت قرار نمی گیرند و برای منطقه چمران تنش برشی آزمایشگاهی از تنش برشی موجود کمتر می باشد که این بدین معناست که اگر در این کانال حداکثر دبی جریان داشته باشد رسوبات ته نشین شده در آستانه حرکت قرار می گیرند.

مقایسه دیگری، برای مناطق ویس و دشت اوان که تنش برشی آزمایشگاهی بیشتر از تنش برشی موجود بوده، صورت گرفته است، در صورتیکه بخواهیم تنش برشی بحرانی بدست

جدول ۲. مقایسه بین تنش برشی آزمایشگاهی و تنش برشی

موجود کانالها

نام منطقه رسوبات	تنش برشی بحرانی آزمایشگاهی (N/m ²)	تنش برشی موجود در کانال (N/m ²)
ویس	۱/۶۰	۱/۲۹
دشت اوان	۱/۵۹	۱/۱۷
چمران (وصیله)	۱/۲۳	۲/۴۶

آمده در آزمایشگاه، در کانالهای این مناطق برقرار باشد این کانالها چه خصوصیاتی باید داشته باشند، بعبارت دیگر در صورت تغییر نکردن دبی طراحی (Q)، شیب بدنه کانال (Z)، ضریب مانینگ (n) و عرض کف (b)، مقدار شیب کانال چقدر باید باشد تا تنش مذکور در آن برقرار شود. بدین منظور با استفاده از روابط تنش برشی کانالها (رابطه ۳) و معادله مانینگ و با در نظر گرفتن تنش برشی بحرانی آزمایشگاهی به عنوان تنش برشی موجود در کانال و معلوم بودن پارامترهای Q، Z و b، مقادیر شیب و شعاع هیدرولیکی جدید

مشاهدات صورت گرفته با مشاهدات آزمایشگاهی میرت خولاوا از آبخوئی رسوبات چسبنده که در قسمتهای قبل ذکر شد، تطابق دارد. وی نیز مشاهده کرد که فرسایش رسوبات چسبنده در چند مرحله، از جدا شدن ذرات ریز تا توده های چند سانتی متری از بستر اتفاق می افتد.



شکل ۷. بستر فرسایش یافته بعد از آزمایش مرحله اول

(حفره های بسیار ریز تشکیل شده اند)



شکل ۸. بستر فرسایش یافته بعد از آخرین مرحله آزمایش

(حفره های عمیق و گسترده)

۹. مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و شرایط موجود

کانالها

رودخانه ها به همراه آب مقداری رسوب را با خود حمل می کنند. این رسوبات از محل های آبیاری رودخانه ها که معمولاً بصورت آبیگرهای ثقلی یا ایستگاههای پمپاژ می باشند. وارد شبکه های آبیاری شده و مشکلات بعضاً لاینحلی را بوجود می آورند. بعضی از مشکلاتی که در اثر انتقال رسوبات به شبکه های آبیاری بوجود می آید عبارتست از:

۱) در نتیجه ته نشین شدن موادرسوبي در کانالها ظرفیت جریان کم میشود.

۲) وجود مواد درشت دانه، موجب فرسایش و خرابی دیواره های کانال میشود.

ت) تنش برشی موجود در کانال را بر اساس دبی کانال و ابعاد طراحی شده از رابطه تنش برشی کانال (رابطه (۳)) محاسبه می کنیم.

ج) تنش محاسبه شده در مرحله (ت) (τ_0) را با تنش برشی بدست آمده در مرحله الف (τ_c) مقایسه کرده بطوریکه رابطه $\tau_c \geq \tau_0$ برقرار باشد، اگر رابطه مذکور برقرار باشد، به مرحله (و) رفته در غیر اینصورت به مرحله (د) میرویم.

د) از رابطه تنش برشی با در نظر گرفتن تنش برشی بحرانی بعنوان تنش برشی موجود در کانال ($\tau_c = \gamma RS$) و از رابطه مانینگ با فرض ثابت بودن عرض کانال، شیب بدنه، ضریب مانینگ و دبی نسبت به حالت اولیه، مقدار شیب کف و عمق جدید کانال را محاسبه می کنیم.

و) مقدار شیب محاسبه شده را با شیب قبلی و رقوم طبیعی زمین مقایسه کرده تا مشکلی از جهت رقوم آبیگری کانالهای پائین دست و معیارهای فنی، هیدرولیکی، اجرائی و اقتصادی کانالها وجود نداشته باشد.

ی) نسبت (b/y) در مقطع جدید کنترل شده همچنین مقادیر عدد فرود و سرعتهای حداقل و حداکثر در کانال کنترل شوند که با معیارهای هیدرولیکی شبکه های آبیاری تطابق داشته باشند، در غیر این صورت مقطع کانال اصلاح شود.

۱۱. راهکارهای مقابله با مشکل رسوبگذاری کانالها

جهت جلوگیری از ورود رسوبات درشت دانه (ماسه و ذرات درشت تر از آن) به شبکه های آبیاری، راهکارهایی وجود دارد که اگر بدرستی بررسی و رعایت شوند، می توان از ورود این رسوبات به آبگیرها یا ایستگاههای پمپاژ، که از آنجا به شبکه های آبیاری منتقل می شوند، جلوگیری کرد. بعضی از این راهکارها شامل موارد ذیل می باشد:

- انتخاب محل درست و مناسب برای آبگیر یا ایستگاه پمپاژ به طوریکه علاوه بر آبیگری مناسب کمترین میزان رسوب توسط جریان به محل های مذکور منحرف شود.

- ایجاد یک حوضچه رسوبگیر در ابتدای تاسیسات آبیگری به منظور جمع آوری رسوبات .

- احداث دیواره جداکننده رسوبات در جلوی محل آبیگری به منظور کاهش و منحرف کردن رسوبات جریان رودخانه از محل مذکور .

- احداث پره های مستغرق در جلوی آبگیر یا ایستگاه پمپاژ با آرایشی مناسب به منظور جلوگیری از حرکت بار بستر به سمت محل آبیگری .

- احداث رسوبگیرهای ورتکس و تونلهای رسوبگیر .

- تمام موارد فوق بسته به نیاز باید در مدل های فیزیکی - هیدرولیکی مناطق مورد نظر، بررسی شده و بهترین راه حل انتخاب شود.

کانال را محاسبه شدند (این مقادیر در جدول (۳) آمده اند). جدول (۳) نشان می دهد که در منطقه ویس در صورتی که دبی حداکثر جریان داشته باشد، برای اینکه رسوبات در آستانه حرکت قرار گیرند شیب کف کانال بجای $0/0001$ باید $0/00012$ باشد و در منطقه دشت اوان شیب بجای $0/00025$ باید $0/00037$ باشد. بنابراین در موقع طراحی این کانالها در صورتیکه پروفیل زمین طبیعی و مسائل فنی و اقتصادی - اجرائی کانالها اجازه میداد که این کانالها با شیبهای مذکور طراحی شوند رسوبات چسبنده کف در دبی حداکثر کانال در آستانه حرکت قرار می گرفتند. ولی مشکل دیگری که وجود دارد این است که اگر شیبهای مذکور هم در کانال برقرار شوند دبی حداکثر در کانال همیشه جریان ندارد که رسوبات را در معرض فرسایش قرار دهد. این دبی فقط در فصول کم آبی بر اساس نیاز اراضی پائین دست در کانال جریان پیدا می کند نه در مدت زمانی طولانی، تا موقعی که نیاز باشد و به فرض هم که رسوبات شسته شوند به محض قطع یا کاهش جریان، بدون اینکه رسوبات به پائین دست انتقال یابند ته نشین می شوند. ولی مزیت طراحی کانالها بر اساس تنش برشی بحرانی این است که از همان ابتدای بهره برداری کانال میتوان رسوبات ته نشین شده را با جریان، در زمانهای معین کنترل کرد بدون این که رسوبات به صورت سخت و سیمانته ته نشین شوند که این احتیاج به برنامه ریزی دقیق و کنترل مسئله در حالت میدانی می باشد.

۱۰. الگوی جهت طراحی کانالها بر مبنای تنش برشی

بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده

بمنظور طراحی کانالها بر اساس تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده، با موجود بودن دبی کانال، نقشه های توپوگرافی و مشخصات زمین شناسی و خاک شناسی منطقه مراحل زیر باید انجام شود:

الف) تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات، با نمونه برداری از رسوبات چسبنده ته نشین شده در انهار سنتی یا کانالهای بتنی آزمایشی موجود در منطقه که نماینده رسوبات آن منطقه می باشند، به روشی که در این تحقیق ذکر شد، تعیین گردد.

ب) با توجه به اطلاعات موجود مقادیر شیب بدنه کانال (z) ، ضریب مانینگ (n) و شیب اولیه کف (s) تعیین گردد.

پ) با انتخاب عرض کف (b) مناسب بر اساس معیارهای هیدرولیکی شبکه های آبیاری و با استفاده از فرمول مانینگ، طراحی ابعاد کانال صورت گرفته سپس نسبت عرض کف به عمق آب (b/y) کنترل شده که مقداری مناسب بر اساس معیارهای مذکور باشد [۴]. در صورتی که در محدوده مورد نظر باشد به مرحله (ت) می رویم در غیر این صورت عرض را تغییر داده تا در محدوده مذکور قرار گیرد.

این روشها تا حد ممکن میزان لایروبی کانالها کاهش یافته و گامی در جهت کاهش هزینه ها و کمک به اقتصاد کشور برداشته شود.

۱۲. نتیجه گیری

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

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

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

۳- قبل از حالت بحرانی رسوبات حفره هائی کوچک و پراکنده در سطح بستر نمایان می شود و بعد از حالت بحرانی، حفره هائی بزرگ که در نتیجه بزرگ شدن حفره های کوچک اولیه می باشند، در سطح بستر دیده می شود.

۴- در شرایط بعد از حالت بحرانی، که حفره هائی نسبتاً بزرگ در سطح بستر ایجاد می شد پروفیل سطح آب همسو با حفره های ایجاد شده بوده، یعنی در محل حفره ها فرورفتگی سطح آب مشاهده شد.

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

۶- نتایج تنش برشی بحرانی بدست آمده، برای توسعه شبکه های آبیاری مناطق برداشت رسوبات، بر اساس الگوی ارائه شده، میتواند مورد استفاده قرار گیرد و به عنوان راهنمائی تقریبی برای توسعه کانالهای مناطق دیگر، که دارای رسوبات چسبنده می باشند نیز میتواند مورد استفاده قرار گیرد.

۷- از چند مورد مقایسه بین تنش برشی بحرانی آزمایشگاهی و تنش برشی حداکثر موجود در کانالها بر اساس حداکثر دبی طراحی، معلوم شد که تنش برشی بحرانی اندازه گیری شده بیشتر از حداکثر تنش برشی موجود در کانالهاست. این بدین معنی است که رسوبات چسبنده ته نشینی شده در این کانالها حتی با برقرار شدن حداکثر

بمنظور مقابله با رسوبات ریزدانه، هدف اصلی باید جلوگیری از ته نشینی این مواد و انتقال آنها به اراضی تحت پوشش کانالها باشد. عبارت دیگر رسوبات ریز دانه نباید ته نشین شوند و گرنه مشکل آفرین خواهند بود. بنابراین از همان ابتدای طراحی کانالها باید بررسی های لازم و دقیق انجام شود. راهکارهای زیر جهت کاهش مشکل رسوبگذاری رسوبات چسبنده کانالها پیشنهاد می شود:

۱) بررسی روند انتقال رسوبات در کانال و نحوه رسوبگذاری در مسیر کانال با توجه به خصوصیات دانه بندی مواد معلق ورودی از رودخانه و مشخصات هیدرولیکی کانال با استفاده از مدل های کامپیوتری STARS, HEC-6 و مدل های مشابه دیگر .

۲) میزان تقریبی رسوبات ته نشین شده در کانال را، بروش ذکر شده در بند (۱) بدست آورده و از آنجا هزینه لایروبی کانالها برآورد و با هزینه ساخت و بهره برداری یک حوضچه رسوبگیر مقایسه گردد و در صورت اقتصادی بودن، حوضچه رسوبگیر احداث شود. لازم به ذکر است یک حوضچه رسوبگیر طراحی شده با روش ولکانف قابلیت ته نشین کردن رسوبات تا قطر $0/004$ میلی متر را دارد و در شبکه های آبیاری احداث می شود، بدین ترتیب بخشی از رسوبات ریزدانه در این حوضچه ها قابل ته نشین شدن هستند.

۳) در نظر گرفتن دریچه های تخلیه رسوب در انتهای کانالها و ارائه برنامه ای منظم جهت بکارگیری بموقع این دریچه ها در دوره بهره برداری از شبکه.

۴) طراحی کانالها بر اساس روشهای حداقل سرعت غیر رسوبگذار در کانال. در این روشها طراحی کانال بنحوی است که میزان ظرفیت انتقال مواد معلق توسط جریان در فصول آبیاری مختلف، بزرگتر یا مساوی مقدار مواد معلق وارد شده به کانال باشد. روشهای مذکور شامل: تئوری رژیم، روش حداقل سرعت غیر رسوبگذار و روش حد نهائی غلظت مواد معلق می باشد.

۵) طراحی کانالها بر اساس روش تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده که در این تحقیق ذکر شده به همراه برنامه ای منظم در دوره بهره برداری از کانال جهت آبشویی رسوبات ته نشین شده در کانالها .

۶) مقایسه روشهای مختلف طراحی کانال و انتخاب بهترین طرح برای کانال بنحوی که میزان ته نشینی رسوبات چسبنده به حداقل رسیده و یا امکان آبشویی این رسوبات در دبی طراحی کانال فراهم شود.

لازم به ذکر است روشهای فوق و دیگر روشهای موجود، جهت به حداقل رساندن و کاهش مشکل رسوبات، در کانالها می باشند و حذف این رسوبات از شبکه های آبیاری، در رودخانه هائی که مقدار قابل ملاحظه ای از رسوبات را به شبکه ها وارد می کنند، بسیار مشکل و تقریباً غیر ممکن بوده و تنها راه حل همان ارائه برنامه لایروبی دوره ای کانالها می باشد. بنابراین سعی بر این است که با بکارگیری

- [7] Raudkivi, A.J. *Loose boundary hydraulic*, Balkema, A.A Publishing Co.Inc.;Rotterdam,1998.
- [8] Haffman, G.J., Verhiej, H.J. *Scour manual*, Balkema, A.A., Publishing Co.Inc.;Rotterdam, 1997, pp.19-22.
- [9] Partheniathes, E. "*Erosion and deposition of cohesive soils*", Journal of hydraulic division. ASCE , Vol.91 , No.HY1,1965 , pp.105-137.
- [10] Krishnamurthy, M. "*Incipient motion of cohesive soils*", Proc. 4th Conf. of ASCE , New York ,1983, pp.96-101.
- [11] Raudkivi, A.J., Tan, S.K. "*Erosion of cohesive soils*", Journal of hydraulic research, Vol.22, No. 4, 1984, pp. 217-233.
- [12] Hamm, L.; Migniot, C. "*Elements of cohesive sediment deposition consolidation and erosion* ", In: Abbott, M.B.; Price, W.A. (Eds. (Coastal, estuarial and harbour engineer's refrence book)) .London , Chapman & Hall ,1993, pp.93-106.
- [13] Otsube, K. "*Critical shear stress of cohesive bottom sediment*", Journal of hydraulic engineering .ASCE , Vol. 114, No.10, 1988, pp. 1241-1256.
- [14] Purchure, T.M.; Mehta, A.J. "*Erosion of soft cohesive sedimen deposition*", Journal of hydraulic engineering, ASCE, Vol. 111, No. 10 , 1985, pp. 1308-1326.
- [15] Ravents, T.M. , Schwend, P.M. "*Flume measurement of sediment erodibility in boston habor*", Journal of hydraulic engineering, ASCE, Vol.1 25, No.10, 1999, pp.998-1005.

تشکر و قدردانی

بخشی از خدمات و هزینه‌های مالی این مطالعه در قالب طرح تحقیقاتی، توسط دفتر تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب سازمان آب و برق خوزستان، پروژه شماره ۷۹۲۰۶/۴۴ تأمین گردیده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

دبی هم در آستانه حرکت قرار نمی‌گیرند. فقط در یک مورد تنش برشی آزمایشگاهی از تنش برشی موجود در کانال کمتر بدست آمد. ۸- برای طراحی کانالهای انتقال آب در مناطقی که رسوبات از نوع چسبنده و ریزدانه، در ترکیب رسوبات ورودی به کانال زیاد می‌باشد، بجای استفاده از معیار حرکت رسوبات غیر چسبنده (که معمولاً استفاده می‌شود) بهتر است از معیارهای موجود برای رسوبات چسبنده استفاده شود.

مراجع

- [۱] شفاعی بجستان محمود، "هیدرولیک رسوب"، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۱۶۴، چاپ اول، ۱۳۷۳.
- [۲] ابن جلال رضا و شفاعی بجستان محمود، "اصول نظری و عملی مکانیک خاک"، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ دوم، ۱۳۷۶.
- [۳] وجدانی ناصر، "تعیین تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده و نقش آن در طراحی کانالهای روباز"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۵۷ ص، ۱۳۸۱.
- [۴] معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، "معیارهای هیدرولیکی طراحی کانالهای آبیاری و زهکشهای روباز"، انتشارات سازمان برنامه و بودجه، نشریه شماره ۱۶۶، ۱۳۷۶.
- [۵] علیزاده امین، "اندازه‌گیری قابلیت فرسایش خاک بوسیله استوانه‌های دوار"، مجله علمی کشاورزی، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۲، صفحات ۱ الی ۷، ۱۳۵۴.
- [۶] علیزاده امین، "فرسایش هیدرولیکی خاکهای چسبنده"، مجله علمی کشاورزی، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۳، صفحات ۱۵ الی ۲۶، ۱۳۵۵.