

بررسی تأثیر اندازه ذرات رسوبات بستر بر آبستتگی تکیه‌گاه‌های پل

علی‌رضا طوبائی زاده^۱، هوشنگ حسونی زاده^۲، مهدی قمشی^۳

۱- گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲- گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۳- استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۳۰

چکیده

آبستتگی پدیده طبیعی است که بواسطه جریان آب رودخانه‌ها و یا سیلاب بوجود آمده، و نتیجه آن عمل فرسایش بوسیله جریان آب است، که موجب انتقال و سائیدن مواد از کف، سواحل و اطراف پایه‌های پل می‌شود و در بسیاری از موارد منجر به تخریب پل و سازه‌های هیدرولیکی می‌گردد. در این مطالعه تأثیر اندازه ذرات رسوبات بستر بر آبستتگی تکیه‌گاه‌های کوتاه (نسبت طول پیش آمدگی تکیه‌گاه به عمق جریان کمتر از یک است) به صورت آزمایشگاهی با استفاده از رسوبات یکنواخت با قطر متوسط ذرات ۰/۳۵، ۰/۷ و ۱/۵ میلی‌متر در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که برای رسوبات یکنواخت با $(d_{50} = 0.7)$ فرم بستر ریپل تشکیل می‌شود و برای رسوبات با $(d_{50} > 0.7)$ فرم بستر ریپل تشکیل نمی‌شود. عمق آبستتگی در رسوبات ریپل $(d_{50} \leq 0.7)$ در شرایط آب زلال، در مقایسه با رسوبات غیر ریپل کمتر است.

کلمات کلیدی: آبستتگی، اندازه ذرات، تکیه‌گاه پل، مدل فیزیکی

مقدمه

همچنین فضای خالی و تورفتگی بوجود آمده، بواسطه شسته شدن رسوبات از کف بستر رودخانه را چاله آبستتگی می‌نامند.

هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از پل‌ها و سازه‌های هیدرلیکی تخریب می‌گردند. طبق آمارهای ارائه شده توسط کشورهای مختلف می‌توان گفت اکثر تخریب پل‌ها نه در اثر ضعف سازه‌ای بلکه در اثر وقوع پدیده آبستتگی در اطراف پایه‌ها رخ می‌دهد. آبستتگی پدیده طبیعی است که بواسطه جریان آب رودخانه‌ها و یا سیلاب بوجود آمده، و نتیجه آن عمل فرسایش بوسیله جریان آب که انتقال و سائیدن مواد را از کف، سواحل و اطراف پایه‌های پل را موجب می‌شود (بروسرز و همکاران، ۱۹۷۷). عمق ناشی از فرسایش بستر نسبت به بستر اولیه را عمق آبستتگی می‌نامند.

انواع آبستتگی

محققین زیادی از جمله لارسن و تاج (۱۹۵۶) رادکیوی و اتما (۱۹۸۳)، ریچاردسون و دیویس (۲۰۰۱) و ملویل و کلمن (۲۰۰۰) در مورد انواع آبستتگی تحقیق نموده‌اند. با بررسی مطالعات آنها می‌توان انواع آبستتگی را از دو جنبه کلی مورد بررسی قرار داد (خزیمه نژاد، ۱۳۹۱): انواع آبستتگی از نظر علت به وجود آمدن، انواع آبستتگی از نظر وضعیت حمل مواد بستر.

درصد بیشتر از حالت بستر متحرک می باشد، بنابراین حداکثر عمق آبخستگی در شرایط آستانه حرکت رسوبات (لحظه ای که ذرات شروع به حرکت می کنند را اصطلاحاً آستانه حرکت می نامند) یعنی $1 = \frac{U}{U_c}$ رخ می دهد. (گراف، ۱۹۹۶؛ باربویا و دی، ۲۰۰۴).

الگوی جریان و مکانیزم آبخستگی در اطراف تکیه گاه پل

تکیه گاه های پل یا کوله های پل، پایه های پل چسبیده به ساحل رودخانه می باشند. اگر تکیه گاهی بطور عمودی در بستر رودخانه قرار گرفته باشد جریان آب در اطراف آن متلاطم شده و یک سلسله جریان های گردابی ایجاد می کند. این سیستم های گردابی مکانیزم اصلی آبخستگی به حساب می آیند. به طور دقیق تر عوامل درگیر در آبخستگی اطراف تکیه گاه پل را می توان به جریان رو به پائین گرداب موج کمائی، گرداب نعل اسبی (گرداب اصلی)، گرداب ثانویه و گرداب برخاستگی تقسیم بندی کرد.

در سطح بالادست سازه، هنگام برخورد جریان آب به دماغه تکیه گاه پل، سرعت جریان نزدیک شونده تقریباً صفر می شود، که این قسمت سازه را نقطه رکود یا ایستای می گویند (کودیاری و همکاران، ۱۹۹۲) در این نقطه تمام سرعت به هد فشار تبدیل می شود. با توجه به توزیع غیر یکنواخت سرعت در عمق رودخانه، توزیع فشاری که ایجاد می شود نیز غیر یکنواخت بوده و از الگوی پروفیل سرعت تبعیت می کند. از آنجا که سرعت از سطح به طرف کف کم می شود، فشار دینامیکی هم روی پایه از بالا به پایین کم می شود و بدین ترتیب گرادیان فشار ایجاد شده باعث ایجاد جریانی به طرف کف بستر می گردد. جریان رو به پایین پس از برخورد به بستر به جهات مختلف پراکنده می شود و مقداری از آن صرف حفر زمین می شود. کاهش سرعت در قسمت فوقانی پروفیل سرعت جریان، سبب ایجاد یک گرادیان فشار به سمت بالا بر روی پایه

انواع آبخستگی از نظر علت به وجود آمدن به سه دسته تقسیم می شود.

۱- آبخستگی عمومی: آبخستگی عمومی در اثر تغییرات رژیم رودخانه و صرف نظر از وجود پل در مسیر جریان اتفاق می افتد.

۲- آبخستگی ناشی از تنگ شدگی: ایجاد هر نوع سازه در مسیر طبیعی رودخانه، منجر به کاهش عرض رودخانه می شود. این عمل باعث می شود که سرعت جریان و تنش برشی بستر در این محدوده افزایش یابد، در نتیجه به ظرفیت حمل رسوب افزوده شده و سبب خواهد شد تا مواد بستر رودخانه از محل تنگ شدگی به قسمت های پایین دست رودخانه منتقل شوند.

۳- آبخستگی موضعی: قرار گرفتن مانعی در برابر جریان مانند پایه پل باعث تغییر الگوی جریان در اطراف این سازه های داخل جریان و ایجاد جریان های آشفته چرخشی و گرداب هائی در اطراف آنها می شود که در نتیجه باعث فرسایش در زیر این سازه ها می گردد. این فرسایش تنها در اطراف سازه مذکور رخ می دهد، از این رو فرسایش حاصل را موضعی می خوانند.

از مجموع این سه آبخستگی، عمق آبخستگی کل به دست می آید.

بنا به شرایط انتقال رسوب و بر اساس میزان رسوباتی که به حفره آبخستگی وارد یا خارج می شوند، چابرت و انگلدینگر (۱۹۵۶) آبخستگی را به دو حالت تقسیم کردند (خزیمه نژاد، ۱۳۹۱): آبخستگی آب زلال آبخستگی و بستر زنده. آبخستگی آب زلال، زمانی اتفاق می افتد که حمل رسوب از بالادست رودخانه توسط جریان وجود ندارد. آبخستگی بستر زنده زمانی روی می دهد که جریان از بالادست، حاوی رسوب باشد؛ اینگونه می توان گفت که سرعت جریان بزرگتر از سرعت بحرانی (آستانه حرکت) رسوبات می باشد ($U > U_c$). عمق آبخستگی در حالت آب زلال ۱۰

در شرایط آستانه حرکت غیر ممکن است. اتما (۱۹۸۰) و اتما و رادکیوی (۱۹۸۳) بیان داشتند که عمق آبستتگی در رسوبات ریپل کمتر از رسوبات غیر ریپل^۲ ($d_h > 0.7$ میلی متر) است.

ملویل و ساترلند (۱۹۸۸) فاکتور اندازه رسوب را برای محاسبه تأثیر اندازه رسوبات روی عمق آبستتگی تکیه گاه پل ارائه دادند (خزیمه نژاد، ۱۳۹۱). بر این اساس در صورتی که $\frac{l}{d_h} > 25$ (نسبت طول پیش آمدگی تکیه گاه به قطر متوسط ذرات رسوب) باشد، عمق آبستتگی به اندازه ذرات رسوب بستگی ندارد و برای $\frac{l}{d_h} \leq 25$ اندازه ذرات رسوب بر عمق آبستتگی تأثیر می گذارد.

در این مطالعه آبستتگی تکیه گاه های کوتاه [نسبت طول پیش آمدگی تکیه گاه به عمق جریان کمتر از یک است $1 \leq \frac{l}{h}$ (ملویل ۱۹۹۲)] با سه شکل مقطع مستطیلی، دوزنقه 45° و نیم دایره کوتاه بر بستری از رسوبات یکنواخت با قطر متوسط ذرات (d_s) ۰/۳۵، ۰/۷ و ۱/۵ میلی متر در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار می گیرد.

مواد و روش ها

فلوم آزمایشگاهی

اجزاء مختلف فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق به این شرح است. کانال های ورودی و خروجی روباز مستطیلی با جداره شیشه، که طول کانال های ورودی در ابتدای فلوم و خروجی در انتهای فلوم به ترتیب ۶ و ۴ متر می باشد، عرض و ارتفاع فلوم نیز ۰/۶ متر می باشد. مسیر ورودی و خروجی مستقیم و کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت ۳ میلی متر و دیواره ها از جنس شیشه شفاف به ضخامت ۶ میلی متر

می شود که جریان را به سمت سطح منحرف می کند و سبب ایجاد گرداب موج کمانی می گردد. مقداری از جریان پایین رونده که رو به سمت بالادست بازگشت می کند، در برخورد با جریان عمومی مجبور به حرکت در جهت جریان می شود و به پایه برخورد می کند، این چرخش جریان و بازگشت مجدد آن مقدمه تشکیل گرداب نعل اسبی می باشد. چرخش این گرداب به طرف پایین دست امتداد می یابد که شکلی شبیه نعل اسب در پلان پیدا می کند و به این دلیل آنرا گرداب نعل اسبی می نامند. هنگام جدا شدن جریان از انتهای دماغه تکیه گاه به دلیل کاهش فشار در پشت دماغه، جریان به سمت پشت تکیه گاه منحرف شده و ایجاد گردابی می کند که به آن گرداب برخاستگی می گویند.

پارامترهای موثر بر آبستتگی تکیه گاه

به منظور ناچیز در نظر گرفتن تأثیر دیواره کانال بر آبستتگی، لارسن و تاج (۱۹۵۶) و چیو و ملویل (۱۹۸۷)، نسبت عرض کانال به عرض پایه پل را بزرگتر یا مساوی ۱۰ پیشنهاد دادند ($\frac{B}{l} \geq 10$). چیو (۱۹۸۴)، آزمایش هایی را در حالت بستر زنده انجام داد و پی برد که نسبت ($\frac{B}{l} = 8$) پیشنهاد شده توسط شن و همکاران (۱۹۶۶)، به طور قابل توجهی تأثیر دیواره کانال را کاهش می دهد.

ملویل (۱۹۹۲) آزمایش های با عمق و طول های مختلف تکیه گاه در زمان های خیلی طولانی انجام داد و در نهایت توانست محدوده های مربوط به عمق تعادل آبستتگی (d_s) را شناسایی کند. او تکیه گاه ها را به سه گروه تکیه گاه های کوتاه ($\frac{l}{h} \leq 1$)، تکیه گاه های بلند ($\frac{l}{h} \geq 25$) و تکیه گاه های متوسط ($1 < \frac{l}{h} < 25$) تقسیم بندی کرد.

اتما (۱۹۸۰) بیان داشت که برای رسوبات ریپل^۱ ($d_h \leq 0.7$ میلی متر) باقی ماندن بستر به صورت تخت

1- Rippling Sediment

2- Non-Rippling Sediment

سکوی دیگری به ارتفاع ۱۱/۵ سانتی متر و طول ۱ متر با استفاده از شن $\frac{3}{4}$ ساخته شد (شکل ۱). سکوهایی شنی به دلیل کاهش حجم ماسه مصرفی (بدست آوردن ماسه با دانه بندی مشخص و یکنواخت کاری پر زحمت و زمان بر است) و همچنین ایجاد طول کافی جهت فراهم آوردن شرایط جریان یکنواخت و رودخانه ای ساخته شدند. لازم به ذکر است که پس از سکوی انتهایی، سطح شیب داری تا میانه های قوس (طول تقریبی ۲ متر) با استفاده از شن $\frac{3}{4}$ ساخته شده تا شرایط جریان خروجی از روی مدل به طور تدریجی تغییر کند. در این تحقیق آبشستگی تکیه گاه مستطیل، دوزنقه 45° و نیم دایره مورد بررسی قرار می گیرد. شکل ۲ این تکیه گاهها را نشان می دهد. شکل ۱ محل قرارگیری این تکیه گاهها را در فلوم آزمایشگاهی نشان می دهد. تکیه گاههای مستطیل و نیم دایره نسبت $\frac{b}{l} = 2$ و تکیه گاه دوزنقه نسبت $\frac{b}{l} = 3$ (b = طول تکیه گاه در جهت جریان و l = طول تکیه گاه عمود بر جهت جریان) و ارتفاع ۰/۵ متر دارند. ابعاد تکیه گاه به گونه ای انتخاب شده که اثر دیواره جانبی کانال بر عمق حفره آبشستگی ناچیز باشد. در جدول ۱ ابعاد این تکیه گاهها آورده شده است. تکیه گاه مستطیل و دوزنقه از جنس پلکسی گلاس و تکیه گاه نیم دایره از جنس پولیکا به ضخامت ۳ میلی متر ساخته شده اند. لازم به ذکر است که برای اتصال تکیه گاهها به دیواره فلوم از چسب آکواریوم استفاده شد.

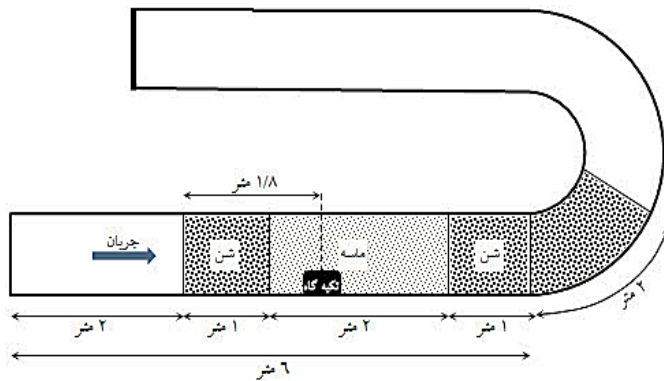
و به طول ۶ متر ساخته شده که هم اثر زبری جداره را کاهش می دهد و هم پدیده های هیدرولیکی در محفظه قابل رویت می باشند. کف فلوم بصورت بستر ثابت و بدون شیب و در حد دقت اجرائی (شیب حدود صفر) بصورت افقی ساخته شده است. قوس ۱۸۰ درجه فلوم با جداره ای از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۳ میلیمتر و شعاع مرکزی ۱/۸ متر و طول قوس های داخلی و خارجی به ترتیب ۴/۷ و ۶/۶ متر و با توجه به اینکه نسبت R/B کانال برابر ۳ بوده، لذا در دسته کانال های تند و متمایل به تند قرار می گیرد. برای چرخش آب در فلوم آزمایشگاهی از یک پمپ لجن کش به قدرت ۱۱ کیلووات، که قطر لوله مکش و دهش آن ۶ اینچ است، استفاده می شود. ارتفاع مکش پمپ تقریباً ۲ متر و ارتفاع دهش آن حدود ۶ متر و حد اکثر دبی قابل انتقال توسط پمپ ۱۸ لیتر در ثانیه است.

مدل رودخانه و مدل تکیه گاه پل

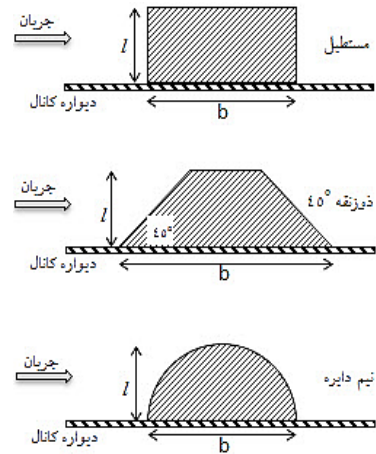
از آنجایی که در کلیه آزمایشها باید شرایط جریان یکنواخت برقرار باشد، کانال ورودی به دلیل طول مناسب و مسیر مستقیم بهترین گزینه برای ساخت مدل رودخانه می باشد. از ۶ متر طول کانال ورودی ۲ متر اول آن برای آرام ساختن جریان اختصاص داده شد، پس از آن سکویی به ارتفاع ۱۱/۵ سانتی متر و طول ۱ متر با استفاده از شن $\frac{3}{4}$ ساخته شد و سپس محدوده ای به ارتفاع ۱۱/۵ سانتی متر و به طول ۲ متر توسط ماسه غیر چسبنده یکنواخت پر شد و در انتها نیز

جدول ۱. ابعاد تکیه گاههای استفاده شده در آزمایشها

تکیه گاه مستطیل		تکیه گاه دوزنقه 45°		تکیه گاه نیم دایره	
l(m)	b(m)	l(m)	b(m)	l(m)	b(m)
۰/۰۶۲	۰/۱۲۴	۰/۰۶۲	۰/۱۸۶	۰/۰۶۲	۰/۱۲۴



شکل ۱. پلان مدل رودخانه و مکان قرارگیری تکیه‌گاه



شکل ۲. تکیه‌گاه استفاده شده در آزمایش‌ها

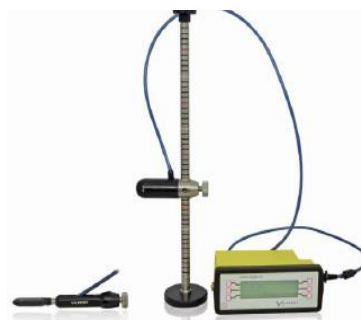
جریان سنج الکترومغناطیس مدل (۸۰۱) شرکت ویل پرت^۲ ساخت کشور انگلستان توانایی اندازه‌گیری سرعت آب در کانال‌های باز را با دقت بالا دارد. این دستگاه دو نوع سنسور استوانه‌ای و تخت دارد و در آب زلال و گل آلود قابل استفاده است. به دلیل اینکه عمق جریان در آزمایش‌ها کمتر از ۱۵ سانت‌متر بود بنابراین از جریان سنج الکترومغناطیس با سنسور تخت در این تحقیق استفاده شد. محدوده سرعت اندازه‌گیری دستگاه با سنسور تخت از ۵- تا ۵+ متر برثانیه، دقت اندازه‌گیری % ۰/۵ ± خطا در اندازه‌گیری و حداقل عمق جریان مورد نیاز دستگاه ۵ سانتی‌متر می‌باشد. (شکل ۴)



شکل ۴. متر لیزری

تجهیزات اندازه‌گیری

متر لیزری استفاده شده در این تحقیق ساخت کشور آلمان با عنوان تجاری BOSCH مدل DLE 70 Professional می‌باشد (شکل ۳). محدوده اندازه‌گیری این دستگاه بین ۰/۰۵ تا ۷۰ متر و دقت اندازه‌گیری آن برابر $\pm 1/5$ میلی‌متر و واحد اندازه‌گیری آن متر می‌باشد. با استفاده از متر لیزری و با حرکت آن بر روی صفحه شیشه‌ای شبکه‌بندی شده در طول و عرض و اندازه‌گیری نقطه برخورد لیزر تا مبدأ اندازه‌گیری، توپوگرافی بستر رسوبی و عمق آبستستگی را می‌توان برداشت کرد.



شکل ۳. جریان سنج الکترومغناطیس

1- The Model 801 Electromagnetic Flow Meter
2- Valeport

برنامه ریزی آزمایش

برای هر پایه ۳ آزمایش بر بستری از رسوبات یکنواخت با اندازه ذرات مختلف انجام می شود. مشخصات این رسوبات در جدول ۲ آورده شده است. در این جدول d_g قطر متوسط ذرات رسوب، σ_g ضریب انحراف استاندارد هندسی، G_s چگالی ذرات

جامد رسوب و U_c سرعت بحرانی ذرات رسوب می باشد. σ_g بیانگر درجه یکنواختی رسوب است که به صورت $\sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$ ارائه شده است (d_{84}, d_{16} به ترتیب قطر مربوط به ذراتی است که ۸۴، ۱۶ درصد وزنی ذرات کوچکتر از آن می باشند) و اگر کمتر از ۱/۳ باشد، رسوبات یکنواخت می باشند. (شفاعی بجستان، ۱۳۷۸).

جدول ۲. رسوبات استفاده شده در آزمایش ها

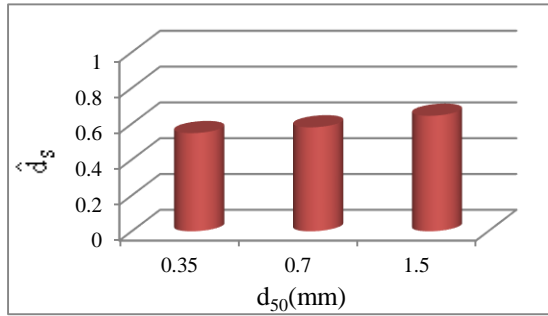
d_s (mm)	σ_g	G_s	U_c (m/s)
۰/۳۵	۱/۲۷	۲/۶۵	۰/۳۵۲
۰/۷	۱/۲۷	۲/۶۵	۰/۳۶۴
۱/۵	۱/۲۵	۲/۶۵	۰/۳۸۸

در این تحقیق کلیه آزمایش ها در شدت جریان زیر آستانه حرکت ($U < U_c$) انجام می شوند. هم چنین عمق جریان به گونه ای تنظیم می گردد که آزمایش ها در شرایط تکیه گاه کوتاه مطابق با نظر ملویل (۱۹۹۲)، ($\frac{l}{h} \leq 1$) انجام شوند. تغییرات عمق جریان بین ($\frac{h}{l} \leq 2/6$) محدود می شود.

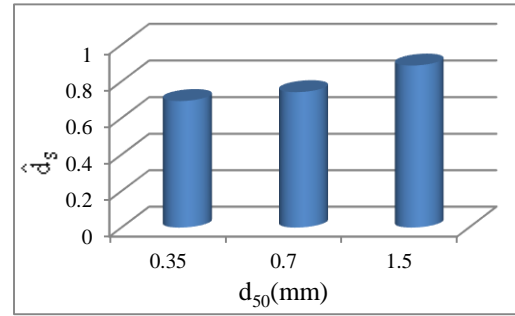
نتایج و بحث

زمانی که سرعت جریان به ۵۰٪ سرعت بحرانی ذرات رسوب برسد، آبخستگی تکیه گاه شروع می شود در آزمایش ها زمانی که تغییری در عمق آبخستگی در دو ساعت متوالی مشاهده نشد، فرض بر آن گرفته شد که شرایط تعادل برقرار شده است. بر این اساس زمان تعادل آزمایش ها ۸ ساعت بود.

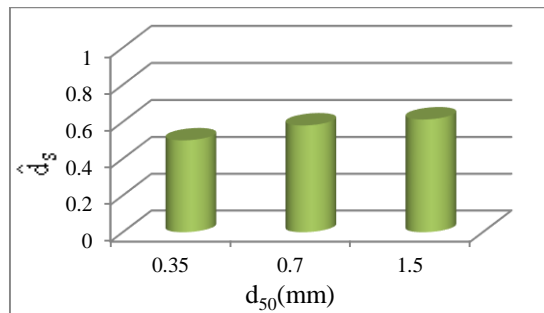
جهت بررسی آبخستگی تکیه گاه های پل، نتایج آزمایش های آبخستگی به صورت شکل ۵۶ و ۷ ارائه شده است. در شکل ۵۶ و ۷ تغییرات $\hat{d}_s = \frac{d_s}{l}$ (نسبت حداکثر عمق آبخستگی به طول پیش آمدگی تکیه گاه) به ازای d_{50} (قطر متوسط ذرات رسوب) ۱/۵ و ۰/۷، $d_{50} = ۰/۳۵$ میلی متر) به ترتیب در تکیه گاه مستطیل، ذوزنقه 45° و نیم دایره رسم شده است. مشاهده می شود عمق آبخستگی با کاهش d_{50} رسوبات بستر کاهش می یابد. در واقع با ریز شدن ذرات رسوب عمق آبخستگی کاهش می یابد. این نتیجه با نظر اتما (۱۹۸۰) و رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) که بیان داشتند، عمق آبخستگی در رسوبات ریپل ($d \leq ۰/۷$) در شرایط آب زلال، در مقایسه با رسوبات غیر ریپل کمتر است، تطبیق دارد.



شکل ۶. نمودار تغییرات \hat{d}_s به ازای d_{50} در تکیه گاه ذوزنقه 45°



شکل ۵. نمودار تغییرات \hat{d}_s به ازای d_{50} در تکیه گاه مستطیل



شکل ۷. نمودار تغییرات \hat{d}_s به ازای d_{50} در تکیه گاه نیم دایره

و نیم دایره فرم بستر غیر ریپل تشکیل شده است. برای رسوبات با $(d_{50} = 1/5)$ میلی متر در هر سه نوع تکیه گاه فرم بستر غیر ریپل شکل گرفته است. به طور کلی می توان گفت که برای رسوبات با $(d_{50} \leq 0.7)$ فرم بستر ریپل تشکیل می شود و برای رسوبات با $(d_{50} > 0.7)$ فرم بستر ریپل تشکیل نمی شود. این نتیجه با نظر اتما (۱۹۸۰) و رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) تطابق دارد.

بررسی فرم بستر

فرم بستر تشکیل شده در تکیه گاه های مستطیل، ذوزنقه 45° و نیم دایره برای رسوبات بستر با قطر متوسط ذرات 0.35 ، 0.7 و $1/5$ میلی متر در شکل های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است. برای رسوبات با $(d_{50} = 0.35)$ میلی متر در هر سه نوع تکیه گاه فرم بستر ریپل شکل گرفته است. برای رسوبات با $(d_{50} = 0.7)$ میلی متر در حالی که در تکیه گاه مستطیل فرم بستر ریپل تشکیل شده است اما در تکیه گاه ذوزنقه



شکل ۸. فرم بستر در تکیه گاه مستطیلی برای بستر با اندازه ذرات ۰/۳۵، ۰/۲، ۱/۵ میلی متر (از چپ به راست)



شکل ۹. فرم بستر در تکیه گاه دوزنقه برای بستر با اندازه ذرات ۰/۳۵، ۰/۲، ۱/۵ میلی متر (از چپ به راست)



شکل ۱۰. فرم بستر در تکیه گاه نیم دایره برای بستر با اندازه ذرات ۰/۳۵، ۰/۲، ۱/۵ میلی متر (از چپ به راست)

نتیجه گیری

تشکیل می شود و برای رسوبات با $(d_{50} > 0.7)$ فرم بستر ریپل تشکیل نمی شود.

- زمانی که سرعت جریان به ۵۰٪ سرعت بحرانی ذرات رسوب برسد، آبشستگی تکیه گاه شروع می شود.
- با کاهش d_{50} رسوبات بستر، d_s (نسبت حداکثر عمق آبشستگی) کاهش می یابد. در واقع با ریز شدن ذرات رسوب عمق آبشستگی کاهش می یابد. عمق آبشستگی در رسوبات ریپل $(d \leq 0.7)$ در شرایط آب زلال، در مقایسه با رسوبات غیر ریپل کمتر است. برای رسوبات یکنواخت با $(d_{50} \leq 0.7)$ فرم بستر ریپل

تقدیر و تشکر

بدین وسیله نگارندگان این مقاله از مسولین سازمان آب و برق خوزستان به ویژه کارکنان مرکز ملی رسوب به خاطر همکاری صمیمانه و در اختیار گذاشتن تجهیزات آزمایشگاهی کمال تشکر و قدردانی را می نمایند.

منابع

- ۱- خزیمه نژاد، ح. ۱۳۹۱. بررسی اثر ابعاد و موقعیت قرارگیری طوقه بر آبشستگی موضعی ایجاد شده در محل تکیه گاه پل، پایان نامه دکتری در رشته سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۲- شفاعی بجستان، م. ۱۳۷۸. مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران، چاپ اول.
- 3- Barbhuiya, A.K. and Dey, S. 2004. Local scour at abutments: A review, Sadhana, 29(5): 449-476.
- 4- Breusers, H.N.C., Nicollet, G., and Shen, H.W. 1977. Local scour around cylindrical piers. Journal of Hydraulic Research, 15(3): 211-252.
- 5- Chiew, Y.M. 1984. Local scour at bridge piers, University of Auckland, Department of Civil Engineering, Report No. 355.
- 6- Chiew, Y. M. Melville, B. W. 1987. Local scour around bridge piers, J. Hyd. Res., 25, (1): 15-26.
- 7- Ettema, R. 1980. Scour at bridge piers, Rep. No. 216, School of Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.
- 8- Graf, W. H. 1996. Fluvial Hydraulics, John Wiley & Sons, N.Y. Hyd. Res., IAHR, 43(4): 445-448.
- 9- Kothyari, U. C. Garde, R. C. and Raju, K. G. R. 1992. Temporal variation of scour around circular bridge piers. J. Hydraul. Engrg., 118(8): 1091-1106
- 10- Laursen, E. M. and Toch, A. 1956. Scour around bridge piers and abutments. Bull. No. 4, Iowa Highway Res. Board.
- 11- Melville, B.W. 1992. Local Scour at Bridge Abutments, J. Hydraul. Eng., ASCE, 118(4): 615-631.
- 12- Oben-Nyarko, K., Ettema, R. 2011. Pier and Abutment Scour Interaction. Journal of Hydraulic Engineering, 137(12), 1598-1605.
- 13- Raudkivi, A., and Ettema, R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. Journal of Hydraulic Engineering, 109(3): 338-350.
- 14- Shen, H. W. Schneider, V. R. Karaki, S. S. 1966. Mechanics of local scour, Civil Engineering Department, Colorado State University. Shen
- 15- Sturm, T. W., Ettema, R., Melville, B. W. 2011. Evaluation of bridge-scour research: Abutment and contraction scour processes and prediction. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies.

