

## بررسی تأثیر اندازه ذرات رسوبات بستر بر آبشستگی تکیه گاه های پل

علی رضا طوبائی زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شوشتر، گروه علوم آب، شوشتر، ایران، Tubaezadeh@hotmail.com

هوشنگ حسونی زاده

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شوشتر، گروه علوم آب، شوشتر، ایران، hassoni44@hotmail.com

مهدی قمشی

استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران، m.ghomeshi@yahoo.com

### چکیده

آبشستگی پدیده طبیعی است که بواسطه جریان آب رودخانه ها 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 پایه های پل می شود و در بسیاری از موارد منجر به تخریب پل و سازه های هیدرولیکی می گردد. در این مطالعه تأثیر اندازه ذرات رسوبات بستر بر آبشستگی تکیه گاه های کوتاه (نسبت طول پیش آمدگی تکیه گاه به عمق جریان کمتر از یک است) به صورت آزمایشگاهی با استفاده از رسوبات یکنواخت با قطر متوسط ذرات  $0/35$ ،  $0/7$  و  $1/5$  میلی متر در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که برای رسوبات یکنواخت 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. عمق آبشستگی در رسوبات ریپل  $(d_{50} \leq 0/7)$  در شرایط آب زلال، در مقایسه با رسوبات غیر ریپل کمتر است.

واژه های کلیدی: آبشستگی، اندازه ذرات، تکیه گاه پل، مدل فیزیکی

### مقدمه

هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از پل ها و سازه های هیدرلیکی تخریب میگردند. طبق آمارهای ارائه شده توسط کشورهای مختلف می توان گفت اکثر تخریب پل ها نه در اثر ضعف سازه ای بلکه در اثر وقوع پدیده آبشستگی در اطراف پایه ها رخ می دهد. آبشستگی پدیده طبیعی است که بواسطه جریان آب رودخانه ها و یا سیلاب بوجود آمده، و نتیجه آن عمل فرسایش بوسیله جریان آب که انتقال و سائیدن مواد را از کف، سواحل و اطراف پایه های پل را موجب می شود (بروسرز و همکاران، ۱۹۷۷). عمقناشیا ز فرسایش بستر نسبت به بستر اولیه را عمق آبشستگی می نامند. همچنین فضای خالی و تورفتگی بوجود آمده، بواسطه شسته شدن رسوبات از کف بستر رودخانه را چاله آبشستگی می نامند.

## انواع آبشستگی

محققین زیادی از جمله لارسون تاچ (۱۹۵۶) راد کیویواتما (۱۹۸۳)، ریچار دسونو، دیویس (۲۰۰۱) و ملویلو کلمن (۲۰۰۰) در مورد انواع آبشستگی تحقیق نموده‌اند. با بررسی مطالعات آنها می‌توان انواع آبشستگی را از دو جنبه کلی مورد بررسی قرار داد (خزیمه نژاد، ۱۳۹۱): انواع آبشستگی از نظر علت به وجود آمدن، انواع آبشستگی از نظر وضعیت حمل مواد بستر. انواع آبشستگی از نظر علت به وجود آمدن به سه دسته تقسیم می‌شود.

۱- آبشستگی عمومی: آبشستگی عمومی در اثر تغییرات رژیم رودخانه و صرف نظر از وجود پل در مسیر جریان اتفاق می‌افتد.  
۲- آبشستگی ناشی از تنگ شدگی: ایجاد هر نوع ساز و مدار در مسیر طبیعی رودخانه، منجر به کاهش عرض رودخانه می‌شود. این عمل باعث می‌شود که سرعت جریان و تنش برشی بیشتر در این محدودها افزایش یابد، در نتیجه به ظرفیت حمل رسوبات فرود هشد و سبب خواهد شد تا مواد بستر رودخانه از محل تنگ شدگی به قسمت های پایین دست رودخانه منتقل شوند.  
۳- آبشستگی 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 می‌شود که در نتیجه باعث فرسایش در زیر این سازه ها می‌گردد. این فرسایش تنها در اطراف سازه مذکور رخ می‌دهد، از این رو فرسایش حاصل را موضعی می‌خوانند. از مجموع این سه آبشستگی، عمق آبشستگی کلی به دست می‌آید.

بنابراین شرایط انتقال رسوبات بر اساس میزان رسوباتیکه به حفره های آبشستگی وارد یا خارج می‌شوند، چابرت و انگل دینگر (۱۹۵۶) آبشستگی را به دو حالت تقسیم کردند (خزیمه نژاد، ۱۳۹۱): آبشستگی از بالا آبشستگی و بستر زنده. آبشستگی از بالا، زمانی اتفاق می‌افتد که حمل رسوبات بالادست رودخانه توسط جریان وجود ندارد. آبشستگی بستر زنده زمانی روی می‌دهد که جریان بالادست، حاوی رسوبات باشد؛ اینگونه می‌توان گفت که سرعت جریان بزرگتر از سرعت بحرانی (آستانه حرکت) رسوباتی باشد ( $U > U_c$ ). عمق آبشستگی در حالت آب زلال ۱۰ درصد بیشتر از حالت بستر متحرک می‌باشد، بنابراین حداکثر عمق آبشستگی در شرایط آستانه حرکت رسوبات (لحظه ای که ذرات شروع به حرکت می‌کنند را اصطلاحاً آستانه حرکت می‌نامند) یعنی  $1 = \frac{U}{U_c}$  رخ می‌دهد. (گراف، ۱۹۹۶؛ باربویا و دی، ۲۰۰۴).

## الگوی جریان و مکانیزم آبشستگی در اطراف تکیه گاه پل

تکیه گاه های پل یا کوله های پل، پایه های پل چسبیده به ساحل رودخانه می‌باشند. 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 می‌کند. این سیستم های گردابی مکانیزم اصلی آبشستگی به حساب می‌آیند. به طور دقیق تر عوامل درگیر در آبشستگی اطراف تکیه گاه پل را می‌توان به جریان رو به پائین گرداب موجکمانی، 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 می‌شود، که این قسمت سازه را نقطه رکود یا ایستایی می‌گویند (کودیاری و همکاران، ۱۹۹۲) در این نقطه تمام سرعت به هد فشار تبدیل می‌شود. با توجه به توزیع غیر یکنواخت سرعت در عمق رودخانه، توزیع فشاری که ایجاد می‌شود نیز غیر یکنواخت بوده و از الگوی پروفیل سرعت تبعیت می‌کند. از آنجا که سرعت از سطح به طرف کف کم می‌شود، فشار دینامیکی هم روی پایه از بالا به پایین کم می‌شود و بدین ترتیب گرادیان فشار ایجاد شده باعث ایجاد جریانی به طرف کف بستر می‌گردد. جریان رو به پایین پس از برخورد به بستر به جهات مختلف پراکنده می‌شود و مقداری از آن صرف حفر زمین می‌شود. کاهش سرعت در قسمت فوقانی پروفیل سرعت جریان، سبب ایجاد یک گرادیان فشار به سمت بالا بر روی پایه می‌شود که جریان را به سمت سطح منحرف می‌کند و سبب ایجاد گرداب موج کمانی می‌گردد. مقداری از جریان پایین رونده که رو به سمت بالادست بازگشت می‌کند، در برخورد با جریان عمومی مجبور به حرکت در جهت جریان می‌شود و به پایه برخورد می‌کند، این چرخش جریان و بازگشت مجدد آن مقدمه تشکیل گرداب نعل اسبی می‌باشد. چرخش این گرداب به طرف پایین دست امتداد می‌یابد که شکلی شبیه نعل اسب در پلان پیدا می‌کند و به این دلیل آنرا گرداب نعل اسبی می‌نامند. هنگام

جداشدن جریاناز انتهایدماغهتکیه گاهبهذلیلکاهشفشاردرپشتدماغه، جریانبهسمت پشتتکیه گاهمنحرفشدهوایجادگردایمی کندکهبهآنگرداببرخاستگیمی گویند.

### پارامتر های موثر بر آبشستگی تکیه گاه

به منظور ناچیز در نظر گرفتن تاثیر دیواره کانال بر آبشستگی، لارسن وتاچ (۱۹۵۶) و چپو و ملویل (۱۹۸۷)، نسبت عرض کانال به عرض پایه پل را بزرگتر یا مساوی ۱۰ پیشنهاد دادند ( $\frac{B}{l} \geq 10$ ).

چپو (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 تاثیر دیواره کانال را کاهش می دهد.

ملویل (۱۹۹۲) آزمایشاتی 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 آبشستگی ( $d_s$ ) 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<sup>۱</sup> ( $d_{50} \leq 0/7$  میلی متر) باقی ماندن بستر به صورت تخت در شرایط آستانه حرکت غیر ممکن است. اتما (۱۹۸۰) و اتما و رادکیوی (۱۹۸۳) بیان داشتند که عمق آبشستگی در رسوبات ریپل کمتر از رسوبات غیر ریپل<sup>۲</sup> ( $d_{50} > 0/7$  میلی متر) است.

ملویل و ساترلند (۱۹۸۸) فاکتور اندازه رسوب را برای محاسبه تأثیر اندازه رسوبات روی عمق آبشستگی تکیه گاه پلارائه دادند (خزیمه نژاد، ۱۳۹۱). بر این اساس در صورتی که  $\frac{l}{d_{50}} > 25$  (نسبت طول پیش آمدگی تکیه گاه به قطر متوسط ذرات رسوب) باشد، عمق آبشستگی به اندازه ذرات رسوب بستگی ندارد و برای  $\frac{l}{d_{50}} \leq 25$  اندازه ذرات رسوب بر عمق آبشستگی تأثیر می گذارد.

در این مطالعه آبشستگی تکیه گاه های کوتاه نسبت طول پیش آمدگی تکیه گاه به عمق جریان کمتر از یک است  $\frac{l}{h} \leq 1$  (ملویل ۱۹۹۲) با سه شکل مقطع مستطیلی، دوزنقه  $45^\circ$  و نیم دایره کوتاه بر بستری از رسوبات یکنواخت با قطر متوسط ذرات ( $d_{50}$ ) 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 بترتیب 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 میلیمتر و دیواره ها از جنس شیشه شفاف به ضخامت ۶ میلیمتر 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 بترتیب 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

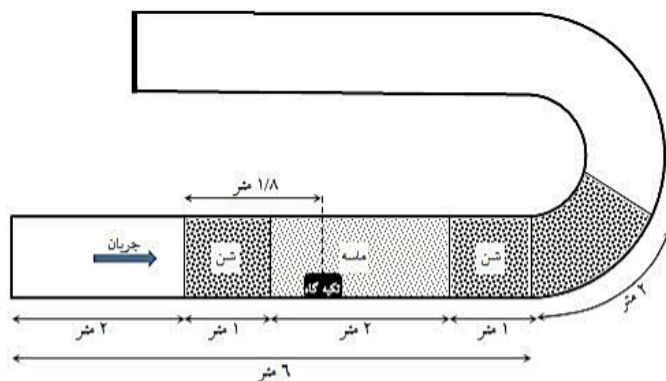
<sup>1</sup>Rippling Sediment

<sup>2</sup>Non-Rippling Sediment

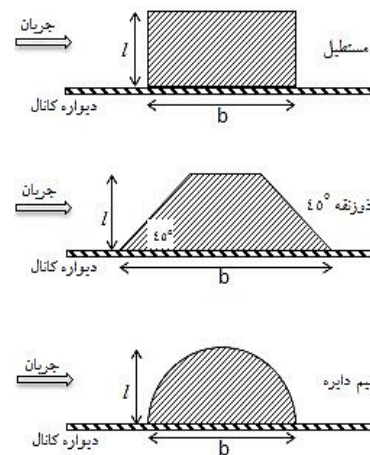
از آنجایی که در کلیه آزمایش ها باید شرایط جریان یکنواخت برقرار باشد، کانال ورودی به دلیل طول مناسب و مسیر مستقیم بهترین گزینه برای ساخت مدل رودخانه می باشد. از ۶ متر طول کانال ورودی ۲ متر اول آن برای آرام ساختن جریان اختصاص داده شد، پس از آن سکویی به ارتفاع ۱۱/۵ سانتی متر و طول ۱ متر با استفاده از شن  $\frac{3}{4}$  ساخته شد و سپس محدوده ای به ارتفاع ۱۱/۵ سانتی متر و به طول ۲ متر توسط ماسه غیر چسبیده یکنواخت پر شد و در انتها نیز سکوی دیگری به ارتفاع ۱۱/۵ سانتی متر و طول ۱ متر با استفاده از شن  $\frac{3}{4}$  ساخته شد (شکل ۱). سکوهای 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 شیب‌داری 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  $45^\circ$  و نیم دایره مورد بررسی قرار می گیرد. شکل ۲ این تکیه گاه ها را نشان می دهد. شکل ۱ محل قرار گیری این تکیه گاه ها را در فلوم آزمایشگاهی نشان می دهد. تکیه گاه های 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 گاه ها 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 گاه ها به دیواره فلوم از چسب آکواریوم استفاده شد.

جدول ۱: ابعاد تکیه گاه های استفاده شده در آزمایش ها

تکیه گاه مستطیل		تکیه گاه دوزنقه $45^\circ$		تکیه گاه نیم دایره	
l(m)	b(m)	l(m)	b(m)	l(m)	b(m)
0/062	0/124	0/062	0/186	0/062	0/124



شکل ۱: پلان مدل رودخانه و مکان قرار گیری تکیه گاه



شکل ۲: تکیه گاه استفاده شده در آزمایش ها

متر لیزری استفاده شده در این تحقیق ساخت کشور آلمان با عنوان تجاری BOSCH مدل DLE 70 Professional می باشد (شکل ۳). محدوده اندازه گیری این دستگاه بین ۰/۰۵ تا ۷۰ متر و دقت اندازه گیری آن برابر  $\pm 1/5$  میلی متر و واحد اندازه گیری آن متر می باشد. با استفاده از متر لیزری و با حرکت آن بر روی صفحه شیشه ای شبکه بندی شده در طول و عرض و اندازه گیری نقطه برخورد لیزر تا مبدأ اندازه گیری، توپوگرافی بستر رسوبی و عمق آبستگي را می توان برداشت کرد.

جریان سنج الکترومغناطیسی مدل (۸۰۱)<sup>۱</sup> شرکت ویل پرت<sup>۲</sup> ساخت کشور انگلستان توانایی اندازه گیری سرعت آب در کانال های باز را با دقت بالا دارد. این دستگاه دو نوع سنسور استوانه ای و تخت دارد و در آب زلال و گل آلود قابل استفاده است. به دلیل اینکه عمق جریان در آزمایش ها کمتر از ۱۵ سانتی متر بود بنابراین از جریان سنج الکترومغناطیسی با سنسور تخت در این تحقیق استفاده شد. محدوده سرعت اندازه گیری دستگاه با سنسور تخت از -۵ تا +۵ متر بر ثانیه، دقت اندازه گیری  $\pm 0/5\%$  خطا در اندازه گیری و حداقل عمق جریان مورد نیاز دستگاه ۵ سانتی متر می باشد. (شکل ۴)



شکل ۴: جریان سنج الکترومغناطیسی



شکل ۳: متر لیزری

### 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  $d_{50}$  قطر متوسط ذرات رسوب،  $\sigma_g$  ضریب انحراف استاندارد هندسی،  $G_s$  چگالی ذرات جامد رسوب و  $U_c$  سرعت بحرانی ذرات رسوب می باشد.  $\sigma_g$  بیانگر درجه یکنواختی رسوب است که به صورت  $\sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$  ارائه شده است ( $d_{84}, d_{16}$  بهتر تیب قطر مربوط به ذراتیاست که ۸۴، ۱۶ درصدوزنیدراتکوچکتر از آنمی باشند) و اگر کمتر از 1/3 باشد، رسوبات یکنواخت می باشند. (شفاعی بجستان، ۱۳۷۸).

جدول ۲: رسوبات استفاده شده در آزمایش ها

$d_{50}$ (mm)	$G_s$	$U_c$ (m/s)
0/35	1/27	0/352
0/7	1/27	0/364
1/5	1/25	0/388

در این تحقیق کلیه آزمایش ها در شدت جریان زیر آستانه حرکت ( $0/9 \leq \frac{U}{U_c} < 1$ ) انجام می شوند. همچنین 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 ( $1 \leq \frac{h}{l} \leq 2/6$ ) محدود می شود.

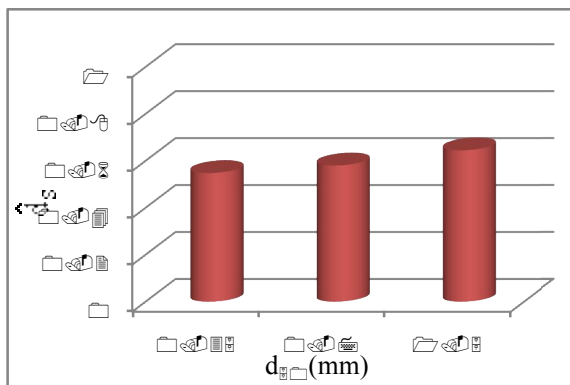
### نتایج و بحث

<sup>1</sup> The Model 801 Electromagnetic Flow Meters

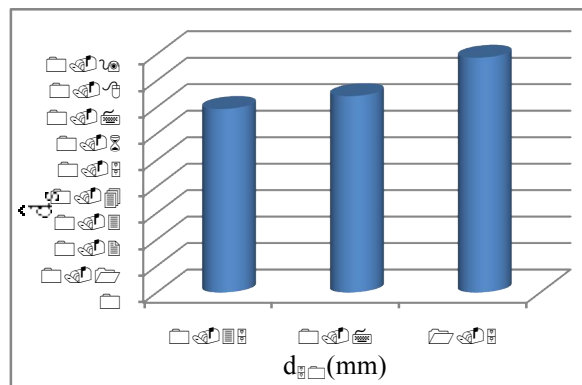
<sup>2</sup>Valeport

زمانی که سرعت جریان به ۰.۵٪ سرعت بحرانی ذرات رسوب برسد، آبهستگی تکیه گاه شروع می‌شود در آزمایش‌ها زمانی که تغییری در عمق آبهستگی در دو ساعت متوالی مشاهده نشد، فرض بر آن گرفته شد که شرایط تعادل برقرار شده است. بر این اساس زمان تعادل آزمایش‌ها ۸ ساعت بود.

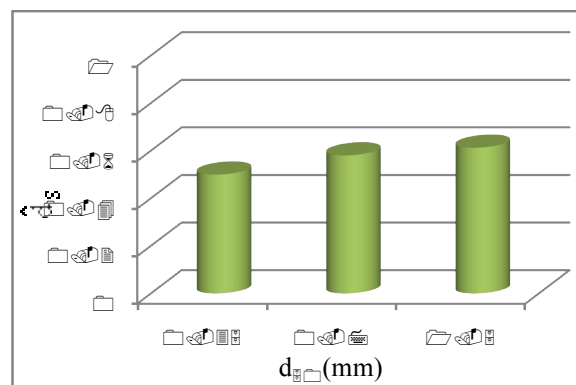
جهت بررسی آبهستگی تکیه گاه‌های پل، نتایج آزمایش‌های آبهستگی به صورت شکل ۶، ۵ و ۷ ارائه شده است. در شکل ۶، ۵ و ۷ تغییرات  $\hat{d}_s = \frac{d_s}{l}$  (نسبت حداکثر عمق آبهستگی به طول پیش آمدگی تکیه گاه) به ازای  $d_{50}$  (قطر متوسط ذرات رسوب  $d_{50} = 0/35, 0/7$  و  $1/5$  میلی متر) به ترتیب در تکیه گاه مستطیل، دوزنقه  $45^\circ$  و نیم دایره رسم شده است. مشاهده می‌شود که عمق آبهستگی با کاهش  $d_{50}$  رسوبات بستر کاهش می‌یابد. در واقع با ریز شدن ذرات رسوب عمق آبهستگی کاهش می‌یابد. این نتیجه با نظر اتما (۱۹۸۰) و رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) که بیان داشتند، عمق آبهستگی در رسوبات ریپل ( $d \leq 0/7$ ) 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 دوزنقه  $45^\circ$



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

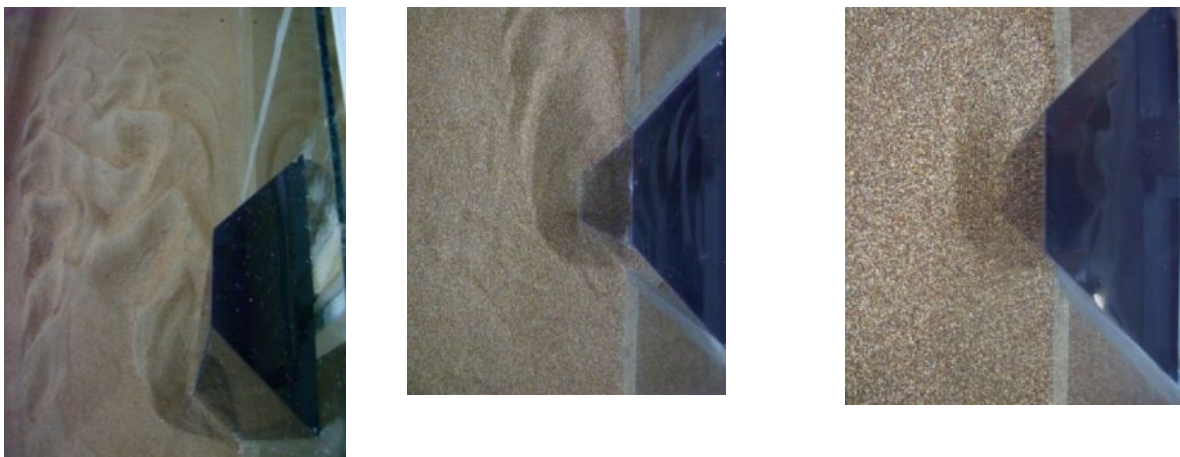
### بررسی فرم بستر

فرم بستر تشکیل شده در تکیه گاه‌های مستطیل، دوزنقه  $45^\circ$  و نیم دایره برای رسوبات بستر با قطر متوسط ذرات  $0/35$ ،  $0/7$  و  $1/5$  میلی متر در شکل‌های 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 دوزنقه 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 می‌توان گفت که برای رسوبات با

فرم بستر ریپل تشکیل می شود و برای رسوبات با  $(d_{50} > 0.7)$  فرم بستر ریپل تشکیل نمیشود. این نتیجه با نظر اتما (۱۹۸۰) و رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) تطابق دارد.



شکل ۸: فرم بستر در تکیه گاه مستطیلی برای بستر با اندازه ذرات ۰/۳۵، ۰/۷، ۱/۵ میلی متر (از چپ به راست)



شکل ۹: فرم بستر در تکیه گاه دوزنقه ۴۵° برای بستر با اندازه ذرات ۰/۳۵، ۰/۷، ۱/۵ میلی متر (از چپ به راست)



شکل ۱۰: فرم بستر در تکیه گاه نیم دایره برای بستر با اندازه ذرات ۰/۳۵، ۰/۷، ۱/۵ میلی متر (از چپ به راست)

نتیجه گیری

- زمانی که سرعت جریان به ۵۰٪ سرعت بحرانی ذرات رسوب برسد، آبشستگی تکیه گاه شروع می‌شود.  
 - با کاهش  $d_{50}$  رسوبات بستر،  $d_s$  (نسبت حداکثر عمق آبشستگی) کاهش می‌یابد. در واقع با ریز شدن ذرات رسوب عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. 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 تشکیل می‌شود و برای رسوبات با ( $d_{50} > 0/7$ ) فرم بستر ریپل تشکیل نمی‌شود.

## 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 می‌نمایند.

## منابع

- ۱- خزیمه نژاد، ح. ۱۳۹۱. بررسی اثر ابعاد و موقعیت قرار گیر یطوفه بر آبشستگی موضعی ایجاد شده در محل تکیه گاهپل، گاهپل، پایان نامه دکتریدر رشته سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۲- شفاعی جستان، 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., Nicolle, 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.