

## بررسی آزمایشگاهی تاثیر پره‌های مستغرق در کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل

صمد امامقلی زاده<sup>۱</sup>، ابراهیم نوحانی<sup>۲</sup>، فروغ فرهادی<sup>۳</sup>، خلیل اздری<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

### چکیده

پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های جانبی پل در عرض رودخانه باعث تغییر الگوی جریان آب و در نتیجه موجب ایجاد آبشستگی موضعی در اطراف این سازه‌ها می‌شوند. این امر یکی از دلایل اصلی شکست پل‌ها می‌باشد. سازه‌های مختلفی را می‌توان برای تغییر الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل استفاده نمود که از جمله آن استفاده از پره‌های مستغرق می‌باشد. در این تحقیق، به بررسی اثر این سازه در کاهش آبشستگی موضعی اطراف تکیه‌گاه پل با دماغه‌ی گرد پرداخته شد. آزمایش‌ها در یک فلوم با مقطع مرکب و با استفاده از رسوبات غیرچسبنده با قطر متوسط (d<sub>۵۰</sub>) ۱ میلی‌متر انجام شدند. آزمایش‌ها در دو مرحله انجام شد: در مرحله اول بدون حضور پره‌های مستغرق (۵ آزمایش) و در مرحله دوم با حضور پره‌های مستغرق (۴۵ آزمایش). پره‌ها با طول ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳/۳۳ سانتی‌متر (L/H=۳) و با زاویه ۲۰ درجه نسبت به جریان در سه آرایش یک ردیفه، دو ردیفه موازی و دو ردیفه زیگزاکی قرار گرفتند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که خصوصیات هندسی توسعه حفره آبشستگی در دماغه تکیه‌گاه همانند مطالعات سایر محققین می‌باشد. همچنین پره‌های مستغرق موجب کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه شده و موجب حرکت حفره آبشستگی و دور کردن آن از دماغه‌ی تکیه‌گاه به سمت مرکز کانال شده است. در نهایت نتایج بدست آمده نشان داد آرایش دو ردیفه موازی که در آن ردیف اول پره با فاصله ۵ سانتی‌متر (نصف قطر تکیه‌گاه) و ردیف دوم با فاصله ۱۰ سانتی‌متر (برابر با قطر تکیه‌گاه) از تکیه‌گاه قرار داده شدند، موجب کاهش ۸۷/۸۱ درصدی حداکثر عمق آبشستگی شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی موضعی، رسوب، رودخانه، مقطع مرکب.

<sup>۱</sup> دانشیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۰۹۱۱۱۱۹۴۳۸۹، s\_gholizadeh517@shahroodut.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار گروه عمران، سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران. ۰۹۱۶۶۱۴۸۹۰۱، Nohani.e@gmail.com (مسئول مکاتبه)

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود\_شاهرود-شهرک ولی عصر - کوچه پنجم، ۰۹۱۰۲۸۷۲۱۰۰، foroogh.farhadi@ymail.com

<sup>۴</sup> دانشیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۰۹۱۲۵۷۳۵۴۴۲، azhdary2005@yahoo.co.in

به غیر یکنواختی سرعت توزیع فشاری که ایجاد می‌شود نیز غیر یکنواخت بوده و از الگوی پروفیل سرعت تبعیت می‌کند. در نتیجه در سطوح میانی که پروفیل سرعت از مقادیر بزرگتری نسبت به سطوح تحتانی برخوردار است، هد فشاری بزرگتری نسبت به سطوح تحتانی ایجاد شده و منجر به تشکیل یک گرادیان فشار قابل توجه در برابر دماغه پایه می‌گردد که این گرادیان فشار سبب شکل‌گیری جریان پایین رونده می‌گردد (Raudkivi, 1988). جریان رو به پایین پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود. مقداری از این جریان که به سمت بالا بازگشت می‌کند، در برخورد به جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدداً به پایه برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت آن در داخل حفره کنده شده، گردابی تشکیل می‌دهد که به تدریج در دو طرف پایه، امتداد یافته و شکلی شبیه نعل اسب پدید می‌آورد که به آن گرداب نعل‌اسبی<sup>۳</sup> گویند. تشکیل گرداب نعل‌اسبی در داخل حفره آبستگتی، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند (Breusers et al., 1977).

در اثر جدایی جریان در کناره‌های پایه نیز گرداب‌ها تشکیل می‌شوند که محور آن‌ها عمود بر بستر رودخانه است و به آن‌ها گرداب برخاستگی<sup>۴</sup> می‌گویند. این گرداب‌ها همانند گردباد ذرات بستر را جدا کرده و در معرض جریان قرار می‌دهند و به انتقال ذرات از جلو و اطراف پایه به سمت پایین دست کمک می‌کنند. حفر گودال آبستگتی توسط گرداب نعل‌اسبی آن قدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبستگتی زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. در این حالت عمق آبستگتی به حالت تعادل می‌رسد (Melville and Sutherland, 1988). شکل زیر الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل را نشان می‌دهد (Kwan, 1988).

## مقدمه

وجود پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های جانبی پل در عرض رودخانه باعث کاهش عرض عبوری جریان، برخورد جریان به پایه و انحراف خطوط جریان اطراف پایه به کف بستر و در نتیجه ایجاد آبستگتی موضعی پایه پل‌ها می‌شوند (شجاعی و همکاران، ۱۳۹۰). آبستگتی نوعی از فرسایش است که در اثر جریان آب در سواحل دریاها، رودخانه‌ها و در اطراف سازه‌های احداث شده در آنها به وقوع می‌پیوندد. زمانی که برآیند نیروهای وارد به ذرات از نیروی مقاوم بیشتر شد، ذرات شروع به حرکت می‌کنند. این حرکت ذرات، اول در سطح و سپس، با گذشت زمان در عمق نیز مشاهده می‌شود (Raudkivi and Ettema, 1983). آبستگتی به دو دسته‌ی آب زلال<sup>۱</sup> و بستر فعال<sup>۲</sup> تقسیم بندی می‌شود. در شرایط آب زلال در ابتدا توسعه‌ی فرآیند آبستگتی سریع بوده و با عمیق‌تر شدن حفره روند توسعه‌ی آن کند می‌شود. با توجه به اینکه در شرایط آب زلال ماکزیمم عمق حفره‌ی آبستگتی در نهایت به سمت یک مقدار مشخص میل می‌کند باید یک زمان تعادل برای آن تعریف نمود. در شرایط بستر فعال عمق آبستگتی کاهش یافته و با عبور فرم‌های بستر نوسان خواهد داشت (Raudkivi, 1988). می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط بستر فعال عمق آبستگتی به سرعت به مقدار نهایی خود رسیده در حالیکه در شرایط آب زلال، عمق آبستگتی بعد از مدت زمان زیادی به حداکثر مقدار خود می‌رسد (Richardson and Davis, 2001). خاصیت صفر بودن سرعت آب در مجاورت بستر سبب می‌شود تا قسمت تحتانی پروفیل سرعت به صفر میل کند و سرعت به طرف سطح آب زیاد شود. عوامل فوق تشکیل یک پروفیل سرعت غیر یکنواخت را می‌دهند که خود مقدمه‌ای بر ایجاد یک مکانیزم فرسایشی در دماغه پایه می‌باشد. هنگامی که جریان با پایه برخورد می‌کند، دقیقاً در محل دماغه پایه، تمام سرعت به هد فشار تبدیل می‌شود. با توجه

<sup>3</sup> - Horseshoe Vortex

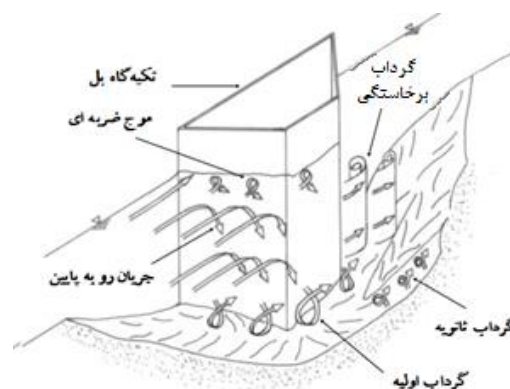
<sup>4</sup> - Wake Vortex

<sup>1</sup> - Clear - water

<sup>2</sup> - Live bed

پره‌های مستغرق و غیر مستغرق پرداختند. نتایج آزمایش‌های Lauchlan (1999) نشان داد استفاده از پره‌های مستغرق در مقایسه با پره‌های غیر مستغرق در کاهش آبشستگی مؤثر می‌باشند. تکنیک استفاده از پره مستغرق که طرح توسعه یافته روش قدیمی پانل‌های عمقی می‌باشد که برای اولین بار توسط ادگارد و کندی برای جلوگیری از فرسایش ساحل قوسی خارجی رودخانه طراحی گردید، تا جریان ثانویه حاصل از نیروی گریز از مرکز را که عامل اصلی تخریب ساحل آن می‌باشد دفع کند (Odgaard, and Kennedy, 1983). جانسون (Johnson, 2001) استفاده از پره‌های مستغرق را در کاهش آبشستگی برای تکیه گاه پل با دیواره قائم مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از پره‌های سنگی (Rock Vanes) تحت آرایش یک ردیفه که در بالادست تکیه گاه پل قرار داده شده بود، مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایشگاهی آن‌ها نشان داد که استفاده از پره‌ها موجب کاهش ۹۶/۵ درصدی آبشستگی در اطراف تکیه گاه شده است. قربانی و کلز با انجام آزمایش‌هایی روی پره منفرد و دوگانه در زوایای حمله متفاوت نسبت به پایه‌پل، ارتفاعات متفاوت پره و شرایط مختلف جریان، کاهش ۱۷ درصد برای پره منفرد و ۸۳ درصد برای پره دوگانه گزارش کرده اند (Ghorbani, and Kells, 2008). صمیمی بهبهان و همکاران نیز اثر شکل متفاوت پره‌های را بر روی آبشستگی پل‌ها بررسی کرد. آن‌ها عملکرد پره‌های مستغرق را که نیمه اول آن‌ها با جریان زاویه ۱۰ درجه و نیمه‌ی دوم آن‌ها با جریان زاویه‌ی ۳۰ درجه می‌سازد را در کاهش آبشستگی پایه‌ی پل‌ها بررسی کردند و نتیجه گرفتند که استفاده از پره‌های مستغرق با آرایش مختلف در حالت چسبیده به پایه بهترین عملکرد را دارد (صمیمی بهبهان و همکاران، ۲۰۰۶).

بررسی منابع انجام شده نشان می‌دهد که تحقیقی در زمینه مقایسه تاثیر آرایش‌های مختلف پره‌های مستغرق در کاهش آبشستگی تکیه گاه پل با دماغه نیم دایره در مقطع مرکب انجام نشده است. بنابراین



شکل(۱): الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه (Kwan, 1984)

روش‌های مختلفی برای مهار آبشستگی در اطراف پایه‌های پل‌ها ارائه شده است که برای مثال می‌توان به تحقیق انجام در مورد استفاده از سنگ چین حفاظتی (Zarrati et al., 2010 و Chiew, 2004)، وجود آبشکن در بالادست سازه (Dehghani et al., 2013)، صفحه مستغرق متصل به تکیه گاه پل یا طوقه (خادمی و همکاران، ۱۳۹۳، Heidarpour et al., 2010) و پره‌های مستغرق (Johnson, 2001) اشاره نمود.

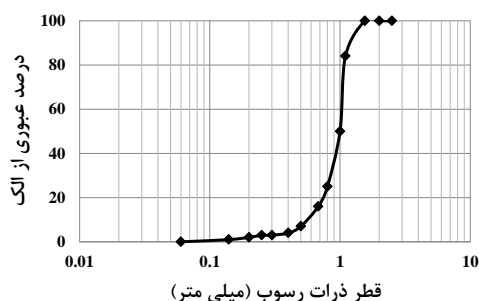
یکی از روش‌هایی که به عنوان ابزار کنترل رسوب و آبشستگی دارای قابلیت بالایی است و هنوز به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته، استفاده از پره‌های مستغرق می‌باشد. پره‌های مستغرق پره‌های کوچکی می‌باشند که برای اصلاح الگوی جریان نزدیک بستر و انتقال رسوب در جهت عرضی کانال طراحی می‌گردند. یکی از کاربردهای پره‌های مستغرق، کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌پل و تکیه گاه پل می‌باشد. عملکرد پره‌های مستغرق برای کاهش آبشستگی پایه‌پل و حرکت رسوب از اطراف پره‌ها به علت ایجاد جریان رو به پایین در جلوی آنها تحت تاثیر نحوه قرارگیری پره‌های می‌باشد (شجاعی و همکاران، ۱۳۹۱). پره‌های مستغرق اولین بار در اوایل سال ۱۹۳۰ در هند و پاکستان به نام پره‌های کینگ<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار گرفتند. محققین در سال ۱۹۷۵ به بررسی عملکرد

<sup>۱</sup> -King's vanes

سال هفتم • شماره بیست و هفتم • بهار ۱۳۹۶

۲۰ و عمق ۸ سانتی متر می باشد و قسمت کناره‌ی آن دارای عرض ۴۰ سانتی متر می باشد. تکیه‌گاه به کار رفته در انجام آزمایش‌ها از جنس ورق گالوانیزه و با شکل دماغه نیم‌دایره‌ای به قطر ۱۰ سانتی متر ساخته شده است. طول تکیه‌گاه ۱۵ سانتی متر می باشد. پره‌های مورد استفاده نیز نفوذناپذیر بوده و از جنس شیشه با ضخامت ۳ میلی متر به ارتفاع ۳/۳ سانتی متر و طول ۱۰ سانتی متر ساخته شدند. مطابق نتایج Odgaard and Wang (1991)، شفافی بجستان و همکاران (۱۳۸۰)، حسینی و همکاران (۱۳۹۰) و شجاعی و همکاران (۱۳۹۱)، نسبت طول به ارتفاع پره  $(L/H)$  برابر با ۳ در نظر گرفته شده است. پره‌های مستغرق به دو صورت دو ردیفه موازی و زیگزاکی قرار گرفتند. همچنین طبق اظهارات Rosgen (1996)، Odgaard and Wang (1991)، Johnson (2001) شفافی بجستان و همکاران (۱۳۸۰)، زاویه ۲۰ درجه نسبت به جریان برای پره‌ها انتخاب شد.

دو طرف کانال اصلی به ارتفاع ۱۰ سانتی متر از رسوبات درشت‌دانه و به ارتفاع ۲۰ سانتی متر بر روی آن‌ها از رسوبات غیرچسبنده یکنواخت با قطر متوسط  $D_s = 1 \text{ mm}$ ، چگالی  $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$  و با ضریب یکنواختی  $\sigma_g = \sqrt{\frac{D_{\Delta 4}}{D_{16}}} = 1.27$  پوشیده شد. در صورتی که درجه یکنواختی رسوبات از ۱/۳ کوچکتر باشد می توان رسوبات را یکنواخت در نظر گرفت (شفافی بجستان، ۱۳۸۷). منحنی دانه‌بندی ذرات بستر سیلاب‌دشت در شکل ۳ ارائه شده است.

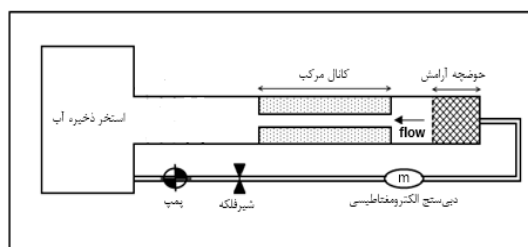


شکل (۳): منحنی دانه‌بندی رسوبات مورد استفاده

در این تحقیق با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی عملکرد آرایش مختلف پره‌های مستغرق (فاصله پره‌ها از تکیه‌گاه، فاصله بین آرایش طولی پره‌ها، نحوه قرارگیری پره‌ها در یک ردیف) در کاهش آبشستگی پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

به منظور انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری داده‌های موردنیاز، فلومی به طول ۱۲ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۶۰ سانتی متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۱۳۹۴ طراحی و ساخته شد. دیواره‌های فلوم از جنس شیشه انتخاب شد تا امکان مشاهده بهتر جریان را فراهم آورد. برای ساخت کف کانال نیز از ورق فلزی به ضخامت ۲ میلی متر استفاده شد. به منظور آرام نمودن جریان ورودی به کانال یک صفحه مشبک فلزی در فاصله یک متری از ابتدای فلوم به صورت عمودی نصب گردیده است. آب موجود در استخر به وسیله یک لوله ۵ اینچی و با استفاده از یک دستگاه پمپ سانتریفیوژ با الکتروموتوری به قدرت ۲۰ کیلووات به مخزن بالادست فلوم آزمایشگاهی منتقل شد. به منظور قرائت دبی یک دستگاه دبی‌سنج الکترومغناطیسی مدل PMAG ساخت شرکت اس جی ام لکترا<sup>۱</sup> ایتالیا، بر روی لوله رانش نصب و مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲).



شکل (۲): اجزای مختلف مدل آزمایشگاهی (پلان)

طول مقطع مرکب ۵ متر می باشد که در فاصله ۴ تا ۹ متری از ابتدای کانال نصب گردیده است. کانال اصلی مقطع مرکب از جنس شیشه بوده و دارای عرض

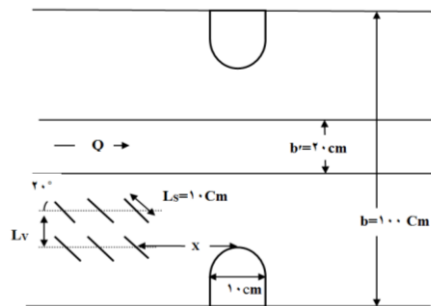
<sup>۱</sup> - SGM Lektra

می‌باشد. از این رو در جهت ضریب اطمینان و به دلیل سهولت بیشتر، اکثر مطالعات آزمایشگاهی در خصوص آبشستگی در شرایط آب زلال انجام می‌شوند (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷؛ Richardson and Davis, 2001). برای تعیین زمان لازم برای هر آزمایش در ابتدا آزمایش‌هایی برای رسیدن به عمق ثابت (تعادل) آبشستگی طی ۶ ساعت انجام شد که پس از ۹۰ دقیقه، عمق آبشستگی به حدود ۸۵ درصد حداکثر عمق آبشستگی رسید، بنابراین برای سهولت در انجام آزمایش‌ها زمان اجرای آزمایش‌ها ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

#### بررسی آبشستگی با حضور پره‌های مستغرق

به منظور بررسی تأثیر پره‌های مستغرق بر کاهش آبشستگی اطراف تکیه گاه پل، در حالت کلی سه نوع آرایش پره‌ها شامل یک ردیفه، دو ردیفه موازی و دو ردیفه زیگزاکی مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش‌ها با تغییر آرایش پره‌ها و فاصله آن‌ها از تکیه‌گاه و فاصله ردیف پره‌ها از هم، انجام شده است. دسته بندی آزمایش‌ها در جدول ۱ آمده است. همان‌طوری که قبلاً گفته شد نسبت طول به ارتفاع پره‌های مستغرق  $(L/H)$  برابر با ۳ در نظر گرفته شده است و زاویه ۲۰ درجه نسبت به جریان برای پره‌ها انتخاب شد.

تکیه‌گاه در فاصله ۳/۵ متری از ابتدای مقطع مرکب قرار گرفت و پره‌های مستغرق در فواصل مختلف مانند فاصله‌ای برابر با قطر تکیه‌گاه (۱۰ سانتی‌متر) و نصف تکیه‌گاه (۵ سانتی‌متر) قرار گرفتند. در شکل ۴ نمای کلی از کانال مرکب و محل قرار گیری پره‌ها به صورت دو ردیف موازی را نشان می‌دهد.



شکل (۴): نمای کلی از کانال مرکب و پره‌های مستغرق (قرارگیری پره‌ها به صورت دو ردیف موازی)

آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و شرایط ثابت هیدرولیکی انجام شده است. انتخاب شرایط آب زلال به این دلیل می‌باشد که اصولاً حداکثر عمق آبشستگی در شرایط آب زلال بیشتر از شرایط بستر متحرک

جدول (۱): معرفی آزمایش‌ها

شماره آزمایش	آزمایش‌ها	علامت اختصاری
۱	یک ردیف پره سه تایی با فاصله ۱۰ سانتی متر از پایه پل	V۱۰
۲	یک ردیف پره سه تایی با فاصله ۵ سانتی متر از پایه پل	V۵
۳	دو ردیف پره شش تایی به صورت موازی با هم با فاصله ۱۰ سانتی متر از تکیه گاه و دو ردیف با فاصله ۱۰ سانتی متر از هم	۲VP۱۰D۱۰
۴	دو ردیف پره شش تایی به صورت موازی با هم با فاصله ۵ سانتی متر از تکیه گاه و دو ردیف با فاصله ۵ سانتی متر از هم	۲VP۵D۵
۵	دو ردیف پره شش تایی به صورت موازی با هم با فاصله ۱۰ سانتی متر از تکیه گاه و دو ردیف با فاصله ۵ سانتی متر از هم	۲VP۱۰D۵
۶	دو ردیف پره شش تایی به صورت موازی با هم با فاصله ۵ سانتی متر از تکیه گاه و دو ردیف با فاصله ۱۰ سانتی متر از هم	۲VP۵D۱۰
۷	دو ردیف پره شش تایی به صورت زیگزاکی و ردیف اول با فاصله ۱۰ سانتی متر از تکیه گاه و دو ردیف با فاصله ۱۰ سانتی متر از هم	۲VZ۱۰D۱۰
۸	دو ردیف پره شش تایی به صورت زیگزاکی و ردیف اول با فاصله ۵ سانتی متر از تکیه گاه و دو ردیف با فاصله ۵ سانتی متر از هم	۲VZ۵D۵
۹	دو ردیف پره شش تایی به صورت زیگزاکی و ردیف اول با فاصله ۵ سانتی متر از تکیه گاه و دو ردیف با فاصله ۱۰ سانتی متر از هم	۲VZ۵D۱۰

## آنالیز ابعادی

در مطالعات انجام شده پیرامون پدیده آبستگي،

حداکثر عمق آبستگي به عنوان معيار سنجش آبستگي مورد بررسی قرار گرفته است. در ایجاد پدیده آبستگي تکیه‌گاه پل پارامترهای مختلفی سرعت متوسط  $V$  (m/s) تأثیرگذار هستند از جمله، عرض کل  $b$  (m) عمق جریان،  $y$  (m) جریان، طول  $L$  (m) عرض کانال اصلی،  $b'$  (m) کانال، عرض پره،  $t_s$  (m) عرض تکیه‌گاه،  $B$  (m) تکیه‌گاه، فاصله اولین پره از  $X$  (m) طول پره،  $L_s$  (m) فاصله ردیف پره‌ها از هم،  $L_v$  (m) محور تکیه‌گاه، جرم مخصوص  $\rho_s$  جرم مخصوص آب،  $\rho$  شیب بستر، لزجت سینماتیکی آب،  $\nu$  (m<sup>2</sup>/s) رسوبات بستر،  $g$  (m<sup>2</sup>/s) قطر متوسط ذارت بستر،  $d_{50}$  (m) شتاب گرانش. با توجه به پارامترهای ذکر شده، می‌توان رابطه (۱) را برای حداکثر عمق آبستگي

نمود:

تعریف

تکیه‌گاه

$$F(ds, V, y, b, b', L, B, t_s, L_s, L_v, X, S, \rho, \rho_s, d_{50}, g) = 0$$

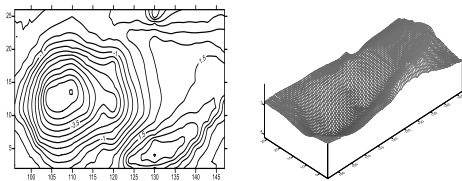
(۱)

$d_s$  حداکثر عمق آبستگي در اطراف تکیه‌گاه می‌باشد. با انتخاب سه پارامتر  $\rho$ ،  $V$  و  $y$  به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش  $\pi$  - باکینگهام، پارامترهای بی‌بعد موثر در آبستگي تکیه‌گاه به صورت رابطه زیر به دست آمد:

$$\left( \frac{d_s}{y}, \frac{Vy}{\nu}, \frac{b}{y}, \frac{b'}{y}, \frac{L}{y}, \frac{B}{y}, \frac{t_s}{y}, \frac{L_s}{y}, \frac{L_v}{y}, \frac{X}{y}, \frac{V^2}{gy}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{y} \right) = 0 \quad (2)$$

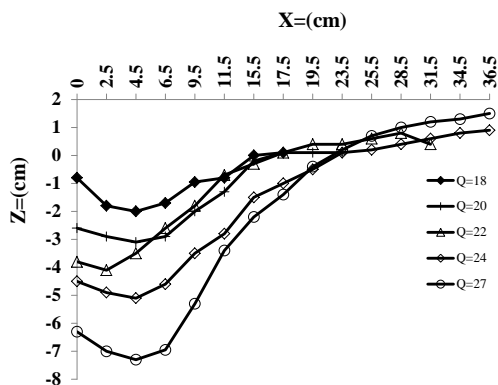
با ترکیب پارامترهای بی‌بعد و در نظر گرفتن پارامتر  $d_s/y$  به عنوان متغیر وابسته، روابط آبستگي به صورت رابطه (۳) ساده‌سازی شده است:

رسوبات در منطقه جلوی پایه در قسمت انتهایی پایه نیز گرداب‌های برخاستگی شروع به فعالیت کرده که سبب کنده شدن رسوبات از این قسمت و جابه‌جایی آن‌ها به سمت پایین دست می‌شود. با گذشت زمان ناحیه‌ی شسته شده در قسمت جلو پایه توسعه یافته و شکل یک نیم دایره به خود می‌گیرد. رسوبات جابه‌جا شده از این منطقه به طرفین دیواره‌ی طولی حرکت کرده و در میانه‌ی انتهایی پایه جمع شده و تشکیل یک تل کوچک را در این منطقه می‌دهند. ادامه‌ی این فرآیند منجر به افزایش ارتفاع رسوبات در طرفین پایه و قسمت پشت پایه شده و سبب می‌شود سطح رسوبات بالاتر از تراز بستر قرار گیرد. در شکل ۵ توپوگرافی آزمایش شاهد در دبی ۲۷ لیتر بر ثانیه نشان داده شده است. همچنین ابتدای پایه‌پل در  $X=4/5$  قرار گرفته است.



شکل (۵): توپوگرافی حفره آبستگي در دبی ۲۷ لیتر بر ثانیه در آزمایش شاهد

برای بررسی تاثیر ۵ دبی ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴، ۲۷ لیتر بر ثانیه در مقدار آبستگي، پروفیل عرضی (عمود بر پایه پل) در شکل ۶ نشان داده شده است. قابل ذکر است که ابتدای تکیه‌گاه در  $X=0$  قرار گرفته است.



شکل (۶): پروفیل عرضی آزمایش های شاهد

$$\frac{d_s}{y} = \left( \frac{vy}{v}, \frac{b}{b'}, \frac{t_s}{B}, \frac{x}{y}, \frac{L_s}{L}, \frac{L_v}{L}, \frac{v^2}{gy}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{L} \right) \quad (3)$$

پارامترهای بی‌بعد  $V^2/gy$  و  $Vy/v$  در روابط آبستگي بیانگر عدد فرود و عدد رینولدز جریان می‌باشند. از آنجایی که جریان متلاطم است (عدد رینولدز برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه بیشتر از ۴۵۰۰ بوده است)، عدد رینولدز پارامتری تأثیرگذار نمی‌باشد و لذا می‌توان آن را حذف نمود. همچنین با ترکیب پارامترهای بدون بعد و حذف پارامترهای بدون بعد ثابت و عدد رینولدز رابطه زیر را می‌توان برای حداکثر عمق آبستگي در تکیه‌گاه به دست آورد:

$$\frac{d_s}{y} = \left( \frac{x}{y}, \frac{L_s}{L}, \frac{L_v}{L}, Fg \right) \quad (4)$$

که در آن  $Fg = \frac{V}{[g(Gs-1)D_{50}]^0}$  عدد فرود ذره می‌باشد.

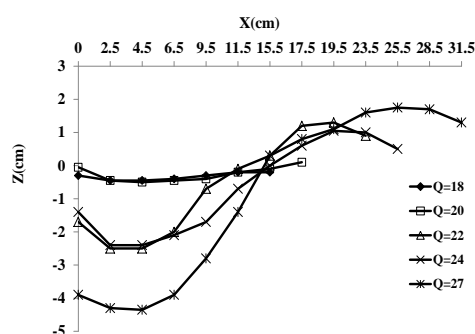
### نتایج و بحث

#### بررسی آبستگي بدون وجود پره‌های مستغرق

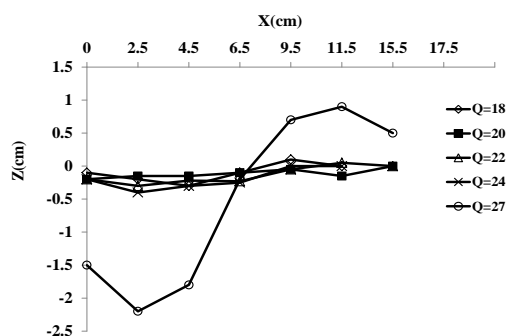
آزمایش‌ها در ۵ دبی ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴، ۲۷ لیتر بر ثانیه انجام شد. مشاهدات نشان می‌دهد که در اثر برخورد جریان آب به تکیه‌گاه پل و تشکیل گرداب، رسوبات در اطراف سازه حرکت کرده و سپس حفره‌ی آبستگي در جلوی آن تشکیل شده است و با دور شدن از تکیه‌گاه رسوبات به صورت تپه‌ای در پشت آن انباشته شدند. همچنین مشاهده شد عمق آبستگي در فاصله کمی از تکیه‌گاه به حداکثر مقدار خود رسید و با دور شدن از تکیه‌گاه مقدار آن کاهش یافت. مشاهدات انجام شده و شکل کلی حفره آبستگي در اطراف تکیه‌گاه در تطابق با تحقیقات سایر محققین مانند حسینی و همکاران (۱۳۹۰)، شجاعی و همکاران (Raudkivi, 1988) و Johnson (2001) (۱۳۹۱) بوده است که بیان داشتند هم زمان با جابه‌جایی

## بررسی تاثیر آرایش یک ردیفه

به منظور مقایسه استفاده از پره‌های مستغرق در کاهش آبشستگی، پره‌های مستغرق در دو آرایش V5 و V10 مورد استفاده قرار گرفتند. در شکل‌های ۷ و ۸ پروفیل عرضی برداشت شده از قسمت مرکزی تکیه گاه پل نشان داده شده است. نتایج اندازه گیری نشان می‌دهد در آرایش V10 و V5 حداکثر عمق آبشستگی ۴/۶ و ۲/۱ سانتیمتر می‌باشد.



شکل (۷): پروفیل عرضی آزمایش V10



شکل (۸): پروفیل عرضی آزمایش V5

برای مقایسه نتایج آزمایش‌های با حضور پره با آرایش یک ردیفه نسبت به آزمایش‌های شاهد، درصد کاهش آبشستگی نسبت به آزمایش‌های شاهد در جدول ۲ نشان داده شده است، که  $ds_F$  عمق آبشستگی در آزمایش با حضور پره مستغرق و  $ds$  عمق آبشستگی در آزمایش‌های شاهد می‌باشد.



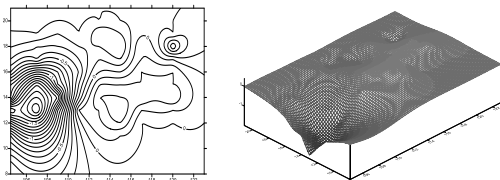
جدول (۲): درصد کاهش عمق آبشستگی در آزمایش ۷۱۰ و ۷۵ نسبت به آزمایش‌های شاهد

نوع آرایش	Q (lit/s)	درصد کاهش	متوسط درصد کاهش
۷۱۰	۱۸	۶۵	۵۰/۸۹
	۲۰	۷۲/۴۱	
	۲۲	۳۷/۵۰	
	۲۴	۴۲/۵۵	
	۲۷	۳۶/۹۸	
۷۵	۱۸	۹۰	۸۷/۶۶
	۲۰	۹۳/۱۰	
	۲۲	۹۲/۵	
	۲۴	۹۱/۴۹	
	۲۷	۷۱/۲۳	



شکل (۹): نمای بالا از پره‌های مستغرق (قرارگیری پره‌ها به صورت دو ردیف موازی)

برای نمونه، توپوگرافی آزمایش استفاده از پره‌های مستغرق در دو ردیف با فاصله ۱۰ سانتی‌متر از تکیه‌گاه و با فاصله ردیف‌ها از هم ۵ سانتی‌متر (۲VP۱۰D۵)، در دبی ۲۷ لیتر بر ثانیه در شکل ۱۰ نشان داده شده است و ابتدای پایه‌پل در  $x=4/5$  قرار گرفته است.



شکل (۱۰): توپوگرافی حفره آبشستگی در دبی ۲۷ لیتر بر ثانیه در آزمایش ۲VP۱۰D۵

همان‌طوری که در شکل فوق نشان داده شده ابتدا حفره‌ی آبشستگی در جلوی تکیه‌گاه تشکیل شد که با دور شدن از تکیه‌گاه، رسوبات شسته شده از جلوی تکیه‌گاه به صورت تپه‌ای در پشت آن انباشته شده است و می‌توان گفت هرچه حفره آبشستگی گودتر باشد تپه در پشت تکیه‌گاه بزرگ‌تر و کشیده‌تر می‌شود. همچنین مشاهده شد عمق آبشستگی در فاصله کمی از تکیه‌گاه پل به حداکثر مقدار خود رسید و با دور شدن از تکیه‌گاه مقدار آن کاهش یافت. برای مقایسه نتایج آزمایش‌های با حضور پره با آرایش دو ردیفه موازی نسبت به آزمایش‌های شاهد، درصد

نتایج جدول فوق نشان می‌دهد که عملکرد آرایش‌های پره‌های مستغرق (۷۱۰ و ۷۵) در دبی‌های مختلف متفاوت می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که عملکرد پره‌های مستغرق در آرایش ۷۵ (بطور متوسط ۸۷/۶۶ درصد کاهش آبشستگی) بهتر از آرایش ۷۱۰ (بطور متوسط ۵۰/۸۹ درصد کاهش آبشستگی) می‌باشد. مقایسه دو آرایش ۷۵ و ۷۱۰ که تاثیر جانمایی پره‌ها را نشان می‌دهد بیانگر آن است که در آرایش ۷۵ به علت نزدیکی پره‌ها به تکیه‌گاه پل و در نتیجه هدایت رسوبات شسته شده از بالادست پره‌ها و حتی اطراف پره‌ها به سمت تکیه‌گاه پل موجب کاهش عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل گردیده است. به عبارتی نزدیک شدن پره‌های مستغرق به تکیه‌گاه پل موجب عملکرد بهتر آن‌ها در اثر کاهش قدرت جریان آب در ایجاد حفره آبشستگی شده است.

#### بررسی تاثیر پره‌های دو ردیفه موازی

از آنجایی که سایر محققین نیز مانند شجاعی و همکاران (۱۳۹۱) و (Ghorbani, and Kells, 2008) در کارهای خود استفاده از پره‌های دو ردیفه را مورد تاکید قرار دادند در این تحقیق نیز آرایش دو ردیفه مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع چهار نوع آرایش دو ردیفه موازی مطابق جدول ۱ مورد استفاده قرار

جدول (۳): درصد تغییرات عمق آبشستگی در آزمایش‌های ۲VP۱۰D۵، ۲VP۵D۵، ۲VP۱۰D۱۰ و ۲VP۵D۱۰ نسبت به آزمایش‌های شاهد

متوسط درصد کاهش	درصد کاهش	Q (lit/s)	
	۹۵	۱۸	
	۹۴/۸۳	۲۰	
۸۷/۸۱	۹۵	۲۲	۲VP۱۰D۵
	۸۲/۹۸	۲۴	
	۷۱/۲۳	۲۷	
	۹۲/۵	۱۸	
	۸۹/۶۵	۲۰	
۷۹/۲۷	۸۵	۲۲	۲VP۵D۵
	۶۸/۰۸	۲۴	
	۶۱/۱۲	۲۷	
	۷۵	۱۸	
	۷۹/۳۱	۲۰	
۶۳/۱۷	۷۷/۵۰	۲۲	۲VP۱۰D۱۰
	۴۹/۸۱	۲۴	
	۳۴/۲۵	۲۷	
	۸۵	۱۸	
۶۹/۸۸	۸۹/۶۵	۲۰	۲VP۵D۱۰
	۷۷/۵۰	۲۲	
	۴۲/۵۵	۲۴	
	۵۴/۷۹	۲۷	

کاهش آبشستگی نسبت به آزمایش‌های شاهد در جداول ۳ نشان داده شده است.

با توجه به جداول ۳ نتایج نشان می‌دهد که آزمایش ۲VP۵D۵ با ۷۹/۲۷ درصد کاهش آبشستگی نسبت به دیگر آزمایش‌ها بهترین عملکرد را در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه دارا است.

با مقایسه دو به دو آزمایش‌های ۲VP۵D۱۰ و ۲VP۵D۵ با ۶۹/۸۸ درصد کاهش آبشستگی ۶۹/۸۸ و ۷۹/۲۷ درصد می‌توان نتیجه گرفت که فاصله ۵ سانتی متر پره‌ها از هم نسبت به ۱۰ سانتی متر کارایی بهتری دارد و با کم شدن فاصله پره‌های از هم نتیجه بهتری حاصل شد. به عبارتی کاهش فاصله بین پره‌ها موجب بهبود عملکرد آن در جهت هدایت رسوبات به سمت تکیه‌گاه پل و کاهش عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل شده است.

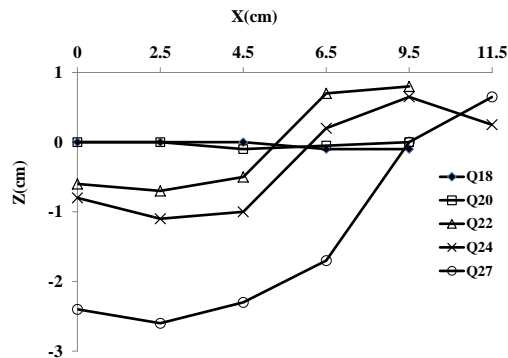
#### بررسی تاثیر پره‌های دو ردیفه زیگزاکی

در این سری از آزمایش پره‌ها بصورت زیگزاکی (یا متناوب) در سه نوع آرایش مطابق جدول ۱ مورد استفاده قرار گرفتند. نمای بالا از قرارگیری پره‌های به صورت زیگزاکی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل (۱۱): نمای بالا از پره‌های مستغرق (قرارگیری پره‌ها به صورت دو ردیف زیگزاکی)

به منظور ارائه پروفیل طولی آزمایش‌ها به ترتیب در ۵ دبی ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۷ لیتر بر ثانیه، برای نمونه در شکل ۱۲ برای آزمایش ۲VZ۵D۵ رسم گردید که در آن Z عمق آبستگي می‌باشد و بر حسب سانتی‌متر بیان شده است.



شکل (۱۲): پروفیل طولی آزمایش ۲VZ۵D۵

برای مقایسه نتایج آزمایش‌های با حضور پره با آرایش دو ردیفه زیگزاکی نسبت به آزمایش‌های شاهد، درصد کاهش آبستگي نسبت به آزمایش‌های شاهد در جداول ۴ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج جداول ۴ مشاهده می‌شود که آزمایش ۲VP۱۰D۱۰ با درصد کاهش آبستگي ۸۱/۸۲ نسبت به دیگر آزمایش‌ها بهترین نتیجه را در کاهش آبستگي تکیه‌گاه دارا است. همچنین مقایسه دو آرایش ۲VZ۵D۵ و ۲VZ۵D۱۰ نشان می‌دهد آن‌ها آبستگي را ۸۱/۶۲ و ۷۶/۳۶ درصد کاهش دادند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش فاصله پره‌های از هم، از ۱۰ به ۵ سانتی‌متر، کارایی بهتری دارد. طبق مطالعات شجاعی و همکاران (۱۳۹۱)، با کم شدن فاصله پره‌های مستغرق در راستای عمود بر جهت جریان، عملکرد آنها در کاهش عمق آبستگي در جلوی پایه افزایش یافت که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد و در هر دو آزمایش‌های زیگزاکی و موازی با کم شدن فاصله ردیف پره‌ها از ۱۰ به ۵ سانتی‌متر عملکرد پره‌ها در کاهش آبستگي تکیه‌گاه افزایش یافت.

جدول (۴): درصد تغییرات عمق آبستگي در آزمایش‌های ۲VZ۵D۱۰، ۲VZ۵D۵ و ۲VZ۵D۱۰ نسبت به آزمایش‌های شاهد

متوسط درصد کاهش	Q (lit/s)		درصد کاهش
۸۱/۶۲	۹۵	۱۸	۲۰
	۹۳/۱۰	۲۰	۲۲
	۸۲/۵	۲۲	۲۴
	۷۴/۴۷	۲۴	۲۷
	۶۳/۰۱	۲۷	۱۸
۸۱/۸۲	۸۵	۱۸	۲۰
	۸۹/۶۵	۲۰	۲۲
	۷۸/۷۲	۲۲	۲۴
	۶۵/۷۵	۲۴	۲۷
	۸۵	۱۸	۲۰
۷۶/۳۶	۸۶/۲۱	۲۰	۲۲
	۸۸/۷۵	۲۲	۲۴
	۵۷/۴۵	۲۴	۲۷
	۶۴/۳۸	۲۷	

#### ارائه رابطه رگرسیونی برای پیش‌بینی عمق آبستگي

با استفاده از آنالیز ابعادی انجام شده (رابطه ۲)، و همچنین با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری عمق آبستگي در اطراف تکیه‌گاه پل، برای محاسبه حداکثر عمق آبستگي اطراف تکیه‌گاه از رابطه غیرخطی زیر استفاده شد:

$$\frac{d_s}{y} = k \left(\frac{L_s}{L}\right)^a \left(\frac{L_v}{L}\right)^b \left(\frac{X}{y}\right)^c F_g^d \quad (5)$$

برای تعیین ضرایب **K**، **a**، **b**، **c** و **d** از آنالیز رگرسیونی غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. بر اساس آنالیز انجام شده مقادیر پارامترهای **K**، **a**، **b**، **c** و **d** به ترتیب برابر  $10^{-7}$ ،  $3/892$ ،  $0/806$ ،  $0/398$ ،  $0/076$  و

سال هفتم • شماره بیست و هفتم • بهار ۱۳۹۶

انجام شده نشان می‌دهد در اثر اختلاف فشار ایجاد شده در دو طرف پره‌های مستغرق، جریان ثانویه‌ای در اطراف آن‌ها ایجاد می‌شود که این امر موجب کاهش قدرت عوامل فرسایش یعنی جریان رو به پایین و گرداب نعل‌اسبی در اطراف تکیه گاه پل می‌گردد. همچنین به علت ایجاد چرخش ثانویه، رسوبات در جهت عرضی جابجا شده و درون حفره آبستنگی جلوی تکیه‌گاه ته‌نشین می‌شوند. در مجموع با بهره‌گیری از پره‌های مستغرق با زاویه ۲۰ درجه نسبت به جهت جریان در شرایط آب زلال با نسبت  $L/H=3$ ، در ۵ دبی ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۷ لیتر بر ثانیه نتایج زیر استخراج شده است:

۱- در مقادیر مختلف دبی، وجود پره‌های مستغرق در بالادست تکیه‌گاه به میزان قابل ملاحظه‌ای آبستنگی در تکیه‌گاه را کاهش می‌دهد. پره‌های مستغرق به طور کلی در بین تمام آزمایش‌ها، آزمایش ۱۰D10Z2V با ۸۱/۸۲ درصد کاهش آبستنگی نسبت به آزمایش‌های شاهد بیشترین تاثیر را در کاهش آبستنگی اطراف تکیه‌گاه داشته است.

۲- با افزایش دبی مقدار آبستنگی اطراف تکیه‌گاه افزایش می‌یابد.

۳- با کاهش فاصله ردیف پره‌ها از هم از ۱۰ به ۵ سانتی‌متر در مقدار آبستنگی کاهش قابل ملاحظه‌ای دیده شد.

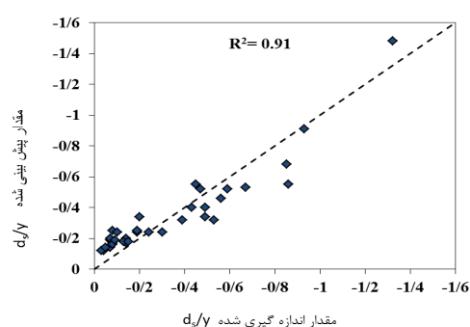
۴- با استفاده از تحلیل داده‌های آزمایشگاهی در این تحقیق، رابطه (۶) برای تخمین حداکثر عمق آبستنگی تکیه‌گاه در حالتی که پره‌های مستغرق در بالادست تکیه‌گاه وجود داشته باشند، ارائه شده است.

۵- استفاده از پره‌های مستغرق یا همان پره‌های مستغرق راه‌کاری مناسب جهت کاهش آبستنگی تکیه‌گاه پل می‌باشد. وقتی این پره‌ها در دو ردیف نصب می‌شوند سطح تاثیر آن‌ها در کاهش آبستنگی افزایش می‌یابد. به عبارتی با ایجاد تغییر در توپوگرافی و مسیر انتقال رسوب، رژیم طبیعی رودخانه همچنان محفوظ می‌ماند.

۱۰/۱۵ بدست آمده که با جایگزینی در رابطه (۵) رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{d_s}{y} = -3.892 \times 10^{-7} \left(\frac{L_s}{L}\right)^{0.806} \left(\frac{L_v}{L}\right)^{0.398} \left(\frac{X}{y}\right)^{0.076} F_g^{10.15} \quad (6)$$

در شکل ۱۳ مقدار تغییرات  $\frac{d_s}{y}$  اندازه‌گیری شده و  $\frac{d_s}{y}$  پیش‌بینی شده با استفاده از رابطه (۶) نشان داده شده است.



شکل (۱۳): تغییرات مقدار  $\frac{d_s}{y}$  اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده اطراف تکیه‌گاه

بر اساس معیارهای آماری مقدار ضریب همبستگی رابطه (۲)،  $R^2=0.91$  همچنین  $RMSE=0.095m$  (ریشه میانگین مربعات خطا) و  $MAE=0.068m$  میانگین خطای مطلق) می‌باشد که دارای دقت خوبی در برآورد عمق آبستنگی می‌باشد.

به منظور تعیین اهمیت پارامترهای ورودی رابطه ۶ آنالیز حساسیت بر روی چهار پارامتر ورودی بدون بعد در رابطه مذکور انجام شد. نتیجه بدست آمده نشان می‌دهد نشان می‌دهد اهمیت پارامترها برای تعیین عمق آبستنگی به ترتیب از بیشترین به کمترین  $F_g$ ،  $L_s/L$ ،  $X/L$  و  $L_v/L$  بوده است.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور بررسی استفاده از پره‌های مستغرق در کاهش آبستنگی اطراف تکیه‌گاه پل در مقطع مرکب استفاده شد. مشاهدات و اندازه‌گیری

- خادمی، خ.، م. شفاعی بجستان و ح. خزیمه نژاد. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون تکیه گاه پل با حضور صفحه‌ی مستغرق متصل به آن. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. جلد ۵، شماره ۱۷، ص ۵۶-۶۶.
- حسینی، ح.، ع. حسین زاده دلیر، د. فرسادی زاده، ه. ارونقی، م. قربانی. ۱۳۹۰. کاربرد پره های مستغرق در کنترل آبشستگی اطراف پایه‌های پل متطیلی با دماغه گرد. نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری، دانشکده فنی، جلد ۴۵، شماره ۳، ص ۳۱۰-۳۰۱.
- شجاعی، پ.، د. فرسادی زاده، ع. حسین زاده دلیر. ۱۳۹۰. تأثیر توأم پره های مستغرق و طوق در کاهش عمق آبشستگی پایه‌های استوانه‌ای شکل پل‌ها، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد ۱۵، شماره ۵۷، ص ۳۳-۲۳.
- شفاعی بجستان، م.، ع. فروغی، م. بنی رضی، و م. ساجدی سابق. ۱۳۸۰. کاربرد پره های مستغرق جهت سامان دهی و تثبیت رودخانه ای فصلی سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تهران.
- شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۷، هیدرولیک انتقال رسوب، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Breusers, H. N. C., G. Nicollet, and H. W. Shen. 1977. Local scour around cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Research*, 153: 211-252.
- Chiew, Y. M. 2004. Local scour and riprap stability at bridge piers in a degrading channel. *Journal of hydraulic engineering, ASCE*. 130(3): 218-226.
- Dehghani, A. A., H. Md. Azamathulla, S. A. Hashemi Najafi, S. A. Ayyoubzadeh. 2013. Local scouring around L-head groynes. *Journal of Hydrology*, 504: 125-131.
- Ghorbani, B., and J. A. Kells. 2008. Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier. *Journal of Hydraulic Research*, 46(1): 610-619.
- Heidarpour, M., H., Afzalimehr, and E. Izadinia. 2010. Reduction of local scour around bridge pier groups using collars. *International Journal of Sediment Research*, 25: 411-422.
- Kwan, T. F. 1988. A study of abutment scour. Rep. No. 451, School of Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand
- Melville, B.W., and S. E. Coleman. 2000. *Bridge Scour* Water Resources Publications. LLC. Clorado. U.S.A. 550p.
- Melville, B. W. and A. J. Sutherland. 1988. Design method for local scour at bridge piers. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 114(HY10): 1210-1226.
- Lauchlan, C. S. 1999. Pier scour countermeasures. Ph.D Thesis. University of Auckland. New Zealand. 299-316.
- Johnson, P. A. R. D. Hey and M. Tessier, and D. L. Rosgen. 2001. Use of Vane for Control of Scour at Vertical Wall Abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(9): 772-778.
- Odgaard, A J., and J. F. Kennedy. 1983. River- Bend Bank Protection by Submerged vanes. *J of Hydraulic Engineering, ASCE*, 109( 8):1161-1173.
- Odgaard, A. J., and J. F. Kennedy. 1983. River-bend bank protection by submerged vanes. *Journal of hydraulic engineering*, 109( 8): 1161-1173.
- Odgaard, A. J., and Y. Wang. 1987. Scour prevention at bridge piers. *Hydraulic Engineering*, 523-527.
- Odgaard A. J. and Y. Wang. 1991. Sediment management with submerged vanes. I:Theory. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(3): 267-283.
- Raudkivi, A. J. 1998. *Loose boundary hydraulics*. IAHR, A. A, Balkema, Rotterdam, The Netherland.
- Raudkivi, A. J. and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical Piers. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 1093: 338-350

Richardson, E. V. and S. R. Davis. 2001. Evaluating Scour at Bridges, 4th edn. Hydraulic Engineering Circular No. 18, FHWA NHI 01-001, Federal Highway Administration, Washington, DC.

Rosgen, D. L. 1996. Applied river morphology. Wildland Hydrology, Pagosa Spring, Colo.

Samimiye Behbahan, T., G. H. Barani, M. Khanli and M. Khanjani, 2006. Experimental Investigation of Submerged Vanes Effect on Scouring of Bridge Piers. National Congress of Irrigation and Drainage Networks management. Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

Zarrati, A. R., R. M. R. Chamani, A. Shafaie, and M. Latifi. 2010. Scour countermeasures for cylindrical piers using riprap and combination of collar and riprap. International Journal of Sediment Research, 25: 313-322

## The experimental investigation of the effect of submerged vanes on the reduction of the local scour around the bridge abutment

Samad Emamgholizadeh<sup>1</sup>, Forugh Farhadi<sup>2</sup>, Ebrahim Nohani<sup>3</sup>, Khalil Ajdari<sup>4</sup>

### Abstract

Local scour involves removal of material from around piers and abutments as the flow accelerates around the obstructed flow area. This phenomenon is sometimes the main reason for the bridge failure. Different structures such as submerged vanes can be used to change the flow pattern and prevent scouring around the piers and abutments. In this study, the effect of submerged vanes on the reduction of the local scour around the bridge abutment was studied. Experiments were conducted in a compound cross section flume with non-cohesive sediments having diameter ( $d_{50}$ ) of 1 mm. Experiments were performed for two cases of with and without the presence of submerged vanes. Vanes with a length of 10 cm and height of 3.33 cm ( $L/H=3$ ) were installed in front of the bridge abutment with an angle of  $20^\circ$  to the flow direction. They were used in three layouts of one row, two parallel rows, and two zigzag rows. The results showed that the geometric property of the scour hole developed in the nose of abutment was similar to those previous related studies. For all flow conditions, the results showed that the submerged vanes reduced the scour hole around the bridge abutment and moved the scouring away from the abutment to the center of channel. Furthermore, the performance of the layout of two parallel rows was better than the layouts of one row and two zigzag rows, and it reduced the maximum scour depth up to 87.81 %.

**Keywords:** River, Sediment, local scour, compound cross section.

1 - Associate professor, Department of Water and Soil Engineering, University of Shahrood, Shahrood, Iran. S\_gholizadeh517@yahoo.com

2 - M.S. student, Department of Water and Soil Engineering, University of Shahrood, Shahrood, Iran.

3 - Assistant professor, Department of Water structure, Azad Islamic University of Dezfoul, Dezfoul, Iran.

4 Associate professor, Department of Water and Soil Engineering, University of Shahrood, Shahrood, Iran.