

بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل با حضور صفحه‌ی مستغرق متصل به آن

خیراله خادمی^۱، محمود شفاعی بجستان^۲، حسین خزیمه‌نژاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۷/۰۳

مقاله برگرفته از تز دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده‌ی مهندسی علوم آب

چکیده

تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص شناخت مکانیزم آبشستگی، کنترل و کاهش آن در محل پایه و تکیه‌گاه پل‌ها انجام شده است. البته مطالعات انجام شده در خصوص تکیه‌گاه کمتر بوده و تمرکز تحقیقات بیشتر بر روی پایه‌ی پل‌ها بوده است. همچنین در دو دهه‌ی گذشته صفحات مستغرق جهت تثبیت بستر و حفاظت سواحل رودخانه‌ها، کاهش فرسایش سواحل در محل قوس رودخانه و نیز برای جلوگیری از ورود رسوبات بار بستر رودخانه به سازه‌های آبیگری و اصلاح مقطع رودخانه در مجاورت پایه‌های پل مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ اما تاکنون تحقیقی در خصوص استفاده از صفحه یا صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل‌ها انجام نشده است، لذا در تحقیق حاضر، عملکرد صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه در کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل با شکل مستطیلی مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد، زاویه‌ی نصب صفحه، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه دارد. در ادامه‌ی این تحقیق مولفه‌های سه‌بعدی سرعت جریان پیرامون تکیه‌گاه در حالت نصب صفحه با استفاده از سرعت‌سنج الکترومغناطیس تعیین و برای رسم الگوی جریان مورد استفاده قرار گرفتند و با توجه به آن دلایل نقش موثر صفحه بر کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی الگوی جریان در حالت نصب صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه نشان داد که این سازه با ایجاد منطقه‌ی کم سرعت پیرامون تکیه‌گاه و مهار گرداب‌های اولیه، نقش موثری در کاهش آبشستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، الگوی جریان، پل، تکیه‌گاه، صفحه‌ی مستغرق، مقطع مستطیلی.

۱- معاون شرکت توسعه و ساخت وزارت راه و شهرسازی و دانش آموخته‌ی دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز، ۰۹۱۶۱۱۳۳۷۶۷

Khademi.1965@yahoo.com

۲- استاد دانشکده‌ی مهندسی علوم آب، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ۰۹۱۶۱۱۸۸۴۷۲

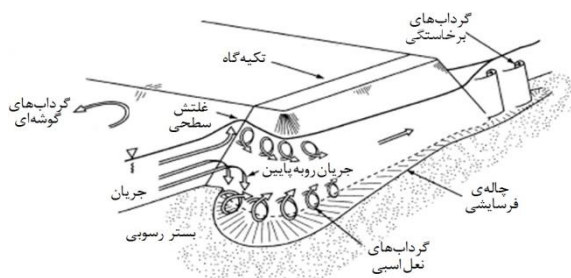
M_shafai@yahoo.com

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ۰۹۱۵۱۶۳۹۸۴۳

Hkhozeymeh@birjand.ac.ir

مقدمه

قسمت میانی و گوشه‌ی انتهایی تکیه‌گاه پل، باعث ایجاد فعل و انفعال پیچیده‌ای بین سیال و مواد بستر می‌شود که دلیل اصلی آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها است؛ دیدن الگوی جریان اطراف تکیه‌گاه با استفاده از تکنیک‌های متعددی توسط بسیاری از محققان از جمله لیو (۱۹۶۱) و جیل (۱۹۷۰) انجام شده است. در شکل (۱) فرآیند جریان و الگوی آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل نشان داده شده است.



شکل (۱): فرآیند جریان و الگوی آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل (به نقل از خادمی، ۲۰۱۲)

صفحات مستغرق در مهندسی رودخانه

صفحات مستغرق سازه‌های کوچک هدایت کننده‌ی جریان هستند که برای اصلاح الگوی جریان مجاور بستر طراحی می‌گردند. این صفحات به صورت گروهی کار گذاشته شده و با تغییر الگوی جریان مجاور بستر موجب انتقال رسوبات در مقاطع عرضی کانال و در نتیجه، تغییر وضعیت مورفولوژیک در مقاطع عرضی بستر رودخانه می‌گردند؛ به طوری که کف رودخانه در یک مقطع عرضی بالا آمده و در قسمت دیگر فرو می‌افتد. عملکرد صفحات مستغرق بر مبنای ایجاد چرخش ثانویه در جهت عکس جریان ثانویه‌ی جریان اصلی است. این چرخش، مقدار و جهت تنش‌های برشی کف را تغییر داده و موجب دگرگونی در توزیع سرعت، عمق و انتقال رسوبات در محدوده‌ی تحت تاثیر صفحات می‌شود. تکنیک استفاده از صفحات مستغرق اولین بار در سال ۱۹۸۳ توسط ادگارد در انستیتوی تحقیقات هیدرولیک دانشگاه آیوای ایالات متحده، برای جلوگیری از فرسایش ساحل خارجی رودخانه طراحی گردید تا جریان ثانویه حاصل از نیروی گریز از مرکز را که عامل اصلی تخریب ساحل خارجی می‌باشد، دفع کند (ادگارد و کندی، ۱۹۸۳). بر خلاف روش‌هایی که بر مبنای طراحی تقریبی و مشاهدات تجربی

هرساله با وقوع سیلاب در رودخانه‌ها تعداد زیادی از پل‌ها درست زمانی که بیشترین نیاز به آن‌ها وجود دارد، تخریب می‌گردند. یکی از موثرترین عوامل این تخریب‌ها، آبشستگی در محل پایه و تکیه‌گاه می‌باشد. تخریب پل‌ها به علت آبشستگی، زیان‌های سنگین اقتصادی و جانی را به دنبال دارد. مطالعات انجام شده بر روی شکست ۳۸۳ پل در ایالات متحده نشان می‌دهد که در ۲۵ درصد آن‌ها تخریب پایه و در ۷۲ درصد تخریب تکیه‌گاه، علت شکست پل بوده است. بر طبق مطالعات ملویل (۱۹۹۲)، از ۱۰۸ شکست پل که در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۴ در نیوزیلند رخ داد، ۲۹ مورد آن مربوط به آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است. ملویل همچنین خاطر نشان می‌سازد که ۷۰ درصد هزینه‌ها روی شکست پل در نیوزیلند، ناشی از آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است. در داخل کشور هم مطابق گزارش سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای در سال ۱۳۹۱ میزان ۳۷ درصد خرابی پل‌های کشور ناشی از آبشستگی پایه‌های میانی و کناری آن می‌باشد. (خادمی و همکاران، ۲۰۱۱).

الگوی جریان و فرآیند آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل یک پدیده پیچیده است که از اثر متقابل جریان آشفته‌ی سه‌بعدی در میدان اطراف تکیه‌گاه ناشی می‌شود و فرسایش رسوبات بستر را به دنبال دارد. تحقیقات در زمینه‌ی فرآیند آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها توسط وانگ (۱۹۸۲)، کانداسمی (۱۹۸۹)، دانگل (۱۹۹۴) و بسیاری دیگر نشان داده است که فرآیند آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها بسیار شبیه به فرآیند آبشستگی در پایه‌ی پل‌ها است، با این تفاوت که لایه‌ی مرزی ناشی از دیواره‌ی کانال، وضعیت پیچیده‌تری را در جریان اطراف سازه نسبت به پایه‌های پل ایجاد می‌کند. علاوه بر این، آزمایشات محققین مختلف، نشان داد که عمق آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها کم‌تر از معادل آن در پایه‌های پل است که به دلیل اثرات لایه‌ی مرزی غالب شده‌ی ناشی از دیواره‌ی کانال است (کودیاری و رانگاراچو، ۲۰۰۱). جریان پایین‌رونده^۱ و گرداب اصلی^۲ در گوشه‌ی بالادست تکیه‌گاه پل، همراه با گرداب ثانویه^۳ و گرداب برخاستگی^۴ در

1 - Down Flow
2 - Primary Vortex
3 - Secondary Vortex
4 - Wake Vortex

به آبگیر جانبی در مسیر مستقیم، دهقانی (۲۰۰۶) به بررسی اثر صفحات مستغرق بر نسبت رسوب انحرافی به آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه و الگوی تغییرات بستر و منتصری (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر آرایش مختلف صفحات مستغرق در جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیر جانبی در کانالی باقوسی ۱۸۰ درجه پرداختند.

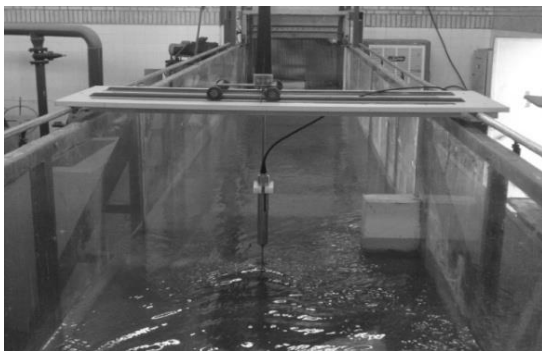
در بررسی منابع، کاربردهای مختلفی از صفحات مستغرق به چشم می‌خورد، اما بررسی منابع نشان می‌دهد تاکنون تحقیقی در خصوص استفاده از صفحه یا صفحات مستغرق در کنترل یا کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل‌ها و بررسی الگوی جریان پیرامون آن انجام نشده است و با توجه به این که تخریب پل‌ها که بخش عمده‌ی آن‌ها مربوط به تکیه‌گاه است خسارت‌های فراوانی را به جوامع وارد می‌سازد، لذا در این تحقیق عملکرد صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه در کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل‌ها مورد بررسی قرار گرفت و پس از تعیین وضعیت بهینه‌ی نصب صفحه، الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه با حضور صفحه ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایشات این تحقیق در فلومی به طول ۸ متر، عرض ۱ متر، ارتفاع ۰/۶ متر و شیب ثابت ۰/۰۰۳ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران انجام شد. دیواره‌های کانال از جنس پلکسی گلاس و به ضخامت یک سانتی‌متر تشکیل شده‌اند. در فاصله‌ی چهار متری از ابتدای فلوم یک باکس فلزی قرار گرفته که طول، عرض و ارتفاع آن به ترتیب حدود ۲، ۰/۷ و ۰/۳ متر می‌باشد. این باکس از یک نمونه رسوب یکنواخت دارای انحراف معیار هندسی ۱/۲، چگالی ۲/۶۵ و قطر متوسط ۰/۷۶ میلی‌متر پر شده است به نحوی که پس از پر شدن در تراز بستر کانال قرار می‌گیرد. آب از طریق پمپ از مخزن زیرزمینی آزمایشگاه پمپاژ شده و به قسمت ابتدایی فلوم که بخش آرام کننده می‌باشد، هدایت می‌شود. در انتهای فلوم دریچه‌ی کنترل جهت تنظیم عمق در رقوم مورد نظر قرار دارد. سپس آب وارد حوضچه‌ی آرامش می‌شود. در انتهای حوضچه‌ی آرامش، سرریز مثلی ۵۳ درجه‌ی استاندارد قرار دارد که دبی جریان توسط آن اندازه‌گیری می‌شود. آب پس از عبور از سرریز، مجدداً وارد مخزن زیرزمینی آزمایشگاه می‌شود و به این ترتیب یک جریان رفت و برگشتی در کل زمان

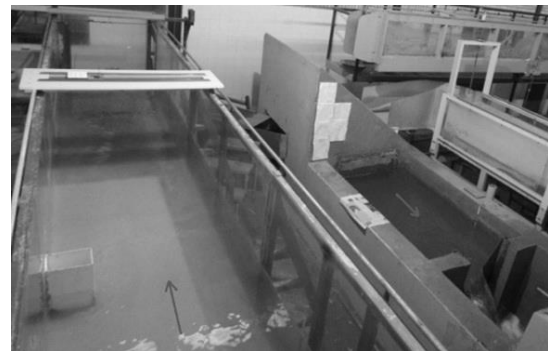
می‌باشند، سیستم صفحات مستغرق بر اساس اصول دقیق هیدرودینامیک طراحی می‌گردد که راندمانی بسیار بالاتر دارد. در نهایت یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های سیستم صفحات که آن را بسیار پرکاربرد و مورد توجه قرار داده است اقتصادی بودن آن نسبت به سایر روش‌های مشابه می‌باشد. برخی از مهم‌ترین کاربردها صفحات مستغرق در مهندسی رودخانه حفاظت از ساحل خارجی رودخانه‌ها، حفاظت از دهانه‌ی آبگیرها، جلوگیری از آبشستگی پایه‌ی پل‌ها و افزایش عمر مفید سدها می‌باشد. در چند دهه‌ی اخیر پژوهش‌های بسیاری توسط محققان مختلف از جمله ادگارد و کندی (۱۹۸۳) در طراحی سیستم صفحات مستغرق به منظور کاهش فرسایش کناره در انحنای رودخانه، وانگ و همکاران (۱۹۹۶) در کاربرد توصیه‌های طراحی ارائه شده توسط ادگارد برای سیستم صفحات، به صورت میدانی در جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیر جانبی، نیل و ایوانس (۱۹۹۷) در کاربرد ترکیب صفحات با سازه‌های دیگر به منظور جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم، برکدال و همکاران (۱۹۹۹) در طراحی آرایش مناسب صفحات برای جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم با بستر آبرفتی، مریلیوس و سینها (۱۹۹۸) و مریلیوس و سینها (۲۰۰۰) در تعیین زاویه‌ی بهینه برخورد جریان با صفحه و بررسی الگوی جریان حول یک صفحه در مسیر مستقیم با بستر متحرک به صورت عددی و آزمایشگاهی، وایزن و تانزند (۲۰۰۲) در تعیین ابعاد و آرایش بهینه‌ی صفحات در قوس ۹۰ درجه به منظور جلوگیری از فرسایش کناره‌ی خارجی قوس، سون کیت و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی الگوی جریان حول یک صفحه‌ی طویل در رودخانه‌های عریض با بستر متحرک و گوپتا و شارما (۲۰۰۷) در طراحی شکل هندسی مناسب صفحه برای عملکرد بهتر در جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در خم رودخانه‌های آبرفتی انجام شده است. صفرزاده (۲۰۰۵) به منظور بررسی الگوی جریان با استفاده از نرم‌افزار Fluent به شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در آگیری از کانال قوسی ۸۰ درجه پرداخت. نیری و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از مدل عددی، به بررسی الگوی جریان در آگیری جانبی از مسیر مستقیم پرداختند. حسن‌پور (۲۰۰۶) به مطالعه‌ی کاربرد صفحات مستغرق مرکب در کنترل رسوب ورودی

سرریز مثلثی به وسیله‌ی دریچه‌ی کنترل، آب در عمق مورد نظر یعنی ۰/۱۵ متر قرار می‌گیرد. سپس آزمایش به مدت زمان تعیین شده ادامه پیدا کرده و پس از اتمام آزمایش آب به آرامی از فلوم خارج می‌گردد. در انتها حداکثر عمق آبشستگی و الگوی رسوب‌گذاری ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه به وسیله‌ی متر لیزری برداشت می‌گردد. برای بررسی عملکرد صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه در کاهش آبشستگی موضعی، ابتدا زوایای مختلف نصب صفحه پیرامون تکیه‌گاه با طول بی‌بعد ۰/۶ مورد بررسی قرار گرفت و بهترین وضعیت نصب (وضعیت بهینه) تعیین گردید. سپس وضعیت بهینه با تغییر در ابعاد تکیه‌گاه و همین‌طور شرایط جریان (عدد فرود) مجدداً مورد ارزیابی قرار گرفت. در بخش آزمایشات مربوط به تعیین الگوی جریان نیز مجدداً بر روی تکیه‌گاه با نسبت عرض به طول ۰/۶ که بالاترین میزان آبشستگی در حالت بدون صفحه روی داده بود، دو آزمایشی در همان زمان و شرایط آزمایشات قبلی در شرایط نصب و عدم نصب صفحه، انجام و بستر رسوبی با استفاده از دوغاب سیمان تثبیت گردید و پس از تثبیت بستر، جریان با همان شرایط در فلوم برقرار و در نقاط مختلف پیرامون تکیه‌گاه مولفه‌های سه‌بعدی سرعت با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج الکترومغناطیس برداشت و برای بررسی و مقایسه‌ی الگوی جریان در شرایط نصب و عدم نصب صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه مورد استفاده قرار گرفت. در شکل (۳) ابزار لازم برای اندازه‌گیری مولفه‌های سه‌بعدی سرعت و نحوه‌ی اندازه‌گیری سرعت نشان داده شده است.



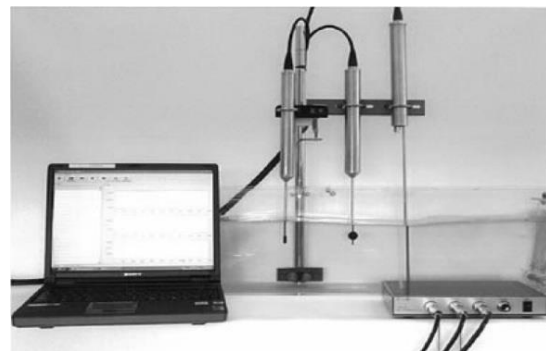
(ب)

آزمایش در فلوم برقرار می‌باشد. در شکل (۲) فلوم آزمایشگاهی مذکور نشان داده شده است.



شکل (۲): فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق حاضر

در این تحقیق از تکیه‌گاه مستطیلی با جنس ورق گالوانیزه و پارامتر طول بی‌بعد (نسبت عرض تکیه‌گاه (B_a) به طول تکیه‌گاه (L_a) ۰/۶، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۴ و ۱/۵۶ استفاده گردید (بعد عمود بر جریان تکیه‌گاه به عنوان طول تکیه‌گاه نام‌گذاری گردید). صفحه‌ی مستغرق استفاده شده، از ورق‌ی از جنس آهن گالوانیزه و به ضخامت ۱ میلی‌متر انتخاب شد. ارتفاع صفحه برابر یک سوم عمق آب (۵ سانتی‌متر) و طول صفحه سه برابر ارتفاع آن (۱۵ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها در چهار دبی ۰/۰۴، ۰/۰۳۶، ۰/۰۳۲ و ۰/۰۲۸ مترمکعب بر ثانیه و اعداد فرود ۰/۲۲، ۰/۲۰، ۰/۱۸ و ۰/۱۵ و عمق (۷) ثابت ۰/۱۵ متر انجام گردید. در شروع هر آزمایش ابتدا فلوم با نرخ کم جریان پر می‌شود، این امر به این دلیل است که جلوی فرسایش ناشی از جریان ورقه‌ای در ابتدای آزمایش گرفته شود، سپس دبی آب به آرامی زیاد شده تا به دبی مورد نظر برسد، پس از تنظیم دبی توسط



(الف)

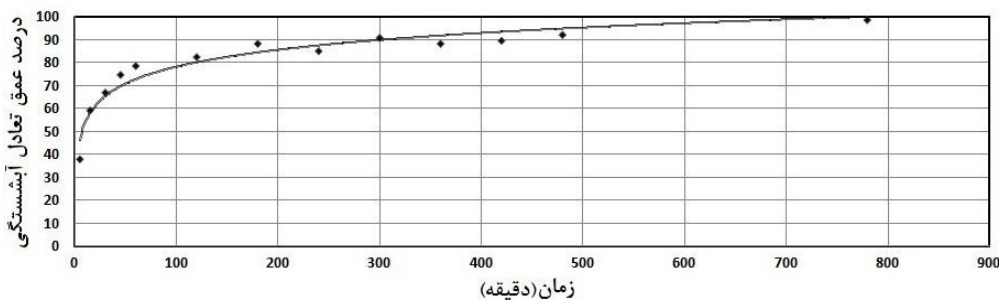
شکل (۳):

(الف) سرعت‌سنج الکترومغناطیس و تجهیزات مربوطه (ب) نحوه‌ی اندازه‌گیری سرعت بر روی بستر تثبیت شده به وسیله‌ی دوغاب سیمان

صفحه‌ی بهینه (بهترین زاویه‌ی نصب از نظر کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه)، بخش چهارم تاثیر شرایط جریان (عدد فرود) بر عملکرد صفحه‌ی بهینه و در بخش پنجم نیز الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه در وضعیت نصب صفحه‌ی بهینه تعیین خواهد شد، به غیر از آزمایشات بخش اول و سوم، سایر آزمایشات بر روی تکیه‌گاه با طول بی بعد ۰/۶ انجام شد.

بخش اول- نتایج آزمایشات بدون حضور صفحه (آزمایشات شاهد):

در این مرحله ابتدا چهار آزمایش، به مدت زمان ۱۳ ساعت در اعداد فرود مختلف (در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد) انجام گردید. تکیه‌گاه در این آزمایش دارای طول ۲۰ و عرض ۱۲ سانتی‌متر (طول بی بعد ۰/۶) بود. در طول مدت آزمایش در زمان‌های مختلف عمق آبشستگی در نقطه‌ی مبنا برداشت گردید. (در آزمایشات شاهد، عمق آبشستگی در گوشه‌ی بالادست تکیه‌گاه اتفاق افتاد، بنابراین عمق آبشستگی در همین نقطه برای تعیین عملکرد صفحه مد نظر قرار گرفت. در تحقیق حاضر از این نقطه به عنوان نقطه‌ی مبنا یاد شده است). در شکل (۴) نمونه‌ای از نتایج این آزمایشات نشان داده شده است.



شکل (۴): تغییر عمق آبشستگی در مقابل زمان در نقطه‌ی مبنا بدون حضور صفحه در عدد فرود ۰/۲۲

اعداد فرود نیز وضعیت به همین صورت بود؛ و با توجه به این‌که هدف در تحقیق حاضر، بررسی و تعیین بهترین وضعیت نصب صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه و تعیین الگوی جریان و آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه در شرایط نصب صفحه‌ی بهینه می‌باشد، لذا مدت زمان ۲ ساعت به عنوان زمان آزمایش برای آزمایش‌ها انتخاب گردید. بنابراین یک

مولفه‌های سه‌بعدی سرعت در ۵ عمق ۰/۰۴، ۰/۰۶۵، ۰/۰۹، ۰/۱۱۵ و ۰/۱۴ متر از کف کانال، ثبت شدند. در هر نقطه بیش از ۵۰۰ سرعت مستمر در سه‌بعد توسط دستگاه ثبت شد. لازم به ذکر است در اعماق پایین به دلیل وجود تپه‌های رسوبی، امکان اندازه‌گیری در تعداد کمی از نقاط با محدودیت مواجه شده که با توجه به تپه‌های رسوبی و عدم وجود جریان در آن نقاط میزان سرعت صفر منظور گردید. به طور کلی در آزمایش شاهد در تعداد ۷۵۷ نقطه و در آزمایش صفحه در تعداد ۷۶۴ نقطه، بیش از دو میلیون مولفه‌ی سه‌بعدی سرعت ثبت گردید. همچنین، میانگین سرعت‌های مستمر در هر نقطه محاسبه شد. به این ترتیب در هر یک از نقاط مورد نظر، سه مولفه‌ی سرعت در سه بعد مختلف محاسبه و در بررسی الگوی جریان مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث:

در این قسمت نتایج حاصل از تحقیق حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرند. نتایج در ۵ بخش ارائه شده‌اند. بخش اول مربوط به آزمایشات شاهد است که بدون حضور صفحه انجام گردید. بخش دوم نتایج آزمایشات مربوط به تاثیر زاویه‌ی نصب صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه بر کاهش آبشستگی، بخش سوم تاثیر ابعاد تکیه‌گاه بر عملکرد

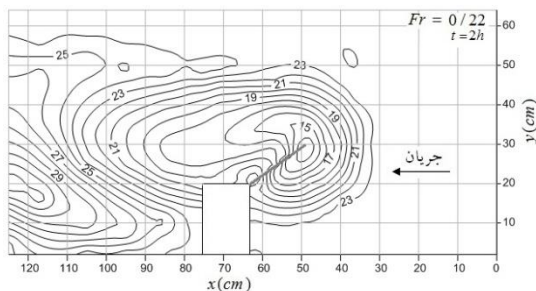
در شکل (۴) محور عمودی مربوط به درصد عمق تعادل آبشستگی می‌باشد. در تحقیق حاضر فرض بر این بود که ۹۹ درصد عمق تعادل آبشستگی (عمق نهایی آبشستگی) در مدت زمان ۱۳ ساعت اتفاق می‌افتد. در این صورت مطابق شکل (۴) بیش از ۸۰ درصد عمق تعادل آبشستگی در مدت زمان ۲ ساعت اتفاق می‌افتد. در سایر

در شکل (۵) عملکرد صفحه (درصد کاهش عمق آبستگی) می‌باشد که مقدار آن با توجه به رابطه‌ی (۱) قابل محاسبه است.

$$Pr = (y_s - y_{sv}) / y_s \times 100 \quad (1)$$

در رابطه‌ی (۱) پارامتر P_r عملکرد صفحه، y_s عمق آبستگی در آزمایش شاهد و y_{sv} عمق آبستگی در حالت نصب صفحه می‌باشد.

نتایج این مرحله نشان می‌دهد که زاویه‌ی نصب صفحات، تاثیری قابل ملاحظه‌ای در عملکرد صفحات ایفا می‌کنند، مطابق شکل تغییر زاویه از ۲۵ تا ۴۰ درجه میزان عملکرد صفحه را افزایش داد و پس از آن با افزایش زاویه‌ی نصب تقریباً حالت نوسانی در عملکرد صفحه به وجود می‌آید. زوایای بیشتر به دلیل این که طول عمود بر جریان تکیه‌گاه و صفحه بیش از ۳۰ درصد عرض فلوم بوده و این وضعیت، سازه را تحت تاثیر آبستگی ناشی از تنگ‌شدگی مقطع قرار می‌داد، مورد بررسی قرار نگرفتند. مطابق نتایج این مرحله صفحه با زاویه نصب ۴۰ درجه مناسب‌ترین حالت نسبت به سایر وضعیت‌ها می‌باشد و در این بخش به عنوان وضعیت بهینه‌ی نصب صفحه معرفی گردید. در شکل (۶) الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در آزمایشات شاهد و صفحه‌ی بهینه نشان داده شده است.



ب

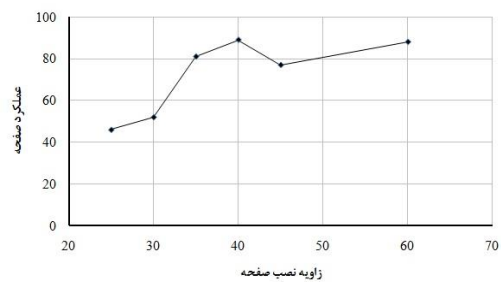
شکل (۶): الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری (الف شاهد ب) صفحه‌ی بهینه

بخش سوم - ارزیابی وضعیت بهینه‌ی نصب صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه با ابعاد مختلف در این مرحله از آزمایشات، با انجام ۴ آزمایش وضعیت بهینه‌ی نصب صفحات در اطراف تکیه‌گاه با ابعاد مختلف

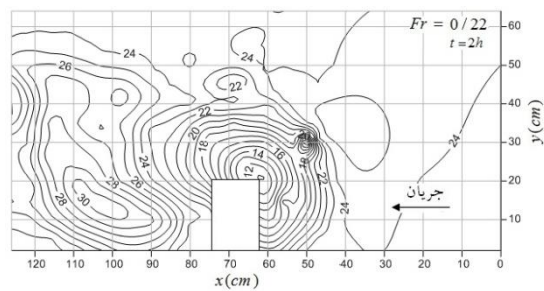
آزمایش شاهد دیگر جهت مقایسه و تعیین عملکرد صفحه در عدد فرود ۰/۲۲ و در زمان ۲ ساعت انجام گردید. همچنین ۴ آزمایش شاهد دیگر نیز بر روی تکیه‌گاه با سایر ابعاد در عدد فرود ۰/۲۲ و در زمان ۲ ساعت انجام شد.

بخش دوم - نتایج آزمایشات مربوط به تعیین بهترین زاویه‌ی نصب صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه (وضعیت بهینه)

در این بخش ۶ زاویه‌ی نصب صفحه در محدوده‌ی ۲۵ تا ۶۰ درجه مورد بررسی قرار گرفتند. عدد فرود در این بخش از آزمایشات ۰/۲۲ و همان‌گونه که پیش‌تر عنوان شد، طول بی‌بعد تکیه‌گاه ۰/۶ و زمان آزمایشات ۲ ساعت بود. در شکل (۵) نتیجه‌ی این بخش از آزمایشات نشان داده شده است.



شکل (۵): تاثیر زاویه‌ی نصب صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه بر عملکرد آن



الف

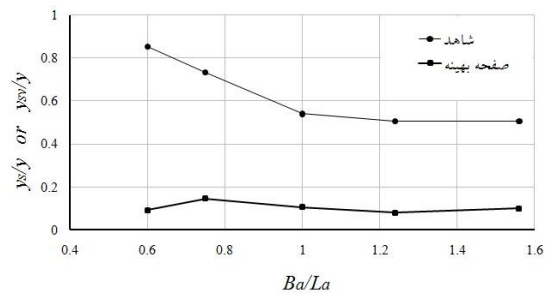
مطابق شکل (۶) وجود صفحه باعث شده است تا نقطه‌ی دارای عمق حداکثر آبستگی از نقطه‌ی مبنا به پای صفحه منتقل گردد.

با توجه به شکل (۸) مشخص است، هر چه عدد فرود جریان کم‌تر باشد، صفحه در وضعیت بهینه، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. البته در زمان‌های کوتاه، صفحه‌ی بهینه در اعداد فرود بزرگ‌تر هم راندمان بالایی را از خود نشان داد. این مطلب نشان می‌دهد که این سازه در حقیقت علاوه بر کاهش میزان عمق آبشستگی، زمان وقوع عمق نهایی آبشستگی را به تاخیر می‌اندازد و با توجه به این که اکثر سیل‌ها در زمان‌های کوتاه و کم‌تر از زمان تعادل عمق آبشستگی رخ می‌دهند، این نکته کمک شایانی به مراقبت سازه در برابر آبشستگی تکیه‌گاه در زمان سیل می‌کند.

بخش پنجم - تعیین الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه در شرایط نصب صفحه‌ی بهینه

همان‌گونه که پیش‌تر عنوان شد، مولفه‌های سه‌بعدی سرعت در ۵ عمق مختلف جریان برداشت شدند که عبارت بودند: از ۴، ۶/۵، ۹، ۱۱/۵ و ۱۴ سانتی‌متر، در شکل (۹) میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه در آزمایش شاهد و صفحه‌ی بهینه، در عمق ۴ سانتی‌متر رسم شده است. آن‌چه که در هر دو شکل مشخص است این است که چه در آزمایش شاهد و چه در آزمایش صفحه‌ی بهینه، میزان سرعت طولی هنگام رسیدن به تکیه‌گاه بسیار کاهش می‌یابد، مطابق معادله‌ی انرژی به دلیل این که جریان روباز بوده و با اتمسفر در تماس می‌باشد، این کاهش سرعت با افزایش عمق جبران می‌شود که در نهایت به دلیل گرادیان فشار در عمق، جریان روبه پایینی در دیواره‌ی تکیه‌گاه شکل می‌گیرد، این جریان به دلیل قرارگیری در مسیر جریان، باعث ایجاد گرداب اولیه (نعل اسبی) می‌شود، وجود صفحه به مقدار زیادی این گردابه را کنترل و از سطح بستر دور می‌کند، این نکته با مقایسه‌ی شکل (۹، الف) و (۹، ب) کاملاً مشخص است. در آزمایش صفحه‌ی بهینه نسبت به آزمایش شاهد، یک جریان تقریباً راکدی تا حدود ۷ برابر ۳۰ سانتی‌متر مشاهده می‌شود. احتمالاً در اعماق پایین‌تر، نشان دادن این نکته راحت‌تر بود که به دلیل محدودیت دستگاه سرعت‌سنج، امکان اندازه‌گیری در عمق پایین‌تر میسر نگردد. با افزایش عمق، تفاوت محسوسی بین الگوی جریان در آزمایش شاهد و صفحه‌ی بهینه مشاهده نگردد. البته لایه‌های بالای جریان نسبت به لایه‌های نزدیک بستر تاثیر بسیار کمی در ایجاد فرسایش پیرامون تکیه‌گاه دارند، در قسمت پایین‌دست تکیه‌گاه نیز جریان‌های برگشتی و

مورد ارزیابی قرار گرفت. مدت زمان این مرحله از آزمایشات ۲ ساعت و عدد فرود جریان برابر ۰/۲۲ بود. نتایج این مرحله از آزمایشات در شکل (۷) نشان داده شده است.

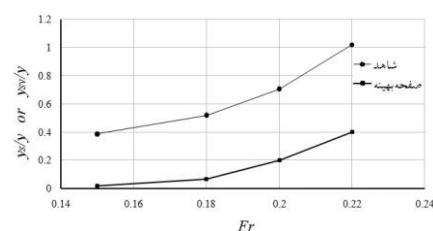


شکل (۷): ارزیابی عملکرد وضعیت بهینه‌ی نصب صفحه‌ی مستغرق برای تکیه‌گاه‌ها با ابعاد مختلف

در شکل (۷) محور افقی، طول بی‌بعد تکیه‌گاه و محور عمودی، عمق آبشستگی در آزمایش شاهد (y_s) و صفحه (y_{sv}) به عمق جریان (y) می‌باشد. مطابق شکل (۷) برای تکیه‌گاه‌های با ابعاد مختلف، وضعیت بهینه‌ی صفحه، عملکرد قابل قبول و تقریباً یکسانی را در کاهش آبشستگی موضعی از خود نشان داده است. مطابق رابطه‌ی (۱) عملکرد صفحه‌ی بهینه در حالت نصب به تکیه‌گاه با طول بی‌بعد (B_d/L_d) ۰/۱۶، ۰/۱۷۵، ۱، ۱/۲۴ و ۱/۵۶ به ترتیب برابر ۸۹، ۸۰، ۸۰، ۸۴ و ۸۰ درصد بود.

بخش چهارم - ارزیابی وضعیت بهینه‌ی نصب صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه در شرایط مختلف جریان (اعداد فرود مختلف)

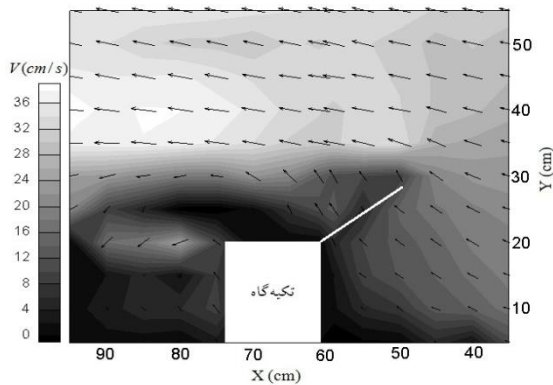
در این بخش از آزمایشات، وضعیت بهینه‌ی نصب صفحات مستغرق که در آزمایشات مرحله‌ی اول تعیین شده بود، در یک آزمایش طولانی به مدت ۱۳ ساعت در شرایط مختلف جریان یعنی اعداد فرود ۰/۱۵، ۰/۱۸، ۰/۲۰، ۰/۲۲ و ۰/۲۲ مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۸) نشان داده شده است.



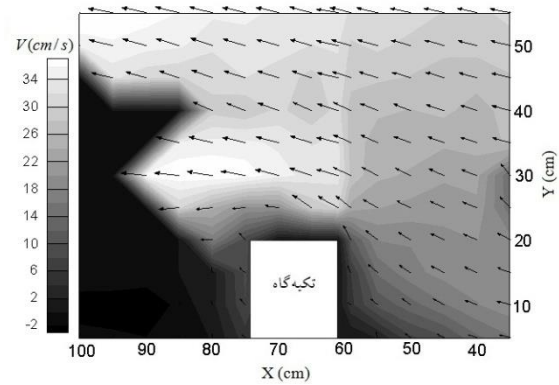
شکل (۸): ارزیابی عملکرد وضعیت بهینه‌ی نصب صفحات مستغرق در شرایط مختلف جریان

وضعیت بهینه‌ای که در تحقیق حاضر تعیین گردید، مقادیر سرعت و تنش برشی کف و نزدیک کف پیرامون تکیه‌گاه کاهش یافته که در نهایت کاهش آبشستگی را در بر خواهد داشت.

گردابه‌ی افقی مشاهده می‌شود. گردابه‌های افقی بر خلاف گردابه‌های عمودی پتانسیل رسوب‌گذاری دارند و شکل‌گیری تپه‌های رسوبی در بخش پایین‌دست تکیه‌گاه نیز ناشی از همین مطلب است؛ بنابراین با توجه به مطالب مذکور می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که با نصب صفحه در



(ب)

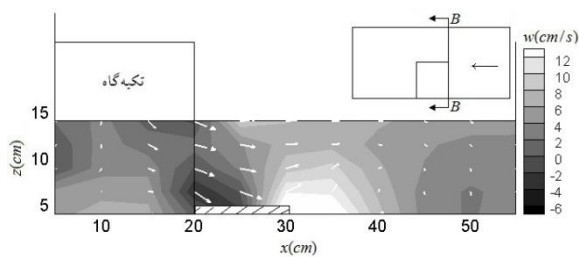


(الف)

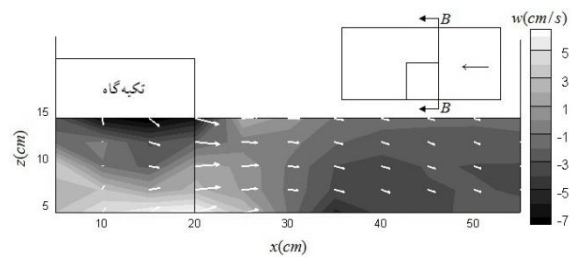
شکل (۹): میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه در عمق ۴ سانتی‌متری در آزمایش (الف شاهد ب) صفحه‌ی بهینه

تشکیل گردابه‌های نعل اسبی می‌باشد که در تصویر مربوط به صفحه این گردابه کنترل و یک جریان تقریباً راکدی در بالادست تکیه‌گاه مشاهده می‌شود.

برای بررسی مولفه‌ی عمودی سرعت، اشکال (۱۰) تا (۱۲) رسم شده است. همان‌طور که در شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود. نزدیک سطح جریان روبه پایین و در کف جریان روبه بالا شکل می‌گیرد که در حقیقت همان مقدمه‌ی



(ب)

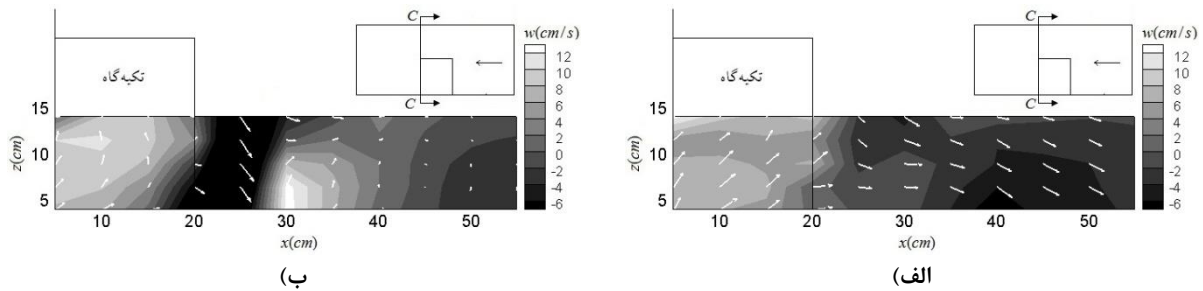


(الف)

شکل (۱۰): میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه در مقطع A-A در آزمایش (الف شاهد ب) صفحه‌ی بهینه

روبه پایین مشاهده می‌شود که جریان رو به پایین ناشی از وجود تپه‌ی رسوبی می‌باشد.

در شکل (۱۱) که مربوط به قسمت پایین‌دست تکیه‌گاه می‌باشد، وجود جریان روبه بالا و پس از آن جریان

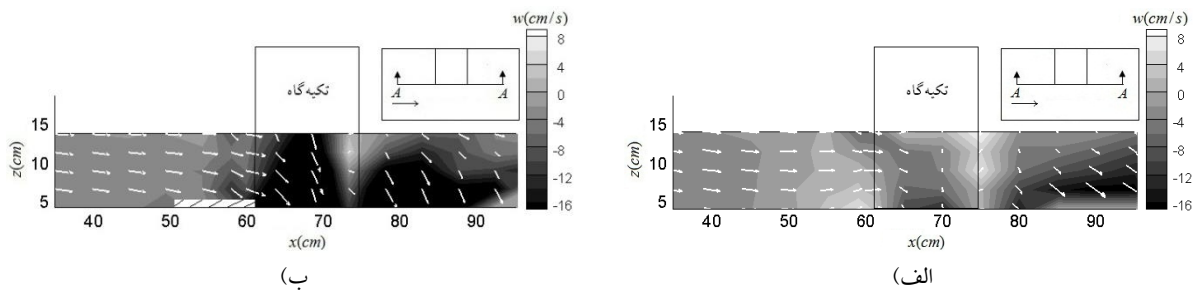


شکل (۱۱): میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه در مقطع B-B در آزمایش

الف) شاهد ب) صفحه‌ی بهینه

این وضعیت مقدار کمی در جهت کاهش راندمان صفحه عمل می‌کند اما به طور کلی صفحه‌ی متصل به تکیه‌گاه تاثیر بسزایی در تغییر الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه داشته و باعث کاهش بردارهای پرسرعت و تنش برشی کف می‌شود که با استفاده از این مکانیزم باعث کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه می‌شود.

در شکل (۱۲) میدان جریان در محور C-C نشان داده شده است. مطابق شکل تغییر بسیار زیادی در میزان سرعت پس از رسیدن به تکیه‌گاه به وجود می‌آید. وجود جریان روبه پایین پس از صفحه، به این دلیل است که جریان وضعیت راکدی دارد و به همین دلیل بردارهای پرسرعت نزدیک به سطح به سمت کف متمایل شده که البته



شکل (۱۲): میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه در مقطع C-C در آزمایش

الف) شاهد ب) صفحه‌ی بهینه

بهترین وضعیت نصب صفحه می‌باشد. همچنین رسم مولفه‌های سه‌بعدی سرعت پیرامون تکیه‌گاه در حالت نصب صفحه در وضعیت بهینه نشان داد که صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه به خوبی قادر به دور کردن ناحیه‌ی پرسرعت از اطراف تکیه‌گاه می‌باشد که نتیجه آن کاهش آبشستگی موضعی سازه و ایمن بودن تکیه‌گاه می‌باشد.

نتیجه‌گیری
در تحقیق حاضر فرض موثر بودن صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه به عنوان یک سازه کنترل یا کاهش دهنده‌ی آبشستگی مورد بررسی و تایید قرار گرفت. نتایج نشان داد که صفحه با زاویه‌ی نصب ۴۰ درجه و ارتفاع برابر یک سوم عمق آب و طولی معادل ۳ برابر ارتفاع صفحه،

منابع

- دهقانی، ا.ا. ۱۳۸۵. بررسی آزمایشگاهی کنترل رسوب به آبیگر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه. رساله‌ی دکتری. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس.
- حسن‌پور. ف. ۱۳۸۵. بررسی عملکرد آبیگرهای جانبی در حضور صفحات مستغرق مرکب و آستانه. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس.

- ۳- خادمی، خ. ۱۳۹۱. بررسی اثر فواصل طولی و عرضی صفحات مستغرق بر آبشستگی موضعی ایجاد شده در محل تکیه‌گاه پل. رساله‌ی دکتری. دانشکده‌ی مهندسی علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۴- خادمی، خ.، ح. خزیمه‌نژاد و م. شفاعی‌بجستان. ۱۳۸۹. برداشت بی‌رویه‌ی مصالح رودخانه‌ای در استان خوزستان یکی از عوامل اصلی آبشستگی پای پل‌های بزرگ. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۵- صفرزاده، ا. ۱۳۸۵. شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس.
- 6- Barkdoll, D., R. Ettema, and A.J. Odgaard. 1999. Sediment control at lateral diversions: limits and enhancement to vane use. *J. Hydraulic Engin.*, 125:8.132-136.
- 7- Dongol, D.M.S. 1994. Local scour at bridge abutments. Report No. 544, University of Auckland, School of T. Engineering, Department of Civil Engineering Private Bag, Auckland, New Zealand.
- 8- Gill, M.A. 1970. Bed erosion around obstructions in rivers. PhD thesis, The University of London (Imperial College of Science and Technology).
- 9- Gupta, P. and N. Sharma. 2007. Performance evaluation of tapered vane. *J. Hydraulic Research*, 45:4. 472-477.
- 10- Kandasamy J.K. 1989. Abutment scour. Rep. No. 458, School of Engrg., University of Auckland, Auckland, New Zealand.
- 11- Kothyari, U.C. and K.G. Ranga Raju. 2001. Scour Around Spur Dikes and Bridge Abutment *J. of Hydr. Research.*, 39(4): 367-374.
- 12- Liu, M.K., F.M. Chang and M.M. Skinner. 1961. Effect of bridge construction on scour and backwater. Report No. CER60-HKL22, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- 13- Marelius, F. and K. Sinha. 2000. Analysis of flow past submerged vanes. *Hydraulic*, 38:1. 65-71.
- 14- Marelius, F. and K. Sinha. 1998. Experimental investigation of flow past submerged vanes. *J. Hydraulic Engin.*, 124:5. 542-546.
- 15- Melville, B.W. 1992. Local Scour at Bridge Abutments. *J. Hyd Eng.*, ASCE, 118(4): 615-631.
- 16- Montaseri, H. 2008. Experimental investigation of the effect of different arrays of submerged vanes on sediment control at lateral intake in 180° bend. Ph.D. Thesis of Tarbiat Modares University.
- 17- Neary, V.S., F. Sotiropoulos and A.J. Odgaard. 1999. Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *Hydraulic Engin.*, 125:2. 126-140.
- 18- Neill, R. and J. Evans. 1997. Sediment control at water intakes. *J. Hydraulic Engin.*, 670-671.
- 19- Odgaard, A.J., and Kennedy, J.F. 1983. River-bend bank protection by submerged vanes. *J. Hydraulic Engin.*, 109:8. 1161-1173.
- 20- Soon-Keat, T., Y. Guoliang, L. Siow-Yong, and O. Muk-Chen. 2005. Flow structure and sediment motion around submerged vanes in open channel. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 131:3. 132-136.
- 21- Voisin, A., and R.D. Townsend. 2002. Model testing of submerged vanes in strongly curved narrow channel bends". *J. Civil Engin.*, 29:37-49.
- 22- Wang, y., A.J. Odgaard, W. Melville and C. Subhash. 1996. Sediment control at water intakes. *J. Hydraulic Engin.*, 122:6. 353-356.
- 23- Wong, W H. 1982. Scour at Bridge Abutments. Report No. 275, Dept. of Civil Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.

Laboratory investigation of flow pattern and scour around bridge abutment in case of using attached submerged vane

Khademi Kheyrolah¹, Shafai-bejestan Mahmood², Khozaymehzad Hossein³

Abstract:

Already various studies have been done on the mechanism of scour around hydraulic structure especially bridges. In the field of scour around bridges, researches are more focus on scour of piers in compare with abutment. Also, in the two past decades, submerged vanes have been used to stabilization of bed, protection of Beach Rivers and reduction of scour beach in the bend of rivers and also for prevention of the sediment entry to intake structure and for improvement of the river section near the bridge piers. But so far no study has been done on reduction of scour around bridge abutment by submerged vanes. Therefore in this study, the performance of submerged vane attached to the rectangular abutment was investigated. The results showed that the setup angle had a significant impact on the performance of submerged vanes. Following this research, three-dimensional components of velocity were determined with electromagnetic velocimeter around abutment with attached submerged vane and used for drawing flow pattern and according to it, reasons of effective role of vane was investigated on reductions of bridge abutment scour. Investigation of flow pattern around bridge abutment in case of using submerged vane showed, this structure had the effective role on reduction of scour by creating a low velocity zone around bridge abutment and control of primary vortexes.

Keywords: Scour, Flow pattern, Bridge abutment, Submerged vane, Rectangular section.

¹ Phd graduate of shahid chamran university, Khademi.1965@yahoo.com

² Professor, Faculty of water Science Engineering, Shahid Chamran University, M_shafai@yahoo.com

³ Assistant Professor, Department of water Engineering, University of Birjand, Hkhozeymeh@birjand.ac.ir