



دانشگاه گوارن و منابع طبیعی گوارن

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره ششم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی آزمایشگاهی تأثیر نصب تیغه متصل به تکیه‌گاه پل بر آبشستگی موضعی و الگوی جریان

خیراله خادمی^۱، محمود شفاعی بجنستان^۲ و * حسین خزیمه‌نژاد^۳

^۱دانش‌آموخته دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز،

^۲استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: تاکنون مطالعات زیادی در خصوص شناخت مکانیزم آبشستگی اطراف سازه‌های هیدرولیکی به‌خصوص پل‌ها انجام شده و روش‌هایی هم‌جهت کنترل و یا کاهش آبشستگی در اطراف آن‌ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند. در زمینه آبشستگی اطراف پل‌ها تمرکز تحقیقات بیش‌تر بر روی پایه بوده است تا تکیه‌گاه، در حالی‌که بررسی آمار موجود بر روی شکست پل‌ها نشان می‌دهد که بیش‌تر مشکلات مربوط به تکیه‌گاه بوده و بالطبع هزینه‌های بیش‌تری نیز در این بخش صرف شده است.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر، عملکرد تیغه متصل به تکیه‌گاه پل و تأثیر پارامترهای مربوط به آن از جمله ارتفاع تیغه و زاویه نصب آن در کاهش آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که زاویه نصب و ارتفاع تیغه، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر میزان کاهش آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل دارد به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع تیغه، عملکرد آن در کاهش آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل بهبود می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد زاویه نصب ۴۰ درجه تیغه مناسب‌ترین زاویه نصب می‌باشد. در ادامه پژوهش مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت جریان پیرامون تکیه‌گاه در حالت نصب تیغه با استفاده از سرعت‌سنج الکترومغناطیس تعیین و برای رسم الگوی جریان مورد استفاده قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: بررسی الگوی جریان در حالت نصب تیغه متصل به تکیه‌گاه نشان داد، این سازه با ایجاد منطقه کم‌سرعت پیرامون تکیه‌گاه و مهار گرداب‌های اولیه، نقش مؤثری در کاهش آبشستگی موضعی دارد.

واژه‌های کلیدی: تیغه، تکیه‌گاه پل، آبشستگی موضعی، الگوی جریان

* مسئول مکاتبه: hkhozeymeh@birjand.ac.ir

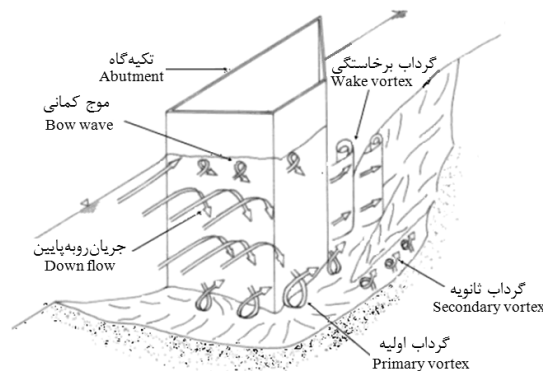
مقدمه

هر ساله با وقوع سیلاب در رودخانه‌ها، تعداد زیادی از پل‌ها درست زمانی که بیش‌ترین نیاز به آن‌ها وجود دارد، تخریب می‌گردند. یکی از مؤثرترین 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 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 بود (15). همچنین بر طبق مطالعات ملویل (1992)، از ۱۰۸ شکست پل که در فاصله 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 هزینه‌های ناشی از شکست پل در نیوزیلند، ناشی از آبشستگی تکیه‌گاه پل می‌باشد (15). در داخل کشور هم مطابق گزارش سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای در سال ۱۳۹۱ حدود ۳۷ درصد خرابی پل‌های کشور ناشی از آبشستگی پایه‌های میانی و کناری آن می‌باشد (10). الگوی جریان و فرآیند آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل یک پدیده پیچیده است که از اثر متقابل جریان آشفته سه‌بعدی در میدان اطراف تکیه‌گاه ناشی می‌شود و فرسایش رسوبات بستر را به دنبال دارد. پژوهش‌ها در زمینه فرآیند آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها توسط وانگ (1982)، کانداسمی (1989)، دانگل (1994) و بسیاری دیگر نشان داده است که فرآیند آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها بسیار شبیه به فرآیند آبشستگی در پایه پل‌ها است، با این تفاوت که لایه مرزی ناشی از دیواره کانال، وضعیت پیچیده‌تری را در جریان اطراف سازه نسبت به پایه‌های پل ایجاد

می‌کند (22, 8, 4). علاوه بر این، آزمایش‌های پژوهشگران مختلف، نشان داد که عمق آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها کم‌تر از معادل آن در پایه‌های پل است که به دلیل اثرات لایه مرزی غالب شده ناشی از دیواره کانال است (11). جریان پایین‌رونده و گرداب اصلی^۱ در گوشه بالادست تکیه‌گاه پل، همراه با گرداب ثانویه^۲ و گرداب برخاستگی^۳ در قسمت میانی و گوشه انتهایی تکیه‌گاه پل، باعث ایجاد اندرکنش پیچیده‌ای بین سیال و مواد بستر می‌شود که دلیل اصلی آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها است؛ بررسی و مشاهده الگوی جریان اطراف تکیه‌گاه با استفاده از تکنیک‌های متعددی توسط بسیاری از پژوهشگران از جمله لیو (1961) و جیل (1970) انجام شده است (5, 12). در شکل ۱ فرآیند جریان و الگوی آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل نشان داده شده است.

روش‌های کنترل و یا کاهش آبشستگی موضعی پیرامون پایه و تکیه‌گاه پل‌ها را می‌توان در دو گروه کلی تقسیم‌بندی نمود. گروه اول، محافظت مستقیم بستر در مقابل فرسایش می‌باشد که استفاده از سنگ‌چین، ژئوبگ و تشک حفاظتی از جمله این روش‌ها می‌باشد. گروه دوم، حفاظت غیرمستقیم بستر در مقابل فرسایش می‌باشد که در این روش‌ها، الگوی جریان پیرامون پایه یا تکیه‌گاه تغییر کرده و به تبع آن وضعیت آبشستگی نیز تغییر می‌کند. از جمله این روش‌ها، می‌توان به نصب دیوار موازی، طوقه، اپی، شمع‌های قربانی و صفحات مستغرق اشاره نمود.

- 1- Primary Vortex
- 2- Secondary Vortex
- 3- Wake Vortex



شکل ۱- الگوی جریان و آبستگي موضعی پیرامون تکیه گاه پل (2).

Figure 1. Flow pattern and local scour around bridge abutment (2).

به منظور جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم، برکدال و همکاران (1999) در طراحی آرایش مناسب صفحات برای جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم با بستر آبرفتی، مریلیوس و سینها (1998) و مریلیوس و سینها (2000) در تعیین زاویه بهینه برخورد جریان با تیغه و بررسی الگوی جریان حول یک تیغه در مسیر مستقیم با بستر متحرک به صورت عددی و آزمایشگاهی، وایزن و تانزند (2002) در تعیین ابعاد و آرایش بهینه صفحات در قوس ۹۰ درجه به منظور جلوگیری از فرسایش کناره خارجی قوس، سون کیت و همکاران (2005) در بررسی الگوی جریان حول یک تیغه طویل در رودخانه‌های عریض با بستر متحرک و گوپتا و شارما (2007) در طراحی شکل هندسی مناسب تیغه برای عملکرد بهتر در جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در خم رودخانه‌های آبرفتی انجام شده است (1, 6, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21). حسن پور (2006) به مطالعه کاربرد صفحات مستغرق مرکب در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در مسیر مستقیم پرداخت (7). دهقانی (2006) اثر صفحات مستغرق بر نسبت رسوب انحرافی به آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه و الگوی تغییرات بستر را

کریمی و همکاران (2011) در یک پژوهش آزمایشگاهی، تأثیر طول دیوار موازی در کاهش آبستگي تکیه گاه پل، را مورد بررسی قرار دادند. برای مدل کردن دیوارهای نفوذناپذیر (جامد) از یک سری ورقه‌های فلزی مستقیم مستطیلی که در گوشه بالادست تکیه گاه مستطیلی و به صورت موازی با جریان تعبیه شده بودند، استفاده گردید. نتایج نشان داد که دیوارهای نصب شده در دور کردن چاله آبستگي از گوشه بالادست تکیه گاه مستطیلی مؤثر بوده و با افزایش طول دیوار میزان آبستگي پیرامون تکیه گاه کاهش می‌یافت (9). در خصوص استفاده از صفحات مستغرق در حفاظت از ساحل خارجی رودخانه‌ها، کاهش ورود رسوب به دهانه آبگیر، جلوگیری از آبستگي پایه پل‌ها و افزایش عمر مفید سدها، پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است. در چند دهه اخیر، پژوهش‌های بسیاری توسط پژوهشگران مختلف، از جمله ادگارد و کندی (1983) در طراحی صفحات مستغرق به منظور کاهش فرسایش کناره در انحنا رودخانه، وانگ و همکاران (1996) 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 (1997) در کاربرد ترکیب صفحات با سازه‌های دیگر

تکیه‌گاه، ρ جرم واحد حجم آب، $\rho_s - \rho$ جرم واحد حجم مستغرق ذره، μ ضریب لزجت دینامیکی آب. با انجام آنالیز ابعادی و استفاده از روش بایکینگهام، رابطه کلی به صورت زیر است:

$$Pr = (B/L_a, B_a/L_a, \phi_1, \alpha, H/y, L/L_a, \phi_2, d_s/y, Fr, \beta, Re, G_s) \quad (1)$$

از میان پارامترهای موجود در رابطه ۱، ϕ_1 ، ϕ_2 ، d_s/y و β و G_s ثابت در نظر گرفته شدند و مابقی پارامترها به عنوان متغیر، با در نظر گرفتن مقادیر مختلف، تأثیرشان بر میزان آبشستگی موضعی اطراف تکیه‌گاه پل مورد بررسی قرار گرفت. البته در تمامی آزمایش‌ها، عدد رینولدز برای اطمینان از برقراری جریان متلاطم ($Re > 2000$) مورد بررسی قرار گرفت. پارامتر Pr (عملکرد تیغه)، میزان کاهش آبشستگی به درصد می‌باشد، که مقدار آن با توجه به رابطه ۲ قابل محاسبه است:

$$Pr = (y_s - y_{sv})/y_s \times 100 \quad (2)$$

نحوه انجام آزمایش‌ها: آزمایش‌های این پژوهش در فلومی به طول ۸ متر، عرض ۱ متر، ارتفاع ۰/۶ متر و شیب ثابت ۰/۰۰۰۳ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران انجام شد. دیواره‌های کانال از جنس پلکسی‌گلاس و به ضخامت یک سانتی‌متر ساخته شده‌اند. در فاصله ۴ متری از ابتدای فلوم یک جعبه فلزی قرار گرفته که طول، عرض و ارتفاع آن به ترتیب حدود ۲، ۰/۷ و ۰/۳ متر می‌باشد. این جعبه 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 پرشدن در تراز بستر کانال قرار می‌گیرد. آب از طریق پمپ از مخزن زیرزمینی آزمایشگاه پمپاژ شده و به قسمت ابتدایی فلوم که بخش آرام‌کننده می‌باشد هدایت می‌شود. در انتهای فلوم دریچه کنترل برای تنظیم عمق در تراز

مورد بررسی قرار داد (3). منتصری (2008) به بررسی تأثیر آرایش مختلف صفحات مستغرق در جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیر جانبی در کانالی با قوسی ۱۸۰ درجه پرداخت (16). در بررسی منابع، کاربردهای مختلفی از صفحات مستغرق به چشم می‌خورد، اما بررسی منابع نشان می‌دهد تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی در خصوص استفاده از تیغه در کنترل یا کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل‌ها و بررسی الگوی جریان پیرامون آن انجام نشده است و با توجه به این‌که تخریب پل‌ها که بخش عمده آن‌ها مربوط به تکیه‌گاه است خسارت‌های فراوانی را در پی دارد، بنابراین در این پژوهش عملکرد تیغه متصل به تکیه‌گاه در کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل‌ها مورد بررسی قرار گرفت و پس از تعیین وضعیت بهینه نصب تیغه، الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه با حضور تیغه، ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت.

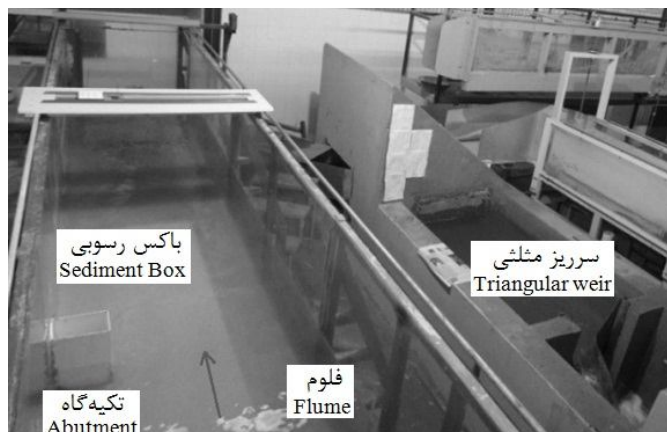
مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی: به‌طورکلی پارامترهای مؤثر در رابطه با بحث کنترل یا کاهش آبشستگی موضعی اطراف یک تکیه‌گاه در حالت نصب تیغه متصل به تکیه‌گاه عبارتند از:

B عرض کانال، L_a طول تکیه‌گاه، B_a عرض تکیه‌گاه، ϕ_1 شکل تکیه‌گاه، α زاویه نصب تیغه با محور جریان، H ارتفاع تیغه نسبت به بستر ثابت، L طول تیغه، ϕ_2 شکل تیغه، d_s قطر متوسط ذرات رسوب y_s و y_{sv} عمق آبشستگی به ترتیب در حضور تیغه و بدون آن، با توجه به این‌که حداکثر عمق آبشستگی بدون حضور تیغه در گوشه بالادست تکیه‌گاه اتفاق افتاد، بنابراین همین نقطه برای برداشت عمق آبشستگی در هر دو حالت با تیغه و بدون آن‌ها به عنوان نقطه مبنا در تمامی آزمایش‌ها مدنظر قرار گرفت. V سرعت متوسط جریان، g شتاب ثقل زمین، γ عمق جریان، β زاویه برخورد جریان با

مجدداً وارد مخزن زیرزمینی آزمایشگاه می‌شود و به این ترتیب یک سیستم بازچرخانی آب در کل زمان آزمایش در فلوم برقرار می‌باشد. در شکل ۲ فلوم آزمایشگاهی مذکور نشان داده شده است.

مورد نظر قرار دارد. سپس آب وارد حوضچه آرامش می‌شود. در انتهای حوضچه آرامش، سرریز مثلثی ۵۳ درجه استاندارد قرار دارد که دبی جریان توسط آن اندازه‌گیری می‌شود. آب پس از عبور از سرریز،

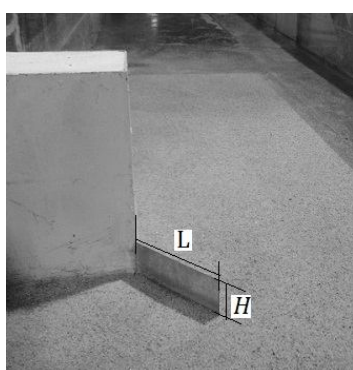


شکل ۲- فلوم آزمایشگاهی در پژوهش حاضر.

Figure 2. Laboratory flume in this research.

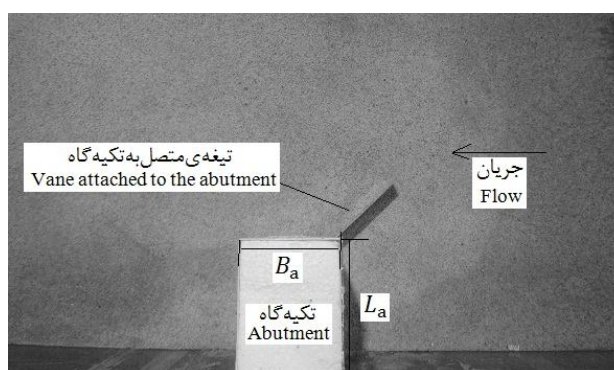
ارتفاع تیغه (۲/۵، ۵ و ۷/۵ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد و با توجه به این که عمق آب برابر ۱۵ سانتی‌متر بود بنابراین میزان استغراق روی تیغه به ترتیب برابر سه مقدار ۸۳، ۵۰ و ۳۳ درصد بود. طول تیغه نیز برابر ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در شکل ۳ نمایی از نحوه نصب تیغه، پیرامون تکیه‌گاه نشان داده شده است.

در این پژوهش از تکیه‌گاه مستطیلی با جنس ورق گالوانیزه و پارامتر طول بی‌بعد (نسبت عرض تکیه‌گاه (B_a) به طول تکیه‌گاه (L_a)) ۰/۰۶، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۴ و ۱/۵۶ استفاده گردید (بعد عمود بر جریان تکیه‌گاه به‌عنوان طول تکیه‌گاه نام‌گذاری گردید). تیغه استفاده شده، از ورقی از جنس آهن گالوانیزه و به ضخامت ۱ میلی‌متر انتخاب شد. در این پژوهش سه مقدار برای



(ب)

B)



(الف)

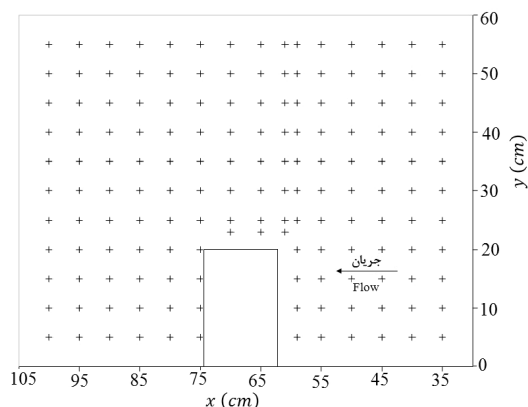
A)

شکل ۳- نحوه نصب تیغه پیرامون تکیه‌گاه الف) از نمای بالا و ب) از نمای مقابل.

Figure 3. Installation method of vane to the bridge abutment A) up view and B) front view.

زمان و شرایط آزمایش‌های قبلی در شرایط نصب و عدم نصب تیغه، 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 مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج الکترومغناطیس برداشت و برای بررسی و مقایسه الگوی جریان در شرایط نصب و عدم نصب تیغه متصل به تکیه‌گاه مورد استفاده قرار گرفت. مؤلفه‌های 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 مدت زمان یک دقیقه در سه‌بعد توسط دستگاه با فرکانس ۷/۵ هرتز 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. سپس میانگین سرعت‌های مستمر در هر نقطه محاسبه شد. به این ترتیب در هر یک از نقاط مورد نظر، سه مؤلفه سرعت در سه‌بعد مختلف محاسبه و در بررسی الگوی جریان مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۴ موقعیت نقاط اندازه‌گیری مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت در یکی از اعماق پنج‌گانه نشان داده شده است.

آزمایش‌ها در چهار دبی ۴۰، ۳۶، ۳۲ و ۲۸ لیتر بر ثانیه و اعداد فرود ۰/۲۲، ۰/۲۰، ۰/۱۸ و ۰/۱۵ و عمق (y) ثابت ۱۵ سانتی‌متر 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 سرریز مثلثی به وسیله دریچه کنترل، آب در عمق مورد نظر یعنی ۱۵ سانتی‌متر 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 وسیله متر لیزری برداشت می‌گردد. برای بررسی عملکرد تیغه متصل به تکیه‌گاه در کاهش آبشستگی موضعی، ابتدا زاویه نصب و ارتفاع تیغه 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 آزمایش‌های مربوط به تعیین الگوی جریان نیز مجدداً روی تکیه‌گاه با نسبت عرض به طول ۰/۶ که بالاترین میزان آبشستگی در حالت بدون تیغه روی داده بود، دو آزمایش در همان



شکل ۴- موقعیت نقاط اندازه‌گیری مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت.

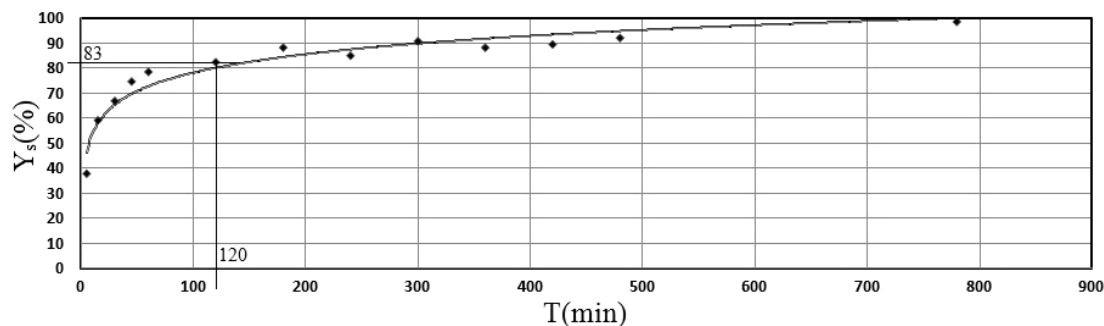
Figure 4. Position of measurement points of velocity three-dimensional components.

نتایج و بحث

نتایج در ۵ بخش ارائه شده‌اند. بخش اول مربوط به آزمایش‌های شاهد است که بدون حضور تیغه انجام گردید. بخش دوم نتایج آزمایش‌های مربوط به تأثیر ارتفاع و زاویه نصب تیغه متصل به تکیه‌گاه بر کاهش آبستگی، بخش سوم تأثیر ابعاد تکیه‌گاه بر عملکرد تیغه بهینه (بهترین زاویه نصب از نظر کاهش آبستگی پیرامون تکیه‌گاه)، بخش چهارم تأثیر شرایط جریان (عدد فرود) بر عملکرد تیغه بهینه و در بخش پنجم نیز الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه در وضعیت نصب تیغه بهینه تعیین خواهد شد، به غیر از آزمایش‌های بخش اول و سوم، سایر آزمایش‌ها بر روی تکیه‌گاه با طول بی‌بعد ۰/۶ انجام شد.

نتایج آزمایش‌های بدون حضور تیغه (آزمایش‌های شاهد): در این مرحله ابتدا چهار آزمایش، به مدت

زمان ۱۳ ساعت در اعداد فرود مختلف انجام گردید. تکیه‌گاه در این آزمایش دارای طول ۲۰ و عرض ۱۲ سانتی‌متر (طول بی‌بعد ۰/۶) بود. در طول مدت آزمایش در زمان‌های مختلف عمق آبستگی با استفاده از یک ارتفاع‌سنج سوزنی در نقطه مبنا برداشت گردید. لازم به ذکر است برای سهولت در برداشت عمق آبستگی تغییراتی در ارتفاع‌سنج داده شد. در آزمایش‌های شاهد، حداکثر عمق آبستگی در گوشه بالادست تکیه‌گاه اتفاق افتاد، بنابراین عمق آبستگی در همین نقطه برای تعیین عملکرد تیغه مد نظر قرار گرفت. در پژوهش حاضر از این نقطه به‌عنوان نقطه مبنا یاد شده است. در شکل ۵ نمونه‌ای از نتایج این آزمایش‌ها نشان داده شده است.



شکل ۵- تغییر عمق آبستگی در مقابل زمان در نقطه مبنا بدون حضور تیغه در عدد فرود ۰/۲۲.

Figure 5. Variation of scour depth versus time without vane in $Fr=0.22$.

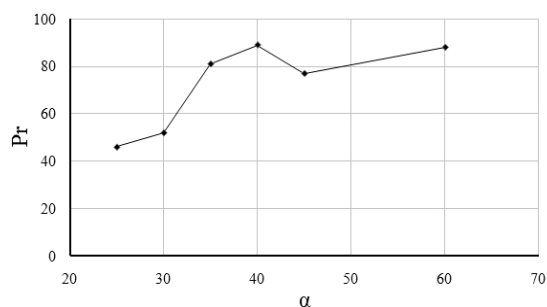
هدف در پژوهش حاضر، بررسی و تعیین بهترین وضعیت نصب تیغه متصل به تکیه‌گاه و تعیین الگوی جریان و آبستگی پیرامون تکیه‌گاه در شرایط نصب تیغه بهینه می‌باشد، بنابراین مدت زمان ۲ ساعت به‌عنوان زمان آزمایش برای آزمایش‌ها انتخاب گردید. بنابراین یک آزمایش شاهد دیگر برای مقایسه و تعیین عملکرد تیغه در عدد فرود ۰/۲۲ و در زمان ۲ ساعت انجام گردید. همچنین ۴ آزمایش شاهد دیگر نیز بر

در شکل ۵ محور عمودی مربوط به درصد عمق تعادل آبستگی می‌باشد. در پژوهش حاضر فرض بر این بود که ۹۹ درصد عمق تعادل آبستگی (عمق نهایی آبستگی) در مدت زمان ۱۳ ساعت اتفاق می‌افتد. در این صورت مطابق شکل ۵ بیش از ۸۰ درصد عمق تعادل آبستگی در مدت زمان ۲ ساعت اتفاق می‌افتد (در سایر اعداد فرود نیز وضعیت به همین صورت بود). با توجه به این‌که

بخش از آزمایش‌ها، ۰/۲۲ و همان‌گونه که پیش‌تر عنوان شد، طول بی‌بعد تکیه‌گاه ۰/۶ و زمان آزمایش‌ها ۲ ساعت بود. در شکل ۶ نتیجه این بخش از آزمایش‌ها نشان داده شده است.

روی تکیه‌گاه با سایر ابعاد در عدد فرود ۰/۲۲ و در زمان ۲ ساعت انجام شد.

نتایج آزمایش‌ها در حالت نصب تیغه: در این مرحله، ابتدا ۶ زاویه نصب تیغه در محدوده ۲۵ تا ۶۰ درجه مورد بررسی قرار گرفتند. عدد فرود در این

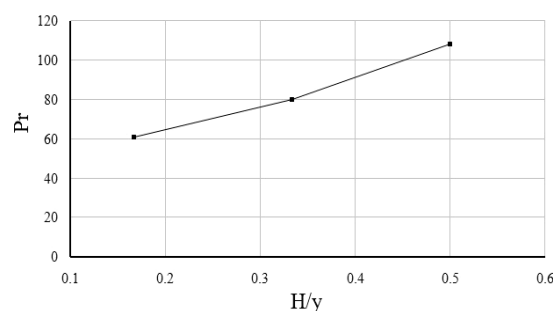


شکل ۶- تأثیر زاویه نصب تیغه متصل به تکیه‌گاه بر عملکرد آن.

Figure 6. The effect of vane angle in the optimal situation on its performance.

مرحله، دو زاویه نصب ۴۰ و ۶۰ درجه عملکرد بهتری نسبت به سایر زوایا نشان دادند و با توجه به این که در زاویه نصب ۴۰ درجه تنگ‌شدگی کم‌تری برای عبور جریان ایجاد می‌شود، تیغه با زاویه نصب ۴۰ درجه مناسب‌ترین حالت نسبت به سایر وضعیت‌ها می‌باشد. همچنین تیغه در زاویه نصب ۴۰ درجه در سه ارتفاع نسبی (H/y) ۰/۱۶۷، ۰/۳۳ و ۰/۵ نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است.

نتایج این مرحله نشان می‌دهد که زاویه نصب تیغه، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در عملکرد تیغه ایفا می‌کند، مطابق شکل ۶ تغییر زاویه از ۲۵ تا ۴۰ درجه میزان عملکرد تیغه را افزایش داد و پس از آن با افزایش زاویه نصب، تقریباً حالت نوسانی در عملکرد تیغه به وجود می‌آید. زوایای بیش‌تر به دلیل این که طول عمود بر جریان تکیه‌گاه و تیغه بیش از ۳۰ درصد عرض فلوم بوده و این وضعیت، سازه را تحت تأثیر آبستگي ناشی از تنگ‌شدگی مقطع قرار می‌داد، مورد بررسی قرار نگرفتند. مطابق نتایج این



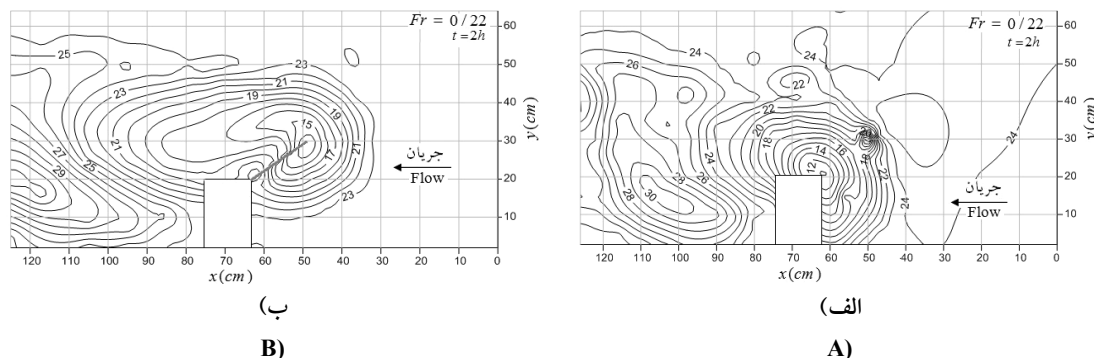
شکل ۷- تأثیر ارتفاع تیغه در وضعیت بهینه بر عملکرد آن.

Figure 7. The effect of vane height in the optimal situation on its performance.

نصب ۴۰ درجه و ارتفاع نسبی ۰/۳۳ جهت انجام آزمایش‌های بعدی به‌عنوان وضعیت بهینه نصب تیغه معرفی گردید.

در شکل ۸ الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در آزمایش‌های شاهد و تیغه بهینه نشان داده شده است.

مطابق شکل ۷ با افزایش ارتفاع تیغه، عملکرد آن بهبود می‌یابد، اما نکته قابل تأمل این است که با افزایش ارتفاع تیغه، عمق حداکثر آبشستگی در پای تیغه افزایش می‌یابد که این نکته امنیت خود تیغه را در معرض خطر قرار می‌دهد بنابراین تیغه با زاویه

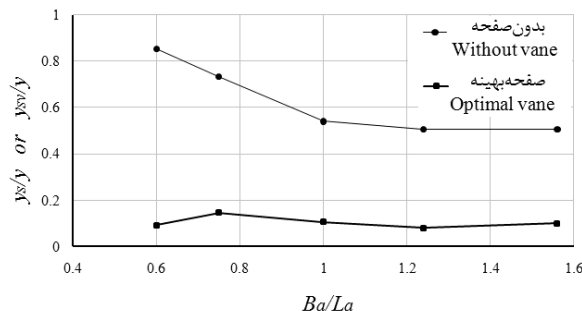


شکل ۸- الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری الف) بدون تیغه و ب) تیغه بهینه.

Figure 8. Scour and sedimentation pattern A) without vane B) optimal vane.

چه در حالت نصب تیغه و چه غیر از آن تأثیر محسوسی در الگوی نهشته شدن رسوبات پیرامون تکیه‌گاه به‌ویژه در پایین‌دست آن اتفاق نیفتاده است. در ادامه، با انجام ۴ آزمایش وضعیت بهینه نصب تیغه در اطراف تکیه‌گاه با ابعاد مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. مدت زمان این مرحله از آزمایش‌ها ۲ ساعت و عدد فرود جریان برابر ۰/۲۲ بود. نتایج این مرحله از آزمایش‌ها در شکل ۹ نشان داده شده است.

مطابق شکل ۸ وجود تیغه باعث شده است تا نقطه دارای عمق حداکثر آبشستگی از نقطه مبنا (گوشه بالادست تکیه‌گاه) به پای تیغه منتقل گردیده و بنابراین تکیه‌گاه در برابر آبشستگی محافظت گردد. انتقال عمق حداکثر آبشستگی به پای تیغه، در پروژه‌های عملی، امنیت آن را در معرض خطر قرار می‌دهد اما یکی از نکات ویژه این سازه، ارزان بودن و نصب ساده آن می‌باشد. بررسی شکل ۸ نشان می‌دهد،

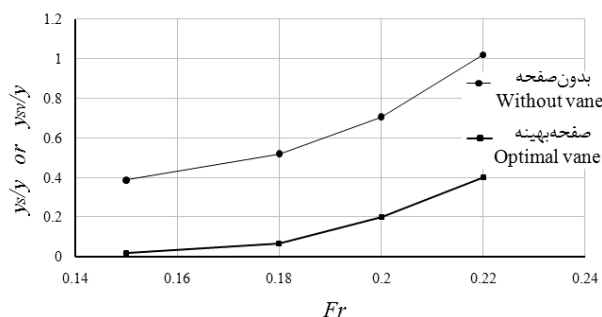


شکل ۹- ارزیابی عملکرد وضعیت بهینه نصب تیغه برای تکیه‌گاه‌ها با ابعاد مختلف.

Figure 9. Performance evaluation of optimal vane for abutments with different dimensions.

با طول بی‌بعد (B_d/L_a) ۰/۰۶، ۰/۰۷۵، ۱، ۱/۲۴ و ۱/۵۶ به ترتیب برابر ۸۹، ۸۰، ۸۰، ۸۴ و ۸۰ درصد بود. در ادامه وضعیت بهینه نصب تیغه در یک آزمایش طولانی به مدت ۱۳ ساعت در شرایط مختلف جریان یعنی اعداد فرود ۰/۱۵، ۰/۱۸، ۰/۲۰ و ۰/۲۲ مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

در شکل ۹ محور افقی، طول بی‌بعد تکیه‌گاه و محور عمودی، عمق آبستگي در آزمایش شاهد (y_s) و تیغه (y_{sv}) به عمق جریان (y) می‌باشد. مطابق شکل ۹ برای تکیه‌گاه‌های با ابعاد مختلف، وضعیت بهینه تیغه، عملکرد قابل قبول و تقریباً یکسانی را در کاهش آبستگي موضعی از خود نشان داده است. مطابق رابطه ۲ عملکرد تیغه بهینه در حالت نصب به تکیه‌گاه



شکل ۱۰- ارزیابی عملکرد وضعیت بهینه نصب تیغه در شرایط مختلف جریان.

Figure 10. Performance evaluation of optimal vane in various flow conditions.

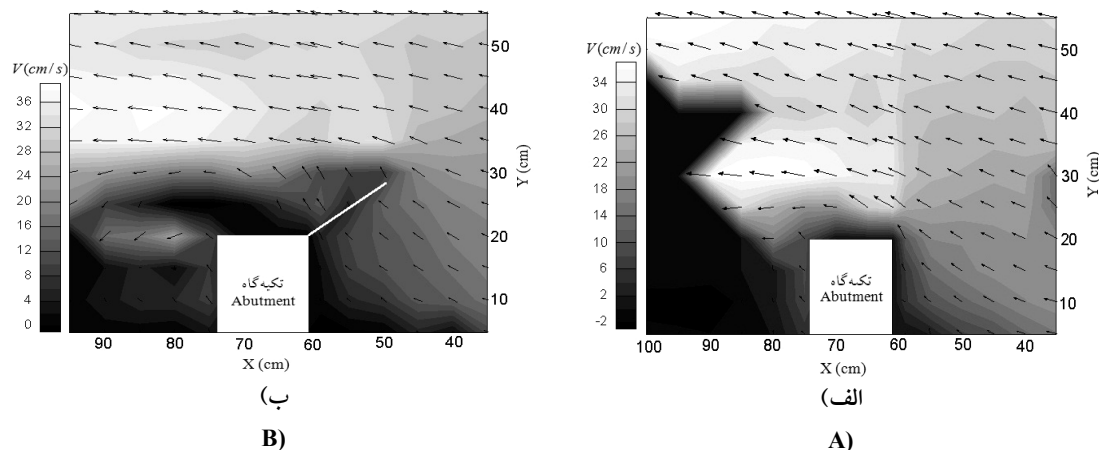
به مراقبت سازه در برابر آبستگي تکیه‌گاه در زمان سیل می‌کند.

تعیین الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه در شرایط نصب تیغه بهینه: همان‌گونه که پیش‌تر عنوان شد، مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت در ۵ عمق مختلف جریان برداشت شدند که عبارت بودند: از ۴، ۶/۵، ۹، ۱۱/۵ و ۱۴ سانتی‌متر، در شکل ۱۱ میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه در آزمایش شاهد و تیغه 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 تیغه بهینه، میزان سرعت طولی هنگام رسیدن به تکیه‌گاه بسیار کاهش می‌یابد، مطابق معادله انرژی به دلیل این‌که 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

با توجه به شکل ۱۰ مشخص است، هر چه عدد فرود جریان کمتر باشد، تیغه در وضعیت بهینه، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. با توجه به این‌که شتاب ثقل و عمق جریان (در این پژوهش برابر ۱۵ سانتی‌متر) ثابت است بنابراین عدد فرود کاملاً متأثر از سرعت جریان است و بنابراین عدد فرود کمتر یعنی سرعت کمتر، بنابراین علاوه بر نتایج، این پیش‌بینی هم می‌شد که با کاهش سرعت و بنابراین عدد فرود، عملکرد تیغه افزایش یابد. البته در زمان‌های کوتاه، تیغه 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 آبستگي، زمان وقوع عمق نهایی آبستگي را به تأخیر می‌اندازد و با توجه به این‌که اکثر سیل‌ها در زمان‌های کوتاه و کمتر از زمان تعادل عمق آبستگي رخ می‌دهند، این نکته کمک شایانی

نسبت به لایه‌های نزدیک بستر تأثیر بسیار کمی در ایجاد فرسایش پیرامون تکیه‌گاه دارند، در قسمت پایین دست تکیه‌گاه نیز جریان‌های برگشتی و گردابه افقی مشاهده می‌شود. گردابه‌های افقی بر خلاف گردابه‌های عمودی پتانسیل رسوب‌گذاری دارند و شکل‌گیری تپه‌های رسوبی در بخش پایین دست تکیه‌گاه نیز ناشی از همین مطلب است. بنابراین با توجه به مطالب مذکور می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که با نصب تیغه در وضعیت بهینه‌ای که در پژوهش حاضر تعیین گردید، مقادیر سرعت و تنش برشی کف و نزدیک کف پیرامون تکیه‌گاه کاهش یافته که در نهایت کاهش آبستگي را در بر خواهد داشت.

عمق، جریان روبه پایینی در دیواره تکیه‌گاه شکل می‌گیرد، این جریان به دلیل قرارگیری در مسیر جریان، باعث ایجاد گرداب اولیه (نعل‌اسبی) می‌شود، وجود تیغه به مقدار زیادی این گردابه را کنترل و از سطح بستر دور می‌کند، این نکته با مقایسه شکل ۱۱ (الف) و ۱۱ (ب) کاملاً مشخص است. در آزمایش تیغه بهینه نسبت به آزمایش شاهد، یک جریان تقریباً راکدی تا حدود Y برابر ۳۰ سانتی‌متر مشاهده می‌شود. در اعماق پایین‌تر، نشان‌دادن این نکته راحت‌تر بود که به دلیل محدودیت دستگاه سرعت‌سنج، امکان اندازه‌گیری در عمق پایین‌تر میسر نگردید. با افزایش عمق، تفاوت محسوسی بین الگوی جریان در آزمایش شاهد و تیغه بهینه مشاهده نگردید. البته لایه‌های بالای جریان

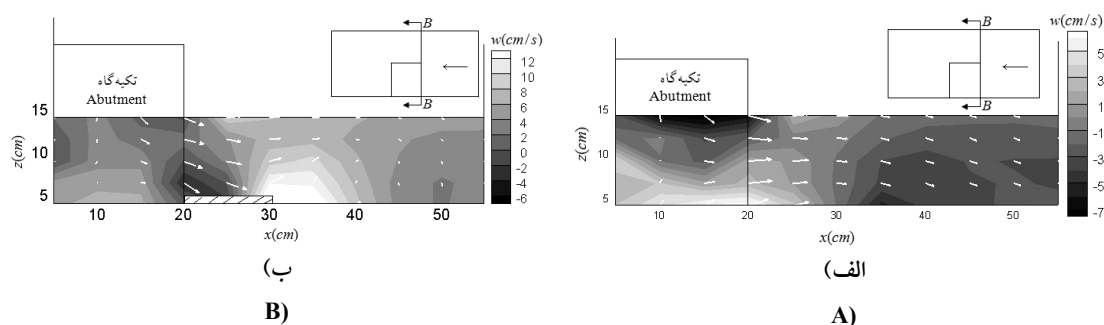


شکل ۱۱- میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه در عمق ۴ سانتی‌متری در آزمایش الف) بدون تیغه و ب) تیغه بهینه.

Figure 11. Flow field around abutment at a depth of 4 cm in test A) without vane and B) optimal vane.

همان مقدمه تشکیل گردابه‌های نعل‌اسبی می‌باشد که در تصویر مربوط به تیغه این گردابه کنترل و یک جریان تقریباً راکدی در بالادست تکیه‌گاه مشاهده می‌شود.

برای بررسی مؤلفه عمودی سرعت، اشکال ۱۲ تا ۱۴ رسم شده است. همان‌طور که در شکل ۱۲ ملاحظه می‌شود، نزدیک سطح، جریان رو به پایین و در کف جریان روبه بالا شکل می‌گیرد که در حقیقت

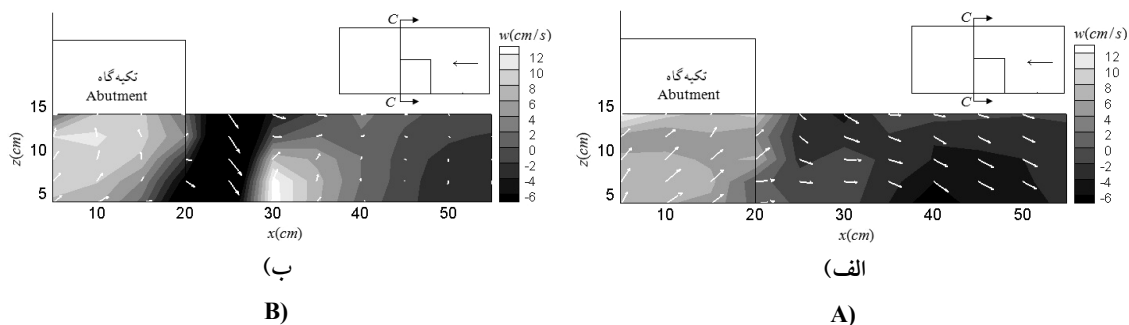


شکل ۱۲- میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه در مقطع $B-B$ در آزمایش الف) بدون تیغه و ب) تیغه بهینه.

Figure 12. Flow field around abutment at the B-B section in test A) without vane B) optimal vane.

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

در شکل ۱۳ که مربوط به قسمت پایین دست تکیه‌گاه می‌باشد، وجود جریان رو به بالا و پس از آن

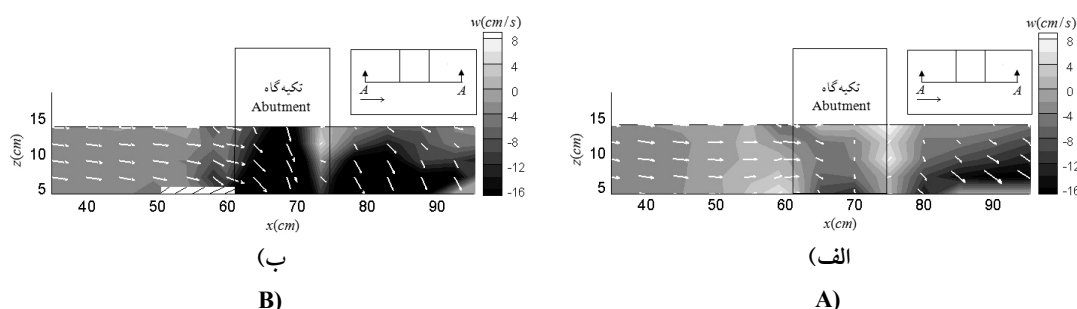


شکل ۱۳- میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه در مقطع $C-C$ در آزمایش الف) بدون تیغه و ب) تیغه بهینه.

Figure 13. Flow field around abutment at the C-C section in test A) without vane B) optimal vane.

جهت کاهش راندمان تیغه عمل می‌کند اما به‌طور کلی تیغه متصل به تکیه‌گاه تأثیر به‌سزایی 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 ۱۴ میدان جریان در محور $A-A$ نشان داده شده است. مطابق شکل تغییر بسیار زیادی در میزان سرعت پس از رسیدن به تکیه‌گاه به وجود می‌آید. وجود جریان رو به پایین پس از تیغه، 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 این وضعیت مقدار کمی در



شکل ۱۴- میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه در مقطع $A-A$ در آزمایش الف) شاهد و ب) تیغه بهینه.

Figure 14. Flow field around abutment at the section A-A in test A) without vane B) optimal vane.

مناسب‌ترین وضعیت نصب تیغه معرفی گردید. همچنین رسم مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت پیرامون تکیه‌گاه در حالت نصب تیغه در وضعیت بهینه نشان داد که تیغه مستغرق متصل به تکیه‌گاه به خوبی قادر به دور کردن ناحیه پرسرعت از اطراف تکیه‌گاه می‌باشد که نتیجه آن کاهش آبستگی موضعی سازه و ایمن بودن تکیه‌گاه می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر فرض مؤثر بودن تیغه متصل به تکیه‌گاه به‌عنوان یک سازه کنترل یا کاهش‌دهنده آبستگی مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. نتایج نشان داد که ارتفاع و زاویه نصب تیغه تأثیر زیادی بر عملکرد آن در کاهش آبستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه دارد. در پژوهش حاضر، تیغه با زاویه نصب ۴۰ درجه و ارتفاع برابر یک سوم عمق آب، به‌عنوان

منابع

1. Barkdoll, D., Ettema, R., and Odgaard, A.J. 1999. Sediment control at lateral diversions: limits and enhancement to vane use. *J. Hydraul. Eng.* 125: 8. 132-136.
2. Barbhuiya, A.K., and Dey, S. 2004. Local scour at abutments: A review. *Sadhana*, 29: 5. 449-476.
3. Dehghani, A.A. 2006. Experimental investigation of sediment control at lateral intake in 180 channel bend. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University. (In Persian)
4. 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.
5. Gill, M.A. 1970. Bed erosion around obstructions in rivers. Ph.D. thesis, The University of London (Imperial College of Science and Technology).
6. Gupta, P., and Sharma, N. 2007. Performance evaluation of tapered vane. *J. Hydraul. Res.* 45:4. 472-477.
7. Hassanpour, F. 2006. Investigation of the operation of lateral intakes with submerged vanes and sill. Ph.D. Thesis Tarbiat Modares University. (In Persian)
8. Kandasamy, J.K. 1989. Abutment scour. Rep. No. 458, School of Engrg., University of Auckland, Auckland, New Zealand.
9. Karimi, M., Ghomeshi, M., and Ramezani, Y. 2011. Investigation of parallel wall construction on bed uniformity near bridge abutment. National conference of structure, road, architecture, Islamic Azad University, Chalous. (In Persian)
10. Khademi, Kh., Khozaymeh-Nezhad, H., and Shafaei Bejestan, M. 2011. High extraction of river material in Khozestan province is the main factors of bridge abutment scour 3rd Irrigation and Drainage Network Management National Conference (IDNC). Shahid Chamran University. (In Persian)

11. Kothyari, U.C., and Ranga Raju, K.G. 2001. Scour Around Spur Dikes and Bridge Abutment. *J. Hydraul. Res.* 39: 4. 367-374.
12. Liu, M.K., Chang, F.M., and Skinner, M.M. 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 Sinha, K. 2000. Analysis of flow past submerged vanes. *J. Hydraul. Eng.* 38: 1. 65-71.
14. Marelius, F., and Sinha, K. 1998. Experimental investigation of flow past submerged vanes. *J. Hydraul. Eng.* 124: 5. 542-546.
15. Melville, B.W. 1992. Local Scour at Bridge Abutments. *J. Hydraul. 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, Tarbiat Modares University.
17. Neill, R., and Evans, J. 1997. Sediment control at water intakes. *J. Hydraul. Eng.* 123: 7. 670-671.
18. Odgaard, A.J., and Kennedy, J.F. 1983. River-bend bank protection by submerged vanes. *J. Hydraul. Eng.* 109: 8. 1161-1173.
19. Soon-Keat, T., Guoliang, Y., Siow-Yong, L., and Muk-Chen, O. 2005. Flow structure and sediment motion around submerged vanes in open channel. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng. ASCE.* 131: 3. 132-136.
20. Voisin, A., and Townsend, R.D. 2002. Model testing of submerged vanes in strongly curved narrow channel bends. *J. Civil. Eng.* 29: 37-49.
21. Wang, Y., Odgaard, A.J., Melville, W., and Subhash, C. 1996. Sediment control at water intakes. *J. Hydraul. Eng.* 122: 6. 353-356.
22. Wong, W.H. 1982. Scour at Bridge Abutments. Report No. 275, Dept. of Civil Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(6), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Experimental investigation of effect of attached vane installing on bridge abutment local scour and flow pattern

Kh. Khademi¹, M. Shafaei Bejestan² and *H. Khozaymehzad³

¹Ph.D. Graduate, Shahid Chamran University of Ahvaz,

²Professor, Dept. of Hydraulic Structure, Shahid Chamran University of Ahvaz,

³Assistant Prof., Dept. of Science and Water Engineering, University of Birjand

Received: 07/30/2014; Accepted: 03/16/2015

Abstract

Background and Objectives: Already many studies have been done on the mechanism of scour around hydraulic structure especially bridges and methods for control or reduction of scour around them have been investigated and evaluated. In the field of scour around bridges, researches are more focused on scour of piers in compare with abutment. While the review of available information on the bridge required cost, the major problems are related to abutment. Therefore most costs has been spent in this part.

Materials and Methods: In this study, the performance of vane attached to the bridge abutment and the influence of parameters such as height and angle of the vane installing in the reduction of local scour around bridge abutment were investigated.

Results: The results showed that the installing angle and height of vane had a significant impact on the reduction of abutment scour. By increasing of the vane height, the performance of vane will be improved. Also the results showed that installing angle of 40° for vane is most appropriate angle. Following this research, three-dimensional components of velocity were determined with electromagnetic velocimeter around abutment with attached vane.

Conclusion: Investigation of flow pattern around bridge abutment in case of using submerged vane showed that, this structure had an effective role on reduction of local scour by creating a low velocity zone around bridge abutment and control of primary vortexes.

Keywords: Vane, Bridge abutment, Local scour, Flow pattern

* Corresponding Author; Email: hkhoyemeh@birjand.ac.ir