بررسی الگوی سرعت جریان در محل تکیه گاه پل در شرایط با و بدون نصب صفحه مستغرق

خیرالله خادمی[1*]، محمود شفاعی بجستان[2] و مهدی قمشی[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانش آموخته دکتری گروه سازه های آبی، ، دانشگاه شهید چمران، اهواز

۲- استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

۳- استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۲۹

چکیده

در این مقاله نتایج اندازه‌گیری مؤلفه‌های سه بعدی سرعت جریان در اطراف تکیه‌گاه پل با و بدون نصب صفحه مستغرق ارائه شده است. مطالعات قبلی نشان داده است که نصب صفحه مستغرق در گوشه بالادست تکیه گاه با زاویه ۴۰ درجه می تواند کاهش دهنده عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه باشد ترسیم بردارهای افقی سرعت در رقوم های مختلف نشان داد که نصب صفحه مستغرق باعث می‌شود تا خطوط جریان در لایه های پائینی از محل تکیه‌گاه دور شود و این امر باعث کاهش شدید تنش برشی موضعی اطراف تکیه‌گاه و در نتیجه کاهش عمق آبشستگی گردد. فشرده شدن خطوط جریان در لبه‌ی صفحه باعث افزایش تنش برشی موضعی در این مکان و در نتیجه افزایش عمق آبشستگی در اطراف صفحه می‌شود. مقایسه بردارهای سرعت در دو حالت بدون و با صفحه نشان داد که صفحه مستغرق بر خلاف صفحه غیر مستغرق ،به استناد تحقیقات سایر محققین، باعث فشردگی خطوط جریان بیش از حد که تنگ شدگی اضافی در محل تکیه گاه بکند ایجاد نمی‌کند و تغییرات تراز اندازه گیری شده سطح آب بسیار جزئی و در جهت محافظه کارانه است. ترسیم بردارهای مؤلفه عمودی سرعت نشان داد که مولفه عمودی رو به پائین از محدوده تکیه گاه در حالت بدون صفحه به لایه پائینی جریان در لبه صفحه منتقل شده است.

کلید واژه‌ها :صفحه مستغرق، آبشستگی، کنترل فرسایش، رودخانه، تکیه‌گاه.

Flow Pattern Investigation at Bridge Abutment with and without Installed Submerged Vane

Kh. Khademi[1] , M. Shafai Bejestan[2] and M. Ghomeshi[3]

1- Ph.d Graduated Student Department of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

2- Professor, Department of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

3- Professor, Department of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University, Ahaz, Iran

Received: 15 July 2012 Accepted: 17 Feb. 2013

Abstract

In this paper the results of measurement of three components of flow velocity around the bridge abutment with and without installed submerged vane are presented. Previous studies have shown that installation of submerged vane at the upstream corner of bridge abutment with angle of 40 degrees can decrease the scour depth. Plot of horizontal flow velocity components in different level, for both alternatives, with and without submerged vane, shows that the velocity vector at lower layer closed to the bed are shifted away from the abutment which causes that local bed shear stress are reduced and the scour at the vicinity of abutment reduced. The lower layer of stream lines are compressed at the edge of vane which cause scour at this location. It was proven that using submerged vane does not causes compression of the stream lines more than it usually occur due to abutment contraction. This means that the scour is shifted but the scour depth does not increase.

Comparison of water surface profiles for with and without vane shows that the drop or lift of the water surface with vane is not significant and the change is in the safe way. Plot of vertical flow velocity vectors shows that the downward velocity has shifted from the abutment vicinity, in case of without vane, to the lower layers of the edge of submerged vane.

Keywords: Submerged vane, Local scour, Erosion control, River, Abutment.

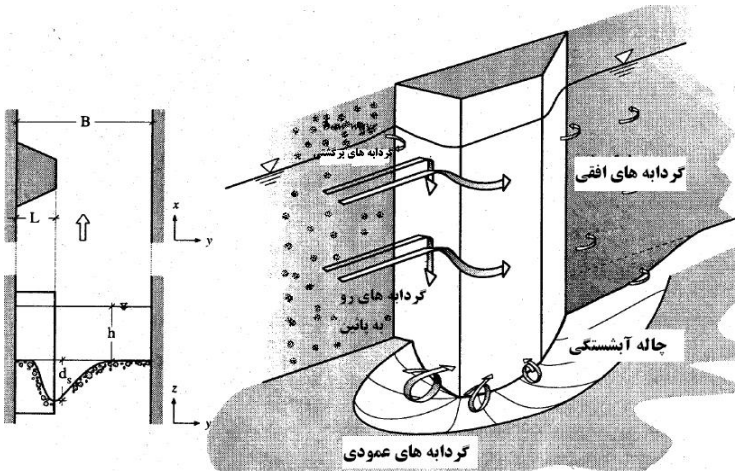
مقدمه

پل سازه‌ای است که برای تردد وسایل نقلیه و انسان‌ها بر روی رودخانه‌ها احداث می‌شوند. معمولاً بخش عمده‌ای از بارهای وارده به پل‌ها در دوطرف آن به سازه‌ی وزنی بنام تکیه‌گاه منتقل می‌شود. تکیه‌گاه پل‌ها ممکن است در منطقه مسیل رودخانه، جائی‌که در زمان‌های سیلابی در معرض جریان آب قرار دارد و یا مستقیما در سواحل کانال اصلی رودخانه احداث شوند. شکل (۱) الگوی جریان را در شرایطی که تکیه گاه کوتاه در کناره‌ی اصلی رودخانه قرار دارد نشان می‌دهد.

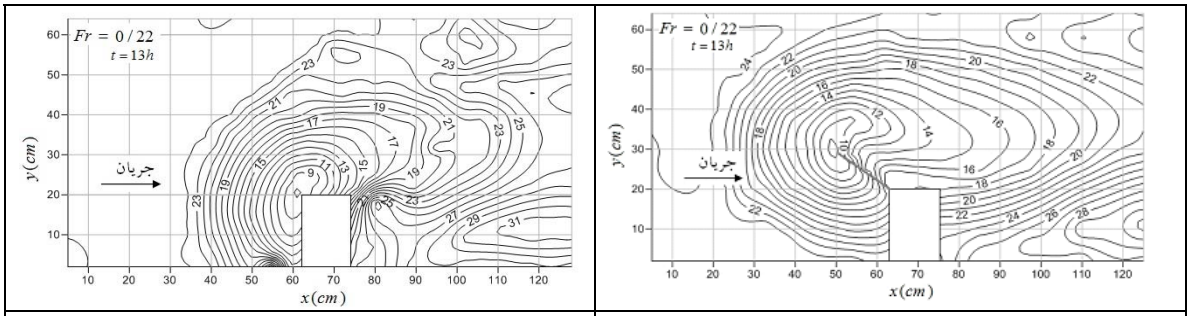
همان‌گونه که از شکل (۱) پیداست، خطوط جریان که تقریباً موازی در حرکت بودند توسط تکیه‌گاه تغییر مسیر داده و باعث پیدایش گردابه‌های متعددی می‌شوند که می‌توان به دو دسته کلی گردابه‌های افقی و عمودی تقسیم کرد. گردابه‌های افقی در بالا دست و پائین دست و نیز گردابه‌های عمودی در اطراف و به‌خصوص نوک دماغه تکیه‌گاه بوجود می‌آیند .گردابه‌های عمودی رو به پائین حرکت کرده و با رسیدن به بستر رودخانه به سمت بالا منعکس می‌شود. از تداخل گردابه‌های قائم و مولفه سرعت طولی جریان، گرداب حلزونی شکلی در محل دماغه تکیه-گاه شکل می‌گیرد. گردابه‌های عمودی در صورت داشتن انرژی جنبشی کافی می‌توانند ذرات رسوبی بستر را توسط نیروهای هیدرودینامیکی که به ذره رسوبی اعمال می‌کنند از محل خود ازجا بلند کنند. ذرات رسوبی کنده شده گرفتارگردابه‌های حلزونی شکل شده و به پائین دست منتقل می‌شوند و ممکن است در فاصله اندکی پائین دست تکیه گاه، جائیکه نیروهای هیدرودینامیکی برای انتقال ذرات رسوبی کافی نیست، نهشته شوند و تشکیل تپه رسوبی یا پشته رسوبی را دهند .تداوم این شرایط منجر به پیدایش حفره یا چاله یا گودالی در اطراف دماغه تکیه‌گاه می‌شود که می‌تواند در نهایت منجر به تخریب تکیه‌گاه و پل گردد. از آنجا که معمولا نرخ آبشستگی زیاد است، عمق چاله فرسایشی تنها ممکن است در زمان عبور یک سیلاب به چندین متر هم برسد. این نرخ رشد آبشستگی در پل‌هائی که تکیه‌گاه آنها خیلی به سمت کانال اصلی رودخانه پیشروی دارند بیشتر هم می‌شود و ممکن است توسط آبشستگی ناشی از تنگ شدگی عرض رودخانه تشدید گردد.

مطالعات گسترده‌ای تاکنون در خصوص آبشستگی اطراف تکیه‌گاه انجام شده‌است از جمله می‌توان به مطالعات کوان[1](۱۹۸۸)، فروهلیچ[2](۱۹۸۹) ، چانگ و دیویس[3](۱۹۹۹) ، باربیا و دی[4] (۲۰۰۴)، ملویل[5] و همکاران(۲۰۰۶) ، و گرگیج و شفاعی بجستان(۱۳۹۰) اشاره کرد. روش‌های متعددی نیزتا کنون برای کاهش و یا حذف چاله فرسایشی در پل‌های موجود در آزمایشگاه و بعضا در عمل مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که توضیح بیشتر را می‌توان درمنابعی چون ریچاردسون و دیویس[6](۲۰۰۱)، لاگاس[7] و همکاران(۲۰۰۱) و لوچلان[8](۱۹۹۹) ملاحظه کرد. این روش‌ها را بطور کلی به دو دسته پوششی و غیر پوششی یا روش‌های مستقیم و غیر مستقیم دسته بندی می‌کنند. در روش‌های پوششی که در حال حاضر بیشتر مورد کاربرد دارند، تلاش می‌شود تا مصالح بستر توسط لایه پوششی محافظت گردد. این لایه پوششی ممکن است از مصالح رسوبی درشت دانه و یا سنگ چین (مورالس[9] و همکاران ۲۰۰۸ و منصورهفشجانی و شفاعی بجستان۱۳۹۰) ، کیسه حاوی ماسه یا ژئوبگ (کرکوت[10] و همکاران ۲۰۰۶) ، بلوک بتنی بهم بافته شده (پرزوفسکی[11] ۱۹۹۵) باشد. در این روش الگوی جریان تقریبا بدون تغییر باقی می‌ماند ولی بستر مقاوم سازی می‌شود. در روش‌های دوم تلاش می‌شود که باروش‌هائی تغییراتی در الگوی جریان ایجاد کرد تا یا از قدرت گردابه‌های مخرب کاست و یا آنها را از محدوده اطراف دماغه دور کرد. از جمله این روش‌هامی‌توان به سرریز مستغرق(دریک[12] ۱۹۹۶ ، دیواره موازی (لی[13] و همکاران ۲۰۰۶) و صفحات مستغرق در اطراف پایه پل (قربانی و کلز[14] ۲۰۰۸) اشاره کرد. در خصوص کاربرد صفحات غیر مستغرق برای کاهش عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل می‌توان به مطالعه آزمایشگاهی جانسون[15] و همکاران (۲۰۰۱) که برای تکیه‌گاه عمودی کوتاه واقع در منطقه سیلابدشت رودخانه انجام شده اشاره کرد. آن‌ها گزینه‌های مختلفی از قرارگیری صفحات غیر مستغرق درون کانال اصلی را برای تاثیر آن بر آبشستگی بستر کانال اصلی مورد بررسی قرار

1- Kwan
2- Froehlich
3- Chang and Davis
4- Barbhuiya and Dey
5- Melville
6- Richardson and Davis
7- Lagasse
8- Lauchlan
9- Morales
10- Korkut
11- Prezedwojski
12- Derrick
13- Li
14- Ghorbani and Kells
15- Johanson



شکل ۱- الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه باله‌ای شکل کوتاه واقع در کناره کانال اصلی



الف: آزمایش شاهد بدون نصب صفحه | ب: آزمایش با نصب صفحه در موقعیت و زاویه مناسب

شکل ۲- توپوگرافی بستر در انتهای آزمایش های خادمی و شفاعی بجستان(۱۳۹۳)

دادند. نتایج آنها حاکی از این بود که صفحات باعث دور کردن جریان از محل تکیه گاه می‌شوند و در نتیجه حفره آبشستگی از پای تکیه-گاه به مناطق میانی رودخانه منتقل می‌شود هر چند که عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. بارکدل[1] (۲۰۰۳) در بحثی بر مقاله جانسون و همکاران(۲۰۰۱) اشاره کرده است لازم بود الگوی جریان برای تایید صحت نتایج بررسی می‌شد. او همچنین با بررسی داده های جانسون و همکاران (۲۰۰۱) نتیجه گرفت که چاله آبشستگی هرچند که جابجا می‌شود ولی عمق آن افزایش زیادی تا سه برابر داشته است. خادمی و شفاعی بجستان (۱۳۹۳) نیز در مطالعه‌ای بر روی تکیه‌گاه عمودی کوتاه مستطیل واقع در بستر رودخانه بدون سیلاب دشت مطالعه آزمایشگاهی انجام دادند. آنها گزینه‌های مختلفی در خصوص تعداد، موقعیت قرارگیری و زاویه نصب صفحه مستغرق در محل تکیه‌گاه پل و تاثیر آن بر آبشستگی بستر رودخانه مورد مطالعه قرار دادند. این گزینه‌ها در شرایط هیدرولیکی یکسان بدون صفحه نیز بررسی و از مقایسه آنها گزینه مناسب انتخاب و این گزینه تحت شرایط هیدرولیکی مختلف بررسی شد. شکل(۲) توپوگرافی بستر را در انتهای آزمایش شاهد و آزمایش با نصب صفحه در مناسب‌ترین موقعیت نشان می دهد. بطور کلی نتایج آنها نشان داد که با نصب صفحه مستغرق الگوی جریان نزدیک‌شونده بگونه‌ای تغییر می‌کند که منطقه تمرکز سرعت از نزدیک تکیه‌گاه دور می‌کند و باعث کاهش عمق آبشستگی در محل تکیه‌گاه تا ۸۹درصد می-شودضمن اینکه عمق آبشستگی در محل لبه صفحه نه تنها افزایش نداشته بلکه تا حدود ۳۰ درصد هم کاهش یافته است. در مطالعه فوق همچنین با مقایسه الگوی فرسایش و رسوب در دو حالت با و بدون صفحه، شکل(۲)، مشخص شد که نصب صفحه مستغرق تغییرات ناچیزی در توسعه عرضی و طولی الگوی رسوب و فرسایش نسبت به حالت بدون صفحه ایجاد می‌کند.

با توجه به موارد فوق هدف اصلی مقاله حاضر بررسی تغییرات الگوی سه بعدی جریان است که در اثر نصب صفحه به تکیه گاه در اطراف آن اتفاق می افتد. روشن شدن این موضوع می تواند به درک

1- Barkdoll



الف: فلوم مورد استفاده



ب: تکیه گاه و صفحه متصل به آن

شکل ۳- امکانات آزمایشگاهی مورد استفاده

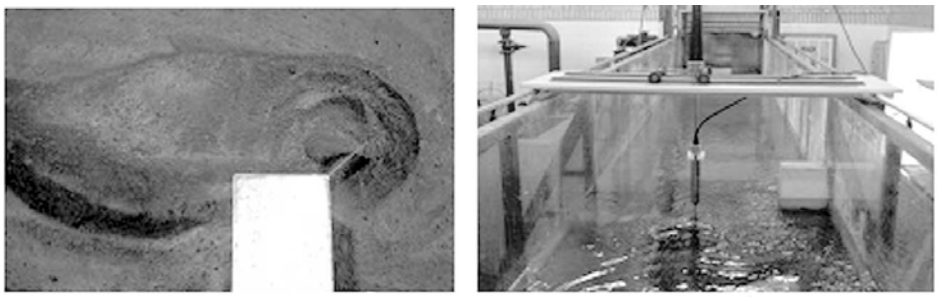
بهتر مکانیزم عملکرد صفحه مستغرق در کاهش عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل کمک کند.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این تحقیق در فلومی به ابعاد طولی ۹ متر، عرض یک متر و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر و در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. نمائی از فلوم و تکیه‌گاه به همراه صفحه متصل به آن در شکل(۳) نشان داده شده است. در این تحقیق از یک پایه کوتاه مستطیل شکل عمودی که در فاصله ۴ متری از ابتدای فلوم در کناره‌ی سمت چپ فلوم نصب شده بود استفاده گردید. طول تکیه‌گاه ۲۰ سانتی‌متر بود که با توجه به نسبت عرض به طول برابر۰/۶از نوع تکیه گاه کوتاه محسوب می‌شود.

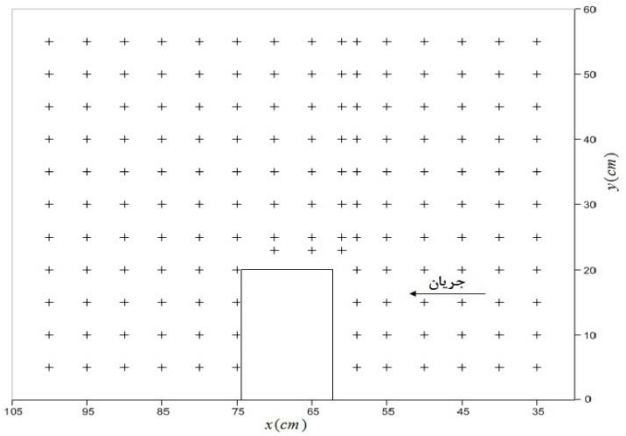
رسوبات بستر از ماسه طبیعی دارای دانه بندی یکنواخت با اندازه متوسط ۰/۵ میلیمتر طوری انتخاب شدند که در شرایط دبی و عمق جریان مورد نظر در آستانه حرکت قرار نگیرند. به عبارتی تمام آزمایش‌ها در شرایط آب زلال ($V/V_c \leq 0.95$) که V سرعت متوسط جریان و V_c سرعت درآستانه حرکت ذرات رسوبی بستر می‌باشد انجام گرفت. ابعاد صفحه با توجه به توصیه‌های ادگارد و موسکونی[1](۱۹۸۷) و ادگارد[2] (۲۰۱۰) یعنی از صفحه مستطیلی ساده از جنس ورق گالوانیزه به ضخامت یک میلی‌متر، به ارتفاع معادل یک سوم عمق آب و با طولی برابر ۲برابر ارتفاع آن و موقعیت و زاویه مناسب صفحه بر اساس نتایج مطالعات خادمی و شفاعی (۱۳۹۳) انتخاب گردید. بدین ترتیب صفحه به گوشه بالادست تکیه گاه با زاویه ۴۰ درجه نسبت به تکیه گاه چسبانده شد و سپس تعداد دو آزمایش با عمق ثابت ۱۵ سانتیمترو عدد فرود ۰/۲۲ انجام شد. یکی از این آزمایش ها بدون نصب صفحه بعنوان آزمایش شاهد و دیگری پس از نصب صفحه مستغرق بود. با توجه به این‌که فرسایش و رسوب‌گذاری اطراف تکیه‌گاه پدیده زمانی است، لذا در هر دو آزمایش اشاره شده ابتدا پس از برقراری جریان در شرایط مورد انتظار اجازه داده می شد که آبشستگی به مدت سه ساعت اتفاق افتد. سپس

1- Odgaard and Mosconi
2- Odgaard



ب: نحوه‌ی اندازه‌گیری سرعت الف: تثبیت بستر رسوبی به منظور اندازه‌گیری سرعت

شکل ٤-امکانات مورد استفاده در این تحقیق



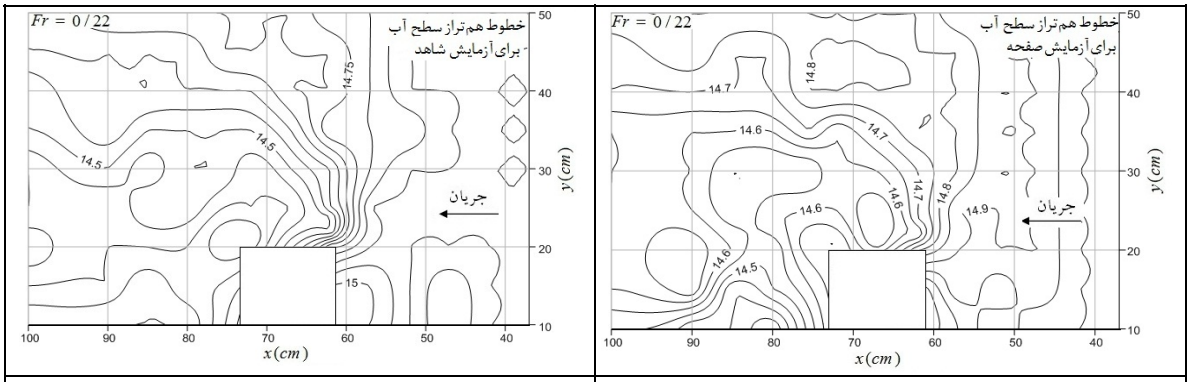
شکل ٥-موقعیت نقاط اندازه‌گیری مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت در یکی از اعماق جریان

آزمایش متوقف و آب درون کانال تخلیه می‌شد. پس از آن بستر رسوبی اطراف تکیه‌گاه به وسیله‌ی لایه‌ی نازکی از دوغاب بسیار رقیق سیمان، شکل(۴)، تثبیت گردید تا اولاً در حین آزمایش آبشستگی باعث تغییر شرایط جریان نگردد و ثانیا حرکت ذرات رسوبی خللی در روند اندازه گیری و یا بروز خطا ننماید. پس از این‌که بستر رسوبی کاملاً خشک شد، آزمایش از ابتدا تکرار شده و در نقاط مورد نظر مولفه‌های سه‌بعدی سرعت برداشت گردید. با توجه به محدودیت‌های دستگاه سرعت‌سنج الکترومغناطیسی مورد استفاده، مولفه‌های سه‌بعدی سرعت در ۵ عمق ۰/۰۰۴، ۰/۰۶۵، ۰/۰۹ ، ۰/۱۱۵ و ۰/۱۴۰ متر از کف، ثبت شدند .شکل (۵) موقعیت نقاطی که مولفه‌های سه‌بعدی سرعت در آن‌ها اندازه‌گیری شد را در یکی از اعماق جریان نشان می‌دهد .در هر نقطه بیش از ۵۰۰ سرعت مستمر در سه‌بعد توسط دستگاه ثبت شد. لازم به ذکر است‌که 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 گره و در آزمایش صفحات مستغرق در تعداد ۷۶۴ گره مولفه‌ی سه‌بعدی سرعت جریان ثبت گردید. هم‌چنین برآیند سرعت‌های مستمر در هر گره 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 گرفتند.

نتایج و بحث

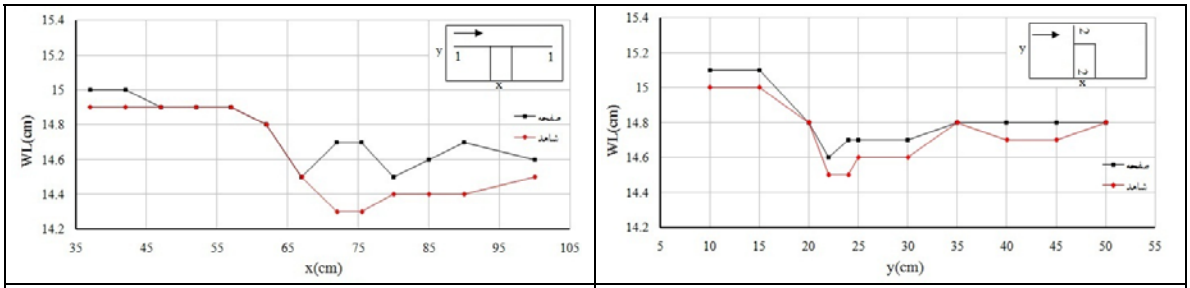
بررسی نیم رخ سطح آب

نیم رخ سطح آب در آزمایش های شاهد(بدون صفحه) و آزمایش های با نصب صفحه برای شرایط مختلف جریان(اعداد فرود ۰/۱۵، ۰/۱۸، ۰/۲۰ و ۰/۲۲) اندازه گیری که اهم نتایج حاصله ابتدا ارائه می شوند .شکل (۶) خطوط هم تراز و شکل(۷) نیم‌رخ طولی سطح آب را برای دو آزمایش بدون و با نصب صفحه در عدد فرود ۰/۲۲ به عنوان نمونه نشان می دهد. همان‌گونه که در شکل (۷) نشان داده شده‌است، سطح آب پس از رسیدن به تکیه‌گاه دچار افت ناگهانی ناشی از تنگ شدگی عرض جریان می‌شود که این افت در آزمایش بدون صفحه حدود ۲ میلی‌متر بیشتر است ضمن اینکه شیب



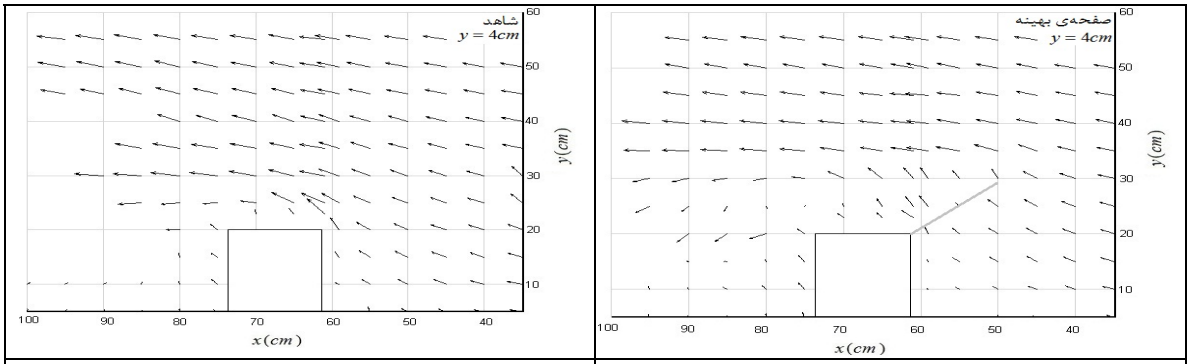
ب: آزمایش با نصب صفحه	الف: آزمایش شاهد بدون نصب صفحه

شکل ٦- خطوط هم تراز سطح آب برای عدد فرود ۰/۲۲



ب: آزمایش با نصب صفحه	الف: آزمایش شاهد بدون نصب صفحه

شکل ۷- نیمرخ طولی و عرضی تراز سطح آب نسبت به بستر کانال برای عدد فرود ۰/۲۲



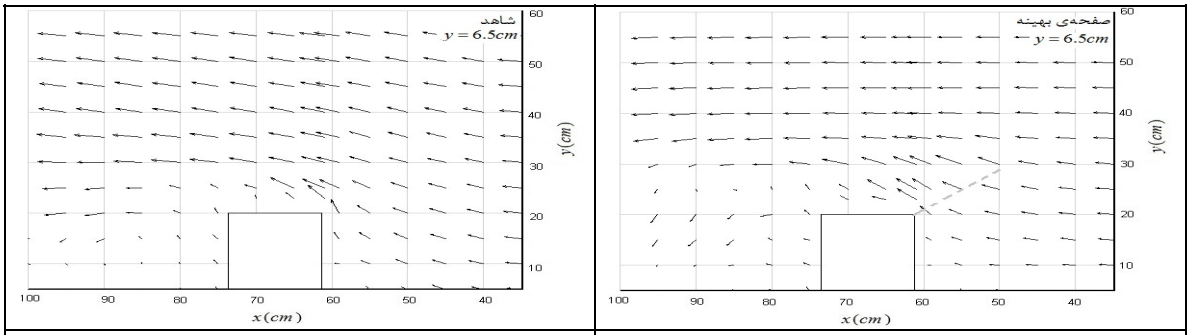
ب آزمایش با نصب صفحه	الف آزمایش شاهد بدون نصب صفحه

شکل۸- بردارهای سرعت پیرامون تکیه‌گاه در عمق ٤ سانتی‌متری از کف

افت سطح آب در آزمایش بدون صفحه شدیدتر است. دلیل آن را می‌توان کاهش سرعت جریان در محل تکیه گاه بخاطر وجود صفحه مستغرق دانست که این کاهش سرعت باعث افزایش عمق آب شده و در نتیجه افت ناشی از تنگ‌شدگی را جبران می‌کند ضمن اینکه صفحه باعث افزایش سطح آب در محل تنگ شدگی نشده است. به طور کلی می‌توان گفت که صفحه مستغرق باعث کاهش بیشتر تراز سطح آب ناشی از تنگ‌شدگی نخواهد شد.

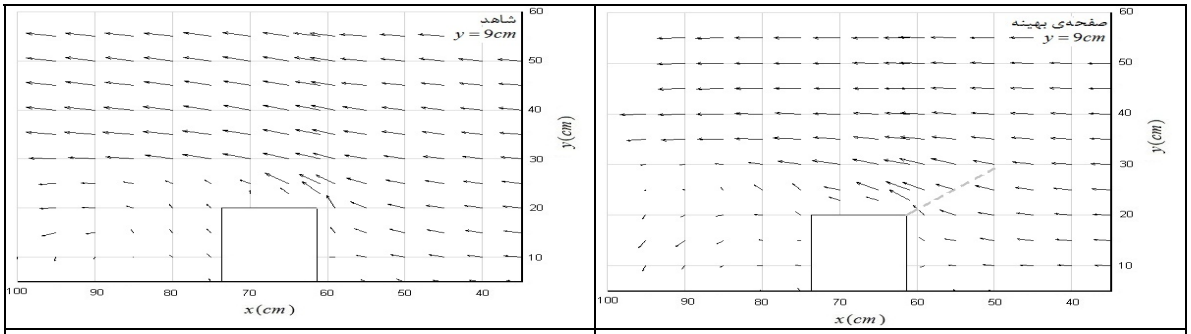
بررسی بردارهای سرعت

همان‌طورکه قبلاً اشاره شد در این مطالعه مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت در پنج عمق مختلف جریان ۴، ۶/۵، ۹ و ۱۱/۵ سانتی‌متر از بستر برداشت شدند. با استفاده از این داده ها شکل های (۸) الی (۱۲) رسم شده است. .در این شکل ها بردارهای افقی سرعت در اعماق فوق و برای هر دو آزمایش بدون و با صفحه ترسیم شده اند. آن‌چه که در همه این شکل‌ها مشخص است این است که چه در



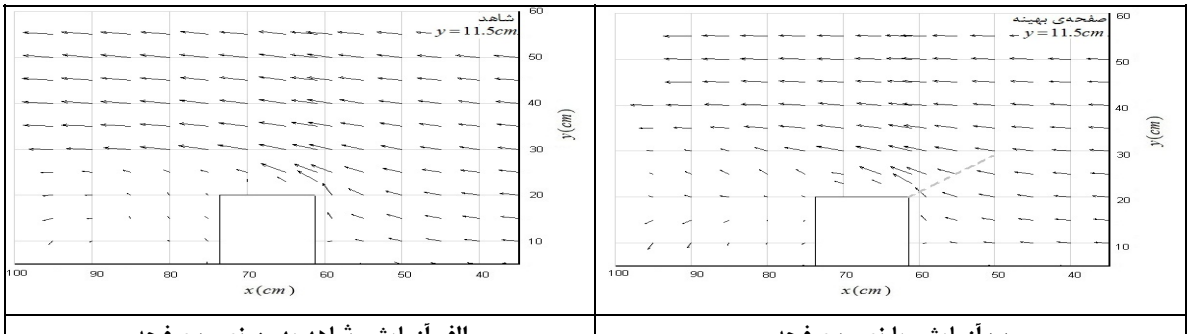
ب: آزمایش با نصب صفحه | الف: آزمایش شاهد بدون نصب صفحه

شکل ۹- بردارهای سرعت پیرامون تکیه‌گاه در عمق ٦/٥ سانتی‌متری از کف



ب آزمایش با نصب صفحه | الف آزمایش شاهد بدون نصب صفحه

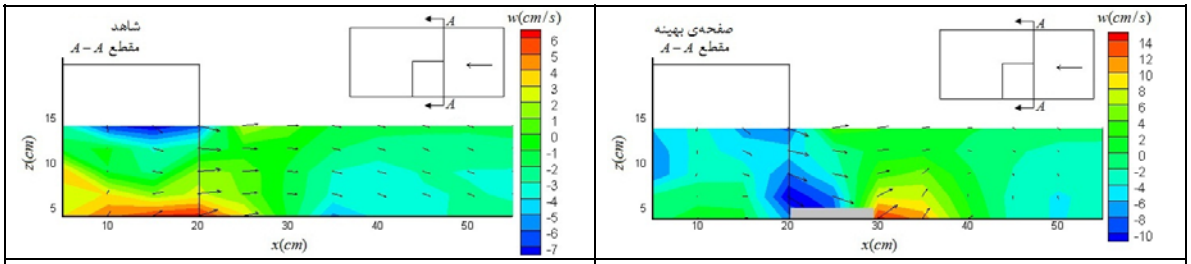
شکل ۱۰- بردارهای سرعت پیرامون تکیه‌گاه در عمق ۹ سانتی‌متری از کف



ب آزمایش با نصب صفحه | الف آزمایش شاهد بدون نصب صفحه

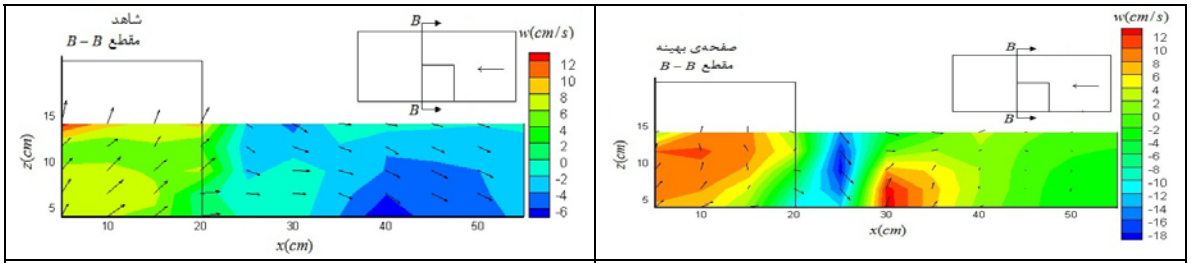
شکل ۱۱- بردارهای سرعت پیرامون تکیه‌گاه در عمق ۱۱/۵سانتی‌متری از کف

آزمایش بدون صفحه و چه در آزمایش با صفحه بهینه، میزان سرعت طولی بخصوص در لایه های بالائی با رسیدن به تکیه‌گاه کاهش زیادی می‌یابد و انرژی جنبشی به پتانسیل، یا افزایش عمق در پشت تکیه گاه همان گونه که در شکل(۷) نشان داده شده است، تبدیل می شود. که در نهایت به دلیل گرادیان فشار در عمق، جریان روبه پایینی در دیواره تکیه‌گاه شکل می‌گیرد، و به دلیل قرارگیری در مسیر جریان، باعث ایجاد گرداب حلزونی اطراف تکیه‌گاه می‌شود. وجود صفحه مستغرق نه تنها به مقدار زیادی این گردابه را از تکیه گاه دور می‌کند، این نکته با مقایسه شکل (۸- الف) و(۸-ب) کاملاً مشخص است، بلکه به دلیل وجود یک جریان تقریباً راکدی در جلو و پشت صفحه، تا حدود y برابر ۳۰ سانتی‌متر ، نشان داده شده در شکل(۶-ب)، انرژی جریان رو به پائین در این منطقه قبل از برخورد آن به بستر کاهش می یابد. مسلما اندازه گیری مؤلفه های سرعت در اعماق پایین‌تر از ۴ سانتی‌متر بهتر می توانست صحت مطالب بالا را تایید کند که به دلیل محدودیت دستگاه سرعت‌سنج مورد استفاده، امکان اندازه‌گیری در عمق پایین‌تر میسر نگردید.



ب: آزمایش با نصب صفحه	الف:آزمایش شاهد بدون نصب صفحه

شکل ۱۲- بردارهای مولفه عمودی سرعت در مقطع بالا دست تکیه گاه



ب: آزمایش با نصب صفحه	الف: آزمایش شاهد بدون نصب صفحه

شکل ۱۳- بردارهای مولفه عمودی سرعت در مقطع پس از تکیه‌گاه

شکل های(۹)، (۱۰)؛ (۱۱) و (۱۲) نیز بردارهای سرعت را به ترتیب در عمق های ۶/۵ ، ۹ و ۱۱/۵ سانتی‌متری از بستر، ۱/۵ سانتی‌متر بالاتر از لبه صفحه، نشان می دهد. با توجه به شکل های مذکور ملاحظه می شود که با نزدیک تر شدن به سطح آب و یا به عبارتی دورتر شدن از لبه صفحه مستغرق، بردارهای سرعت در هر دو حالت با و بدون صفحه بهم نزدیک تر می‌شوند. هرچند که مولفه سرعت در لایه‌های بالایی خطوط جریان نسبت به لایه‌های نزدیک بستر تاثیر بسیار کمی در ایجاد فرسایش پیرامون تکیه‌گاه دارند، ولی این نتیجه نشان می دهد که وجود صفحه باعث تشدید مولفه افقی سرعت در نزدیک بستر که در افزایش قدرت گرداب حلزونی موثر است نشده است. همچنین باعث افزایش بیشتر تراز سطح آب در پشت تکیه گاه نشده است .

ملاحظه گرداب‌ها در شکل‌های فوق نشان می‌دهد که در قسمت پایین‌دست تکیه‌گاه نیز جریان‌های برگشتی و گردابه افقی (بردارها ی سرعت تغییر جهت یافته‌اند) شکل یافته است. وجود گردابه‌های افقی رسوبگذاری و شکل‌گیری تپه‌های رسوبی در بخش پایین‌دست تکیه گاه را بهمراه دارد. برای بررسی مولفه عمودی سرعت شکل (۱۲)، در مقطع کمی بالا دست تکیه گاه، و شکل (۱۳)، در مقطع کمی پس از تکیه گاه رسم شده اند. همان‌طور که از این شکل‌ها ملاحظه می شود، نزدیک سطح آب جهت بردارها روبه پایین و در نزدیک بستر جهت بردارها روبه بالا می‌باشد. افزایش مولفه عمودی سرعت در شکل(۱۲-ب) نسبت به شکل(۱۲-الف) در حدود سه درصد، به دلیل وجود صفحه است که در لبه صفحه اتفاق افتاده است. البته انرژی این بردارها توسط آب نسبتا راکدی که پشت صفحه شکل گرفته مستهلک می‌شود.

در شکل (۱۳) مولفه های عمودی سرعت در مقطع کمی پایین‌دست تکیه‌گاه رسم شده است. وجود جریان روبه بالا و پس از آن جریان روبه پایین مشاهده می‌شود که جریان رو به پایین ناشی از وجود تپه رسوبی می‌باشد. در شکل (۱۳-الف) عمده بردارها رو به پایین هستند و این نشان می‌دهد که آبشستگی در این حالت ممکن است تا فواصل دور تر از تکیه گاه هم برسد ولی در شکل (۱۳-ب) مولفه قائم سرعت تنها در لبه صفحه رو به پائین دیده می‌شود.

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بررسی تغییرات الگوی سه بعدی سرعت جریان که در اثر نصب صفحه‌ی مستغرق به تکیه‌گاه در اطراف آن اتفاق می‌افتد انجام شده است. نتایج نشان داد که نصب صفحه‌ی مستغرق باعث می‌شود تا لایه‌های پائینی خطوط جریان از محل تکیه‌گاه دور شده و در اطراف خود صفحه متمرکز گردند. فشردگی خطوط جریان در این مکان باعث افزایش تنش برشی موضعی و در نتیجه آبشستگی اطراف صفحه می‌شود. ملاحظه شد که مولفه‌های طولی سرعت خطوط جریان بالای صفحه از نظر کمی نسبت به حالت بدون صفحه کمی کاهش یافته(در حد تا پنج درصد) که در نتیجه وجود صفحه باعث افت سطح آب بیشتری نسبت به حالت

بدون صفحه نشده است. وجود صفحه باعث افزایش حدود سه درصد مولفه عمودی سرعت می‌شود که می‌تواند قدرت گرداب رو به پائین را افزایش دهد. این مسئله می‌تواند باعث گردد که آبشستگی در اطراف لبه صفحه مختصری افزایش یابد. در مقایسه با کاربرد صفحات غیرمستغرق متصل به ساحل(جانسون و همکاران ۲۰۰۱)، استفاده از صفحات مستغرق نه تنها عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه را بیشتر کاهش می‌دهد بلکه تغییرات اندکی در توپوگرافی بستر اطراف آن ایجاد کرده و نیز تغییرات تراز سطح آب نیز کمتر می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بخشی از هزینه‌های این تحقیق از محل پژوهانه نویسنده دوم تأمین شده است. از همکاری‌های آقای دکتر حسین خزیمه نژاد در انجام آزمایش‌ها و نیز از دو داور محترمی که ویرایش اول این مقاله را مطالعه و نقطه نظرات با ارزشی ارائه کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱- خادمی، خ. و م. شفاعی بجستان ۱۳۹۳. بررسی اثر تعداد، موقعیت و زاویه‌ی صفحات مستغرق در محل تکیه گاه پل بر عمق آبشستگی، مجله پژوهش آب ایران، دانشگاه شهر کرد، در دست چاپ.

۲- گرگیج، و. و م. شفاعی بجستان۱۳۹۰ آبشستگی در اطراف تکیه گاه کناری در قوس ۹۰ درجه، محموعه مقالات ششمین کنـگره ملی مهنـدسی عمـران، اردیبهشت ، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۳- منصوری هفشجانی، م .و م .شفاعی بجستان(۱۳۹۰)." کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل در قوس رودخانه با استفاده از سنگ‌چین " مجله پژوهش آب ایران، دانشگاه شهر کرد، جلد ۵ شماره ۹، صفحات ۸۲-۷۳.

4- Barbhuiya A.K. and S. Dey 2004. Local scour at abutments: A review, Sadhana, 29(5): 449–476(Open access documents from http://www.ias.ac.in/sadhana/Pdf2004Oct/Pe1183.pdf).

5- Barkdoll, B. D. 2003. Discussion of use of vanes for control of scour at vertical wall abutments by P. A. Johnson, R. D. Hey, M. Tessier, and D. L. Rosgen. Journal of Hydraulic Engineering, 129(3):246.

6- Chang, F., and Davis, S. 1999. Maryland SHA procedure for estimating scour at bridge waterways, Part II Clear water Scour, ASCE Compendium Stream stability and scour at highway bridges, E. Richardson, and P. Lagasse (eds), Reston, VA., pp.412-416.

7- Derrick, D. L. 1996. The bendway weir: An in-stream erosion control and habitat improvement structures for the 1990's. Proc., XXVII International conference on erosion control technology-bringing home, Erosion control association, Steamboat Springs, Colorado, USA, pp.227–241.

8- Froehlich D. C. 1989. Local scour at bridge abutments. Proceeding National Conference on Hydraulic Engineering (New Orleans, LA: American Soceity of Civil Engineering), pp 13–18.

9- Ghorbani, B. and J. A. Kells 2008. Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier. Jounal of Hydraulic Research, 46(4): 610-619.

10- Johnson P.A., Hey R. D., Tessier M., and D. L. Rosgen 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. Journal of Hydraulic Engineering, 127(9): 772–778.

11- Korkut R., Martinez E. J., Morales R., Ettema R. and B. Barkdoll 2006. Geobag performance as scour countermeasure for bridge abutments. Journal of Hydraulic Engineering, 133(4):431–439.

12- Kwan, T.F. 1988. A study of abutment scour. Rep.No.451, School of Engineering, University of Auckland.

13- Lagasse, P. F., Zevenbergen, L. W., Schall, J. D., and P. E. Clopper 2001. Bridge scour and stream instability countermeasures. Report No. FHWA-NHI-01-003, Hydraulic Engineering Circular No. 23 (HEC-23), 2nd Edition, Office of Bridge Technology, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

14- Lauchlan, C. S. 1999. Countermeasures for pier scour. Ph.D. Thesis, The University. of Auckland, Auckland, New Zealand.

15- Li H., B. D. Barkdoll, R. Kuhnle and C. Alonson 2006. Parallel walls as an abutment scour countermeasure Journal of Hydraulic Engineering, 132(5):510-520.

16- Melville, B., S.V. Ballegooy, S. Coleman and B. Barkdoll 2006. Scour countermeasure for wing-wall abutments. Journal of Hydraulic Engineering, 132(6): 563-574.

17- Morales R., R. Ettema and B. Barkdoll 2008. Large-scale flume tests of riprap-apron performance at a bridge abutment on a floodplain journal of Hydraulic Engineering, 134(6): 800–809.

18- Odgaard, A. J., and C. E. Mosconi 1987. Streambank protection by submerged vanes. Journal of Hydraulic Engineering, 113(4): 520–536.

19- Odgaard, J. (2010). Management of river sedimentation using submerged vanes, ASCE Publication, 170p.

20- Przedwojski, B. 1995. Bed topography and local scour in rivers with banks protected by groynes. Journal of Hydraulic Research, 33(2): 257–273.

21- Richardson, E. V., and S.R. Davis 2001. Evaluating scour at bridges. Hydraulic Engineering Circular No. 18, 4th Ed., Federal Highway Administration (FHWA), Arlington, VA.