

مقایسه آزمایشگاهی تاثیر صفحات مستغرق بر توپوگرافی قوس توام با پایه پل منفرد

محمد واقفی^{۱*}، ندا صفری پور^۲، الهام زارعی^۳، امین محمودی^۴، سید شاکر هاشمی^۵

۱- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر
۲ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر
۴ و ۵- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر

*Vaghefi@pgu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۶/۰۷/۰۲]

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۹/۱۷]

چکیده- در این مقاله کاربرد صفحات مستغرق و تاثیر آن بر تغییرات توپوگرافی بستر قوس به‌ویژه اطراف پایه‌ی پل بررسی شده است. برای انجام آزمایش‌ها از یک پایه‌ی استوانه‌ای از جنس PVC به قطر ۵ سانتی‌متر مستقر در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه‌ی تند با انحنای نسبی ۲ با ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر و عرض ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده شد. طول مسیر مستقیم بالادست قوس ۶/۵ متر و طول مسیر مستقیم پایین دست ۵/۱ متر است. در شرایط آب زلال با $\frac{\rho_w}{\rho_c} = 0/97$ این آزمایش‌ها انجام شد. برای مدل‌سازی صفحات مستغرق از صفحاتی از جنس پلکسی گلاس با آرایش‌های مختلف با ضخامت معادل ۲۰ درصد قطر پایه و طولی برابر ۱/۵ برابر قطر پایه با استغراق ۷۵ درصد استفاده شد. موقعیت قرارگیری مرکز صفحات به فاصله‌ی ۷ برابر قطر پایه از مرکز آن است. آزمایش‌ها برای صفحات مستغرق موازی به سمت ساحل داخلی و خارجی انجام گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که صفحاتی که به صورت موازی، با هم پوشانی ۵۰ درصد و با زاویه ۲۵ درجه پادساعتگرد با افق در جهت جریان، بهترین عملکرد در کنترل آبستنگی پایه پل داشته‌اند.

واژگان کلیدی: آبستنگی، پایه پل، صفحات مستغرق، آرایش صفحات، قوس ۱۸۰ درجه.

۱- مقدمه

قابل کنترل باشد. پژوهشگران زیادی روی تاثیر صفحات مستغرق روی رژیم جریان و حمل رسوب در شرایط مختلف کار کرده‌اند که بیشترین استفاده از این نوع صفحات برای کاهش آبستنگی در خم رودخانه‌ها است. در همین راستا اودگارد و اسپولجاریک^۱ (۱۹۸۶)، پیشنهاد کرده‌اند که برای کاهش آبستنگی در خم رودخانه توسط این صفحات

آبستنگی موضعی اطراف پایه پل یکی از دلایل عدم پایداری پل‌ها و در نهایت شکست آنها محسوب می‌شود. به همین دلیل ارائه روش‌هایی برای کنترل و کاهش این پدیده حائز اهمیت است. استفاده از صفحات مستغرق یکی از روش‌هایی است که با تغییر در رژیم حرکت بار بستر این امکان را فراهم می‌سازد تا محل رسوب گذاری و فرسایش

1- Spoljaric

فاصله‌ی بین آن‌ها باید از ۱/۵ برابر طول صفحات کم‌تر باشد [1].

بریان^۱ و همکاران، تاثیر این صفحات در آب‌گیرها را بررسی کرده و محدودیت‌ها و راه‌کارهایی برای اثربخشی بهتر این صفحات را ارائه نمودند که کاهش ۶۰ درصدی حمل رسوب در آب‌گیرها از جمله نتایج این پژوهش است [2]. جانسون^۲ و همکاران، تاثیر تعداد صفحات مستغرق را بر حفاظت از ساحل رودخانه تثبیت شده بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که استفاده از ۲ صفحه‌ی مستغرق تاثیر به‌سزایی در کاهش عمق آبستگي دارد [3]. مارلوئیس^۳، از صفحات مستغرق برای محافظت ساحل رودخانه استفاده نمود. وی نتیجه‌گیری نمود که استفاده از صفحات مستغرق سبب کاهش سرعت جریان حاشیه‌ی ساحل می‌شود [4]. امام‌قلی‌زاده و ترابی، تاثیر صفحات مستغرق در کاهش آبستگي ایستگاه پمپاژ ویس اهواز را با استفاده از مدل آزمایشگاهی بررسی کردند. آنها از دو ردیف صفحات برای تغییر الگوی جریان و حمل رسوب استفاده کرد که منجر به کاهش آبستگي موضعی به مقدار ۶۳ درصد شد [5]. فهمی^۴ و همکاران، برای کاهش رسوبات ورودی آبگیر از صفحات مستغرق استفاده کردند نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از یک ردیف صفحات مستغرق با زاویه‌ی استقرار ۴۰ درجه نسبت به جهت جریان، باعث کاهش ۴۰ تا ۷۵ درصدی حمل رسوبات می‌شود [6]. قربانی و کلز، اثر پره‌های مستغرق بر آبستگي اطراف پایه پل استوانه‌ای با استغراق ۱۰۰ درصد در عمق‌های متفاوت جریان در یک فلوم مستطیلی را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد برای یک صفحه‌ی منفرد کاهش ۱۷/۳ درصد آبستگي در زاویه-ی ۸/۵ درجه نسبت به جهت جریان با عمق جریان ۲۰ سانتی‌متر رخ داده است. استفاده از دو پره‌ی مستغرق با زاویه‌ی ۱۸/۵ درجه نسبت به جهت جریان با عمق جریان

۱۰ سانتی‌متر باعث کاهش ۸۷/۷٪ آبستگي در اطراف پایه شده است [7]. مسجدی و همکاران، اثر زاویه‌ی قرارگیری پره‌های مستغرق بر چاله‌ی آبستگي در یک فلوم قوسی ۱۸۰ درجه را بررسی کردند. آزمایش‌ها با ۴ زاویه‌ی مختلف ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه با اعداد فرود مختلف انجام گرفت. نتایج ایشان نشان می‌داد زاویه‌ی بهینه برای کنترل حجم آبستگي زاویه ۱۵ درجه است و بیشترین عمق آبستگي در زاویه‌ی ۳۰ درجه نسبت به جهت جریان رخ می‌دهد [8]. شفاعی و عزیززی در مطالعه‌ی آزمایشگاهی خود، آبستگي اطراف پره‌های مستغرق مستقر در یک فلوم مستطیلی را بررسی کردند. ۴ تیپ مختلف از صفحات مستغرق شامل یک صفحه مستطیلی ساده و سه صفحه اریب شده در زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به خط عمود، را آزمایش کردند. نتایج ایشان نشان داد که اریب کردن لبه‌ی صفحات باعث کاهش آبستگي اطراف صفحات می‌شود [9]. بارانی و شاهرخی، تاثیر اشکال مختلف صفحات مستغرق در کاهش عمق آبستگي در قوس‌های ۹۰ و ۱۸۰ درجه را آزمودند که در موارد استفاده از ردیف صفحات به صورت زیگزاک، عمق آبستگي تا ۶۲٪ کاهش یافت [10]. بیگی‌پور و همکاران، تاثیر تغییرات فاصله صفحات از دهانه‌ی آبگیر، بر ورود رسوب به آبگیر را بررسی نمودند. نتایج نشان داد وقتی نسبت فاصله صفحان به ارتفاع پره‌ها کوچکتر از ۳ باشد و با تغییر مکان پره‌ها کارایی آنها تغییری نمی‌کند ولی وقتی این نسبت بزرگتر از ۴ باشد با کاهش فاصله، کارایی پره‌ها نیز کاهش می‌یابد [11]. ترونپی^۵ و کومار^۶، بررسی آزمایشگاهی در رابطه با آبستگي موضعی در اطراف صفحات مستغرق با هندسه و زاویه‌های متفاوت برای صفحات انجام دادند و دریافتند با کاهش زاویه، کمینه آبستگي و با افزایش زاویه عمق آبستگي بیشینه در اطراف صفحات رخ می‌دهد و همچنین حجم حفره‌ی آبستگي در مورد صفحات ذوزنقه‌ای در مقایسه با صفحات

1 - Brian
2 - Johnson
3 - Marelius
4 - Fahmy

5 - Teronpi
6 - Kumar

حضور صفحات مستغرق دوتایی با آرایش‌های گوناگون مورد آزمایش قرار گرفته شد.

۲- مواد و روش‌ها

کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه عمران دانشگاه خلیج فارس بوشهر با مشخصات آزمایشگاهی فلوم با سطح مقطع مستطیلی و دیواره‌های شیشه‌ای و کف فلزی با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه و شعاع انحنای نسبی قوس $R/B = 2$ انجام گرفت. ارتفاع فلوم ۹۰ سانتی‌متر و عرض آن ۱۰۰ سانتی‌متر است. در بالادست قوس مسیر مستقیم با طول ۶/۵ متر و در پایین دست آن نیز مسیر مستقیم به طول ۵/۱ متر وجود دارد. آب مورد نیاز از طریق پمپ و با دبی ۷۰ لیتر بر ثانیه از مخزن اصلی به کانال هدایت شد که عمق آب از طریق دریچه‌ی پروانه‌ای در انتهای کانال قابل تنظیم است. تصویری از کانال آزمایشگاه هیدرولیک در شکل (۱) قابل مشاهده است. طبق نتایج چپو [19] بیشینه عمق آبشستگی در شرایط آستانه حرکت رسوبات، در $0/9 \leq \frac{u_{*c}}{u_*} < 1$ رخ می‌دهد پس کلیه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال با $0/97 \leq \frac{u_{*c}}{u_*} < 1$ انجام شد.

شکل ۱. پلان کلی از آزمایشگاه هیدرولیک [18].

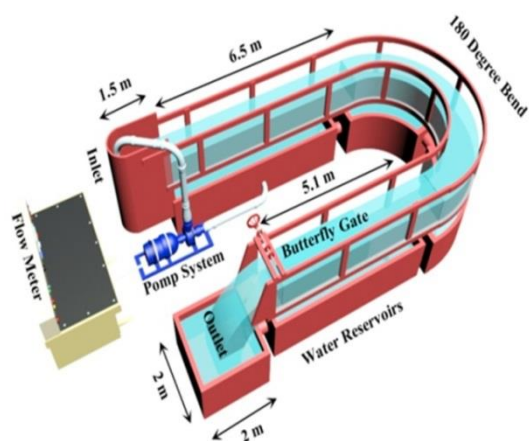


Fig. 1. The plan of Hydraulic Laboratory [18].

طبق توصیه‌های چپو و ملویل [20] قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد. پس برای مدل کردن پایه از لوله‌ی استوانه‌ای شکل از جنس PVC با قطر ۵ سانتی‌متر

مستطیلی و منحنی کم‌تر است [12]. رانجان و همکاران، عملکرد یک ردیف منفرد از پره‌های مستغرق در آبشستگی بستر در خم رودخانه را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد بعد از نصب صفحات، قدرت جریان ثانویه که در جریان به وجود آمده، کاهش می‌یابد [13]. خادمی و شفافی بجنستان، با آزمایش در یک فلوم مستقیم آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند با نصب صفحه مستغرق الگوی جریان نزدیک شونده به گونه‌ای تغییر می‌کند که باعث کاهش عمق آبشستگی در محل تکیه‌گاه تا ۸۹ درصد می‌شود و بیشترین تاثیر در محل تکیه‌گاه با زاویه ۴۰ درجه نسبت به جهت جریان مشاهده شد [14]. دبردانی و همکاران، اثر طول‌های مختلفی از صفحات برای کاهش آبشستگی پایه‌ی پل را بررسی کردند. صفحات با طول‌هایی برابر با ۱، ۰/۶۶، ۰/۵ و ۰/۳۳ برابر قطر پایه با زاویه‌ی قرارگیری ۱۰ درجه نسبت به جهت جریان انتخاب شدند. نتایج نشان می‌دهد صفحات با طولی برابر ۰/۵ برابر قطر پایه نسبت به سایر صفحات، آبشستگی را به میزان بیشتری کاهش دادند [15]. شجاعی و همکاران، کاربرد صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی پایه‌ی استوانه‌ای پل‌ها را بررسی کردند. براساس نتایج این پژوهش در شرایط کاربرد ۶ صفحه مستغرق با حالت‌های مختلف قرارگیری آنها کاهش عمق آبشستگی تا ۵۱٪ حاصل شد. همچنین در شرایط کاربرد ۴ صفحه مستغرق، ۱۲٪ کاهش عمق آبشستگی ایجاد شد. این کاهش در حالت کاربرد ۲ صفحه مستغرق به ۵٪ رسید. بنابراین کاربرد ۶ صفحه مستغرق با زوایای متفاوت در هر ردیف بهترین وضعیت برای کاهش عمق آبشستگی پایه پل در این پژوهش بود [16]. حسینی و همکاران، کاربرد صفحات مستغرق در کنترل آبشستگی اطراف پایه‌های پل مستطیلی با دماغه‌ی گرد را بررسی کرده اند از مهم‌ترین نتایج این پژوهش این است که با افزایش زاویه‌ی پایه نسبت به جهت جریان از تاثیر صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی کاسته می‌شود [17].

در این پژوهش به بررسی آبشستگی اطراف پایه‌ی پل با حضور صفحات مستغرق در قوس ۱۸۰ درجه تند پرداخته شده است. بدین منظور پایه‌ی پل مستقر در موقعیت ۹۰ درجه با

در موقعیت ۹۰ درجه، واقع در خط مرکزی کانال استفاده شد. صفحات مستغرق مستطیلی از جنس پلکسی گلاس با ضخامت معادل ۲۰ درصد قطر پایه (۱ سانتی متر) و به طول ۱/۵ برابر قطر پایه (۷/۵ سانتی متر) و با درصد استغراق ۷۵٪ (۴/۵ سانتی متر ارتفاع روی بستر) با آرایش‌های مختلف و زاویه‌ی قرارگیری با خط افقی ۲۵ درجه تحت آزمایش قرار گرفتند. موقعیت قرارگیری مرکز صفحات، به فاصله‌ی ۷ برابر قطر پایه (۳۵ سانتی متر) از مرکز پایه در بالادست آن است. در تمامی آزمایش‌ها دبی جریان ۷۰ لیتر بر ثانیه و عمق جریان برابر ۱۸ سانتی متر در ابتدای قوس در نظر گرفته شد. طبق توصیه رادکیوی و اتما [21] برای جلوگیری از تشکیل ریپل، قطر متوسط ذرات باید بزرگتر از ۰/۷ میلی‌متر انتخاب گردد در نتیجه اندازه‌ی متوسط ذرات رسوب (d_{50}) برابر ۱/۵ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی (σ_g) برابر ۱/۱۴ تعیین شد. در طول زمان آزمایش، عمق آبستنگی پیرامون پایه توسط خط کش الکترونیکی در بازه‌های زمانی متفاوت اندازه گیری شد.

در شکل (۲) موقعیت و زاویه قرارگیری صفحات در قوس شده است.

۳- نتایج و بحث

در جدول (۱) مشخصات مربوط به آزمایش‌ها همراه با بیشینه عمق آبستنگی و درصد کاهش آبستنگی نسبت به آزمایش پایه پل تنها نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات مربوط به آزمایش‌ها

Row	Symbol of test	Maximum of scour (cm)	Reduction of percent
1	P	13.5	-
2	PV1	12	11
3	PV2	11	18.5
4	PV3	10.5	22.2
5	PV4	11.1	17.7
6	PV5	10.4	23

Table 1. Characteristics of experiments

در شکل (۳) آزمایش زمان تعادل نسبی نشان داده شده است. زمان معادل ۵ ساعت که در آن عمق آبستنگی بیشینه به ۷۵ درصد آبستنگی کل رسیده است به عنوان زمان تعادل نسبی در نظر گرفته شده است.

شکل ۲. موقعیت و زاویه قرارگیری صفحات در قوس

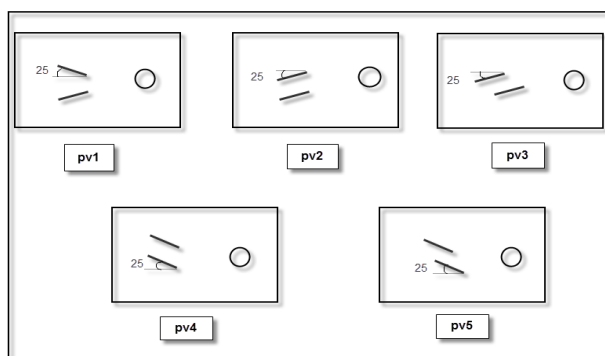


Fig. 2. The position and angle of the vanes in the bend

شکل ۳. منحنی توسعه زمانی آبستنگی در آزمایش زمان تعادل

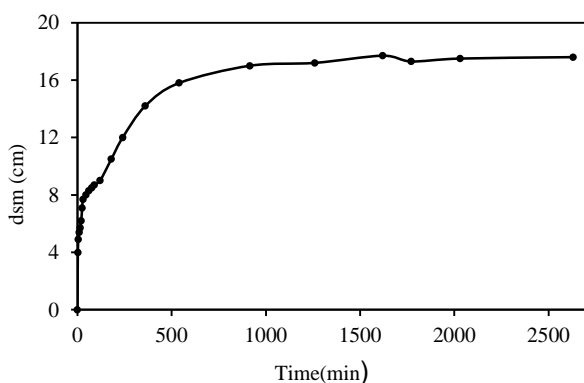


Fig. 3. The alteration of scour depth during the equilibrium test

۲-۱ آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در ۷ تیپ مختلف شامل: قوس خالی، تک پایه و پایه همراه با صفحات مستغرق انجام شدند. صفحات مستغرق به صورت دوتایی موازی به سمت قوس خارجی و نیز داخلی استفاده شده است. فاصله‌ی صفحات در امتداد عمود بر جریان برابر ۷/۵ سانتی متر (۱/۵ برابر قطر پایه) و

(زاویه ی ۶۰ درجه)، تغییرات در تمامی آزمایش ها مشابه هم بوده است. این تغییرات در حالت کلی بدین صورت است که از ساحل داخلی تا ۲۵ درصد عرض کانال، پشته های رسوبی مشاهده می شود و تقریباً از فاصله ی ۲۵ درصد تا ۴۰ درصد عرض کانال در نزدیکی بستر و در طول این بازه، آبستگي بوقوع پیوست که این آبستگي از زاویه ۳۰ درجه مشهودتر است.

عملکرد اصلی صفحات مستغرق در کاهش آبستگي پایه پل، بیشتر تحت تأثیر آرایش هندسی صفحات است. تغییرات توپوگرافی بستر آزمایش ها در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می شود در تمامی آزمایش ها در قسمت ساحل داخلی پشته ی رسوبی تشکیل شده است. در ساحل خارجی تغییرات قابل ملاحظه ای رخ نداده است. از ابتدای قوس تا حدود ۳۰ درصد طول قوس

شکل ۴. تغییرات توپوگرافی بستر در حالات مختلف الف) P، ب) PV1، ج) PV2، د) PV3، و) PV4 و ی) PV5

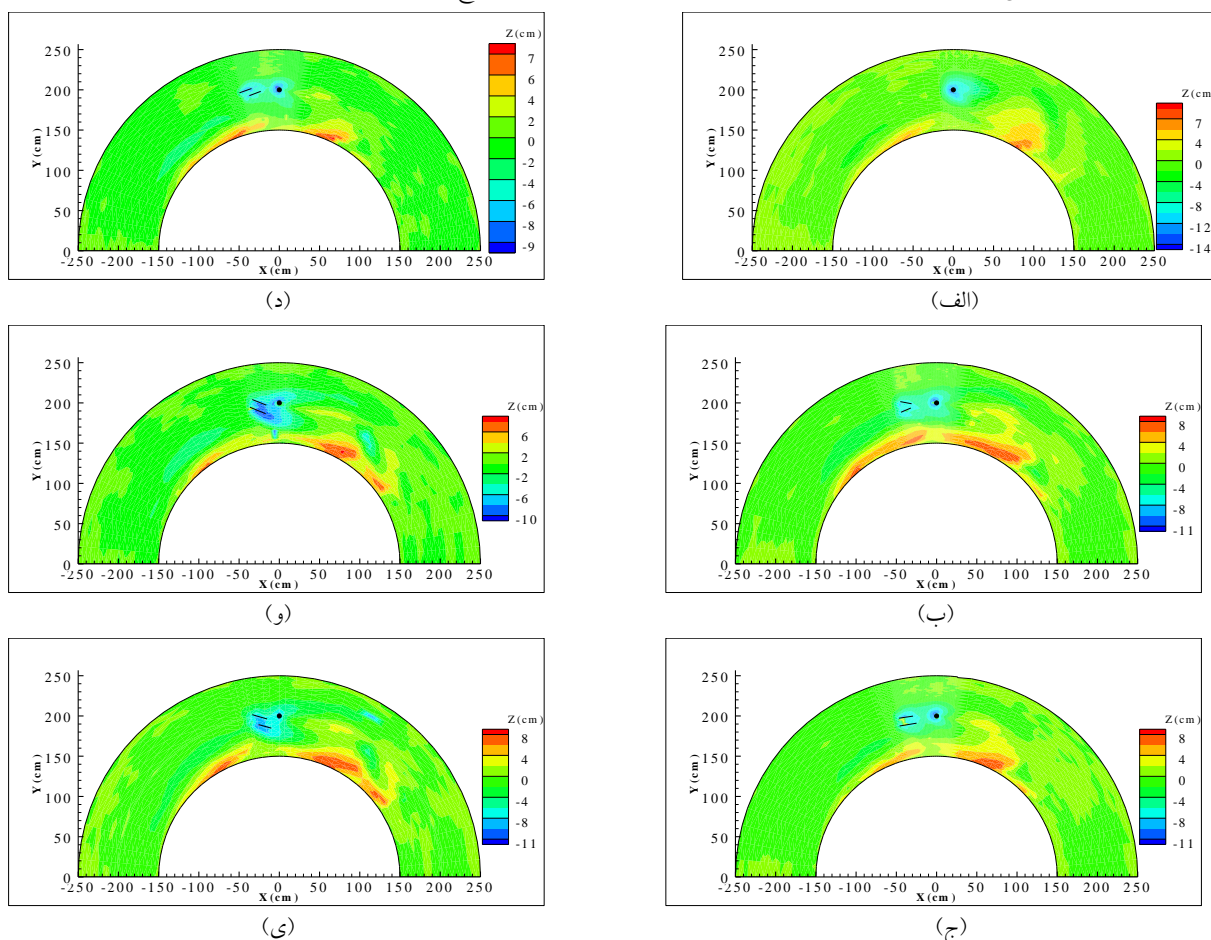


Fig. 4. Bed topography changes in a) P, b) PV1, c) PV2, d) PV3, e) PV4 and f) PV5

هدایت رسوبات به سمت ساحل داخلی در شکل (۵) نمایان است. هنگامیکه صفحات با زاویه ی ساعتگرد (آزمایش های PV4 و PV5) در قوس قرار می گیرند گستردگی چاله ی آبستگي پیرامون صفحات، به چاله ی پایه اطراف می رسد. با قرارگیری صفحات با زاویه ی پادساعتگرد (آزمایش های PV2 و PV3) گستردگی چاله ی اطراف صفحات کمتر بوده و به چاله ی اطراف پایه نمی رسد.

شکل ۵. نمونه ای از تشکیل پشته ی رسوبی در ساحل داخلی



Fig. 5. The view of sedimentary deposit formation on the inner bank

شکل ۶. نمونه‌ای از مقاطع عرضی بستر به فاصله‌ی معادل ۸ برابر قطر پایه به سمت بالادست از محل استقرار پایه (معادل موقعیت ۷۸ درجه از ابتدای قوس)

شکل ۷. نمونه‌ای از پروفیل عرضی بستر به فاصله‌ی معادل ۳/۵ برابر قطر پایه به سمت بالادست از محل استقرار پایه (معادل موقعیت ۸۵ درجه از ابتدای قوس)

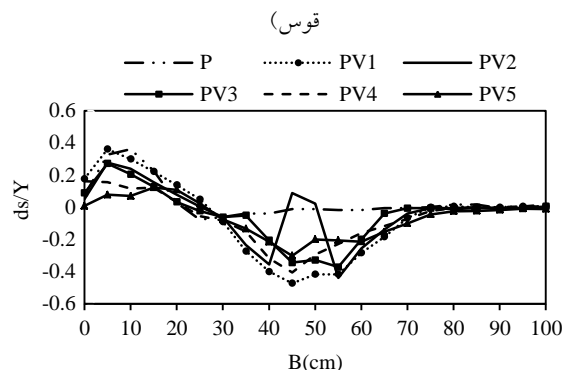


Fig. 6. A typical bed profile at a distance equal to 8 times the pier diameter toward the upstream from bridge pier location (78 degree from first of bend)

شکل ۸. نمونه‌ای از پروفیل عرضی بستر در محل استقرار پایه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود چاله آبشستگی از موقعیت معادل ۱۵ تا ۷۵ درصد عرض کانال از ساحل داخلی برای آزمایش‌های مختلف گسترش یافته است در مورد آزمایش تک پایه، افزایش عمق و نیز گسترش بیشتر چاله آبشستگی مشاهده می‌شود. با قرارگیری صفحات، عمق چاله‌ی آبشستگی به طور میانگین به میزان ۵۸ درصد کاهش یافته است.

شکل ۸ (۸) پروفیل عرضی بستر در محل استقرار پایه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود چاله آبشستگی از موقعیت معادل ۱۵ تا ۷۵ درصد عرض کانال از ساحل داخلی برای آزمایش‌های مختلف گسترش یافته است در مورد آزمایش تک پایه، افزایش عمق و نیز گسترش بیشتر چاله آبشستگی مشاهده می‌شود. با قرارگیری صفحات، عمق چاله‌ی آبشستگی به طور میانگین به میزان ۵۸ درصد کاهش یافته است.

شکل ۸. نمونه‌ای از پروفیل عرضی بستر در محل استقرار مرکز پایه (معادل موقعیت ۹۰ درجه از ابتدای قوس)

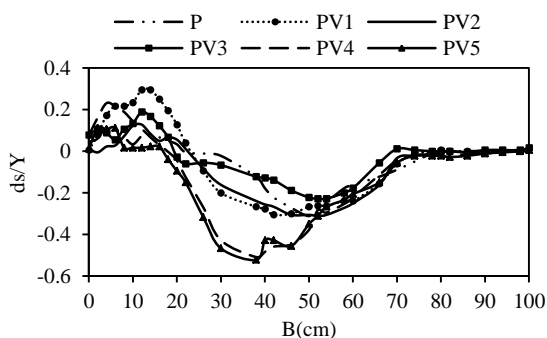


Fig. 7. A typical lateral bed profile at a distance equal to 3.5 times the pier diameter toward the upstream from bridge pier location (85 degree from first of bend)

شکل ۸. نمونه‌ای از پروفیل عرضی بستر در محل استقرار مرکز پایه (معادل موقعیت ۹۰ درجه از ابتدای قوس)

شکل ۸. نمونه‌ای از پروفیل عرضی بستر در محل استقرار مرکز پایه (معادل موقعیت ۹۰ درجه از ابتدای قوس)

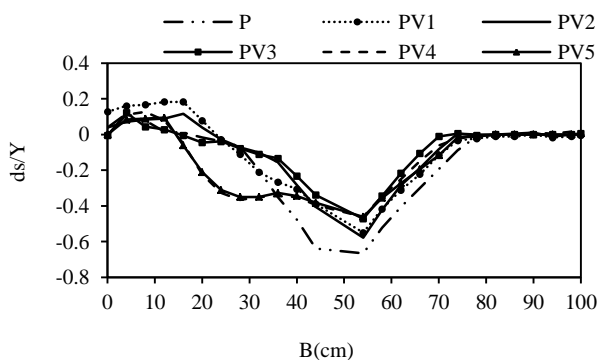


Fig. 8. A typical lateral bed profile at a location of bridge pier (90 degree from first of bend)

درصد عرض کانال از ساحل داخلی را نشان می‌دهد. مطابق این شکل در تمامی آزمایش‌ها مقدار رسوبات در حد فاصل ۴۰ تا ۱۴۰ درجه از قوس ۱۸۰ درجه، دارای بیشترین میزان است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود روند تغییرات رسوبگذاری و آبستگي شکل شبه سینوسی دارد که نقاط اوج، موقعیت رسوبگذاری و نقاط حضیض موقعیت‌های وقوع آبستگي را نشان می‌دهد. همچنین این تغییرات بر مکان هندسی سرعت بیشینه با توجه به تند بودن قوس نیز هماهنگ است.

شکل (۱۱) پروفیل طولی بستر از وسط کانال را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل در میانه‌ی کانال در بالادست صفحات، تغییراتی در توپوگرافی بستر مشاهده نمی‌شود. پشته‌های رسوبی در پایین‌دست پایه، تشکیل شده و تا ۱/۸ برابر عرض کانال از محل استقرار آن ادامه یافته است. بعد از آن تغییرات قابل ملاحظه‌ای رخ نداده است. بواسطه شعاع انحنای نسبی قوس مورد نظر و قرارگیری این قوس در محدود قوس‌های تند، سرعت بیشینه در فاصله بین ساحل داخلی تا حدود میانه‌های قوس، در طول قوس تغییر می‌کند. به همین دلیل تغییرات در نزدیکی ساحل خارجی کمتر مشاهده می‌شود.

شکل ۱۱. نمونه‌ای از پروفیل طولی بستر در میانه‌ی کانال، محل

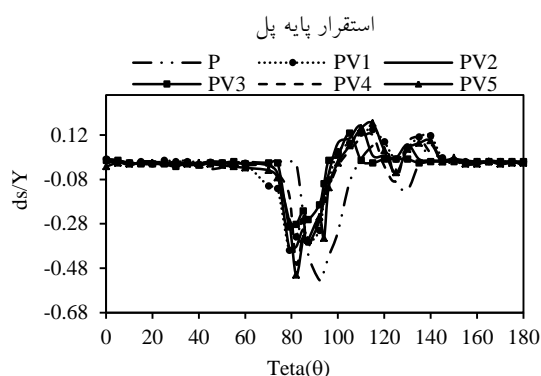


Fig. 11. A typical longitudinal bed profile at a middle of channel, location of bridge pier

نمونه‌ای از پروفیل طولی بستر نزدیک ساحل خارجی در فاصله‌ی ۹۵ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود.

شکل ۹. نمونه‌ای از پروفیل عرضی بستر به فاصله‌ی معادل ۲/۵ برابر قطر پایه به سمت پایین‌دست از محل استقرار پایه (معادل موقعیت ۹۲ درجه از ابتدای قوس)

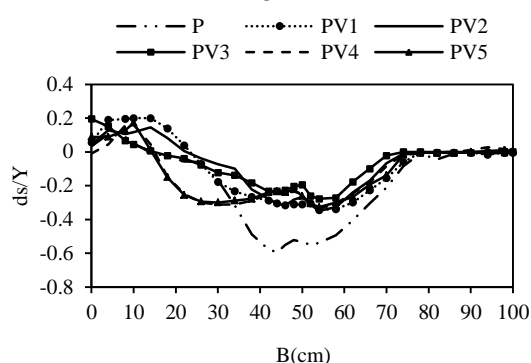


Fig. 9. A typical lateral bed profile at a distance equal to 2.5 times the pier diameter toward the downstream from bridge pier location (92 degree from first of bend)

با توجه به شکل (۸) در آزمایش PV3 کمترین میزان آبستگي در این مقطع و نیز مقاطع اطراف، بیانگر تاثیر صفحات مستغرق در کاهش آبستگي است. عمق آبستگي بیشینه در این مقطع در آزمایش PV3 به طور میانگین ۵۰ درصد کاهش پیدا کرده است. این روند در مقاطع پایین‌دست نیز دیده می‌شود که نمونه‌ای از آن در شکل (۹) و برای مقطع عرضی به فاصله ۲/۵ برابر قطر پایه به سمت پایین دست از محل استقرار پایه ارائه شده است. کمترین تغییرات توپوگرافی بستر در آزمایش‌های PV1، PV2 و PV3 مشاهده شد که در آزمایش PV3 مشهودتر است.

شکل ۱۰. نمونه‌ای از پروفیل طولی بستر در فاصله‌ی ۵ درصد عرض

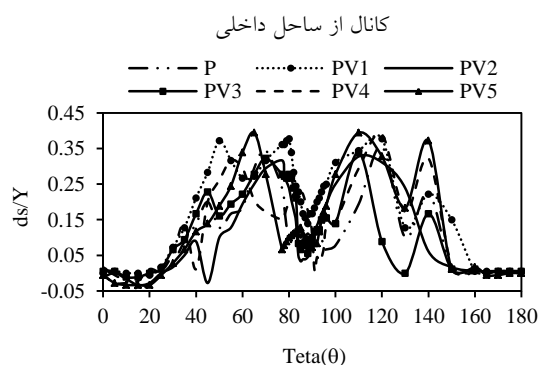


Fig. 10. A typical longitudinal bed profile at a distance of 5% of the channel's width from the inner bank

شکل (۱۰) برای نمونه پروفیل طولی بستر به فاصله ۵

در شکل (۱۴) طول و عرض بی بعد شده مستطیلی محیطی آبشستگی با قطر پایه پل را نشان می دهد. در این شکل L طول و L' عرض مستطیل محاط شده بر چاله آبشستگی و D قطر پایه است. همان گونه که مشاهده می شود آزمایش $PV5$ بیشترین مساحت محیطی معادل بر چاله آبشستگی اصلی را داراست.

شکل (۱۵) نمودار تغییرات زمانی عمق آبشستگی بیشینه را نشان می دهد. در کل زمان آزمایش، آزمایش تک پایه عمق آبشستگی بیشتری نسبت به سایر آزمایش ها داشته که با قرارگیری صفحات این میزان آبشستگی نزول پیدا کرده است. آزمایش $PV3$ ، کمترین میزان آبشستگی بیشینه را داراست. بعد از گذشت نیمی از زمان آزمایش همانطور که در شکل مشخص است عمق آبشستگی در این آزمایش به طور میانگین ۳۰ درصد در مقایسه با آزمایش تک پایه کاهش پیدا کرده است.

شکل ۱۵. نمودار تغییرات آبشستگی برای پایه ی پل در حالت حضور

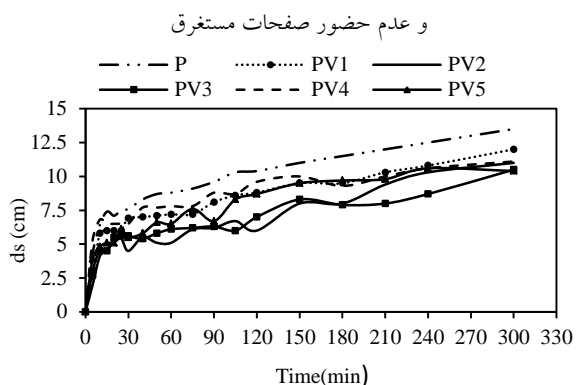


Fig. 15. Maximum scour depth variations around bridge pier in the presence and absence of submerged vanes

همچنین نوسانات دیده شده در نمودارهای تغییرات زمانی آزمایش ها توأم با صفحه، بیانگر هدایت رسوبات به سمت چاله ی آبشستگی حول پایه پل بوده که باعث شده است در قسمت هایی از زمان آزمایش آبشستگی بیشینه به جای روند صعودی، روند نزولی داشته باشد. این تغییرات در ابتدای زمان آزمایش نمود بیشتری دارد. در آزمایش های $PV4$ و $PV5$ به دلیل اینکه صفحات به صورت ساعتگرد قرار گرفته اند جریان به سمت ساحل داخلی هدایت شده و عمق

شکل ۱۲. نمونه ای از پروفیل طولی بستر در فاصله ی ۹۵ درصدی عرض

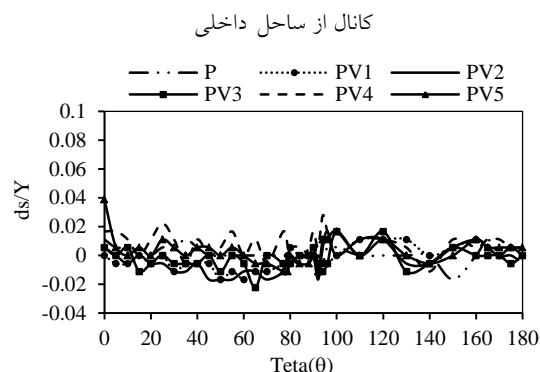


Fig. 12 A typical longitudinal bed profile at a distance of 95% of the channel's width from the inner bank

همان گونه که در شکل (۱۳) مشاهده می شود موقعیت وقوع عمق بیشینه آبشستگی بین زاویه ی ۸۸ تا ۹۰ درجه است و حدود تغییرات آن بین ۰/۵ تا ۰/۷ عمق جریان در ابتدای قوس است.

شکل ۱۳. عمق آبشستگی بی بعد شده بیشینه و موقعیت آنها در تمام آزمایش ها

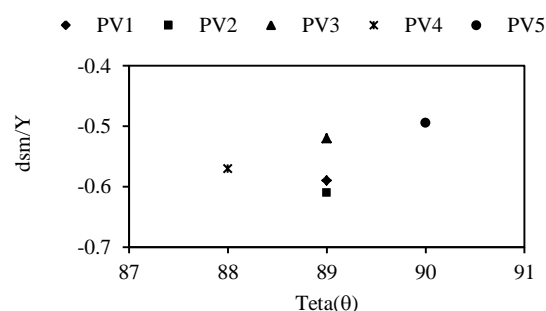


Fig. 13. The maximum dimensionless scour depth and their position in all experiments

شکل ۱۴. ابعاد بی بعد شده ی مستطیل محیطی شده اطراف چاله

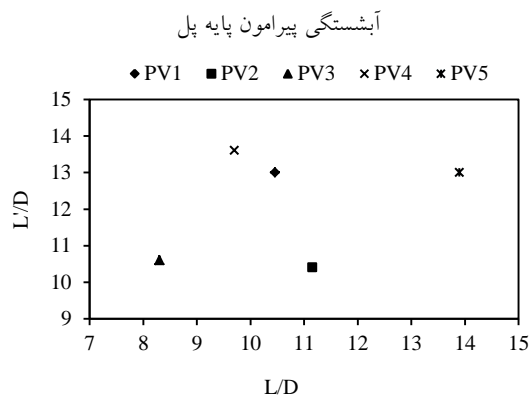


Fig. 14. The dimensions of the rectangle surrounding the scour hole around bridge pier

- 4- Marelius F. 2001 Experimental investigation of vanes as a means of beach protection. *Coastal engineering*, **42**(1), 1-16.
- 5- Emamgholizadeh S. & Torabi H. 2008 Experimental investigation of the effects of submerged vanes for sediment diversion in the veis (ahwaz) pump station. *Journal of Applied Sciences*, **8**(13), 2396-2403.
- 6- Abdel Haleem F., Helal Y., Ibrahim S. & Sobeih M. 2008 Sediment control at river intakes using a single row of vanes. *Ain Shams Journal of Civil Engineering*, **2**, 395-401.
- 7- Ghorbani B. & Kells A. 2008 Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier. *Journal of hydraulic research*, **46**(5), 610-619.
- 8- Masjedi A., Morattab B. & Savari A. 2011 Study of effect angle of submerged vanes on scour hole at flum bend. *World applied sciences journal*, **13**(9), 2047-2051.
- 9- Bejestan M. S. & Azizi R. 2012 Experimental investigation of scour depth at the edge of different submerged vane shapes. *World Environmental and Water Resources Congress*.
- 10- Barani G. A. & Shahrokhi Sardo M. 2013 Experimental investigation of submerged vanes' shape effect on river-bend stability. *Journal of Hydraulic Structures*, **1**(1), 37-43.
- 11- Beygipoor Gh., Shafae M., Kaskuli H & Nazari S. 2013 The effect of distance from submerged vanes to the intake at different angles of vanes on controlling the sediment entering the intake branching from a 90 convergent bend.
- 12- Teronpi J. & MISRA D. U. K. 2014 Experimental investigation of local scour around submerged vane. *International journal of innovative research in advanced engineering*, **2**(7), 21-24.
- 13- Ranjan R., Ahmad M. & Asawa F. 2006 Effect of spacing of submerged vanes on bed scour around river bends. *ISH journal of hydraulic engineering*, **12**(2), 49-65.
- 14- khademi Kh. & Bajestan M. 2014 Investigating the effect of the number, position and angle of the submerged vanes at the location of the bridge on scour depth. *Iranian Water Research Journal*, **8**(15), 153-145. In Persian
- 15-Debardani A., Sanei M. & Ghorbani., B. 2010 Investigation the effect of application of two submerged vanes with different lengths on reducing local scour of bridge pier using temporal chart. *The 9th Iranian Hydraulic Conference*. In Persian
- 16- Shojaee P., Farsadzade D. & Hoseinzade A. 2011 The effect of submerged vanes and collar on reducing the scour depth of cylindrical bridges. *journal of Soil and Water Sciences*, **15**(57). In Persian
- 17- Hoseini H., Hoseinzade A., Farsadzade D., Arvanghi H. & Ghorbani M. 2011 Application of submerged vanes to control the scouring around the rectangular bridge pier with a rounded nose. *Civil Engineering and Surveying Journal*, **3**(45), 301-310. In Persian
- 18- Vaghefi M., Akbari M. & Fiouz A. 2016 An

آبشستگی پایه نسبت به حالتی که صفحات پادساعتگرد قرار گرفته باشند دو چندان می شود.

۴- نتیجه گیری

استفاده از صفحات مستغرق تاثیر به سزایی در کاهش عمق آبشستگی پایه پل داشته است.

کاهش عمق آبشستگی بیشینه در حالت صفحات موازی با هم پوشانی ۵۰ درصد ساعتگرد و نیز پادساعتگرد حدود ۲۳ درصد نسبت به تک پایه بوده است. اما گستردگی چالهی آبشستگی در حالت صفحات مستغرق ساعتگرد در مقایسه با پادساعتگرد حدودا ۲ برابر است.

عمق آبشستگی در آزمایش با صفحه مستغرق در مقایسه با تک پایه، کاهش یافت.

دامنه ی تغییرات عمق آبشستگی بیشینه حول پایه ۰/۵ تا ۰/۷ برابر عمق جریان در بالا دست قوس، اندازه گیری شد که در آزمایش تک پایه بیشترین مقدار ممکن و در آزمایش صفحات موازی با هم پوشانی ۵۰ درصد به سمت ساحل خارجی کمترین مقدار خود را داشته است. که نشان دهنده ی عملکرد بهتر قرارگیری صفحات به صورت موازی با هم پوشانی ۵۰ درصد با زاویه ی پادساعتگرد است. با توجه به مشاهدات انجام شده در طول زمان انجام آزمایش ها میزان پیشروی رسوبات در آزمایش صفحات موازی با هم پوشانی ۵۰ درصد و پاد ساعتگرد کمترین، و در آزمایش صفحات موازی با هم پوشانی ۵۰ درصد و ساعتگرد بیشترین مقدار بود. که این میزان پیشروی از محل استقرار پایه بین ۱/۵ تا ۲ برابر عرض کانال بوده است.

References

۵- مراجع

- 1- Odgaard A. J. & Spoljaric A. 1986 Sediment control by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, **112**(12), 1164-1180.
- 2- Barkdoll B. D., Ettema R. & Odgaard A. J. 1999 Sediment control at lateral diversions: limits and enhancements to vane use. *Journal of hydraulic engineering*, **125**(8), 862-870.
- 3- Johnson P., Hey R. D., Tessier M. & Rosgen D. L. 2001 Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, **127**(9), 772-778.

- 20- Chiew Y. M. & Melville B. W. 1987 Local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, **25**(1), 15-26.
- 21- Raudkivi A. J. & Ettema R. 1983 Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, **109**(3), 338-350.

- experimental study of mean and turbulent flow in a 180 degree sharp open channel bend: Secondary flow and bed shear stress. *Journal of KSCE Journal of Civil Engineering*, **20**(4), 1582-1593.
- 19- Chiew Y. M. 1984 Local scour at bridge piers. Thesis (PhD- Civil Engineering) University of Auckland.

Experimental investigation on the effect of overlapping upstream submerged vanes on bend topography with a bridge pier

M. Vaghefi^{1*}, N. Safaripour², E. Zarei³, A. Mahmoudi⁴, Sh.Hashemi⁵

1- Associate Professor of Hydraulic Structures, Civil Engineering Department, Persian Gulf University, Bushehr

2,3- M.Sc. Student of Hydraulic Structures, Persian Gulf University, Bushehr

4,5- Assistant Professor, Civil Engineering Department, , Persian Gulf University, Bushehr

*Vaghefi@pgu.ac.ir

Abstract:

Submerged vanes are simple structures that can be used to control the sediment and redistribute the flow in open channels. Submerged vanes are low aspect ratio flow-training structures mounted vertically on the riverbed at an angle to the prevailing flow. The technique of submerged vanes is a new and efficient sediment management method in rivers. Odegard and et al (1991) are the creators of the idea of using vanes, they have chosen the angle of the vanes between 15 to 25 degrees and found that the vortex created by the vanes causes a change in the amount and direction of shear stress and dispersion velocity and depth, is resulting in sediment transport. When a submerged vane is installed in the river bed with a small angle to the flow direction, due to the pressure difference on either side of the vane, vortex and induced circulation is created around the vane. as a result of this vortex, at the downstream of vane, sediment are taken from the suction side of the vane and are deposited on the pressure side of the vane. So by installing a row of vanes on the riverbed, sediment can be distributed over a larger surface. In river meandering, when flow passes through a bend, reduction of flow velocity and rising hydrostatic pressure cause super elevation phenomena at outer side and reduction of water surface at inner-side of the bend. A helical motion results, causing erosion of the outer side of the bend. Installation of submerged vanes on the stream bed can reduce erosion of the outer bank significantly. Most of previous studies in this regard have been tested in a rectangular flume cross section. In this research use of submerged vane and its influence on the bed topography changes, especially around the bridge pier is studied. Experiments were conducted in the laboratory flume with a 180 degree bend with rational curvature of 2, height of 90 cm, width of 100 cm and a length of straight direction upstream and downstream of the bend respectively 6.5 m and 5 m. Materials that had been used in these experiments had specific gravity of 1.5. the diameter of cylindrical pier was 5 cm. With clear water conditions $\frac{u_*}{u_{*c}} = 0.97$, the water discharge of 70 liters per second, with a depth of 18 cm were tested. The vane was made of 10 mm thick plaxi glass. The height of the vane above the streambed level was 4.5 cm, 75% of the flow depth and its length is 7.5 cm (1.5 D, D= pier's diameter). Dissimilar arrays of vanes with same angles (25 degree) to main flow direction were employed. Five experiments were carried out considering various positions of the submerged vanes and one experiment was done without the presence of vanes, only with a bridge pier located at 90 degrees. The performance and efficiency of a submerged vane is related to its position. The results illustrate that the experiment with vanes in parallel, by overlapping of 50%, under angle of 25 degrees counterclockwise with the horizon in the direction of flow, has the best performance in control of pier scour protection.

Keywords: Scouring, Bridge pier, Submerged vanes, 180 Degree bend.