

تأثیر کاهش ۲۰ درصدی طول همپوشانی صفحات مستغرق بالادستی پایه پل بر توپوگرافی بستر در قوس تند ۱۸۰ درجه

چنور عبدی چوپلو^۱، محمد واقفی^{۲*}، سید حامد معراجی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

*Vaghefi@pgu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۷/۱۲/۲۲]

تاریخ دریافت: [۹۷/۰۷/۲۵]

چکیده

صفحات مستغرق سازه‌های مستطیلی نازکی هستند که به لحاظ داشتن زاویه با جهت جریان ناحیه پرفشار و کم‌فشار در دو طرف آن‌ها ایجاد می‌شود. این سازه‌ها باعث ایجاد گرداب ثانویه و تغییر الگوی جریان در کف رودخانه و در نتیجه تغییر انتقال رسوب و آبستگي می‌شوند. عملکرد صفحات مستغرق برای کاهش آبستگي پایه پل و حرکت رسوب از اطراف صفحات به علت ایجاد جریان رو به پایین در جلوی آن‌ها تحت تأثیر چگونگی قرارگیری صفحات است. این صفحات در مقطع عرضی کانال طراحی و با زاویه کوچکی نسبت به جهت جریان به صورت عمود در بستر نصب می‌شوند. در این مقاله اثر کاهش ۲۰ درصدی طول همپوشانی صفحات و در چند موقعیت متفاوت صفحات در کانال، در کاهش آبستگي پیرامون پایه پل بررسی شود. بدین منظور پایه پل استوانه‌ای شکل به قطر ۵ سانتی‌متر در کانال آزمایشگاه با قوس ۱۸۰ درجه تند، عرض یک متر در شرایط آب زلال با $U/U_c = 0/98$ انجام شد. صفحات مستغرق از جنس پلکسی‌گلس با ضخامت یک سانتی‌متر و ارتفاع خارج از بستر ۴/۵ سانتی‌متر استفاده شد. براساس نتایج این پژوهش کاهش ۲۰ درصدی طول همپوشانی صفحات مستغرق عمق حفره آبستگي اطراف پایه را ۳۰ درصد کاهش می‌دهند. بیشترین و کمترین ارتفاع رسوبگذاری به ترتیب در آزمایش‌های با طول همپوشانی ۸۰ و ۱۰۰ درصد با استقرار صفحات به ترتیب در فاصله‌ی معادل ۷/۵ و ۵ برابر قطر پایه از آن و فاصله ۲ برابر قطر پایه از همدیگر اتفاق افتاد، که به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۴۴ برابر عمق جریان در ابتدای قوس است.

کلیدواژه‌ها: آب زلال، آبستگي، پایه پل، صفحات مستغرق، طول همپوشانی صفحات مستغرق

۱- مقدمه

یا کاهش آثار آن اندیشیده نشود، سازه پل با خطر انهدام مواجه خواهد بود بنابراین شناخت روش‌هایی که بتواند آثار مخرب پدیده آبستگي را کاهش دهد لازم و ضروری است.

آبستگي موضعی در مجاورت پایه پل‌ها همواره به عنوان یک مشکل به ویژه در زمان وقوع سیلاب‌ها در رودخانه‌ها مطرح بوده است که اگر تمهیدات لازم برای پیشگیری از این پدیده و

یکی از روش‌های استفاده شده برای حفاظت پایه‌های پل در برابر آبشستگی استفاده از صفحات مستغرق است. تکنیک استفاده از صفحات مستغرق در اوایل دهه‌ی هشتاد میلادی توسط ادگارد و کندی^۱ در سال ۱۹۸۳ در انیستیتوی هیدرولیک دانشگاه آیووا به منظور حفاظت سواحل خارجی پیچ رودخانه استفاده شد [1]. پس از آن توسط ادگارد و وانگ^۲ در سال ۱۹۸۷ برای کنترل آبشستگی کنار پایه‌های استوانه‌ای مورد توجه قرار گرفت. آن‌ها در آزمایش‌های خود از ترکیب صفحات مستغرق، صفحات مدفون و طوق برای کاهش آبشستگی پایه پل تحت شرایط بستر زنده استفاده کردند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که صفحات مستغرق آبشستگی کناره پایه‌های استوانه‌ای را ۳۶ درصد کاهش می‌دهند [2]. نقش این صفحات ایجاد چرخش ثانویه در جریان است. جریان چرخشی ناشی از تغییرات فشار عمودی در دو طرف سطح صفحه است. ترکیب این چرخش با سرعت در جهت جریان، سبب ایجاد حرکت مارپیچی در پایین دست صفحات شده و این حرکت مارپیچی تنش برشی عرضی در بستر رودخانه ایجاد می‌کند که منتج به انتقال رسوب در جهت عرضی می‌شود. در پیچ رودخانه‌ها وجود نیروی گریز از مرکز در خم باعث ایجاد اختلاف ارتفاعی در سطح آب در دو سوی یک مقطع می‌شود که این اختلاف هد ایجاد شده موجب شکل‌گیری جریانی در جهت عرضی داخل مقطع می‌شود که به جریان ثانویه موسوم است. ترکیب این جریان با جریان طولی آبراهه، جریان حلزونی را بوجود می‌آورد. این جریان نقش بسیار موثری را در شکل‌دهی پروفیل عرضی بستر که وابسته به تنش برشی کف در راستای عرضی است، ایفا می‌کند. حال پس از استفاده از صفحات مستغرق در این مکان‌ها، جریان چرخشی ناشی از تغییرات فشار عمودی در دو طرف سطح صفحه باعث می‌شود که فشار جریان در وجه پرفشار از پایین صفحه به سمت بالای آن کم‌تر می‌شود. اما در وجه کم‌فشار صفحه، فشار از پایین صفحه به سمت بالای آن افزایش می‌یابد. در واقع، سیال در سمت پرفشار صفحه دارای مؤلفه سرعت رو به بالا و در سمت کم‌فشار دارای مؤلفه سرعت رو به پایین است؛ ترکیب چرخش

ایجاد شده با جریان حلزونی، سبب ایجاد یک حرکت مارپیچی پیچیده در پایین دست صفحات شده و منتج به انتقال رسوب در جهت عرضی می‌شود. مارلویس و سینها^۳ در سال ۱۹۹۸ از یک صفحه مستغرق در یک فلوم مستقیم با بستر متحرک استفاده نمودند. پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که شیب عرضی ایجاد شده در بستر با افزایش زاویه صفحه، افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین شیب عرضی در زاویه ۴۵ درجه برخورد جریان بوده و برای زوایای بیشتر، شیب عرضی کاهش می‌یابد [3]. بارکدل و همکاران^۴ در سال ۱۹۹۹ نیز با مدل کردن یک آبگیر به بررسی آزمایشگاهی استفاده از صفحات مستغرق در جلوگیری از ورود رسوبات به درون آبگیر پرداختند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که نصب صفحات در قسمت جلو آبگیر میزان رسوبات وارد شده به آبگیر را ۷۰ تا ۸۰ درصد کاهش می‌دهد [4]. لاچلان^۵ در سال ۱۹۹۹ تاثیر صفحات مستغرق بر کاهش آبشستگی پایه پل در دو حالت جریان آب زلال و بستر زنده را بررسی کرده و از دو سری صفحات مستغرق متفاوت استفاده کرد [5]. کشاورزی و شمس‌الدینی-نژاد^۶ در سال ۲۰۰۲ نیز تاثیر زوایای مختلف کارگذاری صفحات مستغرق در کنترل و کاهش جریانه‌ای ثانویه در محل آبگیر جانبی ۹۰ درجه را بررسی کردند [6]. تان و همکاران^۷ در سال ۲۰۰۵ ویژگی‌های حرکت جریان و رسوب اطراف یک صفحه مستغرق بزرگ به طول‌های بین ۱ تا ۴ متر را در یک فلوم مستقیم و عریض به طول ۳۰ متر و عرض ۶۰ متر بررسی نمودند [7]. قربانی و کریمی^۸ در سال ۲۰۰۷ به بررسی استفاده از یک صفحه مستغرق با طولی برابر قطر پایه در جلوی پایه و همچنین بررسی استفاده دو صفحه مستغرق در بالادست پایه در حالت چسبیده به پایه پرداختند [8].

قربانی و کلز^۹ در سال ۲۰۰۸ با انجام آزمایش‌های متعدد روی صفحات مستغرق منفرد و دوگانه در زوایای حمله جریان متفاوت، ارتفاعات متفاوت صفحات مستغرق و شرایط مختلف

3- Marelius & Sinha

4- Barkdoll et al

5- Lauchlan

6- Keshavarzi & Shamsaddinnejad

7- Tan et al

8- Ghorbani & Karimi

9- Ghorbani & Kells

1- Odgaard & Kennedy

2- Odgaard & Wang

جریان، کاهش ۱۷ درصد برای صفحات مستغرق منفرد و ۸۳ درصد برای صفحات مستغرق دوگانه را نتیجه گرفتند [9]. مسجدي و همکاران در سال ۲۰۱۱ تأثیر زاویه‌ی استقرار صفحات مستغرق را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. با توجه به این پژوهش که عمق آبستگي را در ۴ زاویه مختلف ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه با اعداد فرود مختلف آزموده است، کمینه عمق آبستگي در زاویه‌ی حمله ۱۵ درجه برای صفحات رخ داده و نشان داده شده است که با کاهش عمق جریان، عمق آبستگي نیز کاهش می‌یابد [10]. شجاعی و همکاران در سال ۲۰۱۱ تأثیر صفحات مستغرق در کاهش آبستگي پایه‌ی استوانه‌ای در کانال مستطیلی آزمایشگاه به طول ۸ متر در شرایط آب زلال را بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد صفحات مستغرق، همچنین با کم شدن فاصله صفحات مستغرق در جهت جریان و نیز در راستای عمود بر جهت جریان، عملکرد صفحات در در کاهش عمق آبستگي افزایش می‌یابد [11]. حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی تأثیر هم زمان صفحات مستغرق و طوق در کاهش آبستگي پایه مستطیلی با دماغه گرد در یک فلوم مستطیلی با طول ۶ متر و عرض ۸۰ سانتی متر پرداختند [12]. شفاعی بجستان و عزیزی در سال ۲۰۱۲ در مطالعه آزمایشگاهی خود، عمق آبستگي اطراف شکل‌های مختلف پره‌های مستغرق مستقر در یک فلوم مستطیلی را اندازه گرفته‌اند. ۴ شکل از صفحات مستغرق مورد آزمایش قرار داده‌اند. آزمایش‌ها نشان داده است که کج کردن لبه‌ی صفحات باعث کاهش آبستگي اطراف صفحات می‌شود [13]. بیگی‌پور و همکاران در سال ۲۰۱۳ اثر تغییرات فاصله صفحات از دهانه آبگیر و همچنین عملکرد صفحات در زاویه‌های مختلف و شعاع‌های مختلفی از آبگیر در قوس ۹۰ درجه همگرا را بررسی نمودند [14]. بارانی و شاه‌رخی^{۱۰} در سال ۲۰۱۳ نیز تأثیر اشکال مختلف صفحات مستغرق به کاهش عمق آبستگي در قوس‌های ۹۰ و ۱۸۰ درجه را مورد آزمایش قرار دادند [15]. رآنجان و احمد^{۱۱} در سال ۲۰۱۵ عملکرد صفحات مستغرق در

آبستگي بستر در خم رودخانه را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد بعد از نصب صفحات مستغرق قدرت جریان ثانویه که در خم جریان به وجود آمده کاهش می‌یابد و عمق جریان بیشینه کاهش می‌یابد [16]. پرچمی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با انجام آزمایش روی یک فلوم مستطیلی شکل به بررسی تأثیر اشکال مختلف صفحات، شامل صفحه مستطیلی تخت، محدب، مقعر، محدب-تخت، مقعر-تخت، مشبک و زاویه‌دار بر کاهش آبستگي پایه پرداختند [17]. دی و همکاران^{۱۲} در سال ۲۰۱۷ تأثیر زاویه‌ی مختلف صفحات مستغرق (۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۴۰) را به صورت آزمایشگاهی در قوس ۱۸۰ درجه بررسی کردند نتایج آنها بیانگر این است که استقرار صفحات با زاویه ۱۵ درجه بهترین زاویه برای کاهش آبستگي ساحل بیرونی است [18]. پژوهش‌های انجام شده در گذشته نشان می‌دهد صفحات مستغرق به عنوان سازه‌ای موثر برای کاهش آبستگي اطراف پایه‌ی پل است. الگوی جریان و تغییرات سرعت در محدوده پایه پل و صفحات مستغرق موجود در کانال مستقیم، پیچیده و سه‌بعدی است. در صورتی که پایه پل و صفحات مستغرق در کانال قوسی قرار گیرند، به دلیل الگوی جریان در قوس‌ها، این وضعیت پیچیده‌تر خواهد شد. یکی از پارامترهای مهم و تأثیر گذار طول همپوشانی صفحات است. در این مقاله به بررسی تأثیر طول همپوشانی صفحات مستغرق با کاهش ۲۰ درصدی در طول همپوشانی در بالادست پایه در تغییرات آبستگي و رسوبگذاری در قوس ۱۸۰ درجه پرداخته شد.

۲- ابزار و روش‌ها

تمامی آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه تند با مقطع مستطیلی به عرض یک متر، انحناء نسبی ۲ [19]، با کف فلزی و شیب ۰/۰۰۱ با دیواره‌ی شیشه‌ای و ارتفاع ۷۰ سانتی متر واقع در آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیک پیشرفته دانشگاه خلیج فارس انجام شد. نمایی از کانال آزمایشگاهی به همراه پلان و سطح مقطع در شکل (۱) نمایش داده شده است. با توجه به شکل مشخص است که کانال شامل دو بخش

10- Barani & Shahrokhi
11- Ranjan & Ahmad

12-Dey et al

موضعی، نسبت قطر پایه به میانگین اندازه ذرات باید بیشتر از ۲۰-۲۵ باشد [21]. به این ترتیب اندازه میانگین ذرات رسوبی استفاده شده باید در شرایط زیر صادق باشد:

$$\begin{cases} \frac{D}{d_{50}} > 20 - 25 \\ d_{50} > 0.7 \text{ mm} \end{cases} \begin{cases} d_{50} < \frac{D}{20 - 25} = (2.5 - 2) \text{ mm} \\ d_{50} < 2 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\Rightarrow 0.7 \text{ mm} < d_{50} < 2 \text{ mm} \quad (1)$$

همچنین، طبق توصیه پژوهشگران پیشین برای حذف اثر غیر یکنواختی ذرات بر آبشستگی موضعی لازم است که انحراف معیار هندسی ذرات (σ_g) کوچکتر از ۱/۳۳ باشد [22]. بنابراین در این پژوهش، از ماسه گرد گوشه با دانه‌بندی یکنواخت و چگالی نسبی $G_s = 2.65$ به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در کف کانال استفاده شد.

۳-۳- عمق و سرعت جریان

با توجه به اینکه آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی می‌شود باید $U \leq U_c$ باشد. بنابراین با توجه به دبی ۷۰ لیتر بر ثانیه، و با استفاده از معادلات نیل [23]. عمق جریان به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که شرایط $U = 0.98U_c$ به صورت زیر برقرار شود:

$$\frac{\rho U_c^2}{g(\rho_s - \rho)d_{50}} = 2.50 \left(\frac{d_{50}}{y} \right)^{-0.2} \quad (2)$$

که در آن: y عمق جریان، d_{50} متوسط قطر اندازه ذرات رسوب، ρ جرم واحد حجم آب، ρ_s جرم واحد حجم رسوبات، g شتاب گرانش، U_c سرعت جریان در آستانه حرکت می‌باشند. همچنین وقتی $\frac{y}{D} > (1 - 3)$ باشد، عمق جریان بر عمق آبشستگی بی اثر است [20]. بنابراین عمق جریان در ابتدای قوس حدود ۱۷/۸ سانتی‌متر و سرعت متوسط جریان در ابتدای قوس ۰/۳۹ متر بر ثانیه، عدد فرود، عدد رینولدز و عدد رینولدز بحرانی به ترتیب ۰/۲۹، ۵۴۴۸۰ و ۵۳/۹۷ است.

مستقیم است که به وسیله قوس ۱۸۰ درجه به یکدیگر متصل شده است. طول کانال مستقیم بالادست و پایین دست به ترتیب ۶/۵، ۵ متر است.

شکل ۱. نمای سه‌بعدی کانال به همراه پلان و سطح مقطع

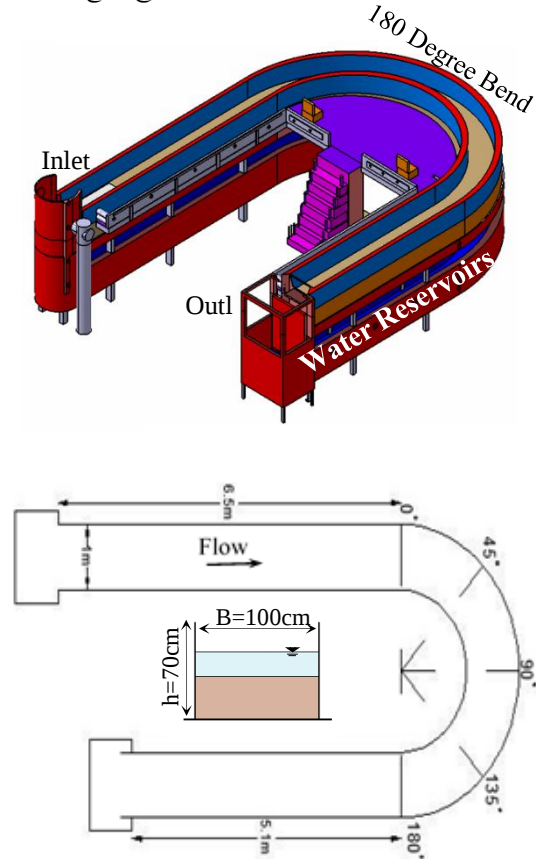


Fig. 1. Three-dimensional view of the channel with plan and cross section

۳- پارامترهای آزمایشگاه

۳-۱- قطر پایه

برای پرهیز از اثر جریان جانبی روی آبشستگی موضعی اطراف پایه، رودکیوی و اتما [20]. پیشنهاد نسبت عرض پایه به عرض کانال را ۱:۶/۲۵ توجیه کردند. در این پژوهش برای اطمینان بیشتر، این نسبت ۱:۲۰ در نظر گرفته شد. بنابراین قطر پایه D در کلیه آزمایش‌ها ۵ سانتی‌متر انتخاب شد.

۳-۲- اندازه و یکنواختی ذرات

برای جلوگیری از ایجاد پدیده رپل (Ripple)، میانگین اندازه ذرات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگتر باشد ($d_{50} > 0.7 \text{ mm}$) [20]. همچنین برای حذف تأثیر اندازه ذرات بر عمق آبشستگی

۳-۴- صفحات مستغرق

صفحات مستغرقی که در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند از جنس پلکی گلاس بود در تمامی آزمایش‌ها دو عدد صفحه مستغرق به ضخامت ۲۰ درصد قطر پایه با درصد استغراق $0.75 (L_s=4.5\text{cm})$ و زاویه‌ی ۲۵ درجه نسبت به افق [24] استفاده شد.

شکل ۲. نمای از قرارگیری صفحات مستغرق در بالادست پایه

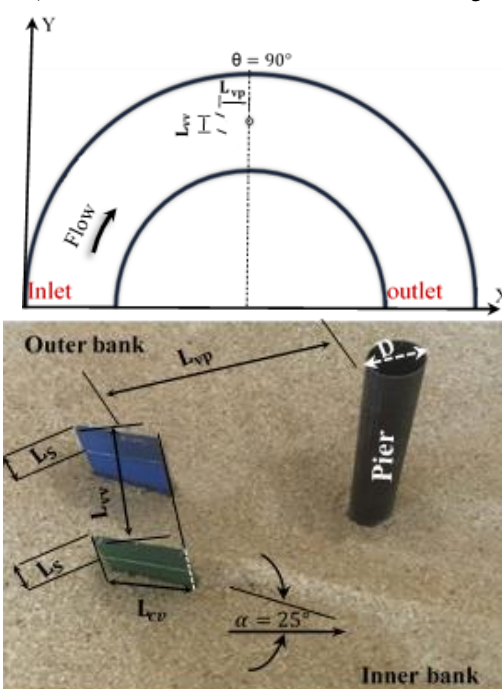


Fig. 2. The view of submerged vanes installing in pier upstream

با قرارگیری مرکز صفحات در میانه‌ی کانال. با طول همپوشانی (LCV) ۸۰ آزمایش‌ها و ۱۰۰ درصد و فواصل صفحات از همدیگر در امتداد عمود بر جهت جریان ۵ و ۱۰ سانتی‌متر ($\frac{L_{vv}}{D} = 1, 2$) در موقعیت‌های ۸۳ و 79.5 درجه از ابتدای قوس (فاصله‌ی معادل ۵ و 7.5 برابر قطر پایه به سمت بالا- دست از محل استقرار پایه) ($\frac{L_{vp}}{D} = 5, 7.5$) مطابق شکل (۲) انجام گرفت.

۳-۵- مدت زمان انجام آزمایش

پدیده آبشستگی در اطراف پایه پل، فرآیندی تابع زمان است و با گذشت زمان گسترش پیدا کرده و به حالت تعادل می‌رسد. به منظور تعیین زمان مناسب در این آزمایش‌ها، یک آزمایش طولانی روی تک پایه عمودی مستقر در موقعیت ۹۰ درجه از

ابتدای قوس انجام شد (آزمایش PT). پس از مدت زمان ۴۴ ساعت، چاله آبشستگی به تعادل رسید. سپس زمان تعادل نسبی معادل مدت زمانی که عمق بیشینه آبشستگی به ۹۰ درصد عمق بیشینه آبشستگی در زمان تعادل رسیده بود انتخاب شد. این زمان معادل ۹ ساعت بود ($t_e=9\text{h}$) شکل (۳). بنابراین تمامی آزمایش‌های این پژوهش، در مدت زمان ۹ ساعت انجام شده است.

شکل ۳. توسعه زمانی عمق آبشستگی در آزمایش زمان تعادل (PT)

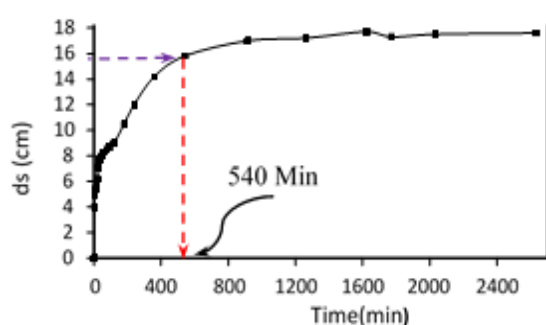


Fig. 3. The time development of Scour depth in equilibrium time test (PT)

جریان آب با دستگاه دبی سنج آلترواسونیک با دقت صدم لیتر بر ثانیه تنظیم می‌شود، عمق آبشستگی پیرامون پایه پل منفرد مستقر در رأس قوس در طول زمان ۹ ساعت (زمان تعادل)، با استفاده از خطکش الکترونیکی، اندازه‌گیری شد، و در انتهای هر آزمایش بعد از زهکشی آهسته کانال، تراز بستر با استفاده از دستگاه برداشت توپوگرافی بستر لیزری با دقت ۱ میلی‌متر برداشت شد.

مشخصات هر آزمایش در جدول (۱) آورده شده است. که در ادامه متن نیز به منظور بیان هر کدام از آزمایش‌ها از نام اختصاری آورده شده در جدول مذکور استفاده می‌شود. همان‌گونه که در جدول مشهود است برای بیان حالت آزمایش‌ها از نماد $(L_{vp}/D)-(L_{vv}/D)-V(\%LCV)$ استفاده می‌شود. که در آن عدد اول درصد هم‌پوشانی صفحات مستغرق است، و عدد دوم فاصله‌ی مرکز صفحات مستغرق از مرکز پایه پل و فاصله‌ی صفحات مستغرق از همدیگر در امتداد عمود بر جهت جریان با عدد آخری نمایش داده می‌شود.

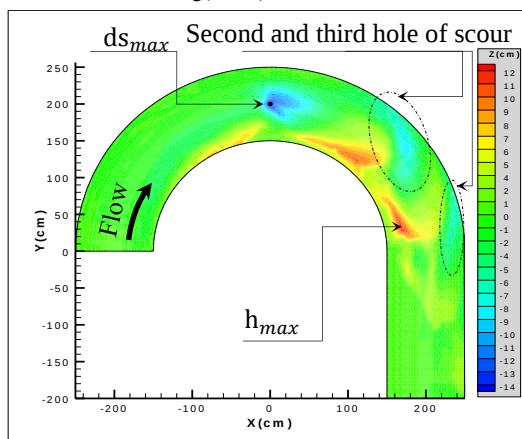
جدول ۱. راهنمای انجام آزمایش‌ها آبستگ

Number of test	Symbol of test	(Lcv) Length of vanes overlapping (%)	(Lvp) Vanes distance from pier center (cm)	(LvV) Vanes distance from each other in perpendicular direction on the flow (cm)
1	PT	-	-	-
2	P	-	-	-
3	NP	-	-	-
4	V80-5-1	80	5D	1D
5	V80-5-2	80	5D	2D
6	V80-7.5-1	80	7.5D	1D
7	V80-7.5-2	80	7.5D	2D
8	V100-5-1	100	5D	1D
9	V100-5-2	100	5D	2D
10	V100-7.5-1	100	7.5D	1D
11	V100-7.5-2	100	7.5D	2D

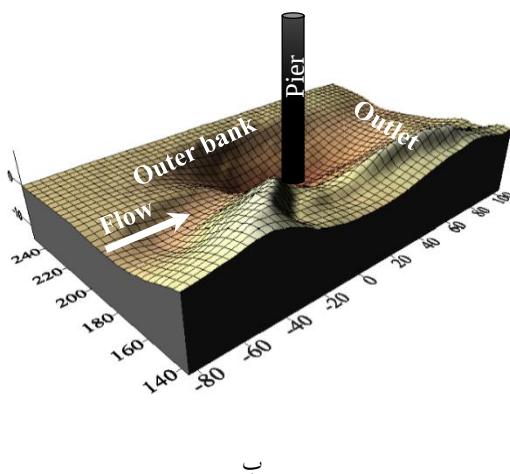
Table. 1. The guidance of scour tests

شکل ۵. الف) توپوگرافی بستر در آزمایش P با استقرار تک پایه‌ی

عمودی (ب) بزرگنمایی اطراف پایه‌ی پل به صورت سه‌بعدی



الف



ب

Fig. 5. a) bed topography in P Test by single perpendicular pier b) exaggeration around bridge pier in state three-dimensional

۴- نتایج و بحث

همان‌گونه که پیش از این بیان شد، این پژوهش در راستای بررسی اثر طول همپوشانی صفحات، فاصله مرکز صفحات از مرکز پایه پل و فاصله مرکز تا مرکز صفحات مستغرق از همدیگر در امتداد عمود بر جهت جریان با قرارگیری در ۵۰ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی، روی عمق آبستگ پیرامون پایه‌ی پل انجام گرفت. آزمایش‌های انجام گرفته نشان داد که بطور کلی، حمایت پایه پل به وسیله صفحات مستغرق تاثیر زیادی در کاهش میزان آبستگ ایجاد شده در پیرامون پایه دارد. در شکل (۴) توپوگرافی بستر بدون حضور پایه پل و صفحات مستغرق نشان داده شده است. مقدار بیشینه آبستگ و تراز بیشینه پشته رسوبی به ترتیب ۳/۲ و ۶/۱ سانتی‌متر، معادل ۰/۱۸ و ۰/۳۴ برابر عمق جریان در مسیر مستقیم بالادست اندازه‌گیری شد.

شکل ۴. توپوگرافی بستر در آزمایش NP

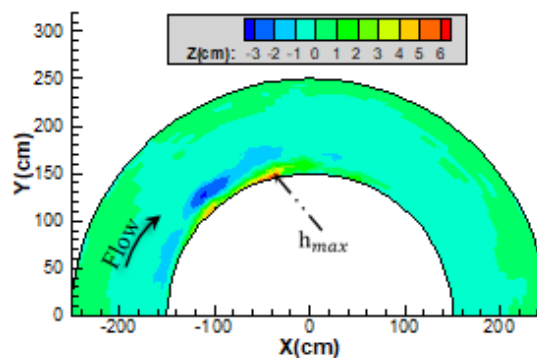


Fig. 4. Bed topography in NP Test

همچنین شاهد شکل‌گیری چاله‌ی آبستگي دوم و سوم در پایین‌دست پایه و در سمت ساحل خارجی هستید. به دلیل تفاوت در الگوی جریان در موقعیت‌های مختلف در قوس، نصب صفحات مستغرق در موقعیت‌های مختلف هم بر توپوگرافی بستر هم بر بیشینه عمق آبستگي در اطراف پایه تاثیر قابل ملاحظه‌ای داشت. در شکل (۶) تغییرات بیشینه عمق آبستگي موضعی اطراف پایه در تمامی آزمایش‌ها آورده شده است در این نمودارها محور افقی بیانگر مدت زمان سپری شده بی‌بعد شده با زمان کل تعادل نسبی و محور عمودی عمق بیشینه آبستگي بی‌بعد شده با عمق جریان در ابتدای قوس در مجاورت پایه است. با مقایسه تمامی آزمایش‌ها مشاهده می‌شود که ماکزیمم عمق آبستگي از ابتدا تا انتهای زمان تعادل در همه آزمایش‌ها در پایان زمان ۹ ساعت رخ داده است. بیشترین آبستگي در آزمایش بدون حضور صفحات مستغرق اتفاق می‌افتد و از منحنی پایه با حضور صفحات مستغرق فاصله دارد. بیشترین کاهش عمق آبستگي در چاله پیرامون پایه مربوط به آزمایش V80-5-2 است، که مقدار آن در انتهای آزمایش ۰/۵۳ برابر عمق جریان در ابتدای قوس است، و منحنی آن از منحنی آزمایش P فاصله خوبی دارد. آزمایش‌های V80-7.5-1، V80-5-1 و V100-5-2 نیز در رده‌های بعدی کاهش عمق آبستگي چاله قرار دارند، که مقدار عمق آبستگي در انتهای آزمایش‌ها به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۵۶ و ۰/۵۷ برابر عمق جریان در مسیر مستقیم بالادست است. شایان ذکر است منحنی دو آزمایش V80-5-2 و V80-7.5-1 که در هر دو، طول هم‌پوشانی صفحات ۸۰ درصد است، تقریباً بر هم منطبق‌اند. همچنین آزمایش V100-7.5-1 در ۵ ساعت اول نسبت به آزمایش V100-5-1 کاهش بیشتری را نشان می‌دهد، ولی پس از گذشت زمان ۵ ساعت دو نمودار به هم نزدیک می‌شوند. شیب منحنی در کلیه آزمایش‌ها در پایان زمان تعادل به سمت صفر میل می‌کند همچنین برای بررسی تاثیر صفحات مستغرق بر روی توپوگرافی بستر، تغییرات توپوگرافی بستر همراه با بزرگنمایی اطراف پایه و صفحات مستغرق برای کلیه آزمایش‌ها انجام گرفته با طول هم‌پوشانی ۸۰ و ۱۰۰ درصد در

در شکل (۵) تغییرات توپوگرافی بستر به همراه بزرگنمایی چاله آبستگي اطراف پایه مستقر در رأس قوس ۱۸۰ درجه را به صورت سه بعدی در آزمایش بدون حضور صفحات مستغرق (P) نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۵) مشاهده شد که در محل استقرار پایه به دلیل تنگ‌شدگی عرض کانال و افزایش سرعت جریان، پشته رسوبی پایداری تشکیل نمی‌شود و تنها مصالح شسته شده از بالادست پایه به درون چاله‌های اطراف پایه ریخته می‌شوند.

مقدار بیشینه‌ی آبستگي ۷۵ درصد و تراز بیشینه پشته رسوبی ۶۶ درصد عمق جریان در ابتدای قوس است. مقدار آبستگي بیشینه در زاویه‌ی ۹۱ درجه در اطراف پایه‌ی پل اندازه‌گیری شد و همچنین بیشترین رسوبگذاری در زاویه‌ی ۱۷۱ درجه و در فاصله‌ی ۲۲ درصدی از ساحل داخلی اتفاق افتاده است. تغییرات توپوگرافی بستر تا ۴۰ برابر قطر پایه از انتهای قوس، در مسیر مستقیم پیشروی داشته است. مشاهده می‌شود که چاله آبستگي پیرامون پایه در سمت پایین دست محور سازه و به سمت ساحل خارجی رخ داده است.

شکل ۶. عمق آبستگي نسبت به زمان با طول هم‌پوشانی الف)

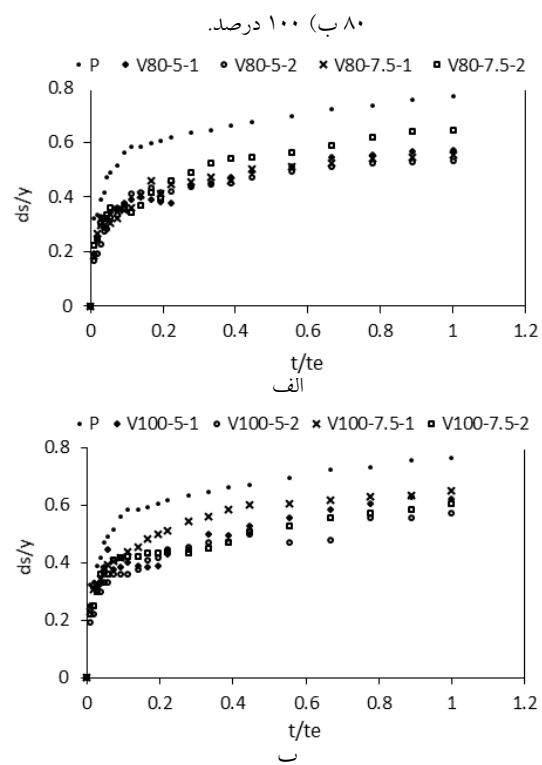
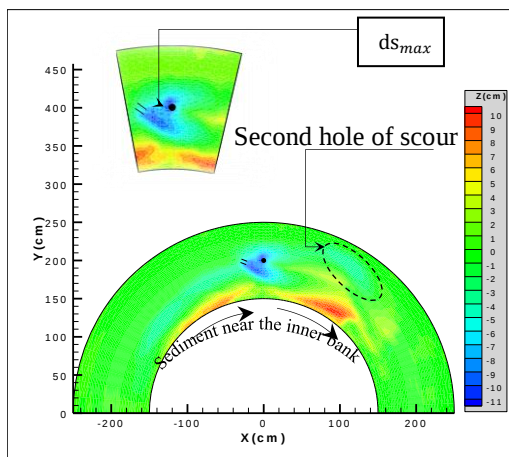


Fig. 6. The scour depth relative to time with overlapping length a) 80 b) 100 (%)

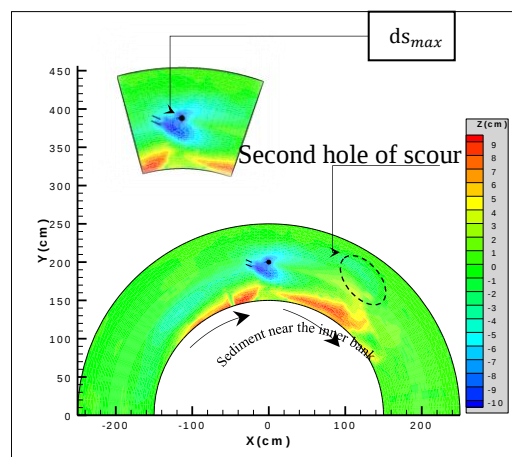
شده است (پشته رسوبی تشکیل شده در ساحل داخلی با طیف زرد رنگ در شکل معلوم است)، که رسوبات این پشته از آبشستگی جزئی تشکیل شده قبل و موازی رسوبگذاری تامین می‌شود. همچنین موازی و در امتداد با رسوبگذاری ایجاد شده تا ۴۵ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی آبشستگی جزئی ایجاد می‌شود. استقرار پایه و صفحات مستغرق در مسیر جریان سبب تغییرات گسترده بستر در پیرامون سازه و پایین‌دست پایه شده است.

شکل‌های (۷ و ۸) آورده شده است. در تصاویر سمت راست آزمایش‌های مربوط به صفحات مستغرق با طول همپوشانی ۸۰ درصد و در سمت چپ با طول همپوشانی ۱۰۰ درصد را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود از شروع قوس تا زاویه ۲۵ درجه تغییراتی در توپوگرافی بستر مشاهده نمی‌شود. دلیل این امر حاکم بودن شرایط آب زلال بر تمامی آزمایش‌ها است. سپس تا ابتدای استقرار صفحات مستغرق در تمامی آزمایش‌ها به دلیل وجود جریان‌های ثانویه از ساحل داخلی تا ۲۰ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی پشته رسوبی تشکیل

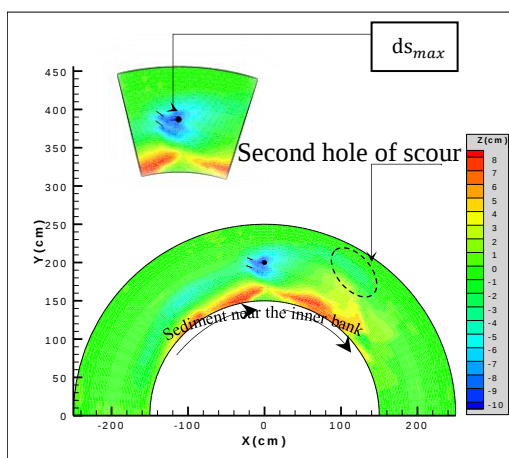
شکل ۷. توپوگرافی بستر به همراه بزرگنمایی در آزمایش‌های با طول همپوشانی ۸۰ و ۱۰۰ درصد



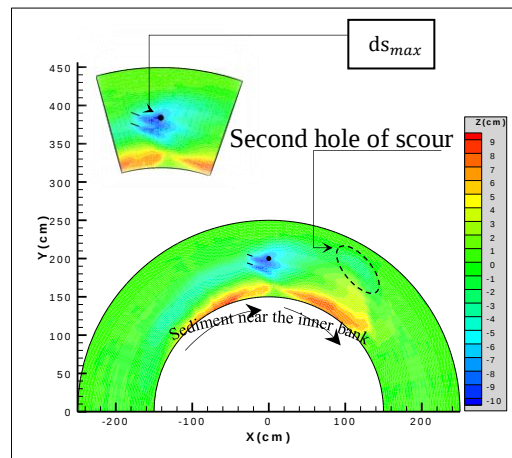
ب- V100-5-1



الف- V80-5-1



ت- V100-5-2



پ- V80-5-2

Fig. 7. Bed topography with exaggeration in tests with 80 and 100% overlapping length

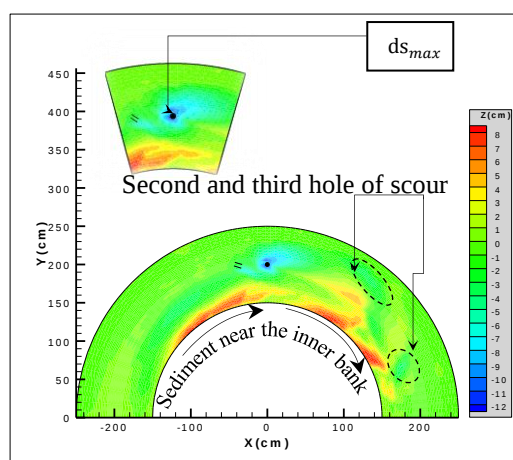
است که دلیل این امر تمایل خط سرعت ماکزیمم به سمت ساحل خارجی در پایین دست پایه است.

تغییرات بستر با حضور صفحات مستغرق در مسیر مستقیم پایین دست کانال ادامه نداشته است و بیشترین پیشروی رسوبات برای آزمایش V100-7.5-1 است که تا فاصله معادل ۵۶ برابر قطر پایه به سمت پایین دست از محل استقرار پایه (معادل موقعیت ۱۷۰ درجه از ابتدای قوس) می باشد. اگرچه ماکزیمم عمق آبشستگی در اطراف پایه در آزمایش V100-7.5-1 نسبت به سایر آزمایش ها بیشتر است اما گستردگی و پخش شدگی چاله آبشستگی اطراف صفحات بسیار کم بوده به گونه ای که این گستردگی چاله آبشستگی به پایه ی پل نرسیده است.

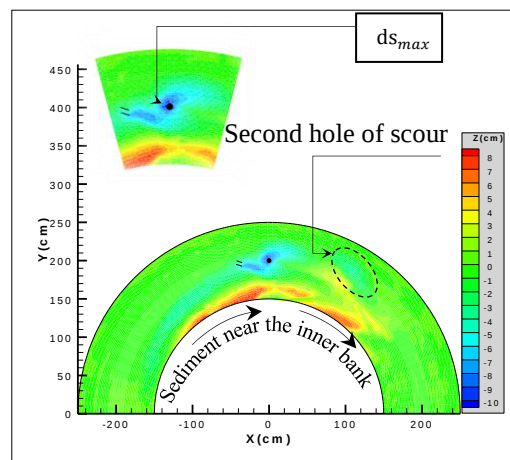
در تمامی آزمایش ها شاهد شکل گیری چاله دوم آبشستگی در پایین دست پایه هستیم که بیشترین عمق چاله آبشستگی دوم در آزمایش V80-7.5-2 است بطوریکه بیشینه عمق آبشستگی در چاله ی اصلی و چاله ی دوم به ترتیب ۶۴/۵ و ۵۶/۶ درصد عمق جریان است. محدوده ی آبشستگی چاله ی دوم در ۲۸- ۴۱ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی است و در ۳۶ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی به ماکزیمم عمق آبشستگی خود می رسد.

این تغییرات شامل رسوبگذاری مجاور ساحل داخلی و ایجاد چاله دوم و سوم در پایین دست پایه می باشد که بسته به عملکرد صفحات مستغرق عمق و موقعیت این چاله ها در عرض و طول کانال متغیر است. در تمامی آزمایش ها عمق آبشستگی ماکزیمم و چاله آبشستگی اصلی پیرامون پایه اتفاق افتاده است. و چاله آبشستگی اصلی پیرامون پایه در تمامی آزمایش ها نسبت به محور طولی کانال دارای تقارن نیست که دلیل این امر استقرار صفحات با طول هم پوشانی متفاوت و قرارگیری در موقعیت های مختلف در آزمایش هایی که فاصله صفحات از مرکز پایه ی پل ۲۵ سانتی متر ($\frac{L_{vp}}{D} = 5$) است به سمت ساحل داخلی کشیده شده اند. در آزمایش هایی که صفحات مستغرق در ۳۷/۵ سانتی متری ($\frac{L_{vp}}{D} = 7.5$) از مرکز پایه ی پل است به سمت ساحل خارجی تمایل داشته است به گونه ای که بیشترین مقدار این کشیدگی در آزمایش V80-7.5-2 می باشد که تا فاصله معادل ۱۰ برابر قطر پایه به سمت پایین دست امتداد یافته است. در تمامی آزمایش ها در جلوی صفحات آبشستگی و میان صفحات رسوبگذاری رخ داده است. پیشروی رسوبگذاری به گونه ای است که تا پایین دست پایه امتداد یافته و به سمت ساحل خارجی کشیده شده

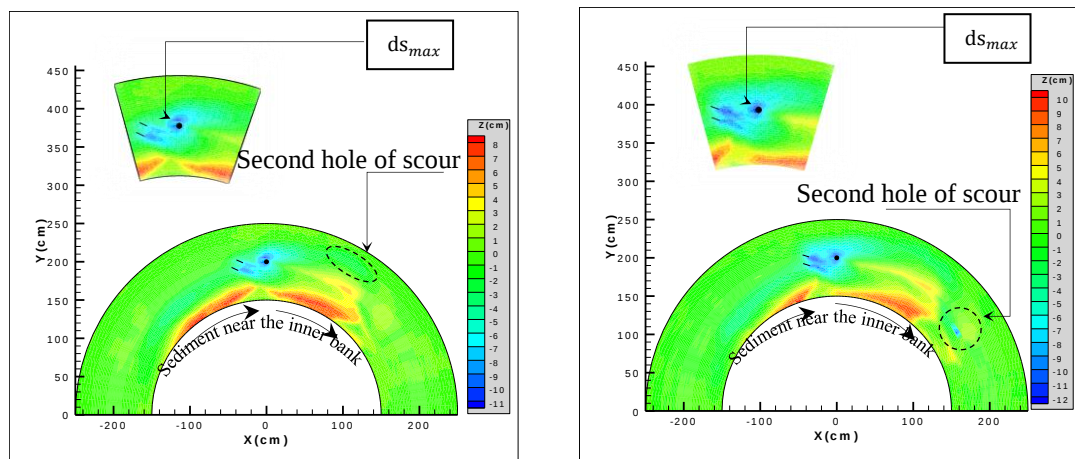
شکل ۸. توپوگرافی بستر به همراه بزرگنمایی در آزمایش های با طول هم پوشانی ۸۰ و ۱۰۰ درصد



ب- V100-7.5-1



الف- V80-7.5-1



ت-2-7.5-100V

ب-2-7.5-80V

Fig. 8. Bed topography with exaggeration in tests with 80 and 100% overlapping length

در آزمایش V100-7.5-1 چاله آبشستگی سوم به دلیل پیشروی بیشتر رسوبات به سمت پایین دست پایه که سبب ایجاد جت آب می شود تشکیل شده است. با توجه به شکل مشاهده می شود در تمامی آزمایش ها ساحل خارجی دچار تغییر بستر نگردیده است. همچنین به منظور مقایسه ی بهتر توپوگرافی های بستر در تمامی آزمایش ها، موقعیت (در طول و عرض کانال) عمق بیشینه ی آبشستگی و بیشینه تراز رسوبگذاری بر حسب عمق جریان در ابتدای قوس در شکل- ۹ و ۱۰ آورده شده است. در این شکل ها ds_{max} عمق بیشینه ی آبشستگی و h_{max} بیشینه تراز رسوبگذاری، Y عمق جریان در ابتدای قوس، $Teta$ موقعیت بر حسب درجه و B عرض کانال است. با توجه به شکل (۹-الف) مشاهده می- شود، موقعیت وقوع ماکزیمم عمق آبشستگی بین زوایای ۸۹ الی ۹۲ است، و محدوده ی تغییرات آن بین ۵۰ الی ۷۷ درصد عمق جریان در ابتدای قوس است. در حالت حضور صفحات مستغرق عمق بیشینه آبشستگی در جلوی پایه در زاویه ی ۸۹/۵ رخ می دهد. در شکل (۹-ب) موقعیت عمق بیشینه آبشستگی در عرض کانال نشان داده شده است. بیشینه عمق آبشستگی آزمایش P در دو نقطه ی کناری پایه ۴۸ و ۵۲ درصدی عرض کانال از سال داخلی تشکیل شده است در حالی که در سایر آزمایش ها فقط در یک موقعیت بیشینه عمق آبشستگی رخ داده است. بیشینه عمق آبشستگی در تمام آزمایش ها با حضور صفحات مستغرق جز آزمایش V100-

در آزمایش V100-7.5-1 چاله آبشستگی سوم به دلیل پیشروی بیشتر رسوبات به سمت پایین دست پایه که سبب ایجاد جت آب می شود تشکیل شده است. با توجه به شکل مشاهده می شود در تمامی آزمایش ها ساحل خارجی دچار تغییر بستر نگردیده است. همچنین به منظور مقایسه ی بهتر توپوگرافی های بستر در تمامی آزمایش ها، موقعیت (در طول و عرض کانال) عمق بیشینه ی آبشستگی و بیشینه تراز رسوبگذاری بر حسب عمق جریان در ابتدای قوس در شکل- ۹ و ۱۰ آورده شده است. در این شکل ها ds_{max} عمق بیشینه ی آبشستگی و h_{max} بیشینه تراز رسوبگذاری، Y عمق جریان در ابتدای قوس، $Teta$ موقعیت بر حسب درجه و B عرض کانال است. با توجه به شکل (۹-الف) مشاهده می- شود، موقعیت وقوع ماکزیمم عمق آبشستگی بین زوایای ۸۹ الی ۹۲ است، و محدوده ی تغییرات آن بین ۵۰ الی ۷۷ درصد عمق جریان در ابتدای قوس است. در حالت حضور صفحات مستغرق عمق بیشینه آبشستگی در جلوی پایه در زاویه ی ۸۹/۵ رخ می دهد. در شکل (۹-ب) موقعیت عمق بیشینه آبشستگی در عرض کانال نشان داده شده است. بیشینه عمق آبشستگی آزمایش P در دو نقطه ی کناری پایه ۴۸ و ۵۲ درصدی عرض کانال از سال داخلی تشکیل شده است در حالی که در سایر آزمایش ها فقط در یک موقعیت بیشینه عمق آبشستگی رخ داده است. بیشینه عمق آبشستگی در تمام آزمایش ها با حضور صفحات مستغرق جز آزمایش V100-

شکل ۹. موقعیت عمق بیشینه آبشستگی بی بعد شده با عمق جریان در ابتدای قوس در الف) طول ب) عرض کانال

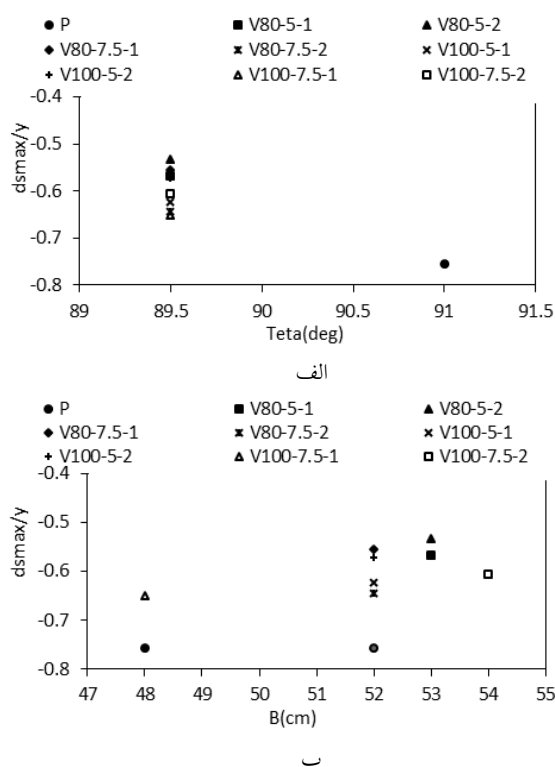


Fig. 9. Position of the non-dimensional maximum scour depth in a) Longitudinal b) cross the channel

چگونگی قرارگیری آنها نسبت به همدیگر علاوه بر کاهش عمق آبستگی می‌تواند باعث تغییر چگونگی آبستگی نیز شود.

در شکل (۱۱) نمونه‌ای از مقطع عرضی بی بعد شده با عمق جریان در ابتدای قوس، در محل استقرار مرکز صفحات مستغرق نشان داده شده است. به دلیل موقعیت متفاوت صفحات مستغرق در عرض و طول قوس، مقایسه پروفیل بستر در محل استقرار مرکز صفحات مستغرق با طول همپوشانی برابر برای آزمایش‌های با فاصله معادل ۵ برابر قطر پایه به سمت بالا دست از محل استقرار پایه و برای فاصله معادل ۷/۵ برابر قطر پایه به سمت بالا دست از محل استقرار پایه به صورت ترکیب این دو رسم شده است.

شکل ۱۱. نمونه‌ای از مقطع عرضی بی بعد شده با عمق جریان در محل استقرار مرکز صفحات مستغرق با طول همپوشانی الف) ۸۰ درصد

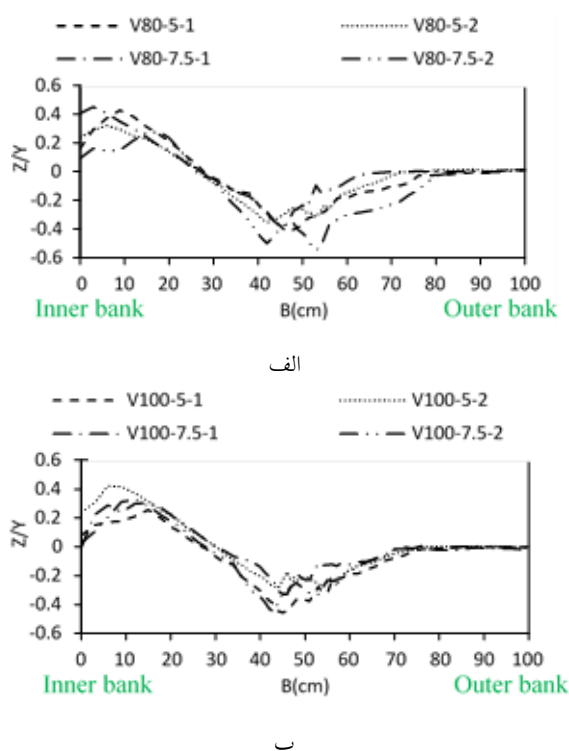


Fig. 11. A a non-dimensional cross section at the position of the submerged vanes center with overlapping length a) 80 b) 100%

با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در تمامی آزمایش‌ها آبستگی بین صفحات کمتر شده و در اطراف و دماغه صفحات مستغرق آبستگی قابل ملاحظه‌ای تشکیل شده

شکل ۱۰. موقعیت بیشینه تراز رسوبگذاری بی بعد شده با عمق جریان

در ابتدای قوس در الف) طول ب) عرض کانال

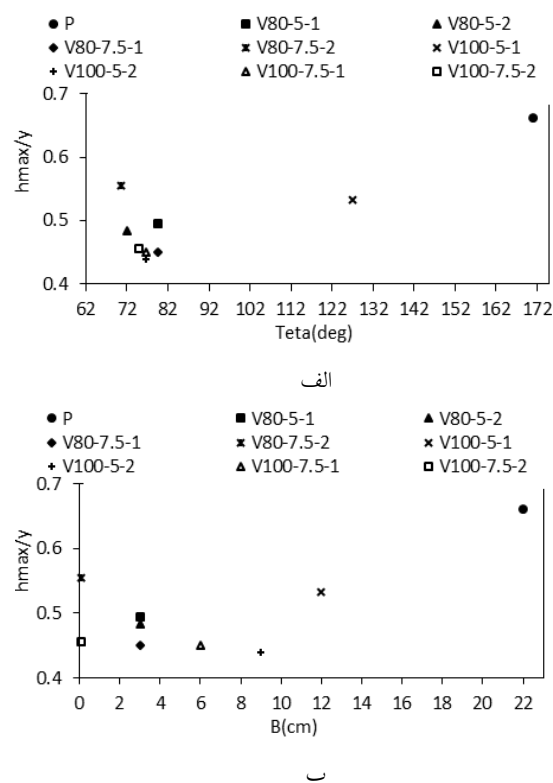


Fig. 10. Position of the non-dimensional maximum sedimentation level at the beginning of bend in a) Longitudinal b) cross the channel

در شکل (۱۰) موقعیت بیشینه تراز رسوبگذاری در طول و عرض کانال نشان داده شده است. مشاهده می‌شود بیشترین مقدار پشته‌ی رسوبی مربوط به آزمایش V80-7.5-2 که برابر با ۵۵/۵ درصد عمق جریان در ابتدای قوس و مماس بر ساحل داخلی و به فاصله معادل ۱۴ برابر قطر پایه به سمت بالادست از محل استقرار پایه رخ داده است.

کمترین مقدار رسوبگذاری با مقدار ۰/۴۳ برابر عمق جریان در بالادست و در ۹ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی و به فاصله معادل ۹/۴۲ برابر قطر پایه به سمت بالا دست از محل استقرار پایه در آزمایش V100-5-2 است در واقع حضور صفحات مستغرق محدوده‌ی رسوبگذاری را محدود به ۰ الی ۱۲ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی و در زاویه‌ی ۷۰ تا ۱۲۷ درجه از ابتدای قوس می‌نماید. دامنه تغییرات رسوبگذاری بین ۰/۴ تا ۰/۷ عمق جریان در ابتدای قوس اندازه‌گیری شد. رفتار متفاوت الگوی آبستگی در این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که تغییر موقعیت صفحات مستغرق و

به منظور بررسی تاثیر صفحات بر عمق آبشستگی پیرامون پایه پل در شکل (۱۲) نمونه‌ای از مقطع عرضی بی‌بعد شده با عمق جریان، در میانه‌ی کانال نشان داده شده است.

با توجه به مقاطع عرضی در رأس کانال مشاهده می‌شود رسوبگذاری به اندازه ۰/۳۱، ۰/۲۸، ۰/۲۶ و ۰/۲۳ برابر عمق جریان در ابتدای قوس بوجود می‌آید که به ترتیب مربوط به آزمایش‌های V100-5-2، V80-5-2، V80-7.5-2 و V100-7.5-1 است. گستردگی چاله آبشستگی در مقطع ۹۰ درجه به سمت ساحل خارجی در حالت استقرار صفحات با طول همپوشانی ۸۰ درصد در قیاس با طول همپوشانی ۱۰۰ درصد بیشتر است. در آزمایش V80-7.5-2 در مقایسه با سایر آزمایش‌ها تاثیر کمتری در کاهش گستردگی چاله آبشستگی به سمت ساحل خارجی داشته است و تا ۸۴ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی کشیده شده است.

به منظور بررسی دقیق‌تر تاثیر صفحات مستغرق بر کاهش آبشستگی حول پایه و تغییرات پروفیل بستر، در ادامه به بررسی مقطع طولی در فاصله معادل ۵۰ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی (میانه کانال) می‌پردازیم.

با توجه به شکل (۱۳) مشاهده می‌شود که آبشستگی چاله اصلی پیرامون پایه باعث تشکیل پشته رسوبی در پایین‌دست مانع می‌شود اما با توجه به شکل مشهود است که صفحات مستغرق در تمامی آزمایش‌ها مانع تشکیل پشته‌ی رسوبی در انتهای قوس شده‌اند بطوریکه بیشترین پیشروی رسوبات در میانه‌ی کانال مربوط به آزمایش V100-7.5-1 و V80-7.5-2 که به ترتیب تا فاصله معادل ۴۸ و ۴۲ برابر قطر پایه به سمت پایین دست از محل استقرار پایه (معادل موقعیت ۱۵۰ و ۱۶۰ درجه از ابتدای قوس) ادامه یافته است.

رابطه (۳) عمق آبشستگی وابسته به زمان را نشان می‌دهد:

$$\frac{ds}{D} = 0.1 \ln(t/t_e + 1)^{0.21} \left(D/L_{vp} + 5 \right)^{1.39} \left(L_{cv}/D \right)^{0.26} \ln(L_{vv}/D + 7.5) \quad (3)$$

است که پیشینه عمق آبشستگی مربوط به آزمایش V80-7.5-2 و معادل ۰/۶ برابر عمق جریان در ابتدای قوس و در فاصله معادل ۵۳ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی تشکیل شده است. همچنین گستردگی چاله آزمایش فوق نسبت به سایر آزمایش‌ها به ویژه در سمت ساحل خارجی بیشتر است به گونه‌ای که تا ۸۰ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی این چاله گسترده شده است. میزان رسوبگذاری آزمایش V80-7.5-1 در سمت ساحل داخلی نسبت به سایر آزمایش‌ها بیشتر بوده است که برابر ۰/۴۵ برابر عمق جریان در ۳ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی تشکیل شده است. عملکرد آزمایش‌هایی با طول همپوشانی ۱۰۰ درصد از ۶۴ - ۱۰۰ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی مشابه هم هستند. همچنین در آزمایش V100-7.5-1 می‌توان مشاهده کرد که در اطراف صفحه نزدیک به ساحل خارجی آبشستگی کمتری نسبت به سایر صفحات در این موقعیت رخ داده است.

شکل ۱۲. نمونه‌ای از مقطع عرضی بی‌بعد شده با عمق جریان در رأس کانال (معادل موقعیت ۹۰ درجه از ابتدای قوس) با طول همپوشانی (الف) ۸۰ (ب) ۱۰۰ درصد

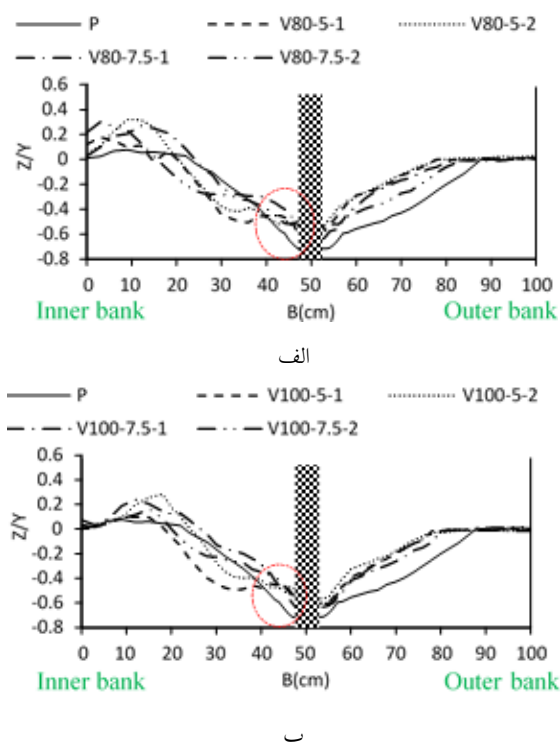


Fig. 12. A sample of a non-dimensional cross section with a flow depth in the channel middle (equivalent to 90 degrees from the beginning of the bend) with overlapping length a) 80 b) 100%

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش آزمایش‌ها برای اندازه‌گیری بیشینه عمق آبشستگی پایه استوانه‌ای مستقر در قوس ۱۸۰ درجه با هدف بررسی تاثیر صفحات مستغرق در کنترل آبشستگی موضعی اطراف آن انجام شد. متغیرهای موثر در این پژوهش طول همپوشانی صفحات، فاصله صفحات از مرکز پایه و فاصله صفحات از همدیگر در امتداد عمود بر جهت جریان بود. نتایج این پژوهش در محدوده تغییرات پارامترها به صورت زیر بیان می‌شود.

بیشینه و کمینه درصد کاهش آبشستگی نسبت به آزمایش تک پایه بدون صفحات مستغرق مربوط به آزمایش‌های V80-5-2 و V100-7.5-1 است که به ترتیب ۳۰ و ۱۵ درصد است.

بیشترین و کمترین پیشروی رسوبات برای آزمایش‌های V100-7.5-1 و V80-5-2 است که به ترتیب تا فاصله معادل ۵۶ و ۳۵/۵ برابر قطر پایه به سمت پایین دست از محل استقرار پایه (معادل موقعیت‌های ۱۷۰ و ۱۴۱ درجه از ابتدای قوس) است.

بیشترین و کمترین ارتفاع رسوبگذاری معادل ۰/۵۵ و ۰/۴۴ برابر عمق جریان در ابتدای قوس در آزمایش‌های V80-7.5-2 و V100-5-2 مشاهده شد.

وقوع ماکزیمم عمق آبشستگی بین زوایای ۸۹ الی ۹۲ می‌باشد، و دامنه تغییرات آن بین ۵۰ الی ۷۷ درصد عمق جریان در ابتدای قوس اندازه‌گیری شد.

حضور صفحات مستغرق با طول همپوشانی ۸۰ درصد، ناحیه رسوبگذاری را محدود به ۰ تا ۳ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی و در زاویه‌ی ۷۰ تا ۸۰ درجه از ابتدای قوس می‌نماید در حالیکه قرارگیری صفحات با طول همپوشانی ۱۰۰ درصد این ناحیه را محدود به ۰ تا ۱۲ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی و در زاویه‌ی ۷۵ تا ۱۲۷ درجه از ابتدای قوس می‌نماید.

همچنین وابستگی بین داده‌های آزمایشگاهی با مقادیر بدست آمده از رابطه (۳) در شکل (۱۴) نشان داده شده است.

شکل ۱۳. نمونه‌ای از مقطع طولی بی بعد شده با عمق جریان در طول قوس در فواصل ۵۰ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی با طول همپوشانی الف) ۸۰ ب) ۱۰۰ درصد

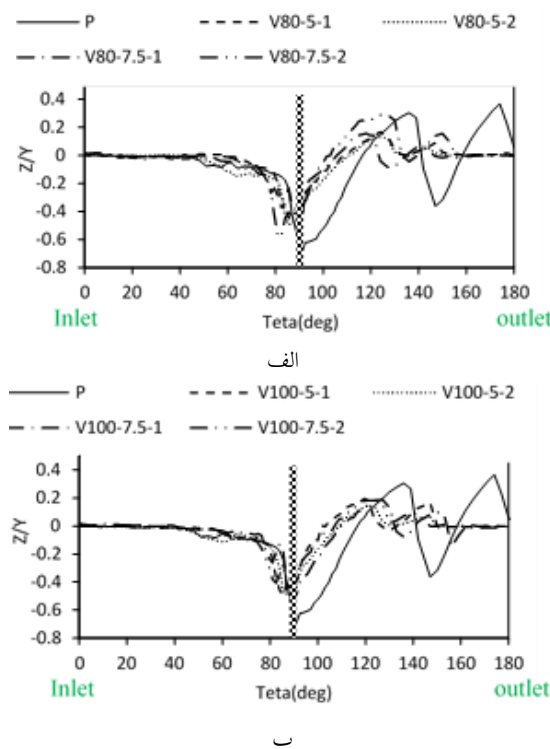


Fig. 13. A non-dimensional longitudinal 50 % channel width with an overlapping length a) 80 b) 100%

شکل ۱۴- مقایسه اندازه‌گیری‌ها نسبت به مقادیر پیش بینی شده عمق آبشستگی

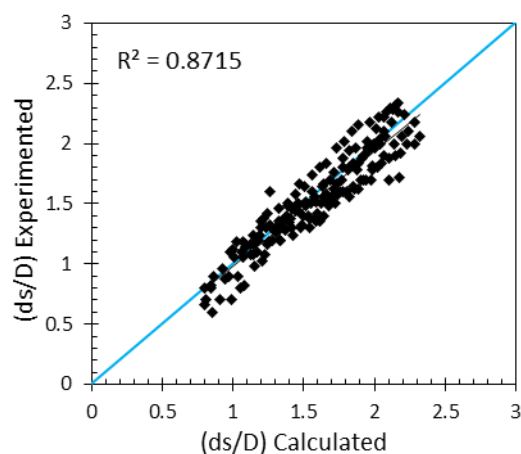


Fig. 14. Comparison of measures relative to the predicted values of scour depth

۶- مراجع

References

- 13- Shafai bejestan M. & azizi R. 2012 Experimental investigation of scour depth at edge of different submerged vanes shape. World Environmental and Water Resources Congress, 1376-1385.
- 14- Beygipoo Gh., Shafaei Bajestan M., Kaskuli H.A. & 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. International Journal of Farming and Allied Sciences, 2(17), 591-598.
- 15- Barani Gh. & Shahrokhi M. 2013 Experimental investigation of submerged vanes' shape effect on river-bend stability. Journal of Hydraulic Structures, 1(1), 37-43.
- 16- Ranjan Z. Ahmad M. 2015 Effect of spacing of submerged vanes on bed scour around river bends. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 12(2), 49-65.
- 17- Parchami L., Asghari Pari S.A. & Shafai Bajestan M. 2016 Experimental investigation of submerged vanes shape effect on bridge pier scouring. "(In Persian)"
- 18- Dey L., Abdul Karim B. & Piya B. 2017 Experimental study on bank erosion and protection using submerged vane placed at an optimum angle in a 180° laboratory channel bend. Geomorphology, 283, 32-40.
- 19- Leschziner M.A. & Rodi W. 1979 Calculation of strongly curved open channel flow. Journal of the Hydraulics Division, 105(10), 1297-1314.
- 20- Raudkivi A.J. & Ettema R. 1983 Clear-water scour at cylindrical piers. Journal of Hydraulic Engineering, 125, 59-66.
- 21- Raudkivi A.J. 1998 Loose Boundary Hydraulics. Brookfield, Balkema.
- 22- Chiew Y.M. & Melville B.W. 1987 Local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Research, 25(1), 15-26.
- 23- Neill C.R. 1967 Mean-velocity criterion for scour of coarse uniform bed-material. Paper presented at the 12th Congress of the International Association for Hydraulics Research, Colorado, U.S.A.
- 24- Odgaard A.J. & Wang Y. 1991 Sediment management with submerged vanes. I. theory. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, 117(3), 267-283.
- 1- Odgaard A.J. & Kennedy J.F. 1983 River-Bend Bank Protection by Submerged Vanes. Journal of Hydraulic Engineering, 109(8), 1161-1173.
- 2- Odgaard A.J. & Wang Y. 1987 Scour prevention at bridge piers. Proceeding of National Conference on Hydraulic Engineering. ASCE, Aug. 3-7. Williamsburg, Virginia. USA, 523-527.
- 3- Marelius F. & Sinha S.K. 1998. Experimental investigation of flow past submerged vanes. Jour nal of Hydraulic Engineering, ASCE, 124(5), 542-545.
- 4- Barkdoll B.D., Ettema R. & Odgaard J. 1999 Sediment control at lateral diversion: limits and enhancements to vane use. Journal of Hydraulic Engineering, 125(8), 862-870.
- 5- Lauchlan C.S. 1999 Pier scour countermeasures Ph.D. Thesis. University of Auckland. New Zealand.
- 6- Keshavarzi A. & Shamsaddinejad A.R. 2002 Plain secondary current at water intakes and its effect on sedimentation process. CSCE/EWRI of ASCE Environmental Engineering Conference, Niagara, 1-7.
- 7 -Tan S.K., Yu G., Lim S.Y. & Ong M.C. 2005 Flow structure and sediment motion around submerged vanes in open channel. Journal of Waterway. Port. Coastal and Ocean Engineering, 131(3). 132-136.
- 8- Ghorbani B. & Karimi A. 2007 A comparison of single and double submerged vanes effect on the scour occurring at a cylindrical pier, 260-276. Proc. Of 6 th conf. of hydraul. Sep. 4-6 Shahrekord. Iran.
- 9- Ghorbani B. & Kells J.A. 2008 effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier. Journal of Hydraulic Research, 46(5), 610-619.
- 10 -Masjadi A., Morattab B. & Savari A. 2011 Study of effect angle of submerged vanes on scour hole at flume bend. Word Applied Sciences Journal, 13(9), 2047-2051.
- 11- Shojaei P., Farsadizadeh D., Hosseinzadeh Delir A., Salmasi F. & Ghorbani M. 2011 Application of submerged vanes in reducing scouring of the cylinders pier of bridges", Journal of water and soil Knowledge, 22(1)."(In Persian)"
- 12- Hosseini S.H., Hosseinzadeh dalir A., Farsadizadeh D., Arvanaghi H. & Ghorbani M.A. 2011 Simultaneous effects of submerged vanes and collar on scour reduction around rectangular piers with rounded nose. Journal of water and soil Knowledge, 22(3). "(In Persian)"

The effect of 20% reduction in overlapping length of the upstream submerged vanes of bridge pier on bed topography in sharp 180 degree bend

Ch. Abdi Chooplou¹, M. Vaghefi^{2*}, S. H. Meraji³

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

2- Associate Professor, Civil Engineering Department, Persian Gulf University, Bushehr

3- Assistant Professor, Civil Engineering Department, Persian Gulf University, Busheh

*Vaghefi@pgu.ac.ir

Abstract: Local scour around bridge pier is one of the important problem in bridge stability against water flow that is created due to hole scour around bridge pier and castrates its stability. So as, providing methods for control and scour reduction around bridge pier have very importance. Yet different methods have been proposed for preventing and reducing the local scouring around the bridge pier. Use of Submerged Vanes is one of the methods that researchers are interested in Submerged plates are thin rectangular structures that because of having angle with the flow direction, is created high pressure and low pressure region on both sides. These structures create a secondary vortex and change the flow pattern in the river bed and as a result, change the sediment and scour transmission. Submerged vanes performance to reduce the bridge pier scouring the sediment movement around the vanes due to the downward flow in front of them are affected by the layout of the plates. These vanes are designed in cross section of the channel and fixed with a little angle relative to flow direction perpendicularly on the bed. In this research, submerged vanes were used to reduce the local scour around the single bridged pier located in bend head. Effective variables in this study were vanes overlapping length, space of submerged vanes from bridge pier center and space of submerged vanes from each other perpendicular state on flow direction. For this purpose, a cylindrical bridge pier to diameter 5 cm in the laboratory was performed with a sharp bend 180 degree with central radius to channel width ratio equal 2, a width 1 meter and height 90 cm with straight direction length of bend upstream 6.5m and straight direction length of bend downstream 5m in clear water conditions $U/U_c = 0.98$ with water discharge of 70 liters per second and depth 17.8 cm. The submerged vanes were Plexi Glass with width 1.5 equal pier diagonal (7.5cm), thickness equal 20% pier diagonal and located in 25 angle relative to horizon with height of out of bed 4.5cm (submergence percent 0.75) with sitting vanes center in the middle of channel (50% channel width from inner bank, with overlapping length (L_{cv}) 80 and 100% and intervals of submerged vanes from each other perpendicularly on flow direction 5 and 10cm (L_{vv}/D)=1.2 in position 83 and 79.5 degree from beginning of the bend (interval equal 5 and 7.5 pier diameter toward upstream from located pier site) (L_{vp}/D =5, 7.5). Also use of submerged vanes is transferred location of maximum scour depth to a place near than pier and limited width of scour hole around a pier. Furthermore, submerged vanes limit sedimentation region to 0-12% channel width from inner bank and in 70-127 degree from the beginning of the bend. Minimum and maximum scour in hole around pier with submerged vanes are created 0.53 and 0.65 equal flow depth at the beginning of the bend in V80-5-2 and V100-7.5-1 Tests, respectively. The discussion about the results of this research is from the other parts of this paper. The highest and lowest sedimentation height in experiments with overlapping length 80 and 100 percent occur with deposition of vanes in distance of 7.5 and 5 times pier diameter from it respectively, and 2 times pier diameter from each other, that is 0.55 and 0.44 times flow depth at the band beginning.

Key words: Clear water, Scouring, Bridge Pier, Submerged Vanes, Submerged Vanes Overlapping Length