

چنور عبدی چوپلو^۱، محمّد واقفی^{*۲} و سیّدحامد معراجی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازههای هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس ^۲ دانشیار سازههای هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس ^۳ استادیار سازههای هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس

(دریافت: ۹۶/۹/۴، پذیرش: ۹۸/۴/۲۳، نشر آنلاین: ۹۸/۴/۲۳)

چکیدہ:

از آنجا که رودخانههای طبیعی بهندرت در مسیری مستقیم جریان دارند و معمولاً در الگویی نامنظم مسیر خود را طی می کنند. لذا مطالعه جریان در کانالهای خمیده و قوسی شکل در بررسی ریختشناسی رودخانهها همواره از اهمیت زیادی برخوردار بوده است. از طرفی احداث هر گونه مانع مانند پایه پل و صفحات مستغرق در مقابل جریان باعث پدید آمدن آبشستگی موضعی در اطراف مانع می شود. مقایسه این آبشستگی نسبت به آبشستگی ناشی از قوس بدون سازه در جریانهای نزدیک به سرعت بحرانی می تواند برای مهندسان رودخانه جذاب باشد. در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی آبشستگی قوس تند تحت تأثیر جداگانه سازههای رودخانهای نظیر پایه پل منفرد، صفحات مستغرق منفرد و دوتایی پرداخته شده و تغییرات توپوگرافی بستر با آبشستگی قوس بدون سازه میدرولیکی و در شرایط جریان یکسان مقایسه شده است. نتایج آزمایشات نشان داد که استفاده از دو عدد صفحه مستغرق با فاصله مرکز تا مرکز صفحات معادل قطر پایه پل، علاوه بر کاهش ۳۰ درصدی عمق آبشستگی نسبت به تکیایه، تأثیر زیادی در جلوگیری از پیشروی رسوبات به سمت به پاییندست کانال دارد. بحث پیرامون نتایج به دست آمده از این تحقیق از قسمتهای دیگر ارائه شده در این مقاله است.

كليدواژهها: صفحات مستغرق، پايه ى پل منفرد، قوس تند، الگوى آبشستگى.

۱– مقدمه

الگوی جریان رودخانههای پیچانرودی بهخاطر وجود جریان حلزونی بسیار پیچیده است. این پیچیدگی علاوه بر آشفتگی و طبیعت سهبعدی جریان، ناشی از تغییرات توپوگرافی بستر نیز می باشد.

پلها از جمله مهمترین و پرکارترین سازههای رودخانهای هستند که در راهسازی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. هرساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از این پلها درست زمانی که بیشترین نیاز به آنها وجود دارد، تخریب میشوند. یکی از مؤثرترین عوامل این تخریبها آبشستگی موضعی اطراف پایهها در قوس رودخانه است (مسجدی و همکاران، ۱۳۹۰).

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 درنتیجه تغییر روند انتقال

رسوب و فرسایش میشوند (شجاعی و همکاران (۱۳۹۱)).

کاربرد این صفحات بیشتر در مناطقی است که تشدید جریان ثانویه براثر مسائل هندسی مانند انحنا در مسیر و غیره باعث تخریب یا تغییر توپوگرافی مسیر میباشد. ازاینرو پیشبینی پروفیل مؤلفههای سرعت و جریان گردابی در این مناطق قبل از به کارگیری صفحات و بعد از استفاده از صفحات یکی از راهکارهای مهم در آرایش نصب این صفحات در جهت عملکرد بهتر میباشد (کلامی زاده، ۱۳۸۸).

در زمینه آبشـسـتگی اطراف پایه پل تحقیقات گسـتردهای انجام شـده اسـت. Ettema و همکاران (۱۹۹۸) در یک پژوهش آزمایشـگاهی بررسـی چرخش پایه حول محور اصـلی خودش را بررسـی کردند. پژوهشهای آنها نشـان داد که زاویه چرخش بر مقدار آبشستگی بسیار اثرگذار میباشد.

و Bozkus و ۲۰۰۴) (۲۰۰۴) در یک تحقیق آزمایشگاهی در یک کانال مستقیم و تکپایه پل دایروی مایل در صفحه موازی با

^{*} نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۷۳۱۳۷۶۰۹

آدرس ايميل: chonoorabdi@yahoo.com (چ. عبدی چوپلو)، vaghefi@pgu.ac.ir (م. واقفی)، h.meraji@pgu.ac.ir (س. ح. معراجی).

جهت جریان به این نتیجه رسیدند که با افزایش زاویه به سمت پاییندست از مقدار آبشستگی کاسته می شود. Emami و همکاران (۲۰۰۸) با آزمایش در یک کانال با قوس ۱۸۰ درجه و عرض ۶۰ سانتیمتر با پایسه پل تک به این نتیجه رسیدند که حداکثر مقدار آبشستگی در زاویه ۶۰ درجه کانال رخ میدهد.

Umeda و همکاران (۲۰۱۰) در یک تحقیق آزمایشگاهی تأثیر عمق پی پایه پل بر مقدار آبشــســتگی را بررســی کردند. در یک کانال مستقیم به عرض ۳۰ سانتیمتر پرداختند تحقیقات ایشان نشان داد که بیشترین آبشـستگی در بالادست پایه رخ می دهد. Vaghefi و همکاران (۲۰۱۴) به بررسـی تنش برشـی بستر در مسیر قوسی شکل با زاویه ۱۸۰ درجه پرداختند. آنها نشان دادند که در اوایل قوس، مقدار تنش بیشتر بوده و حداکثر میچنین در سال ۲۰۱۵ به بررسی نوسانات سرعت و سپس توزیع انرژی جنبشی در مقطع ۸۵ درجه و حداقل مقدار آن در مودار آن در موقعیات ۲۰ درجه از ایت در موتی تحقیق ترایش ان داد که حرا می در می این ای در موتین ای در موت از ۲۰۱۵ به بررسی توزیع می در مال ۲۰۱۵ به بررسی نوسانات سرعت و سپس توزیع انرژی جنبشی در مقطع ۸۵ درجه و حداقل مقدار آن در درجه رخ داده است.

Karimi و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثر زاویه کجی پایه پل بر روی فرآیند آبشــســتگی پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که حداقل و حداکثر عمقهای آبشـسـتگی در زوایای صفر تا ۱۵ درجه پایه اتفاق افتاد.

Vaghefi و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی آبشسستگی حول سری پایههای سهتایی استوانهای، در یک فلوم آزمایشگاهی به عرض ۱۰۰ سانتیمتر و قوس ۱۸۰ درجه تند، پرداختند نتایج تحقیقات آنها نشان داد که در موقعیت استقرار پایهها در دو حالت عمود بر جریان و در جهت جریان، در زاویه ۶۰ درجه بیشترین مساحت چاله آبشستگی در اطراف پایهها مشاهده گردید. همان طور که بیان شد، صفحات مستعرق ازجمله سازههای هستند که جهت کاهش عمق آبشستگی دیوارههای رودخانه و یا پایههای پل بکار میروند. به همین منظور نمونههایی از تحقیقات انجام شده در رابطه با صفحات مستغرق در زیر بیان

Odgaard و ۱۹۹۳ (۱۹۸۳) از صفحات مستغرق برای حفاظت ساحل در پیچ رودخانهها از طریق کاهش جریانهای ثانویه فرسایش دهنده ساحل خارجی قوس رودخانهها استفاده کردند.

Odgaard و Spoljaric) به بررسی صفحات مستغرق در حفاظت از رودخانـــه پرداختند. آنها نشـان دادند که وقتی صفحات در یک ردیف عرضی در کنار هم نصب میشوند، عرض سطح تأثیر آنها در انتقال رسوب افزایش مییابد.

Odgaard و Wang (۱۹۹۱) به منظور کارایی بیشتر صفحات

مستغرق در انتقال رسوب به این نتیجه رسیدند که باید مقدار ارتفاع صفحه کمتر از یکسوم عمق جریان باشد.

Sinha و Marelius (۲۰۰۰) مدل عددی برای تحلیل جریان عبوری از روی یک صفحه مستغرق را ارائه نمودند. این مدل معادلات سهبعدی ناویر استوکس را با روش k-*e* حل مینماید. نتایج مدل عددی با مشاهدات مطالعه آزمایشگاهی انجام شده در یک کانال مستطیل مستقیم با بستر متحرک مقایسه شد.

Tan و همکاران (۲۰۰۵) ویژگیهای حرکت جریان و رسوب اطراف یک صفحه مستغرق بزرگ به طولهای بین یک تا چهار متر را در یک فلوم مستقیم و عریض بررسی نمودند.

Masjedi و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر زاویه صفحات مستغرق را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند.

Shafai bejestan و Shafai bejestan در مطالعه آزمایشگاهی خود، عمق آبشستگی اطراف شکلهای مختلف پرههای مستغرق را اندازه گرفتهاند. چهار شکل از صفحات مستغرق مورد آزمایش قرار دادهاند. آزمایشها نشان داده است که کج کردن لبهی صفحات باعث کاهش آبشستگی اطراف صفحات میشود.

Barani و Barani (۲۰۱۳) یز تأثیر اشکال مختلف صفحات مستغرق به کاهش عمق آبشستگی در قوسهای ۹۰ و ۱۸۰ درجه را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که اگر صفحات به صورت زیگزاگ قرار گیرند، عمق آبشستگی را تا ۶۲ درصد کاهش می دهند.

Teronpi و Kumar (۲۰۱۵) اثر شکلهای مختلف صفحات مستغرق و تغییر زاویـــه برای شـکلهای مختلف بر روی حجم آبشستگی اطراف پرهها را مورد بررسی قراردادند.

پرچمی و همکاران (۱۳۹۶) با انجام آزمایش بر روی یک فلوم مستطیلی به بررسی تأثیر اشکال مختلف صفحات، بر کاهش آبشستگی پایه پرداختند. نتایج به دستآمده از این تحقیق نشان می دهد که بیشترین مقدار کاهش عمق آبشستگی نسبت به پایه بیدون محافظ مربوط به حالت صفحات تخت با آرایش نوک تیز می باشد. gouyang و L (۲۰۱۶) تأثیر فاصله صفحات از هم، بر محافظت از سواحل کانالهای قوسی را بررسی نمودهاند. نتایج نشان می دهد با افزایش فاصله صفحات از هم عملکرد آنها نیز نشان می دهد با افزایش فاصله صفحات از هم عملکرد آنها نیز مفحات مستغرق را به صورت آزمایشگاهی در قوس ۱۸۰ درجه بررسی کردند نتایج آنها بیانگر این می باشد که استقرار صفحات با زاویه ۱۵ درجه بهترین زاویه برای کاهش آبشستگی ساحل بیرونی است.

Maatooq و Adhab (۲۰۱۷) تأثیـــر فاصـله صـفحات مستغرق از ساحل خارجی کانال بر پیشروی رسوبات در طول کانال را بررسی نمودهاند. آنها برای این منظور صفحات مستغرق را در فواصل مختلف از ساحل خارجی در کانال قوسی ۱۸۰ درجه

قرار دادهاند. "Biswas و Barbhuiya (۲۰۱۹) به بررسی تأثیر ارتفاع، طول، زاویه و تعداد صفحات مستغرق بر روی الگوی جریان و تغییرات توپوگرافی بستر در یک قوس ۱۸۰ درجه پرداختند. هدف از این تحقیق بررسی میزان آبشستگی موضعی هریک از این سازهها در قوس و مقایسه آن با حالت قوس بدون سازه میباشد.

۲- مواد و روشها

آزمایشات موردنظر در کانالی با قوس ۱۸۰ درجه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه خلیج فارس انجام گرفته است. در شکل (۱) نمایی از کانال آزمایشگاهی موردنظر آورده شده است. این کانال از یک مسیر مستقیم به طول ۶/۵ در بالادست و همچنین قسمتی مستقیم به طول ۵ متر در پاییندست تشکیل می شود که این دو مسیر مستقیم توسط یک قوس ۱۸۰ درجه، به شعاع داخلیی ۱/۵ متر و شعاع خارجی ۲/۵ متر به یکدیگر متصل گردیدهاند.

جنس دیواره آن از شیشه و پایداری آن توسط قاب فلزی حفظ میشود. ارتفاع کانال ۲۰ سانتیمتر، عرض آن ۱ متر و نسبت شعاع قوس به عرض کانال برابر ۲ میباشد، که طبق دستهبندی Leschziner و ۱۹۷۹ (۱۹۷۹) در دسته قوسهای تند قرار می گیرد.



شکل ۱- نمایی از کانال آزمایشگاه به همراه ابعاد

برای حذف اثر غیریکنواختی رسوبات بر کاهش آبشـسـتگی پیشـنهاد نمودند میزان انحراف معیار نباید از ۱/۳ بیشـتر شـود (۱۹۸۷) Melville و Chiew)).

طبق توصیه Raudkivi و Ettema (۱۹۸۳) برای جلوگیری از تشکیل ریپل قطر ذرات باید بزرگتر از ۰/۷ میلیمتر باشد. بنابراین رسوبات از جنس سیلیس با قطر متوسط ۱/۵ میلیمتر و انحراف معیار هندسی برابر ۱/۱۴ انتخاب و در لایهای به ضخامت ۳۰ سانتیمتر جهت انجام آزمایشها مورد استفاده قرار گرفت.



در شکل (۲) نمودار نیمه لگاریتمی دانهبندی مصالح نشان داده شده است که در آن d قطر مصالح بستر بر حسب میلی متر میباشد. با توجه به این که آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی می شود باید $U \leq U_c$ باشد. بنابراین با توجه به دبی بررسی می شود باید از معادلات Neill (۱۹۶۷) عمق جریان به گونه ای در نظر گرفته می شود که شرایط $U = 0.98 U_c$ به صورت زیر برقرار شود:

$$\frac{\rho \, U_c^2}{g \, (\rho_S - \rho) * d_{50}} = 2.50 \left(\frac{d_{50}}{y}\right)^{-0.2} \tag{1}$$

که در آن، y عمق جریان، d_{50} متوسط قطر اندازه ذرات رسوب، ρ جرم واحد حجم آب، ρ_s : جرم واحد حجم رسوبات، gشتاب گرانش، U_c سرعت جریان در آستانه حرکت میباشند. بنابراین عمق جریان در ابتدای قوس حدود ۱۸ سانتیمتر و سرعت متوسط جریان در ابتدای قوس γ ۰ متر بر ثانیه و عدد فرود γ ۰ میباشد.

برای محاسبه زمان تعادل آزمایــــشها، ابتدا یک آزمایش طولانی به مدت ۴۴ سـاعت بر روی تک پایه عمودی در موقعیت ۹۰ درجه در قوس انجام گرفت (آزمایش PT). زمان تعادل نسبی معادل مدت زمانی که عمق بیشینه آبشستگی به ۹۰ درصد عمق بیشینه آبشـستگی در زمان تعادل رسیده بود انتخاب شد. این زمان معادل ۹ ساعت محاسبه گردید.

آزمایش دوم بدون پایه یا به عنوان دیگر قوس خالی به منظور شناخت شرایط آبشستگی در قوس و آزمایش سوم با حضور تک پایه عمودی با قطر ۵ سانتیمتر (D) در رأس قوس (شکل (۳-الف)) مورد بررسی قرار گرفت که بهترتیب با NP و P گزارش شدهاند.

دو آزمایش دیگر با مستقر کردن صفحات مستغرق با درصد استغراق ۲/۵، طول ۲/۵ سانتیمتر، ضخامت ۱ سانتیمتر، طبق توصیه Odgaard و ۱۹۹۱) (۱۹۹۱) و زاویه ۲۵ درجه نسبت به افق و قرارگیری مرکز صفحات در میانه کانال (۵۰ درصد عرض کانال از ساحل داخلی) در موقعیت ۹۰ درجه از ابتدای قوس که

با نمادههای V و 2V گزارش شده است.

در آزمایش ۷ از تک صفحه و در آزمایش 2۷ از دو عدد صفحه با طول همپوشانی ۱۰۰ درصد، و فاصله مرکز تا مرکز صفحات از همدیگر در امتداد عمود بر جهت جریان پنج سانتیمتر که معادل قطر پایه است. مطابق شکل (۳–ب) و شکل (۳–پ) انجام گرفت.



آنها: الف) P، ب) V، پ) 2V

قبل از هر آزمایش با دستگاه صاف کننده، بستر کانال صاف می گردد. در شروع هر آزمایش آب از مخزن تعبیه شده در زیر مخزن کانال وارد مخزن ورودی شده و سپس به آرامی و با سرعت ناچیز وارد کانال می شود. مدت زمان لازم برای اشباع مصالح حدود ۳۰ دقیقه می باشد. پس از بالا آمدن آب در کانال به صورت

تدریجی جریان برای رسیدن به دبی موردنظر افزایش مییابد. جریان آب با دستگاه دبی سینج تنظیم می گردد. سیپس عمق آبشستگی پیرامون سازه واقع در قوس در طول زمان ۹ ساعت، با استفاده از خطکش الکترونیکی، اندازه گیری می شود. در انتهای هر آزمایش نیز با کاهش دبی به صورت تدریجی جریان از کانال خارج و زهکشی صورت می گیرد. سپس مقاطع عرضی توپو گرافی بستر مطابق شکل (۴)، با استفاده از دستگاه برداشت توپو گرافی بستر لیزری با دقت ۱ میلی متر اندازه گردید.



شکل ۴- نمایی از شبکه برداشت توپوگرافی بستر

۳- نتایج و بحث

هدف اصلی این مقاله، مقایسه آزمایشگاهی آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه تند نسبت به حالات قرارگیری صفحات مستغرق منفرد و دوتایی یا پایه پل منفرد در موقعیت یکسان و مقایسه با قوس بدون سازه میباشد.

۳-۱- تغییرات توپوگرافی بستر

در شـکل (۵) طرح سهبعدی حفره آبشستگی در دو آزمایش P و P نشان داده شده است.

با توجــه به شـکل (۵-الف) مشـاهده می گردد که مقدار بیشینه آبشستگی و رسوبگذاری بهترتیب ۱۷ و ۳۳ درصد عمق جریان در ابتدای قوس میباشد. محدوده آبشستگی در زاویه ۴۰ الی ۶۵ درجه در فاصله ۱۵ الی ۵۰ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی اندازه گیری شـد. بیش ترین آبشستگی در زاویه ۴۹ درجه از ابتدای قوس و در فاصله ۱۷ درصدی عرض کانال از سـاحل داخلی اتفاق افتاد.

آزمایش P با استقرار تکپایه عمودی در قوس مورد بررسی قرار گرفته است. در حین آزمایش مشاهده میشود که رسوبات از قسمت بالادست حرکت کرده و جابهجایی آنها به سمت پایین-دست میباشد. با گذشت زمان ناحیه آبشستگی در بالادست پایه توسعه یافته و شکل تقریباً نیمدایره به خود می گیرد.



شکل ۵- طرح سهبعدی تراز حفره آبشستگی در آزمایشهای: الف) NP ،ب) P

رسوبات جابهجا شده، در پاییندست پایه تجمع مییابند و با ادامه این روند ارتفاع رسوبات زیاد شده و باعث تشکیل پشته رسوبی در این منطقه میشوند. با گذشت زمان، جابهجایی رسوبات به سمت پاییندست بیشتر شده که نتیجه آن ریزش حفره دیواره آبشستگی و توسعه آن است. پس از مدت ۵ دقیقه از شروع آزمایش فرآیند آبشستگی به طرفین پایه و سپس این رسوبات جمع شده به سمت پاییندست حرکت کرده و در کناره ساحل داخلی ایجاد پشته رسوبی مینمایند همچنین مشاهده می گردد که مقدار بیشینه آبشستگی ۵۷ درصد و تراز حداکثر پشته رسوبی ۶۶ درصد عمق جریان در ابتدای قوس است شکل

توپوگرافی بستر مربوط به آزمایشهای ۷ و 2۷ به همراه بزرگنمای اطراف صفحات در شکل (۶) آورده شده است. طی انجام آزمایشها، تغییرات توپوگرافی بستر مربوط به این آزمایش، مشاهده شد. با قرار دادن صفحات مستغرق در قسمت میانه قوس و در موقعیت ۹۰ درجه مشاهده می شود که پس از برخورد آب به صفحات مستغرق، به علت ایجاد فشار دینامیک، در بالادست صفحات مستغرق، جریان رو به پایین شکل گرفته و باعث جدا کردن ذرات رسوب از بستر در ایسن ناحیسه

مـــــیشــود. همچنین مشاهده میگردد که فرایند آبشستگی از ابتدای صفحات شروع می شود و این آبشستگی تا انتهای صفحات امتداد می یابد بخشی از رسوبات ناشی از آبشستگی صفحه مستغرق به سمت ساحل داخلی کانال جابهجا شده و بخش دیگر رسوبات صفحات در جلوی صفحات جمع می شود، و با گذر زمان دچار آبشستگی شده و به سمت پاییندست حرکت میکند. رفتار متفاوت الگوی آبشـسـتگی در این آزمایشـات (۷ و 2۷) نشـان مىدهد كه تغيير تعداد صفحات مستغرق علاوه بر كاهش يا افزایش عمق آبشـستگی می تواند باعث تغییر نحوه آبشستگی نیز شود. به عنوان مثال گستردگی چاله آبشستگی در عرض کانال آزمایش V نسبت به آزمایش 2V، ۵۷ درصد بیشتر است. چاله آبشستگی دوم آزمایش ۷ در مجاورت ساحل خارجی اما برخلاف انتظار چاله دوم آبشستگی آزمایش 2۷ در مجاورت ساحل داخلی تشکیل گردیده است. پشتههای رسوبی به صورت متناوب در بالادست و پایین دست صفحات در مجاورت ساحل داخلی تشکیل شده است.



شکل ۶- نمونهای از توپوگرافی بستر در آزمایشهای: الف) ۷، ب) 2۷ به همراه بزرگنمای اطراف صفحات مستغرق

این پشتهها در آزمایش ۷ و 2۷ بهترتیب در زاویه ۱۳۶ و ۶۱/۵ درجه از ابتدای قوس و در فاصله ۹ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی و مماس بر ساحل داخلی به حداکثر مقدار خود میرسند، که بهترتیب ۸/۵۸ و ۰/۵۳ برابر عمق جریان در مسیر مستقیم بالادست میباشد.

۲-۲- ابعاد مستطیل محیط بر چاله آبشستگی

به منظور بررسی نحوه توزیع چاله آبشـسـتگی در عرض و طول کانال، ابعاد اندازه گیری شـده مسـتطیل محیطی با در نظر گرفتن عمق آبشـسـتگی بیشـتر از ۵۰ درصـد قطر پایه، بر چاله آبشـسـتگی اصـلی پیرامون سـازهها فرض شـده است شکل (۷) بهصورت شماتیک این مستطیل محیطی را نشان میدهد. شکل (۸) بیانگر ابعاد مستطیل محیط برچاله آبشستگی اصلی می،اشد. در این نمودارها W عرض و L طول مستطیل محیطی بـر چاله آبشـسـتگی که بر حسب قطر پایه (D) بی بعد شـدهاند می،اشد. نتایج نشان میدهد که بیشترین طول و عرض مربوط به آزمایش سـتلیل محیط بر چاله آبشـسـتگی در آزمایش ۷۲ ۲۱/۲ برابر قطر پایه می،اشد که دلیل آن استقرار صفحات با زاویه ۲۵ درجه نسبت به افق بوده است.



شکل ۸- ابعاد مستطیل محیطی بیبعد شده با قطر پایه، بر چاله آبشستگی

همچنین عرض مســـتطیل محیط بر چاله آبشــســتگی در آزمایش ۷، ۵ برابر قطر پایه میباشد. درحالی که گستردگی چاله آبشستگی ۷ در طول کانال بیشتر از آزمایش 2۷ میباشد.

۳-۳- مساحت و حجم چاله آبشستگی

هرچند ابعاد مستطيل محيطي بيانگر وسعت چاله آبشستگي پیرامون سازه مستقر در رأس قوس میباشد، ولی برای بیان همزمان تأثير صفحات مستغرق در گستردگی چاله آبشستگی پیرامون سازه در عرض و طول کانال مدنظر و بررسی تأثیر سازه مستقر در رأس قوس بر عمق آبشستگی در مستطیل محیطی بر چاله اصلی، نمودار حجم بی بعد شده چاله آبشستگی پیرامون پایه پل و صفحات مستغرق را نسبت به توان سوم قطر پایه در برابر مساحت بی بعد شده چاله آبشستگی پیرامون پایه پل و صفحات مستغرق بیبعد شده با توان دوم قطر پایه در کلیه آزمایشات، در شـکل (۹) نشـان داده شـده اسـت. همان طور که در شـکل (۹) مشاهده می شود مساحت آبشستگی در آزمایش P نسبت به سایر آزمایشات بیشتر است به طوری که کم ترین مساحت آبشستگی مربوط به آزمایش 2۷ میباشد و آزمایشهای ۷ در رده بعدی قرار دارد که مساحت آبشستگی در آنها بهترتیب ۱۰۷/۵ و ۱۲۶ برابر توان دوم قطر پایــه میباشـد. کمترین و بیشـترین حجم آبشستگی مربوط به آزمایشهای 2V و P میباشد.



۳-۴- عمق آبشستگی و ارتفاع رسوبگذاری بیشینه و محل وقوع آنها

به منظ و مقایسه بهتر توپوگرافیهای بستر در تمامی آزمایشها، حداکثر تراز رسوبگذاری و عمق بیشینه آبشستگی در مجاورت پایه و صفحات مستغرق در تمامی آزمایشها در شکل (۱۰) به صورت بیبعد شده برحسب عمق جریان در ابتدای قوس آورده شده است. در این نمودارها، hmax بیشترین تراز

ارتفاعی رسوب گذاری، ds_{max} عمق بیشینه آبشستگی و Y عمق جریان در ابتدای قوس میباشد. با توجه به شکل (۱۰-الف) مشاهده میشود که محدوده تغییرات رسوب گذاری بین ۳۳ تا ۲۰ درصد عمق جریان در ابتدای قوس میباشد و محدوده آن در حد فاصله ۶۰ الی ۱۷۱ درجه از ابتدای قوس قرار دارد. بیشترین تراز رسوب گذاری در آزمایش P اتفاق میافتد. همچنین کم ترین مقدار رسوب گذاری در آزمایش NP رخ میدهد، این مقدار برابر

با توجه به شـکل (۱۰–ب) مشـاهده میشـود، موقعیت وقوع ماکزیمم عمق آبشـسـتگی مابین زوایای ۴۹ الی ۹۳ میباشـد، و محدوده تغییرات آن مابین ۱۷ الی ۷۵ درصد عمق جـریان در ابتدای قوس میباشـد. حداقل و حداکثر آبشـسـتگی مربوط به آزمـایش ۹۲ و۹ میباشد. مشاهده میگردد که با استقرار سازه در رأس قوس، موقعیت حداکثر عمق آبشـسـتگی از بالادست به پاییندست و نزدیک محل اسـتقرار سازه در رأس قوس نزدیک میشود و مقدار آن بین ۱۹۷ الی ۳۲۵ درصـد بیشتر میگردد، علت این امر تنگ شـدن مقطع عرضی کانال و ایجاد آبشستگی موضـعی براثر اسـتقرار سازه میباشد. در آزمایش ۷۷ در قسمت میانه قوس نسـبت به آزمایش ۹ کاهـ___ ۳۰ درصـدی عمق آبشـستگی مشـاهده میشود. اما این کاهش عمق آبشستگی در میباشد.



آبشستگی بیشینه و محل وقوع آنها

۳-۵- آبشستگی در مقاطع طولی

در شکل (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) نمونهای از مقاطع طولی بی عد شده با عمق جریان در نزدیکی ساحل داخلی، میانه قوس و ۹۵ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی نشان داده شده است. Teta زاویه بررسی از ابتدای قوس و (^۲/_۲) بیانگر تغییرات تراز بستر بی بعد شده با عمق جریان در ابتدای قوس می باشد.

در مقطع طولی به فاصله ۵ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی مطابق شکل (۱۱)، از موقعیت حدود ۲۵ درجه تا انتهای قوس پدیده رسوبگذاری حاکم میباشد. از زاویه ۶۰ تا ۸۰ درجه از ابتدای قوس، رسوبات زیادی بر روی هم انباشه شدهاند. بیشترین ارتفاع پشته رسوبی در این ناحیه برابر با ۵۴ درصد عمق جریان در ابتدای قوس و در آزمایش ۷ در زاویه ۷۴ درجه است. با توجه به شکل (۱۲) مشاهده میشود، در مقطع طولی ۵۰ درصد عرض کانال از ساحل داخلی، تا زاویه ۳۲ درجه، بستر در تمامی آزمایشات دارای تغییرات چشم گیری نمی باشد روند آبشستگی آزمایشات تا زاویه ۷۰ درجه مشابه بوده است. مطابق انتظار بیشترین آبشستگی در رأس و محل قرار گیری سازهها رخ داده است.



شکل ۱۱– نمونهای از مقطع طولی بیبعد شده با عمق جریان در فاصله ۵ درصد عرض کانال از ساحل داخلی



شکل ۱۲- نمونهای از مقطع طولی بیبعد شده با عمق جریان به فاصله ۵۰ درصد عرض کانال از ساحل داخلی

اما در آزمایش NP روند تغییرات بستر از ۷۰ درجه تا انتهای قوس برعکس سایر آزمایشات میباشد و کمترین آبشستگی را در این محدوده دارد. در آزمایش 2۷ منحنی بعد از نقطه بیشینه آبشستگی با شیب تندی کاهش یافته و در زاویه ۱۲۵ درجه به سطح بستر اولیه رسیده و در بازه ۱۲۰–۱۴۰ رسوب گذاری رخ داده است. در آزمایش مذکور از ۱۷ و در دو آزمایش P و V در ۵۶ برابر قطر پایه به سـمت پاییندسـت تغییرات بسـتر صـفر می باشد. با حرکت از رأس قوس به سهمت انتهای کانال، روند آبشستگی و رسوب گذاری متناوبی مشاهده می کنید. مشاهده می گردد رسوبات ناشی از آبشستگی اطراف سازه مستقر در رأس قوس و بالادست کانال جابه جا شده، و در پشت سازه تجمع مى يابند و با ادامه اين روند ارتفاع رسوبات زياد شده و باعث تشکیل پشته رسوبی در این منطقه می شوند. حجم این رسوبات رابطه مستقیمی با حداکثر عمق آبشستگی و گستردگی چاله آبشـسـتگی اصلی دارد ($h_{P1}\alpha d_{P1}$) و همچنین بعد از تشکیل پشته رسوب گذاری در طول کانال آبشستگی و رسوب گذاری به صورت دورهای تکرار میشود. آبشستگی موضعی باعث تشدید پشته رسوبی در پاییندست پایه میشود. در پاییندست پشته رسوبی تشکیل شده گرادیان منفی فشار رخ میدهد و باعث ایجاد جت آب در این ناحیه می شود، که نتیجه آن فرسایش مى باشد و عمق فرسايش ايجاد شده متناسب با ارتفاع و سرعت ریزش آب میباشد، که هرچقدر ارتفاع پشته رسوبی تشکیل شده بيشتر باشد سرعت ريزش متناسب با جذر اين ارتفاع زياد شده و عمق فرسایش در پاییمندست پشته رسوبی مذکور بیشتر می گردد (d_{P2}αh_{P1}).

حمله جریان به ساحل خارجی از مشکلات اصلی در مسیر قوسی شکل میباشد. بنابراین به منظوری بررسی تأثیر جریان بر روی قوس خارجی مقطع طولی در نزدیکی ساحل خارجی در شکل (۱۳) آورده شده است. با توجه به شکل مشاهده می گردد در تمامی آزمایشها از ابتدا تا زاویه ۱۱۰ درجه تغییرات بستر جزئی بوده و بستر در تراز اولیه خود قرار دارد است.



شکل ۱۳- نمونهای از مقطع طولی بیبعد شده با عمق جریان در فاصله ۹۵ درصد عرض کانال از ساحل داخلی

از زاویه ۱۱۰ درجـه تا انتهای قوس، پدیده غالب آبشستگی در آزمایش P مشهود می اشد، طوری که دو حفره آبشستگی به صورت متناوب تشکیل گردیده است. این روند آبشـسـتگی به گونهای اسـت که آبشـسـتگی از ۱۷ برابر قطر پایه به پایین دسـت و با شیب تند زیاد شده و در ۳۰ برابری قطر پایه به سمت پایین دست به ۲۰/۳ برابر عمق جریان می رسـد، سـپس با شیب تند در حال کاهش عمق آبشستگی بود و در ۴۰ برابر قطر پایه به سـمت پایین دست به سطح بستر اولیه خود می رسـد و سپس بستر مجدداً دچار آبشستگی می شود.

۳-۶- آبشستگی در مقاطع عرضی

در شـکلهای (۱۴) تا (۱۹) نمونهای از مقاطع عرضی نشان داده شده است. در این مقاطع B عرض کانال میباشد.

نمونهای از مقطع عرضی بی بعد شده با عمق جریان به فاصله معادل پنج برابر قطر پایه به سمت بالا دست از محل استقرار پایه (معادل موقعیت ۸۲/۵ درجه از ابتدای قوس)، در شکل(۱۴) نشان داده شده است. همان گونه که در شکل مشخص است در دو آزمایش P و 2V رسوب گذاری در ساحل داخلی تا ۳۰ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی بوده، در حالی که محدوده رسوب گذاری آزمایش ۷ بیشتر می باشد و تا ۳۵ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی امتداد داشته است. مشاهده می گردد شیب منحنی آزمایش P از ساحل داخلی تا ۹ درصدی عرض کانال کاملاً افقی بوده است و تغییرات تراز رسوب گذاری در این ناحیه صفر می باشد، در حالی که شیب منحنی سایر آزمایشات در این بازه متغیر بوده است. حداکثر میزان رسوب گذاری در این مقطع مربوط به آزمایش V بوده و مقدار آن ۴۶ درصـد عمق جریان در ابتدای قوس و در فاصله ۹ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی میباشد. شکل (۱۵) نمونه ای از مقطع عرضی بیبعد شده با عمق جریان در میانه کانال (رأس کانال) را نشان میدهد.



شکل ۱۴– نمونهای از مقطع عرضی بیبعد شده با عمق جریان در موقعیت معادل ۸۲/۵ درجه از ابتدای قوس



شکل ۱۵- نمونهای از مقطع عرضی بیبعد شده با عمق جریان در موقعیت معادل ۹۰ درجه از ابتدای قوس

همان طور که انتظار می رود در سمت ساحل داخلی شاهد رسوب گذاری بوده و با حرکت به سمت ساحل خارجی، آبشستگی اتفاق افتاده است و تا میانه کانال این آبشستگی امتداد می یابد. در میانه کانال به دلیل وجود سازههای مستقر، افزایش سرعت طولی در مرکز قرارگیری پایه پل، صفحات مستغرق مستقر در رأس قوس و همچنین تند بودن قوس مدنظر، ماکزیمم عمق آبشـسـتگی رخ میدهد. مطابق انتظار، بیشترین عمق آبشستگی در ۵۰ درصدی عرض کانال، مربوط به آزمایش P می باشد. از میانه کانال تا ساحل خارجی نیز ارتفاع آبشستگی بستر در حال کاهش می یابد. همچنین مشاهده می گردد که بیشترین تراز رسوب گذاری در مجاورت ساحل داخلی در آزمایش ۷ رخ می دهد که ناشی از مکان هندسی سرعت ماکزیمم و جریان حلزونی بوده و این رسوب گذاری ۳۰ درصد عمق جریان در ابتدای قوس میباشد. گستردگی چاله آبشستگی آزمایش 2۷ در فاصله ۲۲ درصدی عرض کانال تا میانه قوس نسبت به آزمایش ۷ بیشتر می باشد، اما این روند در نیمه دوم عرض کانال برعکس می باشد. آبشستگی آزمایشات 2۷ و ۷ بهترتیب تا فاصله ۸۰ و ۸۴ درصدی عرض کانال از سـاحل داخلی ادامه داشــته اســت، درحالی که در آزمایش P آبشستگی تا ۸۸ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی ادامه داشته و بعد از آن بستر در تراز اولیه خود قرار می گیرد.



شکل ۱۶- نمونهای از مقطع عرضی بیبعد شده با عمق جریان در موقعیت معادل ۹۲ درجه از ابتدای قوس

به منظور مشاهده رفتار آزمایشات در فاصله نزدیک رأس قوس نمونهای از مقطع عرضی بی بعد شده با عمق جریان به فاصله معادل دو برابر قطر پایه به سمت پایین دست از محل استقرار پایه در شکل (۱۶) آورده شده است. با توجه به شکل مشاهده می گردد که آبشستگی آزمایش ۷۷ از ۲۵-۴۳ درصدی اما برخلاف انتظار در محدوده ۴۳ الی ۸۸ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی این روند کاملاً برعکس شده است، به طوری که در این مقطع عرضی بیشترین عمق آبشستگی مربوط به آزمایش ۷ میباشد. گستردگی چاله آبشستگی آزمایش ۹ نسبت به سایر آزمایشات بیشتر می باشد. در مقطع عرضی به فاصله معادل ۲۸ برابر قطر پایه به سمت پایین دست از رأس قوس (شکل (۱۷)) همه آزمایشات بیشتر می باشد.

با نزدیک تر شدن به انتهای مسیر قوسی شکل، تفاوت توپوگرافی بستر آزمایشات بیانگر این است که در آزمایش P تا ۳۵ درصدی و در آزمایش2V تا ۲۱ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی پشته رسوبی تشکیل شده است (شکل (۱۸)) و بیشترین میزان رسوبگذاری آزمایش P و V به ترتیب ۵۷ و ۳۷ درصد عمق جریان در ابتدای قوس میباشد و در ۱۸ و ۹ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی تشکیل شده است.



شکل ۱۷– نمونهای از مقطع عرضی بیبعد شده با عمق جریان در موقعیت معادل ۱۳۰ درجه از ابتدای قوس



در شـکل (۱۹) مقطع عرضیی ۱۸۰ درجه در انتهای قوس نشان داده شده است. همان گونه که در شکل مشاهده می کنید، در آزمایشهای NP و 2۷ تغییرات بسیار کمی در عرض کانال در تویوگرافی بسـتر مشاهده میشود. در آزمایش P در انتهای قوس از ۶۸ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی تا ساحل خارجی آبشـسـتگی رخ داده اسـت، به گونهای که این تغییرات توپوگرافی بستر تا ۲۰ سانتیمتری مسیر مستقیم در پاییندست پیش روی داشته است. همچنین در ۱۲ الی ۳۸ درصد عرض کانال، پشته رسوبی به ارتفاع ماکزیمم ۱۵ درصد عمق جریان در ابتدای قوس تشکیل می گردد. سپس چاله آبشستگی ایجاد شده و در محدوده ۴۱ الی ۴۵ درصدی عرض کانال با ارتفاع معادل ۵ درصدی عمق جریان در ابتدای قوس رخ داده است. تکـــرار این تنــاوب تا مجاورت ساحل خارجی برقرار است به طیروری که محدوده رسوب گذاری دوم در ۴۸ الی ۶۵ درصد عرض کانال می باشد و سپس چاله آبشستگی دوم با ماکزیمم ارتفاع ۵ برابر ارتفاع چاله اول از ۶۵ درصدی عرض کانال تا مجاورت ساحل خارجی تشکیل شده است.



شکل ۱۹– نمونهای از مقطع عرضی بیبعد شده با عمق جریان در موقعیت معادل ۱۸۰ درجه از ابتدای قوس

۳-۷- تغییرات زمانی حداکثر عمق آبشستگی در اطراف
پایه و صفحات مستغرق

منحنی تغییرات زمانی عمق آبشستگی حول هر سازه مستقر در رأس قوس در طول زمان تعادل در شکل (۲۰) آورده شده است. محور طولی این نمودارها زمان بیبعد شده با کل زمان تعادل و محور عرضی بیشینه عمق آبشستگی و بی بعد شده با عمق جریان در بالادست مسیر مستقیم پیرامون پایه و صفحات مستقر در رأس قوس میباشد. همان طور که در شکل (۲۰) مشاهده می گردد، سرعت آبشستگی در ابتدای آزمایش بسیار زیاد است به طوری که در آزمایش ۲، ۸۰ درصد آبشستگی در ۹۰ دقیقه ابتدای و ۹۰ درصد آبشستگی بعد از ۵ ساعت بوده است. در آزمایش ۲ از ۱۵ تا ۶۰ درصد زمان تعادل نسبی اختلاف عمق

آبشـسـتگی ۱۹ درصـد عمق جریان در ابتدای قوس میباشـد، درحالیکه این اختلاف برای آزمایـشهای ۷ و 2۷ بهترتیب ۱۱/۵ و ۱۲ درصـد برابر عمق جریان در ابتدای قوس میباشـد. شـیب منحنی در کلیه آزمایشـات در پایان زمان تعادل به سـمت صفر میل میکند.



شکل ۲۰- نمودار تغییرات زمانی آبشستگی بیبعد شده با عمق جریان در مسیر مستقیم بالادست پیرامون سازه مستقر در رأس قوس در برابر زمان بیبعد شده

۴- نتیجهگیری

هدف اصلی این مقاله مقایسه آزمایشگاهی آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه تند نسبت به آبشستگی موضعی در حالات قرارگیری صفحات مستغرق منفرد، دوتایی یا پایه پل منفرد در موقعیت یکسان و بهطور جداگانه میباشد. پس از بررسی آزمایشات، نتایج زیر بهدست آمد:

 در دو آزمایش 2V و V در قسمت میانه قوس نسبت به آزمایش P بهترتیــــب کاهش ۳۰ و ۱۵ درصـدی عمق چاله آبشستگی اندازه گیری شد.

بیشــترین طول و عرض مســتطیـل محیطی بر چـالـه
آبشـستگی اصلی، مربوط به آزمایش P میباشد که به ترتیب ۱۸
و ۱۷ برابر قطر پایه است.

 گستردگی چاله آبشستگی در آزمایش ۷ در طول کانال بیشتر از آزمایش 2۷ میباشد.

 کم ترین مساحت آبشستگی مربوط به آزمایش 2۷ میباشد
و آزمایشهای ۷ در رده بعدی قرار دارد. مساحت آبشستگی در آنها به تر تیب ۱۰۷/۵ و ۱۲۶ برابر توان دوم قطر پایه میباشد.

بیش ترین و کم ترین حجم چاله آبشستگی پیرامون سازهها
به تـــرتیب در آزمایشهای P، 2V به ترتیب ۱۶۹ و ۷ برابر توان
سوم قطر پایه اندازه گیری شد.

Journal of Engineering and Applied Science, 2017, 10 (3), 679-683.

- Masjedi A, Morattab B, Savari A, "Stady of effect angle of submarge vanens on scour hole at flume bend", Word Applid Sciences Journal, 2011, 13 (9), 2047-2051.
- Neill CR, "Mean-velocity criterion for scour of coarse uniform bed-material", Paper presented at the 12th Congress of the International Association for Hydraulics Research, Colordo, U.S.A, 1967.
- Odgaard AJ, Kennedy JF, "River-Bend bank protection by submerged vanes", Journal of Hydraulic Engineering, 1983, 109 (8), 1161-1173.
- Odgaard AJ, Spoljaric A, "Sediment control by submerged vanes", Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 1986, 112 (12), 1164-1181.
- Odgaard AJ, Wang Y, "Sediment management with submerged vanes", I. Theory", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1991, 117 (3), 267-283.
- Ouyang H, Lu C, "Optimizing the Spacing of Submerged Vanes across Rivers for Stream Bank Protection at Channel Bends", Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 142 (12), p: 04016062.
- Raudkivi AJ, Ettema R, "Clear-Water scour at Cylindrical Piers. Journal of Hydraulic Engineering", A.S.C.E, 1983, 125 (1), 59-66.
- Shafai-Bejestan M, Azizi R, "Experimental investigation of scour depth at edge of different submerged vanes shape", World Environmental and Water Resources Congress, 2012, 1376-1385.
- Sinha SK, Marelius F, "Analysis of flow past submerged vane", Journal of Hydraulic Research, 2000, 38 (1), 65-71.
- Tan SK, Yu G, Lim SY, Ong MC, "Flow structure and sediment motion around submerged vanes in open channel", Journal of Waterway Port. Coastal and Ocean Engineering, 2005, 131 (3), 132-136.
- Teronpi J, Kumar U, "Experimental investigation of local scour around submerged vane", International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering, 2015, 124 (5), 542-545.
- Umeda S, Yamazaki T, Yuhi M, "An experimental study of scour process and sediment transport around a bridge pier with foundation", In Scour and Erosion, 2010, 66-75.
- Vaghefi M, Akbari M, Fiuz AR, "Experimental investigation on bed shear stress distribution in a 180 degree sharp bend by using depth-averaged method", International Journal of Scientific Engineering and Technology, 2014, 3 (7), 962-966.
- Vaghefi M, Akbari M, Fiouz AR, "Experimental study of turbulence kinetic energy and velocity fluctuation distributions in a 180 degree sharp bend", 10th International Congress on Civil and Environmental Engineering, University of Tabriz, 2015.
- Vaghefi M, Motlagh MJTN, Hashemi, SSh, Moradi S, "Experimental study of bed topography variations due to placement of a triad series of vertical piers at different positions in a 180° bend", Arabian Journal of Geosciences, 2018, 11 (5), 1-13.

۵- مراجع

- پرچمی ل، اصغریپری س ا، شفاهیبجستان م، "بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل صفحات مستغرق بر آبشستگی پایه یل"، نشر به دانش آب و خاک، ۱۳۹۶، ۲۷ (۱)، ۴۱–۲۹.
- شجاعی پ، فرسادیزاده د، حسینزادهدلیر ع، سلماسی ف، قربانی م، "کاربرد صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی پایه استوانهای پلها"، نشریه دانش آب و خاک، ۱۳۹۱، ۲۲ (۱)، ۱۹۹۹–۹۱.
- کلامیزاده م ر،" بررسی آزمایشگاهی تأثیر فاصله استقرار صفحات مستغرق بر عمق آبشستگی در قوس همگرای ۹۰ درجه"، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان، ۱۳۸۸.
- مسجدی ع ر، کاظمی ح، مرادی ۱، "اثر موقعیت پایه پل استوانهای بر عمق آبشـستگی در قوس ۱۸۰ درجه رودخانهها"، علوم و فنون کشـاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۳۹۰، ۱۵ (۵۷)، ۹–۱.
- Barani Gh, Shahrokhi M, "Experimental investigation of submerged Vanes' shape effect on river-bend stability", Scientific professional Quarterly, Journal of Hydraulic Structures, 2013, 1 (1), 37-43.
- Biswas P, Barbhuiya A, "Effect of submerged vane on three dimensional flow dynamics and bed morphology in river bend", River Research and Applications, 2019, 35 (3), 301-312.
- Bozkus Z, Yildiz O, "Effects of inclination of bridge piers on scouring depth", Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 130 (8), 827-822.
- Chiew YM, Melville BW, "Local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Research", 1987, 25 (1), 15-26.
- Dey L, Abdul Karim B, Piya B, "Experimental study on bank erosion and protection using submerged vane placed at an optimum angle in a 180° laboratory channel bend", Geomorphology, 2017, 283, 32-40.
- Elsebaie IH, "An experimental study of local scour around circular bridge pier in sand soil", International Journal of Civil & Environmental Engineering, 2013, 13 (1), 23-28.
- Emami Y, Salamatian SA, Ghodsian M, "Scour at cylindrical bridge Pier in a 180 degree channel bend", Fourth International Conference on Scouring and Erosion, 2008, A-26, 251-262.
- Ettema R, Mostafa E, Melville B, Yassin A, "Local Scourat Skewed Piers", Journal of Hydraulic Engineering, 1998, 124 (7), 756-759.
- Karimi N, Heidarnejad M, Masjedi A, "Scour depth at inclined bridge piers along a straight path: A laboratory study", Engineering Science and Technology, an International Journal, 2017, 20 (4), 1302-1307.
- Leschziner MA, Rodi W, "Calculation of strongly curved open channel flow", Journal of the Hydraulics Division, 1979, 105 (10), 1297-1314.
- Maatooq JS, Adhab BA, "Effect of Distance of the Submerged Vanes from the Outer Bank on Sediment Movement within 180 Bend", American



EXTENDED ABSTRACT

Experimental Comparison of Scouring Around Single, Double Submerged Vanes and Single Bridge Pier at 180 Degree Sharp Bend With Sharp Bend without Hydraulic Structure

Chonoor Abdi Chooplou, Mohammad Vaghefi*, Seyyed Hamed Meraji

Hydraulic Structures, Civil Engineering Department, Persian Gulf University, Iran

Received: 26 November 2017; Accepted: 15 July 2019

Keywords:

Submerged Vanes, Single Bridge Pier, Sharp Bend, Scour Pattern.

1. Introduction

The flow pattern of Meander Rivers is very complicated due to the presence of a helicoidally flow. This complexity, in addition to the turbulence and three-dimensional nature of the flow, is due to bed topographical changes. Bridges are among the most important and most productive of riverine structures that have great importance in road construction.

2. Methodology

All experiments were carried out in the Advanced Hydraulic Structures Laboratory of Persian Gulf University. The channel is bend with 180 degree angle and width 1 meter. The relative radius of the bend equals two which as a result, puts the bend in the category of sharp bends. (Leschziner and Rodi 1979). The length of the initial straight path (before the bend) is 6.5 meters, the straight path length after the bend is 5 meters and the channel height is 90 cm. Accordingly, $U/U_{a} = 0.98$ was calculated.

To calculate the equilibrium time of experiments, a long experiment was performed for a period of 44 hours on a single vertical pier at 90 degree bend (PT test). In the first 9 hours, 90% scouring occurs. Therefore, in all experiments, the test time was considered to be 9 hours. The second experiment, without pier or as an empty bend, was used to determine the scour situation in the bend and the third experiment was investigated with the presence of a single vertical pier at the bend, which was reported respectively with NP and P. Two other experiments were performed by installing submerged vanes with a Submergence percentage of 0.75, a length 7.5 cm, a thickness 1 cm, as was recommended by Odgaard and Wang (1991), and the 25 degree angle to the horizon and center of the vanes in the middle of the channel (50% channel width of the inner bank) at 90 degree from the beginning of the bend which is reported with V and 2V symbols. In the V test of a single vane and in the 2V test, two vanes with a 100% overlap length and center-to-center spacing of the vanes with each other along the perpendicular to the flow direction 5 cm which is equivalent to the pier diameter.

3. Results and discussion

The main purpose of this paper is an experimental comparison of the scouring in 180 degree relative to the position of single and dual submerged vanes or single bridge pier in the same position and comparison with the bend without structure. In the p test was observed that the scour depth maximum was 75% and the maximum level of sediment was 66% flow depth at the beginning of the bend. The amount of scouring was

^{*} Corresponding Author

E-mail addresses: chonoorabdi@yahoo.com (Chonoor Abdi Chooplou), vaghefi@pgu.ac.ir (Mohammad Vaghefi), h.meraji@pgu.ac.ir, (Seyyed Hamed Meraji).

measured at a maximum 91 degree angle around the bridge pier, and the highest sedimentation is occurred at 171 degree angle and at 22% distance from the inner bank. During the experiments, bed topography changes related to this experiment were observed. In Fig (1), the bed topography is presented in experiments on submerged vanes. By installing submerged vanes in the middle of the bend at 90 degree position, it is observed that after the water crashes into the submerged vanes, the flow is formed toward downstream and the sediment particles are separated from the bed in this area that is due to the dynamic pressure in submerged vanes. Part of the sediments due to the submerged vane scouring is displaced to the inner bank of the channel and the other part of vanes sediments are accumulated in front of the vanes, or during the time, scour occurs and moves toward downward.

The different behavior of the scouring pattern in these experiments (V and 2V) shows that changing the number of submerged vanes in addition to reducing or increasing the scouring depth, can change the scouring pattern. For example, the width of the scour hole across the channel of the V test is 57% higher than the 2V test. The second scour



Fig. 1. Bed topography in experiment: a) V, b) 2V, with a magnification around the submerged vanes at 90 degree position

The hole of the V test is formed in the vicinity of the outer bank, but a contrary expectation, the second hole of the 2V test scouring is formed in the vicinity of the inner bank. Sedimentary deposits are formed alternately in the vanes upstream and downstream near to the inner bank.

These deposits reach the maximum value in V and V2 at the 136 and 61.5 degree angle from the beginning of the bend, and at a distance of 9% channel width from the inner bank and tangent to the inner bank, that is 0.58 and 0.52 of flow depth in the upstream straight line. It can be seen that the scouring hole around the vanes in both tests acts on the downstream side of the structure axis contrary to the P test and tends towards the inner bank that is due to the deployment of vanes with a 25 degree angle to the horizon. The scour depth maximum in the V test is 1.2 times the scour depth maximum of the 2V test. One of the important points is the direct relationship between the area of the sediment formation and the scour area. In all tests, it is observed that scouring material is accumulated around the inner bank.

4. Conclusions

The highest and lowest scour holes' volume around the structures in P, 2V tests were measured, 169 and 7 times the third power of the pier diameter respectively.

The length and width maximum of the environmental rectangle on the main scour hole is related to the P test which is 18 and 17 times the diameter of the pier respectively.

The width of the V scour hole over the channel is greater than the 2V test.

The lowest scour area is related to the 2V test and V tests are in the next category that scour area is 107.5 and 126 times the second power of the pier diameter, respectively.

The highest height level equivalent to 66% flow depth occurs at the beginning of the bend in the P test. Also, the least amount of sedimentation occurs in the 2V test which is equal to 52% flow depth at the beginning of the bend.

5. References

Leschziner MA, Rodi W, "Calculation of strongly curved open channel flow", Journal of the Hydraulics Division, 1979, 105 (10), 1297-1314.

Odgaard AJ, Wang Y, "Sediment management with submerged vanes. I: Theory", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1991, 117 (3), 267-283.