

مطالعه آزمایشگاهی تغییرات زمانی بستر در قوس ۱۸۰ درجه تند با زوج پایه همگرا

محمد واقفی^{۱*}، فرید صدیقی^۲، مسعود موسائی^۲، سید حامد معراجی^۳، امین محمودی^۳

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

Vaghefi@pgu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۱۰/۲۷]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۷/۱۲]

چکیده- تخریب پل‌ها به دلیل فرسایش بستر مساله‌ای است که اگر به آن به درستی پرداخته نشود می‌تواند خسارات جبران ناپذیری به بار آورد. هدف از ارائه این پژوهش بررسی آبستستگی حول زوج پایه کج تحت تاثیر پارامتر زمان و نقش آن در توپوگرافی بستر است. در اولین مرحله آزمایش زمان تعادل انجام گرفته شد. در مرحله بعد به منظور شناخت شرایط آبستستگی در قوس آزمایش بدون نصب پایه در زمان تعادل نسبی انجام شد، با استناد به نتایج به دست آمده از این آزمایش موقعیت ۶۰ درجه برای اسقرار پایه‌ها انتخاب شد. آزمایش‌های بعدی به ترتیب در ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی و با استقرار زوج پایه همگرا در موقعیت ۶۰ درجه از ابتدای قوس و در صفحه عمود بر جریان انجام شدند. کانال استفاده شده در آزمایش‌ها با عرض یک متر و مسیر قوس تند با نسبت شعاع مرکزی به عرض کانال برابر با ۲ و زاویه ۱۸۰ درجه است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در زمان تعادل نسبی چاله تشکیل شده در قوس بیرونی ۲۰ درصد عمیق‌تر از چاله آبستستگی اطراف پایه است. این چاله در تقارن با محل احداث پایه در زاویه ۱۲۳ درجه شکل می‌گیرد. بررسی پارامتر زمان در آزمایش‌ها نشان می‌دهد در ابتدای آزمایش پایه نزدیک به ساحل خارجی فرسایش بیشتری دارد ولی بعد از گذشت ۲۰ درصد زمان تعادل نسبی سرعت آبستستگی در هر دو پایه یکسان می‌شود، همچنین کاهش زمان تعادل از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد باعث کاهش ۲۰ درصدی عمق چاله آبستستگی حداکثر می‌شود.

واژگان کلیدی: آبستستگی، زوج پایه کج، قوس تند ۱۸۰ درجه، زمان تعادل نسبی، توپوگرافی بستر.

۱- مقدمه

بسیاری در این پدیده موثر هستند و روند آبستستگی را تغییر می‌دهند. پایه پل شکل‌های مختلفی دارد همچنین شرایط رودخانه نیز می‌تواند بسیار متفاوت باشد از این رو حالت‌های بسیار زیادی می‌تواند رخ دهد و آگاهی از تمامی این حالت‌ها امری بسیار مشکل است و عدم مطالعه و آگاهی کافی در خصوص رفتار بستر رودخانه در شرایط مختلف پیشگیری از تخریب پایه پل‌ها امری محال است.

تخریب پل‌ها به دلیل فرسایش بستر مساله‌ای است که اگر به آن به درستی پرداخته نشود می‌تواند خسارت‌های جبران ناپذیری به بار آورد. در (شکل ۱) نمونه‌ای از آبستستگی شدید در اطراف پایه پل را مشاهده می‌کنید که بر اثر فرسایش زیاد پی و شمع‌های آن نمایان شده است. بررسی پدیده آبستستگی همواره با ابهاماتی همراه است، متغیرهای

شکل (۱) آبستگي مخرب پایه پل در کشور تایوان [۱]

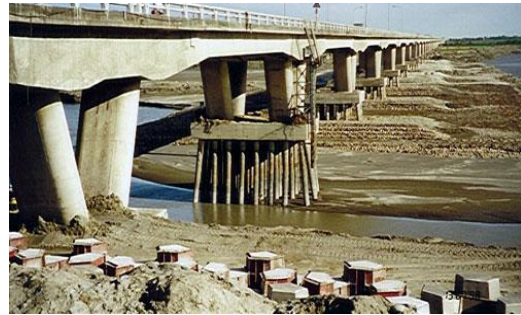


Figure 1. Destructive scour in the bridge piers in Taiwan [1].

ملویل و چيو (۱۹۹۹) با گرد هم آوردن و مقایسه آزمایش‌های متعدد، رابطه‌ای برای پیش‌بینی زمان به تعادل رسیدن فرسایش بستر کانال ارائه دادند. همچنین نشان دادند که ۵۰ الی ۸۰ درصد آبستگي در ۱۰ درصد زمان محاسبه شده رخ می‌دهد. رعایت این موارد سرعت انجام آزمایش‌های آبستگي را به صورت قابل توجهی کاهش می‌دهد [۶]. بوزکوس و ایلدیز (۲۰۰۴) با قرار دادن یک پایه استوانه‌ای به صورت کج در صفحه موازی با جریان و به سمت پایین دست، به این نتیجه رسیدند که با افزایش زاویه پایه مقدار آبستگي کاهش می‌یابد. برای اطمینان از نتایج، پایه با قطر های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌متر و همچنین زاویه تمایل ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه را آزمایش کردند [۷]. در سال ۲۰۰۸ امامی و همکاران در یک کانال با قوس ۱۸۰ درجه و قراردادن پایه استوانه‌ای در مسیر مستقیم و زوایای مختلف قوس به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار آبستگي با قرار دادن پایه در زاویه ۶۰ درجه حاصل می‌شود که در این پژوهش نیز پایه پل در این زاویه نصب شد [۸]. مسجدی و همکاران (۲۰۱۰) آزمایشی مشابه آزمایش امامی و همکاران [۸] انجام دادند با این تفاوت که از پایه با مقطع مستطیلی با دماغه نیم دایره استفاده کردند. نتایج آزمایش آنها نیز نشان داد که بیشترین مقدار آبستگي در زاویه ۶۰ درجه از ابتدای قوس رخ می‌دهد [۹]. داس و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از سرعت سنج ADV^۱ در یک پژوهش آزمایشگاهی به بررسی الگوی جریان درون چاله آبستگي پرداختند. آنها از یک کانال مستقیم و تک پایه استوانه‌ای با سه قطر مختلف استفاده کردن [۱۰]. اکیب و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی آبستگي و الگوی جریان در گروه پایه پرداختند. آنها پارامترهای گسترده‌ای را بررسی کردند و نتایج بدست آمده را در قالب یک مقاله ارائه کردند [۱۱]. در سال ۲۰۱۵، ادنان و همکاران در یک کانال آزمایشگاهی مستقیم شکل به عرض ۸۰ سانتی‌متر به بررسی اثر شکل پایه بر روی آبستگي پرداختند. آنها همچنین از دستگاه سرعت سنج ADV برای برداشت الگوی جریان استفاده کردند [۱۲]. واقفی و همکاران (۲۰۱۶) در یک مطالعه آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه سرعت سنج ADV به بررسی الگوی جریان و محاسبه تنش برشی در

با توجه به مطالعات پژوهشگران پیشین روند عمومی آبستگي را می‌توان به شکل زیر توصیف کرد. اولین عامل در آبستگي جریان‌های رو به پایینی است که پس از برخورد جریان با پایه رخ می‌دهد. این جریان‌ها پس از برخورد با بستر کنار پایه مصالح را بلند کرده و جریان اصلی آن را جابه‌جا می‌کند. عامل مهم بعدی در آبستگي سیستم گردابه‌های نعل اسبی است که در ابتدای تشکیل چاله شدت کمی داشته و پس از عمیق‌تر شدن چاله آبستگي، شدت گردابه نعل اسبی افزایش می‌یابد تا در نهایت سیستم به تعادل نسبی می‌رسد و سرعت آبستگي بسیار کاهش می‌یابد. لازم به گفتن است که شدت گردابه نعل اسبی برای پایه‌هایی دارای مقطع ائرودینامیکی، بسیار کمتر است [۳]. موارد گفته شده تنها روند عمومی در آبستگي موضعی پایه پل است و تاثیر مسیر قوسی شکل و یا دیگر شکل‌های پایه در آن لحاظ نشده است. پژوهشگران بسیاری فرسایش حول پایه پل را بررسی کرده‌اند. رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) با گردآوری آزمایش‌های متعدد به بررسی و مقایسه پارامترهای مختلف روی بیشینه عمق آبستگي پرداختند. پارامترهایی مانند قطر متوسط مصالح بستر، قطر پایه و عمق جریان را بررسی کردند. با تحلیل پارامترهای گفته شده رابطه‌ای را در رابطه با آبستگي ارائه دادند [۴]. اتما و همکاران (۱۹۹۸) در یک پژوهش آزمایشگاهی بررسی چرخش پایه حول محور اصلی خودش را بررسی کردند. پژوهش‌های آنها نشان داد که زاویه چرخش بر مقدار آبستگي بسیار اثر گذار است و در نهایت ارائه یک ضریب اصلاح بر حسب زاویه چرخش را غلط دانستند و پارامترهایی مانند نسبت عرض پایه به عرض کانال و همچنین نسبت عرض پایه به طول آن را موثر نشان دادند [۵].

1Acoustic Doppler Velocimetry

نسبت عمق جریان به قطر پایه از ۳ کمتر انتخاب نشود [۱۴]، که در تمامی آزمایش‌ها عمق آب ۱۸ سانتی‌متر و دبی ۷۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. در این شرایط نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی (U/U_c) برابر با ۰/۹۸ است.

بهتر است که قطر پایه استفاده شده از ۱۰ درصد عرض کانال کمتر باشد [۱۵]، با توجه به عرض ۱ متری کانال و زوج بودن پایه‌ها قطر ۵ سانتی‌متر معادل ۵ درصد عرض کانال برای پایه‌ها لحاظ شد. پایه‌ها با راستای عمود زاویه ۲۱ درجه می‌سازند و در صفحه عمود بر جریان قرار دارند. در (شکل ۳) شماتیک قرارگیری پایه‌ها به همراه جزئیات آورده شده است.

شکل (۲) نمای سه بعدی از کانال به همراه مشخصات اصلی [۲].

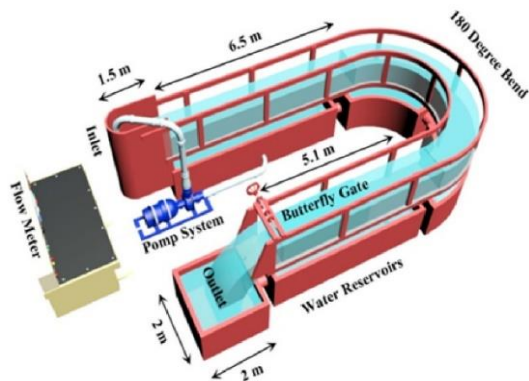


Figure 2. Three-dimensional view of the channel with main specifications [2].

شکل (۳) نمای شماتیک قرارگیری پایه‌ها در مقطع ۶۰ درجه

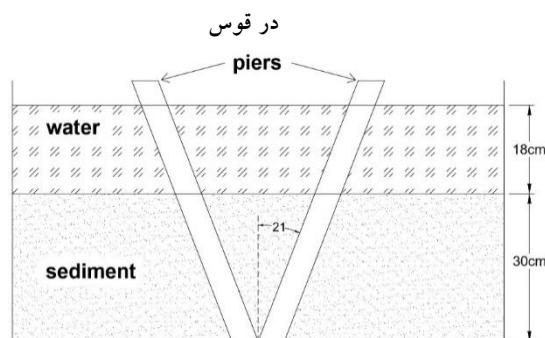


Figure 3. Schematic view of the locating the piers in the 60 degree section in bend.

قبل از شروع هر آزمایش بستر با استفاده از تیغه آهنی نصب شده روی ارابه متحرک، صاف شد. آزمایش‌ها در ۵ نوبت انجام شدند. آزمایش اول به منظور بدست آوردن زمان تعادل انجام گرفت. با استفاده از استقرار تک پایه عمودی به قطر ۵ سانتیمتر مستقر در موقعیت ۹۰ درجه یک آزمایش با شرایط گفته شده و

قوس تند ۱۸۰ درجه پرداختند. نتایج آنها نشان داد بیشترین مقدار تنش برشی در نزدیکی بستر در زاویه ۴۰ درجه رخ می‌دهد [۲]. از نوآوری‌های این پژوهش استفاده از زوج پایه کج مستقر در موقعیت ۶۰ درجه از ابتدای قوس تند و همچنین بررسی اثر پارامتر زمان است.

۲- مواد و روش‌ها

تمامی آزمایش‌ها در آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی گروه مهندسی عمران دانشگاه خلیج فارس بوشهر انجام شده است. در (شکل ۲) نمای سه بعدی کانال نمایش داده شده است. مشخصات کانال به شرح زیر است. کانال با قوس ۱۸۰ درجه با شعاع مرکزی ۲ متر و عرض ۱ متر که با $R/B=2$ کانال را در زمره قوس‌های تند قرار می‌دهد، که در آن شعاع مرکزی قوس و B عرض کانال است. مسیر مستقیم ورودی کانال به طول ۶/۵ متر قبل از قوس و ۵/۱ متر بعد از قوس است. ارتفاع کانال ۷۰ سانتی‌متر است و در دیواره‌ها از شیشه نشکن استفاده شده است. برای استحکام بیشتر کانال و محافظت از شیشه‌ها از قاب بندی فلزی استفاده شده است. برای ایجاد دبی ۷۰ لیتر بر ثانیه از الکترو پمپ مجهز به تنظیم دور الکترونیکی و دبی سنج آلتراسونیک استفاده شده است. در انتهای کانال دریچه زاویه‌ای قرار دارد که با استفاده از آن عمق آب درون کانال قابل تنظیم است و در نهایت آب بعد از دریچه وارد مخزن کانال که در زیر آن قرار دارد می‌شود. به منظور جلوگیری از ایجاد هرگونه ارتعاش روی کانال قسمت پمپ، لوله‌های ورودی خروجی و مخزن آن هیچگونه تماس مستقیمی با کانال نداشته و کاملاً از یکدیگر جدا هستند. آزمایش‌ها در حالت آب زلال انجام شدند. به منظور ایجاد شرایط بستر متحرک از مصالح دانه‌بندی شده به قطر متوسط ۱/۵ میلی‌متر و انحراف معیار ۱/۱۴ استفاده شد. طبق توصیه پژوهشگران پیشین برای جلوگیری از تشکیل قطر مصالح نباید از ۰/۷ میلی‌متر کمتر باشد [۴]. تا ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری از کف کانال با استفاده از مصالح گفته شده پر شد. توصیه شده است برای جلوگیری از آثار زبری عمق آب بیشتر از ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود [۱۳]، همچنین بهتر است

ابتدا به بررسی موردی پرداخته و در نهایت با مقایسه آنها با یکدیگر به نتیجه کلی می‌رسیم. در (شکل ۴) توپوگرافی بستر در آزمایش T1 نمایش داده شده است. در این شکل تراز بستر بر اساس بستر صاف (قبل از شروع آزمایش برابر با صفر است) با حرف Z و بر حسب سانتی‌متر نشان داده شده است. در این آزمایش زمان تعادل کل ۴۰ ساعت بدست آمد. در این آزمایش بیشینه عمق نسبی آبستگي ۱۰۰ درصد عمق جریان در مسیر مستقیم بالا دست و بیشینه ارتفاع نسبی پشته رسوبي ۶۸ درصد عمق جریان در مسیر مستقیم بالا دست اندازه‌گیری شد. به دلیل زمان زیاد آزمایش مصالح بستر پیشروی زیادی در مسیر مستقیم پایین دست داشتند. در بالا دست پایه مقدار جزئی به طور میانگین در حدود ۱۵ درصد عمق جریان و به طول ۳۵ برابر قطر پایه آبستگي رخ داد.

در مرحله دوم آزمایش قوس بدون پایه انجام شد. (شکل ۵) توپوگرافی آزمایش گفته شده را نشان می‌دهد. با توجه به در نظر گرفتن $U/U_c=0.98$ در مسیر مستقیم بالا دست، انتظار می‌رود که در قوس مقدار آن بیشتر از ۱ بوده و در نتیجه از حالت آستانه حرکت بیرون آمده و مصالح درون قوس از حالت سکون شروع به حرکت کنند. این روند به وضوح در حین آزمایش قابل مشاهده است.

شکل (۴) توپوگرافی بستر در آزمایش زمان تعادل

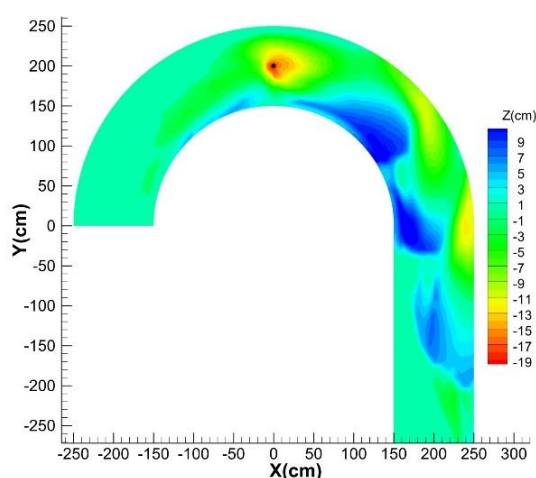


Figure 4. Bed topography in the equilibrium time test.

به مدت ۴۰ ساعت انجام داده شد. با توجه به توصیه چپو [۱۶] اگر بعد از ۸ ساعت تغییرات آبستگي کمتر از ۱ میلی‌متر باشد به زمان تعادل رسیده‌ایم که در این آزمایش در ۱۰ ساعت آخر ۱ میلی‌متر تغییرات در بیشینه چاله آبستگي مشاهده شد. با توجه به اینکه ۹۶ درصد از آبستگي در ۱۵ ساعت اولیه‌ی آزمایش رخ داد ۱۵ ساعت به عنوان زمان تعادل نسبی در نظر گرفته شد. آزمایش دوم بدون پایه، به عبارتی قوس خالی مورد بررسی قرار گرفت که با T2 گزارش شده است. این آزمایش به منظور شناخت شرایط جریان و بستر در قوس تند انجام داده شد. سه آزمایش دیگر با استقرار کردن زوج پایه همگرا در موقعیت ۶۰ درجه از ابتدای قوس انجام گرفتند. دلیل استقرار پایه‌ها در زاویه ۶۰ درجه مشاهده انجام شده در آزمایش دوم (قوس بدون پایه) و پژوهش‌های پیشین است [۷-۹]. تمامی پارامترها ثابت در نظر گرفته شدند و تنها زمان این سه آزمایش به ترتیب ۳، ۷/۵ و ۱۵ ساعت که معادل با ۵۰، ۲۰ و ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی است، به عنوان متغیر لحاظ شد که در این مقاله به ترتیب با عبارات T3، T4 و T5 مشخص شده‌اند. در (جدول ۱) راهنمای انجام آزمایش‌ها آورده شده است. در انتهای هر آزمایش بعد از زهکشی آهسته کانال تراز بستر با استفاده از دستگاه توپوگراف لیزری با دقت ۱ میلی‌متر برداشت شد. شبکه برداشت تراز بستر برابر با ۳ درجه برای تغییرات زاویه‌ای و ۲ سانتی‌متر برای تغییرات عرضی در نظر گرفته شد که این مقدار برای ۵ درجه قبل و بعد از پایه به ۱ درجه برای تغییرات زاویه‌ای و ۱ سانتی‌متر برای تغییرات عرضی لحاظ شد.

جدول (۱) راهنمای زمان‌بندی آزمایش‌ها

Nomenclature	T1	T2	T3	T4	T5
Test duration (Hour)	40	15	3	7.5	15
Pier Location (Degree)	90	-	60	60	60

Table 1. Guides of schedule tests.

۳- تحلیل و نتایج

هدف اصلی از این مقاله ارائه نتایج حاصل از اثر زمان روی توپوگرافی بستر در شرایط مشخص می‌باشد. برای مقایسه بهتر

زمان تعادل بیانگر تک پایه در آزمایش T1 است.

شکل (۶) نمودار بیشینه عمق آبستگی نسبت به زمان برای آزمایش زمان

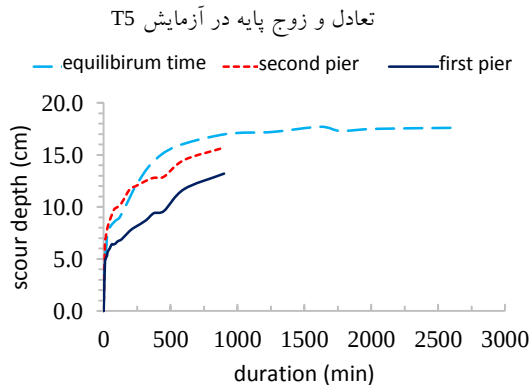


Figure 6. Maximum scour depth versus time for equilibrium time test and twin bridge piers in test T5.

در (شکل های ۷ و ۸) توپوگرافی بستر به همراه بزرگنمایی در هر سه آزمایش زوج پایه آورده شده است. دو دایره سیاه رنگ محل استقرار پایه ها را نشان می دهند. در شکل فوق به ترتیب توپوگرافی بستر در ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی نشان داده شده است. روند پیشروی تغییرات بستر به وضوح قابل مشاهده است. در تمامی آزمایش ها مشاهده می شود که عمق بیشینه آبستگی پایه دوم بیشتر از پایه اول می باشد. با کاهش زمان آزمایش از ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی به ۵۰ و ۲۰ درصد به ترتیب باعث کاهش ۲۰ و ۳۰ درصدی عمق آبستگی در چاله اصلی می شود. این چاله از نظر پیشروی به سمت پایین دست بیشینه بیشتر در زمان تعادل نسبی ۱۵ برابر قطر پایه و ۶ برابر قطر پایه به سمت سواحل پیشروی دارد.

در آزمایش T3 پشته رسوبی در زاویه ۸۰ الی ۱۲۰ درجه در مجاورت دیواره داخلی مشاهده می شود و با افزایش زمان آزمایش تا ۵۰ سانتی متر بعد از قوس در مسیر مستقیم پایین دست ادامه پیدا می کند. بیشینه ارتفاع این پشته در آزمایش های T3، T4 و T5 به ترتیب برابر با ۳۸، ۵۲ و ۵۷ درصد عمق جریان در مسیر مستقیم بالا دست اندازه گیری شد. محل تشکیل آنها نیز به ترتیب در زوایای ۹۰، ۱۲۳ و ۱۶۵ درجه است. در ۲۰ درصد زمان تعادل مشاهده می شود مصالح شسته شده از اطراف پایه در حدود ۱۵ برابر قطر پایه به سمت پایین دست حرکت کرده و تشکیل پشته رسوبی می دهند. اگر چه در

شکل (۵) توپوگرافی بستر در آزمایش قوس بدون پایه

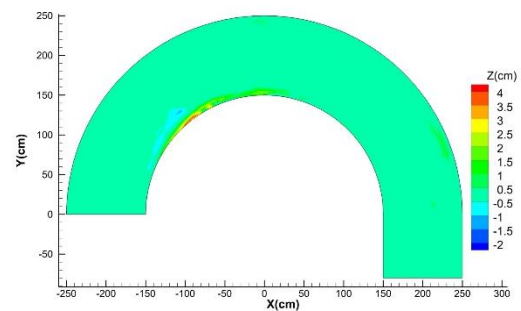


Figure 5. Bed topography in the bend without piers test.

بعد از گذشت حدود ۲۰ درصد زمان تعادل نسبی شاهد تشکیل پشته رسوبی در قوس داخلی هستیم. این پشته در نهایت تا زاویه ۱۰۰ درجه امتداد پیدا می کند. در مجاورت پشته رسوبی تا زاویه ۷۵ درجه مقدار جزئی آبستگی مشاهده می شود. این آبستگی از قبل از شروع رسوب گذاری تشکیل شده و تا نواحی مرکزی کانال وسعت دارد. به عبارت دیگر می توان این ناحیه را ناحیه تامین مصالح پشته رسوبی نزدیک به دیواره داخلی دانست. مقدار بیشینه فرسایش ۷ درصد و تراز بیشینه پشته رسوبی ۲۳ درصد عمق آب در مسیر مستقیم بالا دست است. مقدار آبستگی بیشینه در زاویه ۵۱ درجه رخ داد از این رو در ادامه آزمایش ها پایه ها در زاویه ۶۰ درجه مستقر شدند. بعد از تعیین زمان تعادل نسبی و مشخص کردن محل با بیشترین تنش برشی بستر، آزمایش های زوج پایه انجام شدند. آزمایش ها در ۳ مرحله با بازه های زمانی ۳، ۷/۵ و ۱۵ ساعت معادل ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی و با استقرار زوج پایه نشان داده شده در شکل (۳) انجام شدند. در ادامه به بررسی آزمایش ها و مقایسه آنها با یکدیگر پرداخته شده است. در ابتدای آزمایش آبستگی شدیدتر در پایه نزدیک به قوس خارجی (پایه دوم) نسبت به پایه اول مشاهده شد. این روند تا ۲۰ درصد زمان تعادل نسبی ادامه داشت و بعد از آن نرخ آبستگی در هر دو پایه یکسان شد. برای روشن شدن این روند عمق بیشینه آبستگی در مجاورت هر پایه با استفاده از خط کش الکترونیکی برداشت شد و پس از رسم مقادیر اندازه گیری شده (شکل ۶) بدست آمد. محور افقی بیانگر مدت زمان سپری شده آزمایش و محور عمودی عمق بیشینه آبستگی در مجاورت هر پایه است. در این نمودار منحنی

شکل (۷) توپوگرافی بستر در الف) ۲۰، ب) ۵۰ و ج) ۱۰۰ درصد زمان

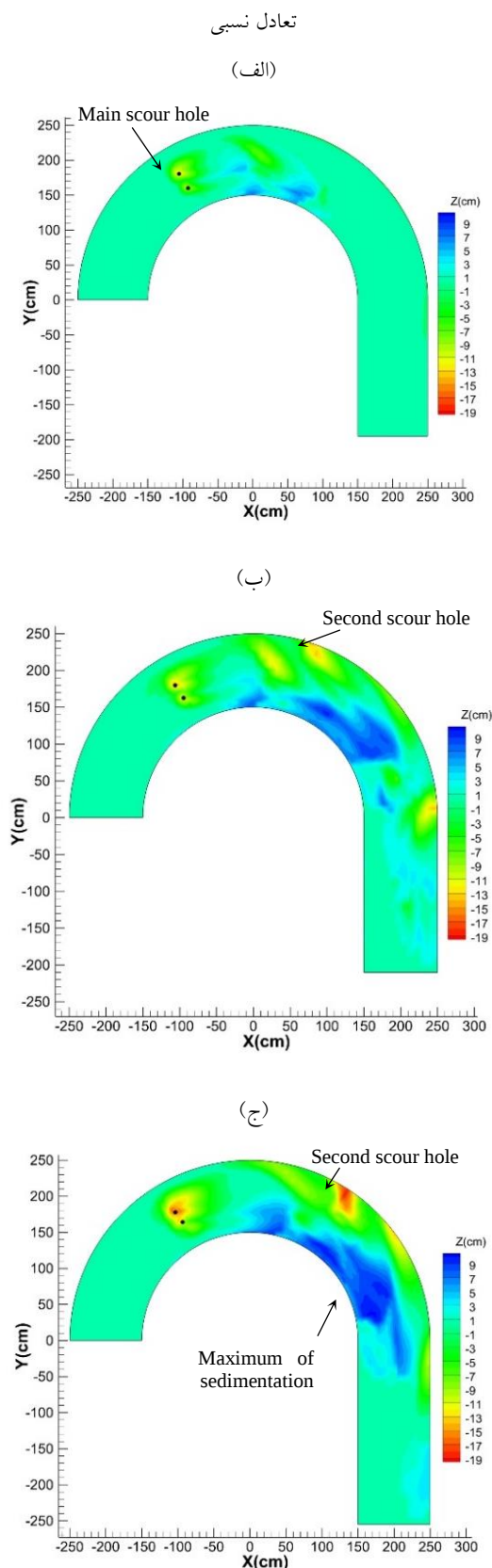


Figure 7. Bed topography in a) 20%, b) 50%, and c) 100% of the relative equilibrium time.

این پژوهش از زوج پایه استفاده شده است ولی پشته رسوبی هر دو پایه از هم جدا نبوده و تشکیل پشته رسوبی مشترک می‌دهند. این پشته در ابتدای آزمایش کاملاً مشهود است ولی با گذشت زمان پیشروی کرده و به دلیل جریان‌های ثانویه درون قوس به سمت دیواره داخلی تمایل پیدا کرده و با پشته رسوبی در مجاورت دیواره داخلی ترکیب می‌شود و به تنهایی قابل شناسایی نیست. در مقایسه با آزمایش T2 (قوس بدون پایه) مشاهده می‌شود که پشته رسوبی بعد از نیمه دوم کانال تشکیل می‌شود. احداث پایه در زاویه ۶۰ درجه باعث تنگ شدگی مقطع شده و به دلیل بیشتر بودن سرعت جریان در این ناحیه مصالح پشته رسوبی با سرعت بیشتری حرکت می‌کنند و به پایین دست رانده می‌شود. همچنین بعد از گذشت زمان چاله آبستگي بزرگتر شده و مصالح انباشته شده در اطراف را به درون خود می‌کشد و در نتیجه پشته رسوبی در این ناحیه و در مجاورت دیواره‌ها پایدار نمی‌ماند. این قضیه در نمودار (شکل ۶) قابل مشاهده است.

اندازه‌گیری عمق چاله‌های آبستگي نشان می‌دهد که با گذشت زمان نوساناتی رخ می‌دهد و در بعضی از بازه‌های زمانی عمق بیشینه چاله کاهش می‌یابد که این قضیه نشان از پر شدن چاله دارد. مشاهدات در حین آزمایش نشان می‌دهد پر شدن چاله به دلیل مصالح بالا دست نبوده و به دلیل ریزش دیواره‌ها چاله آبستگي رخ می‌دهد.

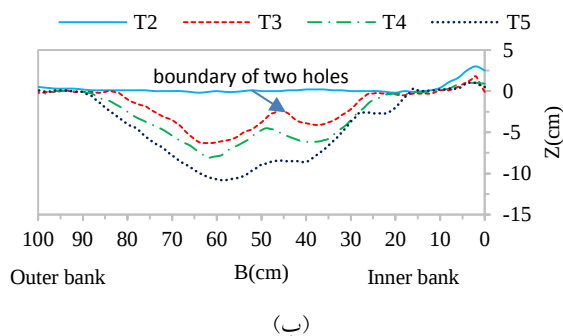
از نکات بسیار جالب عمیق‌تر شدن چاله دوم آبستگي نسبت به چاله اصلی است. در ۲۰ درصد زمان تبادل نسبی این چاله عمقی معادل ۶۰ درصد عمق بیشینه چاله اصلی دارد، در حالی که در ۵۰ درصد زمان تبادل نسبی عمق چاله دوم ۱۰۵ درصد و در ۱۰۰ درصد زمان تبادل نسبی ۱۱۲ درصد عمق بیشینه چاله اصلی است. این چاله احتمالاً به دلیل ترکیب جریان‌های ثانویه و اصلی بعد از برخورد به پایه تشکیل شده است. سرعت پیشروی آن نیز نسبت به دیگر عوارض بستر کمتر است و بعد از گذشت ۵۰ درصد از زمان تبادل در حدود ۱۰ درجه در مجاورت قوس خارجی پیشروی داشته و از زاویه ۱۱۰ درجه به ۱۲۰ درجه منتقل شده است. این چاله در (شکل ۷-ب و ۷-ج) با استفاده از پیکان نمایش داده شده است.

ولی بعد از گذشت یک ساعت مرز دو چاله شروع به ریزش کرده و مصالح بستر در این ناحیه به درون دو چاله سرازیر می‌شوند. با توجه به حرکت جریان‌های ثانویه در قوس که در لایه‌های تحتانی به سمت ساحل داخلی می‌باشد، این مصالح بیشتر به سمت پایه نزدیک به قوس داخلی تمایل دارند. در ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی مرز دو چاله کاملاً از بین رفته و تشکیل یک چاله بزرگتر می‌دهند.

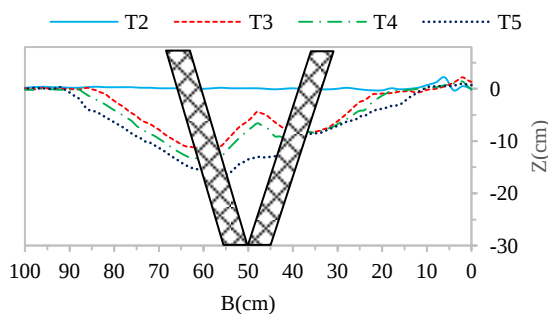
عمیق‌تر بودن چاله آبستگي در پایه دوم (نزدیک به قوس بیرونی) احتمالاً به دلیل زاویه تمایل پایه‌ها و مستقر شدن در مسیر قوسی است. جریان‌های ثانویه پس از برخورد به پایه دوم به دلیل کج بودن آن به سمت بستر رانده می‌شوند در حالی که در پایه اول باعث بالا راندن جریان می‌شود. در (شکل ۱۰) این روند به صورت شماتیکی آورده شده است. دو استوانه هاشور خورده نمایشگر زوج پایه نصب شده در کانال است. دو فلش قرمز رنگ جهت جریان‌های موثر در آبستگي متفاوت پایه‌ها را نشان می‌دهند.

شکل (۹) نمونه مقاطع عرضی در موقعیت‌های الف (۵۷، ب (۶۰، ج (۶۳ و د (۶۶ درجه از ابتدای مسیر قوسی.

(الف)

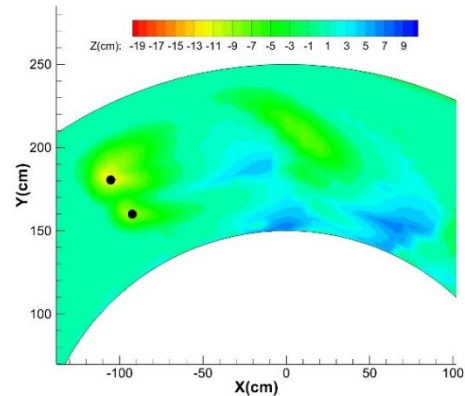


(ب)

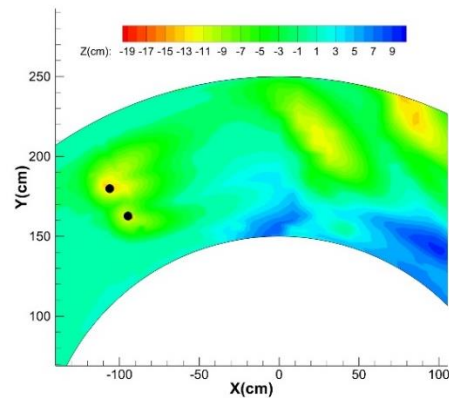


(ج)

شکل (۸) بزرگنمایی توپوگرافی بستر در آزمایش‌های الف (۲۰، ب (۵۰ و ج (۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی (الف)



(ب)



(ج)

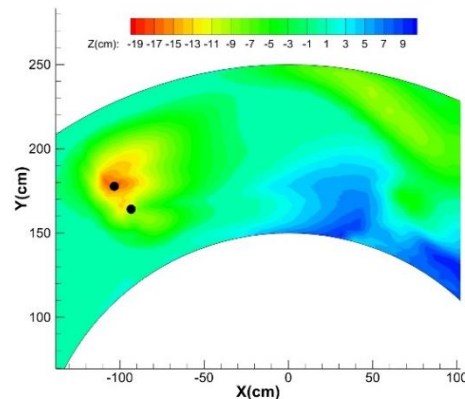


Figure 8. Enlarge of bed topography in a) 20%, b) 50%, and c) 100% of the relative equilibrium time.

در (شکل ۹) نمونه مقاطع عرضی در نواحی اطراف پایه آورده شده است. در این شکل محور افقی (B) بیاگر فاصله از ساحل داخلی بر حسب سانتی‌متر و محور عمودی تراز بستر بر اساس سانتی‌متر است. مشاهده می‌شود به دلیل زوج بودن پایه‌ها، در ابتدای آزمایش دو چاله آبستگي کاملاً از یکدیگر جدا هستند

تبادل است. با افزایش زمان آزمایش به ۱۰۰ درصد زمان تعادل وضعیت عمومی بستر دچار تغییرات چشم گیری می شود. به دلیل مرتفع شدن پشته های رسوبی و ایجاد حالت شوت به شدت جریان در این نواحی اضافه شده و قدرت گردابه های احتمالی را افزایش می دهند، همچنین در بعضی مواقع پشته های رسوبی پیش روی کرده و چاله آبستگي را پر می کنند. مصداق این حرف در (شکل ۷) قابل رویت است. عمق نسبی چاله اول بعد از پایه ها در ۲۰ درصد زمان تعادل نسبی ۴۰ درصد عمق جریان در مسیر مستقیم بالا دست می باشد و در ۵۰ درصد زمان تعادل نسبی این مقدار به ۶۴

شکل (۱۱) نمونه مقاطع عرضی در موقعیت های الف) ۹۰، ب) ۱۲۰، ج) ۱۵۰ و د) ۱۸۰ درجه از ابتدای مسیر قوسی

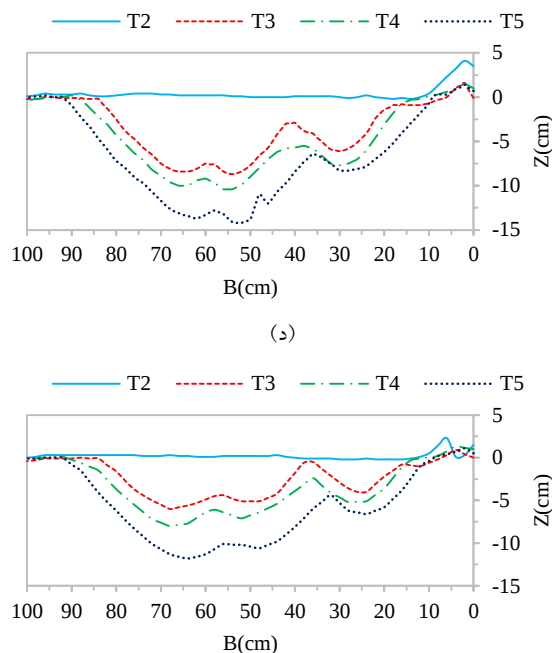
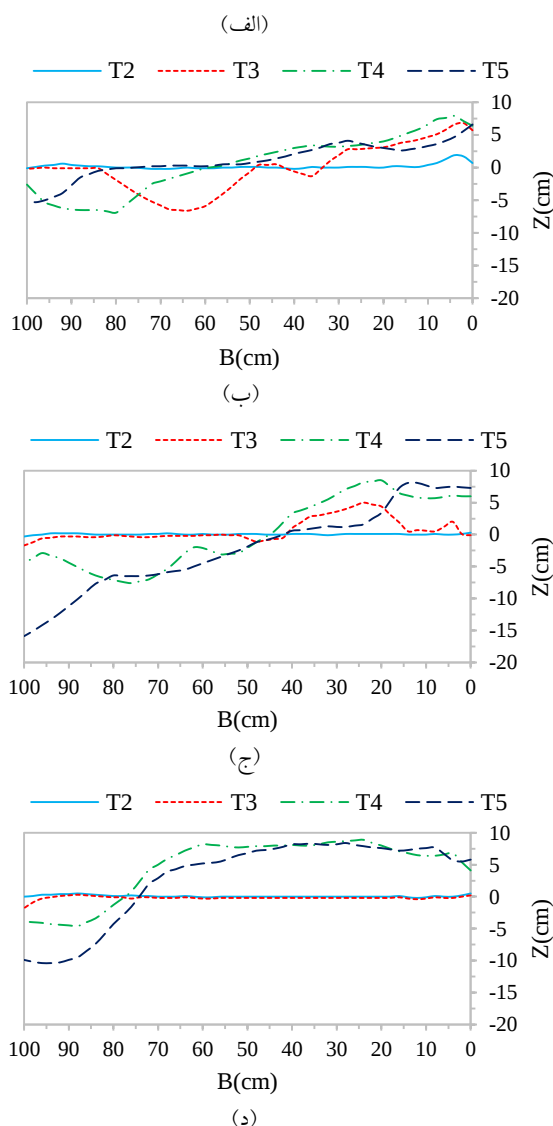


Figure 9. Samples of cross sections in locations of a) 57, b) 60, c) 63, and d) 66 degrees from the beginning of the bend

شکل (۱۰) نمایش شماتیکی جریان های ثانویه در قوس تند و اثر پایه ها بر روی جریان

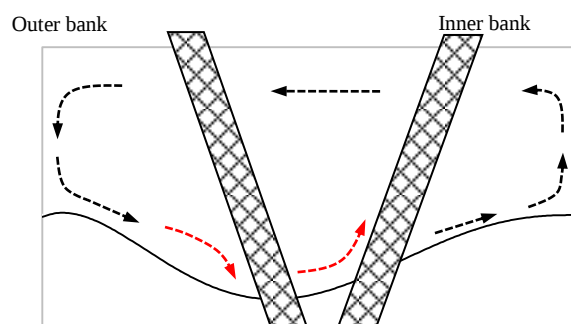


Figure 10. Schematic view of the secondary flow in the sharp bend and piers effect on the flow.

در (شکل ۱۱) مقاطع عرضی در نیمه دوم کانال نشان داده شده است. در آزمایش T2 بعد از زاویه ۹۰ درجه بستر بدون دست خوردگی باقی مانده و تنها در زاویه ۹۰ درجه مقدار جزئی رسوب گذاری وجود دارد. شدت روند تخریب و پیشروی در دیگر آزمایش ها کاملاً مشهود است. برای نمونه در قسمت الف) مرز اثر دو پایه تنها در آزمایش T3 مشخص است و در قسمت ب) این مرز تنها در آزمایش T4 مشاهده می شود. به عبارت دیگر در ۲۰ درصد زمان تعادل وضعیت عمومی بستر در زاویه ۱۲۰ درجه مشابه زاویه ۱۵۰ درجه در ۵۰ درصد زمان

زمان تعادل نسبی تغییر مکان داده و در مسیر مستقیم پایین دست انباشته می شود.

شکل (۱۲) نمونه مقاطع طولی در الف (۲، ب) ۲۵، ج) ۵۰ و د) ۹۸ درصد عرض کانال از ساحل داخلی (الف)

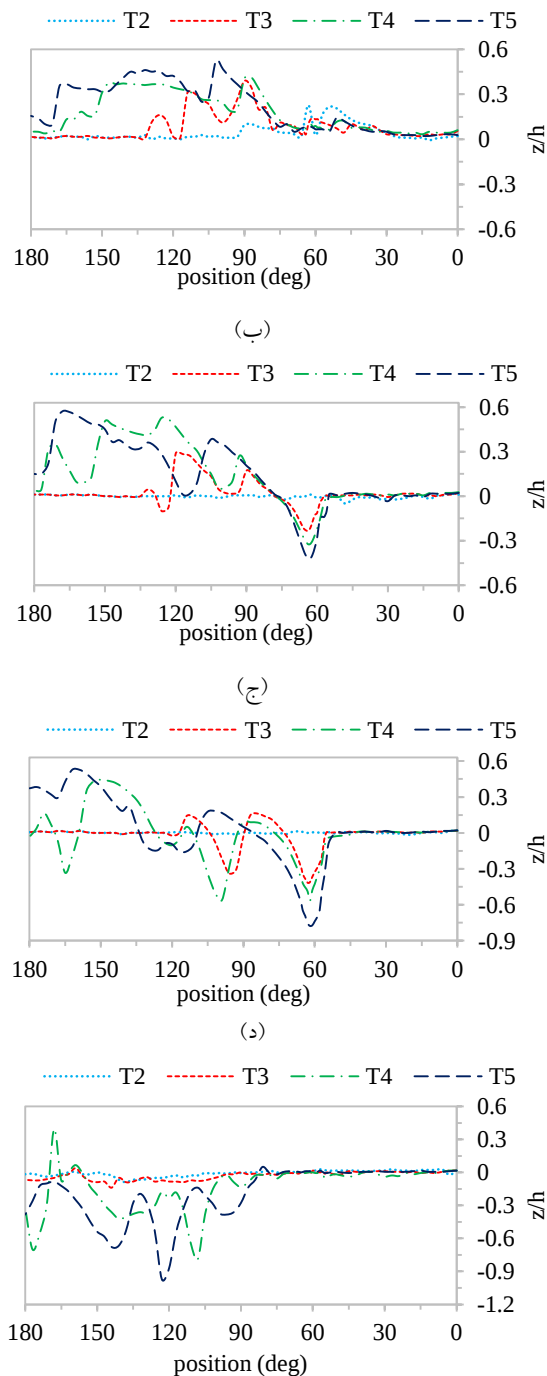


Figure 12. Samples of longitudinal sections in a) 2%, b) 25%, c) 50%, and d) 98% of the channel with from the inner bank.

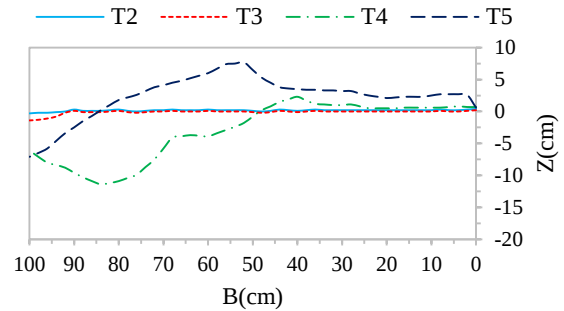


Figure 11. Samples of cross sections in locations of a) 90, b) 120, c) 150, and d) 180 degrees from the beginning of the bend rout.

درصد می رسد. این در حالی است که در ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی این مقدار کاهش یافته و به ۵۰ درصد تغییر می یابد. در زاویه ۱۵۰ درجه و در ۲۰ درصد زمان تعادل نسبی مشاهده می شود که بستر بدون تغییر باقی می ماند. این روند با ادامه آزمایش تغییر کرده و در زوایای ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه تغییرات تراز بستر به وضوح مشاهده می شود. گفتنی است که بیشینه عمق آبستگي در مقطع ۱۲۳ درجه رخ می دهد. در ۵۰ و ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی تغییرات تا ۲۰ برابر قطر پایه در راستای مسیر مستقیم پایین دست نیز ادامه پیدا می کنند.

برای روشن تر شدن شرایط بستر در (شکل ۱۲) نمونه مقاطع طولی آورده شده است، که در آن محور افقی موقعیت از ابتدای قوس بر حسب درجه و محور عمودی عمق بی بعد شده تراز بستر با استفاده از عمق جریان در مسیر مستقیم بالا دست می باشد. در قسمت (الف) مقطع طولی در فاصله ۲ درصد عرض کانال از ساحل داخلی نشان داده شده است. در این مقطع هیچگونه فرسایش رخ نداده و تنها رسوب گذاری و تشکیل پشته های رسوبی مشاهده می شود.

بیشترین ارتفاع در این مقطع مربوط به آزمایش T5 معادل ۵۲ درصد عمق جریان در مسیر مستقیم بالا دست است. این عدد برای آزمایش های T2، T3، T4 به ترتیب برابر با ۴۱، ۳۹ و ۲۳ درصد عمق جریان در مسیر مستقیم بالا دست است.

با فاصله گرفتن از دیواره داخلی از مقدار رسوبگذاری کاسته شده و فرسایش بستر بیشتر مشاهده می شود. در ۹۸ درصد عرض کانال از ساحل داخلی تنها در آزمایش T4 معادل ۵۰ درصد زمان تعادل نسبی بیشترین تراز نسبی بستر ۴۰ درصد عمق جریان در مسیر مستقیم بالا دست است. این پشته در

درصد زمان تعاد نسبی عمق چاله دوم با عمق چاله اصلی اطراف پایه برابر می‌شود و در ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی ۱۲ درصد عمیق‌تر از چاله اصلی می‌شود.

موقعیت بیشینه تراز بستر نسبت به زمان در (شکل ۱۴) نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد با افزایش زمان تعادل نسبی از ۲۰ درصد به ۵۰ و ۱۰۰ درصد باعث پیشروی ۱۰ و ۴۷ درصدی این پشته در راستای جریان می‌شود. تغییر ناگهانی موقعیت پشته نشان می‌دهد که با مرتفع‌تر شدن پشته رسوبی سرعت پیشروی آن نیز بیشتر می‌شود. در مدت زمان ۱۵ ساعت دو نقطه در نمودار نمایش داده شده است که نقطه با شکل لوزی نشان دهنده موقعیت بیشینه ارتفاع پشته رسوبی در آزمایش مسیر قوسی بدون استقرار پایه است.

شکل (۱۴) نمودار موقعیت نسبت به زمان بیشینه تراز بستر

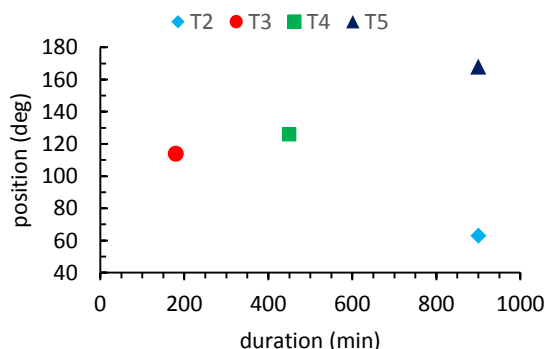


Figure 14. Digram of the location to the maximum time of bed level.

شکل (۱۵) نمودار موقعیت حداکثر تراز بستر

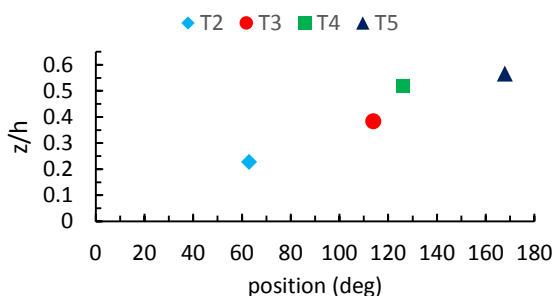


Figure 15. Digram of the location to the maximum bed level.

در (شکل ۱۵) موقعیت مرتفع‌ترین پشته رسوبی و ارتفاع آن در هر آزمایش نشان داده شده است. این نمودار مکمل نمودارهای قبلی است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود

شکل (۱۳) نمودار حداقل و حداکثر تراز نسبی بستر نسبت به زمان آزمایش

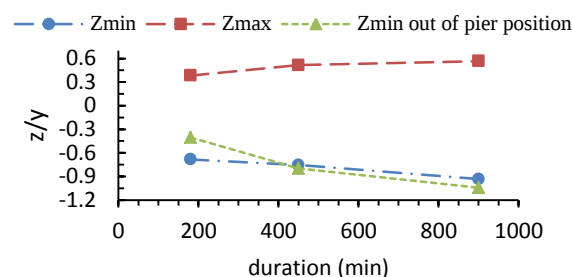


Figure 13. Digram of minimum and maximum relative bed level to the test time.

در مقاطع طولی شاهد سیکل نوسانی در شکل عمومی بستر هستیم. این بدان معنی است که بعد از تشکیل هر چاله آبشستگی پشته رسوبی شکل می‌گیرد و بعد از هر پشته شاهد آبشستگی هستیم. این روند رابطه مستقیمی با مدت زمان آزمایش دارد. در ۵۰ درصد عرض کانال و در ۲۰ درصد زمان تعادل نسبی دو چاله آبشستگی با عمق نسبی بیشتر از ۰/۱ و دو پشته رسوبی با ارتفاع نسبی بیشتر از ۰/۱ عمق جریان در مسیر مستقیم بالا دست مشاهده می‌شود.

در همان مقطع و در ۵۰ درصد زمان تعادل نسبی سه عدد چاله آبشستگی و سه عدد پشته رسوبی دیده می‌شود. در ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی این مقدار به دو عدد کاهش می‌یابد. به دلیل زمان زیاد آزمایش و پیشروی بستر این عوارض به مسیر مستقیم پایین دست منتقل شده‌اند.

از دیگر نکات قابل توجه در مقاطع طولی می‌توان به آبشستگی متناوب در قوس خارجی اشاره کرد. این آبشستگی در قوس بدون پایه رخ نمی‌دهد، همچنین در دیگر آزمایش‌ها بعد از زویه ۹۰ درجه به عبارتی ۳۰ درجه بعد از محل استقرار پایه شاهد آبشستگی در مجاورت دیواره خارجی هستیم. احداث پایه باعث ایجاد جریان‌های آشفته در پایین دست خود می‌شود و حمله جریان به بستر ساحل خارجی را در بردارد.

در (شکل ۱۳) بیشینه و کمینه تراز نسبی بستر نسبت به مدت زمان آزمایش آورده شده است. در این نمودار عمیق‌ترین نقطه خارج از محل استقرار پایه که در این تحقیق چاله دوم خوانده شده نیز آورده شده است. با توجه به نمودار بعد از گذشت ۴۵

References

۶- مراجع

- [1] Melville, B.W. and S.E. Coleman, 2002 Bridge Scour, Colorado, USA, Water Resources Publication LLC.
- [2] Vaghefi, M., M. Akbari, and A.R. Fiouz, 2015 An experimental study of mean and turbulent flow in a 180 degree sharp open channel bend: Secondary flow and bed shear stress, KSCE Journal of Civil Engineering, 20(4), 1582-1593.
- [3] Bajestan, M. Sh. 1387 Theoretical and Practical of hydraulic sediment transport, Shahid Chamram University Publication. (In Persian).
- [4] Raudkivi, A.J. and R. Ettema, 1983 Clear-Water Scour at Cylindrical Piers, Journal of Hydraulic Engineering, 109(3), 338-350.
- [5] Ettema, R., et al., 1998 Local Scour at Skewed Piers, Journal of Hydraulic Engineering, 124(7), 756-759.
- [6] Melville, B.W. and Y.-M. Chiew, 1999 Time Scale for Local Scour at Bridge Piers. Journal of Hydraulic Engineering, 125(1), 59-65.
- [7] Bozkus, Z. and O. Yildiz, 2004 Effects of Inclination of Bridge Piers on Scouring Depth. Journal of Hydraulic Engineering, 130(8), 827-832.
- [8] Emami, Y., S.A. Salamatian, and M. Ghodsian, 2008 Scour at Cylindrical Bridge Pier in a 180 Degree Channel Bend, in Fourth International Conference on Scour and Erosion, 256-262.
- [9] Masjedi, A., M.S. Bejestan, and H. Kazemi, 2010 Effects of Bridge Pier Position in a 180 Degree Flume Bend on Scour Hole Depth. Journal of Applied Sciences, 10(8), 670-675.
- [10] Das, S., et al., 2013 A Study of Wake Vortex in the Scour Region around a Circular Pier, International Journal of Fluid Mechanics Research, 40(1), 42-59.
- [11] Akib, S., A. Jahangirzadeh, and H. Basser, 2014 Local scour around complex pier groups and combined piles at semi-integral bridge, in Journal of Hydrology and Hydromechanics, 108.
- [12] Ismael, A., M. Gunal, and H. Hussein, 2015 Effect of Bridge Pier Position on Scour Reduction According to Flow Direction. Arabian Journal for Science and Engineering, 40(6), 1579-1590.
- [13] Oliveto, G. and W. Hager, 2002 Temporal Evolution of Clear-Water Pier and Abutment Scour. Journal of Hydraulic Engineering, 128(9), 811-820.
- [14] Melville, B., 1997 Pier and Abutment Scour: Integrated Approach. Journal of Hydraulic Engineering, 123(2), 125-136.
- [15] Chiew, Y.M. and B.W. Melville, 1987 Local scour around bridge piers, Journal of Hydraulic Research, 25(1), 15-26.
- [16] Chiew, Y., 1992 Scour Protection at Bridge Piers, Journal of Hydraulic Engineering 118(9), 1260-1269.

بیشترین مقدار پشته رسوبی در آزمایش با زمان معادل ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی و در موقعیت ۱۶۸ درجه و در فاصله حدود ۲۰ درصد عرض کانال از ساحل داخلی بوقوع پیوست.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی آبشستگی زوج پایه همگرا مستقر در قوس تند ۱۸۰ درجه پرداخته شد. پارامتر زمان به عنوان متغیر بررسی شد و نتایج زیر به دست آمد.

از بارزترین نتیجه‌های بدست آمده در این پژوهش می‌توان به ایجاد آبشستگی ماکزیمم در خارج از ناحیه استقرار پایه اشاره کرد. برخلاف انتظار بیشینه آبشستگی در نقطه مقابل محل پایه و در مجاورت قوس خارجی رخ می‌دهد. این پدیده بعد از ۴۵ درصد زمان تعادل نسبی مشاهده شد. پایه در زاویه ۶۰ درجه مستقر بود در حالی که این چاله در زاویه ۱۲۳ درجه مشاهده شد. همچنین از نظر مقدار ۱۲ درصد عمیق تر از چاله اطراف پایه است.

با بررسی عمق آبشستگی در اطراف پایه‌ها در بازه‌های زمانی مختلف مشاهده می‌شود که بعد از گذشت حدود ۲۰ درصد زمان تعادل نسبی سرعت فرسایش در هر دو پایه یکسان می‌شود.

کاهش زمان آزمایش از ۱۰۰ درصد زمان تعادل نسبی به ۵۰ و ۲۰ درصد زمان تعادل نسبی به ترتیب باعث کاهش ۳۰ و ۲۰ درصدی عمق بیشینه آبشستگی در چاله اصلی می‌شود.

در در تمامی آزمایش‌ها چاله‌ای در مرکز قوس مشاهده شد که بیشینه عمق آن در ۵۰ درصد زمان تعادل نسبی رخ می‌دهد.

به طور متوسط آبشستگی پایه نزدیکتر به ساحل خارجی ۳۰ الی ۴۰ درصد بیشتر از پایه نزدیک به ساحل داخلی است.

Effect of Time Duration on Bed Topography With Twin Convergent Bridge Piers at 180 Degree Steep Bend

M. Vaghefi^{1*}, F. Sedighi², M. Moosai², S. H. Meraji³, A. Mahmoodi⁴

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

2- M.Sc. Student of Hydraulic Structures, Civil Engineering Department, Persian Gulf University

3- Assistant Professor of Hydraulic Structures, Civil Engineering Department, Persian Gulf University

Vaghefi@pgu.ac.ir

Abstract:

The destruction of the bridges because of the erosion of the bed is a question that if is not addressed properly it can't be compensated. The aim of this research reviews the scour around the twin bridge piers affected by parameter of time and its role in the bed topography. In this research, the equilibrium time test was done to determine the equilibrium time. After that a test without the establishment of bridge pier was done. The aim of this test is to know the effect of steep bend flume to the bed topography and scour pattern. The next tests were done at 20, 50 and 100 percent of the relative equilibrium time with the establishment of the twin bridge piers. The experiments were performed at the Advance Hydraulic Laboratory of Persian Gulf University of Bushehr in Iran. The channel used in this study has 1 m wide and bend routh with the 180 degrees angle flume with the relative curvature of 2. The upstream routh has the length of 6.5 m and the downstream path is 5 m long. The condition was clear water in all test and live bed using sediment with average diameter of 1 millimeter and standard deviation equals to 1.3. Flow rate was fixed at 70 litter per second with depth of 18 centimeter at straight upstream rought. The piers had the diameter of 5 centimeter and making the angle of 21 degrees with the vertical axis and also placed at the perpendicular plane to the flow stream. Due to maximum scouring at 60 degree of the flume in preliminary tests without the establishment of the piers, for the rest of the tests the piers were installed at 60 degrees angle of the channel bend. At the end of each test channel was gradually drained and after drying the bed topography was harvested with the use of laser device called bed topographer with the accuracy of 1 millimeter. For the best result according to the test more than 4500 points were measured. The most important results achieved is that by the relative equilibrium time the second scour hole is 12 percent deeper than the main scour hole around the piers. In addition the second scour hole is created at the 123 degrees along the outer wall of the flume. Studying the parameter of time indicated that at the beginning of the experiment the second pier which is closer to the outer wall has more scouring depth , but after the relative balance time of 20 percent both pier has the same scouring rate. Reducing the time of the test by 100% to 50% of the relative equilibrium time reduces the maximum scouring depth of the main hole by 20 percent. In all test a scour hole at the middle of the channel bend was seen which deeper at 50 percent of the equilibrium time compared to the 100 and 20 percent of the relative equilibrium time. Advanced discussion and analysis about the results achieved from the tips are outlined in this paper.

Keywords: Scour pattern, Twin bridge piers, 180 degree bend, Steep bend, Test duration.