



بررسی آزمایشگاهی وضعیت خط القعر تحت تاثیر وجود سرریز مستغرق در خم ۹۰ درجه تند

• فاطمه جراح زاده (نویسنده مسئول)

کارشناس ارشد سازه های آبی، دانشگاه شهیدچمران اهواز

• محمود شفاعی بجستان

استاد دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: شهریور ماه ۱۳۸۹ تاریخ پذیرش: شهریور ماه ۱۳۹۰

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۳۱۴۲۷۱۲

Email: f.jarrahzade@yahoo.com

چکیده

با ورود جریان به خم، محل تجمع خطوط جریان به تدریج در اثر نیروی گریز از مرکز، از خم داخلی به مرکز، سپس به دیواره خارجی خم متمایل می شود. در نتیجه ی این الگوی جریان، خط القعر از وسط رودخانه در مسیر مستقیم به دیواره خارجی در خم منتقل می شود. این امر باعث تخریب ساحل خارجی می شود. یکی از سازه هایی که اخیراً به منظور کنترل فرسایش در خم رودخانه ها به کار می رود سرریز مستغرق می باشد. با توجه به این که تا کنون هیچ گونه کار آزمایشگاهی بر روی این سازه ها در خم های ۹۰ درجه تند صورت نگرفته مطالعه حاضر به بررسی آزمایشگاهی تاثیر فاصله بین سرریزهای مستغرق بر وضعیت خط القعر در خم ۹۰ درجه تند می پردازد. آزمایشات در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران در یک خم ۹۰ درجه با $R/W = 2$ انجام شد. سازه ها بر اساس معیارهای استاندارد موجود طراحی شدند و در فواصل طولی ۲۴، ۳۲، ۴۰ سانتی متر معادل (۳L، ۴L و ۵L) به دیواره خارجی خم نصب گردیدند. در این آزمایشات دبی ورودی برابر با ۱۸ لیتر بر ثانیه ($Fr = 0.25$) در نظر گرفته شد. پس از اتمام هر آزمایش داده برداری با استفاده از دستگاه سنجش توپوگرافی بستر انجام شد. حدود ۱۸۰ نمودار از مقاطع عرضی برداشت شده، بدست آمد. با استفاده از این نمودارها پروفیل طولی خط القعر برای هر آزمایش رسم شد. معلوم گردید که خط القعر تشکیل شده در هر آزمایش، از دماغه سازه ها عبور می کند. با مقایسه خط القعر ها مشاهده شد که با افزایش فاصله سرریزهای مستغرق محل وقوع ماکزیمم عمق آب شستگی به سمت انتهای خم حرکت می کند. هم چنین با افزایش فاصله بین سازه ها خط القعر عمق بیشتری می یابد.

کلمات کلیدی: سرریز مستغرق، قوس ۹۰ درجه، فاصله نصب، خط القعر، عمق آب شستگی

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 97 pp: 17-29

Experimental investigation of thalweg under effect of submerged weirs in a 90 degree sharp bend

By: Jarahzade F. Msc Expert of Chamran University, Ahvaz (Corresponding Author; Tel: +989163142712), Shafae Bajestan M. Professor of Chamran University, Ahvaz.

In a typical bend flow lines shift to the outer bend by centrifugal force. Thus, thalweg shifts to the outer bend, too. This condition can lead to outer bank erosion. Recently, submerged weirs have become a popular method to control or reduce bank erosion along meandering rivers. Any experimental tests weren't perform on these structures in 90 degree sharp bends, so the purpose of this study is to conduct experimental tests to study the effect of submerged weir space on thalweg condition at a 90 degree sharp bend. To reach the purpose of this study, a 90° bend flume was constructed in the hydraulic laboratory of Shahid Chamran University. The ratio of bend radius to the flume width is equal 2. weirs are designed according the design procedure outlined in the literature. Weirs were installed at three different spaces equal to 24, 32 and 40 cm (3L, 4L and 5L). During the tests flow discharges kept constant equal to 18 Lit/s ($Fr=0.25$). At the end of each test, bed topography was measured using a digital bed profiler. Using these data, 180 cross sections were plotted and the longitude profile of thalweg for each test was plotted. Comparison of these plots have shown that the location of thalweg at the bend has been shifted to the nose of weirs and it was found as the weirs space become larger, the maximum scour is getting close to the end of flume and the thalweg is deeper.

Keywords: Submerged weir, 90° bend, Space installation, Thalweg, Scour depth.

مقدمه

مقدمه

یکی از سازه هایی که اخیراً به منظور کنترل فرسایش در خم رودخانه ها به کار می رود، سرریز مستغرق می باشد (Abad Rhoads Guneralp, Garcia, و ۲۰۰۸). تعریف جامعی برای سرریزهای مستغرق وجود ندارد، اما به طور کلی، بیشتر سازه هایی که با این نام شناخته می شوند، دارای شکل و کارایی مشابهی هستند (Rhoads, ۲۰۰۳). بیشتر سرریزهای مستغرق سازه هایی هستند از مصالح سنگ، کیسه های پر شده با شن و ماسه بستر رودخانه و الوار چوبی که با زاویه نسبت به ساحل بالادست در امتداد ساحل خارجی خم، درون رودخانه قرار می گیرند (Anonymous, ۲۰۰۶). عمدتاً این سازه ها به منظور کنترل فرسایش رودخانه ها به کار می روند. مفهوم سرریزهای مستغرق در سال ۱۹۸۸ بوسیله سازمان مهندسی ارتش آمریکا (USACOE) برای استفاده بر روی رودخانه می سی سی پی مطرح شد. در بیش از ۲۰ سال گذشته، کاربرد این سازه ها از نگهداری و حفاظت از کشتیرانی در رودخانه های بزرگ به کنترل فرسایش در رودخانه و نهرهای غیر قابل کشتیرانی کوچک تغییر کرده است. (Rhoads, ۲۰۰۳) اکنون این سازه در سرتاسر ایالات متحده برای کاهش فرسایش در آبراهه های کوچک به کار برده می شود (Xu و Scott, Jai, Wang, ۲۰۰۱). هدف اصلی کاربرد این سرریز ها تغییر الگوی معمول جریان در مماندر است که نتیجه آن حفاظت ساحل خارجی است. این سازه ها جریان های ثانوی را کاهش می دهند و جهت جریانی را که از رویشان بگذرد تغییر می دهند. هنگامی که چندین سرریز در یک خم قرار می گیرند، نتیجه ی نهایی آن، منحرف کردن جریان از ساحل خارجی در سرتاسر خم می باشد. هم چنین، این سازه ها جریان حلزونی سیال را که عموماً در خم ها اتفاق

می افتد، به هم می ریزند. با منحرف کردن جریان از ساحل خارجی و بهم زدن حرکت حلزونی جریان، مکان ماکزیمم تنش برشی که به الگوی جریان عبوری از خم وابسته است، تغییر داده می شود و منطقه ی ماکزیمم تنش برشی بستر و سرعت زیاد به مرکز کانال منتقل می شود (Rhoads, ۲۰۰۳).

این سرریزها از نظر ظاهر شبیه آب شکن های سنگی هستند (FHWA, ۱۹۹۷). با این تفاوت که در مقایسه با آب شکن های معمولی کوتاه و کم ارتفاع بوده و طول بیشتری نسبت به آنها دارند (Anonymous, ۲۰۰۶) و از نظر کارکرد نیز، تفاوت قابل توجهی دارند. آب شکن ها معمولاً مستغرق نبوده و در حالت عبور جریان از اطراف آنها قابل رویت هستند. بنابراین جریان یا در اطراف سازه حرکت می کند یا جریان در طول خط ساحل کاهش یافته و از میان سازه عبور می کند. در حالی که سرریزهای مستغرق معمولاً دیده نمی شوند و تمایل به هدایت جریان از روی سازه با استفاده از هیدرولیک سرریز دارند. جریان عبوری از روی سازه به گونه ای هدایت می شود که جریان با محور سرریز زاویه ۹۰ درجه بسازد و به سمت خط مرکزی کانال حرکت کند (شکل ۱). سرریزهای مستغرق همانند آب شکن ها، سرعت در نزدیکی ساحل و هم چنین تمرکز جریان در ساحل خارجی را کاهش می دهند (FHWA, ۱۹۹۷). تجربیات کسب شده در کشورهای دیگر نشان داده است که از نقطه نظر اقتصادی، احداث این سرریزها باعث ۷۷ درصد صرفه جویی در هزینه های اجرایی نسبت به احداث آب شکن های معمولی می گردد (Anonymous, ۲۰۰۶).

مزیت اکولوژیکی این سازه ها، مربوط به آب شستگی در نزدیکی دماغه آنها می باشد، بدین ترتیب در هنگام کم بودن جریان، مناطقی حفاظت شده با آب ساکن در محدوده ی میدان سرریزها بوجود می آید. گزارش شده است که میزان موجودات زنده و ماهی های

ماکزیمم فاصله بین سرریزها تنها معیاری برای طراحی می باشد و استفاده از آن توصیه نمی شود (FHWA, ۱۹۹۷). فاصله بین سازه ها باید به گونه ای باشد که جریان تغییر جهت یافته هر سرریز قبل از برخورد با ساحل توسط سرریز بعدی مجدداً هدایت شود. بهتر است فاصله بین سرریزها به اندازه ای باشد که بردار جریان هدایت شده به بخش مرکزی سرریز پایین دست برخورد کند (Rhoads, ۲۰۰۳).

تعداد - تعداد سرریزهای مستغرق نباید کمتر از ۳ باشد (Scott و همکاران ۲۰۰۱). سرریزها معمولاً به صورت گروهی (۴ تا ۱۴ سرریز در هر خم) ساخته می شوند (Jafarzade, ۲۰۰۸). وجود سرریزهای کافی و با زاویه مناسب در قوس به منظور نگه داشتن بیشترین توزیع جریان در مرکز کانال می باشد (Scott و همکاران ۲۰۰۱).

زاویه - زاویه سرریز نسبت به خط عمود بر ساحل معمولاً بیش از ۲۰ تا ۳۰ درجه نمی باشد (Rhoads, ۲۰۰۳). (Winkler, ۲۰۰۳) محدوده ی زاویه را بین ۰ تا ۳۰ درجه (نسبت به خط عمود بر ساحل) و (Minnesota, ۲۰۰۴) بین ۲۰ تا ۴۵ درجه (نسبت به ساحل بالا دست) گزارش داده اند. (Derrick, ۱۹۹۴) با استفاده از یک مدل با بستر متحرک برای رودخانه می سی سی پی نشان داد که زاویه ۳۰ درجه نسبت به خط عمود بر ساحل زاویه مناسبی برای حل مشکل کشتیرانی و ته نشینی رسوبات در پنجه ی ساحل فرسایش یافته، می باشد.

طول - طول سرریزها در درجه اول به میزان جا به جایی مورد نظر برای خط القعر و شکل دهی مجدد point bar بستگی دارد (Rhoads, ۲۰۰۳). شایان ذکر است طول سرریز روی فاصله ی بین سرریزها اثر می گذارد. سرریزهایی که به منظور حفاظت از ساحل طراحی می شوند، نیاز به طول بیشتر از عرض کانال ندارند. در برخی منابع حدود طول مناسب برای این سازه ها به شرح زیر ذکر شده است:

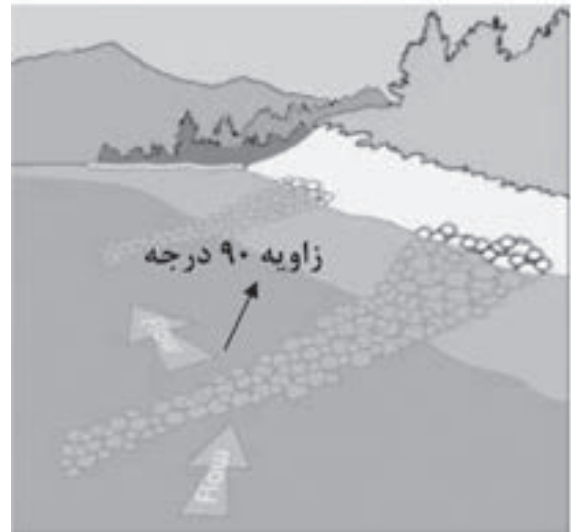
(۵)

$$\text{بیشترین طول: } L = \frac{W}{3} \text{ معمولاً: } L < \frac{W}{4} < \frac{W}{10} \text{ (FHWA, 1997)}$$

ارتفاع - ارتفاع بهینه ای برای این سازه ها تعیین نشده است (Rhoads, ۲۰۰۳). برخی منابع ارتفاع سرریزها را بین ۲۰ تا ۵۰ درصد میانگین ماکزیمم تراز آب سالانه ذکر کرده اند. (FHWA, ۲۰۰۱) ارتفاع زیاد به دلیل ایجاد همگرایی در جریان، باعث بوجود آمدن چاله های آب شستگی عمیق در قسمت پایین دست سرریزها می شوند. (Rhoads, ۲۰۰۳)

عرض - برخی محققین عرض تاج سرریز را به اندازه ی سنگ به کار رفته در سازه مربوط می دانند. عرض تاج سرریز بهتر است ۲ برابر D۱۰۰ سنگ های به کار رفته در ساختمان سازه در نظر گرفته شود. در نظر گرفتن عرض بیشتر باعث ایجاد پرش هیدرولیکی شده و این مسئله باعث بوجود آمدن آب شستگی عمیقی در پایین دست سازه می شود (Rhoads, ۲۰۰۳).

(Smith و Wittler, ۱۹۹۹) در مقاله ای مشخصات سازه های اجرا شده در سال ۱۹۹۷ توسط وزارت حمل و نقل کلرادو را شرح



شکل ۱- تغییر جهت جریان عبوری از روی سرریز (Anonymous, ۲۰۰۲)

بزرگ در هر واحد طول کانال، در مسیری که این سازه ها وجود دارد، به طور معنی داری بیش از مسیرهایی است که در آنها دیگر سازه های حفاظتی به کار رفته است (Rhoads, ۲۰۰۳). مطالعات انجام شده در رودخانه می سی سی پی حاکی از افزایش ماهیان در اطراف این سازه ها به میزان سیزده برابر بیش از سایر انواع سازه های حفاظتی ساحل می باشد (Anonymous, ۲۰۰۶). علاوه بر این، سازه های ناپیوسته مانند سرریزهای مستغرق از لحاظ تاثیر روی زیستگاه آبیان، بهتر از سازه های حفاظتی پیوسته عمل می کنند (Rhoads, ۲۰۰۳).

هیچ دستورالعمل استاندارد برای طراحی و ساخت این سازه ها وجود ندارد. (Rhoads, ۲۰۰۳) دستورالعمل های ارائه شده نیز هنگامی مفید هستند که با قضاوت متخصصین در محل همراه باشند. (Smith و Witter, ۱۹۹۸) در ادامه خلاصه ای از دستورالعمل های ارائه شده بیان می شود:

فاصله - فاصله بین سازه ها به طول سرریز (L) و نسبت طول سازه به عرض کانال (L/W) و نسبت شعاع انحنا کانال به عرض کانال (R/W) بستگی دارد. روابطی که در ادامه ارائه می شود براساس آزمایشاتی که (WES) و (MRD) انجام داده است، می باشد (FHWA, ۱۹۹۷):

$$S = 1.5L \left(\frac{R}{W} \right)^{0.4} \left(\frac{L}{W} \right)^{0.2} \quad (1)$$

$$S = (4 - 5)L \quad (2)$$

$$S = (3 - 5)L \quad (3)$$

$$S_{max} = R \left(1 - \left(1 - \frac{L}{R} \right)^2 \right) \quad (4)$$

شبییه سازی عددی بر روی این سازه ها صورت نگرفته است، مطالعه حاضر به بررسی آزمایشگاهی تاثیر فاصله بین سرریزهای مستغرق بر وضعیت خط القعر در خم ۹۰ درجه تند می پردازد. فاصله بین سازه ها از این نظر اهمیت دارد که در صورت دور بودن آنها از هم جریان آب ممکن است مجدداً به ساحل رودخانه برخورد نموده و باعث تخریب آن در بین دو سرریز گردد. بدیهی است نزدیک بودن بیش از حد، علاوه بر این که از نظر اقتصادی با صرفه نیست، عملکرد هر یک از سرریزها را پایین می آورد.

مواد و روش ها

در راستای تحقق اهداف این تحقیق، آزمایش ها در یک فلوم آزمایشگاهی، با مشخصاتی بدین شرح انجام گرفت (شکل های ۱ و ۲). طول فلوم در مسیر مستقیم بالادست و پایین دست قوس به ترتیب ۴ متر و ۲ متر است. زاویه مرکزی قوس ۹۰ درجه، شعاع مرکزی ۰/۸ متر و عرض آن ۰/۴ متر می باشد. انحنای نسبی قوس (R/W) برابر با ۲ بوده که قوس را در رده قوس های تند قرار می دهد. ارتفاع فلوم ۰/۷ متر و ضخامت رسوب در کف فلوم ۳۶/۵ سانتی متر می باشد. در انتهای مسیر مستقیم پایین دست یک دریچه کشویی نصب شده است. برای اندازه گیری دبی از سرریز مثلثی لبه تیز با زاویه راس ۹۰ درجه در انتهای فلوم استفاده گردید. جهت قرائت ارتفاع آب عبوری از سرریز، از مانومتری که به فاصله ۴ H بالادست سرریز مثلثی قرار گرفته بود، استفاده شد. H بیشترین ارتفاع آب روی سرریز می باشد. ضریب یکنواختی رسوبات مورد آزمایش ۱/۶۳ و اندازه میانه رسوبات مورد آزمایش ۱/۵ میلی متر می باشد. سازه ها از جنس چوب رنگ شده می باشند که با زاویه ثابت ۳۰ درجه نسبت به خط عمود بر ساحل، طول ثابت (W/۵) ۸ سانتی متر، ارتفاع (d₀/۳) ۵ سانتی متر، با فواصل متغیر (S= 3L, 4L, 5L) به ترتیب ۲۴، ۳۲، ۴۰ سانتی متر در سرتاسر دیواره ی قوس بیرونی نصب گردیدند. W عرض فلوم، d₀ عمق آب در مسیر مستقیم ورودی و L طول سازه می باشد. در جدول ۱ مکان قرارگیری سازه ها در طول خم خارجی نسبت به ابتدای قوس بر حسب سانتی متر و هم چنین معادل آن بر حسب زاویه ذکر شده است.

لازم به ذکر است که در هر سه حالت قرارگیری سازه (S= 3L, 4L, 5L) اولین سازه در مسیر مستقیم ورودی - ۲۴ سانتی متر قبل از قوس - قرار گرفته و مکان قرارگیری بقیه سازه ها نسبت به اولین سازه و با در نظر گرفتن نسبت های طولی ذکر شده بدست آمده است. شکل ۴ نصب سازه ها به دیواره خارجی فلوم را نشان می دهد.

پس از نصب سازه ها تسطیح و تراز سطح رسوب صورت گرفت. به منظور تامین دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه به آرامی شیر کشویی را باز کرده تا آب درون مخزن ورودی فلوم به آرامی بالا بیاید. در ابتدا باید سرعت حرکت آب بسیار کم باشد تا قبل از آماده شدن شرایط آزمایش، فرسایشی اتفاق نیفتد. وقتی سطح آب به بالاترین اندازه رسید، عدد فرود تا حد ممکن پائین می آید و جریان عبوری ایجاد فرسایش نمی کند. بعد از اطمینان از جریان یافتن دبی مورد نظر و ثابت شدن

دادند. شایان ذکر است این سازه ها به منظور حفاظت ساحل خارجی رودخانه Blue و متعاقب آن حفاظت بزرگراه نزدیک ساحل خارجی این رودخانه ساخته شدند. (Wang و Jia.Scott.Xu.Huang, ۲۰۰۵) الگوی جریان در خم رودخانه تحت تاثیر وجود سرریز مستغرق در آن را به صورت آزمایشگاهی و عددی شبیه سازی کردند. آنها در یافتند با حضور این سازه ها در خم منطقه ی جدایی جریان و جریان چرخشی توسعه می یابد. (Gannett, ۲۰۰۸) مشخصات هندسی سرریزهای مستغرق را مورد بررسی قرار داد. (Abad و همکاران ۲۰۰۸) با استفاده از مدل ۹/۰ Flow-۲D الگوی جریان در یک خم در شرایطی که سرریزهای مستغرق در آن وجود دارد در ۳ حالت جریان کم، جریان متوسط و جریان زیاد مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند در شرایط جریان کم این سازه ها ۳ منطقه ی هیدرولیکی اصلی ایجاد می کنند: (۱) منطقه ی جریان چرخشی یا ساکن بین سرریزها، در طول ساحل خارجی (۲) خط القعر در دماغه ی سرریزها (۳) یک لایه برشی بلافاصله پایین دست دماغه ی سرریزها بین جریان چرخشی و خط القعر. (Wang و Jia.Scott.Xu, ۲۰۰۹) با برداشت داده های سه بعدی سرعت از خم Victoria در رودخانه می سی سی پی و شبیه سازی جریان با استفاده از مدل ۳D (CCHE)، نشان دادند که تحت تاثیر وجود سرریزهای مستغرق جریان سطحی به سمت ساحل داخلی متمایل می شود که این مسئله در بهبود شرایط کشتیرانی در خم بسیار حائز اهمیت است. هم چنین معلوم گردید که میزان تاثیر هر سرریز به زاویه آن، مورفولوژی کانال در محل سازه و شرایط جریان بستگی دارد.

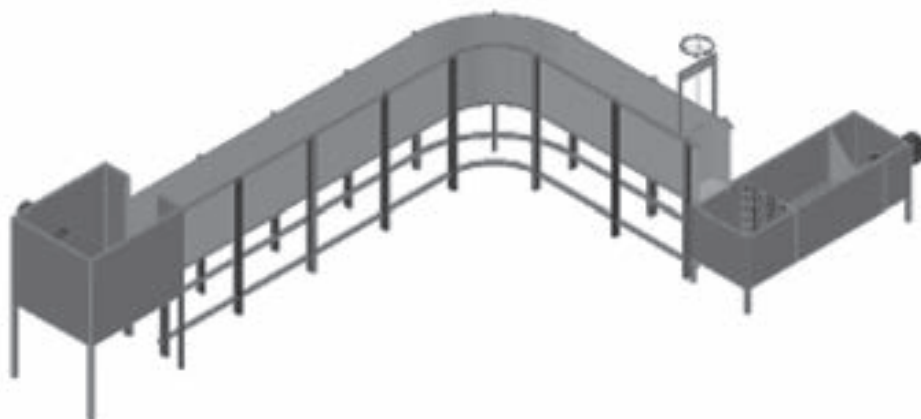
در ایران نیز سرریزهای مستغرق در رودخانه دز واقع در استان خوزستان احداث گردیده است (۱۳۸۵). منطقه طرح در رودخانه دز حد فاصل سد انحرافی شبکه دز تا پل حمید آباد قرار دارد. در این منطقه سیل بندهایی با هدف جلوگیری از ورود سیل به اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی احداث شده بود. علیرغم اینکه سیل بندهای طرح در دشت سیلابی و با فاصله ای نسبتاً زیاد از مسیر اصلی جریان قرار گرفته بودند، با توجه به جا به جایی مسیر رودخانه دقیقاً در مجاورت جریان قرار گرفته و در قسمت پاشنه دچار خوردگی شده بودند. به منظور ایمنی کامل سیل بند و با توجه به شرایط خاص طرح، مسائل فنی و در نظر گرفتن هزینه، سرریز مستغرق به عنوان سازه ای مناسب در قسمت های زیر استفاده شد:

۱- در قسمت هایی از مسیر که هیچ گونه حفاظت بستر و دیواره ساحلی صورت نگرفته بود.

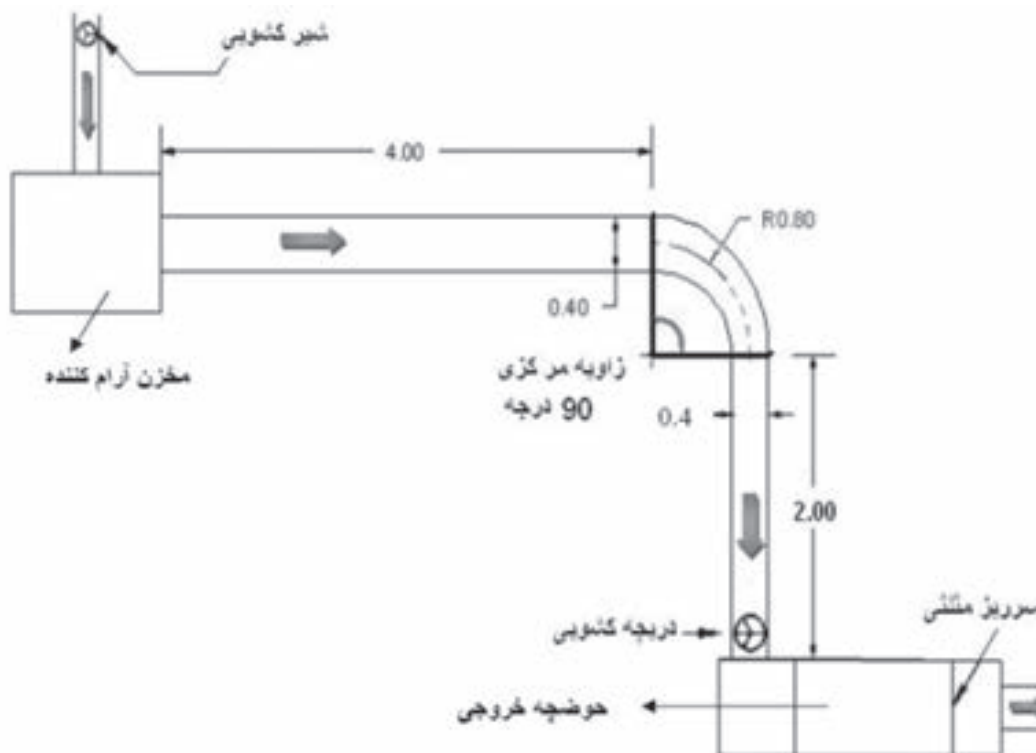
۲- در قسمت هایی از مسیر که حفاظت دیواره ساحلی انجام شده لیکن لایه حفاظتی بستر تخریب و عملیات ترمیم می بایست در زیر تراز آب انجام گیرد. با توجه به نتایج هیدرولیکی محاسبه شده مشخصات سازه در موقعیت طرح با شرح زیر پیشنهاد شد:

بیشترین ارتفاع سرریز ۲ متر، ارتفاع دماغه ۰/۶ متر، فرورفتگی در بستر ۰/۶ متر، شیب کناری ۱:۲ (افقی: عمودی)، طول قسمت مستقیم سازه ۴۰-۲۰ متر، فاصله سازه ها از یکدیگر ۴۰ متر (فاصله پاشنه های بین دو سازه متوالی) (Anonymous, ۲۰۰۶).

با توجه به این که تا کنون در ایران هیچ گونه کار آزمایشگاهی و



شکل ۲- نمای سه بعدی فلوم آزمایشگاهی



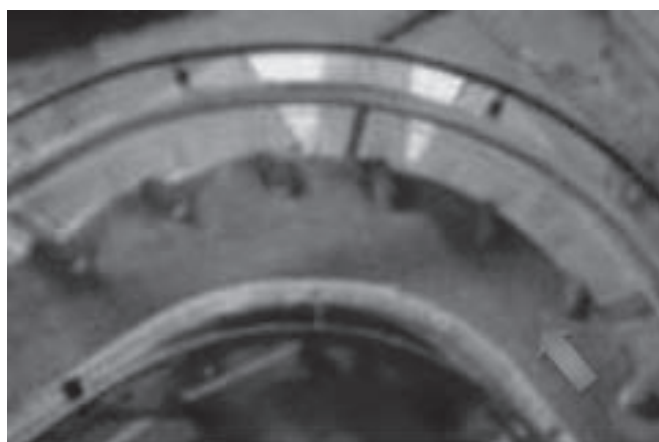
شکل ۳- پلان کانال قوسی شکل

توپوگرافی بستر^۳ مدل Adelan Tech، ساخت ایران، با کد فنی BPF-LMC-۲ با دقت ۱ میلی متر در طول، ۱ میلی متر در عرض و ۰/۴ میلی متر در عمق - صورت گرفت. فاصله مقاطع برداشت شده ۵ درجه می باشد که برای افزایش دقت داده برداری در اطراف سازه ها، فاصله مقاطع مورد اندازه گیری کمتر انتخاب شد. برداشت داده ها شامل ۴۸ سانتی متر از مسیر مستقیم قبل از قوس، قوس ۹۰ درجه، ۲ متر مسیر مستقیم بعد از قوس می باشد. پس از هر آزمایش مقاطع عرضی که داده برداری در آنها صورت

هد آب در مانومتر، دریچه کشویی باز می گردد، این امر برای جلوگیری از افت سریع آب و وقوع فرسایش ناگهانی باید به آرامی انجام شود. ارتفاع آب را به ۱۵ سانتی متری از سطح رسوب رسانیده که براساس ابعاد فلوم آزمایشگاهی موجب شرایط جریان ورودی $Fr=0/25$ می گردد. پس از اتمام زمان آزمایش با بستن همزمان شیر کشویی ورودی و دریچه کشویی سطح آب به آرامی افت می کند تا بعد از اتمام زمان آزمایش آب شستگی صورت نگیرد. پس از گذشت زمان و تخلیه آب درون فلوم داده برداری با استفاده از دستگاه سنجش

جدول ۱ - موقعیت قرارگیری سرریز مستغرق در خم

فاصله سرریز مستغرق	شماره سرریز مستغرق	موقعیت قرارگیری هر سرریز در طول خم خارجی (زاویه)	موقعیت قرارگیری هر سرریز در طول خم خارجی (سانتی متر)
۳L	۱	مسیر مستقیم ورودی	۲۴ سانتی متر قبل از قوس
	۲	۰	۰
	۳	۱۳/۳	۲۴
	۴	۲۶/۷	۴۸
	۵	۴۰	۷۲
	۶	۵۳/۳	۹۶
	۷	۶۶/۸	۱۲۰
	۸	۸۰	۱۴۴
	۹	مسیر مستقیم خروجی	۷ سانتی متر بعد از قوس
۴L	۱	مسیر مستقیم ورودی	۲۴ سانتی متر قبل از قوس
	۲	۴/۱۶	۷/۴
	۳	۲۲/۱	۳۹/۴
	۴	۴۰	۷۱/۴
	۵	۵۸/۱	۱۰۳/۴
	۶	۷۵/۸	۱۳۵/۴
	۷	مسیر مستقیم خروجی	۷ سانتی متر بعد از قوس
۵L	۱	مسیر مستقیم ورودی	۲۴ سانتی متر قبل از قوس
	۲	۸/۶	۱۵/۳
	۳	۳۱	۵۵/۳
	۴	۵۳/۳	۹۵/۳
	۵	۷۵/۶	۱۳۵/۳
	۶	مسیر مستقیم خروجی	۱۴ سانتی متر بعد از قوس



شکل ۴- نصب سازه ها به دیواره خارجی قوس در حالت $S=4L$ (نما از بالا دست)

اطراف سازه هشتم را نشان می‌دهد. در محل قرارگیری سازه ی ۱ که ۲۴ سانتی متر قبل از خم نصب شده است، عمق آب شستگی قابل توجه بوده و برابر با ۵۱/۷ میلی متر می‌باشد. به طور کلی پروفیل طولی خط القعر - باسثنا سازه اول که قبل از خم نصب شده - با ورود به خم ابتدا حالت نزولی داشته، در ۷۷ درجه به مینیمم مقدار خود می‌رسد و پس از مقطع عرضی مذکور تا پایان خم روند صعودی دارد.

در شکل ۸ مقطع عرضی ۷۷ درجه که محل قرارگیری دماغه سازه هشتم می‌باشد، رسم شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود حداکثر عمق آب شستگی در دماغه سازه اتفاق افتاده است. این مسئله به دلیل تشکیل جریان های گردابی در دماغه سازه می‌باشد.

نتایج آزمایش (S=۳L, Fr=۰/۲۵) - شکل ۹ پروفیل طولی خط القعر در حالتی که فاصله سازه‌ها از یکدیگر ۳L می‌باشد، نشان می‌دهد. با توجه به شکل - باسثنا سازه ۲ - با نزدیک شدن به هر سرریز نمودار روند نزولی دارد (عمق آب شستگی افزایش می‌یابد)، در محل سرریز نمودار به مینیمم مقدار (بیشترین عمق آب شستگی) می‌رسد و با دور شدن از هر سازه نمودار روند صعودی می‌یابد (عمق آب شستگی کاهش می‌یابد). با توجه به نقاط مینیمم نمودار، حداکثر عمق آب شستگی برابر ۷۸/۲ میلی متر می‌باشد که در محل دماغه سازه ۷، در ۹۰ درجه اتفاق افتاده است. شکل ۱۰ نمایی از بستر رسوبی اطراف سازه هفتم را نشان می‌دهد. در محل قرارگیری سازه ی ۱ که ۲۴

گرفته بود، در محیط نرم افزار Microsoft office Excel ۲۰۰۷ رسم گردید. ۱۸۰ نمودار مقطع عرضی بدست آمد. با استفاده از این نمودارها پروفیل طولی خط القعر برای هر آزمایش رسم شد. سپس بر اساس مقادیر کمی بدست آمده از دستگاه سنجش توپوگرافی بستر و نمودارهای رسم شده تحلیل نتایج صورت گرفت، که در بخش نتایج و بحث به تفصیل به آن پرداخته خواهد شد.

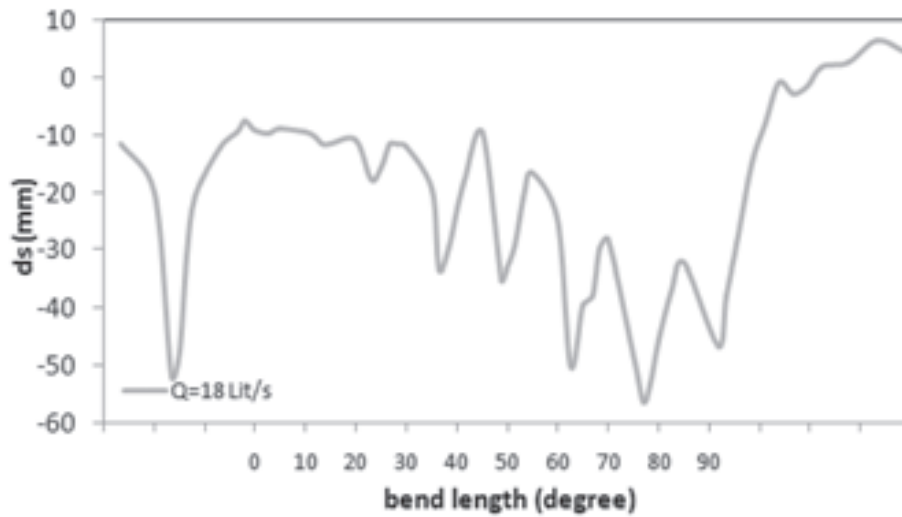
نتایج و بحث

همان گونه که پیش از این بیان گردید، تحقیق حاضر به منظور بررسی تاثیر فاصله بین سرریزهای مستغرق بر وضعیت خط القعر در خم ۹۰ درجه تند صورت گرفته است. آزمایشات برای ۳ حالت قرار گیری سازه‌ها (۳L, ۴L, ۵L) انجام شد. شکل ۵ نمایی از بستر رسوبی در حالت (S=۳L, Fr=۰/۲۵) را نشان می‌دهد.

نتایج آزمایش (S=۳L, Fr=۰/۲۵) - شکل ۶ پروفیل طولی خط القعر در حالتی که فاصله سازه‌ها از یکدیگر ۳L می‌باشد، نشان می‌دهد. با توجه به شکل - باسثنا سازه ۲ و ۹ - با نزدیک شدن به هر سرریز نمودار روند نزولی دارد (عمق آب شستگی افزایش می‌یابد)، در محل سرریز نمودار به مینیمم مقدار (بیشترین عمق آب شستگی) می‌رسد و با دور شدن از هر سازه نمودار روند صعودی می‌یابد (عمق آب شستگی کاهش می‌یابد). با توجه به نقاط مینیمم نمودار، حداکثر عمق آب شستگی برابر ۵۶/۳ میلی متر می‌باشد، که در محل دماغه سازه ۸، در ۷۷ درجه اتفاق افتاده است. شکل ۷ نمایی از بستر رسوبی



شکل ۵- نمایی از بستر رسوبی (S=۳L, Fr=۰/۲۵)



شکل ۶- پروفیل طولی حداکثر عمق آب شستگی بستر (خط القعر) ($S=۳L, Fr=۰/۲۵$)

روند نزولی دارد (عمق آب شستگی افزایش می یابد)، در محل سرریز نمودار به مینیمم مقدار (بیشترین عمق آب شستگی) می رسد و با دور شدن از هر سازه نمودار روند صعودی می یابد (عمق آب شستگی کاهش می یابد). با توجه به نقاط مینیمم نمودار، حداکثر عمق آب شستگی برابر $۱۹/۷$ میلی متر می باشد، که در دماغه سازه ۶، در ۸ سانتی متر بعد از قوس اتفاق افتاده است. شکل ۱۳ نمایی از بستر رسوبی اطراف سازه ششم را نشان می دهد. به طور کلی پروفیل طولی خط القعر - بااستثنا سازه اول که قبل از خم نصب شده - با ورود به خم ابتدا حالت نزولی داشته، در ۸ سانتی متر بعد از قوس، به مینیمم مقدار خود می رسد.

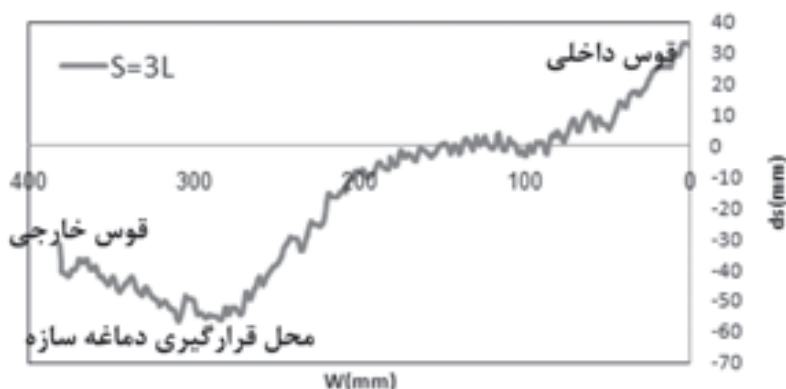
در شکل ۱۴ مقطع عرضی در ۸ سانتی متری بعد از قوس که محل

سانتی متر قبل از خم نصب شده است، عمق آب شستگی برابر با $۵۰/۱$ میلی متر می باشد. به طور کلی پروفیل طولی خط القعر - بااستثنا سازه اول که قبل از خم نصب شده - با ورود به خم ابتدا حالت نزولی داشته، در ۹۰ درجه به مینیمم مقدار خود می رسد. در شکل ۱۱ مقطع عرضی در ۹۰ درجه که محل قرارگیری دماغه سازه هفتم می باشد، رسم شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می شود حداکثر عمق آب شستگی در دماغه سازه اتفاق افتاده است. این مسئله به دلیل تشکیل جریان های گردابی در دماغه سازه می باشد.

نتایج آزمایش ($S=۵L, Fr=۰/۲۵$) - شکل ۱۲ پروفیل طولی خط القعر در حالتی که فاصله سازه ها از یکدیگر $۵L$ می باشد، نشان می دهد. با توجه به شکل، با نزدیک شدن به هر سرریز نمودار



شکل ۷ - نمایی از بستر رسوبی اطراف سازه ۸ در آزمایش ($S=۲L, Fr=۰/۲۵$)



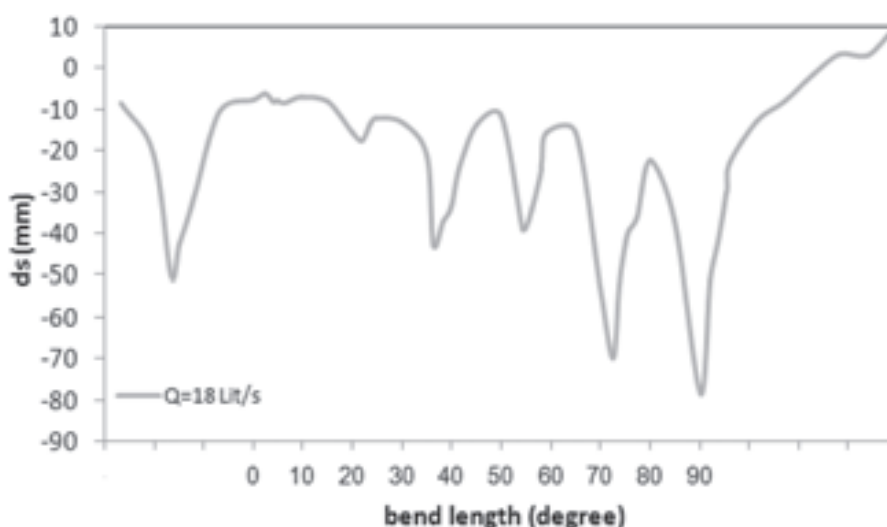
شکل ۸- مقطع عرضی ۷۷ درجه (محل قرارگیری دماغه سازه هشتم)

آب شستگی (d_{smax}) در پروفیل طولی در $(Fr=0/25)$ ، در شرایطی که فاصله ی سازه ها از یکدیگر $S=3L$ می باشد، نسبت به دو حالت دیگر ($S=4L$ و $S=5L$) به ترتیب ۲۸ درصد و ۵۳ درصد کمتر است. در شکل ۱۶ تغییرات پروفیل طولی حداکثر عمق آب شستگی (خط القعر) بازای تغییرات فاصله بین سرریزها با هم مقایسه شده است. در شکل محل وقوع حداکثر آب شستگی به ازای هر یک از فاصله های نصب سازه مشخص شده است. همان گونه که در شکل مشاهده می شود، با افزایش فاصله سرریزهای مستغرق محل وقوع ماکزیمم عمق آب شستگی به سمت انتهای خم حرکت می کند. هم چنین با افزایش فاصله بین سازه ها خط القعر عمق بیشتری می یابد.

قرارگیری دماغه سازه ۶ می باشد، رسم شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می شود حداکثر عمق آب شستگی در دماغه سازه اتفاق افتاده است. این مسئله به دلیل تشکیل جریان های گردابی در دماغه سازه می باشد.

مقایسه نتایج - در جدول ۲ حداکثر عمق آب شستگی و محل وقوع آن در پروفیل طولی و پروفیل عرضی برای $(Fr=0/25)$ و سه حالت فاصله ی سرریزها از یکدیگر ($3L, 4L, 5L$) گزارش شده است.

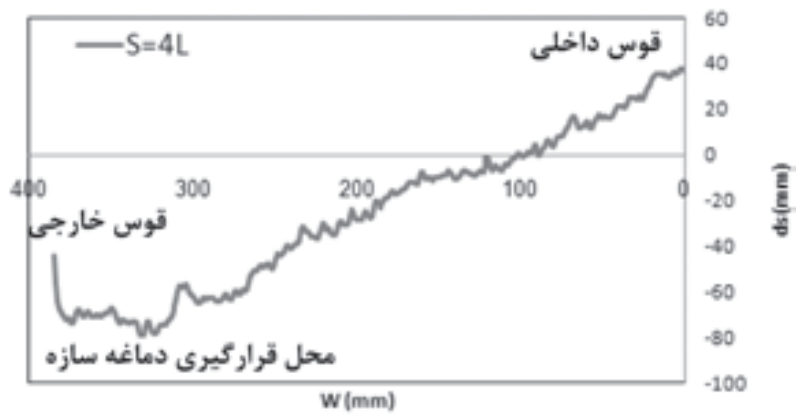
در شکل ۱۵ حداکثر عمق آب شستگی در $(Fr=0/25)$ و برای سه حالت فاصله ی سرریزها از یکدیگر مقایسه شده است. حداکثر عمق



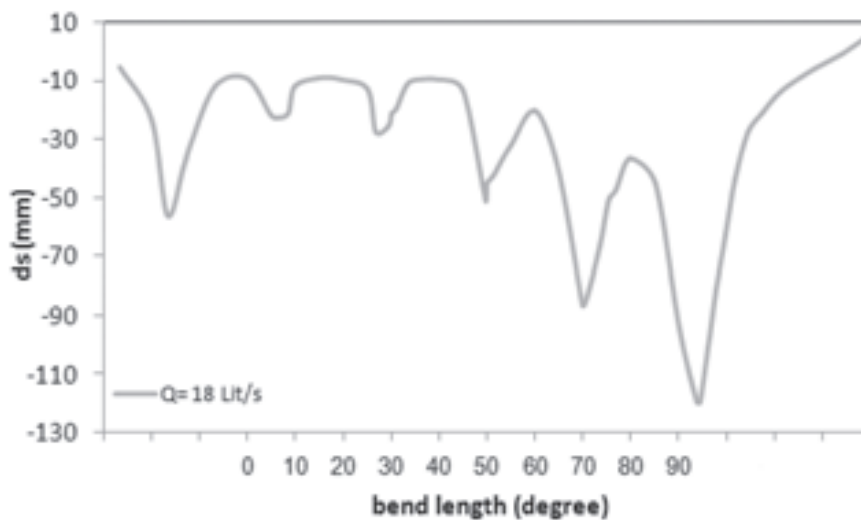
شکل ۹ - پروفیل طولی حداکثر عمق آب شستگی بستر (خط القعر) ($S=4L, Fr=0/25$)



شکل ۱۰ - نمایی از بستر رسوبی اطراف سازه ۷ در آزمایش (S= ۴L, Fr=۰/۲۵)



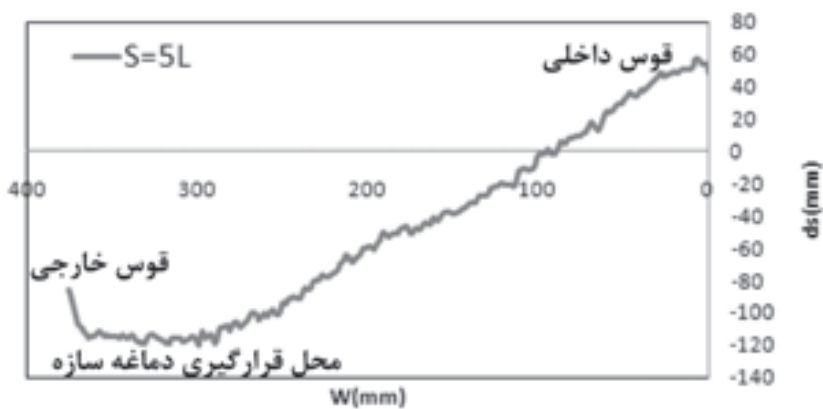
شکل ۱۱ - مقطع عرضی ۹۰ درجه (محل قرارگیری دماغه سازه نهم)



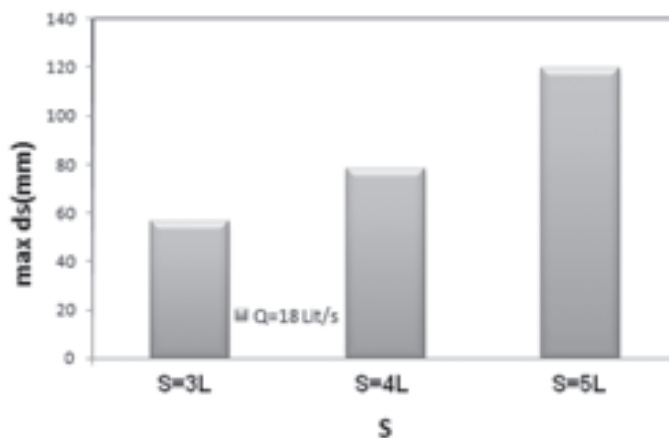
شکل ۱۲ - پروفیل طولی حداکثر عمق آب شستگی بستر (خط القعر) (S= ۵L, Fr=۰/۲۵)



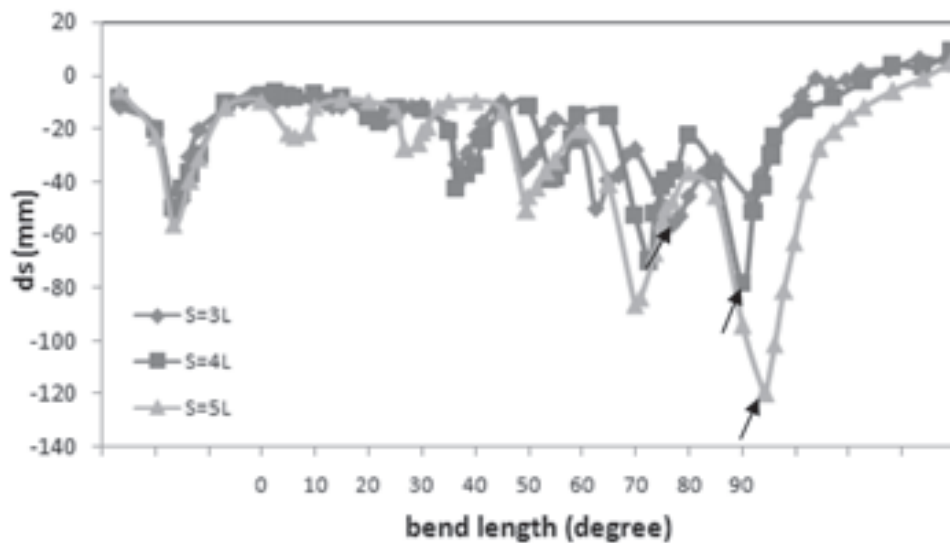
شکل ۱۳ - نمایی از بستر رسوبی اطراف سازه ۶ در آزمایش ($S=5L, Fr=0.25$)



شکل ۱۴ - مقطع عرضی ۸ سانتی متر بعد از قوس (محل قرارگیری دماغه سازه ششم)



شکل ۱۵ - مقایسه حداکثر عمق آب شستگی در $Fr=0.25$ و برای سه حالت فاصله ی سرریزها



شکل ۱۶- مقایسه خط القعر در فاصله های (Fr=۰/۲۵) (S= ۳L,۴L,۵L)

می دهد در تمامی آزمایشات به علت فرار گرفتن سازه اول در معرض مستقیم جریان، آب شستگی در دماغه این سازه قابل توجه است، این سازه برای سرریزهای بعدی نقش محافظتی داشته به طوری که آب شستگی دماغه سازه دوم (اولین سازه در خم) ناچیز است.

قدردانی

هزینه های این مطالعه از محل پژوهانه پرداخت شده توسط معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران تامین شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می شود.

پاورقی ها

- 1- Waterways Experiment Station
- 2- Missouri River Division
- 3-Bed View Profiler

منابع مورد استفاده

- 1- Abad, J. Rhoads, B. L. Guneralp, I. Garcia, M. H . (2008) Flow structure at different stages in a meander bend with bendway weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 134(8), pp: 1052-1063.
- 2- Anonymous, (2002) *Learning to go with the flow, eight-page brochure: Streams and bank stabilization*. Montana Audubon, P.O. Box 595, Helena, MT 59624, (406) 443-3949, www.mtaudubon.org, produced this publication.
- 3- Anonymous (2006) *Land conservation project against flood in west and east villages of Dez river*, Final report, Arvin Khok Consulting engineer, Ahwaz, Iran.

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر به بررسی آزمایشگاهی تاثیر فاصله بین سرریزهای مستغرق بر وضعیت خط القعر در خم ۹۰ درجه تند پرداخته شد و ملاحظه گردید با افزایش فاصله سرریزهای مستغرق محل وقوع ماکزیمم عمق آب شستگی به سمت انتهای خم حرکت می کند. هم چنین با افزایش فاصله بین سازه ها خط القعر عمق بیشتری می یابد. به طوری که حداکثر عمق آب شستگی (d_{smax}) در پروفیل طولی در (Fr=۰/۲۵)، در شرایطی که فاصله ی سازه ها از یکدیگر S=۳L می باشد، نسبت به دو حالت دیگر (S=۴L و S=۵L) به ترتیب ۲۸ درصد و ۵۳ درصد کمتر است. با توجه به فاصله تو صیه شده برای خم های معمولی (S=۴L - ۵L)، نتیجه می شود برای خم های تند فاصله بین سازه ها باید کمتر در نظر گرفته شود. زیرا با کم شدن فاصله سازه ها، تعداد آنها در طول خم خارجی افزایش می یابد، این مسئله استهلاک بیشتر انرژی جریان عبوری از روی سرریزها را به دنبال دارد. هم چنین در حالتی که فاصله نصب سازه ها S=۳L است علیرغم تعداد بیشتر سازه ها نسبت به ۲ حالت دیگر - که امکان آب شستگی موضعی بیشتری را فراهم می آورد. رسوبات منتقل شده از هر چاله فرسایشی شانس بیشتری برای ته نشینی در چاله فرسایشی بعدی را نسبت به ۲ حالت دیگر استقرار سازه ها داشته اند. هم چنین خط القعر تشکیل شده در هر آزمایش، از دماغه سازه ها عبور می کند. از این رو با توجه به پیچیدگی زیاد جریان در خم های تند، استفاده از این سازه برای کنترل فرسایش ساحل خارجی و بهبود شرایط جریان برای اهداف کشتی رانی توصیه می گردد. به طور کلی پروفیل طولی خط القعر - بااستثنا سازه اول که قبل از خم نصب شده - با ورود به خم ابتدا حالت نزولی داشته، در انتهای خم به مینیمم مقدار خود می رسد. این مسئله به علت همسو شدن تاثیر گرادیان طولی فشار با جریان ثانویه در انتهای خم می باشد. بررسی پروفیل طولی خط القعر نشان

of Flows around a Submerged Weir in a Channel. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 131(8), pp: 682-693.

11- Jia, Y. , Scott, S., Xu, Y. and Wang, S.S.Y.(2009) Numerical study of flow affected by bendway weirs in Victoria bendway, the Mississippi River. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE,135(11), pp: 902-916.

12- Minnesota,S. P.(2004) *Bendway weirs*, NRCS NEH 654, Stream Restoration Design Handbook.

13- Rhoads, B. L., (2003) *Protocols for geomorphic characterization of meander bends in Illinois*. Rep. Prepared for the Illinois Department. of Natural Resources, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801.

14- Scott, S. H., Jai, Y., Wang, S. S. Y., and Xu, Y.,(2001) *Analysis of near-field hydrodynamics of submerged weirs*. U.S. Army Corps of Engineers.

15- Smith, S.P. and Wittler, R.J. (1999) *Bendway weirs and highway protection in Colorado: A case study on the Blue River*. Water Operation and Maintenance Bulletin, No.187, pp: 1-6.

16- Winkler, M.F. (2003) *Defining angle and spacing of bendway weirs*. US Army Corps of Engineers.

4- Cleven, S., (2008) *Submerged Weirs – An alternative approach to traditional river alignment training techniques*.

5- Derrick, D.L., (1994) *Design and development of bendway Weirs for the dogtooth bend reach, Mississippi river, Hydraulic Model Investigation*. Technical Report HL-94-10, WES, Vicksburg, MS.

6- FHWA, (1997) Bridge scour and stream instability countermeasures (SI), Federal Highway Administration, *Hydraulic Engineering Circular Number 23*, FHWA HI-97-030

7- FHWA, (2001) Bridge scour and stream instability countermeasures experience, selection, and design guidance second edition, Federal Highway Administration, *Hydraulic Engineering Circular Number 23*, FHWA NHI 01-003

8- Gannett W.P.E (2008) *Bridge hydraulics and scour*. statewide local bridge conference. NYSDOT Hydraulic Engineering Unit.

9- Jafarzade, M. (2008) *River mechanics*, Mashhad Ferdowsi University Press.

10- Jia , Y. , Scott, S., Xu , Y. , Huang, S. and Wang , S.S.Y. (2005) Three-dimensional numerical simulation and analysis

