

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر سرریز W بر کاهش آبشستگی بستر در قوس ۹۰ درجه تند

ویدا آتشی^{۱*} - محمود شفاعی بجمستان^۲ - ایده گلرخ^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۲۵

چکیده

جریان در قوس تحت تأثیر دو نیروی گرادبان عرضی فشار و گریز از مرکز قرار می‌گیرد که باعث به وجود آمدن جریان‌های حلزونی می‌شود. چنین الگویی عامل عمده‌ی فرسایش در قوس خارجی و رسوب‌گذاری در قوس داخلی است و اصلاح این الگو با روش‌های مختلفی امکان پذیر است که از جمله می‌توان به نصب سرریز W اشاره کرد. در تحقیق حاضر میزان فرسایش دیواره داخلی، خارجی و میانه فلوم در شرایط با حضور سرریز W و نصب آن در موقعیت‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه در قوس ۹۰ درجه تند بررسی شده است. حضور سرریز W سبب توزیع یکنواخت تر جریان در بالادست محل نصب سرریز شده و اثر دو نیروی گرادبان عرضی فشار و گریز از مرکز بگونه‌ای اصلاح شده که هیچگونه فرسایشی مشاهده نمی‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که در موقعیت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه بیشترین مقدار عمق فرسایش در عدد فرود ۰/۲۰۶ نسبت به عدد فرود ۰/۱۳۷ به ترتیب به میزان ۸۴، ۹۰ و ۱۱۸ درصد در محدوده دیواره خارجی افزایش داشته است. همچنین در هر دو عدد فرود نصب سرریز در زاویه ۳۰ درجه بیشترین درصد کاهش فرسایش بستر را نسبت به زوایای ۶۰ و ۹۰ درجه به همراه داشته است.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، عمق آبشستگی، فرسایش، قوس ۹۰ درجه

مقدمه

جریان حلزونی نقش بسزایی در شکل‌گیری نیمرخ عرضی و تنش برشی در کف دارد. در خصوص نحوه‌ی الگوی جریان در قوس‌ها مطالعات زیادی به صورت آزمایشگاهی و یا عددی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به داسیلوا و یالین (۶) اشاره نمود که آزمایش‌های خود را در خصوص حفره فرسایشی و رسوبگذاری برای دو قوس متاندری ملایم و بسیار تند انجام دادند. نتایج آنان نشان داد که محل شکل‌گیری حفره فرسایشی در محدوده راس قوس به بعد می‌باشد. بلانکر و گراف (۴) به بررسی الگوی جریان و آشفتگی در کانال انحناءدار پرداختند. کانال مورد نظر دارای خم ۱۲۰ درجه و هدف اصلی آنها بررسی جریان در نیمه بیرونی مقطع عرضی ۶۰ درجه بود. قطر متوسط رسوب مورد استفاده ۲/۱ میلی‌متر و شرایط جریان آب زلال در نظر گرفته شده بود. در کشور ما نیز تحقیقاتی در این زمینه چه بصورت عددی و چه بصورت آزمایشگاهی انجام گردیده است. صفرزاده (۱۳) الگوی جریان در آبگیری جانبی از قوس ۱۸۰ درجه را شبیه‌سازی نمود. نتایج مدل عددی ایشان نشان داد که جریان‌های ثانویه نقش مستقیم در تغییر ساختار صفحه تقسیم جریان نسبت به حالت آبگیری از مسیر مستقیم می‌باشد.

برای به حداقل رساندن اثرات ناشی از جریان حلزونی در قوس رودخانه‌ها و بهسازی و ترمیم کناره و بستر آن‌ها از روش‌های مختلفی هم استفاده می‌شود که از جمله می‌توان به سرریز W اشاره کرد.

مشخصه اصلی جریان در قوس رودخانه‌ها وجود جریان حلزونی است که از اندرکنش جریان ثانویه و جریان اصلی به وجود می‌آید. جریان ثانویه بر اثر اندرکنش دو نیروی گرادبان فشار و نیروی گریز از مرکز ایجاد می‌شود. وجود جریان حلزونی در قوس رودخانه‌ها باعث می‌شود که تمایل بردارهای سرعت در سطح آب به سمت قوس خارجی و در کف به سمت قوس داخلی باشد. جریان حلزونی در رودخانه‌ها همواره باعث تغییر و تحول و دگرگونی بوده است؛ زیرا سرعت حداکثر جریان در قوس، نزدیک به ساحل قوس خارجی و بستر رودخانه می‌باشد و باعث افزایش تنش برشی و فرسایش در این ناحیه می‌شود (۱۴). در قوس رودخانه‌ها معمولاً یافتن محل مناسب آبگیرها، تثبیت کناره‌ها یا بستر فرسایشی و یا انحراف جریان، فعالیت‌های کشتیرانی و جانمایی سازه‌های وارد کننده مواد آلوده به رودخانه از جهات مختلف مورد بررسی محققین قرار گرفته است (۸)؛ بنابراین

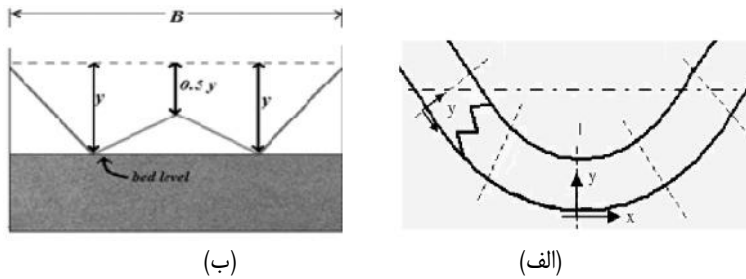
۱ و ۲ - دانشجوی دکترا و استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

شهید چمران اهواز

*- نویسنده مسئول: (Email: Vida.atashi@yahoo.com)

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز،

اهواز



شکل ۱ - نمایی از سرریز W شکل در مسیر قوس رودخانه (شکل الف) نمایش ابعاد سرریز W شکل (شکل ب)
Figure 1- a) View of W-Weir in bend of river b) Dimension of W-Weir

قوس در طول آن کامل می‌شود. آزمایش‌های آتشی و همکاران (۱) نشان داد که حضور سرریز W باعث یکنواختی کامل تنش برشی قبل از محل نصب سرریز گشته است. ایشان دریافتند که مقدار توان چرخشی در حالت بدون سرریز بیشتر از حالت با سرریز اعلام کردند، ولی بعد از موقعیت ۷۰ درجه مقدار این پارامتر به دلیل افزایش تلاطم در نزدیکی سرریز W به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است که این مقدار برای عدد فرود 0.17 در موقعیت ۹۰ درجه ۷۰ درصد افزایش و برای عدد فرود 0.4 در همین موقعیت ۲۰۵ درصد افزایش داشته است. در این تحقیق به بررسی تأثیر سرریز W شکل بر میزان فرسایش دیواره داخلی، خارجی و وسط فلوم، در دو عدد فرود به منظور شناسایی چاله‌های فرسایشی در طول قوس می‌باشد. همچنین یافتن موقعیت قرارگیری مناسب جهت نصب سرریز W در قوس ۹۰ درجه تند از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

با توجه به مشاهدات و روابط موجود عوامل مؤثر در آبشستگی بالادست و پایین دست سرریز W در فلوم، تابعی از هیدرولیک جریان، مشخصات سنگچین و خصوصیات هندسی فلوم می‌باشد.

مشخصات هیدرولیکی جریان

دبی (Q)، سرعت جریان (V)، عمق جریان (y)، چگالی آب (w)، ویسکوزیته دینامیکی سیال (μ) و شتاب ثقل (g).

مشخصات رسوب

قطر متوسط ذرات سنگچین (D_s)، عمق آبشستگی (Z) و دبی رسوب (Q_s)
خصوصیات هندسی کانال
پهنای کانال (W) و زاویه قرارگیری سرریز (α)

این سرریز دارای یک تاج شیبدار بوده و وقتی از رو به رو به آن نگاه شود (شکل ۱-ب)، W شکل می‌باشد. اضلاع کناری W با زاویه ۲۰ تا ۳۰ درجه نسبت به سواحل کناری قرار می‌گیرند. رأس اول در فاصله ۲۵ درصد عرض، رأس وسط در فاصله ۵۰ درصد عرض و رأس سوم در فاصله ۷۵ درصد عرض نسبت به ساحل خارجی قرار می‌گیرند (۲، ۳ و ۱۲). شکل (۱) نمایی از حضور سرریز W شکل در قوس رودخانه و ابعاد آن را نشان می‌دهد.

تاکنون مطالعات اندکی در راستای کاربرد سرریزها برای بهبود الگوی جریان و نیز احیای رودخانه‌ها صورت گرفته است. بویان و همکاران (۲ و ۳) مطالعات صحرائی را در یک آبراهه ماریچی بستر متحرک با مقیاس بزرگ انجام دادند. آن‌ها یک سرریز زیگزاگی را بلافاصله در پایین دست قوس قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با حضور سرریز W شکل ناحیه‌ای که بیشترین انتقال در آن صورت گرفت به سمت میانه‌های کانال انتقال یافت، اگرچه در میزان حداکثر انتقال رسوب تغییر معنی داری رخ نمی‌دهد. در دبی‌های لبریز میزان انتقال رسوب هنگام استفاده از سرریز W، ۵ درصد بیشتر از حالت بدون سرریز W است. پس از نصب سرریز، رسوبات در سمت راست خط مرکزی کانال عموماً درشت تر بودند و ضریب همواری کمتری داشتند. اما در نزدیکی ساحل بیرونی، مواد انتقال یافته ریزتر و دارای ضریب همواری بالاتری بودند. قدو و همکاران (۱۰) با اندازه‌گیری مولفه‌های سه بعدی سرعت در یک قوس تند تحت زبری‌های مختلف جداره کانال نتیجه گرفتند که در مسیر خمیده تند با زاویه ۹۰ درجه، از مقطع ۷۰ درجه به پایین دست، نزدیک جداره داخلی مکان خوبی برای رسوبگذاری و نزدیک جداره خارجی مکان مناسب جهت فرسایش بستر می‌باشد. سوزه پور و همکاران (۱۵) با بررسی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه تند تحت زبری‌های مختلف کف فلوم دریافتند که در عدد فرود 0.17 در مقطع ۴۵ درجه جریان ثانویه چرخشی کامل تشکیل می‌گردد، ولی در فرود 0.4 جریان ثانویه مقطع ۷۰ درجه کامل می‌گردد. به عبارتی این نتیجه حاصل شد که با افزایش عدد فرود، جریان ثانویه چرخشی در فاصله بیشتری از ابتدای

متر، عمق فلوم ۷۰ سانتی متر، طول مستقیم فلوم در بالادست ۴ متر، زاویه قوس کانال آزمایشگاهی ۹۰ درجه یکنواخت و شعاع انحنا از محور مرکزی ۸۰ سانتی متر می باشد. طول پایاب فلوم ۲ متر است که در انتهای آن یک تنظیم کننده سطح آب (دریچه کشویی) نصب شده است. با توجه به اینکه $\frac{R}{b}$ (شعاع قوس و عرض فلوم می باشد) برابر ۲ می باشد، قوس در رسته قوس های تند به حساب می آید (۱۶). متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق شامل Z، حداکثر عمق آبشستگی در طول مسیر قوس و یا دماغه صفحات مستغرق، D_2 ، عمق چاله فرسایشی، Q، دبی جریان عبوری، زاویه نصب سرریز W شکل نسبت به محور کانال و W عرض فلوم مورد آزمایش می باشد.

برداشت داده ها در قوس به صورت مختصات قطبی $P(r, \theta)$ انجام گرفت که برای تبدیل مختصات قطبی به دکارتی از روابط زیر استفاده شد:

$$U = U_r \cos \theta + U_\theta \sin \theta \quad (1)$$

$$V = U_r \sin \theta - U_\theta \cos \theta \quad (2)$$

$$r = r' + \Delta r, \quad x = r \sin \theta, \quad y = r \cos \theta \quad (3)$$

در روابط بالا، r، فاصله نقطه اندازه گیری از دیواره داخلی (سانتی متر)، U_r و U، سرعت های دو بعدی در مختصات قطبی (سانتی متر بر ثانیه)، U و V، مولفه های سرعت های دو بعدی در مختصات دکارتی (سانتی متر بر ثانیه)، زاویه مرکزی قوس و θ شعاع قوس داخلی که معادل ۶۰ سانتی متر است. این پارامترها در شکل (۳) نمایش داده شده اند.

با توجه به موارد مذکور، می توان تمامی پارامترهای دخیل را بصورت رابطه تابعی زیر نوشت.

$$F(Q, V, y, w, y, \mu, g, Dz, Z, w, \alpha) = 0$$

با بکارگیری تئوری باکینگهام در تحلیل ابعادی، رابطه تابعی بالا به صورت رابطه بدون بعد زیر تبدیل می گردد.

$$f(Fr, Fr^*, \frac{y}{\Delta Z}, \frac{w}{\Delta Z}, \frac{L}{\Delta Z}, \frac{Q}{Q_s}) = 0$$

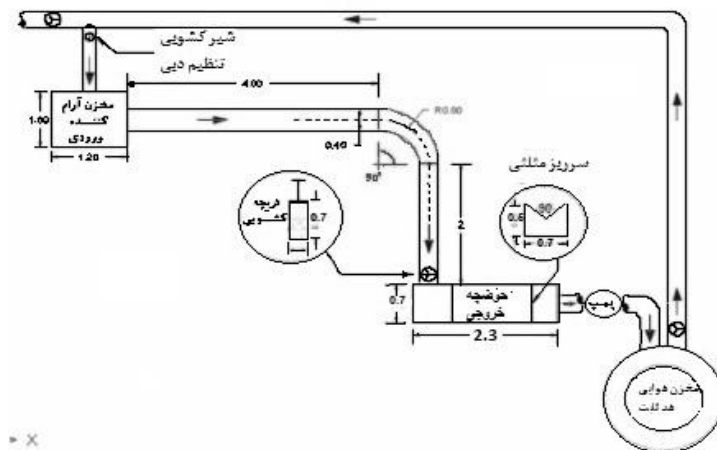
که در آن Fr عدد فرود جریان و Fr^* عدد فرود ذره می باشد.

با نگاهی اجمالی به اعداد بدون بعد استخراج شده از تئوری باکینگهام می توان دریافت که با توجه به انتخاب یک قطر ذره در این پژوهش، عدد فرود ذره حذف می گردد. به علاوه ارائه روابط و روند تغییرات دبی رسوب به دبی جریان نسبت به پارامترهای مختلف در این مقاله ارائه نشده و در تحقیقات آینده به تفصیل ارائه خواهد شد. با توجه به ثابت بودن عمق جریان پارامتر بدون بعد $\frac{y}{\Delta Z}$ هم طبق نظر محققین دارای اثرگذاری کمتری بوده و در این مقاله اثر آن بر روی سایر متغیرها آورده نشده است.

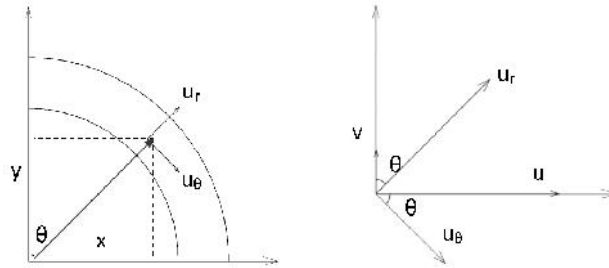
در نهایت پژوهشگران این تحقیق با توجه به تأثیر ابعادی و روابط مستخرج از تئوری باکینگهام و اهمیت عمق چاله آبشستگی، نظر بر آن شد که نمودارها بر مبنای مقایسه طول و عرض کانال در مقابل عمق چاله آبشستگی باشد.

تجهیزات آزمایشگاهی

جهت نیل به اهداف این تحقیق یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز ساخته شد. مشخصات فلوم آزمایشگاهی که در شکل ۲ آمده است شامل: عرض فلوم ۴۰ سانتی-



شکل ۲- پلان فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده
Figure 2- Plan of Flume



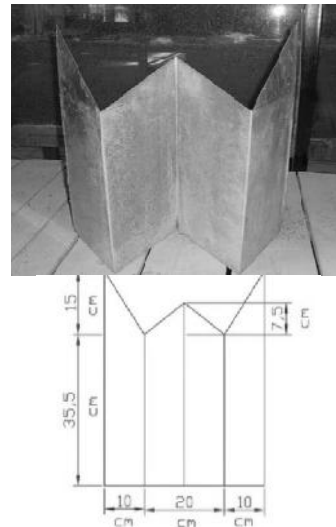
شکل ۳- موقعیت U_r و U_θ و چگونگی تبدیل آنها به U و V
Figure 3- Position of U_r and U_θ and conversion to U and V

متر بوده پراکنده شد. پس از تسطیح، در جهت تامین دبی پمپ روشن گردید و بعد از گذشت مدت زمان مناسب که آب درون مخزن هد ثابت کنترل شد به آرامی شیر کشویی باز گشت تا آب درون مخزن ورودی فلوم به آرامی ارتفاع بگیرد. پس از آن شیر کشویی ۶ اینچ را به آهستگی باز کرده تا آب به ارتفاع مورد نظر برسد، سپس دبی را به وسیله سرریز مثلی لبه تیز با زاویه راس ۹۰ کنترل کرده تا در دبی مورد نظر آزمایش‌ها (۱۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه) تنظیم شود. بعد از تثبیت شدن آب در مانومتر و حصول اطمینان از جریان یافتن دبی مورد نظر دریچه کشویی به آرامی باز گردید. با ادامه یافتن این روند، ارتفاع جریان را به ۱۵ سانتی‌متری از سطح رسوب رسانیده و در طی زمان انجام آزمایش با بکارگیری دریچه کشویی تراز سطح آب به صورت پیوسته کنترل گردید. بعد از اتمام زمان آزمایش شروع به داده‌برداری کرده که این امر توسط متر لیزری انجام پذیرفت. برای بررسی هر چه بیشتر توپوگرافی بستر آزمایش‌ها در قوس یکنواخت (۹۰°، ۶۰°، ۳۰°) حضور سرریز W شکل در سه موقعیت قرارگیری (۰°، ۶۰°، ۹۰°) نسبت به محور جریان ورودی، دو دبی ۱۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه که براساس ابعاد فلوم آزمایشگاهی باعث ایجاد شرایط جریان با اعداد فرود ۰/۱۳۷ و ۰/۲۰۶ در مقطع ورودی مسیر قوس می‌گردید. جدول (۱) دامنه پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

همانطور که اشاره شد، هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر موقعیت قرارگیری سرریز W شکل بر میزان فرسایش دیواره داخلی، خارجی و وسط فلوم، در دو عدد فرود به منظور شناسایی چاله‌های فرسایشی در طول قوس می‌باشد. پس از انجام آزمایش‌های متعدد و تجزیه تحلیل نتایج به کمک نرم افزار Surfer و Tecplot از سری آزمایش‌های انجام شده نتایج زیر به تفکیک ارائه می‌گردد. اشکال ۵ و ۶ مقادیر آبستنگی را توسط طیف رنگی به ترتیب برای اعداد فرود ۰/۱۳۷ و ۰/۲۰۶ را در سه موقعیت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نشان می‌دهد.

سرریز W شکل از جنس ورق گالوانیزه به ضخامت ۱ میلی‌متر می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به تحقیقات سوزه‌پور و همکاران (۱۵)، بیشترین میزان تلاطم جریان در زاویه ۷۰ درجه رخ می‌دهد (شکل ۴). زیرا در این موقعیت حداکثر میزان خیزاب مشاهده شده است. همچنین به توصیه بویان (۲) سرریز باید بلافاصله پایین دست قسمتی که الگوی جریان دارای آشفتگی شدید است، نصب گردد.



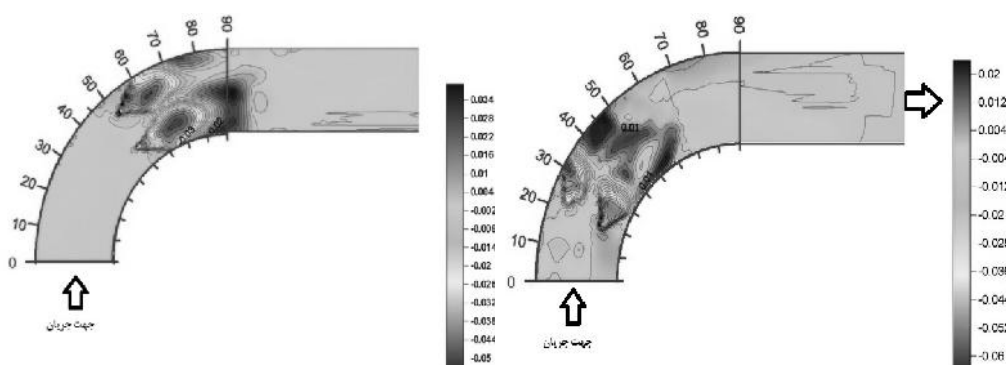
شکل ۴- نمای از سرریز W و ابعاد آن
Figure 4- View of W-Weir and its dimension

به توصیه رادکیوی و اتما (۱۱) برای جلوگیری از تشکیل ریبیل، قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگتر باشد. همچنین مسأله دیگر که در انتخاب اندازه ذرات نقش داشت عدم آبستنگی در دبی‌های نسبتاً بالا، در قسمت مستقیم بود. لذا رسوبی قطر متوسط ۱/۵ = d_0 میلی‌متر پیش‌بینی و الک گردید. روش انجام آزمایش به این‌گونه است که پس از اینکه سرریز W شکل در فلوم نصب گردید، رسوب انتخاب شده به آرامی در اطراف سرریز که از جنس گالوانیزه ۱ میلی-

جدول ۱- دامنه پارامترهای اندازه‌گیری شده

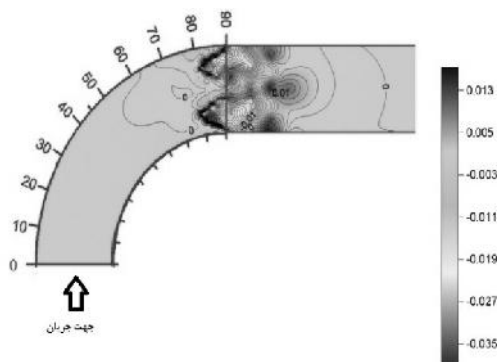
Table 1- Range of measured parameters

نام آزمایش Exmeriment	مشخصات جریان Flow features	محل قرارگیری سازه (درجه) W-Weir Location (angle)
عمق جریان (سانتی‌متر) Depth (cm)	زاویه (درجه) - دبی (مترمکعب بر ثانیه) Angle (degree)-Discharge(m ³ /s)	عدد فرود Fr
15	10-30	0.137
15	15-30	0.206
15	10-60	0.137
15	15-60	0.206
15	10-90	0.137
15	15-90	0.206



ب- سرریز W در زاویه ۶۰ درجه
b) W-Weir - $\alpha=60$

الف- سرریز W در زاویه ۳۰ درجه
a) W-Weir - $\alpha=30$

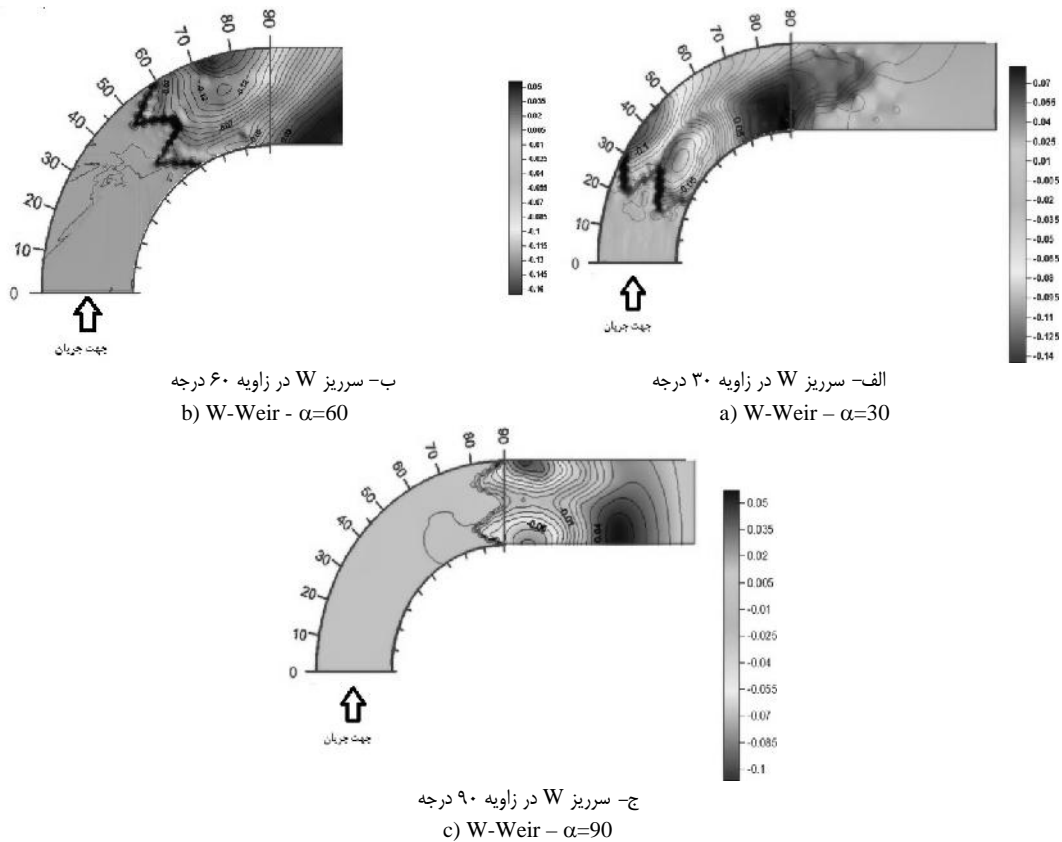


ج- سرریز W در زاویه ۹۰ درجه
c) W-Weir - $\alpha=90$

شکل ۵- نمایش توپوگرافی بستر به ازای عدد فرود ۰/۱۳۷ و نصب سرریز w در زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه
Figure 5- Bed topography for Fr=0.137 and W-Weir location= 30, 60 and 90 degree

الگوی جریان تغییرات توپوگرافی بستر ناچیز خواهد بود. توزیع ناحیه با عمق آبستنگی بیشتر در موقعیت نصب سرریز در زاویه ۶۰ درجه بعلت حضور جریان در نیمه دوم قوس و تشکیل جریان ثانویه چرخشی کامل می‌باشد.

همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد بیشترین میزان آبستنگی‌ها در دو چاله گردابی بعد از محل نصب سرریز رخ داده است، ولی در بالادست سرریز W در هر سه محل نصب تغییرات توپوگرافی بستر نزدیک به صفر می‌باشد. در ضمن با فاصله گرفتن از محل قرارگیری سرریز W به پایین دست، به دلیل منظم شدن مجدد



شکل ۶- نمایش توپوگرافی بستر به ازای عدد فرود ۰/۲۰۶ و نصب سرریز w در زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه
Figure 6- Bed topography for Fr=0.137 and W-Weir location= 30, 60 and 90 degree

موقعیت ۶۰ درجه نیز بیشترین عمق فرسایش در عدد فرود ۰/۲۰۶ نسبت به عدد فرود ۰/۱۳۷، ۹۰ درصد در محدوده دیواره خارجی افزایش داشته است. همچنین در موقعیت ۹۰ درجه بیشترین عمق فرسایش در عدد فرود ۰/۲۰۶ نسبت به عدد فرود ۰/۱۳۷، ۱۱۸ درصد در محدوده دیواره خارجی افزایش داشته است. این روند نشان دهنده تأثیر عدد فرود بر میزان فرسایش می‌باشد. در عدد فرود ۰/۱۳۷ و با نصب سرریز W در زاویه ۹۰ درجه نسبت به نصب سرریز در زاویه‌های ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب به میزان ۵۷/۸ و ۳/۷ درصد فرسایش در ساحل خارجی کاهش یافته است و در عدد فرود ۰/۲۰۶ و با نصب سرریز W در زاویه ۹۰ درجه نسبت به نصب سرریز در زاویه‌های ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب به میزان ۳۳/۴ و ۳۸/۷ درصد فرسایش در ساحل خارجی کاهش یافته است. اشکال ۷ و ۸ بمنظور بررسی تأثیر حضور سرریز W در بالادست و پایین دست سازه مذکور ارائه شده‌اند. شکل ۷ پروفیل عرضی عمق فرسایش بستر در بالادست و پایین دست سازه به ازای عدد فرود ۰/۱۳۷ و نصب سرریز W در زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود، توزیع فرسایش بستر به سمت دیواره خارجی بیشتر شده است چرا که با حضور جریان در نیمه دوم قوس الگوی جریان به گونه‌ایست که جهت خطوط جریان به سمت قوس خارجی خواهد بود. قابل ذکر است که در موقعیت نصب سرریز در زاویه ۶۰ درجه به دلیلی که بیشتر ارائه شد افزایش میزان فرسایش مشهودتر می‌باشد. جدول ۲ بیشترین عمق آبستنگی در دیواره خارجی، داخلی و میانه قوس را به ازای اعداد فرود مختلف و نصب سرریز W در زوایای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲ نشان دهنده مکان دقیق و عمق بیشترین مقدار آبستنگی در هر آزمایش می‌باشد، که سبب بوجود آمدن چاله آبستنگی در آن ناحیه گردیده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد در هر دو عدد فرود و در تمامی حالات نصب سرریز W بالاترین مقدار فرسایش در دیواره خارجی حادث می‌گردد. در عدد فرود ۰/۲۰۶ نسبت به عدد فرود ۰/۱۳۷، ۸۴ درصد افزایش عمق چاله فرسایشی در محدوده دیواره خارجی در موقعیت ۳۰ درجه افزایش داشته است. در

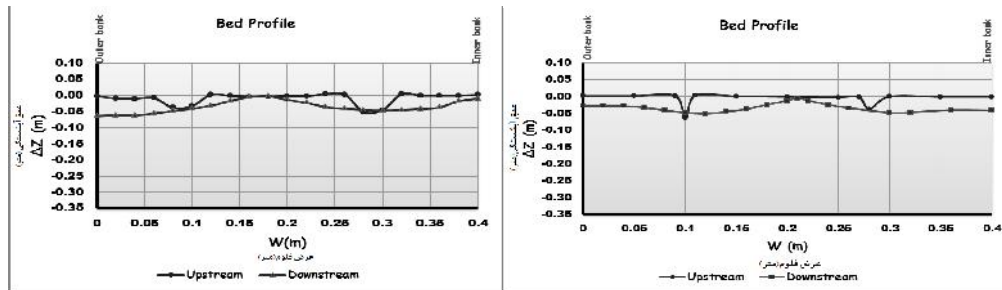
جدول ۲- بیشترین عمق آبشستگی در دیواره خارجی، داخلی و وسط قوس به ازای اعداد فرود مختلف و نصب سرریز W در زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه

Table 2- Maximum scour depth in outer, middle and inner wall for different Froude numbers and W-Weir location=30, 60 and 90 degree

عمق چاله فرسایشی (متر) D _z (m)	محل وقوع چاله فرسایشی (درجه) Location of scour hole(degree)	موقعیت نصب سرریز W (درجه) W-Weir Location(degree)	عدد فرود Fr
پروفیل طولی Longitudinal profiles			
Outer wall-محدوده دیواره خارجی (۲۰-۰) cm	30		
Middle-خط وسط دو محدوده ۲۰ cm	30	30	
Inner wall-محدوده دیواره داخلی (۴۰-۲۰) cm	25		
Outer wall-محدوده دیواره خارجی (۲۰-۰) cm	50		
Middle-خط وسط دو محدوده ۲۰ cm	60	60	0.137
Inner wall-محدوده دیواره داخلی (۴۰-۲۰) cm	65		
Outer wall-محدوده دیواره خارجی (۲۰-۰) cm	82.5		
Middle-خط وسط دو محدوده ۲۰ cm	75	90	
Inner wall-محدوده دیواره داخلی (۴۰-۲۰) cm	82.5		
Outer wall-محدوده دیواره خارجی (۲۰-۰) cm	45		
Middle-خط وسط دو محدوده ۲۰ cm	40	30	
Inner wall-محدوده دیواره داخلی (۴۰-۲۰) cm	40		
Outer wall-محدوده دیواره خارجی (۲۰-۰) cm	75		
Middle-خط وسط دو محدوده ۲۰ cm	75	60	0.206
Inner wall-محدوده دیواره داخلی (۴۰-۲۰) cm	77		
Outer wall-محدوده دیواره خارجی (۲۰-۰) cm	10 cm در مسیر مستقیم		
Middle-خط وسط دو محدوده ۲۰ cm	10 cm در مسیر مستقیم	90	
Inner wall-محدوده دیواره داخلی (۴۰-۲۰) cm	10 cm در مسیر مستقیم		

توسعه و تکامل دو سلول چرخشی در نیمه دوم قوس توجیه نمود، زیرا در نیمه دوم قوس با جریانی توسعه یافته روبرو می‌باشیم (۱۵). بعلاوه با پایان یافت قوس در زاویه ۹۰ درجه انتظار می‌رود که از قدرت چرخشی جریان کاسته شود، که کم شدن میزان فرسایش این مسئله را تایید می‌نماید. شکل ۸ پروفیل عرضی عمق فرسایش بستر در بالادست و پایین دست سازه به ازای عدد فرود ۰/۲۰۶ و نصب سرریز W در زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۷ (الف، ب و ج) مشاهده می‌شود در بالادست سازه به جز دو نقطه تاج سرریز تغییراتی در توپوگرافی بستر رخ نداده است و در پایین دست دو چاله فرسایشی بوجود آمده است. همچنین در عدد فرود ۰/۱۳۷ کمترین فرسایش در پایین دست سازه در هنگام نصب سرریز W در زاویه ۹۰ درجه و بیشترین فرسایش در هنگام نصب سرریز W در زاویه ۳۰ درجه می‌باشد. این مسئله که در زاویه نصب ۹۰ درجه فرسایش کمتری رخ داده است را می‌توان با

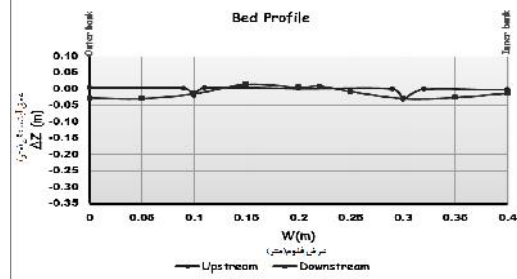


ب- سرریز W در زاویه ۶۰ درجه

الف- سرریز W در زاویه ۳۰ درجه

b) W-Weir - $\alpha=60$

a) W-Weir - $\alpha=30$

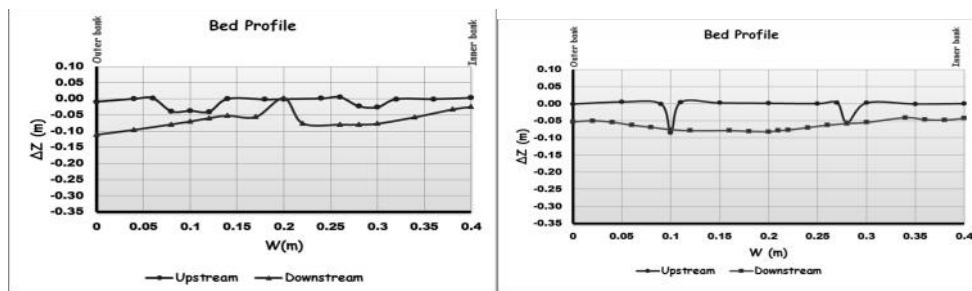


ج- سرریز W در زاویه ۹۰ درجه

c) W-Weir - $\alpha=90$

شکل ۷- پروفیل عرضی عمق فرسایش بستر در بالادست و پایین دست سازه به ازای عدد فرود 0.137 و نصب سرریز W در زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه

Figure 7- Bed erosion profile in upstream and downstream for $Fr=0.137$ W-Weir location=30, 60 and 90 degree

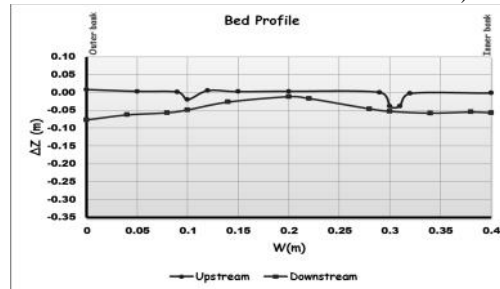


ب- سرریز W در زاویه ۶۰ درجه

الف- سرریز W در زاویه ۳۰ درجه

b) W-Weir - $\alpha=60$

a) W-Weir - $\alpha=30$



ج- سرریز W در زاویه ۹۰ درجه

c) W-Weir - $\alpha=90$

شکل ۸- پروفیل عرضی عمق فرسایش بستر در بالادست و پایین دست سازه به ازای عدد فرود 0.137 و نصب سرریز W در زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه

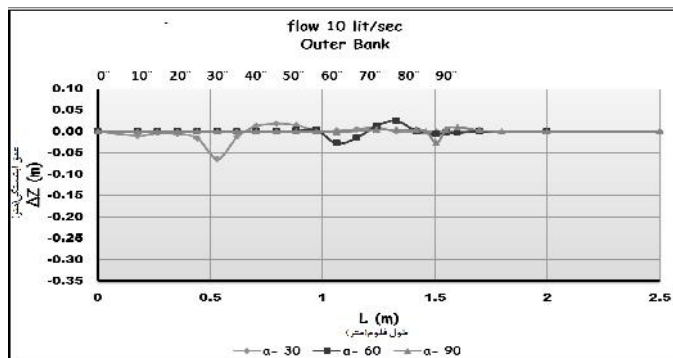
Figure 8- Bed erosion profile in upstream and downstream for $Fr=0.137$ W-Weir location=30, 60 and 90 degree

که نصب سرریز در زاویه ۹۰ درجه عملکرد بهتری در کنترل فرسایش کناره خارجی و تغییرات توپوگرافی و یکنواخت نمودن الگوی جریان دارد. شکل ۱۰ پروفیل طولی در مسیر دیواره خارجی قوس ۹۰ درجه در عدد فرود ۰/۲۰۶ با حالت نصب سرریز W شکل در زاویه های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به محور جریان را نشان می دهد.

در شکل مذکور و در شرایط عدد فرود ۰/۲۰۶ بالاترین مقدار فرسایش دیواره خارجی و بیشترین نوسانات پروفیل بستر در حالت نصب سرریز در زاویه ۶۰ درجه و کمترین آن در حالت نصب سرریز در زاویه ۹۰ می باشد. همچنین با مقایسه شکل ۸ و ۹ می توان دریافت که افزایش عدد فرود تاثیر مشهودی در میزان عمق فرسایش داشته است، چنانکه با افزایش این عدد به وضوح بر میزان عمق فرسایش افزوده شده است. جدول ۳ درصد کاهش سطح بستر در پایین دست سازه نسبت به بالادست سازه را در هر موقعیت نصب سرریز و شرایط جریان متفاوت نشان می دهد.

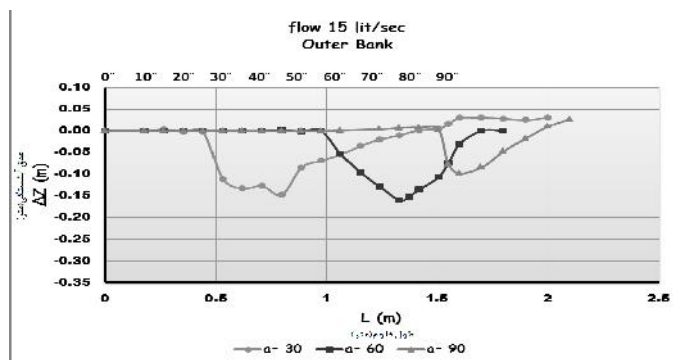
همانطور که در شکل ۸ (الف، ب و ج) مشاهده می شود، در بالادست سازه در محل تاج سرریز تغییراتی در توپوگرافی بستر رخ نداده است و در پایین دست دو چاله فرسایشی بوجود آمده است. همچنین در عدد فرود ۰/۲۰۶ کمترین فرسایش در پایین دست سازه در هنگام نصب سرریز W در زاویه ۹۰ درجه و بیشترین فرسایش در هنگام نصب سرریز W در زاویه ۳۰ درجه می باشد که دلیل آن در قسمت پیشین به تفصیل آورده شد. اشکال ۹ و ۱۰ جهت مقایسه تغییرات عمق فرسایش در دیواره خارجی قوس ۹۰ درجه (موقعیت پایین دست سرریز W) به ازای عدد فرود ۰/۱۳۷ و ۰/۲۰۶ و نصب سرریز W در زاویه های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه آورده شده اند.

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می شود در شرایط عدد فرود ۰/۱۳۷ بالاترین مقدار فرسایش در دیواره خارجی و بیشترین نوسانات پروفیل بستر در حالت نصب سرریز در زاویه ۳۰ درجه و کمترین آن در حالت نصب سرریز در زاویه ۹۰ می باشد. با این وجود می توان گفت



شکل ۹- مقایسه تغییرات عمق فرسایش در دیواره خارجی قوس ۹۰ درجه به ازای عدد فرود ۰/۱۳۷ و نصب سرریز w در زاویه های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه

Figure 9- Comparison of depth erosion changes in outer wall in 90 bend for Fr=0.137 W-Weir location=30, 60 and 90 degree



شکل ۱۰- مقایسه تغییرات عمق فرسایش در دیواره خارجی قوس ۹۰ درجه به ازای عدد فرود ۰/۲۰۶ و نصب سرریز w در زاویه های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه

Figure 10- Comparison of depth erosion changes in outer wall in 90 bend for Fr=0.137 W-Weir location=30, 60 and 90 degree

فرسایش در ساحل خارجی کاهش یافته و کنترل گردیده است. در شرایط عدد فرود $0/206$ و با نصب سرریز W در زاویه ۹۰ درجه نسبت به نصب سرریز در زاویه‌های ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب به میزان $33/4$ و $38/7$ درصد فرسایش در ساحل خارجی کاهش یافته و کنترل گردیده است.

از مشاهده نمودارهای طولی حداکثر عمق آبخستگی در طول قوس، این گونه نتیجه‌گیری می‌گردد که در شرایط عدد فرود $0/137$ و با نصب سرریز W در زاویه ۹۰ درجه نسبت به نصب سرریز در زاویه‌های ۳۰ درجه و ۶۰ درجه به ترتیب به میزان $40/6$ و $28/3$ درصد ماکزیمم فرسایش در طول قوس کاهش یافته و کنترل گردیده است. در شرایط عدد فرود $0/206$ و با نصب سرریز W در زاویه ۹۰ درجه نسبت به نصب سرریز در زاویه‌های ۳۰ درجه و ۶۰ درجه به ترتیب به میزان $27/2$ و $35/5$ درصد ماکزیمم فرسایش در طول قوس کاهش یافته و کنترل گردیده است.

در موقعیت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه مقدار بیشترین عمق فرسایش (نقطه ماکزیمم چاله فرسایش) در عدد فرود $0/206$ نسبت به عدد فرود $0/137$ به ترتیب به میزان ۸۴، ۹۰ و ۱۱۸ درصد در محدوده دیواره خارجی افزایش داشته است

بررسی‌های بویان (۱۰) در خصوص تأثیر استفاده از سرریز W بر الگوی جریان و رسوب در مسیر مائندری انجام شده نشان داد که پس از نصب سرریز W شکل، رسوب‌های ته‌نشین شده در قوس خارجی عموماً درشت تر بوده و ضریب همواری کم‌تری دارند، که این موقعیت‌ها در این مطالعه همان موقعیت‌هایی هستند که در مقاله آنشی و همکاران (۱) تنش برشی بیشتری دارند. همین دلیل باعث بوجود آمدن جریان ثانویه‌ای در قوس خارجی می‌شود.

جدول ۳- درصد کاهش سطح بستر در پایین دست سازه نسبت به بالادست سازه

Table 3- Percentage of bed surface in upstream to downstream

عدد فرود Fr	موقعیت نصب سرریز W-Weir Location (degree)		
	=۹۰	=۶۰	=۳۰
0.137	35.7	54.4	54.7
0.206	57	54.5	74.7

از جدول بالا مشهود است که افزایش عدد فرود سبب افزایش اختلاف سطح بستر در بالادست و پایین دست است. همچنین در هر دو عدد فرود نصب سرریز در زاویه ۳۰ درجه بیشترین درصد کاهش فرسایش بستر در پایین دست نسبت به بالادست را داشته است. بدین معنی که در عدد فرود $0/137$ و $0/206$ میزان فرسایش در زاویه نصب ۳۰ درجه به ترتیب ۱۹ و $17/7$ درصد بیشتر از زاویه نصب ۹۰ درجه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

از مشاهده اشکال رسم شده توپوگرافی بستر، اینگونه نتیجه‌گیری می‌گردد که با نصب سرریز W شکل در بالادست سازه تغییرات توپوگرافی ناچیز بوده و در پایین دست سازه دو چاله فرسایشی با اعماق متفاوت بوجود می‌آید.

از مشاهده نمودارهای طولی حداکثر عمق آبخستگی در ساحل خارجی قوس، اینگونه نتیجه‌گیری می‌گردد که در شرایط عدد فرود $0/137$ و با نصب سرریز W در زاویه ۹۰ درجه نسبت به نصب سرریز در زاویه‌های ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب به میزان $57/8$ و $3/7$ درصد

منابع

- 1- Atashi V., Shafai-Bajestan M., and Ahadian J. 2011. Flow patterns and shear stress distribution in a 90 degree sharp bend with W Weir. Journal of Water Resources Engineering. Mrvdasht, 5:17-34
- 2- Bhuiyan F., Hey R D., and Wormleaton P.R. 2009. Effects of Vanes and W-weir on Sediment Transport in Meandering Channels. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, 135: 339-349.
- 3- Bhuiyan F., Hey R. D., and Wormleaton P.R. 2007. Hydraulic evaluation of W-weir for restoration. Journal of Hydr. Enrg. ASCE. 133:596-609.
- 4- Blanckaert K., and Graf W.H. 2001. Mean flow and turbulence in open-channel bend, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 127:883-874
- 5- Christopher I., Thornton Antony M., Meneghetti Kent Collins Steven R. A., and Michael Scurlock S. 2011. Stage-discharge relationships for U-, A-, and W-weirs in un-submerged flow conditions. Journal of American resources association.47:169-178.
- 6- Da Silva A.M.F., and Yalin M.S. 1997. Laboratory measurements in sine-generated meandering channels. International Journal of Sediment Research, International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, IRTCES, 12: 92-104.
- 7- Golrokh A., and Shafaei-Bajestan M. 2011. The Lab Study of Impact of Placement of W-Weir on the Topography of the Bed in 90 Degree Bend. The 6th National Congress on Civil Engineering, 27-28 March. 2011. Semnan

- University, Semnan
- 8- Mashkurnia H., Jarranzadeh F., Ramesh S., and Shafai-Bajestan M. 2010. Study the Impact of Length of the Sunk Water Break Structure on Amount of Water Wash of External Bank in 90 Degree Bend. The 9th Hydraulic Conference of Iran, November. 2010. Tarbiat Modares University, Tehran
 - 9- Pournassiri M., Pirestani M.R., and Majdzadeh Tabatabaei M.R. 2006. Study the Changes in Eddy Flow in U-shape Bend Channels. 7th Iranian Conference of Hydraulic, 11-13 December. 2008. Water and Electricity Industries University (Shahid Abbaspour), Tehran
 - 10- Qadu E., Shafaei Bajestan M., and Souzhepou E. 2011. Lab Study of the Cross velocity Pattern of Flow in 90 Degree Sharp Bend. The 4th Conference of Water References of Iran, 3-4 June. 2011. Amirkabir University of Technology, Tehran
 - 11- Raudkivi A.J., and Ettema R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *J Hydraul Eng*, 109: 338 -350.
 - 12- Rosgen D. L. 2001b. The cross vane, W-weir and J-hook structures: Their description, design and application for stream stabilization and river restoration. *Proc. Wetland Engineering and River Restoration Conf.* ASCE. Reston, Va.
 - 13- Safarzade A. 2005. Numerical Study on Flow Pattern on Lateral Diversion in 180 Degree Bend. MSc. Thesis, Tarbiat Modares University, Iran.
 - 14- Salehi Neyshabouri E. 2008. Study and Presentation of a Solution to Lower Arriving Sediment to Lateral Water intakes in the River. The Applied Research Plan of Deputy of Plan and Development, Water Resources Management Co. of Iran.
 - 15- Souzhepour E., Shafaei Bajestan M., and Qadu Y. 2011. Lab Study of the Flow Cross velocity Pattern in 90 Sharp Bend. The 4th Conference of Water References of Iran, 3-4 June. 2011. Amirkabir University of Technology, Tehran.
 - 16- Vaghefi M., and Ghodsian M. 2010. Lab Study of the Effect of Bend on the Secondary Flow in 90 Degree Bend in the Balanced Bed Conditions. *The Scientific Research Journal of hydraulic*, 5: 91-99. (in Persian with English abstract)

Experimental Study of the Effect of W-weir on Reduction of Scour Depth at 90 Degree Sharp Bend

V. Atashi^{1*} - M. Shafae Bajestan² - I. Golrokh³

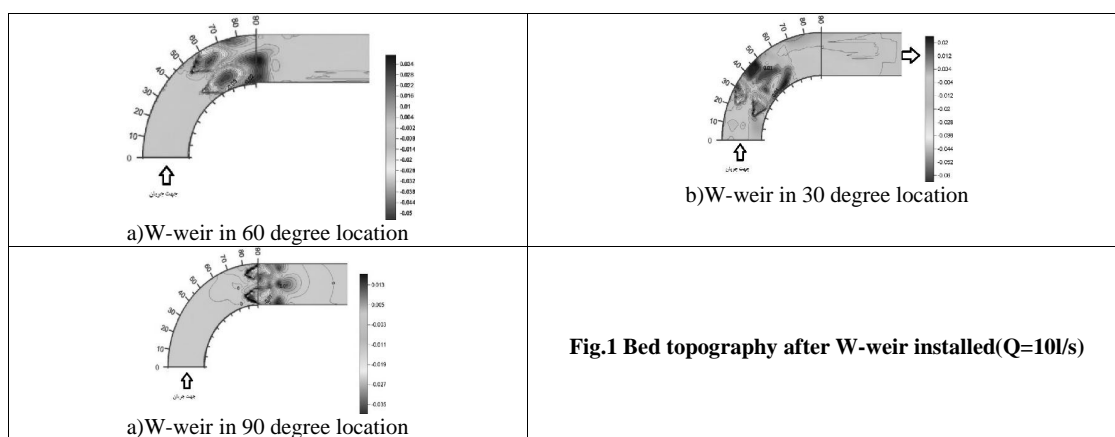
Received: 26-10-2014

Accepted: 17-10-2015

Introduction: Flow patterns within the river bend is three dimensional. Occurrence of secondary flow due to centrifugal force and formation of helicoidally vortex in river bend usually causes the outer bank of river erodes whilst the sediment are deposited in inner bend which appears in the form of point bars. To reduce the river bank scour, many techniques have been developed which may be classified as covering technique and modified flow patterns methods. The W-weir is among such structures. In the present paper, by measuring three components of flow velocity with and without presence of W-weir, variation of flow patterns and shear stress distribution in a 90-degree sharp bend have been investigated. The main purpose of this study is to see the installation of different locations of W-weir in the bend on reduction of outer bank scour. In the present paper, by measuring three components of flow velocity with and without presence of W-weir, variation of flow patterns and shear stress distribution in a 90-degree sharp bend have been investigated. The analyses of data showed more uniform flow upstream of the weir and also revealed that the effect of transverse and centrifugal forces are modified in such a way that the secondary flow is diminished. The results showed that for 30, 60 and 90-degree bends maximum erosion depth in the vicinity of the outer bank with Froude number of 0.206 in comparison with 0.137 has increased up to 84, 90 and 118 % respectively. In both Froude numbers, installation of W-Weir in 30 degree has the most reduction in bed in comparison with 60 and 90 degree.

Materials and Methods: To reach the goal of this study a physical model of 90 degree sharp bend was constructed in the hydraulic lab of Shahid Chamran university of Ahwaz. The ratio of R(radius)/b(flume width) was less than 2 which shows a sharp bend. The W-weir was built with 1mm galvanized steel. Flume bed was covered with sediment of $D_{50}=1.5\text{mm}$. The W-weir was installed at three different locations of 30, 60 and 90 degrees from the bend entrance. Two sets of tests were carried out with and without weir. For each location two different flow discharges ($Fr=0.137$ and $Fr=0.206$) were studied. The flow depth for all tests were kept constant equal to 15cm. At the end of each test the flume was drained and bed topography was recorded using laser meter. Measured bed topographic data were used in SURFER and TECPLOT software to compare the results of the W-weir location

Results and Discussion:



The results showed that W-weir concentrated the flow toward the flume center thus the bed only will scour at the

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahwaz

(*- Corresponding Author Email: vida.atashi@yahoo.com)

3- Graduated Student Department of Hydraulic Structures, Islamic Azad University, Ahwaz

downstream of W-weir whilst the bed at upstream is neither of weir nor eroded. This is because the flow patterns within the bend has been modified in such a way that diminishes the strength of helicoidally vortex upstream of the weir thus the scour or deposition will not occur. The results of tests with $Q=15$ l/s also was similar with the exception that in these tests the Froude number is higher and the scour depth downstream of weir is much larger. The results also showed that the scour depth is much higher when the weir is installed at 60 degrees. The scour depth for weir at 90 degree location showed reduction of about 33% and 39% compare to the weir in 30 and 60 degree location respectively.

Conclusion: In this research, by assessing the cross velocities and the scour depth downstream of weir in 90 degree sharp bends and studying the impacts of w-shape weir on those parameters, following results were obtained: The W-weir can modify the flow patterns within the flume bend in which no scour and deposition is observed upstream of the weir. The scour downstream of weir with higher depth closed to the outer bank is observed in all tests. The scour depth is much higher when the weir is installed at 30 degree location whilst is minimum when the weir is installed at 90 degree location.

Keywords: 90 Bend, Erosion, Flow Patterns, Scour Depth