

ارزیابی الگوی جریان و تنش برشی در قوس ۹۰ درجه‌ی تند با حضور سرریز W

ویدا آتشی^{۱*}، محمود شفاعی بجستان^۲، جواد احدیان^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۲۰

چکیده

جریان آب پس از ورود به قوس نهرهای خاکی تحت تاثیر دو نیروی شیب 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 رسوب گذاری در قوس داخلی است. اصلاح این الگو با هدف کاهش فرسایش با روشهای مختلفی امکان پذیر است، که از جمله می‌توان به نصب سرریز W اشاره کرد. در تحقیق حاضر با اندازه‌گیری مؤلفه‌های سه بعدی سرعت در دو شرط با و بدون حضور سرریز W، تغییر الگوی جریان، و بویژه سرعتهای عرضی و تنش برشی در قوس ۹۰ درجه تند، بررسی شده است. نتایج مورد مطالعه نشان می‌دهند که حضور سرریز W باعث می‌شود تا در بالادست محل نصب توزیع عمقی جریان یکنواختتر، و اثر دو نیروی شیب عرضی فشار و گریز از مرکز به گونه‌ای اصلاح می‌گردد که جریانهای ثانویه تشکیل نمی‌شوند. همچنین، در بالا دست محل نصب توزیع عرضی تنش برشی بی بعد بستر با حضور سرریز W نسبت به قبل از نصب سرریز یکنواختتر می‌شود، بطوری که در ساحل خارجی کاهش و در ساحل داخلی افزایش یافته است. نتایج این تحقیق نشان دادند که تنش برشی بدون بعد در حالت بدون سرریز در عدد فرود ۰/۱۷ و ۰/۴ به ترتیب برابر با ۱/۱۹ و ۵/۴۷ در مقطع ۳۰ درجه می‌باشد، که با حضور سرریز W این فراسنج در اعداد فرود و مقطع یاد شده به ترتیب مقادیری معادل ۱/۱۶ و ۴/۰۷ را دارد.

واژه‌های کلیدی: سرریز W، قوس ۹۰ درجه‌ی تند، جریان ثانویه، سرعت عرضی، تنش برشی

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲ - استاد گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

^۳ - استادیار گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

* - نویسنده مسئول: vida.atashi@yahoo.com

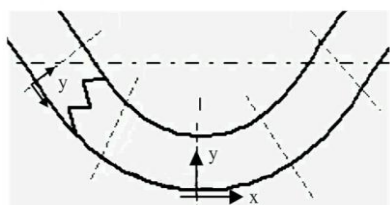
مقدمه

مشخصه ی 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 شیب فشار و نیروی گریز از مرکز ایجاد می‌شود. وجود جریان حلزونی در قوس رودخانه‌ها باعث می‌شود که تمایل بردارهای سرعت در سطح آب به طرف قوس خارجی و در کف به طرف قوس داخلی باشد. جریان حلزونی در رودخانه‌ها همواره باعث تغییر و تحول و دگرگونی بوده است، زیرا سرعت بیشترین جریان در قوس، نزدیک به ساحل قوس خارجی و بستر رودخانه می‌باشد و باعث افزایش تنش برشی و فرسایش در این ناحیه می‌شود (نیشابوری، ۱۳۸۷).

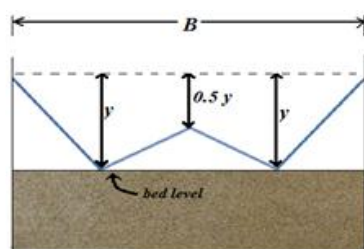
فرسایش جداره‌ها و بستر رود و رسوبگذاری در قسمت‌های دیگر، و همچنین جابه جایی مسیر رودها و به مخاطره افتادن جاده‌های ارتباطی و تاسیسات حاشیه ی رودخانه از جمله ی این مسائل می‌باشند. در قوس رودخانه‌ها معمولاً یافتن محل مناسب آبگیرها، تثبیت کناره‌ها یا بستر فرسایشی، و یا انحراف جریان، کارهای کشتیرانی و جانمایی سازه‌های ورود مواد آلوده به رودخانه از جهات مختلف مورد بررسی است (مشکورنیا و همکاران، ۱۳۸۹)؛ بنابراین، جریان حلزونی نقش بسزایی در شکل‌گیری نیمرخ عرضی و تنش برشی در کف دارد. بر اثر وجود جریان ثانویه حرکت عرضی رسوب در کف نهر مشاهده می‌شود. مطالعات زیادی در

خصوص نحوه ی الگوی جریان در قوسها به صورت آزمایشگاهی و یا عددی انجام شده اند، که از آن جمله می‌توان به مطالعه ی آزمایشگاهی شکری (۱۹۵۰) اشاره کرد. وی مشاهده نمود که برای یک قوس با انحنای ملایم، محل وقوع بیشترین سرعت در نیمه ی اول قوس به سمت جداره ی داخلی، و با حرکت به سمت خروجی قوس به طرف جداره ی خارجی متمایل می‌شود. رودی و لشنزینر (۱۹۷۸) با بررسی الگوی جریان در یک قوس تند مشاهده نمودند که محل وقوع بیشترین سرعت با نزدیک شدن به خروجی قوس به سمت جداره ی بیرونی متمایل می‌شود. ایشان اشاره نمودند که عامل اصلی انتقال حداکثر سرعت به سمت جداره ی بیرونی در انتهای قوس، شیب طولی فشار می‌باشد، در صورتی که در قوسهای ملایم عامل اصلی جابه جایی حداکثر سرعت جریان ثانویه است. ادگارد و برگس (۱۹۸۸) شبیه تحلیلی ساده‌ای را برای توصیف خصوصیات جریان و تنش برشی جریان در نهرهای آبرفتی قوسی با توزیع غیریکنواخت تنش برشی بستر ارائه کردند. این شبیه رابطه ی بین جریان ثانویه و تغییرات عرضی تنش برشی را نشان می‌دهد. شبیه ارائه شده رفتار جریان اندازه-گیری شده در نهر آزمایشگاهی را با تغییرات عرضی تنش برشی ایجاد شده بطور مصنوعی، به خوبی شبیه سازی نمود. قدسیان و همکاران (۱۳۸۷)، تأثیر قدرت گردابه و قدرت جریان عرضی بر فرایند آبشستگی در اطراف آبشکن را در

برای به حداقل رساندن اثرات ناشی از جریان حلزونی در قوس رودخانه‌ها، و بهسازی و ترمیم کناره و بستر آنها از روشهای مختلفی استفاده می‌شود که از جمله می‌توان به نصب سرریز W اشاره کرد. این سرریز دارای یک تاج شیبدار بوده و چنانچه از پایین دست به آن نگاه شود، W شکل می‌باشد. اضلاع کناری W با زاویه ۲۰ تا ۳۰ درجه نسبت به سواحل کناری قرار می‌گیرند. رأس اول در فاصله ی ۲۵ درصد عرض، رأس وسط در فاصله ی ۵۰ درصد عرض و رأس سوم در فاصله ی ۷۵ درصد عرض نسبت به ساحل بیرونی قرار می‌گیرند (بویان و همکاران، ۲۰۰۹؛ کریستوفر و همکاران، ۲۰۱۱؛ روزجن، ۲۰۰۱). شکل ۱ نمونه‌ای از سرریز W شکل و ابعاد آن را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۱- در مسیر قوس رودخانه (شکل الف) نمایش سرریز W شکل (شکل ب).

موقعیتهای مختلف ۹۰ درجه بررسی کردند. قدو و همکاران (۱۳۹۰) با اندازه گیری مؤلفه‌های سه بعدی سرعت در یک قوس تند تحت زبریهای مختلف جداره ی نهر، سپس محاسبه و رسم توزیع تنش برشی بستر و مقایسه با نتایج دیگران نتیجه گرفتند که در مسیرهای خمیده ی تند با زاویه ی ۹۰ درجه، از مقطع ۷۰ درجه به پایین دست، نزدیک جداره ی داخلی مکان خوبی برای رسوبگذاری و نزدیک جداره ی بیرونی مکان مناسب جهت فرسایش بستر می‌باشد. ایشان نشان دادند که گسترش جریان ثانویه و تشکیل سلول چرخشی عامل مهمی در انتقال رسوبهای فرسایشی از جداره ی بیرونی به جداره ی داخلی می‌باشد، ضمن این که افزایش زبری جداره باعث کاهش قدرت جریانهای ثانویه ناشی شده و نیز انتقال سلولهای جریان ثانویه به پایین دست می‌گردد، که می‌تواند عاملی مؤثر در تصمیم گیری طرحهای حفاظت سواحل پیمان رودها باشد. سوزه پور و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه ی تند تحت زبریهای مختلف کف نهر پایه دار دریافتند که در عدد فرود ۰/۱۷ در مقطع میانی (مقطع ۴۵ درجه) جریان ثانویه چرخشی تشکیل می‌گردد، ولی در فرود ۰/۴ جریان ثانویه در مقطع ۷۰ درجه کامل می‌گردد؛ به عبارتی، با افزایش عدد فرود، جریان ثانویه چرخشی در فاصله ی بیشتری از ابتدای قوس در طول آن کامل می‌شود.

سرریز در موقعیت ۳۰ درجه نصب شده باشد، و کمترین آن در نصب سرریز در موقعیت ۵۰ سانتیمتری مستقیم بعد از قوس رخ می‌دهد. ایشان نتیجه گرفتند که هرچه محل نصب به انتهای قوس نزدیکتر باشد، بیشترین ژرفا و حجم آبشستگی کاهش می‌یابد. همچنین، با نصب سرریز قبل از موقعیت ۹۰ درجه قوس نقطه ی بیشترین چاله ی فرسایشی را در محدوده ی دیوار بیرونی و در موقعیت نصب ۵۰ سانتیمتر بعد از قوس نقطه ی بیشترین را در محدوده ی دیوار داخلی گزارش کردند. مطالعات ایشان نشان دادند که سرریز W باعث به وجود آمدن جریانی آرام در بالادست سازه می‌شود و در پایین دست آن الگوی جریانی سه بعدی و دارای آشفتگی زیاد به وجود می‌آید که باعث تشکیل چاله-های فرسایشی در آن جا می‌شود. با توجه به مطالعات گذشته، هدف از این تحقیق بررسی سرعت‌های عرضی و تنش برشی در قوسهای ۹۰ درجه ی تند می‌باشد. علاوه بر این، تأثیرهای سرریز W شکل بر این توزیع سرعت و تنش برشی نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این تحقیق تأثیر حضور سرریز W بر تنش برشی و الگوی جریان بررسی شده است.

مواد و روشها

در این تحقیق یک نمونه ی فیزیکی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز مهیا گردید. تجهیزات آزمایشگاهی به کار گرفته شده در این تحقیق شامل

مطالعات اندکی تاکنون در راستای کاربرد سرریزها برای بهبود الگوی جریان، و نیز احیای رودخانه‌ها، صورت گرفته است. بویان و همکاران (۲۰۰۹، ۲۰۰۷) مطالعات صحرایی را در یک آبراهه مارپیچی بستر متحرک با مقیاس بزرگ انجام دادند. آنها یک سرریز کنگره ای را بلافاصله در پایین دست قوس قرار دادند. نتایج آنها نشان دادند که با حضور سرریز W شکل، ناحیه‌ای که بیشترین انتقال در آن صورت می‌گرفت به سمت میانه‌های نهر انتقال یافت، اگرچه در میزان بیشترین جا به جایی رسوب تغییر معنی داری رخ نداد. در بده‌های لبریز، میزان انتقال هنگام استفاده از سرریز W ۵ درصد بیشتر از حالت عادی است. به دلیل تأثیر چاله‌های فرسایشی، و سطح پایین وارون سازی سرریز جابه جاییها در سمت راست خط مرکزی (قوس بیرونی) نهر اندکی افزایش یافتند. پس از نصب سرریز، رسوبها در سمت راست خط مرکزی نهر عموماً درشتتر بودند و ضریب همواری کمتری داشتند، اما در نزدیکی ساحل بیرونی، مواد انتقال یافته ریزتر و دارای ضریب همواری بالاتری بودند. مواد انتقال یافته در سمت داخلی نهر در مقایسه با حالت پر به استثنای حضور یک نوار از مواد درشت با ضریب همواری بالا عموماً ریزتر و یکدستتر بودند. گلرخ و شفافی بجزستان (۱۳۹۰ الف و ب) در مقایسه انجام شده بین موقعیتهای مختلف نصب سرریز W شکل مشاهده نمودند که بیشترین حجم فرسایش و زیادترین عمق آبشستگی زمانی اتفاق می‌افتد که

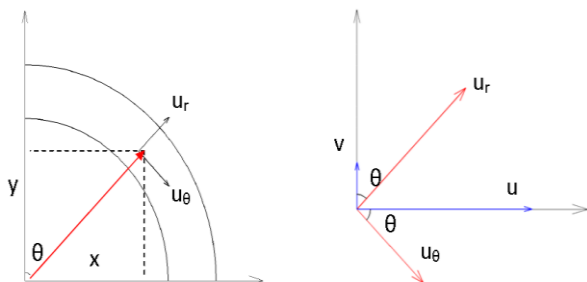
برداشت داده‌ها در قوس به صورت قطبی
 $p(r, \theta)$ انجام گرفت که برای تبدیل مختصات قطبی به
 دکارتی از روابط زیر استفاده شد:

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

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

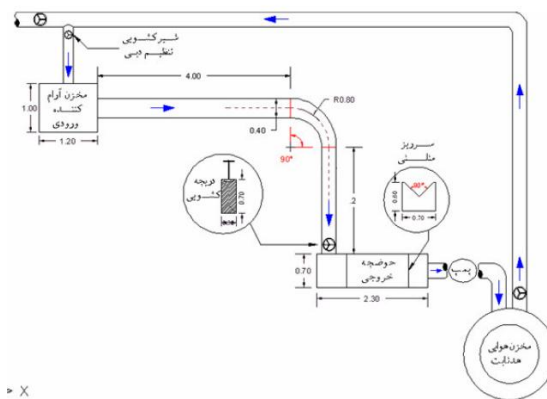
$$r = r' + \Delta r, \quad x = r \sin \theta, \quad y = r \cos \theta \quad (3)$$

که در روابط بالا، Δr ، فاصله‌ی نقطه‌ی اندازه‌گیری از دیواره
 داخلی (سانتیمتر)، U_r و U_{θ} ، سرعت‌های دو بعدی در
 مختصات قطبی (سانتیمتر بر ثانیه)، U و V ، سرعت‌های دو
 بعدی در مختصات دکارتی (سانتیمتر بر ثانیه)، θ ، زاویه
 مرکزی قوس و r' ، شعاع قوس داخلی که معادل ۶۰ سانتیمتر
 است. این فراسنجه‌ها در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۳- موقعیت U_{θ} و U_r و چگونگی تبدیل آنها به U و V

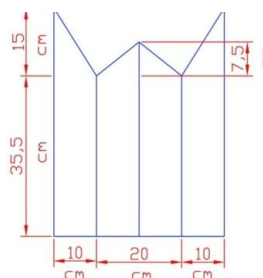
حوضچه‌ی مکش، ایستگاه تلمبه زنی، مخزن تامین بار آبی،
 مخزن فرعی، وسایل اندازه‌گیری و وسایل تنظیم بده (سرریز
 مثلثی و شیر کشویی ۶ اینچ) می‌باشد. شکل ۲ نقشه‌ی
 مسطحه و مقطع نهر پایه دار آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.
 مشخصات نهر پایه دار آزمایشگاهی شامل: طول مستقیم
 نهر پایه دار در بالا دست ۴ متر، زاویه‌ی قوس نهر آزمایشگا-
 هی ۹۰ درجه یکنواخت، و شعاع انحنا از محور مرکزی ۸۰
 سانتیمتر می‌باشد. طول پایاب نهر پایه دار ۲ متر است که در
 انتهای آن یک تنظیم کننده‌ی سطح آب (دریچه‌ی
 کشویی) نصب شده است. با توجه به این که $R/b = 2$ (R
 شعاع قوس و b عرض نهر پایه دار می‌باشد، قوس در رسته
 قوس‌های تند به حساب می‌آید. (واقفی و قدسیان، ۱۳۸۹)



شکل ۲- نقشه‌ی مسطحه و مقطع نهر پایه دار آزمایشگاهی مورد
 استفاده.

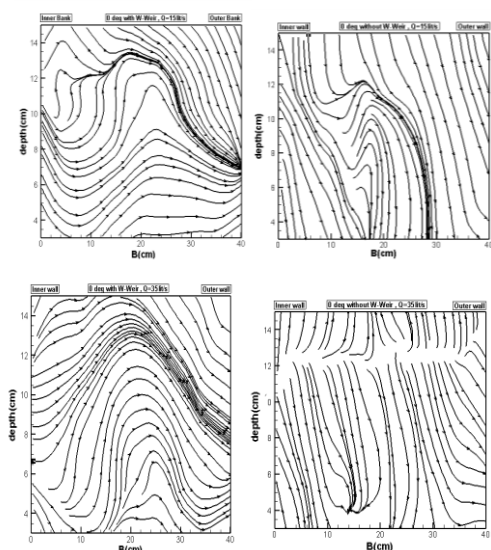
روش انجام آزمایش به این گونه بود که با باز کردن تدریجی شیر ورودی آب به آرامی وارد نهر پایه دار گشته تا سطح آب درون آن افزایش یابد. آن گاه دریچه ی کشویی پایین دست نیز به تدریج باز می گردد تا سطح آب از حد مورد نظر کمتر نشود. همزمان، به وسیله ی سرریز مثلثی لبه تیز، اندازه ی جریان خروجی از نهر پایه دار اندازه گیری می شد. عملیات فوق تا برقراری بده ی مورد نظر ادامه می یافت. پس از اطمینان از حصول شرایط آبی مورد نظر، شرایط مزبور تنظیم و اندازه گیریهای سرعت شروع می شد. در این مطالعه در تمام آزمایشها عمق جریان برابر با ۱۷ سانتیمتر بود و تراز سطح آب همچنین اندازه ی بده ی ورودی به صورت پیوسته در تمام طول آزمایش که هر آزمایش نزدیک به ۴ ساعت به طول انجامید، تنظیم می گردید. جداره ی نهر از جنس پلکسی گلاس بود. سرعتهای طولی و عرضی جریان برای بده های مختلف با استفاده از سرعت سنج JFE ALEC (ساخت ژاپن) با تناوب ۲۰ هرتز اندازه گیری شد. مدت ثبت سرعتها برای هر نقطه بسته به موقعیت نقطه ۲ تا ۳ دقیقه بود. آزمایشها در دو بده ی ۱۵ و ۳۵ لیتر بر ثانیه، و در عمق ثابت ۱۷ سانتیمتر صورت گرفت. جهت تنظیم عمق از دریچه واقع در پایین دست نهر استفاده شد. برای اندازه گیری بده ی جریان از سرریز مثلثی مجهز به مقیاس واقع در پایین دست نهر و رابطه ی بده-مقیاس استفاده شد. کف نهر پایه دار دارای زبری ۵ میلیمتر

سرریز W شکل از جنس ورق گالوانیزه به ضخامت ۱ میلیمتر در زاویه ی ۷۰ درجه ی قوس کار گذاشته شد. شایان گفتن است که با توجه به تحقیقات سوزپور و همکاران (۱۳۹۰)، بیشترین میزان تلاطم جریان در زاویه ی ۷۰ درجه رخ می دهد. زیرا در این موقعیت بزرگترین خیزاب مشاهده شده است. همچنین، با توجه به مطالعات گلرخ و شفاهی بجزستان (۱۳۹۰)، هرچه محل نصب سرریز W شکل به انتهای قوس نزدیکتر باشد، بیشترین ژرفا و حجم آبشستگی کاهش می یابد؛ بنابراین، با توجه به تحقیقات یاد شده، ۷۰ درجه به عنوان زاویه ی نصب سرریز انتخاب گردید. شکل ۴ نمایی از سرریز W شکل و ابعاد آن را نشان می دهد.



شکل ۴- نمایی از سرریز W و ابعاد آن.

الگوی جریان با استفاده از داده‌های فوق توزیع عرضی سرعت در مقاطع مختلف و در دو شرایط جریان با و بدون حضور سرریز W ترسیم گردیده‌است که نتایج در شکل‌های ۵ الی ۸ نشان داده شده‌اند. در نمودارهای رسم شده محور طولی عرض نهر پایه دار و محور عرضی عمق جریان است. شکل ۵ توزیع عرضی سرعت را در موقعیت صفر درجه برای دو شرط جریان و دو حالت با و بدون سرریز نشان می‌دهد.

(a) $Fr=0.17$ with W-wier(b) $Fr=0.17$ without W-wier(c) $Fr=0.4$ with W-wier $Fr=0.4$ without W-wier (d)

شکل ۵- توزیع عرضی سرعت در موقعیت صفر در دو حالت با و بدون سرریز W .

در موقعیت صفر درجه، در اعداد فرود 0.17 و 0.4

بدون حضور سرریز W و با حضور سرریز W افزایش عدد فرود تغییر چندانی در شکل خطوط جریان نداشته است؛ از آن جا که هنوز جریان وارد قوس نشده است، افزایش عدد فرود مثل عملکرد و رفتار آن در مسیرهای مستقیم می‌باشد.

بوده و با استفاده از چسب آهن بر روی کفپوش چسبانده شد. به منظور تعیین گرهای اندازه گیری سه مؤلفه‌ی سرعت قوس نهر به ۵ مقطع عرضی به ترتیب مقاطع واقع در زوایای صفر، 45° ، 70° و 90° درجه تقسیم، و در هر مقطع نیز ۱۲ خط قائم در نظر گرفته شد. هر خط قائم نیز به ۴ لایه به ترتیب از کف ۳، ۷، ۱۱ و ۱۵ سانتیمتر تقسیم گردید. علاوه بر این، اندازه‌گیریها، در مسیر مستقیم بالادست و پایین‌دست نهر پایه دار و به فاصله‌ی ۳۰ سانتیمتری از مقاطع صفر و 90° درجه، نیز اندازه‌گیریها به عمل آمد. بدین- ترتیب، در هر آزمایش تعداد ۳۳۶ گره برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های سرعت منظور شد. جدول ۱ نمایشنامه‌ی آزمایشهای انجام شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱- برنامه آزمایشهای این تحقیق بر اساس شرایط جریان.

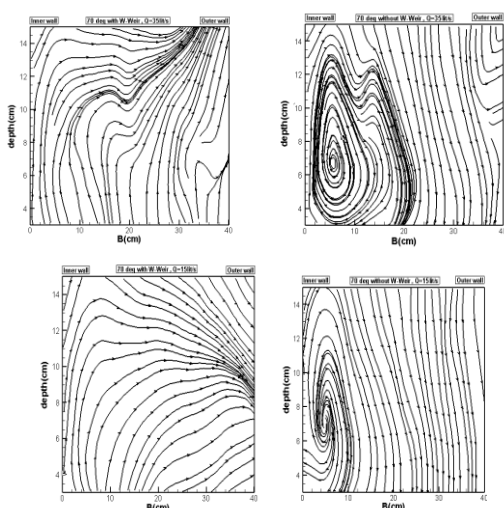
مقاطع اندازه گیری شده (درجه)	عدد فرود	عمق جریان (سانتیمتر)	بده جریان (لیتر بر ثانیه)
۰			
۴۵	۰/۱۷	۱۷	۱۵
۷۰	۰/۴۰		۳۵
۹۰			

نتایج و بحث

همان گونه که اشاره شد، برای رسیدن به هدف

این تحقیق که بررسی سرعت عرضی و تنش برشی در قوس 90° درجه تند می‌باشد، آزمایشهایی در نهر پایه دار 90° درجه تند با و بدون حضور سرریز W انجام گردید و داده‌های سه بعدی سرعت اندازه‌گیری شدند. برای نشان دادن تغییرات

آن وجود دارد. این جریان ثانویه در سطح جریان به سمت قوس بیرونی، و در نزدیکی کف نهر پایه دار به سمت قوس داخلی است. تغییر عدد فرود تأثیرانندی بر شدت جریان ثانویه در شکل خطوط جریان در حالت بدون سرریز W داشته است (شکلهای ۶- b و d). همان طور که در شکل دیده می‌شود، در حالت با حضور سرریز W در عدد فرود ۰/۴ جریان آشفتگی بیشتری در کف دارد، حتی آثاری از تشکیل جریان ثانویه در مرکز جریان در اعماق کم نیز مشاهده می‌شود (شکلهای ۶- a و c). شکل ۷ توزیع عرضی سرعت را در موقعیت ۷۰ درجه برای دو شرط جریان و دو حالت با و بدون سرریز نشان می‌دهد.

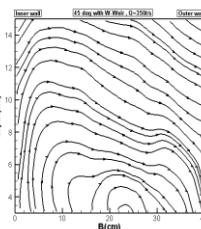
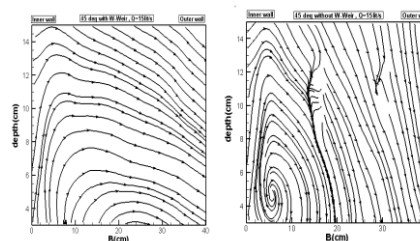
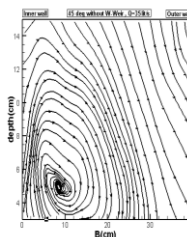


(a) $Fr=0.17$ with W-wier
(b) $Fr=0.17$ without W-wier
(c) $Fr=0.4$ with W-wier
(d) $Fr=0.4$ without W-wier

شکل ۷- توزیع عرضی سرعت در موقعیت ۷۰ درجه در دو حالت با و بدون سرریز W .

نتایج نشان دادند که در حالت بدون سرریز، و در موقعیت ۷۰ درجه، افزایش عدد فرود باعث شدت و گسترش

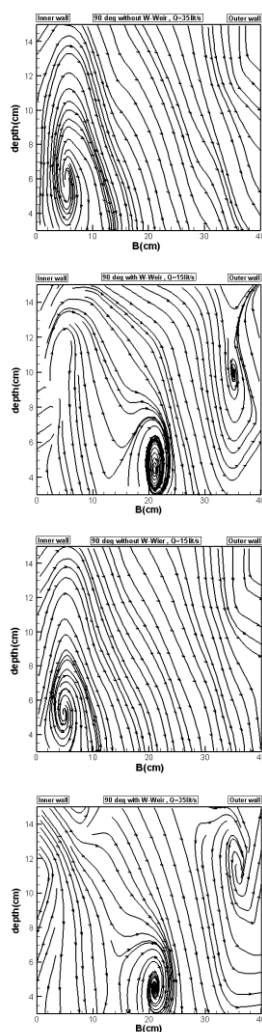
به همین دلیل، عدم ورود جریان در قوس سبب گردیده که جریان ثانویه‌ای تشکیل نشود. در هر دو عدد فرود حضور سرریز سبب آرامتر شدن خطوط جریان نسبت به حالت بدون سرریز W شده است، چون شیب خطوط جریان در مقطع کاهش یافته است شکل ۵. شکل ۶ توزیع عرضی سرعت را در موقعیت ۴۵ درجه برای دو حالت با و بدون سرریز نشان می‌دهد.



(a) $Fr=0.17$ with W-wier
(b) $Fr=0.17$ without W-wier
(c) $Fr=0.4$ with W-wier
(d) $Fr=0.4$ without W-wier

شکل ۶- توزیع عرضی سرعت در موقعیت ۴۵ درجه برای دو حالت با و بدون سرریز W .

با ورود جریان به قوس و قرار گرفتن در راس آن، جریان ثانویه در نزدیکی قوس داخلی شکل گرفته و در تمام



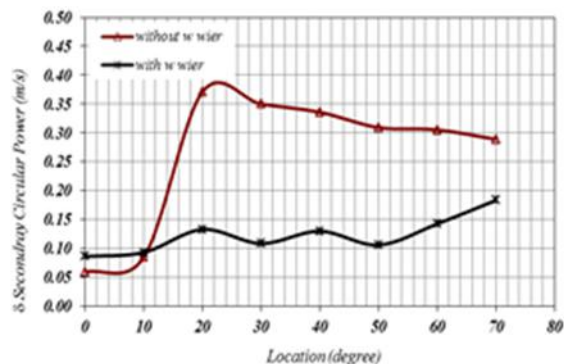
(a) $Fr=0.17$ with W-wier (b) $Fr=0.17$ without W-wier (c) $Fr=0.4$ with W-wier (d) $Fr=0.4$ without W-wier

شکل ۸- توزیع عرضی سرعت در موقعیت ۹۰ درجه در دو حالت با و بدون سرریز W.

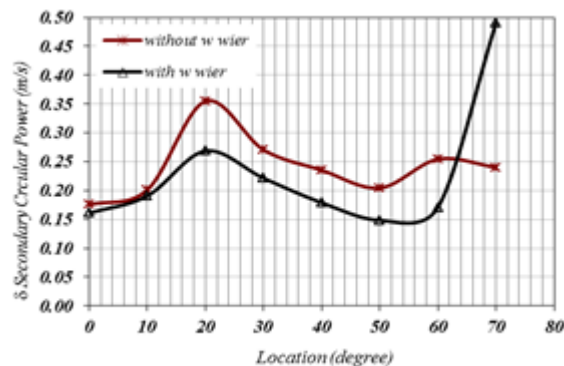
در موقعیت ۹۰ درجه و پایان یافتن قوس، با آن که انتهای قوس است، و جریان در مسیر نسبتاً مستقیمی قرار می‌گیرد، اما جریان هم چنان حالت گردابی خود را حفظ می‌کند، گرچه نسبت به موقعیت ۷۰ درجه در شرایط نسبتاً آرامتری قرار می‌گیرد. حضور سرریز W شکل باعث

بیشتر جریان ثانویه گردیده، بطوری که تا خط مرکزی نهر نیز گسترش یافته است (شکل‌های ۷-b و d). همین تغییرات عدد فرود با حضور سرریز سبب تغییر جهت خطوط جریان در نزدیکی دیواره‌ی خارجی شده است (شکل ۷-a و c). در موقعیت ۷۰ درجه، به دلیل واقع شدن در نیمه‌ی دوم قوس، جریان ثانویه به سمت دیواره‌ی داخلی توسعه یافته است، و بردار سرعت سطحی به سمت قوس خارجی، و بردار سرعت انتهایی به سمت قوس داخلی امتداد می‌یابد. در عدد فرود ۰/۱۷ خطوط جریان دارای نظم خاصی بوده، ولی با همین شرایط در عدد فرود ۰/۴ خطوط جریان آشفتگی بیشتری دارند، و در کل شکل خطوط جریان نامنظم بوده که در ارتباط با توان چرخشی، که در ادامه به آن پرداخته می‌شود، قابل بررسی است. ذکر این نکته ضروری است که این وضعیت، موقعیت قرارگیری سرریز است. شکل ۸ توزیع عرضی سرعت و الگوی جریان را در موقعیت ۹۰ درجه برای دو حالت با و بدون سرریز نشان می‌دهد.

حالت با و بدون سرریز W برای اعداد فرود ۰/۱۷ و ۰/۴ نشان می‌دهد.



شکل ۹- تغییرات توان چرخشی ثانویه در موقعیتهای مختلف (Fr=0.17)



شکل ۱۰- تغییرات توان چرخشی ثانویه در موقعیتهای مختلف (Fr=0.40)

همان طور که در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، از موقعیت ۱۰ درجه تا موقعیت ۷۰ درجه (محل قرارگیری سرریز)، مقدار توان چرخشی در حالت بدون سرریز بیشتر از حالت با سرریز است. این در حالی است که برای عدد فرود ۰/۴، به دلیل تلاطم بیشتر، خود جریان اختلاف توان چرخشی جریان ثانویه در حالت با و بدون سرریز کم می‌باشد. لازم به توضیح است که در موقعیت ۲۰

حرکت جریان گردابی از قوس داخلی به سمت محور نهر می‌شود، که از خسارات ناشی از آن که بیشتر بیان شده است، جلوگیری می‌کند؛ اما مانند موقعیت ۷۰ درجه خطوط جریان با حضور سرریز W شکل از الگوی خاصی پیروی نمی‌کنند. البته به همان دلیلی که در موقعیت ۷۰ درجه ارائه شد، جریان ثانویه‌ای در کف و مرکز قوس در حال شکل‌گیری است. لازم به توضیح است که بطور کلی تغییرات عدد فرود در هر دو حالت با سرریز W و بدون سرریز W تغییر خاصی در شکل خطوط جریان ایجاد نکرده‌اند. برای بررسی دقیقتر اثر سرریز W توان چرخش جریان در قوس با و بدون حضور این سرریز مورد مطالعه قرار گرفت. توان چرخشی یکی از روشهایی است که بر مبنای آن می‌توان قدرت جریان ثانویه را محاسبه کرد. اگر جریانهای ثانویه به صورت صفحه‌ای فرض شوند، بطوری که اختلاف بین سرعت در دو طرف این صفحه بیانگر قدرت آن باشد، می‌توان برای محاسبه قدرت جریان ثانویه از رابطه ی ۴ استفاده کرد (کشاوری و کرمی مقدم، ۱۳۸۶):

$$\delta = U_{\max} - U_{\min} \quad (4)$$

که در آن δ ، U_{\max} و U_{\min} به ترتیب توان چرخشی جریان، سرعت طولی بیشترین و کمترین، همگی بر حسب متر بر ثانیه، می‌باشند. شکل‌های ۹ و ۱۰ مقایسه ی قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس را از ۰ تا ۹۰ درجه برای دو

موقعیت نصب سرریز، به علت تلاطم بالای جریان، و به وجود آمدن دو چاله ی گردابی بعد از محل قرارگیری سازه، توان چرخشی در حالت با سرریز مقدار بسیار بیشتری نسبت به حالت بدون سرریز دارد.

تنش برشی متوسط

بر اساس تحقیقات انجام شده، جریان ثانویه در قوسها سبب ایجاد نیروی برشی بزرگی در قوس نسبت به مسیر مستقیم می‌شود. این جریان تحلیل تنش برشی بستر در قوس را نسبت به مسیر مستقیم پیچیده‌تر می‌کند. جهت محاسبه تنش برشی از روابط زیر استفاده شده‌است (پورنصیری و همکاران، ۱۳۸۵):

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g}{c^2} \bar{U} \sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2} \quad (5)$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho g}{c^2} \bar{V} \sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2} \quad (6)$$

که در آنها \bar{U} و \bar{V} به ترتیب متوسط عمقی سرعت در جهات X و Y (متر بر ثانیه)، τ_{bx} و τ_{by} به ترتیب تنش برشی بستر در جهات X و Y (نیوتن بر متر مربع)، و ρ و g به ترتیب چگالی سیال و ضریب گرانش می‌باشند. ضریب سزی، ضریب مقاومت و بیانگر رفتار آب پویایی بستر جریان می‌باشد. این ضریب به زبری نهر و شعاع آبی جریان بستگی داشته و از رابطه ی $c = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$ محاسبه می‌شود. برای تعیین مقدار این ضریب روابط مختلفی ارائه شده اند، که یکی از مهمترین

درجه، به دلیل توسعه ی کامل جریان ثانویه، توان چرخشی آن به میزان قابل توجهی دچار اختلاف می‌گردد، بطوری که برای عدد فرود ۰/۱۷، مقدار δ در حالت با سرریز ۶۴ درصد نسبت به حالت بدون سرریز کاهش می‌یابد. از طرفی، برای عدد فرود ۰/۴ این مقدار کاهش ۲۴ درصد می‌باشد. جدول ۲ برای هر دو عدد فرود ۰/۱۷ و ۰/۴ میزان کاهش یا افزایش توان چرخشی جریان ثانویه را در حالت با سرریز W در مقایسه با بدون سرریز نمایش می‌دهد.

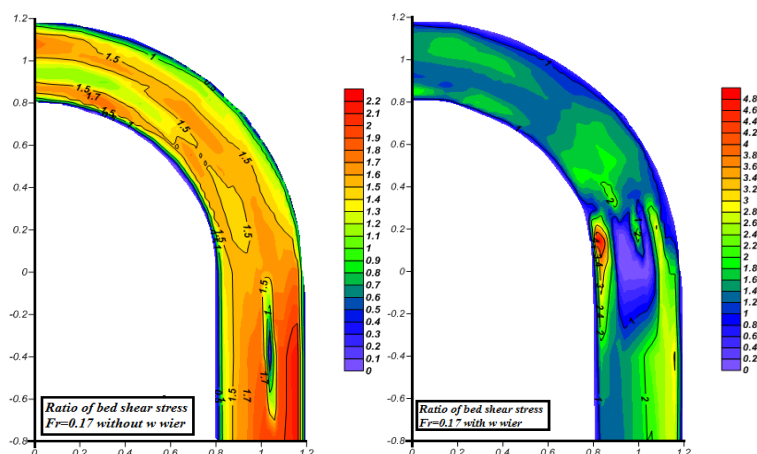
جدول ۲- میزان کاهش یا افزایش توان چرخشی جریان ثانویه در حالت با سرریز W در مقایسه با بدون سرریز.

زاویه (درجه)	عدد فرود	درصد کاهش δ در حالت با سرریز نسبت به بدون سرریز
۰	۰/۱۷	-۴۶/۲۰
۲۰		۶۴/۲۵
۴۵		۶۵/۸۴
۷۰		۳۶/۶۴
۹۰		-۶۹/۹۴
۰	۰/۴	۸/۳۴
۲۰		۲۴/۳۱
۴۵		۲۷/۳۹
۷۰		-۱۰۴/۲۳
۹۰		-۲۰۵/۲۷

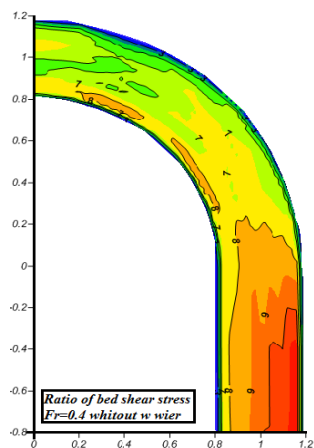
در جدول ۲ مشاهده می‌شود که توان چرخشی، δ ، در هر دو عدد فرود با حضور سرریز تا موقعیت قرارگیری سرریز، به مقدار زیادی کاهش یافته است، که البته کاهش این فراسنج در اعداد فرود کمتر، بیشتر می‌باشد. بعد از

نهر پایه دار ترسیم شده است. شکل ۱۱ توزیع تنش برشی بستر را در دو عدد فرود ۰/۱۷ و ۰/۴ در دو حالت با حضور سرریز W و بدون حضور سرریز W نشان می‌دهد.

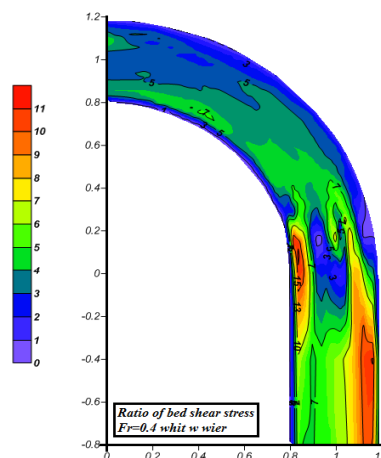
آنها، مانینگ است. که در آن R شعاع آبی مقطع جریان، متر، و n ضریب زبری مانینگ می‌باشد. جهت تجزیه و تحلیل تنشهای برشی بستر بیشترین تنشهای هر مقطع به دست آمده و نسبت به تنش برشی متوسط مقطع مستقیم بی بعد شده است. نمودار تغییرات بیشترین تنش برشی در طول



ب- بدون سرریز W و فرود ۰/۱۷



الف- با سرریز W و عدد فرود ۰/۱۷



د- بدون سرریز W و فرود ۰/۴

ج- با سرریز W و فرود ۰/۴

شکل ۱۱- توزیع تنش برشی بستر برای دو حالت با حضور سرریز و بدون حضور سرریز W.

برشی ۱/۱ نزدیک جداره ی داخلی بوده است. توزیع این ناحیه با افزایش تنش برشی پیدا کرده است. محل

با توجه به شکلها می‌توان گفت که در حالت کلی، و در قوس تند در نیمه ی اول قوس، ناحیه با توزیع تنش

بررسی‌هایی به وسیله‌ی بویان و همکاران (۲۰۰۹) در خصوص تاثیر استفاده از سرریز W بر الگوی جریان و رسوب در مسیر پیچانی انجام شده است. در تحقیق ایشان مشخص شده است که پس از نصب سرریز W شکل، رسوبهای ته‌نشین شده در قوس خارجی عموماً درشتتر بوده، و ضریب همواری کمتری دارند، که این موقعیتها در این مطالعه همان موقعیتهایی هستند که تنش برشی بیشتری دارند (شکل ۱۱). همین دلیل باعث به وجود آمدن جریان ثانویه‌ای در قوس خارجی گردیده که در شکل‌های (۸- a و C) مشاهده می‌شود. ایشان دریافتند که با حضور سرریز W شکل منطقه‌ای با انتقال رسوب بالا به سمت مرکز نهر انتقال پیدا می‌کند، (شکل‌های ۸- a و C)، اگرچه در میزان بیشترین انتقال رسوب تغییر معنی داری رخ نمی‌دهد، که این مسأله می‌تواند عاملی موثر در تصمیم‌گیری طرحهای حفاظت سواحل پیچان رودها باشد.

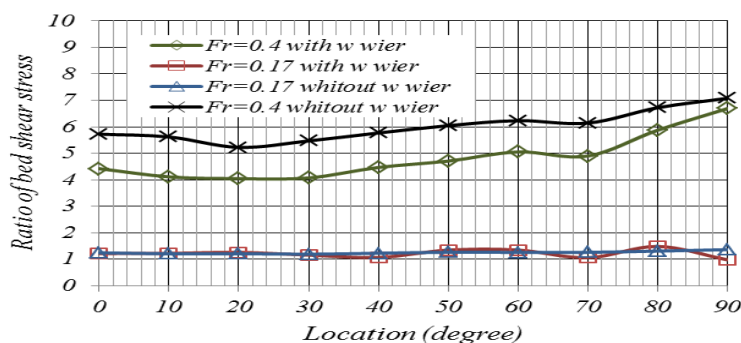
تشکیل بیشترین و کمترین مقدار تنش در فرود ۰/۱۷ به ترتیب در ۲۰ درجه به مقدار ۱/۱۳، و در صفر درجه به مقدار ۰/۷۳، می‌باشد. محل تشکیل بیشترین و کمترین مقدار تنش برشی بدون حضور سرریز W در فرود ۰/۴ نیز به ترتیب در ۲۰ درجه و به مقادیر ۱/۱۹ و ۰/۷ می‌باشد. (شکل ۱۱- ب و د). این مطلب نشان می‌دهد که افزایش عدد فرود باعث افزایش بیشترین تنش برشی و کاهش کمترین تنش برشی شده است؛ حضور سرریز W باعث یکنواختی کامل تنش برشی قبل از محل نصب سرریز گشته است، و بعد از محل نصب سرریز دو چاله گردابی با تنش برشی بالا مشاهده می‌شود، که توزیع این تنش برشی با افزایش عدد فرود افزایش پیدا کرده است، چه، با افزایش عدد فرود تلاطم جریان بیشتر شده و قادر خواهد بود جریانی با تنش برشی بالا را در منطقه‌ی وسیعتری گسترش دهد. هم‌چنین، محل تشکیل بیشترین و کمترین مقدار تنش برشی با سرریز W در فرود ۰/۱۷ به ترتیب در ۹۰ درجه به مقدار ۲/۶۸ و ۰/۱۲ می‌باشد. محل تشکیل بیشترین و کمترین مقدار تنش در فرود ۰/۴ نیز به ترتیب در ۸۰ درجه، و به مقادیر ۱/۹۶ و ۰/۲۵ می‌باشد. مقادیر بالا در جدول ۳ آورده شده اند.

جدول ۳- مقادیر تنش برشی در موقعیت‌های مختلف.

شرایط حضور یا عدم حضور سرریز W	عدد فرود	موقعیت (درجه)	بیشترین تنش برشی بی بعد	موقعیت (درجه)	کمترین تنش برشی بی بعد
بدون حضور سرریز W	۰/۱۷	۲۰	۱/۸	۲۰	۰/۷۳
بدون حضور سرریز W	۰/۴	۹۰	۸/۸	۲۰	۲/۹
با حضور سرریز W	۰/۱۷	۸۰	۵/۲۸	۹۰	۰/۰۰۱
با حضور سرریز W	۰/۴	۸۰	۱۸/۹	۸۰	۰/۱۷

با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار تنش برشی بدون بعد در حالت بدون سرریز در عدد فرود ۰/۴ به مقدار ۷۹/۵ درصد نسبت به عدد فرود ۰/۱۷ افزایش پیدا کرده است. در حالتی که سرریز W قرار دارد، بیشترین مقدار تنش برشی در هر دو عدد فرود در بعد از محل نصب سرریز رخ داده است، ولی در عدد فرود ۰/۴ این مقدار ۷۲ درصد بیشتر از عدد فرود ۰/۱۷ است. کمترین مقدار تنش برشی بدون بعد در حالت بدون سرریز در عدد فرود ۰/۴، ۷۴/۸ درصد نسبت به عدد فرود ۰/۱۷ افزایش داشته است، ولی هر دو در نیمه ی اول قوس رخ داده‌اند.

کمترین مقدار تنش برشی بدون بعد در حالت با سرریز W نیز بعد از محل نصب سرریز و در محدوده قوس داخلی رخ داده است. در شکل ۱۲ تغییرات عدد فرود در دو حالت با حضور سرریز W و بدون حضور سرریز W عرضه شده اند. شکل مزبور تنشهای برشی بی بعد را در مقابل زاویه‌های مختلف در دو عدد فرود ۰/۱۷ و ۰/۴ با و بدون حضور سرریز W نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- تنش برشی در عدد فرودهای ۰/۱۷ و ۰/۴ با و بدون حضور سرریز W.

در شکل ۱۲، در عدد فرود ۰/۱۷، و بدون حضور سرریز W، مقادیر تنش برشی بدون بعد مقداری تقریباً ثابت است، ولی این فراسنج با افزایش عدد فرود به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. در عدد فرود ۰/۱۷ در موقعیتهای مختلف قوس تغییر زیادی در مقادیر تنش برشی بدون بعد رخ نداده است؛ این در حالی است که در عدد فرود ۰/۴ تا موقعیت ۳۰ درجه نسبت تنش برشی بی بعد روند بدون تغییری دارد، ولی با قرار گرفتن در رأس قوس و موقعیتهای بعد از آن مقدار این فراسنج روندی افزایشی دارد، در عدد فرود ۰/۱۷ حضور سرریز تأثیر چندانی بر فراسنج مذکور نداشته است؛ تنها تفاوت در این است که بعد از موقعیت قرارگیری سرریز، بطور مثال در ۸۰ درجه، تنش برشی به مقدار ۱۳/۵ درصد افزایش یافته است. در عدد فرود ۰/۴ تفاوت تنش برشی بدون بعد در حالت با حضور سرریز نسبت به حالت بدون حضور سرریز از موقعیت صفر تا ۷۰ درجه بطور میانگین ۲۹/۵ درصد کاهش داشته است. همان طور که در شکل ۱۲ مشخص است، بعد از موقعیت قرارگیری سرریز در عدد فرود ۰/۴، تنش برشی بدون بعد به علت تلاطم زیاد جریان بعد از سرریز افزایش قابل توجهی داشته است.

لازم به توضیح است که در نهر پایه دار آزمایشگاهی که مطالعه‌ی مذکور در آن انجام گرفته، تحقیقاتی به وسیله‌ی قذو و همکاران (۱۳۹۰) بر مبنای اثر

زبری بر الگوی جریان در حالت بدون سرریز برای قوس ۹۰ درجه یاد شده انجام شده است. در همین راستا، تحقیقی به وسیله‌ی گلرخ و شفافی بجستان (۱۳۹۰) تحت عنوان بررسی آزمایشگاهی تأثیر موقعیت قرارگیری سرریز W بر توپوگرافی بستر در همین قوس ۹۰ درجه پایه‌گذاری شده است، که نتایج تحقیق حاضر از جنبه‌هایی با تحقیقات یاد شده مقایسه گردیده اند. بر همین اساس، بررسیهای انجام شده نشان می‌دهند که نسبت بیشترین تنش برشی در موقعیت ۲۰ درجه رخ داده است، که مطالعات قذو و همکاران (۱۳۹۰)، که با زبری ۵ میلیمتر و فرود ۰/۴ و در حالت بدون حضور سرریز انجام شده است، نیز این موضوع را تأیید می‌نمایند. با توجه به جدول ۳ بیشترین تنش برشی بی‌بعد با حضور سرریز W در محدوده‌ی دیوار خارجی (۲۰ تا ۴۰ سانتیمتر) رخ داده است. این مسأله در شکل‌های a-8 و c نیز مشاهده می‌شود، که در موقعیت ۹۰ درجه، یعنی بعد از محل نصب سرریز W جریان ثانویه‌ای در قسمت دیواره خارجی در حال شکل‌گیری است. گلرخ و شفافی بجستان (۱۳۹۰) نیز با نصب سرریز W در موقعیتی مشابه موقعیت قرارگیری سرریز W دریافتند که بیشترین عمق فرسایش بستر در همین موقعیت رخ می‌دهد.

نتیجه گیری

در ارزیابی سرعت‌های عرضی و تنش برشی در قوس‌های ۹۰ درجه تند، و بررسی اثرات سرریز W شکل بر این فراسنج‌ها نتایج زیر را ارائه کردند:

۱. حضور سرریز W شکل باعث به وجود آمدن جریانی آرام در بالادست سازه می‌گردد، بطوری که جریان ثانویه ایجاد شده، به دلیل حضور جریان در قوس، به وسیله ی سرریز W شکل یا بطور کامل از بین رفته، و یا از دیواره ی نهر به سمت مرکز جریان انتقال یافته است. همچنین، با حضور این سرریز در پایین دست سازه الگوی جریانی با آشفتگی زیاد به وجود می‌آید.
۲. با توجه به روند الگوی جریان در موقعیت ۹۰ درجه می‌توان دریافت که تغییرات عدد فرود تأثیر چشمگیری بر شکل خطوط جریان در حالت بدون سرریز W و با سرریز W بعد از محل نصب سرریز W نداشته است.
۳. بررسی‌های بویان و همکاران (۲۰۰۹) در خصوص تأثیر استفاده از سرریز W بر الگوی جریان و رسوب در مسیر پیچانی انجام شده نشان دادند که پس از نصب سرریز W شکل، رسوب‌های ته‌نشین شده در قوس خارجی عموماً درشتتر بوده و ضریب همواری کمتری دارند، که این موقعیتها در مطالعه‌ی حاضر همان موقعیت‌هایی هستند که تنش برشی بیشتری دارند. همین پدیده

باعث به وجود آمدن جریان ثانویه‌ای در قوس خارجی می‌شود.

۴. در محدوده‌ی دیوار خارجی (۲۰ تا ۴۰ سانتیمتر) بیشترین تنش برشی بی‌بعد رخ داده است. از طرفی، مشاهده گردید که در موقعیت ۹۰ درجه، یعنی بعد از محل نصب سرریز W، جریان ثانویه‌ای در قسمت دیواره خارجی در حال شکل‌گیری است. نتایج گلرخ و شفافی بجستان (۱۳۹۰) نیز بیشترین عمق فرسایش بستر را در همین موقعیت نشان می‌دهند.
۵. حضور سرریز W باعث یکنواختی کامل تنش برشی قبل از محل نصب سرریز گشته و بیشترین مقدار تنش برشی در حالت با سرریز W در موقعیت بعد از محل نصب سرریز W رخ داده است، که این مقدار برای عدد فرود ۰/۱۷ در موقعیت ۸۰ به میزان ۵/۲۸، و برای عدد فرود ۰/۴ در موقعیت ۸۰ به میزان ۱۸/۹، می‌باشد. این در حالی است که بیشترین تنش برشی در حالت بدون حضور سرریز و برای عدد فرود ۰/۱۷ در موقعیت ۲۰ درجه به میزان ۱/۸، و برای عدد فرود ۰/۴ در موقعیت ۹۰ درجه و به میزان ۸/۸ می‌باشد.
۶. بطور کلی، مقدار توان چرخشی در حالت بدون سرریز بیشتر از حالت با سرریز است، ولی بعد از موقعیت ۷۰ درجه، مقدار این فراسنج، به دلیل افزایش تلاطم در نزدیکی سرریز W به مقدار قابل توجهی افزایش می‌-

4. Salehi-neyshabouri, A. 2008. Review and provide solution to reduce input sediment to the intakes in the river. Applied Research Project Department of Water Resources Management and Development Plan.
5. Ghadu, Y., Shafai-Bajestan, M., and Soozepour, A. 2011. Lab Study of the Cross velocity Pattern of Flow in 90 Degree Sharp Bend. the 4th Conference of Water References of Iran. Amirkabir University of Technology. Tehran.
6. Keshavarzi, A., and Karami-Moghaddam, M. 2007. Effect of Submerged Vanes on reducing the accumulation of submerged sediment inlet intakes 55° with a rounded entrance. 3th International Congress on Civil engineering. Tabriz. Tabriz University.
7. Golrokh, I, and Shafai-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, Semnan University. Semnan engineering. Semnan. Semnan university.
8. Vaghefi, M., and Ghodsian, M. 2010. Lab Study of the Effect of Bend on the Secondary Flow in 90 Degree Bend in

یابد، که این مقدار برای عدد فرود $0/17$ در موقعیت 90° درجه 70 درصد افزایش، و برای عدد فرود $0/4$ در همین موقعیت 205 درصد افزایش داشته است.

سپاسگزاری

این مطالعه با کمک مالی از محل پژوهانه‌ی نویسنده‌ی دوم تامین شده است که بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز سپاسگزاریم.

منابع

1. Pournasiri, M., Pirestani, M.R., and Majdzadeh-Tabatabai, M.R. 2006. Study the Changes in Eddy Flow in U-shape Bend Channels. 7th Iranian Conference of Hydraulic, Water and Electricity industries University (Shahid Abbaspour). Tehran
2. Soozepour, A., Shafai-Bajestan, M., and Ghadu, Y. 2011. Lab Study of the Cross velocity Pattern of Flow in 90 Degree Sharp Bend. the 4th Conference of Water References of Iran. Amirkabir University of Technology. Tehran.
3. Musavi-Naini, A., Vaghefi, M., and Ghodsian, M. 2009. Effect of Radius of curvature of 90 degree bend with flat bed on changes of shear stress changes on Submerged Vanes. 8th Hydraulic conference. Tehran University. Tehran.

- the Balanced Bed Conditions” The Scientific Research Journal of hydraulic, 5th period, No. 1, Pp 91-99.
9. Mashkournia, H., Jarrahzadeh, F., Ramesh, S., and Shafai-Bajestan, M. 2010. Effect of submerged Submerged Vanes structures along the 90 degree bend on the scourof outer bank. 9th Hydraulic conference. Iran. Tehran. Tarbiat Modarres University.
 10. Bhuiyan, F., Hey, R. D., and Wormleaton , P.R. 2007. Hydraulic evaluation of W-weir for restoration. Journal of Hydr. Enrg. ASCE. Vol. 133. No.6:596-609.
 11. 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. Vol. 135. No.5:339-349.
 12. Christopher I. Thornton, Antony M. Meneghetti, Kent Collins, Steven R. Abt, and S. Michael Scurlock. 2011. Stage-discharge relationships for U-, A-, and W-weirs in un-submerged flow conditions. Journal of American resources association. Vol.47., No.1:169-178.
 13. Odgaard JA, Bergs MA. 1988. Flow processes in a curved alluvial channel. WaterResour Res. Vol. 24. No.1:45–56.
 14. Rodi, W. and Leschziner A. 1978. Calculation of strongly curved open channelflow. Journal of the Hydraulic Division. 105(HY10).
 15. 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.
 16. Shukry, A. 1950. Flow around Bends in an open flume. Transactions. ASCE, Vol. 115.