

بررسی میزان آبشستگی در پایین دست سرریزهای عرضی در قوس ۹۰

رضا سرقلی، امین بردبار*، علی عصاره، محمد حیدرنژاد^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۹)

چکیده

در گذشته روش‌های مختلفی برای کنترل آبشستگی پاشنه ساحل پیشنهاد شده است برای رودخانه‌های کم عمق (نظیر رودخانه‌های کوهستانی) از انواع سرریزها استفاده می‌شود. لذا در این تحقیق به بررسی توسعه آبشستگی در سازه‌های cross vane و w-weir جهت حفاظت سواحل پرداخته شد. نتایج نشان داد با نصب سازه w-weir در موقعیت ۹۰ درجه نسبت به موقعیت ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب شاهد ۳۷/۹ و ۱۹/۷ درصد کاهش آبشستگی هستیم. همچنین با نصب سازه cross vane در موقعیت ۹۰ درجه نسبت به موقعیت ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب شاهد ۳۵/۴ و ۲۱/۲ درصد کاهش آبشستگی هستیم. با افزایش عرض (L/B) (نسبت عرض سازه به عرض فلوم) سازه w-weir از ۱/۵ به ۲ میزان آبشستگی ۷/۹ درصد کاهش داشته است. همچنین با افزایش عرض (L/B) سازه cross vane از ۱/۳ به ۱/۷ میزان آبشستگی ۴/۷ درصد کاهش داشته است. سازه w-weir به‌طور متوسط ۷/۳ درصد آبشستگی کمتری نسبت به سازه cross vane داشته است.

واژه‌های کلیدی: سرریز عرضی، مدل فیزیکی، آبشستگی، قوس ۹۰ درجه

۱. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

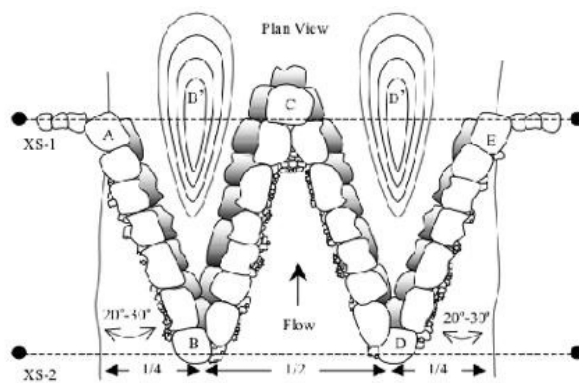
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: asefmm@yahoo.com

مقدمه

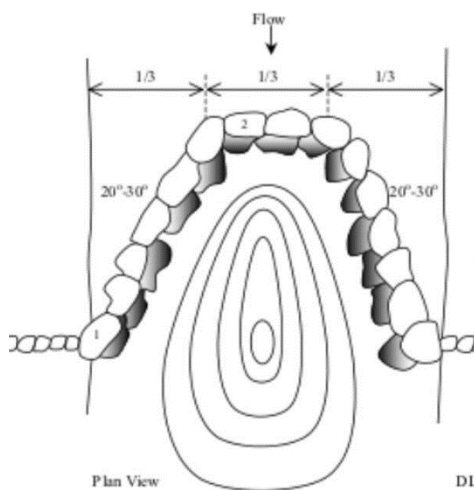
آبراهه‌های کوهستانی به دلیل شیب تندی که دارند حجم زیادی رسوب درشت دانه به پائین دست منتقل می‌کنند که در مخازن سدهای پائین دست ته‌نشین شده و حجم مفید مخزن را کاهش می‌دهد. از طرفی بخش عمده رسوبات منتقل شده در این رودخانه‌ها از تخریب سواحل آبرفتی آن تولید می‌شود. دلیل عمده این تخریب‌ها نیز آبشستگی پاشنه ساحل در مسیرهای قوسی شکل است. دلیل عمده این آبشستگی نیز وجود الگوهای سه بعدی سرعت در محل قوس است به گونه‌ای که با ورود جریان به قوس نیروی گریز از مرکز باعث می‌شود تا توزیع عمقی نیروی غیریکنواخت باشد (بالا بودن نیرو در سطح و ناچیز بودن آن در بستر) که با توجه به توزیع عمقی برعکس نیروی ناشی از فشار هیدرواستاتیک (کم بودن در سطح و زیاد بودن در عمق) باعث می‌شود تا مولکول‌های آب در سطح به سمت قوس خارجی و در بستر به سمت قوس داخلی حرکت کنند که به آن جریان ثانویه اطلاق می‌شود (۴). ترکیب این نوع جریان عرضی با جریان اصلی طولی باعث می‌شود تا الگوی جریان حلزونی در قوس شکل بگیرد. جریان ثانویه بر اثر اندرکنش دو نیروی گرادیان فشار و نیروی گریز از مرکز ایجاد می‌شود. ذرات بستر در محل پاشنه ساحل خارجی تحت تأثیر این الگوها از بستر کنده شده و توسط الگوی حلزونی منتقل می‌شود. بخشی از ذرات ریزدانه آن در ساحل داخلی ترسیب می‌شود. در نتیجه پاشنه ساحل خارجی به تدریج گود شده و ساحل تخریب خواهد شد و حجم زیادی رسوب وارد رودخانه شده که توسط جریان به پائین دست منتقل می‌شود (۱). در گذشته روش‌های مختلفی برای کنترل آبشستگی پاشنه ساحل پیشنهاد شده است که روش‌های پوششی و غیرپوششی هستند. در روش‌های پوششی معمولاً بخشی از ساحل خارجی و بستر آن با مصالح مختلفی پوشش داده می‌شود و در روش‌های غیرپوششی تلاش می‌شود تا با اصلاح الگوی جریان، میزان آبشستگی کاهش داده شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به

آبشکن، صفحات مستغرق، صفحات مثلثی و آبشکن باندل لایک اشاره کرد که بیشتر برای رودخانه‌های نسبتاً عمیق کاربرد دارد. برای رودخانه‌های کم عمق (نظیر رودخانه‌های کوهستانی) از انواع سرریزها استفاده می‌شود. بنا به این مهم در این تحقیق به بررسی توسعه آبشستگی در سازه‌های cross vane (شکل ۱) و w-weir (شکل ۲) جهت حفاظت سواحل پرداخته شد.

جیمسن و همکاران (۲۰۱۳a) اثرات تله‌های جریان (stream barbs) را در تغییر مسیر هسته سرعت بالا از قوس خارجی، و جلوگیری از فرسایش سیلاب‌دشت، در خروجی قوس مورد مطالعه قرار دادند (۷). آن‌ها نشان دادند که قوس خارجی، با توجه به اندازه تله‌ها و ایجاد سرعت ثانویه بیش از حدی که مخالف جریان ابتدایی طبیعی در خم کانال است، ممکن است هنوز هم در معرض خطر فرسایش و یا حتی افزایش فرسایش باشد. جیمسن و همکاران (۲۰۱۳b) مطالعه خود را روی تلاطم و گردابه در خم کانال برای تعادل آبشستگی در شرایط آب زلال در حضور و عدم حضور تله‌های جریان ادامه دادند، آن‌ها نشان دادند که آبشستگی موضعی در نزدیکی تله‌ها به افزایش گردابه وابسته بود. گوان و همکاران (۲۰۱۴) برای بررسی الگوی جریان و تلاطم در حفره آبشستگی پایین دست یک سرریز مستغرق یک سری از آزمایشات انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که تلاطم قبل از منطقه چرخش حاکم بر ابعاد حفره آبشستگی تشکیل می‌شود. گوان و همکاران (۲۰۱۵) آبشستگی بستر متحرک را در سرریزهای مستغرق مورد مطالعه قرار دادند (۴). پاگلیارا و کوردستانی (۲۰۱۳a) در یک کانال مستقیم آبشستگی پایین دست cross-vane را در بستر با شیب‌های متفاوت بررسی کردند و معادلاتی برای تخمین پارامترهای اصلی آبشستگی برآورد کردند (۶). ایشان نشان دادند که عدد فرود جرمی (عدد پایداری)، ارتفاع سازه، طول سازه، شیب بستر و ارتفاع سقوط آب مهم‌ترین متغیرها در پیش بینی پارامترهای اصلی



شکل ۱. سازه w-weir و شماتیک آن



شکل ۲. سازه cross vane و شماتیک آن

برای پیش بینی ماکزیمم عمق آبشستگی برای ترکیب‌های مختلفی از شرایط هیدرولیکی، انحنای کانال و هندسه سازه پیدا شد. نتایج نشان داد که افزایش شعاع خم باعث کاهش در مقدار عمق آبشستگی حداکثر می‌شود. ایشان نشان دادند که عدد فرود جرمی (عدد پایداری)، اختلاف ارتفاع آب بالادست و پایین دست سازه، تراز پایاب و ارتفاع سازه، پارامترهای مؤثر اصلی بر ماکزیمم عمق آبشستگی، حداکثر طول آبشستگی، حداکثر ارتفاع برآمدگی و حداکثر طول برآمدگی هستند. جلیلی و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر هندسه دهانه آبگیر بر مقدار و الگوی رسوبگذاری در آبگیر جانبی را بررسی و بیان کردند ایجاد قوس بهینه در دیواره کانال

آبشستگی هستند. پاگلیارا و همکاران (۲۰۱۳a، ۲۰۱۴a، ۲۰۱۵) مورفولوژی آبشستگی را در رودخانه‌های مستقیم پایین دست سرریزهای چوگانی شکل، سرریز W شکل، Log-Vane و Log-Deflector مورد بررسی قرار دادند (۹، ۱۱ و ۱۲) پاگلیارا و کوردستانی (۲۰۱۴) ویژگی‌های حفره آبشستگی پایین دست سرریز جانبی و سرریز W شکل، تشابهات و اختلافات برجسته را در محدوده مربوطه مقایسه کردند (۱۲). پاگلیارا و کوردستانی (۲۰۱۵) به تجزیه و تحلیل اثر انحنای کانال بر روی ویژگی‌های حفره آبشستگی و مورفولوژی پایین دست سرریزهای چوگانی شکل پرداختند (۱۰). بر اساس آنالیز ابعادی، روابط تجربی

۳ میلی‌متر و دیواره‌ها از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۱۰ میلی‌متر و به طول ۴/۵ متر ساخته شده که هم اثر زبری جداره را کاهش می‌دهد و هم پدیده‌های هیدرولیکی در محفظه قابل رویت هستند، مسیر خروجی نیز مستقیم، کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت ۳ میلی‌متر و دیواره آن از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر به طول ۲/۵ متر است، کف فلوم به صورت بستر ثابت و بدون شیب و در حد دقت اجرایی به صورت افقی ساخته شده است. (شکل ۳).

بعد از مخزن فلوم، یک دریچه کشویی جهت تنظیم دبی ورودی به فلوم و یک سرریز مثلثی ۹۰ درجه برای اندازه‌گیری دبی ورودی و یک دریچه کشویی در ابتدای آبگیر جانبی جهت باز و قطع جریان ورودی به آبگیر جانبی و همچنین سرریز مثلثی ۹۰ درجه در انتهای فلوم، جهت اندازه‌گیری دبی خروجی از فلوم، از جنس ورق فلزی در نظر گرفته شده است. و برای جلوگیری از ورود امواج به کانال از یک توری مشبک، بعد از سرریز ابتدایی استفاده شده است. برای چرخش آب در فلوم آزمایشگاهی با توجه به دبی مورد نظر از یک پمپ سانتریفیوژ به قدرت ۱۱ کیلووات، قطر لوله مکش و دهش ۶ اینچ استفاده شد. ارتفاع مکش پمپ تقریباً ۲ متر و ارتفاع دهش آن حدود ۶ متر و حد اکثر دبی قابل انتقال توسط پمپ ۶۰ لیتر در ثانیه است.

در این تحقیق به میزان آبشستگی در پایین دست سرریزهای عرضی در قوس ۹۰ پرداخته شده که به منظور تحقق این هدف دو نوع سازه w-weir و Cross Wane (شکل ۴) با اندازه‌های متفاوت ساخته شد.

رسوبات کف

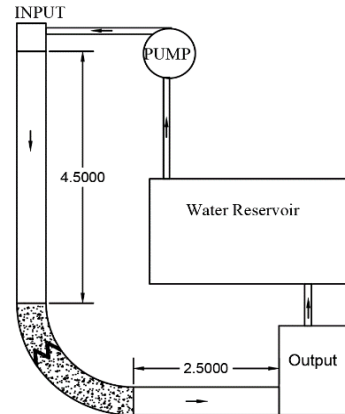
در خصوص اندازه رسوبات معیارهای مختلفی ذکر شده، مثلاً طبق تحقیقات انجام گرفته توسط دانگل (۱۹۹۴) برای اینکه اندازه رسوبات تأثیری بر روی عمق آبشستگی ایجاد نکند و از تشکیل فرم بستر نیز ممانعت به عمل آید می‌بایست $\frac{L_a}{d_{50}} > 25$ لحاظ شود که در این رابطه L_a عمق

آبگیر منجر به کاهش مقدار رسوب ورودی به میزان حداکثر ۶۰ درصد خواهد شد (۶). ایزدی نیا و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی الگوی جریان در سرریزهای جانبی با تاج دایره‌ای پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که طول ناحیه جدایی جریان به عواملی چون نسبت عمق آب در بالادست به پایین دست سرریز، عرض کانال به عمق آب در پایین دست و عدد فرود در بالادست سرریز بستگی دارد (۵). عظیمی و همکاران (۲۰۲۲) به شبیه سازی الگوی آبشستگی در مجاورت سرریزهای سنگی با استفاده از ماشین آموزش نیرومند خارج از محدوده پرداختند و با انجام یک تحلیل حساسیت، مدل برتر و مؤثرترین پارامترهای ورودی را معرفی کردند (۱). سرریزهای مختلف کنترل جریان در قوسهای با زوایای مختلف قبلاً مورد بررسی قرار گرفته است ولی سازه های cross vane و w-weir جهت حفاظت سواحل در قوس ۹۰ درجه و تحت تأثیر شرایط مختلف جریان نامشخص است. همچنین چگونگی ابعاد آن و بخصوص زاویه قرارگیری آن نسبت به ساحل بررسی نشده است. از این رو در این مطالعه تأثیر موقعیت، دبی و دو سازه cross vane و w-weir، در شرایط مختلف جریان بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات فلوم ساخته شده

جهت بررسی آزمایشگاهی این تحقیق، فلومی با مشخصات زیر مورد استفاده قرار گرفت. کانال‌های ورودی و خروجی فلوم ساخته شده، روباز مستطیلی با جداره ورق پلکسی گلاس است، بطوریکه که طول کانال‌های مستقیم ورودی در ابتدای فلوم و خروجی در انتهای فلوم بترتیب ۴/۵ و ۲/۵ متر است، عرض و ارتفاع فلوم نیز به ترتیب ۰/۵ و ۰/۶ متر بوده و بدنه فلوم در ارتفاع ۰/۷ متری از سطح زمین قرار دارد. مسیر ورودی مستقیم (جهت ایجاد جریان یکنواخت و توسعه یافته)، کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت



شکل ۳. نمایی از فلوم و شماتیک آن



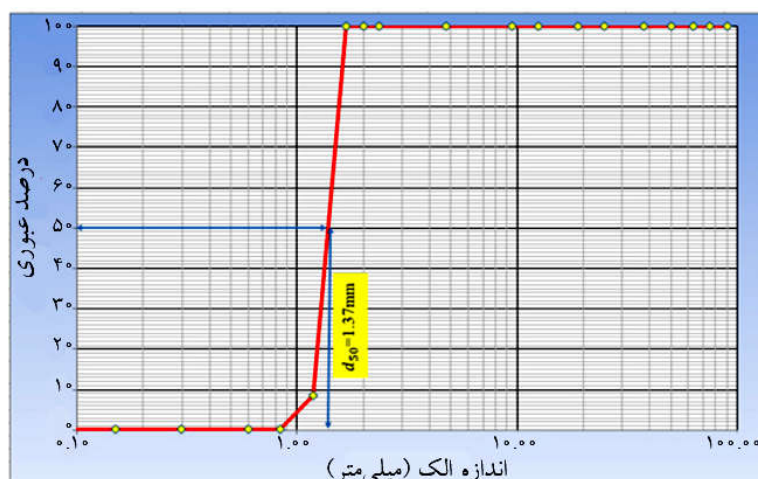
شکل ۴. نمونه ای از سازه w-weir و Cross Wane

آنالیز ابعادی

در مطالعه پدیده‌ها در آزمایشگاه، روابط بین عوامل مؤثر بر آن پدیده، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در اینجا نقش مهم اعداد بدون بعد در تفسیر و ارائه نتایج آزمایشگاهی و برقراری روابط بین عوامل درگیر در شناخت پدیده مورد مطالعه، روشن می‌شود. عوامل مهم برای حفاظت قوس ۹۰ درجه در این تحقیق عبارتند از:

عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض کانال (B)، شعاع قوس (R)، شیب طولی فلوم (S_0)، زاویه مرکزی قوس (δ).
 خصوصیات مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: دبی جریان در کانال اصلی (Q_T)، سرعت جریان در بالادست (V)، عمق جریان (y) و شتاب ثقل (g).

(بعد عمود بر جریان) و d_{50} قطر متوسط ذرات رسوبی است (۲) هرچه دانه‌بندی ذرات یکنواخت‌تر شود ابعاد آبستگي هم بیشتر خواهد بود. برای برقراری شرط یکنواختی ذرات می‌بایست $\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} < 1/3$ باشد که در این رابطه σ_g بیانگر انحراف معیار رسوبات است. به توصیه رودکیوی و همکاران (۱۹۸۸) برای جلوگیری از تشکیل رپیل می‌بایست قطر متوسط ذرات از ۰/۷ میلی‌متر بیشتر باشد (۱۳). لذا ذرات رسوبی از جنس ماسه طبیعی غیرچسبنده دارای قطر متوسط ۱/۳۷ میلی‌متر، انحراف معیار هندسی $\sigma_g = 1/13$ و چگالی ۲/۶۵ انتخاب شدند. نمودار دانه‌بندی ذرات رسوبی با روش الک در شکل ۵ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۵. نمودار دانه بندی ذرات رسوبی

Excel و surfer میزان تغییر بستر برای هر سازه در هر شرایط بررسی و تحلیل خواهد شد. برای اندازه گیری عمق آبستگي و توپوگرافی بستر رسوبی، از متر لیزری استفاده خواهد شد.

مدت زمان انجام آزمایش

مدت زمان انجام آزمایش برابر با معیار اتما (۱۹۸۰) انتخاب شد، که عبارت است از مدت زمانی که تغییرات در عمق آبستگي در یک بازه زمانی ۱ ساعته کمتر از یک میلی متر باشد. بر اساس آزمایش‌ها تغییرات عمق آبستگي در ابتدا زیاد بوده ولی باگذشت زمان رفته رفته کم می شود و به دلیل وقوع بخش عمده آبستگي در بازه ۲ ساعت اولیه آزمایش، این زمان برای کلیه آزمایش‌ها یکسان در نظر گرفته شد.

ابزار نقشه برداری از پروفیل آبستگي

برای این منظور از یک متر لیزری با دقت ۱ میلی متری و دارای ۲ تراز لویبایی، که بر روی یک چارچوب فلزی که طول و عرض آن در فواصل ۵ سانتی متر نشانه گذاری شده‌اند و در ارتفاع تقریبی ۶۹/۵ سانتی متری از کف قرار گرفته بود، استفاده شد. برای این منظور از آنجا که در خط مرکزی عرض جریان همواره بیشترین میزان سرعت ممکنه در هر مقطع وجود دارد، چارچوب را روی کانال قرار داده و پس از ثابت کردن عرض

خصوصیات مربوط به رسوب: قطر متوسط رسوبی (d_{50})، چگالی رسوبات (S)، عمق آبستگي رسوبات (ds)، خصوصیات مربوط به سیال: جرم مخصوص (ρ) و ویسکوزیته دینامیکی (μ)

$$F(B, R, S_0, \delta, L, \theta, s, h, QT, Qd, QT_s, Qd_s, V, y, g, d_{50}, S, ds, \rho, \mu) = 0$$

(۱)

با استفاده از تئوری باکینگهام و ثابت فرض کردن پارامترهای مورد نظر روابطی بعد به صورت زیر به دست می آیند.

$$ds / y = f(Fr, \theta, s, L / B) \quad (2)$$

که θ = موقعیت سازه در قوس

و s = نوع سازه

و L/B = نسبت عرض سازه به عرض فلوم

به طور کل آزمایش‌ها شامل:

۱- ۵ دبی

۲- دو سازه cross vane و w-weir

۳- سه موقعیت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه در قوس

۴- دو عرض ۰/۲۵، ۰/۵ L/B

آزمایش‌ها شامل ۶۰ آزمایش است.

نتایج برای ۶۰ آزمایش در بالادست و پایین دست سازه برداشت خواهد شد. پروفیل‌های طولی و عرضی با استفاده از متر لیزری برداشت خواهد شد و با استفاده از نرم افزارهای نظیر

جدول ۱. متغیرهای آزمایش

عرض سازه (L/B)	موقعیت	نوع سازه	(Fr)	کل آزمایش‌ها
۲	۳	۲	۵	۶۰

بررسی موقعیت سازه بر میزان آبستگي

با انجام آزمایشات، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل نتایج برداشت شد که در قالب نمودارهای در ادامه نشان داده می‌شود. در ادامه به بررسی تأثیر موقعیت سازه بر میزان آبستگي پرداخته شده است.

با توجه به نمودارهای شکل‌های ۷ و ۸ می‌توان به خوبی مشاهده کرد افزایش عدد فرود در هر دو سازه باعث افزایش آبستگي شده است. در هر دو سازه با افزایش موقعیت سازه در قوس، میزان آبستگي کاهش یافته است، به طوری که با نصب سازه w-weir در موقعیت ۹۰ درجه نسبت به موقعیت ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب شاهد ۳۷/۹ و ۱۹/۷ درصد کاهش آبستگي هستیم. همچنین با نصب سازه cross vane در موقعیت ۹۰ درجه نسبت به موقعیت ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب شاهد ۳۵/۴ و ۲۱/۲ درصد کاهش آبستگي هستیم. این مسئله که در زاویه نصب ۹۰ درجه فرسایش کمتری رخ داده است را می‌توان با توسعه و تکامل دو سلول چرخشی در نیمه دوم قوس توجیه کرد، زیرا در نیمه دوم قوس با جریانی توسعه یافته روبرو می‌باشیم. 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 تأیید می‌نماید.

بررسی عرض سازه بر میزان آبستگي

با انجام آزمایشات، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل نتایج برداشت شد که در قالب نمودارهای در ادامه نشان داده می‌شود. در ادامه به بررسی تأثیر عرض سازه بر میزان آبستگي پرداخته شده است.

با توجه به نمودارهای شکل‌های ۹ و ۱۰ می‌توان به خوبی مشاهده کرد افزایش عدد فرود در هر دو سازه باعث افزایش

در خط مرکزی، با حرکت دادن صفحه‌ای که متر لیزری روی آن نصب شده در طول فلوم، با فواصل طولی مشخص، ارتفاع متناظر با این نقاط را با استفاده از متر بر حسب میلی‌متر، مشخص شد. جهت به دست آوردن اختلاف ارتفاع نقاط، از فرمول زیر استفاده شد.

$$Z = -\left(\frac{Z_s}{10}\right) + \left(\frac{Z_0}{10}\right) \quad (3)$$

که در رابطه‌ی ۳، Z بیان‌گر ارتفاع سطح پروفیل آبستگي در یک نقطه‌ی خاص بر حسب سانتی‌متر، Z_0 نیز ارتفاع خوانده شده توسط متر لیزری بر حسب میلی‌متر پس از انجام آزمایش و Z_0 نیز برابر ارتفاع اولیه خوانده شده توسط متر لیزری قبل از انجام آزمایش بر حسب میلی‌متر است. مقادیر Z_0 اعداد مثبت بوده ولی Z می‌تواند مثبت و یا منفی باشد که اعداد مثبت به معنی بالا آمدگی و اعداد منفی به معنی فرورفتگی در سطح بستر است. به عنوان مثال مقدار Z برای دو مقدار قرائت شده ۷۲۵ و ۶۸۶ توسط متر لیزری را می‌توان با استفاده از رابطه بالا به شکل زیر محاسبه کرد.

$$Z = -\left(\frac{725}{10}\right) + \left(\frac{695}{10}\right) = -3(\text{Cm}) \quad (4)$$

$$Z = -\left(\frac{686}{10}\right) + \left(\frac{696}{10}\right) = 0.9(\text{Cm}) \quad (5)$$

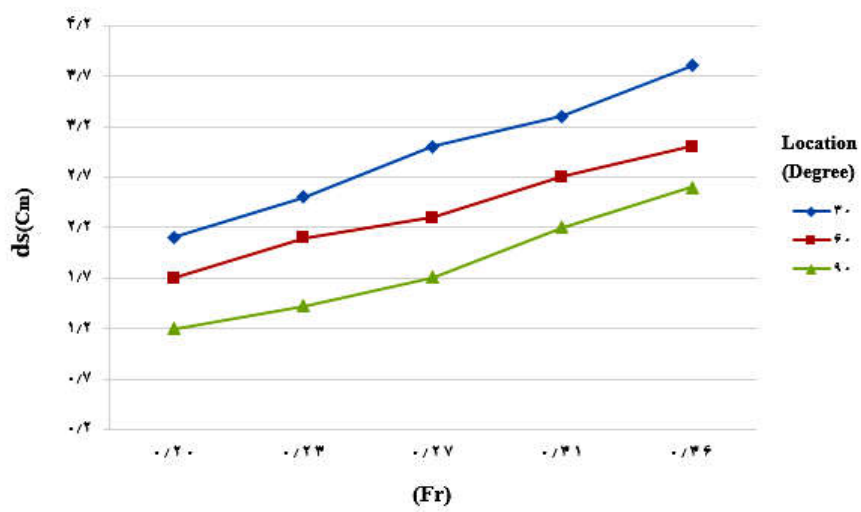
نتایج

نتایج در این تحقیق شامل ارزیابی عدد فرود، نوع سازه، موقعیت و عرض سازه بر میزان آبستگي است که به این ترتیب نتایج در ۴ بخش تقسیم می‌شوند:

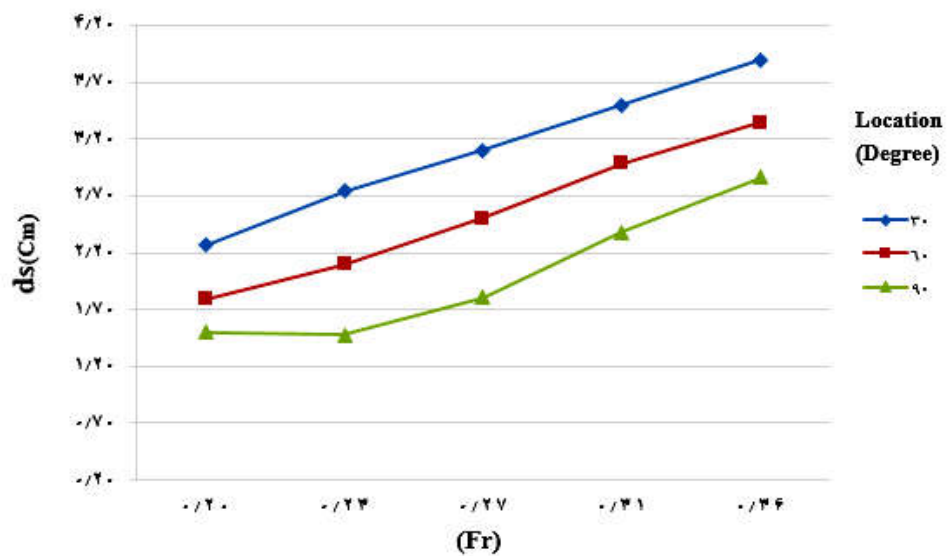
- اثر موقعیت سازه بر میزان آبستگي
- اثر عرض سازه بر میزان آبستگي
- اثر نوع سازه بر میزان آبستگي
- اثر تغییر دبی و سرعت جریان بر میزان آبستگي



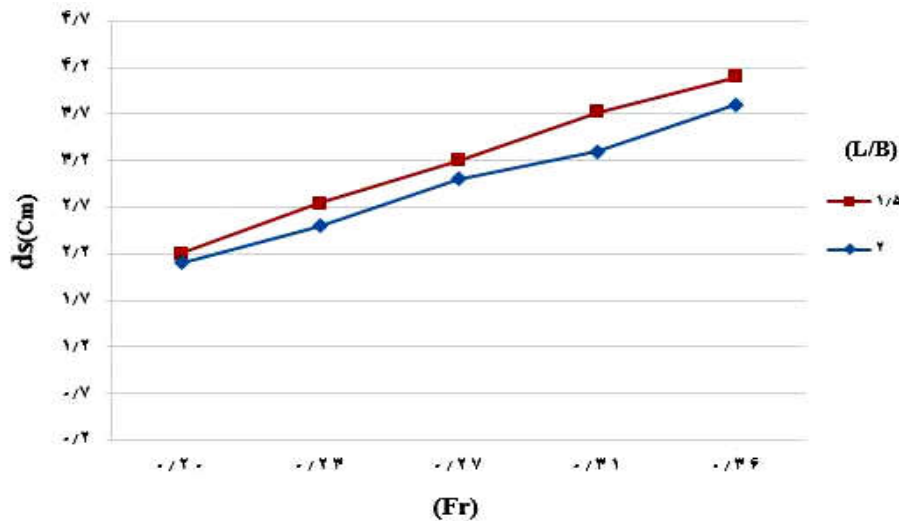
شکل ۶. تصاویری از آزمایش‌ها



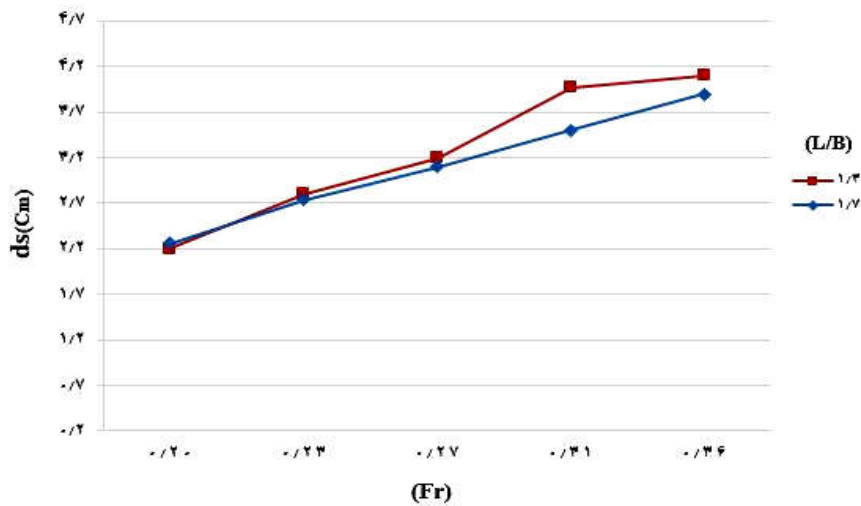
شکل ۷. نمودار تأثیر موقعیت سرریز w-weir در قوس بر میزان آبشستگی



شکل ۸. نمودار تأثیر موقعیت سرریز cross vane در قوس بر میزان آبشستگی



شکل ۹. نمودار تأثیر عرض سرریز w-weir شکل بر میزان آبستگي



شکل ۱۰. نمودار تأثیر عرض سرریز cross vane شکل بر میزان آبستگي

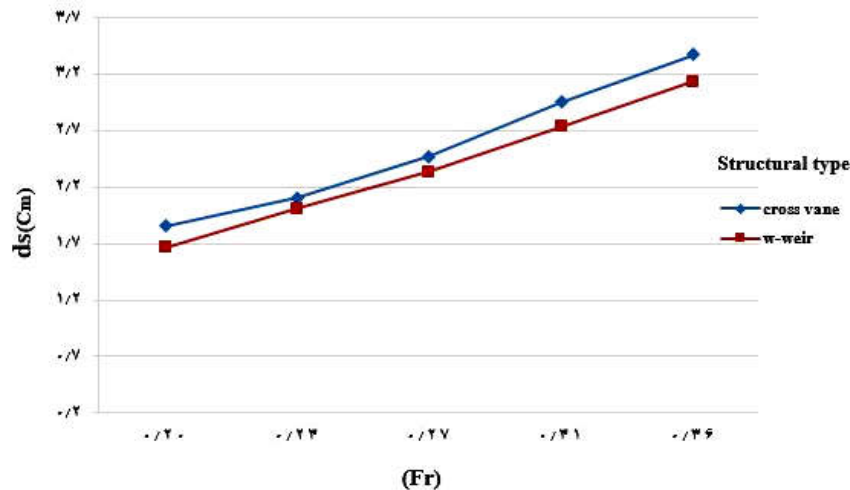
به نسبت آن فرسایش کاهش می‌یابد.

بررسی نوع سازه بر میزان آبستگي

با انجام آزمایشات، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل نتایج برداشت شد که در قالب نمودارهای در ادامه نشان داده می‌شود. در ادامه به بررسی تأثیر نوع سازه بر میزان آبستگي پرداخته شده است. (شکل ۱۱).

با توجه به نمودارهای شکل ۱۱ می‌توان به خوبی مشاهده کرد سازه w-weir آبستگي کمتری نسبت به سازه cross vane

آبستگي شده است. در هر دو سازه با افزایش عرض سازه، میزان آبستگي کاهش یافته است، به طوری که با افزایش عرض (نسبت عرض سازه به عرض فلوم) سازه w-weir از ۱/۵ به ۲ میزان آبستگي ۷/۹ درصد کاهش داشته است. همچنین با افزایش عرض (نسبت عرض سازه به عرض فلوم) سازه cross vane از ۱/۳ به ۱/۷ میزان آبستگي ۴/۷ درصد کاهش داشته است. این پدیده را می‌توان با افزایش عرض و کاهش عمق آب روی تاج سرریز توجیه کرد، زیرا با افزایش عرض سرریز به نسبت دبی که ثابت است، عمق آب روی سرریز کاهش می‌یابد و



شکل ۱۱. نمودار تأثیر نوع سازه بر میزان آبشستگی

مشاهده می‌شود در سازه w-weir 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 که چاله سمت قوس بیرونی تا دیواره کانال گسترش یافته است. در سازه cross vane در بالادست سازه در کنار نقطه تاج سرریز تغییراتی در توپوگرافی آبشستگی رخ داده است و در پایین دست در نزدیکی تاج فرسایشی متمرکز بوجود آمده است.

نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی توسعه آبشستگی در سازه های cross vane و w-weir جهت حفاظت سواحل پرداخته شد که در زیر خلاصه نتایج آن آمده است:

با نصب سازه w-weir در موقعیت ۹۰ درجه نسبت به موقعیت ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب شاهد ۳۷/۹ و ۱۹/۷ درصد کاهش آبشستگی هستیم. همچنین با نصب سازه cross vane در موقعیت ۹۰ درجه نسبت به موقعیت ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب شاهد ۳۵/۴ و ۲۱/۲ درصد کاهش آبشستگی هستیم. این مسئله که در زاویه نصب ۹۰ درجه فرسایش کمتری رخ داده است را می‌توان با توسعه و تکامل دو سلول چرخشی در نیمه دوم قوس توجیه کرد، زیرا در نیمه دوم قوس با جریانی توسعه یافته روبرو می‌باشیم. بعلاوه با پایان یافت قوس در زاویه ۹۰ درجه انتظار

داشته است. این پدیده را می‌توان به دلیل عرض بیشتر سازه w-weir نسبت به سازه cross vane دانست. زیرا با افزایش عرض سرریز به نسبت دبی که ثابت است، عمق آب روی سرریز کاهش می‌یابد و به نسبت آن فرسایش کاهش می‌یابد. سازه w-weir به طور متوسط ۷/۳ درصد آبشستگی کمتری نسبت به سازه cross vane داشته است.

بررسی اثر تغییر دبی و سرعت جریان بر میزان آبشستگی

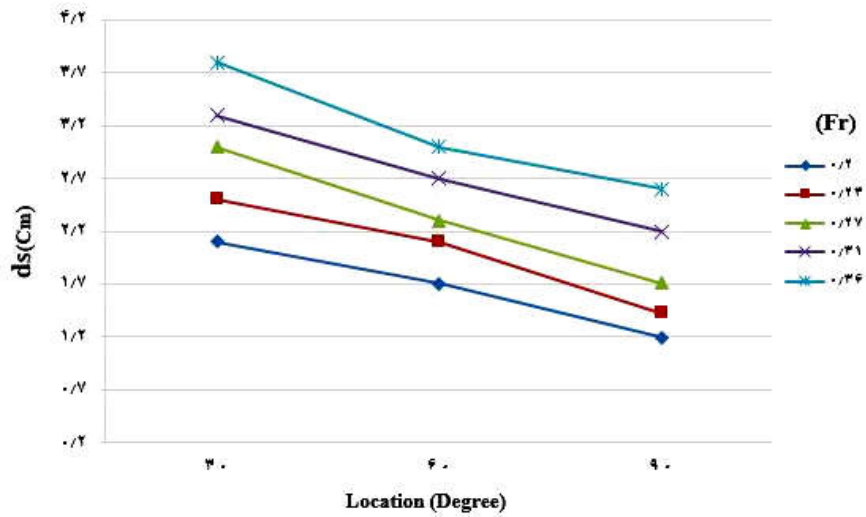
در این بخش به بررسی تغییر دبی و سرعت جریان بر میزان آبشستگی پرداخته شده است.

با توجه به نمودارهای شکل ۱۲ و ۱۳ می‌توان به خوبی مشاهده کرد با نصب سازه W-Weir با افزایش عدد فرود از ۰/۲ به ۰/۳۶ به طور متوسط باعث افزایش آبشستگی به میزان ۸۸/۱ درصد و با نصب سازه Cross Vane با افزایش عدد فرود از ۰/۲ به ۰/۳۶ به طور متوسط باعث افزایش آبشستگی به میزان ۸۲/۰ درصد شده است.

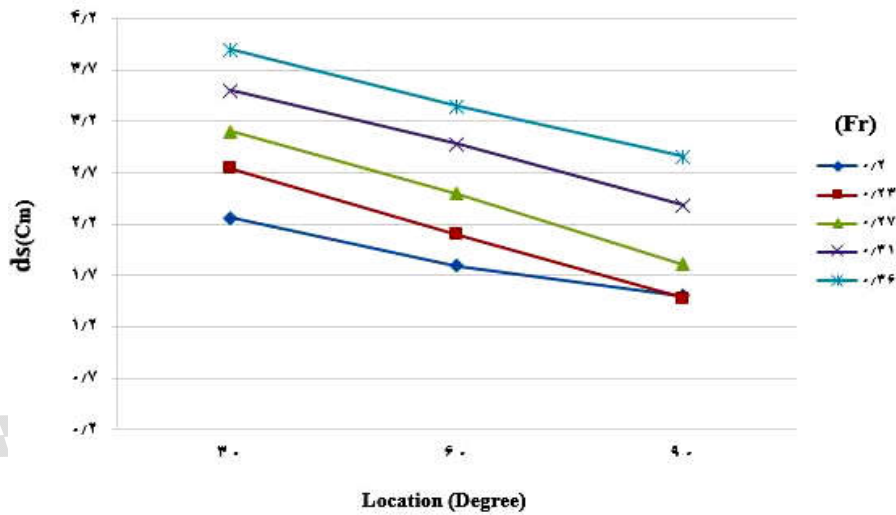
بررسی پروفیل عرضی

در این بخش پروفیل عرضی آبشستگی برای دو سازه w-weir و cross vane پرداخته شده است.

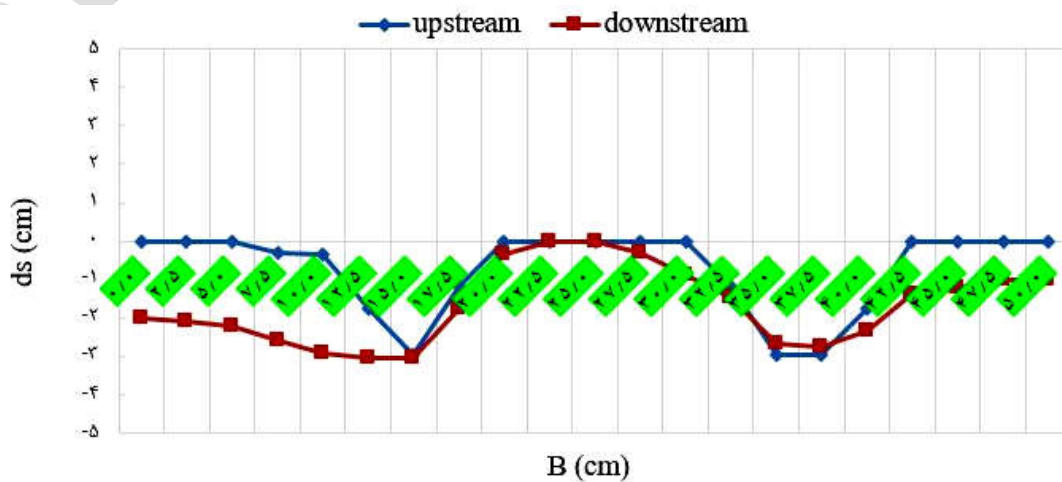
با توجه به نمودار پروفیل عرضی آبشستگی در شکل ۱۴ تا ۱۹



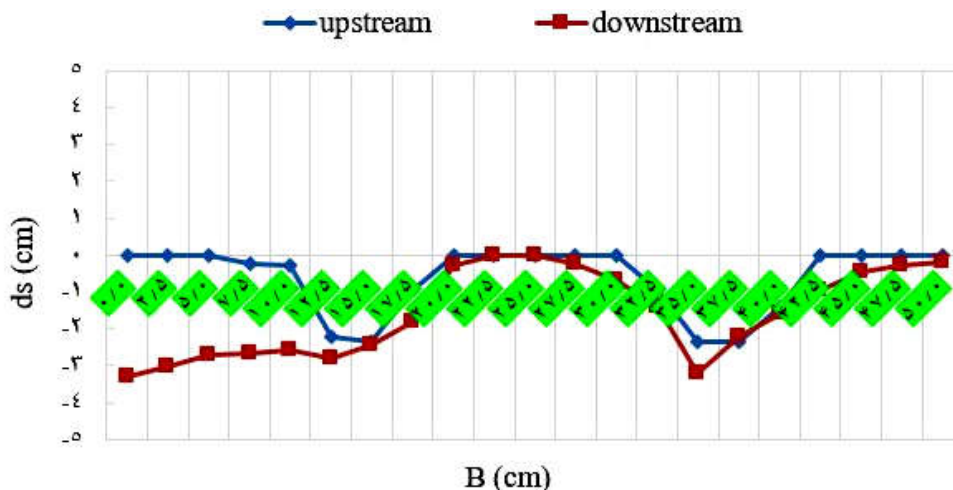
شکل ۱۲. نمودار تأثیر دبی بر میزان آبستگي در سرریز w-weir



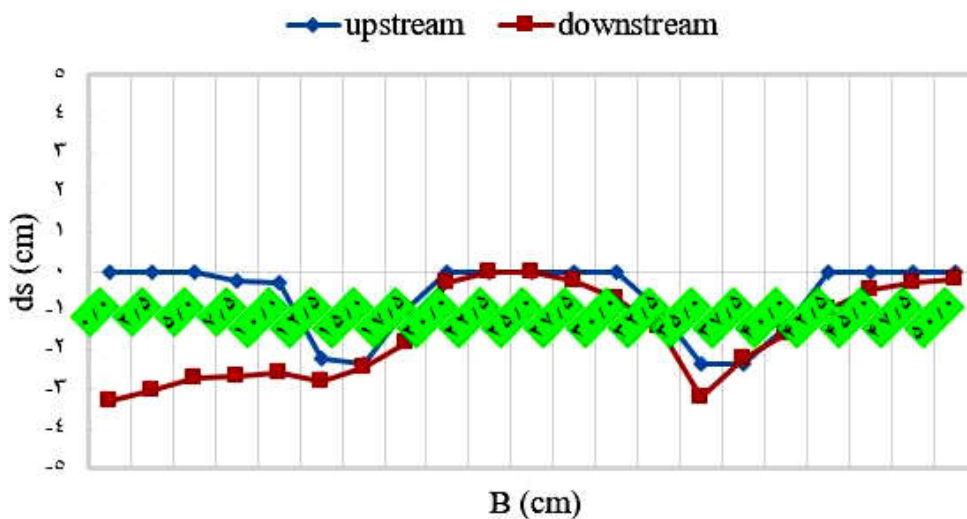
شکل ۱۳. نمودار تأثیر دبی بر میزان آبستگي در سرریز cross vane



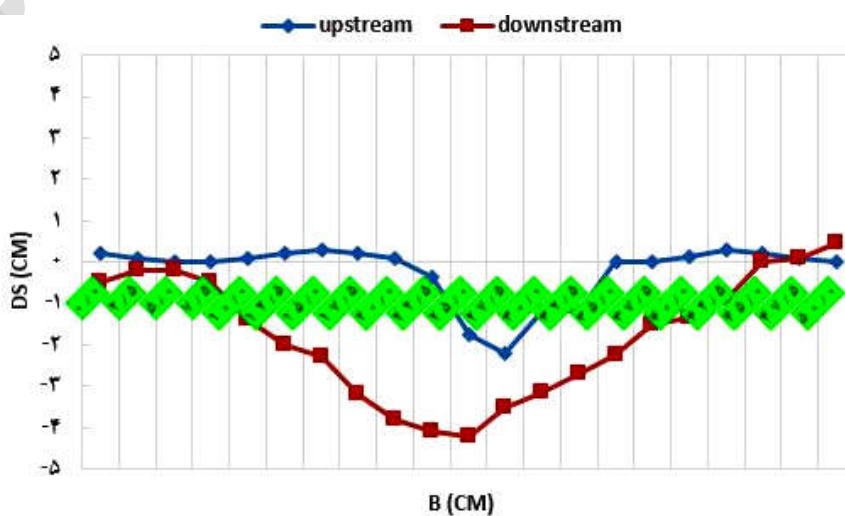
شکل ۱۴. نمودار پروفیل عرضی آبستگي در سازه w-weir در موقعیت ۳۰ درجه



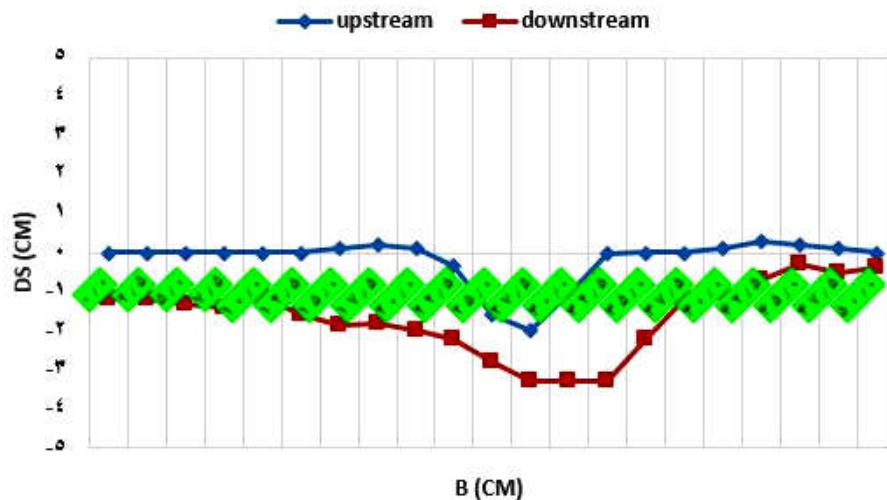
شکل ۱۵. نمودار پروفیل عرضی آبستنگی در سازه w-weir در موقعیت ۶۰ درجه



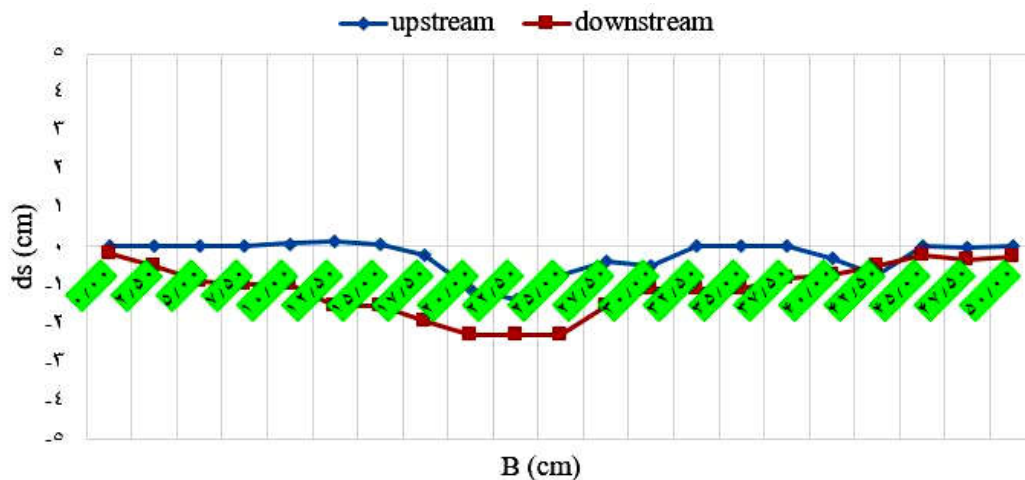
شکل ۱۶. نمودار پروفیل عرضی آبستنگی در سازه w-weir در موقعیت ۹۰ درجه



شکل ۱۷. نمودار پروفیل عرضی آبستنگی در سازه cross vane در موقعیت ۳۰ درجه



شکل ۱۸. نمودار پروفیل عرضی آبشستگی در سازه cross vane در موقعیت ۶۰ درجه



شکل ۱۹. نمودار پروفیل عرضی آبشستگی در سازه cross vane در موقعیت ۹۰ درجه

سازه w-weir آبشستگی کمتری نسبت به سازه cross vane داشته است. این پدیده را می توان به دلیل عرض بیشتر سازه w-weir نسبت به سازه cross vane دانست. زیرا با افزایش عرض سرریز به نسبت دبی که ثابت است، عمق آب روی سرریز کاهش می یابد و به نسبت آن فرسایش کاهش می یابد. سازه w-weir به طور متوسط ۷/۳ درصد آبشستگی کمتری نسبت به سازه cross vane داشته است. با نصب سازه W-Weir با افزایش عدد فرود از ۰/۲ به ۰/۳۶ به طور متوسط باعث افزایش آبشستگی به میزان ۸۷/۱ درصد و با نصب سازه Cross Vane با افزایش عدد فرود از ۰/۲ به ۰/۳۶ به طور متوسط باعث افزایش آبشستگی به میزان ۸۲/۰ درصد شده است.

می رود که از قدرت چرخشی جریان کاسته شود، که کم شدن میزان فرسایش این مسئله را تأیید می نماید.

با افزایش عرض (L/B) (نسبت عرض سازه به عرض فلوم) سازه w-weir از ۱/۵ به ۲ میزان آبشستگی ۷/۹ درصد کاهش داشته است. همچنین با افزایش عرض (L/B) (نسبت عرض سازه به عرض فلوم) سازه cross vane از ۱/۳ به ۱/۷ میزان آبشستگی ۴/۷ درصد کاهش داشته است. این پدیده را می توان با افزایش عرض و کاهش عمق آب روی تاج سرریز توجیه کرد، زیرا با افزایش عرض سرریز به نسبت دبی که ثابت است، عمق آب روی سرریز کاهش می یابد و به نسبت آن فرسایش کاهش می یابد.

منابع مورد استفاده

1. Azimi A. H, Shabanlou S, Yosefvand F, Rajabi A and Yaghoubi B. Simulation of Scour Pattern Around Cross-Vane Structures Using Outlier Robust Extreme Learning Machine, *Journal of Water and Soil Science*. 2022; 12(46):299-312.
2. Dongol, D. M. S. Local Scour at Bridge Abutments. Auckland, New Zealand: School of Engineering, The University of Auckland; 1994. Report No.: 544.
3. Guan, D., Melville B., Friedrich H. 2014. Flow patterns and turbulence structures in a scour hole downstream of a submerged weir.” *Journal of Hydraulic Engineering*:68–76.
4. Guan, D., Melville B. W., Friedrich H. 2015. Live-bed scour at submerged weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*.
5. Izadnia, E., Manouchehr Heidarpour, Abdolreza Kabiri Samani, Investigating the flow pattern on side spillways with circular crest, *Journal of Water and Soil Science*. 2022; 25(4):815-826.
6. Jalili, A. 2013. Investigation of the effect of netted vollar on local scouring around the bridge piers. M.Sc, Shahid Chamran University; Ahwaz, Iran.
7. Jamieson, E. C., Rennie C. D., Townsend R. D. 2013a. 3D flow and sediment dynamics in a laboratory channel bend with and without stream barbs. *Journal of Hydraulic Engineering*:154–66.
8. Jamieson, E. C., Rennie C. D., Townsend R. D. 2013b. Turbulence and vorticity in a laboratory channel bend at equilibrium clear-water scour with and without stream barbs. *Journal of Hydraulic Engineering*:259–68.
9. Pagliara, S., Kurdistani S. M., Santucci I. 2013a. Scour Downstream of J-Hook Vane Structures in Straight Horizontal Channels. *Acta Geophysica* 61:1211–28.
10. Pagliara, S., Kurdistani S. M. 2015. Clear water scour at J-Hook Vanes in channel bends for stream restorations. *Ecological Engineering* 83:386–93.
11. Pagliara, S., Kurdistani S. M. 2014a. Scour characteristics down-stream of grade-control structures. London: River Flow Group, 2014a, Taylor & Francis.
12. Pagliara, S., Kurdistani S. M., Cammarata L. 2014. Scour of clear water rock W-weirs in straight rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*.
13. Raudkivi, A. J. 1988. The roughness height under waves. *Journal of Hydraulic Research, IAHR* 26:569-84.