

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر فاصله نصب آبشکن‌های نفوذپذیر با المان‌های شش پایه بر تغییرات الگوی رسوبی بستر

ابراهیم نجاران<sup>۱</sup>، امیرعباس کمان بدست<sup>۲\*</sup>، محمود شفاعی بجستان<sup>۳</sup>، علیرضا مسجدی<sup>۲</sup>، هوشنگ حسونی زاده<sup>۴</sup>

۱) گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲) گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳) دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴) کمیته تحقیقات، سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران

\* نویسنده مسئول: ایمیل: Kamanbedast@iauhvaz.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۲

### چکیده:

آبشکن‌های نفوذپذیر سازه‌هایی هستند که با انحراف جریان فرساینده از قوس بیرونی رودخانه بطرف مرکز آن، فرسایش ساحل بیرونی رودخانه را مهار می‌کنند. در این مطالعه به بررسی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در اطراف سازه آبشکن در شرایط نصب فاصله متفاوت آبشکن‌ها از یکدیگر پرداخته شده است. برای سازه آبشکن از المان‌های بتنی شش پایه استفاده شده که با قرار گرفتن روی هم یک سازه نفوذپذیر را تشکیل داده و بدون خشکاندن بستر رودخانه قابل اجرا می‌باشند. در این راستا چگونگی عملکرد این سازه‌ها نیازمند بررسی می‌باشد. با این مفهوم در تحقیق حاضر عملکرد این سازه در کانال آزمایشگاهی با عرض ۶۰ سانتیمتر و قوس ۱۸۰ درجه ملایم و تحت شرایط هیدرولیکی مختلف ( $Fr=0.227, 0.244, 0.261, 0.278$ ) انجام شد. داده‌های موردنیاز آزمایش در فواصل مختلف بین بلوک‌ها شامل ۶۰، ۷۲، ۸۴ و ۹۶ سانتیمتر با طول مؤثر ۱۲ سانتیمتر معادل ۲۰ درصد عرض فوم اندازه‌گیری شد. آزمایش شاهد در شرایط مشابه سایر سناریوها بدون نصب صفحات انجام گردید. مقایسه نتایج آزمایش‌های شاهد و اصلی نشان داد که نصب صفحات مستطیلی نفوذپذیر با فاصله پنج برابر طول مؤثر بهترین راندمان را در کاهش حداکثر عمق آبستنی در دیواره خارجی داشته بطوریکه نسبت به آزمایش‌های شاهد به میزان ۷۰/۱ و ۵۷/۹ درصد به ترتیب در اعداد فرود ۰/۲۲۷ و ۰/۲۶۱ کاهش داشته است.

**کلید واژه‌ها:** مدیریت رسوب؛ فرسایش؛ المان بتنی شش پایه؛ مهندسی رودخانه؛ هیدرولیک

### مقدمه

می‌شود. آبشکن‌ها باید به صورت متوالی با فاصله مشخصی و در تمام طول قوس و هم‌تراز با ساحل احداث گردند. پس از آن خط حداکثر سرعت طولی از محل ساحل خارجی به انتهای آبشکن منتقل و محل تشکیل چاله که قبلاً اطراف ساحل خارجی بود به جلوی آبشکن‌ها منتقل می‌گردد. همچنین بین آبشکن‌ها الگوی جریان گردابی

آبشکن از گذشته به عنوان یکی از روش‌های مورد استفاده برای کنترل جابجایی خم رودخانه‌ها مورد توجه بوده است. آبشکن سازه‌ای است که معمولاً از مصالح بستر رودخانه و با طولی معادل ۲۰ تا ۳۰ درصد عرض رودخانه عمود بر ساحل خارجی رودخانه احداث

عددی با اندازه‌گیری سرعت و تغییر دادن موقعیت آبشکن‌ها به تأثیر آن بر روی میدان جریان اطراف آبشکن بسته در کانال قوسی پرداختند. در مطالعه مشابه نیز تأثیر موقعیت استقرار آبشکن‌های مستقیم در قوس ۹۰ درجه مورد بررسی قرار گرفته است (Fazli et al., 2008). Forghani و همکاران (۲۰۰۷) به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان و آب شستگی پیرامون آبشکن‌های مستقیم و مستقر در قوس ۹۰ درجه اقدام نمودند. مطالعات گذشته بیانگر فقدان تحقیقات کافی در مورد آبشکن‌های مستقر در قوس است. در مورد آبشکن‌های T شکل مستقر در قوس نیز در تحقیقات گسترده‌ای توسط Ghodsian و همکاران (۲۰۰۸) و واقفی و همکاران (۲۰۰۹ و ۱۳۸۸) در مورد الگوی آب شستگی و الگوی جریان اطراف آبشکن T شکل منفرد مستقر در قوس ۹۰ درجه انجام گرفته است.

استفاده از نوعی آبشکن مستغرق که با زاویه به طرف جریان و شیب عرضی از ساحل به سمت میانه رودخانه (موسوم به سرریزهای مستغرق) احداث می‌شوند نیز در کاهش عمق آبشستگی چاله اطراف دماغه بسیار مؤثر تشخیص داده شده ولی این سازه‌ها به دلیل استفاده از مصالح سنگی درشت برای رودخانه‌های عمیق اقتصادی نیستند (جراح زاده و شفافی بجنستان، ۱۳۹۱). استفاده از صفحات مثلثی متصل به ساحل نیز نوعی دیگر از آبشکن است که توسط بهرامی یاراحمدی و شفافی بجنستان (۱۳۹۳) در قوس ۹۰ درجه بررسی شده است. نتایج نشان داده است که استفاده از این صفحات میزان عمق چاله آبشستگی اطراف دماغه تا ۵۱ درصد کاهش می‌یابد. صفحات مثلثی سازه‌هایی هستند از مصالح سنگی که ارتفاع آن در مجاورت ساحل برابر عمق آب در دبی سیل طرح (معمولاً دبی با دوره بازگشت دوساله) و در بستر رودخانه هم‌تراز بستر می‌باشد. طول مؤثر آن بیست درصد عرض رودخانه و با زاویه ۳۰ درجه نسبت به جریان احداث می‌شود (بهرامی یاراحمدی ۱۳۹۳). در تحقیق

شکل می‌گیرد که به تدریج با نهشته شدن رسوب در این محدوده‌ها ساحل خارجی بازسازی و تثبیت می‌گردد. آبشکن‌ها را به اشکال مختلفی با توجه به شرایط خاص قوس و جریان ممکن است احداث کنند. مشکل اصلی این سازه توسعه چاله آبشستگی در اطراف دماغه آبشکن است که منجر به تخریب خود سازه می‌گردد (شفافی بجنستان، ۱۳۸۸؛ Yan et al., 2012؛ Masjedi et al., 2011؛ Najiabhari et al., 2010).

احداث این سازه در رودخانه‌های مانداری عمیق همچون کارون در اهواز نیز به دلیل خشکاندن اطراف ساحل برای ساخت آبشکن‌ها و ابعاد بسیار بزرگ آن‌ها بسیار پرهزینه و زمان‌بر است. از این رو در گذشته مطالعات گسترده‌ای به منظور معرفی نوعی از آبشکن که آبشستگی دماغه آن کاهش داشته باشد و نیز استفاده از مصالحی که بتوان بدون نیاز به خشکاندن محیط اجرا نمود، انجام شده است (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ کلامی زاده، ۱۳۸۸؛ شاکر ۱۳۹۲؛ شهابی و کاشفی پور، ۱۳۹۵؛ Van den Heever, 2013).

در مورد قوس‌ها و کاربرد آبشکن‌ها در محل قوس، تحقیقات زیادی انجام نگرفته است و در مطالعات گذشته نیز توپوگرافی پایین دست قوس، کم‌تر مدنظر محققان بوده است. اولین تحقیق در مورد به‌کارگیری آبشکن در قوس، توسط Ahmad (۱۹۵۱ و ۱۹۵۳) انجام گرفت. وی با تغییر پارامترهای دبی جریان، نسبت انقباض، شکل آبشکن، موقعیت استقرار در قوس، زاویه‌ی آبشکن با جریان و دانه‌بندی رسوبات در کانال مستقیم و قوسی، به بررسی عمق آب شستگی ماکزیمم پرداخت. Mesbahi (۱۹۹۲) آزمایش‌های خود با آبشکن در قوس را به‌گونه‌ای تنظیم نمود که عرض جریان در جلوی آبشکن، نسبت به حالت بدون آبشکن تغییری ننماید و نتیجه گرفت که احداث آبشکن در قوس‌ها، عمق چاله‌ی آب شستگی را عمیق‌تر می‌کند.

Shimizu و Giri (۲۰۰۴) به‌صورت آزمایشگاهی و

دریاها به عنوان موج شکن، و تا حدودی به حفاظت تکیه گاه پل (Zolghadr *et al.*, 2016) و اطراف پایه پل (هوشمند و شفافی بجستان، ۱۳۹۵) پرداخته شده است. آبشکن ساخته شده از این نوع المان ها نفوذپذیر بوده و میزان نفوذپذیری آن به نوع چیدمان آن ها بستگی دارد و در نتیجه بخشی از جریان از لابلائی المان ها حرکت کرده و در نتیجه الگوی جریان اطراف آن تغییر می کند. از این رو هدف این تحقیق بررسی آزمایشگاهی تأثیر فاصله قرارگیری سازه آبشکن ساخته شده از المان های شش پایه بر تغییرات الگوی فرسایش در بستر رودخانه می باشد.

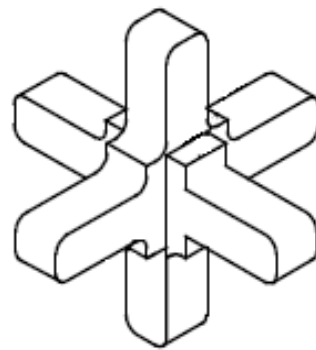
### مواد و روش ها تحلیل ابعادی

به منظور برنامه ریزی آزمایش ها و نیز تحلیل نتایج در این قسمت پارامترهای بدون بعد مؤثر استخراج و رابطه کلی ارائه می گردد. متغیرهای مهم در آبشستگی پیرامون صفحات مستطیلی (آبشکن) نفوذپذیر متصل به ساحل عبارتند از: متغیرهای هندسی نظیر عرض فلوم (B)، شعاع قوس (R)، شیب طولی فلوم (SO)، زاویه مرکزی قوس (δ). مشخصات هندسی صفحات شامل طول مؤثر صفحات (L)، زاویه قرارگیری صفحات نسبت به ساحل بالادست (θ)، فاصله بین صفحات (D)، ارتفاع صفحات (h). شرایط هیدرولیکی جریان شامل سرعت متوسط جریان در بالادست قوس (U)، عمق جریان (y) و شتاب ثقل (g). همچنین خصوصیات مربوط به رسوب نظیر قطر متوسط رسوبی (d<sub>50</sub>)، جرم واحد حجم ذرات رسوبی (ρ<sub>s</sub>)، بیشینه عمق آبشستگی در اطراف دماغه (ds)، و خصوصیات مربوط به سیال شامل جرم مخصوص (ρ) و ویسکوزیته دینامیکی (μ). بنابراین در مسئله مورد نظر رابطه کلی زیر را می توان نوشت:

$$f(S_0, B, R, \delta, L, \theta, D, h, U, Y, g, d_{50}, \rho_s, d_s, \rho, \mu) = 0 \quad (1)$$

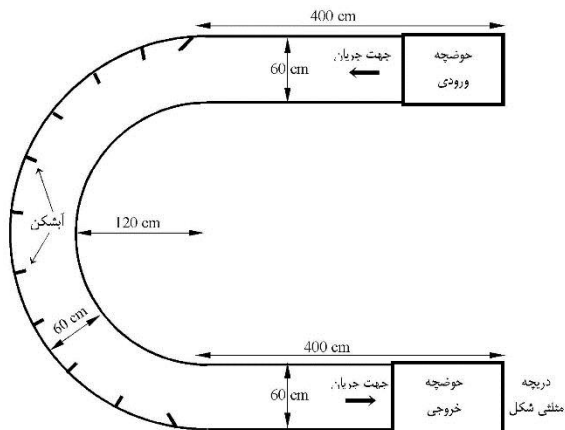
با در نظر گرفتن شرایط این تحقیق که در آن تنها

حاضر با هدف استفاده از مصالح جدید به نام المان های شش پایه تلاش شده است تا عملکرد آبشکن مستطیلی ساخته شده از این المان ها بررسی شود. این المان ها در مناطقی که تهیه قطعات سنگی مورد نیاز برای احداث آبشکن پرهزینه باشد می تواند مورد استفاده قرار گیرد. هر یک از این المان ها که در شکل ۱ نشان داده شده است از دو قطعه بتن T شکل که در وسط به هم متصل هستند تشکیل شده که در نتیجه دارای شش پایه می باشد.



شکل ۱. نمای از المان شش پایه

این المان ها به عنوان یک روش پوششی بستر و به منظور کنترل فرسایش پنجه ساحل رودخانه ها نیز توصیه شده اند (Thornton *et al.*, 2001). همچنین تأثیر تخلخل مصالح آنها بر میزان آبشستگی در آبشکن های نفوذپذیر توسط (بروجردی و کمان بدست ۱۳۹۸) انجام شده است. این المان ها یا به صورت درهم و یا به صورت یکنواخت کنار هم قرار می گیرند و از شش جهت با المان های کناری خود قفل می شوند در نتیجه به صورت یکپارچه عمل می کنند. المان های شش پایه با جلوگیری از ایجاد چاله فرسایشی گرداب اصلی را حذف یا تضعیف می نمایند. این المان ها ضمن ایجاد پوشش و افزایش ضریب مانینگ تا حدود ۰/۱ امکان رشد پوشش گیاهی در بینابین پایه ها و کمک به حفظ طبیعی ساحل رودخانه نیز می شوند. در مورد المان های شش پایه مطالعات اندکی از دیدگاه سازه ای و هیدرولیکی انجام شده که مطالعات هیدرولیکی عموماً به کاربرد آن ها در حفاظت سواحل



شکل ۳. مشخصات و اجزای فلوم آزمایشگاهی

طول مسیر مستقیم ابتدائی به اندازه کافی طولانی می‌باشد که جریان کاملاً آشفته در قوس که محل اصلی آزمایش‌ها است برقرار باشد. همچنین طول مسیر مستقیم انتهائی نیز به اندازه کافی طولانی انتخاب گردید که الگوی جریان در قوس تحت تأثیر قرار نگیرد. فلوم موردنظر دارای قوس ۱۸۰ درجه با عمق و عرض ۶۰ سانتی‌متر و نسبت شعاع به عرض معادل ۳ می‌باشد. در انتهای فلوم برای کنترل سطح آب درون فلوم از سرریز که تراز لبه آن به وسیله قطعات نازک چوبی در حد موردنظر تنظیم می‌شود استفاده شد. برای اندازه‌گیری دبی از سرریز مثلثی لبه تیز با زاویه رأس ۹۰ درجه در انتهای فلوم استفاده گردید. جهت قرائت ارتفاع آب عبوری از سرریز، از مانومتری که بالادست سرریز مثلثی و به فاصله  $(4H_{max})$  قرار گرفته بود، استفاده شد.  $H_{max}$ ، بیشترین ارتفاع آب طراحی روی سرریز می‌باشد. علاوه بر این دبی‌سنج التراسونیک نیز در لوله ورودی به فلوم بعد از شیر نصب شده بود تا میزان دبی با دقت یک‌دهم لیتر بر ثانیه قرائت شود.

بستر فلوم به عمق ۱۵ سانتی‌متر مصالح رسوبی ماسه با قطر متوسط  $d_{50} = 0.73 \text{ mm}$  قرار گرفت. نمودار دانه‌بندی رسوبات در شکل ۴ نشان داده شده است. رسوبات دارای انحراف معیار استاندارد  $\sigma g = \sqrt{d_{84}/d_{16}} = 1.2$  و ضریب یکنواختی  $C_u = D_{60}/D_{10} = 1.254$  می‌باشد که

شرایط جریان، فاصله بین صفحات متغیر بوده است و صرف‌نظر کردن از متغیرهای ثابت به استثناء خصوصیات سیال و شتاب ثقل و نیز بکار بردن نظریه  $\pi$  باکینگهام با تعیین سه متغیر عمق جریان ( $y$ )، سرعت جریان ( $U$ ) و جرم مخصوص سیال ( $\rho$ ) به عنوان عامل‌های تکراری انتخاب شوند، رابطه کلی زیر حاصل خواهد شد:

$$\frac{d_s}{Y} = f\left(\frac{D}{L}, \frac{L}{Y}, Fr, Re\right) = 0 \quad (2)$$

که  $Fr$  عدد فرود جریان است. همچنین با در نظر گرفتن اینکه حداقل مقدار رینولدز در این مطالعه برابر ۱۶۸۰۰ بوده است از تأثیر عدد رینولدز نیز صرف‌نظر می‌گردد و در نتیجه معادله کلی به شرح زیر است:

$$\frac{d_s}{Y} = f\left(\frac{D}{L}, Fr\right) = 0 \quad (3)$$

### ساختار آزمایش

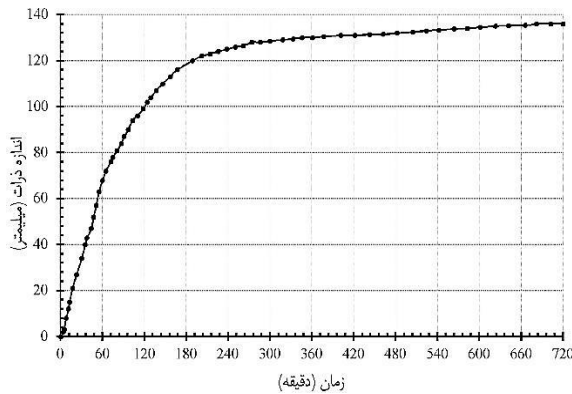
تجهیزات آزمایشگاهی که در این تحقیق به کار رفته است شامل حوضچه مکش، ایستگاه پمپاژ، مخزن آرام‌کننده ابتدای فلوم، مسیر مستقیم قبل از قوس (۴ متر)، قوس ۱۸۰ درجه، مسیر مستقیم انتهائی قوس (۴ متر)، دریچه انتهائی فلوم و سرریز مثلثی شکل هستند. در شکل ۲ نمای کلی از فلوم آزمایشگاهی و شکل ۳ اجزای فلوم را نشان می‌دهد.



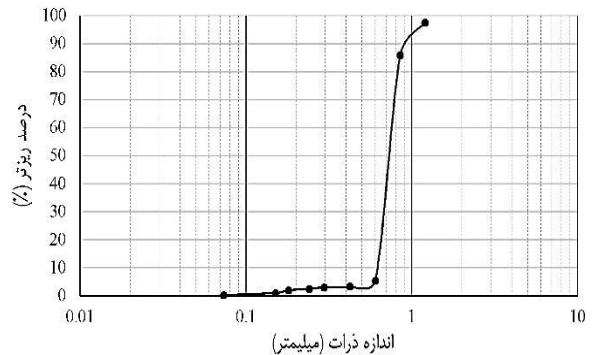
شکل ۲. نمای کلی فلوم آزمایشگاهی

در زمره مصالح یکنواخت قرار می گیرد.

زمان به تدریج کم می شود و به دلیل وقوع بخش عمده آبشستگی در بازه ۳ ساعت اولیه آزمایش، این زمان به عنوان زمان تعادل در نظر گرفته شد.



شکل ۵. نمودار توسعه زمان آبشستگی برای آزمایش شاهد در عدد فرود ۰/۲۶۱



شکل ۴. منحنی دانه بندی ذرات رسوبی

مقدار سرعت برشی بحرانی از رابطه Melville (۱۹۹۷)

$$U_{*C} = 0.0115 + 0.0125d_{50}^{1.4} \Rightarrow 0.1mm < d_{50} < 1mm \quad (۴)$$

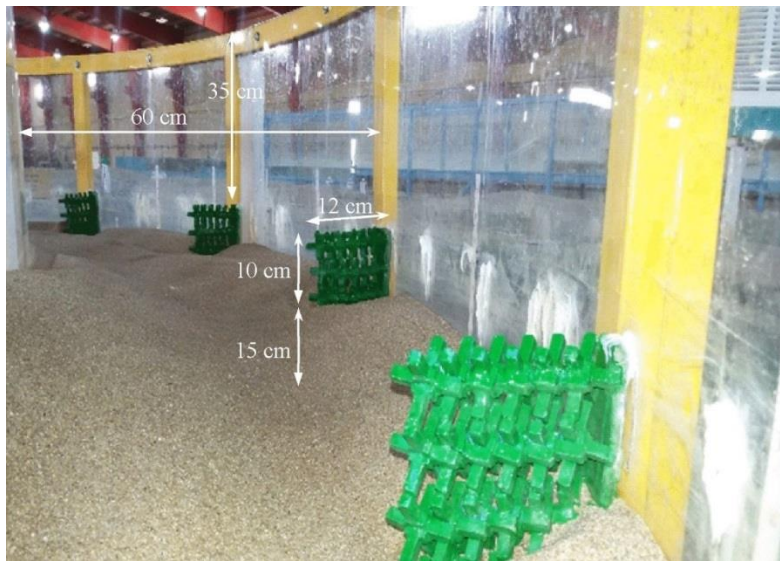
و برای محاسبه سرعت بحرانی از رابطه توزیع لگاریتمی سرعت استفاده شده است:

$$\frac{V_C}{U_{*C}} = 5.75 \log(5.53 \frac{y}{d_{50}}) \quad (۵)$$

از معادله (۴) مقدار سرعت برشی بحرانی برابر با ۰/۱۹۵ متر بر ثانیه به دست آمده و با استفاده از معادله (۵) سرعت بحرانی برابر با ۰/۳۲ متر بر ثانیه محاسبه گردید. مشاهدات آزمایشگاهی در دامنه ای از عمق ها و سرعت های مختلف نشان داد که سرعت جریان آستانه حرکت معادل با ۰/۲۸ متر بر ثانیه به دست آمد که این مقدار به عنوان مبنای سرعت بحرانی در نظر گرفته شد.

جهت تعیین مدت زمان انجام آزمایش معیار Ettema (۱۹۸۰) در نظر گرفته شد، که عبارت است از مدت زمانی که تغییرات در عمق آبشستگی در یک بازه زمانی ۴ ساعته کمتر از یک میلی متر باشد. در شکل ۵ نمودار توسعه زمانی برای آزمایش شاهد با عدد فرود ۰/۲۶۱ آورده شده است. با توجه به نمودار شکل ۵ مشاهده می شود که تغییرات عمق آبشستگی در ابتدا زیاد بوده ولی با گذشت

صفحات مستطیلی نفوذپذیر در این تحقیق از المان های شش پایه که از جنس بتن با ضخامت ۶ میلی متر ساخته شده اند استفاده گردید. المان های شش پایه ها از طریق پایه ها به هم متصل شدند تا تشکیل یک صفحه مستطیلی شکل با نفوذپذیری ثابت برابر با ۱۲ درصد را دهند. ضخامت صفحات مستطیلی نفوذپذیر برابر ابعاد المان ها یعنی ۴ سانتی متر و طول مؤثر (طول عمود بر ساحل،  $L$ ) صفحات مستطیلی نفوذپذیر ثابت برابر بیست درصد عرض فلوم یعنی ۱۲ سانتی متر می باشد. این صفحات نسبت به ساحل بالادست با زاویه ۶۰ درجه قرار دارند. ارتفاع صفحات (بالای تراز بستر) برابر ۱۰ سانتی متر (برابر عمق جریان) و ارتفاع کلی صفحات برابر ۲۵ سانتی متر بود که ۱۵ سانتی متر از این ارتفاع درون رسوبات قرار داده شده است تا صفحه در تمام مدت آزمایش ها پایدار بماند. شکل ۶ نمایی کلی از صفحات مستطیلی (آبشکن) نفوذپذیر را که با استفاده از المان های شش پایه و از جنس بتن ساخته شده اند نمایش می دهد.



شکل ۶. نمایی از صفحات مستطیلی (آبشکن) نفوذپذیر متصل به ساحل

### روش انجام آزمایش

برای هر آزمایش ابتدا سطح مصالح رسوبی بستر کاملاً تسطیح شده و توسط ترازیاب لیزری کنترل گردید. در آزمایش‌های اصلی صفحات در فواصل از پیش تعیین شده در محل‌های خود قرار گرفته و سطح بستر تراز شد. سپس با بستن دریچه پائین دست به آهستگی آب وارد فلوم شده تا سطح آب به اندازه صفحات نصب شده صعود کند. بعد ثابت شدن آب درون مخزن جریان ورودی به فلوم برقرار شده و هم‌زمان دریچه کشویی پایین دست به آرامی باز می‌گردد به طوریکه سرعت حرکت جریان عبوری روی سطح رسوب با سرعت حرکت آب درون رسوب برابر باشد. آنگاه با باز نمودن هم‌زمان شیر کشویی و برداشتن تعداد مشخصی از سرریزها چوبی دبی جریان و عمق جریان مورد نظر حاصل می‌شود. بعد از تثبیت ارتفاع آب در مانومتر (که وظیفه نمایش ارتفاع آب بر روی سرریز مثلی را دارد) و اطمینان از اعمال دبی مورد نظر، ارتفاع سرریز چوبی را با برداشتن تعداد مشخصی از چوب‌های سرریز کم کرده تا عمق آب روی رسوبات به آرامی کاهش یابد، این موضوع برای جلوگیری از افت سریع آب و وقوع فرسایش ناگهانی و همچنین خطا در آزمایش انجام می‌گردد. با ادامه یافتن این روند، ارتفاع جریان را به ۱۰

سانتی‌متری از سطح رسوب رسانده که بر اساس ابعاد فلوم آزمایشگاهی شرایط جریان ورودی ( $Fr = 0.227, 0.244, 0.261, 0.278$ ) حاصل می‌گردد. باید توجه داشت که در طی زمان انجام آزمایش (۱۸۰ دقیقه) عمق جریان روی رسوبات باید ثابت باشد. پس از اتمام زمان ۱۸۰ دقیقه آزمایش با استفاده از شیر کشویی ورودی و سرریز چوبی که در انتهای مسیر مستقیم خروجی تعبیه شده است سطح آب را به آرامی کاهش داده و از فرسایش بعد از زمان آزمایش جلوگیری می‌شود. در نهایت داده‌برداری توسط عمق‌سنج لیزری نصب شده بر روی یک ریل متحرک انجام پذیرفت.

در آزمایش شاهد پس از پایان مراحل آزمایش، به کمک عمق‌سنج لیزری، در مسیر قوس ۱۸۰ درجه مقاطع عمود بر دیواره فلوم به فاصله ۲/۵ درجه داده‌برداری انجام گرفت. در آزمایش‌هایی که با حضور صفحات انجام شده‌اند علاوه بر داده‌برداری در مقاطع عمود بر دیواره فلوم به فاصله ۲/۵ درجه (در طول تمام قوس ۱۸۰ درجه)، برای بررسی جزئی‌تر میزان آبشستگی در محل ابتدا و دماغه و انتهای صفحات مستطیلی (آبشکن) نفوذپذیر، نیز اقدام به برداشت داده در مقاطع عرضی شده است.

سانتیمتر معادل ارتفاع سطح آب بر روی سطح رسوبات می‌باشد. مشخصات جریان و شرایط نصب آبشکن‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است.

آبشکن‌های نفوذپذیر در چهار فاصله قرارگیری (D=5L, 6L, 7L, 8L) و طول مؤثر معادل ۱۲ سانتی‌متر (L=0.2W) برای چهار عدد فرود جریان مورد بررسی قرار گرفت. همچنین ارتفاع آبشکن‌ها ثابت برابر ۱۰

جدول ۱. طبقه‌بندی آزمایش‌های بر اساس مشخصات آبشکن‌ها و جریان

دبی لیتر بر ثانیه	عمق سانتی‌متر	عدد فرود Fr	عدد رینولدز Re	طول مؤثر آبشکن‌ها سانتی‌متر	فاصله قرارگیری آبشکن‌ها
۱۳/۵	۱۰	۰/۲۲۷	۱۶۸۲۴	0.2D	5L
۱۴/۵	۱۰	۰/۲۴۴	۱۸۰۶۹	0.25D	6L
۱۵/۵	۱۰	۰/۲۶۱	۱۹۳۱۴	0.33D	7L
۱۶/۵	۱۰	۰/۲۷۸	۲۰۵۵۹	-	8L

صفحه در پشت اکثر صفحات و بین آن‌ها نهشته شده و باعث پدید آمدن محدوده‌هایی به صورت جزیره شده‌اند. آبشستگی بیش از حد در پنجه آبشکن‌ها و گسترش آن تا ساحل خارجی علاوه بر اینکه بر پایداری سازه اثر نامطلوب خواهد داشت، باعث تخریب ساحل خارجی نیز می‌شود. مقایسه فواصل آبشکن‌ها نشان می‌دهد که افزایش فاصله آن‌ها از یکدیگر موجب کاهش تأثیرگذاری سازه‌های سری بر الگوی جریان، آبشستگی و رسوب‌گذاری در اطراف آبشکن‌ها شده و تغییرات این عوامل را به الگوهای شبیه رفتار تک سازه تبدیل خواهد کرد. بنابراین با توجه به شکل‌های ۱۵ و ۱۶ سناریوی D=8L که فواصل هشت برابر طول مؤثر اولیه سازه را نشان می‌دهد، فاقد توجه فنی برای کاربرد است.

نتایج نشان می‌دهد رسوبات حاصل از فرسایش در پنجه آبشکن‌ها در ساحل خارجی ترسیب پیدا کرده و تشکیل ساحل مجازی داده‌اند که می‌تواند به عنوان یکی از مزایای آبشکن‌ها محسوب گردد. مشاهدات بصری حاصل از تزریق ماده رنگی و استفاده از یونولیت نشان داد که آبشکن‌های مستطیلی نفوذپذیر باعث انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی شده‌اند که

## نتایج و بحث

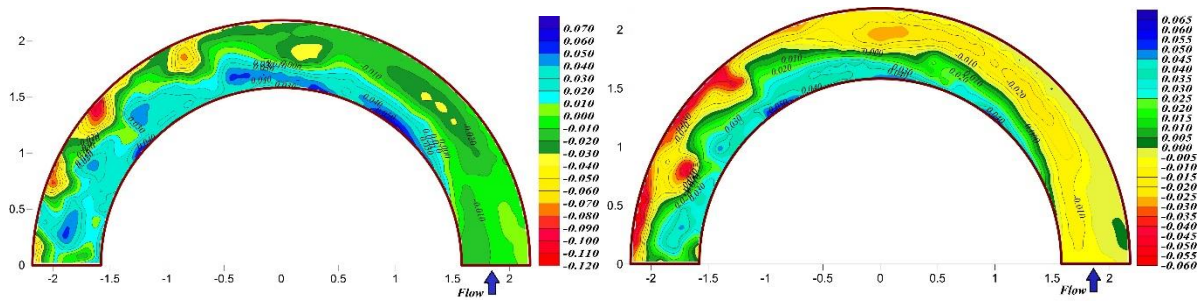
### الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری

شکل‌های ۷ تا ۱۶ تغییرات توپوگرافی بستر پس از پایان ۱۸۰ دقیقه آزمایش را به ازای اعداد فرود ۰/۲۲۷ و ۰/۲۶۱ برای آزمایش شاهد (عدم حضور آبشکن‌ها) و آزمایش با حضور آبشکن‌ها نشان می‌دهند. مقادیر آبشستگی بر روی خطوط تراز و توسط طیف رنگی با استفاده از نرم‌افزار Surfer مشخص شده است.

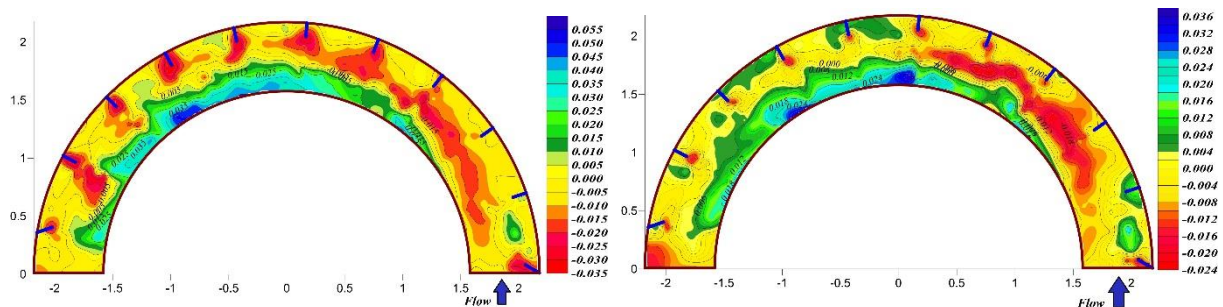
همان‌گونه که در شکل‌های ۷ و ۸ برای آزمایش شاهد (عدم حضور آبشکن‌های نفوذپذیر) ملاحظه می‌شود، آبشستگی در جداره دیواره ساحل خارجی قوس ۱۸۰ درجه رخ داده و با افزایش عدد فرود مقدار آبشستگی افزایش یافته است. اما با نصب صفحات مستطیلی نفوذپذیر فرسایش بستر از ابتدای قوس با فاصله از ساحل خارجی شروع و تا انتهای قوس ادامه دارد (شکل‌های ۹ و ۱۰). در این شرایط آبشستگی دیواره خارجی قوس نسبت به آزمایش شاهد کاهش قابل توجهی داشته است. مطابق شکل‌های ۹ تا ۱۶ با نصب آبشکن‌های تعریف شده، بیشترین آبشستگی در اطراف پنجه آن‌ها رخ داده که با افزایش عدد فرود مقدار آبشستگی افزایش یافته است. علاوه بر این رسوبات فرسایش یافته از بالادست هر

عرضی رودخانه و بازگرداندن قوس به مسیر اولیه است. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده، آبشکن های مستطیلی نفوذپذیر باعث کنترل فرسایش در قوس بیرونی، تشکیل ساحل مجازی در قوس بیرونی می شوند. اگر فاصله بین آبشکن ها بیش از حد لازم در نظر گرفته شود آبشستگی در پنجه آبشکن ها افزایش و تا ساحل بیرونی گسترش خواهد یافت، بنابراین باید آبشستگی در پنجه آبشکن ها را از نظر مقدار و گستردگی کنترل نمود.

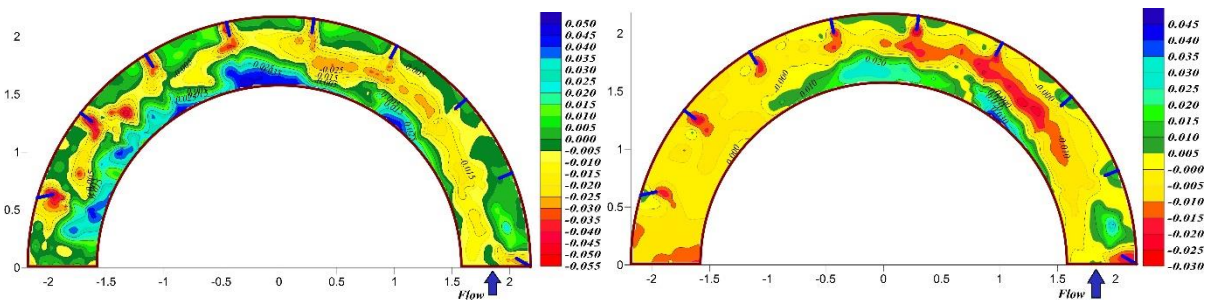
موجب کنترل فرسایش در قوس بیرونی و همچنین افزایش قابلیت قایقرانی در قوس می گردد. همچنین انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی مجرا باعث آبشستگی در بستر مجرا، مرکز و نزدیکی قوس داخلی شده است. با دور شدن از ابدای قوس این آبشستگی به طرف مرکز و ساحل داخلی نزدیک شده و باعث فرسایش آن گردید. یکی از اهداف مهم در مبحث ساماندهی رودخانه در قوس ها، علاوه بر کنترل فرسایش در قوس بیرونی، تخریب و فرسایش ساحل داخلی و جلوگیری از جابه جایی



شکل ۷. توپوگرافی بستر در آزمایش شاهد با  $Q=13.5l/sec$ ,  $Fr=0.227$  ... شکل ۸. توپوگرافی بستر در آزمایش شاهد با  $Q=15.5l/sec$ ,  $Fr=0.261$

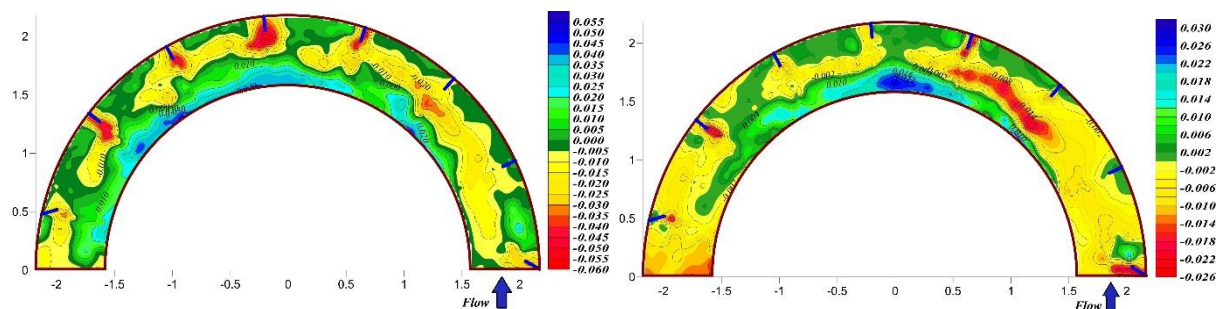


شکل ۹. توپوگرافی بستر در آزمایش  $Q=13.5l/sec$ ,  $Fr=0.227$ ,  $D=5L$  شکل ۱۰. توپوگرافی بستر در آزمایش  $Q=15.5l/sec$ ,  $Fr=0.261$ ,  $D=5L$

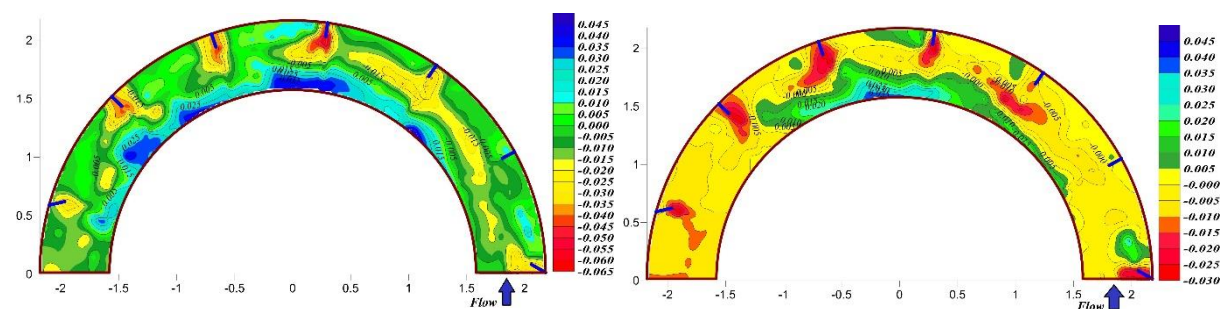


شکل ۱۱. توپوگرافی بستر در آزمایش  $Q=13.5l/sec$ ,  $Fr=0.227$ ,  $D=6L$  شکل ۱۲. توپوگرافی بستر در آزمایش  $Q=15.5l/sec$ ,  $Fr=0.261$ ,  $D=6L$





شکل ۱۳. توپوگرافی بستر در آزمایش  $Q=13.5l/sec, Fr=0.227, D=7L$  شکل ۱۴. توپوگرافی بستر در آزمایش  $Q=15.5l/sec, Fr=0.261, D=7L$



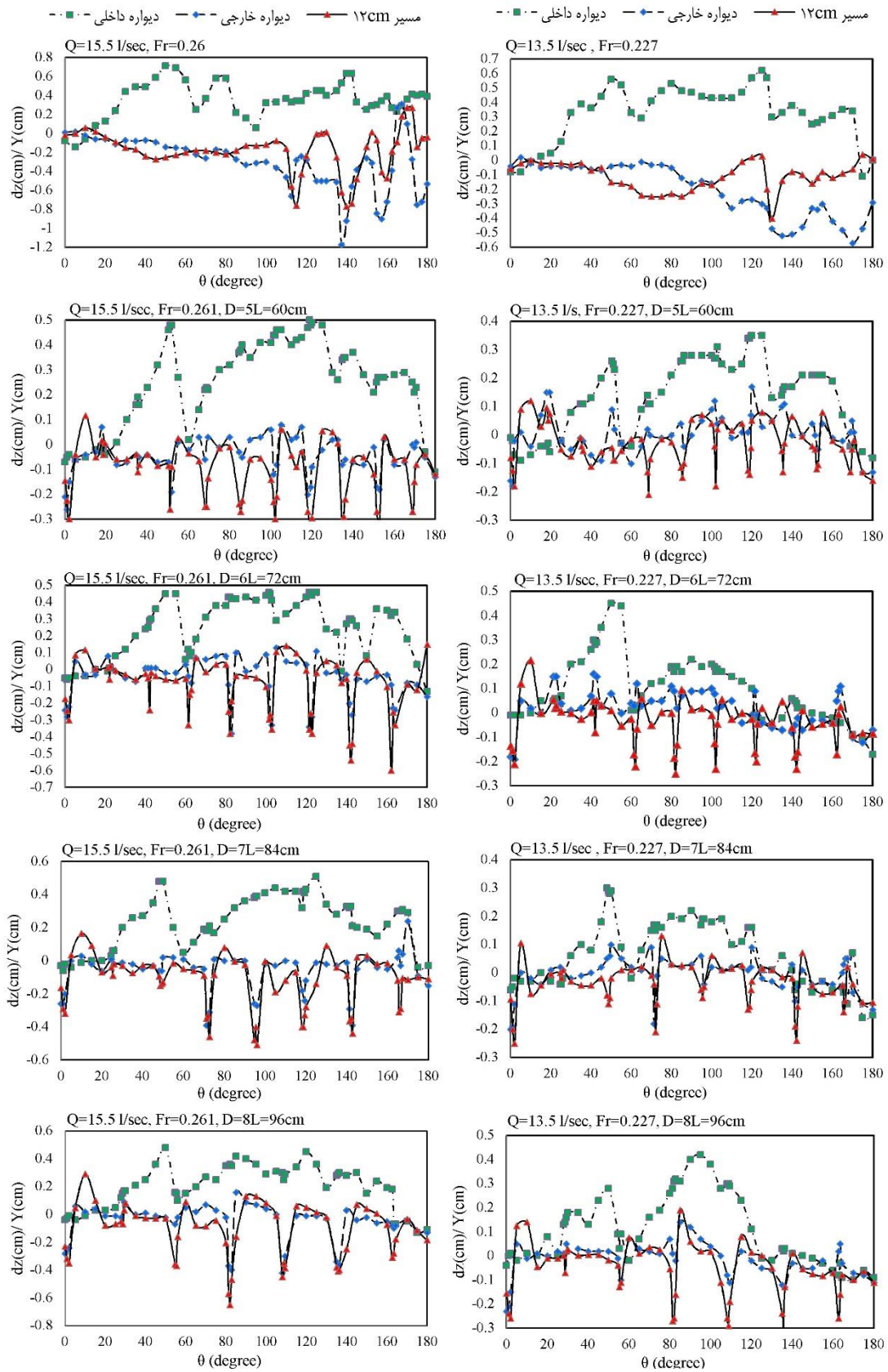
شکل ۱۵. توپوگرافی بستر در آزمایش  $Q=13.5l/sec, Fr=0.227, D=8L$  شکل ۱۶. توپوگرافی بستر در آزمایش  $Q=15.5l/sec, Fr=0.261, D=8L$

### عمق آبستگي

جهت بررسی بیشتر روند فرسایشی، در شکل ۱۸ نمونه‌ای از تغییرات پروفیل طولی بستر در محل دیواره داخلی و دیواره خارجی قوس ۱۸۰ درجه و مسیری به فاصله 12cm از دیواره خارجی قوس (محل قرارگیری دماغه صفحات مستطیلی (آبشکن) نفوذپذیر) در طول مسیر قوس برای دو جریان ورودی ۱۳/۵ و ۱۵/۵ لیتر بر ثانیه و چهار فاصله نصب به ترتیب ۶۰، ۷۲، ۸۴ و ۹۶ سانتیمتر ترسیم شده است. در نمودارهای ارائه شده محور عمودی نسبت بی‌بعد حداکثر عمق آبستگي به  $(dz(cm))/Y(cm)$  و عمق جریان ثابت آب (10cm) و  $\theta$  تقسیم‌بندی قوس به مقاطع عرضی بر حسب (درجه) در طول مسیر قوس ۱۸۰ درجه هستند.

مطابق شکل، از اندرکنش جریان ثانویه با مؤلفه‌های طولی سرعت جریان حلزونی ایجاد می‌شود که نقش مهمی در تغییرات هندسی رودخانه و انتقال رسوب ایفاء می‌کند. به طوریکه جریان حلزونی باعث فرسایش ساحل خارجی قوس و رسوب‌گذاری در ساحل داخلی قوس می‌گردد.

نصب صفحات مستطیلی (آبشکن) نفوذپذیر با فاصله ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر و طول مؤثر ۱۲ سانتی‌متر در شرایط دبی عبوری جریان ۱۵/۵ و ۱۳/۵ لیتر بر ثانیه حداکثر عمق آبستگي را به ترتیب به میزان ۷۰/۰۸ و ۵۷/۷۹ درصد نسبت به آزمایش شاهد کاهش داده است. همچنین این استراتژی حداکثر عمق آبستگي را نسبت به فاصله ۷۲ سانتیمتری بین صفحات به ترتیب ۴۱/۶۶ و ۷/۶۹ درصد، نسبت به فواصل نصب ۸۴ سانتیمتری به ترتیب ۴۳/۵۴ و ۲۲/۵۸، و نسبت به فاصله ۹۶ سانتیمتر به ترتیب ۴۶/۲۵ و ۲۵ درصد برای دبی‌های به ترتیب ۱۵/۵ و ۱۳/۵ لیتر بر ثانیه کاهش داده است. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد کنترل آبستگي در دیواره خارجی قوس ۱۸۰ درجه باعث انتقال رسوبات به دیواره داخلی قوس و ایجاد یک خط القعر در فاصله ۱۲ سانتیمتری از دیواره خارجی (فاصله دماغه صفحات مستطیلی (آبشکن) نفوذپذیر) می‌شود. انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی مجرا می‌تواند یک مزیت مهم برای سازه‌های اصلاح‌کننده الگوی جریان باشد.

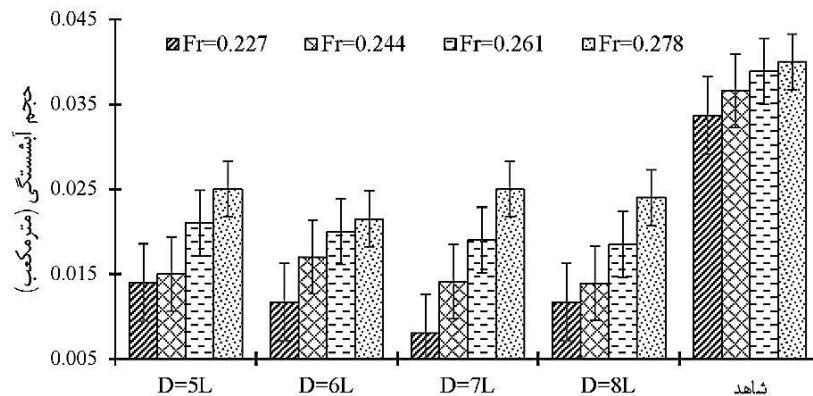


شکل ۱۷. تغییرات عمق فرسایش در دیواره (داخلی و خارجی) قوس و فاصله 12cm از دیواره خارجی برای آزمایش شاهد و فواصل نصب مختلف با طول مؤثر  $L=12\text{cm}$

### حجم آبشستگی

متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق شکل ۱۸، نصب صفحات مستطیلی نفوذپذیر توانسته است حجم آبشستگی را به طور متوسط به میزان ۶۶، ۶۲، ۵۲ و ۴۶ درصد به ترتیب برای جریان‌های با اعداد فرود ۰/۲۲۷، ۰/۲۴۴، ۰/۲۶۱ و ۰/۲۷۸ کاهش دهد.

در شکل ۱۸ تغییرات حجم آبشستگی برای آزمایش شاهد (عدم حضور صفحات مستطیلی نفوذپذیر) و شرایط نصب صفحات مستطیلی با طول مؤثر 12cm و فاصله قرارگیری 5L, 6L, 7L, 8L در شرایط جریان ورودی



شکل ۱۸. مقایسه تغییرات حجم آبشستگی برای آزمایش شاهد و حضور صفحات آبشکن

دیواره خارجی، یک پشته رسوبی پدید آمد. در کلیه آزمایش‌ها حضور صفحات مستطیلی (آبشکن) نفوذپذیر با فاصله ۶۰ سانتیمتر، موجب کاهش حداکثر عمق آبشستگی نسبت به سایر آزمایش‌ها و نیز آزمایش شاهد شده است. همچنین روند مناسب‌تری در کنترل آبشستگی حول دماغه آبشکن‌های نفوذپذیر داشته است. در حالت کلی بررسی نتایج نشان می‌دهد که قوس ۱۸۰ درجه نیازمند محافظت، علی‌الخصوص در دیواره خارجی به وسیله یکی از روش‌های تقویت کناره و یا کاهش نیروهای هیدرودینامیکی می‌باشد. تحقیقات آینده در این زمینه می‌تواند به استفاده از مدل‌های ریاضی و عددی جهت تحلیل تغییرات سرعت و عمق و حجم آبشستگی، بررسی میزان نفوذپذیری آبشکن‌ها و زاویه نصب آنها بپردازد.

### سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پایان‌نامه دکتری نویسنده اول می‌باشد و لازم است از سازمان آب و برق خوزستان به

### نتیجه‌گیری

هدف تحقیق حاضر بررسی کنترل فرسایش در قوس بیرونی رودخانه با استفاده از آبشکن نفوذپذیر و کاهش فرسایش در پنجه آنها و جلوگیری از گسترش آن به ساحل بیرونی بوده است. نتایج نشان داد که آبشکن‌های مستطیلی با ترسیب رسوبات در جداره خارجی باعث ساحل‌سازی و کنترل فرسایش در ساحل بیرونی می‌شوند. این سازه‌ها با هدایت جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز مجرا باعث آبشستگی در مرکز و قوس داخلی مجرا و افزایش قابلیت قایقرانی در قوس‌ها می‌شوند. از سوی دیگر با افزایش فاصله آبشکن‌ها از یکدیگر، فرسایش در پنجه آن‌ها از نظر مقدار و گستردگی افزایش قابل توجه‌ای یافته و علاوه بر اینکه برای سازه از نظر پایداری خطرناک می‌باشد، باعث تخریب ساحل بیرونی نیز می‌شود. در آزمایش شاهد، حجم آبشستگی و عمق چاله فرسایشی با افزایش دبی جریان ورودی افزایش پیدا کرده است. علاوه بر این در نزدیکی زاویه ۵ درجه برای عدد فرود ۰/۲۲۷ و زاویه ۱۶۵ الی ۱۷۰ درجه برای عدد فرود ۰/۲۶۱ در محل

دلیل در اختیار دادن امکانات تشکر و قدردانی گردد.

### منابع مورد استفاده

- بروجردی، غ.ع. و کمان بدست، ا.ع. ۱۳۹۸. بررسی تخلخل مصالح هگزایپاد بر میزان آبشستگی در آبشکن های نفوذپذیر. مجله علوم و فنون دریایی. ۱۸(۴): ۶۱-۴۹.
- بهرامی یاراحمدی، م. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی ترکیب صفحات متصل به ساحل و تیغه افقی بر تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه. پایان نامه دکتری، دانشکده ی مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- بهرامی یاراحمدی، م. و شفاعی بجستان، م. و موسوی جهرمی، ح. ۱۳۹۲. مقایسه عملکرد سازه های اصلاح کننده الگوی جریان در قوس ها. مجموعه مقالات همایش بین المللی مهندسی عمران- معماری و سازه های شهری، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز.
- جراح زاده، ف. و شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی وضعیت خط القعر تحت تأثیر وجود سرریز مستغرق در خم ۹۰ درجه تند. فصلنامه پژوهش های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). ۹۷: ۲۹-۱۷.
- دهقانی، ا، قدسیان، م، صالحی نیشابوری، س ع ا و شفییعی فر، م. ۱۳۸۵. کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه با استفاده از پره های مستغرق مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- شاکر، ا. ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی اثر طول و زاویه آبشکن روی الگوی جریان اطراف آبشکن های مستطیلی در قوس ۹۰ درجه ملایم. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ی مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۸. اصول نظری و علمی هیدرولیک انتقال رسوب. دانشگاه شهید چمران اهواز، ۵۴۹ ص.
- شهابی، م، و کاشفی پور، س.ک. ۱۳۹۵. بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذپذیری سری آبشکن ها بر روی ابعاد چاله آبشستگی در شرایط غیرمستغرق در قوس ۹۰ درجه ملایم. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹(۴): ۱۳-۲۲.
- کلامی زاده، م.ر. ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی تأثیر فاصله استقرار صفحات مستغرق بر عمق آبشستگی در قوس همگرای ۹۰ درجه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان.
- هوشمند، م، و شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۵. بررسی آزمایشگاهی تأثیر رقوم کارگزاری المان های شش پایه بر عمق آبشستگی پایه مستطیلی. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹(۴): ۲۳-۳۵.
- واقفی، م. و قدسیان، م. و صالحی نیشابوری، ع. ۱۳۸۸. مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان سه بعدی پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. دانشگاه گرگان. ۱۶(۲): ۱۳۰-۱۰۵.
- Ahmad M. 1951, Spacing and protection of spurs for bank protection. Civil Engineering and Publication Review, pp. 3-7.
- Ahmad M. 1953, Experiments on design and behavior of spur dikes. Proc. Int. Hyd. Convention, ASCE, New York, pp. 145-159.
- Ettema, R. 1980. Scour at Bridge Piers. Report No 216, University of Auckland, School of Engineering.
- Fazli, M., Ghodsian, M. and Salehi, S.A.A. 2008. Scour and flow field around a spur dike in a 90° bend. International Journal of Sediment Research. 23(1): 56-68
- Forghani, M.J., Fazli, M., and Ghodsian, M. 2007. Experimental study on flow field and scouring around a spur dike in ninety degree bend. 32<sup>nd</sup> Congress of IAHR, Venice, Italy.
- Ghodsian, M. and Vaghefi, M. 2009. Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T-shape spur dike in a 90° bend. International Journal of Sediment Research. 24(2): 145-158.
- Giri, S., and Shimizu, Y. 2004. Observation on bed variation in a meandering like flume with river training structures. JSCE, 48.

- Masjedi, A., Akbari, I. and Abyar, H. 2011. Evaluating scour at L-shape spur -dike in a 180 degree bend. *World Applied Sciences Journal*. 15(12):1740-1745
- Melville, B.W. 1997. Pier and abutment scour: Integrated approach. *J. Hydraulic Engineering*. 123(2): 125-136.
- Mesbahi J. 1992. On combined scour near groynes in river bends. M. Sc. Thesis, Delft Hydraulics Report HH 132.
- Najiabhari, M., Ghodsian, M., Vaghefi, M., and Panahpur, N. 2010. Experimental and Numerical Simulation of Flow in a 90 degree Bend. *Flow Measurement and Instrumentation*. 21: 292-298.
- Thornton, C.I., Abt, S.R., and Watson, C.C. 2001. Field assessment of a-jacks installation, a case study of Brush Creek, Kansas city, Missouri Powell Creek, Waukegan, Illinois. *Proceedings of the wetlands engineering and river restoration conference*, Reno, Nevada.
- Van den heever, A. 2013. An Investigation of the Use of Groynes as a means of Riverbank Erosion Protection. Ms.c Thesis. Department of Civil Engineering Stellenbosch University.
- Yan, I. Baomin, W. and Yong Qiang, I. 2012. Research on application of removable non-rescue sub-merger groins in lower yellow river training works. *Procedia Engineering*, 28: 781-785.
- Zolqadr, M., Shafaei Bajestan, M. and Rezaeianzadeh, M., 2016. Topographic State of the Rectangular Bridge Abutments in Different Flow Conditions in The Presence of Six-Legged Elements, *Conference On Materials and Modern Structures in Civil Engineering Sciences*.



ISSN 2251-7480

## Laboratory evaluation of the effect of permeable vanes distance using six-pillar concrete elements on the bend migration

Ebrahim Najjaran<sup>1,2</sup>, Amir Abbas Kamanbedast<sup>2,\*</sup>, Mahmood Shafai Bejestan<sup>3</sup>, Ali Reza Masjedi<sup>2</sup> and Hooshang Hasonizadeh<sup>2,4</sup>

- 1) Department of Water Science and Engineering, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
- 2) Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
- 3) Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
- 4) Research Deputy of Khuzestan Water and Power Organization, Ahvaz, Iran.

\*Corresponding author: E-mail: Kamanbedast@iauahvaz.ac.ir

Received: 14-10-2019

Accepted: 01-07-2020

### Abstract

Permeable vanes are structures that move the erosion of the outer bank of the river by diverting the erosive flow from the outer arch of the river to its center. In this study, the pattern of erosion and sedimentation around the hydraulic structure in the installation conditions of different distances from each other has been studied. Six-pillar concrete elements are materials that form a permeable structure overlapping and are applicable without drying the riverbed. These blocks need to be examined for how the structure works. With this concept, in the present study, the performance of these structures were performed in a laboratory channel with a width of 60 cm and a 180 degree flume under different hydraulic conditions ( $Fr = 0.227, 0.244, 0.261, 0.278$ ). The required data were measured at different distances (5L, 6L, 7L, 8L) with an effective length equal to 20% of the width of the flume ( $L=12\text{cm}$ ). Control experiment was performed in similar conditions to other scenarios without groins construction. Comparison of the results of the control and main experiments showed that the construction of permeable rectangular groin with a distance of 5L had the best efficiency in reducing the maximum depth of scour at the outer bank compared to the control experiments equal to 70.1% and 57.9% in Froude numbers of 0.227 and 0.261, respectively.

**Keywords:** Sediment management, Erosion, Six-pillar concrete elements, River engineering, Hydraulic.