

## توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه ملایم با وجود تک صفحه محافظ دوزنقه‌ای و مستطیلی

محسن کرامت زاده<sup>۱\*</sup>، محمود شفاعی بجستان<sup>۲</sup>، کاظم اسماعیلی<sup>۳</sup>، محمد بهرامی یاراحمدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۳/۳۱

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استادیار، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانش‌آموخته دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Mohsen\_keramatzade@yahoo.com

### چکیده

حفاظت سواحل خارجی قوس رودخانه‌ها که معمولاً با فرسایش شدید پنجه مواجه هستند و نیز کاهش سطح رسوبگذاری در قوس داخلی از جمله مهمترین اهداف ساماندهی رودخانه‌ها است. برای رسیدن به اهداف فوق روش‌های متعددی در دهه‌های گذشته بوجود آمده است. در این مقاله در ارتباط با مدیریت رسوب، کاربرد یک روش جدید (صفحات دوزنقه‌ای متصل به ساحل) در قوس ۹۰ درجه ملایم، به صورت آزمایشگاهی، مورد بررسی قرار گرفته است؛ سپس نتایج، با نتایج روش معمول (صفحات مستطیلی شکل) مورد مقایسه قرار گرفت. صفحه دوزنقه‌ای و مستطیلی در محلی از ساحل خارجی که آبشستگی قابل ملاحظه‌ای در آن ناحیه انتظار می‌رود قرار داده شدند (زاویه ۷۰ درجه از ابتدای قوس). صفحات با زاویه ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ نسبت به ساحل خارجی بالادست نصب گردیدند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که صفحه دوزنقه‌ای با افزایش زاویه نصب نسبت به ساحل خارجی بالادست تا حدود ۴۰ درجه باعث می‌شود تا حفره آبشستگی در اطراف دماغه صفحه رخ دهد و در زوایای نصب (نسبت به ساحل خارجی بالادست) بیشتر از ۴۰ درجه این حفره به ساحل خارجی نزدیک شود. در صفحه مستطیلی در تمام زوایای قرارگیری صفحه این حفره به ساحل خارجی می‌رسد. در بین تمامی آزمایش‌های انجام گرفته، بیشینه حفره آبشستگی در دماغه صفحه مستطیلی نسبت به حفره آبشستگی ایجاد شده در دماغه صفحه دوزنقه‌ای حدود ۶۵ درصد بیشتر بود. رسوبات منتقل شده از حفره آبشستگی معمولاً در پائین‌دست سازه نهشته شده و تپه رسوبی را ایجاد می‌کنند. این تپه رسوبی توسعه یافته، در صفحه دوزنقه‌ای نسبت به صفحه مستطیلی، به ساحل خارجی نزدیک‌تر است.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، صفحه دوزنقه‌ای، صفحه مستطیلی، عدد فرود، قوس ۹۰ درجه ملایم

## Bed Topography in 90 Degrees Mild Bend Using Protective Trapezoidal and Rectangular Single Vane

M Keramatzade<sup>1</sup>, M Shafai Bajestan<sup>2</sup>, K Eesmaili<sup>3</sup>, M Bahrmi Yarahmadi<sup>4</sup>

Received: 2 March 2014 Accepted: 21 June 2014

1- Former M.Sc. Student, Dept. of Water Structures, University of Mashhad, Iran

2-Prof., Dept. of Water Structures., University of Ahvaz, Iran

3-Assoc. Prof., Dept. of Water Structure, University of Mashhad, Iran

4- Former Ph.D. Student, Dept. of Water Structures, University of Ahvaz, Iran

\* Corresponding Author, Email: Mohsen\_keramatzade@yahoo.com

### Abstract

Protecting the outer banks of rivers bend which are usually under severe toe erosion and reducing the area of Sedimentation in inner bank are among the major goals of rivers restoration. Such goals are achieved by many techniques that have been developed over the past decades. In this study in relation with sediment management an attempt has been made to experimentally investigate in a 90 degree mild bend the use of a new measure, namely trapezoidal vane shape (TVS) attached to the bank and compare the results with the common measure results, rectangular vane shape (RVS). Both TVS and RVS were attached to the outer bank where considerable toe scour was expected (at the angle of 70 ° from the beginning of the bend). Vanes were installed at angles of 23, 30, 40, 60 and 70 relative to Upstream external bank. The results showed that the scour hole was formed only around the nose of TVS when the vane installation angle relative to Upstream external bank was less than 40 degrees. The scour was extended up to the outer bank for the vane installation angles (relative to Upstream external bank) more than 40 degrees. For the RVS, the scour dimensions were extended up to the outer bank for all vane angles. The maximum scour hole for the RVS was more than, up to 65%, than for the TVS in all tests. Sediment which moved from the score hole was usually deposited downstream of the vane and created a point bar. This developed point bar for TVS was closer to the outer bank than RVS.

**Keywords:** Froude number, Rectangular plate, Scouring, Trapezoidal plate, 90 ° mild bend

را به وجود می آورد که لایه های سطحی جریان به سمت ساحل بیرونی و لایه های نزدیک به بستر را به سمت ساحل داخلی منحرف می سازد. در مقطع جریان در یک امتداد عمود بر مسیر جریان، خطوط جریان مجاور ساحل بیرونی به طرف پایین و خطوط جریان پشته متمرکز داخلی به طرف بالا حرکت می کنند و در نتیجه، پایداری ذره در نزدیکی ساحل خارجی به هم می خورد و بستر رودخانه گود می شود و از طرف دیگر در مجاورت پشته متمرکز داخلی به پایداری ذره اضافه

### مقدمه

فرآیند فرسایش ساحل به طور مستقیم به مهاجرت جانبی آبراهه های آبرفتی مربوط می شود. اندرکنش بین نیروهای فعال حاصل از جریان آب و نیروهای مقاوم به جریان، (مانند مواد بستر، مصالح، سواحل، وجود پوشش گیاهی در سواحل و ...) باعث فرسایش ساحل می شود. تعادل دو نیروی گریز از مرکز و نیروی هیدرواستاتیک که ناشی از شیب جانبی سطح آب است در قوس رودخانه ها جریان های ثانویه

سرریزهای مستغرق تحقیق کردند. آباد و رولدز (۲۰۰۸)، با استفاده از مدل flow3D الگوی جریان در یک قوس در شرایطی که سازه‌های سرریز مستغرق در آن وجود دارد، در سه حالت جریان کم، متوسط و زیاد مورد بررسی قرار دادند. رامش و همکاران (۱۳۸۹) وضعیت پروفیل طولی فرسایش و رسوب تحت تأثیر سرریز مستغرق را در قوس ۹۰ درجه بررسی کرد. درخصوص به‌کارگیری آبشکن و سازه‌های کنترل فرسایش در قوس‌ها و سایر نقاط رودخانه‌ها، در داخل و خارج از کشور تحقیقات بسیاری انجام گرفته که از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیقات واقفی و همکاران (۱۳۸۸)، دهقانی و همکاران ۱۳۸۸، موسوی و قدسیان (۱۳۸۹)، واقفی و قدسیان (۱۳۸۹)، اسمیت و ویلر (۱۹۹۹) و نظری و شفافی بجزستان (۱۳۸۹) اشاره کرد. از نکاتی که در این تحقیقات یعنی با بکاربردن صفحه مستطیلی بیان شده است، گسترش حفره آبشستگی ایجاد شده در دماغه سازه به سمت ساحل فلوم آزمایشگاهی است که می‌تواند در عمل باعث تخریب این ساحل شود.

بویان و همکاران (۲۰۱۰) در یک تحقیق آزمایشگاهی جهت کنترل فرسایش انحنای رودخانه از صفحات متصل به ساحل استفاده کردند. آزمایش‌ها در یک فلوم سینوسی به عرض ۱/۶ متر و سینوسیته ۱/۳۸ با بستر متحرک انجام شد شیب‌های جانبی فلوم ۴۵ درجه بودند و به‌طرف رأس قوس شیب جانبی ساحل خارجی به حالت قائم نزدیک می‌شد. آنها از صفحاتی به شکل مثلث در زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه در آزمایش‌ها استفاده کردند. در همه آزمایش‌ها از رسوب‌های طبقه‌بندی شده در اندازه‌های ۰/۰۶ تا ۵ میلی‌متر ( $d_{85}=0/003m$  و  $d_{50}=0/015m$ ) استفاده شد. در مطالعه انجام گرفته توسط بویان و همکاران (۲۰۱۰)، صفحه مثلثی شکل با هدف کنترل فرسایش دیواره خارجی قوس با استفاده از روش منحرف کردن جریان رودخانه و کاهش سرعت جریان در نزدیکی ساحل مورد بررسی قرار گرفت. این سازه‌ها جریان‌های ثانویه را کاهش می‌دهند و جهت جریان عبوری از روی آنها را به‌صورت عمود بر موقعیت صفحه مثلثی شکل تغییر

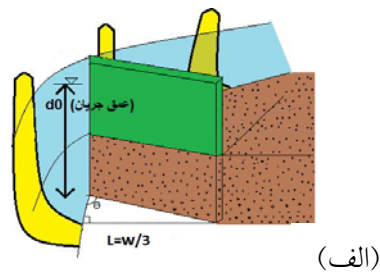
می‌شود و تراز بستر افزایش پیدا می‌کند. آبشستگی در پنجه ساحل خارجی، خط‌القعر را به‌طرف ساحل بیرونی قوس جابه‌جا می‌کند. در اثر تخریب پنجه ساحل، پایداری ساحل از بین رفته و ساحل تخریب می‌شود. روش‌های حفاظت ساحل به دو دسته کلی مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شود. در حفاظت مستقیم، عملیات حفاظتی (مانند دیوار ساحلی) به‌طور مستقیم بر روی طول مشخصی از کناره رودخانه انجام می‌پذیرد. درحفاظت غیرمستقیم، عملیات حفاظتی (مانند آبشکن) در داخل رودخانه و با هدف کاهش نیروی فرسایشی جریان صورت می‌پذیرد. کاهش نیروی فرسایشی آب با دو روش، دورکردن جریان از کناره‌ها و کوشش در جهت آرام کردن جریان در مجاورت آنها، تحقق می‌یابد (شفافی بجزستان ۱۳۹۰). بنابراین روش‌های حفاظت غیر مستقیم را می‌توان به دودسته، روش‌های انحراف دهنده جریان و روش‌های آرام کننده جریان تقسیم‌بندی کرد. در روش‌های مبتنی بر آرام کردن جریان سازه‌های نفوذپذیر در کناره رودخانه قرار گرفته و با ایجاد مقاومت در مقابل جریان، سبب کاهش سرعت و در نتیجه رسوب‌گذاری در ناحیه موردنظر می‌گردند. از معایب این روش‌ها نیاز به حجم زیاد مصالح، هزینه‌بر بودن و طولانی بودن زمان اجرا است (جراح زاده و شفافی بجزستان ۱۳۹۱). اما در روش‌های مبتنی بر انحراف جریان، هدف دور کردن جریان از کناره‌های رودخانه و هدایت آن به سمت محور اصلی می‌باشد. از این‌رو این روش‌ها بر پایه ساخت سازه‌های عرضی در بستر رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند. به‌منظور کاهش فرسایش در قوس با استفاده از سازه‌های منحرف کننده جریان مانند آبشکن، سرریز مستغرق و صفحات مستغرق تحقیقات گوناگونی تاکنون صورت گرفته است. به‌عنوان مثال هاشمی نجفی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی آبشستگی در اطراف یک آبشکن در قوس پرداخت و نتیجه گرفت که آبشستگی در اطراف یک آبشکن در قوس را می‌توان مجموع آبشستگی ناشی از آبشکن در مسیر مستقیم و آبشستگی در قوس بدون آبشکن در نظر گرفت (رامش و همکاران ۱۳۸۹). کینزلی و تورونتون (۲۰۱۰) از جمله محققانی بودند که بر روی

گردد. بعد از ثابت شدن دبی و اطمینان از جریان یافتن دبی مورد نظر، به وسیله دریچه کشویی عمق جریان را به  $0/13$  متر از سطح رسوب رسانیده، و در طی زمان انجام آزمایش با استفاده از دریچه کشویی تراز سطح آب به صورت پیوسته کنترل گردید. پس از انجام چندین آزمایش با مدت زمان ۹ ساعت مشخص گردید که حدوداً، ۹۰ درصد آبشستگی در ۱۸۰ دقیقه ابتدایی آزمایش‌ها رخ می‌دهد؛ بر همین اساس مدت زمان انجام هر یک از آزمایش‌ها ۱۸۰ دقیقه در نظر گرفته شد. پس از اتمام زمان ۱۸۰ دقیقه، با استفاده از شیر کشویی ورودی و دریچه کشویی خروجی سعی شد تا سطح آب به آرامی افت کند تا بعد از اتمام زمان آزمایش فرسایش صورت نگیرد. با استفاده از دستگاه سنجش توپوگرافی بستر داده‌برداری‌ها در مسیر قوس ۹۰ درجه ملایم، در مقاطع عمود بر دیواره فلوم صورت گرفت. برای بررسی جزئی‌تر میزان آبشستگی در اطراف سازه‌ها، در نزدیکی سازه فاصله مقاطع عمود بر دیواره فلوم کمتر در نظر گرفته شد. همچنین در ۲ متر از مسیر مستقیم خروجی، داده‌برداری انجام گرفت. پس از داده‌برداری، با کمک نرم‌افزارهای اکسل و سرفر اقدام به تجزیه و تحلیل خروجی‌های دستگاه نموده که به صورت نمودار و همچنین ارقام کمی ارائه شده است. طبق آئین‌نامه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی (بی‌نام ۱۳۸۸) کشور طول صفحات نوزنقه‌ای و مستطیلی به‌نحوی طراحی شد که پس از نصب، فاصله نوک این صفحات از ساحل خارجی برابر با یک سوم عرض فلوم باشد. در صفحه نوزنقه‌ای ارتفاع قاعده بزرگ و کوچک آن به اندازه‌ای انتخاب شد که به ترتیب، تا سطح آب و رسوبات باشد و در صفحه مستطیلی (آزمایش‌های شاهد) ارتفاع به نحوی طراحی شد که سازه  $0/03$  متر از سطح آب در زمان آزمایش بالاتر باشد و حالت غیر مستغرق داشته باشد ( $0/365$  متر). برای هر آزمایش از یک صفحه نوزنقه‌ای که طول قاعده بزرگ و کوچک آن

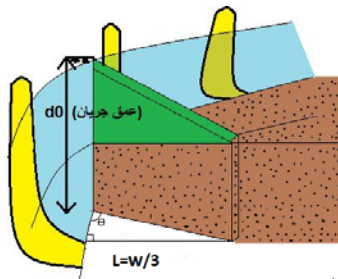
می‌دهند. بدین ترتیب الگوی عمومی جریان در قوس را تغییر داده، که در نتیجه آن سرعت جریان در نزدیک ساحل خارجی کاهش یافته، منطقه تجمع خطوط جریان از محل قوس خارجی به سمت مرکز هدایت می‌شود. توزیع مجدد سرعت در نهایت باعث خواهد شد تا خط القعر رودخانه از محل پاشنه ساحل به وسط رودخانه منتقل شود که این پدیده باعث جلوگیری از آبشستگی ساحل خارجی خواهد شد. به دلیل اینکه در بررسی تاثیر زاویه صفحه نوزنقه‌ای منفرد بر الگوی آبشستگی بستر تا به حال بررسی آزمایشگاهی انجام نشده است تحقیق حاضر در این شرایط انجام گرفت تا وضعیت توپوگرافی بستر در شرایط قرارگیری تک‌صفحه نوزنقه‌ای شکل بررسی شود و با وضعیت توپوگرافی تک‌صفحه آبشکن مستطیلی مقایسه شود.

#### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک فلوم به عرض ۷۰ و ارتفاع ۵۰ سانتی-متر انجام گرفت. شعاع انحناء قوس فلوم مورد استفاده، ۴ برابر پهنای آن می‌باشد که چون این مقدار بزرگتر از ۳ می‌باشد جزء قوس‌های ملایم به حساب می‌آید. فلوم و تجهیزات آزمایشگاهی شکل ۱، از بخش‌های مخزن آرام کننده ورودی، مسیر مستقیم ورودی، قوس ۹۰ درجه ملایم، مسیر مستقیم خروجی، دریچه کشویی، مخزن آرام کننده خروجی، پمپ، حوضچه مکش پمپ، مخزن تامین بار آبی اصلی (تانک) با بارآبی ثابت، لوله-های رابط و شیرآلات، ریل، و دستگاه سنجش توپوگرافی بستر تشکیل شده است. پس از این‌که صفحه نوزنقه‌ای شکل به ساحل فلوم متصل گردید، رسوب با دانه‌بندی یکنواخت و اندازه متوسط  $0/0149$  (متر) به آرامی در اطراف سازه پراکنده شد. سپس بستر تسطیح و تراز شد (شکل ۲)، بعد از کنترل سطح آب استخر (منبع آب اصلی) و اطمینان از بسته بودن تمامی شیرها و دریچه کشویی، به منظور تامین دبی، پمپ روشن گردید. هنگامی که آب به دبی مورد نظر در دبی‌سنج الکترومغناطیس رسید کمی صبر کرده تا این دبی تثبیت



(الف)



(ب)

شکل ۲- شماتیک ساده‌ای از مقطع آزمایش و نصب صفحه در قوس خارجی الف) صفحه مستطیلی ب) صفحه نوزنقه-ای.



(الف)



(ب)

شکل ۳- نحوه قرارگیری تک صفحه نوزنقه‌ای شکل قبل الف) و بعد ب) از آزمایش در زاویه ۶۰°

به ترتیب ۰/۳۳۵ و ۰/۲۱ متر و طولی که برای زوایای مورد استفاده بر طبق توضیح‌های بالا طراحی شده بود، استفاده شد. صفحه‌های نوزنقه‌ای و مستطیلی طبق آزمایش‌های بویان و همکاران (۲۰۱۰) و همچنین تحقیقات گذشته، در نیمه دوم قوس، به دلیل بیشتر بودن تأثیر جریان حلزونی بر روی قوس خارجی قرار گرفتند. آزمایش‌ها برای زاویه نصب ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه (نسبت به ساحل خارجی بالادست) طبق محدوده زوایای استفاده شده در آزمایش‌های بویان و همکاران (۲۰۱۰)، عدد فرود (۰/۲۱) و عمق جریان ۰/۱۳ متر، با استفاده از صفحات نوزنقه‌ای و مستطیلی انجام پذیرفت.

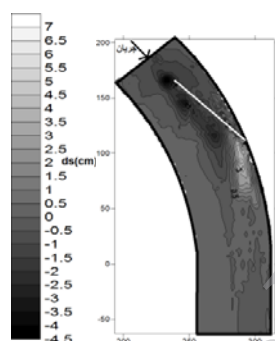
### نتایج و بحث

این تحقیق در راستای بررسی اثر زاویه نصب صفحه نوزنقه‌ای بر الگوی آبشستگی بستر در قوس ۹۰ درجه ملایم با وجود صفحه منفرد نوزنقه‌ای و نیز صفحه مستطیلی متصل به ساحل برنامه‌ریزی شد. در شکل-های ۵ تا ۹ الگوی آبشستگی بستر با وجود صفحه منفرد نوزنقه‌ای متصل به ساحل پس از پایان ۱۸۰ دقیقه آزمایش در اعداد فرود مذکور در قوس و قسمتی از بالادست و پایین‌دست سازه نشان داده شده است. در این شکل‌ها مقادیر آبشستگی بر روی خطوط تراز و توسط طیف رنگی مشخص شده است.

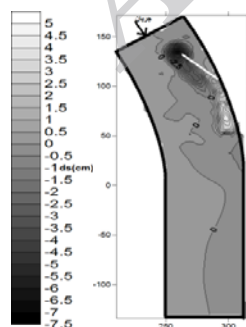


شکل ۱- نمایی از تجهیزات آزمایشگاهی استفاده شده.

مقدار بیشتری می‌باشد. در بالادست سازه، حدفاصل بین سازه و ساحل خارجی، سطح صاف و بدون آبشستگی مشاهده می‌شود این سطح صاف نسبت به زوایای مورد آزمایش کمتر، سطح کمتری را اشغال کرده است. بیشینه عمق آبشستگی در زوایای ۲۳، ۳۰ و ۴۰ درجه به ترتیب ۰/۰۵۱۷، ۰/۰۹۹ و ۰/۱۰۴ متر در دماغه سازه ایجاد گردید. در پایین دست سازه رسوب گذاری رخ داده که باعث ایجاد یک تپه رسوبی در این قسمت شده است. طول تپه رسوبی در زاویه ۴۰ درجه نسبت به زوایای ۲۳ و ۳۰ درجه بیشتر است. اما فاصله اش از ساحل خارجی بیشتر است این افزایش فاصله در ترمیم ساحل خارجی اختلال ایجاد می‌کند. در شکل‌های ۸ و ۹ نیز وضعیت توپوگرافی بستر را با کاربرد صفحه نوزنقه‌ای شکل در زوایای ۶۰ و ۷۰ نشان می‌دهند.

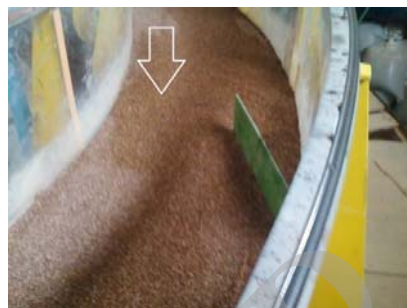


شکل ۵- نمایش الگوی آبشستگی بستر با کاربرد صفحه نوزنقه‌ای در زاویه ۲۳°.



شکل ۶- نمایش الگوی آبشستگی بستر با کاربرد صفحه نوزنقه‌ای در زاویه ۳۰°.

نتایج بالا با نتایج آزمایش‌های بویان و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد.



(الف)



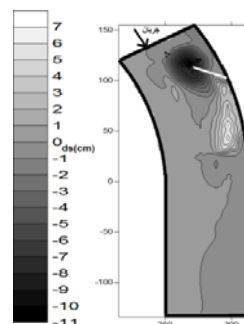
(ب)

شکل ۴- نحوه قرارگیری تک صفحه مستطیلی شکل قبل (الف) و بعد (ب) از آزمایش در زاویه ۶۰°.

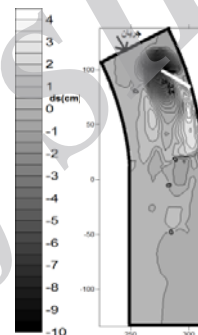
با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ برای زوایای قرارگیری ۲۳ و ۳۰ درجه، در دماغه سازه آبشستگی اتفاق افتاده است که این امر باعث دور شدن آبشستگی از ساحل خارجی و حفاظت از آن شده است. در بالادست سازه، حدفاصل بین سازه و ساحل خارجی سطح رسوبی صاف و بدون آبشستگی باقی مانده است که در محافظت از فرسایش ساحل خارجی بسیار موثر می‌باشد. شعاع حفره آبشستگی در دماغه سازه به ساحل خارجی نرسیده پس این زوایا در انتقال آبشستگی به سمت خط مرکزی فلووم موفق عمل کرده است. با توجه به شکل ۷ بیشینه عمق آبشستگی در زاویه ۴۰ درجه نسبت به زوایای مورد آزمایش کمتر، دارای مقدار بیشتری می‌باشد. همچنین شعاع حفره آبشستگی در دماغه سازه به گونه‌ای است که حفره ایجاد شده در این ناحیه، نسبت به زوایای مورد آزمایش کم‌تر دارای

به دلیل قرار گرفتن دماغه در جریان آب با سرعت بالاتر باشد، عمق آبشستگی نسبت به زوایای مورد آزمایش کمتر دارای مقدار بیشتری می‌باشد. بیشینه عمق آبشستگی در زوایای ۶۰ و ۷۰ درجه به ترتیب ۰/۱۰۶ و ۰/۱۱۱ متر در دماغه سازه ایجاد گردید. شعاع حفره آبشستگی ایجاد شده در دماغه سازه به گونه‌ای است که این حفره به ساحل خارجی رسیده و تمام فاصله بین سازه و ساحل خارجی را این حفره آبشستگی پوشش داده که ضعف این زوایا را در انتقال آبشستگی از ساحل خارجی به سمت مرکز قوس نشان می‌دهد. در پایین دست سازه رسوب گذاری رخ داده است که باعث ایجاد یک تپه رسوبی در این بخش ساحل خارجی شده است. نتایج بالا با نتایج آزمایش‌های بویان و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد.

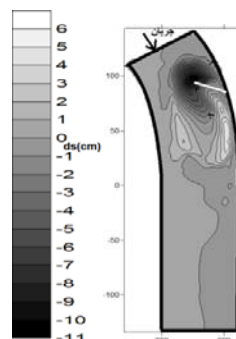
برای نشان دادن پروفیل طولی بستر در محل خط-القدر، بیشترین عمق آبشستگی در هر مقطع در مقابل Y(عرض) نقاط آن مقطع از مبدا مختصات، (مبدا مختصات مرکز قوس در نظر گرفته شده) مطابق شکل ۱۰، رسم شده است. محل نصب سازه در قوس خارجی در  $y=100$  (cm) (زاویه ۷۰ درجه از ابتدای قوس) در شکل شماره ۱۰ می‌باشد. محل وقوع بیشینه عمق آبشستگی در تک تک زوایای قرارگیری صفحه دوزنقه-ای، در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه، در نزدیکی دماغه سازه رخ داده و مقدار آن برای زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه به ترتیب برابر با ۰/۰۵۱۷، ۰/۰۹۹، ۰/۱۰۴، ۰/۱۰۶ و ۰/۱۱۱ متر است. عمق آبشستگی بیشینه به ۰/۱۱۱ متر و یا ۴۵/۸ درصد طول موثر صفحه می‌رسد. که این پدیده نتیجه ایجاد ورتکس افقی در دماغه سازه به دلیل جداسدگی خطوط جریان در دماغه سازه می‌باشد. با افزایش زاویه سازه، بیشینه عمق آبشستگی به دلیل قرارگیری دماغه سازه در خطوط جریان با سرعت بالاتر و قوی‌تر شدن ورتکس افقی حاصل از اختلاف فشار بالادست و پایین دست سازه افزایش می‌یابد.



شکل ۷- نمایش الگوی آبشستگی بستر با کاربرد صفحه دوزنقه‌ای در زاویه ۴۰°.



شکل ۸- نمایش الگوی آبشستگی بستر با کاربرد صفحه دوزنقه‌ای در زاویه ۶۰°.

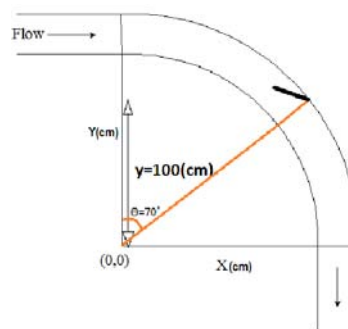


شکل ۹- نمایش الگوی آبشستگی بستر با کاربرد صفحه دوزنقه‌ای در زاویه ۷۰°.

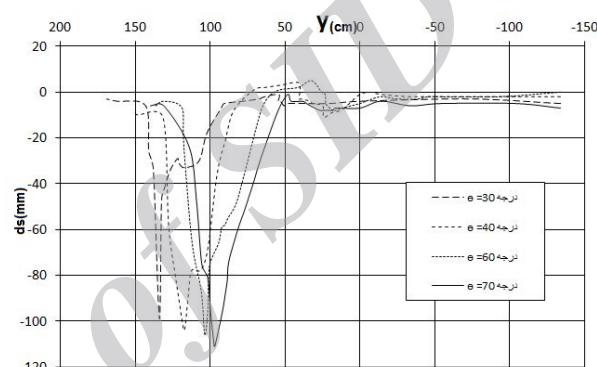
با توجه به توپوگرافی بستر در شکل‌های ۸ و ۹ برای زاویه قرارگیری ۶۰ و ۷۰ درجه در دماغه، کلاً الگوی آبشستگی نسبت به زوایای ۲۳، ۳۰ و ۴۰ درجه متفاوت می‌باشد. استنباط می‌شود که این تغییر الگو به دلیل افزایش قدرت ورتکس افقی حاصل از جداسدگی جریان

در راستای مقایسه اثر زاویه بر الگوی آبشستگی بستر در قوس ۹۰ درجه ملایم، بین صفحه مستطیلی و صفحه نوزنقه‌ای، از صفحه مستطیلی در زوایای نصب ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ درجه و عدد فرود ۰/۲۱ و عمق جریان ۰/۱۳ متر، بهره برده شد که در مجموع تعداد ۴ آزمایش انجام گردید. در شکل‌های ۱۳ تا ۱۶ الگوی آبشستگی بستر با وجود صفحه منفرد مستطیلی متصل به ساحل پس از پایان ۱۸۰ دقیقه آزمایش در عدد فرود ۰/۲۱ در قوس و قسمتی از بالادست و پایین‌دست سازه نشان داده شده است. در این شکل‌ها مقادیر آبشستگی بر روی خطوط تراز و توسط طیف رنگی مشخص شده است.

همان‌گونه که در شکل‌های ۱۳ تا ۱۶ نشان داده شده است برای زوایای قرارگیری ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ درجه در دماغه سازه آبشستگی اتفاق افتاده است و حفره ایجاد شده در دماغه سازه، ساحل خارجی را در برگرفته است. پس نه تنها از ساحل خارجی محافظت نکرده بلکه باعث تخریب آن نیز شده است. شعاع حفره آبشستگی و بیشینه عمق آبشستگی با افزایش زاویه قرارگیری سازه افزایش یافته است. بیشینه عمق آبشستگی در زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ به ترتیب ۰/۱۴۹، ۰/۱۵۳، ۰/۱۵۸ و ۰/۱۶۰ متر در دماغه سازه ایجاد گردید. این پدیده به دلیل اختلاف فشار زیاد بالادست و پایین‌دست صفحه و ایجاد ورتکس افقی با شدت زیاد در دماغه صفحه ایجاد شد. بالادست سازه، حفاصل بین سازه و ساحل خارجی دچار آبشستگی شده است که باعث تخریب ساحل خارجی شده است. تپه رسوبی ایجاد شده در پایین‌دست سازه دارای طول کم و فاصله زیاد از ساحل خارجی می‌باشد و به طور گسترده در عرض فلوم قرار گرفته است. پس این تپه در ترمیم ساحل خارجی تاثیر قابل توجهی نخواهد داشت. نتایج بالا با نتایج آزمایش‌های فضلی و قدسیان (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

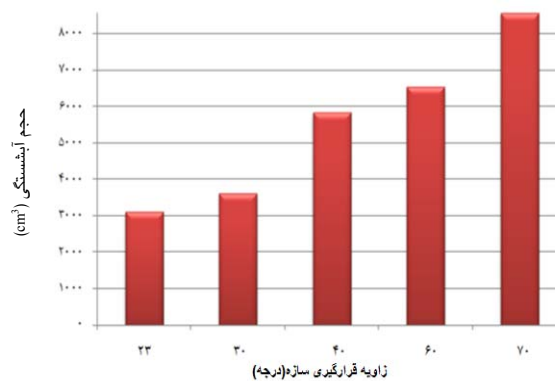


شکل ۱۰- محل مبدأ و محورهای مختصات در فلوم ۹۰°.



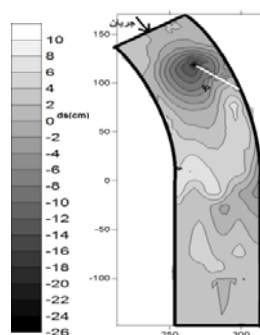
شکل ۱۱- نمودار خط القعر در طول فلوم در زوایای مختلف قرارگیری صفحات نوزنقه‌ای.

در نمودار میله‌ای مربوط به شکل ۱۲، حجم آبشستگی که با استفاده از نرم‌افزار سرفر محاسبه شده، در زوایای مختلف نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش زاویه صفحه نوزنقه‌ای مقدار حجم آبشستگی نیز افزایش می‌یابد.

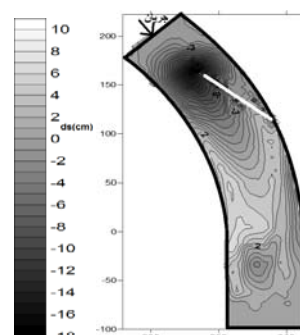


شکل ۱۲- حجم آبشستگی در زوایای مختلف صفحات نوزنقه‌ای.



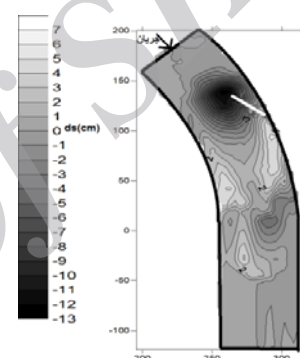


شکل ۱۶- نمایش الگوی آبشستگی بستر با کاربرد صفحه مستطیلی در زاویه  $60^\circ$ .



شکل ۱۳- نمایش الگوی آبشستگی بستر با کاربرد صفحه مستطیلی در زاویه  $23^\circ$ .

محل وقوع بیشینه عمق آبشستگی در زوایای قرارگیری صفحه مستطیل شکل، در نزدیکی دماغه سازه رخ داده است. این پدیده نتیجه ایجاد ورتکس افقی در دماغه سازه به دلیل جداشدگی خطوط جریان در دماغه سازه میباشد. ضمناً با افزایش زاویه بیشینه عمق آبشستگی در دماغه سازه به دلیل قرارگیری دماغه سازه در خطوط جریان با سرعت بالاتر و شدیدتر شدن این ورتکس افزایش می‌یابد و به بیشینه  $0/160$  متر و یا  $66/7$  درصد طول مؤثر صفحه، می‌رسد. در جدول شماره ۱ بیشینه عمق آبشستگی در دماغه صفحات دوزنقه‌ای و مستطیلی در زوایای مختلف مورد آزمایش، با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



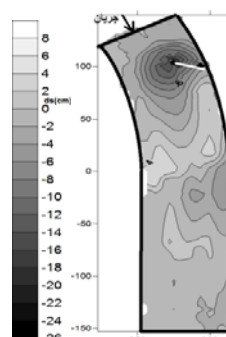
شکل ۱۴- نمایش الگوی آبشستگی بستر با کاربرد صفحه مستطیلی در زاویه  $30^\circ$ .

جدول ۱- مقایسه بیشینه عمق آبشستگی در دماغه صفحات دوزنقه‌ای ( $d_t$ ) و مستطیلی ( $d_r$ ).

$d_r/d_t$	$d_r$ (متر)	$d_t$ (متر)	$\theta$ (درجه)
۲/۸۸۲	۰/۱۴۹	۰/۰۵۱۷	۲۳
۱/۵۴۵	۰/۱۵۳	۰/۰۹۹	۳۰
۱/۵۱۹	۰/۱۵۸	۰/۱۰۴	۴۰
۱/۵۰۹	۰/۱۶۰	۰/۱۰۶	۶۰
-	-	۰/۱۱۱	۷۰

### نتیجه‌گیری کلی

در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه بر الگوی آبشستگی بستر در قوس ۹۰ درجه ملایم با وجود صفحه منفرد دوزنقه‌ای در زاویه ۷۰ درجه از



شکل ۱۵- نمایش الگوی آبشستگی بستر با کاربرد صفحه مستطیلی در زاویه  $40^\circ$ .

نوزنقه‌ای می‌باشد (در بیشترین حالت حدود ۶۵ درصد). تپه رسوبی ایجاد شده در پایین دست صفحات که در اثر ته‌نشین شدن رسوبات شسته شده از دماغه ایجاد می‌شود در صفحه نوزنقه‌ای دارای طول مناسب و چسبیده به ساحل خارجی است در صورتی که در صفحه‌ی مستطیلی این تپه دارای طول کم بوده و به صورت پراکنده در عرض فلوم گسترش یافته است که نشان دهنده محافظت صفحات نوزنقه‌ای از ساحل خارجی می‌باشد. همان‌طور که مشاهده شد تفاوت‌های برجسته و غیر قابل اغماض زیادی در محافظت از قوس رودخانه توسط صفحات نوزنقه‌ای متصل به ساحل و صفحات مستطیلی و سایر سازه‌های مورد استفاده جهت محافظت از ساحل خارجی رودخانه‌ها وجود دارد.

#### سپاسگزاری

این مطالعه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران انجام شده است که بدین وسیله از مسئولین دانشگاه شهید چمران تشکر و قدردانی می‌شود.

ابتدای قوس پرداخته شده و آزمایش‌ها برای زوایای نصب ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه و عدد فرود ۰/۲۱ انجام پذیرفت. از مقایسه الگوی آبستنگی بستر در انتهای این آزمایش‌ها به‌طور خلاصه این نتایج حاصل می‌گردد. با افزایش زاویه نصب صفحات نوسانات الگوی آبستنگی بستر با وجود صفحه نوزنقه‌ای در قوس، افزایش می‌یابد. عمق آبستنگی بیشینه در کلیه شرایط مورد آزمایش در نزدیکی دماغه صفحه نوزنقه‌ای اتفاق افتاده است. صفحات متصل به ساحل یک سلول جریان ثانویه با چرخش معکوس در نزدیکی ساحل خارجی ایجاد می‌کنند؛ این سلول جریان با جریان حلزونی اصلی در خم که عامل آبستنگی در قوس خارجی می‌باشد مقابله می‌کند. مناسب‌ترین زاویه که بیشترین استهلاك انرژی و کمترین عمق آبستنگی را ایجاد می‌کند زاویه ۳۰ درجه و بیشترین عمق آبستنگی مربوط به زاویه ۷۰ درجه می‌باشد. از مقایسه صفحه نوزنقه‌ای با صفحه مستطیلی می‌توان گفت که صفحه نوزنقه‌ای در دور کردن آبستنگی از ساحل خارجی قوی‌تر عمل می‌کند. در ضمن بیشینه عمق آبستنگی در صفحه مستطیلی خیلی بیشتر از صفحه

#### منابع مورد استفاده

- جراح زاده ف و شفاعی بجستان م، ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی وضعیت خط القعر تحت تأثیر وجود سرریز مستغرق در خم ۹۰ درجه تند. پژوهش و سازندگی، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۷، صفحه‌های ۱۸ تا ۲۹.
- دهقانی ا، برزعلی م، فضل اولی ر و تباراحمدی م، ۱۳۸۸. مطالعه آزمایشگاهی آبستنگی موضعی اطراف سری آبشکن‌های I شکل. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد ۱۶، شماره ۳، صفحه‌های ۱۴۱ تا ۱۶۲.
- رامش س، جراح زاده ف، مشکورنیا ه و شفاعی بجستان م، ۱۳۸۹. وضعیت پروفیل طولی فرسایش و رسوب تحت تأثیر سرریز bend way در خم ۹۰ درجه تند. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۸ الی ۲۰ آبان ۱۳۸۹ دانشگاه تربیت مدرس.
- بی‌نام، ۱۳۸۸. طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن‌های رودخانه‌ای. چاپ اول. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، شماره ۵۱۶، ۲۴۷ صفحه، تهران.
- شفاعی بجستان م، ۱۳۹۰. مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب. ویرایش دوم، ۵۴۹ صفحه، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- صالحی نیشابوری ع و اقبالزاده ا، ۱۳۸۱. بررسی اثر جریان بر توپوگرافی بستر در قوس. ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ۸ الی ۱۰ بهمن ماه سال ۱۳۸۱، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- فضلی م و قدسیان م، ۱۳۸۸. بررسی آبشستگی و الگوی جریان در اطراف دو آبشکن بسته در قوس ۹۰ درجه. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست. جلد ۳۹، شماره ۳، صفحه‌های ۳۳ تا ۴۵.
- موسوی ک و قدسیان م، ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی تأثیر انحنای نسبی کانال بر آبشستگی بستر در خم ۹۰ درجه. مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، دوره ۱۰، شماره ۲، صفحه‌های ۱۳۵ تا ۱۴۴.
- نظری س و شفای بجستان م، ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی تغییرات بستر متحرک در قوس ۹۰ درجه. نهمین کنفرانس هیدرولیک، ۱۸ الی ۲۰ آبان ۱۳۸۹ دانشگاه تربیت مدرس.
- واقفی م، قدسیان م و صالحی نیشابوری ع، ۱۳۸۸. بررسی تغییرات زمانی آبشستگی اطراف آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۱، صفحه‌های ۷۹ تا ۱۰۵.
- واقفی م و قدسیان م، ۱۳۸۹. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر استقرار آبشکن T شکل بر توپوگرافی پائین دست بستر قوس ۹۰ درجه. نشریه مهندسی عمران، سال ۲۲، شماره ۱، صفحه‌های ۱۱۳ تا ۱۲۸.
- هاشمی نجفی ف، ایوب‌زاده س ع و دهقانی ا، ۱۳۸۷. بررسی آزمایشگاهی آبشستگی اطراف آبشکن‌های L شکل در شرایط آب زلال. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد ۱۵، صفحه‌های ۱ تا ۸.
- Abad JD and Rhoads BL, 2008. Flow Structure at Different Stages in a Meander-Bend with Bendway Weirs. *Journal of Hydraulic Engineering* 134(8): 1052-1063.
- Bhuiyan F, Hey RD and Wormleaton PR, 2010. Bank-Attached Vanes for Bank Erosion Control and Restoration of River Meanders. *Journal of Hydraulic Engineering* 136(9): 583-596.
- Kinzli KD and Thornton CI, 2010. Predicting velocity in Bendway weir eddy fields. *River Research and Applications* 26: 823-834.
- Rhoads b, 2003. protocols for geomorphic characterization of meander bends in Illinios, Department of geography university of Illinois: 26-37.
- Smith SP and Wittler RJ, 1999. Bendway weirs and highway protection in Colorado: A Case study on the Blue River. *Water Operation and Maintenance Bulletin* 187: 1-6.