علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۰، شماره‌ی ٤، زمستان ۹٦، ص. ۱۸۲-۱٦۹

اثر زاویه‌ی صفحه‌ی مثلثی شکاف‌دار متصل به ساحل بر توپوگرافی بستر در خم ۹۰ درجه

فرشید امیرسالاری میمنی[۱]، احمد فتحی[۲*] و محمد محمودیان شوشتری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲*- نویسنده مسئول، استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز fathiahmad2000@yahoo.com
۳-استاد بازنشسته گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۳

چکیده

صفحات متصل به ساحل برای کنترل فرسایش دیواره‌ی رودخانه‌ها و سواحل به‌کار برده می‌شوند. دماغه‌ی صفحات همواره در معرض آبشستگی ناشی از برخورد جریان با سازه بوده است. عوامل مختلفی در کاهش آبشستگی موضعی مؤثر هستند. تحقیقات اخیر نشان داده است که صفحات مثلثی متصل به ساحل نقش مؤثری در کاهش آبشستگی موضعی حول دماغه‌ی خود ایفا نموده‌اند. در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر زاویه، صفحه‌ی مثلثی شکاف‌دار (مساحت شکاف= ۱۰ درصد مساحت سطح مؤثر صفحه) در زوایای مختلف (۲۳، ۳۰، ٤۰ و ٦۰ درجه) در فلوم قوس‌دار کارگذاری شدند. آزمایش‌ها در شرایط هیدرولیکی متفاوت (اعداد فرود ۰/۲۸۷، ۰/۳۰٤ و ۰/۳۲۲) صورت پذیرفت. نتایج نشان داد بیشینه عمق آبشستگی به‌ترتیب در زوایای ۲۳ و ٤۰ درجه دارای کمترین و بیشترین مقدار بوده است. بیشینه ارتفاع پشته گذاری متناسب با بیشینه عمق آبشستگی بوده است. با افزایش زاویه‌ی صفحه تا ٤۰ درجه فاصله‌ی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی دورتر شده است و در زاویه‌ی ٦۰ درجه به‌شدت کاهش یافته است.

کلید واژه‌ها: صفحات مثلثی شکاف‌دار، اثر زاویه، قوس ۹۰ درجه.

مقدمه

یکی از مشکلات موجود در مهندسی رودخانه وجود فرسایش در دیواره‌ی رودخانه‌ها و سواحل، در اثر ارتباط مستقیم جریان با دیواره می‌باشد. الگوی توزیع سرعت در قوس نشان دهنده‌ی تمرکز نواحی با حداکثر سرعت در پایین دست قوس و در مجاورت دیواره‌ی خارجی است (شاکر و کاشفی‌پو، ۱۳۹۴). برای حفاظت از دیواره‌ی رودخانه‌ها و سواحل می‌توان از روش‌های متعددی با در نظر گرفتن شرایط هر رودخانه استفاده کرد. در رودخانه‌های قوس‌دار با توجه به شرایط متفاوت و پیچیده حاکم بر آن‌ها در مقایسه با رودخانه‌های مستقیم، تحقیقات بیشتر و دقیق‌تری برای کاهش فرسایش دیواره‌ی خارجی آن‌ها نیاز می‌باشد. آبشکن‌ها از جمله سازه‌های حفاظتی به‌شمار می‌روند که برای کاهش فرسایش و تثبیت دیواره‌ی رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما از طرفی قرارگیری آبشکن در مسیر جریان و تأثیر مستقیم جریان روی سازه منجر به ایجاد آبشستگی موضعی حول دماغه‌ی آبشکن و در نتیجه بعد از مدتی موجب تخریب سازه خواهد شد. عوامل مختلفی همچون شکل آبشکن، تعداد آبشکن، درصد نفوذ پذیری، فاصله‌ی آبشکن‌ها از یکدیگر و غیره در نوع عملکرد آبشکن‌ها تأثیرگذار هستند. از جمله موارد دیگر تأثیرگذار در عملکرد آبشکن‌ها زاویه‌ی قرارگیری این سازه می‌باشد. آبشکن‌ها از لحاظ زاویه‌ی استقرار ممکن است به صورت دافع، عمودی و یا جاذب کارگذاری شوند. از نظر قدرت انحراف جریان و شدت رسوب‌گذاری در پایین دست، آبشکن‌های دافع بهتر عمل می‌کنند، از سوی دیگر میزان آبشستگی پیرامون آبشکن‌های جاذب (که تمایل به پایین دست جریان دارند) کمتر بوده و سازه از پایداری طبیعی بیشتری برخوردار خواهد بود (بی نام، ۱۳۸۴). در راستای بررسی اثر زاویه‌ی استقرار آبشکن‌ها تحقیقاتی در زوایای مختلف و بیشتر در مسیرهای مستقیم، بر آبشکن‌های مختلف (از نظر شکل ظاهری، درصد نفوذ پذیری، درجه‌ی استغراق و غیره) توسط محققان صورت پذیرفته است. کوهنل و همکاران[۱] (۲۰۰۲) با استقرار تک آبشکن نفوذ ناپذیر به صورت‌های دافع، عمود و جاذب نتیجه گرفتند که آبشکن در زاویه‌ی ۴۵ درجه دارای بیشترین فرسایش بوده و زوایای ۹۰ و ۱۳۵ درجه آبشستگی کمتری ایجاد کردند. در تحقیقی دیگر بویان و همکاران[۲] (۲۰۱۰) در بررسی تک صفحه‌ی مثلثی متصل به ساحل عنوان می‌کند که روش اثر بخش برای ترمیم سواحل رودخانه‌ها، نصب این صفحات با زاویه‌ی کم (۲۰ و ۳۰ درجه) و به‌صورت متصل به ساحل می‌باشد. تحقیقات شریعت‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) بر آبشکن تی شکل در قوس ۹۰ درجه نشان می‌دهد که بیشینه عمق آبشستگی در زاویه‌ی ۹۰

1- Kuhnle *et al.*
2- Bhuiyan *et al.*

درجه رخ داده است. حسینی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه‌ی آبشکن‌های سرسپری در مسیر مستقیم دریافتند که با افزایش زاویه‌ی آبشکن‌ها نسبت به ساحل مجاور بالادست، ابعاد چاله‌ی آبشستگی کاهش می‌یابد. چناری و ملکی (۱۳۹۱) با شبیه‌سازی سه بعدی الگوی جریان اطراف آبشکن‌های ال شکل نفوذ ناپذیر در پنج زاویه‌ی مختلف (۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و۹۰ درجه) و به صورت غیر مستغرق، نتیجه گرفتند که بیشترین فرسایش در دماغه‌ی آبشکن رخ می‌دهد و زوایای ۷۵ و ۹۰ درجه به ترتیب دارای بیشترین و کمترین فرسایش می‌باشند. شاکر و کاشفی‌پور (۱۳۹۴) با بررسی میزان تنش برشی ناشی از آبشکن در قوس دریافتند که در زوایای مختلف بیشترین تنش برشی در حضور آبشکن قائم رخ داده است. نتایج تحقیقات بهرامی یاراحمدی و شفاعی‌بجستان (۱۳۹۳) که با نصب تک آبشکن مثلثی در پنج زاویه (۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه) و اعداد فرود مختلف صورت پذیرفت نشان می‌دهد که زوایای ۲۳ و ۶۰ درجه به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین عمق آبشستگی و فاصله‌ی خط‌القعر از ساحل بیرونی بوده است و همچنین با افزایش زاویه‌ی نصب، فاصله پشته‌ی رسوب‌گذاری از ساحل بیرونی و توزیع آن در عرض جریان افزایش می‌یابد. تحقیقاتی نیز با در نظر گرفتن پارامتر نفوذپذیری در آبشکن‌ها در زوایای مختلف صورت پذیرفته است. از جمله این تحقیقات توسط ازلدین و همکاران[1] (۲۰۰۷) صورت پذیرفت که نتایج نشان می‌دهد در تک آبشکن نفوذپذیر زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه به‌ترتیب بهترین و بدترین زاویه از نظر ایجاد آبشستگی موضعی حول دماغه بوده‌اند. اهدایی و کاشفی‌پور (۱۳۹۳) به بررسی اثر زوایای مختلف (۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه) با درصدهای نفوذپذیری ۰ درصد ، ۳۰ درصد و ۵۰ درصد بر توپوگرافی بستر در حالت تک آبشکن پرداخته‌اند. نتایج ایشان نشان داد که در نفوذپذیری ۵۰ درصد بیشینه عمق آبشستگی حول آبشکن با زاویه‌ی ۱۲۰ درجه رخ داده است اما با کاهش نفوذپذیری، آبشکن جاذب آبشستگی کمتری نسبت به آبشکن قائم و دافع ایجاد می‌کند. درضمن ایشان در آزمایش مذکور عامل نفوذپذیری را مؤثرتر از پارامتر تغییر زاویه، در کاهش بیشینه عمق آبشستگی، می‌دانند. در تحقیقی مشابه و در آبشکن توری‌سنگی با تخلخل ۳۰ درصد، بادپا و همکاران (۱۳۹۴) آزمایش‌هایی در زوایا (۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) و شرایط هیدرولیکی متفاوت انجام داده و نشان دادند که در اعداد فرود مختلف بیشینه عمق آبشستگی در حالت عمود رخ می‌دهد. قابل توجه است که صفحه‌ی مثلثی متصل به ساحل حالت اصلاح شده‌ای از سازه‌های حفاظتی (از لحاظ شکل ظاهری، درجه‌ی استغراق، وجود شکاف در صفحه) برای ایجاد کمینه عمق آبشستگی حول دماغه‌ی صفحه می‌باشد. بنابراین و با توجه به اینکه تحقیقات محدودی روی صفحات متصل به ساحل صورت پذیرفته است، در تحقیق پیش‌رو با نصب تک صفحه‌ی مثلثی شکاف‌دار متصل به ساحل در زوایای مختلف، به بررسی اثر زاویه‌ی قرارگیری این صفحات بر توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه پرداخته شده است. استفاده از صفحه‌ی مثلثی شکاف‌دار متصل به ساحل در این تحقیق، در واقع ادامه تحقیقات محققان در گذشته است.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

پارامترهای تأثیرگذار بر توپوگرافی بستر حول صفحه‌ی شکاف‌دار مثلثی به صورت زیر می‌باشد:

$$\phi = f\ (V, Y, g, \rho, \mu, B_0, \lambda, S_0, R_c, \Theta, L_e, \alpha, h, L, a, b, d_{50}, \sigma)$$

در این رابطه، V، بیان‌گر سرعت جریان، Y، عمق جریان، g، شتاب ثقل، ρ، جرم واحد حجم مایع، μ، لزوجت دینامیکی مایع، B_0، عرض فلوم، λ، زاویه‌ی مرکزی قوس، S_0، شیب طولی کف فلوم، R_c، شعاع مرکزی قوس، Θ، زاویه‌ی موقعیت قرارگیری سازه در قوس (محل نصب سازه در قوس)، L_e، طول مؤثر سازه، α، زاویه‌ی محور سازه نسبت به خط مماس بر ساحل بیرونی بالادست، h، ارتفاع سازه، L، طول سازه، a، طول شکاف، b، عرض شکاف، d_{50}، اندازه‌ی متوسط مصالح بستر و σ، ضریب انحراف استاندارد رسوبات بستر می باشد.

ابتدا بی‌بعدسازی با استفاده از تئوری باکینگهام صورت پذیرفت و پس از حذف پارامترهای ثابت و کم‌اهمیت، نتایج به شرح زیر بوده است:

$$\frac{\Phi}{Y} = \left(\theta, \alpha, \frac{h}{Y}, \frac{L}{Y}, Fr\right) \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) Φ شامل

Z_{max}: بیشینه عمق آبشستگی

H_{max}: بیشینه ارتفاع پشته گذاری

S_1: فاصله‌ی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی می‌باشد.

همچنین F_r، بیان‌گر عدد فرود جریان است. با ترکیب پارامترهای بی بعد $\frac{h}{Y}$ و $\frac{L}{Y}$ پارامتر بی‌بعد $\frac{h}{L}$ به‌عنوان شیب تاج سازه تعریف می‌شود. این پارمتر با توجه به ثابت بودن طول تأثیر سازه، با α رابطه‌ی مستقیم دارد (بهرامی یاراحمدی و شفاعی‌بجستان، ۱۳۹۳).

1 - Ezzeldin *et al.*

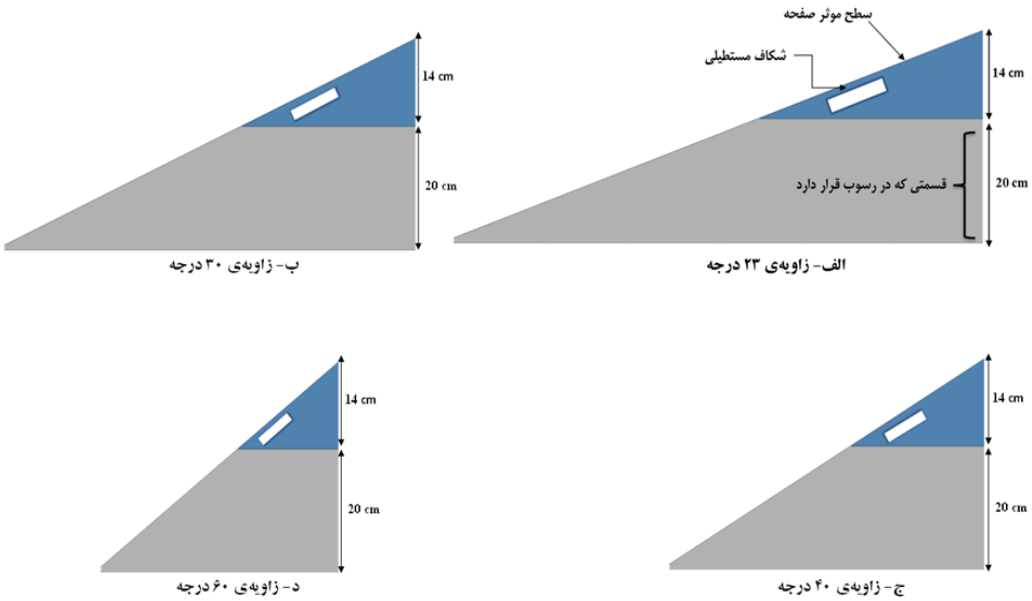


شکل ۱- نمایی از فلوم مورد استفاده

تجهیزات و روش آزمایش

آزمایش‌های مربوط به این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده‌ی مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز صورت پذیرفت. فلوم مورد استفاده در آزمایش‌ها یک فلوم قوسی ملایم ۹۰ درجه از جنس پلکسی گلاس با عرض ۰/۷ متر و شعاع مرکزی ۳ متر می‌باشد. ورودی بالا دست فلوم به طول ۵ متر و طول مسیر خروجی واقع در پایین دست فلوم، ۳ متر می‌باشد. کف بستر از رسوبات با دانه‌بندی یکنواخت، (میلی متر) $d_{50}= 1.5$ و $\sigma=1.22$ (ضریب انحراف معیار هندسی) و با عمق ۲۰ سانتی‌متر پوشانده شده است (شکل ۱). جریان مورد نیاز توسط شیر واقع در بالادست فلوم تأمین و پس از گذشتن از مخزن آرام کننده‌ی جریان، به صورت کنترل شده و بدون اغتشاش وارد فلوم شده است. دبی جریان توسط دبی سنج اولتراسونیک (با دقت ۱± میزان قرائت شده) نصب شده روی شیر ورودی، اندازه‌گیری شده است. در آزمایش‌های مربوط به تحقیق حاضر از تک صفحه‌ی مثلثی شکاف‌دار (مساحت شکاف برابر با ۱۰ درصد مساحت سطح مؤثر صفحه) استفاده شده است (شکل ۲). در همه آزمایش‌ها تک سازه در موقعیت ۷۲ درجه نسبت به ابتدای قوس ($\theta = 72^0$) و در ساحل بیرونی نصب گردید(بهرامی یاراحمدی و شفاعی‌بجستان، ۱۳۹۳).

جنس صفحه‌ی به‌کار رفته از نوع پلکسی گلاس به ضخامت ۴ میلی‌متر بوده است. زوایای استفاده شده در تحقیق حاضر برای بررسی اثر زاویه‌ی تک صحفه‌ی مثلثی شکاف‌دار بر توپوگرافی بستر، زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه بوده است که همگی از نوع دافع می‌باشند (شکل ۲). میزان تنگ شدگی در زوایای مختلف یکسان در نظر گرفته شده است. بدین منظور طول مؤثر (فاصله‌ی نوک دماغه‌ی صفحه تا ساحل بیرونی) رعایت شده به‌صورت پارامتر ثابت، در زوایای مختلف برابر با ۲۰ درصد عرض فلوم بوده است. آزمایش‌ها در اعداد فرود مشخص ۰/۲۸۷، ۰/۳۰۴ و ۰/۳۲۲ (دبی ۳۳، ۳۵ و ۳۷ لیتر بر ثانیه) صورت پذیرفته و در مجموع تحقیق حاضر شامل ۱۲ مرحله آزمایش بوده است. عمق جریان در ابتدای هر آزمایش به میزان ۱۴ سانتی‌متر توسط دریچه انتهایی تنظیم گردیده و در طول آزمایش‌ها صفحه به‌صورت کاملاً مستغرق بوده است. به‌گونه‌ای که تراز بالایی تاج سازه همواره مماس با سطح آب موجود در فلوم بوده است. در شروع هر آزمایش برای جلوگیری از آبشستگی کاذب حول دماغه‌ی سازه و نیز کف بستر، ابتدا دریچه‌ی تنظیم کننده‌ی انتهایی را کاملاً بسته و شیر ورودی را به اندازه‌ی ایجاد حداقل دبی در فلوم (حدود ۰/۵لیتر بر ثانیه) تنظیم کرده و به‌مدت ۲۰ دقیقه صبر کرده تا سطح آب به میزانی بالاتر از سطح سازه برسد سپس دبی را تا حد مورد نیاز افزایش داده و با استفاده از دریچه‌ی کشویی انتهای فلوم، تنظیم دقیق سطح آب به میزان لازم صورت پذیرفته است. در این پژوهش چون هدف مقایسه تغییرات توپوگرافی بستر در زوایا و شرایط هیدرولیکی متفاوت است و نه استخراج معادله‌ای برای بیشینه عمق آبشستگی، زمان انجام هر آزمایش ۳ ساعت در نظر گرفته شد (جانسون و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ۲- صفحات به‌کار رفته در آزمایش‌ها در زوایای مختلف

بعد از اتمام زمان آزمایش دریچه‌ی پایین دست را به‌طور کامل بسته و به‌مدت یک ساعت زهکشی فلوم از طریق شیر زهکش موجود در کف فلوم صورت پذیرفته است. در پایان پس از انجام زهکشی، توپوگرافی بستر توسط یک دستگاه متر لیزری مدل Bosh GLM 30 برداشت شده است.

تحلیل نتایج

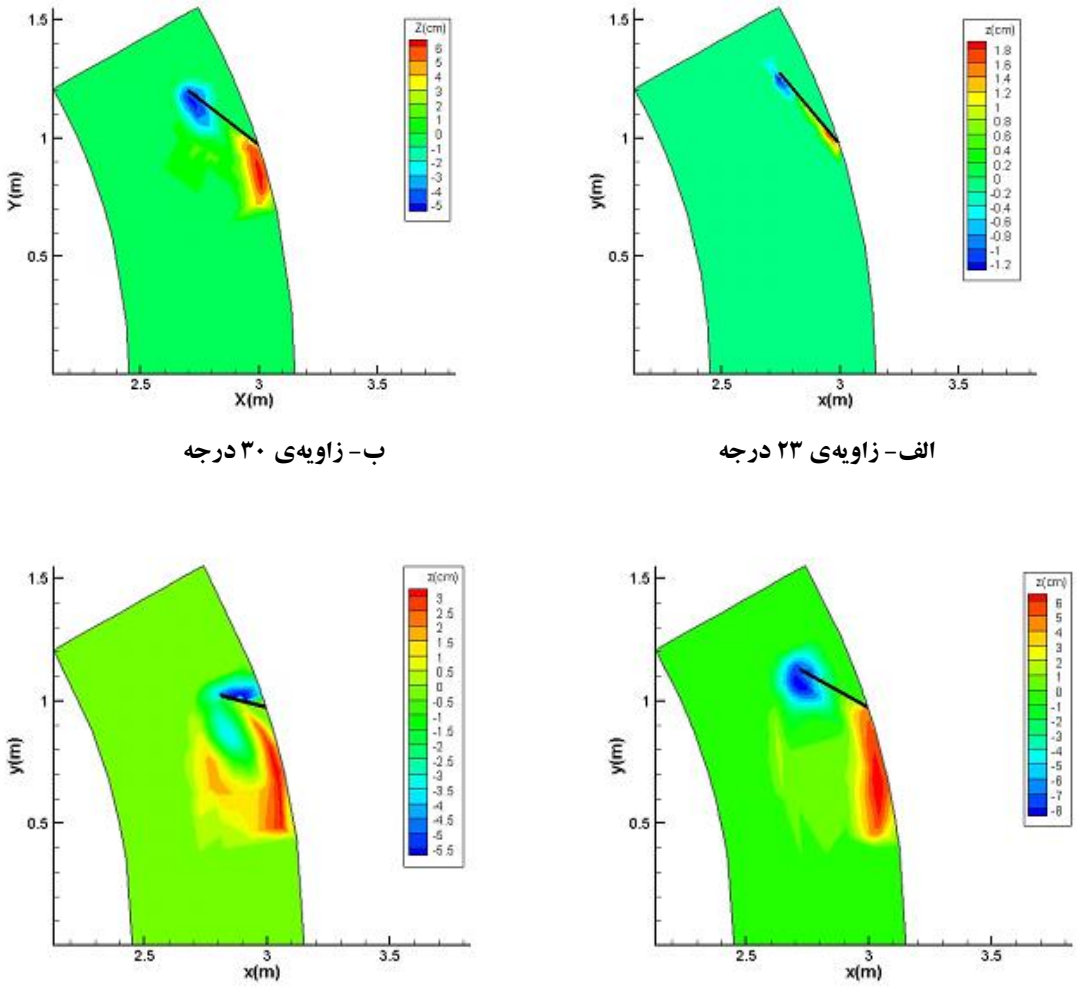
به‌منظور نمایش مطلوب و قابل تحلیل تغییرات توپوگرافی بستر حول تک صفحه در آزمایش‌های مختلف، تصاویر مربوط با استفاده از نرم‌افزار Tecplot ترسیم گردید. نمودارهایی نیز برای مقایسه‌ی راحت‌تر پارامترها توسط نرم افزار اکسل ارائه گردیده است.

مکانیزم آبشستگی موضعی و پشته گذاری

مشاهده‌ی بصری مسیر حرکت جریان که با تزریق ماده‌ی رنگی صورت پذیرفت نشان داد که جریان موجود در بالادست پس از رسیدن به قوس به دلیل وجود نیروی گریز از مرکز به سمت قوس بیرونی فلوم حرکت کرده و در مسیر حرکت به سازه‌ی متصل به ساحل برخورد می‌نماید. بخشی از جریان به دلیل شکل مثلثی صفحه از روی صفحه عبور کرده و به سمت پایین دست روانه می‌شود اما بخش دیگر جریان در امتداد بدنه‌ی صفحه به سمت دماغه حرکت می‌کند. این جریان پایین رونده پس از رسیدن به دماغه با جریان اصلی فلوم (جریان به عمق ۱۴ سانتی‌متر که از بالا دست به سمت پایین دست در حرکت است) برخورد کرده و یک جریان چرخشی پاد ساعتگرد را حول دماغه‌ی صفحه در سمت پایین دست سازه ایجاد می‌نماید. ذرات حول دماغه‌ی صفحه تحت تأثیر جریان پایین رونده از بستر جدا شده و از طریق جریان چرخشی پادساعتگرد به قسمت پایین دست سازه (در سمت قوس بیرونی) انتقال می‌یابند. به مرور زمان و انباشت این ذرات روی‌هم پشته (ساحل مجازی) تشکیل می‌شود. قابل ذکر است که بخشی از جریان پایین رونده به سمت دماغه‌ی صفحه، قبل از رسیدن به دماغه در اثر وجود شکاف به سمت پایین دست منحرف می‌شود. شکل (۳) نمونه‌ای از تصاویر مربوط به توپوگرافی بستر در زوایای مختلف می‌باشد که با استفاده از نرم افزار Tecplot ترسیم گردیده است.

با توجه به شکل (۳)، صفحه‌ی شکاف‌دار ۲۳ درجه دارای کمترین حجم آبشستگی و پشته گذاری بوده است.

در این زاویه آبشستگی فقط در بخش پایین دست سازه رخ داده است و شروع پشته گذاری از میانه‌ی محور سازه شروع و موازی با آن ادامه یافته است. در صفحات شکاف‌دار ۳۰ و ۴۰ درجه چاله‌ی آبشستگی معطوف به حول دماغه‌ی صفحه بوده است. پشته گذاری در این زوایا از محل نصب سازه شروع و به‌صورت چسبیده به ساحل تا پایین دست ادامه داشته است. در این زوایا همچنین مشاهده می‌شود که رسوباتی که از نوک دماغه شسته شده‌اند بدون پراکندگی به سمت قوس بیرونی (در پایین دست سازه) هدایت شده است که این می‌تواند به تثبیت ساحل بیرونی کمک نماید. تشکیل چاله‌ی آبشستگی در صفحه‌ی شکاف‌دار ۶۰ درجه معطوف به دماغه‌ی صفحه نبوده است، به‌طوری‌که بیشترین توسعه‌ی عرضی چاله‌ی آبشستگی و پشته گذاری در این زاویه اتفاق افتاده است و تا میانه‌ی فلوم کشیده شده است. نکته‌ی مهم دیگر در این زاویه، تشکیل بیشینه عمق آبشستگی در محور بالادست سازه و نیز کشیده شدن آبشستگی به ساحل بیرونی است.



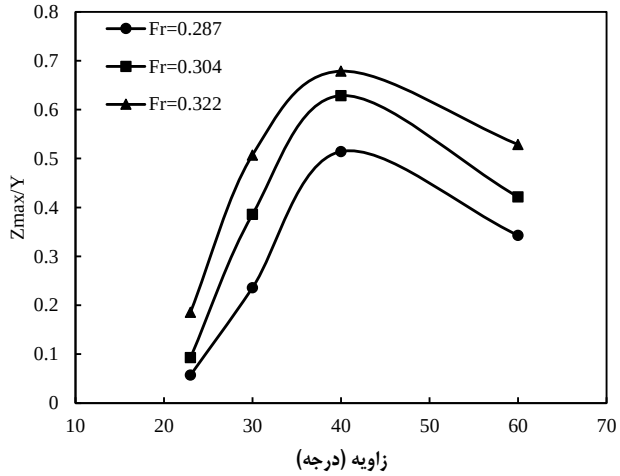
الف- زاویه‌ی ۲۳ درجه

ب- زاویه‌ی ۳۰ درجه

ج- زاویه‌ی ٤٠ درجه

د- زاویه‌ی ٦٠ درجه

شکل۳- تغییرات توپوگرافی بستر حول صفحه‌ی شکاف‌دار در زوایای مختلف- عدد فرود ۰/۳۰٤



شکل ٤- تغییرات بیشینه عمق آبشستگی نسبی بر حسب زاویه‌ی نصب در اعداد فرود مختلف

بیشینه عمق آبشستگی و بیشینه ارتفاع پشته گذاری

اگر زاویه‌ی نصب صفحه به‌گونه‌ای باشد که صفحه قادر به ایجاد کمینه آبشستگی حول دماغه‌ی خود باشد، قطعاً صفحه در بلندمدت دوام بیشتری داشته و از فرآیند تخریب مصون خواهد بود. بنابراین پارامتر بیشینه عمق آبشستگی حول دماغه‌ی صفحه را می‌توان به‌عنوان یکی از عوامل تعیین کننده در تشخیص کارآمدی صفحات در نظر گرفت. به‌منظور بررسی این پارامتر مهم، شکل (۴) ترسیم گردیده است. این نمودار حاصل نسبت بیشینه عمق آبشستگی (Z_{max}) به عمق جریان (Y) در مقابل زوایای مختلف می‌باشد. لازم به ذکر است که در شکل (۴) عدد فرود به‌عنوان پارامتر سوم به‌کار رفته است و هر منحنی در نمودار بیان‌گر یک عدد فرود خاص می‌باشد. در بررسی بیشینه عمق آبشستگی حول دماغه‌ی صفحه، طبق نمودار شکل (۴) مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه‌ی صفحه، تا زاویه‌ی ۴۰ درجه، بیشینه عمق آبشستگی افزایش یافته و سپس در زاویه‌ی ۶۰ درجه کاهش یافت به‌طوری‌که بیشینه عمق آبشستگی حول دماغه در زاویه‌ی ۲۳ درجه دارای کمترین مقدار و در زاویه‌ی ۴۰ درجه دارای بیشترین مقدار می‌باشد. لازم به ذکر است که این روند در هر سه عدد فرود مختلف تکرار شده است. بیشینه عمق آبشستگی صفحات شکاف‌دار ۲۳، ۳۰ و ۶۰ درجه بطور متوسط در شرایط هیدرولیکی مختلف به ترتیب ۱۸ درصد، ۶۱ درصد و ۷۱ درصد بیشینه عمق آبشستگی در صفحه شکاف‌دار ۴۰ درجه می‌باشد.

در تحقیقات گذشته توسط بهرامی یاراحمدی و شفاعی‌بجستان (۱۳۹۳) روی صفحات مثلثی بدون شکاف مشاهده شده بود که زوایای ۲۳ و ۶۰ درجه دارای کمترین و بیشترین عمق آبشستگی حول دماغه‌ی صفحه بوده‌اند. اما در تحقیق حاضر (صفحه‌ی شکاف‌دار) مشاهده شد که در هر سه عدد فرود، زاویه‌ی ۶۰ درجه آبشستگی کمتری نسبت به زاویه‌ی ۴۰ درجه ایجاد نموده است. علت این امر را می‌توان به اثر زاویه‌ی صفحه با در نظر گرفتن شکاف ایجاد شده در صفحه مرتبط دانست. بدین ترتیب که با افزایش زاویه‌ی صفحه از ۴۰ به ۶۰ درجه بخش بیشتری از سطح مؤثر شکاف در مسیر مستقیم جریان قرار گرفته است. بنابراین مقدار بیشتری از جریان پایین رونده (به‌عنوان عامل ایجاد آبشستگی حول دماغه‌ی صفحه) قبل از رسیدن به دماغه از طریق شکاف به سمت پایین دست منحرف گردیده و درنتیجه بیشینه عمق آبشستگی کاهش یافته است.

تغییرات مربوط به Z_{max}/Y در مقابل تغییرات عدد فرود جریان نیز با دقت در شکل (۴) مشخص می‌شود. با توجه به شکل (۴) مشاهده می‌شود که در صفحات شکاف‌دار با افزایش عدد فرود جریان، در هر چهار زاویه، بیشینه عمق آبشستگی افزایش یافته است (نتایج کمی در جدول (۱) بیان شده است). این نتیجه منطبق با نتایج محققان گذشته از جمله بهرامی یاراحمدی و شفاعی‌بجستان (۱۳۹۳) و حسینی (۱۳۹۴) می‌باشد.

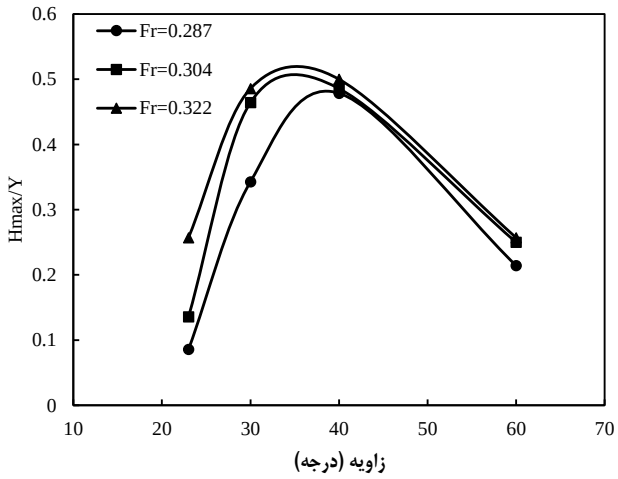
با توجه به اینکه یکی از اهداف جانبی سازه‌های آبشکن ایجاد ساحل مجازی (تشکیل پشته در ساحل بیرونی رودخانه‌ها) می‌باشد پارامتر دیگر مورد مطالعه در تحقیق حاضر بیشینه ارتفاع پشته گذاری می‌باشد. مشاهدات آزمایشگاهی صورت گرفته بر فرآیند آبشستگی و پشته گذاری تک صفحه در آزمایش‌های مختلف نشان داد که حجم پشته گذاری با حجم آبشستگی موضعی حول دماغه‌ی صفحه متناسب بوده است. در شکل (۳) نیز می‌توان این مطلب را با مقایسه‌ی تقریبی حجم آبشستگی حول دماغه‌ی صفحه و حجم پشته گذاری واقع در پایین دست صفحه مشاهده نمود.

به‌منظور بررسی عملکرد تک صفحه در ایجاد پشته، شکل (۵) بر حسب پارامتر بیشینه ارتفاع پشته گذاری (H_{max}) به عمق جریان (Y) در زوایای مختلف ترسیم گردیده است. بررسی نمودار مربوط به شکل (۵) نشان می‌دهد که در اعداد فرود مختلف بیشینه و کمینه ارتفاع پشته گذاری به ترتیب در زوایای ۴۰ و ۲۳ درجه رخ داده است. بیشینه ارتفاع پشته گذاری در صفحات شکاف‌دار ۲۳، ۳۰ و ۶۰ درجه بطور متوسط در شرایط هیدرولیکی مختلف به ترتیب ۳۲ درصد، ۸۸ درصد و ۴۹ درصد بیشینه ارتفاع پشته گذاری در صفحه شکاف‌دار ۴۰ درجه می‌باشد. این نتیجه با توجه به اینکه بیشینه عمق آبشستگی در زاویه‌ی ۴۰ درجه و کمینه آن در زاویه‌ی ۲۳ درجه رخ داده بود و نیز اینکه معمولاً حجم پشته گذاری متناسب با حجم آبشستگی حول دماغه‌ی صفحه می‌باشد، چندان دور از انتظار نیست.

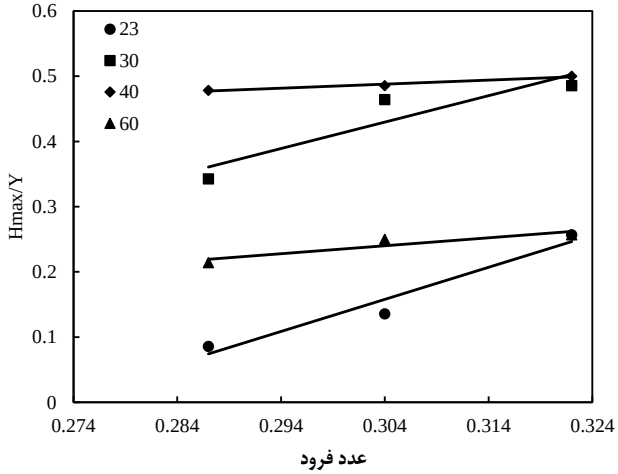
در شکل (۶) تأثیر تغییرات عدد فرود جریان بر نسبت H_{max}/Y در زوایای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهدات نشان می‌دهد که افزایش عدد فرود جریان در همه‌ی زوایا باعث افزایش ارتفاع پشته گذاری شده است. طبق شکل (۶) خط برازش مربوط به زاویه‌ی ۲۳ و ۳۰ درجه نسبت به بقیه خطوط با شیب بیشتری صعودی بوده است. بنابراین انتظار می‌رود در اعداد فرود بالا زاویه ۲۳ و ۳۰ درجه عملکرد بهتری نسبت به بقیه‌ی زوایا در ایجاد بیشینه ارتفاع پشته گذاری ایفا نماید.

جدول ۱- تغییرات بیشینه عمق آبشستگی در زوایا و شرایط هیدرولیکی مختلف

بیشینه عمق آبشستگی	عدد فرود	زاویه نصب (درجه)
-۰/۸	۰/۲۸۷	
-۱/۳	۰/۳۰۴	۲۳
-۲/۶	۰/۳۲۲	
-۳/۳	۰/۲۸۷	
-۵/۴	۰/۳۰۴	۳۰
-۷/۱	۰/۳۲۲	
-۷/۲	۰/۲۸۷	
-۸/۸	۰/۳۰۴	۴۰
-۹/۵	۰/۳۲۲	
-۴/۸	۰/۲۸۷	
-۵/۹	۰/۳۰۴	۶۰
-۷/۴	۰/۳۲۲	



شکل ۵- تغییرات بیشینه ارتفاع پشته گذاری نسبی بر حسب زاویه‌ی نصب در اعداد فرود مختلف



شکل ٦- تغییرات بیشینه ارتفاع پشته گذاری نسبی بر حسب اعداد فرود در زوایای مختلف

قبلاً بیان شد که یکی از اهداف جانبی آبشکن‌ها ایجاد ساحل مجازی با ارتفاع مناسب می‌باشد. با بررسی دقیق و مقایسه‌ی شکل (۴) و شکل (۵) این نکته دریافت می‌شود که زاویه‌ی ۶۰ درجه بر خلاف انتظار عمل کرده است و با وجود آبشستگی زیادتر

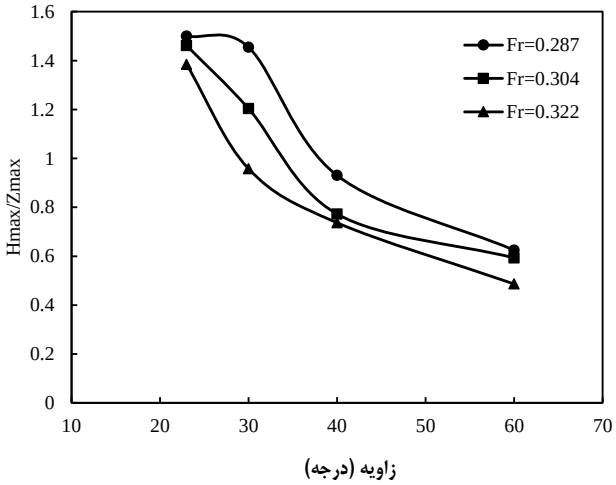
از زاویه‌ی ۳۰ درجه اما بیشینه پشته‌ی کمتری نسبت به این زاویه ایجاد نموده است. در زاویه ۶۰ درجه به دلیل بوجود آمدن جدائی جریان در اطراف سازه رسوب‌گذاری تحت تأثیر قرار گرفته است (بهرامی یاراحمدی و شفاعی‌بجستان، ۱۳۹۳). در واقع صفحه‌ای برای استفاده در سواحل رودخانه‌ها مناسب‌تر است که قادر باشد در مرحله‌ی اول کمترین آبشستگی را حول دماغه‌ی خود ایجاد نماید و سپس ذرات شسته شده از دماغه‌ی خود را با بیشترین ارتفاع در ساحل بیرونی متمرکز نماید، یا به عبارتی سازه قادر باشد بهترین تعادل را بین بیشینه عمق آبشستگی و بیشینه ارتفاع پشته گذاری ایجاد نماید. برای بررسی دقیق مطلب ذکر شده و نیز به‌منظور درک بهتر رفتار صفحه در زوایای مختلف، شکل (۷) ترسیم گردیده است. محور عمودی نمودار شکل (۷) بیان‌گر نسبت بیشینه ارتفاع پشته گذاری (H_{max}) به بیشینه عمق آبشستگی (Z_{max}) و محور افقی برحسب زاویه‌ی نصب صفحه می‌باشد.

طبق شکل (۷) صفحه‌ی ۲۳ درجه مناسب‌ترین و صفحه‌ی ۶۰ درجه بدترین صفحه نسبت به بقیه صفحات، در ایجاد تعادل بین بیشینه عمق آبشستگی و بیشینه ارتفاع پشته گذاری بوده‌اند. نکته‌ی دیگر قابل فهم این است که با افزایش عدد فرود جریان در تمامی زوایا نسبت H_{max}/Z_{max} کاهش یافته است. بدین معنی که با افزایش عدد فرود جریان، صفحه در هر زاویه‌ای (۲۳، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه) نصب شود شاهد ایجاد آبشستگی زیاد حول دماغه‌ی صفحه و در مقابل ساحل مجازی با ارتفاع کمی در ساحل بیرونی خواهیم بود. همچنین مشاهده می‌شود که صفحه‌ی ۳۰ درجه اگرچه توانسته است بین دو پارامتر گفته شده تعادل نسبتاً خوبی برقرار نماید و بعد از صفحه‌ی ۲۳ درجه بهترین صفحه از این نظر باشد اما توجه به سیر نزولی در نسبت H_{max}/Z_{max} به ازای افزایش عدد فرود جریان در این زاویه، نشان می‌دهد که این نسبت، با جهش بیشتری نسبت به بقیه زوایا در حال کاهش است، به نحوی که پیش‌بینی می‌شود اگر روند افزایش عدد فرود جریان تا یک یا دو مرحله دیگر افزایش می‌یافت زاویه‌ی ۳۰ درجه عملکردی مشابه صفحات ۴۰ و یا ۶۰ درجه در ایجاد تعادل بین بیشینه عمق آبشستگی و بیشینه ارتفاع پشته گذاری ایفا می‌نمود. علت عدم ایجاد تعادل مناسب بین H_{max} و Z_{max} با افزایش عدد فرود جریان، مربوط به افزایش سرعت جریان هنگام افزایش عدد فرود جریان (با توجه به اینکه تراز سطح آب در حین آزمایش‌ها ثابت است) می‌باشد. چراکه افزایش سرعت باعث جدایی جریان در اطراف سازه شده و مانع از پرتاب شدن منظم رسوبات شسته شده از نوک دماغه به صورت متمرکز در ساحل بیرونی و در نتیجه ایجاد ساحل مجازی می‌شود و به‌نوعی باعث ایجاد آشفتگی در فرآیند پشته گذاری خواهد شد. بنابراین در اعداد فرود بالاتر توسعه‌ی پشته گذاری بیشتر به‌صورت عرضی رخ می‌دهد نه به‌صورت ارتفاعی.

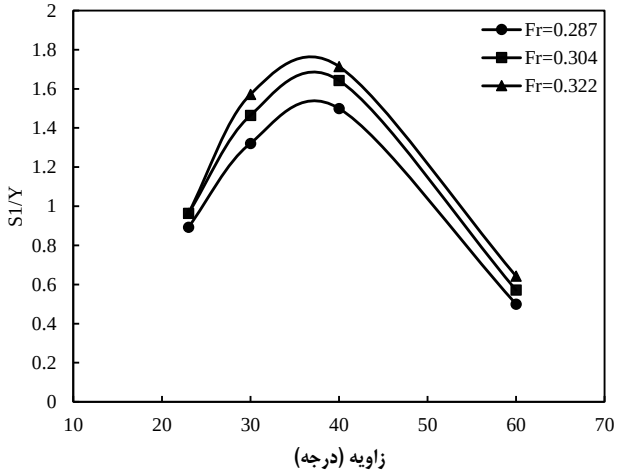
موقعیت بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی

در فرآیند آبشستگی موضعی حول دماغه‌ی صفحات، موقعیت تشکیل بیشینه عمق آبشستگی از اهمیت بالایی برخوردار است. چراکه نزدیک بودن چاله‌ی آبشستگی به ساحل بیرونی باعث سست شدن دیواره‌ی رودخانه و نهایتاً منجر به تخریب آن خواهد شد. در مشاهدات آزمایشگاهی صورت گرفته هنگام آزمایش‌ها مشاهده شد که در بعضی از زوایا و اعداد فرود، بیشینه عمق آبشستگی در محل بالای محور سازه و نزدیک به ساحل بیرونی تشکیل گردید.

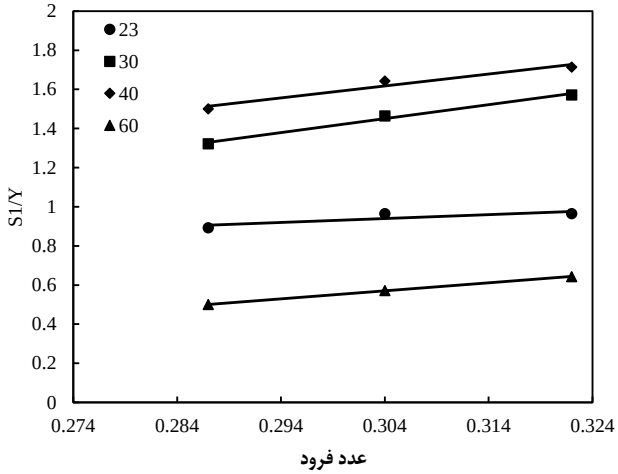
شکل (۸) برای بررسی فاصله‌ی بیشینه عمق آبشستگی از



شکل ۷- تغییرات بیشینه ارتفاع پشته گذاری به بیشینه عمق آبشستگی بر حسب زوایا در اعداد فرود مختلف



شکل ۸- تغییرات فاصله‌ی نسبی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی بر حسب زاویه‌ی نصب در اعداد فرود مختلف



شکل ۹- تغییرات فاصله‌ی نسبی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی بر حسب اعداد فرود در زوایای مختلف

ساحل بیرونی در صفحه‌ی با زوایای نصب مختلف ترسیم گردیده است. محور عمودی نمودار شکل (۸) بیان‌گر نسبت فاصله‌ی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی (S_1) به عمق جریان (Y) و محور افقی بیان‌گر زاویه‌ی نصب صفحه، در اعداد فرود مختلف می باشد. نتایج بررسی شکل (۸) حاکی از افزایش فاصله‌ی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی، با افزایش زاویه‌ی صفحه می‌باشد. بدین ترتیب که تا زاویه‌ی ۴۰ درجه، فاصله افزایش یافته اما در زاویه‌ی ۶۰ درجه به شدت کاهش یافته است. فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل خارجی در صفحات شکاف‌دار ۲۳، ۳۰ و ۶۰ درجه به‌طور متوسط در شرایط هیدرولیکی مختلف به ترتیب ۵۸ درصد، ۹۰ درصد و ۳۵ درصد فاصله بیشینه عمق آبشستگی در صفحه شکاف‌دار ۴۰ درجه می‌باشد. بنابراین اگرچه صفحه در زاویه‌ی ۴۰ درجه دارای بیشترین عمق آبشستگی نسبت به بقیه‌ی زوایا می‌باشد اما بیشینه عمق آبشستگی را در دورترین فاصله از قوس بیرونی، ایجاد کرده است. زاویه‌ی ۳۰ درجه هم عملکرد خوبی در دور کردن فاصله‌ی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی ایفا کرده است و پس از آن زاویه‌ی ۲۳ درجه و نهایتاً بدترین عملکرد مربوط به زاویه‌ی ۶۰ درجه می‌باشد که در این زاویه و در سه عدد فرود مشخص، بیشینه عمق آبشستگی، در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به ساحل بیرونی و علاوه بر آن در بالادست محور سازه تشکیل شده است. این در حالی است که در بقیه‌ی زوایا و در اعداد فرود مختلف بیشینه عمق آبشستگی در پایین دست محور سازه تشکیل گردیده و تنها در زاویه‌ی ۴۰ درجه و آن‌هم در بالاترین عدد فرود آبشستگی به ساحل بیرونی رسیده است. در تحقیقات بهرامی یاراحمدی و شفاعی‌بجستان (۱۳۹۳) هم قبلاً مشاهده شده بود که با افزایش زاویه، فاصله‌ی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی افزایش یافته است. با این تفاوت که در صفحات بدون شکاف بیشترین مقدار نسبت S_1/Y در زاویه‌ی ۶۰ درجه رخ داده بود و در این

پژوهش (در صفحات شکاف‌دار) در زاویه‌ی ۴۰ درجه رخ داده است.

به منظور بررسی اثر عدد فرود جریان بر نسبت S_1/Y در زوایای مختلف شکل (۹) ترسیم گردیده است. مشاهدات نشان می‌دهد که در همه‌ی زوایا با افزایش عدد فرود جریان، فاصله‌ی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی بیشتر شده است. با افزایش عدد فرود جریان طی دو مرحله (مرحله اول از ۰/۲۸۷ به ۰/۳۰۴ و مرحله دوم از ۰/۳۰۴ به ۰/۳۲۲) در زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه میزان بیشینه عمق آبشستگی بطور میانگین به ترتیب ۳/۷ درصد، ۸/۵ درصد، ۶/۵ درصد و ۱۲ درصد از ساحل بیرونی دورتر شده است.

نتیجه‌گیری

برای بررسی اثر زاویه‌ی تک صفحه‌ی مثلثی شکاف‌دار بر توپوگرافی بستر، این صفحات در زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه به ساحل بیرونی فلوم قوس‌دار متصل گردید و آزمایش‌ها در شرایط هیدرولیکی متفاوت صورت پذیرفت. نتایج بررسی تغییرات توپوگرافی بستر حول تک صفحه‌ی مثلثی شکاف‌دار متصل به ساحل، در زوایا و اعداد فرود مختلف نشان داد:

- کمینه و بیشینه عمق آبشستگی موضعی حول دماغه‌ی صفحه به ترتیب در زوایای ۲۳ و ۴۰ درجه رخ داده است. بیشینه عمق آبشستگی زوایای ۲۳، ۳۰ و ۶۰ درجه به‌طور متوسط در شرایط هیدرولیکی مختلف به ترتیب ۱۸ درصد، ۶۱ درصد و ۷۱ درصد بیشینه عمق آبشستگی در زاویه‌ی ۴۰ درجه می‌باشد.
- با افزایش عدد فرود جریان در هر چهار زاویه، بیشینه عمق آبشستگی افزایش یافت.
- در اعداد فرود مختلف کمینه و بیشینه ارتفاع پشته گذاری به‌ترتیب در زوایای ۲۳ و ۴۰ درجه اتفاق افتاده است. بیشینه ارتفاع پشته گذاری زوایای ۲۳، ۳۰ و ۶۰ درجه بطور متوسط در شرایط هیدرولیکی مختلف به ترتیب ۳۲ درصد، ۸۸ درصد و ۴۹ درصد بیشینه ارتفاع پشته گذاری در زاویه‌ی ۴۰ درجه می‌باشد.
- افزایش عدد فرود جریان در همه‌ی زوایا باعث افزایش ارتفاع پشته گذاری شده است.
- آبشستگی در زاویه‌ی ۴۰ درجه، در بالاترین عدد فرود، و در زاویه‌ی ۶۰ درجه، در هر سه عدد فرود، به ساحل بیرونی رسیده است.
- زوایای ۲۳ و۶۰ درجه به ترتیب مناسب‌ترین و بدترین زاویه نسبت به بقیه‌ی زوایا در ایجاد تعادل بین بیشینه عمق آبشستگی و بیشینه ارتفاع پشته گذاری بوده‌اند.
- با افزایش زاویه‌ی نصب صفحه تا ۴۰ درجه فاصله‌ی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی افزایش یافته و در زاویه‌ی ۶۰ درجه به‌شدت کاهش یافت.
- در همه‌ی زوایا با افزایش عدد فرود جریان فاصله‌ی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی افزایش یافت.

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم انجام شده است. به این وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و اساتید راهنمای گرامی تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱- اهدایی، پ و س. م. کاشفی‌پور. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه و نفوذپذیری تک آبشکن روی ابعاد چاله‌ی آبشستگی در شرایط غیر مستغرق. علوم و مهندسی آبیاری (مجله ی علمی-پژوهشی)، ۳۸(۴): ۲۴-۱۵.

۲- بادپا، ز.، پزین، س. ص و م. فضلی. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه‌ی اتصال به ساحل و عدد فرود بر تغییرات توپرگرافی بستر حول آبشکن باز توری سنگی و مقایسه‌ی آن با آبشکن بسته در کانال مستقیم. چهاردهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، زاهدان.

۳- بهرامی یاراحمدی، م. و م. شفاعی‌بجستان. ۱۳۹۳. تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه با نصب آبشکن مثلثی شکل. مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، ۱۴(۳): ۱۷۵-۱۶۵.

۴- بی‌نام. ۱۳۸۸. راهنمای طراحی و نگهداری آبشکن‌های رودخانه‌ای. نشریه‌ی شماره‌ی ۵۱۶، وزارت نیرو، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور.

۵- عباس چناری، س و ح. ملکی. ۱۳۹۱. شبیه سازی سه بعدی الگوی جریان و گردابه‌های اطراف آبشکن‌های L شکل نفوذناپذیر در پنج زاویه‌ی مختلف از نیمه اول قوس نیم‌دایره. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه ارومیه.

۶- حسینی، م. ۱۳۹۴. تأثیر موقعیت شکاف در کاهش آبشستگی صفحه مثلثی مستغرق متصل به ساحل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران. دانشکده مهندسی علوم آب. دانشگاه شهید چمران هواز.

۷- حسینی، م.، قدسیان، م و م. واقفی. ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه‌ی آبشکن‌های سری سرسپری بر تغییرات توپوگرافی بستر در مسیر مستقیم. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه.

۸- شاکر، ا و س.م. کاشفی‌پور. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی تأثیر طول و زاویه‌ی قرارگیری آبشکن‌های مستطیلی بر توزیع سرعت و تنش برشی در قوس ۹۰ درجه. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۳۸(۳): ۱۲-۱.

۹- شریعت‌زاده، ی.، خسروی‌مشیزی، م. قدسیان، م و م. واقفی. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه‌ی قرارگیری آبشکن T شکل مستغرق نسبت به ساحل بر توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

10- Bhuiyan, F., Hey, R. D. and P. R. Wormleaton. 2010. Bank-attached vanes for bank erosion control and restoration of river meanders. Journal of Hydraulic Engineering, 136(9): 583-596.

11- Ezzeldin, M. M., Saafan, T. A., Rageh O. S. and L. M. Nejm. 2007. Local scour around spur dikes. Eleventh International Water Technology Conference, pp. 779-795.

12- Johnson, P. A., Hey, R. D., Tessier, M. and D. L. Rosgen. 2001. Use of vanes for control of Scour at vertical wall abutments. Journal of Hydraulic Engineering, 127(90): 772–778.

13- Kuhnle, R. A., Alonso, C. V. and F. D. Shields. 2002. Local scour associated with spur dikes. Journal of Hydraulic Engineering, 125(9): 972-978.

Shahid Chamran University of Ahvaz
Irrigation Sciences and Engineering **Vol. 40, No. 4, Winter 2018, p. 169-182**

EXTENDED ABSTRACT

The angular effect of the beach-bound triangular slotted plate on the bed topography at 90-degree bend

F. Amirsalari Meymani[1], A. Fathi[2*] and M. Mahmoodian Shooshtari[3]

1- M.Sc. Student, Water Structures Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.
2*- Corresponding Author, Assistant Professor Water Structures Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.(*fathiahmad2000@yahoo.com*)
3- Retaired Professor, Department of Civil, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

Received:5 July 2016 Accepted:4 October 2016

Keywords: Slotted triangular vanes, Effect of angle, 90 Degree bend.

Introduction

Beach-bound plates are used to control the erosion of the walls of rivers and beaches. The nose of the plates has always been subject to scour due to the flow contact with the structure. Different factors are effective in reducing the scour. Recent research has shown that coastal and beach-bound triangular slotted panels have played an important role in reducing the scour around the nose. In this study, in order to investigate the effect of the angle, the triangular slab (slit area = 10% of the effective surface area of the plate) was used at different angles of (23, 30, 40 and 60 degrees) in arched flume. Experiments were conducted under different hydraulic conditions (landing numbers 287/0, 304/0 and 322/0). The results showed that the maximum scour depth at the 23 and 40-degree angles was the lowest and the highest, respectively. The maximum stacking height is proportional to the maximum scour depth. By increasing of the angle of the plates up to 40 degrees, the maximum scour depth is farther away from the outer curve and drops sharply at an angle of 60 degrees.

One of the issues in river engineering is erosion in the walls of rivers and coasts, due to the direct connection of the flow with the wall. The pattern of velocity distribution in the arc indicates the concentration of areas with maximum velocity in the lower arch and in the vicinity of the outer wall. Spoons are considered as protective structures that are used to reduce the erosion and improve the stabilization of the riverside wall. But, on the other hand, the location of the spillway in the flow path and the direct impact of the flow on the structure leads to local scouring around the nose of the spillway and, as a result, will eventually destroy the structure. It is noteworthy that the coastal triangular board of the modified state of the protective structures (in terms of appearance, degree of submergence, There is a gap in the page) for A. Judd minimum depth of scour around the nose page. . In a study by Boyan et al. (2010), in a single-seater survey of coastal triangles, the effective method for restoring river banks is to install these panels at low angles (20 and 30 degrees) and in the coastline. Therefore, due to the limited research done on the beach-bound plates, in a leading research with the installation of single-skeletal triangles attached to the coast at different angles, the angles of their placement on the topography of the bed in the 90-degree arc have been studied.

materials and methods

Dimensional Analysis

The parameters affecting the bed topography around the triangular slab are as follows:

$$(\varphi = f\ (V, Y, g, \rho, \mu, B0, \theta, S0, Rc, \Theta, Le, \alpha, h, L, a, b, d50, \sigma) \quad (1)$$

In this regard, V represents the flow velocity, Y, flow depth, g, gravity acceleration, ρ, mass volume unit volume, μ, fluid dynamic viscosity, B0, flume width, θ, central angle of arc, S0, longitudinal slope of flume bed , Rc, the central radius of the arc, Θ, angle of position of the structure in the arc (location of the structure in the arc), Le, effective length of the structure, α, axis of the structure relative to the tangent line on the outer curve upstream, h, height of the structure, L, The length of the structure, a, the length of the gap, b, the width of the gap, d50, the average size of the bed material, and σ, is the standard deviation of the bed sediment.
Batching theory was initially implemented using Buckingham's theory. After eliminating constant and minor parameters, the results were as follows:

$$(\varphi / Y) = (\theta, \alpha, (h / Y), (L / Y), Fr) \quad (2)$$

In the above relation, φ contains: Zmax: maximum scour depth, Hmax: maximum stacking height, S1: the maximum distance of scour depth from the outer curve.
Testing equipment and methods:
The flame used in the experiments is a 90 ° gentle pseudo-arctic flume with a width of 0.7 m and a central radius of 3 m. The upper reaches of the flume are 5 meters in length and the length of the outlet in the downstream flume is 3 meters. The floor of the bed was covered with uniformly sized sediments (mm) d50 = 1.5 and 1.22 = σ (geometric deviation coefficient) and covered with a depth of 20 cm. The screen was made of Plexiglas with a thickness of 4 mm. The angles used in the present study were to investigate the effect of a single-pointed triangular angle on the bed topography, angles 23, 30, 40 and 60 degrees, all of which are of type The experiments were performed at landing numbers of 287/0, 304/0 and 322/0 (Dubai 33, 35 and 37 liters per second).

Analysis of results

Maximum depth of scouring and maximum stack height

If the mounting angle of the page is such that the screen is able to minimize scouring around its nose, the plate is definitely lasts longer and will be immune to the degradation process. Therefore, the maximum parameter of scour depth around the nose plate can be considered as one of the determining factors in determining the efficiency of the plates. The maximum scour depth at 23, 30, and 60 degrees slit plates is 18%, 61% and 71%, respectively. The maximum scour depth is 40 ° in the split plate, according to the average hydraulic conditions.
Maximum scour depth location from the outer curve
In the process of scouring around the nose of the plates, the position of the maximum scour depth is of great importance. The close proximity of the scour hole to the outer shore will weaken the river wall and ultimately lead to its destruction. In laboratory experiments, it was observed during experiments that in some angles and landing numbers, the maximum scour depth was formed at the top of the structure axis and close to the outer curve. By increasing of the number of flow Froud number during two stages (the first stage from 287/0 to 304/0 and the second stage from 304/0 to 322/0) at the angles of 23, 30, 40 and 60 degrees, the maximum scour depth was 7 / 3%, 8.5%, 6.5% and 12% off the outer curve .

Conclusions

In order to investigate the effect of a single-skeletal triangular angular angle on substrate topography, these plates were connected to the outer edge of the arch flame at an angle of 23, 30, 40 and 60 degrees and experiments were carried out under different hydraulic conditions. The results of the study of the substrate topographic changes around a single-plate, triangular slab adjacent to the coast, showed at different angles and numbers:

1_The minimum and maximum scour depths around the nose of the plate occurred at 23 and 40 degrees, respectively. The maximum scour depths of 23, 30 and 60 degrees are 18%, 61% and 71% of the maximum scour depth at 40 °, respectively under different hydraulic conditions.

2_By increasing of the flow Froud number at all angles, the maximum scour depth increased.

3_For different Froud numbers, minimum and the maximum stacking altitudes at 23 and 40 degrees have been used in different landing numbers. The maximum stacking height of 23, 30 and 60 degrees, on average, is 32%, 88% and 49%, respectively, at an angle of 40 °, respectively.

4_Increasing the flow rate at all angles increases stack height.

5_Scours at an angle of 40 degrees, at the highest pitch, and at an angle of 60 degrees, on all three landing points, have reached the outer curve.

6_Angles of 23 and 60 degrees respectively have the most suitable and the worst angle than the rest of the angles in creating the balance between maximum scour depth and maximum stack height.

7_By increasing of the angle of installation to 40 degrees, the maximum scour depth increased from the outer curve and dropped sharply at an angle of 60 degrees.

8_At all angles, increasing the flow Froud number increased the distance between the maximum depth of scour from the outer curve.