

تعیین زاویه مناسب صفحات مغروق به منظور کنترل فرسایش ساحل پیمان رود*

عزیز سوزه‌پور^(۱)محمود شفاعی بيجستان^(۲)

چکیده رودخانه‌ها در محل قوس‌ها به دلیل تشکیل الگوهای سه‌بعدی جریان همواره در معرض فرسایش در پنجه ساحل خارجی و رسوب‌گذاری در ساحل داخلی می‌باشند. روش‌هایی که تاکنون به منظور اصلاح الگوی جریان ارائه شده‌اند بر روی بستر احداث می‌شوند؛ بنابراین خود سازه‌ها در این روش در معرض آبشستگی قرار دارند. از این رو، در مطالعه حاضر کارایی صفحات مغروقی که بالای بستر نصب می‌شوند به صورت آزمایشگاهی مطالعه شده است. برای رسیدن به اهداف این تحقیق ابتدا مدل فیزیکی از قوس ۱۸۰ درجه‌ای رودخانه کارون در شرایط بستر متحرک احداث گردید. آزمایش‌های متعددی در شرایط عدد فرود ۰٫۲ (معادل عدد فرود در دبی دو ساله کارون) و در شش زاویه مختلف نصب صفحات برابر ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه نسبت به ساحل یا خط جریان انجام گرفت. نتایج نشان داد که نصب صفحات به طور مؤثری چاله آبشستگی را از محل پنجه ساحل به میانه قوس منتقل می‌کند. ضمن این‌که هیچ‌گونه آبشستگی در بستر مشاهده نمی‌شود. از مقایسه تغییرات بستر با زوایای مختلف مشخص گردید که در زاویه نصب ۴۰ درجه چاله آبشستگی کوچک‌تر و دورتر از ساحل نسبت به سایر زوایا اتفاق افتاده است.

واژه‌های کلیدی صفحات غوطه‌ور، زاویه نصب، مدل فیزیکی، فرسایش ساحل.

Best Installation Angle for Immersion Vanes as a Measure for Meander Bank Erosion

A. Sozopor

M. Shafai Bejestan

Abstract Developing three dimensional vortices at river meander causes severe erosion at the toe of the outer bank and deposition at the inner bank. The flow altering measures which have been presented so far are installed on the bed and are subject to failure due to progress of scour hole at their toe. Therefore in the present study the performance of immersion vanes, which are installed above the bed, are experimentally investigated. To reach such goal a movable physical model of 180 degree Karoon river bend was constructed. Different tests at Froude number equal to 0.20 (=corresponded to the Karoon 2-years flood occurrence discharge) at six different vanes angles equal to 10, 20, 30, 40, 50, and 60 degrees was carried out. The general results show that the immersion vanes are effectively shifted the scour hole from the bank toe to the middle of the bend while no scour is observed at the base of the vanes. By comparing the bed topographic variations after tests it was found that at 40 degrees vane angle the toe scour hole is smaller and developed much farther from the outer bank compare to the other vane angles.

Key Words Immersion Vanes, Installation Angle, Physical Model, Bank Erosion.

* تاریخ دریافت مقاله ۹۴/۱۲/۵ و تاریخ پذیرش آن ۹۵/۱۰/۲۵ می‌باشد.

Email: asozapor@yahoo.com

(۱) نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

(۲) استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

مقدمه

بررسی مکانیک جریان در قوس رودخانه، تغییرات زمانی خم رودخانه، شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و تغییرات بستر رودخانه‌های پیچانرود از جمله مباحث مهم در زمینه رودخانه‌های پیچانرودی است. رودخانه‌ها در اثر پدیده فرسایش و رسوب‌گذاری دستخوش تغییرات مستمر می‌باشند. شناخت چنین تغییراتی برای اهداف ساماندهی و ایمن‌سازی رودخانه در مقابل نتیجه‌های به‌دست‌آمده دارای اهمیت فراوانی است. در حالت طبیعی، فرسایش بستر منجر به ناپایداری کناره‌ها می‌گردد و این امر ریزش توده‌ای خاک و تغییر شکل مقطع هندسی رودخانه را به‌دنبال دارد. قوس رودخانه‌ها نیز در اثر فرسایش موضعی جابه‌جا می‌شود و تأسیسات ساحلی را تهدید می‌کند. تأثیر رسوب‌گذاری بر رفتار رودخانه‌ها و نقش آن در فرایند ساماندهی نیز قابل توجه است. در مراحل اولیه اثر رسوب‌گذاری به‌صورت تثبیت بستر و پایداری کناره‌ها و سواحل رودخانه ظاهر می‌شود؛ اما با ادامه روند رسوب‌گذاری تراز بستر افزایش می‌یابد و در نتیجه تغییراتی در ریخت‌شناسی رودخانه‌ها پدیدار می‌گردد که به نوبه خود بر عملکرد کارهای ساماندهی تأثیر می‌گذارد. اقدامات اساسی که با هدف ساماندهی و برقراری شرایط مطلوب انجام می‌گیرد، دخالت در نظام رفتاری رودخانه تلقی می‌گردد و پیامدهای مختلفی را در بر دارد. تغییر رژیم رسوب‌دهی از جمله پیامدهای بارز ساماندهی است که به نوبه خود روند فرسایش و رسوب‌گذاری و الگوهای مختلف ساماندهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به عبارتی شناخت اثرهای متقابل ساماندهی و فعل و انفعالات فرسایش و رسوب‌گذاری از جمله چالش‌های مهم در عرصه مهندسی رودخانه است و مستلزم آگاهی از کم و کیف آن می‌باشد. به‌علت وجود جریان حلزونی در مئاندرها، فرسایش ساحلی در قوس خارجی و رسوب‌گذاری در قوس داخلی به‌مراتب بیشتر از مسیرهای مستقیم می‌باشد. فرسایش ساحل خارجی در مئاندرها باعث جابه‌جایی قوس‌ها در رودخانه‌ها می‌شود و در نتیجه باعث تخریب زمین‌های کشاورزی، ابنیه فنی و زیرساخت‌ها و کاهش ظرفیت عبوردهی سیلاب

رودخانه می‌گردد. به‌منظور کنترل فرسایش و مدیریت رسوب در مئاندرها دو روش حفاظت مستقیم (لحاف بتنی، پوشش گیاهی، ریپرپ و...) و حفاظت غیرمستقیم (روش‌های اصلاح الگوی جریان) استفاده می‌شود [1]. انتخاب روش مناسب کنترل فرسایش و رسوب‌گذاری در مئاندرها بستگی به شرایط زیست محیطی (اجرای روش‌هایی مانند لحاف بتنی، مانع رشد پوشش گیاهی می‌شوند)، شرایط هیدرولیکی رودخانه و مسائل اقتصادی دارد. به‌عنوان مثال در مئاندرهای که عرض فعلی رودخانه کمتر از عرض تعادلی رودخانه است، روش‌های حفاظت مستقیم پیشنهاد می‌گردد که این شرایط باتوجه به این‌که در مئاندرها نرخ فرسایش قوس خارجی به‌مراتب بیشتر از رسوب‌گذاری قوس خارجی در حالت طبیعی می‌باشد به‌ندرت اتفاق می‌افتد. اخیراً برای مدیریت رسوب در مئاندرها روش‌های حفاظت غیرمستقیم (روش‌های سازه) مورد استفاده قرار می‌گیرند. آبشکن‌ها یکی از سازه‌های اصلاح الگوی جریان هستند که از دیرباز مورد استفاده بوده‌اند. این سازه‌ها در دو حالت نفوذپذیر و نفوذناپذیر در عرض رودخانه و با زاویه مناسب در ساحل خارجی نصب می‌شوند که با دور کردن خط حداکثر سرعت از ساحل خارجی باعث کنترل فرسایش قوس خارجی می‌گرددند. ابعاد از جمله ارتفاع، طول مؤثر، زاویه نصب و... براساس دبی دوساله تعیین می‌گردد [2 و 3]. یکی دیگر از سازه‌هایی که به‌طور مؤثری توانسته است با اصلاح الگوی جریان از تغییرات عرضی قوس‌های رودخانه جلوگیری کند، سرریزهای مستغرق می‌باشند. این سرریزها که معمولاً از لاشه‌سنگ و در ساحل خارجی قوس احداث می‌شوند باعث می‌شوند تا جریان عبوری از قسمت بالایی سرریز، به‌صورت عمود بر این سازه به‌طرف قوس داخلی تغییرجهت دهد. این سازه باعث کاهش سرعت در نزدیک ساحل، کاهش شدت جریان در قوس خارجی، بهبود زیستگاه آبزیان، بهبود شرایط کشتی‌رانی، رسوب‌گذاری در قوس خارجی (حفاظت قوس خارجی) و کاهش رسوب‌گذاری در قوس داخلی می‌گردد [4، 5، 6 و 7]. روش صفحات مستغرق از جمله یکی از روش‌هایی است که به‌طور مؤثری می‌تواند با

بررسی تأثیر سری صفحات مثلثی در قوس ملایم ۹۰ درجه بر الگوی توپوگرافی بستر پرداختند. ایشان آزمایش‌ها را در چهار عدد فرود و در چهار فاصله طولی ۴، ۵، ۶ و ۸ برابر طول مؤثر صفحات و در زاویه ۳۰ درجه نسبت به ساحل بالادست انجام دادند و نشان دادند که با افزایش فاصله طولی، حداکثر عمق آبستگي و گسترش آن تا ساحل بیرونی افزایش می‌یابد؛ به گونه‌ای که فاصله طولی ۸ برابر طول مؤثر فاصله مناسبی برای صفحات مثلثی نیست [17].

اولین اقدام برای این که مطمئن شویم که سازه‌های اصلاح الگوی جریان می‌توانند مشکل را حل نمایند، طراحی ابعاد و نحوه قرارگیری آنها است به گونه‌ای که بتوانند تغییرات لازم در الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری را طوری ایجاد نمایند که سیستم رودخانه به یک بازه پایدار برسد. سازه صفحات شناور یکی از سازه‌های اصلاح الگوی جریان در قوس‌ها می‌باشد که تاکنون کار نشده است. این سازه از نظر عملکرد هیدرولیکی شباهت زیادی با صفحات مستغرق دارد با این تفاوت که بالاتر از تراز بستر رودخانه نصب می‌شود. زاویه نصب صفحات مستغرق از معیارهای مهم طراحی می‌باشد که مستقماً بر عملکرد آنها در تغییر الگوی بستر و آبستگي موضعی اطرافشان تأثیر دارد. زاویه نصب صفحات مستغرق توسط اودگارد ۱۰ تا ۲۰ درجه توصیه شده است [18]. صفحات شناور با توجه به اینکه در ساحل خارجی باعث ایجاد مقاومت در مقابل جریان و نهایتاً کاهش سرعت جریان می‌گردند بنابراین از نظر محیط زیستی منطقه‌ی با جریان آرام در عرض رودخانه برای حرکت آبریان رودخانه‌ی به سمت بالادست ایجاد می‌نمایند. سایر سازه‌های اصلاح الگوی جریان از جمله سرریزهای مستغرق و... که به ساحل خارجی متصل بوده و در بستر قرار دارند با ایجاد تنگ‌شدگی در عرض مجرا باعث افزایش سرعت در دماغه خود سازه می‌شوند، تردد آبریان در این منطقه را با مشکل مواجه می‌کنند. بنابراین در ساحل خارجی اجرای این سازه‌ها باعث قطع ارتباط

مدیریت مناسب رسوب در قوس شرایطی را فراهم نماید که تغییرات عرضی رودخانه در محل قوس به حداقل برسد و علاوه بر آن، با رسوب‌گذاری در محل ساحل خارجی، این ساحل بازسازی گردد. در این روش سازه‌هایی به شکل صفحات معمولاً مستطیل با ابعاد، زاویه و فواصل مناسب در بستر رودخانه طوری نصب می‌شوند تا در شرایط دبی طرح کاملاً مستغرق باشند. در اثر عبور جریان از روی این صفحات، گردابه‌های دنباله‌داری شکل می‌گیرد که باعث تغییرات عرضی تنش برشی بستر می‌گردد و در نتیجه تشکیل حفره در بستر از محل پنجه ساحل خارجی به میانه رودخانه منتقل می‌گردد. علاوه بر این، صفحات باعث هدایت رسوب به سمت ساحل خارجی و در نتیجه رسوب‌گذاری در این منطقه می‌شوند [8]. سازه‌های دیگری همچون سرریزهای w شکل (W-weir) [9, 10, 11]، سرریزهای u شکل (U-weir) [12]، سرریزهای جی هوک (J-Hook) [13]، نیز از جمله روش‌هایی هستند که به خصوص برای مدیریت رسوب در قوس رودخانه‌های کوهستانی توصیه شده‌اند. اخیراً نشان داده شده است که مدیریت رسوب در قوس‌های رودخانه‌های مئاندری توسط سازه صفحات مستغرق نیز به طور مؤثری امکان‌پذیر است. صفحات مثلثی که می‌توانند از لاشه‌سنگ ساخته شوند می‌توانند الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در قوس را طوری تغییر دهند که از تغییرات عرضی قوس جلوگیری شود؛ ضمن این که پشت این صفحات شرایط جریان مناسب برای آبریان نیز می‌باشد [14 و 15].

بهرامی یاراحمدی و شفاعی بجنستان به بررسی تغییرات طول مؤثر صفحات مثلثی شکل در اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ در یک قوس ۹۰ درجه ملایم با عرض ثابت پرداختند. ایشان نشان دادند که با کاهش طول مؤثر از حداکثر عمق آبستگي کاسته شده است. همچنین نشان دادند که با کاهش طول مؤثر سازه، حداقل فاصله پشت رسوب‌گذار از ساحل بیرونی کاسته می‌شود [16].

بهرامی یاراحمدی و شفاعی بجنستان در تحقیقی به

ساحل خارجی گردیده است. شکل (۱) وضعیت کنونی ساحل را نشان می‌دهد. ساحل رودخانه متشکل از لایه‌های فوقانی رسوبی رس متراکم شده و مقاوم به فرسایش است و نیز لایه‌های زیرین ماسه‌ای فرسایشی است که در اثر توسعه چاله فرسایشی بستر در پنجه ساحل موجب ریزش ساحل و جابه‌جایی آن می‌گردد.



شکل ۱ وضعیت کنونی ساحل در بازه مدل شده



(الف)



(ب)

شکل ۲ (الف) پلان قوس مدل شده و (ب) نمایی از مدل ساخته شده در آزمایشگاه

آبزیان پایین دست با بالادست خواهد شد که سازه صفحات شناور چنین مشکلات محیط زیستی را ایجاد نخواهد کرد. با توجه به این که سازه صفحات شناور بالاتر از تراز بستر رودخانه نصب می‌شود اجرای آن در رودخانه‌های عمیق با جریان دائمی نسبت به صفحات مستغرق راحت تر و کم هزینه تر است و مهم تر از همه در زوایای با عملکرد هیدرولیکی بالا، سازه در معرض آبستگي موضعی نخواهد بود و احتمال می‌رود از نظر تغییر در الگوی بستر در مائدر رودخانه‌ها نسبت به صفحات مستغرق، راندمان بالاتری را داشته باشد. از این رو، زاویه نصب مناسب صفحات شناور در مائدرها که تاکنون کار نشده است در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

ساحل خارجی باعث ایجاد مقاومت در مقابل جریان و نهایتاً کاهش سرعت جریان می‌گردد؛ بنابراین از نظر محیط زیستی منطقه‌ای با جریان آرام در عرض رودخانه برای حرکت آبزیان رودخانه به سمت بالادست ایجاد می‌نماید. سایر سازه‌های اصلاح الگوی جریان از جمله سرریزهای مستغرق و... که به ساحل خارجی متصل هستند و در بستر قرار دارند با ایجاد تنگ‌شدگی در عرض مجرا باعث افزایش سرعت در طول بازه مدل شده تقریباً برابر با ۲ کیلومتر (معادل ۷ متر در مدل فیزیکی) می‌شوند. برای بررسی فرسایش و رسوب گذاری از مواد اولیه پلی اتیلن با قطر متوسط ۲ میلی متر و چگالی ۱,۱ به عنوان رسوبات بستر استفاده شد. شکل (۲) پلان قوس جنگیه و نمایی از مدل ساخته شده را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

برای رسیدن به اهداف این تحقیق، مدل فیزیکی قوس ۱۸۰ درجه‌ای جنگیه واقع در پایین دست شهر اهواز در آزمایشگاه مدل‌های رودخانه‌ای دانشگاه شهید چمران اهواز احداث گردید. قوس مذکور در سال‌های متمادی تغییرات عرضی زیادی را تجربه کرده است و باعث تخریب ابنیه روستای جنگیه و یا نخلستان‌های مجاور

انجام گرفت. زمان چهار ساعت با انجام یک آزمایش طولانی ۱۲ ساعته به دست آمد که تغییرات عمق چاله فرسایشی پس از آن با گذشت ۴ ساعت کمتر از یک میلی متر بود. در انتها دریچه انتهایی بسته و جریان قطع می شد. بعد از زهکشی شدن کامل مدل توسط لوله زهکش که در زیر مدل تعبیه شده بود، برداشت پروفیل بستر با استفاده از متر لیزی روی اسکلت تراز و مدرج شده برداشت می گردید. لازم به ذکر است که شبکه برداشت پروفیل بستر به علت تغییرات پروفیل بستر کاملاً متغیر بود. شکل (۳) نمایی از مدل و تعلقات آن را نشان می دهد.

صفحات شناور از جنس گالوانیزه به ضخامت دو میلی متر به ارتفاع ۳ سانتی متر و طول ۶ سانتی متر توسط میله ای فلزی که به صفحات جوش شده بود روی یک اسکلت فلزی که هم قابلیت تغییر زاویه، فاصله از ساحل و عمق مورد نظر برای صفحات شناور را میسر می کرد، سوار شدند (شکل ۴). از آنجا که در خصوص کاربرد صفحات شناور مطالعه ای تاکنون انجام نشده است و با در نظر گرفتن این که صفحات شناور نیز با ایجاد تغییرات مشابهی در الگوی جریان می توانند باعث تغییر در الگوی رسوب گذاری شوند، در این ابعاد صفحات، فواصل بین صفحات و فاصله از ساحل، براساس توصیه اودگارد [17]، برای صفحات مستغرق محاسبه گردید.

دو سری آزمایش علاوه بر آزمایش های مقدماتی انجام شد. آزمایش های مقدماتی برای اصلاح زبری بستر رودخانه برای تأمین تراز مورد نظر در دبی سیل دوساله انجام شده است. آزمایش های سری اول بدون نصب صفحات و آزمایش های سری دوم با نصب صفحات در شش زاویه ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه نسبت به ساحل خارجی بوده است. آزمایش ها در دبی ۲۱،۴ لیتر بر ثانیه و با عمق ثابت ۱۵،۵ سانتی متر (عمق در مسیر مستقیم) معادل عدد فرود ۰،۲ انجام گرفت. از آنجا که بیش از ۷۰ درصد فرسایش قوس ها در دبی با دوره بازگشت دو ساله اتفاق می افتد [18]، لذا شرایط جریان در این دبی مدل گردید. دبی جریان توسط دبی سنج الکتریکی که قبل از شیر کنترل هیدرولیکی قرار داشت تنظیم می گردید. برای تنظیم عمق آب از دریچه ای که در انتهای مدل فیزیکی تعبیه شده بود استفاده گردید. در ابتدای هر آزمایش رسوبات بستر (مواد پلی اتیلن) کاملاً تراز می شد و شیر کنترل به آرامی و با دبی کم و درحالتی که دریچه انتهایی کاملاً بسته بود، باز می شد. این کار تا زمانی ادامه پیدا می کرد که عمق آب در مدل کاملاً بالا می آمد (برای جلوگیری از ایجاد خطای قبل از آزمایش) و در نهایت به آرامی با باز کردن شیر کنترل، همزمان دریچه هم باز می شد. بنابراین دبی مورد نظر با عمق ثابت ۱۵،۵ سانتی - متر در مدل برقرار می شد. هر آزمایش به مدت ۴ ساعت



شکل ۳ نمایی از مدل فیزیکی قوس جنگیه همراه با متعلقات آن



شکل ۴. نمایی از کارگذاری صفحات شناور در قوس قبل از انجام آزمایش

آنالیز ابعادی

متغیرهای مؤثر بر فرسایش و رسوب گذاری در تحقیق حاضر عبارتند از:

• متغیرهای مربوط به هندسه سیستم:

- شیب طولی مدل S_b

- عرض مدل B

- شعاع قوس R

- زاویه مرکزی قوس δ

• متغیرهای مربوط به سازه‌ها:

- ارتفاع صفحات H

- طول صفحات شناور L

- زاویه قرارگیری صفحات شناور نسبت به ساحل خارجی θ

- ضخامت صفحات شناور α

- فاصله از ساحل خارجی صفحات شناور d

- عمق کارگذاری صفحات شناور de (فاصله لبه

بالایی صفحات از سطح آب)

- فاصله طولی صفحات شناور δL

• متغیرهای مربوط به جریان:

- سرعت متوسط جریان در بازه مستقیم قوس U

- عمق جریان در بازه مستقیم قوس h

- شتاب ثقل g

• متغیرهای مربوط به سیال:

- جرم واحد حجم مایع ρ

- ضریب لزجت دینامیکی μ

این صفحات در محدوده فرسایشی قوس خارجی که با استفاده از آزمایش‌های سری اول تعیین گردید، کارگذاری شدند. تعداد هفت صفحه شناور در محدوده تقریبی 130° درجه‌ای قوس با طول ثابت ۶ سانتی متر (طول صفحات شناور در سری آزمایش‌های تعیین زاویه براساس تحقیق جونالی و یوپتال کومار [19] در مورد صفحات مستغرق ثابت در نظر گرفته شد) و با فاصله طولی برابر با شانزده برابر ارتفاع صفحات ($16H$) (توصیه شده توسط اودگارد [18] برای صفحات مستغرق)، عمق کارگذاری برابر با ارتفاع صفحات از سطح آب (H) و فاصله از ساحل خارجی برابر با ۴ برابر ارتفاع صفحات شناور ($4H$) و شش زاویه ذکر شده نسبت به ساحل خارجی کارگذاری شدند (فاصله از ساحل و عمق کارگذاری براساس آزمایش‌های مقدماتی سری دوم تعیین شده‌اند). شکل (۵) نمایی نزدیک از نحوه نصب صفحات را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمایی نزدیک از نصب صفحات

• متغیرهای مربوط به رسوبات:

- قطر متوسط ذرات رسوبی d_{50}

- چگالی رسوبات G_s

- انحراف معیار رسوبات σ

باتوجه به متغیرهای معرفی شده می توان نوشت:

معادله ۱:

$$\varphi = f(S_b, B, R, \delta, h, L, \theta, \alpha, d, d_c, \delta_L, U, H, g, \rho, \mu, d_{50}, G_s, \sigma)$$

با استفاده از تئوری π باکینگهام و در نظر گرفتن متغیرهای ρ, U, h به عنوان متغیرهای تکراری، پارامترهای بی بعد زیر به دست می آیند:

معادله ۲:

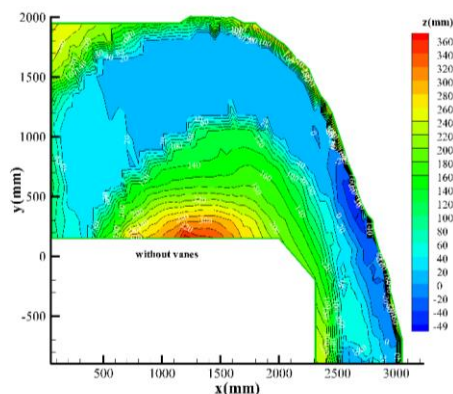
$$\varphi = f(S_b, \delta, \theta, \sigma, \frac{B}{h}, \frac{R}{h}, \frac{L}{h}, \frac{\alpha}{h}, \frac{d}{h}, \frac{H}{h}, \frac{d_c}{h}, \frac{\delta_L}{h}, \frac{U}{\sqrt{gh}}, \frac{\rho U h}{\mu}, \frac{d_{50}}{h})$$

در این تحقیق فاصله طولی صفحات ثابت و برابر $8L$ ، فاصله از ساحل خارجی ثابت و برابر با $4H$ ، عمق کارگذاری صفحات ثابت و برابر با H ، عمق جریان برابر با $15/5$ سانتی متر و... و تنها دو متغیر زاویه قرارگیری نسبت به ساحل و عدد فرود متغیر بوده است؛ در نتیجه تابع زیر به دست خواهد آمد:

معادله ۳:

$$\varphi = f(\theta, F_r)$$

متر می رسد.



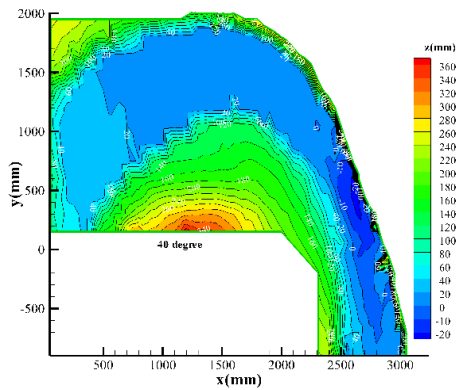
شکل ۶ توپوگرافی بستر در حالت بدون صفحات،
(الف) در عدد فرود 0.2 (دبی دوساله)

نتایج

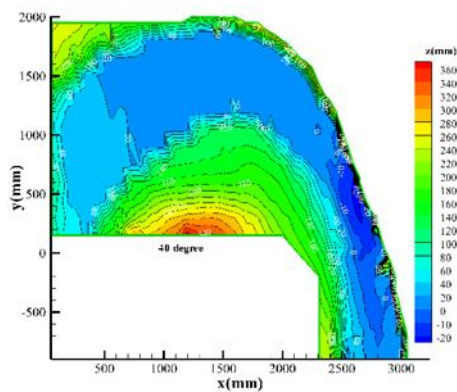
نتایج آزمایش های شاهد (بدون نصب صفحات) در دبی سیل دوساله (عدد فرود 0.2) همان گونه که در شکل (۶) مشخص است، نشان می دهد که حفره آبستگي چسبیده به ساحل خارجی از موقعیت 130° درجه قوس شروع می شود و تا موقعیت 0.5 متر بعد از انتهای قوس ادامه دارد. سپس حفره از ساحل به میانه رودخانه منتقل می شود. مقدار حداکثر عمق آبستگي در موقعیت 150° تا 170° درجه قوس قرار دارد. این اندازه گیری ها با مطالعات منصوری و همکاران [20] که در آن موقعیت حداکثر چاله آبستگي را در قوس های 180° درجه و با

تقسیم می‌کنند که شامل ناحیه اول (بین ساحل خارجی و صفحات) و ناحیه دوم (از صفحات تا ساحل داخلی) است. سرعت ذرات شناور در ناحیه اول کمتر از سرعت همین ذرات در ناحیه دوم است؛ به عبارتی صفحات شناور باعث شده‌اند تا لایه‌ای برشی در مقطع عرضی و در طول قوس شکل بگیرد و دلیل اصلی نزدیک نشدن عمده ذرات رسوبی به ساحل در آزمایش‌های با صفحات نیز همین می‌تواند باشد. البته لازم است به‌طور جداگانه مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت برداشت گردد تا به‌طور دقیق در خصوص موقعیت لایه برشی و میزان کاهش سرعت در ناحیه یک بحث گردد که هدف مطالعه حاضر نبوده است. در واقع باتوجه به این که خط‌القعر از ساحل خارجی با کارگذاری صفحات شناور دور شده‌است بنابراین پنجه در برابر فرسایش ناشی از جریان حلزونی در قوس ایمن شده است و بنابراین ریزش دیواره ساحلی در قوس خارجی می‌تواند کنترل شود و از جابه‌جایی قوس جلوگیری کند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد تغییرات زاویه نصب صفحات شناور، از این جهت که باعث تغییر در زاویه برخورد خطوط جریان به این سازه‌ها می‌شود، می‌تواند بر الگوی فرسایش و رسوب تغییر ایجاد کند. در زاویه نصب ۲۰ درجه (شکل ۷-ب) حداکثر عمق چاله فرسایشی در قوس خارجی معادل ۲ سانتی‌متر می‌باشد؛ که این مقدار نسبت به زاویه نصب ۱۰ درجه کاهش ۵۰ درصدی را نشان می‌دهد. احتمال می‌رود با افزایش زاویه نصب از ۱۰ درجه به ۲۰ درجه، باتوجه به این که سطح تصویر شده عمود بر جریان افزایش می‌یابد، نیروی دراگ بیشتری بر صفحات وارد شود که منجر به افزایش اختلاف فشار در طرفین صفحات شناور می‌شود. افزایش اختلاف فشار باعث افزایش قدرت گردابه‌های دنباله‌دار در بین صفحات شناور خواهد شد (مشابه صفحات مستغرق). در نهایت هر اندازه قدرت گردابه‌های دنباله‌دار ناشی از صفحات شناور بیشتر گردد، اثر بیشتری بر

وضعیت توپوگرافی بستر در شرایط نصب صفحات در زاویه ۱۰ درجه (شکل ۷-الف) و زاویه ۲۰ درجه (شکل ۷-ب) برای دبی سیل دوساله (عدد فرود ۰/۲) نشان داده شده است. در زاویه نصب ۱۰ درجه، حفره فرسایشی از موقعیت ۱۳۰ درجه شروع شده است و تا موقعیت ۰,۵ متر بعد از انتهای قوس ادامه دارد. موقعیت حداکثر عمق چاله فرسایشی در زاویه ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه قوس قرار دارد. میزان حداکثر عمق چاله آبستگگی نیز برابر ۴ سانتی‌متر می‌باشد که کاملاً به ساحل خارجی چسبیده است. تزریق ذرات ریز بسیار سبک در سطح آب در دو حالت بدون و با صفحات شناور نشان داد که در شرایط بدون صفحات، ذرات فوق پس از ورود به قوس به تدریج به ساحل خارجی نزدیک می‌شوند و از موقعیت حدود ۱۴۰ درجه این ذرات چسبیده به ساحل حرکت می‌کنند. دلیل اصلی چنین مشاهده‌ای وجود جریان‌های ثانویه‌ای است که در قوس‌ها مشاهده شده است. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که در یک قوس ۱۸۰ درجه جریان ثانویه از حدود ابتدای قوس شروع می‌شود و البته قدرت آن در طول قوس تغییر می‌کند. در اثر جریان ثانویه لایه‌های بالایی سطح آب به سمت قوس خارجی و لایه‌های پایینی به سمت قوس داخلی در حرکت هستند. از این رو است که ذرات شناور ریزدانه به سمت قوس خارجی کشیده می‌شوند. تداخل این جریان با جریان اصلی مسیر حرکت ثانویه را به شکل حلزونی و رو به پایین دست در می‌آورد. جهت حرکت در ساحل خارجی به سمت پایین و در ساحل داخلی به سمت بالا است [21]. وجود چاله فرسایشی در محل پنجه ساحل نیز به همین دلیل می‌باشد. تزریق مواد شناور ریزدانه در آزمایش با صفحات شناور نشان داد که عمده این ذرات قبل از رسیدن به ساحل خارجی منحرف می‌شوند و در راستای جریان به سمت پایین دست حرکت می‌کنند. صفحات شناور، جریان در مقطع را به دو ناحیه



(الف)



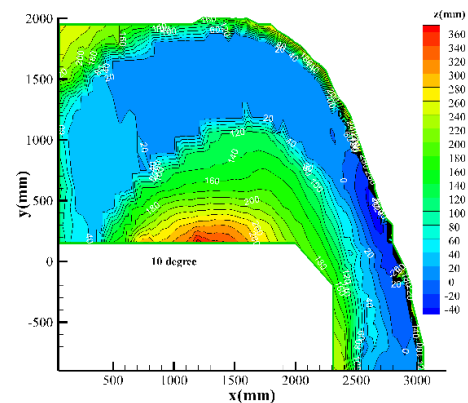
(ب)

شکل ۸ توپوگرافی بستر در حالت نصب صفحات، (الف) در زاویه ۳۰ درجه، (ب) در زاویه نصب ۴۰ درجه

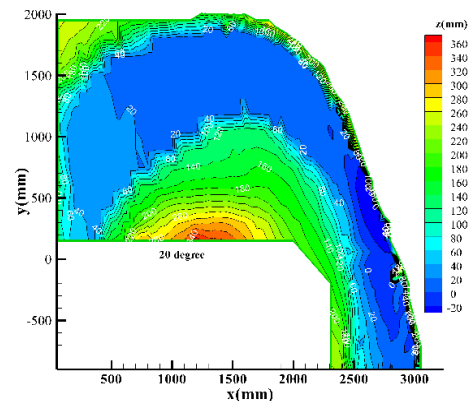
در زاویه نصب ۳۰ درجه حداکثر عمق چاله فرسایشی از موقعیت تقریبی ۱۶۵ تا ۱۷۰ درجه قوس است و مقدار آن برابر با ۴ سانتی متر می‌باشد. در این حالت نسبت به حالت بدون صفحات (مقیاسه شکل ۶ با شکل ۸-الف)، حداکثر عمق چاله فرسایشی ۹ میلی متر کاهش یافته است؛ با این تفاوت که در زاویه نصب ۳۰ درجه موقعیت حداکثر چاله فرسایشی به اندازه ۵ سانتی متر از ساحل خارجی دور شده و از موقعیت ۱۷۰ درجه تا انتهای میدان داده‌برداری چاله فرسایشی به اندازه ۱۰ سانتی متر دور شده و ساحل خارجی در این بازه کاملاً در مقابل فرسایش تثبیت شده است. در زاویه نصب ۴۰ درجه حداکثر عمق چاله فرسایشی در موقعیت ۱۶۰ تا

کاهش قدرت جریان ثانویه در قوس دارد و نهایتاً عمق چاله فرسایشی کاهش پیدا می‌کند. البته اظهار نظر دقیق این مباحث نیازمند برداشت الگوی جریان در حالت‌های مختلف می‌باشد که هدف تحقیق حاضر نیست. افزایش زاویه نصب صفحات شناور از ۱۰ درجه به ۲۰ درجه، علاوه بر این که باعث کاهش حداکثر عمق آبستگي از ۴ سانتی متر به ۲ سانتی متر شده است باعث دور شدن چاله فرسایشی از ساحل خارجی بعد از موقعیت ۱۷۰ درجه تا انتهای میدان داده‌برداری نیز شده است.

شکل ۸ تغییرات توپوگرافی بستر در دو زاویه نصب ۳۰ درجه (شکل ۸-الف) و ۴۰ درجه (شکل ۸-ب) را در عدد فرود ۰,۲ (معادل دبی دوساله رودخانه کارون) نشان می‌دهد.



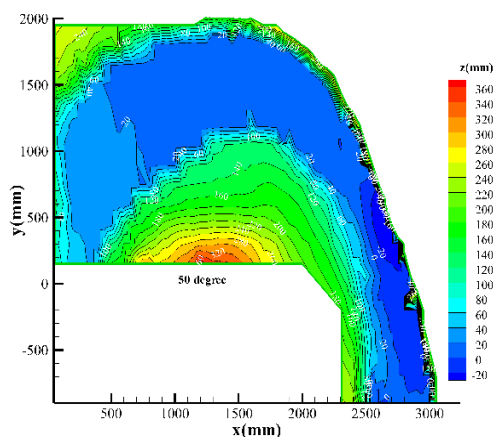
(الف)



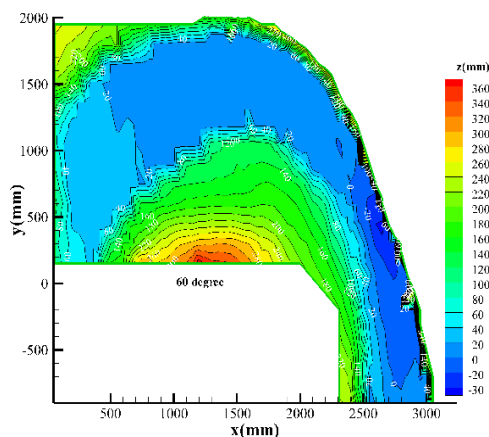
(ب)

شکل ۷ توپوگرافی بستر در حالت نصب صفحات، (الف) در زاویه ۱۰ درجه، (ب) در زاویه نصب ۲۰ درجه در عدد فرود ۰/۲

می‌گیرد (شکل ۱۰). شکل (۱۰-الف) تغییرات تراز بستر در پنجه ساحل خارجی در محدوده چاله فرسایشی در زاویه ۱۰ و ۲۰ درجه را نشان می‌دهد. در تمام نمودارها مبدا مختصات معادل ۱۳۰ درجه قوس می‌باشد. در زاویه نصب ۱۰ درجه طول چاله فرسایشی برابر با ۱,۶ متر بوده و بیشترین مقدار فرسایش در پنجه ساحل خارجی برابر با ۳۵ میلی‌متر و در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از ابتدای چاله فرسایشی اتفاق افتاده است.



(الف)



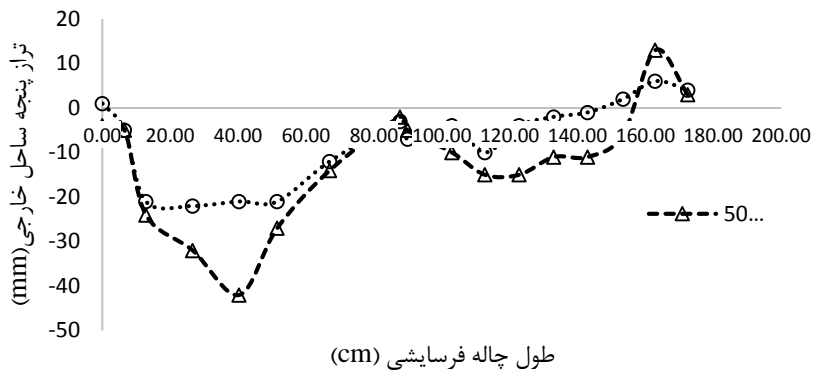
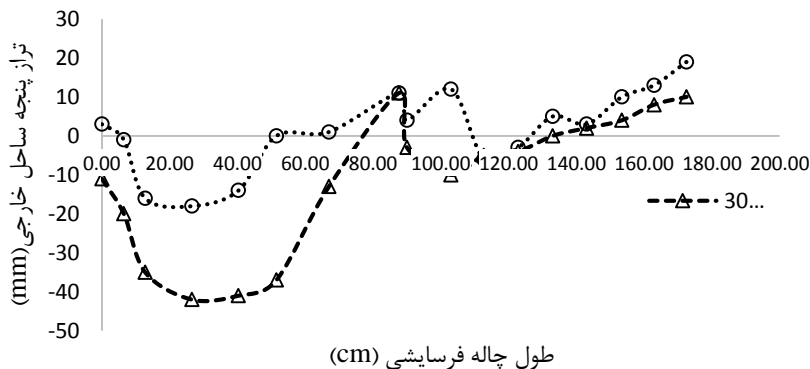
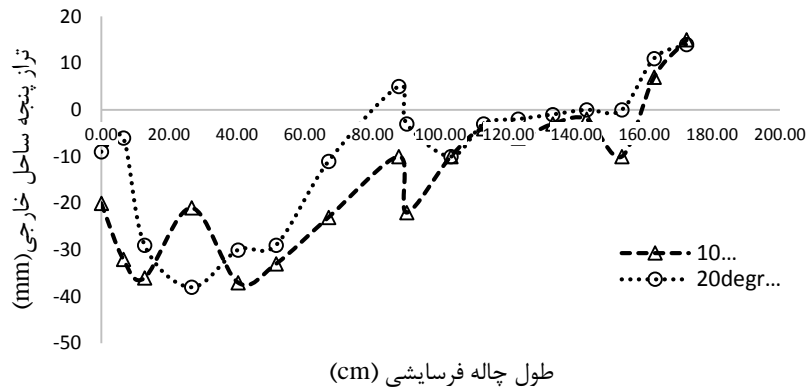
(ب)

شکل ۹ توپوگرافی بستر در حالت نصب صفحات، الف) در زاویه ۵۰ درجه، ب) در زاویه نصب ۶۰ درجه

۱۸۰ درجه اتفاق افتاده است و معادل ۲ سانتی‌متر می‌باشد که از ساحل خارجی ۱۰ سانتی‌متر دور شده است. در این حالت ساحل خارجی در طول چاله فرسایشی کاملاً در مقابل فرسایش محفوظ شده و حتی ساحل‌سازی در ساحل خارجی اتفاق افتاده است؛ بنابراین در زاویه ۴۰ درجه اثر صفحات بر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری بهتر بوده است به گونه‌ای که حداکثر عمق چاله فرسایشی نسبت به حالت بدون صفحات ۶۰ درصد کاهش داشته و به اندازه ۱۰ سانتی‌متر از ساحل خارجی دور شده است که این نتیجه با نتایج مارلیوس و سینها [22] و گوپتا و همکاران [23] در مورد صفحات مستغرق کاملاً مطابقت دارد. که این محققان نشان دادند که بیشترین کارایی هیدرولیکی صفحات مستغرق در زاویه نصب ۴۰ درجه اتفاق می‌افتد.

شکل (۹) تغییرات توپوگرافی بستر در زاویه نصب ۵۰ درجه (شکل ۹-الف) و ۶۰ درجه (شکل ۹-ب) را در عدد فرود ۰,۲ نشان می‌دهد. در هر دو حالت حداکثر عمق چاله فرسایشی از موقعیت ۱۶۰ تا ۱۷۰ درجه و برابر با ۳ سانتی‌متر می‌باشد که کاملاً به ساحل خارجی چسبیده است. می‌توان گفت که با افزایش زاویه نصب (زوایای بزرگ‌تر از ۴۰ درجه) زاویه برخورد جریان با صفحات از حالت عمودی خارج می‌شود و در نهایت باعث کاهش اختلاف فشار طرفین صفحات می‌شود. با کاهش اختلاف فشار، قدرت گردابه‌های دنباله‌دار کاهش پیدا می‌کند که در نهایت باعث کاهش اثر صفحات شناور بر توپوگرافی بستر می‌شود؛ بنابراین زوایای نصب بزرگ‌تر از ۴۰ درجه برای نصب صفحات شناور توصیه نمی‌شود که با نتایج اودگارد [24] در مورد صفحات مستغرق همخوانی کامل دارد.

باتوجه به این‌که فرسایش دیوار ساحل خارجی به‌علت فرسایش پنجه اتفاق می‌افتد، بنابراین در ادامه فرسایش پنجه ساحلی در قوس خارجی و در بازه چاله فرسایشی در زوایای نصب مختلف مورد بررسی قرار



شکل ۱۰ تغییرات تراز بستر در پنجه ساحل خارجی در زوایای ۱۰ و ۲۰ درجه (۱۰-الف)،
۳۰ و ۴۰ درجه (۱۰-ب) و ۵۰ و ۶۰ درجه (۱۰-ج)

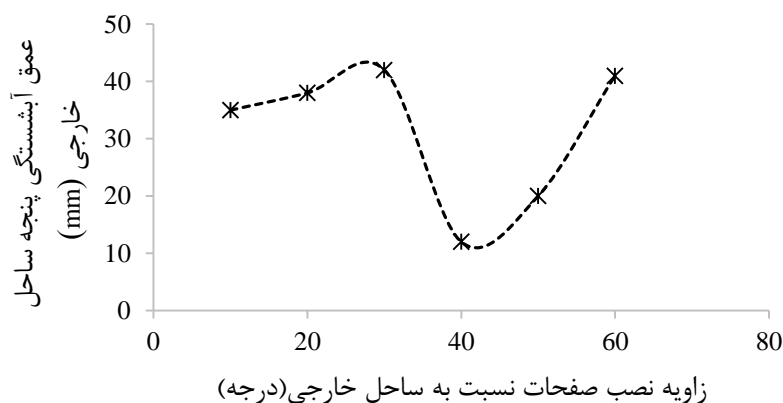
موقعیت ۳۰ سانتی متر از ابتدای چاله فرسایشی قرار دارد. در زاویه نصب ۳۰ درجه طول چاله فرسایشی در پنجه ساحل خارجی به ۱ متر کاهش یافته است و حداکثر عمق

در زاویه ۲۰ درجه طول چاله فرسایشی در پنجه ساحل خارجی به ۱٫۲ متر کاهش یافته و حداکثر عمق چاله فرسایشی برابر با ۴۰ میلی متر بوده است و در

نصب صفحات شناور نسبت به ساحل خارجی بر عمق فرسایش در پنجه ساحل خارجی در شکل (۱۱) ساحل خارجی آورده شده است. باتوجه به نمودار در زاویه نصب ۴۰ درجه نسبت به ساحل خارجی کمترین آبستنگی در پنجه ساحل خارجی اتفاق افتاده است و برابر با ۱۲ میلی متر می باشد. و بیشترین آبستنگی در دو زاویه ۳۰ درجه و ۶۰ درجه است و برابر با ۴۲ میلی متر می باشد. احتمال می رود در زاویه نصب ۴۰ درجه به علت این که خطوط جریان به صورت عمود به صفحات شناور برخورد می کنند و بیشترین اختلاف فشار در طرفین صفحات ایجاد می شود، در نتیجه افزایش گرادیان فشار طرفین صفحه، جریان مولد ایجاد شده توسط صفحات قوی تر می شود و اثر بیشتری بر جریان اصلی که همواره در نزدیک سطح آب به سمت قوس خارجی است می گذارد (جریان مولد ایجاد شده از سمت قوس خارجی (منطقه پرفشار) به سمت پشت صفحات (منطقه کم فشار) می باشد). البته اظهار نظر دقیق الگوی جریان نیازمند برداشت الگوی جریان اطراف صفحات می باشد که خارج از بحث این تحقیق می باشد.

چاله فرسایشی در پنجه ساحلی در محدوده ۳۰ تا ۵۰ سانتی متر از ابتدای چاله فرسایشی و به مقدار ۴۰ میلی متر می باشد (شکل ۱۰-ب). با نصب صفحات شناور در زاویه نصب ۴۰ درجه، طول چاله فرسایشی در پنجه ساحل خارجی به ۴۴ سانتی متر کاهش پیدا می کند و حداکثر عمق چاله فرسایشی برابر با ۱۲ میلی متر می باشد و در موقعیت ۲۰ تا ۴۰ سانتی متری از ابتدای چاله فرسایشی (مبدأ مختصات) اتفاق افتاده است. (شکل ۱۰-ب). در زوایای بزرگتر از ۴۰ درجه طول و عمق چاله فرسایشی مجدداً افزایش می یابد (شکل ۱۰-ج). لازم به ذکر است که در موقعیت ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی متری از ابتدای چاله فرسایشی به علت افزایش عرض مجرا، آبستنگی پنجه ساحلی کاهش یافته است و در ادامه و بعد از افزایش عرض مجرا مجدداً عمق چاله فرسایشی در پنجه ساحل افزایش پیدا کرده است.

فرسایش ساحل خارجی به علت فرسایش پنجه در ساحل اتفاق می افتد، بدین ترتیب که فرسایش در پنجه باعث ریزش دیوار ساحلی می شود و جابه جایی در مئاندر رودخانه ها اتفاق می افتد. اثر زاویه (برحسب درجه)



شکل ۱۱ تغییرات عمق آبستنگی در پنجه ساحل خارجی در زوایای نصب مختلف

خلاصه و جمع بندی

- ۱- در آزمایش شاهد و بدون نصب صفحات شناور چاله فرسایشی با عمق حداکثر ۵۰ میلی متر از موقعیت ۱۳۰ درجه قوس در نزدیک ساحل خارجی شروع می شود و تا انتهای میدان داده برداری ادامه دارد.
 - ۲- سازه صفحات شناور باعث تغییر اساسی در الگوی فرسایش و رسوب گذاری در قوس رودخانه ها می شود.
 - ۳- حداکثر عمق چاله فرسایشی در دو زاویه نصب ۲۰ و ۴۰ درجه برابر با ۲۰ میلی متر می باشد که در مقایسه با آزمایش شاهد (حداکثر عمق چاله فرسایشی برابر با ۴۹ میلی متر می باشد) ۶۰ درصد کاهش یافته است.
 - ۴- در زاویه نصب ۲۰ درجه چاله فرسایشی کاملاً به ساحل خارجی می چسبد ولی در زاویه نصب ۴۰
- درجه چاله فرسایشی از ساحل خارجی دور می شود.
- ۵- بهترین زاویه نصب صفحات شناور برابر با ۴۰ درجه می باشد که با نتایج اودگارد [24] در مورد صفحات مستغرق کاملاً مطابقت دارد؛ بدین ترتیب که در زاویه ۴۰ درجه، قوی ترین گردها در اثر برخورد جریان با صفحات مستغرق ایجاد می گردد.
 - ۶- در زاویه نصب ۴۰ درجه، طول چاله فرسایشی برابر با ۴۴ سانتی متر می باشد که نسبت به آزمایش شاهد (۱۶۰ سانتی متر) ۷۳ درصد کاهش یافته است، بنابراین با نصب صفحات شناور در این زاویه، کمترین طول از ساحل خارجی در معرض فرسایش خواهد بود.

مراجع

۱. جعفرزاده، م.، «مکانیک رودخانه»، ترجمه کتاب پی یر ژولین، نشر دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۸).
۲. یاسی، م.، «راهنمای استاندارد طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن های رودخانه ای»، نشریه استاندارد صنعت آب و برق ایران، ش. ۵۱۶، (۱۳۸۸).
۳. عباسی، ع.ا، ملک نژاد، م.، «مطالعه آزمایشگاهی تأثیر مشخصات هندسی آبشکن های نفوذپذیر مستقیم و T شکل بر آبستگي اطراف آنها»، فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال دوم، ش. ۸، صص. ۱۰۷-۹۵، (۱۳۹۱).
4. Abad, J. D., Rhoads, B. L., Guneralp, I. and Gorcia, M.H., "Flow Structure at Difference Stages in a Meander-bend with Bendway Weirs", *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, Vol. 8, pp. 1052-1063, (2008).
5. Jarrahzade, F., and Shafai Bejestan, M., "Comparison of Maximum Scour Depth in Bank Line and Nose of Submerged Weirs in a Sharp Bend", *Scientific Research and Essays*, Vol. 5, pp. 1071-1076, (2011).
۶. رامش، س.، جراحزاده، ف.، مشکورنیا و شفاعی بجهستان، م.، «وضعیت پروفیل طولی فرسایش و رسوب تحت تأثیر Bendway در خم ۹۰ درجه تند»، نهمین کنفرانس سرریز هیدرولیک ایران، تهران، (۱۳۸۹).
۷. همتی، م.، قمشی، م.، کاشفی پور، س.م.، قمشی، م.، «بررسی آزمایشگاهی تأثیر طول سرریزهای مستغرق بر الگوی رسوب و تراز آب در پیچان رود»، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ج. ۴۳، ش. ۱، صص. ۷۶-۶۶، (۱۳۹۲).
8. Odgaard, A.jacob, "River Channel Stabilization with Submerged Vanes", In Yang, Chih Ted, Wang, Lawrence K. (Eds.) "Advanced in Water Resources Engineering", *springer international publishing*, pp. 107-136, (2015).
۹. آتشی، و، شفاعی بجهستان، م.، احدیان، ج.، «ارزیابی الگوی جریان و تنش برشی در قوس ۹۰ درجه تند با حضور سرریز W شکل»، مجله مهندسی منابع آب، سال پنجم، تابستان ۹۱، صص. ۲۸-۱۵، (۱۳۹۱).
10. Pagliara, S., Kurdistani, S. M., and Cammarata, L., "Scour of Clear Water Rock W-Weirs in Straight Rivers", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 140, No. 4, 06014002(7), (2014).

11. Bhuiyan, F., Hey, R. D., and Wormleaton, P. R., "River Restoration using W-weir", *Journal of Hydraulic Engineering*, vole 133(6), pp. 596–609. (2007).
12. Rosgen, D. L., "The Cross-vane, W-weir and J-hook Vane Structures Description, Design and Application for Stream Stabilization and River Restoration", *Wild land Hydrology, Inc.* 11210 N. County Road 19 Ft. Collins, Colorado 80524970-568-0002, (2006).
13. Pagliara, S., Kurdistani, S. M., and Santucci, I., "Scour Downstream of J-hook Vane Structures in Straight Horizontal Channels", *Acta Geophysical*, vole 61(5), pp. 1211–1228, (2013).
14. Bhuiyan, F., Hey, R. D., and Wormleaton, P. R., "Bank-Attached Vanes for Bank Erosion Control and Restoration of River Meanders", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 136(9), pp. 583-596, (2010).
15. Bahrami Yarahamdi M, Shafai Bejestan M., "Sediment Management and Flow Patterns at River Bend due to Triangular Vanes Attached to the Bank", *Journal of Hydro-environmental Research*, Vol. 10(0), pp. 64-75, (2016).
۱۶. بهرامی یار احمدی، م، شفاعی بجهستان، م، «بررسی تغییرات طول مؤثر صفحات مثلثی شکل بر الگوی فرسایش و رسوب گذاری در قوس ملایم ۹۰ درجه»، نشریه مهندسی عمران مشهد، سال بیست و هفتم، ش. ۱، صص. ۱۰۰-۸۷، (۱۳۹۴).
۱۷. بهرامی یار احمدی، م، شفاعی بجهستان، م، «تأثیر سری صفحات مثلثی در قوس ملایم ۹۰ درجه بر الگوی توپوگرافی بستر»، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ج. ۴۵، ش. ۳، بدون نام، (۱۳۹۴).
18. Odgard A.jacob, "River Training and Sediment Management with Submerged Vanes", *Published by American Society of Civil Engineers*, (2010).
19. Junali, T., Utpal Kumar, M., , "Experimental Investigation of Local Scour Around Submerged Vanes", *International journal Innovative research in advanced engineering*, Vol. 2(7), pp. 21-24, (2015).
۲۰. منصوری، ا.م، ع، نیشابوری، ع.ا، هنربخش، ا، «مطالعه عددی سه بعدی تغییرات تراز بستر در قوس ۱۸۰ درجه»، مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس، دوره دهم، ش. ۱، بهار ۸۹، (۱۳۸۹).
21. Liaght, A., Mohamadi, K., Rahmanshahi, M., "3D Investigation of Flow Hydraulic in U Shape Meander Bends with Constant, Decreasing and Increasing Width", *Journal of river engineering*, Vol. 2, No. 3, (2014).
22. Marelius, F. and Sinha, S. K. "Experimental Investigation of Flow Past Submerged Vanes", *J. Hydraul. Eng.*, Vol. 124(5), pp. 542-545, (1998).
23. Gupta, P. U., Sharma, N. and Ojha, C. S. P., "Performance Evaluation of Submergence Ratio of a Rectangular Submerged Vane with a Collar", *International J. of Sediment Res.*, Vol. 21(1), pp.42-49, (2006).
24. Odgard A.jacob, "Sediment Management in Rivers Using Submerged Vanes", *proceedings of the congress-international association for hydraulic research*, Vol. 4, pp. 60-65, (1995).