

## مطالعه آزمایشگاهی کاربرد صفحات مستغرق در حفاظت از ساحل خارجی رودخانه

هانیه حقیقت پناه<sup>۱</sup>، پیام خسروی نیا<sup>۲\*</sup>، علی حسین زاده دلیر<sup>۲</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱۰/۲۹

مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی نویسنده اول

### چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائلی که در علم مهندسی رودخانه مورد توجه ویژه قرار دارد، ساماندهی رودخانه در محل قوس می‌باشد. عملیات ساماندهی رودخانه‌ها جهت جلوگیری از تغییر انحنای قوس، حفاظت از دیواره خارجی در برابر فرسایش و همچنین کنترل رسوبگذاری در مجاورت دیواره داخلی رودخانه‌ها انجام می‌شود. یکی از روش‌های کاربردی جهت ساماندهی رودخانه‌ها، تثبیت سواحل و محافظت آن در برابر فرسایش، استفاده از صفحات مستغرق می‌باشد. صفحات مستغرق سازه‌های هدایت کننده جریان می‌باشند که در کف رودخانه با زاویه‌ای نسبت به جریان اصلی نصب شده و برای اصلاح الگوی جریان مجاور بستر، طراحی می‌گردند. در این تحقیق پس از انجام تحلیل ابعادی و تعیین پارامترهای بدون بعد مؤثر، صفحات مستغرق در سه طول و سه زاویه مختلف در کانالی با قوس ملایم سینوسی قرار داده شد و عملکرد آن‌ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش طول و فاصله بین صفحات مستغرق در یک عدد فرود ثابت، حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد، به طوری که بیشترین مقدار حداکثر عمق آبشستگی صفحه اول در زاویه ۱۱۰ درجه و طول  $H_0/2.66$  مشاهده شد. مناسب‌ترین زاویه برای استقرار صفحات مستغرق، زاویه ۱۴۰ درجه و مخرب‌ترین زاویه استقرار، زاویه ۱۱۰ درجه است.

واژه‌های کلیدی: اصلاح الگوی جریان، ساماندهی رودخانه، صفحات مستغرق، عمق آبشستگی، فرسایش

<sup>۱</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ۰۹۱۸۷۸۷۲۸۳۷

h.haghighatpanah@yahoo.com

<sup>۲</sup> - استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، ۰۹۱۲۰۹۷۷۸۷۵، سنندج، ایران، P.khosravinia@uok.ac.ir

(\* - نویسنده مسئول)

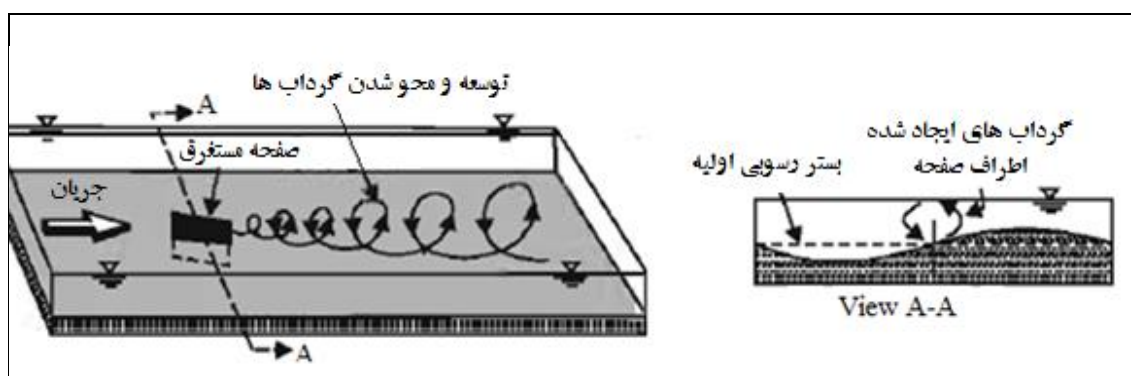
<sup>۲</sup> - استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ۰۹۱۴۳۱۶۶۲۸۴، ahdalir@tabrizu.ac.ir



باعث جابه‌جایی عرضی رودخانه‌ها می‌شود. به همین دلیل به کار بردن روشها و تجهیزاتی برای کنترل فرسایش ساحل بیرونی رودخانه‌ها و ساحل‌سازی ضروری به نظر می‌رسد.

خسروی نیا و همکاران (۱۳۹۰) براساس مطالعاتی که در زمینه کاهش آبشستگی اطراف آبشکن‌ها انجام دادند به این نتیجه رسیدند که یکی از روش‌هایی که جهت محافظت از سواحل و بستر رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد صفحات مستغرق می‌باشد.

صفحات مستغرق سازه‌های عموماً مستطیلی با ضخامت کم هستند که به لحاظ داشتن زاویه با جهت جریان ناحیه پر فشار و کم فشار در دو طرف آنها ایجاد می‌شود. (Odgaard and Wang, 1991). مطالعات خود بر روی عملکرد صفحات مستغرق بر روی مدیریت رسوبات به این نتیجه رسیدند که تغییرات فشار عمودی در دو طرف سطح صفحه باعث به وجود آمدن جریان چرخشی می‌شود که ترکیب این جریان با سرعت در جهت جریان سبب ایجاد حرکت مارپیچی در پایین-دست صفحات می‌شود، این حرکت مارپیچی یک تنش برشی عرضی به بستر رودخانه القا می‌کند که باعث انتقال رسوب در جهت عرضی می‌شود. (شکل ۱).



شکل ۱: جریان چرخشی ایجاد شده در اطراف صفحات مستغرق (Emamgholizadeh and Torabi, 2008)

این سازه‌ها در این است که در شرایط جریان کم‌آبی و متوسط، رسوبات در حد فاصل پره‌ها نشست کرده که علاوه بر حفاظت کناره‌ها، کانال جریان را در مقطع

## مقدمه

تخریب اراضی حاشیه رودخانه و فرسایش کناری رودخانه‌ها باعث خسارت به اراضی مستعد کشاورزی، تاسیسات مجاور، عریض شدن آبراهه جریان و پر شدن مخازن سدها و کاهش عمر مفید بهره‌برداری آن‌ها می‌شود (Julien, 2002). زمانی که مسیر رودخانه تغییر می‌کند، از ترکیب نیروی گرادیان فشار عرضی (اختلاف سطح آب) و نیروی گریز از مرکز، جریان‌های ثانویه تولید می‌شوند. جریان‌های ثانویه نقش عمده‌ای در شکل‌گیری پروفیل بستر در رودخانه‌های پرپیچ و خم ایفا می‌کنند. به این صورت که خطوط جریان سطحی به ساحل خارجی و خطوط جریان مجاور بستر به ساحل داخلی منحرف می‌شوند، دانیالی و شفافی بجزستان (۱۳۹۱) اثر طول صفحات مستغرق بر روی حجم آبشستگی بررسی کردند، نتایج تحقیقات ایشان نشان می‌دهد که آبشستگی ایجاد شده در پنجه ساحل، باعث انتقال خط‌القعر به طرف ساحل بیرونی قوس شده و باعث افزایش شیب ساحل و در نهایت باعث شکست ساحل می‌شود. فرسایش در ساحل بیرونی قوس‌ها،

دانیالی و شفافی بجزستان (۱۳۹۱) طبق مطالعاتی که بر روی تأثیر طول صفحات مستغرق بر حجم آبشستگی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که اهمیت

چام پور و کاشفی‌پور (۱۳۹۵) به منظور بررسی اثر طول آبشکن بر فرآیند آبشستگی آزمایشاتی را بر روی یک آبشکن با نفوذپذیری ۳۳٪ در یک قوس ۹۰ درجه ملایم انجام دادند. نتایج تحقیقات ایشان نشان می‌دهد که در یک عدد فرود ثابت با افزایش طول مؤثر آبشکن، طول، عرض و عمق حفره آبشستگی افزایش می‌یابد.

Yarahmadi and Bejestan (2016) به منظور بررسی تأثیر فاصله بین صفحات مثلثی بر تغییرات توپوگرافی بستر، آزمایشاتی در فواصل و شرایط هیدرولیکی مختلف روی این صفحات در کانالی با قوس ۹۰ درجه انجام دادند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش فاصله صفحات، حداکثر عمق آبشستگی افزایش یافته و میزان انحراف جریان به میانه کانال کاهش پیدا کرده است.

Ouyang and Lu (2016) اثر شعاع قوس و عرض کانال را بر روی توزیع بهینه فاصله صفحات مستغرق، در کانالی با قوس ۹۰ درجه بررسی کردند. نتایج حاصل از تحقیقات ایشان نشان داد که در قوس-

های تند،  $\left(\frac{r_c}{b}\right)$  تأثیر قابل توجهی بر روی توزیع بهینه صفحات دارد.  $\left(\frac{r_c}{b}\right)$  نسبت شعاع قوس به عرض کانال).

Dey et al. (2017) تعدادی صفحات مستغرق را در طول ساحل خارجی قوس برای حفاظت ساحل با زوایای مختلف نسبت به جهت جریان در کانالی با قوس ۱۸۰ درجه قرار دادند. نتایج حاصل از کار ایشان نشان می‌دهد که قرار دادن صفحات با زاویه بزرگتر، جریان را از ساحل خارجی قوس دور می‌کند اما باعث گسترش حفره آبشستگی شده که این خود باعث فرسایش بیشتر در محل قوس می‌شود.

Ozyaman et al. (2017) با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی روند آبشستگی در طول ها و زوایای مختلف آبشکن در یک کانال مستقیم، به این نتیجه رسیدند که با افزایش زاویه آبشکن حجم آبشستگی

اصلاح شده کنترل می‌نماید ولی در شرایط سیلابی، کاملاً مستغرق شده و جریان از روی آن‌ها و نیز از میان پره‌ها می‌گذرد. لذا مقاومت چندانی در مقابل جریان ایجاد نکرده و تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی افزایش سطح آب نمی‌گذارد. از جمله کاربرد صفحات مستغرق عمیق کردن بستر رودخانه‌ها به منظور کشتی‌رانی و رفع مشکل پشته‌ها و جزایر رسوبی است، همچنین می‌توان از این صفحات به منظور جلوگیری از ورود رسوبات به سازه‌های آبیگری در رودخانه‌ها استفاده کرد (سیدیان و شفافی بچستان، ۱۳۸۹؛ Barkdoll et al., 1999)؛ حبیبی و همکاران، ۱۳۹۶) استقرار صفحات مستغرق در اطراف سازه‌های متقاطع با جریان نظیر پایه پل، آبشکن‌ها و تکیه‌گاه‌ها، به منظور کاهش آبشستگی اطراف آن‌ها کاربرد دیگر این صفحات است (Shafaei bejestan et al., 2015). از این صفحات همچنین می‌توان برای حفاظت و احیای ساحل خارجی رودخانه‌ها استفاده کرد.

Gupta et al. (2010) به منظور افزایش بهره‌وری صفحات مستغرق، مطالعات آزمایشگاهی را روی شکل و اندازه‌های مختلف طوق براساس موقعیت شکل‌گیری اولین حفره آبشستگی توسعه دادند. نتایج حاصل از تحقیقات ایشان نشان می‌دهد که طوق دایره‌ای برای صفحات مستغرق مستطیلی مناسب‌تر است، همچنین مناسب‌ترین موقعیت برای نصب طوق در ۰/۰۵ ارتفاع صفحات در زیر سطح بستر است.

Bejestan and Azizi (2012) تأثیر شکل صفحات مستغرق روی آبشستگی موضعی اطراف صفحات را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که تغییر شکل صفحه مستغرق مستطیلی با برش دادن لبه‌ی ابتدایی صفحات با زوایای مشخص تأثیر قابل توجهی روی الگوی رسوبگذاری در پایین‌دست صفحات ندارد اما این تغییر شکل باعث کاهش آبشستگی موضعی در اطراف صفحه می‌شود.



کاهش می‌یابد و با افزایش طول آبشکن ضریب فشردگی نیز افزایش می‌یابد. طبق مطالعات انجام شده، در محل استقرار این صفحات به دلیل تنگ‌شدگی مقطع و انحراف جریان ناشی از حضور این صفحات، تمرکز جریان در پیشانی صفحات افزایش پیدا کرده و رسوبات پیرامون این صفحات به تدریج شسته می‌شوند، گاهی با گسترش حفره فرسایشی، پایداری صفحات در معرض خطر قرار می‌گیرد. بنابراین در صورت استفاده از صفحات مستغرق جهت مدیریت رسوبات رودخانه، مشکل آبشستگی موضعی پیرامون صفحات باید مورد توجه خاص قرار گیرد. علیرغم پیچیده بودن الگوی جریان در محل قوس و اهمیت مدیریت قوس‌ها در بحث ساماندهی رودخانه، تحقیقات کمی در این زمینه صورت گرفته است. لذا در این تحقیق به منظور افزایش پایداری صفحات مستغرق در برابر آبشستگی موضعی آن‌ها تأثیر قرارگیری این صفحات را در طول‌ها، زوایا و فواصل مختلف در یک قوس سینوسی بررسی کرده و نتایج حاصل از آن‌ها با هم مقایسه شده‌اند.

$$(2) \quad \frac{d_s}{y} = f\left(\frac{\mu}{\rho V B}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{V}{V_c}, \frac{y g}{V^2}, \frac{Q}{V B^2}, \frac{x}{B}, \frac{L}{B}, \alpha, \frac{H_0}{B}\right)$$

متغیرهای  $\frac{H_0}{B}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{Q}{V B^2}$  در تمام آزمایشات مقادیر

ثابتی بوده است. با توجه به این که  $\frac{V}{V_c} = 0.9$  بنابراین در همه آزمایشات شرایط آب زلال برقرار بود. به دلیل متلاطم بودن جریان و ثابت بودن مقدار  $\left(\frac{V}{V_c}\right)$  از اعداد رینولدز و فرود  $\left(\frac{\mu}{\rho V B}, \frac{y g}{V^2}\right)$  نیز صرف‌نظر می‌شوند. در نهایت رابطه نهایی به صورت زیر است:

$$\frac{d_s}{y} = f\left(\frac{x}{B}, \frac{L}{B}, \alpha\right)$$

### تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تبریز که مجهز به یک کانال فلزی- شیشه‌ای به طول ۱۰ متر، عرض ۱/۲ متر، ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر با شیب کف ثابت است، انجام شده است.

جنس کف فلوم از آهن گالوانیزه و جنس دیواره‌های آن از شیشه با ضخامت ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. به منظور تعیین رقوم سطح آب در حین انجام آزمایش از ارتفاع سنج نقطه‌ای با دقت  $\pm 0.1$  میلی‌متر استفاده شد. دبی جریان در آزمایش‌ها با استفاده از فلومتر (دبی‌سنج الترا-سونیک) با دقت  $\pm 0.001 L/s$  اندازه‌گیری شد. آب به وسیله یک پمپ از مخزن اصلی به کانال انتقال می‌یابد و یک دریچه قابل تنظیم در پایین دست کانال آزمایشگاهی،

### مواد و روش‌ها

#### تجزیه و تحلیل ابعادی

متغیرهای مؤثر در آبشستگی پیشانی صفحات مستغرق به صورت زیر است:

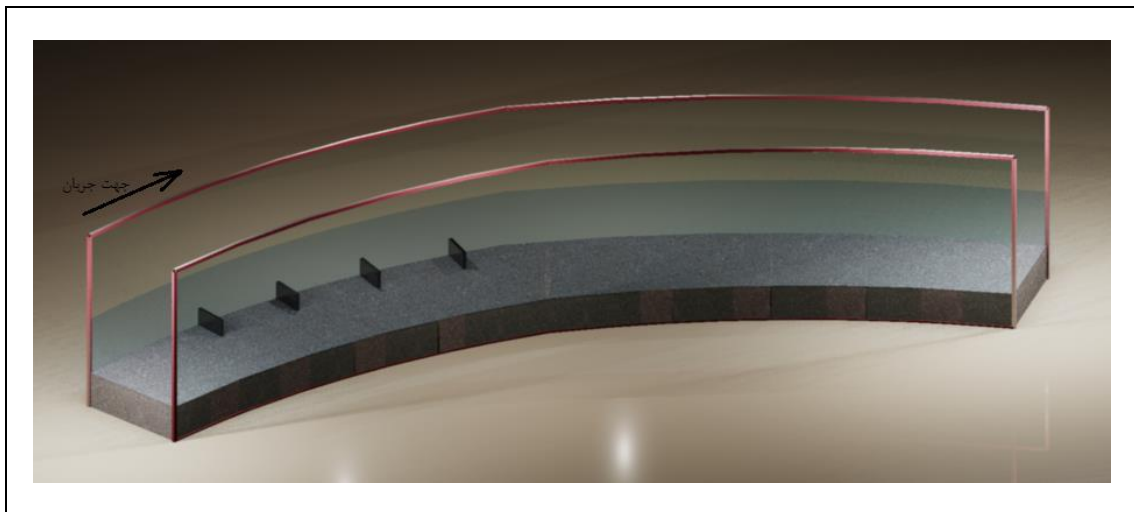
(۱)

$$d_s = f(\rho, \mu, \rho_s, V_c, V, y, g, Q, x, L, H_0, \alpha, B)$$

در معادله (۱)،  $(\rho)$  جرم مخصوص سیال،  $(\mu)$  لزجت دینامیکی سیال،  $(\rho_s)$  چگالی ذرات بستر،  $(V_c)$  سرعت بحرانی ذرات رسوبی بستر،  $(V)$  سرعت متوسط جریان،  $(y)$  عمق جریان،  $(g)$  شتاب ثقل،  $(Q)$  دبی جریان،  $(x)$  فاصله بین صفحات مستغرق،  $(L)$  طول صفحات مستغرق،  $(H_0)$  ارتفاع صفحات مستغرق،  $(\alpha)$  زاویه صفحات با بالادست جریان،

۱۸۷ و ۲۲۰ سانتی‌متر است. ارتفاع کف کاذب ۱۰ سانتی‌متر بوده و محدوده بین آن‌ها به طول ۱۴۰ سانتی‌متر به عنوان منطقه مورد آزمایش منظور شد. قطر متوسط ذرات بستر ( $d_{50}$ ) معادل ۰/۴۹۴ میلی‌متر و ضریب انحراف معیار هندسی ( $\sigma = \sqrt{d_{84}/d_{16}}$ ) معادل ۱/۳۵ است.

عمق پایاب را تنظیم می‌نماید. به منظور انجام آزمایش‌ها در داخل کانال اصلی بایستی قوس ملایمی ایجاد کرد. برای این منظور از ورقه‌های پلکسی گلاس استفاده شد و قوسی به عرض ۳۵ سانتی‌متر با ارتفاع برابر کانال اصلی (۵۰ سانتی‌متر) ایجاد گردید، شمای سه بعدی کانال آزمایشگاهی در شکل ۲ نشان داده شده است. قوس از نوع قوس ملایم با ضریب سینوسیته ۱/۱ تا ۱/۲ است، شعاع داخلی و خارجی قوس به ترتیب

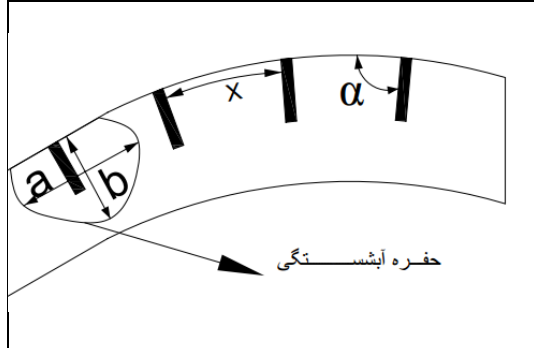


شکل ۲: شمای سه بعدی کانال آزمایشگاهی و جانمایی صفحه‌ی مستغرق در ناحیه‌ی رسوبی

از آنجایی که ساخت و اجرای صفحات مستغرق مستطیلی ساده‌تر بوده در عین حال کاربرد آن‌ها بیشتر است، لذا در این تحقیق از این نوع صفحات استفاده شد. ابعاد صفحات (طول و ارتفاع) ضریبی از عمق جریان می‌باشد. براساس مطالعات ادگارد و وانگ (۱۹۹۱) ارتفاع صفحات در حدود ۰/۲ تا ۰/۴ عمق جریان می‌باشد. براساس مطالعات انجام شده توسط ادگارد و لی (۱۹۸۴) و ادگارد و مسکنی (۱۹۸۷) مقدار بهینه ارتفاع صفحات ( $H_0$ ) به عمق جریان ( $y$ )، براساس معیار تعادل و توازن بین گشتاور پیچشی ناشی از صفحات و گشتاور ناشی از جریان‌های چرخشی ثانوی در محل قوس‌ها، برابر ۰/۳ تعیین شده است. براساس مطالعات ادگارد و وانگ (۱۹۹۱) طول صفحات ( $L$ ) نیز ۲ تا

۳/۳ برابر ارتفاع صفحات  $\left(\frac{H_0}{y} = 0.3, \frac{H_0}{L} = 0.3\right)$  باشد. در این تحقیق از صفحات مستغرق مستطیلی شکل، از جنس پلی‌اتیلن با ضخامت ۵ میلی‌متر استفاده شد. این صفحات در سه طول ۹/۶، ۱۱ و ۱۲/۸ سانتی‌متر که معادل  $H_0$ ،  $2H_0$ ،  $2/3H_0$ ،  $2/66H_0$ ، با ارتفاع ثابت ۴/۸ سانتی‌متر ساخته شدند. این صفحات در سه زاویه ۹۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ درجه مورد بررسی قرار گرفتند همچنین آزمایشاتی بر روی فواصل بین صفحات با اندازه‌های ۱۹/۲، ۲۲/۳، ۲۵/۵ سانتی‌متر معادل  $4H_0$ ،  $4/66H_0$ ،  $5/33H_0$ ، برای دو طول ۹/۶ و ۱۲/۸ سانتی‌متر در دو زاویه به ترتیب ۱۴۰ و ۱۱۰ درجه انجام شد.

صورت  $0.85d_{smax}$  برابر ۲۱۰ دقیقه (معادل ۳،۳۰')  
محاسبه گردید



شکل ۳: پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق

در پایان هر آزمایش بستر کانال شبکه‌بندی شده و توپوگرافی آن با استفاده از مترلیزری برداشت گردید، همچنین ابعاد حفرة آبستگى (طول و عرض حفرة) با خط‌کش میلیمتری اندازه‌گیری شد. شکل ۳ پارامترهای مؤثر در این تحقیق و شکل ۴ دو نمونه از بستر رسوبی کانال را در انتهای آزمایش نشان می‌دهد.

در کلیه آزمایشات عمق آب ثابت و معادل ۱۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به منظور کنترل شرایط جریان و جلوگیری از وقوع آبستگى سریع در لبه‌ی ابتدایی صفحات در شروع هر آزمایش، دریچه‌ی فرار گرفته در انتهای فلوم کاملاً بسته می‌شد، جریانی با سرعت بسیار کم، وارد فلوم می‌گردید تا سطح ناحیه رسوبی به ارتفاع چند سانتی‌متر با آب پوشیده شود. جریان ورودی نیز در ابتدا با مقادیر بسیار کم وارد فلوم گردید. سپس دبی ورودی به تدریج افزایش می‌یابد تا اینکه آب با دبی مورد نظر وارد کانال شود، بعد با تنظیم دریچه انتهایی کانال عمق آب (۱۶ سانتی‌متر) و دبی جریان مورد نظر به دقت تنظیم شد. مدت زمان انجام آزمایشات براساس معیار اتما (۱۹۸۰) عبارت است از مدت زمانی که تغییرات در عمق آبستگى در یک بازه‌ی زمانی دو ساعته کمتر از یک میلی‌متر شود.

لذا در آزمایشات اولیه برای تعیین زمان تعادل مشخص شد که پس از گذشت ۸ ساعت از شروع آزمایش، تغییرات عمق آبستگى بسیار اندک در حدود یک میلی‌متر در هر ساعت بود، بنابراین زمان تعادل به



ب: طول ۱۱ سانتی‌متر و زاویه ۹۰ درجه

الف: طول ۹/۶ سانتی‌متر و زاویه ۱۴۰ درجه

شکل ۴: صفحات مستغرق فرار گرفته در کانال در تحقیق حاضر

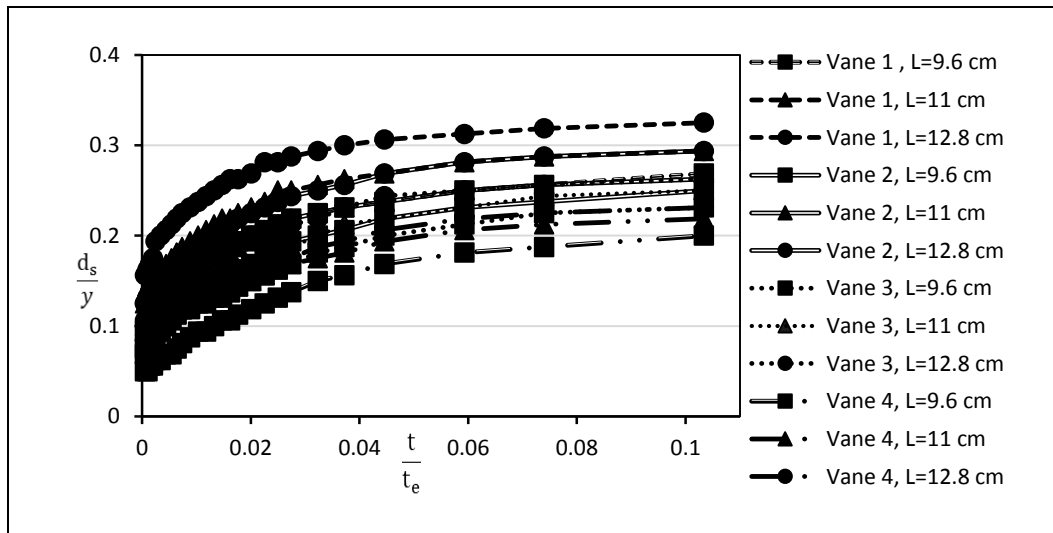
## نتایج و بحث

ترتیب از صفحه دوم به بعد عمق آبشستگی رفته رفته کاهش می‌یابد.

### توسعه زمانی آبشستگی

شکل ۵ تغییرات حداکثر عمق آبشستگی صفحات مستغرق را نسبت به زمان در سه طول  $H_0, 2H_0, 3H_0$  در زاویه  $2/66^\circ$  در ۹۰ درجه نشان می‌دهد. مطابق این شکل تغییرات عمق آبشستگی در اطراف صفحات در لحظات اولیه آزمایش زیاد بوده ولی با گذشت زمان روند تغییرات عمق آبشستگی کاهش پیدا کرده و بعد از مدتی به تعادل رسیده است. بیشترین و کمترین مقدار عمق آبشستگی به ترتیب در صفحه اول و صفحه چهارم مشاهده شده است. همچنین مشاهده می‌شود که طول  $2H_0$  در هر چهار صفحه پایین‌تر از منحنی دو طول دیگر صفحات قرار گرفته است، که این بیانگر تأثیر نسبتاً زیاد صفحه مستغرق با طول  $2H_0$  در کاهش عمق آبشستگی دماغه صفحات می‌باشد.

صفحات مستغرق با کاهش سطح مقطع رودخانه الگوی جریان را به طور محسوسی تحت تأثیر قرار می‌دهند و به تبعیت از ساختار هندسی، نوع سازه و سایر مشخصات فنی مربوط الگوی متفاوتی از جریان در دماغه صفحات پدیدار می‌گردد. پس از تنظیم و برقراری جریان در کانال، با توجه به کاهش سطح مقطع جریان و به تبع آن افزایش سرعت در محل قوس، تنش برشی در اطراف صفحات افزایش پیدا کرده و زمینه شروع آبشستگی و فرسایش را به وجود می‌آورند. آبشستگی در پیشانی صفحه اول که صفحه حساس در مسیر است، نسبت به صفحات بعدی با سرعت و شدت بیشتری صورت می‌گیرد آبشستگی در پیشانی صفحات بعدی با تأخیر زمانی چند ثانیه‌ای با صفحه قبلی خود صورت می‌گیرد. مشاهدات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که جریان بعد از برخورد با صفحه اول به طرف میانه کانال انحراف می‌یابد این خود باعث می‌شود قدرت جریان در پیشانی صفحات بعدی به تدریج کم‌تر شود به این



شکل ۵: تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبت به زمان در سه طول  $H_0, 2H_0, 3H_0$  و زاویه  $2/66^\circ$  در ۹۰ درجه



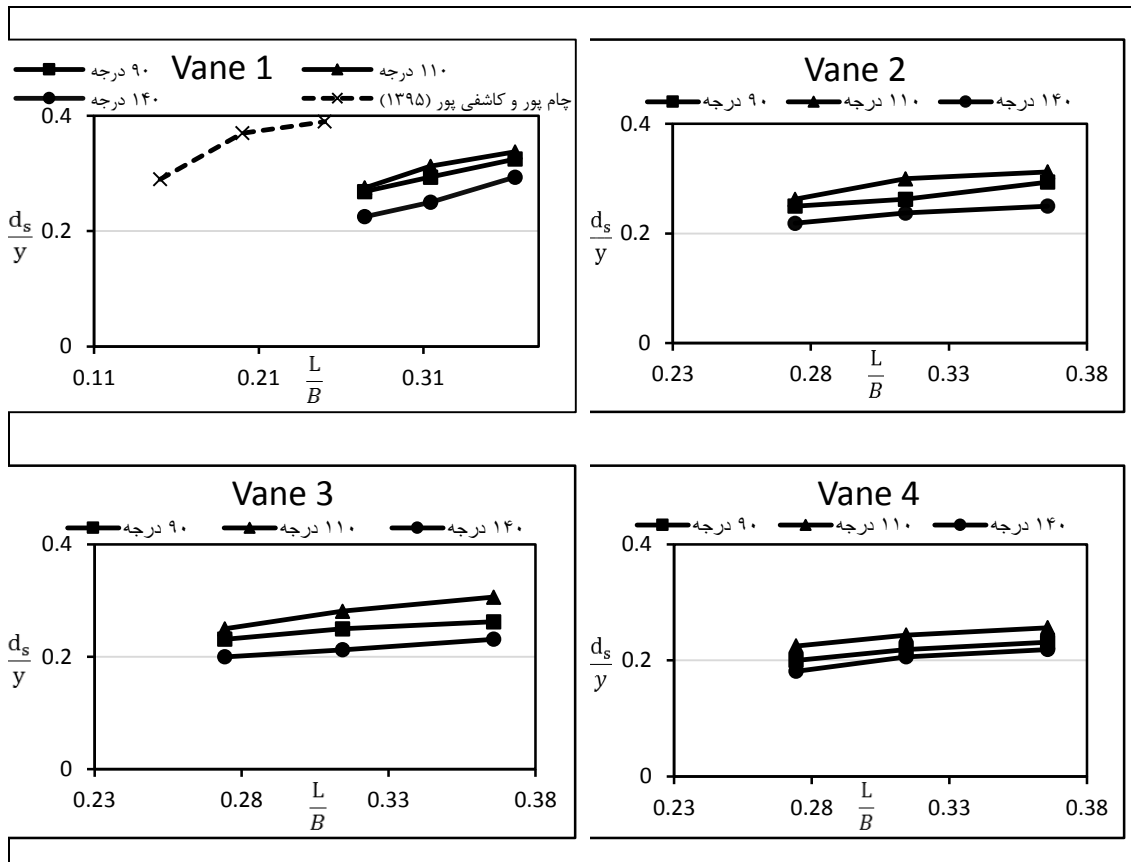
سوم در زاویه ۱۱۰ از  $2H_0$  به  $2/33H_0$  افزایش می‌یابد  
۱۱/۱۱٪ و زمانیکه طول این صفحه از  $2/33H_0$  به  $H_0$   
۲/۶۶ افزایش می‌یابد میزان افزایش حداکثر عمق  
آبشستگی ۸/۱۶٪، در زاویه ۱۱۰ درجه صفحه چهارم  
نیز با افزایش طول این صفحه از  $2H_0$  به  $2/33H_0$   
میزان افزایش عمق آبشستگی ۷/۶۹٪ و میزان افزایش  
حداکثر عمق آبشستگی زمانیکه طول این صفحه از  $H_0$   
۲/۳۳ به  $2/66H_0$  افزایش می‌یابد ۴/۸۷٪ است.

### تأثیر طول صفحات مستغرق بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی

طول صفحات مستغرق از جمله پارامترهای مؤثر بر  
حداکثر عمق آبشستگی اطراف صفحات و نیز توپوگرافی  
بستر است. شکل ۶ تغییرات حداکثر عمق آبشستگی را  
نسبت به طول صفحات ( $H_0, 2/33H_0, 2/66H_0$ )  
( در سه زاویه ۹۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ درجه نشان می‌دهد.  
از مقایسه عمق آبشستگی در هر سه حالت طول، برای  
تمامی زوایا می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش طول  
صفحات میزان تنگ‌شدگی مقطع انحراف جریان بیشتر  
شده در نتیجه تنش برشی بستر در اطراف صفحات  
مستغرق افزایش می‌یابد، که این مسأله موجب افزایش  
عمق و حجم آبشستگی می‌گردد.

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌گردد روند تغییرات  
حداکثر عمق آبشستگی در زاویه ۱۴۰ درجه کمتر از  
زاویه ۹۰ و ۱۱۰ درجه می‌باشد. در هر زاویه، صفحات  
با طول  $2/66H_0$  و  $2H_0$  به ترتیب دارای بیشترین و  
کمترین مقدار حداکثر عمق آبشستگی می‌باشد.  
جدول ۱ میزان تغییرات حداکثر عمق آبشستگی در هر  
صفحه در سه طول صفحات ( $H_0, 2/33H_0, 2/66H_0$ )  
را نشان می‌دهد. حداکثر عمق آبشستگی در  
زاویه ۱۱۰ درجه در صفحه اول با طول  $2/33H_0$ ،  
۱۲٪ بیشتر از حداکثر عمق آبشستگی همین صفحه در  
طول  $2H_0$  است و از میزان حداکثر عمق آبشستگی در  
طول  $2/66H_0$  همین صفحه ۷/۴۰٪ کمتر است. میزان  
افزایش حداکثر عمق آبشستگی زمانیکه طول صفحه





شکل ۶: تأثیر طول صفحات مستغرق بر تغییرات حداکثر عمق آبستگي در زوایای مختلف

جدول ۱: میزان افزایش حداکثر عمق آبستگی ( $d_s/y$ ) با افزایش طول صفحات مستغرق ( $L/B$ )

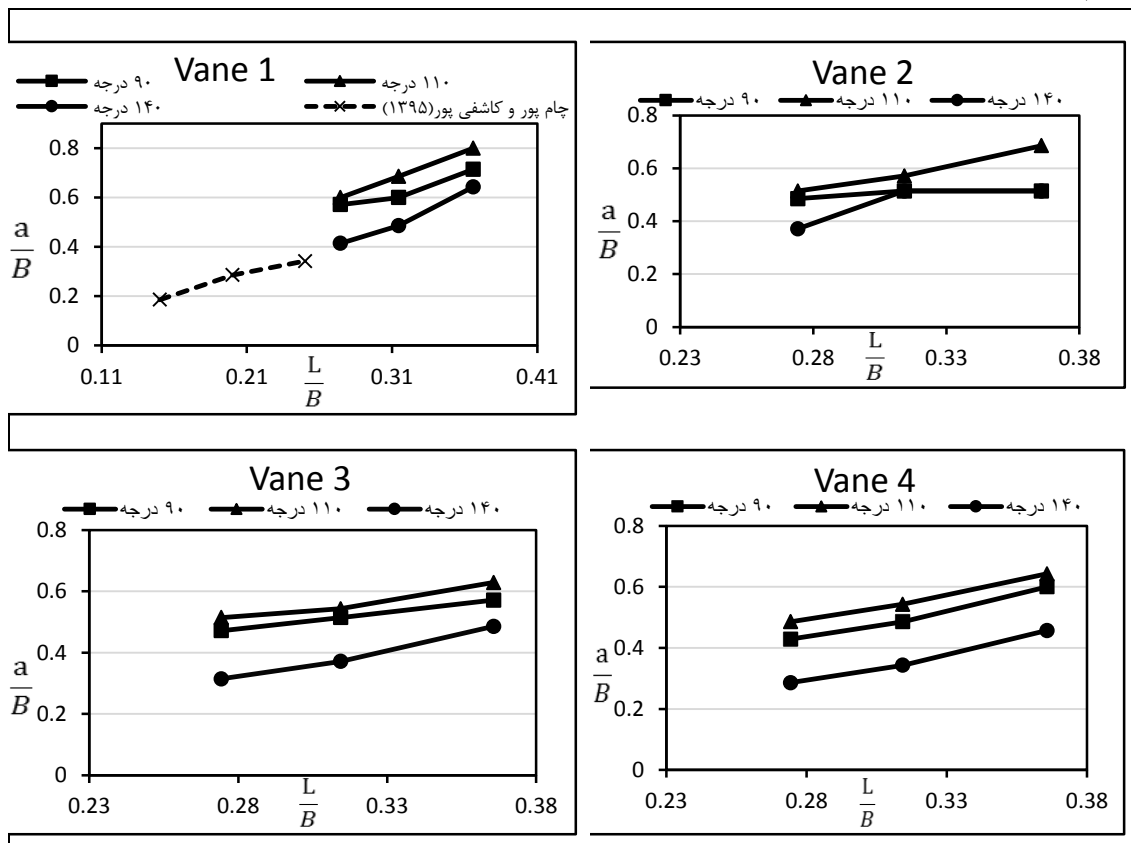
Vane 1						
زاویه با بالادست	$2 H_0$	$2/33 H_0$	درصد تغییرات	$2 H_0$	$2/66 H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۲۶۸	۰/۲۹۳	٪۸/۵۱	۰/۲۶۸	۰/۳۲۵	٪۱۷/۳۰
۱۱۰	۰/۲۷۵	۰/۳۱۲	٪۱۲	۰/۲۷۵	۰/۳۳۷	٪۱۸/۵۱
۱۴۰	۰/۲۲۵	۰/۲۵	٪۱۰	۰/۲۲۵	۰/۲۹۳	٪۲۳/۴۰
Vane 2						
زاویه با بالادست	$2 H_0$	$2/33 H_0$	درصد تغییرات	$2 H_0$	$2/66 H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۲۵	۰/۲۶۲	٪۴/۷۶	۰/۲۵	۰/۲۹۳	٪۱۴/۸۹
۱۱۰	۰/۲۶۲	۰/۳	٪۱۲/۵	۰/۲۶۲	۰/۳۱۲	٪۱۶
۱۴۰	۰/۲۱۸	۰/۲۳۷	٪۷/۸۹	۰/۲۱۸	۰/۲۵	٪۱۲/۵
Vane 3						
زاویه با بالادست	$2 H_0$	$2/33 H_0$	درصد تغییرات	$2 H_0$	$2/66 H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۲۳۱	۰/۲۵	٪۷/۵	۰/۲۳۱	۰/۲۶۲	٪۱۱/۹۰
۱۱۰	۰/۲۵	۰/۲۸۱	٪۱۱/۱۱	۰/۲۵	۰/۳۰۶	٪۱۸/۳۶
۱۴۰	۰/۲	۰/۲۱۲	٪۵/۸۸	۰/۲	۰/۲۳۱	٪۱۳/۵۱
Vane 4						
زاویه با بالادست	$2 H_0$	$2/33 H_0$	درصد تغییرات	$2 H_0$	$2/66 H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۲	۰/۲۱۸	٪۸/۵۷	۰/۲	۰/۲۳۱	٪۱۳/۵۱
۱۱۰	۰/۲۲۵	۰/۲۴۳	٪۷/۶۹	۰/۲۲۵	۰/۲۵۶	٪۱۲/۱۹
۱۴۰	۰/۱۸۱	۰/۲۰۶	٪۱۲/۱۲	۰/۱۸۱	۰/۲۱۸	٪۱۷/۱۴

### تأثیر طول صفحات مستغرق بر تغییرات حداکثر طول حفره آبستگی

شکل ۷ تغییرات حداکثر طول حفره آبستگی ( $\alpha$ ) را نسبت به طول صفحات مستغرق در سه زاویه ۹۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ درجه نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌گردد که با افزایش طول صفحات در هر سه زاویه، حداکثر طول حفره آبستگی افزایش می‌یابد. پس می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش طول صفحات مستغرق، حداکثر عمق آبستگی و ابعاد حفره آبستگی از جمله طول حفره افزایش می‌یابد. در زاویه ثابت بیشترین و کمترین طول حفره آبستگی به ترتیب مربوط به صفحه مستغرق با طول  $2 H_0$  و  $2/66 H_0$  است. همچنین مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج ارائه

شده توسط (چام پور و کاشفی پور، ۱۳۹۵) نشان می‌دهد که تطابق مناسبی بین نتایج دو تحقیق وجود دارد. جدول ۲ مقادیر بی بعد شده طول حفره و میزان تغییرات طول صفحات مستغرق را نشان می‌دهد. در زاویه ۱۱۰ درجه با افزایش طول صفحه اول از  $2 H_0$  به  $2/33 H_0$  میزان افزایش طول حفره ۱۲/۵٪ و با افزایش طول این صفحه به  $2/66 H_0$  میزان افزایش طول حفره ۲۵٪ است، در صفحه دوم در همین زاویه با افزایش طول صفحه از  $2 H_0$  به  $2/33 H_0$  میزان افزایش طول حفره ۱۰٪ و با افزایش طول این صفحه به  $2/66 H_0$  میزان افزایش طول حفره ۲۵٪ است، در صفحه سوم و چهارم نیز با افزایش طول صفحه از  $2 H_0$  به  $2/33 H_0$  میزان افزایش طول حفره به ترتیب ۵/۲۶

٪ و ۱۰/۵۲٪ است و با افزایش طول این صفحات به  $H_0$  ۲/۶۶ میزان افزایش طول حفره در صفحه سوم و چهارم به ترتیب ۱۸/۱۸٪ و ۲۴/۲۴٪ است.



شکل ۷: تأثیر طول صفحات مستغرق بر تغییرات حداکثر طول حفره آبشستگی در زوایای مختلف

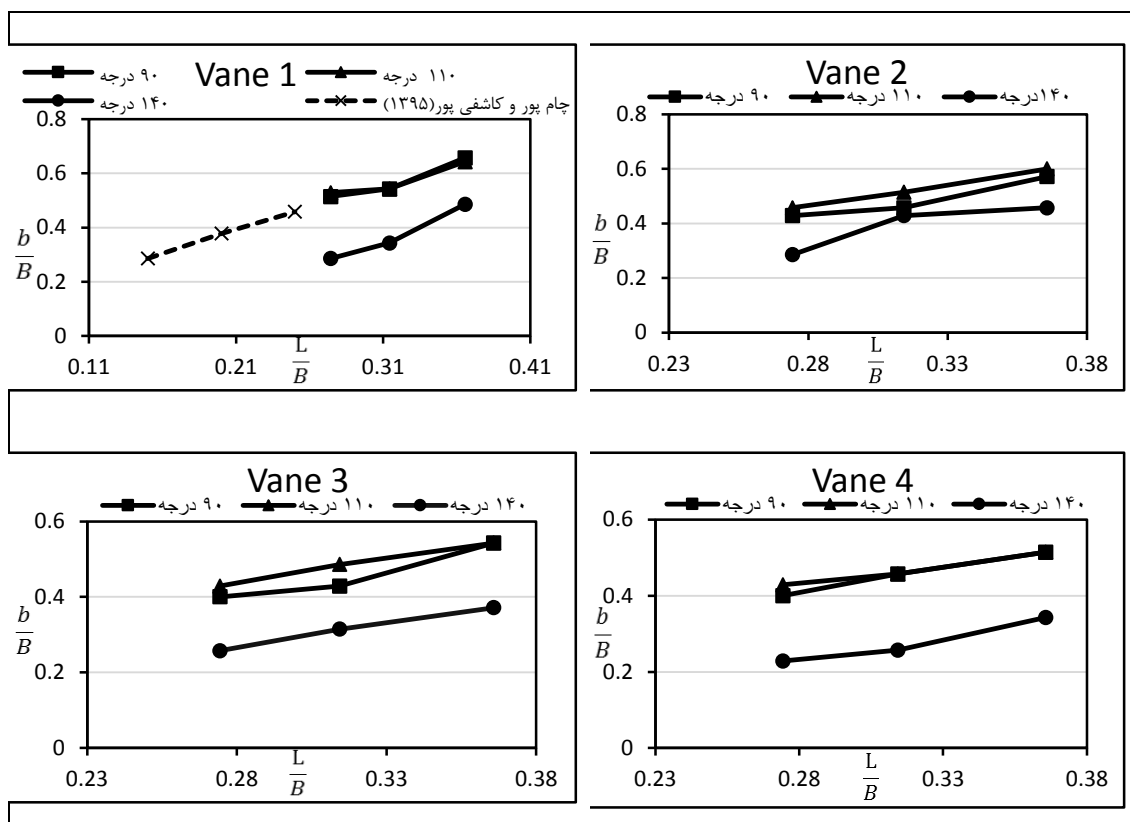
جدول ۲: میزان افزایش حداکثر طول حفره آبشستگی ( $a/B$ ) با افزایش طول صفحات مستغرق ( $L/B$ )

Vane 1						
زاویه با بالادست	$۲ H_0$	$۲/۳۳ H_0$	درصد تغییرات	$۲ H_0$	$۲/۶۶ H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۵۷۱	۰/۶	٪۴/۷۶	۰/۵۷۱	۰/۷۱۴	٪۲۰
۱۱۰	۰/۶	۰/۶۸۵	٪۱۲/۵	۰/۶	۰/۸	٪۲۵
۱۴۰	۰/۴۱۴	۰/۴۸۵	٪۱۴/۷۰	۰/۴۱۴	۰/۶۴۲	٪۳۵/۵۵
Vane 2						
زاویه با بالادست	$۲ H_0$	$۲/۳۳ H_0$	درصد تغییرات	$۲ H_0$	$۲/۶۶ H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۴۸۵	۰/۵۱۴	٪۵/۵۵	۰/۴۸۵	۰/۵۱۴	٪۵/۵۵
۱۱۰	۰/۵۱۴	۰/۵۷۱	٪۱۰	۰/۵۱۴	۰/۶۸۵	٪۲۵
۱۴۰	۰/۳۷۱	۰/۵۱۴	٪۲۷/۷۷	۰/۳۷۱	۰/۵۱۴	٪۲۷/۷۷
Vane 3						
زاویه با بالادست	$۲ H_0$	$۲/۳۳ H_0$	درصد تغییرات	$۲ H_0$	$۲/۶۶ H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۴۷۱	۰/۵۱۴	٪۸/۳۳	۰/۴۷۱	۰/۵۷۱	٪۱۷/۵
۱۱۰	۰/۵۱۴	۰/۵۴۲	٪۵/۲۶	۰/۵۱۴	۰/۶۲۸	٪۱۸/۱۸
۱۴۰	۰/۳۱۴	۰/۳۷۱	٪۱۵/۳۸	۰/۳۱۴	۰/۴۸۵	٪۳۵/۲۹
Vane 4						
زاویه با بالادست	$۲ H_0$	$۲/۳۳ H_0$	درصد تغییرات	$۲ H_0$	$۲/۶۶ H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۴۲۸	۰/۴۵۸	٪۱۱/۷۶	۰/۴۲۸	۰/۶	٪۲۸/۵۷
۱۱۰	۰/۴۸۵	۰/۵۴۲	٪۱۰/۵۲	۰/۴۸۵	۰/۶۴۲	٪۲۴/۴۴
۱۴۰	۰/۲۸۵	۰/۳۴۲	٪۱۶/۶۶	۰/۲۸۵	۰/۴۵۷	٪۳۷/۵

مستغرق میزان تنگ‌شدگی مقطع بیشتر شده و باعث افزایش طول ناحیه جدایی جریان در بالادست صفحه می‌شود. افزایش جریان‌های عرضی در بالادست صفحه مستغرق، قدرت جریان ثانویه را افزایش داده و باعث گسترش عرضی حفره آبشستگی می‌گردد. نمودار مذکور نشان می‌دهد تطابق مناسبی بین نتایج این تحقیق با نتایج (چام پور و کاشفی پور، ۱۳۹۵) وجود دارد.

### تأثیر طول صفحات مستغرق بر تغییرات حداکثر عرض حفره آبشستگی

شکل ۸ تغییرات حداکثر عرض حفره آبشستگی ( $b$ ) را نسبت به طول صفحات مستغرق در سه زاویه ۹۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ درجه نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌گردد با افزایش طول صفحات مستغرق در هر سه زاویه، حداکثر عرض حفره آبشستگی افزایش می‌یابد. این افزایش به این دلیل است که با افزایش طول صفحات



شکل ۸: تأثیر طول صفحات مستغرق بر تغییرات حداکثر عرض حفره آبستنگی در زوایای مختلف

صفحات از  $2H_0$  به  $2/33H_0$  میزان افزایش عرض حفره به ترتیب  $6/25\%$  و  $6/66\%$  است با افزایش طول این صفحات به  $2/66H_0$  میزان افزایش عرض حفره به ترتیب  $25\%$  و  $26/31\%$  است، در صفحه چهارم نیز میزان افزایش عرض حفره با افزایش طول صفحه از  $H_0$  به  $2/33H_0$ ،  $2/5$  و  $2/66H_0$  در مقایسه با طول  $H_0$ ،  $22/22\%$  افزایش پیدا کرده است.

جدول ۳ مقادیر بی بعد شده عرض حفره و درصد تغییرات حداکثر عرض حفره آبستنگی را نشان می دهد. در زاویه  $90^\circ$  درجه زمانیکه طول صفحه اول از  $H_0$  به  $2/33H_0$  افزایش پیدا می کند میزان افزایش عرض حفره آبستنگی  $5/26\%$  است و با افزایش طول این صفحه به  $2/66H_0$  میزان افزایش عرض حفره  $21/73\%$  است، در صفحه دوم و سوم نیز با افزایش طول

جدول ۳: میزان افزایش حداکثر عرض حفره آبشستگی ( $b/B$ ) با افزایش طول صفحات مستغرق ( $L/B$ )

Vane 1						
زاویه با بالادست	$2 H_0$	$2/33 H_0$	درصد تغییرات	$2 H_0$	$2/66 H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۵۱۴	۰/۵۴۲	%۵/۲۶	۰/۵۱۴	۰/۶۵۷	%۲۱/۷۳
۱۱۰	۰/۵۲۸	۰/۵۴۲	%۲/۶۳	۰/۵۲۸	۰/۶۴۲	%۱۷/۷۷
۱۴۰	۰/۲۸۵	۰/۳۴۲	%۱۶/۶۶	۰/۲۸۵	۰/۴۸۵	%۴۱/۱۷
Vane 2						
زاویه با بالادست	$2 H_0$	$2/33 H_0$	درصد تغییرات	$2 H_0$	$2/66 H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۴۲۸	۰/۴۵۷	%۶/۲۵	۰/۴۲۸	۰/۵۷۱	%۲۵
۱۱۰	۰/۴۵۷	۰/۵۱۴	%۱۱/۱۱	۰/۴۵۷	۰/۶	%۲۳/۱۸
۱۴۰	۰/۲۸۵	۰/۴۲۸	%۳۳/۳۳	۰/۲۸۵	۰/۴۵۷	%۳۷/۵
Vane 3						
زاویه با بالادست	$2 H_0$	$2/33 H_0$	درصد تغییرات	$2 H_0$	$2/66 H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۴	۰/۴۲۸	%۶/۶۶	۰/۴	۰/۵۴۲	%۲۶/۳۱
۱۱۰	۰/۴۲۸	۰/۴۸۵	%۱۱/۷۶	۰/۴۲۸	۰/۵۴۲	%۲۱/۰۵
۱۴۰	۰/۲۵۷	۰/۳۱۴	%۱۸/۱۸	۰/۲۵۷	۰/۳۷۱	%۳۰/۷۶
Vane 4						
زاویه با بالادست	$2 H_0$	$2/33 H_0$	درصد تغییرات	$2 H_0$	$2/66 H_0$	درصد تغییرات
۹۰	۰/۴	۰/۴۵۷	%۱۲/۵	۰/۴	۰/۵۱۴	%۲۲/۲۲
۱۱۰	۰/۴۲۸	۰/۴۵۷	%۶/۲۵	۰/۴۲۸	۰/۵۱۴	%۱۶/۶۶
۱۴۰	۰/۲۲۸	۰/۲۵۷	%۱۱/۱۱	۰/۲۲۸	۰/۳۴۲	%۳۳/۳۳

### تأثیر زاویه صفحات مستغرق بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی

در جدول ۴ مقادیر بی‌بعد شده حداکثر عمق آبشستگی  $\left(\frac{d_s}{y}\right)$  برای هر چهار صفحه در سه طول  $2 H_0$ ،  $2/33 H_0$ ،  $2/66 H_0$  نسبت به سه زاویه ۹۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ درجه نسبت به بالادست جریان ارائه شده است. با افزایش زاویه صفحات پایداری صفحات مستغرق در محل قوس افزایش پیدا کرده است البته این افزایش زاویه تا حدود زاویه ۱۴۰ درجه مناسب است، افزایش زاویه صفحات بیشتر از این مقدار به دلیل موازی شدن صفحات با خطوط جریان عملاً تأثیری در انحراف جریان از ساحل خارجی قوس ندارد. در حالت استقرار صفحات مستغرق با زاویه ۱۴۰ درجه عمق حداکثر آبشستگی

کاهش قابل توجهی دارد، دلیل این امر این است که زمانیکه صفحات مستغرق به سمت پایین دست کانال متمایل هستند، جریان اصلی را با قدرت از کناره دیواره خارجی و میدان صفحات دور می‌کنند و سبب توسعه بیشتر بار رسوبی در پایین دست و حفاظت دیواره خارجی کانال می‌شوند. حفره آبشستگی در زاویه ۱۴۰ درجه در مقایسه با زاویه ۹۰ درجه گسترش کمتری داشته و به سمت دیواره خارجی کانال توسعه پیدا نکرده است پس می‌توان نتیجه گرفت در این زاویه سازه از پایداری بیشتری برخوردار است. کاهش عمق مشاهده شده در زاویه ۱۴۰ درجه در هر چهار صفحه در طول  $2/33 H_0$  بیشتر از دو طول دیگر ( $2 H_0$  و  $2/66 H_0$ ) است. (Ozyaman et al. (2017) براساس مطالعاتی که روی زوایای مختلف انحراف آبشکن انجام دادند به

کمترین مقدار آبشستگی مربوط به این زاویه آبشکن است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد

این نتیجه رسیدند که آبشکن با زاویه ۱۳۵ درجه خطوط جریان را کمتر تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و

جدول ۴: تأثیر زاویه صفحات مستغرق بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی ( $d_s/y$ ) در طول‌های مختلف

Vane 1						
طول صفحات مستغرق	۹۰	۱۱۰	درصد تغییرات	۹۰	۱۴۰	درصد تغییرات
$۲ H_0 (L/B)$	۰/۲۶۸	۰/۲۷۵	٪۲/۲۷	۰/۲۶۸	۰/۲۲۵	٪-۱۶/۲۷
$۲/۳۳ H_0 (L/B)$	۰/۲۹۳	۰/۳۳۱	٪۱۱/۳۲	۰/۲۹۳	۰/۲۳۱	٪-۲۱/۲۷
$۲/۶۶ H_0 (L/B)$	۰/۳۲۵	۰/۳۳۷	٪۳/۷	۰/۳۲۵	۰/۲۹۳	٪-۹/۶۱
Vane 2						
طول صفحات مستغرق	۹۰	۱۱۰	درصد تغییرات	۹۰	۱۴۰	درصد تغییرات
$۲ H_0 (L/B)$	۰/۲۵	۰/۲۶۲	٪۴/۷۶	۰/۲۵	۰/۲۱۸	٪-۱۲/۵
$۲/۳۳ H_0 (L/B)$	۰/۲۶۲	۰/۳	٪۱۲/۵	۰/۲۶۲	۰/۲۳۷	٪-۹/۵
$۲/۶۶ H_0 (L/B)$	۰/۲۹۳	۰/۳۱۲	٪۶	۰/۲۹۳	۰/۲۵	٪-۱۴/۸۹
Vane 3						
طول صفحات مستغرق	۹۰	۱۱۰	درصد تغییرات	۹۰	۱۴۰	درصد تغییرات
$۲ H_0 (L/B)$	۰/۲۳۱	۰/۲۵	٪۷/۵	۰/۲۳۱	۰/۲	٪-۱۲/۵۱
$۲/۳۳ H_0 (L/B)$	۰/۲۵	۰/۲۸۱	٪۱۱/۱۱	۰/۲۵	۰/۲۱۲	٪-۱۵
$۲/۶۶ H_0 (L/B)$	۰/۲۶۲	۰/۳۰۶	٪۱۴/۲۸	۰/۲۶۲	۰/۲۳۱	٪-۱۱/۹
Vane 4						
طول صفحات مستغرق	۹۰	۱۱۰	درصد تغییرات	۹۰	۱۴۰	درصد تغییرات
$۲ H_0 (L/B)$	۰/۲	۰/۲۲۵	٪۱۱/۱۱	۰/۲	۰/۱۸۱	٪-۹/۳۷
$۲/۳۳ H_0 (L/B)$	۰/۲۱۸	۰/۲۴۳	٪۱۰/۲۵	۰/۲۱۸	۰/۲۰۶	٪-۵/۷۱
$۲/۶۶ H_0 (L/B)$	۰/۲۳۱	۰/۲۵۶	٪۹/۷۵	۰/۲۳۱	۰/۲۱۸	٪-۵/۴۰

افزایش پیدا کرده و با افزایش طول صفحه از  $۲/۳۳ H_0$  به  $۲/۶۶ H_0$  فاصله حفره آبشستگی با دیواره داخلی ۳۰/۷۶٪ افزایش می‌یابد. همچنین زمانیکه در زاویه ۱۴۰ درجه طول صفحه اول از  $۲ H_0$  به  $۲/۳۳ H_0$  افزایش می‌یابد میزان افزایش فاصله حفره آبشستگی با دیواره داخلی ۱۵٪ بوده و با افزایش طول صفحه  $H_0$

با افزایش طول صفحات مستغرق از  $۲ H_0$  به  $H_0$  فاصله حفره آبشستگی با دیواره داخلی کاهش می‌یابد. در زاویه ۹۰ درجه صفحه اول با افزایش طول صفحه فاصله چاله آبشستگی با دیواره داخلی ثابت است و تغییری نمی‌کند ولی زمانیکه در زاویه ۱۱۰ درجه طول صفحه اول از  $۲ H_0$  به  $۲/۳۳ H_0$  افزایش می‌یابد فاصله چاله آبشستگی با دیواره داخلی قوس ۱۱/۱۱٪

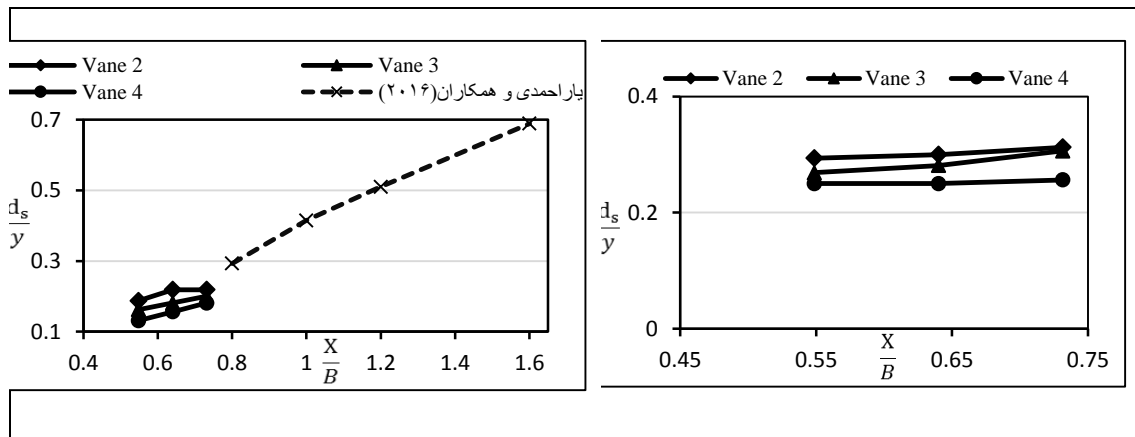


مطابق نمودارهای ارائه شده در هر زاویه و طول صفحات با افزایش فاصله صفحات از یکدیگر، حداکثر عمق آبستگی و ابعاد حفره آبستگی افزایش می‌یابد. اگرچه با افزایش نسبت فاصله به طول صفحات باعث کاهش تعداد آن‌ها در یک طول مشخص و کاهش هزینه‌های طرح می‌گردد، اما از طرفی باعث افزایش حداکثر عمق آبستگی پیشانی صفحات می‌شود. همچنین میزان انحراف جریان از ساحل خارجی به طرف میانه کانال و در نتیجه مقدار تنش برشی بستر در میانه کانال کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله بین صفحات تأثیر صفحه بالادستی بر پایین‌دستی کم‌تر می‌شود و در صورت افزایش فاصله بیش از حد لازم اطراف هر صفحه همانند الگوی جریان اطراف تک صفحه عمل می‌کند به این ترتیب آبستگی اطراف هر صفحه افزایش پیدا می‌کند.

۲/۳۳ به  $H_0$  ۲/۶۶ میزان افزایش فاصله حفره آبستگی با دیواره داخلی ۴۱/۱۷٪ است.

### تأثیر فاصله بین صفحات مستغرق بر تغییرات حداکثر عمق آبستگی

شکل ۹ تغییرات حداکثر عمق آبستگی را نسبت به فاصله صفحات مستغرق از یکدیگر را نشان می‌دهد. به منظور بررسی تأثیر فاصله صفحات مستغرق بر پایداری صفحات در ساحل خارجی قوس از فواصل ۴، ۴/۶۶ و ۵/۳۳ برابر ارتفاع صفحات ( $H_0$ ) در زوایای ۱۴۰ و ۱۱۰ درجه و طول‌های  $H_0$  ۲ و  $H_0$  ۲/۶۶ استفاده شده است.



الف) طول ۹/۶ و زاویه ۱۴۰ درجه

ب) طول ۱۲/۸ و زاویه ۱۱۰ درجه

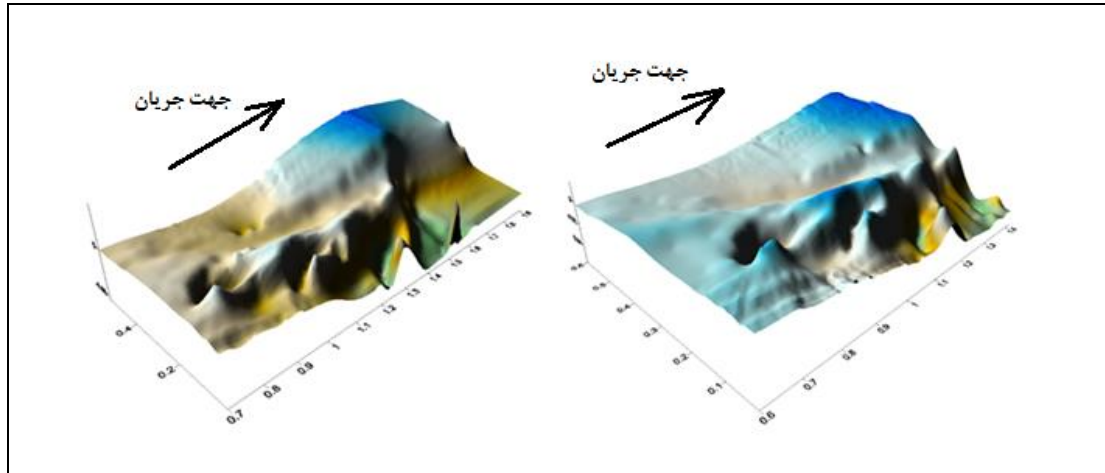
شکل ۹: تأثیر فاصله صفحات مستغرق بر تغییرات حداکثر عمق آبستگی در زوایا و طول‌های مختلف

۱۴۰ درجه از  $H_0$  ۴ به  $H_0$  ۴/۶۶ افزایش داده شد حداکثر عمق آبستگی در صفحه دوم ۱۴/۲۸٪ افزایش پیدا می‌کند و زمانیکه فاصله بین صفحات  $H_0$  ۵/۳۳ افزایش پیدا کرد تغییری در حداکثر عمق آبستگی مشاهده نشد.

در جدول ۵ مقادیر بی بعد شده عمق آبستگی و میزان افزایش حداکثر عمق آبستگی در هر حالت ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود در هر زاویه و طول صفحه فاصله  $H_0$  ۴ و  $H_0$  ۵/۳۳ به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار حداکثر عمق آبستگی می‌باشد. زمانیکه فاصله صفحات با طول  $H_0$  ۲ و زاویه







الف)  $L = 2.33H_0, x = 5.33H_0, \alpha = 140$

ب)  $L = 2H_0, x = 4H_0, \alpha = 140$

شکل ۱۰: توپوگرافی بستر حول صفحات

### نتیجه‌گیری

زاویه و طول صفحه به ترتیب مربوط به فاصله  $2H_0$  و  $2/66 H_0$  صفحات مستغرق از یکدیگر است.

- با کاهش فاصله بین صفحات فرم بستر تشکیل شده در پایین‌دست صفحات دارای شدت بیشتری بوده و نزدیکتر به صفحات تشکیل می‌گردد.
- با افزایش طول صفحات و به تبع آن افزایش تنگ‌شدگی مقطع طول و عرض حفره آبستگاری افزایش می‌یابد.
- در زاویه  $140^\circ$  درجه صفحات مستغرق اثر افزایش طول بر ابعاد حفره آبستگاری اطراف صفحات مستغرق کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند.
- با افزایش طول صفحات فاصله چاله آبستگاری تشکیل شده اطراف صفحات مستغرق با دیواره داخلی کاهش پیدا می‌کند.

در این تحقیق اثر طول، زاویه و فاصله صفحات مستغرق بر میزان آبستگاری در یک قوس سینوسی ملایم مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بدست آمده از این تحقیق به شرح زیر است:

- با افزایش طول صفحات مقدار حداکثر عمق آبستگاری افزایش پیدا می‌کند. بیشترین و کمترین مقدار حداکثر عمق آبستگاری در هر زاویه به ترتیب در صفحات  $2/66 H_0$  و  $2 H_0$  مشاهده شد.
- زمانیکه صفحات با زاویه  $140^\circ$  درجه نسبت به بالادست جریان قرار می‌گیرند، عمق آبستگاری در دماغه صفحات و ابعاد چاله آبستگاری نسبت به دو زاویه دیگر کاهش قابل توجهی دارد همچنین بیشترین فاصله حفره آبستگاری با دیواره داخلی مربوط به این زاویه است.
- با افزایش فاصله صفحات از یکدیگر عمق و ابعاد حفره آبستگاری افزایش می‌یابد، کمترین و بیشترین مقدار حداکثر عمق آبستگاری در هر



- ناپایدارترین زاویه استقرار صفحات، در حالتی به صورت دافع با دیواره کانال قرار می‌گیرند زاویه ۱۱۰ درجه است.

## منابع

- چام پور، م و کاشفی پور، س. م. ۱۳۹۵. بررسی آزمایشگاهی اثر طول آبشکن های نفوذپذیر بر روی ابعاد چاله آبشستگی در شرایط غیر مستغرق در قوس ۹۰ درجه ملایم. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۲، ص ۱۶۳-۱۷۵.
- حبیبی، ح.، مسجدی، ع.، حسین پور محمدی، م.، کمان بدست، ا. ع و بردبار، ا. ۱۳۹۶. امکان سنجی کاهش سطح صفحات مستغرق با حفظ کارایی در قوس رودخانه. انجمن هیدرولیک ایران. دوره ۱۲، شماره ۴، ص ۱۵-۲۶.
- خسروی‌نیا، پ.، حسین‌زاده‌دلیر، ع.، فرسادی‌زاده، د و فاخری‌فرد، ا. ۱۳۹۰. تأثیر طوق در کاهش آبشستگی اطراف آبشکن‌ها. دانش آب و خاک. دوره ۲۱، شماره ۱، ص ۱۵-۲۸.
- دانیالی، ف و شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۱. مطالعه آزمایشگاهی اثر طول صفحات مستغرق بر حجم آبشستگی قوس ۹۰ درجه همگرا. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. اهواز، دانشگاه شهید چمران.
- سیدیان، س.، م و شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۹. مقایسه رسوب ورودی معلق به آبگیر با تغییر زاویه دیواره کانال اصلی از قائم. نشریه آب و خاک. جلد ۲۴، شماره ۵، ص ۹۸۵-۹۹۴.

- Barkdoll, B.D., Ettema, R. and Odgaard, A.J., 1999. Sediment control at lateral diversions: Limits and enhancements to vane use. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(8): 862-870.
- Bejestan, M.S. and Azizi, R., 2012. Experimental Investigation of Scour Depth at the Edge of Different Submerged Vane Shapes. In *World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries* ; 1376-1385.
- Bejestan, M.S., Khademi, K. and Kozeymehnezhad, H., 2015. Submerged vane-attached to the abutment as scour countermeasure. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(3): 775-783.
- Dey, L., Barbhuiya, A.K. and Biswas, P., 2017. Experimental study on bank erosion and protection using submerged vane placed at an optimum angle in a 180° laboratory channel bend. *Geomorphology*, 283: 32-40.
- Emamgholizadeh, S. and Torabi, H., 2008. Experimental Investigation of the Effects of Submerged Vanes for Sediment Diversion in the Veis (Ahwaz) Pump Station. *Journal of Applied Sciences*, 8(13):2396-2403.
- Ettema, R. 1990. Discussion of "Design Method for Local Scour at Bridge Piers" by BW Melville and AJ Sutherland (October, 1988, Vol. 114, No. 10). *Journal of Hydraulic Engineering*. 116(10): 1290-1292.
- Gupta, U.P., Ojha, C.S.P. and Sharma, N., 2010. Enhancing utility of submerged vanes with collar. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(9): 651-655.
- Julien, P. Y., "River Mechanics", Cambridge University Press, 2002.
- Odgaard, A.J. and Lee, H.Y.E. 1984. Submerged vanes for flow control and bank protection in streams (No. Project HR-255). Iowa Institute of Hydraulic Research, the University of Iowa.
- Odgaard, A.J. and Mosconi, C.E. 1987. Streambank protection by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*. 113(4): 520-536.
- Odgaard, A.J. and Wang, Y., 1991. Sediment management with submerged vanes. I: Theory. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(3): 267-267.
- Ouyang, H. and Lu, C., 2016. Optimizing the spacing of submerged vanes across rivers for stream bank protection at channel bends. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(12): 04016062.



Ozyaman, C., Yerdelen, C., 2017. Experimental study of local scour around spur dikes in straight open channels. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 131-134.

Yarahmadi, M.B. and Bejestan, M.S., 2016. Sediment management and flow patterns at river bend due to triangular vanes attached to the bank. *Journal of Hydro-environment Research*, 10: 64-75.



## Experimental Study of the Use of Submerged Vanes in Protecting the External Bank of the River

Haniye. Haghghatpanah<sup>1</sup>, Payam. Khosravinia<sup>2\*</sup>, Ali. Hosseinzadeh Dalir<sup>3</sup>

### Abstract

One of the most important issues in river engineering science is the river training in the bend of the rivers. Training operations are carried out to prevent changing the curvature in the bend of the rivers, protecting the external bank against erosion, and also controlling sedimentation in vicinity of the internal bank of the rivers. The use of submerged vanes is one of the practical methods used to train the rivers, stabilize the bank of the rivers and protect it against erosion. Submerged vanes are guidance stream structures that are installed at the river bed with an angle to the main flow and designed to adjacent flow pattern improvement. In this study, after dimensional analyzing and determining the effective dimensionless parameters, submerged vanes are placed in three lengths and three different angles in a channel with a mild sinuosity curvature and their performance was compared with each other. The results showed that by increasing the length and distance between submerged vanes in a constant Froude number, the maximum scour depths, increases, so that the maximum scour depth was observed for first vane in the angle of 110 degree and length of  $2.66 H_0$ . The most suitable and destructive angles for the establishment of submerged vanes are equal to 140 degree and 110 degree, respectively.

**Keywords:** Erosion, Flow Pattern Improvement, River Training, Scour Depth, Submerged Vanes

---

<sup>1</sup>- Ms.c. Student of Water Engineering, Department of Water Engineering, University of Tabriz

<sup>2</sup>- Assistant Professor of Water Engineering, Department of Water sciences and Engineering, University of Kurdistan  
(\*-Corresponding Author Email: P.khosravinia@uok.ac.ir)

<sup>3</sup>- Professor of Water Engineering, Department of Water Engineering, University of Tabriz