# بررسی اثرات کاربرد میدانی صفحات مستغرق توری سنگی بر توپوگرافی بستر در قوس رودخانه الیگودرز

**حیات اله سرلک[1] ، محمود شفاعی بجستان[2] ، سید محسن سجادی[3]**

1- دانشجوی دکتری سازه های آبی ، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست ، دانشگاه شهید چمران اهواز
2- استاد گروه سازه های آبی ، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست ، دانشگاه شهید چمران اهواز
3- استادیار گروه سازه های آبی ، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست ، دانشگاه شهید چمران اهواز

## چکیده :

تاکنون صفحات مستغرق در رودخانه های متعددی در دنیا نصب شده اند . Oddgard (2009) گزارشی از اجرای میدانی صفحات مستغرق با هدف تثبیت ساحل ، تثبیت بستر ، کنترل رسوبات در محل سازه آبگیر و اصلاح مسیر رودخانه را از تعدادی از رودخانه های کشور های مختلف دنیا ارائه نمود. جنس بدنه همه صفحات مستغرق بکار رفته در این پروژه ها از نوع بتنی ، فلزی و چوبی و بعضاً پلی اتیلن بود و بدنه صفحات نیز نفوذ ناپذیر بود. در این تحقیق همزمان با تست های آزمایشگاهی بر روی صفحات مستغرق توری سنگی، برای اولین بار کاربرد این نوع صفحات نفوذ پذیر در بازه ای از یک قوس در رودخانه الیگودرز در استان لرستان مورد مطالعه قرار می گیرد. ابعاد صفحات پس از نصب در بستر رودخانه مقدار $160\times80\times20$ cm بوده و این صفحات به مقدار 60 cm ریشه در بستر رودخانه دارند. صفحات بصورت آرایش دوتایی و در 5 ردیف با زاویه برخوردی 30 درجه نسبت به جریان در قوس خارجی رودخانه نصب شدند. دبی های مختلف به میزان $(2-22) m^3/sec$ بصورت تنظیم شده از طریق دریچه تخلیه تحتانی سد حوضیان که در بالادست این بازه از رودخانه واقع بود، رها سازی شد و پس از 15 روز آب خروجی قطع و توپوگرافی بستر برداشت نقشه برداری شد و اثرات این صفحات بر بستر رودخانه مورد مطالعه قرار گرفت . نتایج نشان دادکه عمیق ترین چاله آبشستگی در جلوی پنجه صفحات اتفاق می افتد و ابعاد آن تا بخشی از پشت صفحات نیز گسترش یافته و عامل اصلی کج شدن تعدادی از صفحات در حین عبور جریان بوده است. مشاهدات نشان داد که صفحات کاملاً مستغرق علیرغم کج شدن باعث انحراف جریان از قوس خارجی رودخانه به سمت مرکز رودخانه می شوند و چاله های آبشستگی ایجاد شده نیز مؤید این موضوع است . عمق و ابعاد چاله آبشستگی دنباله پاشنه کم بوده و رسوب گذاری نیز در پشت صفحات و دنباله پاشنه تا محدوده ای وسیع پس از چاله های آبشستگی اتفاق می افتد . نتایج بدست آمده تا حدود زیادی با نتایج تست های آزمایشگاهی انجام شده مطابقت دارد.

واژگان کلیدی : صفحات مستغرق توری سنگی ، چاله آبشستگی ، پشته رسوبگذاری ، توپوگرافی بستر ، رودخانه الیگودرز

## 1- مقدمه

شرایط تعادلی رودخانهها به دلایل مختلفی دست خوش تغییراتی میشود که در نتیجه آن ناپایداری سواحل و تخریب آنها منجر به تخریب اراضی کشاورزی، ابنیه فنی و ورود رسوب به درون رودخانه میگردد. از این رو مهندسین تلاش دارند تا با انجام روشهای مختلف، حفاظت لازم در مقابل مخاطرات احتمالی را فراهم آورده و شرایط تعادلی را

ایجاد کنند. این روشها به دو دسته پوششی و اصلاح الگوی جریان تقسیم بندی میشوند که اخیرا روشهای اصلاح الگوی جریان مبتنی بر حفظ محیط زیست نظیر صفحات مستغرق، مورد توجه بسیاری قرار گرفتهاست.

صفحات مستغرق، سازه های اصلاح الگوی جریان هستند که بصورت متوالی در بستر با زاویه خاصی نسبت به جریان و با فاصله عرضی از ساحل و فواصل طولی مشخصی نصب میشوند. با نصب صفحات، گردابه دنباله داری ایجاد میشود که منجر به تغییر توزیع عرضی تنش برشی بستر و در نتیجه تغییر در رسوبگذاری و فرسایش میگردد. اولین کوششهای شناخته شده توسط Odgaard and Spoljaric (1986) برای توسعه پایه تئوری جهت طراحی صفحات در دانشگاه آیوا آمریکا بر روی صفحات غیر قابل نفوذ انجام گرفت. به همین علت این صفحات به "Iowa Vane" هم مشهور هستند. آزمایش ها توسط Odgaard and Wang (1990) ثابت کرد که میتوان با طراحی آرایش مناسب از صفحات، حرکت جریان و رسوب در قوس را طوری تنظیم کرد که گویی در مسیر مستقیمی از رودخانه حرکت میکند. آزمایشات میدانی انجام شده توسط Odgaard and Mosconi (1987) Fukuoka and Watanabe (1989) و دیگران نیز مؤیدکاربرد صفحات مستغرق در پایدار کردن قوس های خارجی میباشد. Odgaard and wang (1991) با آزمایشاتی تایید کردند که با آرایشی مناسب در مسیر مستقیم میتوان تغییرات قابل توجهی در عمق آب ، بدون تغییر قابل توجه در سطح مقطع و شیب خط انرژی و انتقال رسوب به پایین دست، ایجاد کرد زیرا صفحات با ایجاد جریان ثانویه باعث تغییر جهت تنش های برشی بستر میگردند.تاثیر صفحات در تغییر توزیع رسوبات کف بخصوص در آبگیرها و سازه های انحراف دهنده جریان بسیار مفید است.با قرارگیری مناسب، صفحات در جلوگیری از ورود رسوبات بستر به سازه های انحراف آب و نیز آبگیر ها بسیار موثر هستند.معیار های لازم برای این نوع کاربرد نیز ابتدا توسط odgaard and wang (1991) پس از انجام آزمایشات متعدد آزمایشگاهی و میدانی بوجود آمد با سخت گیرانه شدن قوانین زیست محیطی، کاربرد روشهای دوست دار محیط زیست برای مدیریت رسوب در رودخانهها نیز مورد توجه محققین قرار گرفت.

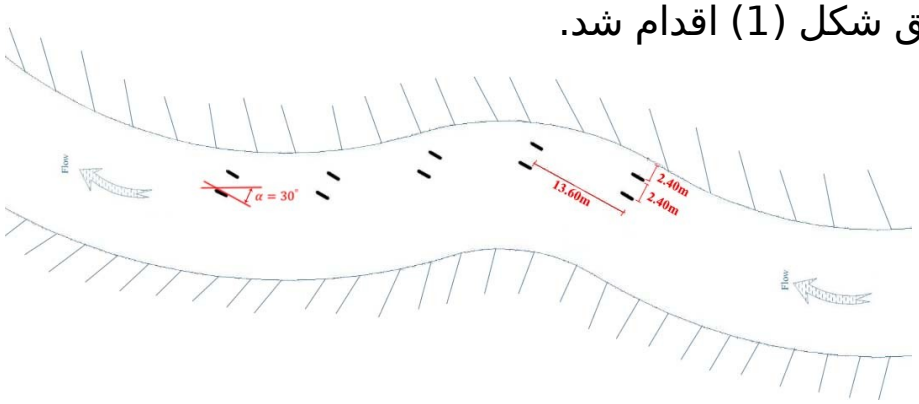
با توجه به قدمت پیدایش صفحات مستغرق، نتایج کارهای میدانی نیز در این زمینه منتشر شده است که گویای عملکرد خوب صفحات مستغرق بوده است. اولین کار میدانی در قوسی از رودخانه نیشابوتنای شرقی در ایالت آیوا آمریکا odgaard et al (1987) انجام گرفت این صفحات از نوع الوار چوبی ساخته و با دوپایه فلزی نصب گردید.سپس در قوسی از رودخانه واپسی پی نی کن از جنس بتنی نصب گردید(2007).صفحات فلزی در قوس رودخانه ماعوردینگ در تایوان نصب گردید(2007). دررودخانه کزی در نپال در جلوی آبگیرصفحات بتنی با اتصال مناسب در کف انجام گرفت(1995).ـ Shafai Bejestan and Forugi (1993) نمونه ای از صفحات مستغرق از جنس کانتکس(نی بافته شده) نفوذپذیر با زاویه برخوردی جریان 25 درجه را در یک قوس از رودخانه کرخه بصورت میدانی طراحی و اجرا نمودند. نتایج نشان داد که اختلاف فشار بین دو طرف صفحه به وجود نمی آید فلذا نیروی رانشی (درگ) به حداقل می رسد و در نتیجه برای پایداری صفحات نیازی به شمع کوبی عمیق نیست. همچنین نفوذپذیر بودن صفحات موجب می شود تا جریان های گردابی باشدت کمتری بوجود آیند و نهایتاً فرسایش موضعی به حداقل برسد. بررسی تأثیرات کاربرد میدانی نصب صفحات مستغرق بر مدیریت رسوب رودخانه و حفاظت سواحل در چند سال اخیر بیشتر شده که می توان به بررسی تأثیر صفحات برای تثبیت پرتگاه کنار آب که توسط Benjamin et al (2020) در آمریکا اشاره کرد. Carlos Rodriguez et al (2020) به

بررسی تکنولوژی کاربرد صفحات مستغرق در 5 پروژه نمونه در کلمبیا پرداختند. بیشتر بررسیهای محققین بر روی صفحات مستغرق نفوذناپذیر مانند بتن، فولادی ، چوب و غیره انجام گرفت تا اینکه odgaard and Kennedy (1991) در اولین تحلیل ارائه شده پیشنهاد کردند که چنانچه به دلایلی هدف استفاده از صفحات عمود بر جریان باشد، صفحات سنگی ( احداث شده از ردیف های سنگ ریخته شده با شیب دیواره های نسبتاً تند) می تواند نتایج مشابه و قابل انتظاری را فراهم نماید. هر چند که صفحات طولانی تر و تعداد بیشتری باید استفاده شود چرا که نیروی عرضی کمتری در واحد سطح به این صفحات سنگی وارد می شود. در ادامه کاربرد ترکیبی از صفحات مستغرق با آبشکن های نفوذپذیر ، سرریزهای مستغرق و صفحات متصل به ساحل و باندال لایک مدنظر محققین قرار گرفت. Lyn and Cunningham (2010) بررسی آزمایشگاهی اثر سرریزهای مستغرق توری سنگی را در یک مدل آزمایشگاهی در یک قوس 90 درجه از یک رودخانه را انجام داد و اثرات آن بر توپوگرافی بستر مورد بررسی قرار دادند.

## 2- مواد و روشها

### 2-1 اهداف و طراحی

رودخانه الیگودرز واقع در استان لرستان از سرچشمه های رودخانه دز می باشد که از داخل شهر الیگودرز عبور می نماید . بر روی این رودخانه در سالهای گذشته یک سد مخزنی خاکی بنام سد حوضیان ساخته شده که حجم ذخیره آن 2/31 میلیون متر مکعب می باشد . موقعیت این سد 3 کیلومتر بالاتر از شهر واقع شده است . در اثر بازگشایی خروجی تحتانی سد دبی میزان $22 m^3/sec$ تخلیه می گردد. که این دبی پس از استهلاک انرژی در حوضچه آرامش در مسیر رودخانه رها سازی می شود و در حین برخورد به رودخانه یک قوس خارجی به شعاع R=295M ایجاد نموده است . عرض متوسط رودخانه در این بازه حدود 15 m بوده و شیب طولی حدود s=0.0091 می باشد . بستر رودخانه از شن و ماسه با دانه بندی به قطر متوسط $D_{50}=95 mm$ می باشد. جهت جلوگیری از فرسایش ساحل قوس رودخانه در این قسمت نیاز به تمهیداتی می باشد . در این تحقیق نسبت به طراحی و نصب تعداد 10 صفحه مستغرق توری سنگی در قوس خارجی رودخانه مطابق شکل (1) اقدام شد.




شکل (1) جانمایی سیستم صفحات در قوس رودخانه الیگودرز

براساس معیار Oddgard(2009) ابعاد این صفحات پس از نصب در بستر رودخانه به مقدار 160×80×20 cm انتخاب گردید که این صفحات به مقدار 60 سانتی متر در بستر ریشه دارند . صفحات به تعداد 5 ردیف دوتایی با زاویه برخوردی حدود 30 درجه نسبت به جریان کارگذاری شدند . ملاحظات طرح هندسی این صفحات به شرح جدول (1) است.

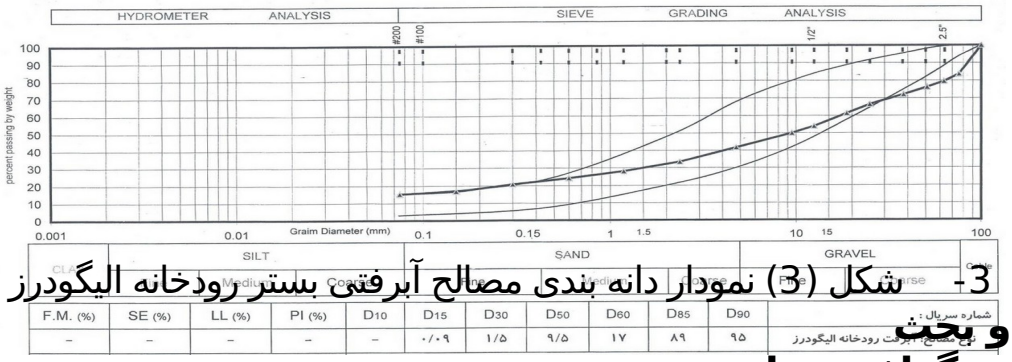
جدول (1) ملاحظات طرح هندسی صفحات مستغرق توری سنگی

| مشخصات صفحه | مرجع (Oddgard (2009)) | انتخاب شده |
|---|---|---|
| ارتفاع $H$ | d*(0.2-0.4)* | cm *80* |
| طول $(L)$ | H*(2-3)* | 2H |
| فواصل بین صفحات $(\delta_n)$ | H*(2-3)* | 3H |
| فواصل جانبی $(\delta_b)$ | H*(2-3)* | 3H |
| فواصل طولی $(\delta_s)$ | H*(10-30)* | 6H |
| زاویه قرارگیری صفحه نسبت به جریان $(\alpha)$ | $10-20^{\circ}$ | $30^{\circ}$ |
| ضخامت صفحات $(t)$ | 0.05-0.2m | 0.2m |

## 2-2 ساخت و کارگذاری صفحات

جهت ساخت سازه صفحات از میلگرد به قطر mm14 بروش برشکاری و جوشکاری استفاده شد. سازه با تورسیمی (گابیون) با مش به ابعاد حداکثر cm 6 از سیم فولادی به قطر 1mm پوشش داده شد. صفحات ساخته شده کاملاً سبک و قابل حمل و نصب توسط کارگر بوده و نیازی به استفاده از ماشین آلات نبود. پس از جانمایی محل نصب صفحات، بستر رودخانه تا عمق cm 60 توسط کارگر حفاری و پس از نصب صفحه با زاویه مورد نظر داخل، آنها با مصالح قلوه سنگ موجود در رودخانه به ابعاد cm(15-5) پر شد و سپس اطراف ریشه صفحه نیز با مصالح حفاری شده از بستر رودخانه پر شد. در انتها اقدام به برداشت نقشه برداری توپوگرافی بستر شد.

شکل (2) نصب صفحه توری سنگی در بستر رودخانه الیگودرز




شکل (3) نمودار دانه بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه الیگودرز -3

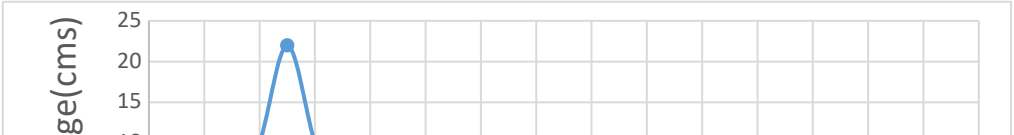
| F.M. (%) | SE (%) | LL (%) | PI (%) | D10 | D15 | D30 | D50 | D60 | D85 | D90 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| – | – | – | – | – | ۰/۰۹ | ۱/۵ | ۹/۵ | ۱۷ | ۸۹ | ۹۵ | شماره سریال : نمونه مصالح آبرفت رودخانه الیگودرز |

## 4- نتایج و بحث

### 3-1 هیدروگراف جریان عبوری

با توجه به اهداف از پیش تعیین شده شرکت آب منطقه ای لرستان درخصوص تخلیه بخشی از آب ذخیره شده در مخزن سد حوضیان در آبانماه 1400 ، از طریق بازگشایی دریچه های تخلیه تحتانی سد از 15 آبانماه اقدام به رها سازی میزان $2m^3/sec$ در بستر رودخانه شد . پس از گذشت 24 ساعت این مقدار ابتدا به 10 و نهایتاً $22m^3/sec$ افزایش یافت. حدود یک شبانه روز با عبور این میزان دبی صفحات تحت تأثیر قرار گرفته و سپس این مقدار به $10m^3/sec$ کاهش یافت و مجدد به $7m^3/sec$ کاهش یافته و مدت 12 روز این میزان دبی





از روی صفحات گذشت و در 30 آبان دریچه بسته شد. هیدروگراف جریان عبوری از روی صفحات مطابق شکل (4) می باشد.

شکل(4) هیدروگراف جریان عبوری از روی صفحات نصب شده در رودخانه الیگودرز

**3-2 اثرات صفحات بر جریان و بستر**

در اثر عبور جریان و افزایش آن صفحات ردیف های سوم ، چهارم و پنجم کاملاً مستغرق شدند . لیکن صفحات ردیف اول و دوم به میزان حدود 80 درصد از ارتفاع مستغرق شدند. در حین عبور جریان در مراحل مختلف عکس برداری و فیلم برداری انجام گرفت . در زمانیکه دبی در حدود $2 m^3/sec$ بود ، آثار شروع آبشستگی در پنجه و دنباله پاشنه نیز قابل روئیت بود. پس از عبور سیلاب ماکزیمم در اثر آبشستگی پنجه صفحات و فشار آب بر جلوی صفحات ، صفحات کاملاً مستغرق شده ردیف های سوم ، چهارم و پنجم کمی کج شده به نحوی که میزان حد استغراق به حدود $T/d_\circ=0.5$ رسید . با پایان یافتن زمان تخلیه آب مخزن سد نسبت به بستن دریچه های خروجی سد اقدام شد و پس از فروکش شدن آب موجود در بستر رودخانه اقدام به عکسبرداری و فیلم برداری شد و سپس توپوگرافی بستر با نقشه برداری مجدد برداشت شد.

شکل(5) عکس تصویر هوایی از صفحات مستغرق در دبی جریان عبوری $10 m^3/sec$

شکل (6) تصویری از صفحات و بستر رودخانه پس از قطع جریان عبوری

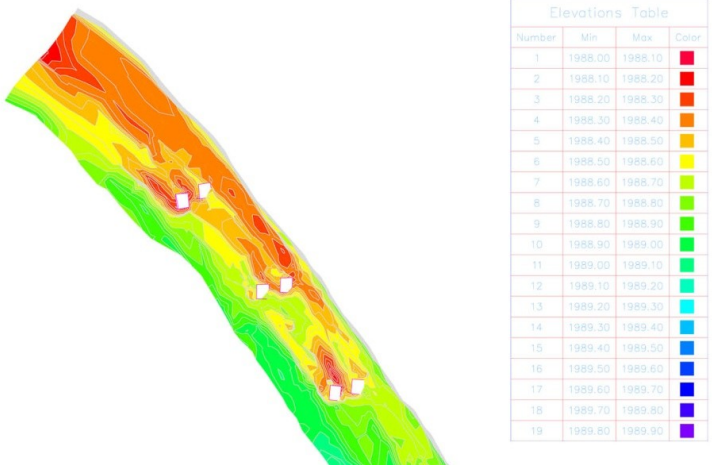
مشاهدات نشان داد که در حین عبور جریان جلوی تمامی صفحات با گیاهان و شاخ و برگ درختان کاملاً پوشیده شده است. 4 صفحه ردیف های اول و دوم کاملاً مستغرق نشده بودند، در مقابل عبور جریان کاملاً پایدار باقی مانده بودند در حالیکه 6 صفحه ردیف های سوم، چهارم و پنجم که کاملاً مستغرق بودند، کمی در جهت عبور جریان کج شده بودند.

در تمامی صفحات بزرگترین و عمیق ترین چاله آبشستگی در جلوی پنجه اتفاق افتاده و تا حدودی به سمت پشت صفحات گسترش یافته بود و به نظر می رسد که عامل ناپایداری

صفحات ایجاد این چاله آبشستگی است. این موضوع با نتایج حاصل از آزمایشات مدل هیدرولیکی این صفحات در تست های آزمایشگاهی مطابقت دارد.
چاله های آبشستگی جلوی پنجه تا حدودی در جلوی صفحه نیز ادامه داشته لیکن عمق آن در مقایسه با چاله آبشستگی پنجه کم می باشد. در دنبال پاشنه نیز یک چاله آبشستگی خیلی کم عمق مشاهده شد که تاثیری در پایداری صفحات ندارد.
پشته های رسوبگذاری پس از چاله های آبشستگی پشت و دنباله صفحه اتفاق افتاده و تا طول حدود 5L نیز ادامه دارد.
ابعاد و عمق چاله های آبشستگی در صفحات کاملاً مستغرق به مراتب بیشتر از صفحات نیمه مستغرق بود همچنین ابعاد و ارتفاع پشته های رسوبگذاری نیز در صفحات مستغرق بیشتر از صفحات نیمه مستغرق بود.
فرسایش ساحل قوسی رودخانه نشان داد که فاصله انتخاب شده صفحات از ساحل ($\delta_b$) در طراحی می بایست کمتر انتخاب شود. فرسایش قابل توجه انتهای قوس رودخانه که در آن محدوده صفحات کار گذاری نشده بود نیز نشان داد که کارگذاری این صفحات در کاهش فرسایش در قوس رودخانه اثر بخش است.
گسترش رسوبگذاری تا نزدیکی ردیف های بعدی در صفحات کاملاً مستغرق نشان داد که فاصله طولی ($\delta_s$) انتخاب شده بین صفحات کمی زیاد است. همچنین اثرات آبشستگی و رسوبگذاری صفحات کنار هم خصوصاً تاثیر جفت صفحات در انتقال چاله آبشستگی به سمت مرکز رودخانه نشان داد که فاصله عرض بین صفحات ($\delta_n$) مناسب انتخاب شده است و انتخاب ردیف های سه تایی صفحات می تواند نتایج بهتری را در انتقال چاله آبشستگی به سمت مرکز رودخانه داشته باشد.
عملکرد صفحات مستغرق کج شده بر توپوگرافی بستر نیز نشان داد که این صفحات در حین مستغرق بودن جهت جریان را به سمت مرکز رودخانه منحرف می کنند و می توان شکل این نوع صفحات توری سنگی را نیز مانند صفحات بتنی اصلاح نمود و با فرم خاصی علاوه بر ایجاد پایداری بهتر، عملکرد مناسب تری را در مدیریت جریان و رسوب بدست آورد.

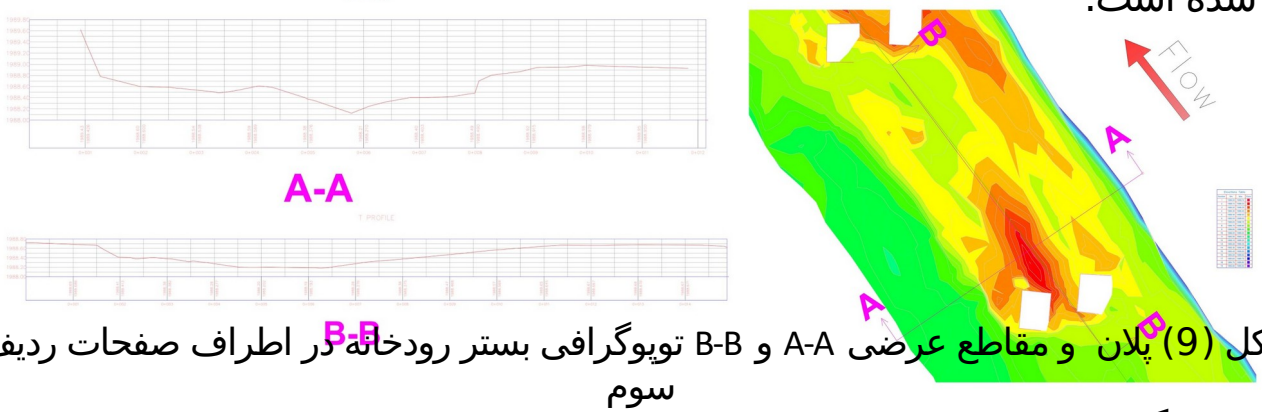
شکل (7) انحراف جریان به سمت مرکز رودخانه در صفحات کاملاً مستغرق کج شده ردیف سوم در دبی $22\,m^3/sec$

توپوگرافی بستر رودخانه در محدوده نصب صفحات بعد از عبور جریان توسط نقشه برداری برداشت شد و در شکل (8) ارائه شده است.



شکل (8) توپوگرافی بستر رودخانه در محل، بعد از عبور جریان از روی صفحات

پروفیل مقطع طولی و عرضی رودخانه در اطراف صفحات ردیف سوم در شکل (9) نشـان داده شده است.




شکل (9) پلان و مقاطع عرضی A-A و B-B توپوگرافی بستر رودخانه در اطراف صفحات ردیف سوم

## 4- نتیجه گیری

در این مطالعه عملکرد کاربرد میـدانی نصـب 10 عـدد صـفحات مسـتغرق تـوری سـنگی بـر توپوگرافی بستر در قوسی از رودخانه الیگودرز در قـالب یـک پـروژه بررسـی شـد. از مـزیت های این صفحات نفوذپذیری بودن آنها و استفاده از مصالح طبیعی قلوه سنگ بسـتر رودخانـه که روشی دوستدار محیط زیست می باشـد و گیاهـان و شـاخ و بـرگ درختـان در حین عبـور جریان کاملاً به بدنه صفحه می چسـبند. ارزان بـودن هزینـه سـاخت این صـفحات نسـبت بـه صفحات بتنی و فلزی نیز از حسن های این صفحات است. این صفحات بسادگی قابـل حمـل و نصب توسط انسان بوده و نیازی به ماشین آلات ساختمانی ندارد.

مشاهدات نشان داد که در اثر برخورد جریان به صفحات قبل از مسـتغرق شـدن کامـل آنهـا، جریان روبه پایین و گردابه های افقی در پنجه صفحات شکل می گیرد که عامل اولیه و اصلی ایجاد چاله آبشستگی در جلوی پنجه است که تا محدوده ای از پشت صفحه نیز گسـترش می یابد. همچنین گردابه های افقی در انتهای پاشنه شکل می گیرد که چاله آبشسـتگی کوچکـتری را در دنبال پاشنه ایجاد می کند. پشته های رسوبگذاری بلافاصله پس از چاله های آبشسـتگی تشکیل می شود و تا فاصله ای از صفحات (حدود 5L ) ادامه می یابد. پس از مستغرق شدن صفحات، مولفه های جریان در حین عبور از روی صفحات به سمت مرکـز رودخانـه منحـرف می شود و عامل انتقال چاله آبشستگی به سمت مرکز رودخانه می باشد. ابعاد و عمق چالـه های آبشستگی و پشته های رسوبگذاری بستر رودخانه در حالت استغراق کامـل صـفحات بـه مراتب بیشتر از حالتی است که صـفحات نیمـه اسـتغراق هسـتند. در حـالت اسـتغراق کامـل مولفه های جریان بیشتر به سمت مرکز رودخانه منحرف می شوند لذا بهتر است ارتفـاع این صفحات به نحوی طراحی شود که در دبی های کم مانند دبی لبریز نیز صفحات بصورت کاملاً مستغرق باشند.

فرسایش ساحل قوس رودخانه نشان داد که فاصله انتخاب شده صفحات از ساحل ($\delta_b$) زیاد می باشد لذا بهتر است این فاصـله کـاهش یابـد. این موضـوع در فاصـله طـولی صـفحات در جهت جریان ($\delta_s$) نیز صدق می کند لیکن نتایج نشان داد که فاصله بین صفحات ($\delta_n$) تا حدودی

مناسب میباشد لیکن جهت عملکرد بهتر این صفحات پیشنهاد می گردد که تعـداد صـفحات در هر ردیف حداقل 3 تایی در کنار هم کار گذاری شوند.
و در نهایت به جهت پایداری بهتر اینگونه صفحات در حین عبور جریان و جلوگیری از واژگـونی آنها و عملکرد مناسب تر در مدیریت جریان و رسوبات می تـوان شـکل این نـوع صـفحات را مانند صفحات بتنی نفوذ ناپذیر اصلاح نمود و با فرم خاصی عملکرد بهتری از این نوع صفحات را بدست آورد که این مستلزم کارهای آزمایشگاهی و اجرای میدانی است.

**منابع**


1- شـفاعی بجسـتان ، م (1391) . اصـلاح رودخانـه و مـدیریت رسـوب توسـط صـفحات مستغرق ( همراه با ضمائمی از تجارب انجـام گرفتـه در ایـران) ، چـاپ اول ، انتشـارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
2- فـروغی ، ع. شـفاعی بجسـتان ، م. اسـتفاده از صـفحات مسـتغرق در حفـاظت و تثـبیت سواحل رودخانه کرخه. (1993).
3- Odgaard, A. J., and Wang, Y. (1990). “Sediment control in bridge waterways,” Report No. 336, Iowa Institute of Hydraulic Research, The University of Iowa, Iowa City, Iowa.
4- Odgaard, A. J., and Mosconi, C. E. (1987). “Streambank protection by submerged vanes,” J.Hydraul.Eng., 113(4), 520-536
5- Fukuoka, S. andWatanabe, A. (1989). “New bank protection methods against erosion in the river,” pro. Japan-China Joint Sem. On Natural Hazard Mitigation, Kyoto, Japan, 439-448.
6- Odgaard, A.J., and Wang, Y. (1991). “Sediment management with submerged vanes. II: Applications,” J.Hydraul. Eng., 117(3), 284-302.
7- Lyn D.A and Cunningham R (2010). A Laboratory study of bendway Weirs as a bank erosion. TECHNICAL summary FHWA/IN/JTRP- 2010/24 , SPR-3011.
8- Azizi , R Shafai Bejestan , M. Ghomeshi , M . (2012) . scour Depth at the Edge of Different submerged vanes shapes. Journal of Applieed sciences 12 (4) : 362-368,2012.
9- Odgaard, A. J. (2009). River training and sediment management with submerged vane.
10- Lee, Benjamino , M.ASCE. Fitzpatrick Faith A. and Hoopes , John A. (2020). Effectiveness of submerged vanes for stabilizing streamside Bluffs . ASCE.

Rodriguez – Amaya,C. Duran-Ariza,A.and Duarte-Mendez, S. Submerged vane Technology in Colombia : .Five Representative Projects. Joural Water 2020

11-Odgard,A J.J.,Kennedy,J.F.(1983). River-bend bank protection by submerge vanes,J.Hydraul.Eng.,109(8) , 1161-1173

12-Zhang ,H., Nakagwa , H. , Baba , Y., kawak., and Teraguchi, H(2010).

Three-Dimensional flow Around Bandal-Like Structure, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE,Vol.54.

13- Bhuiyan F, Hey R, Wormleaton PR (2010). Bank-attached vanes of bank erosion control and restoration for river meanders. J Hyd Eng 136(9): 583-596

14-Rosgen, D. L. 2001. The cross vane, W-weir and J-hook structures... Their description, design and application for stream stream stabilization and river restoration. In proc., wetlands Engineering and River Restoration Conf. 2001. Reston. VA: ASCE. CD- ROM.

15- Kang, J., H. Yeo. S. Kim, and U. Ji. 2011. Permeability effects of single groin on flow characteristics. J. Hydraul. Res. 49 (6): 728 – 735.

16- Teraguchi, H., H. Nakagawa, K. Kawaike, Y. Baba. and H. Zhang. 2011. Effects of hydraulic structures on river morphological processes. Int J. Sediment Res. 26 (3):283-303