



دانشگاه گوار، دانش و منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸  
۳۱-۵۱

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.15665.3084

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر توأمان تعریض و نصب صفحات مستغرق در رودخانه بر نحوه انتقال بار بستر

مهدی جعفری<sup>۱</sup>، حسین خزیمه‌نژاد<sup>۲</sup> و یوسف رمضان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، آدانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند،

<sup>۲</sup> استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷

### چکیده

**سابقه و هدف:** رودخانه‌ها همیشه در حال توسعه هستند. در سواحل و قوس رودخانه، فرسایش اتفاق می‌افتد و همچنین رسوب‌گذاری در نقاط دیگر رودخانه رخ می‌دهد. صفحات مستغرق جهت تثبیت بستر رودخانه، حفاظت سواحل رودخانه، کاهش فرسایش در محل قوس رودخانه، برای جلوگیری از ورود رسوبات بار بستر رودخانه به سازه‌های آبگیری، اصلاح مقطع رودخانه در مجاورت پایه‌های پل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی با تغییر پارامترهای مختلف مربوط به صفحات مستغرق، نحوه انتقال بار بستر در بخش تعریض شده مجرا مورد بررسی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر صفحات مستغرق بر نحوه انتقال بار بستر در مقطع تعریض شده مجرا می‌باشد. به این منظور بخش میانی فلوم، برای ایجاد مقطع تعریض شده (مقطع آزمایشی) در نظر گرفته شد. از ابتدای فلوم به فاصله ۰/۷ متر با همان عرض اولیه فلوم به‌عنوان قسمت آرام‌کننده جریان در نظر گرفته شد. پس از آن، از دو باکس شیشه‌ای به طول ۴ متر، عرض ۰/۰۷۵ متر برای کاهش عرض فلوم در بالادست مقطع آزمایشی استفاده گردید. سپس طولی برابر ۱/۵ متر با همان عرض اولیه فلوم به عنوان مقطع آزمایشی در نظر گرفته شد. از انتهای مقطع آزمایشی تا انتهای فلوم آزمایشگاهی شرایط کانال بالادست تکرار گردید. پس از اتمام آزمایش، میزان پیشروی رسوبات در مقطع آزمایشی ثبت می‌شود. همچنین پس از اتمام آزمایش، مقطع آزمایشی زهکشی شده و با استفاده از دستگاه متر لیزری، در یک شبکه ۵×۳، الگوی توزیع رسوبات در مقطع آزمایشی برداشت می‌شود. در این آزمایش‌ها، ابعاد، زاویه، آرایش و فاصله طولی صفحات مستغرق تغییر و تأثیر آن بر عملکرد صفحات مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** بررسی تأثیر ابعاد صفحات بر نحوه انتقال بار بستر نشان داد که با افزایش ابعاد صفحات، پارامتر عملکرد صفحات مستغرق نیز افزایش یافته است؛ به‌گونه‌ای که با افزایش طول بی‌بعد از ۰/۱۹ به ۰/۳۸ در ارتفاع بی‌بعد ۰/۳۱،

\* مسئول مکاتبه: [hkhozeymeh@birjand.ac.ir](mailto:hkhozeymeh@birjand.ac.ir)

عملکرد صفحات مستغرق از ۱۰ به ۴۶ درصد افزایش یافته است. با افزایش نسبت طول بی‌بعد صفحات مستغرق، فاصله عرضی بین صفحات کاهش می‌یابد و باعث افزایش شعاع تأثیر جریان‌های گردابه‌ای می‌گردد و بنابراین، باعث حرکت چرخشی رسوبات پیرامون صفحات مستغرق و عدم تشکیل جبهه رسوبی می‌گردد. این عمل باعث پراکندگی و انباشتگی رسوبات پیرامون صفحه مستغرق شده و سرعت انتقال بار بستر را کاهش می‌دهد. برای تعیین عملکرد صفحات در آرایش‌های مختلف هشت آزمایش انجام شد. پارامتر عملکرد صفحات مستغرق در تمامی آرایش‌ها بیش از صفر بوده که نشان‌دهنده کاهش سرعت انتقال بار بستر و همچنین کاهش فاصله پیشروی بار بستر در مقطع آزمایشی نسبت به حالت شاهد است. در آرایش‌های موازی و زد شکل به دلیل تعداد صفحات بیش‌تر در ردیف اول و تأثیر جریان‌های گردابی صفحات بر یکدیگر باعث کاهش سرعت انتقال رسوبات شده است. به‌طورکلی پارامتر عملکرد صفحات مستغرق برای این سری از آزمایش‌ها بین ۷ تا ۲۵ درصد متغیر می‌باشد. برای تعیین تأثیر زاویه نصب بر عملکرد صفحات مستغرق، آزمایش‌ها شامل شش زاویه است. نتایج نشان داد که تمامی زوایای نصب دارای عملکرد مثبت می‌باشند و صفحات مستغرق تحت زاویه ۹۰ درجه نسبت به جریان نزدیک‌شونده، نسبت به سایر زوایای نصب صفحات مستغرق، بیش‌ترین عملکرد را به‌میزان ۲۳ درصد نشان دادند.

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت، نصب صفحات مستغرق در مقطع آزمایشی باعث تغییر در سرعت پیشروی رسوبات و تغییر در الگوی توزیع رسوبات شده است. همچنین نتایج نشان داد که افزایش ابعاد صفحات مستغرق، باعث کاهش سرعت انتقال رسوبات و افزایش انباشتگی رسوبات پیرامون صفحات ردیف اول شده است. علاوه بر این، نتایج نشان داد که صفحات مستغرق در آرایش همگرا با زاویه ۳۰ درجه نسبت به جریان نزدیک‌شونده، بهترین عملکرد خود را نشان دادند. همچنین، آرایش شطرنجی به دلیل فاصله عرضی نسبتاً زیاد در ردیف‌های دوتایی صفحات، دارای عملکرد مطلوبی نیست.

**واژه‌های کلیدی:** بار بستر، تعریض، رودخانه، صفحات مستغرق، مدل فیزیکی

### مقدمه

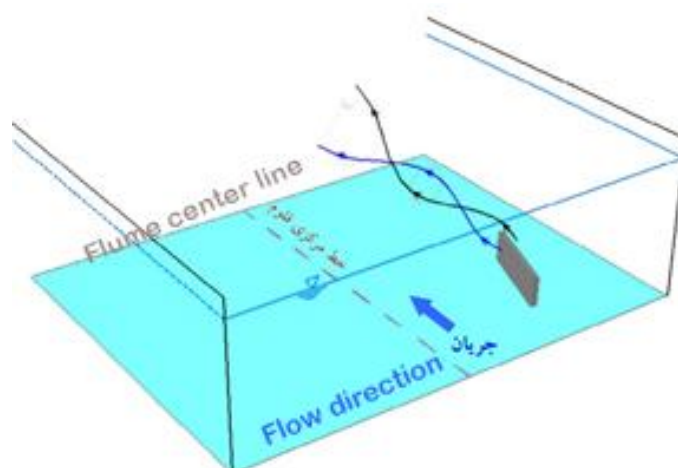
تولید رسوبات مضر می‌شوند که از طریق شبکه زهکشی حوضه‌های آبریز یا در اثر جریان‌های سیلابی به‌طور مستقیم وارد سیستم رودخانه‌ها می‌گردند و یکی از چالش‌های بزرگ حوزه مدیریت و مهندسی رودخانه را به وجود می‌آورند. مشکل رسوبات ضمن این‌که تداوم بهره‌برداری از رودخانه‌ها را با خطر مواجه می‌سازد، تبعات زیست‌محیطی و اکولوژیکی بسیار دیگری نیز در پی دارد. بر این اساس، امروزه به‌کارگیری تکنیک‌ها و روش‌های کنترل و مدیریت رسوبات و ساماندهی رودخانه‌ها، با تأکید بر جنبه‌های

رودخانه‌ها همواره منشأ شکل‌گیری تمدن‌ها و جوامع و همچنین یکی از منابع مهم برای تأمین آب کشاورزی، شرب و صنعت بوده‌اند. رودخانه‌ها غالباً حلقه اتصال حوضه‌های آبریز به دریاها، دریاچه‌ها و یا مخازن سد هستند. عدم بهره‌برداری صحیح از حوضه‌های آبریز و اراضی بالادست رودخانه‌ها، روش‌های نادرست زراعت و خاک‌ورزی و تخریب پوشش‌های گیاهی از جمله عواملی هستند که فرسایش‌پذیری خاک را افزایش می‌دهند و موجب

می‌خورد. با استقرار یک صفحه مستغرق، جریان‌های ثانویه در دو طرف صفحه تولید می‌شوند که با امتداد یافتن در جهت پایین‌دست، جریان چرخشی بزرگ‌تری را ایجاد می‌نمایند. شکل‌گیری جریان‌های ثانویه به دلیل وجود گرادیان قائم فشار در هر دو طرف صفحه می‌باشد. وجهی از صفحه که مستقیماً در معرض جریان نزدیک‌شونده بالادست قرار دارد، سمت پرفشار نامیده می‌شود. در این سمت، در امتداد ارتفاع صفحه، از پایین به بالا، فشار کاهش می‌یابد. در وجه مقابل که سمت کم‌فشار نامیده می‌شود، فشار از پایین به بالا افزایش می‌یابد. در نتیجه توزیع معکوس فشار در دو طرف صفحه، جریانی ثانویه از سمت پرفشار به سمت کم‌فشار برقرار می‌گردد و به عبارت دیگر، در سمت پرفشار، یک مؤلفه سرعت رو به بالا و در سمت کم‌فشار یک مؤلفه سرعت رو به پایین ایجاد می‌شود. این مؤلفه‌های قائم سرعت، موجب تشکیل گردابه‌هایی در پشت صفحه می‌شوند. گردابه‌ها در محلی کمی پایین‌تر از صفحه، در هم می‌پیچند و منشأ شکل‌گیری گردابه بزرگ‌تری می‌شوند که ضمن چرخش در صفحه قائم عمود بر جریان، به همراه جریان اصلی در جهت پایین‌دست امتداد می‌یابد. این جریان چرخشی سبب تغییراتی در تنش برشی بستر، توزیع عرضی رسوبات و توپوگرافی بستر رسوبی می‌گردد (۱۴). شکل ۱ شماتیک جریان چرخشی حاصل از یک صفحه مستغرق را نشان می‌دهد. در این شکل، سمت پرفشار صفحه در مجاور دیواره راست فلوم و سمت کم‌فشار به طرف خط مرکزی فلوم قرار دارد. در نتیجه یک جریان چرخشی پادساعت‌گرد تولید شده است.

زیست‌محیطی روش‌ها، یکی از ضروری‌ترین اقدامات جهت استفاده مستمر از رودخانه می‌باشد. یکی از روش‌های مناسب، تکنیک صفحات مستغرق است. این روش در مقایسه با روش‌های سنتی، کم‌هزینه بوده و علاوه بر حفاظت از رودخانه و رفع مشکلات ناشی از رسوبات، به حفظ محیط‌زیست نیز کمک شایانی می‌نماید. توسعه مبانی تئوری و اصول طراحی صفحات مستغرق، از اوایل دهه هشتاد میلادی در دانشگاه ایالت آیوا و مرکز تحقیقات هیدرولیک آیوا صورت گرفته؛ بنابراین صفحات مستغرق به صفحات آیوا نیز معروف می‌باشند. صفحات مستغرق سازه‌های کوچک اصلاح الگوی جریان هستند که به صورت قائم، در بستر رودخانه نصب می‌شوند.

صفحات مستغرق جهت تثبیت بستر رودخانه (۱۳)، حفاظت سواحل رودخانه (۶)، کاهش فرسایش در محل قوس رودخانه (۱۱ و ۱۲)، برای جلوگیری از ورود رسوبات بار بستر رودخانه به سازه‌های آبگیری (۲، ۷، ۸، ۹ و ۲۱)، اصلاح مقطع رودخانه در مجاورت پایه‌های پل (۱۴ و ۱۸) و نیز رفع مشکل تشکیل آبتل (شکل‌گیری تپه‌های رسوبی مقاوم به فرسایش) مورد استفاده قرار گرفته است. نخستین تلاش‌ها برای ارائه اصول تئوری طراحی صفحات به پژوهش‌های ادگارد و کندی (۱۱) و ادگارد و اسپولجاریک (۱۳) باز می‌گردد. تئوری مدون و مبانی فیزیکی و هیدرودینامیکی صفحات مستغرق و نحوه تأثیر این صفحات در اصلاح الگوی جریان و اصول طراحی این صفحات توسط ادگارد و وانگ (۱۴) و ارائه شده است به گونه‌ای که مفاهیم و معیارهای ارائه شده در منبع مذکور، در عمده پژوهش‌های بعدی که در زمینه صفحات مستغرق صورت گرفته، به چشم



شکل ۱- شماتیک جریان چرخشی ناشی از یک صفحه مستغرق (۱۴).

Figure 1. Schematic showing circulation induced by an array of a vane (14).

براساس نتایج آزمایشگاهی، ۱۳ عدد صفحه مستغرق در دو ردیف، به صورت سپرکوبی در ورودی آبگیر مستقر گردید. پس از گذشت ۳/۵ سال، نیازی به لایروبی نبوده است. بنابراین رسوب‌شویی دهانه ورودی سازه آبگیر به وسیله صفحات مستغرق می‌تواند روشی مؤثر برای رفع مشکل رسوب‌گذاری در بسیاری از آبگیرهای جانبی رودخانه‌ها باشد. همچنین صفحات نصب‌شده، تراز بستر رودخانه را پایین‌تر از تراز آستانه آبگیر تنظیم می‌نماید (۹). بارکدل و همکاران (۱۹۹۹) نیز نشان دادند که با استقرار سیستمی از صفحات مستغرق در ورودی آبگیرها، مقدار ناچیزی از رسوبات وارد آبگیر می‌گردد. البته این در شرایطی است که نسبت دبی انحرافی کم‌تر از ۰/۲ باشد. چنانچه مقدار نسبت دبی انحرافی از محدوده مذکور بیش‌تر شود، کارایی صفحات مستغرق کاهش می‌یابد. همچنین آن‌ها برای افزایش عملکرد صفحات استفاده توأم صفحات و دیواره جداکننده را ارائه کردند؛ در این حالت دامنه کاربرد دیواره و صفحات تا نسبت دبی انحراف برابر ۰/۳ افزایش می‌یابد (۲). تان و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی الگوی حرکت جریان و رسوبات در پیرامون

در پژوهش ادگارد و وانگ (۱۹۹۱b) صحت تئوری ارائه شده برای صفحات مستغرق در بخش اول مقاله ادگارد و وانگ (۱۹۹۱a) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و میدانی بررسی شد. تمام داده‌ها، نتایج تئوری را تأیید می‌نماید. بنابراین، استفاده از صفحات مستغرق می‌تواند گزینه با ارزشی به جای تکنیک‌های قدیمی باشد (۱۵). در پژوهش ادگارد و کندی (۱۹۸۳) به صورت تئوری و نیز با استفاده از مدل فیزیکی نشان داده است که صفحات مستغرق به‌طور قابل ملاحظه‌ای موجب کاهش جریان‌های ثانویه و آبشستگی‌های ناشی از آن می‌شوند و در نتیجه فرسایش و تخریب ساحل بیرونی کانال را کاهش می‌دهند. در این پژوهش اثر جریان‌های ثانوی با تئوری کوتا-چوکوفسکی، مربوط به محاسبات گشتاور پیچشی بررسی شد و رابطه‌ای برای تعیین فواصل صفحات ارائه گردید، سپس روابط حاصل از این تجزیه و تحلیل با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی با مقیاس ۱:۴۸ از رودخانه ساکرامنتا، در یک قوس ۱۸۰ درجه تأیید شد (۱۱). برای رسوب‌شویی ورودی سازه آبگیر در یک ایستگاه پمپاژ، ناکاتو و همکاران (۱۹۹۰) روش صفحات مستغرق را ارائه کردند.

آن‌ها با قرار دادن صفحات مستغرق در زوایای مختلف نشان دادند، زاویه ۱۵ درجه بهترین نتیجه در کاهش میزان فرسایش ساحل را دارد (۳). سرحدی و جباری (۲۰۱۷) اثر صفحات مستغرق بر دبی انحرافی آبگیر جانبی واقع در ناحیه ۱۲۰ درجه در قوس ۱۸۰ درجه را مورد بررسی قرار دادند. با افزایش زاویه صفحات مستغرق در خم کانال، مقدار دبی در کانال آبگیر جانبی افزایش می‌یابد. مقایسه مشاهدات مشخص نمود، مقادیر دبی در آبگیر جانبی با افزایش تعداد صفحات مستغرق، افزایش یافته است اما افزایش بیش‌ازحد تعداد صفحات مستغرق بر مقادیر دبی در آبگیر جانبی بی‌تأثیر است (۱۷). تاکنون پژوهش‌های آزمایشگاهی و میدانی بسیاری برای اصلاح و مدیریت رسوبات توسط صفحات مستغرق صورت گرفته است. بخش عمده‌ای از این مطالعات به بررسی متغیرهایی مانند ابعاد صفحات، فواصل طولی و عرضی صفحات، زاویه نصب صفحات و جانمایی صفحات در قوس و مجاورت ورودی دهانه آبگیر اختصاص یافته است. اما بررسی منابع نشان داد تاکنون پژوهشی در خصوص تأثیر صفحات در بخش تعریض شده رودخانه بر نحوه انتقال بار بستر انجام نشده است. بنابراین در پژوهش حاضر با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی با تغییر پارامترهای مختلف مربوط به صفحات مستغرق، نحوه انتقال بار بستر در بخش تعریض شده مجرا مورد بررسی قرار گرفت. روش پیشنهادی در پژوهش حاضر می‌تواند در رودخانه‌هایی که بخش قابل‌توجهی از رسوبات آن به‌صورت بار بستر انتقال می‌یابند مورد استفاده قرار گیرد. به‌نحوی که در بخشی از مسیر رودخانه، مقطع جریان تعریض شده و هم‌زمان صفحات مستغرق نیز در آن مقطع نصب شوند.

صفحات مستغرق را مورد بررسی قرار دادند. مشاهدات آن‌ها نشان داد کارایی صفحات در منحرف نمودن رسوبات به زاویه قرارگیری صفحات، طول و ارتفاع آن‌ها وابسته است. در این پژوهش زاویه بهینه قرارگیری صفحات ۳۰ درجه و ارتفاع بهینه صفحات ۲ تا ۳ برابر ارتفاع فرم‌های بستر ایجاد شده، تعیین شد (۲۰). اواینگ (۲۰۰۹) مدلی برای ارزیابی تأثیر ابعاد و شکل صفحات بر قابلیت کنترل رسوب صفحات ارائه نمود. مطالعات وی نشان داده است که ارتفاع بهینه صفحات به طول صفحات بستگی دارد و برابر با  $0/58$  تا  $0/70$  عمق جریان می‌باشد (۱۶). فتحی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر ارتفاع صفحات مستغرق در خم ۱۸۰ درجه را مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج نشان داد، با کاهش ارتفاع صفحات مستغرق در جریان، حداکثر عمق آب‌شستگی نیز کاهش یافته است. همچنین افزایش عدد فرود جریان نیز باعث افزایش حفره آب‌شستگی می‌گردد (۴). بارانی و شاهروخی (۲۰۱۳) اثر سه نوع صفحه (مسطح، زاویه‌دار و انحنادار) بر پایداری خم رودخانه را بررسی کردند؛ و نشان دادند که از لحاظ شکل و آرایش نصب، سه صفحه انحنادار در یک ردیف با آرایش موازی در خم ۹۰ درجه در حفاظت ساحل خارجی نسبت به حالات دیگر مؤثرتر است (۱). سرتی و همکاران (۲۰۱۷) اثر زاویه و تعداد ردیف صفحات مستغرق در کنترل رسوب ورودی به آبگیر را مورد بررسی قرار دادند. با افزایش زاویه قرارگیری صفحات مستغرق رسوب‌گذاری نیز افزایش می‌یابد. همچنین مقدار ورود رسوب به کانال آبگیر با افزایش تعداد ردیف‌ها کاهش می‌یابد و با افزایش فاصله بین صفحات افزایش می‌یابد (۱۹). مطابق مشاهدات دی و همکاران (۲۰۱۷) فرسایش ساحلی در خم ۱۸۰ درجه، عمدتاً در ناحیه ۱۲۰ تا ۱۴۰ درجه خم است.

**مواد و روش‌ها**

**تحلیل ابعادی:** به‌طورکلی متغیرهای مؤثر در رابطه با نحوه انتقال بار بستر در بخش تعریض شده کانال (مقطع آزمایشی) در رابطه ۱ نشان داده شده‌اند و عبارت‌اند از:

$$f(B, S_0, N, \theta, \varphi, a, H, L, \delta_s, \delta_b, \delta_w, t, B_m, L_m, d_0, V, g, d_s, \rho_s - \rho, V_c, X_a, X_b, \rho, \mu) = 0 \quad (1)$$

که در آن، عرض کانال (B)، شیب بستر فلوم (S<sub>0</sub>)، تعداد صفحات مستغرق (N)، زاویه نصب صفحات مستغرق (θ)، شکل صفحات مستغرق (φ)، آرایش (چیدمان) صفحات مستغرق (a)، ارتفاع صفحات مستغرق (H)، طول صفحات مستغرق (L)، فاصله صفحات مستغرق تا دیواره (δ<sub>b</sub>)، فاصله طولی صفحات مستغرق از هم (δ<sub>s</sub>)، فاصله عرضی صفحات مستغرق از هم (δ<sub>w</sub>)، ضخامت صفحات مستغرق (t)، عرض مقطع آزمایشی (B<sub>m</sub>)، طول مقطع آزمایشی (L<sub>m</sub>)، عمق جریان (d<sub>0</sub>)، سرعت جریان (V)، شتاب ثقل (g)، اندازه متوسط ذرات رسوبی (d<sub>s</sub>)، جرم واحد حجم ذره مستغرق (ρ<sub>s</sub>-ρ)، سرعت آستانه حرکت ذرات (V<sub>c</sub>)، پیشروی جبهه رسوبی (پیشانی بار بستر) در آزمایش شاهد (X<sub>a</sub>)، کاهش پیشروی جبهه رسوبی (X<sub>a</sub>-X<sub>b</sub>)، جرم واحد حجم سیال (ρ)، ضریب دینامیکی سیال (μ) است. با انجام تحلیل

ابعادی و استفاده از تئوری باکینگهام و ترکیب برخی از پارامترهای بی‌بعد رابطه ۲ ایجاد می‌شود.

$$R_s = (a, N, S_0, \theta, \varphi, \frac{B}{L_m}, \frac{H}{d_0}, \frac{L}{d_0}, \frac{\delta_s}{H}, \frac{\delta_b}{\delta_w}, \frac{t}{H}, \frac{B_m}{L_m}, \frac{d_0}{L_m}, Fr, \frac{d_s}{d_0}, SN, V/V_c, Re) \quad (2)$$

از میان پارامترهای موجود در رابطه ۲، φ، N، δ<sub>s</sub>/d<sub>0</sub>، Fr، d<sub>0</sub>/L<sub>m</sub>، B<sub>m</sub>/L<sub>m</sub>، t/H، δ<sub>b</sub>/δ<sub>w</sub>، B/L<sub>m</sub> و SN و v/v<sub>c</sub> ثابت و بقیه پارامترها به‌عنوان متغیر در نظر گرفته شدند و تأثیر مقادیر مختلف آن بر نحوه انتقال بار بستر در مقطع آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این‌که در آزمایش‌های پژوهش حاضر، عدد رینولدز جریان در تمام آزمایش‌ها بیش از ۳۰,۰۰۰ می‌باشد؛ بنابراین، می‌توان از تأثیر آن صرف‌نظر نمود. پارامتر R<sub>s</sub> (عملکرد صفحات مستغرق)، میزان کاهش پیشروی رسوبات در مقطع آزمایشی به درصد می‌باشد که مقدار آن با توجه به رابطه ۳ قابل محاسبه است.

$$R_s = \frac{X_a - X_b}{X_a} \times 100 \quad (3)$$

در جدول ۱ پارامترهای بی‌بعدی که در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفتند به همراه دامنه تغییر آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای بی‌بعد به همراه دامنه تغییر آن‌ها در پژوهش حاضر.

**Table 1. Dimensionless parameters with their range of change in this research.**

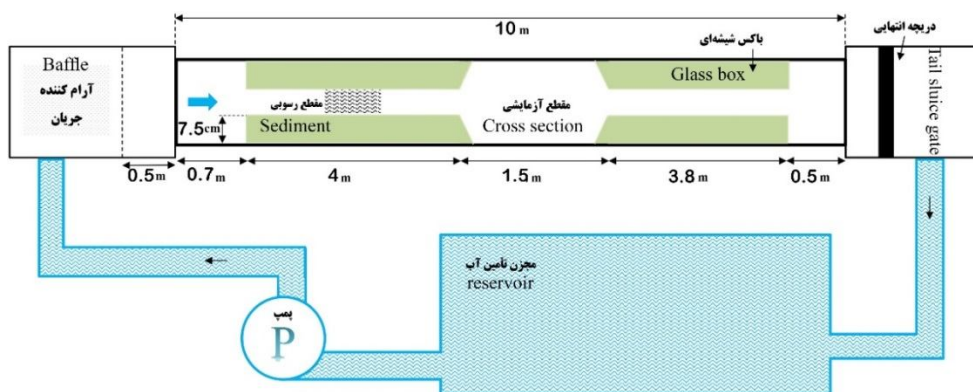
دامنه تغییر	پارامتر	ردیف
Range of change	Parameter	Row
0.13, 0.19, 0.25, 0.31	H/d <sub>0</sub>	1
0.19, 0.25, 0.31, 0.37	L/d <sub>0</sub>	2
2.25, 3, 3.75, 4.5, 5.25, 7.5	δ <sub>s</sub> /H	3
0, 30, 60, 90, 120, 150	θ	4
5	a	5
Approximately 0, 0.002, 0.005	S <sub>0</sub>	6

از طریق کابل رابط به صفحه نمایشگر که در کنار سیستم پمپاژ قرار دارد، انتقال می‌دهد.

عمده پژوهش‌های قبلی در محدوده عدد فرود بین صفر تا ۰/۲۵ انجام شده است (۵). در این پژوهش نیز آزمایش‌ها در عدد فرود ثابت برابر با ۰/۱۷ در مقطع تعریض شده (مقطع آزمایشی) انجام شده است.

بخش میانی فلوم، برای ایجاد مقطع تعریض شده (مقطع آزمایشی) در نظر گرفته شد. از ابتدای فلوم به فاصله ۰/۷ متر با همان عرض اولیه فلوم (۰/۳m) به‌عنوان قسمت آرام‌کننده جریان برای برقراری جریان یکنواخت، در نظر گرفته شد. پس از آن، از دو باکس شیشه‌ای که برای ساخت آن از شیشه به ضخامت ۱۰ میلی‌متر استفاده شد؛ به طول ۴ متر، عرض ۰/۰۷۵ متر و ارتفاع ۰/۵ متر برای کاهش عرض فلوم در بالادست مقطع آزمایشی استفاده گردید. این بخش به‌منظور استقرار رسوبات (مقطع رسوبی) مورد استفاده قرار گرفت. سپس طولی برابر ۱/۵ متر با همان عرض اولیه فلوم به‌عنوان مقطع آزمایشی در نظر گرفته شد. پس از این مقطع، در قسمت پایین دست مقطع آزمایشی دو باکس شیشه‌ای با طول ۳/۸ متر و همان عرض و ارتفاع قسمت بالادست، قرار گرفت. کف سه مقطع آزمایشی، بالادست و پایین دست آن در تراز یکسان قرار گرفتند. در شکل ۲ نمای کلی فلوم آزمایشگاهی و مقاطع مختلف آن نشان داده شده است.

مدل فیزیکی: آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده، دارای سطح مقطع مستطیلی با قابلیت تغییر شیب در بستر شامل ۱۰ متر طول، ۰/۳ متر عرض، ۰/۵ متر ارتفاع دیواره‌ها می‌باشد. دیواره‌ها از جنس پلکسی‌گلاس شفاف با ضخامت ۱۰ میلی‌متر ساخته شده است که باعث می‌شود جریان آب داخل فلوم آزمایشگاهی و پدیده‌های هیدرولیکی اتفاق افتاده کاملاً قابل‌رؤیت باشد. آب موردنیاز برای انجام آزمایش‌ها از مخزن به‌وسیله یک پمپ سانتریفیوژ به درون بخش آرام‌کننده فلوم آزمایشگاهی وارد می‌شود. بر روی سیستم انتقال آب از مخزن به فلوم آزمایشگاهی و روی پمپ، یک شیر ورودی یک‌طرفه به‌منظور قطع و وصل جریان و همچنین تنظیم دبی جریان قرار دارد. آب در ابتدا وارد بخش آرام‌کننده جریان می‌شود، در ادامه، پس از طی ۱۰ متر طول فلوم، با عبور از دریچه انتهایی، به درون مخزن ریزش می‌کند. به‌طورکلی مکانیسم جریان در فلوم آزمایشگاهی کاملاً چرخشی بوده است. برای تنظیم دبی که در پژوهش حاضر مقدار ثابتی در نظر گرفته شد، از دبی‌سنج الکترومغناطیسی استفاده می‌گردد. این دبی‌سنج، جریان را با دقت ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری کرده و سپس این اطلاعات را



شکل ۲- شماتیک ساده از فلوم آزمایشگاهی و مقاطع مختلف آن.

Figure 2. Simple schematic of laboratory flume and its different phases.

پیشروی رسوبات در مقطع آزمایشی ثبت می‌شود. همچنین پس از اتمام آزمایش، مقطع آزمایشی زهکشی شده و با استفاده از دستگاه متر لیزری، در یک شبکه ۵×۳، الگوی توزیع و نهشته شدن رسوبات در مقطع آزمایشی برداشت می‌شود.

کاربردی‌ترین شکل صفحات مستغرق، صفحات مستطیلی شکل است. ارتفاع این صفحات بر اساس عمق جریان رودخانه تعیین می‌شود. ارتفاع اولیه صفحات (H) در حدود ۰/۲ تا ۰/۴ عمق جریان می‌باشد (۱۴). در پژوهش حاضر جهت طراحی ارتفاع و فاصله طولی صفحات، از معیارهای ادگارد و وانگ (۱۹۹۱) و ادگارد (۲۰۰۹) استفاده شده است (۱۰) و (۱۵). با توجه به این‌که عمق اولیه جریان ( $d_0$ ) در طول آزمایش ثابت و برابر با ۰/۱۶ متر است، ارتفاع و فاصله طولی صفحات (H و  $\delta_s$ ) بر اساس معیارهای مذکور و مطابق با رابطه‌های ۴ و ۵ تعیین شده است.

$$H = 0.3d_0 \quad (4)$$

$$H = 0.2 \sim 0.4d_0 \quad (5)$$

بنابراین با توجه به معیار ادگارد و وانگ (۱۹۹۱) ارتفاع اولیه صفحات ۵ سانتی‌متر به دست می‌آید. همچنین مطابق رابطه ۶ استغراق نسبی صفحات ۰/۷ تعیین شد. با استفاده از رابطه ادگارد (۲۰۰۹)، ارتفاع صفحات ۳ سانتی‌متر تعیین شد (۱۰). این صفحات با زاویه ۹۰ درجه نصب شدند. همچنین برای ارزیابی و تحلیل دقیق‌تر تأثیر صفحات مستغرق بر کنترل بار بستر ارتفاع ۲ و ۴ سانتی‌متر نیز در نظر گرفته شد. صفحات مستغرق با ارتفاع ۴ سانتی‌متر در زوایای ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه نسبت به امتداد اصلی جریان در کف فلوم نصب می‌شوند، تا تأثیر زاویه قرارگیری صفحات مستغرق نیز بررسی گردد.

$$1 - H/d_0 = 1 - 4.8/16 = 0.7 \quad (6)$$

صفحات مستغرق که در ادامه متن مقاله به صورت  $(L(\text{cm}) \times H(\text{cm}))$  معرفی خواهند شد، در مقطع آزمایشی نصب شدند. فاصله صفحات ردیف اول و آخر از دهانه ورودی و خروجی مقطع آزمایشی ۰/۱۵ متر در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که در تمام آزمایش‌ها، شرایط جریان زیربحرانی است، کنترل عمق جریان با استفاده از یک دریچه که در انتهای فلوم قرار دارد، صورت گرفت. در تمام آزمایش‌ها عمق جریان ثابت و برابر با ۰/۱۶ متر در نظر گرفته شد. به منظور کنترل شرایط جریان و جلوگیری از حرکت سریع و ناگهانی رسوبات در شروع هر آزمایش، دریچه کاملاً بسته شد و از انتهای فلوم، جریانی با سرعت بسیار کم، وارد فلوم گردید تا سطح ناحیه رسوبی به ارتفاع چند سانتی‌متر (تقریباً ۸ سانتی‌متر) با آب پوشیده شود. جریان ورودی در ابتدا با نرخ بسیار کمی وارد فلوم می‌گردد. سپس دبی ورودی به تدریج افزایش می‌یابد و به طور هم‌زمان، دریچه انتهایی نیز به تدریج باز می‌شود تا این‌که دبی در مقدار مورد نظر تنظیم گردد.

از رسوبات به قطر متوسط ۱ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ۱/۲۷ برای ایجاد بستر رسوبی استفاده شد که مطابق با معیارهای مرسوم، رسوبات مورد استفاده یکنواخت محسوب می‌شوند. در هر آزمایش، بستر رسوبی با استفاده از یک تراز حباب‌دار کاملاً مسطح می‌گردد، سپس به مدت ۲/۵ ساعت (برای همه آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد) جریان در فلوم برقرار می‌شود. این مدت‌زمان بر اساس آزمایش‌های ابتدایی و نحوه انتقال بار بستر در فلوم آزمایشگاهی محاسبه گردید. در طی زمان آزمایش، مقطع رسوبی به صورت بار بستر در فلوم منتقل شده و پس از مدتی وارد مقطع آزمایشی می‌شود؛ در مقطع مذکور، نحوه پیشروی، توزیع و نهشته شدن رسوبات در مواجهه با صفحات مستغرق نصب شده متناسب با شرایط مختلف صفحات، متفاوت است. پس از اتمام آزمایش، میزان

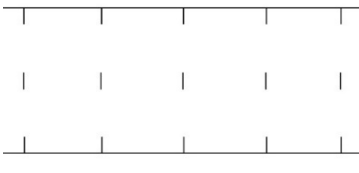

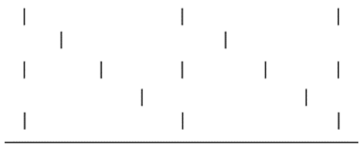

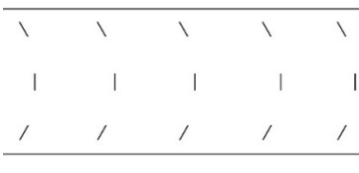
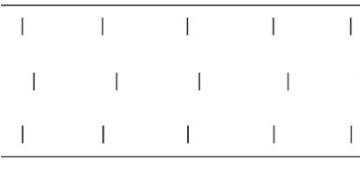




برای ایجاد آرایش‌های مختلف، از صفحات مستغرق با ارتفاع و عرض برابر با ۴ سانتی‌متر استفاده گردید. برای نصب صفحات مستغرق در آرایش‌های مختلف، ابتدا محاسبات مربوط به فاصله طولی و عرضی صفحات و فاصله از دیواره فلوم انجام شد، سپس صفحات در موقعیت خود قرار گرفتند. در شکل ۳ شماتیک ساده‌ای از آرایش‌های مذکور به تصویر کشیده شده است.

همچنین برای تعیین فاصله طولی بین صفحات ( $\delta_s$ ) از معیار ادگارد (۲۰۰۹)، که به صورت رابطه ۷ می‌باشد، استفاده شد (۱۰).

$$\delta_s = 10 \sim 30H = 10 \times 0.03 = 0.3 \text{ m} \quad (7)$$

پس از بررسی عملکرد صفحات مستغرق بر نحوه انتقال بار بستر، ابتدا زاویه نصب مورد بررسی قرار گرفت. سپس با تغییر در آرایش قرارگیری صفحات، نحوه انتقال بار بستر مجدداً مورد ارزیابی قرار گرفت.

شماتیک Schematic	آرایش Arrangement	شماتیک Schematic	آرایش Arrangement
	موازی متصل به دیواره Parallel and connected to the wall		موازی Parallel
	Z زد		شظرنجی X
	همگرا با زاویه ۳۰ درجه Convergent with 30°		همگرا Convergent
	واگرا با زاویه ۳۰ درجه Divergent with 30°		واگرا Divergent

شکل ۳- شماتیک آرایش‌های مختلف صفحات در مقطع آزمایشی در پژوهش حاضر.

Figure 3. Schematic of different arrangements of vanes in the test section in this research.

اصلی در حضور صفحات مستغرق متفاوت است. آزمایش‌های اصلی به دو گروه تقسیم می‌شوند. در آزمایش‌های مرحله اول، ابعاد مختلف صفحات، مورد بررسی قرار گرفت که در هر کدام از آزمایش‌ها صفحات عملکرد متفاوتی از خود نشان دادند. در مرحله دوم آزمایش‌ها، وضعیت آرایش نصب صفحات، زاویه نصب و همچنین فاصله طولی صفحات مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین میزان

### نتایج و بحث

با شروع هر آزمایش، رسوبات شروع به حرکت کرده و با طی کردن فاصله‌ای در حدود ۳۰ سانتی‌متر از انتهای مقطع رسوبی، جبهه اصلی بار بستر تشکیل می‌گردد. جبهه رسوبات در طول بالادست مقطع آزمایشی، یکنواخت و با سرعت برابر به سمت پایین دست حرکت می‌کند. ورود رسوبات به مقطع آزمایشی در دو حالت، آزمایش شاهد و آزمایش‌های

جریان نزدیک‌شونده بر روی کف فلوم نصب شده بودند. در آزمایش‌های مذکور دبی برابر مقدار ثابت ۱۰ لیتر بر ثانیه، عمق جریان برابر مقدار ثابت ۱۶ سانتی‌متر، فاصله طولی صفحات دارای مقدار ثابت ۳۰ سانتی‌متر و شیب کف فلوم دارای مقدار ثابت ۰/۰۲ بود. در جدول ۲ داده‌های آزمایشگاهی مربوط به مرحله اول نشان داده شده است. در شکل ۴ نمودار عملکرد صفحات مستغرق در ابعاد مختلف نشان داده شده است.

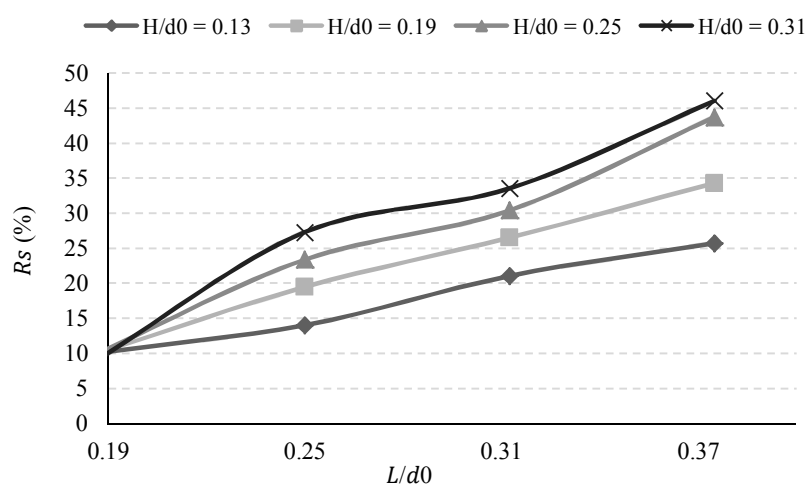
عملکرد ابعاد صفحات مستغرق، فاصله پیموده شده رسوبات در مقطع آزمایشی برداشت شده و با توجه به آن، پارامتر  $R_s$  محاسبه می‌گردد.

**عملکرد صفحات مستغرق در ابعاد مختلف:** برای بررسی تأثیر ابعاد صفحات بر نحوه انتقال بار بستر ۱۶ آزمایش انجام شد که در این آزمایش‌ها چهار مقدار برای بعد طولی و چهار مقدار برای ارتفاع صفحات در نظر گرفته شد. در این آزمایش‌ها صفحات مستغرق به صورت آرایش موازی با زاویه ۹۰ درجه نسبت به

جدول ۲- تأثیر ابعاد مختلف صفحات مستغرق بر عملکرد آن.

**Table 2. Influence of different dimensions of submerged vanes on its performance.**

عملکرد (%) ( $R_s$ ) Performance (%)	مشخصات صفحات مستغرق Submerged vanes characteristics		ردیف Row
	طول L (cm)	ارتفاع H (cm)	
-	-	-	شاهد
10	3	2	1
14	4	2	2
21	5	2	3
26	6	2	4
10	3	3	5
10	4	3	6
10	5	3	7
34	6	3	8
10	3	4	9
23	4	4	10
30	5	4	11
44	6	4	12
9	3	5	13
27	4	5	14
34	5	5	15
46	6	5	16

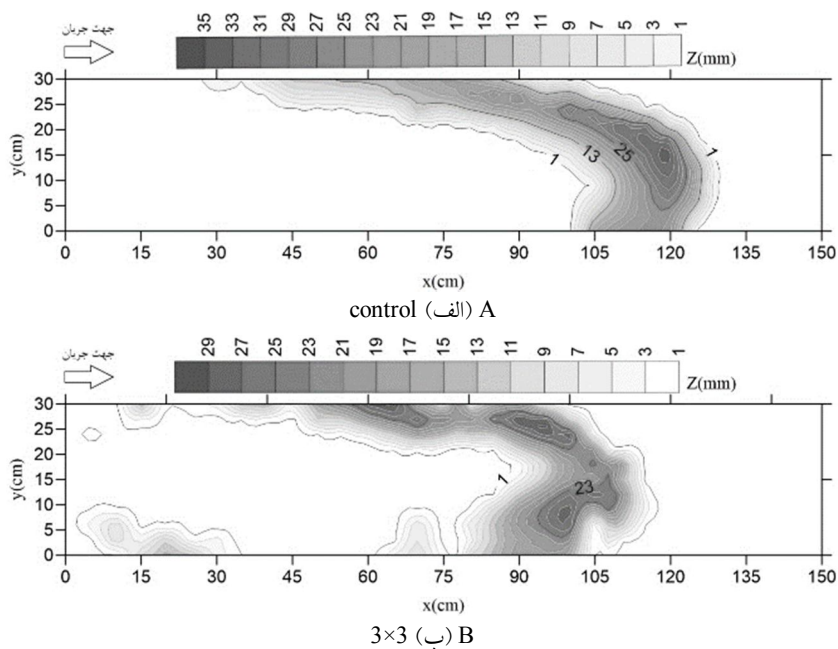


شکل ۴- عملکرد صفحات مستغرق در ابعاد مختلف.

**Figure 4. Performance of submerged vanes in different dimensions.**

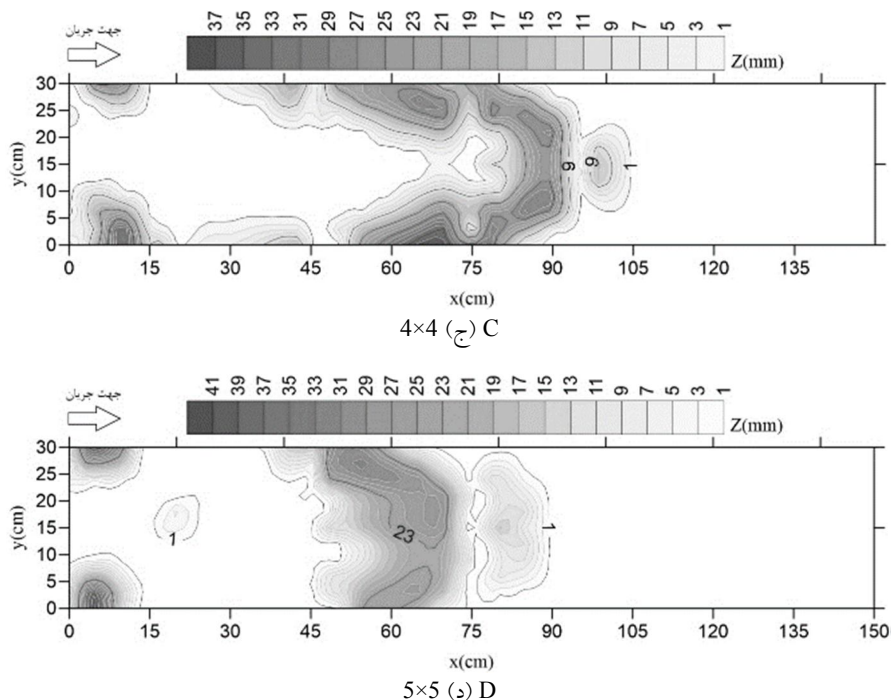
عمل باعث پراکندگی و انباشتگی رسوبات پیرامون صفحه مستغرق شده و سرعت انتقال بار بستر را کاهش می‌دهد. تأثیر افزایش نسبت  $H/d_0$  (افزایش ارتفاع) در کنترل انتقال بار بستر با افزایش نسبت  $L/d_0$  بیش‌تر می‌شود به طوری که در  $L/d_0=0/19$  تأثیر افزایش ارتفاع بسیار ناچیز و در حدود صفر است و با افزایش این نسبت به  $0/38$  تأثیر افزایش ارتفاع باعث بهبود عملکرد صفحات مستغرق در کاهش انتقال بار بستر از ۲۶ درصد (صفحات با ابعاد  $2 \times 6$ ) به ۴۶ درصد (صفحات با ابعاد  $5 \times 6$ ) می‌شود. برای تعیین میزان رسوب‌گذاری پیرامون صفحات مستغرق در ابعاد مختلف، الگوی توزیع رسوبات در مقطع آزمایشی در بازه ۱۵۰ سانتی‌متری مقطع آزمایشی ترسیم شده است. ابتدای مقطع آزمایشی، مبدأ مختصات در نظر گرفته شده است. در هر شکل، محور افقی (x) در امتداد جهت جریان و محور قائم (y) در امتداد عرض فلوم آزمایشگاهی قرار می‌گیرد. در شکل ۵ الگوی توزیع رسوبات در چهار آزمایش (شاهد، صفحات با ابعاد  $3 \times 3$ ،  $4 \times 4$  و  $5 \times 5$ ) نشان داده شده است.

نمودار شکل ۴ نشان می‌دهد، با افزایش ابعاد صفحات مستغرق، پارامتر  $R_s$  نیز افزایش یافته است که با نتایج پژوهش تان و همکاران (۲۰۰۵) و اوپانگ (۲۰۰۹) مطابقت دارد. در تمامی ابعاد صفحات مستغرق، مقدار این پارامتر بزرگ‌تر از صفر است که نشان‌دهنده کاهش سرعت انتقال بار بستر و کاهش فاصله پیشروی جبهه رسوبی در مقطع آزمایشی نسبت به حالت شاهد (بدون حضور صفحات مستغرق) است. پارامتر  $R_s$  برای  $L/d_0=0/19$  در تمامی نسبت‌های  $H/d_0$  برابر با  $0/13$  تا  $0/31$  مقداری تقریباً یکسانی دارد که نشان از تأثیر ناچیز افزایش ارتفاع صفحات مستغرق در طول کم صفحات می‌باشد. با در نظر گرفتن یک نسبت  $H/d_0$ ، با افزایش نسبت  $L/d_0$ ، فاصله عرضی بین صفحات کاهش می‌یابد و باعث افزایش شعاع تأثیر جریان‌های گردابه‌ای می‌گردد. افزایش شعاع تأثیر ناشی از کاهش عرض مفید جریان بر انتقال رسوبات تأثیرگذار است و باعث حرکت چرخشی رسوبات پیرامون صفحات مستغرق و عدم تشکیل جبهه رسوبی می‌گردد. این



شکل ۵- الگوی توزیع رسوبات در آزمایش شاهد و در حضور صفحات با ابعاد  $3 \times 3$ ،  $4 \times 4$  و  $5 \times 5$ .

Figure 5. Sediment distribution pattern in observing experiment and in the presence of vanes with dimensions of  $3 \times 3$ ,  $4 \times 4$  and  $5 \times 5$ .

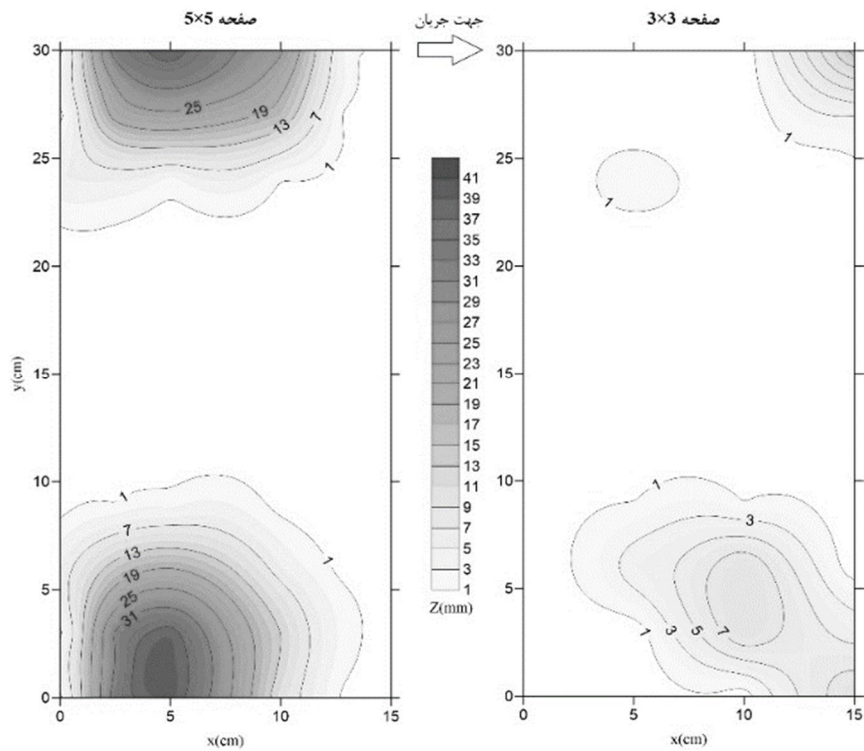


ادامه شکل ۵-

Continue Figure 5.

انتقال بخشی از رسوبات به سمت دیواره‌ها و کاهش سرعت انتقال شده است. افزایش ابعاد صفحات مستغرق باعث بهبود عملکرد آن در کاهش انتقال بار بستر در مقطع آزمایشی و افزایش حجم انباشته شده پیرامون صفحات، به خصوص در صفحات ردیف اول شده است. به طوری که با افزایش ابعاد صفحات از ۳×۳ به ۵×۵ حجم انباشته شده رسوبات در ردیف اول صفحات تقریباً ۵/۵ برابر شده است. در شکل ۶ حجم انباشته شده رسوبات پیرامون ردیف اول در دو حالت استفاده از صفحات مستغرق با ابعاد ۳×۳ و ۵×۵ نشان داده شده است.

همان گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بیشینه ارتفاع جبهه رسوبی در آزمایش شاهد، در پیشانی جبهه و بر روی خط مرکزی فلوم قرار گرفته است. میزان این ارتفاع ۳/۴ سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید. همچنین تجمع رسوبات در پیشانی جبهه رسوبی مخروطی شکل مشاهده شد. با مقایسه الگوی توزیع رسوبات در حضور صفحات مستغرق با حالت شاهد مشخص می‌شود که با افزایش ابعاد صفحات مستغرق، به تدریج حجم رسوبات انباشته شده در ردیف اول افزایش می‌یابد. صفحات مستغرق باعث تغییر الگوی جریان و ایجاد جریان‌های گردابی پیرامون صفحات مستغرق می‌شوند و این تغییر الگوی جریان باعث

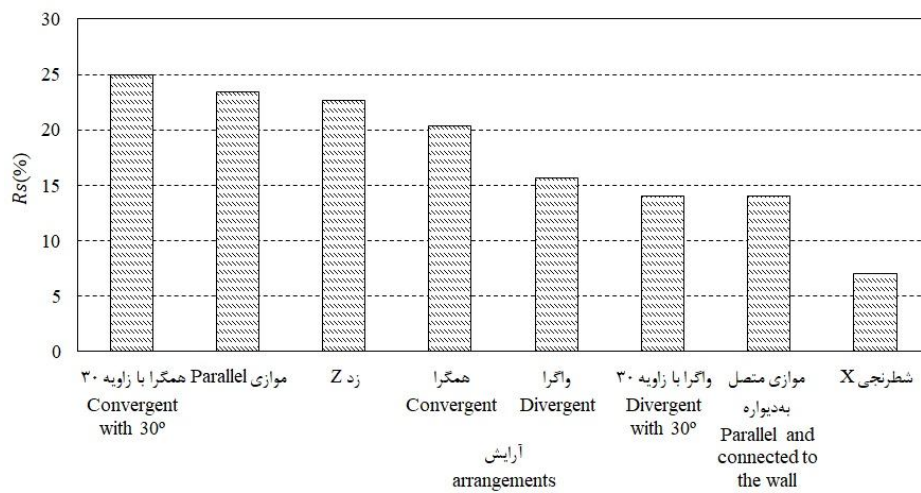


شکل ۶- تفاوت انباشتگی رسوبات قبل از ردیف اول صفحات مستغرق با ابعاد ۳×۳ و ۵×۵.

Figure 6. Difference of sediment accumulation before submerged vanes of first row with dimensions of 3×3 and 5×5.

درجه نسبت به جریان نزدیک‌شونده بر روی کف فلوم نصب شدند. نمودار شکل ۷ عملکرد آرایش قرارگیری مختلف صفحات مستغرق را نشان داده شده است.

عملکرد صفحات مستغرق در آرایش‌های مختلف: برای تعیین عملکرد صفحات در آرایش‌های مختلف هشت آزمایش انجام شد. در این آزمایش‌ها صفحات مستغرق با ابعاد برابر ۴ سانتی‌متر تحت زاویه ۹۰



شکل ۷- عملکرد صفحات مستغرق در کاهش انتقال بار بستر در آرایش‌های مختلف.

Figure 7. Submerged vanes performance in decreasing bed load transfer in different arrangements.

در اثر برخورد جبهه رسوبی به صفحات مستغرق، پیشروی رسوبات نسبت به حالت شاهد به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. مطابق شکل ۷ مشخص است با ثابت در نظر گرفتن تعداد صفحات و تغییر فاصله، زاویه و آرایش صفحات مستغرق، عملکرد رسوبات در کاهش سرعت انتقال رسوبات نیز تغییر می‌یابد. بیش‌ترین میزان پیشروی جبهه رسوبی در آرایش شطرنجی و کم‌ترین میزان پیشروی مربوط به آرایش همگرا تحت زاویه ۳۰ درجه می‌باشد. پارامتر  $R_s$  در آرایش‌های مذکور، بیش از صفر بوده که نشان‌دهنده کاهش سرعت انتقال بار بستر و همچنین کاهش فاصله پیشروی بار بستر در مقطع آزمایشی نسبت به حالت شاهد است. کاهش سرعت پیشروی رسوبات و در نتیجه کاهش پیشروی رسوبات در مقطع آزمایشی در تمامی آزمایش‌ها، متأثر از صفحات مستغرق ردیف ابتدایی است. در آرایش‌های موازی و زد ( $Z$ ) به دلیل وجود تعداد صفحات بیش‌تر در ردیف اول و تأثیر جریان‌های گردابی صفحات بر یکدیگر، سرعت انتقال رسوبات تحت تأثیر وجود صفحات کاهش قابل توجهی داشته است. همچنین آرایش همگرا تحت زاویه به دلیل قرارگیری صفحات نزدیک دیواره تحت زاویه ۳۰ درجه و افزایش شعاع تأثیر صفحات مستغرق بر یکدیگر، باعث کاهش سرعت

پیشروی به میزان قابل توجهی شده است. در آرایش موازی متصل به دیواره، با افزایش فاصله عرضی بین صفحات از شعاع تأثیر جریان‌های گردابه‌ای کاسته شده و در نتیجه عملکرد صفحات مستغرق به شدت کاهش یافته است. افزایش فاصله عرضی صفحات مستغرق در آرایش موازی متصل به دیواره علاوه بر کاهش عملکرد، از انباشتگی رسوبات در ردیف‌های ابتدای صفحات مستغرق نیز کاسته است. به طور کلی پارامتر  $R_s$  برای این سری از آزمایش‌ها بین ۷ تا ۲۵ درصد متغیر می‌باشد.

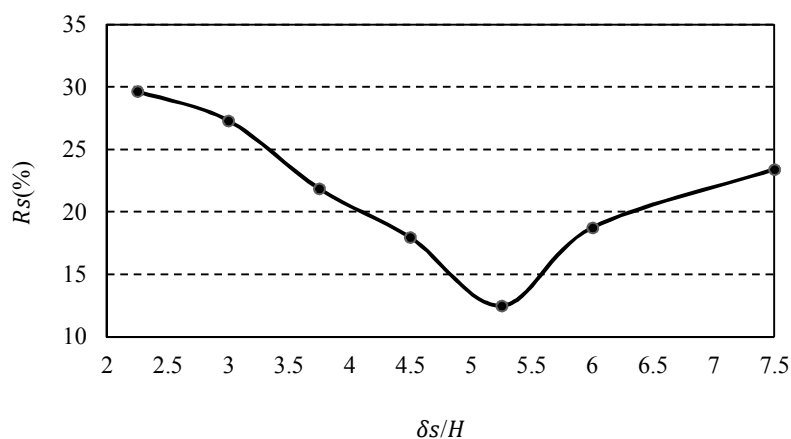
**عملکرد صفحات مستغرق در فواصل طولی مختلف:** برای ارزیابی تأثیر فاصله طولی نصب، از صفحات مستغرق با ارتفاع و طول برابر با ۴ سانتی‌متر استفاده شد. در این آزمایش‌ها صفحات مستغرق در آرایش موازی نصب شدند، به گونه‌ای که ردیف اول صفحات در  $x = 15 \text{ cm}$  قرار گرفته است. مبدأ مختصات جهت تعیین فاصله طولی نصب ( $\delta_s$ ) صفحات ردیف دوم، ردیف ابتدایی است. بر این اساس فواصل طولی مورد آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است.

شکل ۸ نمودار عملکرد صفحات مستغرق در فواصل طولی مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۳- فواصل طولی نصب صفحات مستغرق.

Table 3. Installation length distances of submerged vanes.

$\nu/5H$	$5/25H$	$4/5H$	$3/75H$	$3H$	$2/25H$	$\delta_s$ (cm)
۳۰	۲۱	۱۸	۱۵	۱۲	۹	

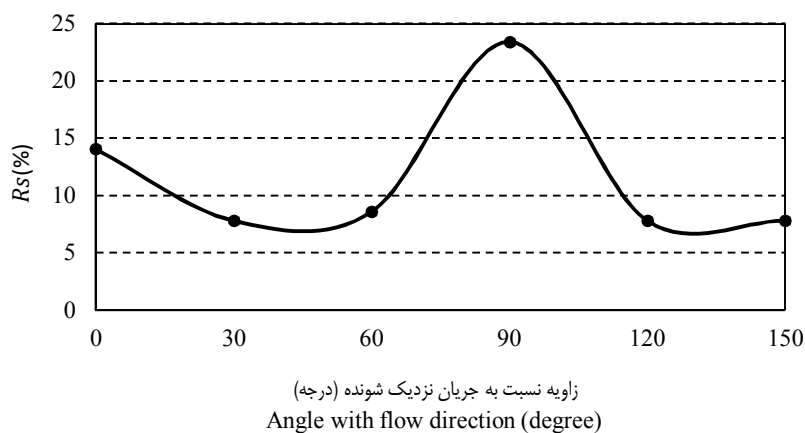


شکل ۸- تأثیر فاصله طولی بر عملکرد صفحات مستغرق.

Figure 8. The effect of length distances on submerged vanes performance.

به دست آمده، فاصله نصب  $\delta_s = 5/25H$  به عنوان حد پایین نصب صفحات مستغرق تعیین گردید. عملکرد صفحات مستغرق در زوایای نصب مختلف: برای تعیین تأثیر زاویه نصب بر عملکرد صفحات مستغرق، آزمایش‌ها شامل شش زاویه ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه نسبت به جریان نزدیک‌شونده می‌باشد که در این آزمایش‌ها صفحات مستغرق به صورت آرایش موازی با ارتفاع و طول برابر با ۴ سانتی‌متر در کف فلوم نصب شده‌اند. شکل ۹ نمودار عملکرد صفحات مستغرق تحت زوایای مختلف نصب را نشان می‌دهد.

شکل ۸ نشان می‌دهد، با افزایش نسبت فاصله طولی  $\delta_s/H$  از ۲/۲۵ به ۵/۲۵، عملکرد کاهش یافته و از ۳۰ به ۱۳ درصد رسیده است. در عین حال در این فواصل طولی نیز نسبت به آزمایش شاهد، عملکرد مثبت در کاهش پیشروی رسوبات مشاهده شده است. افزایش عملکرد در شرایط نصب  $\delta_s = 7/5H$ ، بیانگر آن است که فاصله طولی صفحات دارای حد پایین می‌باشد. برای اطمینان از این مسئله، فاصله نصب  $\delta_s = 6H$  نیز مورد بررسی قرار گرفت. در حالت نصب  $\delta_s = 6H$  نیز میزان عملکرد نسبت به حالت  $5/25H$ ، افزایش یافته است که وجود حد پایین در فاصله نصب صفحات را تأیید می‌نماید. بر این اساس و نتایج

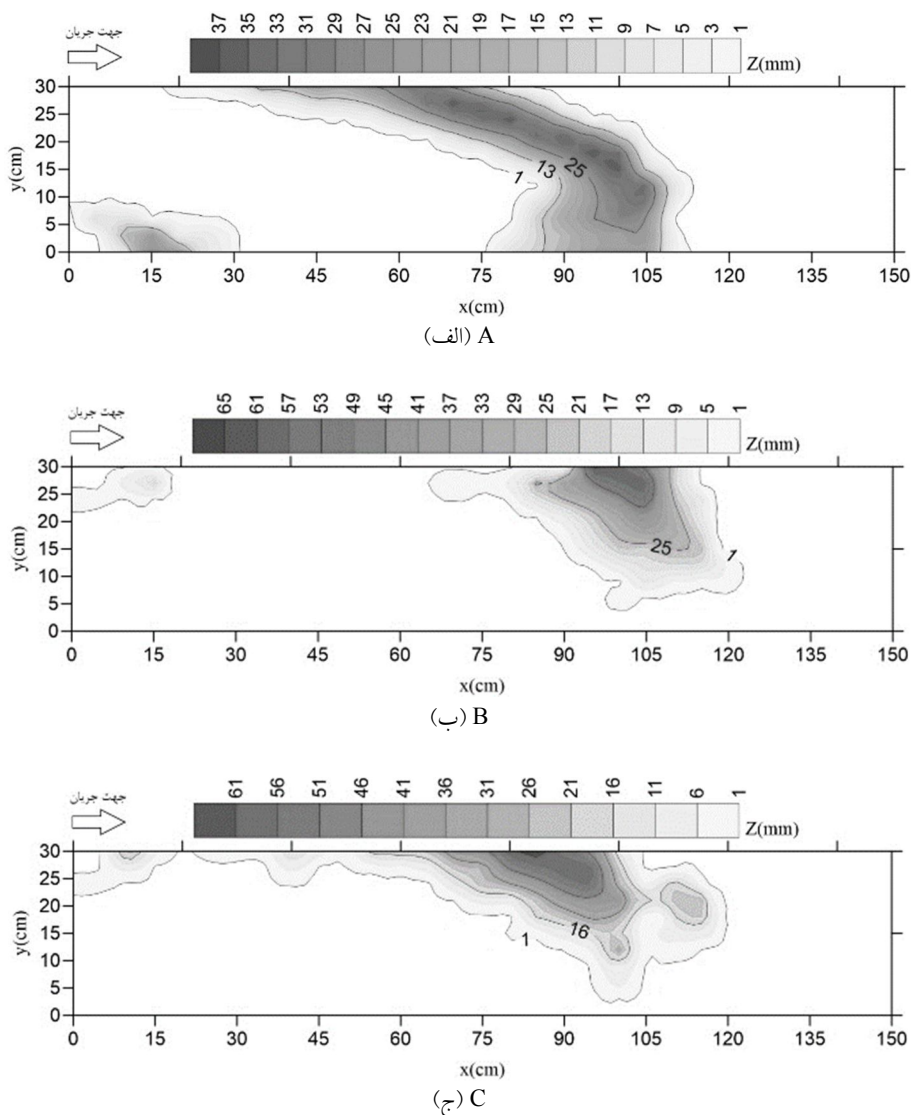


شکل ۹- عملکرد صفحات مستغرق در زوایای مختلف.

Figure 9. Submerged vanes performance in different angles.

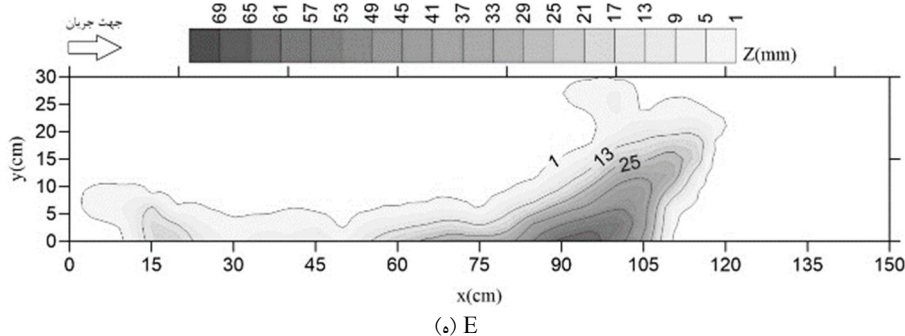
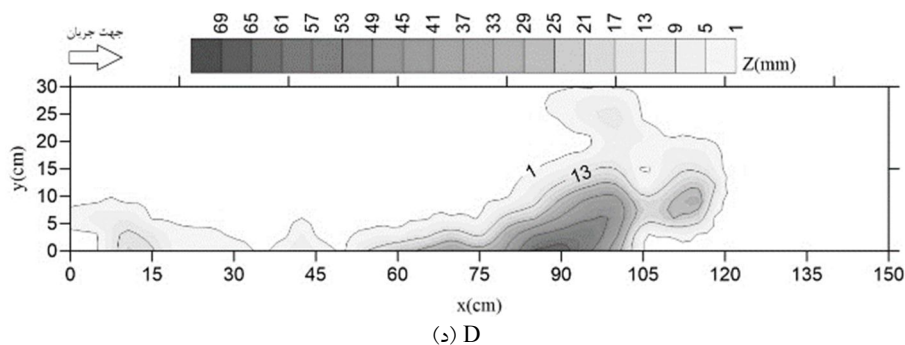
صفحات مستغرق، بیش‌ترین عملکرد را نشان داد. زوایای نصب ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه، تقریباً دارای عملکرد یکسان و در حدود ۹ درصد می‌باشند. در شکل ۱۰ الگوی توزیع رسوبات در مقطع آزمایشی در زوایای ۰، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه نشان داده شده است.

مطابق با شکل ۹ زاویه نصب بر عملکرد صفحات مؤثر می‌باشد؛ که با نتایج پژوهش تان و همکاران (۲۰۰۵) که عملکرد صفحات را متأثر از زاویه نصب آنها دانسته بودند، مطابقت دارد. مطابق شکل تمامی زوایای نصب دارای عملکرد مثبت می‌باشند و صفحات مستغرق تحت زاویه ۹۰ درجه نسبت به جریان نزدیک‌شونده، نسبت به سایر زوایای نصب



شکل ۱۰- الگوی توزیع رسوبات در زوایای مختلف نصب، الف) صفر درجه، ب) ۳۰ درجه، ج) ۶۰ درجه، د) ۱۲۰ درجه، ه) ۱۵۰ درجه.  
 Figure 10. Sediment distribution pattern in different installation angles, A) 0° B) 30° C) 60° D) 120° E) 150°.





ادامه شکل ۱۰-

Continue Figure 10.

ارتفاع پیشانی جبهه رسوبی افزایش پیدا کرده است. میزان افزایش ارتفاع پیشانی جبهه رسوبی تحت زوایای مذکور تقریباً ۲ برابر ارتفاع پیشانی در آزمایش شاهد می‌باشد. با قرارگیری صفحات مستغرق تحت زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه، تجمع رسوبات به سمت دیواره راست فلوم (نسبت به جهت جریان) و با قرارگیری صفحات مستغرق تحت زوایای ۱۵۰ و ۱۲۰ درجه نیز تجمع رسوبات به سمت چپ دیواره (نسبت به جهت جریان) انتقال می‌یابد. همچنین مطابق شکل ۱۰، جبهه رسوبی پس از طی مسافتی مشخص (تقریباً بعد از ردیف سوم) از ابتدای مقطع آزمایشی از طرف دیواره به سمت خط مرکزی فلوم تغییر جهت می‌دهد، که علت آن ناشی از نزدیک شدن به انتهای مقطع رسوبی و تأثیر بازشدگی مقطع جریان است.

مقایسه الگوی توزیع رسوبات توسط صفحات مستغرق تحت زاویه صفر درجه و الگوی توزیع رسوبات در آزمایش شاهد نشان می‌دهد، الگوی ایجاد شده توسط صفحات مستغرق تحت زاویه صفر درجه مشابه حالت شاهد می‌باشد؛ که این امر ناشی از قرارگیری قسمت ناچیزی از صفحات (بعد عمود بر جریان برابر با ۳ سانتی‌متر) در برابر جریان می‌باشد. با این وجود قرارگیری صفحات مستغرق تحت زاویه صفر درجه باعث کاهش پیشروی بار بستر نسبت به حالت شاهد و انباشتگی بخشی از رسوبات در پیرامون صفحات ردیف اول شده است. مقایسه الگوهای توزیع رسوبات شکل (۱۰، ب تا ه) و الگوی توزیع رسوبات در آزمایش شاهد نشان می‌دهد، با قرارگیری صفحات مستغرق تحت زوایای ۳۰، ۶۰ درجه و زوایای معکوس آن (۱۵۰ و ۱۲۰ درجه)

## نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، در قالب چهار سری آزمایش، تأثیر صفحات مستغرق نحوه انتقال بار بستر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین الگوی توزیع رسوبات در حالت نصب صفحات نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد:

افزایش ابعاد صفحات مستغرق، بر کاهش انتقال بار بستر مؤثر می‌باشد، از طرفی در  $L/d_0 = 0/19$  افزایش نسبت  $H/d_0$  (ارتفاع صفحات)، انتقال بار بستر را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد که علت آن می‌تواند ناشی از غلبه اثر عرض مفید (کم بودن طول صفحات) بر تأثیر افزایش ارتفاع باشد. به‌طورکلی با افزایش نسبت  $L/d_0$ ، جریان‌های ثانویه افزایش می‌یابد و سرعت حرکت بار بستر کاهش می‌یابد.

آرایش‌های مختلف صفحات نیز علاوه بر این‌که بر عملکرد صفحات تأثیرگذار بودند بر الگوی توزیع رسوبات هم مؤثر بودند. آرایش همگرا با زاویه ۳۰ درجه دارای بیش‌تر میزان عملکرد در کاهش سرعت انتقال رسوبات می‌باشد؛ اما با بررسی توپوگرافی‌های ایجادشده در آرایش‌های مختلف مشخص شد،

عملکرد آرایش همگرا با زاویه ۳۰ درجه در تله‌اندازی رسوبات ضعیف است و از این نظر آرایش موازی، هم داری عملکرد بالا در کاهش انتقال رسوبات و هم دارای عملکرد مطلوبی در تله‌اندازی رسوبات در ردیف‌های ابتدایی است.

با افزایش فاصله طولی بدون بعد  $(\delta_s/H)$  نصب صفحات از ۲/۲۵ به ۵/۲۵، عملکرد صفحات کاهش می‌یابد؛ فاصله طولی نصب  $\delta_s/H = 5/25$  دارای کم‌ترین میزان عملکرد است. در فواصل طولی بزرگ‌تر از  $\delta_s = 5/25H$  با افزایش فاصله طولی، عملکرد صفحات افزایش می‌یابد.

زاویه نصب ۹۰ درجه نسبت به جریان نزدیک‌شونده، نسبت به سایر زوایا، عملکرد بهتری در کنترل و کاهش انتقال رسوبات بستر دارد. از طرفی اگر هدف منحرف کردن رسوبات و انتقال آن به سمت دیگر ساحل باشد می‌توان صفحات مستغرق را تحت زاویه‌ای متناسب با شرایط موجود قرار داد و رسوبات را به دیواره مقابل هدایت نمود.

## منابع

1. Barani, G.A., and Shahrokhi Sardo, M. 2013. Experimental Investigation of Submerged Vanes Shape effect on river-bend stability. *J. Hydr. Struc.* 1: 1.37-43.
2. Barkdoll, B.D., Ettema, R., and Odgaard, A.J. 1999. Sediment control at lateral diversions: Limits and enhancements to vane use. *J. Hydr. Engin.* 125: 8. 862-870.
3. 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 (April 2017): 32-40.
4. Fathi-Moghadam, M., Masjedi, A., Larki, M.A., and Branch, A. 2012. Investigation of height of submerged vanes on scour hole in 180 degree flume bend. *Ecology, Environ. Cons. J.* 18: 4. 1003-1007.
5. Gupta, U.P., Ojha, C.S.P., and Sharma, N. 2010. Enhancing utility of submerged vanes with collar. *J. Hydr. Engin.* 136: 9. 651-655.
6. Marelius, F. 2001. Experimental investigation of vanes as a means of beach protection. *Coastal engineering*, 42: 1-16.
7. Michell, F., Ettema, R., and Muste, M. 2006. Case study: Sediment control at water intake for large thermal-power station on a small river. *J. Hydr. Engin.* 132: 5. 440-449.
8. Nakato, T., and Ogden, F.L. 1998. Sediment control at water intakes along sand-bed Rivers. *J. Hydr. Engin.* 124: 6. 589-596.

9. Nakato, T., Kennedy, J.F., and Bauerly, D. 1990. "Pump-station intake-shoaling control with submerged vanes. *J. Hydr. Engin.* 116: 1. 119-128.
10. Odgaard, A.J. 2009. River training and sediment management with submerged vanes. American Society of Civil Engineers, 170p.
11. Odgaard, A.J., and Kennedy, J.F. 1983. River-bend bank protection by submerged vanes. *J. Hydr. Engin.* 109: 8. 1161-1173.
12. Odgaard, A.J., and Mosconi, C.E. 1987. Streambank protection by submerged vanes. *J. Hydr. Engin.* 113: 4. 520-536.
13. Odgaard, A.J., and Spoljaric, A. 1986. Sediment control by submerged vanes. *J. Hydr. Engin.* 112: 12. 1164-1180.
14. Odgaard, A.J., and Wang, Y. 1991. Sediment management with submerged vanes. I: Theory. *J. Hydr. Engin.* 117: 3. 267-267.
15. Odgaard, A.J., and Wang, Y. 1991. Sediment management with submerged vanes. II: Applications. *J. Hydr. Engin.* 117: 3. 284-302.
16. Ouyang, H.T. 2009. Investigation on the dimensions and shape of a submerged vane for sediment management in alluvial channels. *J. Hydr. Engin.* 135: 3. 209-217.
17. Sarhadi, A., and Jabbari, E. 2017. Investigating Effect of Different Parameters of the Submerged Vanes on the Lateral Intake Discharge Located in the 180 Degree Bend Using the Numerical Model. *Civil Engin. J.* 3: 11. 1176-1187.
18. Shafai Bejestan, M., Khademi, K., and Kozeymehnezhad, H. 2015. Submerged vane-attached to the abutment as scour countermeasure. *Ain Shams Engin. J.* ISSN: 2090-4479, 6:3.775-783.
19. Sruthi, T.K., Ranjith, K.B., and Chandra, V. 2017. Control of sediment entry into an intake canal by using submerged vanes. In: AIP Conference Proceedings, 1875:030007. 1-9. AIP Publishing.
20. Tan, S.K., Yu, G., Lim, S.Y., and Ong, M.C. 2005. Flow structure and sediment motion around submerged vanes in open channel. *J. waterway, port, coastal and ocean engineering*, 131: 3. 132-136.
21. Wang, Y., Odgaard, A.J., Melville, B.W., and Jain, S.C. 1996. Sediment control at water intakes. *J. Hydr. Engin.* 122: 6. 353-356.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(4), 2019*

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.15665.3084

## **Laboratory investigation of the combined effect of river widening and installation of submerged vanes on bed load transport**

**M. Jafari<sup>1</sup>, \*H. Khozaymehnezhad<sup>2</sup> and Y. Ramezani<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Water Science and Engineering, University of Birjand,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, University of Birjand,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Science and Engineering, University of Birjand

Received: 09.28.2018; Accepted: 04.16.2019

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Rivers have always been transformed in their evolutionary path by the erosion of the beaches and river bends as well as sedimentation in other parts that is an unnecessary change for the inhabitants of the rivers. Submerged vanes technique has been used for strengthening river bed, protection of river banks, decreasing erosion in the river bend, preventing penetration of river bed sediments to intake structures, correcting river cross section in the adjacent bridge bases. In the present research using an experimental model by changing different parameters related to submerged vanes, the way of transferring bed load was examined in a separate section.

**Materials and Methods:** The objective of this research is examination of the effect of submerged vanes on load convey in a separate section. For this purpose, the middle part of the flume was considered for creating separated and broadened sections. From the beginning of the flume 0.7 m with original width of the flume was considered as slowing down current for establishing a uniform current. After that, two glass boxes with 4 m length, 0.075 m width were used for decreasing flume width in higher part of the experimental cross section. Then, 1.5 m length with original width of flume was considered as experimental cross section. From the end of the experimental section to the end of the flume, the conditions of the upstream canal were repeated. After finishing experiment, the rate of sediment progression is recorded in experimental section. Also, after finishing experiment, the experimental section is drained and using laser meter device in a 5×3 matrix, the topography of the sediments in experimental section is set. In these experiments, dimensions, angle, arrangement and length distance of submerged vanes change and its effect on vane performance were examined.

**Results:** Examining the effect of vane dimensions on the transfer bed load, indicated that by increasing submerged vane dimensions, submerged vane performance parameter is also increased; in such a way that. it increased from 10 to 46 percent with increasing the dimensionless length from 0.19 to 0.38 in dimensionless height of 0.31. By increasing the ratio of the dimensionless length, the width distance between vanes is decreased and causes increase in effect domain of whirling currents and this causes whirling movement of sediments around submerged vanes and not forming sediment beds. This causes dispersion and accumulation of sediments around submerged plane and decreases the speed of transferring bed load. For detecting vane performance in different arrangements, eight experiments were conducted. submerged vane performance parameter was higher than zero in all arrangements indicates decreasing bed load transfer and also decreasing bed load progression distance in experimental

---

\* Corresponding Author; Email: [hkhosaymeh@birjand.ac.ir](mailto:hkhozaymeh@birjand.ac.ir)

cross section relation to the observing state. The more number of vanes in Z and parallel arrangement and influence of vortex flows cause that sediment transport velocity is decreased. Generally, experiment parameter varies between 7 to 25 percent. For detecting the effect of installation angle on submerged vanes performance, experiments included six angles. The results indicated that all of the installation angles have positive performance and the submerged vanes in 90 degrees in relation to approaching current showed the highest performance than other installation angles of submerged vanes that was 23 percent.

**Conclusions:** In general, we can conclude that installation of submerged vanes in experimental phase causes change in progression velocity of sediments and change in sediment distribution pattern. Also the results indicated that increasing dimensions of submerged vanes causes decrease of sediment transfer and increase of sediment accumulation around the first row vanes. According to the results of arrangements, in convergent arrangement with 30 degrees to approaching current, the submerged vanes indicated the best performance. Also, the chess arrangement does not have a satisfactory performance due to the relatively width distance in double rows of the vanes.

**Keywords:** Bed load, Physical model, River, Submerged vanes, Widening

