

تأثیر عامل شکل صفحات مستغرق بر مدیریت رسوبات بار بستر

رضا عزیزی*، محمود شفاعی بجستان و مهدی قمشی**

* نگارنده مسئول، نشانی: زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، کدپستی: ۴۵۳۷۱۳۸۷۹۱، پیام‌نگار:

re_azizi@ymail.com

** به ترتیب استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛ و استادان گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب،

دانشگاه شهید چمران، اهواز

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۲۵

چکیده

شکل صفحات مستغرق یکی از عوامل مهم طراحی صفحات است که الگوی جریان‌های ثانویه ناشی از صفحات و عملکرد صفحات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در چنین شرایطی، تغییراتی در توزیع رسوب بستر حاصل خواهد شد که می‌تواند به ساماندهی رودخانه کمک کند. در این تحقیق با اجرای بیست آزمایش، تأثیر پنج شکل مختلف از صفحات مستغرق تحت شرایط هیدرولیکی مختلف (چهار شدت جریان (U/U_c) برابر با ۰/۷۸، ۰/۹۳، ۱/۱۰ و ۱/۱۹) بر فرآیندهای رسوبی (آب‌شستگی موضعی در لبه ابتدایی صفحات و نحوه توزیع عرضی رسوبات در پایین دست صفحات) بررسی شد. نتایج مقایسه توپوگرافی بستر رسوبی در فلوم آزمایشگاهی، نشان می‌دهد که صفحه با لبه ابتدایی گرد شده و ضخامت کاهش یافته در امتداد طول صفحه، نسبت به صفحات مستطیلی متداول، بهترین عملکرد را در کاهش آب‌شستگی موضعی (به میزان ۱۷/۳، ۱۲/۳، ۶/۱ و ۵/۸ درصد به ترتیب در شدت جریان ۰/۷۸، ۰/۹۳، ۱/۱۰ و ۱/۱۹) داشته است. کاهش سطح مقطع صفحات نه تنها رسوب‌گذاری را کاهش نداده، بلکه افزایش تراز بستر در سمت پرفشار صفحات نیز اتفاق افتاده است.

واژه‌های کلیدی

آب‌شستگی موضعی، جریان ثانویه، صفحه مستغرق، مدل فیزیکی

مقدمه

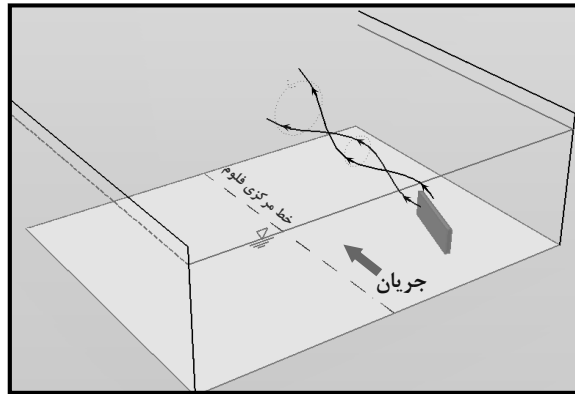
بخش عمده‌ای از این تحقیقات به ابعاد صفحات، فواصل طولی و عرضی و زاویه نصب صفحات، و جانمایی صفحات اختصاص یافته است (Odgaard & Kennedy, 1983; Odgaard & Mosconi, 1987; Odgaard & Spoljaric, 1986; Odgaard & Wang, 1991a; Soleimani-Osboei, 1996; Behzadipoor, 1997; Tan *et al.*, 2005; Shams-Aldini-Nejad & Keshavarzi, 2006; Valizadeh *et al.*, 2008; Hosaini *et al.*, 2010).

در کنار عوامل مذکور، شکل صفحات نیز از عوامل مهمی است که اصلاح و بهینه‌سازی آن کمک شایانی به

تکنیک صفحات مستغرق یکی از روش‌های نوین کنترل و مدیریت رسوبات در رودخانه‌ها و مجاری آبرفتی است که در دهه‌های اخیر تئوری و اصول طراحی آن توسعه داده شده است. صفحات مستغرق یکی از روش‌های مؤثر جهت حفاظت سواحل رودخانه‌ها در مقابل فرسایش، جلوگیری از ورود رسوبات به سازه‌های آبرگیری از رودخانه، و تعمیق بستر رسوبی و تثبیت خط‌القعر رودخانه‌ها است. تا کنون تحقیقات آزمایشگاهی و میدانی بسیاری به منظور اصلاح و بهینه‌سازی معیارهای طراحی این‌گونه صفحات صورت گرفته است.

پرفشار، مؤلفه سرعت رو به بالا و در سمت کم‌فشار مؤلفه سرعت رو به پایین ایجاد می‌شود. این مؤلفه‌های قائم سرعت، موجب تشکیل گردابه‌هایی در پشت لبه انتهایی صفحه می‌شوند. گردابه‌ها در محلی، کمی پایین‌تر از یال فوقانی صفحه، در هم می‌پیچند و منشأ شکل‌گیری گردابه‌ای بزرگ‌تر می‌شوند که ضمن چرخش در صفحه قائم عمود بر جریان، به همراه جریان اصلی در جهت پایین دست امتداد می‌یابد. این جریان چرخشی سبب تغییراتی در تنش برشی بستر، توزیع عرضی رسوبات و توپوگرافی بستر رسوبی می‌گردد (Odgaard & Wang, 1991a).

شکل ۱ شماتیک جریان چرخشی حاصل از 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 پاد ساعت‌گرد تولید شده است.



شکل ۱- شماتیک جریان چرخشی ناشی از یک صفحه مستغرق (Odgaard & Wang, 1991a)

(در شکل ۲ جهت جریان، عمود بر تصویر، به طرف داخل است). قدرت جریان چرخشی ناشی از صفحه مستغرق، ضمن انتقال به پایین دست، در نتیجه نیروهای لزجی جریان (پخشیدگی لزجی) تضعیف می‌شود (Odgaard & Wang, 1991a). بنابراین، میدان تحت

عملکرد صفحات می‌کند و ضرورت دارد تا جنبه‌های مختلف این عامل بررسی شود.

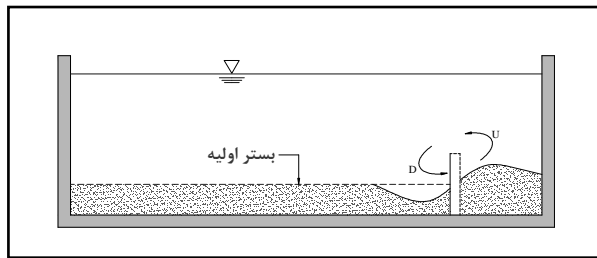
صفحات مستغرق به صورت قائم و با زاویه‌ای کم نسبت به جریان نزدیک‌شونده در بستر آبراهه نصب می‌شوند. با استقرار صفحه مستغرق، جریان‌های ثانویه در دو طرف آن تولید می‌شود که با امتداد یافتن در جهت پایین دست، جریان چرخشی بزرگ‌تری ایجاد می‌کنند. شکل‌گیری جریان‌های ثانویه به دلیل وجود گرادیان قائم فشار در هر دو طرف صفحه است. وجهی از صفحه که مستقیماً در معرض جریان نزدیک‌شونده بالادست قرار دارد، سمت پرفشار نامیده می‌شود. در این سمت، در امتداد ارتفاع صفحه، فشار از پایین به بالا 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 ثانوی از سمت پرفشار به سمت کم‌فشار برقرار می‌شود و به عبارت دیگر، در سمت

شکل ۲ نحوه تأثیر صفحه مستغرق در توزیع عرضی رسوبات و تغییرات توپوگرافی بستر رسوبی را در مقطعی از یک فلوم نشان می‌دهد. در این شکل، بردار U مؤلفه رو به بالای سرعت در سمت پرفشار، و بردار D مؤلفه رو به پایین سرعت در سمت کم‌فشار صفحه است

تأثیر عامل شکل صفحات مستغرق بر مدیریت...

متشکل از تعداد زیادی صفحه منفرد است استفاده می‌شود. در این حالت نیز فواصل طولی و عرضی بین صفحات، و فاصله آنها از ساحل آبراهه و سازه‌های مجاور، از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد صفحات است که در صورت بهینه نبودن، صفحات تأثیر منفی متقابلی بر عملکرد یکدیگر خواهند داشت.

تأثیر صفحه مستغرق و توان آن در توزیع عرضی رسوبات بستر محدود است. به این دلیل، در تحقیقات بسیاری از محققان، سعی شده است تا عوامل مؤثر بر قدرت جریان چرخشی و عملکرد صفحات، شناسایی و بهینه‌سازی شوند. در کاربردهای عملی، غالباً از مجموعه‌ای صفحات که



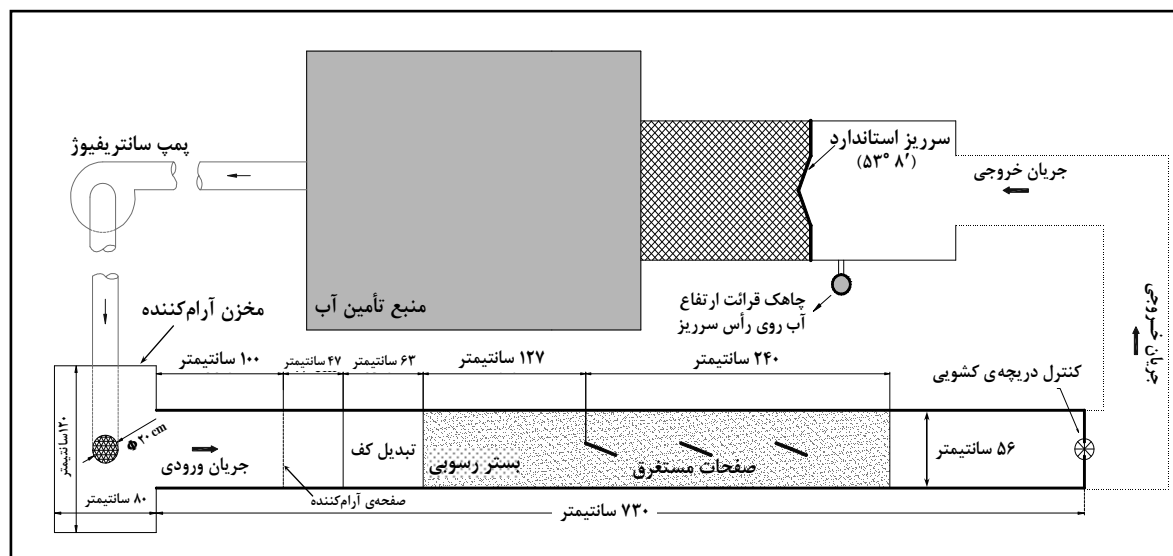
شکل ۲- تغییر نیم‌رخ عرضی بستر رسوبی در نتیجه استقرار یک صفحه مستغرق (Odgaard & Wang, 1991a)

به سمت بالادست جریان متمایل شده، موجب افزایش عملکرد، و صفحه متوازی‌الاضلاعی که یال فوقانی آن به سمت پایین دست متمایل شده، موجب کاهش عملکرد می‌شود. در تحقیق حاضر، معیار ارزیابی عملکرد صفحات عبارت است از نحوه تأثیر صفحات بر آب‌شستگی موضعی و میزان افزایش تراز بستر در سمت پرفشار صفحات (سمت ساحل فلووم که تشکیل خاکریز و افزایش تراز بستر مورد انتظار است). هدف تحقیق حاضر ارزیابی و مقایسه پنج شکل مختلف از صفحات و تعیین بهترین عملکرد با استفاده از مدل فیزیکی است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز و با استفاده از یک فلووم آزمایشگاهی با سیستم گردشی به طول ۷/۳ متر، عرض ۰/۵۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر اجرا شد (شکل ۳).

از جمله تحقیقاتی که به بررسی شکل صفحات پرداخته است می‌توان به اوانگ (Ouyang, 2009) اشاره کرد. در تحقیق مذکور با استفاده از یک مدل محاسباتی که با داده‌های آزمایشگاهی (Odgaard & Spoljaric, 1986; Wang, 1991) واسنجی شده، صفحاتی با نسبت‌های متفاوت طول به عرض و صفحاتی به شکل‌های دوزنقه و متوازی‌الاضلاع به صورت منفرد ارزیابی شده‌اند. در این تحقیق صفحاتی که موجب رسوب‌گذاری بیشتری در سمت پرفشار شدند، به عنوان صفحات بهینه انتخاب شدند. بر اساس مطالعات اوانگ (Ouyang, 2009) با شرط ثابت ماندن مساحت سطح صفحات، و در مقایسه با صفحه مستطیلی مبنای، صفحه دوزنقه‌ای شکل با ارتفاع ثابت و یال‌های تحتانی و فوقانی با طول متفاوت، موجب افزایش عملکرد، و صفحه دوزنقه‌ای شکلی که به ازای طول ثابت قاعده و افزایش ارتفاع، طرح شده موجب کاهش عملکرد صفحه می‌شود. همچنین صفحه متوازی‌الاضلاعی که یال فوقانی آن



شکل ۳- نمای پلان مدل آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق حاضر

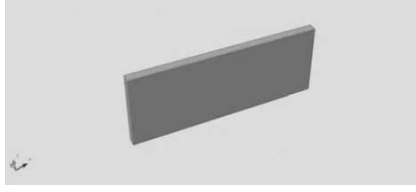
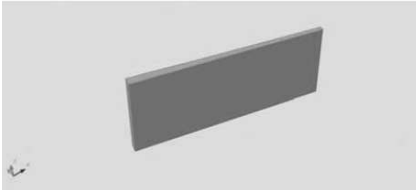
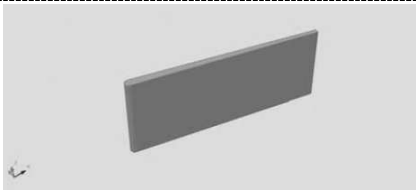
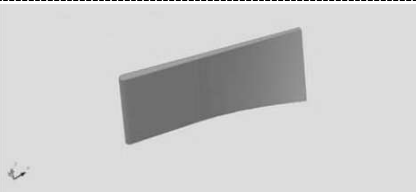
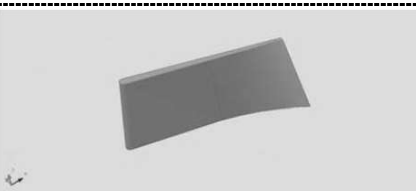
ضمن این‌که دبی آستانه حرکت رسوبات، بر اساس مشاهدات آزمایش‌های اولیه 0.038 مترمکعب بر ثانیه تعیین شد. برای مقادیر $1 < U/U_c$ شرایط آب‌شستگی آب زلال و به‌ایزی $1 > U/U_c$ شرایط بستر متحرک (بستر زنده) برقرار بود.

کمترین و بیشترین مقدار عدد رینولدز جریان $R_e = R_{h1} \cdot U/\nu$ ؛ که در آن R_{h1} شعاع هیدرولیکی مجرا؛ U = سرعت متوسط جریان؛ و ν لزوجت سینماتیک جریان) به ترتیب برابر با $2/8 \times 10^4$ و $4/2 \times 10^4$ بود. شیب اولیه بستر رسوبی صفر بود. طرح صفحات بر اساس این فرض بود که کوچک‌ترین تغییرات در شکل صفحات، بر نیروهای هیدرودینامیکی که از طرف جریان بر صفحات اعمال می‌شود مؤثر است، ضمن این‌که اصول طراحی صفحات بر مبنای تئوری ایرفویل است و از این رو از صفحه B_1 (صفحه مستطیلی ساده) تا صفحه B_5 ، به‌طور گام به گام بر تغییرات شکل صفحات افزوده شده است (ستون ملاحظات در جدول ۱).

بازه‌ای از فلوم به طول $3/67$ متر، به ضخامت 0.10 متر از ماسه طبیعی (رسوبات رودخانه‌ای) با قطر متوسط 0.005 متر و انحراف معیار هندسی $\sigma = (d_{84}/d_{16})^{1/5} = 1/2$ پوشیده شد، که در آن d_{84} و d_{16} اندازه ذره‌ای هستند که به ترتیب شانزده، و هشتاد و چهار درصد وزنی ذرات رسوب مورد آزمایش از آن اندازه کوچک‌ترند. به‌ایزی $1/3 < \sigma$ مصالح بستر رسوبی یکنواخت فرض می‌شوند. همچنین به‌ایزی $1/3 < \sigma$ از اثر حفاظتی ذرات رسوبی درشت‌تر^۱ صرف‌نظر می‌شود (Raudkivi & Ettema, 1985). توصیف مدل آزمایشگاهی در تحقیق عزیززی و شفاعی‌بجستان (Azizi & Shafai-Bejestan, 2011) ارائه شده است. در این تحقیق، آزمایش‌ها در شدت‌های جریان (U/U_c) 0.78 ، 0.93 ، 1.10 و 1.19 (به ترتیب متناظر با دبی‌های 0.03 ، 0.035 ، 0.04 و 0.045 مترمکعب بر ثانیه) و روی پنج شکل مختلف صفحات (جدول ۱) اجرا شد. U سرعت متوسط جریان و U_c سرعت آستانه حرکت رسوبات است.

تأثیر عامل شکل صفحات مستغرق بر مدیریت...

جدول ۱- مشخصات صفحات مورد استفاده در تحقیق حاضر

نوع صفحه	نمای سه بعدی صفحات	ملاحظات
B _۱		صفحه مستطیلی ساده ضخامت صفحه: ۱ سانتی متر
B _۲		مشابه صفحه B _۱ ، با این تفاوت که ضخامت صفحه، از لبه ابتدایی تا لبه انتهایی، به طور یکنواخت از ۱ سانتی متر به ۰/۵ سانتی متر کاهش می یابد
B _۳		مشابه صفحه B _۲ ، با این تفاوت که لبه ابتدایی صفحه، نیم دایره ای شده است (شعاع نیم دایره ۰/۵ سانتی متر است).
B _۴		مشابه صفحه B _۲ ، با این تفاوت که بخش تحتانی انتهای صفحه انحنادار شده است.
B _۵		مشابه صفحه B _۴ ، با این تفاوت که طول یال تحتانی به اندازه ۳/۵ سانتی متر افزایش و طول یال فوقانی صفحه به اندازه ۳/۵ سانتی متر کاهش یافته است.

$$H_o = 0.3d_o \quad (۱)$$

$$L = 3H_o \quad (۲)$$

$$\delta_s = 10H_o \quad (۳)$$

در هر آزمایش، هر نوع از صفحات مستغرق در یک سیستم سه ردیفه با یک صفحه در هر ردیف، در امتداد خط مرکزی فلوم و با زاویه ۲۰ درجه نسبت به جریان اصلی نصب شدند. در تمام آزمایشها عمق جریان (d_o)، ثابت و برابر با ۰/۲۵ متر بود. ارتفاع اولیه (H_o) و طول (L) صفحه مستطیلی ساده و فاصله مرکز تا مرکز صفحات در امتداد طولی (δ_s) در سیستم صفحات، بر اساس معیارهای ارائه شده توسط اودگارد (Odgaard, 2008) (روابط ۱ تا ۳) به ترتیب ۰/۰۷۵، ۰/۲۲۵ و ۰/۷۵ متر تعیین شد.

هر یک از صفحات، در چهار شدت جریان بررسی و در مجموع بیست آزمایش اجرا شد (جدول ۲). در هر آزمایش، بستر رسوبی با استفاده از یک تراز حباب دار کاملاً مسطح می شد، سپس به مدت ۱۸۰ دقیقه، جریان در فلوم برقرار می گردید. ۱۸۰ دقیقه مدت زمانی است که طول می کشد تا اولین موج فرم بستری، که در پایین دست

قبل از تبدیل کف، با رسوبات انباشته شد. با این روش در حین آزمایش، رسوبات به صورت بار بستر وارد محدوده اصلی آزمایش (بازه ۲۴۰+۱۲۷ سانتی متر در شکل ۳) می‌شوند و ضمن انتقال به پایین دست در فرآیندهای رسوبی ناشی از صفحات مستغرق شرکت می‌کنند. پس از اتمام هر آزمایش بستر رسوبی زهکشی و با استفاده از دستگاه فاصله‌سنج لیزری، نیمرخ عرضی بستر رسوبی در چندین مقطع، شامل لبه ابتدایی و مرکز صفحات و نیز در مقاطعی در پایین دست صفحات، برداشت می‌شد.

صفحات شکل می‌گیرد، در شرایط کمترین شدت جریان ($U/U_c = 0.78$) به انتهای بازه رسوبی برسد. در این مدت زمان، فرآیندهای رسوبی مورد نظر در این تحقیق کامل شده است.

همچنین، با مقایسه عمق جریان و ارتفاع اولیه صفحات مشخص می‌شود که عمق جریان همواره بیش از سه برابر ارتفاع صفحات است (استغراق نسبی ۷۰ درصد صفحات) که در نتیجه آن، استقرار صفحات نیمرخ سطح آزاد جریان را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. به منظور ایجاد شرایط بستر متحرک در شدت‌های جریان ۱/۱۰ و ۱/۱۹ در بخش ابتدایی فلوم،

جدول ۲- برنامه آزمایش‌های انجام شده در تحقیق حاضر

آزمایش	نوع صفحه	شدت جریان	زمان (دقیقه)	قطر متوسط رسوبات (میلی متر)	استغراق نسبی (درصد)
۱	B _۱	۰/۷۸	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۲	B _۱	۰/۹۳	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۳	B _۱	۱/۱۰	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۴	B _۱	۱/۱۹	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۵	B _۲	۰/۷۸	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۶	B _۲	۰/۹۳	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۷	B _۲	۱/۱۰	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۸	B _۲	۱/۱۹	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۹	B _۳	۰/۷۸	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۱۰	B _۳	۰/۹۳	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۱۱	B _۳	۱/۱۰	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۱۲	B _۳	۱/۱۹	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۱۳	B _۴	۰/۷۸	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۱۴	B _۴	۰/۹۳	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۱۵	B _۴	۱/۱۰	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۱۶	B _۴	۱/۱۹	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۱۷	B _۵	۰/۷۸	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۱۸	B _۵	۰/۹۳	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۱۹	B _۵	۱/۱۰	۱۸۰	۰/۵	۷۰
۲۰	B _۵	۱/۱۹	۱۸۰	۰/۵	۷۰

مشاهدات

بستر رسوبی ناشی از صفحه B_5 ، پس از قطع جریان، شدت جریان $1/19$ ارائه شده است. با توجه شکل ۴ (الف) شرایط بستر رسوبی در بالادست صفحات بدون تغییر باقی مانده و فرسایش و کاهش تراز رخ نداده است. در شکل ۴ (ب) رسوب گذاری و تجمع رسوبات در سمت پرفشار صفحات، و فرسایش و کاهش تراز در سمت کم فشار صفحات مشاهده می شود.

در تحقیق حاضر، در شدت جریان $0/78$ و $0/93$ شرایط آبشستگی آب زلال، و در شدت جریان $1/10$ و $1/19$ شرایط آبشستگی بستر متحرک برقرار بود. در شکل ۴ (الف) نمونه ای از توپوگرافی بستر رسوبی، ناشی از صفحه B_1 ، پس از زهکشی کامل بستر رسوبی، در شدت جریان $0/84$ ، و در شکل ۴ (ب) نمونه ای از توپوگرافی

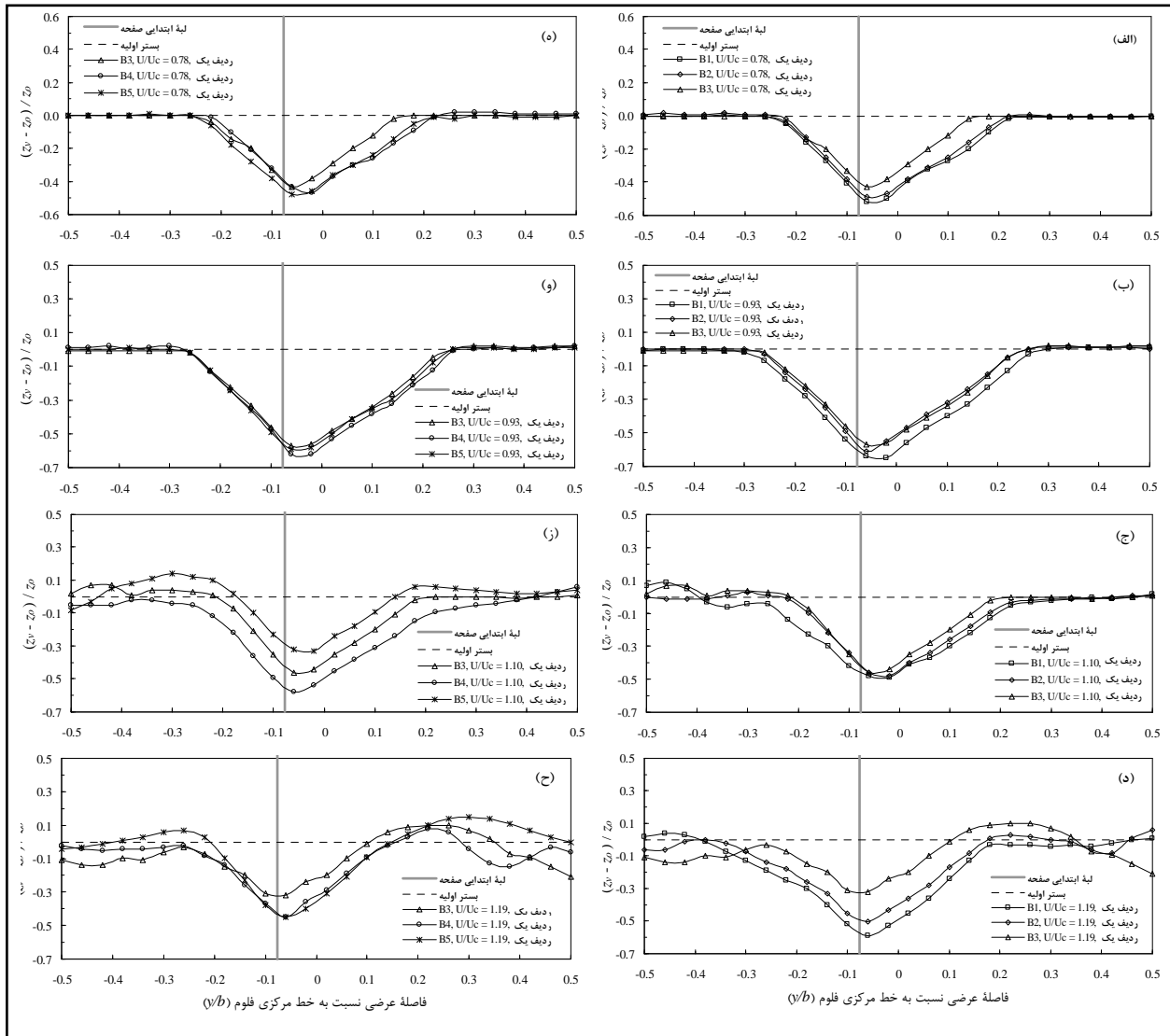


شکل ۴- (الف) توپوگرافی بستر رسوبی پس از زهکشی کامل، صفحه نوع B_1 در $U/U_c = 0/78$ ؛ و (ب) توپوگرافی بستر رسوبی پس از قطع جریان، صفحه نوع B_5 در $U/U_c = 1/19$

به خط مرکزی فلوم ترسیم شده است. با توجه به شکل های ۵ (الف، ب، ج، د)، کمترین آبشستگی در لبه ابتدایی صفحه B_3 رخ داده است. در شکل های ۵ (ه، و، ز، ح) با مقایسه نمودارهای نیم رخ عرضی مربوط به صفحات B_4 و B_5 ، با نمودارهای مربوط به صفحه B_3 ، مشخص می شود که آبشستگی ناشی از صفحه B_3 نسبت به صفحات B_4 و B_5 نیز کمتر است. تنها تفاوت در روند مشاهده شده، به صفحه B_4 در $U/U_c = 0/93$ (شکل ۵- ز) مربوط می شود که ناشی از خطاهای آزمایشی است. روند تغییرات عمق آبشستگی در لبه ابتدایی صفحات در جدول ۳ خلاصه شده است. با توجه به جدول ۳ و صرف نظر از دو داده انتهایی ستون (۷) که نامتناسب با سایر داده های جدول هستند، کمترین عمق آبشستگی و به ازای آن، بیشترین درصد کاهش آبشستگی مربوط به صفحه B_3 است.

نتایج و بحث

با استفاده از داده های مربوط به توپوگرافی بستر رسوبی می توان تأثیر شکل های مختلف صفحات را بر آبشستگی موضعی پیرامون صفحات و الگوی رسوب گذاری عرضی رسوبات ارزیابی کرد. به این منظور در شکل ۵، نیم رخ عرضی بستر رسوبی در محل لبه ابتدایی صفحات در اولین ردیف، در اعداد فرود مختلف، ترسیم شده است. برای گویایی نمودارها، ابتدا در شکل های ۵ (الف، ب، ج، د) نمودارهای مربوط به صفحات B_1 ، B_2 ، و B_3 ارائه شده، و سپس در شکل های ۵ (ه، و، ز، ح) نمودارهای مربوط به صفحات B_4 و B_5 در مقایسه با صفحه B_3 ترسیم شده اند. در این شکل z_0 تراز بستر رسوبی اولیه و z_1 تراز بستر رسوبی در نتیجه استقرار صفحات است. در شکل ۵ بستر رسوبی اولیه با خط چین افقی و موقعیت لبه ابتدایی صفحات با خط پُر قائم نسبت



شکل ۵- نیم‌رخ عرضی بستر رسوبی در محل لبه ابتدایی اولین صفحه

(الف) $U/U_c = 0.78$ ؛ (ب) $U/U_c = 0.93$ ؛ (ج) $U/U_c = 1.10$ ؛ (د) $U/U_c = 1.19$ ؛ (ه) $U/U_c = 0.78$ ؛ (و) $U/U_c = 0.93$ ؛ (ز) $U/U_c = 1.10$ ؛ (ح) $U/U_c = 1.19$

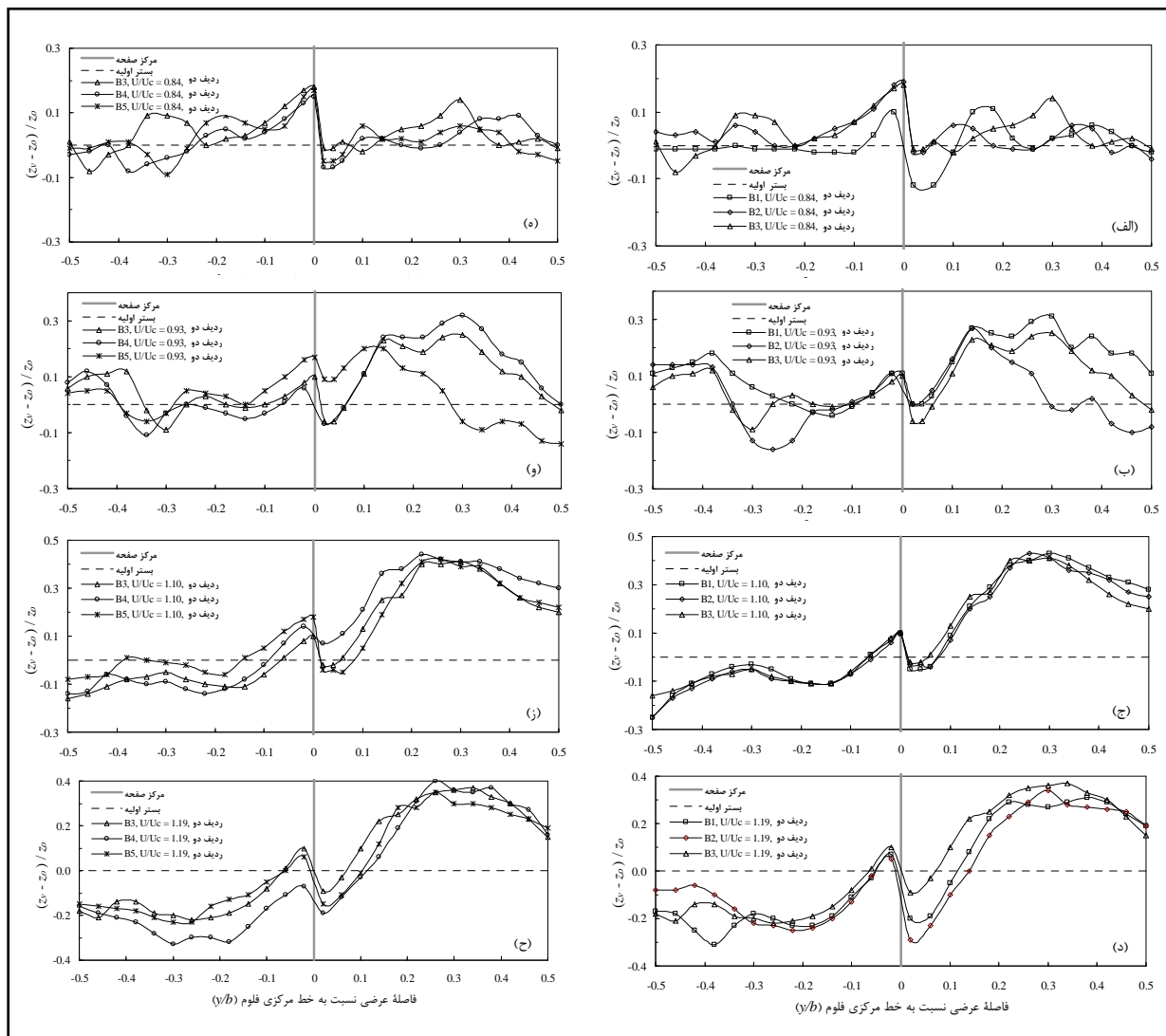
جدول ۳- عمق آب‌شستگی و درصد کاهش آب‌شستگی در محل لبه ابتدایی اولین صفحه، در شدت‌های جریان مختلف

نوع صفحه	$U/U_c = 1/19$		$U/U_c = 1/10$		$U/U_c = 0.93$		$U/U_c = 0.78$	
	عمق آب‌شستگی (سانتی‌متر)	درصد کاهش	عمق آب‌شستگی (سانتی‌متر)	درصد کاهش	عمق آب‌شستگی (سانتی‌متر)	درصد کاهش	عمق آب‌شستگی (سانتی‌متر)	درصد کاهش
B _۱	۵/۲	۰/۰	۴/۹	۰/۰	۶/۵	۰/۰	۵/۲	۰/۰
B _۲	۴/۹	۵/۸	۴/۸	۶/۲	۶/۱	۶/۲	۴/۹	۱۵/۳
B _۳	۴/۳	۱۷/۳	۴/۶	۱۲/۳	۵/۷	۱۲/۳	۴/۳	۴۵/۸
B _۴	۴/۷	۹/۶	۵/۸	۴/۶	۶/۲	۴/۶	۴/۷	۲۳/۷
B _۵	۴/۸	۷/۷	۳/۳	۹/۲	۵/۹	۹/۲	۴/۸	۲۳/۷

تأثیر عامل شکل صفحات مستغرق بر مدیریت...

همه، نمودارهای ۶ (ب، و، ز) مغایر با این نتیجه هستند. یکی از دلایل محتمل برای بروز چنین مغایرتی، یکسان نبودن تراکم رسوبات بستر در موارد مذکور است. در سیستم صفحات، گسترش چاله فرسایشی عمدتاً در پیرامون صفحات اولین ردیف صورت می‌گیرد که مستقیماً در معرض جریان اصلی قرار دارند. در میدان تحت تأثیر صفحات ردیف‌های پایین دست، در نتیجه هم‌پوشانی جریان‌های چرخشی ناشی از صفحات، الگوی توزیع عرضی رسوبات، کامل می‌شود.

در شکل ۶، نیم‌رخ عرضی بستر رسوبی در مرکز دومین صفحه در سیستم صفحات نشان داده شده است. در این شکل نیز به منظور وضوح بیشتر نمودارها، ابتدا در شکل‌های ۶ (الف، ب، ج، د) نیم‌رخ‌های ناشی از سه نوع اول صفحات (B_1, B_2, B_3) ارائه شده است، سپس در شکل‌های ۶ (ه، و، ز، ح) نیم‌رخ‌های ناشی از صفحات B_4 و B_5 در مقایسه با صفحه B_3 ترسیم شده است. با توجه به نمودارهای ارائه شده، چاله فرسایشی ناشی از صفحه B_3 نسبت به سایر صفحات، کمتر گسترش یافته است. با این



شکل ۶- نیم‌رخ عرضی بستر رسوبی در محل مرکز دومین صفحه

(الف) $U/U_c = +0.78$ (ب) $U/U_c = +0.93$ (ج) $U/U_c = 1/10$ (د) $U/U_c = 1/19$ (ه) $U/U_c = +0.78$ (و) $U/U_c = 1/10$ (ز) $U/U_c = 1/19$ (ح) $U/U_c = 1/19$

از عمق آب‌شستگی کاسته شده است. چنان‌چه فاصله طولی بین صفحات (δ_s) به گونه‌ای افزایش یابد که هم‌پوشانی جریان چرخشی ناشی از صفحات تحت تأثیر قرار گیرد، آنگاه عمق آب‌شستگی در محل لبه ابتدایی صفحات پایین‌دست نیز افزایش خواهد یافت.

در جدول ۴ درصد کاهش عمق آب‌شستگی در محل لبه ابتدایی صفحات ردیف دوم و سوم نسبت به صفحه ردیف اول ارائه شده است. با توجه به این جدول، به طور متوسط در محل لبه ابتدایی صفحات ردیف دوم ۵۲ درصد، و در محل لبه ابتدایی صفحات ردیف سوم ۵۶ درصد (نسبت به صفحات ردیف اول)

جدول ۴- درصد کاهش عمق آب‌شستگی در محل لبه ابتدایی صفحات ردیف دوم و سوم، نسبت به صفحه ردیف اول

ردیف ۳	ردیف ۲	ردیف ۱	شدت جریان	نوع صفحات
۴۲	۳۷	مینا	۰/۷۸	B _۱
۴۴	۵۱	مینا	۰/۹۳	
۳۷	۳۹	مینا	۱/۱۰	
۶۱	۲۷	مینا	۱/۱۹	
۶۱	۵۹	مینا	۰/۷۸	B _۲
۵۳	۵۷	مینا	۰/۹۳	
۵۰	۴۲	مینا	۱/۱۰	B _۳
۵۶	۲۲	مینا	۱/۱۹	
۶۱	۵۸	مینا	۰/۷۸	
۶۰	۵۸	مینا	۰/۹۳	
۵۴	۷۶	مینا	۱/۱۰	B _۴
۶۱	۴۱	مینا	۱/۱۹	
۷۲	۷۰	مینا	۰/۷۸	
۵۲	۵۲	مینا	۰/۹۳	
۸۶	۶۶	مینا	۱/۱۰	B _۵
۵۱	۳۴	مینا	۱/۱۹	
۶۱	۷۰	مینا	۰/۷۸	
۵۴	۶۸	مینا	۰/۹۳	
۴۸	۷۴	مینا	۱/۱۰	
۵۵	۴۷	مینا	۱/۱۹	

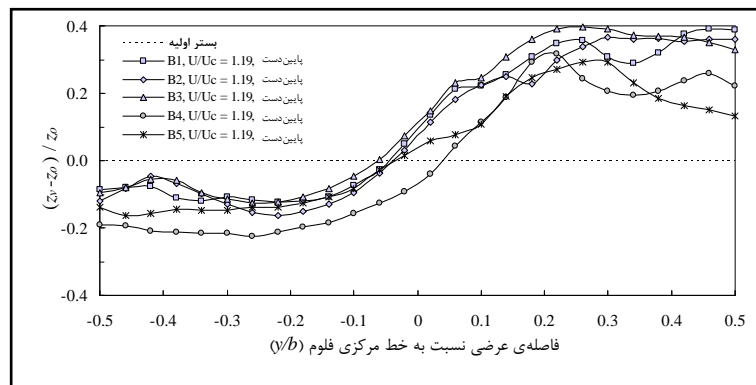
قطر کمتر از ۰/۹ میلی‌متر استفاده شده است، لذا تشکیل فرم‌های بستر متعلق به رژیم جریان پایینی در تمام آزمایش‌ها مشهود است. وجود فرم‌های بستر، مخصوصاً در شرایط آب‌شستگی آب زلال، مقایسه عملکرد صفحات را با مشکل مواجه می‌سازد؛ در نتیجه، برای مقایسه عملکرد صفحات در توزیع عرضی رسوبات، از نتایج آزمایش‌های با شرایط آب‌شستگی بستر متحرک استفاده شده است زیرا

در شکل‌های ۶ (الف، ب، ه، و) به دلیل وقوع آب‌شستگی آب زلال، امکان مقایسه الگوی رسوب‌گذاری و توزیع عرضی رسوبات وجود ندارد. با بررسی شکل‌های ۶ (ج، د، ز، ح) الگوی توزیع تقریباً مشابهی مشاهده می‌شود. شکل‌های ۶ (ز، ح) توانایی بیشتر صفحه B_۴ را در تعمیق نیمه‌چپ بستر رسوبی (سمت کم‌فشار صفحات) نشان می‌دهند. با توجه به این‌که در تحقیق حاضر از رسوبات با

تأثیر عامل شکل صفحات مستغرق بر مدیریت...

ترسیم شده است. این شکل نیز نشان می‌دهد که عملکرد صفحه B_3 در ایجاد خاکریز در سمت پرفشار صفحات، بهتر از سایر صفحات بوده است. در عین حال به طور نسبی، صفحه B_4 در تعمیق بستر رسوبی در سمت کم‌فشار صفحات عملکرد بهتری داشته است.

در این شرایط، انتقال رسوبات از بالادست، روند توزیع عرضی رسوبات را بهبود می‌بخشد. در شکل ۷، نیم‌رخ عرضی بستر رسوبی در پایین دست صفحات ردیف دوم، به صورت متوسط نیم‌رخ عرضی بستر در سه مقطع که در فواصل $2H_0$ ، $4H_0$ و $6H_0$ نسبت به مرکز صفحات میانی داشتند، در $U/U_c = 1/19$

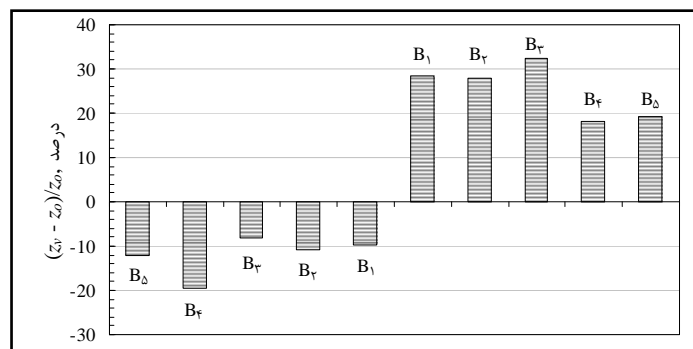


شکل ۷- نیم‌رخ عرضی بستر رسوبی در پایین دست دومین صفحه

متوسط سه مقطع که به ترتیب در فاصله $2H_0$ ، $4H_0$ و $6H_0$ نسبت به مرکز صفحه قرار دارند، $U/U_c = 1/19$

۸، آب‌شستگی ناشی از صفحه B_4 در نیمه سمت چپ فلوم، دو برابر آب‌شستگی ناشی از صفحه B_1 است. آب‌شستگی ناشی از صفحات B_2 و B_5 به ترتیب $9/2$ و $24/5$ درصد بیشتر از آب‌شستگی ناشی از صفحه B_1 و آب‌شستگی ناشی از صفحه B_3 حدود $17/3$ درصد کمتر از صفحه B_1 بوده است. بنابراین از بین پنج صفحه مورد بررسی، عملکرد دو صفحه B_3 و B_4 در توزیع عرضی رسوبات بستر مناسب بوده است.

به منظور مقایسه بهتر عملکرد صفحات در توزیع عرضی رسوبات، متوسط افزایش یا کاهش تراز بستر بعد از نصب صفحات، نسبت به بستر رسوبی اولیه، در شکل ۸ ترسیم شده است. با توجه به این شکل، تراز خاکریز ناشی از صفحه B_3 به میزان ۱۴ درصد نسبت به صفحه B_1 افزایش یافته است. تراز خاکریز ناشی از صفحات B_2 ، B_4 و B_5 نسبت به صفحه B_1 به ترتیب به میزان $1/8$ ، $36/1$ و $32/6$ درصد کاهش یافته است. همچنین با توجه به شکل



شکل ۸- درصد متوسط افزایش و کاهش تراز بستر رسوبی نسبت به بستر مسطح اولیه در پایین دست صفحات

نتیجه گیری

۴۵/۸ درصد کاهش یافته است. با ارزیابی نیمرخ عرضی بستر در مقطعی در مرکز صفحات ردیف دوم نیز روند مشابهی مشاهده شد.

بررسی الگوی توزیع عرضی رسوبات در شرایط آبشستگی بستر متحرک، در مقطعی در مرکز، و در سه مقطع در پایین دست صفحات ردیف دوم نشان می دهد که صفحه B_۲، نسبت به سایر صفحات، عملکرد بهتری در رسوب گذاری و ایجاد خاکریز در سمت پرفشار صفحات دارد؛ در عین حال صفحه B_۴ در تعمیق بستر رسوبی در سمت کم فشار صفحات عملکرد بهتری دارد. با در نظر گرفتن عملکرد بهتر صفحه نوع B_۳، که هم باعث کاهش آبشستگی موضعی اطراف آن و هم باعث توزیع عرضی بهتر رسوب در پایین دست آن شده است، این صفحه (B_۳)، صفحه با لبه ابتدایی گرد شده و ضخامت کاهش یافته در امتداد طول صفحه) مناسب ترین صفحه تعیین شد.

در سیستم صفحات مورد بررسی، مشخص شد که بیشترین آبشستگی در پیرامون صفحات ردیف اول رخ می دهد، که مستقیماً در معرض جریان بالادست قرار دارند. در محل لبه ابتدایی صفحات ردیف دوم، به طور متوسط در حدود ۵۲ درصد، و در محل لبه ابتدایی صفحات ردیف سوم در حدود ۵۶ درصد، نسبت به صفحات ردیف اول، عمق آبشستگی کاهش یافته است.

با مقایسه نیمرخ های عرضی بستر رسوبی در محل لبه ابتدایی اولین صفحات مشخص شد که صفحه B_۲ کمترین عمق آبشستگی را در محل لبه ابتدایی صفحات موجب می شود، به طوری که حداکثر عمق آبشستگی در محل لبه ابتدایی صفحه B_۳ نسبت به صفحه مستطیلی ساده (صفحه B_۱)، در شدت های جریان ۰/۷۸، ۰/۹۳، ۱/۱۰ و ۱/۱۹ به ترتیب به میزان ۱۷/۳، ۱۲/۳، ۶/۱ و

قدردانی

نویسندگان لازم می دانند که از اداره کل راه و ترابری استان خوزستان به خاطر حمایت مالی این طرح تشکر نمایند.

مراجع

- Azizi, R. and Shafai-Bejestan, M. 2011. Experimental investigation on the effect of submerged vanes on sedimentation patterns. Proceeding of the 4th Iran Water Resources Management Conference. April. 3-4. Amir-Kabir University of Technology. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Behzadipoor, A. 1997. Investigation on sedimentation at Amir-Kabir pump station and its reduction approaches. M. Sc. Thesis. Faculty of Water Science Engineering. Shahid Chamran University (SCU). Ahvaz. Iran. (in Farsi)
- Hosaini, S., Hosainzadeh-Dalir, A., Farsadizadeh, D. and Uornaghi, H. 2010. Scour control around rectangular piers using submerged vanes and collar. Proceeding of the 9th Iranian Hydraulic Conference. Nov. 9-11. Tarbiat Modares University (TMU). Tehran. Iran. (in Farsi)
- Odgaard, A. J. 2008. River Training and Sediment Management with Submerged Vanes. ASCE Press. Washington D. C.
- Odgaard, A. J. and Kennedy, J. F. 1983. River-bend bank protection by submerged vanes. J. Hydraul. Eng. ASCE. 109(8): 1161-1173.

- Odgaard, A. J. and Spoljaric, A. 1986. Sediment control by submerged vanes. J. Hydraul. Eng. ASCE. 112(12): 1164-1181.
- Odgaard, A. J. and Mosconi, C. E. 1987. Streambank protection by submerged vanes. J. Hydraul. Eng. ASCE. 113(4): 520-536.
- Odgaard, A. J. and Wang, Y. 1991a. Sediment management with submerged vanes, I: Theory. J. Hydraul. Eng. ASCE. 117(3): 267-283.
- Odgaard, A. J. and Wang, Y. 1991b. Sediment management with submerged vanes, II: Application. J. Hydraul. Eng. ASCE. 117(3): 284-302.
- Ouyang, H. T. 2009. Investigation on the Dimensions and shape of a submerged vane for sediment management in alluvial channels. Hydraul. Eng. ASCE. 135(3): 209-217.
- Raudkivi, A. J. and Ettema, R. 1985. Scour at cylindrical bridge piers in armored beds. Hydraul. Eng. ASCE. 111(4): 713-731.
- Shams-Aldini-Nejad, A. and Keshavarzi, A. 2007. Determining optimum installation angle of submerged vanes based on its effect on sheet secondary currents. Proceeding of the 7th International River Engineering Seminar. Feb. 13-15. Shahid Chamran University (SCU). Ahvaz. Iran. (in Farsi)
- Soleimani-Osboei, H. R. 1996. Arrangement effect of submerged vanes on the bed morphology in river sections. M. Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources. Tehran University. Tehran. Iran. (in Farsi)
- 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. Waterw. Port. C- ASCE. 131(3):132-136.
- Valizadeh, M., Keshavarzi, A. and Sistani, B. 2008. Effect of submerged vane on flow properties in compound channels. Proceeding of the 4th National Conference on Civil Engineering. May 6-8. University of Tehran. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Wang, Y. 1991. Analysis of flow past submerged vanes. J. Hydraul. Res. 38(1): 65-71.
- Wang, Y., Odgaard, A. J., Melville, B. W. and Jain, S. C. 1996. Sediment control at water intakes. J. Hydraul. Eng. ASCE. 122(6): 353-356.

Effect of Submerged Vane Shape on Bed Sediment Management

R. Azizi^{*}, M. Shafai-Bejestan and M. Ghomeshi

* Corresponding Author: Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran. Email: re_azizi@ymail.com

Received: 25 April 2012, Accepted: 15 June 2013

The shape of a submerged vane is a major factor in the design of a vane system and affects the performance and secondary currents generated by the vanes. This study investigated the effect of five vane shapes on bed sediment processes (local scour at the leading edge and transverse distribution of sediment downstream of the vanes) at four flow intensities for a total of 20 experiments. The results of the comparison of vane-induced bed-level changes show that a vane with a rounded leading edge and decreased thickness in the longitudinal direction performed best at decreasing local scour at the edge of the vane by about 17.3% for $U/U_c = 0.78$, 12.3% for $U/U_c = 0.93$, 6.1% for $U/U_c = 1.10$, and 45.8% for $U/U_c = 1.19$. It was found that decreasing the cross-section area of the vane using shape modification decreased sedimentation and increased the sediment bed level on the high-pressure side of the vane.

Keywords: Local scour, Physical model, Secondary current, Submerged vane