

بررسی تأثیر اصلاح ساختار هندسی صفحات مستغرق بر میزان آبشستگی اطراف آنها با حضور آبگیر جانبی

امین جوبند^۱، محمد حسین پورمحمدی^{۲*}

۱- گروه عمران، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران، ajobband67@gmail.com

۲- گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران، purmohammadi@gmail.com

ت

چکیده

برداشت آب همیشه در زمان بهره برداری به واسطه روش های انتقال آب و قوانین هیدرولیکی و هیدرولوژیکی با مشکلاتی مواجه بوده است که مهمترین آن رسوب گذاری بستر در دهانه های آبگیر و کانال آبگیر می باشد. یکی از روشهای کنترل رسوب وارده به آبگیر جانبی استفاده از صفحات مستغرق است، صفحات مستغرق قطعات کوچکی از جنس های مختلف هستند که در زاویه ای کم نسبت به جهت جریان (۱۰ تا ۳۰ درجه) قرار میگیرند که در اثر ایجاد جریان گردابی عمود بر جهت جریان در لایه های بستر موجب آبشستگی اطراف و پایین دست صفحه شده و چاله ای در رسوب بستر علاوه بر ایجاد کانال عبور رسوبات به پایین دست ایجاد می کند. آبشستگی اطراف صفحات علاوه بر کاهش عملکرد آنها باعث تغییر شرایط هیدرولیکی و ورود رسوب بیشتر در آبگیر میشود که بررسی میزان آن در انتخاب شکل بهینه هم موجب بالا رفتن طول عمر و زمان بازدهی صفحه و هم کنترل رسوب بیشتر می شود در این مقاله با استفاده از مدل سازی عددی با نرم افزار CCHE 2D برای ۵ شکل هندسی صفحات مستغرق در چهار عدد فرود ۰/۴۵، ۰/۵۵، ۰/۶ و ۰/۶۶ براساس کار آزمایشگاهی داوودی و همکاران (۱۳۹۴) شبیه سازی شده با این تفاوت که علاوه بر شکل مستطیلی ۴ شکل اصلاح شده نیز بررسی که هدف اندازه گیری میزان آبشستگی اطراف این صفحات به منظور شناسایی اثر اصلاح ساختار هندسی در کاهش آبشستگی می باشد که صفحات B3 و بعد از آن B4 بهترین عملکرد را داشتند.

واژه های کلیدی: اصلاح ساختار، صفحات مستغرق، آبگیر جانبی، آبشستگی

مقدمه

که در زاویه ای کم نسبت به جهت جریان (۱۰ تا ۳۰ درجه) قرار میگیرند صفحات مستغرق با ایجاد جریان های ثانویه در دو دست ابتدا و انتها منجر به ایجاد خاکریز در سمت پرفشار و همچنین آب شستگی در سمت کم فشار می گردد. جریان های گردابی عمود بر جهت جریان باعث فرسایش بستر در پایین دست و ایجاد کانال عبور رسوبات می گردند. افزایش آبشستگی با ایجاد گرداب و حفره در لبه ی ابتدای صفحه باعث کاهش بازدهی و در نهایت واژگونی و تخریب صفحه

برداشت آب از منابع زیرسطحی و رو سطحی همیشه در زمان بهره برداری به واسطه روش های انتقال آب و قوانین هیدرولیکی و هیدرولوژیکی با مشکلاتی مواجه بوده است که مهمترین آن رسوب گذاری بستر در دهانه های آبگیر و کانال آبگیر می باشد. یکی از روشهای کنترل رسوب وارده به آبگیر جانبی استفاده از صفحات مستغرق است، صفحات مستغرق قطعات کوچکی از جنس های مختلف هستند

شکل ۱ - یلان کلی کار آزمایشگاهی

رسوبات مورد استفاده میانگین حسابی اندازه منافذ دو الک شماره ۱۰ و ۱۶ معادل ۱/۵۹ میلیمتر به عنوان قطر متوسط مصالح بستر در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ فلوم و آبگیر مورد استفاده در آزمایشگاه نشان داده شده است.

کار آزمایشگاهی در فلومی با ابعاد ۸/۲ متر طول، ۲۰/۵ سانتیمتر عرض و ارتفاع دیواره ها ۱ متر به عنوان کانال اصلی و آبگیر جانبی با ابعاد ۲/۶ متر طول، ۲۲ سانتیمتر عرض و ارتفاع دیواره ها ۳۰ سانتیمتر برای چهار عدد فرود ۰/۴۵، ۰/۵۵، ۰/۶ و ۰/۶۶ انجام شده است.



شکل ۲ - نمای کلی فلوم های آزمایشگاهی

در این پژوهش برای هندسه صفحات مستغرق از ۵ شکل مختلف با ابعاد و زوایای مخصوص به شرح شکل ۳ استفاده شده است.

صفحه‌ی مستطیلی ساده؛ طول صفحه: ۷/۵۱ سانتی‌متر ارتفاع صفحه: ۲/۵۵ سانتی‌متر ارتفاع فلوم عرض (ضخامت) صفحه: ۱ سانتی‌متر		B1
مشابه صفحه‌ی B1 با این تفاوت که ضخامت صفحه، از لبه‌ی ابتدایی تا لبه‌ی انتهایی، به طور یکنواخت از ۱ سانتی‌متر به ۰/۵ سانتی‌متر کاهش می‌یابد		B2
مشابه صفحه‌ی B2 با این تفاوت که لبه‌ی ابتدایی صفحه، نیم‌دایره‌ای شده است (شعاع نیم‌دایره ۰/۵ سانتی‌متر است).		B3
مشابه صفحه‌ی B3، با این تفاوت که بخش تحتانی انتهایی صفحه، انحنا دار شده است.		B4
مشابه صفحه‌ی B4، با این تفاوت که طول پال‌های تحتانی و فوقانی صفحه، به اندازه‌ی ۳/۵ سانتی‌متر، به ترتیب افزایش و کاهش یافته است.		B5

شکل ۳ - جزییات صفحات مستغرق مورد استفاده در آزمایشات

محل قرارگیری این صفحات با زاویه ۲۰ درجه نسبت به مسیر جریان در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ - بازه و محل قرارگیری صفحات مستغرق

فاصله	بازه قرارگیری صفحات مستغرق در کانال اصلی	طول بازه
۸H	از ۶۰ سانتیمتر بالادست، مقابل دهانه و ۳۷ سانتیمتر پایین دست آبگیر	۱۲۰ سانتی متر

شبیه سازی و مدل سازی

در ادامه با استفاده از نرم افزار CCHE 2D آزمایش فوق را عیناً شبیه سازی می شود و از جدول ۱ صرفاً فاصله ی طولی بهینه را مد نظر قرار می گیرد. با این تفاوت که از تمامی ۵ شکل اصلاح شده استفاده گردید و با توجه به اینکه درصد های به دست آمده در شبیه سازی شباهت به کار آزمایشگاهی در شکل B1 را دارد می توان نتیجه ی شبیه سازی در سایر اشکال را بست داده و آبستنگی اطراف صفحات را مورد بررسی قرار داد.

معرفی نرم افزار CCHE 2D

مدل CCHE2D در سال ۱۹۹۷ در مرکز بین المللی NCCHE توسط اقایان ونگ و هوو زیرنظر دانشگاه می سی سی پی آمریکا تهیه گردید در سالیان اخیر مدل مذکور به تدریج توسعه یافته به طوری که نگارش آخر آن از قابلیت های زیادی در زمینه شبیه سازی آب و رسوب برخوردار می باشد. کدهای این برنامه با استفاده از زبان برنامه نویسی فرترن ۹۰ نوشته شده است. به طور کلی این مجموعه شامل دومدل جداگانه CCHE2D، Mesh Generator و CCHE2D-GUI می باشد.

نحوه ی شبیه سازی

با توجه به ثابت بودن بار بستر نقشه ی توپوگرافی با استفاده از نرم افزار civil 3d ترسیم شده و با توجه به پلان رسم شده در نرم افزار Autocad Land مرتب

سازی و یکپارچه سازی نقاط انجام شده و سپس آماده ورود به مدل گردید.

پس از ایجاد پلان سناریو و ورود نقاط، از نرم افزار Autocad Land به شکل (space delimited) PENZD خروجی تهیه می گردد.

تعیین محدوده فیزیکی

شرایط مرزی

برای تعریف نخستین شرایط مرز از نوار ابزار ترسیم مرزهای محاسباتی استفاده گردید. بدین منظور ابتدا گزینه مرز نخست (First Boundary) انتخاب گردید. سپس ساحل چپ فلوم از بالادست به سمت پائین دست (در جهت جریان) نقطه گذاری می شود. در ادامه همین مراحل برای ساحل سمت راست جهت ایجاد شرایط مرز تکرار گردید. برای این منظور قبل از ترسیم مرز، گزینه مرز نخست را به گزینه مرز ثانویه (Second Boundary) تغییر داده و سپس مرز ساحل راست نیز ترسیم گردید.

شبکه بندی محدوده محاسباتی

از گزینه Generate Algebraic Mesh که تنها روش قابل دسترس می باشد تعداد I max و J max مناسب که همان تعداد خطوط طولی و عرضی می باشند، با توجه به ابعاد فلوم انتخاب می شود. I max برای معرفی حداکثر خطوط شبکه (I) در راستای جهت جریان فلوم و J max برای معرفی

نتایج و بحث

شرایط آبشستگی اطراف صفحات مستغرق در عدد فرود

در ادامه، نمودارهای مربوط به نیم رخ عرضی بستر در محل لبه ی ابتدایی کلیه صفحات نسبت به صفحه B1 به عنوان صفحه شاهد برای هر عدد فرود ارائه می گردد. عمدتاً وضعیت بستر رسوبی در لبه ی ابتدایی صفحات، معیار مقایسه ی عملکرد صفحات بوده است.

نتایج آبشستگی صفحات مستغرق در عدد فرود

۰/۴۵

همانطور که در شکل ۴ در عدد فرود ۰/۴۵ اولین عدد فرود مورد بررسی در شبیه سازی در نرم افزار CCHE 2D مقطع عرضی در فواصل مشخص حول محور صفحه مستغرق در لبه ابتدایی برای صفحات سری B آبشستگی رخ داده را ملاحظه می کنید. برای صفحه مسطحی که صفحه مبنا می باشد و سایر صفحات با آن مقایسه می گردند حداکثر عمق آبشستگی برابر ۵/۱ سانتیمتر می باشد که صفحه B2 این مقدار به عدد ۴/۵ سانتیمتر و معادل ۵/۳ درصد کاهش یافته همچنین برای صفحه B3 این مقدار به عدد ۴/۱ سانتیمتر رسیده که معادل ۱۶/۳ کاهش یافته است و نیز برای صفحه B4 این مقدار به عدد ۴/۲ رسیده که معادل ۸/۹ درصد کاهش یافته است. همچنین برای صفحه B5 این مقدار به ۴/۴ برداشت گردید که معادل ۷ درصد کاهش داشته است. در نتیجه در این عدد فرود بیشترین کاهش آبشستگی مربوط به صفحه B3 بوده است که مشخص کننده اثر ساختار هندسی صفحه که کاهش آبشستگی اطراف صفحات می باشد.

حداکثر خطوط شبکه (J) در راستای عمود بر جهت جریان فلوم استفاده می شود.

تنظیم پارامترهای جریان

گروه پارامترهای شبیه سازی

برای بخش گام زمانی (Time Step) زمان شبیه سازی (Simulation Time) ۳۶۰۰ ثانیه وارد می شود و گامهای زمانی (Time step) ۱۰۰ وارد می شود و کل گام های زمانی (R Total Time Steps) ۳۶ به صورت خودکار تنظیم می شود.

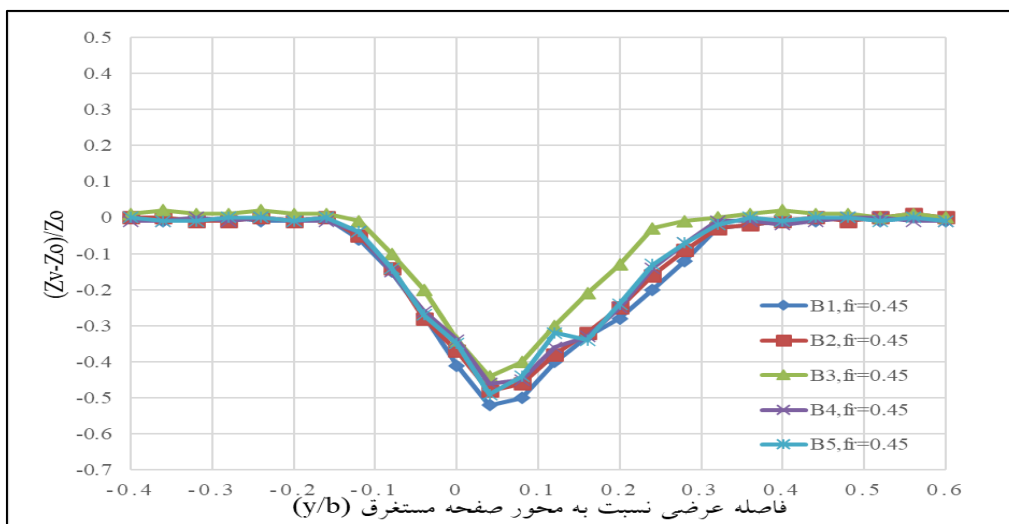
برای بخش گام زمانی خروجی (Time Step for Output) در این بخش مدت زمانی را که طبق بررسی نیاز است مدل خروجی را ارائه کند، وارد گردید. از همین رو در تحقیق حاضر عدد ۱۰ در قسمت (History File) و عدد ۱۰۰ در قسمت (Intermediate File) وارد شد، تا مدل هر ۱۰۰ ثانیه یکبار پارامترهای محاسبه شده را گزارش نماید. در بخش آشفتگی (Turbulence) مدل K-ε انتخاب می کنیم. در بخش Numerical گزینه Wall Slipness Coefficient برای تعیین شرایط مرزی دیواره که چون در فلوم هست لغزش صفر است.

گروه ضریب زبری بستر

به صورت پیش فرض با توجه به مدل آشفتگی انتخاب گردید.

گروه پارامترهای پیشرفته

در این صفحه پارامترهایی همچون ضریب شتاب کوریولیس، شتاب ثقلی، ثابت ون کارمن و ویسکوزیته سینماتیک باید وارد شوند که برای این مقادیر اعداد پیش فرض اختیار گردید.

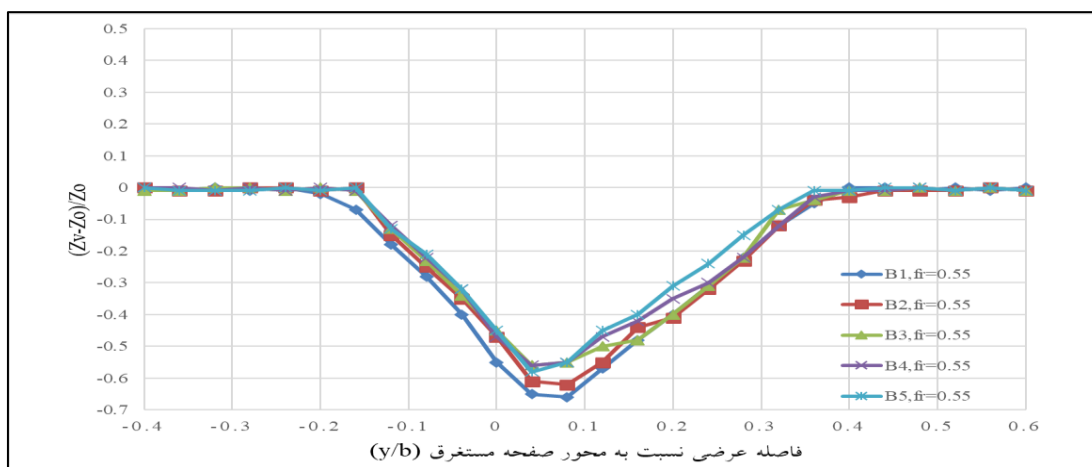


شکل ۴- نیم رخ عرضی آبستگي در محل لبه ی ابتدایی صفحات ، $Fr=0.45$

۱۱/۹ درصد کاهش آبستگي اتفاق افتاده و در صفحه B4 اين مقدار به عدد $5/7$ می رسد کاهش $3/5$ درصد را نشان می دهد همچنين برای صفحه B5 اين مقدار به $5/4$ می رسد که نسبت به صفحه شاهد کاهش $8/47$ را به نمایش می گذارد که در اين عدد فرود باز هم به صورت میانگين عملکرد صفحه B3 در کاهش آبستگي بيشتری را نشان می دهد که حاکی از مؤثر بودن اين نوع اصلاح ساختار هندسی صفحه در کاهش آبستگي اطراف خود در عدد فرود 0.55 را نشان می دهد.

نتایج آبستگي صفحات مستغرق در عدد فرود 0.55

همانطور که در شکل ۵ در عدد فرود 0.55 دومين عدد فرود مورد مطالعه ملاحظه می گردد عمق آبستگي در صفحه B1 که به عنوان صفحه شاهد نیز ملاک مقایسه قرار می گیرد و در بيشترین حالت و به صورت میانگين برابر $5/9$ سانتيمتر می باشد که برای صفحه B2 اين مقدار به عدد $5/8$ سانتيمتر که معادل $1/06$ درصد کاهش آبستگي اتفاق افتاده و همچنين اين مقدار برای صفحه B3 به $5/2$ معادل

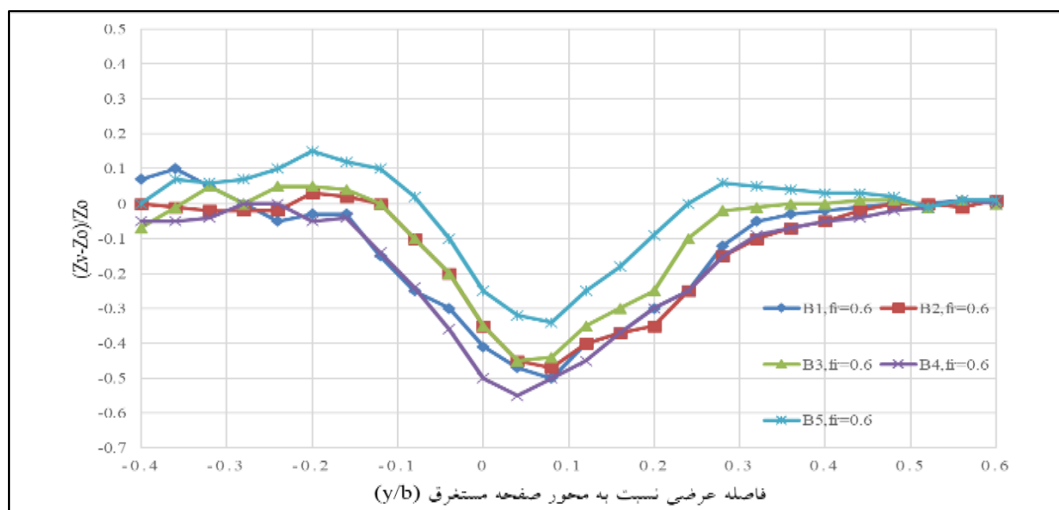


شکل ۵- نیم رخ عرضی آبستگي در محل لبه ی ابتدایی صفحات ، $Fr=0.55$

نتایج آبشستگی صفحات مستغرق در عدد فرود ۰/۶

همانطور که در شکل ۶ در عدد فرود ۰/۶ که سومین عدد مورد مطالعه در شبیه سازی می باشد حداکثر آبشستگی در صفحه شاهد موسوم به صفحه B1 عدد ۴/۵ سانتیمتر مشاهده می گردد . که این مقدار در صفحه B2 به ۴/۴ سانتیمتر معادل ۱/۹ درصد کاهش یافته و همچنین این مقدار در صفحه B3 به ۴/۲ سانتیمتر معادل ۵/۸ درصد کاهش یافته است و نیز این مقدار برای صفحه B4 به عدد ۵/۳ می رسد که نسبت به صفحه شاهد به میزان ۱۷/۱ درصد افزایش آبشستگی را نشان می دهد . به نظر می رسد علت این افزایش ایجاد گرداب های بزرگتری حول لبه انحنا دار صفحه در این عدد فرود بوجود آمده که تغییرات مولفه های عرضی سرعت در این امر مؤثر بوده است میزان

آبشستگی برای صفحه B5 به عدد ۳ سانتیمتر می رسد که ۲۹/۷ درصد کاهش میزان آبشستگی را به نمایش می گذارد . به نظر می رسد افزایش برش صفحه در لبه بالایی و انحنا در پایین صفحه اثر مؤلفه عرضی سرعت بر یکدیگر را در این عدد فرود خنثی کرده و این شکل در عدد فرود ۰/۶ عملکرد بهتری را ر کاهش آبشستگی اطراف خود به نمایش می گذارد که البته میزان کاهش آبشستگی به میزانی مطلوب است که چاله انحراف رسوب را در این لایه ایجاد کند . لذا هر کاهش آبشستگی به صورت کلی مطلوب به نظر نمی رسد و باید موضوع به صورت کمی در امتداد بستر مورد مطالعه قرار گیرد.



شکل ۶- نیم رخ عرضی آبشستگی در محل لبه ی ابتدایی صفحات ، $Fr=0.6$

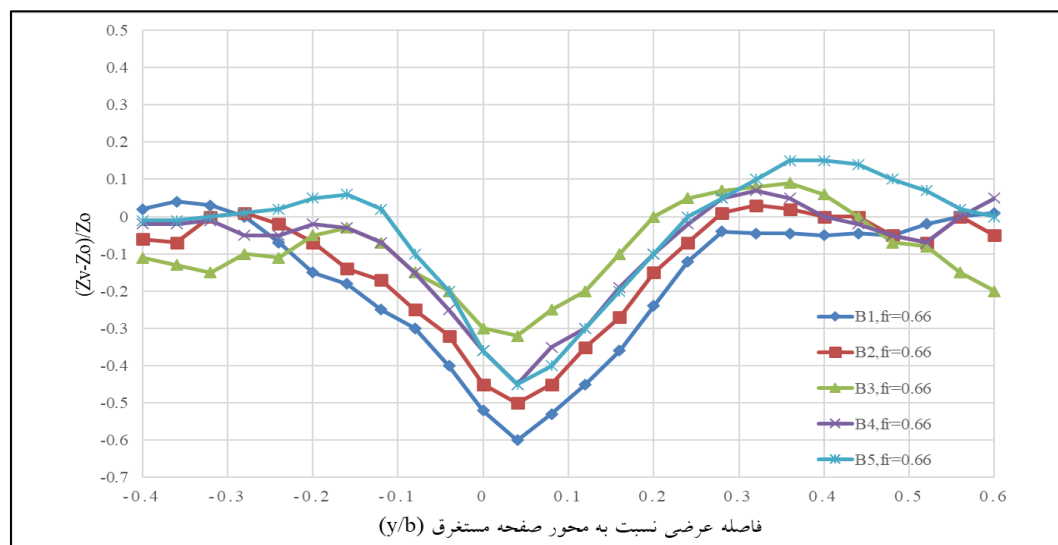
نتایج آبشستگی صفحات مستغرق در عدد فرود ۰/۶۶

همانطور که در شکل ۷ که نتایج را در عدد فرود ۰/۶۶ و آخرین عدد فرود مورد مطالعه ملاحظه می گردد عمق آبشستگی در صفحه شاهد به ۵/۴ سانتیمتر می رسد که در صفحه B2 این مقدار به عدد ۴/۵ سانتیمتر می رسد که کاهش ۱۴/۷ درصدی را نشان

می دهد همچنین برای صفحه B3 این مقدار به طور میانگین به ۲/۹ می رسد که کاهش ۴۲/۸ درصدی را نشان می دهد و نیز این مقدار برای صفحه B4 به طور میانگین به ۴/۱ سانتیمتر می رسد که معادل ۲۳/۲ درصد کاهش را نشان می دهد . برای صفحه B5 این مقدار به ۴/۳ سانتیمتر و همان درصد کاهش ۲۳/۲ درصد را نسبت به صفحه شاهد نشان می دهد.

مؤثر است. که البته در این عدد فرود مجدداً ملاحظه می شود که رفتار آبشستگی اطراف صفحات اثر شکل صفحه B3 را نسبت به سایر صفحات بهتر نشان می دهد.

بنابراین با توجه به افزایش عدد فرود که نتیجه آن کاهش محل رسوب در بستر را به دنبال دارد ملاحظه می شود که اثر صفحه در کاهش آبشستگی نسبت به سایر اعداد فرود بیشتر است این دلیل یعنی کاهش محل رسوب و تغییر مؤلفه های سرعت علاوه بر شکل هندسی صفحه به میزان آبشستگی اطراف صفحات



شکل ۷- نیم رخ عرضی آبشستگی در محل لبه ی ابتدایی صفحات ، $Fr=0.66$

درصد کاهش یافته عمق آبشستگی برای هر صفحه نسبت به صفحه B1 در هر عدد فرود در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ - میزان آبشستگی در اطراف صفحات مستغرق

نوع صفحه	Fr=0.66		Fr=0.6		Fr=0.55		Fr=0.45	
	درصد کاهش	عمق آب شستگی (cm)	درصد کاهش	عمق آب شستگی (cm)	درصد کاهش	عمق آب شستگی (cm)	درصد کاهش	عمق آب شستگی (cm)
B1	۰	۵/۴	۰	۴/۵	۰	۵/۹	۰	۵/۱
B2	۱۴/۷	۴/۵	۱/۹	۴/۴	۱/۰۶	۵/۸	۵/۳	۴/۵
B3	۴۲/۸	۲/۹	۵/۸	۴/۲	۱۱/۹	۵/۲	۱۶/۳	۴/۱
B4	۲۳/۲	۴/۱	-۱۷/۱	۵/۳	۴/۲	۵/۷	۸/۹	۴/۲
B5	۲۳/۲	۴/۳	۲۹/۷	۳/.	۸/۸	۵/۴	۷/۰	۴/۴

با توجه به نمودارهای مذکور، به ازای صفحه ی نوع B3 کم ترین آب شستگی در لبه ی ابتدایی صفحات رخ داده است؛ به استثنای شکل ۶. این شکل کم ترین آب شستگی را به ازای صفحه B5 نشان می دهد. دلیل این امر وارد شدن فرم های بستر به داخل چاله ی فرسایشی است که در نتیجه ی آن کاهش محسوسی نسبت به حالات دیگر مشاهده می شود.

نتیجه گیری کلی

در بین صفحات مختلف استفاده شده، صفحه نوع B3 بطور میانگین عملکرد بهتری در خصوص

آبشستگی نسبت به سایر صفحات از خود نشان داد. در مورد اصلاح شکل هندسی صفحات مشاهده شد که کمترین عمق آبشستگی و بیشترین درصد کاهش آبشستگی مربوط به صفحه B3 می باشد. عملکرد صفحه ی B3 در ایجاد خاکریز در سمت پرفشار صفحات، بهتر از سایر صفحات بوده است. در عین حال به طور نسبی، صفحه ی B4 در تعمیق بستر رسوبی در سمت کم فشار صفحات عملکرد بهتری داشته است. در نزدیکی لبه ی ابتدایی صفحات، مؤلفه های رو به پایین سرعت موجب آب شستگی در این محل می گردد.

منابع

۱. حسن پور، ف. ایوب زاده، س. ع. قدسیان، م. محمد ولی سامانی، ج. شمسی، ع. ۱۳۸۴. مطالعه آزمایشگاهی اثرات صفحات مستغرق بر میزان آبگیری، آبگیرهای جانبی ۹۰ درجه. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲. داودی، ل. شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۰. بررسی اثر فاصله طولی صفحات مستغرق بر کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در کانال دوزنقه ای. دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. عزیزی، ر. شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۱. بررسی اثر شکل بهینه و فاصله ی نصب صفحات مستغرق بر الگوی رسوب در بستر کانال. دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز
۴. غیاث آبادی فراهانی، ق. ۱۳۸۴. آنالیز عددی جریان پشت صفحات مستغرق با مدل k-ε. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران دانشگاه شهید باهنر کرمان
۵. گوهری، س. ایوب زاده، س. ع. قدسیان، م. صالحی نیشابوری، س. ع. ا. ۱۳۸۷. مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان در اطراف آبگیر جانبی با وجود صفحات مستغرق و آب شکن. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران دانشگاه تبریز
۶. یونسی، ح. ا. امید، م. ح. کاشفی پور، س. م. ۱۳۸۳. بررسی تأثیر آرایش طولی صفحات مستغرق در یک کانال مستقیم بر توپوگرافی بستر، افزایش نسبی راندمان آبگیری و کاهش رسوب گذاری در دهانه آبگیرهای ثقلی. مجله علمی کشاورزی ۲۷ (ویژه نامه مهندسی علوم آب) ۱۳۷-۱۵۰.
۷. صالحی نیشابوری، ع. ا. دهقانی، ا. ا. ۱۳۸۷. بررسی و ارائه راه حل برای کاهش رسوب ورودی به دهانه آبگیر جانبی در رودخانه. طرح تحقیقاتی کاربردی مؤسسه تحقیقات آب ۴۲- ۱۱ و ص ۴۴ - وزارت نیرو، ص ۱
۸. عباسی، ع. ا. حبیبی، م. ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی تأثیر زاویه آبگیری در کنترل رسوب ورودی به آبگیر در حالت وجود صفحات مستغرق. هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه دانشگاه شهید چمران اهواز اسفند ۱
9. Barkdoll, B. D. Ettima, R. Jacob, A. 1999. Sediment control at lateral diversion: limits and enhancements to vane use. J. Hydraul. Eng., 125(8) 862-870.

10. Gupta. P . U . Sharma. N . Ojha. C . S . P . 2006. Performance evaluation of submergence ratio of a rectangular submerged vane with a collar. *International J. of Sediment Res.* 21(1), 42-49.
11. Ho. J. Johnson. A . White. S . 2004 . 3-D Numerical simulation study of permanent sediment control submerged vanes.
12. Nakato. T . Ogden. F . L . 1998 . Sediment control at water intakes along sand-bed rivers. *J . Hydraul. Eng.*, 124(6) 589-596.
13. Odgaard. A . J . Kennedy. J . F . 1983. River-bend bank protection by submerged vanes. *J . Hydraul. Eng.*, 109(8), 1161-1173.
14. Odgaard. A . J . Wang. Y . 1991 . Sediment management with submerged vanes. I: Theory. *J. Hydraul. Eng.*, 117(3), 267-283.
15. Odgaard. A . J . Wang. Y . 1991. Sediment management with submerged vanes. II: Application. *J. Hydraul. Eng.*, 117(3), 284-302.
16. Odgaard. A . J . Mosconi. C . E . 1998 . Stream bank protection by submerged vanes. *J . Hydraul. Eng.*, 113(4) 520-536.
17. Odgaard. A . J . Spoljaric. A . 1998 . Sediment control by submerged vanes. *J . Hydraul. Eng.*, 112(12), 1164-1181.
18. Wang. Y . Odgaard. A . J . Melville. B . W . Jain. S . C . 1996 . “Sediment control at water intakes. *J . of Hydraul. Eng*, 122(6), 353-356.