

تأثیر شکل صفحه مستغرق بر آب‌شستگی موضعی و الگوی رسوب‌گذاری در کانال‌های آبرفتی

رضا عزیزی^{1*}، محمود شفاعی بجزستان²، مهدی قمشی² و سید حبیب موسوی جهرمی³

تاریخ دریافت: 90/3/3 تاریخ پذیرش: 90/12/21

1- دانشجوی دکتری، سازه‌های آبی، دانشکده‌ی مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

2-3- استاد و دانشیار، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

* مسئول مکاتبه: E-mail: rezaazizi_utacir@yahoo.com

چکیده

صفحات مستغرق (صفحات آیوا) روشی نو و کارآمد جهت مدیریت رسوبات رودخانه‌ای می‌باشد. یکی از عوامل مؤثر بر کارایی و عملکرد صفحات مستغرق، شکل صفحات می‌باشد. تاکنون عمدتاً استفاده از صفحات مستطیلی مرسوم بوده است، ولی به منظور کاهش ابعاد و بهینه‌سازی شکل صفحات، جهت کاهش هزینه‌ها و نیز کاهش آب‌شستگی، مطالعاتی در حال انجام است که تحقیق حاضر نیز در این راستا انجام شده است. در این تحقیق، با استفاده از مدل فیزیکی، چهار شکل صفحات، شامل: صفحه‌ی مستطیلی تخت و سه صفحه‌ی مستطیلی با بریدگی‌های 30 درجه، 45 درجه، و 60 درجه در لبه‌ی ابتدایی صفحه مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌ها در اعداد فرود 0/14، 0/16، 0/18، و 0/20 انجام شده است. در اعداد فرود 0/14 و 0/16، شرایط آب زلال و در اعداد فرود 0/18 و 0/20، شرایط بستر متحرک برقرار می‌باشد. نتایج تحقیق، عملکرد صفحات را بر اساس تأثیر شکل صفحات بر آب‌شستگی موضعی پیرامون صفحات، و نحوه‌ی توزیع رسوبات در پایین‌دست صفحات مشخص می‌سازد. حداکثر کاهش عمق چاله‌ی فرسایشی، به ازای بریدگی 60° در لبه‌ی ابتدایی صفحات و نسبت به صفحه‌ی مستطیلی ساده، در اعداد فرود 0/14 و 0/16 به ترتیب 33 و 49 درصد و در اعداد فرود 0/18 و 0/20 به ترتیب 43 درصد و 28 درصد تعیین شد. همچنین، بیش‌ترین کاهش عمق آب‌شستگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات، در بریدگی 60 درجه صفحات مشاهده شد. مقدار کاهش عمق آب‌شستگی نسبت به صفحه‌ی مستطیلی اولیه، به ترتیب 41%، 48%، و 61% برای اعداد فرود 0/14، 0/16، و 0/18 حاصل شد. در عدد فرود 0/20، عمق آب‌شستگی در لبه‌ی ابتدایی صفحه بسیار ناچیز و در حدود صفر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زلال، آب‌شستگی موضعی، بستر متحرک، صفحات مستغرق، کانال‌های آبرفتی

Effect of Submerged Vane Shape on Local Scour and Sedimentation Patterns in Alluvial Channels

R Azizi^{1*}, M Shafai Bajestan², M Ghomeshi² and SH Mousavi Jahromi³

Received: May 24, 2011 Accepted: Feb 10, 2012

¹PhD Student, Faculty of Water Sci. and Engin., Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

^{2,3}Prof., and Assoc Prof., Faculty of Water Sci. and Engin., Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

*Corresponding Author: E-mail: rezaazizi_utacir@yahoo.com

Abstract

The technique of submerged vanes (Iowa vanes) is a new and efficient method for sediment management in rivers. This method has positive environmental effects. The performance and efficiency of a submerged vane is related to its shape. In the past, using of simple rectangular vanes was common. Recently some studies are in progress to reduce the vanes dimension and optimize their shape. The ultimate goal is to lower the costs and improve the vanes performance by reduction of local scour that occurs around the submerged vanes. The present paper attempts to address these issues. In the present study, physical hydraulic model testing was performed to investigate four shapes of vanes: a simple rectangular vane, and three vanes that are beveled at leading edge of $q=30^\circ$, 45° , and 60° with respect to the base, respectively. The experiments were carried out at four Froude numbers of $Fr = 0.14$, 0.16 , 0.18 , and 0.20 . Clear water scour occurred at $Fr = 0.14$ and 0.16 and live bed scour arised at $Fr = 0.18$ and 0.20 . Results determine the performance and effectiveness of the vanes based on local scour occurred around the vanes and sedimentation pattern at downstream of the vanes. Results showed that maximum decrease of the depth of scour hole, for $q=60^\circ$ and respect to the baseline rectangular vane, was 33%, 49%, 43% and 28% at $Fr = 0.14$, 0.16 , 0.18 and 0.20 respectively. The maximum reduction of scour depth at leading edge of the vanes was observed at $q=60^\circ$. The estimated decreases were 41%, 48%, and 61% at Fr of 0.14 , 0.16 and 0.18 respectively. At $Fr = 0.2$ the scour depth at the leading edge of the vane reduced to zero.

Keywords: Alluvial channels, Clear water, Live bed, Local scour, Submerged vanes.

بستر فرسایش پذیر رودخانه‌ها نصب می‌شوند. به دلیل ایجاد نیروی مقاوم در مقابل جریان و جریان‌های گردابی ناشی از استقرار صفحات، رسوبات پیرامون صفحات به تدریج شسته می‌شوند و گاهی با گسترش

مقدمه

صفحات مستغرق به منظور اصلاح الگوی جریان نزدیک بستر و توزیع مجدد رسوبات بار بستر در امتداد عرضی رودخانه‌ها، طراحی گردیده و بر روی

پشته‌ها و جزایر رسوبی، کاربرد دیگر صفحات مستغرق می‌باشد. مطالعات ادگارد و اسپولجاریک (1986)، ادگارد و وانگ (1991b) به این زمینه اختصاص یافته است. همچنین می‌توان از روش صفحات مستغرق به منظور جلوگیری از ورود رسوبات به سازه‌های آبرگیری از رودخانه استفاده کرد (ناکاتو و همکاران 1990، وانگ و همکاران 1996، ناکاتو و اُگن 1998، بارکدل و همکاران 1999، میشل و همکاران 2006).

ساده‌ترین و در عین حال کاربردی‌ترین (به دلیل سادگی ساخت و نصب صفحات) شکل صفحات مستغرق، صفحات تخت مستطیلی شکل است. ابعاد این صفحات (طول و ارتفاع) بر اساس عمق جریان رودخانه تعیین می‌شود. به عبارت دیگر ابعاد صفحات ضریبی از عمق جریان می‌باشد. ارتفاع اولیه صفحات (H_0) در حدود $0/2$ تا $0/4$ عمق جریان و طول صفحات (L) 2 تا $3/3$ برابر ارتفاع صفحات می‌باشد (ادگارد و وانگ، 1991a). از لحاظ اقتصادی صفحاتی با طول بیشتر مقرون به صرفه نیستند. اویانگ (2009) با استفاده از یک مدل عددی، تأثیر شکل و ابعاد صفحات مستطیلی را بر راندمان و کارایی صفحات بررسی کرده است، اما آب‌شستگی موضعی پیرامون صفحات را در مدل عددی لحاظ نکرده است و سطح صفحات نیز در تمام گزینه‌های مورد بررسی ثابت بود. نتیجه‌ی کلی این تحقیق این بود که مقدار بهینه‌ی نسبت ارتفاع به عمق جریان (H_0/d_0) برابر با $0/65$ می‌باشد، در حالی‌که در مطالعات ادگارد و لی (1984) و ادگارد و مُسکُنی (1987) این نسبت، بر اساس معیار تعادل و توازن بین گشتاور پیچشی ناشی از صفحات و گشتاور ناشی از جریان‌های چرخشی ثانوی در محل قوس‌ها، برابر با $0/3$ تعیین شده است. با توجه به این‌که صحت روابط و معیارهای ارائه شده توسط ادگارد و لی (1984) و ادگارد و مُسکُنی (1987) در پروژه‌ها و تحقیقات میدانی متعددی به اثبات رسیده است، لذا در تحقیق حاضر جهت طراحی صفحات، از معیارهای محققان مذکور

ابعاد چاله‌ی فرسایشی حاصل، پایداری صفحات در معرض خطر قرار می‌گیرد. آب‌شستگی موضعی پیرامون صفحات، در شرایط جریان‌های سیلابی و یا در زاویه‌های نصب بزرگ‌تر صفحات، بسیار شدیدتر می‌باشد. بنابراین در صورت استفاده از روش صفحات مستغرق جهت مدیریت رسوبات رودخانه، باید مسأله‌ی آب‌شستگی موضعی پیرامون صفحات مورد توجه قرار گیرد و راهکارهایی برای کاهش و یا رفع این مشکل اتخاذ گردد. یک صفحه‌ی مستغرق در واقع یک مولد جریان چرخشی است و در زاویه‌های نصب (α) بزرگ‌تر، جریان چرخشی قوی‌تری تولید می‌کند. در نتیجه، نقش مؤثرتری در توزیع عرضی رسوبات خواهد داشت. با این وجود اسپولجاریک (1988) نتیجه‌گیری کرده است که α کوچک‌تر نسبت به α ارجحیت دارد و دلیل آن آب‌شستگی شدید و غیرقابل قبولی است که در α بزرگ‌تر، در پیرامون صفحات ایجاد می‌شود. تمام مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که عمق آب‌شستگی با افزایش α افزایش می‌یابد (گوپتا و همکاران 2010). در زوایای بزرگ‌تر، صفحه در معرض نیروی رانشی (درگ) قوی‌تری قرار می‌گیرد، به عبارت دیگر مقاومت در مقابل جریان افزایش می‌یابد. به این دلیل صفحاتی با $a = 20^\circ$ در عمل کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند و مهم‌ترین مشکل، جهت استفاده از زوایای بزرگ‌تر، آب‌شستگی زیاد پیرامون صفحات و ناپایدار شدن آن‌ها است (گوپتا و همکاران 2010). با جانمایی و استقرار صحیح صفحات، بخش معینی از بستر کانال که تحت تأثیر صفحات قرار دارد، به طور عملی و متناسب با اهداف مورد نظر (با توجه به الزامات مدیریت رودخانه)، اصلاح می‌شود. از جمله کاربردهای صفحات، حفاظت ساحل و یا به عبارتی جلوگیری از فرسایش ساحل می‌باشد. تحقیقات ادگارد و کندی (1983)، ادگارد و مُسکُنی (1987)، وانگ و ادگارد (1993)، جانسون و همکاران (2001)، ماریوس (2001)، جانسون و همکاران (2003) در این زمینه می‌باشد. عمیق کردن بستر رودخانه‌ها به منظور کشتیرانی و رفع مشکل

از روی یک سرریز مثلثی استاندارد 53 درجه ($8^\circ 53'$) مجدداً وارد مخزن تأمین آب می‌گردد. اندازه‌گیری دبی جریان نیز با قرائت ارتفاع آب روی رأس سرریز و استفاده از رابطه‌ی دبی - اشل سرریز صورت می‌گیرد. عمده‌ی تحقیقات قبلی در محدوده‌ی عدد فرود $0/25 \leq Fr < 0$ انجام شده‌اند (گوپتا و همکاران، 2010). در این تحقیق آزمایش‌ها در اعداد فرود $0/14$ ، $0/16$ ، $0/18$ ، $0/20$ (به ترتیب دبی‌های $0/03$ ، $0/035$ ، $0/04$ و $0/045$ مترمکعب بر ثانیه) و چهار شکل صفحات (شکل 2)، انجام شده است، به گونه‌ای که عملکرد هر صفحه در چهار دبی جریان مورد بررسی قرار گرفته است؛ بنابراین در مجموع شانزده آزمایش انجام شده است. در هر آزمایش، صفحه مستغرق در خط مرکزی فلوم، در فاصله‌ی $1/27$ متری از ابتدای ناحیه‌ی رسوبی، با زاویه‌ی 20° درجه نسبت به خط مرکزی فلوم نصب می‌شود. فاصله‌ی صفحه از دهانه‌ی ورودی فلوم، $3/37$ متر می‌باشد؛ بنابراین صفحات در بخش میانی فلوم نصب می‌شوند. با توجه به این‌که در تمام آزمایش‌ها، شرایط جریان زیربحرانی است، کنترل عمق جریان با استفاده از یک دریچه‌ی کشویی که در انتهای فلوم قرار دارد، صورت می‌گیرد. در تمام آزمایش‌ها عمق جریان ثابت و برابر با $0/25$ متر (استغراق نسبی $T/d_o = 0/7$) می‌باشد. به منظور کنترل شرایط جریان و جلوگیری از وقوع آب‌شستگی سریع در لبه‌ی ابتدایی صفحات در شروع هر آزمایش، دریچه‌ی کشویی کاملاً بسته می‌شود و از انتهای فلوم، جریانی با سرعت بسیار کم، وارد فلوم می‌گردد تا سطح ناحیه رسوبی به ارتفاع چند سانتی‌متر با آب پوشیده شود. جریان ورودی نیز در ابتدا با مقادیر بسیار کم وارد فلوم می‌گردد. سپس دبی ورودی به تدریج افزایش می‌یابد و به طور هم‌زمان دریچه کشویی نیز به تدریج باز می‌شود تا این‌که دبی در مقدار مورد نظر تنظیم گردد.

در هر آزمایش، بستر رسوبی با استفاده از یک تراز حباب‌دار کاملاً مسطح می‌گردد، سپس به مدت 3 ساعت، جریان در فلوم برقرار می‌شود. پس از اتمام آزمایش،

استفاده شده است. در این تحقیق، به منظور کاهش آب‌شستگی پیرامون صفحات، اصلاح شکل صفحات با ایجاد بریدگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات مستطیلی اولیه، مورد توجه قرار گرفته است. فرضیه‌ی تحقیق حاضر این است که ایجاد بریدگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات می‌تواند نیروی مقاوم در مقابل جریان را کاهش داده و گردابه‌های نعل اسبی در پای لبه‌ی ابتدایی صفحات را تضعیف نماید و در نتیجه موجب کاهش آب‌شستگی موضعی گردد. از طرفی با توجه به این‌که در کاربردهای میدانی، غالباً تعداد زیادی از صفحات مورد نیاز می‌باشد، لذا حذف بخشی از سطح صفحات با ایجاد بریدگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات، موجب کاهش مصالح مورد نیاز برای ساخت صفحات و در نتیجه موجب صرفه‌جویی اقتصادی می‌گردد. هدف تحقیق حاضر ارزیابی تأثیر برش لبه‌ی ابتدایی صفحات بر آب‌شستگی موضعی و عملکرد صفحات مستغرق در توزیع عرضی رسوبات بستر است.

مواد و روش‌ها

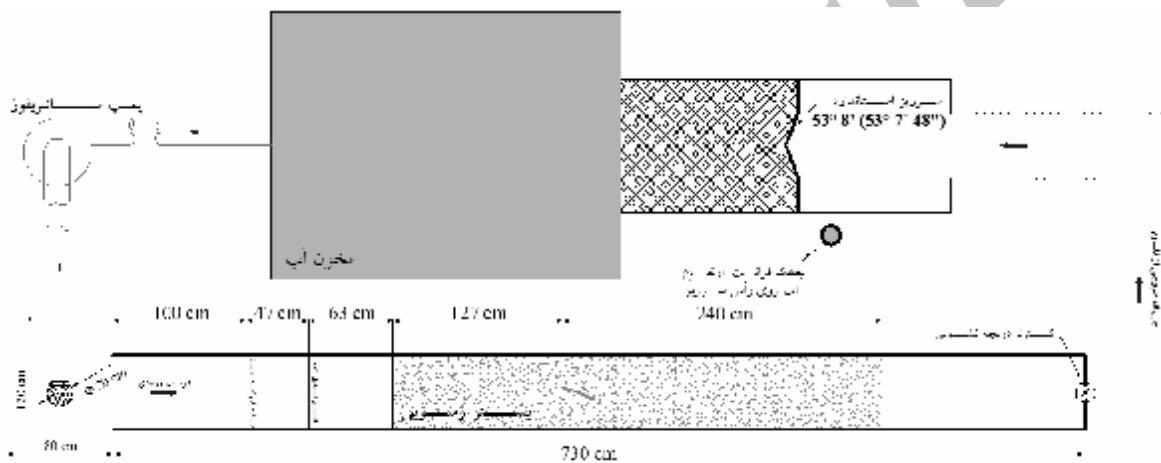
در این تحقیق، که در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است، از یک فلوم آزمایشگاهی به طول $7/30$ متر، عرض $0/56$ متر، ارتفاع $0/60$ متر و شیب $0/0028$ استفاده شده است. دیواره‌ها و کف اصلی فلوم از جنس پلکسی‌گلاس شفاف می‌باشد. بازه‌ای از فلوم به طول $3/67$ متر، به ضخامت $0/10$ متر با رسوبات ریزدانه، ماسه ریز با قطر متوسط $0/0005$ متر، پوشیده شده است (شکل 1). جریان مورد نیاز با استفاده از یک پمپ سانتریفیوژ، از مخزن تأمین آب، وارد مخزن آرام‌کننده، در ابتدای فلوم، می‌گردد. به منظور حذف تلاطم جریان ورودی و یک‌نواخت کردن جریان، از یک صفحه‌ی مشبک آرام‌کننده، که در فاصله‌ی 1 متری از دهانه‌ی ورودی فلوم قرار دارد، و یک تبدیل با $D_z = 0/1$ m، که کف فلوم را به سطح بستر رسوبی متصل می‌سازد، استفاده شده است. جریان پس از خروج از فلوم، وارد یک حوضچه می‌گردد و با عبور

فاصل $2H_0$, $4H_0$, $6H_0$, ... نسبت به مرکز صفحه مستغرق، برداشت شده است. H_0 ارتفاع اولیه صفحات می‌باشد. با توجه به این‌که عمق اولیه جریان (d_0) در طول آزمایش‌ها ثابت و برابر با 0/25 متر است، ابعاد صفحات (L , H_0) بر اساس معیارهای زیر تعیین شده است (ادگار و وانگ 1991a):

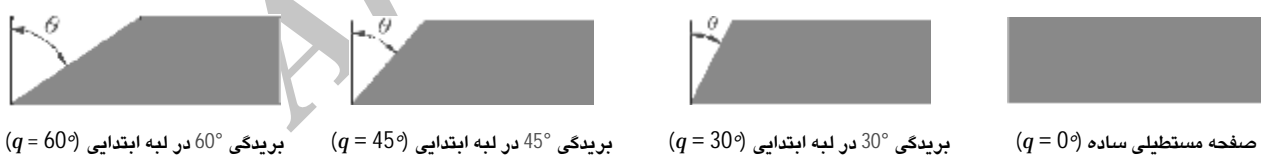
$$H_0 = 0.3d_0 \quad [1]$$

$$H_0 / L = 0.3 \quad [2]$$

بستر رسوبی زهکشی شده و با استفاده از دستگاه فاصله‌یاب لیزری، در یک شبکه‌ی 2×2 ، توپوگرافی بستر برداشت می‌شود. برداشت توپوگرافی شامل یک بازه‌ی 0/80 متری شامل صفحه‌ی مستغرق می‌باشد، به گونه‌ای که چاله‌ی فرسایشی پیرامون صفحات را به طور کامل دربر می‌گیرد. همچنین پروفیل عرضی بستر رسوبی در ده مقطع در پایین‌دست صفحات (s)، در



شکل 1- شماتیک فلوم آزمایشگاهی و جانمایی صفحه‌ی مستغرق در ناحیه‌ی رسوبی.



شکل 2- چهار صفحه‌ی مورد استفاده در این تحقیق.

بریدگی‌های 30، 45 و 60 درجه، نسبت به امتداد قائم، ایجاد شده است (شکل 2).

نتایج و بحث

در این تحقیق هم شرایط آب زلال و هم شرایط بستر متحرک مورد مطالعه قرار گرفته است. شرایط آب

بنابراین در تحقیق حاضر از صفحاتی به طول 25 سانتی‌متر و ارتفاع اولیه‌ی 7/5 سانتی‌متر استفاده شده است. ابعاد به دست آمده مربوط به یک صفحه‌ی مستطیلی ساده می‌باشد. برای سه صفحه‌ی دیگر در لبه‌ی ابتدایی صفحات مستطیلی پایه، به ترتیب

در سمت ساحل راست انباشته می‌گردد. چاله‌ی فرسایشی عمدتاً در سمت پرفشار صفحات، که مؤلفه‌های قائم رو به بالا ایجاد می‌شود، گسترش می‌یابد. پس از ایجاد تغییرات اولیه در بستر فرسایش‌پذیر فلوم، فرم بستر دون (تلماسه) با طول موج کوتاه در پایین دست صفحه‌ی مستغرق نمایان می‌شود و ضمن پیش‌روی به سمت انتهای ناحیه‌ی رسوبی، بر ابعاد آن افزوده می‌شود. در شکل 3- الف بستر رسوبی مسطح قبل از شروع آزمایش و در شکل 3- ب توپوگرافی نهایی پس از زهکشی بستر رسوبی نشان داده شده است. شکل 3 به آزمایش صفحه با بریدگی 30 درجه و عدد فرود $Fr = 0/18$ مربوط می‌باشد.

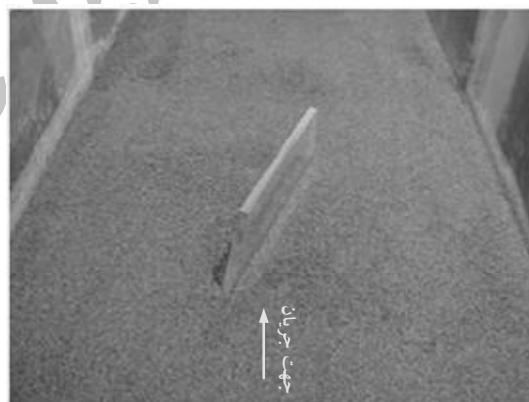


ب

زالال در اعداد فرود $Fr = 0/14$ و $Fr = 0/16$ ، برقرار می‌باشد. در این شرایط حرکت رسوبات در بالادست صفحه‌ی مستغرق ناچیز می‌باشد. در این اعداد فرود، سرعت جریان کمتر از سرعت آستانه‌ی حرکت ذرات رسوبی است که از روابط مربوط تعیین شده است (شفاعی بچستان 1387).

در اعداد فرود $Fr = 0/18$ و $Fr = 0/20$ انتقال رسوبات از بالادست صفحه قابل توجه می‌باشد (شرایط بستر متحرک). با توجه به شکل 1 صفحه‌ی مستغرق به گونه‌ای نصب شده است که در سمت ساحل راست رسوب‌گذاری و در سمت ساحل چپ فرسایش و کاهش تراز بستر رخ دهد.

در هر آزمایش رسوبات حاصل از فرسایش موضعی پیرامون صفحه به پایین دست صفحه منتقل و



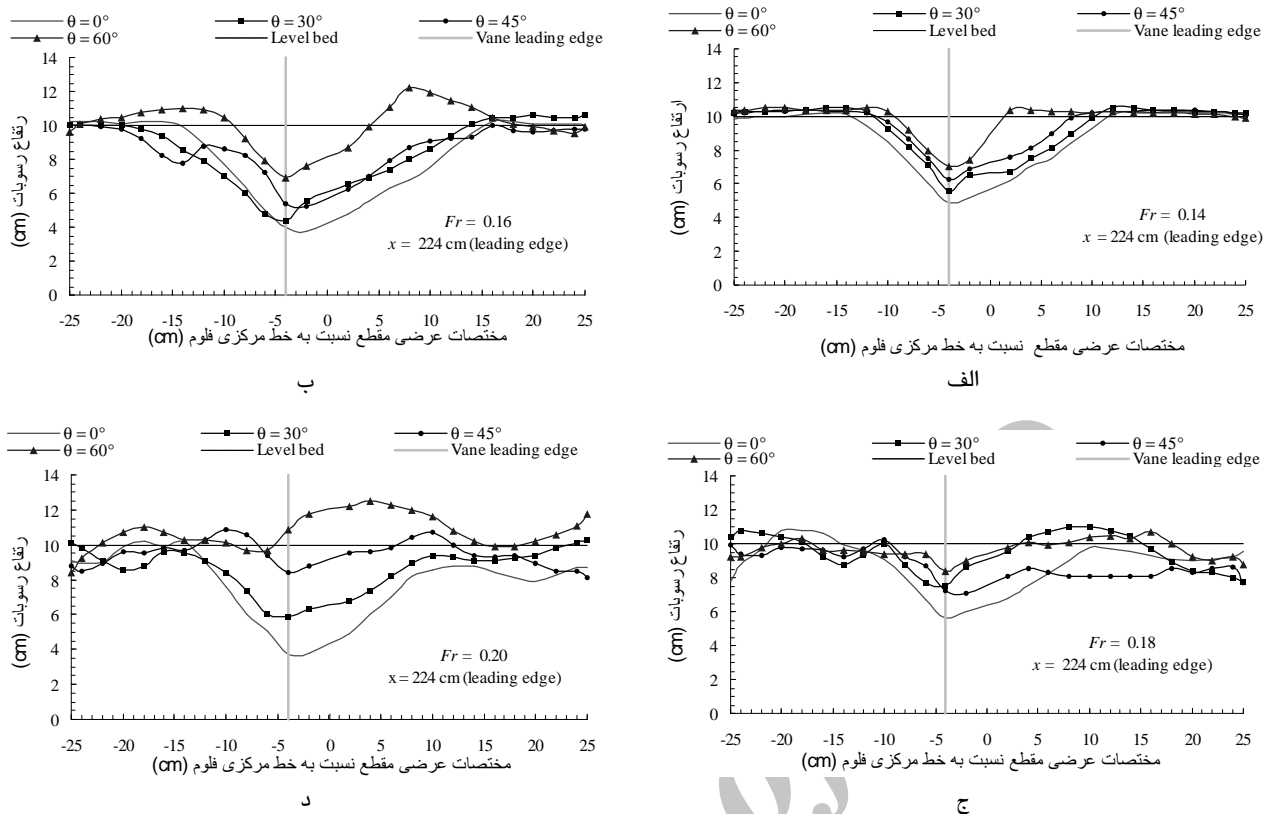
الف

شکل 3- الف - بستر رسوبی مسطح قبل از انجام آزمایش؛ و ب- توپوگرافی نهایی بستر رسوبی، $q = 30$ و $Fr = 0/18$.

با استفاده از داده‌های مربوط به توپوگرافی بستر فلوم می‌توان تأثیر اصلاحات انجام گرفته در شکل صفحات را بر آب‌شستگی موضعی پیرامون صفحات و الگوی رسوب‌گذاری پایین دست صفحات مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. به این منظور در ابتدا در شکل 4، نیم‌رخ عرضی بستر در محل لبه‌ی ابتدایی صفحه برای زوایای مختلف بریدگی لبه‌ی ابتدایی صفحات (45° ، 60°)،

با استفاده از داده‌های مربوط به توپوگرافی بستر فلوم می‌توان تأثیر اصلاحات انجام گرفته در شکل صفحات را بر آب‌شستگی موضعی پیرامون صفحات و الگوی رسوب‌گذاری پایین دست صفحات مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. به این منظور در ابتدا در شکل 4، نیم‌رخ عرضی بستر در محل لبه‌ی ابتدایی صفحه برای زوایای مختلف بریدگی لبه‌ی ابتدایی صفحات (45° ، 60°)،

با استفاده از داده‌های مربوط به توپوگرافی بستر فلوم می‌توان تأثیر اصلاحات انجام گرفته در شکل صفحات را بر آب‌شستگی موضعی پیرامون صفحات و الگوی رسوب‌گذاری پایین دست صفحات مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. به این منظور در ابتدا در شکل 4، نیم‌رخ عرضی بستر در محل لبه‌ی ابتدایی صفحه برای زوایای مختلف بریدگی لبه‌ی ابتدایی صفحات (45° ، 60°)،



شکل 4- نیم‌رخ عرضی بستر در لبه‌ی ابتدایی صفحه ($x = 224 \text{ cm}$)، الف - $Fr = 0/14$ ؛ ب - $Fr = 0/16$ ؛ ج - $Fr = 0/18$ ؛ و د - $Fr = 0/20$. منحنی‌ها و خط‌چین افقی به ترتیب نیم‌رخ عرضی بستر به ازای بریدگی‌های مختلف صفحات و بستر رسوبی اولیه را نشان می‌دهند. خط قائم توپر، موقعیت لبه‌ی ابتدایی صفحه را نشان می‌دهد.

Fr (شرایط آب زلال) و $Fr = 0/18$ (شرایط بستر متحرک) نشان داده شده است. در $Fr = 0/20$ (شرایط بستر متحرک)، در $q = 60^\circ$ فرسایش و آب‌شستگی در لبه‌ی ابتدایی صفحه بسیار ناچیز و در حدود صفر می‌باشد (شکل 4-د).

شرایط آزمایش در $Fr = 0/20$ به شرایط واقعی نزدیک‌تر است زیرا در رودخانه‌ها، به‌خصوص در زمان سیلاب، انتقال رسوب از بالادست رودخانه به مقاطع پایین‌تر وجود دارد. بنابراین ایجاد بریدگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات مستغرق، به طور عملی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش آب‌شستگی پیرامون صفحات داشته باشد.

در شرایط $Fr = 0/14$ به دلیل عدم شکل‌گیری فرم‌بستر (شکل بستر) در بستر رسوبی فلوم، روند تغییرات آب‌شستگی پیرامون صفحات، در نتیجه‌ی ایجاد بریدگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات، به وضوح مشخص

است، خط‌چین افقی در هر یک از شکل‌های 4، تراز بستر رسوبی مسطح اولیه را نشان می‌دهد. خط قائم توپر در هر یک از شکل‌ها، موقعیت لبه‌ی ابتدایی صفحات مستغرق را در سیستم مختصات تعریف شده، نشان می‌دهد.

روند کلی شکل‌های 4 مشخص می‌سازد که با افزایش زاویه‌ی بریدگی لبه‌ی ابتدایی (q)، عمق آب‌شستگی کاهش می‌یابد. شکل 4- الف نیم‌رخ عرضی بستر در محل لبه‌ی ابتدایی صفحه را به ازای بریدگی‌های مختلف (مقادیر مختلف q) در $Fr = 0/14$ (شرایط آب زلال) نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، با افزایش مقدار q ، عمق آب‌شستگی به تدریج کاهش می‌یابد، بیشترین کاهش عمق آب‌شستگی در $q = 60^\circ$ نسبت به $q = 0^\circ$ (صفحه‌ی مستطیلی پایه) می‌باشد.

در شکل‌های 4- ب و 4- ج نیم‌رخ عرضی بستر رسوبی در محل لبه‌ی ابتدایی صفحه را به ازای $Fr = 0/16$

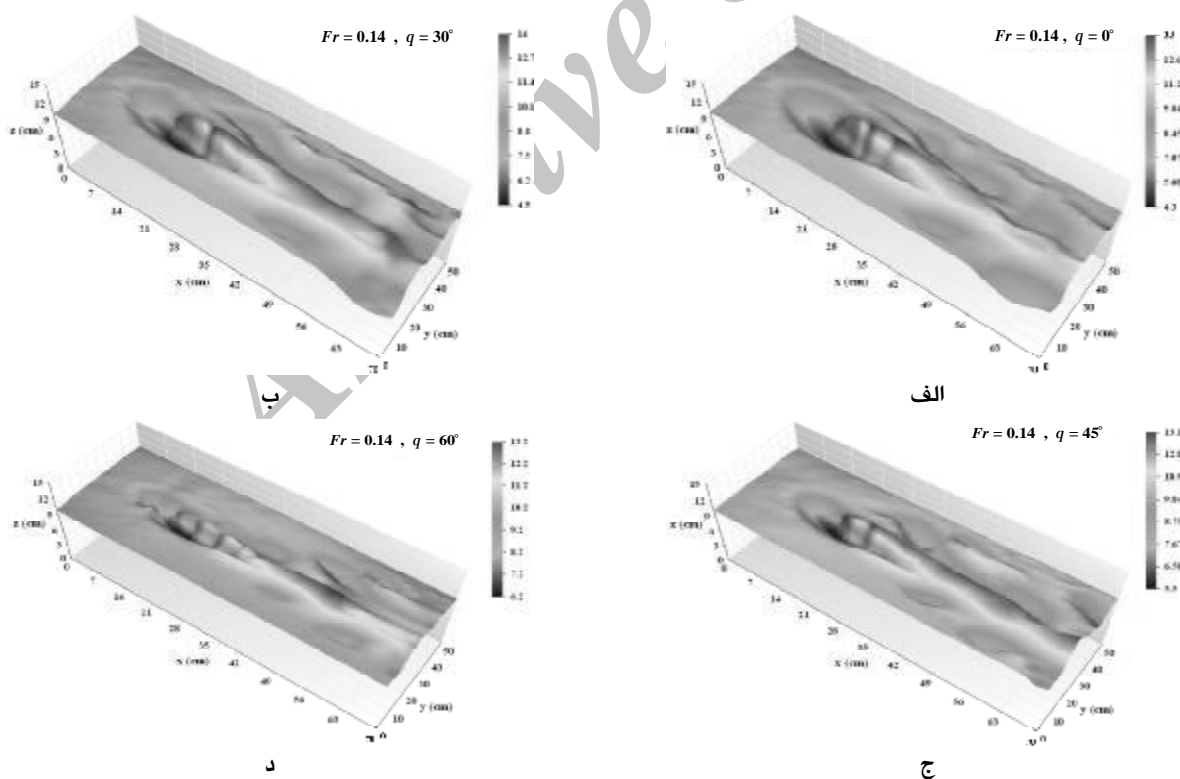
در شکل 6 خطوط تراز در بازه‌ای 80 سانتی‌متری شامل چاله‌ی فرسایشی رسم شده است. شکل 6 به آزمایش‌های انجام شده در عدد فرود $Fr = 0/20$ مربوط می‌شود. در این شکل موقعیت قرارگیری صفحه‌ی مستغرق با توجه به جهت جریان، نسبت به خط مرکزی فلوم، نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های 6، گسترش چاله‌ی فرسایشی در سمت پرفشار صفحات قابل مشاهده است.

در شکل 6- الف، که مربوط به صفحه‌ی مستطیلی ساده است، بیش‌ترین عمق چاله‌ی فرسایشی در مجاورت لبه‌ی ابتدایی صفحه متمرکز است. در شکل‌های 6- ب، ج، و د به ترتیب با افزایش زاویه‌ی بریدگی از $q = 0^\circ$ به $q = 30^\circ$ ، $q = 45^\circ$ و $q = 60^\circ$ به تدریج چاله‌ی فرسایشی به سمت لبه‌ی انتهایی صفحه و پایین‌دست صفحه منتقل می‌گردد و در لبه‌ی ابتدایی صفحه، رسوب‌گذاری صورت می‌گیرد.

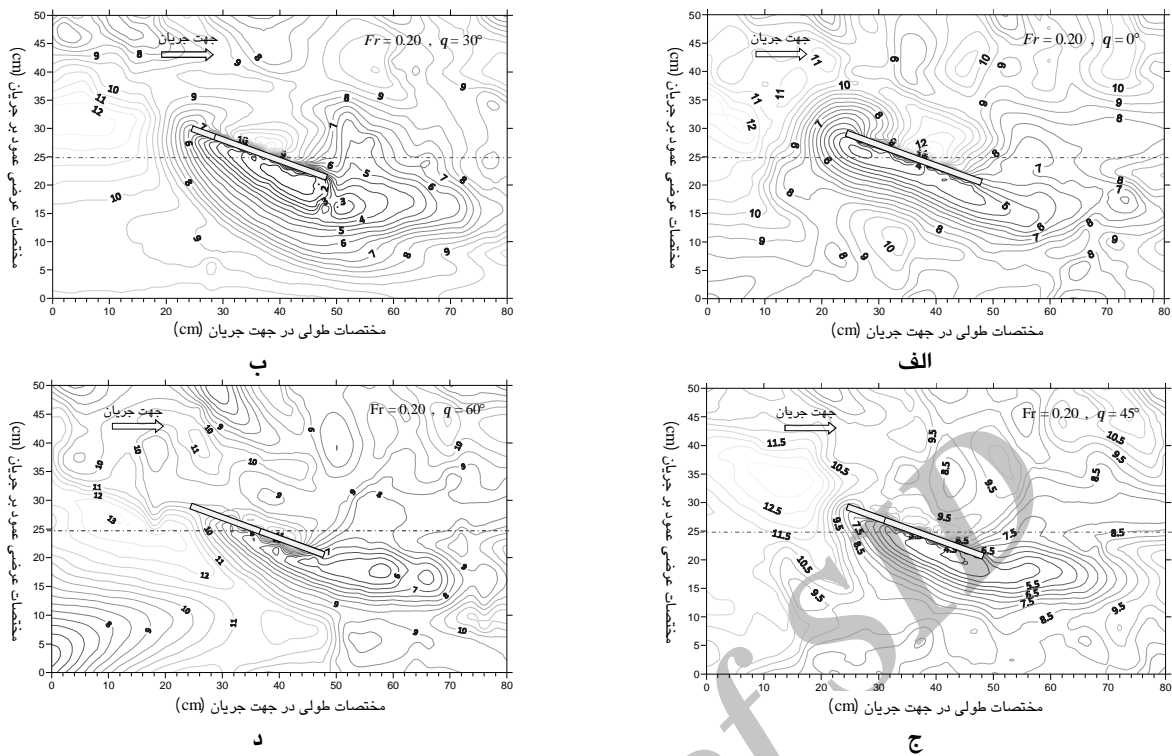
است. از این رو در شکل 5 توپوگرافی بستر رسوبی در یک بازه‌ی 70 سانتی‌متری پیرامون صفحه‌ی مستغرق برای چهار وضعیت صفحات ($q = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$)، در عدد فرود 0/14 ارائه شده است.

در این شکل‌ها، جهت جریان اصلی در جهت مثبت محور x ها می‌باشد. در $Fr = 0/14$ نوع آب‌شستگی به صورت آب زلال می‌باشد و همان‌گونه که در شکل‌های 5 مشخص است در قسمت‌های بالادست چاله‌ی فرسایشی، بستر رسوبی اولیه، بدون فرسایش و آب‌شستگی باقی مانده است.

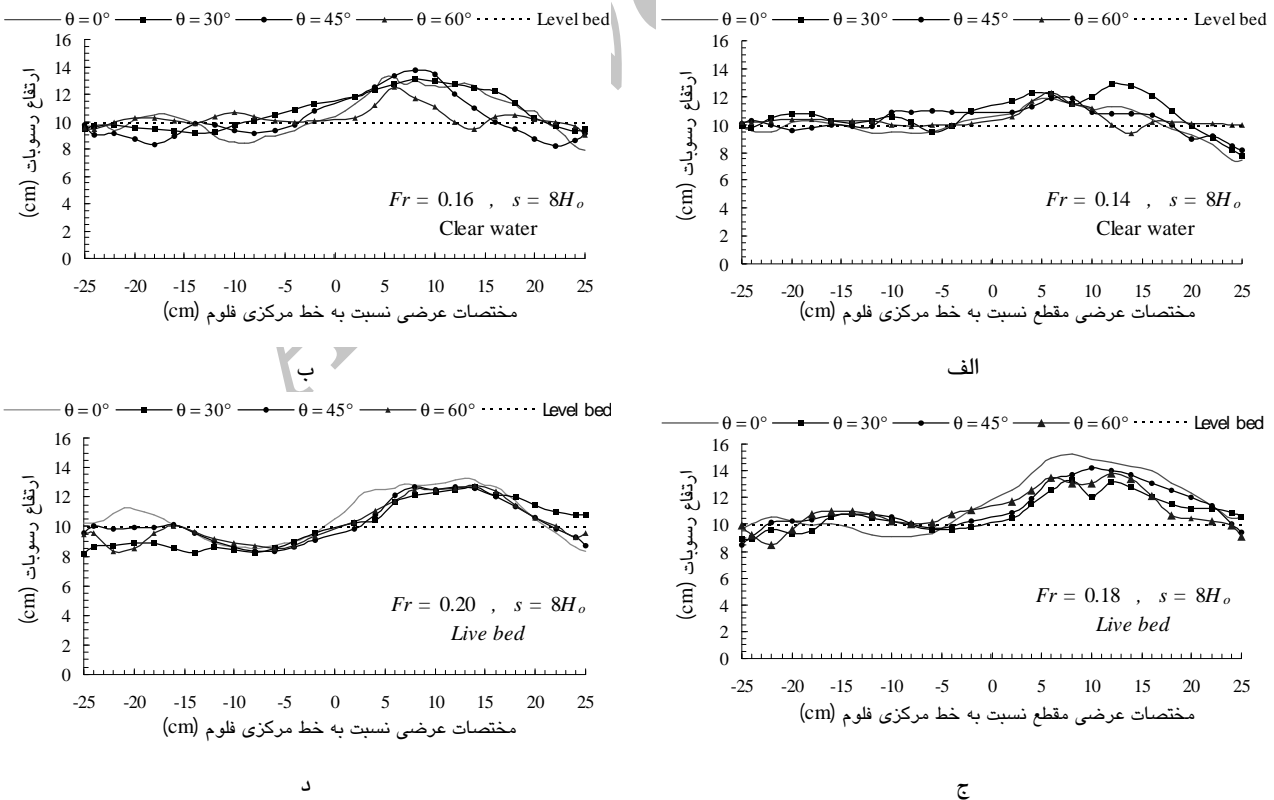
بیش‌ترین آب‌شستگی موضعی در نتیجه‌ی استقرار صفحه‌ی مستطیلی ساده (شکل 5- الف) ایجاد می‌شود. با ایجاد بریدگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات، افزایش q به 30° ، 45° و 60° (به ترتیب شکل‌های 5- ب، ج، د) ابعاد چاله‌ی فرسایشی کاهش می‌یابد. در عین حال الگوی رسوب‌گذاری در پایین‌دست صفحات حفظ می‌گردد.



شکل 5- توپوگرافی بستر رسوبی در بازه‌ای به طول 0/7 متر شامل چاله‌ی فرسایشی پیرامون صفحات با $Fr = 0/14$. الف - $q = 0^\circ$ ؛ ب - $q = 30^\circ$ ؛ ج - $q = 45^\circ$ ؛ و د - $q = 60^\circ$. جهت جریان در جهت مثبت محور x می‌باشد.

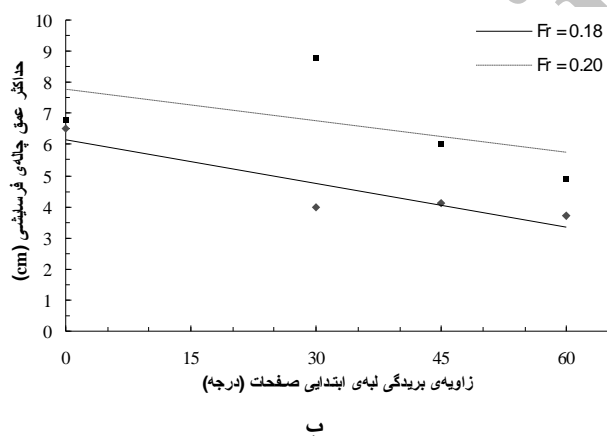


شکل 6- خطوط تراز بستر رسوبی در بازه‌ای به طول 0/8 متر، در عدد فرود $Fr = 0/20$ ، الف- صفحه مستطیلی ساده، $q = 0^\circ$ ؛ ب- $q = 30^\circ$ ؛ ج- $q = 45^\circ$ ؛ و د- $q = 60^\circ$.



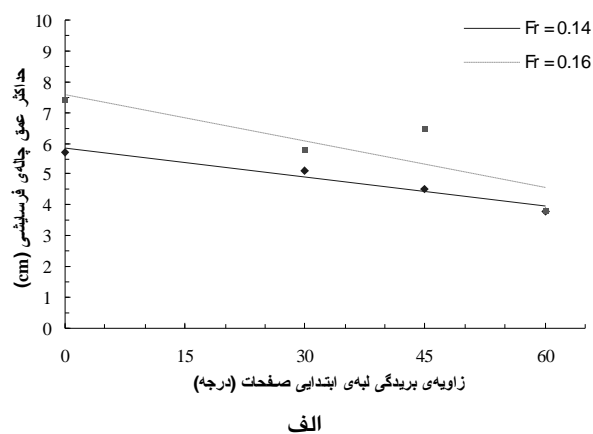
شکل 7- نیم‌رخ عرضی بستر در فاصله‌ی $s = 8H_o$ نسبت به مرکز صفحه، الف- $Fr = 0/14$ ؛ ب- $Fr = 0/16$ ؛ ج- $Fr = 0/18$ ؛ و د- $Fr = 0/20$. منحنی‌ها و خط‌چین افقی به ترتیب نیم‌رخ بستر به ازای برش‌های مختلف صفحات و بستر اولیه را نشان می‌دهند.

سایر مقاطع پایین دست صفحه، نیز قابل مشاهده است. بنابراین وجود بریدگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات، عملکرد صفحات در توزیع عرضی رسوبات را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. در شکل 8 روند تغییرات عمق چاله‌ی فرسایشی در مقابل زوایای مختلف بریدگی لبه‌ی ابتدایی صفحات، در شرایط آب‌شستگی آب زلال و بستر زنده، نشان داده شده است. در شکل 8- الف روند تغییرات عمق آب‌شستگی در شرایط آب زلال (Fr=0/14, 0/16) در مقابل زوایای مختلف بریدگی لبه‌ی ابتدایی صفحات نشان داده شده است. با توجه به این شکل، حداکثر کاهش عمق چاله‌ی فرسایشی (در نتیجه بریدگی 60° در لبه‌ی ابتدایی صفحات)، در اعداد فرود 0/14 و 0/16 به ترتیب 33 و 49 درصد می‌باشد. در شکل 8- ب تغییرات عمق آب‌شستگی در شرایط بستر متحرک (Fr=0/18, 0/20) ارائه شده است. در این شرایط، حداکثر کاهش عمق آب‌شستگی 43 درصد در عدد فرود Fr=0/18 و 28 درصد در عدد فرود Fr=0/20 می‌باشد.



در شکل 7 نیم‌رخ عرضی بستر در پایین دست صفحات، در فاصله‌ی $s = 8H_o = 296\text{cm}$ رسم شده است. s فاصله در جهت طولی فلوم و نسبت به مرکز صفحه ($x_{c.v.}=236\text{cm}$) و H_o ارتفاع اولیه‌ی صفحه ($= 7/5$ سانتی‌متر) می‌باشد. در نمودارهای شکل 7، محور افقی، مختصات عرضی مقطع فلوم، نسبت به خط مرکزی فلوم، و محور قائم، ارتفاع رسوبات را در نقاط مختلف مقطع عرضی نشان می‌دهد. شکل‌های 7- الف و 7- ب نیم‌رخ عرضی بستر را در آب‌شستگی آب زلال (به ترتیب Fr = 0/14 و Fr = 0/16) و شکل‌های 7- ج و 7- د نیم‌رخ عرضی بستر را در آب‌شستگی بستر متحرک (به ترتیب Fr = 0/18 و Fr = 0/20) نشان می‌دهند. با توجه به نحوه‌ی قرارگیری صفحات در بستر رسوبی، فرآیند رسوب‌گذاری در نیمه‌ی راست فلوم (سمت پرفشار صفحات) صورت می‌گیرد.

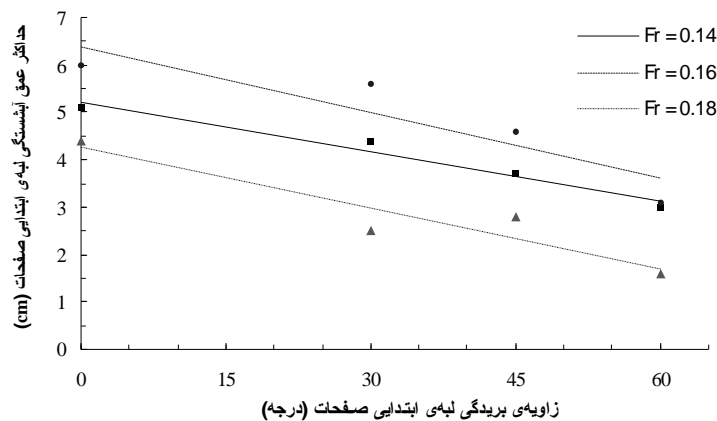
با توجه به شکل 7 مشخص است که در شرایط مختلف جریان، به ازای صفحاتی با بریدگی‌های مختلف (مقادیر مختلف q)، الگوی رسوب‌گذاری مشابهی در پایین دست صفحات به وجود می‌آید. چنین روندی در



شکل 8- روند تغییرات عمق چاله‌ی فرسایشی پیرامون صفحه‌ی مستغرق در مقابل زوایای مختلف بریدگی لبه‌ی ابتدایی صفحات، در الف- شرایط آب زلال (Fr=0/14, 0/16)، و ب- شرایط بستر متحرک (Fr=0/18, 0/20).

در شکل 9 تغییرات عمق آب‌شستگی در محل لبه‌ی ابتدایی صفحات در اعداد فرود 0/14، 0/16 و 0/18 نشان داده شده است. در این حالت کاهش عمق آب‌شستگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات به ترتیب 41 درصد، 48 درصد و 64 درصد می‌باشد. در عدد فرود

در شکل 9 تغییرات عمق آب‌شستگی در محل لبه‌ی ابتدایی صفحات در اعداد فرود 0/14، 0/16 و 0/18 نشان داده شده است. در این حالت کاهش عمق آب‌شستگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات به ترتیب 41 درصد، 48 درصد و 64 درصد می‌باشد. در عدد فرود



شکل 9- روند تغییرات عمق چاله‌ی فرسایشی در محل لبه‌ی ابتدایی صفحات، در مقابل زوایای مختلف بریدگی لبه‌ی ابتدایی صفحات، در اعداد فرود 0/14، 0/16، و 0/18.

فرود 0/14 و 0/16 به ترتیب 33 و 49 درصد و در اعداد فرود 0/18 و 0/20 به ترتیب 43 درصد و 28 درصد تعیین شد. همچنین بیش‌ترین کاهش عمق آب‌شستگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات، در بریدگی 60 درجه صفحات مشاهده شد. مقدار کاهش عمق آب‌شستگی نسبت به صفحه‌ی مستطیلی اولیه، به ترتیب 41٪، 48٪، و 61٪ برای اعداد فرود 0/14، 0/16، و 0/18 حاصل شد. در عدد فرود 0/20، عمق آب‌شستگی در لبه‌ی ابتدایی صفحه تقریباً به صفر می‌رسد. همچنین بررسی پروفیل عرضی مقاطع پایین‌دست صفحات، نشان می‌دهد که با ایجاد بریدگی در لبه‌ی ابتدایی صفحات و کاهش سطح صفحات، الگوی رسوب‌گذاری در پایین‌دست صفحات به طور مطلوبی حفظ می‌گردد و عملکرد هیدرولیکی صفحات در توزیع عرضی رسوبات کاهش نمی‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر بریدگی لبه‌ی ابتدایی صفحات مستغرق بر آب‌شستگی موضعی پیرامون صفحات و الگوی رسوب‌گذاری پایین‌دست صفحات، در اعداد فرود 0/14، 0/16، 0/18، و 0/20 مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها به ترتیب بر روی یک صفحه‌ی مستطیلی ساده، و سه صفحه‌ی دیگر که در لبه‌ی ابتدایی آن‌ها بریدگی‌هایی با زوایای 30، 45 و 60 درجه ایجاد شده بود، انجام گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بریدگی لبه‌ی ابتدایی صفحات در کاهش عمق آب‌شستگی پیرامون صفحات مؤثر می‌باشد و با افزایش زاویه‌ی بریدگی، عمق آب‌شستگی و ابعاد چاله‌ی فرسایشی کاهش می‌یابد. حداکثر کاهش عمق چاله‌ی فرسایشی، به ازای بریدگی 60° در لبه‌ی ابتدایی صفحات و نسبت به صفحه‌ی مستطیلی ساده، در اعداد

منابع مورد استفاده

شفاعی بجستان م، 1387، مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران.

Barkdoll BD, Ettima R and Odgaard AJ, 1999. Sediment control at lateral diversion: limits and enhancements to vane use. J of Hydraulic Engineering, ASCE 125: 862-870.

Gupta UP, Ojha CSP and Sharma N, 2010. Enhancing utility of submerged vanes with collar. J of Hydraulic Engineering, ASCE 136: 651-655.

- Johnson PA, Hey RD, Tessier M, and Rosgen DL, 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 127: 772-778.
- Johnson PA, Hey RD, Tessier M, and Rosgen DL, 2003. Closure of 'Use of vanes for control of scour at vertical wall. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 129: 247-257.
- Marelius F, 2001. Experimental investigation of vanes as a means of beach protection *Coastal Engineering* 42: 1-16.
- 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 of Hydraulic Engineering, ASCE* 132: 440-449.
- Nakato T, Kennedy JF, and Bauerly D, 1990. Pump-station intake-shoaling control with submerged vanes. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 116: 119-128.
- Nakato T, and Ogden FL, 1998. Sediment control at water intakes along sand-bed rivers. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 124: 589-596.
- Odgaard AJ, and Wang Y, 1991a. Sediment management with submerged vanes, I: Theory. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 117: 267-283.
- Odgaard AJ, and Wang Y, 1991b. Sediment management with submerged vanes, II: Application. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 117: 284-302.
- Odgaard AJ, and Kennedy JF, 1983. River-bend bank protection by submerged vanes. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 109: 1161-1173.
- Odgaard AJ, and Lee HYE, 1984. Submerged Vanes for Flow Control and Bank Protection in streams. IIHR Rep. No. 279, Iowa Institute of Hydraulic Research, University of Iowa, Iowa.
- Odgaard AJ, and Mosconi CE, 1987. Streambank protection by submerged vanes. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 113: 520-536.
- Odgaard AJ, and Spoljaric A, 1986. Sediment control by submerged vanes. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 112: 1164-1181.
- Ouyang HT, 2009. Investigation on the dimensions and shape of a submerged vane for sediment management in alluvial channels. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 135: 209-217.
- Spoljaric A, 1988. Mechanics of submerged vanes on flat boundaries. PhD thesis, University of Iowa, Iowa.
- Wang Y, Odgaard AJ, Melville BW, and Jain SC, 1996. Sediment control at water intakes. *J of Hydraulic Engineering, ASCE* 122: 353-356.
- Wang Y and Odgaard AJ, 1993. Flow control with vorticity. *J of Hydraulic Research* 31: 549-562.