

تأثیر نسبت استغراق صفحات مستغرق توری سنگی با نفوذپذیری مختلف بر توپوگرافی بستر در شرایط هیدرولیکی آب زلال

حیات اله سرلک، محمود شفاعی بجهستان^{۱*}، سید محسن سجادی^۲

۱- دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، اهواز، ایران. m-shafaeibejestan@scu.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی آب و محیط، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

چکیده

استفاده از صفحات مستغرق از روش های اصلاح الگوی جریان برای محافظت رودخانه هاست. کاربرد صفحات مستغرق توری سنگی بدلیل نفوذپذیری، سادگی نصب، هزینه کم و دوستدار محیط زیست بودن، از اهمیت ویژه ای برخوردارند لذا در این تحقیق تاثیر نسبت استغراق صفحات مستغرق توری سنگی با نفوذپذیری مختلف نصب شده بر بستر ماسه ای به صورت آزمایشگاهی بررسی می شود. آزمایش ها در یک فلوم مستقیم با چهار نسبت استغراق (T/d_0) مختلف ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷ و ۰/۸ (T میزان استغراق صفحات نسبت به تراز سطح آب طراحی و d_0 عمق آب) تحت شرایط هیدرولیکی آب زلال با دبی ۲۴/۴۴ lit/sec انجام شد. صفحه توری سنگی به ابعاد ۲۰×۸۰×۱۶ میلی متر با چهار نفوذپذیری مختلف پر شده و در زاویه برخوردی ۲۵ درجه نسبت به جهت جریان نصب گردید. نتایج نشان داد که در نسبت های استغراق بیش از ۰/۷، عمق چاله های آبشستگی و ارتفاع پشته های رسوب گذاری در اطراف صفحات بسیار ناچیز است لیکن با کاهش نسبت استغراق، این مقادیر افزایش می یابند. در یک نسبت استغراق ثابت، هرچه دانه بندی مصالح بدنه صفحات ریزتر باشد، عمق چاله آبشستگی و ارتفاع پشته رسوب گذاری اطراف صفحه بزرگتر می شود. با توجه به نتایج بدست آمده، عملکرد این نوع صفحات در شرایط هیدرولیکی آب زلال در مدیریت رسوب و با زاویه ۲۵ درجه نصب شده بر بستر در نسبت استغراق کمتر از ۰/۶ مناسب تر می باشد و توصیه می شود در شرایط هیدرولیکی آب زلال اینگونه صفحات با ارتفاع اولیه بیش از ۰/۳ عمق آب نصب گردند.

کلید واژه ها: حفاظت رودخانه، چاله آبشستگی، پشته رسوب گذاری، بستر، زاویه و نفوذپذیری

مقدمه

Wang (1990) ثابت کرد که می توان با طراحی آرایش مناسب از صفحات، حرکت جریان و رسوب در قوس را طوری تنظیم کرد که گویی در مسیر مستقیمی از رودخانه حرکت می کند. آزمایش ها میدانی انجام شده توسط Odgaard and Mosconi (1987) و Watanabe (1987) و Fukuoka (1989) و دیگران نیز مؤید کاربرد صفحات مستغرق در پایدار کردن قوس های خارجی می باشد. Odgaard (1991) و Wang (1991) با به کار بردن روش تفاضل های محدود، معادلات جریان در اثر سیستم صفحات مستغرق را حل کردند. شرایط مرزی نیز از معادله پیوستگی بدست آمد.

پارامترهای اساسی صفحات مطابق شکل (۱) عبارتند از: ارتفاع صفحه (H)، طول صفحه (L)، نسبت ارتفاع به طول (H/L)، زاویه برخورد صفحه با جریان (α)، میزان استغراق صفحه زیر سطح آب طرح (T)، فاصله عرضی بین صفحات (δ_n)، فاصله صفحات در جهت جریان (δ_s) و فاصله بین صفحات تا ساحل (δ_b).

کاربرد صفحات مستغرق در مدیریت رسوب رودخانه ها از جمله روش های کم هزینه و دوستدار محیط زیست می باشد. عمده تحقیقات قبلی مبتنی بر کاربرد صفحات غیرقابل نفوذ فلزی، بتنی، چوبی و پلاستیکی گلاس بوده در حالی که استانداردهای زیست محیطی تاکید بر کاربرد مصالح طبیعی نظیر سنگ دارد. صفحات مستغرق، سازه های اصلاح الگوی جریان هستند که به صورت متوالی در بستر با زاویه خاصی نسبت به جریان و با فاصله عرضی از ساحل و فواصل طولی مشخصی نصب می شوند. با نصب صفحات، گردابه دنباله داری ایجاد می شود که منجر به تغییر توزیع عرضی تنش برشی بستر و در نتیجه تغییر در رسوب گذاری و فرسایش می گردد. اولین کوشش های شناخته شده توسط Odgaard و Spoljaric (1986) برای توسعه پایه تئوری به منظور طراحی صفحات در دانشگاه آیوا آمریکا روی صفحات غیر قابل نفوذ انجام گرفت. به همین علت این صفحات به Iowa Vane هم مشهور هستند. آزمایش ها توسط Odgaard و

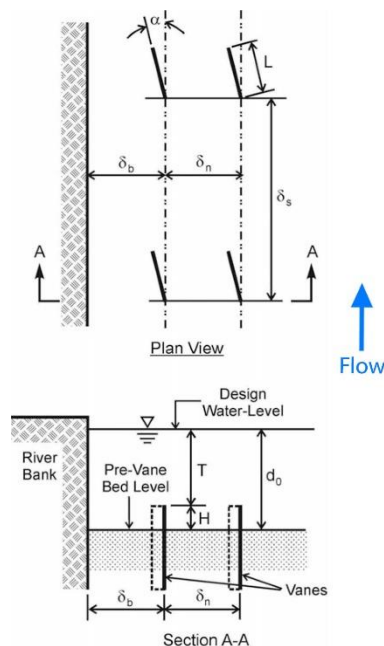


Fig.1-vane design parameters(odgaard and wang,1991)

شکل ۱- پارامترهای طراحی صفحات (ادگارد و وانگ (۱۹۹۱))

۱۵ درجه دارای بیشترین راندمان کنترل آبستگي در مسیر قوس همگرایی ۹۰ درجه می باشند. Shamsodinnejhad (2004) and keshavarzi تاثیر زاویه صفحات مستغرق را بر قدرت جریان- های ثانویه در جلوی آبگیر بررسی کردند و زاویه ۲۰ درجه را زاویه بهینه معرفی کردند تاثیر زاویه قرارگیری صفحات مستغرق روی سرعت عرضی و تنش های برشی در نزدیکی بستر توسط Asadi (2001) مورد بررسی قرار گرفته است. در خصوص کاربرد صفحات مستغرق نیز مطالعه های مختلفی انجام شده است از جمله می توان به مطالعه های Shafai Bajestan , and Frougi (1993) برای کنترل فرسایش یکی از قوس های رودخانه کرخه اشاره کرد. نتایج این مطالعه پس از یکسال بهره برداری نشان داد که قوس مذکور پایدار شده و رسوب گذاری در قوس خارجی اتفاق افتاده است. همچنین Frougi et al. (2001) از صفحات مستغرق برای ساماندهی رودخانه های فصلی استفاده کردند که نتایج آنها نشان از تأثیرات مثبت این صفحات بوده است. Hasanpoor و Molainia (2009) نیز صفحات مستغرق را به عنوان یک راهکار نو و کم هزینه برای کنترل فرسایش رودخانه های سیستمان توصیه کرده اند. کاربرد میدانی نصب صفحات مستغرق در مدیریت رسوب رودخانه و حفاظت سواحل در چند سال اخیر در جهان بیشتر شده است. odgaard (2009) لیستی از تعداد ۱۱ پروژه اجرایی پایدار کردن سواحل رودخانه ها با استفاده از صفحات مستغرق نفوذناپذیر با مصالح بتنی و فلزی در دنیا را ارائه نمود. در این پروژه ها نسبت استغرق نسبی صفحات (T/d_0) از ۰/۵ تا یک در نظر گرفته شده بود. به عنوان نمونه می توان به بررسی تأثیر صفحات مستغرق

نتایج حاصل از محاسبات حل معادلات جریان در شرایط با نسبت استغرق $T/d_0 = 1, 0.7$ ارائه گردید و نشان داد که افزایش عدد فرود جرمی $D: u_0/\sqrt{gd}$ جرم واحد حجم ذرات رسوبی و g شتاب ثقل و u_0 سرعت متوسط جریان قبل از نصب صفحات) باعث افزایش تغییرات بستر در اثر وجود صفحه خواهد شد. به کار بردن معادلات و انجام محاسبات نتایج برای آرایش دو و سه ردیف صفحات مستغرق با نسبت استغرق صفحه در محدوده $T/d_0 = 0.5, 0.7, 1$ و در زاویه برخوردی $\alpha = 20^\circ$ انجام گرفت. نتایج نمودار نشان داد که با افزایش نسبت استغرق از ۰/۵ به مقادیر ۰/۷ و یک، حداکثر افزایش در تراز بستر کاهش می یابد. همچنین نتایج نشان داد چنانچه مقدار اولیه نسبت استغرق صفحات برابر $T/d_0 = 0.7$ در نظر گرفته شود، سیستم صفحات فوق باعث کاهش عمق جریان در محدوده صفحات به ترتیب از d_0 به $0.75 d_0$ و $0.71 d_0$ خواهد شد یعنی تراز بستر در محل صفحات بیشتر از تراز بالای صفحات می گردد.

تاکنون مطالعه هایی در خصوص تاثیر پارامترهای مختلف بر کاربرد صفحات مستغرق انجام شده است که از جمله می توان به مطالعه Azizi et al. (2012) در خصوص تأثیر شکل صفحه مستغرق بر آبستگي موضعی و الگوی رسوب گذاری در فلوام آزمایشگاهی در شرایط آب زلال و بستر متحرک برای اعداد مختلف فرود $0.14, 0.16, 0.18, 0.20$ و در یک نسبت استغرق ثابت $T/d_0 = 0.7$ اشاره کرد. همچنین Parvizpoor et al. (2008) تأثیر زاویه نصب صفحات مستغرق بر توپوگرافی بستر در یک فلوام آزمایشگاهی را انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که صفحات مستغرق در حالت نصب با زاویه

در تثبیت ساحل خارجی رودخانه‌ها در آمریکا توسط (Benjamin et al. و نیز کاربرد صفحات مستغرق در رودخانه‌های کلمبیا توسط Carlos Rodriguez et al. (2020) اشاره کرد. نتایج، نشان دهنده اثرات اقتصادی سودمند به دلیل زمان اجرای کوتاهتر، کاهش هزینه های نگهداری سالانه و کاهش اثرات زیست محیطی است.

یکی از پارامترهای مهمی که بر عملکرد صفحات مستغرق تأثیر دارد نسبت استغرق است. مقدار نسبت استغرق طبق توصیه Odgaard (2009) در محدوده $0.08 - 0.16$ می‌باشد. معمولاً طراحان مجاز هستند با توجه به عمق رودخانه در همین محدوده عددی را انتخاب و ابعاد صفحه مستغرق را تعیین کنند. تمام صفحات بر همین اساس طراحی و اجرا خواهند شد. معمولاً عمق آب هم بر اساس دبی سیل طراحی می‌باشد. از طرفی رودخانه‌های طبیعی تحت تأثیر جریان‌های سیلابی متعددی با دبی بیشتر از دبی طراحی هستند و یا در زمان‌های زیادی دبی جریان بسیار کمتر از دبی طراحی است در نتیجه عمق آب و بالطبع حد استغرق بیشتر یا کمتر از مقداری خواهد بود که صفحات طراحی شده‌اند، در آنصورت آیا میزان عمق آبستگی یا رسوب‌گذاری اطراف صفحه تغییر خواهد کرد و چقدر؟ هر چند مطالعه در این خصوص در زمینه صفحات مستغرق وجود ندارد ولی مطالعه‌های انجام شده در خصوص آبشکن نشان می‌دهد که درصد استغرق بر توپوگرافی اطراف آبشکن تأثیر دارد. از جمله این مطالعه‌ها می‌توان به مطالعه Hosseinzade Tabrizi et al. (2013) اشاره کرد که تأثیر درصد استغرق جریان در آبشکن‌های سر سبزی بر توپوگرافی بستر در مسیر مستقیم در حالت مستغرق را بصورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. نتایج نشان دادند که کاهش پارامترهای آبستگی با افزایش درصد استغرق بود. همچنین Mehraein et al. (2015) در مطالعه‌ای تأثیر استغرق آبشکن بر پارامترهای آشفستگی در اطراف آبشکن مستغرق در قوس 90° را با درصد استغرق دو، پنج و پنجاه درصد بررسی نمودند. نتایج نشان داد که تنشهای رینولتز در راستای جریان و در راستای عرض کانال به دلیل جریان پایین رونده قوی‌تر و تقویت جریان گردابه نعل اسبی در آبشکن با پنج درصد استغرق، بیشتر از آبشکن با ۵۰ درصد استغرق است. مطالعه Jalili et al. (2016) در خصوص بررسی تجربی تأثیر استغرق آبشکن باندا لایک بر توپوگرافی بستر در قوس 90° در سه نسبت استغرق (h ارتفاع صفحات متصل به ساحل، y عمق جریان آب) $1.16, 1.65, 2.15$ و شرایط هیدرولیکی متفاوت با اعداد فرود $0.22, 0.24$ و 0.26 و 0.29 را انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش نسبت استغرق (y/h)، آبستگی اطراف سازه باندا لایک نیز افزایش می‌یابد. همچنین Vaghefi et al. (2017) با مطالعه عددی الگوی جریان و آبستگی ناشی از آبشکن‌های سری و سرسبزی در حالت‌های غیر مستغرق و مستغرق (با ۲۵ درصد استغرق) را انجام دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ابعاد و محل تشکیل گردابه‌ها و همچنین میزان آبستگی با تغییر فاصله‌های بین آبشکن‌ها و نسبت استغرق آبشکن‌ها تغییر می‌کنند. به گونه‌ای که در حالت مستغرق با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، میزان

آبستگی و رسوب‌گذاری بیشینه افزایش یافته در حالی که با افزایش استغرق آبشکن، از میزان بیشینه آبستگی و رسوبگذاری کاسته شده و میزان بیشینه قدرت جریان ثانویه نیز که در بالادست آبشکن اول روی می‌دهد $45/35$ درصد کاهش می‌یابد.

اخیراً مقررات سخت‌گیرانه‌ای به منظور عدم استفاده از سازه‌های صلب نظیر بتن یا مصالح بنایی در رودخانه‌ها وضع شده است و کاربرد مصالح طبیعی سنگی مورد تأکید می‌باشد از این رو ساخت صفحات توری سنگی می‌تواند انتخاب مناسبی باشد. از طرفی نفوذپذیری می‌تواند بر توپوگرافی بستر تأثیر داشته باشد. Hakim et al. (2022) در مطالعه تأثیر آبشکن نفوذ پذیر بر میزان کاهش عمق آبستگی تکیه گاه پل نشان داد که مقدار عمق آبستگی تا ۴۷ درصد کاهش می‌یابد. سابقه‌های از مطالعه آزمایشگاهی و کاربرد میدانی صفحات مستغرق توری سنگی در دسترس نمی‌باشد لیکن به دلیل مزیت‌های صفحات مستغرق توری سنگی مانند ارزانی، آسانی اجرا و نصب، امکان بازسازی مجدد، فراوانی مصالح مورد نیاز، وجود نتایج مثبت کاربرد آبشکن‌های توری سنگی و جنبه‌های مناسب زیست محیطی آن می‌توان پیش بینی کرد که انجام مطالعه‌های آزمایشگاهی و کاربرد میدانی این نوع صفحات در مدیریت رودخانه‌ها مورد توجه قرار گیرد. در نتیجه هدف مطالعه حاضر این است که تأثیر حد استغرق صفحات مستغرق توری سنگی با نفوذپذیری‌های مختلف را بر توپوگرافی بستر را بررسی نماید.

مواد و روشها

آنالیز ابعادی

متغیرهای مؤثر در آبستگی بستر در اثر کارگذاری صفحات مستغرق توری سنگی در این آزمایش بصورت زیر می‌باشند:

$$(\rho, \rho_s, \mu, g, V, Q, L, H, t, \alpha, Y, B, d_{50}, d_z, V_c, T) \quad (1)$$

که در این معادله ρ جرم مخصوص سیال، ρ_s جرم مخصوص ذرات بستر، μ لزجت دینامیکی سیال، g شتاب ثقل، V سرعت متوسط جریان، Q دبی جریان، L طول صفحه مستغرق، H ارتفاع صفحه مستغرق، t ضخامت صفحه مستغرق، α زاویه برخوردی صفحه با خطوط جریان، Y عمق جریان، B عرض فلوم، d_{50} اندازه متوسط دانه‌بندی مصالح بدنه صفحه، d_z بیشینه عمق چاله آبستگی در اطراف صفحه، V_c سرعت بحرانی ذرات رسوبی بستر و T عمق آب تا سطح صفحه می‌باشد.

با استفاده از روش π باکینگهام، رابطه (۱) را می‌توان بصورت زیر بدست آورد:

پارامترهای Y, V, ρ بعنوان متغیر تکراری در نظر گرفته می‌شود:

شود:

به قطر ۱۲۰۰ میلیمتر و طول کل ۱۳ متر می‌باشد که دو متر از قسمت ابتدایی فلوم بعنوان مخزن آرام کننده با نصب صفحاتی جدا گردیده و در داخل آن پوشال برای آرام نمودن تلاطم جریان ورودی قرار داده شده است. به دلایل تسریع در ساخت فلوم، امکان فرم دهی و اتصال به مصالح فلزی، مقاومت کافی، سطوح صاف و جذب آب بسیار ناچیز، جنس فلوم از نوع نیم لوله الیاف شیشه ای انتخاب شد لیکن مقطع عبور جریان پس از ریختن مصالح بستر ماسه ای تقریباً به شکل دوزنقه درآمده که تا حدودی شبیه مقاطع رودخانه ای طبیعی می باشد. آب مورد نیاز توسط یک لوله پلی اتیلن به قطر ۱۰۰ میلیمتر از مخزن واقع در رقومی بالاتر در موقعیت ساحل سد مخزنی کزنار الیگودرز در استان لرستان تأمین شد. که یک شیر کشویی برای تنظیم و قطع و وصل جریان در ورودی فلوم بر روی این خط لوله نصب گردید. در انتهای فلوم یک دریچه سرریز لبه تیز مستطیلی کوچک شده فلزی برای کنترل و تنظیم سطح آب درون فلوم به عرض ۶۰۰ میلیمتر تعبیه شده است. یک دی سنج الکترومغناطیسی (مدل PROMAG W Endress) (با دقت ± 0.1 میزان قرائت شده) نیز برای اندازه گیری دبی جریان ورودی به فلوم روی خط لوله آب ورودی نصب گردید (شکل ۲).

(۲)

از آنجائیکه در این آزمایش مقادیر $V, Y, \mu, \rho_s, \rho, g, t, L, H, B$ ثابت است فلذا داریم:

$$\frac{d_z}{Y} = f\left(\frac{\mu}{\rho V Y}, \frac{Y g}{V^2}, \frac{d_{50}}{Y}, \frac{T}{Y}, \alpha\right) \quad (۳)$$

$$\frac{d_z}{Y} = f\left(\frac{1}{R_e}, \frac{1}{Fr^2}, Y, \frac{d_{50}}{Y}, \frac{T}{Y}, \alpha\right) \quad (۴)$$

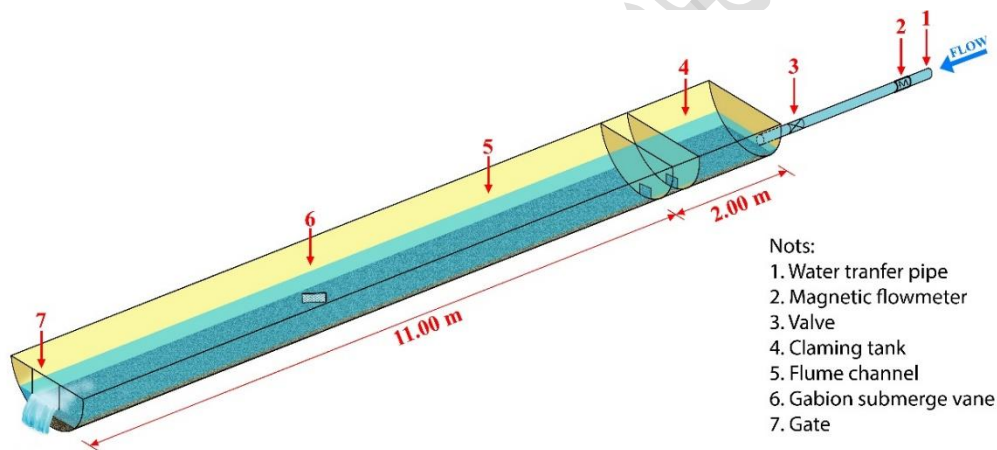
با توجه به ناچیز بودن اثرات لزجت در این آزمایش، از عدد رینولدز صرف نظر می‌کنیم فلذا رابطه نهایی بصورت زیر بدست می‌آید:

(۵)

$$\frac{d_z}{Y} = f\left(Fr, d_{50}, \frac{T}{Y}, \alpha\right)$$

ساختار و تجهیزات آزمایش

تجهیزات آزمایشگاهی که در این تحقیق بکار رفته است شامل یک فلوم از جنس الیاف شیشه ای (GRP) با مقطع نیم لوله کاملاً افقی



- Notes:
1. Water tranfer pipe
 2. Magnetic flowmeter
 3. Valve
 4. Claming tank
 5. Flume channel
 6. Gabion submerge vane
 7. Gate

Fig. 2-Flume Schematic

شکل ۲- طرح شماتیک فلوم

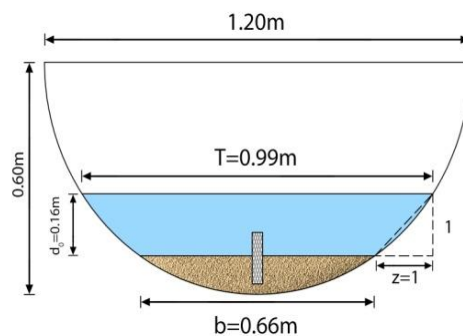


Fig.3-Flume cross section

شکل ۳- مقطع عرضی فلوم

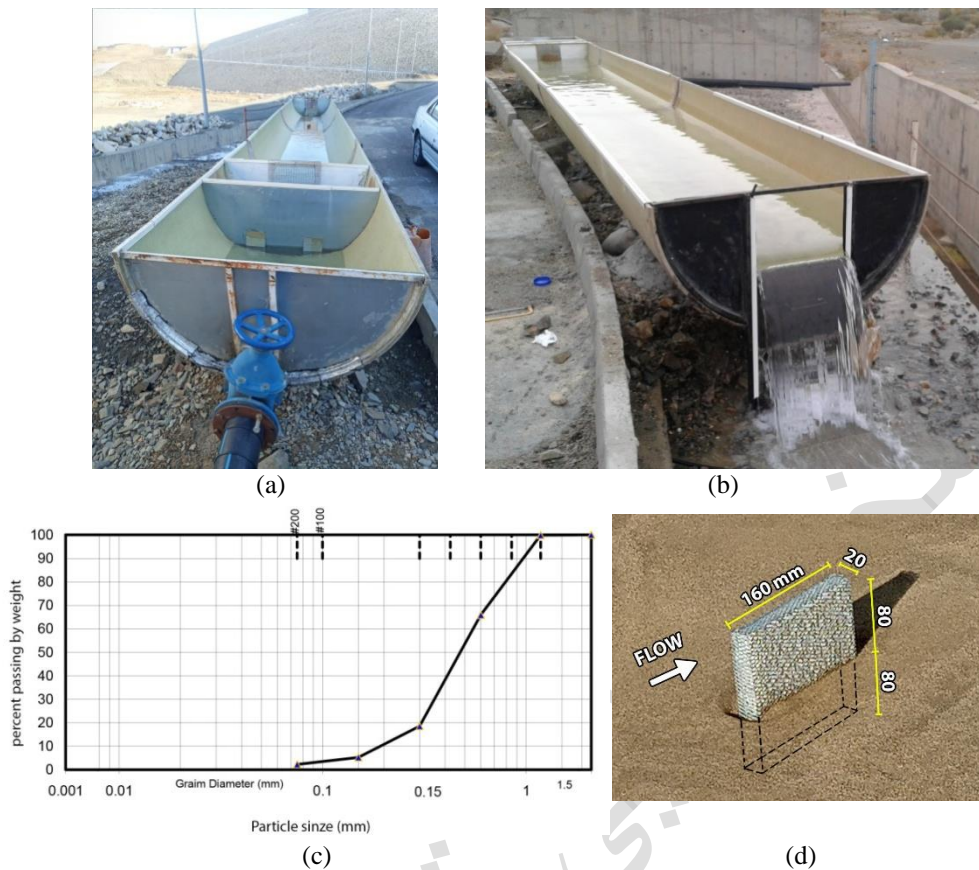


Fig. 2- a), b) View of the flume with flow input and output equipment, c) size distribution of bed sediment size, d) photograph of the installed gabion submerge vane

شکل ۴- الف) و ب) نمای از فلوم با همراه تجهیزات ورودی و خروجی جریان، ج) نمودار دانه‌بندی ماسه سیلیسی بستر، د) صفحه مستغرق توری سنگی نصب شده در بستر ماسه‌ای

و برای سرعت برشی بحرانی از رابطه توزیع لگاریتمی سرعت استفاده شده است:

$$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log(5.53 \frac{y}{d_{50}}) \quad (۷)$$

مشاهدات عینی آزمایشات اولیه در اعماق مختلف و در حین عبور دبی جریان ۵۰ lit/sec از فلوم نشان داد که رسوبات در عمق آب ۵۰ mm از جا کنده و حرکت می‌کنند لذا مقدار واقعی سرعت جریان آستانه حرکت رسوبات از رابطه (۷) به مقدار $V_c = 0.302 \text{ m/sec}$ محاسبه می‌شود. در آزمایشات با عدد فرود $Fr = 0.17$ ، مقدار سرعت متوسط جریان در فلوم با توجه به کمترین نسبت استغراق انتخابی ۰/۵، حداکثر به مقدار $V = 0.184 \text{ m/sec}$ می‌باشد که کمتر از سرعت آستانه حرکت است. لذا در تمامی نسبت‌های استغراق انتخابی این آزمایش، شرایط هیدرولیکی آب زلال برقرار است.

صفحات مستغرق در این تحقیق با استفاده از توری سیمی مقاوم با مش کمتر از دو میلیمتر با برشکاری، خم کاری و جوشکاری ساخته شد. ساده ترین و در عین حال کاربردی ترین (به دلیل سادگی ساخت و نصب

بستر فلوم به عمق ۱۰۰ میلیمتر از مصالح رسوبی با ماسه سیلیسی به قطر متوسط $d_{50} = 0.48 \text{ mm}$ پر شد به نحوی که عرض کف به ۶۶۰ میلیمتر رسید (شکل ۳). نمودار دانه‌بندی رسوبات در شکل (۴) ج نشان داده شده است. رسوبات دارای انحراف معیار استاندارد $\sigma_g = \sqrt{d_{84}/d_{16}} = 1.75$ و ضریب یکنواختی ۳/۰۵ $C_{u1} = d_{60}/d_{10} =$ می‌باشد. با توجه به اینکه $C_{u1} < 4$ است لذا در مجموع مصالح ماسه‌ای در رده مصالح با دانه‌بندی غیر یکنواخت قرار می‌گیرد لیکن با توجه به اینکه طبق نمودار دانه‌بندی، بخش عمده ماسه سیلیسی بستر خصوصاً با قطر بیش از ۰/۱۵ mm یکنواخت هستند لذا غیریکنواختی جزئی مصالح تأثیری در نتایج نخواهد داشت.

مقدار سرعت برشی بحرانی برای رسوبات بستر از رابطه (1997) Melville بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$u_{*c} = 0.0115 + 0.0125 d_{50}^{1.4} = 0.0147255 \quad (۶)$$

$$0.1 \text{ mm} < d_{50} < 1 \text{ mm}$$

آنها) شکل صفحات مستغرق، صفحات تخت مستطیل شکل است (Azizi et al., 2012). مهمترین مشکل جهت استفاده صفحات در زوایای بزرگتر، آبشستگی زیاد پیرامون صفحات و ناپایدار شدن آنهاست (Gupta et al., 2010). که نهایتاً شکل صفحات در این تحقیق، بصورت مستطیلی انتخاب گردید. Odgaard (2009) لیستی از ابعاد متداول برای طراحی صفحات مستغرق و معیارهای آن بر اساس تجربیاتی که تا آن زمان حاصل شده بود مطابق جدول (۱) ارائه کرد که در ستون سوم جدول، ابعاد انتخاب شده صفحات برای انجام آزمایشات در این تحقیق ارائه شده است.

با توجه به معیارهای فوق، ابعاد خالص صفحه مستغرق توری سنگی در این آزمایش به مقدار $160 \times 80 \times 20$ میلیمتر انتخاب شد لیکن جهت استقرار در بستر ماسه‌ای، این صفحات به ابعاد $160 \times 160 \times 20$ میلیمتر ساخته شد و به مقدار ۸۰ میلیمتر از ارتفاع آن در درون بستر ماسه‌ای قرار داده شد تا صفحه در تمام مدت آزمایشات پایدار بماند (شکل (۴)۲).

جهت بررسی تأثیر نفوذپذیری صفحات، تعداد چهار نوع دانه‌بندی مختلف از سنگدانه‌هایی از جنس کربنات کلسیم سفید رنگ انتخاب

گردید و صفحات با این سنگدانه‌ها پر گردید. در شکل (۵) نمودار دانه-بندی چهار نوع مصالح انتخابی جهت بدنه صفحات ارائه گردیده است. مشخصات آنها به شرح زیر می‌باشد:

- دانه‌بندی خیلی ریز (VF)، عبوری از الک شماره 6 و مانده روی الک شماره 8 و $d_{50} = 3.6\text{mm}$.

- دانه‌بندی ریز (F)، عبوری از الک شماره 4 و مانده روی الک شماره 6 و $d_{50} = 4\text{mm}$.

- دانه بندی متوسط (M)، عبوری از الک شماره 3/8 و مانده روی الک شماره 4 و $d_{50} = 6.7\text{mm}$.

- دانه‌بندی درشت (C)، عبوری از الک شماره 1/2 و مانده روی الک شماره 3/8 و $d_{50} = 11\text{mm}$.

لازم به توضیح است که نفوذ پذیری صفحات با توجه به دانه بندی مصالح بدنه و مقادیر عبوری و مانده روی الک های استاندارد بصورت کیفی در چهار نوع خیلی ریز، ریز، متوسط و درشت دانه انتخاب گردید و d_{50} انواع مصالح چهارگانه فوق نیز از نمودار دانه‌بندی شکل (۵) استخراج گردید و بعنوان نماد دانه بندی فوق در این تحقیق معرفی گردید.

جدول ۱- ابعاد تیب صفحات و طراحی آرایش آنها

Table 1-Typical dimensions for vane design and layout

Vane Specifications	Oddgard (2009) Reference	Values selected for testing
Vane height , H	(0.2-0.4)Y	(0.2-0.5)y
Vane length , L	(2-3)H	2 H
Submergence ratio , T/d _o	0.6-0.8	0.5-0.8
Vane angle of attack , α	10-20°	25°
Vane thickness	0.05-0.2 m	2 cm
Distance of bank , δ_n	3 H	~2 H

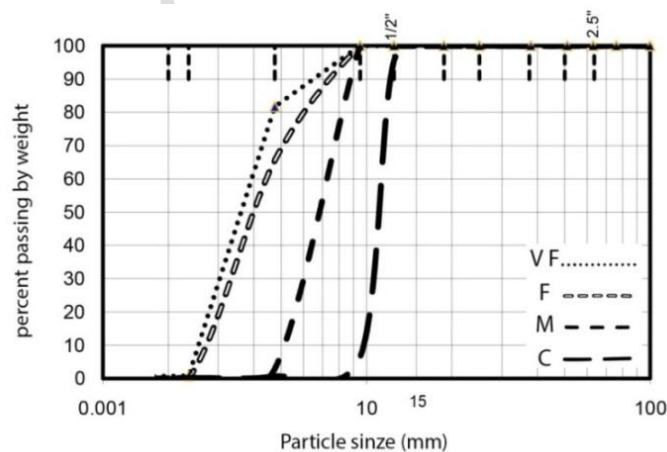


Fig. 5-Gradation curve 4 type of gabion vane filled with very fine, fine, medium and coarse materials

شکل ۵- نمودار دانه‌بندی ۴ نوع صفحه توری سنگی پر شده از مصالح خیلی ریزدانه، ریزدانه، متوسط و درشت دانه

جدول ۲- نسبت های استغراق انتخابی آزمایشات
Table2-Selected submergence ratios of tests

Test Mode	Water depth d_0 (cm)	Vane height H (cm)	Vane Submergence T (cm)	Submergence ratio T/d_0
1	16	8	8	0.5
2	20	8	12	0.6
3	26.66	8	18.66	0.7
4	40	8	32	0.8

روش انجام آزمایش

با تغییر میزان عمق استغراق زیر سطح آب (T) و با تنظیم عمق آب (d_0) در فلوم به ترتیب در مقادیر ۱۶، ۲۰، ۲۶/۶ و ۴۰ سانتی متری به شرح جدول (۲) انجام گرفت. با انتخاب چهار نوع دانه بندی متفاوت برای مصالح بدنه صفحه (d_{50})، به تعداد ۱۶ آزمایش مطابق جدول (۳) انجام گرفت. در این پژوهش چون هدف مقایسه تغییرات توپوگرافی بستر در شرایط هیدرولیکی متفاوت است و نه استخراج معادله ای برای عمق آبستگی، زمان انجام هر آزمایش سه ساعت در نظر گرفته شد (Johnson et al. , 2001). پس از اتمام هر آزمایش، آب درون فلوم به آهستگی تخلیه گردید و توپوگرافی بستر و مقاطع با دوربین نقشه برداری لیزری با دقت برداشت گردید و به منظور نمایش مطلوب و قابل تحلیل تغییرات توپوگرافی بستر حول صفحات مستغرق در آزمایشات مختلف، تصاویر مربوطه با استفاده از نرم افزار Civil 3D ترسیم گردید. نمودارهایی هم برای مقایسه راحت پارامترها توسط نرم افزار Exel ارائه گردیده است.

برای هر آزمایش ابتدا سطح مصالح رسوبی بستر کاملا تسطیح شده و توسط دوربین نقشه برداری لیزری کنترل گردید. صفحات مستغرق پر شده با مصالح دانه بندی متفاوت به ترتیب در موقعیت شش متری از ابتدای کانال اصلی فلوم در بستر به صورت تکی با زاویه ۲۵ درجه نصب گردیدند و صفحه با ارتفاع ۸۰ میلی متر از سطح بستر در مرکز فلوم کارگذاری شد و سپس با بالا کشیدن دریچه سرریز انتهای فلوم، به آهستگی با باز نمودن شیر قطع و وصل لوله ورودی، جریان آب وارد فلوم شد. برای جلوگیری از آبستگی بستر تراز شده، در ابتدا جریان بسیار کم و به آرامی با کنترل شیر ورودی وارد فلوم شد و پس از بالا آمدن سطح آب در فلوم تا عمق مورد نظر، جریان ورودی افزایش داده شد و دبی تنظیم شده ۲۴/۴ lit/sec وارد فلوم گردید. آزمایش های در چهار حالت با نسبت های استغراق (T/d_0) متفاوت ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷ و ۰/۸

جدول ۳- نتایج آزمایشات
Table3-Results of the experiments

No	symbol	(T/d_0)	α (degree)	d_{50} (mm)	dz_{min} (mm)	dz_{max} (mm)
1	VF	0.5	25	3.6	45.00	38.00
2	F	0.6	25	3.6	20.00	20.00
3	M	0.7	25	3.6	2.00	1.80
4	C	0.8	25	3.6	1.40	1.50
5	VF	0.5	25	4	38.00	30.00
6	F	0.6	25	4	15.00	15.00
7	M	0.7	25	4	1.60	1.30
8	C	0.8	25	4	1.30	1.00
9	VF	0.5	25	6.7	29.00	20.00
10	F	0.6	25	6.7	12.00	4.00
11	M	0.7	25	6.7	1.40	1.00
12	C	0.8	25	6.7	0.90	0.80
13	VF	0.5	25	11	21.00	13.00
14	F	0.6	25	11	8.00	2.00
15	M	0.7	25	11	1.20	0.70
16	C	0.8	25	11	0.70	0.60

نتایج و بحث

الگوی فرسایش و رسوب گذاری

در شرایط هیدرولیکی آب زلال به دلیل کوچک بودن محدوده تأثیر گردابه‌های برشی به وجود آمده در اطراف صفحات، هر صفحه با یک دانه بندی متفاوت خیلی ریز، ریز، متوسط یا درشت پر شده و در بستر فلوم و در زاویه ۲۵ درجه کارگذاری و آزمایش می‌شوند (شکل ۶). مشاهدات در حین آزمایش نشان داد که آبستنگی از دماغه صفحات شروع شده و رسوبات کنده شده به پشت صفحه انتقال یافته و در آنجا به تدریج نهشته شده و تشکیل پشته را می‌دهند. عامل اصلی شروع آبستنگی در پنجه (دماغه) صفحه، ناشی از برخورد جریان به ضخامت پیشانی صفحه (t) و بوجود آمدن جریان‌های رو به پایین می‌باشد که با چرخش به سمت پشت صفحه، یک گردابه در کنج پشت صفحه بوجود آورده و این گردابه، مصالح کنده شده را به سمت بالا پرتاب کرده و همراه جریان به سمت پایین دست انتقال می‌دهد. علاوه بر چاله آبستنگی ایجاد شده در پنجه، یک چاله آبستنگی دیگر با فاصله‌ای از پاشنه بدلیل گردابه افقی بوجود آمده در اثر برخورد خطوط جریان با کنج پاشنه صفحه شکل می‌گیرد و رسوبات آن در منتهی‌الیه چاله آبستنگی

نهشته شده و تشکیل پشته می‌دهند. موقعیت کلی چاله‌های آبستنگی و پشته‌های رسوب گذاری شده در نسبت استغراق ۰/۵ و با چهار نفوذپذیری متفاوت که با استفاده از نرم افزار Civil 3D ترسیم گردیده، در شکل (۷) نشان داده شده است. نرخ فرسایش و رسوب گذاری در زمان‌های اولیه بسیار زیاد بوده و به تدریج با گذشت زمان کم و پس از مدتی تقریباً ثابت و نهایتاً در پایان سه ساعت از شروع آزمایش متوقف شد.

بطور کلی حداکثر عمق آبستنگی در پنجه صفحات ایجاد می‌شود و در تمامی آزمایش‌ها مشاهده شد که با کاهش نسبت استغراق و کاهش نفوذپذیری صفحات، عمق و ابعاد چاله‌های آبستنگی و ارتفاع و ابعاد پشته‌های رسوب گذاری افزایش می‌یابد.

در حین آزمایش‌ها اثر گردابه برشی پشت صفحه خصوصاً در نسبت استغراق کمتر از ۰/۶ در قسمت پشت صفحات مطابق شکل (۸) به صورت تلاطم در سطح آب کاملاً مشاهده شد. لیکن در نسبت استغراق ۰/۷ و ۰/۸ هیچگونه تلاطمی در سطح آب مشاهده نگردید. موقعیت کلی حداکثر عمق چاله آبستنگی به وجود آمده در جلوی پنجه صفحه و پشته‌های رسوب گذاری پشت صفحه در آزمایش VF25 در شکل (۹) نشان داده شده است.



Fig. 6- view of the installation of The submerged vane on sand bed

شکل ۶- نمای از کارگذاری یک صفحه مستغرق بر روی بستر ماسه‌ای

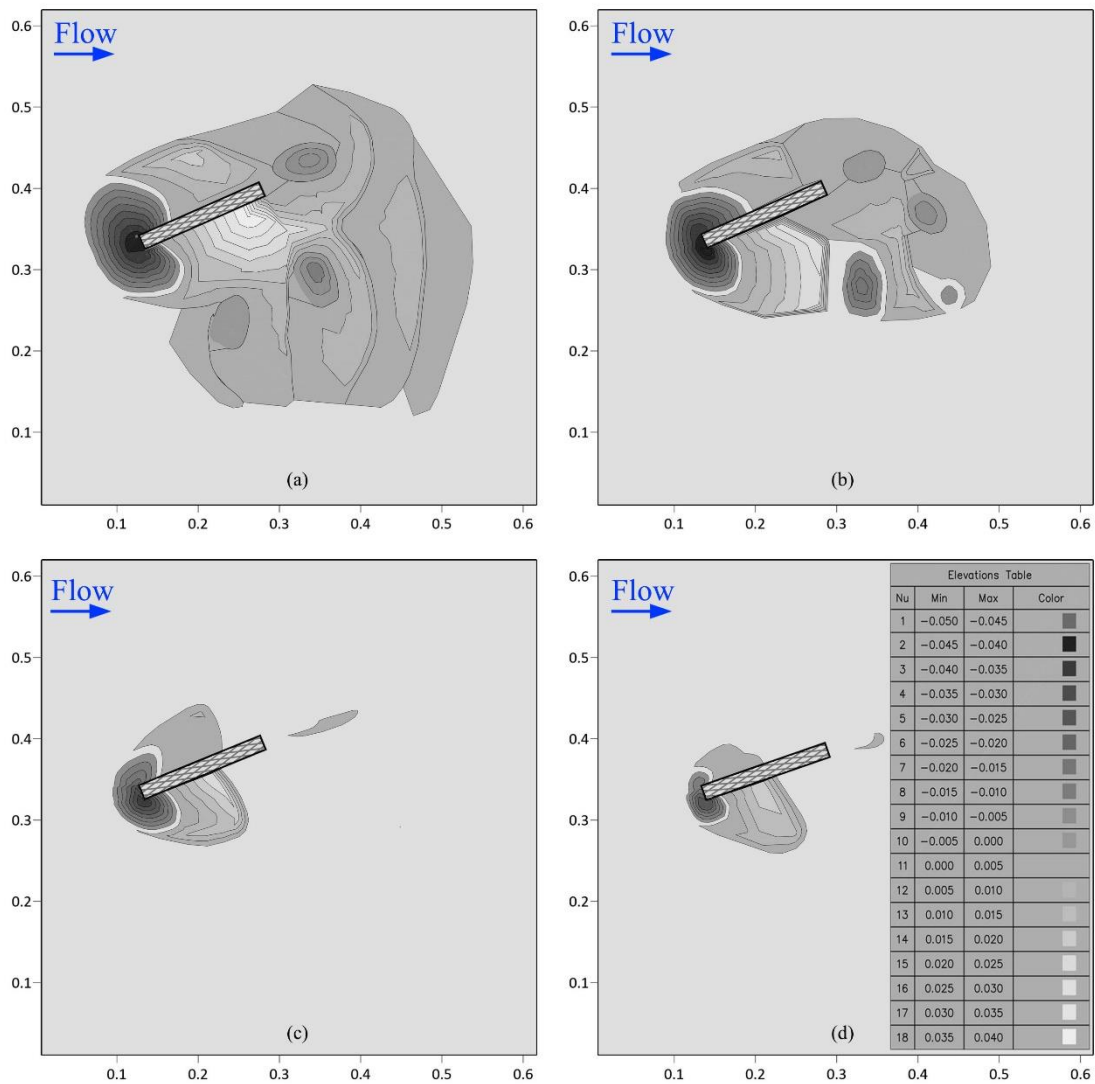


Fig. 7- bed topographic plan under hydraulic conditions $T/d_o=0.5$, $\alpha = 25$ with different permeability:

(a) VF25, (b) F25, (c) M25, (d) C25

شکل ۷- پلان توپوگرافی بستر در شرایط هیدرولیکی نسبت استغراق ۰/۵ با زاویه برخوردی ۲۵ درجه و با نفوذپذیری متفاوت:
 (a) خیلی ریزدانه، (b) ریزدانه، (c) متوسط دانه و (d) درشت دانه



Fig.8-The effects of water surface turbulence due to shear layer eddies behind the submerged vane at submergence ratio smaller than 0.6

شکل ۸- اثرات تلاطم سطح آب ناشی از گردابه برشی دنباله‌دار پشت صفحات در نسبت استغراق کمتر از ۰/۶



Fig.9- The position of the maximum depth of the scour hole and sedimentation bars behind the vane in test VF25 at submergence ratio $T/d_0=0.5$

شکل ۹- موقعیت حداکثر عمق چاله آبستگي پنجه و پشته‌های رسوبگذاری پشت صفحه در آزمایش VF25 در نسبت استغراق

۰/۵

اثر استغراق بر آبستگي بستر

نسبت استغراق از ۰/۷ به ۰/۶ ، حداکثر عمق نسبي چاله آبستگي در پنجه برای مصالح با نفوذپذيري خیلی کم ($d_{50} = 3.6 \text{ mm}$) مقدار ۹۲ درصد و برای نفوذپذيري کم ($d_{50} = 4 \text{ mm}$) مقدار ۶۸ درصد ، برای نفوذپذيري متوسط ($d_{50} = 6.7 \text{ mm}$) مقدار ۵۴ درصد و برای نفوذپذيري زياد ($d_{50} = 11 \text{ mm}$) مقدار ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. با کاهش نسبت استغراق از ۰/۶ به ۰/۵ تغییرات حداکثر عمق چاله‌های آبستگي به شدت افزایش می‌یابد به طوريکه این مقدار برای مصالح با نفوذپذيري خیلی کم مقدار ۱۸۱ درصد، برای نفوذپذيري کم به مقدار ۱۶۲ درصد ، برای نفوذپذيري متوسط مقدار ۱۲۱ درصد و برای نفوذپذيري زياد مقدار ۹۱ درصد افزایش می‌یابد.

در مورد تأثیر دانه بندی مصالح بدنه صفحات بر عمق چاله آبستگي و ارتباط آن با نسبت استغراق، از نمودارهای شکل (۱۰) میتوان چنین استنباط کرد که در یک نسبت استغراق ثابت ، هرچه دانه بندی مصالح بدنه صفحات ریزتر باشد، عمق چاله آبستگي بیشتر است يعني چنانچه نسبت استغراق جريان بیشتر از ۰/۶ باشد در نتیجه برای تأثیر بیشتر گردابه‌های برشی اطراف صفحات ، می‌بایست دانه‌بندی مصالح بدنه صفحات را ریزتر انتخاب کرد.

Odgaard (2009) محدوده زاویه برخوردی خطوط جريان نسبت به صفحات مستغرق نفوذناپذير (فلزی ، بتی و چوبي) را در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درجه پیشنهاد می‌نماید که با ارتفاع اولیه ۰/۲ تا ۰/۴ عمق آب (يعنی نسبت استغراق ۰/۸ تا ۰/۶) نصب می‌شوند. ليکن به دليل نفوذپذير بودن و کاهش نیروی درگ در صفحات توری سنگی انتظار می‌رود که جهت ایجاد گردابه برشی قوی‌تر نیاز به افزایش زاویه صفحات می‌باشد لذا در این پژوهش محدوده زاویه صفحات از ۲۰ درجه به ۲۵ درجه افزایش یافت و ارتفاع اولیه صفحات نیز بین ۰/۲ تا ۰/۵ عمق آب انتخاب گردید. شکل (۱۰) نمودار تغییرات حداکثر عمق نسبي چاله آبستگي (dz_{min}/y) در پنجه صفحات را نسبت به حد استغراق‌های مختلف ۰/۵ ، ۰/۶ ، ۰/۷ و ۰/۸ در نفوذپذيري‌های مختلف مصالح بدنه صفحات نشان می‌دهد. نتایج این شکل نشان می‌دهد که در حالت کلی با کاهش نسبت استغراق ، حداکثر عمق چاله آبستگي در پنجه صفحات افزایش می‌یابد. حداکثر عمق چاله آبستگي در توپوگرافی بستر در حد استغراق بزرگتر از ۰/۷ بسیار کم و تقريباً ناچيز می‌باشد. ليکن در نسبت استغراق ۰/۷ تا ۰/۶ این مقادير افزایش می‌یابد. با کاهش

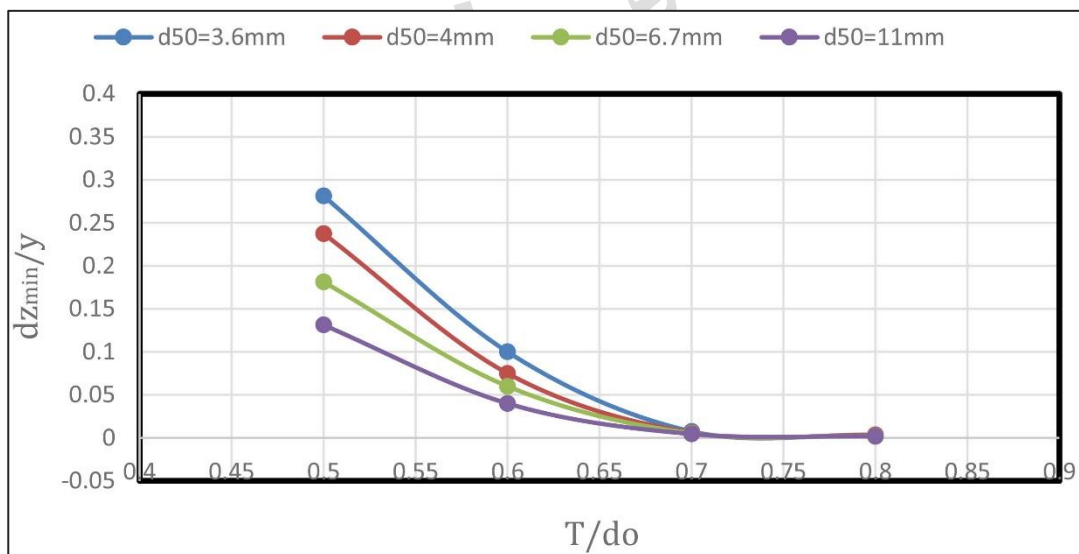


Fig. 10- variation of relative maximum depth of the scour hole (dz_{min}/y) in the toe of the vane versus submergence ratio (T/d_0) in different permeabilities (d_{50})

شکل ۱۰- تغییرات حداکثر عمق نسبي چاله آبستگي (dz_{min}/y) در پنجه صفحه نسبت به حد استغراق (T/d_0) در نفوذپذيري‌های متفاوت (d_{50})

اثر استغراق بر رسوب‌گذاری بستر

($d_{50} = 11 \text{ mm}$) مقدار هفت درصد افزایش می‌یابد. با کاهش نسبت استغراق از $0/6$ به $0/5$ تغییرات حداکثر ارتفاع پشته‌های رسوب‌گذاری به شدت افزایش می‌یابد به طوری‌که این مقدار برای مصالح با نفوذپذیری خیلی کم مقدار 137 درصد، برای نفوذپذیری کم به مقدار 112 درصد، برای نفوذپذیری متوسط مقدار 105 درصد و برای نفوذپذیری زیاد مقدار پنج درصد افزایش می‌یابد.

در خصوص تأثیر دانه‌بندی مصالح بدنه صفحات بر پشته‌های رسوب‌گذاری و ارتباط آن با نسبت استغراق، میتوان از نمودار فوق چنین نتیجه‌گیری کرد که در یک نسبت استغراق ثابت، دانه‌بندی مصالح بدنه صفحات ریزتر باشد، ارتفاع پشته رسوب‌گذاری هم بزرگتر است.

نمودارهای اشکال (۱۰) و (۱۱) نشان می‌دهد که در نسبت‌های استغراق کمتر از $0/6$ ، بدلیل وجود آمدن گردابه‌های برشی بزرگتر، عمق و ابعاد چاله‌های آبستنگی و ارتفاع و ابعاد پشته‌های رسوب‌گذاری بزرگتر می‌باشد.

شکل (۱۱) نمودار تغییرات حداکثر ارتفاع نسبی پشته‌های رسوب‌گذاری (dz_{max}/y) در پشت صفحات را نسبت به حد استغراق‌های مختلف $0/5$ ، $0/6$ ، $0/7$ و $0/8$ در نفوذپذیری‌های مختلف مصالح بدنه صفحات نشان می‌دهد. نتایج این شکل نشان می‌دهد که در حالت کلی، با کاهش نسبت استغراق، حداکثر ارتفاع پشته‌های رسوبی در پشت صفحات افزایش می‌یابد. حداکثر ارتفاع پشته‌های رسوبی در توپوگرافی بستر در حد استغراق بزرگتر از $0/7$ بسیار کم و تقریباً ناچیز می‌باشد. لیکن با کاهش نسبت استغراق از $0/7$ به $0/6$ ، این مقادیر افزایش می‌یابد. با کاهش نسبت استغراق از $0/7$ به $0/6$ ، مقادیر حداکثر ارتفاع پشته‌های رسوب‌گذاری پشت صفحات برای مصالح با نفوذپذیری خیلی کم ($d_{50} = 3.6 \text{ mm}$) مقدار 93 درصد و برای نفوذپذیری کم ($d_{50} = 4 \text{ mm}$) 70 درصد، برای نفوذپذیری متوسط ($d_{50} = 6.7 \text{ mm}$) مقدار 16 درصد و برای نفوذپذیری زیاد

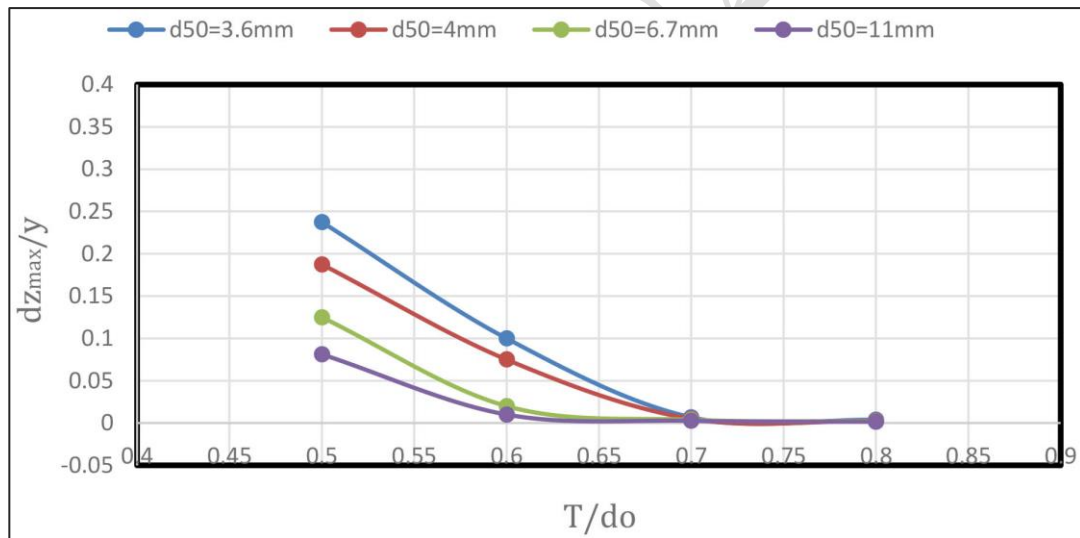


Fig. 11- Variation of relative maximum of the height of point bar (dz_{max}/y) behind the vanes versus submergence ratio (T/d_0) at different permeability (d_{50})

شکل ۱۱- تغییرات حداکثر ارتفاع نسبی پشته رسوبی (dz_{max}/y) پشت صفحه نسبت به نسبت استغراق (T/d_0) در نفوذپذیری‌های متفاوت (d_{50})

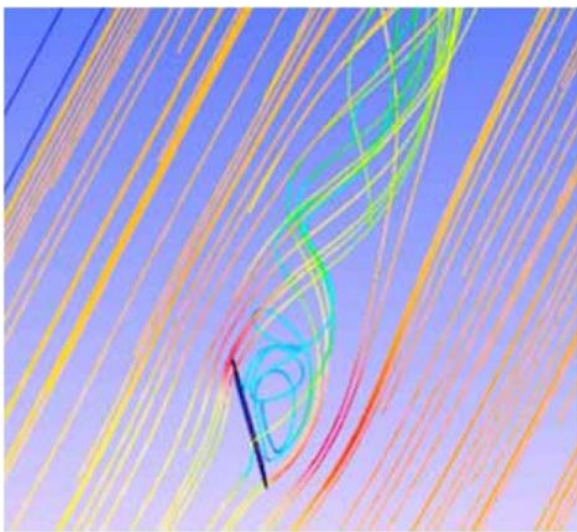
چندین صفحه می‌باشد. به‌منظور حصول به مقدار مشخصی و جریان چرخشی و ایجاد تنش برشی بستر در پایین دست، صفحات باید به فواصل معینی در پایین دست همدیگر قرار گیرند. آرایش و فواصل صفحات بستگی به هدف پروژه دارد (Odgaard, 2009).

مشاهدات

در حین آزمایش‌ها، اثر گردابه برشی پشت صفحه حتی در زوایای بیش از ۲۰ درجه و سرعت‌های پایین (نسبت استغراق کمتر از ۰/۶) هم در سطح آب و در قسمت پشت صفحات مطابق شکل (۱۳) کاملاً قابل مشاهده بود. هرچه نفوذپذیری مصالح بدنه صفحات کمتر بود، این گردابه‌ها سطح بیشتری و ابعاد بزرگتری را به‌صورت تلاطم در سطح آب نشان می‌داد. برای مشاهده بهتر اثر گردابه برشی پشت صفحه در مراحل مختلف آزمایش، اقدام به تزریق مواد رنگی شد و مشاهده شد که در اثر عبور جریان از داخل منافذ مصالح بدنه صفحات، گردابه‌های کوچک و پیوسته‌ای نیز در پشت صفحه شکل می‌گیرد که باعث افزایش آشفتگی جریان پشت صفحات شده و هرچه دانه‌بندی صفحات ریزتر باشد، این گردابه‌ها قوی‌تر عمل می‌کنند و بزرگتر هستند. محدوده تأثیر این گردابه‌های رنگی در شرایط هیدرولیکی نسبت استغراق ۰/۵ تا فاصله ۴H ~ از صفحات از صفحات اندازه‌گیری گردید. در نسبت‌های بیش از ۰/۵ تا ۰/۸، این محدوده تأثیر از ۴H به 2H کاهش می‌یابد (شکل ۱۴).

یک صفحه مستغرق که با زاویه کوچکی (α) نسبت به جریان قرار گرفته باشد، تولید جریان چرخشی افقی در جهت پایین دست جریان خواهد کرد. جریان چرخشی به‌دلیل تغییر فشار در دو طرف صفحه به وجود می‌آید. این مسأله باعث می‌شود که مؤلفه سرعت جریان در وجه بالادست صفحه (منطقه پرفشار) به طرف بالا باشد در حالی که در وجه پایین دست صفحه (منطقه کم فشار) به سمت پایین حرکت کند. در نتیجه گردابه‌های ایجاد شده در لبه پشتی صفحه، می‌چرخد تا اینکه گردابه بزرگتر حلزونی شکل از کناره‌های لبه بالایی صفحه شروع می‌شود. این گرداب توسط جریان اصلی آب به پایین دست منتقل می‌شود و باعث جریان ثانویه یا حلزونی شکل در کانال می‌گردد (شکل (۱۳) a). گردابه مذکور باعث تغییر توزیع تنش برشی کف و در نتیجه پستی و بلندی بستر کانال می‌شود.

برای تولید گردابه‌های بزرگتری که الگوی جریان را در سطح وسیعتری از مقطع عرضی کانال تحت تأثیر قرار دهد، نیازمند به کاربردن



(a)



(b)

Fig.13-(a) A plan of the downstream flow pattern behind the submerged vane (sharma et al. 2015), (b) the effects of water surface

turbulence due to shear layer eddies behind submerged vane in VF 25 test at $T/d_0=0.5$

شکل ۱۳- (a) پلانی از الگوی جریان پایین دست پشت صفحه مستغرق (Sharma et al., 2016)، (b) اثرات تلاطم سطح آب ناشی از گردابه برشی دنباله‌دار پشت صفحه توری سنگی در در آزمایش VF25 در نسبت استغراق ۰/۵

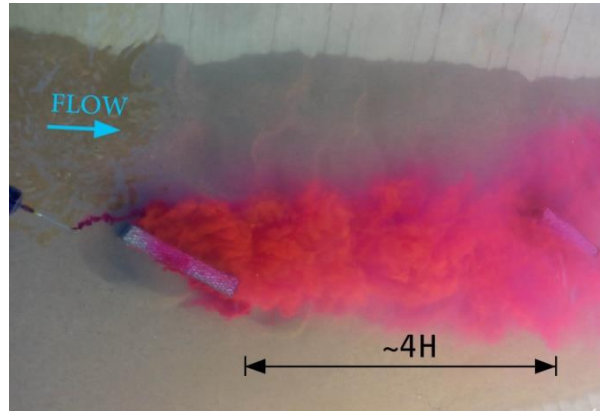


Fig.14-View of dye injection in VF25, $T/d_0=0.5$
 شکل ۱۴- مشاهده تزریق رنگ در آزمایش VF25 و نسبت استغراق ۰/۵

نتیجه گیری

هدف از تحقیق حاضر بررسی آزمایشگاهی تاثیر استغراق صفحات مستغرق توری سنگی کارگذاری شده با زاویه ۲۵ درجه نسبت به جریان و بانفوذپذیری مختلف نصب شده بر بستر ماسه‌ای در کانال مستقیم و در شرایط هیدرولیکی آب زلال می‌باشد. با توجه به اینکه استانداردهای زیست محیطی تأکید بر کاربرد مصالح طبیعی نظیر سنگ در طرح‌های مهندسی رودخانه دارد و از طرفی ساخت، حمل و نصب اینگونه صفحات در بستر رودخانه نسبت به صفحات بتنی و فلزی آسان و ارزان قیمت است فلذا در این تحقیق صفحات از نوع توری سنگی انتخاب شد.

نتایج آزمایش‌های در شرایط هیدرولیکی آب زلال با نسبت‌های استغراق ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷ و ۰/۸ و با نفوذپذیری‌های متفاوت مصالح بدنه صفحات، ۳.۶، ۴، ۶.۷، ۱۱mm d_{50} نشان داد که در حالت کلی با کاهش نسبت استغراق، حداکثر عمق چاله آبستنگی و ارتفاع پشته رسوب‌گذاری اطراف صفحه افزایش می‌یابد. همچنین عمق چاله آبستنگی و ارتفاع پشته‌های رسوبی در نسبت‌های استغراق کمتر از ۰/۶ بشدت افزایش می‌یابد. به‌طور نمونه این مقدار در مصالح با نفوذپذیری خیلی کم به‌طور متوسط تا حدود ۲۵۰ درصد برای نسبت استغراق ۰/۵ افزایش می‌یابد. در نسبت‌های استغراق بیش از ۰/۷، اثرات این صفحات بر ایجاد چاله‌های آبستنگی و پشته‌های رسوبی بسیار ناچیز است. علاوه بر این در یک نسبت استغراق ثابت، هرچه دانه‌بندی

مصالح بدنه صفحات ریزتر باشد، عمق چاله آبستنگی و پشته رسوب-گذاری اطراف صفحه افزایش می‌یابد.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که اختلاف بین عمق چاله آبستنگی و ارتفاع پشته‌های رسوب‌گذاری در نسبت‌های استغراق ۰/۵ و ۰/۶ قابل ملاحظه است یعنی با کاهش نسبت استغراق از ۰/۶ به ۰/۵، این مقادیر بیش از ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابند.

نتایج کلی نشان داد که در مجموع عملکرد این نوع صفحات نفوذپذیر در مدیریت رسوب در شرایط هیدرولیکی آب زلال و با زاویه ۲۵ درجه نصب شده بر بستر، برخلاف صفحات نفوذناپذیر بتنی و فلزی، در محدوده نسبت استغراق کمتر از ۰/۶ مناسب تر است لذا برای کارایی بهتر، پیشنهاد می‌گردد در شرایط هیدرولیکی آب زلال اینگونه صفحات با ارتفاع اولیه بیش از ۰/۴ عمق آب نصب گردند.

تشکر و قدردانی

این مقاله از نتایج پایان‌نامه دکتری نویسنده اول و با حمایت واحد پژوهشی دانشگاه از طریق پژوهانه نویسنده دوم به شماره scu.WH 1400.470 تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌کنند.

Refrence

- 1- Asadi M. 2008. Investigating the effect of placing submerged vanes with different angles on the transverse velocity and shear stresses created near the river bed, the third Iranian hydraulic conference, University of Tehran, Tehran. (In Persian)
- 2- Azizi, R., Bejestan, M.S. and Ghomeshi, M., 2012. Scour depth at the edge of different submerged vanes shapes.3- Bahrami –Yarahmadi M, Shafai – Bejestan M (2016). Sediment management and flow patterns at river bend due to triangular vanes attached to the bank. J Hyd Res 10:64-75. (In Persian)
- 3- Foroughi, A. Bani Razi, M. Bani Habib, M. A. Shafai Bajestan, M. Sajdi sabegh., M. (2012). The use of submerged vanes to organize and stabilize the seasonal river. The third hydraulic conference of Iran, Tehran University. (In Persian)
- 4- Fukuoka, S. and Watanabe, A., 1989, July. New bank protection methods against erosion in the river. In Proceedings of the Japan-China joint seminar on Natural Hazard Mittigation, Kyoto, Japan (pp. 439-448).
- 5- Gupta, U.P., Ojha, C.S.P. and Sharma, N., 2010. Enhancing utility of submerged vanes with collar. Journal of Hydraulic Engineering, 136(9), pp.651-655.
- 6- Hakim, M., Yarahmadi, M.B. and Kashefipour, S.M., 2022. Use of spur dikes with different permeability levels for protecting bridge abutment against local scour under unsteady flow conditions. Canadian Journal of Civil Engineering, 49(12), pp.1842-1854..
- 7- Hasanpour, F. Malai Nia, M. 2008. The use of submerged vanes as a new and low-cost method to control the erosion of the external arches of the Sistan River. the first national conference on reforming the consumption pattern centered on natural resources, agriculture and animal medicine. Zabol University. Zabol. (In Persian)
- 8- Hosseinzadeh Tabrizi, h. Qudsian, M. and Vaghefi, M. 2012. Investigating the effect of the flow absorption percentage in the series shield head breakwaters on the topography of the bed in the straight path in the submerged state. The 12th Iran Hydraulic Conference, November 7 and 8. 2012. (In Persian)
- 9- Jalili, M. and Bakhtiari, M. and Kashfipour, M. and Shahni Karamzadeh, N. 2016. Experimental investigation of the impact of Bandal Like breakwater extraction on bed topography in 90 degree Qudsi. Irrigation science and engineering (scientific-research journal), volume 40, number 4, winter 96, p. 154-141. (In Persian)

- 10- Johnson, P.A., Hey, R.D., Tessier, M. and Rosgen, D.L., 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(9), pp.772-778.
- 11- Lee, B.O., Fitzpatrick, F.A. and Hoopes, J.A., 2021. Effectiveness of submerged vanes for stabilizing streamside bluffs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 147(2), p.04020093..
- 12- Lyn, D.A. and Cunningham, R., 2010. A laboratory study of bendway weirs as a bank erosion countermeasure.
- 13- Odgaard, A.J., 2009. River training and sediment management with submerged vanes (pp. xii+-170).
- 14- Odgaard, A.J. and Mosconi, C.E., 1987. Streambank protection by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 113(4), pp.520-536.
- 15- Odgaard, A.J. and Wang, Y., 1990. Sediment control in bridge waterways (No. IDOT Proj HR-307). Odgaard, A.J. and Wang, Y., 1990. Sediment control in bridge waterways (No. IDOT Proj HR-307).
- 16- Odgaard, A.J. and Wang, Y., 1991. Sediment management with submerged vanes. I: Theory. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(3), pp.267-267.
- 17- Odgaard, A.J. and Kennedy, J.F., 1983. River-bend bank protection by submerged vanes. *Journal of hydraulic engineering*, 109(8), pp.1161-1173.
- 18- Pagliara, S. and Kurdistani, S.M., 2017. Flume experiments on scour downstream of wood stream restoration structures. *Geomorphology*, 279, pp.141-149.
- 19- Parvizpour, M., Kalamizadeh, M. Shafai Bejestan, M. 2008. a laboratory study of the effect of the installation angle of submerged vanes on bed topography in a 90-degree converging arc, 8th International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz. (In Persian)
- 20- Rodríguez-Amaya, C., Durán-Ariza, A. and Duarte-Méndez, S., 2020. Submerged vane technology in Colombia: Five representative projects. *Water*, 12(4), p.984.
- 21- Rosgen, D.L., 2001. The cross-vane, w-weir and j-hook vane structures... their description, design and application for stream stabilization and river restoration. In *Wetlands Engineering & River Restoration 2001* (pp. 1-22).
- 22- Shafai Bajestan , M . Frougi.A.(1993). Submerge vane in protection and stabilization of Karkhe river banks. (In Persian)
- 23- Shams al-Dininejad, A. Keshavarzi, A. 2007. Determining the optimal angle of submerged vanes based on its effect on secondary vane flows, 7th International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz. (In Persian)
- 24- Sharma, H., Jain, B. and Ahmad, Z., 2016. Optimization of submerged vane parameters. *Sādhanā*, 41, pp.327-336.

25- USDA. 2005. Design of stream barbs. Technical Note 23. Portland, OR: USDA.

26- Vaghefii, M., Safarpoori, Y. and Akbarii, M., 2017. Numerically Study of Flow and Scour Patterns Due to Series T-Shaped Spur Dikes. (In Persian)

27- Yeo, H.K., Kang, J.G. and Kim, S.J., 2005. An experimental study on tip velocity and downstream recirculation zone of single groynes of permeability change. KSCE Journal of Civil Engineering, 9, pp.29-38.

نسخه نهایی قبل از چاپ