

اثر بخشی بلوک‌های V شکل بر آبشستگی موضعی در پایین دست سرریز اوجی

حامد شهسواری^۱، سبحان مرادی^۱، علی پرموده^۲ و کاظم اسماعیلی^{۳*}

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی دکترا، دانشجوی کارشناس ارشد، و دکترای تخصصی گروه علوم مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۸/۱۳

چکیده

آبشستگی موضعی پایین دست سازه‌های هیدرولیکی همواره از مسائل مهم در طراحی آنها و نیز ارائه راه‌حل‌هایی برای کاهش میزان خسارات ناشی از این پدیده بوده است. در این مقاله، با استفاده از نتایج آزمایشگاهی روی یک مدل ساخته شده سرریز اوجی به بررسی تأثیر بلوک‌های V شکل نصب شده در پایین دست سرریز بر میزان آبشستگی موضعی بستر پایین دست سازه پرداخته شده است. آزمایش‌ها در سه نسبت بی‌بعد دبی ماکزیمم برابر با ۰/۷۱، ۰/۸۵ و ۱ و در اعداد فرود مختلف اجرا و عمق و طول آبشستگی ثبت گردید. برای دستیابی به بهترین عملکرد بلوک‌ها در جهت کاهش آبشستگی، موقعیت بلوک‌ها و ارتفاع آنها بررسی شد. بدین ترتیب چهار موقعیت نصب بلوک، به صورت نسبی از طول کل قسمت صاف L_b/L_f برابر (۰/۸۸ و ۰/۶۶، ۰/۴۴، ۰/۲۲) و همچنین چهار نسبت ارتفاع بلوک H_b/D (۲ و ۱/۳۳، ۱، ۰/۶۶) برای آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش‌های حاضر در زمینه فاصله قرارگیری بلوک‌ها نشان داد که با کاهش فاصله قرارگیری بلوک‌ها نسبت به پنجه سرریز، آبشستگی در عمق و طول کاهش می‌یابد. علاوه بر این، افزایش ارتفاع بلوک‌ها نیز موجب اثر بخشی بیشتر بلوک‌ها در کاهش آبشستگی شد. سرانجام اینکه برای شرایط جریان با اعداد فرود مختلف، بلوک با ارتفاع $H_b/D=2$ و در موقعیت قرارگیری $L_b/L_f=0/22$ نسبت به پنجه سرریز بهترین جانمایی را داشت که موجب کاهش عمق نهایی آبشستگی بین ۳۰ تا ۷۶ درصد شد.

واژه‌های کلیدی

بافل، جانمایی موانع، سرریز اوجی، فرسایش موضعی

مقدمه

جریان از روی بدنه سرریز ریزش می‌کند، در محل پاشنه سازه، انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود که بخشی از آن در حوضچه آرامش بر اثر پرش هیدرولیکی مستهلک، و بخش دیگر در انتهای حوضچه آرامش به دلیل سرعت بالا سبب بروز پدیده جدایی جریان می‌شود و جریان‌های ثانویه حاصل از آن در درزهای مواد بستری نفوذپذیر وارد می‌شوند. در نتیجه، میزان حرکت رسوب و میزان فرسایش در اطراف این سازه افزایش می‌یابد که به پایین رفتن موضعی بستر نسبت به تراز عمومی بستر

آب ذخیره شده در پشت سرریز سدها و بندها دارای انرژی بالایی است که در صورت مهار نشدن موجب تخریب پایین دست سازه‌های یادشده می‌شود. به همین منظور حوضچه‌های آرامش و کف‌بندها برای استهلاک انرژی موجود احداث می‌شوند.

فرهودی و اسمیت (Farhodi & Smith, 1985) پدیده آبشستگی موضعی پایین دست پرش هیدرولیکی در پایاب سرریزها را مطالعه و گزارش کردند هنگامی که

آبشستگی پایین دست کفبند مطالعه کردند. نتایج مطالعات این محققان نشان داد که عمق آبشستگی با افزایش زبری و با افزایش عدد فرود ذره به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. تائبی و همکاران، (Taebi *et al.*, 2011) اندازه سنگچین را به جلوگیری از پیشرفت آبشستگی در پایاب حوضچه آرامش (مطالعه موردی سد نمرود) بررسی کردند و نشان دادند که ازای تراز مشخص (پایین تر از کف حوضچه)، با افزایش عمق پایاب، دبی بیشتری برای حرکت دادن دانه‌های سنگچین لازم است. همچنین، در عمق ثابت، با افزایش اختلاف تراز، قطر مورد نیاز سنگچین برای حفاظت پایین دست حوضچه‌های آرامش افزایش می‌یابد؛ و نیز با افزایش عمق بحرانی، قطر ذره سنگچین که بتواند در برابر جریان مقاومت کند افزایش می‌یابد. کوچک و شفاعی بجستان (Koochak & Shafai- Bajestan, 2011) اثر اختلاف زبری کفبند افقی و مصالح رسوبی بستر را بر آبشستگی پایین دست آنها بررسی کردند و نشان دادند که برای تمام زبری‌ها با افزایش عدد فرود ذره، مقدار عمق آبشستگی نسبی افزایش می‌یابد. آزمایش‌های آنها نشان داد که افزایش عدد فرود ذره باعث افزایش ابعاد آبشستگی می‌شود و اندازه دانه بندی رسوبات بستر با ابعاد چاله فرسایشی رابطه معکوس دارد. این محققان همچنین مشاهده کردند که افزایش ارتفاع زبری کفبند تأثیر بسزایی در کاهش چاله آبشستگی دارد. علاوه بر این، با افزایش دانه بندی مصالح بستر و زبری کفبند میزان عمق آبشستگی کاهش می‌یابد که نشان دهنده تأثیر چشمگیر زبری کفبند و نیز اندازه مصالح بستر بر عمق آبشستگی است.

ال-آزاب (El-Azab, 2014) با ارائه ایده‌ای جدید، سیستمی از جت‌های آب خروجی از کفبند حوضچه آرامش ساده در پایین دست سازه‌ای را برای کنترل پرش هیدرولیکی طراحی و گزارش کرد که حداکثر عمق آبشستگی در مقایسه با مدل کفبند بدون جت‌های آب از ۵۰ درصد به ۹۰ درصد

آبراهه می‌انجامد. با توجه به این که پایین دست حوضچه‌های آرامش همواره در معرض آبشستگی قرار دارند، لزوم بررسی روش‌های حفاظتی بستر پایین دست حوضچه اهمیت خاصی خواهد داشت. محققان و دانشمندان در دهه‌های گذشته به مطالعه پارامترهای مؤثر بر آبشستگی پایین دست حوضچه‌ها پرداخته‌اند. در این تحقیقات مکانیزم‌های وقوع آبشستگی، اثر هندسی سازه و خصوصیات ذرات رسوبی بر ابعاد آبشستگی بررسی شده است.

درگاهی (Dargahi, 2003)، با بررسی توسعه آبشستگی در پایین دست سرریز به این نتیجه رسید که با افزایش زبری حوضچه آرامش با وجود اینکه تغییر به-خصوصی در الگوی معمولی جریان شکل نمی‌گیرد اما باعث کاهش شدید انتقال رسوب می‌گردد و حفره آبشستگی نسبت به حالت بدون زبری ۱۷ تا ۵۷ درصد کوچک تر می‌شود.

دی و سرکار (Dey & Sarkar, 2006)، آبشستگی رسوبات غیر چسبنده (یکنواخت و غیر یکنواخت) پایین دست کفبند بر اثر جت افقی مستغرق ناشی از بازشدگی دریچه را در فلومی آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۷۱ متر بررسی کردند و نشان دادند که پروفیل‌های آبشستگی در زمان‌های مختلف از شباهت هندسی خاصی پیروی می‌کنند. همچنین، تغییرات زمانی عمق آبشستگی به صورت تابع نمایی مشخص شد که به صورت خطی با افزایش عدد فرود ذره افزایش می‌یابد. حمیدی فر و همکاران (Hamidifar *et al.*, 2011)، به منظور بررسی آبشستگی پایین دست کفبند زبر واقع در پایین دست پرش هیدرولیکی، به آزمایش‌هایی روی فلوم آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی و به ابعاد ۹ متر طول، ۰/۵ متر عرض و ۰/۶ متر ارتفاع دست زدند و تأثیر پنج اندازه مختلف زبری (صفر، ۱، ۳/۱، ۵/۸۵ و ۵ میلی‌متر) چسبانده شده بر کفبند افقی به طول ۱ متر را بر ابعاد

کاهش آبشستگی نام برد. بسیاری از شکل‌های مختلف بلوک را محققانی مانند (Vischer & Hager, 1995; Masry & Sarhan, 2000; Masry, 2001) و مطالعه و درباره پارامترهای بلوک بحث کرده‌اند و توصیه‌هایی مبنی بر سه نکته زیر ارائه داده‌اند: (۱) حد مطلوب سطح موانع، عمود بر جریان نزدیک شوند (۲) یک ردیف از بلوک‌ها قابل استفاده‌اند و ردیف دوم تاثیر کمتری دارد (۳) بلوک‌ها نباید برای سرعت‌های ۲۰ متر بر ثانیه استفاده شود.

با توجه به مطالب ارائه شده، هدف اصلی این تحقیق به کارگیری بلوک‌های V شکل در یک ردیف با ارتفاع‌های مختلف و فاصله قرارگیری متفاوت روی حوضچه‌های آرامش معمولی (نوع اول) یا کفبند معمولی برای ارائه راه-حلی کم هزینه و کارا تر به منظور کنترل آبشستگی در پایین دست حوضچه و جلوگیری از خطرهای آسیب‌های ناشی از آن است. هدف‌های فرعی دیگر شامل بررسی تاثیر شرایط جریان بالادست با وجود بلوک‌ها و تغییرات عمق و طول آبشستگی بدون بعد در مقابل عدد فرود و مقایسه نتایج حاصل با یکدیگر است.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

هدف از آنالیز ابعادی شناخت پارامترهای بعددار تاثیر گذار روی مدل آزمایش و به دست آوردن نسبت‌های بی‌بعد و بیان ارتباط بین این نسبت‌هاست. بدین منظور در این مقاله از روش پای-باکینگهام استفاده شد. لازم است یادآوری شود که در همه آزمایش‌ها شرایط جریان آرام و بستر فرسایش پذیر بود. بدین ترتیب متغیرهای تاثیرگذار بر ابعاد گودال آبشستگی پایین دست سرریز مطابق رابطه ۲ است.

کاهش یافته است. امین (Amin, 2015) با اعمال جت آب در مسیر پرش هیدرولیکی در قسمت صاف گزارش داد که وجود دو سیستم جت آب در فاصله $0.7L_f$ طول (کفبند صاف) و دبی جت‌ها برابر $Q = 0.15$ (دبی کلی جریان) میزان آبشستگی را تا ۶۸ درصد کاهش می‌دهد. آیدین و یولیو (Aydin and Ulu, 2018) در مطالعه‌ای تاثیر شکل‌های مختلف بلوک را در اتلاف انرژی و آبشستگی پایین دست سازه‌ای تنظیمی بررسی و پنج شکل متفاوت را برای بلوک انتخاب و آنها را در نرم‌افزار دینامیک سیالات (CFD) FLOW-3D تحلیل کردند. گفتنی است همه مدل‌ها به طور قابل توجهی در افزایش اتلاف انرژی و کاهش آبشستگی پایین دست سازه تاثیرگذار بوده‌اند. بلوک با شکل مثلثی-بالادست قاعده بیشترین تاثیر را داشت. در مقابل، بلوک با شکل مثلثی-پایین دست قاعده، در پرش هیدرولیکی و اتلاف انرژی بی‌تاثیر بوده است. بلوک مثلثی-بالادست پلکانی، مقدار آبشستگی نهایی را حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد کاهش داده است. همچنین روابطی نیز برای دستیابی به پارامترهای آبشستگی ناشی از پرش هیدرولیکی در حوضچه وجود دارد مانند روابط Oliveto (Rice & Kadavy, 1993; Dargahi, & Victor, 2009) 2003. درگاهی (Dargahi, 2003) با بررسی پایین دست یک سرریز اوجی رابطه ۱ را برای محاسبه عمق آبشستگی بعد از کف بند ارائه کرد.

$$\frac{d_{sm}}{h_0} = 1.7 \left(\frac{h_0}{D_{50}} \right)^{0.22} \quad (1)$$

که در آن،

d_{sm} = عمق آبشستگی ماکزیمم (متر)؛ h_0 = هد آب روی سرریز (متر)؛ و D_{50} = قطر متوسط ذرات (میلی‌متر). می‌توان از گذاشتن بلوک‌ها به عنوان روشی مؤثر در

$$D_s = f \left[b, D, V, t, H_b, L_b, L_f, L_s, g, y_1, \rho_w, \rho_s, \mu, S, S_0, d_{50}, Y \right] \quad (2)$$

پرش هیدرولیکی (متر)؛ ρ_s و ρ_w = به ترتیب چگالی آب و چگالی رسوبات (چگالی نسبی $S_g = \frac{\rho_s}{\rho_w}$) (کیلوگرم بر مترمکعب)؛ μ = لزوجت دینامیکی آب (کیلوگرم بر متر در ثانیه)؛ S_0 = شیب کف کانال (بدون بعد)؛ S = فاصله بلوک‌ها از هم در یک ردیف (متر)؛ d_{50} = قطر متوسط ذرات رسوبی بستر (میلی-متر)؛ و Y = عمق پایاب (متر).

$$f\left(\frac{b}{y_1}, \frac{D}{y_1}, \frac{H_b}{y_1}, \frac{tV}{y_1}, \frac{L_f}{y_1}, \frac{g y_1}{V^2}, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{\mu}{\rho_w y_1 V}, \frac{S}{y_1}, S_0, \frac{d_{50}}{y_1}, \frac{Y}{y_1}, \frac{D}{y_1}, \frac{L_b}{y_1}, \frac{L_s}{y_1}\right) = 0 \quad (3)$$

است که در مورد طول پرش هیدرولیکی اجرا شده بود. این طول به گونه‌ای انتخاب شد که جوابگوی ماکزیمم طول پرش هیدرولیکی باشد. جنس کفبند نیز از چوب پنبه (آکاستیو) و با یک لایه از سیمان انتخاب شد تا بلوک‌ها در آن به راحتی نصب و از نظر ارتفاع قابل تنظیم باشند. برای ایجاد و کنترل پرش هیدرولیکی روی کفبند نیز از یک دریچه در انتهای کانال استفاده شد. جریان‌های ورودی به کانال با کالیبره کردن شیر خروجی در آزمایش‌های مقدماتی تنظیم شد تا بتوان دبی‌های ۲۰، ۲۴ و ۲۸ لیتر بر ثانیه را در واحد عرض (۱ و ۰/۸۵، ۰/۷۱) (Q/Q_{max}) تولید کرد. به ازای هر دبی سه عمق اولیه جریان، اعداد فرود مختلف به وجود آمدند. جدول ۱ محدوده پارامترهای جریان را برای حالت ساده (بدون بلوک) ارائه می‌کند.

مطابق نتایج به دست آمده از جدول ۱، عمق ثانویه پرش در هر دو حالت اندازه‌گیری شده و محاسبه شده از رابطه ۵ برآورد و درصد خطای آنها با یکدیگر از رابطه ۷ محاسبه شد که با توجه به خصوصیات تلاطمی جریان از مقادیر قابل قبولی برخوردارند.

که در آن، b = طول تاج سرریز هم عرض کانال (متر)؛ D = عرض دهانه بلوک (متر)؛ V = سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)؛ t = زمان آبشستگی نهایی (ثانیه)؛ H_b = ارتفاع بلوک (متر)؛ L_b = فاصله ردیف‌های بلوک تا سرریز (متر)؛ L_f = حدفاصل سرریز تا ابتدای بستر فرسایشی (متر)؛ L_s = طول آبشستگی نهایی (متر)؛ g = شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)؛ y_1 = عمق اولیه

گفتنی است که $F_r = \frac{V}{\sqrt{gy_1}}$ عدد فرود (بی‌بعد) و

$$Re = \frac{\rho V y_1}{\mu}$$

به عدد رینولدز (بی‌بعد) معروف است.

برخی از پارامترهای ارائه شده در تمامی آزمایش‌ها ثابت بودند، بنابراین از رابطه ۳ حذف می‌شوند. همچنین در تعیین پارامترهای آبشستگی، تأثیر ویسکوزیته اهمیت کمتری دارد. از اثر عدد رینولدز می‌توان چشم‌پوشی کرد. در نهایت معادله ۴ به صورت زیر حاصل می‌شود.

$$f(Fr, \frac{D_s}{y_1}, \frac{L_b}{L_f}, \frac{L_s}{y_1}, \frac{H_b}{D}) = 0 \quad (4)$$

برای اجرای این پژوهش از یک کانال بدنه شیشه‌ای با عرض و ارتفاع ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر و به طول ۶ متر در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد. سرریز اوجی مورد استفاده در این تحقیق با توجه به ملاحظات علمی آمده در کتب مرجع بیرامی (Beirami, 2013) طراحی و با مصالح مناسب ساخته شد و کفبند بعد از سرریز به طول ۹۰ سانتی‌متر انتخاب گردید. انتخاب این طول بر مبنای آزمایش‌های مقدماتی

اثر بخشی بلوک‌های V شکل بر آبشستگی موضعی در...

جدول ۱- محدوده پارامترهای جریان در آزمایش‌های مختلف در حالت ساده

Table 1. The range of flow parameters in different experiments in simple mode

درصد خطا Error (%)	عمق ثانویه محاسبه شده (سانتی‌متر) Secondary depth calculated jump (cm)	نوع پرش Jump kind	عدد فرود (بدون بعد) Fr	عمق ثانویه اندازه‌گیری شده پرش (سانتی‌متر) Secondary depth measured jump (cm)	عمق اولیه پرش (سانتی‌متر) Initial depth of jump (cm)	دبی (لیتر بر ثانیه در متر) Discharge (Lit/m.s)
13.54--1.12	9.40-6.46	پرش پایدار و ناپایدار	6.29-3.24	10.1-7.20	1.91-1.01	28-20

توصیه بلیسدل (Blaisdell, 1948) که نشان داد بلوک‌های کف باید بین ۴۰ تا ۵۵ درصد از عرض کف حوضچه را ماکزیم اشغال کنند و شرایط مطلوب‌تر زمانی که بلوک‌ها عمود بر جریان ورودی قرار گیرند، میزان بازشدگی دهانه (D_b) برای تمام بلوک‌ها ثابت و برابر با ۳ سانتی‌متر انتخاب شد. نکته دیگر، قرارگیری ۶ بلوک در یک ردیف است که فاصله (S) بین آنها به میزان ۵ سانتی‌متر و از دیواره کانال ۳/۵ سانتی‌متر است.

منطقه اجرای آزمایش‌ها در کانال دارای طول ۲ متر و ارتفاع بستر ۱۲ سانتی‌متر بود که از ابتدای کانال ۲/۵ متر فاصله داشت. طبق نظریه رادکیوی و اتما (Raudkivi & Ettema, 1983) برای جلوگیری از تشکیل ریپل به‌هنگام آزمایش باید قطر متوسط ذرات بیش از ۰/۷ میلی‌متر باشد. همچنین، زمانی که انحراف معیار هندسی ذرات کمتر از ۱/۳ است می‌توان از تأثیر غیریکنواختی ذرات بر عمق آبشستگی صرف‌نظر کرد. بنابراین، طبق معیارهای فوق از رسوبات غیر چسبنده با قطر متوسط ۰/۷۲ میلی‌متر، وزن مخصوص ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و انحراف معیار هندسی ۱/۱۲ استفاده شد. عمق آب و عمق آبشستگی نهایی با یک عمق سنج مکانیکی اندازه‌گیری و برداشت شد. در شکل ۲ تصاویری از مراحل مختلف و وسایل مورد استفاده در این آزمایش‌ها آورده شده است.

مطابق مطالعات اولیه در زمینه پرش کلاسیک و با استفاده از روابط زیر عدد فرود، عمق ثانویه پرش و مقدار درصد خطا به دست آمد.

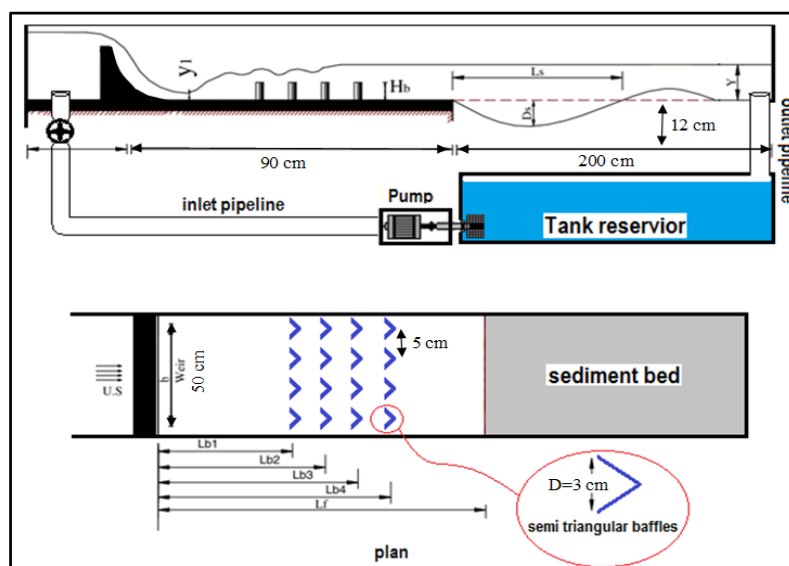
$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}(\sqrt{1+8Fr_1^2} - 1) \quad (5)$$

$$Fr_1^2 = \frac{q^2}{gy_1^3} \quad (6)$$

$$E = \frac{y_2 - y_2^*}{y_2} \times 100 \quad (7)$$

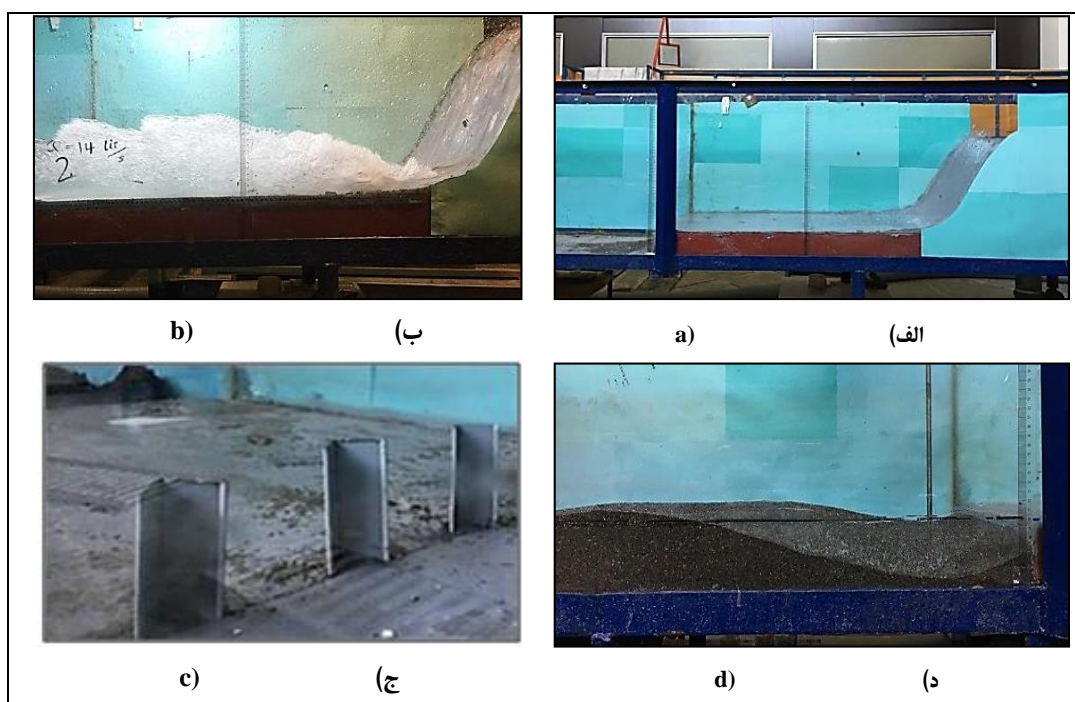
در اینجا y_1 و y_2 به ترتیب عمق اولیه و ثانویه پرش هیدرولیکی (متر)، Fr_1 عدد فرود اولیه (بی‌بعد)، q دبی در واحد عرض (مترمربع بر ثانیه)، y_2^* عمق ثانویه محاسباتی از روابط (متر) و E درصد خطاست. به منظور بررسی تأثیر بلوک‌های V شکل بر آبشستگی پایین دست سرریز بعد از کف‌بند، موقعیت و ارتفاع بلوک‌ها مطابق شکل ۱ بررسی شد تا بهترین عملکرد بلوک از نظر موقعیت و ارتفاع به دست آید. برای تعیین موقعیت مناسب بلوک‌ها نسبت به پنجه سرریز، چهار حالت در نظر گرفته شد. این چهار حالت به صورت درصدی از کل طول قسمت صاف کف‌بند (L_f) و $L_b = 0/22$ ، $0/44$ ، $0/66$ و $0/88$ انتخاب شد.

همچنین، ارتفاع بلوک‌ها در هر موقعیت در چهار حالت با توجه به بازشدگی دهانه بلوک‌ها برابر ($2D_b$) و $1/33$ ، 1 ، $0/66$ (H_b) در نظر گرفته شد. مطابق با



شکل ۱- شماتیکی از کانال و مدلسازی آزمایشگاهی و نحوه قرار گیری بلوک‌ها نسبت به پنجه سرریز

Fig. 1- Schematic of the channel and laboratory modeling and the way the blocks are positioned over the overflow



شکل ۲- تصاویری از شرایط آزمایشگاهی. الف) سرریز و کف‌بند، ب) پرش هیدرولیکی، ج) بلوک های V شکل، د) گودال آبشستگی و نوع دانه بندی بستر

Fig. 2- Laboratory conditions images: a) Flooring and overflow, b) Hydraulic jump, c) Triangular blocks, d) Scour depth and bed type

نتایج و بحث

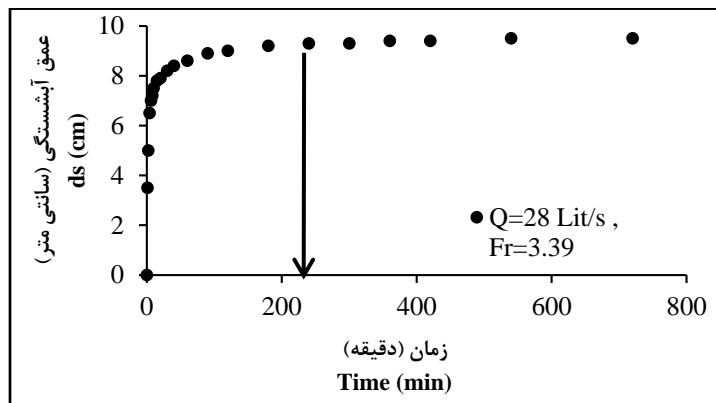
پس از ۱۲ ساعت، پروفیل آبشستگی مطابق شکل ۳ به‌دست آمد. دیده می‌شود که تغییرات عمق آبشستگی پس از گذشت حدود ۴ ساعت تقریباً ثابت مانده است.

به‌منظور مشخص کردن مدت اجرای آزمایش‌ها یک آزمایش مقدماتی بدون محدودیت زمانی صورت گرفت.

اثر بخشی بلوک‌های ۷ شکل بر آبشستگی موضعی در...

این رو زمان کلیه آزمایش‌های اصلی همان ۴ ساعت در نظر گرفته شد که با نتایج مطالعات قبلی در مورد آبشستگی همخوانی دارد (Zolghadr & Shafai, 2018). مطابق جدول ۲، عمق‌های آبشستگی برای سه دبی یاد شده با عمق‌های به‌دست آمده از رابطه ۱ مقایسه شدند.

مقادیر به‌دست آمده از رابطه ۱ روندی مشابه با روند داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. اختلاف موجود به دلیل شرایط متفاوت آزمایشی مانند دانه‌بندی، مقادیر دبی عبوری و غیره است.



شکل ۳- بررسی توسعه زمانی آبشستگی در شرایط کف‌بند بدون بلوک
Fig. 3- Relationship between scour depth and time in case of no blocks

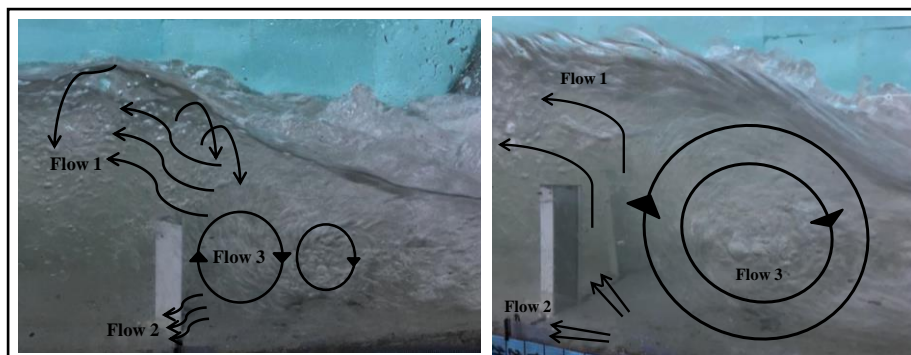
جدول ۲- مقایسه عمق‌های آبشستگی به‌دست آمده در این تحقیق با رابطه ۱

Table 2- Comparison of the scour depths obtained in this study with the equation (1)

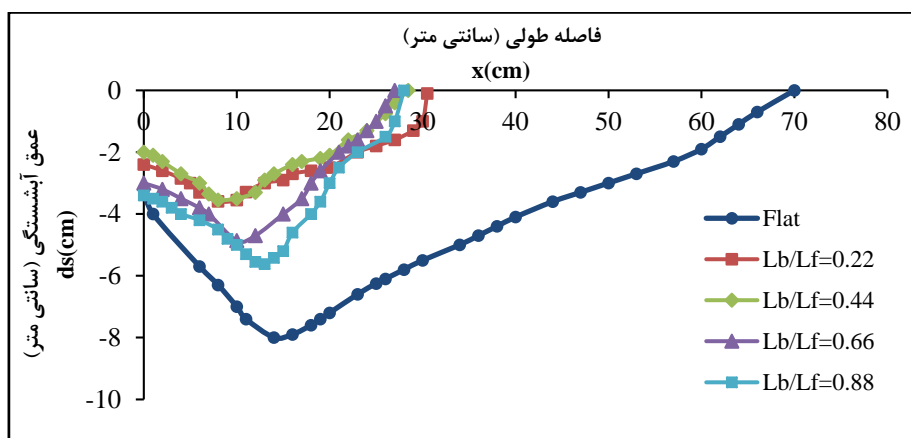
عمق آبشستگی محاسبه شده از معادله (۱) (سانتی‌متر) Depth Scour calculated from Eq.(1) (cm)	عمق آبشستگی اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر) Depth Scour measured (cm)	عدد فرود اولیه (پرش پایدار) Froude number	دبی (لیتر بر ثانیه بر متر) Discharge (lit/s.m)
3.6	8.6	4.63	28
3.0	8.2	5.29	24
2.5	6.5	6.29	20

جریان همگرایی است که از بین بلوک‌ها برقرار است؛ سومین جریان، جریانی که به صورت گردابی در جلو و داخل بلوک‌ها شکل می‌گیرد. وجود بلوک‌ها و سه نوع جریان به وجود آمده در نهایت باعث تلاطم بیشتر و کاهش انرژی پرش هیدرولیکی و در نتیجه کوتاه‌تر شدن طول پرش و زودتر رسیدن به عمق ثانویه پرش شد. در مجموع، این عوامل باعث کاهش قدرت جریان در انتهای کف‌بند و انتقال کمتر رسوب به پایین دست شد.

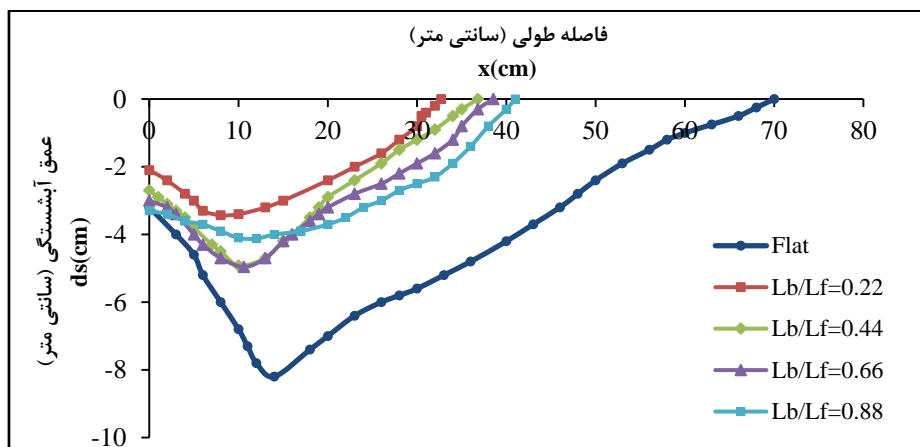
در شکل ۵ برای نمونه برخی از پروفیل‌های طولی آبشستگی در شرایط مختلف جریان همراه با وجود بلوک‌ها و فقدان بلوک‌ها آورده شده است. آنچه مشخص است وجود بلوک باعث کاهش عمق نهایی آبشستگی و طول گودال آبشستگی شده است که نشان از تاثیرگذاری بلوک‌ها و نقش آنها در این مورد دارد. مطابق با مشاهدات آزمایشگاهی، وجود بلوک موجب تمایز سه نوع جریان در اطراف آن می‌شود (شکل ۴). اولین آن جریانی است که از روی بلوک‌ها به صورت جهشی عبور می‌کند؛ دومین آن



شکل ۴- نمایی از جریان‌های به وجود آمده در اطراف بلوک‌ها
 Fig. 4- An overview of the currents around the blocks

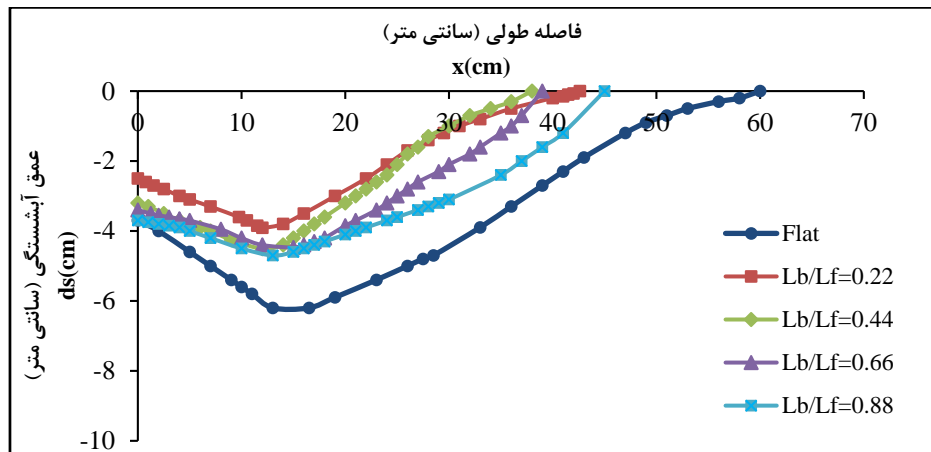


شکل ۵- پروفیل بستر به وجود آمده در شرایط $(Fr_1=4.63, H_b/D=1.33)$
 Fig. 5- Bed profile at $Fr_1=4.63, H_b/D=1.33$



شکل ۶- پروفیل بستر به وجود آمده در شرایط $(Fr_1=5.29, H_b/D=1)$
 Fig. 6- Bed profile at $Fr_1=5.29, H_b/D=1$

اثر بخشی بلوک‌های V شکل بر آبشستگی موضعی در...



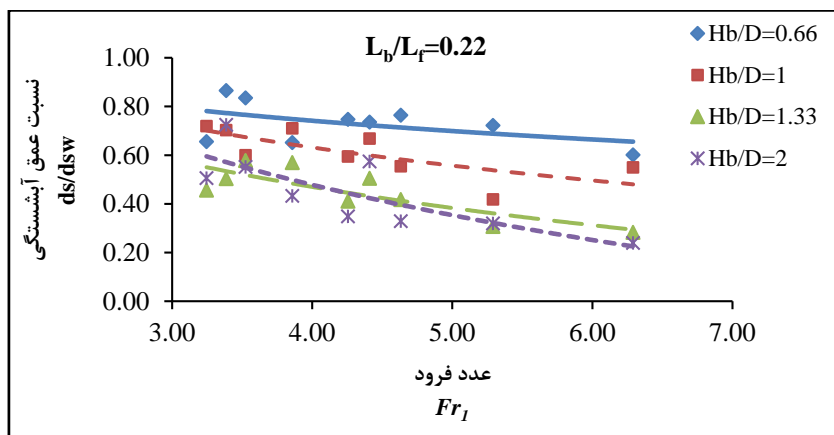
شکل ۷- پروفیل بستر به وجود آمده در شرایط $(Fr_1=6.29, H_b/D=0.66)$

Fig. 7- Bed profile at $Fr_1=6.29, H_b/D=0.66$

شکل‌های ۸، ۱۰ و ۱۱ این رخداد به خصوص کاملاً مشخص است. نتیجه دیگری که می‌توان از شکل‌های ۸ تا ۱۱ گرفت آن است که هر چه موقعیت بلوک‌ها به پنجه سرریز نزدیک‌تر باشد عمق آبشستگی با کاهش بیشتر همراه خواهد شد. در شکل‌های ۸ و ۹، نسبت به دو شکل ۱۰ و ۱۱، همین موضوع نمایان است که d_s/d_{sw} دارای مقادیر کمتری است. برای مثال، در موقعیت $L_b/L_f=0.22$ شکل ۸ نسبت d_s/d_{sw} تا نزدیک ۲۰ درصد هم می‌رسد به طوری که برای شکل ۱۱ و موقعیت $L_b/L_f=0.88$ نسبت d_s/d_{sw} برای همان شرایط نزدیک ۶۰ درصد است. نکته قابل برداشت دیگر مربوط به شرایط جریان و نوع پرش هیدرولیکی است. با توجه به شکل‌های ۸ تا ۱۱ هر چه عدد فرود بیشتر می‌شود، مقدار عمق آبشستگی با توجه به وجود بلوک‌ها کاهش بیشتری نشان می‌دهد. شکل ۸ و ۱۰ این گفته را بهتر نمایان می‌کنند. با افزایش عدد فرود مقادیر d_s/d_{sw} در ارتفاع‌های مختلف بلوک کمتر می‌شود و خط برآزش بین نقاط این موضوع را بهتر قابل درک می‌کند.

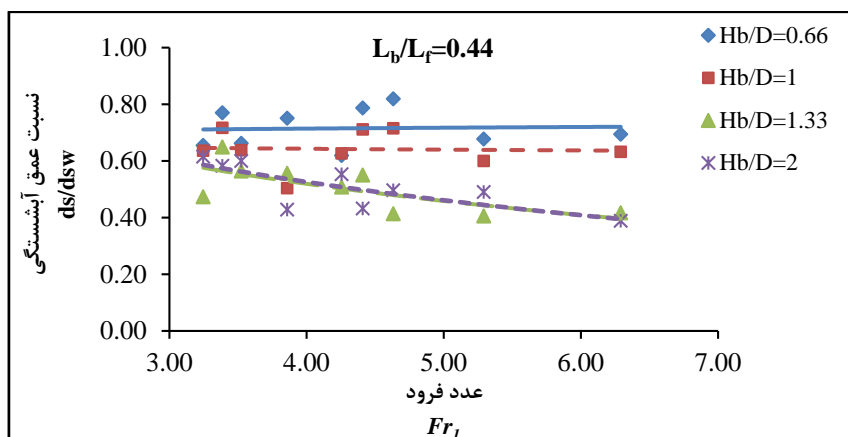
تأثیر بلوک‌های V شکل بر عمق آبشستگی

برای مشخص شدن تاثیر بلوک‌ها بر عمق آبشستگی، شکل‌های ۸ تا ۱۱ با توجه به موقعیت بلوک‌ها و ارتفاع آنها ارائه شده است. در این شکل‌ها مقدار d_s/d_{sw} (عمق آبشستگی کفبند بلوک‌دار به عمق آبشستگی کفبند بدون بلوک در شرایط جریان یکسان) در مقابل عدد فرود اولیه (Fr_1) آورده شده است. آنچه از نمودار قائم می‌توان دریافت، با توجه به اینکه $d_s/d_{sw} < 1$ است، نشان از کاهش عمق گودال آبشستگی در حضور بلوک‌ها در مقایسه با حالت بدون بلوک یا کفبند ساده است. نکته دیگری که از شکل ۸ می‌توان استخراج کرد تاثیر ارتفاع بلوک‌ها در کاهش آبشستگی است. با بررسی خطوط برآزش داده شده بین هر دسته از داده‌ها مربوط به هر یک از ارتفاع‌های بلوک‌ها به طور دقیق می‌توان پی برد که با افزایش ارتفاع بلوک‌ها عمق آبشستگی کاهش بیشتری داشته است، به طوری که بلوک‌ها با بیشترین ارتفاع ($H_b/D=2$) اثر بخشی بهتری نسبت به سایر ارتفاع‌ها دارند. در



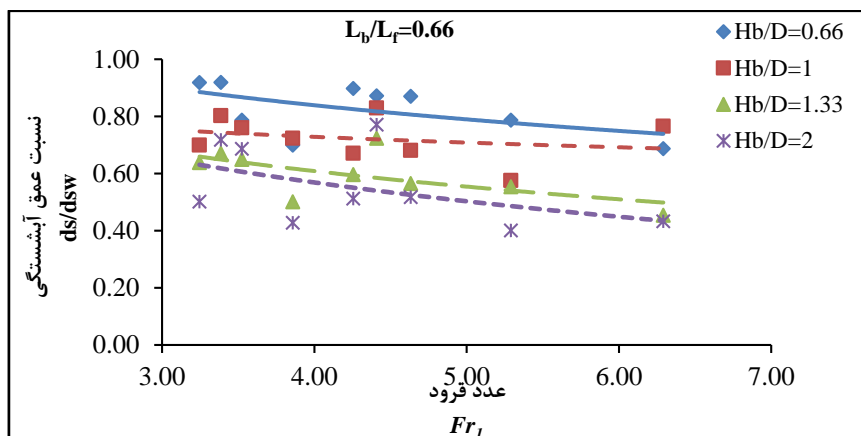
شکل ۸- رابطه بین نسبت عمق آیشستگی با عدد فرود مختلف در موقعیت $(L_b/L_f=0.22)$ با ارتفاع‌های متفاوت بلوک

Fig. 8- Relation between relative scour depth with Froude number in location $(L_b/L_f=0.22)$ with different block heights



شکل ۹- رابطه بین نسبت عمق آیشستگی با عدد فرود مختلف در موقعیت $(L_b/L_f=0.44)$ با ارتفاع‌های متفاوت بلوک

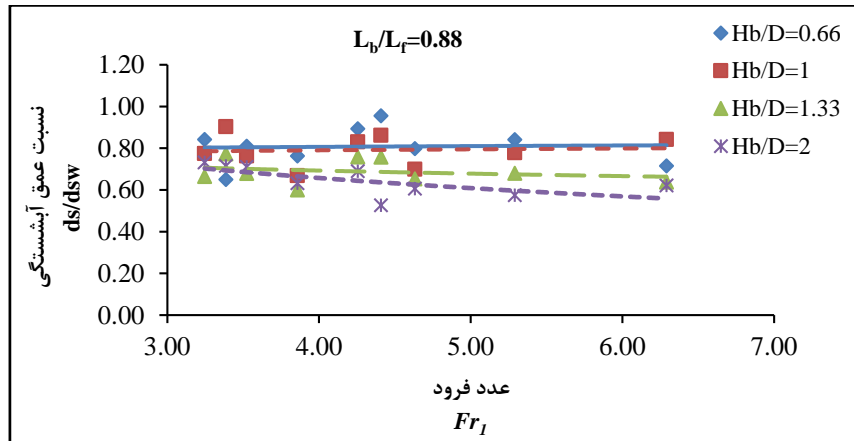
Fig. 9- Relation between relative scour depth with Froude number in location $(L_b/L_f=0.44)$ with different block heights



شکل ۱۰- رابطه بین نسبت عمق آیشستگی با عدد فرود مختلف در موقعیت $(L_b/L_f=0.66)$ با ارتفاع‌های متفاوت بلوک

Fig. 10- Relation between relative scour depth with Froude number in location $(L_b/L_f=0.66)$ with different block heights

اثر بخشی بلوک‌های ۷ شکل بر آبشستگی موضعی در...



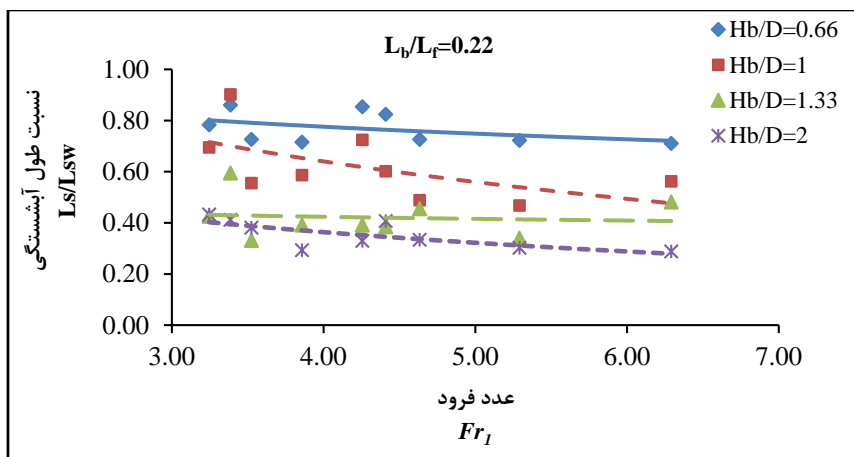
شکل ۱۱- رابطه بین نسبت عمق آبشستگی با عدد فرود مختلف در موقعیت ($L_b/L_f=0.88$) با ارتفاع‌های متفاوت بلوک

Fig. 11- Relation between relative scour depth with Froude number in location ($L_b/L_f=0.88$) with different block heights

افزایش عدد فرود با توجه به خطوط برازش برای هر دسته مشخص شده بلوک، طول آبشستگی بیشتر کاهش یافته است. به نظر می‌رسد افزایش عدد فرود که باعث پایدار شدن نوع پرش شده است، در کنار وجود بلوک‌ها به اتلاف بیشتر انرژی کمک کرده‌اند. احتمالاً دلایل یاد شده باعث می‌شود هنگامی که جریان به بستر متحرک برسد نسبت به حالت بدون بلوک دارای سرعت به مراتب کمتری باشد که در نتیجه میزان حرکت رسوب و فرسایش در انتهای این سازه کاهش می‌یابد.

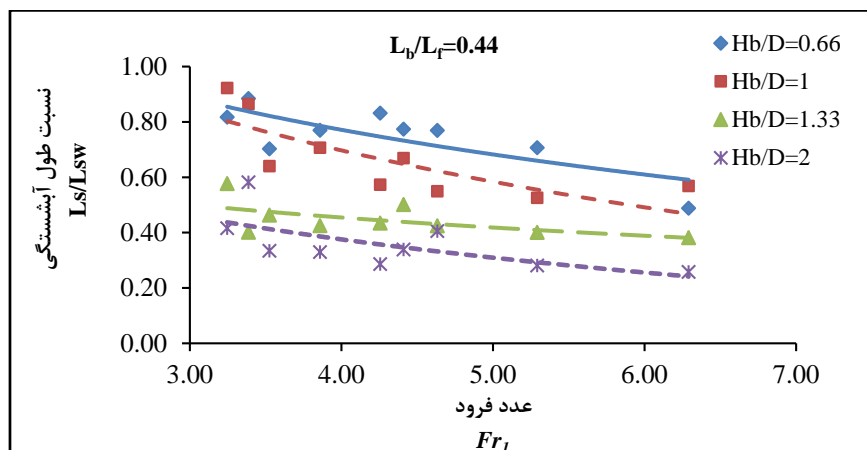
تأثیر بلوک‌های ۷ شکل بر طول آبشستگی

در شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ مقدار L_s/L_{sw} (طول آبشستگی کفبند بدون بلوک) در شرایط جریان یکسان) در مقابل عدد فرود اول آورده شده است. همانند نمودارهای مربوط به عمق آبشستگی، آنچه از نمودار قائم می‌توان دریافت، با توجه به اینکه $L_s/L_{sw} < 1$ است، نشان از کاهش طول گودال آبشستگی در حضور بلوک‌ها در مقایسه با حالت بدون بلوک است. از شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ می‌توان برداشت کرد که با



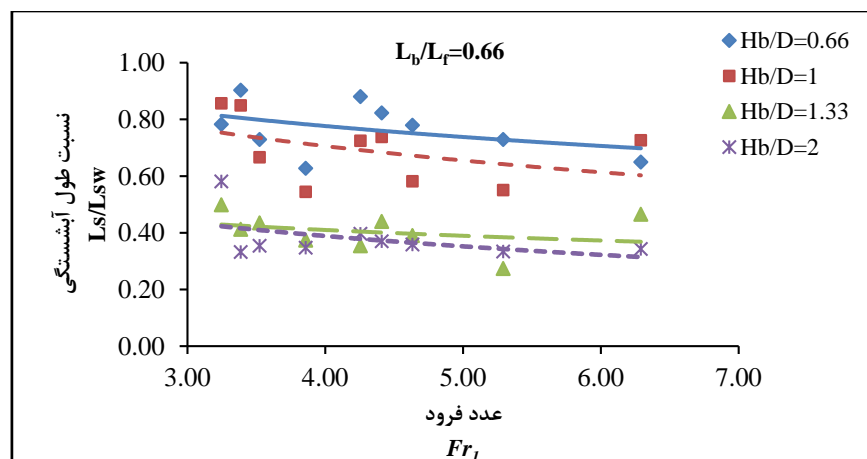
شکل ۱۲- رابطه بین نسبت طول آبشستگی با عدد فرود مختلف در موقعیت ($L_b/L_f=0.22$) با ارتفاع‌های متفاوت بلوک

Fig. 12- Relation between relative scour length with Froude number in location ($L_b/L_f=0.22$) with different block heights



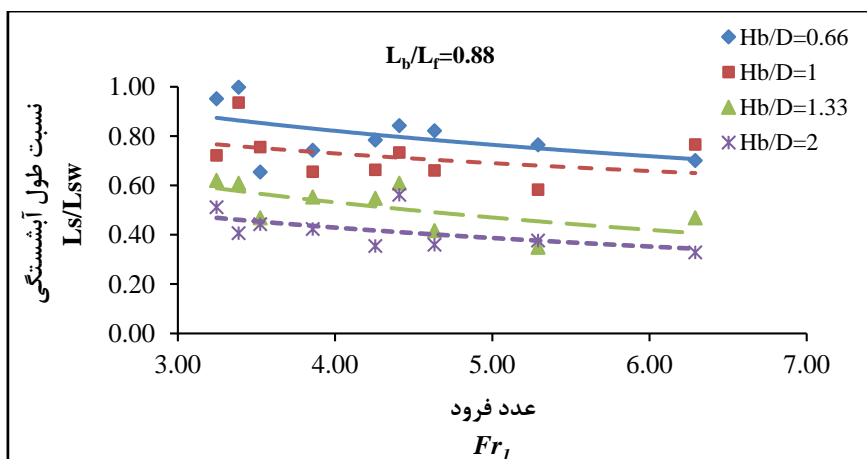
شکل ۱۳- رابطه بین نسبت طول آبخستگی با عدد فرود مختلف در موقعیت $(L_b/L_f=0.44)$ با ارتفاع‌های متفاوت بلوک

Fig. 13- Relation between relative scour length with Froude number in location $(L_b/L_f=0.44)$ with different block heights



شکل ۱۴- رابطه بین نسبت طول آبخستگی با عدد فرود مختلف در موقعیت $(L_b/L_f=0.66)$ با ارتفاع‌های متفاوت بلوک

Fig. 14- Relation between relative scour length with Froude number in location $(L_b/L_f=0.66)$ with different block heights

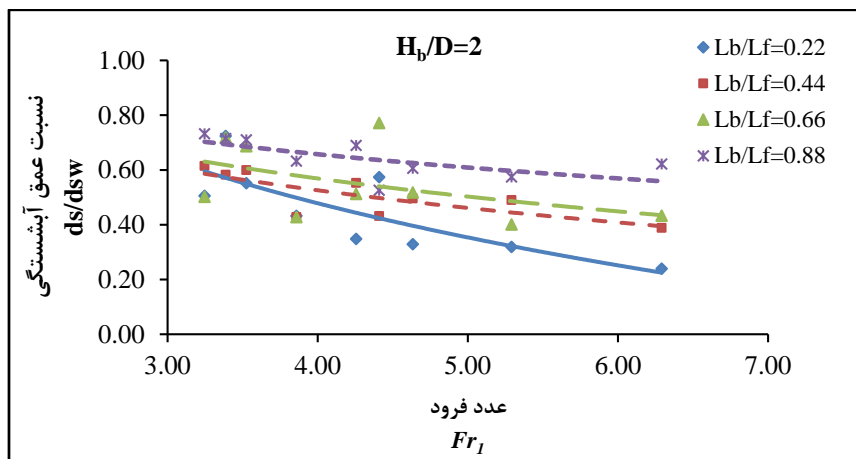


شکل ۱۵- رابطه بین نسبت طول آبخستگی با عدد فرود مختلف در موقعیت $(L_b/L_f=0.88)$ با ارتفاع‌های متفاوت بلوک

Fig. 15- Relation between relative scour length with Froude number in location $(L_b/L_f=0.88)$ with different block heights

تأثیر محل قرارگیری بلوک روی عمق آبشستگی برای دید بهتر و درک راحت‌تر اثر موقعیت بلوک در کاهش عمق آبشستگی، شکل ۱۶ ارائه شده است. در شکل ۱۶ مقدار نسبت عمق آبشستگی در مقابل عدد فرود اولیه برای ارتفاع ثابت ($H_b/D=2$) و در موقعیت‌های متفاوت بلوک نسبت به پنجه سرریز آورده شده است.

مورد قابل ذکر دیگر، همان‌طور که از شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ مشخص است، ارتفاع بلوک است. در موقعیت‌های مختلف بلوک‌ها، هرچه ارتفاع بلوک‌ها بیشتر شود طول آبشستگی کمتر می‌شود، به طوری که بلوک با ارتفاع ($H_b/D=2$)، نسبت به بلوک با ارتفاع ($H_b/D=0.66$)، کاهش چشمگیری در طول آبشستگی دارد.



شکل ۱۶- رابطه بین نسبت عمق آبشستگی با عدد فرود مختلف در موقعیت‌های مختلف با ارتفاع ثابت بلوک

Fig. 16- Relation between relative scour depth with Froude number in different location with constant block heights

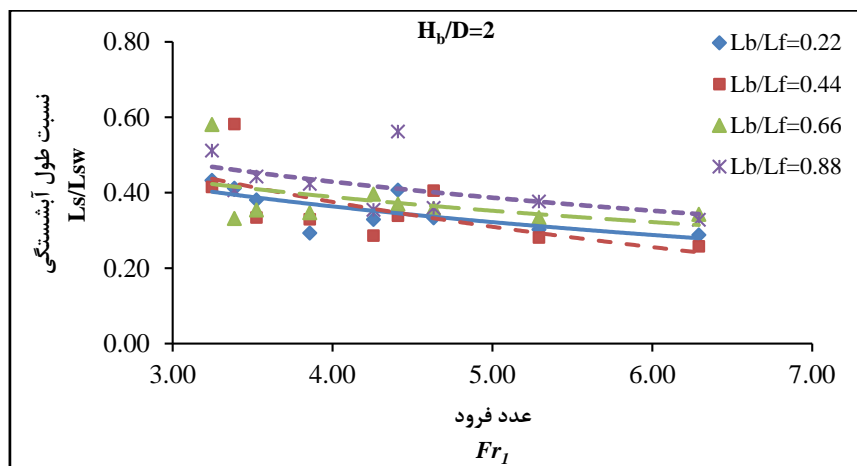
کاهش را در عمق آبشستگی نسبت به سایر حالت‌ها داراست.

تأثیر محل قرارگیری بلوک روی طول آبشستگی

شکل ۱۷ مقدار نسبت طول آبشستگی را در مقابل عدد فرود اولیه برای ارتفاع ثابت ($H_b/D=2$) و در موقعیت‌های متفاوت بلوک نسبت به پنجه سرریز نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۷، با افزایش موقعیت بلوک نسبت به پنجه سرریز طول آبشستگی افزایش می‌یابد. اما آنچه مشخص است در بحث طول آبشستگی نسبت به عمق آن موقعیت بلوک نقش کمتری دارد. به طور کلی در آزمایش‌های اجرا شده در این پژوهش و در ارتفاع ثابت بلوک ($H_b/D=2$) برای عدد فرود اولیه کمتر از $4/5$ با توجه به خط برازش داده‌ها، موقعیت ($L_b/L_f=0.22$) باعث کاهش بیشتر در طول آبشستگی و برای عدد فرود اولیه بیشتر از $4/5$ با توجه به خط برازش داده‌ها، موقعیت ($L_b/L_f=0.44$)

آنچه مشخص است برای عدد فرود اولیه بالاتر که نشان از پایداری نوع پرش دارد در ارتفاع ثابت بلوک در مجموع هر چه بلوک‌ها به پنجه سرریز نزدیک‌تر شوند کاهش عمق نهایی آبشستگی بیشتر است، به طوری که بلوک با موقعیت ($L_b/L_f=0.22$) و در ارتفاع ثابت ($H_b/D=2$) در شرایط جریان مختلف بین ۳۰ تا ۷۶ درصد کاهش آبشستگی را به همراه دارد. گفتنی است که در عدد فرود اولیه کمتر ($Fr_1 < 3.5$) در این مطالعه، موقعیت ($L_b/L_f=0.44$) نیز عملکرد قابل قبولی از خود نشان داده است. این موضوع اهمیت موقعیت بلوک‌ها در اعداد فرود مختلف را می‌رساند که نشان دهنده مدل کردن طرح قبل از اجرا برای نتیجه‌گیری هر چه بهتر است. در نهایت، بلوک با ارتفاع ($H_b/D=2$) و موقعیت ($L_b/L_f=0.22$) به میزان ۷۶ درصد بیشترین

باعث عملکرد بهتر بلوک‌ها در کاهش طول آبشستگی شده (با $L_b/L_f=0.44$) بیشترین کاهش در طول آبشستگی را به است؛ اما در نهایت بلوک با ارتفاع ($H_b/D=2$) و موقعیت میزان ۷۴ درصد داراست.



شکل ۱۷- رابطه بین نسبت طول آبشستگی با عدد فرود مختلف در موقعیت‌های مختلف با ارتفاع ثابت بلوک

Fig. 17- Relation between relative scour lengths with Froude number in different location with constant block heights

جدول ۳ شرایط آزمایش و روش حفاظتی مورد استفاده و میزان کاهش عمق آبشستگی را برای بهترین حالت به کار رفته در این مطالعه و تحقیقات سایر محققان نمایش می‌دهد. آنچه از نتایج پژوهش‌های این محققان می‌توان دریافت آن است که بلوک‌های V شکل در کنار سایر روش‌ها به عنوان یک روش موثر موجب کاهش در عمق نهایی آبشستگی می‌شود.

جدول ۳- مقایسه عملکرد بلوک در این تحقیق با عملکرد بلوک در تحقیقات دیگر محققان

Table 3. Comparison of block performance in this study with that of other researchers

نتایج و میزان کاهش آبشستگی Results and value of scour reduction	روش حفاظتی Protective method	شرایط آزمایش Test conditions	محققان و سال Researchers and years
عملکرد بهتر بلوک با افزایش ارتفاع ($H_b/D=2$) و نزدیک‌ترین فاصله نصب به سرریز ($L_b/L_f=0.22$)، موجب کاهش ۳۰ تا ۷۶ درصد در عمق نهایی آبشستگی در محدوده اعداد فرود مختلف.	به کارگیری بلوک‌های V شکل	استفاده از سرریز اوجی شکل، محدوده عدد فرود بین ۳/۲۵ تا ۶/۲۹	تحقیق حاضر
افزایش زبری صفحه حفاظتی، سبب کاهش شدید انتقال رسوب و حفره آبشستگی به میزان ۱۷ تا ۵۷ درصد نسبت به حالت بدون زبری.	به کارگیری صفحه حفاظتی با زبری‌های متفاوت	استفاده از سرریز اوجی شکل، با محدوده دبی ۲۰ تا ۱۰۰ لیتر بر ثانیه	Dargahi (2003)
اعمال دو جت آبی در فاصله $0.7L_f$ طول کفبند (صاف) و دبی جت‌ها برابر $0.15Q$ (دبی کلی جریان) موجب کاهش آبشستگی تا ۶۸ درصد.	به کارگیری جت آبی در کف حوضچه آرامش	استفاده از سرریز، با سه دبی ۱۰/۶، ۱۳/۹ و ۱۷/۶ (لیتر بر ثانیه)	Amin (2015)
همه مدل‌ها به طور چشمگیر در افزایش اتلاف انرژی و کاهش آبشستگی پایین دست سازه تاثیر گذارند. بلوک مثلثی - بالادست پلکانی، مقدار آبشستگی نهایی را حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد کاهش می‌دهد.	به کارگیری پنج شکل متفاوت بلوک در حوضچه آرامش	شبیه سازی با نرم افزار Flow-3D	Aydin & Ulu (2018)
اعمال المان‌های شش پایه سبب کاهش ۶۱ درصد در عمق آبشستگی نهایی نسبت به حالت ساده و افزایش اندازه ذرات رسوبی سبب کاهش ۵۶ درصد در عمق آبشستگی شده است.	به کارگیری المان‌های شش پایه	استفاده از سطح شیبدار، محدوده عدد فرود بین ۵/۷۶ تا ۹/۱۳	Chahardahcheriki gholi zadeh & Shafai-Bajestan (2016)

نتیجه‌گیری

بیشتر است، به طوری که بلوک با موقعیت ($L_b/L_f=0.22$) و در ارتفاع ثابت ($H_b/D=2$) در شرایط مختلف جریان بین ۳۰ تا ۷۶ درصد کاهش آبشستگی را به همراه دارد. ۴- در تمام آزمایش‌ها، بلوک‌ها با ارتفاع ($H_b/D=2$) و موقعیت ($L_b/L_f=0.22$) به میزان ۷۶ درصد بیشترین کاهش را در عمق آبشستگی و بلوک‌ها با ارتفاع ($H_b/D=2$) و موقعیت ($L_b/L_f=0.44$) بیشترین کاهش در طول آبشستگی را به میزان ۷۴ درصد دارا هستند.

در این مطالعه از بلوک‌های V شکل با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در مطالعات پیشین به عنوان طرحی جدید مطرح و نام برده شد. با توجه به ساختمان ساده این نوع بلوک و قالب‌بندی آسان آن و احداث آن در یک ردیف روی کف‌بند که همزمان با بتن‌ریزی کف‌بند صورت خواهد گرفت، به نظر می‌رسد که از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر خواهد بود. همچنین وجود یک ردیف بلوک باعث هدر رفتن بیشتر انرژی موجود در پرش و کاهش طول آن می‌شود که این خود موجب کاهش طول بتن‌ریزی کف‌بند خواهد شد. بنابراین، مدل کردن طرح قبل از اجرا برای نتیجه‌گیری هرچه بهتر برای دستیابی به بهترین موقعیت قرارگیری و ارتفاع بلوک پیشنهاد می‌شود.

در تحقیق حاضر از روش قرارگیری بلوک V شکل روی کف‌بند صاف در برابر جریان بعد از یک سرریز اوجی شکل به منظور کنترل و کاهش آبشستگی استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که این روش در کاهش عمق و طول آبشستگی و همچنین تأخیر در روند آبشستگی موثر بوده است. به‌طور خلاصه می‌توان به نکات زیر از نتایج این مطالعه اشاره کرد:

- ۱- وجود بلوک سه نوع جریان را در اطراف خود ایجاد می‌کند. اول، جریانی است که از روی بلوک به صورت جهشی عبور می‌کند؛ دوم، جریان همگرایی است که از بین بلوک‌ها وجود دارد؛ و سوم جریانی است که به صورت گردابی و برگشتی در جلو و داخل بلوک‌ها شکل می‌گیرد. در مجموع این عوامل باعث کاهش انرژی جریان می‌شود.
- ۲- با بررسی تاثیر ارتفاع بلوک‌ها می‌توان پی برد که با افزایش ارتفاع بلوک‌ها عمق آبشستگی روند کاهشی داشته است. به طوری که بلوک با بیشترین ارتفاع ($H_b/D=2$) اثر بخشی بهتری نسبت به سایر ارتفاعات از خود نشان داده است.
- ۳- در چهار حالت موجود قرارگیری بلوک‌ها در این مطالعه، نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد هر چه بلوک‌ها به پنجه سرریز نزدیک‌تر شوند کاهش عمق نهایی آبشستگی

مراجع

- Amin, A.M.A. (2015). Physical model study for mitigating local scour downstream of clear over-fall weirs. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(4), 1143-1150.
- Aydin, M.C. & Ulu, A.E. (2018). Effects of different shaped baffle blocks on the energy dissipation and the downstream scour of a regulator. *Journal of Science and Technology*, 8(2), 69-74.
- Beirami, M.K. (2013). *Water Conveyance Structures*. Isfahan: Isfahan University of Technology.
- Blaisdell, F. W. (1948). Development and hydraulic design, Saint Anthony Falls stilling basin. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 113(1), 483-520.
- Chahardahcheriki gholi zadeh. P., & Shafai-Bajestan, M. (2016). Scour Dimensions of the Downstream Hydraulic Jump Stilling Basin with Bed Covered with Six-Legs Elements. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(66), 105-118. (In Persian)

- Dargahi, B. (2003). Scour development downstream of a spillway. *Journal of hydraulic Research*, 41(4), 417-426.
- Dey, S. and Sarkar, A. (2006). Response of velocity and turbulence in submerged wall jets to abrupt changes from smooth to rough beds and its application to scour downstream of an apron. *Journal of Fluid Mechanics*, 556, 387-419.
- El-Azab, E. E. D. Y. (2014). Minimizing scour downstream of hydraulic structures using single line of floor water jets. *Ain Shams Engineering Journal*, 5(1), 17-28.
- El-Masry, A.A. (2001). *Minimization of scour downstream heading-up structures using double line of angle baffles*. In *Proc of 6th international water technology conference (IWTC)*. March 23-25. Alexandria, Egypt.
- El-Masry, A. A., & Sarhan, T. E. (2000). Minimization of scour downstream heading-up structure using a single line of angle baffles. *Engineering Research Journal of Helwan University*, 69.
- Farhoudi, J. & Smith, K.V.H. (1985). Local scour profiles downstream of hydraulic jump. *Journal of Hydraulic Research*, 23(4), 343-358.
- Hamidifar, H. Omid, M. H. Nasrabadi, M. (2011). Scour downstream of a rough rigid apron. *World Applied Sciences Journal*, 14(8), 1169-1178.
- Koochak, P., & Shafai-Bajestan. M. (2011). The effect of horizontal plate roughness and bed sedimentary materials on their downstream scour. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 6(17), 23-30. (In Persian)
- Oliveto, G., & Comuniello, V. (2009). Local scour downstream of positive-step stilling basins. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(10), 846-851.
- Raudkivi, A. J. & R. Ettema (1983). Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3), 338-350.
- Rice, C. E., & Kadavy, K. C. (1993). Protection against scour at SAF stilling basins. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(1), 133-139.
- Taebi, H., Fathi-Moghadam M., & Shafai-Bajestan, M. (2011). Estimating riprap size to prevent scouring in downstream of stilling basins (Case study: Namrood Dam). *Iranian Water Researches Journal*. 5(8), 23-32. (In Persian)
- Vischer DL, & Hager WH. (1995). *Energy dissipators*. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.
- Zolghadr. M. & Shafai Bejestan. M. (2018). Effect of Six-Leg Elements installation arrangement on bed topography around Wing-Wall Abutments. *Journal of Water Resources Engineering*, 11(36), 47-58. (In Persian)

Research Paper**Effect of V-shaped Blocks on Local Scour Downstream of Ogee Spillway****H. Shahsavari, S. Moradi, A. Parmodeh and K. Esmaili***

* Corresponding Author: Associate Professor, Water Sciences and Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: esmaili@um.ac.ir

Received: 12 December 2019, Accepted: 3 November 2020

Extended Abstract**Introduction**

Flow over spillways has a great amount of potential energy, which is converted into kinetic energy downstream control structures. This energy should be dissipated to prevent the possibility of excessive scouring of the downstream waterway bed, minimize erosion and undermining of structures, which endanger the structure safety. Local scour downstream is usually one of the most important issues in designing process of hydraulic structures, which is mainly some applications have been proposed to reduce this occurrence. Present study has been carried out on the effects of V-shaped baffle piers in order to reduce the local scour downstream of the ogee spillway.

Methodology

Experiments were carried out in a flume which is 6 m long, 0.5 m wide and 0.6 m deep with horizontal bed slope. A pump with a maximum discharge capacity of 14 lit/s circulated water from sump. A movable weir located at downstream of flume controlled water level. The hydraulic and geometric characteristics of these baffle piers were investigated with three different discharges (20, 24 and 28 Lit/s.m). The positions and height of these blocks were presented to decrease the amount of scour downstream. The position and height parameters were defined based on the length of stilling basins as follows respectively, $L_b/L_f=(0.22, 0.44, 0.66, 0.88)$ and $H_b/D=(0.66, 1, 1.33, 2)$. The test area in the channel was 2 m long and 12 cm in height, 2.5 m from the beginning of the channel. The experiments were carried out using non cohesive sediments with median diameter of 0.72 mm, specified gravity of 2.65 and geometric standard deviation of 1.12.

Results and Discussion

The presence of the block decreases the final depth of scour and the length of the scour which shows the role of the blocks and their role in this case. According to laboratory observations, the existence of the block distinguishes three types of flow around it. The first is a flow that jumps above the block. The second is the convergence flow between the blocks and the third the eddy flow that forms in front and inside the blocks. The presence of the block and the three types of flows resulted in greater turbulence and reduced jump energy, resulting in a shorter jump length

and an earlier secondary depth. Taken together, these factors reduce the flow strength at the bottom of the plate and also cause less sediment transport downstream. The more the Froude number increases, the more stable the jump is due to the category of jump types. (Depending on the group of jumps created in this study) The amount of scour depth decreases due to the presence of blocks. Also, the result indicates that by decreasing the distance of baffle from weir toe, the length and the depth of scour have been remarkably diminished. Meanwhile the raise of baffle height decreases the scour depth across a longitudinal section. In addition, in different block positioning, as the height of the blocks increases, the length of the scour decreases. So that block with height ($H_b/D=2$) has a significant decrease during scouring compared to block with height ($H_b/D=0.66$).

Conclusion

Overall, the suitable geometrical condition proposed in order to reduce this sediment deposition which is propose based on length of stilling basins and Froude number as, $H_b/D=2$, $L_b/L_f=0.22$ It assumes that the scour depth is decreased between 30 to 76 percent and the scour length is decreased between 57 to 71 percent. The present study demonstrates the importance of positioning the blocks and their height at different Froude numbers. Therefore, pre-execution modeling is suggested for better conclusions to achieve the best position and height of the block.

Keywords: Baffle, Local Scouring, Locating blocks, Ogee Spillway, V-shaped blocks.