



بررسی آزمایشگاهی اثر طوقه بر آب‌شستگی موضعی اطراف پایه پل دوکی شکل

زهرا طاهری^۱، مهدی قمشی^{۲*}

^۱ سازه های ابی، دانشکده علوم اب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

^۲ سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم اب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۶-۱۰-۲۲

بازنگری: ۱۳۹۶-۱۲-۱۳

پذیرش: ۱۳۹۶-۱۲-۱۹

ارائه آنلاین: ۱۳۹۷-۰۲-۰۸

کلمات کلیدی:

آب‌شستگی موضعی

پایه پل، طوقه

دوکی شکل

ابعاد طوقه

خلاصه: شکست پل ناشی از آب‌شستگی، اهمیت و ضرورت مطالعه در مورد پیش بینی عمق آب‌شستگی و راه های کاهش آن را کاملاً روشن می‌کند. یکی از راه های کاهش قدرت عوامل آب‌شستگی استفاده از یک صفحه گسترده در اطراف پایه می باشد که طوقه نام دارد. ابعاد طوقه و موقعیت قرارگیری آن نقش مهمی در کاهش آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه های پل دارند. در این تحقیق نیز عملکرد طوقه در چهار ابعاد شامل I_{ca} برابر $۲B$ ، $۴B$ و $۹B$ (عرض پایه) چهار موقعیت قرارگیری شامل روی سطح بستر، $۰/۱۲B$ زیر سطح بستر، $۰/۵B$ و B بالای سطح بستر و در سه عدد فرود $۰/۱۳$ ، $۰/۱۶$ و $۰/۱۹$ در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش های این تحقیق در فلومی به طول ۶ متر، عرض ۷۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر که شبیه نزدیک به صفر داشت و در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شدند. نتایج نشان دادند با افزایش ابعاد طوقه بر عملکرد آن افزوده می‌شود و I_{ca} مناسب (طول طوقه دوکی در جلوی پایه) برابر B و $۲B$ می باشد. بهترین موقعیت نصب طوقه نیز روی سطح بستر و به فاصله $۰/۱۲B$ در زیر بستر بود که در این حالت ها راندمان طوقه به ترتیب ۱۰۰ و ۸۸ درصد اندازه‌گیری شد.

۱- مقدمه

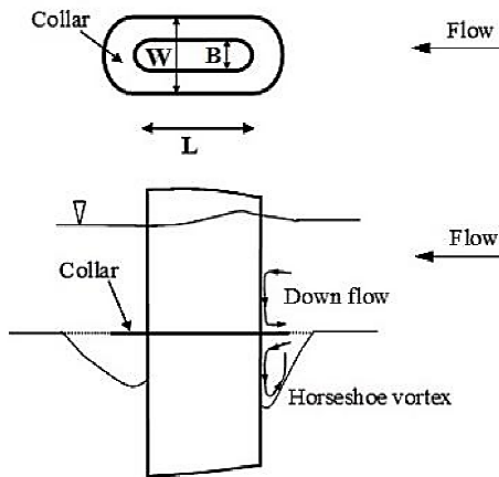
آب‌شستگی در واقع به معنای جابه جایی ذرات توسط جریان از محل استقرار اولیه آن‌ها به مکان دیگری است. یکی از انواع آب‌شستگی، آب‌شستگی موضعی است که ناشی از اثر موضعی سازه بر روی الگوی جریان می باشد که به صورت موضعی در پایین دست و یا اطراف سازه مورد نظر رخ می دهد. فرآیند آب‌شستگی پتانسیل زیادی برای تهدید کردن تمامیت سازه پل و دیگر سازه های آبی به وجود می‌آورد و سرانجام منجر به تخریب پی ها و فونداسیون سازه ها از زیر شده و منجر به خرابی می‌شود. پل ها از گران ترین سازه های بزرگراه ها هستند و پایداری آن‌ها نقش بسیار مهمی در ایمنی عابرین اعم از عابرین پیاده و خودروها دارد از این رو پیش بینی عمق آب‌شستگی اطراف پایه های پل در طراحی آن‌ها امری بسیار حیاتی است. از طرفی پیش بینی های کمتر از عمق واقعی منجر به ضررهای جانی

و نیز واژگونی سازه پل می‌شود و هم‌چنین تخمین های بیش‌ازاندازه می‌تواند منجر به تحمیل هزینه های اضافی ساخت پایه های پل شود به همین دلیل تعداد بی شماری از محققین مطالعاتی را در این زمینه انجام داده اند از جمله:

در گاهی (۱۹۹۰) با بررسی آب‌شستگی روی طوقه ها به این نتیجه رسید که طوقه نباید خیلی ضخیم باشد، چرا که ضخامت زیاد طوقه، خود سبب ایجاد یک مانع در برابر جریان می شود و آب‌شستگی را بیشتر می کند. او اظهار داشت طوقه نمی‌تواند از تشکیل گرداب نعل اسبی جلوگیری کند ولی اگر در محل مناسبی نسبت به تراز بستر قرار گیرد نقش مؤثری در کاهش آب‌شستگی خواهد داشت. سینگ و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان دادند هرچه فاصله بین تراز بستر و تراز نصب پایه بیشتر شود حداکثر عمق آب‌شستگی افزایش می‌یابد. بهترین محل برای نصب طوقه در آزمایش‌ها $۰/۱ D$ (قطر پایه) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوقه ای با دوبرابر قطر پایه

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: m.ghomeshi@yahoo.com





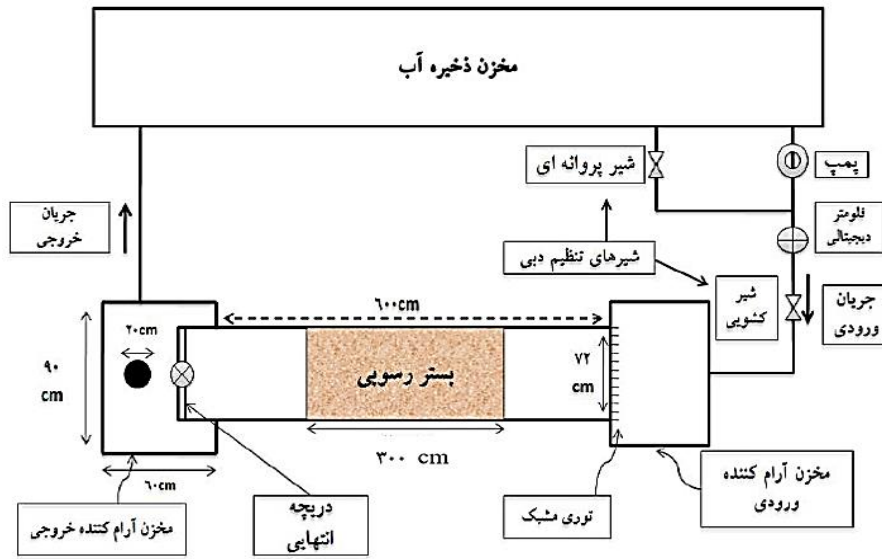
شکل ۱. آبشستگی و الگوی جریان در اطراف پایه مستطیلی شکل با دماغه گرد محافظت شده با طوقه

Fig 1. Scouring and flow pattern around an oblong pier protect by a collar

طوقه با ۳ برابر عرض پایه بهترین عملکرد را نسبت به طوقه‌ها با عرض ۲، ۱/۵ و ۲/۵ داشت. حداقل عمق آبشستگی نیز در تراز ۰/۱b زیر بستر بود. شریعتی و همکاران (۱۳۸۸) در آزمایش‌های خود از دو طوق دایره‌ای و مربعی برای کاهش آبشستگی پایه استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که طوق مربعی ۷۰ درصد و طوق دایره‌ای ۵۰ درصد عمق آبشستگی پایه پل را کاهش دادند. خزیمه نژاد و همکاران (۱۳۹۱) در آزمایش‌های خود تاثیر ابعاد طوق‌های متقارن و نامتقارن را در کاهش آبشستگی اطراف تکیه گاه پل مورد بررسی قرار داد. نتایج او نشان داد که با افزایش ابعاد هر دو نوع طوقه، بر عملکرد آن‌ها افزوده می‌شود و همچنین با مقایسه‌ی دو نوع طوقه نشان داد که اگر عرض طوقه نامتقارن در بالادست نسبت به عرض آن در پایین دست بزرگتر باشد، نسبت به طوقه متقارن هم مساحت خود عملکرد بهتری نشان می‌دهد. همچنین در حالت متقارن طوقه‌های زیر بستر عملکرد بهتری نسبت به طوقه‌های سطح بستر و بالای بستر داشتند.

همانطور که گفته شد در میان روش‌های مورد استفاده برای کاهش آبشستگی پایه پل، استفاده از طوقه‌های متصل به پایه مورد توجه محققان قرار گرفته‌است که با توجه به اهمیت کاربرد آن، نیاز است مطالعات بیشتری در این زمینه انجام شود. با توجه به اینکه ابعاد طوقه و موقعیت قرارگیری آن نسبت به سطح بستر تاثیر زیادی در عملکرد آن دارد در این تحقیق به بررسی طول طوقه و موقعیت

آبشستگی را به میزان ۹۱٪ کاهش داد. طوقه‌ها با ابعاد ۲، ۱/۵، ۲/۵ برابر قطر پایه در سطح بستر ۵۰، ۶۸، ۱۰۰ درصد آبشستگی را در مقایسه با پایه بدون طوقه کاهش دادند. مشاهیر و زراتی (۲۰۰۲) بیان کردند نصب طوقه روی پایه علاوه بر کاهش عمق آبشستگی زمان شروع آبشستگی را در جلوی پایه به مدت قابل ملاحظه‌ای به تأخیر می‌اندازد. زراتی و همکاران (۲۰۰۴) در آزمایش‌های خود از طوقه به منظور کاهش آبشستگی پایه پل استفاده کردند. آن‌ها اظهار داشتند کاربرد طوقه متناسب با ابعاد و موقعیت قرارگیری آن در پایه پل نسبت به بستر می‌باشد (شکل ۱). بلوچی و همکاران (۱۳۸۶) نیز آزمایش‌هایی را در حضور طوقه برای کاهش آبشستگی انجام دادند. آن‌ها از طوق‌هایی با دو و سه برابر قطر پایه و هم‌مرکز با پایه و طوقی با سه برابر قطر پایه و غیر هم‌مرکز با پایه استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود طوق باعث تأخیر در زمان تعادل و کاهش در عمق آبشستگی می‌شود و طوق‌هایی با دو و سه برابر قطر پایه روی تراز سطح بستر به ترتیب ۱۴/۵۸ و ۳۵ درصد کاهش در عمق آبشستگی داشته‌اند. همچنین طوق‌هایی با سه برابر قطر پایه و نامتقارن عمق آبشستگی تغییر چندانی نداشت اما زمان تعادل بیشتر از حالت‌های قبل شد. ارونقی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی تأثیر طول طوقه مستطیلی در بالادست و پایین دست پایه استفاده‌ای آن‌ها و همچنین عرض طوقه پرداختند. آن‌ها نشان دادند عرض مناسب برای طوقه سه برابر عرض پایه می‌باشد و همچنین طول مناسب بالادست و پایین دست که نسبت به بدنه مدل پایه اندازه‌گیری شد به ترتیب ۰/۹۲ و ۱/۴۲ برابر قطر پایه می‌باشد. سنوسی و حبیب (۲۰۰۸) به بررسی اثر دماغه شیب دار و گردشده در آبشستگی موضعی پرداختند و نشان دادند هنگامی که دماغه، شیب دار می‌شود عمق آبشستگی کاهش پیدا می‌کند. تایج دفانتی و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد شرایط جریان بر میزان راندمان طوقه در کاهش میزان عمق آبشستگی موثر می‌باشد و همچنین بیان کردند طوقه‌ها در سرعت‌های پایین جریان از عملکرد بهتری برخوردار هستند. مسجدی و همکاران (۲۰۱۰) اثر طوقه در کاهش آبشستگی اطراف پایه پل با مقطع چهار گوش با دماغه‌ی نیم‌دایره در قوس ۱۸۰ درجه را مورد بررسی قرار دادند. عرض پایه ۶ سانتی‌متر بود. آن‌ها طوقه‌هایی با ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ برابر عرض پایه را در چهار موقعیت سطح بستر، ۰/۱B، ۰/۵B، ۱B زیر سطح بستر کار گذاشتند و مشاهده کردند



شکل ۲. پلان کانال و تجهیزات آزمایشگاهی

Fig 2. A plan of the flume and laboratory equipment

$$\frac{d_s}{B} = f\left(F_r \cdot \frac{l_c}{B} \cdot \frac{Z_c}{B}\right) \quad (2)$$

۲-۲- امکان‌ات آزمایشگاهی

آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفته است. آزمایش‌ها در فلومی دارای سطح مقطعی مستطیلی و طولی برابر با ۶ متر و عرض ۷۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر انجام شدند. دیواره‌های این فلوم از جنس شیشه سیکوریت با ضخامت ۱۰ میلی‌متر و اسکلت آن فلزی بود. در آزمایشگاه برای اندازه‌گیری دبی از یک فلومتر دیجیتالی که در ابتدای سیستم ورودی نصب شده بود، استفاده می‌شد. برای تنظیم عمق آب هم از یک دریچه‌ی کشویی در انتهای کانال استفاده می‌گردید. به منظور جلوگیری از ورود تلاطم ناشی از پمپاژ آب در ابتدای کانال یک مخزن آرام‌کننده نصب شد و قبل از ورود آب به بستر رسوبی از صفحات مشبک فلزی به همراه پوشال کولر و یونولیت استفاده شد تا جریان به آرامی وارد کانال شود. قبل از ورود آب به کانال دو شیر برای تنظیم دبی وجود داشت یک شیر پروانه‌ای آن‌ها که میزان دبی ورودی از پمپ توسط آن تنظیم می‌شد و دیگری شیر کشویی که میزان جریان ورودی به درون کانال را تنظیم می‌کرد. در انتهای فلوم نیز یک مخزن آرام‌کننده جریان قرار داشت تا جریان پس از عبور

قرارگیری طوقه نسبت به سطح بستر در پایه دوکی شکل پرداخته شده است و همچنین عملکرد طوقه در شرایط هیدرولیک مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

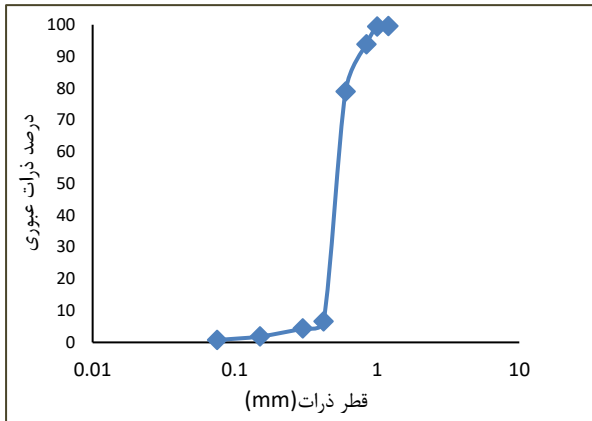
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تحلیل ابعادی

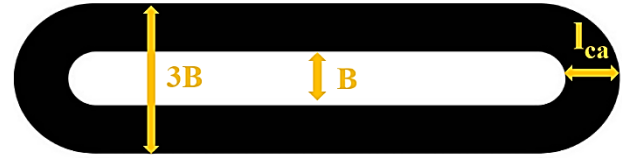
پارامترهای زیادی در آزمایش‌های این تحقیق موثر هستند که در رابطه ۱ نشان داده شده است.

$$f(d_s, y, D_{50}, v, g, t, \rho, \rho_s, \theta, C_D, l, B, t_c, B_c, Z_c, l_c, \sigma) = 0 \quad (1)$$

در رابطه فوق d_s : حداکثر عمق آب‌شستگی، y : عمق جریان، D_{50} : قطر متوسط رسوبات بستر، v : سرعت جریان، g : شتاب ثقل، t : زمان، ρ : چگالی سیال، ρ_s : چگالی رسوبات بستر، θ : لزوجت سینماتیکی سیال، C_D : ضریب شکل پایه، l : طول پایه، B : عرض پایه، t_c : ضخامت طوق، B_c : عرض طوق، Z_c : موقعیت قرارگیری طوقه، l_c : طول طوقه، σ : انحراف معیار ذرات رسوبی هستند. با استفاده از روش باکینگهام پارامترهای بدون بعد به دست آورده شد که با ترکیب این پارامترهای بی‌بعد و حذف پارامترهای ثابت در آزمایش‌ها، رابطه بدون بعد برای این تحقیق به صورت رابطه می‌باشد.



شکل ۵. نمودار دانه بندی ذرات رسوبی
Fig 5. Sediment particle gradient curve



شکل ۳. نمایی از طوقه و ابعاد آن
Fig 3. A view of collar and dimensions



شکل ۴. نمایی از پایه و طوقه نصب شده روی آن
Fig 4. A view of the pier and collar placed on it

شکل ۳ نشان داده شده است، در آزمایش ها برابر B ، B_2 ، B_4 ، B_9 بود. تصویری از پایه و طوقه نصب شده روی آن قبل از آزمایش و بعد از آن در شکل ۴ نشان داده شده است.

طبق آزمایش های چپو و ملویل (۱۹۸۷) در شرایطی که نسبت قطر پایه به میانگین قطر ذرات رسوبی (D/d_{50}) بیشتر از ۵۰ باشد اندازه ذرات بستر بر عمق آبشستگی بی اثر می باشد و همچنین برای حذف اثر غیر یکنواختی رسوب بر کاهش آبشستگی موضعی مطابق نظر چپو و ملویل (۱۹۸۷) میزان انحراف معیار هندسی ذرات رسوبی $\sigma_g = \sqrt{D_{84.1} / D_{15.9}}$ باید از $1/3$ کمتر باشد که در این رابطه d_{16} و d_{84} به ترتیب قطر ذراتی می باشد که ۸۴ و ۱۶ درصد ذرات از آن ریزتر است. در این تحقیق نیز باتوجه به شرایط ذکر شده برای تامین رسوبات بستر از ماسه ی باقی مانده بین الک های ۳۰ و ۴۰ در محدوده ی اندازه ی ذرات 0.42 تا 0.59 میلی متر استفاده شد و بستر در بازه ای ۳ متری به ضخامت ۱۰ سانتی متر با رسوباتی با متوسط قطر ذرات 0.5 میلی متر پوشانده شد. نمودار دانه بندی ذرات رسوبی در شکل ۵ نشان داده شده است.

طبق نظر اتما (۱۹۸۰) در جریان های کم عمق، گرداب موج کمانی در سطح آب بوجود می آیند که نتیجه ی گردش در خلاف جهت جریان هستند که با جریان تداخل پیدا می کنند و باعث کاهش جریان روبه پایین می شوند در نتیجه عمق آبشستگی کاهش می یابد. از این رو باید عمق جریان طوری انتخاب شود که اثر این پدیده از بین برود. بررسی های انجام شده در این زمینه نشان می دهد که عمق جریان باید بیش از سه برابر قطر پایه باشد. نکته ی دیگری که برای تعیین

از دریچه انتهایی وارد این مخزن شود و توسط یک لوله وارد استخر ذخیره آب شود تا مجدداً به داخل کانال پمپاژ گردد و بدین صورت سیستم گردش آب تکمیل گردد. پلان کانال و تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل ۲ نشان داده شده است.

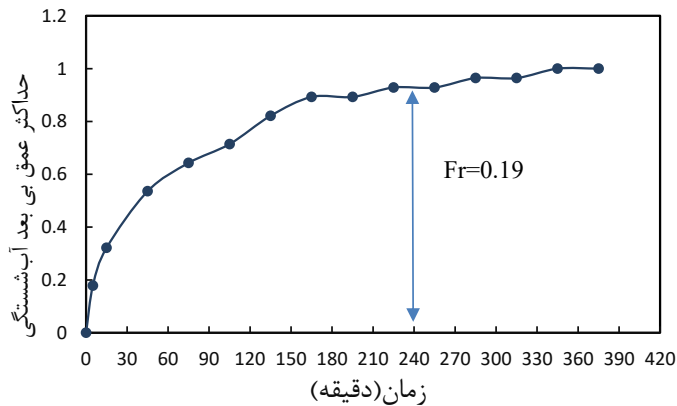
۲-۳- روش انجام آزمایش ها

قبل از شروع آزمایش ها باید ابعاد مدل و همچنین پارامتر های مجاز که بر عمق آبشستگی تاثیر دارند را مشخص کرد. برای تعیین ابعاد مدل باید به تاثیری که دیواره های کانال بر عمق آبشستگی می گذارند توجه کنیم لذا طبق نظر چپو و ملویل (۱۹۸۷) قطر پایه نباید از 10% درصد عرض کانال بیشتر باشد لذا از پایه دوکی به ابعاد $22/5 \times 2/5$ سانتی متر مربع استفاده شد جنس دیواره های پایه از پلکسی گلاس و دماغه ی پایه از جنس چوب بود. طوقه ها از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۳ میلی متر تهیه شدند. طبق نظر تاناکا و یانو (۱۹۶۷) و بلوچی و همکاران (۱۳۸۶) عرض مناسب برای طوقه ها ۳ برابر عرض پایه می باشد و در آزمایش های این تحقیق نیز عرض طوقه ۳ برابر عرض پایه انتخاب شد و طول جلوی طوقه (l_{ca}) که در

جدول ۱. شرایط هیدرولیکی حاکم بر آزمایش‌ها

Table 1. Hydraulic conditions of the experiments

Q(m ³ /s)	y(cm)	V(m/s)	V/V _c	Fr	Re
۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۹۱	۰/۱۹	۲۷۳۰۰
۰/۰۱۷	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۷۸	۰/۱۶	۲۳۴۰۰
۰/۰۱۴	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۶۵	۰/۱۳	۱۹۵۰۰



شکل ۶. منحنی توسعه زمانی حفره آب‌شستگی

Fig 6. Scour hole time development curve

(۱۹۹۷) برای تعیین سرعت برشی بحرانی به ازای اندازه ی متوسط دانه های بستر روابط ۳ و ۴ را ارائه نمود که تخمین خوبی برای منحنی شیلدز می باشد و برای سرعت بحرانی از رابطه ۵ (توزیع لگاریتمی سرعت) استفاده نمود.

$$U_{*c} = 0.0115 + 0.0125d_{50}^{1.4} \rightarrow 0.1mm < d_{50} < 1mm \quad (3)$$

$$U_{*c} = 0.0305d_{50}^{0.5} - 0.0065d_{50}^{-1} \rightarrow 1mm < d_{50} < 100mm \quad (4)$$

$$\frac{V_c}{U_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{y}{d_{50}} \right) \quad (5)$$

از رابطه ۳ مقدار سرعت برشی بحرانی ۰/۱۶ متر بر ثانیه به دست آمده و با استفاده از معادله ۵، سرعت بحرانی ۰/۲۱ متر بر ثانیه محاسبه گردید. برای تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها این تحقیق، یک آزمایش طولانی به مدت ۶ ساعت بر روی پایه پل بدون حضور طوقه و در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه صورت پذیرفت و در این مدت حداکثر عمق آب‌شستگی در جلوی پایه برداشت شد که روند تغییرات آن را در نمودار شکل ۶ مشاهده می کنید. با توجه به نمودار شکل ۶ در ۴ ساعت اول تقریباً ۹۴ درصد آب‌شستگی کل رخ می دهد. لذا در همه ی آزمایش‌ها زمان تعادل ۴ ساعت در نظر گرفته شد.

عمق جریان باید مورد توجه قرار گیرد رعایت حداکثر تنش برشی در شرایط آب زلال است. آب‌شستگی موضعی در دو حالت آب‌شستگی آب زلال و آب‌شستگی بستر زنده تقسیم‌بندی می‌شود. اگر سرعت متوسط جریان از سرعت بحرانی یا آستانه حرکت (V_c) بیشتر باشد، آب‌شستگی بستر زنده و اگر سرعت متوسط جریان در محدود $0 < V < V_c$ باشد، آب‌شستگی آب زلال ایجاد می‌شود و با توجه به این‌که آزمایش‌های این تحقیق در شرایط آب زلال بودند، برای تعیین سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی، در کانال آزمایشگاهی بر روی بستر رسوبی و بدون حضور پایه، عمق‌های متفاوتی با تنظیم حداکثر دبی، ۲۰ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شد تا بتوان حرکت یا عدم حرکت ذرات رسوبی را با چشم مشاهده کرد. بدین صورت که سرعت آستانه حرکت ذرات متأثر از عمق جریان می باشد، در نتیجه در همین دبی با کاهش تدریجی عمق جریان V_c تعیین شد. پس از اندازه‌گیری‌های صورت پذیرفته در نهایت مقدار سرعت جریان برای آستانه حرکت رسوبات ۰/۲۳ تعیین شد. در نتیجه با در نظر گرفتن شرایط ذکر شده عمق ثابت ۱۳ سانتی‌متر انتخاب شد. سایر شرایط هیدرولیکی آزمایش را در جدول ۱ مشاهده می کنید.

درستی سرعت بحرانی با روابط تجربی نیز مقایسه شد. ملویل

۳-۱- نتایج آزمایش‌های شاهد

در این قسمت سه آزمایش بدون حضور طوقه در دبی‌های ۱۴، ۱۷ و ۲۰ انجام شد و مشاهده گردید آب‌شستگی از جلوی پایه با تشکیل چاله‌ی آب‌شستگی و به صورت متقارن نسبت به محور پایه شروع شد و مواد رسوبی نیز از جلو و اطراف پایه شسته و به صورت پشته در اطراف دیواره‌های پایه جمع شدند به تدریج که حفره آب‌شستگی در جلوی پایه بیشتر می‌شد پشته‌ها نیز بر ارتفاع آن‌ها افزوده می‌شد و به سمت پایین دست پایه حرکت می‌کردند. پس از توسعه حفره آب‌شستگی و مستهلک شدن گرداب‌های نعل اسبی درون حفره، رسوبات تنها درون چاله آب‌شستگی جلوی پایه حرکت می‌کردند و به اطراف دیواره‌های پایه حرکت نمی‌کردند. در تمامی آزمایش‌های شاهد حداکثر عمق آب‌شستگی پایه پل دوکی به دلیل جریان‌های رو به پایین در جلوی پایه ایجاد می‌شد در نتیجه این موقعیت به عنوان نقطه مبنا برای برداشت حداکثر عمق آب‌شستگی در نظر گرفته شد. توپوگرافی سطح بستر که با نرم‌افزار Surfer نسخه ۱۳ رسم شده اند در شکل ۷ برای آزمایش شاهد در دبی ۲۰ نشان داده شده‌است. حداکثر عمق بی بعد آب‌شستگی در آزمایش‌های شاهد نیز در جدول ۲ نشان داده شده‌است.

۳-۲- نتایج بررسی ابعاد طوقه

برای تعیین طول مناسب طوقه برای پایه دوکی شکل آزمایش‌ها با چهار اندازه طوقه، که I_{ca} آن‌ها برابر ۱، ۲، ۴ و ۹ برابر عرض پایه و در عدد فرود ۰/۱۹ و در تراز $0/B5$ بالای بستر انجام شدند که نتایج آن‌ها در شکل ۹ نشان داده شده‌است. الگوی آب‌شستگی در این چهار حالت نیز در شکل ۸ نشان داده شده‌است. با توجه به این شکل، با

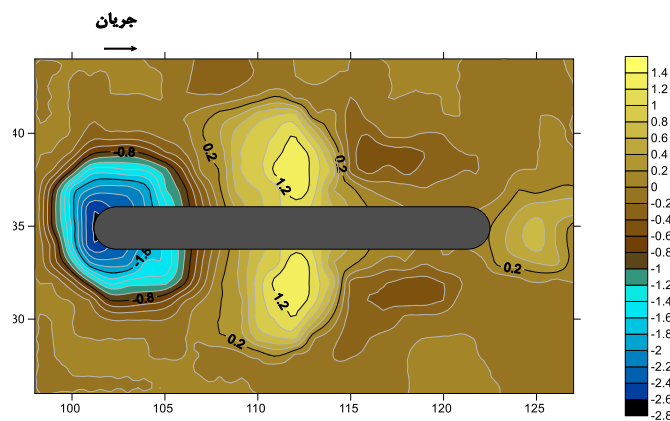
جدول ۲. حداکثر عمق بی بعد آب‌شستگی در آزمایش‌های شاهد
Table 2. Maximum dimensionless scour depth in collarless experiments

حداکثر عمق بی بعد آب‌شستگی d_s/B		
$Fr=0.13$	$Fr=0.16$	$Fr=0.19$
۰/۳۶	۰/۷۶	۱/۰۴

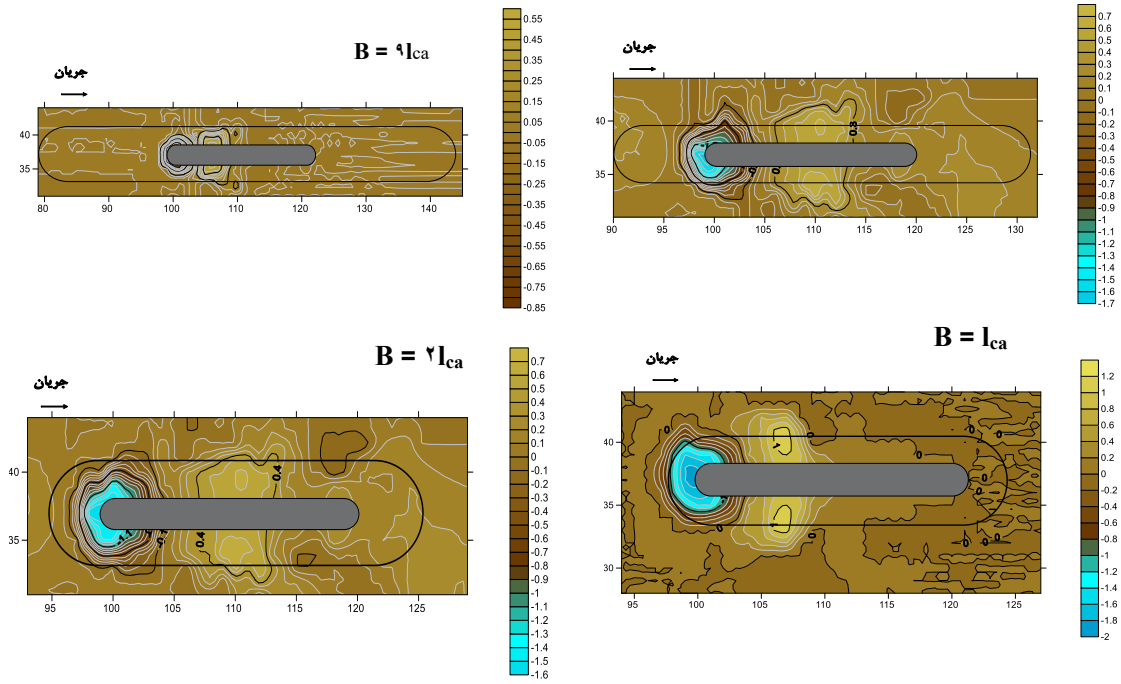
روش انجام آزمایش‌ها به این صورت بود که ابتدا سطح بستر رسوبی به وسیله ماله و متر لیزری تسطیح می‌گردید سپس طوقه را در موقعیت مورد نظر با استفاده از چسب آکواریوم چسبانده می‌شد و دریچه فلوم را بسته و پمپ با دبی کمی روشن می‌شد تا از ایجاد ریپل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. بعد از گذشت چند دقیقه دبی را به آرامی زیاد می‌شد تا به دبی مورد نظر برسد سپس دریچه نیز تنظیم می‌شد تا شرایط مورد نظر ایجاد گردد. پس از گذشت ۴ ساعت پمپ خاموش و دریچه‌ی انتهایی بسته می‌شد تا آب درون فلوم به آرامی زه‌کشی شود و تأثیری روی توپوگرافی سطح بستر نداشت‌باشد. در نهایت نیز حداکثر عمق آب‌شستگی در جلوی پایه و نیز پروفیل سطح بستر با متر لیزری برداشت می‌شد.

۳- بحث و نتایج

در این تحقیق ابتدا آزمایش‌هایی بدون حضور طوقه (شاهد) انجام شد. سپس آزمایش‌هایی به منظور تعیین بهترین ابعاد طوقه برای پایه دوکی انجام شد و بعد از تعیین ابعاد مناسب طوقه، عملکرد طوقه در دبی‌های مختلف بررسی شد و با توجه به اینکه سه موقعیت کلی، بالای بستر، سطح بستر و زیر بستر برای نصب طوقه وجود دارد، هر سه موقعیت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

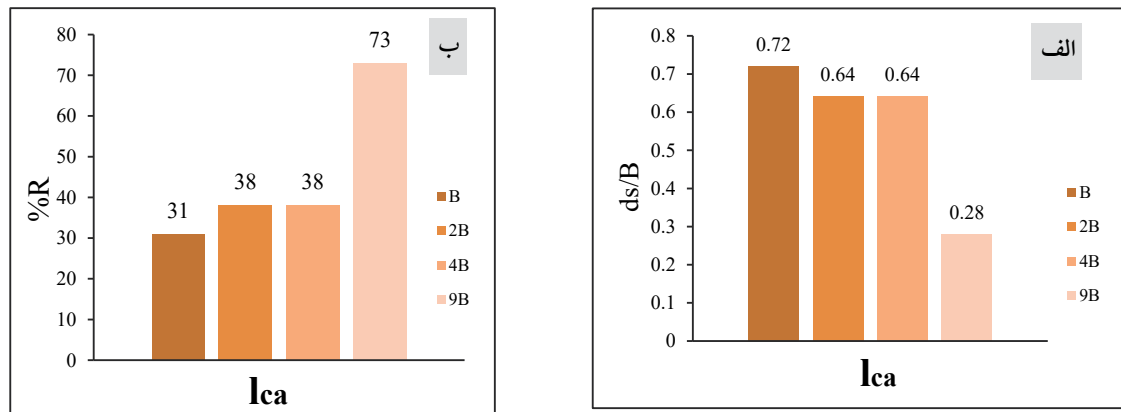


شکل ۷. الگوی آب‌شستگی در آزمایش بدون حضور طوقه در عدد فرود ۰/۱۹
Fig 7. Scouring pattern in experiments without the collar



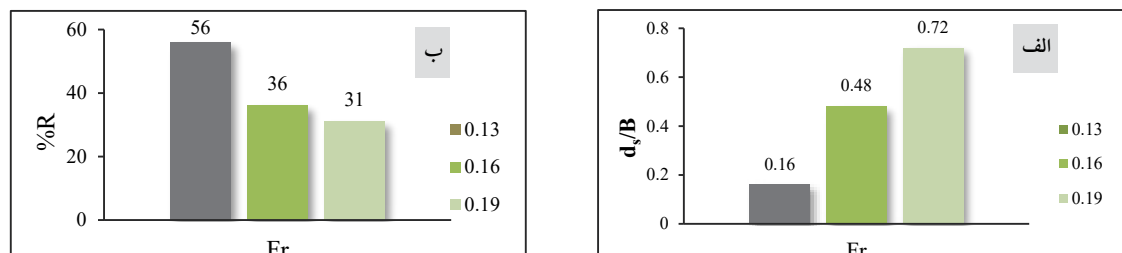
شکل ۸. الگوی آبشستگی در آزمایش های طوقه های با ابعاد مختلف

Fig 8. Scouring pattern in experiments with collar in different dimensions



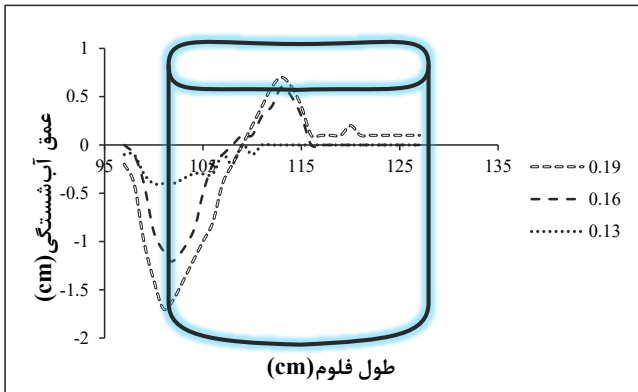
شکل ۹. تغییر ابعاد طوقه در مقابل الف) حداکثر عمق بی بعد آبشستگی و ب) درصد کاهش عمق آبشستگی

Fig 9. Changes the dimensions of the collar in front a) maximum dimensionless depth of scouring b) percentage of scour depth reduction

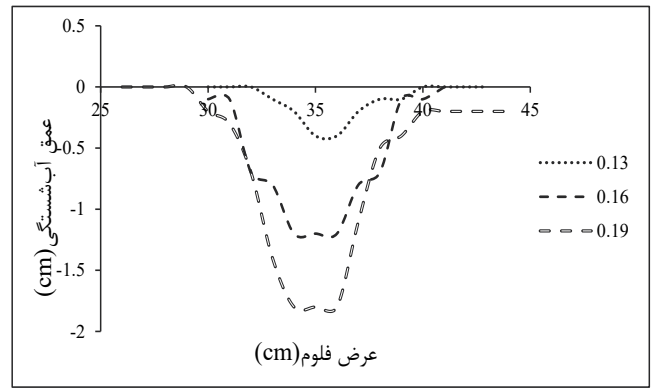


شکل ۱۰. تغییرات عدد فرود جریان در مقابل الف) حداکثر عمق بی بعد آبشستگی و ب) درصد کاهش عمق آبشستگی

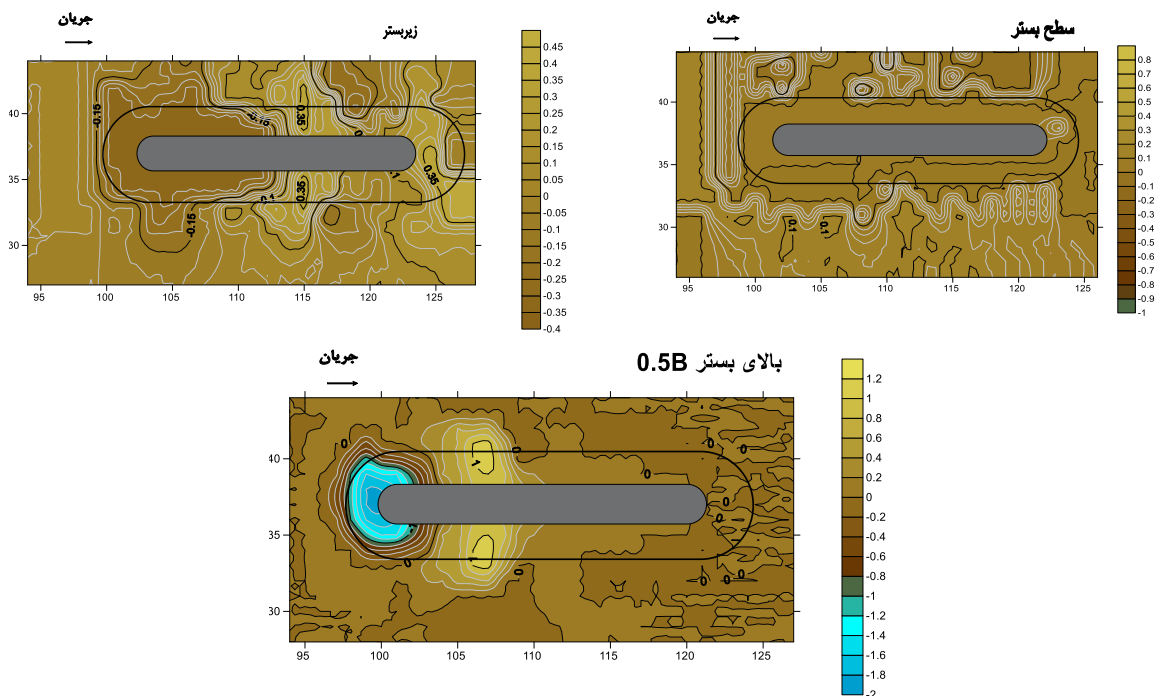
Fig 10. Changes the Froude number of the flow in front a) maximum dimensionless depth of scouring b) percentage of scour depth reduction



شکل ۱۲. پروفیل طولی در عدد فرودهای مختلف
Fig 12. Longitudinal scour profiles in different Froude number



شکل ۱۱. پروفیل عرضی آب‌شستگی در عدد فرودهای مختلف
Fig 11. Transverse Scour profiles in different Froude number

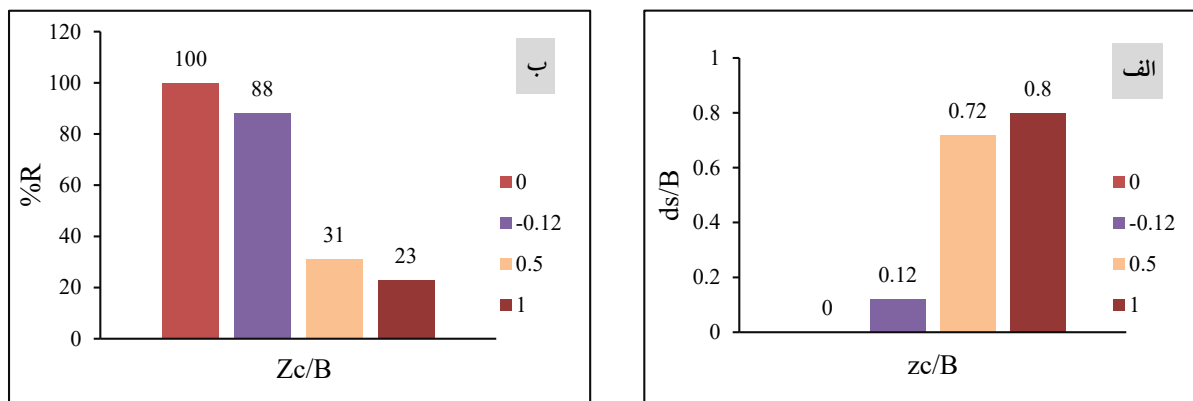


شکل ۱۳. الگوی آب‌شستگی در موقعیتهای مختلف نسبت به سطح بستر
Fig 13. Scouring pattern in different positions relative to the bed surface

می باشد و همچنین به دلیل اختلاف کمی که طوقه $I_{ca} = 4B$ با B و $I_{ca} = 2B$ با B داشته‌اند در آزمایش‌های بعدی از طوقه با $I_{ca} = B$ استفاده شد.

نتایج عملکرد طوقه در عدد فرود مختلف بعد از تعیین بهترین ابعاد طوقه برای پایه دوکی شکل به بررسی عملکرد آن در شرایط جریان مختلف پرداخته شد. لذا در عدد فرود ۰/۱۳، ۰/۱۶ و ۰/۱۹ و در تراز ۰/۵B بالای سطح بستر مورد آزمایش قرار گرفتند. در شکل ۱۰

افزایش ابعاد طوقه حداکثر عمق آب‌شستگی کاهش یافت و گودال آب‌شستگی در جلوی پایه نیز با افزایش ابعاد طوقه کوچک تر شد. طوقه با $I_{ca} = 9B$ (طوقه با ابعاد بزرگتر) آب‌شستگی را به میزان ۷۳ درصد کاهش داد طوقه با $I_{ca} = 4B$ و $I_{ca} = 2B$ آب‌شستگی را به میزان ۳۸ درصد کاهش دادند و طوقه با $I_{ca} = B$ آب‌شستگی را به میزان ۳۱ درصد کاهش داد. طوقه با $I_{ca} = 9B$ نسبت به اندازه‌های دیگر طوقه راندمان بالاتری داشت اما به دلیل طول زیاد استفاده از آن غیر معقول



شکل ۱۴. تغییر موقعیت بی بعد طوقه در مقابل الف) حداکثر عمق بی بعد آب شستگی و ب) درصد کاهش عمق آب شستگی

Fig 14. Change the dimensionless position of the collar in front a) maximum dimensionless depth of scouring b) percentage of scour depth reduction

شده است ولی به دلیل ارتفاع طوقه از سطح بستر و شدت گرفتن جریان های پایین رونده و گرداب های نعل اسبی، نسبت به سطح بستر آب شستگی زیاد شد و راندمان آب شستگی نسبت به تراز سطح بستر کاهش یافت و به ۳۱ درصد رسید الگوی آب شستگی در این تراز نیز شبیه به حالت بدون طوقه بود با این تفاوت که چاله ی آب شستگی در جلوی پایه و تپه ی رسوبی تشکیل شده در اطراف دیواره های پایه کوچک تر شدند و همچنین تپه های رسوبی به جلوی پایه نزدیک تر شدند. در تراز $0.12B$ زیر سطح بستر الگوی آب شستگی به این صورت بود که تنها رسوباتی که روی سطح بستر بودند شسته شدند که در واقع خود جزئی از آب شستگی محسوب می شدند در نتیجه در این حالت نیز عمق آب شستگی به اندازه ی ارتفاع طوقه زیر بستر افزایش یافت و راندمان طوقه نیز به ۸۸ درصد رسید.

۴- نتیجه گیری

در مطالعه ی حاضر به بررسی تأثیر ابعاد طوقه، عملکرد طوقه در عدد فرودهای مختلف و همچنین بررسی اثر موقعیت قرارگیری طوقه روی پایه در شرایط آب شستگی آب زلال پرداخته شد. نتایج نشان داد هر چه طول طوقه افزایش یابد حداکثر عمق آب شستگی کاهش می یابد و حفره ی آب شستگی در جلوی پایه نیز کوچک تر می شود. از میان طوقه با ابعاد مختلف طوقه با $9B = I_{ca}$ (طوقه با ابعاد بزرگتر) بالاترین راندمان را با ۷۳ درصد داشت ولی بدلیل طول زیاد، کاربرد آن غیرمعقول می باشد و طوقه با $4B$ و $I_{ca} = 2B$ عملکردی شبیه هم با ۳۶ درصد کاهش آب شستگی داشتند و طوقه با $I_{ca} = B$ عمق آب شستگی

حداکثر عمق بی بعد آب شستگی و درصد کاهش عمق آب شستگی نشان داده شده است. پروفیل عرضی و طولی آن ها نیز در شکل های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. این شکل ها نشان می دهد با کاهش عدد فرود جریان و کاهش شدت جریان های گردابه ای در اطراف پایه حداکثر عمق بی بعد آب شستگی و حفره ی آب شستگی کاهش یافت و همچنین راندمان طوقه با ابعاد ذکر شده و در تراز $0.5B$ بالای بستر و عدد فرود 0.13 ، 0.16 و 0.19 به ترتیب برابر ۵۶، ۳۶ و ۳۱ درصد شد.

۳-۳ نتایج بررسی موقعیت قرار گیری طوقه

برای تراز نصب طوقه سه موقعیت کلی روی پایه وجود دارد: روی سطح بستر، زیر سطح بستر و بالای سطح بستر که در این تحقیق طوقه در تراز روی سطح بستر، $0.12B$ زیر سطح بستر، $0.5B$ و بالای سطح بستر (B : عرض پایه) کار گذاشته شد و عملکرد آن در این موقعیت ها مورد بررسی قرار گرفت. درصد کاهش حداکثر عمق آب شستگی و عمق بی بعد آب شستگی در نمودار شکل ۱۴ نشان داده شده است و همچنین الگوی آب شستگی در اطراف پایه پل دوکی شکل در موقعیت های سطح بستر، زیر بستر و $0.5B$ بالای بستر در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

در تراز روی سطح بستر طوقه مانند سدی در مقابل جریان های پایین رونده عمل کرده و به خوبی از رسوبات بستر محافظت می کند و باعث کاهش ۱۰۰ درصد عمق آب شستگی می شود. در تراز $0.5B$ بالای سطح بستر باعث کاهش آب شستگی نسبت به آزمایش شاهده

- [7] E. defanti, G. pipasquale, b. poggi, An experimental studies of scour at bridge piers: collars as a counter measure, in: european congress IAHR, Edinburgh, uk, 1, pp. 6.
- [8] r. Ettema, R, scour at bridge piers, No.216, 1980.
- [9] B. melville, w, pier and abutment scour integrated approach, Journal of hydraulic Engineering, 123(2) (1997) 125-136.
- [10] B.W. Melville, Pier and abutment scour: integrated approach, Journal of hydraulic Engineering, 123(2) (1997) 125-136.
- [11] A. Masjedi, M.S. Bejestan, A. Esfandi, Reduction of local scour at a bridge pier fitted with a collar in a 180 degree flume bend (Case study: oblong pier), Journal of Hydrodynamics, 22(1) (2010) 646-650.
- [12] M.B. Mashahir, A.R. Zarrati, E. Mokallaf, Effect of collar length on time development of scouring around rectangular bridge piers, in: Proceedings 4th International Conference on Scour and Erosion (ICSE-4). November 5-7, 2008, Tokyo, Japan, 2008, pp. 252-255.
- [13] A. sanoussi, E. Habib, local scour at rounded and sloped face with skew angles, in: International Conference construction and building Tecnology, 2008, pp. 439-462.
- [14] c. singh, p. setia, D.V.S. verma, collar sleeve combination as a scour protection device around a circle pier, in: 29st congress on Hydraulics of Rivers water works and Machinery chinese Hydraulic Engineering society, Beijing china, 2001, pp. 16-21.
- [15] S. Tanaka, M. Yano, local scour around circular cylinder, in: In proceeding of the 12th IAHR congress, 1967, pp. 193-201.
- [16] A.R. Zarrati, H. Gholami, M.B. Mashahir, Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers, Journal of Hydraulic Research, 2004 (2010) 97-103.

را ۳۱ درصد کاهش داد. که در نتیجه B و $l_{ca} = 2B$ ابعاد مناسب برای پایه دوکی می باشند. با کاهش عدد فرود جریان و تضعیف جریان های گردابه ای در اطراف پایه، عملکرد طوقه افزایش یافت. در تراز سطح بستر طوقه بهترین عملکرد را با راندمان ۱۰۰ درصد در کاهش آب شستگی داشت. در تراز $0.12B$ زیر بستر نیز تنها رسوباتی که روی طوقه بودند شسته شدند که خود جزئی از آب شستگی محسوب می شوند و راندمان طوقه در این تراز نیز ۸۸ درصد شد. در موقعیت های بالای سطح بستر بدلیل فاصله ای از سطح بستر جریان های گردابه ای اطراف پایه شدت گرفتند و آب شستگی نسبت به تراز روی سطح بستر افزایش پیدا کرد و طوقه در تراز $0.5B$ و B بالای سطح بستر توانست ۳۱ و ۲۳ درصد عمق آب شستگی را کاهش دهد.

مراجع

- 1- Arunghi, H. Farsadizade, D. Hosseinzadeh Dalir, A and Fakhrifard, A, 1388. Determining the appropriate dimensions of the rectangular collar in reducing the scour of the bridge pier. Journal of soil and water science. 64-51 : (1)19 (in Persian)
- 2- Balochi, M. Chamani, M. Bairami, K. (2008). The effect of collar shape on the process the local scour (in Persian)
- 3- Khuzimeh nejad, H. Ghomeshi, m. Shafai bajestan, m, 1391. Comparison of the performance of symmetric and asymmetric rectangular collars in reducing local scour abutment. Ahwaz Journal of Irrigation Science and Engineering. 12-1 : (2)37 (in Persian)
- 4- Shariatic, H. khodashenas, S, R. Esmaeili, k. 1388. Investigation of the performance of collar geometry in local scour at the pier of the bridge. Journal of Hydraulics. 11-1 : (4)4 (in Persian)
- [5] Y.M. Chiew, B.W. Melville, Local scour around bridge piers, Journal of Hydraulic Research, 25(1) (1987) 15-26.
- [6] B. Dargahi, Controlling mechanism of local scouring, Journ. Hyd. Div. Proc. ASCE., 116(10) (1990) 1197-1215.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

Z. Taheri, M. Ghomeshi, *Experimental Investigation of the Effect of Collar on Local Scour around Oblong-Shaped Bridge Pier*, Amirkabir J. Civil Eng., 51(5) (2019) 833-842.

DOI: 10.22060/ceej.2018.13888.5518

