

بررسی آزمایشگاهی تأثیر طوقه بر آبشستگی گروه پایه و تکیه‌گاه پل در حضور اجسام شناور

مریم کریمی^۱، کورش قادری^{۲*}، مجید رحیم پور^۳ و محمدمهدی احمدی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲، ۳ و ۴- دانشیاران بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۱۵

چکیده

یکی از مهم‌ترین دلایل ناپایداری و تخریب پل، آبشستگی موضعی در اطراف پایه و تکیه‌گاه آن است. در دهه‌های گذشته روش‌های مختلفی برای مقابله با آبشستگی پیشنهاد شده است که می‌توان آنها را به دو دسته کلی تقسیم کرد: روش‌های تغییر الگوی جریان و روش‌های مقاوم‌سازی ذرات بستر. استفاده از طوقه یکی از روش‌های مؤثر اصلاح الگوی جریان در کاهش آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه و پایه پل است. در این تحقیق تأثیر چهار اندازه مختلف طول طوقه در پنج نسبت استغراق متفاوت بر حفاظت آبشستگی تکیه‌گاه و گروه پایه‌های پل با حضور اجسام شناور مستطیلی بررسی شده است. تمامی آزمایش‌ها در شرایط جریان یکنواخت با آب زلال و تکیه‌گاه، جسم شناور و طوقه‌های مستطیلی و پایه‌های استوانه‌ای با رسوبات غیرچسبنده با $d_{50} = 0/91$ mm اجرا شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد کم‌ترین و بیش‌ترین درصد کاهش آبشستگی به ترتیب مربوط به طوقه ۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه در حالت قرارگیری پنج سانتی‌متری بالای بستر رسوبی (با کاهش ۱۵ درصد در عمق و حجم آبشستگی) و طوقه ۳ برابر طول تکیه‌گاه در حالت قرارگیری هم‌سطح بستر رسوبی (با کاهش ۷۵ درصد در عمق و حجم آبشستگی) است.

واژه‌های کلیدی

طوقه مستطیلی، آبشستگی موضعی، آب زلال، کنترل فرسایش

مقدمه

تکیه‌گاه‌ها در مقابل آبشستگی می‌توانند از تخریب آنها جلوگیری کنند. برخورد جریان به پایه و تکیه‌گاه پل با تشکیل گرداب نعل اسبی و جدا شدن جریان با تشکیل گرداب برخاستگی، دو عامل اصلی در ایجاد آبشستگی هستند. آبشستگی موضعی، باعث ایجاد حفره‌ای در اطراف پایه و تکیه‌گاه می‌شود و پایداری آنها را ضعیف می‌کند و ممکن است در اثر یک سیل بزرگ ویران شوند. آبشستگی موضعی به دو حالت آبشستگی آب زلال و آبشستگی بستر زنده

آبشستگی ناشی از فرسایش بستر است. این پدیده بر اثر جریان آب و حمل مواد بستر و به‌واسطه نیرویی به‌وجود می‌آید که این جریان به مواد بستر وارد می‌کند. آبشستگی در اطراف پایه‌های پل و تکیه‌گاه‌ها خسارات زیادی را سالانه در جهان به بار می‌آورد. تخریب پل‌ها علاوه بر خسارات مادی، در مواقع سیلابی، خسارات جانی و مسائل اجتماعی زیادی به‌دنبال دارد. حفاظت اطراف پایه‌های پل و

تکیه‌گاه است. هوآلی و همکاران (Huali *et al.*, 2006) می‌گویند اندازه طوقه مؤثرترین پارامتر در کاهش میزان عمق آبشستگی است. نتایج تحقیقات لی و همکاران (Li *et al.*, 2006) نشان داد که طوقه‌ها جریان برگشتی و گرداب‌های ثانویه را که سبب آبشستگی هستند، در اطراف بستر تکیه‌گاه کنترل می‌کنند و بدین‌وسیله موجب کاهش آبشستگی می‌شوند. بر طبق نظر دفانتی و همکاران (Defanti *et al.*, 2010) طوقه‌ها در سرعت‌های پایین جریان آب عملکرد بهتری برخوردار دارند. علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2011) می‌گویند قرارگیری طوقه در زیر بستر به کاهش ۱۴ تا ۳۲ درصد از آبشستگی تکیه‌گاه می‌انجامد امانصب طوقه در بالای بستر نقش کمتری در حفاظت آبشستگی تکیه‌گاه دارد. حسن‌پور و همکاران (Hasanpour *et al.*, 2013) با به‌کارگیری ۹ شکل هندسی مختلف پایه‌های پل و نصب طوقه در سطح بستر، سرعت آبشستگی و عمق چاله آبشستگی اطراف آنها را با سرعت آبشستگی و عمق چاله آبشستگی اطراف پایه استوانه‌ای شکل مقایسه کردند و نشان دادند استفاده از طوقه‌ای با دو برابر قطر پایه، در حدود ۸۰ درصد حداکثر عمق آبشستگی را کاهش و زمان تعادل را افزایش می‌دهد. یافته‌های خزیمه‌نژاد و همکاران (Khozaymehnezhad *et al.*, 2014) نشان داد که با افزایش ابعاد طوقه، عملکرد در کاهش آبشستگی بهبود می‌یابد.

هنگام وقوع سیل در رودخانه‌ها، تجمع اجسام شناور مانند بقایای درختان و گیاهان در مجاورت پایه پل می‌تواند با ایجاد انسداد، تنگ‌شدگی و با تغییر مسیر جریان در دهانه پل، باعث خرابی یا آبشستگی بیش از حد در اطراف فونداسیون پایه پل

تقسیم‌بندی می‌شود. در آبشستگی آب زلال، به‌علت بی‌حرکت بودن رسوبات بالادست پایه پل، حداکثر مقدار عمق حفره آبشستگی ایجاد می‌شود. مطالعات محققان در ایالت متحده نشان می‌دهد که ۲۵ درصد تخریب پل‌ها به پایه و ۷۲ درصد به تکیه‌گاه پل ارتباط دارد. از این‌رو، کنترل و کاهش آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه و پایه‌های پل اهمیت زیادی دارد (Melville *et al.*, 2006). روش‌های متعددی برای کنترل و کاهش آبشستگی در پایه و تکیه‌گاه پل وجود دارد که شامل روش‌های اصلاح الگوی جریان و افزایش مقاومت ذرات بستر است (Khodashenas *et al.*, 2018). اکثر این روش‌ها نیز بین پایه و تکیه‌گاه مشترک است. در روش‌های اصلاح الگوی جریان، قدرت جریان پایین رونده و گرداب نعل اسبی (که علت اصلی آبشستگی پایه‌ها و تکیه‌گاه پل است) کاهش می‌یابد. یکی از روش‌های اصلاح الگوی جریان، استفاده از وسایل متصل به پایه و تکیه‌گاه مانند کابل، طوقه و صفحات مستغرق است. لارسن و توچ (Laursen & Toch, 1956) را می‌توان از محققان پیشگام در استفاده از طوقه دانست. کارآیی هر طوقه به عرض و موقعیت قرارگیری آن بستگی دارد (Chiew, 1992). طوقه صفحه‌ای است که در ارتفاعات مختلف روی پایه یا تکیه‌گاه به‌صورت یک سطح صاف و دارای ضخامت ناچیز نصب می‌شود که در کاهش آبشستگی مؤثر است (Alabi, 2006). مشاهیر و زراتی (Mashahir & Zarrati, 2002) می‌گویند استفاده از طوقه سبب کاهش قدرت عوامل فرسایش در اطراف تکیه‌گاه و پایه پل می‌شود. کایاترک (Kayaturk, 2005) تأثیر طوقه را بر توسعه زمانی آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه‌های جانبی پل‌ها بررسی کرد و به این نتیجه رسید که کارآیی طوقه تابعی از اندازه و موقعیت قرارگیری آن در اطراف

که عمق آبشستگی ایجاد شده در حضور اجسام شناور با ضخامت نسبی اجسام شناور رابطه مستقیم دارد. همچنین، با کاهش فاصله بین پایه و تکیه‌گاه پل، حداکثر عمق آبشستگی در مقایسه با آزمایش شاهد به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر اندازه‌های مختلف طوقه‌های مستطیلی شکل نصب شده روی تکیه‌گاه مستطیلی و نسبت قرارگیری آنها از سطح بستر رسوبی در حالت قرارگیری همزمان تکیه‌گاه و گروه پایه پل در حضور اجسام شناور به‌منظور کاستن از آبشستگی بستر رسوبی و حفاظت از آن است. آزمایش‌ها در شرایط آرایش قرارگیری پایه‌ها به صورت 2×2 و قرارگیری جسم شناور روی پایه‌های جلوی با نسبت استغراق مشخص و آب زلال با رسوبات غیرچسبنده اجرا شده‌اند.

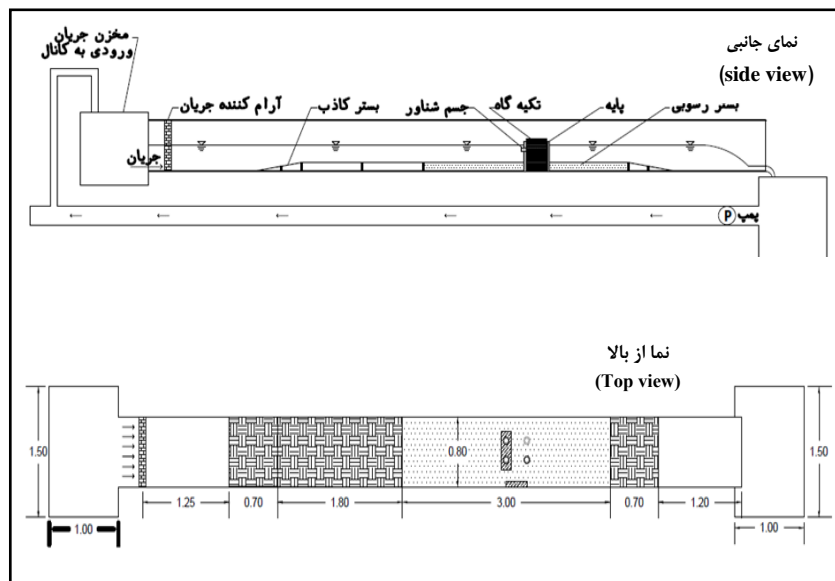
مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا شد. طول، عرض و ارتفاع کانال آزمایشگاهی که نمای کلی آن در شکل ۱ نشان داده شده است، به ترتیب ۸ متر، ۸۰ و ۶۰ سانتی‌متر است. دو پمپ گریز از مرکز آب را از یک مخزن زیرزمینی پمپاژ و به مخزن ورودی کانال منتقل می‌کنند. میزان جریان ورودی به مخزن با دبی‌سنج حجمی، نصب شده روی لوله انتقال آب، خوانده می‌شود. از یک شیر فلکه پروانه‌ای برای تنظیم جریان ورودی به کانال استفاده شد. برای تنظیم عمق آب در داخل کانال آزمایشگاهی از یک دریچه مستطیل که به این منظور در انتهای فلوم نصب گردیده بود استفاده شده است. جریان آب پس از عبور از روی این سرریز به سمت مخزن زیر زمینی

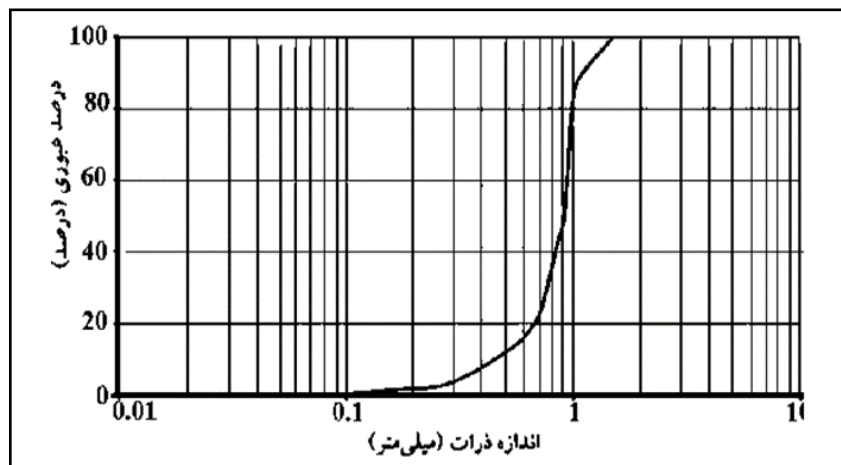
بشود (Lagasse *et al.*, 2010). بررسی تأثیر اجسام شناور بر آبشستگی اطراف پایه‌های پل نشان داد که ابعاد گودال آبشستگی نسبت به حالت پایه بدون جسم شناور بزرگ‌تر و عمیق‌تر است (Laurson & Toch, 1956). محققان زیادی (Melville & Dongol, 1992; Diehl, 1997; Parola *et al.*, 2000; Lagasse *et al.*, 2007; Moshashaie *et al.*, 2015) تأثیر اجسام شناور را بر آبشستگی اطراف پایه‌ها بررسی کرده‌اند. نتایج این تحقیقات حاکی از آن است که محل قرارگیری اجسام شناور در جلو پایه تأثیر بسزایی بر عمق، عرض و طول گودال آبشستگی دارد؛ هرچه اجسام شناور به بستر جریان نزدیک‌تر باشند، ابعاد گودال آبشستگی بیشتر خواهد بود و هرچه نسبت عرض جسم شناور به عرض کانال بالاتر باشد، آبشستگی در جلو پایه بیشتر می‌شود. رحیمی و همکاران (Rahimi *et al.*, 2018) نیز تأثیر ضخامت، طول، شکل و محل قرارگیری اجسام شناور را در حالت همزمان گروه پایه و تکیه‌گاه پل بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در بین حالت‌های مختلف قرارگیری پایه، بیشترین عمق آبشستگی در حالت گروه پایه 2×2 رخ داده و با افزایش طول مؤثر و ضخامت اجسام شناور، عمق آبشستگی افزایش یافته است. محل قرارگیری اجسام شناور بر آبشستگی تأثیر زیادی دارد، اگر فاصله سطح آب تا سطح جسم شناور h_{sub} و عمق آب h باشد در بازه $0 < h_{sub} / h < 0.3$ ، با افزایش استغراق اجسام شناور میزان عمق آبشستگی زیاد می‌شود. بیشترین عمق آبشستگی مربوط به اجسام شناور مستطیلی بوده است. ابوسعیدی و همکاران (Abousaeidi *et al.*, 2018) تأثیر تجمع اجسام شناور و فاصله بین پایه و تکیه‌گاه را در حضور جسم شناور بر آبشستگی موضعی بررسی کردند و این نتیجه را به‌دست آوردند

هدایت و بار دیگر به کانال اصلی پمپاژ می‌شود. به‌منظور حصول اطمینان از توسعه‌یافتگی کامل جریان، ابتدای بازه آزمایش رسوبات در فاصله ۴ متری از ورودی کانال در نظر گرفته شد. از دو سطح شیب‌دار برای جلوگیری از شسته شدن رسوبات، در بالادست و پایین‌دست محدوده رسوبی استفاده گردید. طول بستر رسوبی ۴ متر و عرض آن برابر

عرض کانال است. برای جلوگیری از تشکیل ریپل، قطر ذرات باید بزرگ‌تر از ۰/۷ میلی‌متر باشد (Raudkivi & Ettema, 1983). بنابراین، بستر رسوبی به ضخامت ۱۴ سانتی‌متر از رسوبات با اندازه متوسط $d_{50}=0/91\text{mm}$ و ضریب یکنواختی ۱/۴ آماده شد؛ منحنی دانه‌بندی رسوبات در شکل ۲ ارائه شده است.



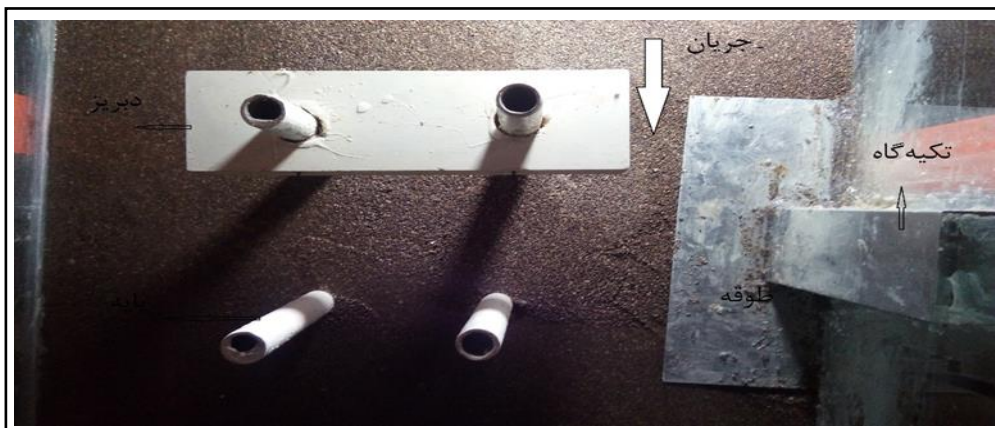
شکل ۱- کانال آزمایشگاهی و ملحقات آن
Fig. 1- Experimental flume and its equipment



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی رسوب
Fig. 2- Sediment particles distribution curve

در این پژوهش از طوقه‌هایی با ابعاد ۳-۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه استفاده شده است. هر یک از این طوقه‌ها در ۵ نسبت استغراق متفاوت (۵ سانتی‌متر بالای بستر رسوبی، ۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر رسوبی، هم سطح بستر رسوبی، ۲/۵ سانتی‌متر زیر بستر رسوبی و ۵ سانتی‌متر زیر بستر رسوبی) بررسی شده است. در شکل ۳ نمای قرارگیری طوقه در حالت قرارگیری هم‌سطح بستر رسوبی، پیش از شروع آزمایش، نشان داده شده است.

پایه‌های مورد استفاده در آزمایش از لوله استوانه‌ای شکل فولادی به قطر موثر ۳ سانتی‌متر و مدل تکیه‌گاه به شکل مستطیل به ابعاد ۶×۱۲ سانتی‌متر و از جنس ورق گالوانیزه و جسم شناور به شکل مستطیلی و ابعاد ۷×۱۹ سانتی‌متر ساخته شد. حالت قرارگیری پایه‌ها در حالت گروه پایه ۲×۲ و جسم شناور روی پایه‌های جلویی با عمق نسبی ۰/۳ روی پایه‌های جلوی قرار گرفته شد. معیار طوقه با طول ۲/۵-۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه بازه مطلوبی است (Kayaturk, 2005).



شکل ۳- نمای قرارگیری طوقه

Fig. 3- Positioning view of collar

مشخصه پدیده تعیین و پس از آن به کمک روش موجود تعدادی پارامتر بی‌بعد استخراج می‌شوند. پارامترهای موثر در معادله کنترل آبشستگی موضعی اطراف تکیه‌گاه و پایه‌ها در حضور اجسام شناور و طوقه عبارتند از (رابطه ۱):

$$d_s = f [F(h, v, \rho, g, \mu), S(d_{50}, \rho'_s), D(d_d, T_d, h_d), Ab(L_a, B_a, \varphi_1), C(L_c, B_{uc}, B_{dc}, Z_c, \varphi_2), B, d_s] \quad (1)$$

سینماتیکی؛ ρ = چگالی آب؛ g = شتاب ثقل؛ μ = لزوجت دینامیکی سیال؛ d_{50} = متوسط اندازه رسوب؛ ρ'_s = چگالی نسبی رسوبات؛ d_d = طول مؤثر اجسام شناور؛ T_d = ضخامت اجسام شناور؛ h_d = استغراق

آنالیز ابعادی

هدف از آنالیز ابعادی، مشخص کردن پارامترهای بی‌بعدی است که رفتار هر پدیده هیدرولیکی را بیان می‌کند. در تحلیل ابعادی، ابتدا پارامترهای

که در آن، Ab, D, S, F = به ترتیب معرف متغیرهای جریان، رسوب، جسم شناور، ابعاد تکیه‌گاه و متغیرهای طوقه؛ h = عمق آب؛ v = ویسکوزیته

پایین دست تکیه‌گاه؛ Z_c = فاصله عمودی طوقه نسبت به بستر ثابت؛ φ_2 = شکل طوقه؛ و B = عرض کانال. بر اساس روش π باکینگهام با در نظر گرفتن (ρ, ν, L_a) به‌عنوان متغیرهای تکراری، تعداد $(17=3-20)$ پارامتر بی بعد خواهیم داشت:

$$\frac{d_s}{L_a} = F\left(\frac{h}{L_a}, \frac{gL_a}{\nu^2}, \frac{\rho\nu L_a}{\mu}, \frac{d_{50}}{L_a}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{d_d}{L_a}, \frac{T_d}{L_a}, \frac{h_d}{L_a}, \frac{B_a}{d_{50}}, \varphi_1, \frac{L_c}{L_a}, \frac{B_{uc}}{L_a}, \frac{B_{dc}}{L_a}, \frac{z_c}{L_a}, \varphi_2, \frac{B}{L_a}, \frac{d_s}{L_a}\right) \quad (2)$$

روش اجرای آزمایش‌ها

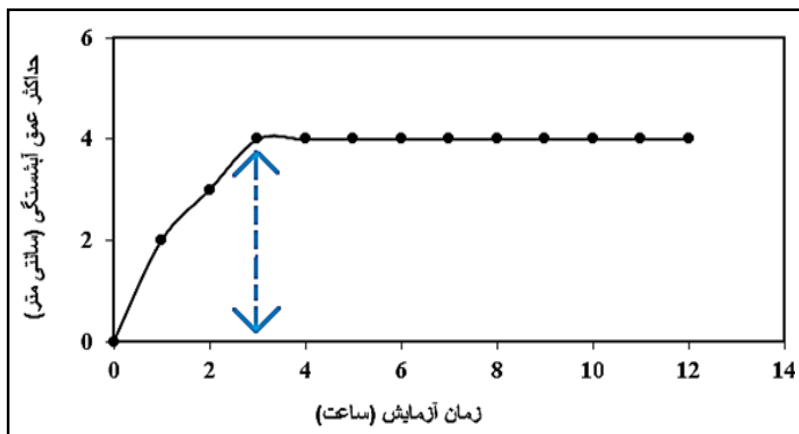
تمامی آزمایش‌ها در شرایط آب زلال اجرا شده‌اند. معیار زمان تعادل (Kumar et al., 1999) مدت زمانی است که تغییرات عمق آبستنگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی‌متر نباشد. در پژوهش حاضر نیز پس از اجرای یک آزمایش بلندمدت ۱۲ ساعته در دبی ۵۱ لیتر بر ثانیه، زمان تعادل برابر ۳ ساعت به دست آمد. در شکل ۴ منحنی زمان تعادل آورده شده است.

اجسام شناور (فاصله مرکز اجسام شناور تا سطح جریان)؛ L_a = طول تکیه‌گاه؛ B_a = عرض تکیه‌گاه؛ φ_1 = شکل تکیه‌گاه؛ L_c = میزان پیش‌آمدگی طوقه در طول تکیه‌گاه؛ B_{uc} = میزان پیش‌آمدگی در عرض بالادست تکیه‌گاه؛ B_{dc} = میزان پیش‌آمدگی در عرض

با ضرب اعداد بی بعد و تقسیم آنها بر یکدیگر می‌توان اعداد بی‌بعد دیگری نظیر $(Fr^2 = \frac{gL_a}{\nu^2}, Re = \frac{\rho\nu L_a}{\mu}, G_s = \frac{\rho_s}{\rho})$ به دست آورد.

اعداد رینولدز و فرود در تمامی آزمایش‌ها ثابتند و در محدوده جریان متلاطم قرار دارند و با توجه به ثابت بودن متغیرهای (B, Ab, D, S, F) معادله به شکل رابطه ۳ قابل ارائه است.

$$\frac{d_s}{L_a} = F\left(\frac{L_c}{L_a}, \frac{B_{uc}}{L_a}, \frac{B_{dc}}{L_a}, \frac{Z_c}{L_a}, \varphi_2\right) \quad (3)$$



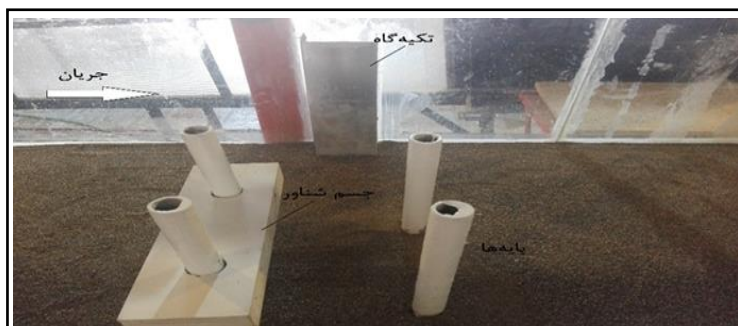
شکل ۴- منحنی زمان تعادل

Fig. 4- Equilibrium condition curve

اشاره شده است. ابتدا، آزمایش شاهد با قرارگیری تکیه‌گاه و گروه پایه ۲×۲ و همچنین جسم شناور مستطیلی در نسبت استغراق مشخص اجرا شد. در شکل ۵ و ۶ نمای واقعی و شماتیک کار نشان داده

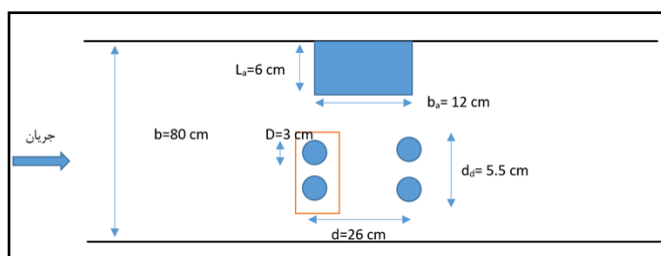
برای بررسی آبستنگی و اثر حفاظتی طوقه بر تکیه‌گاه، بیست حالت آزمایش، چهار اندازه متفاوت طول طوقه هر یک در پنج تراز قرارگیری متفاوت (نسبت استغراق) اجرا شد که در جدول ۱ به آن‌ها

شده است. همچنین در شکل‌های ۷ و ۸ نمای شماتیک از ابعاد طوقه و آرایش قرارگیری آنها در نسبت‌های استغراق متفاوت آزمایش‌ها ارائه شده است.



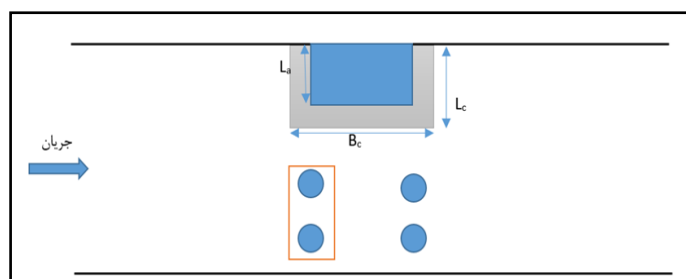
شکل ۵ - نمای واقعی آزمایش شاهد

Fig. 5- View of reference test



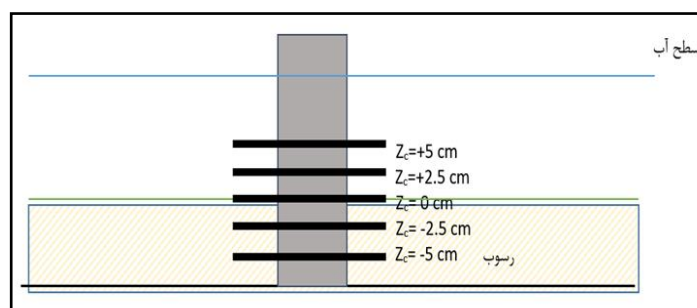
شکل ۶ - نمای شماتیک آزمایش شاهد

Fig. 6- Schematic view of reference test



شکل ۷ - نمای شماتیک ابعاد طوقه

Fig. 7- Schematic view of collar size



شکل ۸ - نمای شماتیک نسبت استغراق متفاوت طوقه

Fig 8- Schematic view of different collar submerged ratios

جدول ۱- شرح آزمایش‌های طوقه

Table 1- Description of collar experiments

| تراز قرارگیری طوقه Collar submerged ratios | اندازه طوقه Collar size | علامت اختصاری Symbol | آزمایش Test NO |
|--|--|-------------------------|-------------------|
| ۵ سانتی‌متر زیر بستر 5 cm under the sedimentary bed | ۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه 1.5 times the length of abutment | A ₁ | 1 |
| ۲/۵ سانتی‌متر زیر بستر 2.5 cm under the sedimentary bed | ۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه 1.5 times the length of abutment | B ₁ | 2 |
| هم‌سطح بستر Same level as the sedimentary bed | ۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه 1.5 times the length of abutment | C ₁ | 3 |
| ۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر 2.5 cm above the sedimentary bed | ۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه 1.5 times the length of abutment | D ₁ | 4 |
| ۵ سانتی‌متر بالای بستر 5 cm above the sedimentary bed | ۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه 1.5 times the length of abutment | E ₁ | 5 |
| ۵ سانتی‌متر زیر بستر 5 cm under the sedimentary bed | ۲ برابر طول تکیه‌گاه 2 times the length of abutment | A ₂ | 6 |
| ۲/۵ سانتی‌متر زیر بستر 2.5 cm above the sedimentary bed | ۲ برابر طول تکیه‌گاه 2 times the length of abutment | B ₂ | 7 |
| هم‌سطح بستر Same level as the sedimentary bed | ۲ برابر طول تکیه‌گاه 2 times the length of abutment | C ₂ | 8 |
| ۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر 2.5 cm above the sedimentary bed | ۲ برابر طول تکیه‌گاه 2 times the length of abutment | D ₂ | 9 |
| ۵ سانتی‌متر بالای بستر 5 cm above the sedimentary bed | ۲ برابر طول تکیه‌گاه 2 times the length of abutment | E ₂ | 10 |
| ۵ سانتی‌متر زیر بستر 5 cm under the sedimentary bed | ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه 2/5 times the length of abutment | A ₃ | 11 |
| ۲/۵ سانتی‌متر زیر بستر 2.5 cm under the sedimentary bed | ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه 2.5 times the length of abutment | B ₃ | 12 |
| هم‌سطح بستر Same level as the sedimentary bed | ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه 2.5 times the length of abutment | C ₃ | 13 |
| ۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر 2.5 cm above the sedimentary bed | ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه 2.5 times the length of abutment | D ₃ | 14 |
| ۵ سانتی‌متر بالای بستر 5 cm above the sedimentary bed | ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه 2.5 times the length of abutment | E ₃ | 15 |
| ۵ سانتی‌متر زیر بستر 5 cm under the sedimentary bed | ۳ برابر طول تکیه‌گاه 3 times the length of abutment | A ₄ | 16 |
| ۲/۵ سانتی‌متر زیر بستر 2.5 cm under the sedimentary bed | ۳ برابر طول تکیه‌گاه 3 times the length of abutment | B ₄ | 17 |
| هم‌سطح بستر Same level as the sedimentary bed | ۳ برابر طول تکیه‌گاه 3 times the length of abutment | C ₄ | 18 |
| ۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر 2.5 cm above the sedimentary bed | ۳ برابر طول تکیه‌گاه 3 times the length of abutment | D ₄ | 19 |
| ۵ سانتی‌متر بالای بستر 5 cm above the sedimentary bed | ۳ برابر طول تکیه‌گاه 3 times the length of abutment | E ₄ | 20 |

نتایج و بحث

تشکیل گرداب، رسوبات در اطراف سازه حرکت کرده‌اند و حفره آبشستگی در اطراف این سازه‌ها تشکیل شده است و با دور شدن از تکیه‌گاه و پایه‌ها به سمت پایین‌دست رسوبات فرسایش یافته به

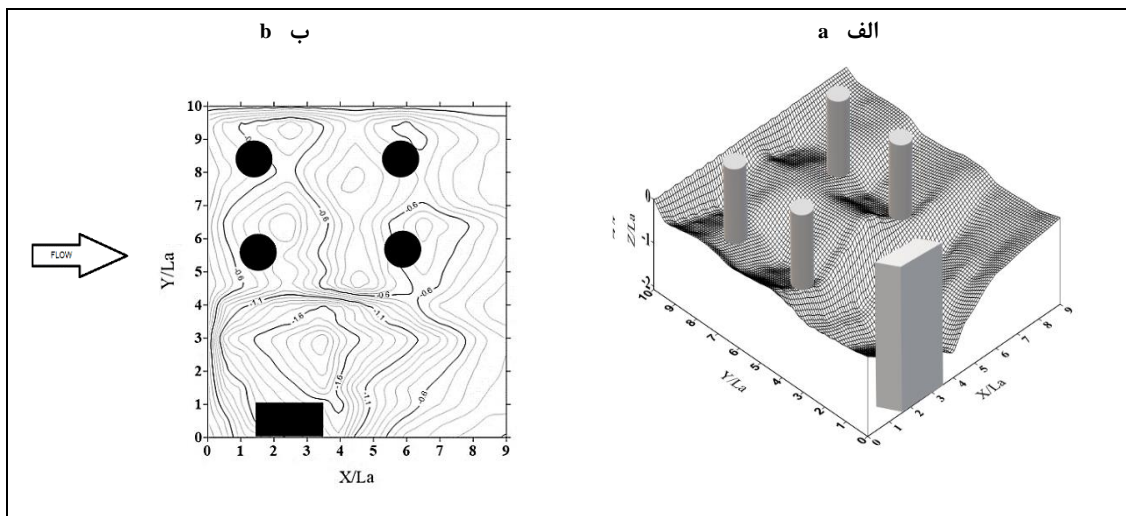
نتایج آزمایش‌ها در دو دسته بدون طوقه و با حضور طوقه ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در اثر برخورد جریان آب به تکیه‌گاه و پایه‌های پل و

و پروفیل بستر رسوبی برداشت شد. مشاهده گردید که حداکثر عمق آبشستگی در جلو پایه‌های جلوی و برای تکیه‌گاه در جلو دماغه ابتدایی اتفاق افتاده است. همچنین مشخص شد عمق آبشستگی پایه‌های جلوی نسبت به پایه‌های عقبی بیشتر است، از آبشستگی موضعی به سمت پایین دست پایه و تکیه‌گاه پل کاسته می‌شود و در پشت سازه‌ها پشته‌های رسوبی ایجاد می‌شود. پروفیل آبشستگی در کل محدوده آزمایش هم‌زمان با پایه‌ها و تکیه‌گاه پل برداشت شده است. شکل (۹- الف و ب) نمای سه‌بعدی و خطوط تراز توپوگرافی بستر رسوبی را نشان می‌دهد.

پایین دست منتقل و به صورت تپه‌ای در پشت آن انباشته شده‌اند. با گذشت زمان، ناحیه شسته شده در قسمت جلو پایه و تکیه‌گاه توسعه می‌یابد و شکل نیم دایره‌ای به خود می‌گیرد. برای بررسی روند عمق آبشستگی در حضور اقدامات حفاظتی، نیاز به یک سری آزمایش بدون اقدامات حفاظتی در جلو پایه و تکیه‌گاه پل است. شرح آزمایش در شرایط آب زلال به منظور تعیین حداکثر عمق آبشستگی در جلو پایه‌ها و تکیه‌گاه پل این گونه است:

الف) آزمایش‌های بدون حضور طوقه

با برقراری جریان در شرایط مورد انتظار، آبشستگی به مدت سه ساعت ادامه داده شد پس از آن و با متوقف کردن آزمایش، آب درون کانال تخلیه



شکل ۹- الف) نمای سه بعدی آزمایش شاهد و ب) خطوط تراز

Fig. 9- a) 3D view of reference test and b) Align line

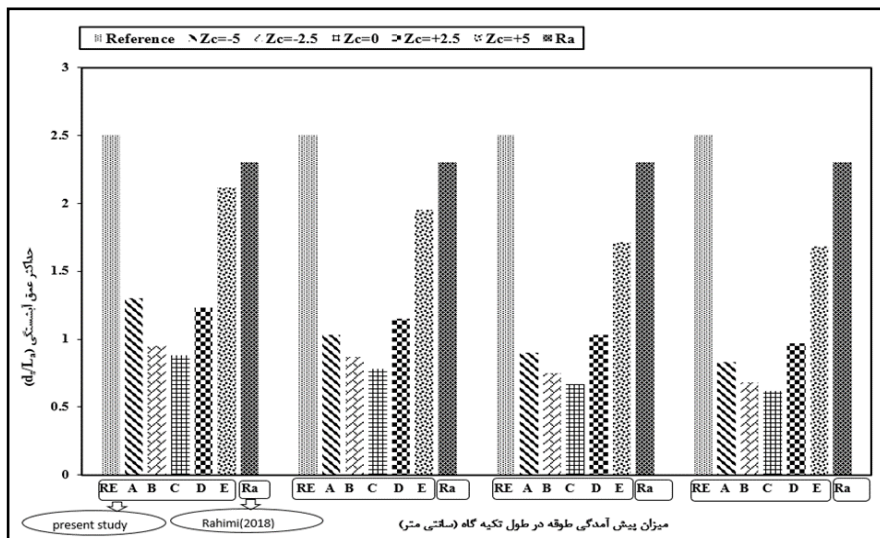
بحرانی‌ترین نتایج تحقیقات این محققان که موجب ایجاد بیشترین آبشستگی شده، به کار گرفته شد. ابعاد طوقه‌ها در این پژوهش ۳-۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه در نظر گرفته و آزمایش‌ها در پنج نسبت استغراق مختلف برای هر یک از طوقه‌ها طراحی شد. با نصب طوقه در اطراف تکیه‌گاه، ابتدا آبشستگی در

ب) آزمایش‌های با حضور طوقه

در این مرحله ۲۰ آزمایش صورت گرفته است. رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2018) تأثیر ضخامت، طول مؤثر، شکل و محل قرارگیری اجسام شناور را در حالت هم‌زمان پایه و تکیه‌گاه پل بررسی قرار کردند. در شرایط آزمایش‌های حاضر،

نسبت ثابت که در قسمت آنالیز ابعادی شرح داده شده است، بی‌بعد شدند که نتایج به‌دست آمده در هر سیستم آحادی تطابق داشته باشد. در شکل ۱۰، حداکثر عمق آبشستگی در حالت‌های مختلف قرارگیری طوقه نسبت به آزمایش شاهد و آزمایش رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2018) در تمامی اندازه‌های مختلف طوقه نشان داده شده است.

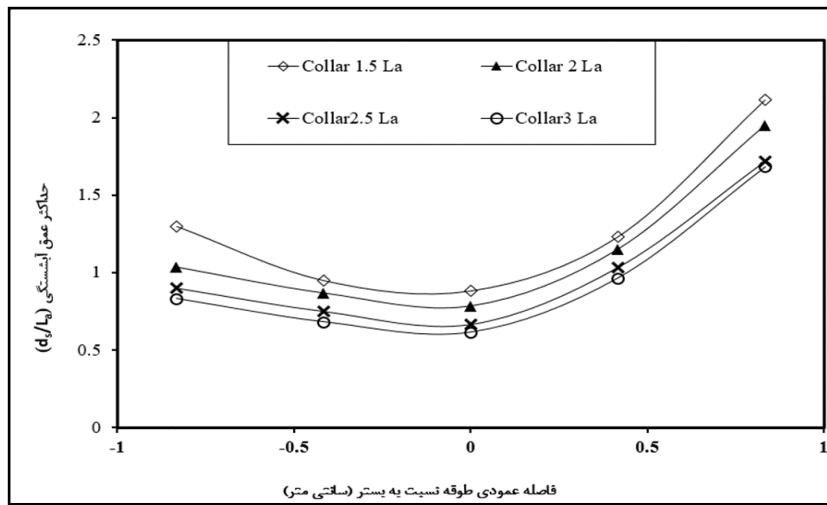
اثر وجود گرداب‌های برخاستگی در پایین‌دست تکیه‌گاه ایجاد گردید. در این حالت، گرداب‌های نعل اسبی از ابتدا مشاهده نشد. باگذشت زمان، در دو طرف تکیه‌گاه در لبه‌های طوق، شیارهایی ایجاد شدند. این شیارها به‌مرور به بالادست و پایین‌دست توسعه پیدا کردند و عمق آنها افزایش یافت. گفتنی است در رسم نمودارها و توپوگرافی‌های بستر رسوبی در تمامی آزمایش‌ها، مقادیر برداشت شده به یک



شکل ۱۰- حداکثر عمق آبشستگی در حالت‌های مختلف قرارگیری طوقه نسبت به آزمایش شاهد و تحقیقات رحیمی و همکاران (۲۰۱۸)
 Fig. 10- Max scour in different collar submerged ratios compared to reference test and (Rahimi et al., 2018)

نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۱ دیده می‌شود که تراز قرارگیری طوقه در حالت قرارگیری هم‌سطح بستر رسوبی بهترین کار آیی را در کاهش درصد آبشستگی در تمامی اندازه‌های طوقه از خود نشان داده است. بهترین طوقه از لحاظ کار آیی طوقه ۳ برابر طول تکیه‌گاه است. در نمودار رسم شده، طوقه ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه با طوقه ۳ برابر طول تکیه‌گاه، کاهش محسوسی مشاهده نمی‌شود.

در نمودار رسم شده، آزمایش شاهد (RE) دارای حداکثر عمق آبشستگی است. در تمامی اندازه‌های متفاوت طوقه، حداقل عمق آبشستگی مربوط به آزمایش (C) است. با افزایش اندازه طوقه‌ها (۱/۵ تا ۳) برابر طول تکیه‌گاه، در تمامی ترازهای قرارگیری طوقه روی تکیه‌گاه، حداکثر عمق آبشستگی کاهش پیدا کرده است. در شکل ۱۱ نیز حداکثر عمق آبشستگی نسبت به فاصله عمودی موقعیت نصب طوقه نسبت به بستر در اندازه‌های مختلف طوقه



شکل ۱۱- تأثیر نسبت استغراق طوقه بر حداکثر عمق آبشستگی

Fig 11- Effect of collar submerged ration on maximum scour

طوقه ۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه در تراز قرارگیری پنج سانتی‌متر بالای بستر برابر ۱۵ درصد می‌باشد. تراز قرارگیری طوقه‌ها در زیر بستر رسوبی تأثیر کم‌تری در کاهش آبشستگی و نهایتاً حفاظت تکیه‌گاه و پایه‌های پل را داشته‌اند. بیشترین درصد کاهش آبشستگی مربوط به طوقه ۳ برابر طول تکیه‌گاه در تراز قرارگیری هم‌سطح بستر رسوبی برابر با ۷۵ درصد است. درصد کاهش عمق آبشستگی در طوقه ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه در حالت قرارگیری هم‌سطح بستر برابر با ۷۳ درصد است. با مقایسه راندمان این دو طوقه، کاهش چشمگیری مشاهده نمی‌شود؛ بنابراین افزایش طول طوقه بیش از ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه تأثیر چشمگیری در کاهش آبشستگی ندارد.

پس از تحلیل نتایج درصد کاهش آبشستگی در حضور اقدام حفاظتی طوقه برای کل محدوده رسوبی در جدول ۲ ارائه شده است. درصد کاهش آبشستگی برای تمام آزمایش‌ها با استفاده از رابطه ۴ محاسبه و در جدول ۲ آورده شده است. در رابطه ۴، d_1 حداکثر عمق آبشستگی در آزمایش شاهد و d_2 حداکثر عمق آبشستگی در حضور طوقه است.

$$R = \left(\frac{d_1 - d_2}{d_1} \right) \times 100 \quad (4)$$

در جدول ۲ درصد کاهش آبشستگی آزمایش‌ها ارائه شده است. کمترین درصد کاهش آبشستگی مربوط به

جدول ۲- درصد کاهش آبشستگی طوقه‌هایی با ابعاد متفاوت در حالت‌های مختلف قرار گیری

Table 2- Percentage of reduction scour for different dimensions of collar in different position

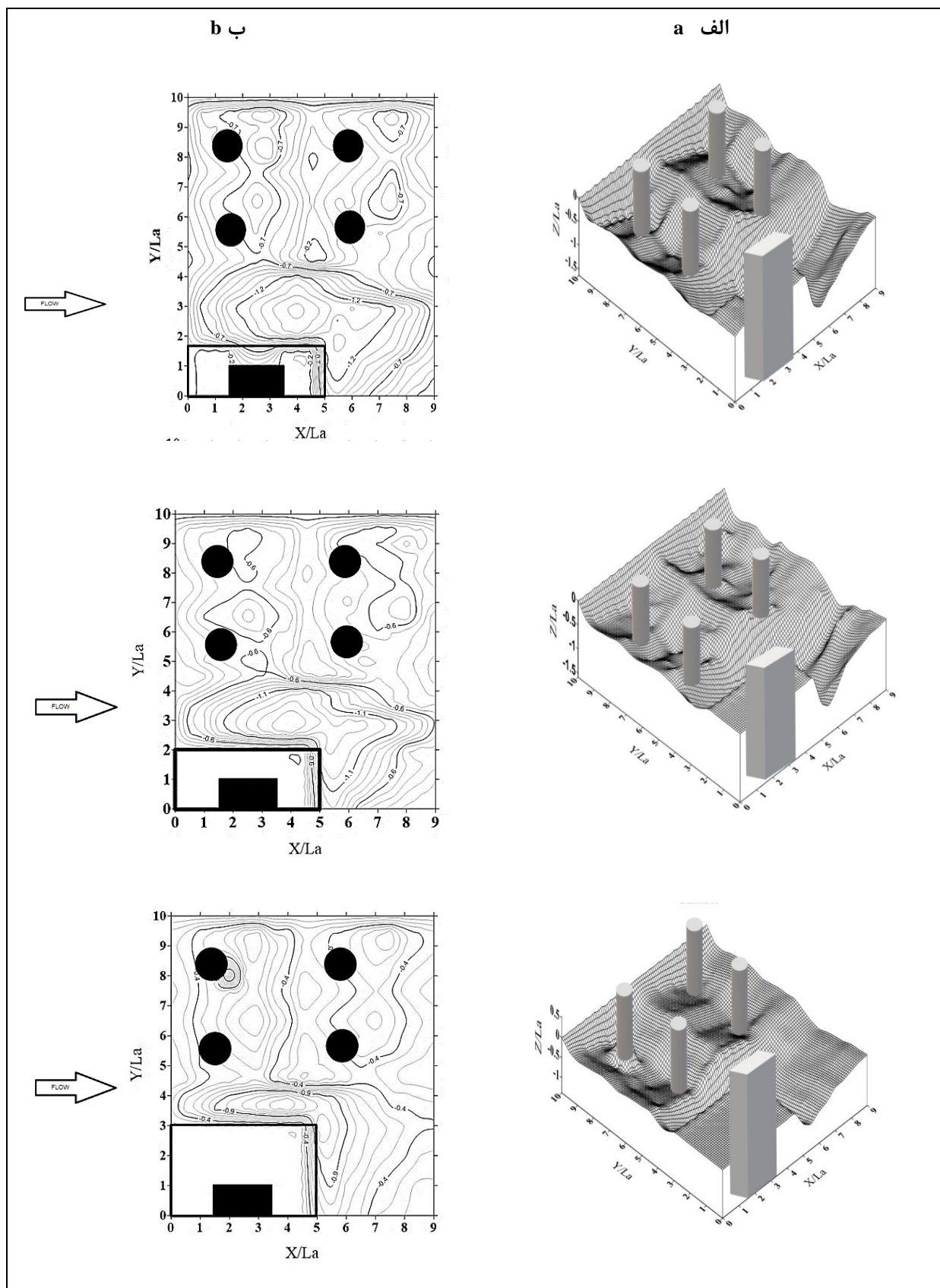
| اندازه طوقه Collar size | | اندازه طوقه Collar size | | اندازه طوقه Collar size | | اندازه طوقه Collar size | | D _g /L _n (شاهد) | h (cm) (ارتفاع آب) | Q (Lit/s) (دبی) | B (cm) (عرض کانال) | Width flume | Z _c (فاصله عمودی طوقه نسبت به بستر) | شماره آزمایش (Test NO) |
|--|--|--|--|----------------------------|---|----------------------------|---|---------------------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------|--|------------------------|
| طوقه ۳ برابر طول تکیه‌گاه 3 times collar length | طوقه ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه 2/5 times collar length | طوقه ۲ برابر طول تکیه‌گاه 2 times collar length | طوقه ۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه 1/5 times collar length | درصد کاهش آبشستگی (%) | D _g /L _n (آزمایش) | درصد کاهش آبشستگی (%) | D _g /L _n (آزمایش) | | | | | | | |
| 66 | 0.83 | 64 | 0.9 | 58 | 1.3 | 48 | 1.3 | 2.5 | 12 | 51 | 80 | -5 | A | |
| 72 | 0.67 | 70 | 0.75 | 65 | 0.86 | 62 | 0.95 | 2.5 | 12 | 51 | 80 | -2.5 | B | |
| 75 | 0.71 | 73 | 0.67 | 68 | 0.79 | 64 | 0.88 | 2.5 | 12 | 51 | 80 | 0 | C | |
| 61 | 0.96 | 58 | 1.03 | 54 | 1.15 | 50 | 1.23 | 2.5 | 12 | 51 | 80 | +2.5 | D | |
| 32 | 1.68 | 31 | 1.71 | 22 | 51.9 | 15 | 2.11 | 2.5 | 12 | 51 | 80 | +5 | E | |

کردند و به این نتیجه رسیدند که اگر فاصله تراز بستر و تراز نصب طوقه افزایش یابد حداکثر عمق آبشستگی نیز افزایش می‌یابد. این نتیجه‌گیری‌ها با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش همخوانی دارد. کایاترک (Kayaturk, 2005) تأثیر طوقه بر توسعه زمانی آبشستگی را در اطراف تکیه‌گاه پل بررسی کرد. نتایج وی کارایی طوقه را تابعی از اندازه و موقعیت قرارگیری در اطراف پایه پل اعلام داشت. این نتایج با مشاهدات (Mohammadian et al., 2019) نیز در روند کاهش آبشستگی در حضور اقدام حفاظتی طوقه در تطابق است. تحلیل نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نیز نشان می‌دهد که کارایی طوقه تابعی از اندازه و موقعیت قرارگیری آنها در اطراف تکیه‌گاه در حالت قرارگیری تکیه‌گاه و پایه‌های پل می‌باشد. دلیل متفاوت بودن درصد های کاهش آبشستگی با سایر محققین، متفاوت بودن شرایط آزمایش در پژوهش حاضر با شرایط پژوهش دیگر محققان است.

در شکل ۱۲ (الف و ب) به ترتیب نمای سه‌بعدی و خطوط تراز طوقه‌هایی با ابعاد ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه، نصب شده در تراز قرارگیری هم‌سطح بستر رسوبی پس از اتمام زمان تعادل آزمایش‌ها نشان داده شده است. نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که در حالت استقرار هم‌زمان تکیه‌گاه و گروه‌پایه با اعمال حفاظتی طوقه تنها روی تکیه‌گاه، اثر حفاظتی بر حفره آبشستگی تکیه‌گاه و دو پایه نزدیک تکیه‌گاه محسوس‌تر است. افزایش ابعاد طوقه منجر به کاهش عمق آبشستگی بستر شده است. طوقه‌هایی با ابعاد ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه به ترتیب منجر به کاهش ۶۴، ۶۸ و ۷۳ درصد از عمق حفره آبشستگی شده‌اند.

مقایسه با نتایج تحقیقات سایر محققان

لارسن و توچ (Laursen & Toch, 1956) به این نتیجه رسیدند که استفاده از طوقه باعث کاهش آبشستگی می‌شود. سینگ و همکاران (Singh et al., 2001) عملکرد طوقه را در کاهش آبشستگی مطالعه



شکل ۱۲- الف و ب) نمای سه بعدی و خطوط تراز آزمایش‌های با طوقه (۱/۵، ۲ و ۳) برابر طول تکیه‌گاه در حالت قرارگیری هم‌سطح
 Fig. 12- a and b) 3-D view and align lines of experiments with collar (1/5, 2 and 3) times the length of abutment

نتیجه‌گیری

این‌رو افزایش ابعاد طوقه تا بیش از ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه توصیه نمی‌شود. نتایج به‌دست آمده پس از برداشت پروفیل کل سطح بستر رسوبی، در حالت استقرار هم‌زمان تکیه‌گاه و گروه پایه با اعمال اقدام حفاظتی طوقه تنها روی تکیه‌گاه، اثر حفاظتی روی دو پایه نزدیک به تکیه‌گاه محسوس‌تر است. در پایه‌های جلوی، نسبت به پایه‌های عقبی، آبشستگی بیشتر رخ داده است. نتایج عملکرد طوقه‌ها در ترازهای قرارگیری بالای بستر، هم‌سطح بستر و زیر بستر رسوبی حاکی از آن است که طوقه‌ها در تراز قرارگیری هم‌سطح بستر رسوبی بیشترین کارایی را از خود نشان داده است. طوقه‌ها در ارتفاعات زیر بستر رسوبی به نسبت طوقه‌های بالای بستر رسوبی نیز عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند.

در این پژوهش، تاثیر طوقه مستطیلی در ابعاد (۱/۵-۳) برابر طول تکیه‌گاه در ترازهای قرارگیری مختلف روی تکیه‌گاه و گروه پایه ۲×۲ در حضور اجسام شناور مستطیلی روی پایه‌های جلویی بررسی شد. با توجه به تحلیل نتایج به‌دست آمده از آزمایش شاهد (بدون اقدامات حفاظتی طوقه)، شروع آبشستگی کناره تکیه‌گاه با حضور طوقه نسبت به حالت بدون طوقه به تعویق می‌افتد. محل وقوع عمق حداکثر و حفره آبشستگی به ناحیه‌ای دورتر از تکیه‌گاه منتقل می‌شود. استفاده از طوقه‌ها باعث کاهش عمق حفره آبشستگی به میزان ۱۵-۷۵ درصد شده است. چون با افزایش ابعاد طوقه بیش از ۲/۵ برابر طول تکیه‌گاه تغییر چشمگیری در روند کاهشی عمق حفره آبشستگی مشاهده نشده است، از

مراجع

- Abousaeidi, Z., E., Qaderi, K., Rahimpour, M., & Ahmadi, M. M. (2018). Laboratory investigation of the effect of debris accumulation on the local score at bridge pier and abutment. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 23(2): 268-282. (in Persian)
- Alabi, P. D. (2006). Time development of local scour at bridge pier fitted with a collar (M. Sc. Thesis), University of Saskatchewan, Canada.
- Alizadeh, V., Saneie, M., Ajdari-Moghadam, Kh. (2011). *Used the buried fin on the reduction of the local Scour around the Bridge abutment. 10th International Conference of Iran Hydraulic*. Nov 6-7. Gillan University. (in Persian)
- Chiew, Y. M. (1992). Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 118(9): pp. 1260-1269.
- Defanti, E., Dipasquale, G., & Poggi, D. (2010). *An experimental studies of scour at bridge piers: Collars as a countermeasure. 1st European Congress IAHR*. May 4-6. Edinburgh, UK.
- Diehl, T. (1997). Potential drift accumulation at bridge. *Report No. FHWARD -97-028*, Hydraulic Eng No. 9, Federal Highway Administration, Washington, D. C.
- Hasanpour, N., Hosseinzadeh-Dalir, A., & Arvanaghi, H. (2013). Laboratory of local Scour around Fine-Shape Bridge pier with Collar. *Danesh Water and Soil Magazine*, 23(2): pp. 221-234. (in Persian)
- Huali, L., Roger, A., Kuhnle Brian, D., & Barkdoll, B. D. (2006). Countermeasures against

- Scour at Abutments. *Report No. 49* Oxford, Mississippi.
- Kayaturk, S. Y. (2005). Scour and scour protection at bridge abutments (Ph. D. Thesis) Department of Civil Engineering, Middle East Technical University (METU), Ankara, Turkey.
- Khodashenas, S. R., Shariati, H., & Esmaeeli, K. (2018). *Comparison between the circular and square collar in reduction of local scouring around bridge piers. 8th International River Engineering* . June 9-11. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (in Persian)
- Khozeymehnezhad, H., Ghomeshi, M., & Shafai-Bejestan, M. (2014). Comparison function of symmetric and non-symmetric collar on reduction of local scour around bridge abutment. *Irrigation Science and Engineering (Agricultural Scientific Journal)*, 37(2): pp. 1-12. (in Persian)
- Kumar, V., Ranga-Raju, K. G., & Vittal, N. (1999). Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(12): pp. 1302-1305.
- Lagasse, P. F., Zevenbergen, L. W., & Clipper, P. E. (2010). Impacts of debris on bridge pier scour. *Scour and Erosion*, pp. 854-863.
- Lagasse, P., Zevenbergen, L., Schall, J., & Clopper, P. E. (2007). Countermeasures to protect bridge piers from scour. *NCHRP Report No. 593*, Transportation Research Record Transportation Research Board, Washington, D. C.
- Laursen, E. M., & Toch, A. (1956). Scour around bridge piers and Abutments. Iowa Highways Research Board, Ames, Iowa.
- Li, H., Kuhnle, R. A., & Barkdoll, B. D. (2006). Countermeasures against Scour at Abutments. *Report No. 49*, USDA Agricultural Research Service and National Sedimentation Laboratory.
- Mashahir, M. B., & Zarrati, A. R. (2002). *Effect of collar on time development of scouring around rectangular bridge piers. 5th International Conference on Hydro Science and Engineering*, Sep. 18-21. Warsaw. Poland.
- Melville, B. W., & Dongol, D. M. (1992). Bridge pier scour with debris accumulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(9): pp. 1306-1310.
- Melville, B. W., Van, B. S., Coleman, S., & Barkdoll, B. D. (2006). Scour countermeasures for wing-wall abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(6): pp. 563-574.
- Mohammadian, A., Bordbar, A., Masjedi, A., Kamanbedast, A. A., & Heidarnejad, M. (2019). Effect of relative diameter of lattice collar on scouring around airfoil bridge piers. *FEB-Fresenius Environmental Bulletin*.
- Moshashaie, S. M., Aghbolaghi, M. A., & Brojeni, H. S. (2015). Woody debris accumulation on the scour in front of a circular shaped pier with plate pile system. *Journal of Water and soil science*, 25(2): pp. 141-153.
- Parola, A., Apelt, C., & Jempson, M. (2000). Debris Force on Highway Bridge. *NCHRP Report No. 445*, Transportation Research Record, Transportation Research Board. Washington, D. C.

- Rahimi, E., Qaderi, K., Rahimpour, M., & Ahmadi, M. M. (2018). Effect of debris on piers group scour: Experimental Study. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(4): pp. 1496-1505.
- Raudkivi, A. J., & Ettema, R. 1983. Clear-water scour at cylindrical Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3), pp. 338-350.
- Singh, C. P., Setia, B., & Verma, D. V. S. (2001). *Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier*. 29th Congress on Hydraulic of Rivers, 16-21 Sep. 16-21. Beijing, China.

Laboratory Investigation of Effect of Collar on Scour at Bridge Piers Group and Abutment in the Presence of Debris

M. Karimi, K. Qaderi*, M. Rahimpour and M. M. Ahmadi

*Corresponding author: Associate Professor, Faculty of Science and Water Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: kouroshqaderi@uk.ac.ir

Received: 3 June 2019, Accepted: 7 October 2019

Extended Abstract

Introduction

Local scour around piers and bridge abutments is one of the reasons for instability and destruction of the bridges. Local scour of a bridge foundation is almost inevitable as far as rivers are concerned. There are generally three types of scours that affect the performance and safety of bridges: local scour, contraction scour, and degradational scour. During the last decades, different arrangements were proposed to protect bridges against local scour. The arrangements for local scour at bridge piers can be grouped in two categories: armoring devices and flow-altering devices. Flow altering devices that have been used to protect piers against local scour include protecting piles placed upstream of the pier, Iowa vanes, and flow deflectors attached to the pier, such as collars. This study addresses the effectiveness of collars on scouring reduction around abutments and pier bridges.

Despite the availability of various studies about the effects of collar on scour at bridge pier and abutment (such as Laursen & Toch, 1956; Mashahir & Zarrati, 2002; Kayaturk, 2005 and Khozaymehnezhad *et al.*, 2014), and due to importance of bridges structures, further laboratory investigations are needed to explain the different aspects of collars interactions with abutment and piers scouring phenomena. So the purpose of this study was to study the effects of different sizes of collars on a rectangular abutment and their location to the surface of the sedimentary abutment on bridge group piers scour reduction at the presence of debris.

Methodology

The experimental tests of this research were carried out at the Hydraulic and Water Structures laboratory of department of water engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, on a laboratory flume with 8 m (length), 80 cm (width) and 60 cm (height), having glass walls and metal bottom. All experiments conducted in uniform flow with clear water, rectangular abutment and debris, rectangular collar and cylindrical piers, with non-cohesive particles of sediment with $d_{50}=0.91$ and $Q=51$ L/s. The piers model used in the experimental test were steel cylindrical tubes with an effective diameter of three cm and a rectangular abutment in the form of (12×6 cm) made from galvanized sheet; debris model was rectangular shape, 19×7 cm dimensions.

The arrangement of piers positions of were in the (2×2) piers group and debris was located on the front piers with a relative depth of 0.3. The dimensions of collars were considered to be 1.5-3

times the length of the abutment, and the experiments were designed in five different submergence ratios for each collar. Experiments on scour were in straight channel. Initially the bed surface was leveled, then inlet valve was opened slowly until discharge of water came to predetermined value so that no scour occurs at the mobile reaches of flume. The effects of four different size of collar in five different submerged ratios on protection of local scour around abutment and piers group with rectangular debris were investigated.

Results and Discussion

The results of the experiments were presented in two groups: without collars and in the presence of collars. To investigate the process of scour in presence protective measure, at first it needed a series of experiments without any collar on the front piers and bridge abutment. The results indicated that collars caused decrease in the scour hole in all ranges of the present experiment and different submerged ratios. With increasing in dimensions of collar, in all submerged ratios of collar location, corresponding protective capacity of the collars improved leading to reducing the scour depth.

Comparison of results indicated that the collar with dimension of 1.5 times the length of the abutment, had the lowest percentage reduction and the collar with dimension of 3 times the length of the abutment had the most percentage of scour reduction, 15% and 75% respectively. Also comparison of the effects of installation height of collars showed that collar reduced the local scour depth around the bridge piers and abutments. Results also indicated that collars installed under the riverbed had more influence on scour reduction than that installed upper riverbed, and collar exactly installed on riverbed had higher effect on scour reduction (nearly 75%).

Conclusions

In this research, scour around cylindrical piers and rectangular abutment and the effects of the collar dimension and different installation height on the scour protective effects were investigated by laboratory tests. Experimental investigations regarding local scour using collars on cylindrical piers and abutment in presence of debris were carried out. The protective efficiency of collars with different parameters, including collar installation height and collar dimension (size), were investigated and discussed

Keywords: Abutment, Clear Water, Erosion Control, Local Scour, Rectangular Collar