

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر ابعاد اجسام شناور بر مقدار آبشستگی اطراف گروه پایه قائم

زهرا پاسخی درگاه^۱، مهدی اسمعیلی ورکی^{۲*} و بهنام شفیعی ثابت^۳

۱، ۲ و ۳ به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد؛ و استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۳

چکیده

یکی از موضوعات مهم در خصوص آبشستگی اطراف پایه‌های پل، نقش اجسام شناور است که در زمان‌های سیلابی همراه با جریان آب در رودخانه به حرکت در می‌آیند و با مسدود نمودن کامل یا بخشی از دهانه پل، باعث تغییر الگوی جریان و تغییرات قابل ملاحظه بر عمق آبشستگی اطراف پایه‌های پل می‌گردد. در تحقیق حاضر تأثیر ابعاد اجسام شناور بر حداکثر عمق آبشستگی در اطراف گروه پایه قائم مورد بررسی قرار گرفت. گروه پایه پل مورد بررسی متشکل از دو پایه مستطیلی شکل بود که با فاصله دو برابر عرض پایه روی فونداسیون نصب شدند. آزمایش‌ها برای عمق‌های نسبی (نسبت عمق جریان به عرض پایه) ۳/۷ تا ۶/۶، جسم شناور با عرض نسبی (نسبت عرض جسم شناور به عرض پایه) ۶، طول‌های نسبی (نسبت طول در راستای جریان جسم شناور به عرض پایه) ۲ و ۳ و ضخامت‌های نسبی (نسبت ضخامت جسم شناور به عرض پایه) ۰/۵ و ۱ و ترازهای مختلف کارگذاری فونداسیون در شرایط آب زلال انجام پذیرفت. مقایسه نتایج نشان داد افزایش عمق جریان تأثیر محسوسی بر حداکثر عمق آبشستگی ندارد. تجزیه و تحلیل نتایج حاکی از آن است که افزایش ضخامت جسم شناور منجر به افزایش عمق آبشستگی به میزان ۴۲ درصد نسبت به حالت بدون جسم شناور می‌شود ولی با افزایش طول نسبی جسم شناور از میزان تأثیر آن بر عمق آبشستگی کاسته شده و به مقدار ۱۷ درصد نسبت به حالت بدون جسم شناور می‌رسد. مقایسه نتایج نشان داد با افزایش تراز کارگذاری فونداسیون، حداکثر عمق آبشستگی در شرایط حضور جسم شناور بیش‌تر می‌شود.

واژه‌های کلیدی

آبشستگی موضعی، اجسام شناور، رقوم کارگذاری فونداسیون، گروه پایه پل

مقدمه

در زمان سیلاب با افزایش سرعت و تنش برشی اطراف این پایه‌های پل، عمق آبشستگی افزایش یافته و با رسیدن این عمق به زیر پی آن‌ها، پایداری این سازه‌ها در معرض خطر قرار گرفته و دچار تخریب و یا شکست آن‌ها می‌گردد. در صورت استفاده از گروه پایه‌ها، علاوه بر گردابه‌های نعل اسبی و برخاستگی، الگوی‌های متفاوت دیگری در اطراف پایه شکل گرفته که در نتیجه آن، مقدار آبشستگی تغییر خواهد نمود.

پل‌ها یکی از سازه‌های حیاتی در چرخه حمل و نقل زمینی می‌باشند. عوامل مختلفی نظیر چگونگی طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری پل‌ها در تخریب آن‌ها مؤثر می‌باشند. یکی از دلایل تخریب پل‌ها را می‌توان به عدم توجه به مباحث هیدرولیکی و هیدرولوژی توسط مهندسين سازه طراح پل‌ها مربوط دانست (Zarati, 2000).

تحقیقات صورت گرفته در رابطه با موقعیت قرارگیری تراز فونداسیون بر حداکثر عمق آبشستگی حاکی از آن است که با قرارگیری فونداسیون در زیر بستر و بالاتر از حداکثر عمق آبشستگی به‌ازای تک پایه، حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد (Jones *et al.*, 1992; Lyn *et al.*, 2003; Esmaeili-Varaki *et al.*, 2013). جونز و همکاران (Jones *et al.*, 1992) بیان داشتند که میزان آبشستگی برای شرایطی که تراز فونداسیون در فاصله بین سطح بستر تا حداکثر عمق آبشستگی به‌ازای تک پایه قرار می‌گیرد، بستگی به مقدار گسترش سطح رویی فونداسیون نسبت به پایه دارد. همچنین برای شرایطی که فونداسیون بالاتر از بستر مستقر شود، مقدار حداکثر عمق آبشستگی افزایش چشمگیری پیدا می‌کند. پارولا و همکاران (Parola *et al.*, 1996) ضمن بررسی تغییرات هندسه و موقعیت قرارگیری فونداسیون بر عمق آبشستگی، معادلاتی را برای پیش‌بینی تأثیر قرارگیری تراز فونداسیون بر عمق آبشستگی و ارزیابی مدل‌های جایگزین برای فونداسیون ارائه نمودند.

فرارو و همکاران (Ferraro *et al.*, 2013) و مورنو و همکاران (Moreno *et al.*, 2015, 2016) با بررسی ابعاد سرشمع و تراز قرارگیری آن بر حداکثر عمق آبشستگی، بیان داشتند در شرایط مدفون بودن جزئی سرشمع، مقدار حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. همچنین آن‌ها روابط ارائه شده برای برآورد حداکثر عمق را مورد بررسی قرار داده و معادله‌های اصلاحی ارائه نمودند.

در زمان وقوع سیل در رودخانه‌ها، تجمع اجسام شناور نظیر بقایای درختان و گیاهان در مجاورت پایه پل می‌تواند با ایجاد انسداد، تنگ‌شدگی و یا تغییر مسیر جریان در دهانه‌های پل، خرابی و یا آبشستگی بیش از حد در اطراف فونداسیون پایه پل را به‌دنبال داشته باشد (Lagasse *et al.*, 2010). انقباض جریان حاصل از اجسام

فرآیند آبشستگی در حضور گروه‌پایه تحت تأثیر عامل تقویت‌کننده در پایه جلویی که باعث افزایش عمق آبشستگی در مجاورت آن شده و عامل حفاظ بودن که منجر به کاهش سرعت مؤثر در اطراف پایه پایین‌دست و در نتیجه کاهش مقدار آبشستگی در محدوده آن می‌گردد، می‌باشد (Breusers & Raudkivi, 1991).

نتایج بررسی هانا (Hannah, 1978)، در خصوص آبشستگی موضعی در گروه‌شمع استوانه‌ای در شرایط آب زلال نشان داد که با افزایش فاصله بین پایه‌ها تأثیر عامل تقویت‌کننده کاهش یافته و در شرایطی که فاصله بین پایه‌ها بیش از ۲/۵ برابر قطر پایه باشد، تأثیر گرداب نعل‌اسبی به‌هم فشرده شده ناچیز می‌شود. ویتال و همکاران (Vittal *et al.*, 1994) با در نظر گرفتن سه پایه با قطر کوچک‌تر به‌جای یک تک پایه استوانه‌ای به این نتیجه رسیدند که در بهترین حالت، استقرار پایه‌ها به‌صورت گروهی منجر به کاهش عمق آبشستگی تا ۴۰ درصد می‌گردد. همچنین آن‌ها ضمن بررسی تأثیر زاویه برخورد جریان نزدیک‌شونده بر حداکثر عمق آبشستگی، دریافتند که حداقل عمق آبشستگی در زاویه ۳۰ درجه (زاویه برخورد راستای جریان با محور پایه) اتفاق افتاده و تغییرات عمق آبشستگی در زاویه‌های مختلف در حدود ۶ درصد می‌باشد.

عطایی‌آشتیانی و بهشتی (Ataie-Ashtiani & Beheshti, 2006) ضمن بررسی اثر فاصله بین گروه‌پایه بر عمق آبشستگی در محدوده ۱ تا ۴ برابر قطر پایه‌ها، معادله‌ای را برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی پیشنهاد نمودند. بررسی نتایج حاکی از آن بود که برای فواصل کوچک بین پایه‌ها، حداکثر عمق آبشستگی حدود دو برابر مقدار متناظر برای پایه منفرد می‌باشد. با افزایش فاصله بین پایه‌ها، عمق آبشستگی کاهش پیدا کرده و برابر با عمق آبشستگی در پایه منفرد می‌گردد.

گودال آبشستگی و ریخت‌شناسی آن، به این نتیجه رسیدند که انباشتگی اجسام شناور بر عمق گودال آبشستگی، طول، عرض و ریخت‌شناسی پشته رسوبی پشت پایه بسیار تأثیرگذار بوده به طوری که حداکثر طول و عرض گودال آبشستگی، به ترتیب ۳ و ۴ برابر حالت بدون تجمع اجسام شناور می‌رسد. همچنین آن‌ها ضمن بررسی تأثیر اجسام شناور با شکل‌های مستطیلی، مثلثی و استوانه‌ای، بیان داشتند که تأثیر شکل‌های مستطیلی و مثلثی بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی ناچیز می‌باشد. مشعشی و همکاران (Moshashaei *et al.*, 2015)، در بررسی تأثیر تجمع اجسام شناور چوبی بر آبشستگی اطراف پایه استوانه‌ای شکل مستقر بر گروه‌شمع، به این نتیجه رسیدند که تجمع اجسام شناور می‌تواند عمق آبشستگی را ۱۲ تا ۱۴ برابر نسبت به حالت بدون جسم شناور افزایش دهد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها حاکی از آن است که محل قرارگیری اجسام شناور در جلوی پایه تأثیر به‌سزایی بر عمق، عرض و طول گودال آبشستگی دارد. به طوری که هرچه اجسام شناور به بستر جریان نزدیک‌تر باشند، ابعاد گودال آبشستگی افزایش می‌یابد و هرچه نسبت عرض جسم شناور به عرض کانال افزایش یابد، آبشستگی در جلوی پایه بیش‌تر می‌گردد. از آنجا که الگوی جریان اطراف گروه پایه‌ها نسبت به تک‌پایه متفاوت بوده و در عین حال حضور اجسام شناور تأثیر قابل توجه‌ای بر گردابه‌های شکل گرفته در اطراف پایه‌های پل و به تبع آن آبشستگی ایجاد می‌نماید، هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر حضور اجسام شناور با ابعاد مختلف بر تغییرات عمق آبشستگی در اطراف گروه پایه قائم برای شرایط مختلف هیدرولیکی و تراز کارگذاری فونداسیون می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- تحلیل ابعادی

عمق آبشستگی در اطراف پایه پل متأثر از عوامل

شناور و توده شاخ و برگ می‌تواند احتمال تخریب پایه را با تسریع نمودن فرآیند آبشستگی و افزایش عمق گودال آبشستگی افزایش دهد (Pagliara & Carnacina, 2011). هندسه و ابعاد جسم شناور بسیار متنوع بوده و از پشته کوچک در اطراف پایه‌های پل تا انسداد کامل دهانه پل در تغییر می‌باشد. تحقیقات انجام شده نشان داده است که هندسه اجسام شناور تابعی از خصوصیات فیزیکی آن، ویژگی‌های جریان و نیز هندسه پل و مجرای جریان است (Lagasse *et al.*, 2010).

مطالعات صورت گرفته روی تأثیر اجسام شناور بر آبشستگی اطراف پایه‌های پل نشان داد که ابعاد گودال آبشستگی نسبت به حالت پایه بدون جسم شناور، بزرگ‌تر و عمیق‌تر می‌باشد (Laurson & Toch, 1956). ملویل و دانگل (Melville & Dongol, 1992)، تأثیر اشکال مختلف جسم شناور شامل استوانه‌ای، مخروطی و بیضوی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین عمق آبشستگی برای جسم شناور با شکل استوانه‌ای رخ می‌دهد. همچنین مقایسه نتایج حاکی از آن بود که در حضور توده اجسام شناور، برای نسبت عمق جریان به قطر پایه کوچک‌تر از ۴، عمق آبشستگی افزایش می‌یابد و با افزایش این نسبت، مقدار آن دچار سیر نزولی شده و در نهایت تأثیر اجسام شناور ناچیز می‌شود. لاگاس و همکاران (Lagasse *et al.*, 2010) در بررسی تأثیر جسم شناور بر حداکثر عمق آبشستگی به این نتیجه رسیدند که بسته به میزان انسداد ایجاد شده توسط جسم شناور در جلوی پایه، ابعاد گردابه‌ها می‌تواند بزرگ‌تر یا کوچک‌تر نسبت به حالت بدون جسم شناور باشد. بررسی‌ها نشان داد، زمانی که اجسام از بعد طولی با پایه در تماس باشند، شکل مستطیلی جسم شناور بیش‌ترین آبشستگی را ایجاد می‌کند.

پاگلیارا و کارناسینا (Pagliara & Carnacina, 2010)

(2011) در بررسی تأثیر انباشتگی توده اجسام شناور بر

از میان پارامترهای بی‌بعد استخراج شده، اثر انحراف معیار هندسی به جهت یکنواختی رسوبات مورد آزمایش، W/D ، به جهت ثابت بودن عرض پایه و جسم شناور، D/D^* ، به دلیل ثابت بودن ابعاد پایه و فونداسیون، S_{hd} ، به دلیل ثابت بودن شکل جسم شناور ثابت در نظر گرفته شد. بر اساس مطالعات لاگاس و همکاران (Lagasse et al., 2010) زبری و نفوذپذیری جسم شناور بر حداکثر عمق آبشستگی چندان قابل ملاحظه نیست. بنابراین از تأثیر این پارامتر صرف نظر شده است. همچنین به جهت اینکه عدد رینولدز در تمام آزمایش‌ها از مقدار ۹۱۰۰ بیش تر بود، لذا از تأثیر این پارامتر صرف نظر شده و رابطه ۲ پس از ساده‌سازی به صورت رابطه ۳ خلاصه گردید.

$$\frac{d_s}{D} = f_3\left(\frac{y}{D}, Fr, \frac{L}{D}, \frac{T}{D}, \frac{Z}{D}, \frac{l}{D}, \frac{t}{t_e}, T^*, \Delta A\right) \quad (3)$$

که در آن،

$T^* = Uyt / A_b$ ، عامل بی‌بعد زمان می‌باشد. در این تحقیق رابطه ۳ به‌عنوان یک رابطه پایه‌ای برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

– تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک و مدل‌های فیزیکی هیدرولیکی گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان و در فلومی با سیستم بازچرخانی و به طول ۸/۶ متر، عرض ۰/۸۸ و عمق ۱ متر که دارای دیواره‌هایی از جنس شیشه و کف آهنی بود، انجام شد. به‌منظور تأمین دبی جریان از پمپ سانتریفیوژ که قادر بود دبی سیستم را تا ۷۰ لیتر بر ثانیه تأمین نماید، استفاده گردید (شکل ۱).

جریان ورودی توسط پمپ وارد مخزن اندازه‌گیری بالادست شده که در انتهای آن سرریز مثلی برای اندازه‌گیری دبی جریان نصب شد. سپس جریان با عبور از سرریز وارد مخزن آرام‌کننده پایین‌دست شده و در ادامه

زیادی شامل پارامترهای توصیف‌کننده هندسه پایه پل، شرایط هیدرولیکی جریان، هندسه اجسام شناور، مشخصات سیال، رسوب بستر و زمان می‌باشند که آنها را می‌توان به صورت رابطه تابعی ۱ نوشت:

$$d_s = f_1(y, U, U_c, b, D, D^*, L, W, T, n_d, Z, l, D_{50}, \sigma_g, \rho_s, \rho, \mu, g, t, t_e, \Delta A, A_b, S_{hd}) \quad (1)$$

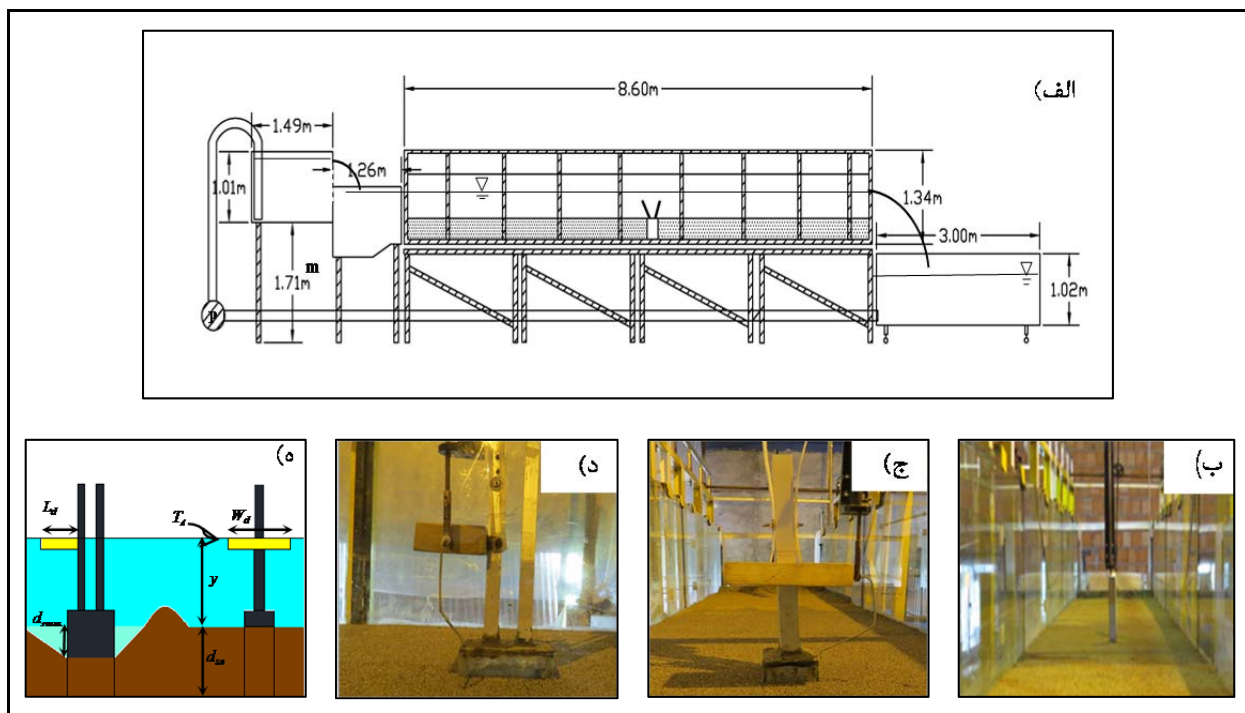
که در آن،

d_s = عمق آبشستگی؛ y = عمق جریان؛ U = سرعت متوسط جریان؛ U_c = سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی؛ b = عرض کانال؛ D = عرض پایه پل؛ D^* = عرض فونداسیون؛ L = طول جسم شناور در راستای جریان؛ W = عرض جسم شناور؛ T = ضخامت جسم شناور؛ n_d = زبری جسم شناور؛ Z = تراز استقرار فونداسیون؛ l = فاصله بین پایه‌ها؛ D_{50} = قطری که ۵۰ درصد ذرات از آن کوچک‌تر است؛ σ_g = انحراف معیار مصالح رسوبی بستر؛ ρ_s = چگالی رسوبات بستر؛ ρ = چگالی آب؛ μ = لزوجت دینامیک؛ g = شتاب ثقل؛ α = زاویه انحراف پایه‌ها در صفحه موازی جریان؛ β = زاویه انحراف پایه‌ها در صفحه عمود بر جریان؛ t = زمان از شروع آبشستگی؛ t_e = زمان تعادل آبشستگی؛ $\Delta A = [(W-D)T] / (b.y)$ ؛ ضریب انسداد ناشی از تجمع جسم شناور؛ $A_b = Dy + \Delta A.by$ = سطح اشغال شده توسط پایه و جسم شناور؛ و S_{hd} = پارامتر شکل جسم شناور. با به‌کارگیری تئوری باکینگهام در تحلیل ابعادی، رابطه ۱ را می‌توان به صورت رابطه بی‌بعد ۲ نوشت:

$$\frac{d_s}{D} = f_2\left(\frac{y}{D}, \frac{U_c}{U}, \frac{b}{D^*}, \frac{D}{D^*}, \frac{L}{D}, \frac{W}{D}, \frac{T}{D}, \frac{Z}{D}, \frac{l}{D}, \frac{D_{50}}{D}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{t}{t_e}, \frac{Uyt}{A_b}, \Delta A, S_{hd}, \frac{\rho Uy}{\mu}, \frac{U}{\sqrt{gy}}, \frac{tU}{y}, n_d, \sigma_y\right) \quad (2)$$

گروه پایه قائم مورد بررسی در این تحقیق، از دو پایه مستطیلی شکل به طول و عرض $2/5$ و $3/5$ سانتی متر که با فاصله $3/5$ ($l=D$) روی فونداسیون مستطیلی شکل به طول و عرض 16 و 10 سانتی متر در راستای جریان نصب شد. در انتخاب هندسه پایه‌ها سعی شد که ابعاد نهایی پایه به گونه‌ای باشد که دیواره‌ها بر آبشستگی تأثیری نداشته باشند. طبق نظر رادکیوی و اتما (Raudkivi & Ettema, 1983) اگر نسبت عرض فلوم به عرض پایه از $6/25$ بیشتر باشد، دیواره‌های فلوم تأثیری بر مقدار آبشستگی نخواهند داشت. این نسبت برای پایه‌های و فونداسیون به ترتیب 25 و 8 می‌باشد.

وارد کانال می‌گردید. جهت کاهش تلاطم جریان ورودی به کانال و ممانعت از شکل‌گیری جریان‌های عرضی در ورودی آن، از مستقیم‌ساز جریان در ابتدای کانال استفاده شد. برای تنظیم عمق جریان در کانال از دریچه پروانه‌ای که در انتهای آن نصب شده بود، استفاده گردید. با توجه به اینکه در آزمایش‌ها تنظیم دقیق دبی بسیار حائز اهمیت بود، از یک دستگاه کنترل‌کننده دور موتور برای تنظیم دور الکتروموتور پمپ استفاده گردید که با استفاده از آن امکان تنظیم دقیق دبی جریان با حداقل اتلاف وقت میسر شد. جهت اطمینان از توسعه یافتگی جریان قبل از رسیدن به پایه پل، محل نصب آن 5 متر بعد از ورودی انتخاب گردید.



شکل ۱- الف) طرح کلی فلوم آزمایشگاهی، ب) نمایی از مقطع عرضی فلوم آزمایشگاهی، ج) نمای روبه‌رو از استقرار جسم شناور، د) نمایی از استقرار گروه پایه و جسم شناور و ه) معرفی پارامترهای عمق آبشستگی در حضور اجسام شناور

ندارند و در مقایسه با اندازه، شکل و موقعیت توده اجسام، زبری و تخلخل می‌تواند متغیرهای ثانویه در نظر گرفته شوند. لذا برای انجام آزمایش‌ها این عوامل مورد توجه قرار

بر اساس تحقیقات لاگاس و همکاران (Lagasse *et al.*, 2010) زبری و تخلخل توده اجسام تأثیری زیادی بر الگوی آبشستگی یا مقدار عمق آبشستگی در مقابل پایه

ملویل و چيو (Melville & Chiew, 1999) اشاره نمودند زمان تعادل، زمانی است که میزان آبشستگی در طی دوره زمانی ۲۴ ساعته کمتر از ۵ درصد قطر پایه باشد. رادکیوی و اتما (Raudkivi & Ettema, 1983)، زمان تعادل را مدت زمانی معرفی نمودند که در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی متر آبشستگی رخ ندهد. در آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش از معیار ملویل و چيو (Melville & Chiew, 1999) جهت تعیین زمان تعادل استفاده شد. برای این منظور، ابتدا آزمایشی به مدت ۷۲ ساعت و با سرعت نسبی ۰/۹۵ انجام و تغییرات عمق آبشستگی با استفاده از عمق سنج با دقت ۰/۱ میلی متر اندازه‌گیری گردید. مقایسه نتایج نشان داد که بعد از گذشت زمان ۲۴ ساعت از شروع آزمایش، تغییرات عمق آبشستگی کم‌تر از ۵ درصد قطر پایه می‌گردد. بنابراین زمان تعادل برای کل آزمایش‌ها ۲۴ ساعت در نظر گرفته شد.

در هر یک از آزمایش‌ها، ابتدا با برقراری دبی جریان برای سرعت نسبی ۰/۹۵ آستانه حرکت و عمق مورد نظر، آب به تدریج و به آرامی وارد کانال شده و سپس بعد از تنظیم دبی، عمق مورد نظر در کانال با تغییر دریچه انتهایی برقرار گردید. در کلیه آزمایش‌ها تغییرات آبشستگی به مدت ۷ ساعت که تقریباً ۸۵ درصد آبشستگی رخ داد، به صورت پیوسته اندازه‌گیری شده و سپس حداکثر عمق آبشستگی بعد از قطع آزمایش در زمان ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد.

در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر اجسام شناور بر آبشستگی اطراف گروه پایه قائم، در مجموع ۳۰ آزمایش برای عمق‌های جریان ۱۳، ۱۸ و ۲۳ سانتی متر (اعماق نسبی ۳/۷، ۵/۲ و ۶/۶)، رقوم‌های نسبی مختلف کارگذاری فونداسیون (فاصله روی فونداسیون تا سطح بستر نسبت به عرض پایه)، ۳- و ۱/۵+ و جسم شناور به صورت هم‌راستا با جریان در ضخامت‌های مختلف انجام پذیرفت.

گرفته و اجسام شناور به طول ۷ و ۱۰/۵ سانتی متر (طول‌های نسبی ۲ و ۳)، عرض ۲۱ سانتی متر (عرض نسبی ۶) و ضخامت ۱/۷ و ۳/۵ سانتی متر (ضخامت‌های نسبی ۰/۵ و ۱) از جنس چوب ساخته شد. اندازه ذره رسوب یکی از عوامل موثر بر عمق آبشستگی است. برای حذف اثر اندازه رسوب بر عمق آبشستگی موضعی، طبق تحقیق ملویل و ساترلند (Melville & Sutherland, 1988)، نسبت عرض پایه به قطر ذرات رسوبی باید از ۲۵-۲۰ بیشتر باشد. همچنین رادکیوی و اتما (Raudkivi & Ettema, 1983) اظهار داشتند که جهت ممانعت از تشکیل شکنج در سرعت‌های نزدیک به آستانه حرکت، قطر رسوبات باید از ۰/۷ میلی متر بیش‌تر باشد. رسوبات مورد استفاده در این تحقیق دارای قطر ۰/۷ میلی متر بود که از مصالح رودخانه‌ای تهیه و بعد از الک کردن در بازه‌ای به طول ۱/۵ متر از فلوم آزمایشگاهی که محدوده مورد مطالعه برای آبشستگی بود، قرار داده شد. ضخامت مواد بستر با توجه به بیشینه عمق آبشستگی، ۳۰ سانتی متر انتخاب گردید. برای شبیه‌سازی بهتر بستر رسوبی کانال، بالادست و پایین دست بازه مورد مطالعه از رسوبات درشت‌دانه که در مرحله الک کردن باقی مانده بود، استفاده گردید.

قبل از شروع آزمایش‌ها لازم بود که سرعت آستانه حرکت برای قطر رسوبات مورد استفاده مشخص گردد. بنابراین برای شرایط مختلف عمق و دبی، وضعیت آستانه حرکت به صورت آزمایشگاهی بررسی و در نهایت مقدار متوسط سرعت جریان برای آستانه حرکت ۰/۲۲ متر بر ثانیه تعیین گردید. مقایسه نتایج حاصله با دیاگرام شیلدز و روابط تجربی مطابقت مطلوبی را نشان داد.

پدیده آبشستگی در اطراف پایه‌های پل فرآیندی زمان‌بر بوده و تعیین زمان تعادل در مطالعه مربوط به آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. محققان معیارهای مختلفی را جهت تعیین زمان تعادل پیشنهاد نموده‌اند.

جسم شناور و نسبت حداکثر عمق آبشستگی در حالت با جسم شناور به حالت بدون جسم، به صورت رابطه ۶ برای پیش‌بینی عمق آبشستگی در حضور جسم شناور ارائه نمودند.

$$k_d = z_{\max} / z_{\max 0} = 1 + \alpha \cdot \Delta A^\beta \quad (۶)$$

که در آن،

k_d = عامل تعادل انقباض جسم شناور؛ و α و β = ضرایب حاصل از رگرسیون داده‌های آزمایشگاهی.

برای ارزیابی و بررسی رابطه ارائه شده، شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و خطای نسبی (RE) استفاده گردید (روابط ۷ و ۸).

$$RMSE = \sqrt{\frac{(\sum (d_{sEst} - d_{sExp})^2)}{n-1}} \quad (۷)$$

$$RE = (d_{sEst} - d_{sExp}) / d_{sEst} \quad (۸)$$

که در آن،

d_{sEst} = عمق آبشستگی محاسبه شده از رابطه ۶؛ d_{sExp} = عمق آبشستگی به دست آمده از داده‌های آزمایشگاهی؛ و n = تعداد داده‌ها.

نتایج و بحث

- بررسی الگوی جریان و توسعه زمانی عمق آبشستگی اطراف گروه پایه قائم

نتایج حاصل از اندازه‌گیری لحظه‌ای عمق آبشستگی برای عمق‌های نسبی، ابعاد جسم شناور و ترازهای کارگذاری مختلف در نمودارهای شکل ۲ نشان داده شده است. به جهت آنکه مقایسه‌های توسعه زمانی عمق لحظه‌ای آبشستگی با شرایط حضور و عدم حضور جسم

در تحقیق حاضر در کنار بررسی آزمایشگاهی یاد شده، ارزیابی روابط ارائه شده برای تخمین عمق آبشستگی صورت پذیرفت. ملویل و دانگل (Melville & Dongol, 1992) با معرفی قطر مؤثر پایه در شرایط حضور جسم شناور، رابطه ارائه شده توسط ملویل و ساترلند (Melville & Sutherland, 1988) را برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی برای پایه استوانه‌ای اصلاح نمودند (رابطه ۴).

$$D_e = \frac{[0.52 TW + (y - 0.52 T) D]}{y} \quad (۴)$$

که در آن،

D_e = قطر معادل پایه در شرایط حضور جسم شناور؛ y = عمق جریان؛ D = قطر پایه پل؛ T و W به ترتیب ضخامت و عرض جسم شناور می‌باشد. پس از آن لاگاس و همکاران (Lagasse et al., 2010) با در نظر گرفتن طول جسم شناور و معرفی ضرایب اصلاحی، معادله ارائه شده توسط ملویل و دانگل (Melville & Sutherland, 1988) را توسعه دادند (رابطه ۵).

$$D_e^* = \frac{k_{d1}(TW)(L/y)^{k_{d2}} + (y - k_{d1}T)D}{y} \quad (۵)$$

که در آن،

رابطه k_{d1} و k_{d2} به ترتیب، ضریب و توان بی‌بعد بهینه شده از داده‌های آزمایشگاهی؛ و L = طول جسم شناور. لاگاس و همکاران (Lagasse et al., 2010) برای اجسام شناور مستطیلی k_{d1} و k_{d2} را به ترتیب، ۰/۳۹ و ۰/۷۹- و برای اجسام شناور مثلثی ۰/۱۴ و ۰/۱۷- پیشنهاد نمودند. آنها همچنین اظهار داشتند برای نسبت $L/y \leq 1$ می‌توان از طول جسم شناور در محاسبه قطر مؤثر پایه صرف نظر نمود.

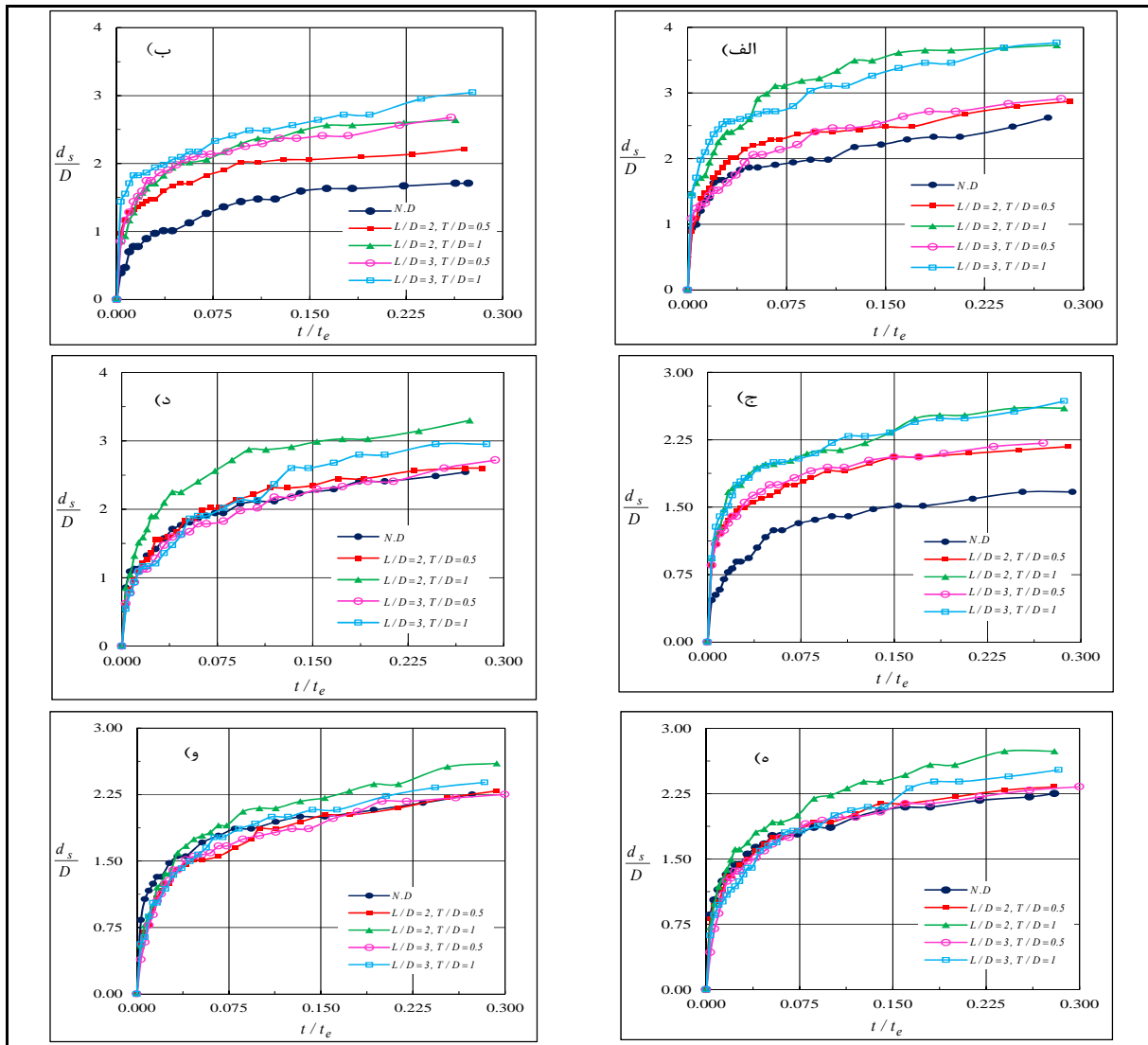
پاگلیارا و کارناسینا (Pagliara & Carnacina, 2011)، رابطه ساده‌ای را بر اساس درصد انسداد ایجاد شده توسط

اطراف گروه پایه قائم برای عمق‌های مختلف جریان در تراز نسبی کارگذاری فونداسیون $Z/D = +1/5$ در زمان‌های نسبی ۰/۰۵ و ۰/۲، به ترتیب برای جسم شناور با ابعاد نسبی $۶ \times ۲ \times ۰/۵$ ، حدود ۳۴ و ۲۳ درصد، جسم شناور با ابعاد نسبی $۶ \times ۲ \times ۱$ ، حدود ۶۳ و ۵۸ درصد، جسم شناور با ابعاد نسبی $۶ \times ۳ \times ۰/۵$ حدود ۴۱ و ۳۲ درصد و جسم شناور با ابعاد نسبی $۶ \times ۳ \times ۱$ حدود ۶۲ و ۵۷ درصد نسبت به حالت بدون جسم شناور افزایش یافت.

به منظور درک بهتر از الگوی جریان در مجاورت گروه پایه‌ها، آشکارسازی با استفاده از تزریق مواد رنگی صورت گرفت که نمونه‌ای از آن‌ها در شرایط با و بدون جسم شناور برای عمق نسبی $۵/۲$ در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. مقایسه‌های صورت گرفته حاکی از آن است که جریان پس از برخورد به جسم شناور به سمت بستر انحراف می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۳-ج) مشاهده می‌شود، در اثر ترکیب خطوط جریان منحرف شده با جریان برخوردی به پایه، قدرت گرداب‌های نعل‌اسبی در اطراف پایه افزایش یافته و در نتیجه می‌توان انتظار داشت که عمق آبشستگی افزایش یابد.

شناور صورت گرفت، لذا به جای استفاده از پارامتر بی‌بعد زمان، T^* ، از پارامتر زمان نسبی (t/t_e) ، استفاده گردید. همان‌طور که در این نمودارها ملاحظه می‌شود، در هر عمق جریان، حضور جسم شناور منجر به افزایش مقدار لحظه‌ای عمق آبشستگی می‌گردد. مقایسه نتایج نشان داد که اختلاف مقدار لحظه‌ای عمق آبشستگی در شرایط حضور و عدم حضور جسم شناور با افزایش عمق جریان به تدریج کاهش می‌یابد. مقایسه مقادیر عمق لحظه‌ای آبشستگی اطراف گروه پایه قائم در تراز نسبی کارگذاری فونداسیون $Z/D = -3$ نشان داد، متوسط مقادیر اندازه‌گیری لحظه‌ای عمق آبشستگی برای عمق‌های مختلف جریان در زمان‌های نسبی ۰/۰۵ و ۰/۲، به ترتیب برای جسم شناور با ابعاد نسبی $۶ \times ۲ \times ۰/۵$ ، حدود ۴ و ۶ درصد، جسم شناور با ابعاد نسبی $۶ \times ۲ \times ۱$ ، حدود ۱۵ و ۲۱ درصد، جسم شناور با ابعاد نسبی $۶ \times ۳ \times ۰/۵$ حدود ۹ و ۱۱ درصد و جسم شناور با ابعاد نسبی $۶ \times ۳ \times ۱$ ، حدود ۱۰ و ۱۲ درصد نسبت به حالت بدون جسم شناور افزایش یافت.

متوسط مقادیر اندازه‌گیری لحظه‌ای عمق آبشستگی

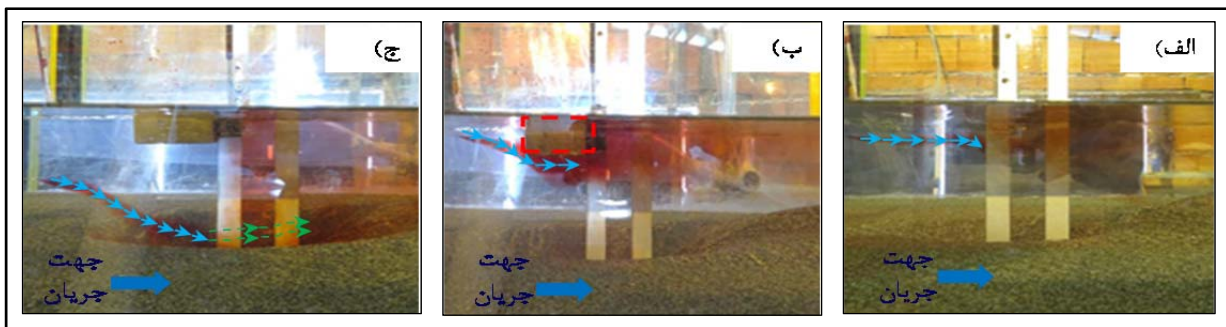


شکل ۲- توسعه زمانی عمق لحظه‌ای آبشستگی اطراف گروه‌پایه قائم در اعماق مختلف جریان برای شرایط با و بدون جسم شناور

در تراز نسبی کارگذاری فونداسیون و عمق‌های مختلف

الف) $Z/D = +1/5$ و $y/D = 3/7$ (ب) $Z/D = +1/5$ و $y/D = 5/2$ (ج) $Z/D = +1/5$ و $y/D = 6/6$

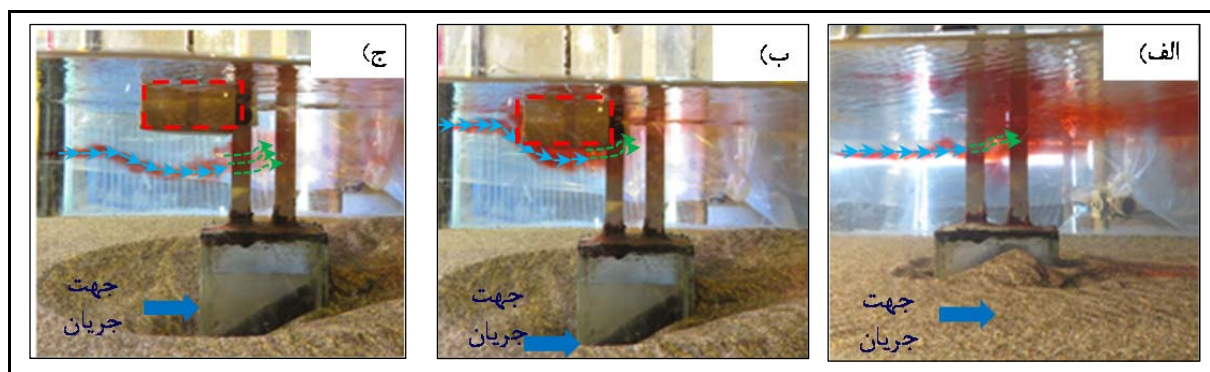
د) $Z/D = -3$ و $y/D = 3/7$ (ه) $Z/D = -3$ و $y/D = 5/2$ (و) $Z/D = -3$ و $y/D = 6/6$



شکل ۳- نمایی از آشکارسازی جریان نزدیک‌شونده به گروه‌پایه قائم در حالت با و بدون جسم شناور،

برای جسم شناور با ابعاد نسبی $1 \times 2 \times 6$ ، $Z/D = -3$ و $y/D = 5/2$

الف) تزریق بدون جسم شناور، ب) تزریق جریان هم‌تراز جسم شناور و ج) تزریق نزدیک بستر

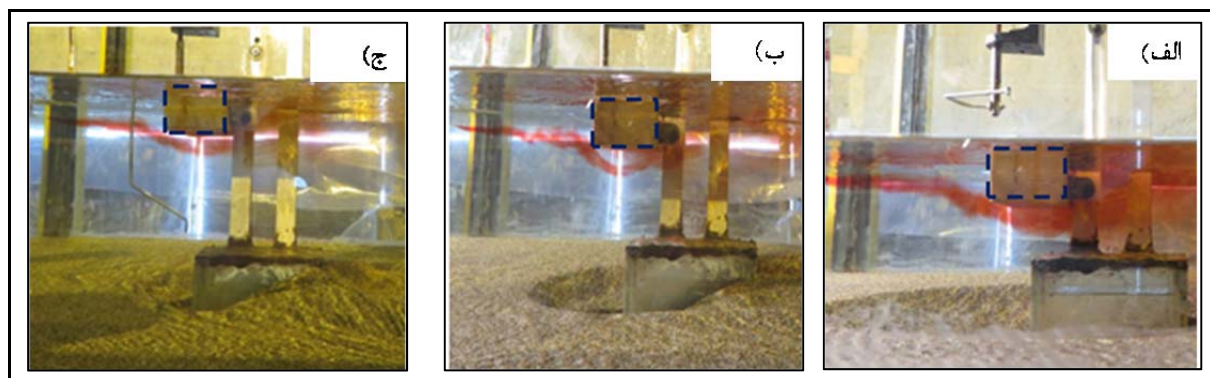


شکل ۴- نمایی از آشکارسازی جریان نزدیک‌شونده به گروه‌پایه قائم در حالت با و بدون جسم شناور، برای جسم شناور با ابعاد نسبی $Z/D=+1/5$ و $y/D=5/2, 6 \times 2 \times 1$

الف) تزریق بدون جسم شناور، ب) تزریق جریان هم‌تراز جسم شناور و ج) تزریق میانی جریان

می‌گردد با افزایش عمق جریان و افزایش فاصله جسم شناور نسبت به بستر، طول مسیر برخورد جریان پایین‌رونده به سمت پایه و بستر افزایش یافته و در نتیجه می‌توان انتظار داشت از قدرت گردابه‌های نعل‌اسبی کاسته شده و مقدار عمق آبشستگی کاهش یابد.

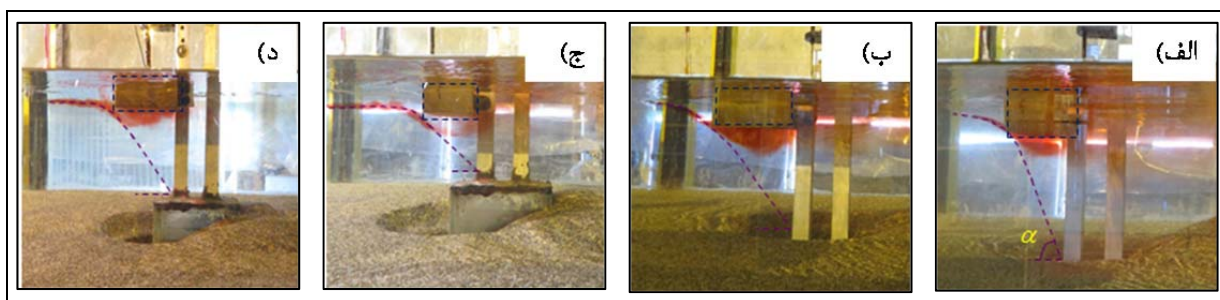
بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط فلاح‌گلنشینی و همکاران (Fallah-Golneshini *et al.*, 2012)، در یک سرعت ثابت، با کاهش عمق جریان تأثیر حضور اجسام شناور بیش‌تر می‌گردد. در شکل ۵ آشکارسازی الگوی جریان اطراف گروه‌پایه قائم برای عمق‌های نسبی مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه



شکل ۵- آشکارسازی جریان اطراف گروه‌پایه قائم برای اعماق مختلف جریان در حضور جسم شناور با ابعاد نسبی $6 \times 2 \times 1$ الف) $y/D=3/7$ ، ب) $y/D=5/2$ و ج) $y/D=6/6$

زاویه انحراف جریان نزدیک‌شونده به سمت پایه و بستر کاهش یافته و در نتیجه جریان انحراف یافته در ارتفاع بالاتری به بستر برخورد نموده و از قدرت گردابه‌های نعل‌اسبی کاسته می‌شود.

مشاهدات آزمایشگاهی و نتایج حاصل از آشکارسازی جریان اطراف گروه‌پایه قائم حاکی از آن است که با افزایش طول جسم شناور حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل‌های ۶ مشاهده می‌شود با افزایش طول جسم شناور،



شکل ۶- آشکارسازی تأثیر افزایش طول جسم شناور بر الگوی جریان اطراف گروه پایه قائم برای جسم شناور با ضخامت نسبی ۱ و ترازهای نسبی مختلف فونداسیون (الف) و (ب) $Z/D = -3$ و (ج) و (د) $Z/D = +1/5$

داده‌های آزمایشگاهی حاصل از آزمایش‌های ملویل و دانگل (Melville & Dongol, 1992) و همچنین نتایج پاگلیارا و کارناسینا (Pagliara & Carnacina, 2011) حاکی از آن بود که با افزایش ضخامت جسم شناور، درصد انسداد جریان توسط جسم شناور و همچنین قطر مؤثر پایه افزایش یافته و در نتیجه باعث افزایش عمق آبشستگی می‌شود. مشاهدات آزمایشگاهی حاصل از تزریق مواد رنگی در تحقیق حاضر نیز حاکی از آن است که با افزایش ضخامت نسبی جسم شناور، میزان انسداد جریان توسط جسم شناور افزوده شده و در نتیجه انحراف بیش‌تر خطوط جریان به سمت بستر و تقویت گرداب نعل اسبی را به دنبال دارد. از این‌رو میزان عمق آبشستگی بیش‌تر می‌شود. شکل ۷ تأثیر افزایش ضخامت جسم شناور بر الگوی جریان در اطراف پایه و جسم شناور و همچنین افزایش زاویه انحراف جریان به پایه و بستر را نشان می‌دهد.

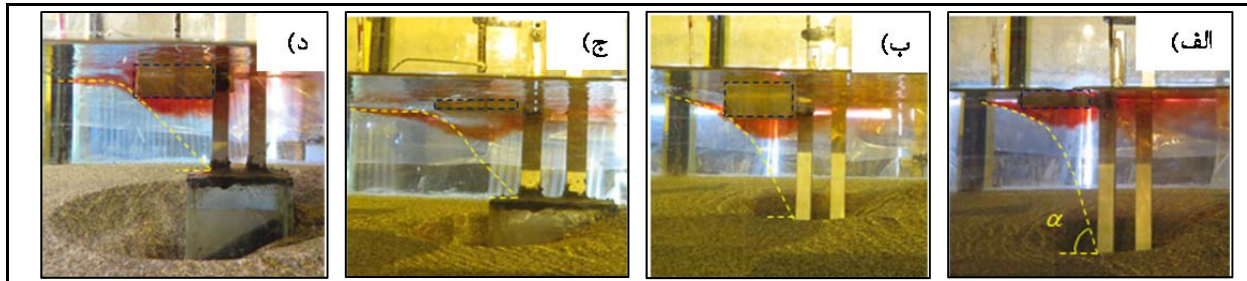
مقایسه نتایج حداکثر عمق آبشستگی اطراف گروه پایه قائم

در شکل ۸ نیم‌رخ نهایی آبشستگی اطراف گروه پایه قائم برای شرایط مختلف هیدرولیکی و هندسه اجسام شناور و در تراز کارگذاری فونداسیون $+1/5$ نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاکی از آن است، برای جسم شناور با ابعاد نسبی $6 \times 2 \times 1$ ، در عمق نسبی $y/D = 3/7$ ؛

حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون جسم شناور ۵۶ درصد افزایش می‌یابد. بررسی نتایج نشان داد با افزایش عمق نسبی جریان به $y/D = 5/2$ و $y/D = 6/6$ ، مقدار تفاوت حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون جسم شناور به تدریج کاهش یافته و به میزان ۴۳ و ۴۱ درصد می‌رسد. همان‌طور که در قسمت قبل بیان گردید، با افزایش عمق جریان و فاصله گرفتن جسم شناور از بستر، طول مسیر جریان پایین‌رونده افزایش یافته و از قدرت جریان گردابه‌ای کاسته می‌شود، لذا عمق آبشستگی کاهش می‌یابد.

از آنجاکه با افزایش ضخامت نسبی جسم شناور، به میزان انسداد جریان افزوده شده و در نتیجه میزان عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. مقایسه‌های صورت گرفته حاکی از آن است که در عمق نسبی جریان $y/D = 3/7$ ، حداکثر عمق آبشستگی برای جسم شناور با ابعاد نسبی $6 \times 3 \times 0.5$ ، ۱۷ درصد بیش‌تر از حالت بدون جسم شناور بوده و با افزایش ضخامت نسبی جسم شناور از 0.5 به 1 ، اختلاف حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون جسم شناور به ۴۲ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش طول جسم شناور، زاویه برخورد جریان به بستر کاهش یافته و حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌ها حاکی از آن است که مقدار حداکثر عمق آبشستگی برای عمق نسبی $3/7$ و ابعاد نسبی $6 \times 2 \times 1$ ، ۵۶

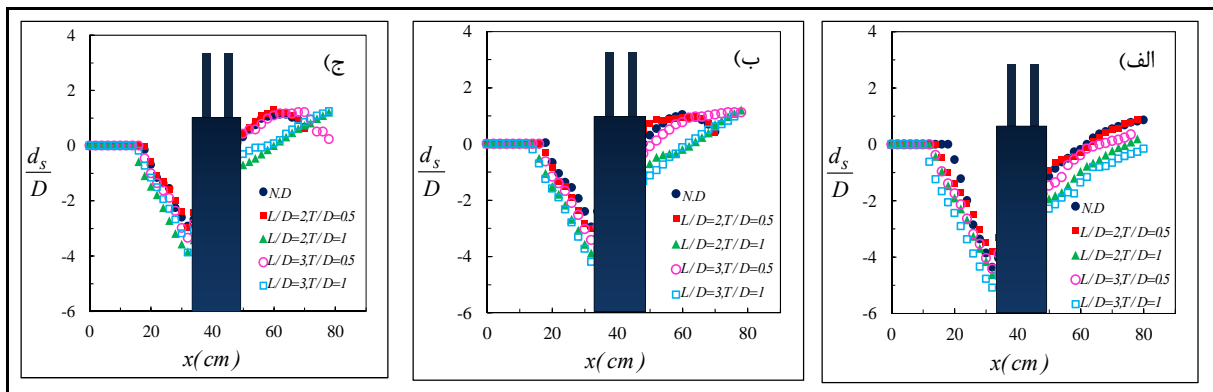
درصد بیش‌تر از حالت بدون جسم شناور می‌باشد. با افزایش طول نسبی جسم شناور از ۲ به ۳، حداکثر عمق آبشستگی به ۴۲ درصد بیش‌تر از حالت بدون جسم شناور تغییر می‌یابد.



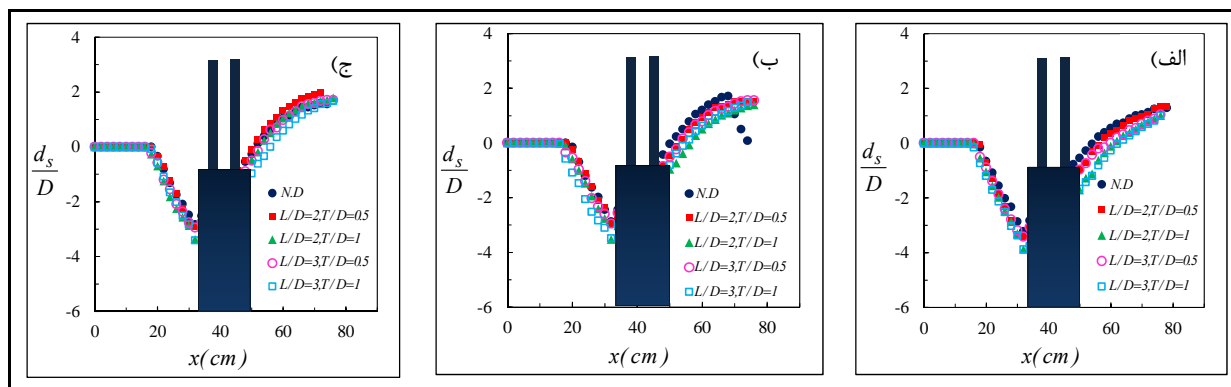
شکل ۷- آشکارسازی تأثیر تغییر ضخامت جسم شناور بر الگوی جریان اطراف گروه پایه قائم برای عمق نسبی ۵/۲ و جسم شناور با ابعاد نسبی ۶×۳×۰/۵ و ۶×۳×۱ در ترازهای نسبی کارگذاری مختلف فونداسیون، الف و ب) تراز نسبی ۳ (Z/D=۳) و ج) و د) ۱/۵ (Z/D=+۱/۵)

در شکل ۹ نیم‌رخ نهایی آبشستگی اطراف گروه پایه قائم برای شرایط مختلف هیدرولیکی و هندسه اجسام شناور در تراز نسبی کارگذاری فونداسیون ۳- نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاکی از آن است برای جسم شناور با ابعاد نسبی ۶×۲×۰/۵ و ۶×۲×۱ در عمق نسبی ۳/۷، حداکثر عمق آبشستگی تا روی تراز فونداسیون توسعه یافته و پس از آن متوقف می‌شود. در این حالت حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون جسم شناور، حدود ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. مقایسه نتایج نشان داد با افزایش عمق نسبی جریان به $y/D=۵/۲$ و $y/D=۶/۶$ ، حداکثر عمق آبشستگی به‌میزان ۱۸ و ۱۹ درصد بیشتر از حالت بدون جسم شناور می‌رسد. تجزیه و تحلیل نتایج حاکی از آن است با افزایش طول نسبی جسم شناور از ۲ به ۳، حداکثر عمق آبشستگی، به ۶ درصد نسبت به حالت بدون جسم شناور تغییر می‌یابد. با افزایش ضخامت نسبی جسم شناور در عمق نسبی جریان $y/D=۳/۷$ ، حداکثر عمق آبشستگی برای جسم شناور با ابعاد نسبی ۶×۲×۰/۵، ۶ درصد بیشتر از حالت بدون جسم شناور بوده و با افزایش ضخامت نسبی جسم شناور از ۰/۵ به ۱، اختلاف حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون جسم شناور به ۱۴ درصد افزایش می‌یابد.

در شکل ۹ نیم‌رخ نهایی آبشستگی اطراف گروه پایه قائم برای شرایط مختلف هیدرولیکی و هندسه اجسام شناور در تراز نسبی کارگذاری فونداسیون ۳- نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاکی از آن است برای جسم شناور با ابعاد نسبی ۶×۲×۰/۵ و ۶×۲×۱ در عمق نسبی ۳/۷، حداکثر عمق آبشستگی تا روی تراز فونداسیون توسعه یافته و پس از آن متوقف می‌شود. در این حالت حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون جسم شناور، حدود ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. مقایسه نتایج نشان داد با افزایش عمق نسبی جریان به $y/D=۵/۲$ و $y/D=۶/۶$ ، حداکثر عمق آبشستگی به‌میزان ۱۸ و ۱۹ درصد بیشتر از حالت بدون جسم شناور می‌رسد. تجزیه و تحلیل نتایج حاکی از آن است با افزایش طول نسبی جسم شناور از ۲ به ۳، حداکثر عمق آبشستگی، به ۶ درصد نسبت به حالت بدون جسم شناور تغییر می‌یابد. با افزایش ضخامت نسبی جسم شناور در عمق نسبی جریان $y/D=۳/۷$ ، حداکثر عمق آبشستگی برای جسم شناور با ابعاد نسبی ۶×۲×۰/۵، ۶ درصد بیشتر از حالت بدون جسم شناور بوده و با افزایش ضخامت نسبی جسم شناور از ۰/۵ به ۱، اختلاف حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون جسم شناور به ۱۴ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۸- نیم‌رخ نهایی آبشستگی اطراف گروه پایه قائم برای عمق‌های مختلف جریان در شرایط با و بدون جسم شناور در تراز نسبی ۱/۵ (Z/D=+۱/۵) الف) $y/D=۳/۷$ ، ب) $y/D=۵/۲$ ، ج) $y/D=۶/۶$



شکل ۹- نیمرخ نهایی آبشستگی اطراف گروه پایه قائم برای عمق‌های مختلف جریان در شرایط با و بدون جسم شناور در تراز نسبی $Z/D = -3$
 الف) $y/D = 3/7$ ب) $y/D = 5/2$ ج) $y/D = 6/6$

با افزایش درصد انسداد توسط جسم شناور عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. هم‌چنین با تغییر تراز کارگذاری فونداسیون از ۳- به $1/5+$ ، محدوده تغییرات حداکثر عمق افزایش چشم‌گیری نموده و از محدوده $4-2/9$ در تراز ۳- به محدوده ۵-۳ در تراز $1/5+$ افزایش می‌یابد.

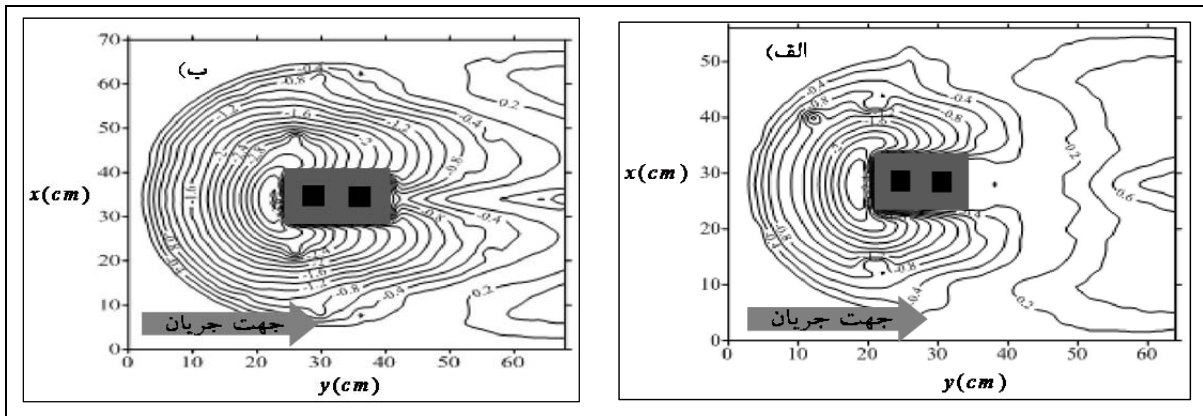
بررسی روابط عمق آب شستگی برای گروه قائم در شرایط حضور جسم شناور

در این تحقیق با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی رابطه ۵ برای محاسبه قطر موثر گروه پایه قائم همراه با فونداسیون در شرایط حضور جسم شناور اصلاح و ضرایب k_{d1} و k_{d2} به ترتیب $0/4$ و $-0/58$ محاسبه گردید. شکل ۱۳ تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبت به عمق جریان را با توجه به عمق معادل پایه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود محدوده تغییرات حداکثر عمق آبشستگی در حضور جسم شناور در حدود $1/6$ تا $2/2$ برابر قطر موثر پایه می‌باشد.

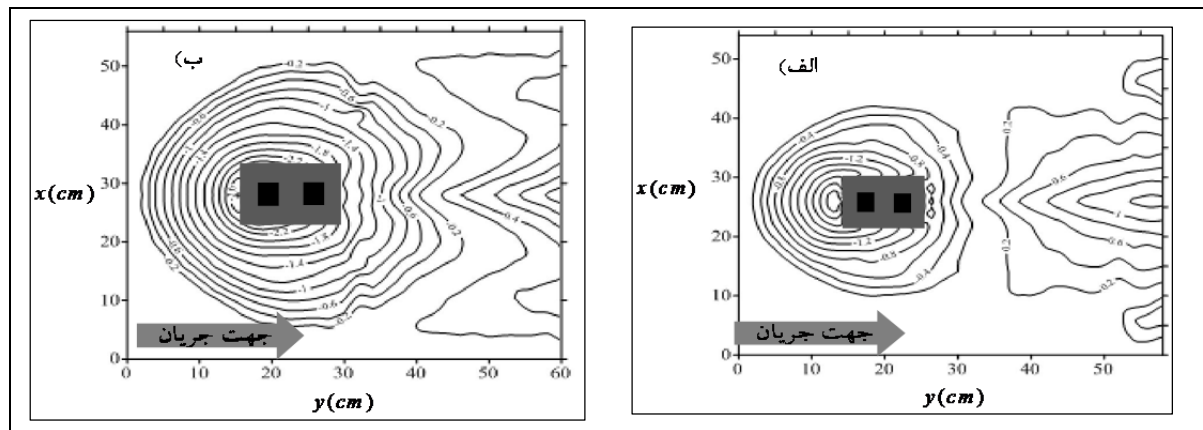
تجزیه و تحلیل صورت گرفته نشان داد که مقدار شاخص میانگین مجذور مربعات ($RMSE$) و خطای نسبی (RE) برای برآورد عمق آبشستگی به ترتیب $25/8$ و $0/23$ به دست آمد.

به‌عنوان جمع‌بندی کلی می‌توان بیان داشت که حضور جسم شناور منجر به افزایش ابعاد گودال آبشستگی نسبت به حالت بدون جسم شناور می‌شود. مقایسه نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت نسبی جسم شناور و افزایش درصد انسداد توسط جسم شناور بر قدرت گرداب‌های نعل‌اسبی افزوده شده و حداکثر عمق و ابعاد گودال آبشستگی افزایش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش طول نسبی جسم شناور به دلیل کاهش زاویه انحراف جریان به سمت بستر، از شدت تأثیر جسم شناور کاسته شده و حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. علاوه بر این در کلیه هندسه‌های جسم شناور، با افزایش عمق جریان، اثر جسم شناور کاهش می‌یابد. در نمودارهای شکل‌های ۱۰ و ۱۱، نمونه‌هایی از توپوگرافی آبشستگی در اطراف گروه پایه قائم در راستای جریان برای رقوم کارگذاری $1/5+$ و ۳- نشان داده است.

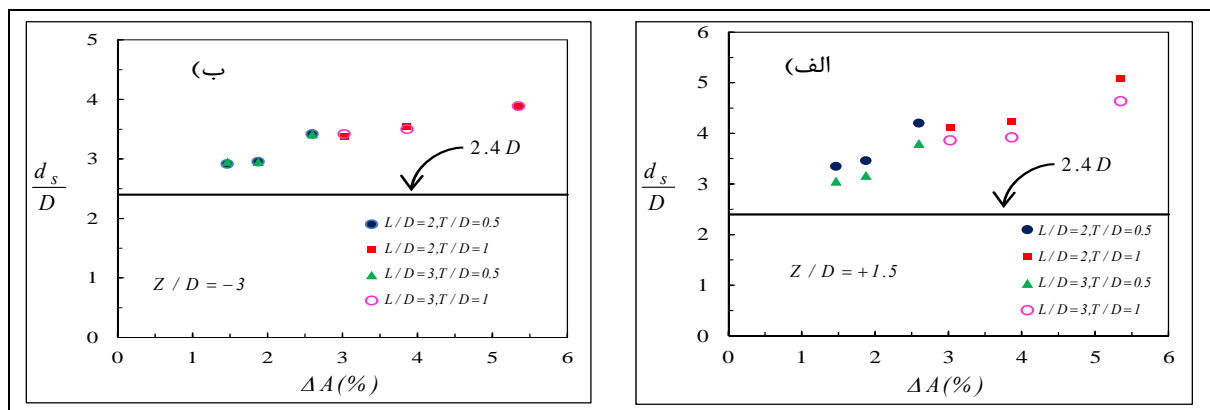
در شکل ۱۲ میزان تأثیر درصد انسداد بر حداکثر عمق نسبی آبشستگی اطراف گروه پایه قائم در راستای جریان برای اجسام شناور مختلف به همراه خط مربوط به حداکثر عمق آبشستگی به ازای تک پایه نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار مشخص است



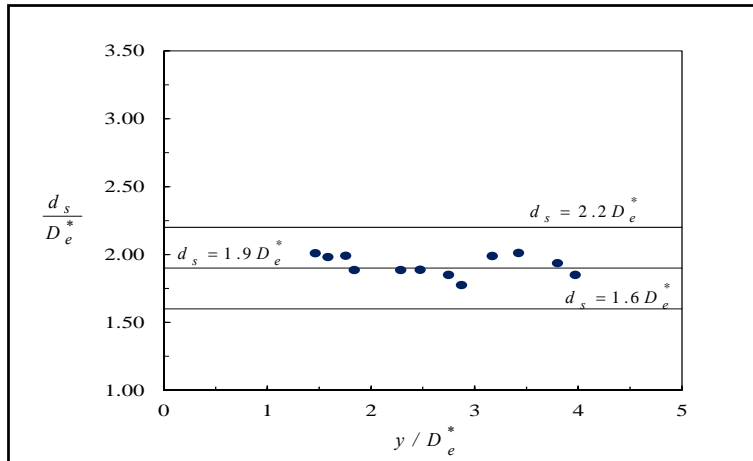
شکل ۱۰- توپوگرافی بستر نهایی آبستتگی اطراف گروه پایه قائم برای تراز نسبی $Z/D=+1/5$ عمق نسبی $y/D=3/7$ (الف) بدون جسم شناور و (ب) جسم شناور با ابعاد نسبی $1 \times 2 \times 6$



شکل ۱۱- توپوگرافی بستر نهایی آبستتگی اطراف گروه پایه قائم برای تراز نسبی $Z/D=-3$ عمق نسبی $y/D=3/7$ (الف) بدون جسم شناور و (ب) جسم شناور با ابعاد نسبی $1 \times 2 \times 6$



شکل ۱۲- تأثیر درصد انسداد بر حداکثر عمق نسبی آبستتگی اطراف گروه پایه قائم برای اجسام شناور و تراز نسبی فونداسیون (الف) $Z/D=+1/5$ و (ب) $Z/D=-3$



شکل ۱۳- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی اطراف گروه پایه قائم به صورت تابعی از قطر معادل پایه

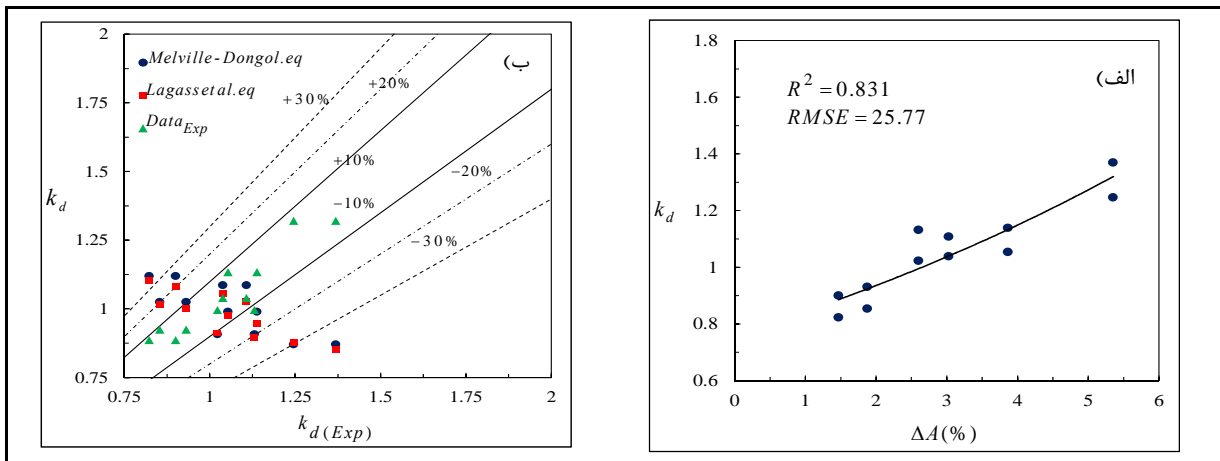
در شکل ۱۴- الف تغییرات پارامتر k_d در مقابل ΔA برای داده‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر نشان داده شده است. با برازش بهترین خط رگرسیونی بر داده‌ها، رابطه ۹ استخراج گردید.

در شکل ۱۴- ب مقایسه مقادیر k_d داده‌های آزمایشگاهی حاصل از رابطه ۹ با k_d ارائه شده توسط لاگاس و همکاران (Lagasse et al., 2010) و ملویل و دانگل (Melville & Dongol, 1992) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود رابطه اصلاحی در تحقیق حاضر توانسته است با دقت مناسب‌تری نسبت به روابط سایر محققین مقدار حداکثر عمق آبشستگی در اطراف گروه پایه قائم در راستای جریان را در شرایط حضور جسم شناور برآورد نماید.

در شکل ۱۴- الف تغییرات پارامتر k_d در مقابل ΔA برای داده‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر نشان داده شده است. با برازش بهترین خط رگرسیونی بر داده‌ها، رابطه ۹ استخراج گردید.

$$k_d = z_{\max} / z_{\max 0} = 0.9461e^{0.052\Delta A} \quad (9)$$

در شکل ۱۴- ب مقایسه مقادیر k_d داده‌های آزمایشگاهی



شکل ۱۴- الف) تأثیر نسبت انسداد ΔA بر عامل انقباض جسم شناور k_d برای داده‌های آزمایشگاهی گروه پایه قائم در راستای جریان و ب) مقایسه k_d داده‌های آزمایشگاهی با روابط ارائه شده توسط محققان

عوامل تخریب این نوع از سازه‌ها می‌باشد. یکی از عوامل مؤثر بر افزایش حداکثر عمق آبشستگی حضور اجسام شناور در جریان آب می‌باشد. انقباض جریان حاصل از

نتیجه‌گیری

در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی به‌ویژه حداکثر عمق آبشستگی در طراحی پل‌ها، یکی از مهم‌ترین

چشم‌گیری داشته است. برای گروه پایه قائم حداکثر عمق آبخستگی برای تراز نسبی کارگذاری فونداسیون $1/5 +$ برای جسم شناور با ابعاد نسبی $1 \times 2 \times 6$ ، ۵۶ درصد نسبت به حالت بدون جسم شناور افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش طول نسبی جسم شناور، این مقدار به ۴۲ درصد تغییر نمود. مقایسه نتایج نشان داد با افزایش ضخامت نسبی جسم شناور از ابعاد نسبی $0/5 \times 3 \times 6$ به $1 \times 3 \times 6$ ، حداکثر عمق آبخستگی از ۱۷ درصد به ۴۲ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با اصلاح ضرایب معادله ارائه شده توسط لاگاس و همکاران (Lagasse *et al.*, 2010)، رابطه جدیدی برای محاسبه حداکثر عمق آبخستگی برای گروه پایه قائم با فونداسیون بالاتر از بستر ارائه گردید.

حضور اجسام شناور با تسریع نمودن فرآیند آبخستگی و افزایش عمق آبخستگی احتمال تخریب پایه پل را افزایش می‌دهد. در تحقیق حاضر تأثیر جسم شناور بر میزان حداکثر عمق آبخستگی اطراف گروه پایه قائم مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور آزمایش‌هایی در شرایط آب زلال، سرعت نسبی $0/95$ آستانه حرکت و عمق‌های نسبی جریان، $3/7$ ، $5/2$ و $6/6$ انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها حاکی از آن است که به‌طور کلی، با حضور جسم شناور توسعه زمانی، حداکثر عمق و ابعاد گودال آبخستگی نسبت به حالت بدون جسم شناور افزایش می‌یابد. همچنین مقایسه‌های صورت گرفته نشان داد با افزایش تراز کارگذاری حداکثر عمق آبخستگی افزایش

مراجع

- Ataie-Ashtiani, B. and Beheshti, A. A. 2006. Experimental investigation of clear-water local scour at pile groups. *J. Hydraul. Eng.* 132(10): 1100-1104.
- Breusers, N. H. C. and Raudkivi, A. J. 1991. *Hydraulic Structure Design Manual: Scouring*. Vol. 2. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- Esmaeili-Varaki, M., Mosapoor, S. and Hatam-Jafari, M. 2013. Experimental study the effect of geometric factors on local scour characteristics around inclined bridge pier groups with foundation. *Iranian Water Res. J.* 7(13): 141-151. (in Persian)
- Fallah-Golneshini, N., Zahiry, A., Meftah-Halghi, M. and Dehgheni, A. 2012. Experimental study the effect of water depth on maximum scour bridge pier under present of debris accumulation condition. The First International Conference and the 3rd National Conference on Dams and Hydropower. Tehran, Iran. (in Persian)
- Ferraro, D., Tafarajnoruz, A., Gaudio, R. and Cardoso, A. H. 2013. Effects of pile cap thickness on the maximum scour depth at a complex pier. *J. Hydraul. Eng.* 139(5): 482-491.
- Hannah, C. R. 1978. Scour at pile group. Research Report. No.78. University of Canterbury. Civil Engineering.
- Jones, J. S., Kilgore, R. T. and Mistichelli, M. P. 1992. Effect of footing Location on bridge pier scour. *J. Hydraul. Eng.* 118(2): 280-290.
- Lagasse, P. F., Zevenbergen, L. W. and Clipper, P. E. 2010. Impacts of debris on bridge pier scour. International Conference on Scour and Erosion (ICSE-5).
- Laursen, E. M. and Toch, A. 1956. Scour around bridge piers and abutments. Bulletin No. 4. Iowa Highway Research Board.
- Lyn, D. A., Cooper, T. J., Yi, Y., Sinha, R. N. and Rao, A. R. 2003. Debris accumulation at bridge crossing. Laboratory and Field Studies. Rep. No. FHWA/IN/JTRP/10. West Lafayette, IN 47906.

- Melville, B. W. and Chiew, Y. M. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. *J. Hydraul. Eng.* 125(1): 59-65.
- Melville, B. W. and Dongol, D. M. 1992. Bridge pier scour with debris accumulation. *J. Hydraul. Eng.* 118(9): 1306-1310.
- Melville, B. W. and Sutherland, A. J. 1988. Design method for local scour at bridge piers. *J. Hydraul. Eng.* 114(10): 1210-1226.
- Moreno, M., Maia, R. and Couto, L. 2015. Effects of relative column width and pile-cap elevation on local scour depth around complex piers. *J. Hydraul. Eng.* 142(2): doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001080.
- Moreno, M., Maia, R. and Couto, L. 2016. Prediction of equilibrium local scour depth at complex bridge piers. *J. Hydraul. Eng.* 142(11): doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001153.
- Moshashaei, S. M., Asadi-Aghbalagi, M. and Samadi-Brojani, H. 2015. Study the effect of accumulation of wood floating in front of the circle pier with pile. *J. Water Soil.* 25(2): 141-153. (in Persian)
- Pagliara, S. and Carnacina, I. 2010. Scour and dune morphology in presence of large wood debris accumulation at bridge pier. *Riverflow- International Conference on Fluvial Hudraulics.* Braunschweig, Germany.
- Pagliara, S. and Carnacina, L. 2011. Influence of wood debris accumulation on bridge pier scour. *J. Hydraul. Eng.* 137(2): 254-261.
- Parola, A. C., Mahavadi, S. K. Brown, B. M. and Khoury, A. E. 1996. Effects of rectangular foundation geometry on local pier scour. *ASCE-J. Hydraul. Eng.* 122(1): 35-40.
- Raudkivi, A. J. and Ettema, R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *J. Hydraul. Eng.* 109 (3): 339-350.
- Vittal, N., Kothiyari, U. C. and Haghghat, M. 1994. Clear-water scour around bridge pier group. *J. Hydraul. Eng.* 120(11): 1309-1318.
- Zarati, A. R. 2000. *Role of Hydraulic Factor in Bridge Design.* Hormozgan University Press. First Ed. (in Persian)

Study of Local Scour around Vertical Bridge Pier Groups in Presence of Debris Accumulation

Z. Pasokhi-Dargah, M. Esmaili-Varaki* and B. Shafee-Sabet

* Corresponding Author: Assistant Professor, Water Engineering Department, Agricultural Faculty of Guilan University, Rasht, Iran. Email: esmaeili.varaki@yahoo.com

Received: 14 July 2017, Accepted: 24 September 2017

One of the most important issues in scour depth at bridge piers is effect of debris raft which convened by flood and by blocking all or a part of the bridge opening, changes the flow pattern and increases the maximum scour depth around bridge pier considerably. In this paper, the effect of debris dimensions on a maximum scour depth around vertical bridge pier groups was investigated. The studied bridge piers consisted of two rectangular piers with 2.5×3.5 cm dimensions, which installed on the foundation with 10cm × 16cm width and length, respectively. The experiments performed consisted of relative depth (the depth to width pier ratio) 3.7, 5.2 and 6.6, debris relative width (the debris width to pier width ratio), 6, the relative length (debris length in flow direction to pier width), 2 and 3, the relative thickness (debris thickness to pier width), 0.5 and 1 and different levels of foundation. All experiment conducted under clear water condition. Comparison of results indicated that increase of flow depth did not considerably affect the local scour depth. By increasing debris relative thickness, the maximum scour depth increased about 42% in comparison with no debris raft. Furthermore, with increase of relative debris length, the effect reduced and increase of the maximum scour depth reached up to 17%. As compared to without debris raft condition. Comparison of results indicated that by increasing the level of foundation, increase of the maximum scour depth was more in presence of debris raft.

Keyword: Debris, Foundation Level, Local Scour, Vertical Bridge Pier Groups