

بررسی آزمایشگاهی تاثیر رقوم کارگزاری المان‌های شش پایه بر عمق آبستتگی پایه مستطیلی

مریم هوشمند^{۱*} و محمود شفاعی بجستان^۲

^{۱*} - نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

^۲ - استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۱۸

چکیده

آبستتگی اطراف پایه‌ها و تکیه گاه پل یکی از مهمترین علت تخریب پل‌ها است. روش‌های پوششی نظیر سنگ چینی از جمله روش‌هایی است که برای ایمن سازی پل‌های موجود استفاده می‌شود. در مناطقی که سنگ دور از دسترس باشد می‌توان از المان‌های شش پایه که موضوع این تحقیق است استفاده کرد. در این مطالعه تأثیر قرار دادن یک ردیف المان‌های شش پایه با تراکم ۱۰۰ درصد در سه حالت روی بستر، نیمه بستر و زیر بستر، تحت پنج عدد فرود مختلف جریان ۰/۲۴، ۰/۲۲، ۰/۱۹، ۰/۱۷ و ۰/۱۶ در اطراف پایه پل مربعی در فلولمی آزمایشگاهی پوشیده شده با دانه‌های رسوبی ۰/۷ میلی متری در آزمایشگاه هیدرولیک بررسی شد. نتایج به دست آمده با آزمایش شاهد مقایسه گردید و مشخص شد، که المان‌های فوق توانسته‌اند در شرایط قرارگیری نیمه در بستر تا ۵۷ درصد میزان حداکثر عمق آبستتگی را کاهش دهند. توصیه کلی این است که این المان‌ها با فیلتر ژئوسنتتیک استفاده شوند یا در ردیف‌های بیشتری قرار گیرند.

کلید واژه‌ها: آبستتگی، آب زلال، المان‌های شش پایه، پایه پل.

Experimental Investigation of the Effect of Depth of Placement of Six-Legs Elements on Scour at Rectangular Bridge Pier

M. Hooshmand^{1*} and M. Shafai Bejestan²

^{1*} - M. Sc. Student, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

² - Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received :9 July 2015

Accepted:27 September 2015

Abstract

Pieve scour is one of the most important cause of bridge failure. Covering methods such as using riprap is among techniques which are widely applied for the existing bridges. For those places where the stones of adequate size are not available, use of six-legged elements which is the subject of this, study is a good choice. In this study the effect of placement of a single row six- legged around a rectangular bridge with 100% density in three different cases of above, mid and below the bed under five different Froude numbers of 0.24, 0.22, 0.19, 0.17 and 0.16 have been experimentally investigated. Comparison of the bed topography with mean measure of bed deposit of 0.7 mm of tests with six- legged and tests without elements showed that generally the elements can reduce the scour depth significantly. The elements placed on the mid of bed have shown better performance

with maximum reduction of about 57%. The general recommendation is to use these elements with geo-syntactic filter or placed in more rows.

Keywords: Scour, Clear water, Six-legs elements, Bridge pier.

نشان داد که در حالتی که صفحات کاملاً به پایه های پل چسبیده اند بهترین شرایط تثبیت به وجود می آید. آزم و قمشی (۱۳۹۲) نشان داد که با افزایش قطر شمع‌ها، آبستتگی به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. کاهش عمق آبستتگی با افزایش قطر شمع تا فاصله بهینه وجود داشت و با افزایش فاصله این روند عکس شده و شمع ها با قطر کمتر تأثیر بیشتری بر کاهش عمق آبستتگی داشتند. زراتی و همکاران^۲ (۲۰۰۴) بیان کردند، که زمانی که طوق زیر بستر قرار می گیرد، گسترش حفره آبستتگی اطراف پایه و عمق آبستتگی پایین دست طوق افزایش می یابد. مونکادا و همکاران^۳ (۲۰۰۹) با استفاده از طوق به ابعاد سه برابر قطر پایه عمق آبستتگی را ۱۰۰ درصد کاهش دادند. آنگر و هگر^۴ (۲۰۰۶) با مطالعه سه رقوم قرارگیری سنگچین (هم تراز، بالاتر و پایین تر از بستر)، در اطراف پایه‌های استوانه‌ای پل در مسیر مستقیم، پایدارترین رقوم قرارگیری سنگچین را رقوم هم تراز با بستر معرفی کردند.

مطالعه‌های انجام شده توسط گرمالدی و همکاران^۵ (۲۰۰۹) نشان داد که هرچه شکاف در بستر خاک فرو رود کاهش عمق آبستتگی بیشتر می‌شود. البته شکاف ممکن است به وسیله رسوبات رودخانه پر شود و از عملکرد آن کم شود. دی و همکاران^۱ (۲۰۰۶) استفاده از کابل را به عنوان یک اقدام پیشگیرانه و آسان معرفی کردند. در این روش کابل به صورت مارپیچی روی پایه قرار گرفته و با انحراف گرداب نعل اسبی منجر به کاهش عمق آبستتگی می‌شود. با افزایش قطر، تعداد و کاهش زاویه کابل عمق آبستتگی کاهش می یابد. حداکثر کاهش عمق آبستتگی ۴۶ درصد گزارش شد. نتایج تحقیقات عقلی و زمردیان (۱۳۹۲) نشان داد با افزایش قطر کابل و کمتر شدن فاصله میان گام‌ها، آبستتگی بیشتر کاهش می یابد و حداکثر مقدار کاهش آبستتگی به ۵۹ درصد می رسد. از آنجا که تا به حال طبق آنچه عنوان شد، تحقیق مدونی در رابطه با میزان تأثیرپذیری رقوم کارگذاری المان‌های شش پایه در کاهش عمق آبستتگی اطراف پایه‌های پل در منابع منتشر نشده است. از این رو در این تحقیق اثر جایگاه المان‌های شش پایه پیرامون پایه پل مربعی در سه حالت روی، نیمه و زیر بستر در کاهش عمق آبستتگی مورد بررسی قرار گرفت.

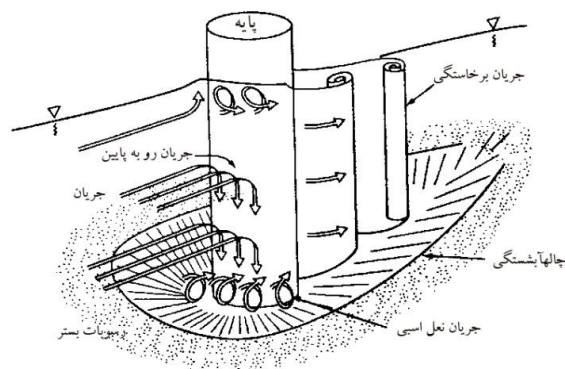
مقدمه

در طراحی دیوارهای حفاظتی، آبگیرها، پایه پل‌ها، حوضچه‌های آرامش و پایین‌دست سرریزهای آبشاری پیش‌بینی میزان عمق آبستتگی ضروری است. وجود پایه پل‌ها باعث کاهش عرض عبوری جریان، برخورد جریان با پایه و انحراف خطوط جریان از اطراف پایه به کف بستر می‌شود. این انحراف خطوط جریان باعث گود شدن اطراف پایه می‌شود، و خطرات جدی را به دنبال دارد. اگر پایه‌ای به صورت عمودی در بستر رودخانه قرار گرفته باشد، جریان آب در اطراف آن متلاطم شده، و یک سلسله جریان‌های گردابی پیرامون آن ایجاد می‌کند. این سیستم گردابی عامل اصلی آبستتگی است که در دراز مدت باعث ایجاد حفره در محل پایه پل می‌شود و ممکن است موجب ریزش پل گردد. عامل اولیه آبستتگی موضعی پایه پل جریان‌های رو به پایینی هستند که مثل یک جت عمودی آب عمل می‌کنند و مواد کناری پایه را بلند کرده و جریان معمولی آب آن را می‌شوید. سیستم گرداب نعل اسبی از نتایج آبستتگی موضعی است. این سیستم در ابتدا کوچک و قدرت آن کم است ولی بعد از تشکیل حفره اندازه و قدرت آن هم زیاد می‌شود. با افزایش عمق حفره آبستتگی مقدار جریان رو به پایین در نزدیکی کف حفره کاهش یافته و زمانی که قدرت نیروهای محرک تقریباً برابر با قدرت نیروهای مقاوم گردید آبستتگی متوقف می‌شود (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷). شکل (۱) الگوی جریان و حفره آبستتگی را نشان می‌دهد.

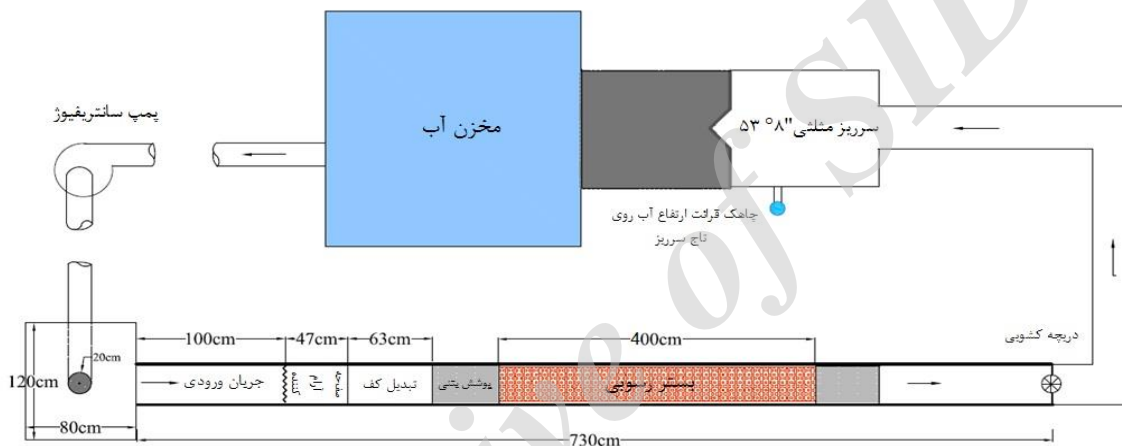
انواع روش‌های کنترل آبستتگی در دو فاز، مقابله با فرسایش و کاهش تأثیر نیروهای فرساینده انجام می‌شود.

در روش اول با تقویت مصالح اطراف بستر مانند انواع سنگچین‌ها یا سنگ ریزه‌های حفاظتی، مقاومت بستر در برابر تنش‌های وارده افزایش داده می‌شود، و در روش دیگر با استفاده از شمع‌های حفاظتی (پایه‌های قربانی شونده)، صفحات مستغرق، آستانه و ایجاد شکاف با تغییر الگوی جریان در اطراف پایه در جهت کاهش اثر عوامل فرسایش دهنده مانند جریان‌های ثانویه و گرداب‌های نعل اسبی تلاش می‌شود (چیو^۱، ۱۹۹۲). استفاده از طوق برای کاهش آبستتگی در هر دو روش مستقیم و غیر مستقیم قرار می‌گیرد. شجاعی و همکاران (۱۳۹۰) بیشترین میزان کاهش در عمق حفره آبستتگی با ترکیب طوق و چهار عدد صفحه در پایه استوانه ای را ۶۱ درصد ذکر نمودند. صمیمی بهبهان و همکاران (۱۳۸۵) اثر صفحات مستغرق بر آبستتگی پایه پل‌ها را بررسی کردند. نتایج

2 - Zaraty et al.
3 - Moncada et al.
4 - Unger and Hager
5- Grimaldi et al.
6 - Dey et al.



شکل ۱- الگوی جریان و حفره آبشستگی موضعی اطراف یک پایه پل استوانه‌ای شکل (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷)



شکل ۲- پلان کانال و تجهیزات آزمایشگاهی

فاصله پایه از ابتدای بستر رسوب ۱/۷ متر بود. پایه مورد آزمایش از جنس پلکسی گلاس و به صورت مربعی با عرض ۷ سانتی متر و به ارتفاع ۵۰ سانتی متر برای جلوگیری از مستغرق شدن پایه در حین آزمایش، و به صورت مدرج تهیه شده بود. شکل (۲) نمایی از فلوم آزمایشگاهی و تجهیزات آن را نشان می‌دهد.

المان‌های شش پایه به طول ۵ سانتی متر و جرم خشک ۱۹/۵ گرم و حجم ۹/۴ میلی لیتر و جرم مخصوص ۲/۰۷ گرم بر میلی لیتر با تراکم ۱۰۰ درصد پیرامون پایه پل چیده می‌شدند. از المان‌های شش پایه برای موج شکن‌ها هم استفاده می‌شود که برای داشتن نفوذ پذیری بیشتر و عملکرد بهتر اتلاف انرژی موج با تراکم کمتر و با فاصله کمی از هم نصب می‌شوند ولی در این مطالعه برای جلوگیری از فرار ذرات رسوبی بستر با حداقل نفوذپذیری و کاملاً به هم چسبیده نصب شدند که اصطلاحاً تراکم ۱۰۰ درصد گفته می‌شود. شکل (۳) نمایی از المان‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از فلوم آزمایشگاهی به طول ۷/۳ متر، عرض ۰/۵۶ متر و عمق ۰/۶ متر با شیب طولی ۰/۰۰۲۸ متر بر متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شده است. دیواره‌ها و کف فلوم از جنس پلکسی گلاس شفاف بود. بازه‌ای از فلوم به طول تقریبی ۴ متر و به ضخامت ۰/۱ متر با رسوبات ماسه با دانه‌بندی یکنواخت و قطر متوسط ۰/۷ میلی متر پوشیده شد. جریان مورد نیاز با استفاده از یک پمپ سانتریفیوژ از مخزن تامین آب وارد مخزن آرام کننده در ابتدای فلوم می‌گردید. به منظور حذف تلاطم ورودی از یک صفحه مشبک آرام کننده، در فاصله یک متری از دهانه فلوم استفاده شده است. جریان پس از خروج از فلوم، وارد حوضچه می‌گردد و با عبور از روی یک سرریز مثلی استاندارد ۵۳ درجه، مجدداً وارد مخزن تامین آب می‌شود. اندازه‌گیری دبی جریان با قرائت ارتفاع آب روی سرریز و با استفاده از رابطه دبی- اشل سرریز صورت می‌گرفت. در تمامی آزمایش‌ها



شکل ۳- نمایی از المان‌های شش‌پایه مورد بررسی در آزمایشگاه

۰/۵۹ میلی‌متر با انحراف معیار هندسی ۱/۲۲ استفاده شد، و قطر ذرات رسوبی ۰/۷ میلی‌متر انتخاب گردید.

طبق نظر اتما^۱ (۱۹۸۰)، در جریان‌های کم عمق، گرداب‌های موج کمائی ایجاد شده در سطح آب، به علت گردش در خلاف جهت جریان با جریان تداخل یافته و موجب کاهش در جریان رو به پایین و کاهش عمق آبستگي می‌شود. بنابراین عمق جریان باید به گونه‌ای انتخاب شود که تاثیر آن بر عمق آبستگي از بین برود. پس حداقل عمق انتخاب شده برای از بین بردن این اثر باید ۱/۵ برابر قطر پایه باشد، که در این تحقیق عمق جریان ۱۶ سانتی‌متر انتخاب شد.

آبستگي موضعی به دو حالت آبستگي با بستر متحرک و آبستگي آب زلال تقسیم می‌شود. آبستگي در شرایط آب زلال در شرایطی اتفاق می‌افتد که مواد بستر در بالادست محدوده آبستگي در جای خود ثابت باشند، و به آستانه حرکت نرسیده باشند. در آبستگي آب زلال سرعت متوسط جریان در محدوده $V_c < V < 0.3V_c$ (سرعت بحرانی در آستانه حرکت)، می‌باشد (ملویل و چيو، ۱۹۹۹). آبستگي در این آزمایش از نوع آب زلال بود، زیرا تنها در این حالت حداکثر عمق آبستگي مشاهده می‌شد. با توجه به پروفیل سرعت آزمایشگاهی، سرعت برشی $V_c = 0.32$ متر بر ثانیه و میانگین سرعت $V_c = 0.3$ متر بر ثانیه و $V/V_c = 0.94$ به دست می‌آید. جدول (۱) مشخصات هیدرولیکی جریان را نشان می‌دهد.

در آزمایش‌ها برای رسیدن به عمق حداکثر آبستگي باید پارامترهای مؤثر با در نظر گرفتن موارد زیر انتخاب شوند.

برای انتخاب حداکثر قطر پایه، معیارهای مختلفی مانند ۱- (رودکیوی و اتما^۱، ۱۹۸۳) $D_{Bed}/W \leq 0.16$ ، ۲- (شپارد و همکاران^۲، ۲۰۰۴) و ۳- (میلر^۳، ۲۰۰۳) $D_{Bed}/W \leq 0.15$ در نظر گرفته شده‌اند. W : عرض کانال و D_{Bed} : قطر پایه در محل بستر می‌باشد. بنابراین پایه از جنس پلکسی گلاس و به صورت مربعی با عرض ۷ سانتی‌متر و به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و به صورت مدرج تهیه شد.

رودکیوی و اتما (۱۹۸۳) بیان نمودند برای جلوگیری از ایجاد پدیده ریپل در سطح بستر کانال رسوبی، میانگین اندازه ذرات d_{50} باید از ۰/۶ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد. طبق آزمایش‌های رودکیوی^۴ (۱۹۹۸) به منظور حذف تاثیر اندازه ذرات بر عمق آبستگي موضعی، نسبت قطر پایه به میانگین اندازه ذرات (D_{Bed}/d_{50}) باید بیشتر از ۵۰ باشد. به این ترتیب اندازه میانگین ذرات رسوب استفاده شده باید در شرط $0.6 < d_{50} < 0.8$ صادق باشند.

همچنین برای حذف اثر غیریکنواختی رسوبات بر کاهش میزان آبستگي موضعی مطابق پیشنهاد چيو و ملویل^۵ (۱۹۸۷) میزان

انحراف معیار هندسی ذرات $(\sigma_g = \left(\frac{d_{84}}{d_{16}}\right)^{\frac{1}{2}})$ باید از ۱/۳

کم‌تر باشد. با توجه به شرایط ذکر شده، برای تأمین رسوبات بستر از ماسه‌ی باقی‌مانده بین الک‌های ۲۰ و ۳۰ در محدوده ذرات ۰/۸۳ تا

1 - Rudkivi and Ettema

2 - Sheppard *et al.*

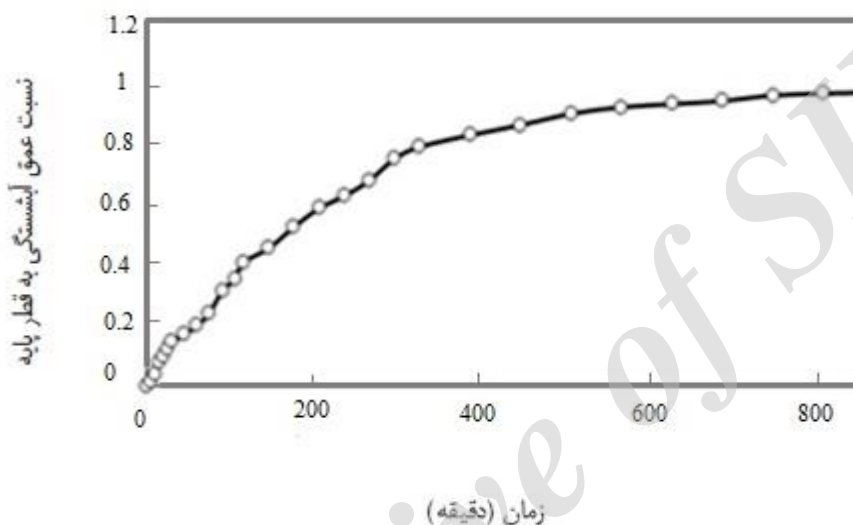
3 - Miller

4 - Rudkivi

5 - Chiew and Mellville

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی حاکم بر آزمایش‌ها

عدد فرود	دبی جریان (متر مکعب بر ثانیه)	عمق جریان (متر)	سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)	جریان متوسط سرعت / بحرانی سرعت
۰/۲۴	۲۷	۰/۱۶	۰/۳	۰/۹۴
۰/۲۲	۲۵	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۸۷
۰/۱۹	۲۲	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۷۵
۰/۱۷	۲۰	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۶۹
۰/۱۶	۱۸	۰/۱۶	۰/۲	۰/۶۲



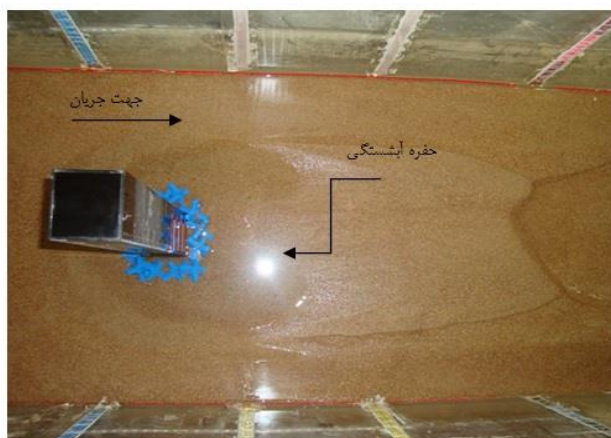
شکل ۴- منحنی توسعه زمانی حفره آبستگي

انتهایی را به طور کامل بسته، آب را با دبی کم وارد کانال می‌شد، تا سطح ناحیه رسوبی به ارتفاع چند سانتی‌متر از آب پوشیده شود، و از حرکت رسوبات پیش از تنظیم دبی جلوگیری شود. سپس با باز کردن تدریجی دریچه انتهایی و شیر ورودی، دبی به میزان مورد نظر می‌رسید. آزمایش‌ها با پنج دبی جریان ۳۷، ۲۵، ۲۰، ۱۸ و ۱۷ لیتر بر ثانیه به ترتیب معادل با پنج عدد فرود جریان بالادست پایه ۰/۲۴، ۰/۲۲، ۰/۱۹، ۰/۱۷ و ۰/۱۶ در بازه زمانی ۳۰۰ دقیقه به عنوان زمان آزمایش، انجام گرفتند. پس از اتمام زمان آزمایش و زهکشی کامل کانال، پروفیل بستر رسوبی به صورت یک شبکه ۳×۳ سانتی‌متری توسط مترلیزری برداشت می‌شد. شکل (۵) نمایی از آبستگي اطراف پایه در دبی ۲۷ در سه حالت قرارگیری المان‌های شش پایه پیرامون پایه پل را نشان می‌دهد.

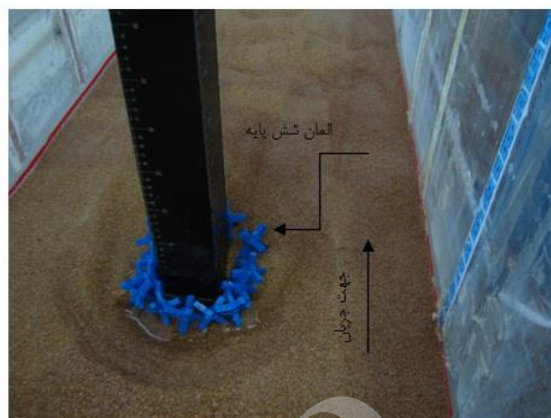
منظور از قرارگیری المان‌ها در سه حالت روی بستر، نیمه بستر و زیر بستر، به ترتیب قرار دادن المان‌های شش پایه روی سطح بستر، قرار گرفتن المان‌ها تا نصف ارتفاع المان درون بستر و قرارگیری المان‌ها به صورت کامل در زیر بستر رسوبی است.

عمق آبستگي در محل پایه پل وابسته به زمان بوده و در طول زمان افزایش می‌یابد. توانایی تخمین عمق آبستگي در طی زمان و به خصوص زمان رسیدن حفره آبستگي به حالت تعادلی برای طراحی پل حائز اهمیت است. در حالت بستر زنده، رسوبات بالادست پایه به درون حفره آبستگي ریزش می‌کنند، و از میزان عمق حفره آبستگي کاسته می‌شود؛ اما در شرایط آب زلال به علت عدم حمل رسوب از بالادست، رسوبات کنده شده از حفره آبستگي جایگزین نشده، و افزایش عمق حفره آبستگي تا رسیدن به تعادل همچنان ادامه دارد. به منظور بررسی زمان تعادل آزمایش‌ها، یک آزمایش ۱۴ ساعته برای دبی ۲۷ لیتر بر ثانیه انجام گرفت و عمق آبستگي جلوی پایه به وسیله عمق سنج و در فواصل زمانی معین اندازه‌گیری شد. پس از انجام آزمایش ۱۴ ساعته، مشخص شد ۸۰ درصد آبستگي در ۵ ساعت اول آزمایش اتفاق افتاده است. شکل ۴ منحنی توسعه زمانی حفره آبستگي را نشان می‌دهد.

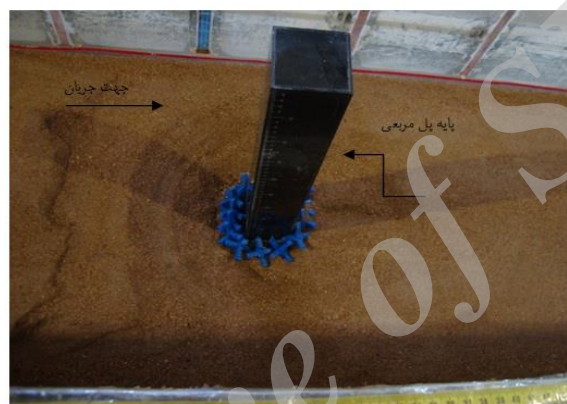
قبل از شروع هر آزمایش سطح بستر رسوبی با اندازه‌گیری توسط مترلیزری و به وسیله ماله بنایی تسطیح می‌شد. سپس دریچه



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۵- توسعه حفرة آبستگى پیرامون پایه پل با کارگذاری المان‌های شش پایه در آزمایشگاه در عدد فرود ۰/۲۴ (الف) روی بستر، (ب) نیمه بستر و (ج) زیر بستر

جدول ۲- حداکثر عمق حفرة آبستگى در آزمایش‌های شاهد

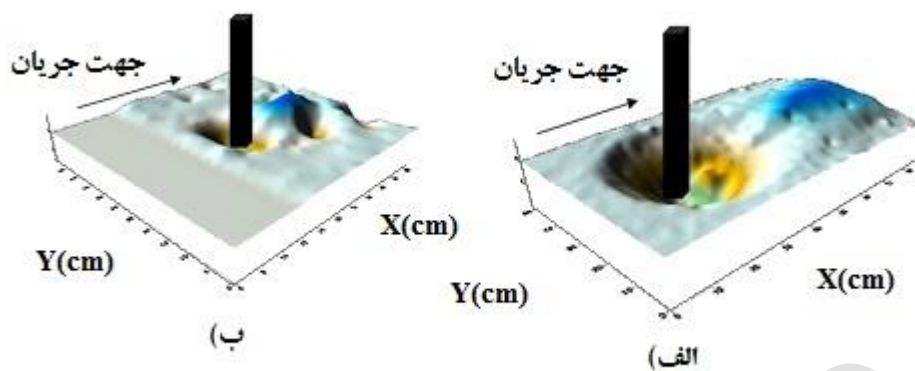
۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۶	عدد فرود
-۹/۹	-۸/۵	-۵/۴	-۴/۲	-۳	حداکثر عمق حفرة آبستگى (سانتی متر)

آزمایش نرخ آبستگى به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت و تغییرات عمق آبستگى ناچیز شد. در تمامی اعداد فرود جریان بالادست پایه بیشترین عمق آبستگى در جلوی پایه اتفاق افتاد، و در دو سمت به صورت متقارن رو به پایین دست پایه از عمق آن کاسته شده، و در پشت پایه مواد شسته شده از جلوی پایه انباشته شدند. هرچه سرعت نسبی جریان بیشتر باشد؛ عمق حفرة آبستگى نیز بیشتر بوده، و مواد شسته شده در فاصله دورتری نسبت به پایه انباشته می‌شد. جدول (۲) حداکثر عمق حفرة آبستگى را نشان می‌دهد. شکل (۶) توسعه حفرة آبستگى پیرامون پایه را در اعداد فرود ۰/۲۴ و ۰/۱۶ نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

الف) آزمایش‌های شاهد (آزمایش‌های بدون حضور المان‌های شش پایه)

هدف از انجام این آزمایش‌ها مشاهده سیستم گردابی و نحوه حرکت ذرات و اندازه‌گیری عمق آبستگى برای مقایسه با حالت‌های بعدی است. با انجام آزمایش‌های بدون حضور المان‌های شش پایه در پیرامون پایه مشاهده شد، که آبستگى توسط جریان‌های رو به پایین شروع شده و پس از آن که عمق حفرة بیشتر شد، گرداب‌های نعل‌اسبی شروع به کار می‌کنند، و باعث کنده شدن بیشتر ذرات می‌شوند، و عمق حفرة بیشتر می‌شود. با گذشت پنج ساعت از شروع



شکل ۶- توسعه حفره آبستنگی در آزمایش های شاهد الف) عدد فرود ۰/۲۴، ب) عدد فرود ۰/۱۶

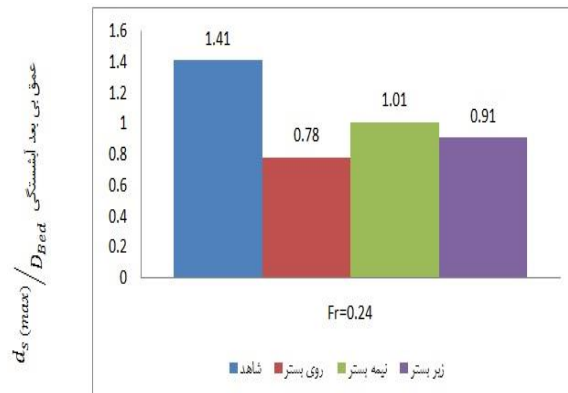
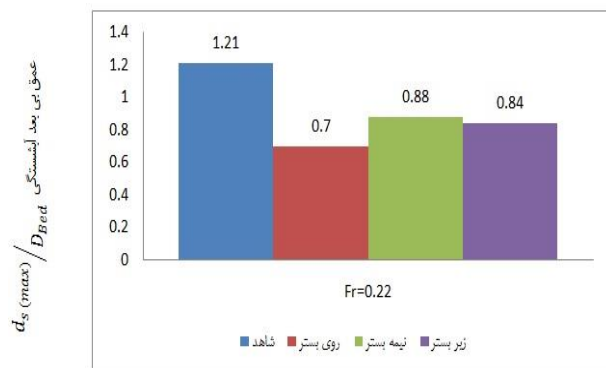
جدول ۳- حداکثر عمق آبستنگی پیرامون پایه با حضور المان های شش پایه

عدد فرود	روی بستر	نیمه بستر	زیر بستر
۰/۲۴	-۵/۵	-۷/۱	-۶/۴
۰/۲۲	-۴/۹	-۶/۲	-۵/۹
۰/۱۹	-۳/۶	-۴/۲	-۴
۰/۱۷	-۳/۲	-۲/۵	-۲/۷
۰/۱۶	-۲/۸	-۱/۳	-۲/۳

هم می چرخند. این جریان های گردابه ای پشت پایه از همان ابتدای آزمایش بیشترین تاثیر را گسترش حفره آبستنگی داشتند. جدول (۳) حداکثر عمق آبستنگی پیرامون پایه با حضور المان های شش پایه را نشان می دهد. شکل (۷) مقایسه بین عمق های بی بعد آبستنگی (نسبت عمق آبستنگی به قطر پایه) در آزمایش های شاهد و المان های شش پایه را در اعداد فرود متفاوت نشان می دهد.

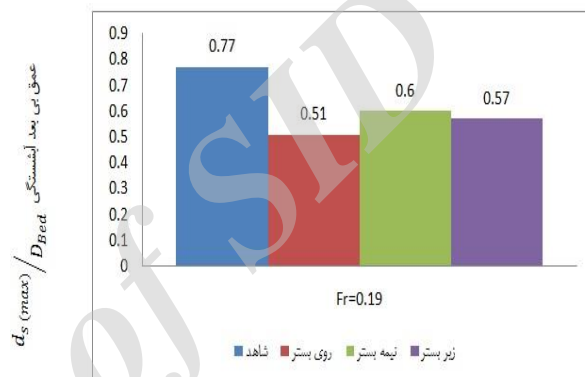
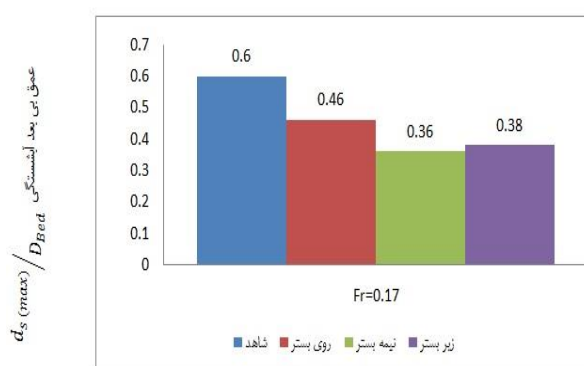
ب) آزمایش با حضور المان های شش پایه پیرامون پایه پل
در این مرحله المان های شش پایه با تراکم ۱۰۰ درصد در اطراف پایه و در سه عمق پیرامون پایه پل قرار داده شدند. وجود این المان ها با تراکم ۱۰۰ درصد باعث مقاوم شدن ذرات بستر در مقابل نیروهای پایین رونده و فشاری جلوی پایه و نیروهای برخاستگی و کششی پشت پایه می شد. گردابه های نعل اسبی در این حالت قدرت کمتری داشته، و آبستنگی از لبه بیرونی المان ها شروع می شد و با نفوذ به زیر المان ها با یک تاخیر زمانی نسبت به آزمایش شاهد حفره آبستنگی تشکیل می گردید. سیستم گردابی پشت پایه متشکل از گردابه ای است، که در دو طرف محور طولی پایه برخلاف جهت

هوشمند و شفافی بجهستان: بررسی آزمایشگاهی تاثیر رقوم کارگزاری المان‌های...



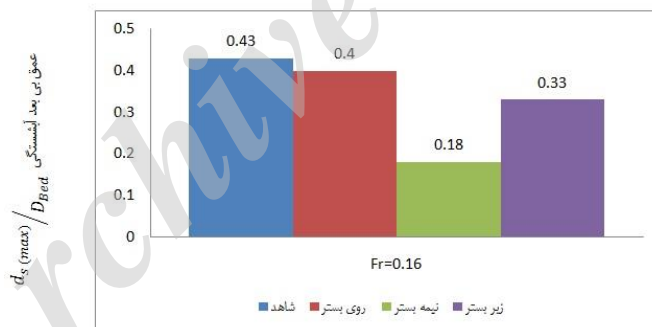
(ب) عدد فرود ۰/۲۲

(الف) عدد فرود ۰/۲۴



(د) عدد فرود ۰/۱۷

(ج) عدد فرود ۰/۱۹



(ه) عدد فرود ۰/۱۶

شکل ۷- مقایسه عمق‌های آبهستگی با و بدون حضور المان‌های شش‌پایه

در این رابطه d_1 : حداکثر عمق آبهستگی در آزمایش شاهد و $d_s(max)$: حداکثر عمق آبهستگی در حضور المان‌های شش‌پایه است. جدول ۴ این درصد کاهش عمق آبهستگی را نشان می‌دهد.

مقایسه نتایج جدول (۳) با نتایج آزمایش‌های شاهد نشان می‌دهد که حداکثر عمق آبهستگی بین ۷درصد تا ۵۷درصد کاهش می‌یابد. درصد کاهش عمق آبهستگی از رابطه (۱) به دست آمد:

$$R\% = \frac{d_1 - d_s(max)}{d_1} \times 100 \quad (1)$$

در عدد فرود ۰/۱۷، در حالت نیمه بستر میزان کاهش آبستگي به ۴۰ درصد رسید، و در همین عدد فرود در شرایط کارگذاری روی و زیر بستر این میزان به ۲۴ درصد و ۳۶ درصد تقلیل یافت. در عدد فرود ۰/۱۶، در حالت روی بستر تنها ۷ درصد کاهش آبستگي نسبت به حالت شاهد مشاهده شد؛ علی رغم اینکه در همین عدد فرود جریان این میزان کاهش به ۲۳ درصد و ۵۷ درصد در شرایط زیر و نیمه بستر مشاهده شد.

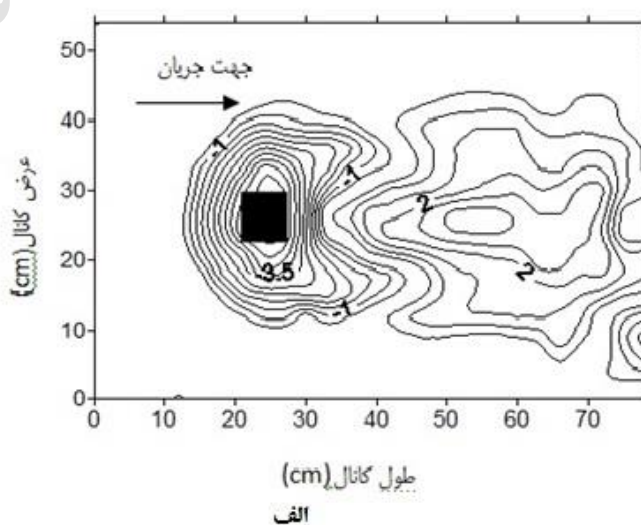
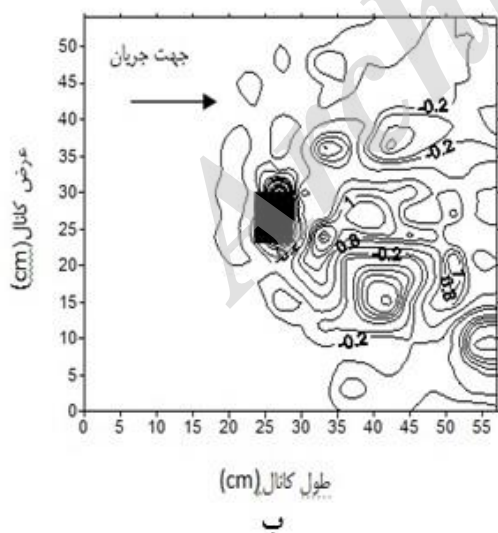
شکل های (۸)، (۹) و (۱۰) توپوگرافی توسعه حفره آبستگي در عدد فرود ۰/۲۴ و ۰/۱۶ برای حالت های کارگذاری روی، نیمه و زیر بستر نشان می دهد. در تمامی شکل ها اعداد روی خطوط میزان عمق آبستگي و رسوب گذاری بر حسب سانتی متر می باشد. اعداد منفی نشان دهنده آبستگي و اعداد مثبت نشان دهنده رسوبگذاری هستند.

به طور کلی در هر حالت با افزایش عدد فرود جریان، حفره آبستگي توسعه طولی و عرضی بیشتری داشت. در حالت قرار گیری المان های شش پایه روی بستر در عدد فرود ۰/۲۴ کاهش ۴۴ درصد آبستگي نسبت به آزمایش شاهد مشاهده شد. در همین عدد فرود، کاهش ۲۸ درصد و ۳۵ درصد آبستگي نسبت به آزمایش شاهد در حالت نیمه و زیر بستر حاصل شد.

در عدد فرود ۰/۲۲ حالت روی بستر توانست ۴۲ درصد آبستگي را کاهش دهد. در همین عدد فرود حالت های نیمه و زیر بستر ۲۷ درصد و ۳۱ درصد آبستگي را کاهش داده است. با کاهش عدد فرود جریان به ۰/۱۹ قرار گیری المان های شش پایه در حالت روی بستر میزان آبستگي را به ۳۳ درصد کاهش داد. ۲۲ درصد و ۲۶ درصد کاهش آبستگي مربوط به حالت نیمه بستر و زیر بستر در همین عدد فرود می باشد.

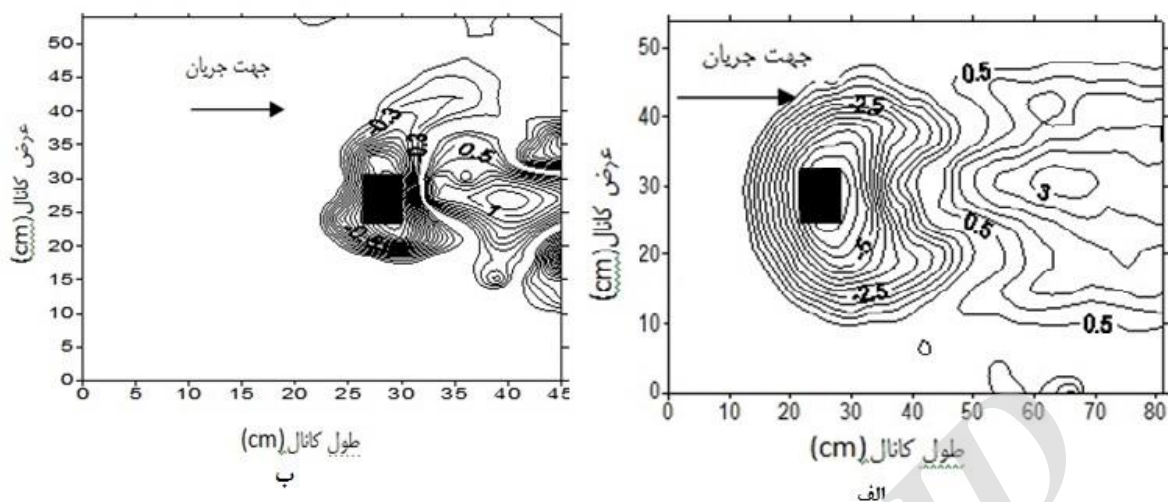
جدول ۴- درصد کاهش عمق آبستگي در مقایسه با آزمایش های شاهد

عدد فرود	درصد کاهش عمق آبستگي		
	روی بستر	نیمه بستر	زیر بستر
۰/۲۴	۴۴	۲۸	۳۵
۰/۲۲	۴۲	۲۷	۳۱
۰/۱۹	۳۳	۲۲	۲۶
۰/۱۷	۲۴	۴۰	۳۶
۰/۱۶	۷	۵۷	۲۳

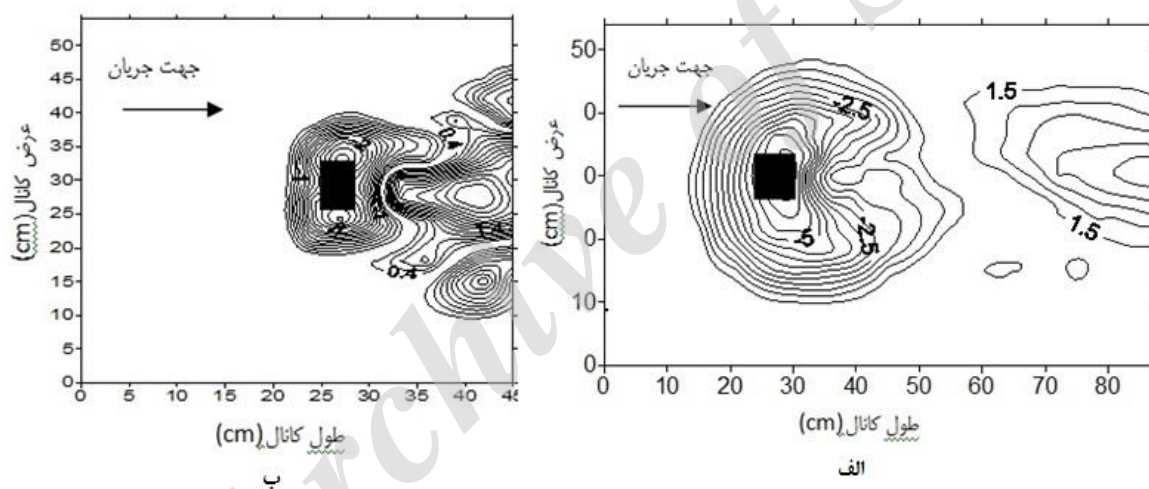


شکل ۸- توپوگرافی توسعه حفره آبستگي با حضور المان های شش پایه روی بستر
الف) عدد فرود ۰/۲۴، ب) عدد فرود ۰/۱۶

هوشمند و شفافی بجهستان: بررسی آزمایشگاهی تاثیر رقوم کارگزاری المان‌های...



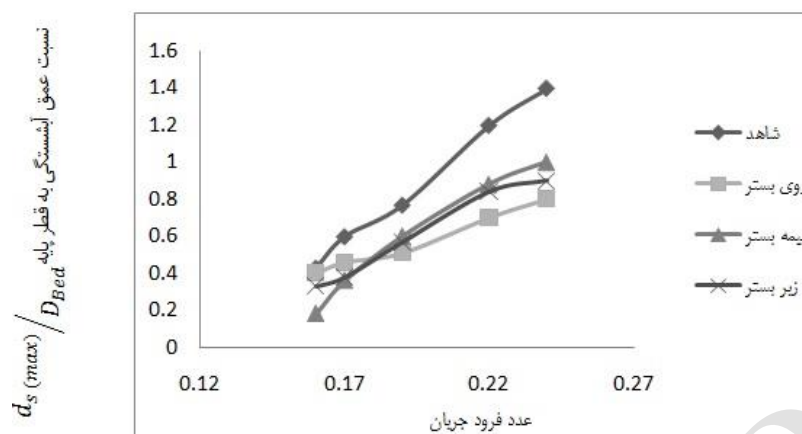
شکل ۹- توپوگرافی توسعه حفره آبستگي با حضور المان‌های شش پایه نیمه بستر
الف) عدد فرود ۰/۲۴، ب) عدد فرود ۰/۱۶



شکل ۱۰- توپوگرافی توسعه حفره آبستگي با حضور المان‌های شش پایه زیر بستر
الف) عدد فرود ۰/۲۴، ب) عدد فرود ۰/۱۶

افزایش عدد فرود جریان، عمق بی بعد آبستگي افزایش می‌یابد.

روند تغییرات عمق بی بعد آبستگي در برابر عدد فرود جریان در شکل (۱۱) آورده شده است با توجه به شکل مشاهده می‌شود که با



شکل ۱۱- نسبت عمق آبستگي به قطر پایه در برابر عدد فرود جریان با قرار گیری المان های شش پایه

- در عدد فرود ۰/۱۶، قرارگیری المان های شش پایه در نیمه بستر کاهش ۵۷ درصد آبستگي را نسبت به آزمایش شاهد نتیجه می دهد.
- حالت قرارگیری المان ها در زیر بستر در تمامی اعداد فرود جریان در کاهش آبستگي عملکرد متوسطی داشت.
- با رسم نمودارهای بدون بعد در خصوص، تغییرات عمق بی بعد آبستگي در مقابل عدد فرود، مشخص شد با افزایش عدد فرود عمق بی بعد آبستگي افزایش می یابد.

نتیجه گیری

در این تحقیق، اثر استفاده از المان های شش پایه در حالت های روی بستر، نیمه بستر و زیر بستر بر آبستگي پایه پل مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش ها در پنج عدد فرود جریان بالادست پایه در شرایط آب زلال طرح ریزی شد. سپس عمق حداکثر آبستگي و پروفیل بستر رسوبی در آزمایش های با و بدون المان های شش پایه برداشت شد. نتایج زیر از آزمایش ها به دست آمد:

- قرارگیری المان ها در روی بستر در عدد فرود ۰/۲۴ موجب کاهش ۴۴ درصد آبستگي نسبت به آزمایش شاهد شده است.

منابع

- ۱- آرم، ن. و م، قمشی. ۱۳۹۲. اثر شمع های حفاظتی بر کاهش آبستگي در پایه پل استوانه ای. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۳): ۱۳۴-۱۳۳.
- ۲- شجاعی، پ. فرسادی زاده، د. و ع، حسین زاده دلیر. ۱۳۹۰. تاثیر توأم صفحات مستغرق و طوق در کاهش عمق آبستگي پایه های استوانه ای شکل پل ها. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۵(۵۷): ۳۳-۲۳.
- ۳- شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۷. هیدرولیک انتقال رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. چاپ سوم
- ۴- صمیمی بهبهان، ت. بارانی، غ. ع. رحیم خانی، م. و م. ج، خانجانی. ۱۳۸۵، بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مستغرق بر آبستگي پایه پل ها. همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- ۵- عقلی، م. و م. ع. زمردیان. ۱۳۹۲. تأثیر توأم طوق و کابل بر روی عمق آبستگي اطراف پایه پل در قوس رودخانه ها. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۶(۳): ۴۰-۳۱.
- 6- Chiew, Y.M. and B.W. Mellville. 1987. Local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Research, 25(1): 15-26.
- 7- Chiew, Y.M. 1992. Scour protection at bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 118(9): 1260-1269.

- 8- Dey, S. Sumer, B.M. and J. Fredsoe. 2006. Control of scour at vertical circular piles under waves and current. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(3): 270-279.
- 9- Ettema, R. 1980. Scour at Bridge Piers. Report No 216, University of Auckland, School of Engineering.
- 10-Grimaldi, C., Gaudio, R., Calomino, F. and A. Cardoso. 2009. Counter-measures against local scour at bridge piers: slot and combined system of slot and bed sill. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 35(5):425-431.
- 11-Melville B. W. and Y. M. Chiew. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulics Engineering*, ASCE, 125 (1): 59-65.
- 12-Miller, W. 2003. Model for the time rate of local sediment scour at cylindrical structure. Ph.D.Thesis, University of Florida.
- 13-Moncada M A.T., Aguirre-Pe, J., Bolivar J.C. and E.J. Flores. 2009. Scour protection of circular bridge piers with collars and slots. *J. Hydraulic Research*, 47(1): 119-126.
- 14-Rudkivi, A. J. Ettema. R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 109(3): 339-350.
- 15-Rudkivi, A. J. 1998. Loose boundary hydraulics. 3rd Edition, Rotterdam, Brookfield. Pp. 496-514.
- 16-Sheppard, D. M., Odeh, M. and T. Glasser. 2004. Large scale clear-water local scour experiments. *Journal of Hydraulics Engineering*, ASCE, 130(10): 957-963.
- 17-Unger, J. and W.H. Hager. 2006. Riprap failure at circular bridge piers. *Journal Hydraulics Engineering*, ACSE. 132(4):354- 362.
- 18-Zarrati A.R. Gholami, H. and M.B. Mashahir. 2004. Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. *J. Hydraulic Research*, 42(1): 97-103.