


Effect of Floating Debris and Slot on Scouring around a Bridge Pier

Damoon Mohamad Ali Nezhadian¹, Hossein Hamidifar^{2*}

1- M.Sc. Student of Hydraulic Structures, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2- Water Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran.

*hamidifar@shirazu.ac.ir

Received: 27 December 2019, Accepted: 15 February 2020  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: One of the significant issues in bridge hydraulics and river engineering is bridge pier scouring. Scour is a phenomenon caused by the flow of water in rivers and channels. Determining the maximum depth of scouring is essential as it indicates the amount of potential degradation of the flow around the structure and also plays a decisive role in estimating the dimensions and size of structures. In hydraulic structures, this phenomenon can damage the stability of hydraulic structures because water can wash sediments beneath and around hydraulic structures and carry them in the along the flow. Over time, this phenomenon drains around the bridge pier and, eventually leading to the destruction of the bridge. Generally, two fundamental procedures may reduce scour around bridge piers. First, it includes changing the flow pattern such as using a slot through the pier, for example. The second method includes enhancing the ability of the bed material to withstand erosion such as placing riprap in front of the pier. In the recent years, piercing a slot through the pier is a new method to control the depth of scouring. The mechanism of operation of the slot reduces the strength of the horseshoe vortex due to the reduction of the effective diameter of the pier. Although many studies have been carried out on the scouring of bridge piers so far, the study on the effect of floating debris on the effectiveness of a slot in protecting the pier against this phenomenon has not been investigated so far. The purpose of this study is to investigate the simultaneous effect of slot and debris on the scour around bridge piers. So, the results of different bridge-pier tests in clear water conditions are presented.

Methodology: The experiments were performed in Sediment Hydraulics Laboratory, Water Engineering Department, Shiraz University in a glass-walled flume with a rectangular cross-section of 0.4 m width and 9 m length with a slope of 0.002. At the downstream end of the flume, a tailgate was installed to adjust the flow depth. Uniformly graded sediment particles with a median diameter of 0.8 mm were used. In each experiment, the discharge rate was determined to maintain the clear water scour conditions according to the ratio of the average velocity to critical velocity ($U_c/U=1$). The diameter of the bridge pier model used in this study was 40 mm. The width of the slot used was 10 mm corresponds to $\frac{1}{4}$ of the pier diameter. Also, a 200 mm long and 12 mm diameter cylinder installed on the pier at the water surface was used to simulate the accumulated debris. The first experiment was performed with a bridge pier without slot and debris accumulation (control experiment), and each other test was a combination of the presence or absence of slot and debris.

Results and discussion: The results showed that although the presence of the slot reduces the

maximum scour depth, the accumulated debris neutralized this effect considerably. It was found that using the slot solely can reduce the scour depth up to 20%, but the debris accumulation reduces this value to 15%. In the control case, with the code NS-ND-130, the d_s/b ratio is 0.85, where d_s and b are the maximum scour depth and pier diameter, respectively. It was also observed that in NS-D12-130, i.e., the simple pier with accumulated debris and flow depth of 130 mm, this ratio is 1, which is 17.6% greater compared to the control test. The reason for this increase is the presence of debris. The slot guides the flow in a straight line and prevents the flow separation. Hence, in the S-D12-130 experiment, i.e., a slotted pier with accumulated floating debris, the maximum scour depth decreased by 11% compared to the control, and the ratio (d_s/b) indicating maximum scour depth it reached 0.775, indicating the effect of the slot in reducing scour. Besides, it was observed that with increasing the flow depth, the effect of debris would decrease. Since no relationship has been provided so far to calculate the maximum depth of scour around the bridge piers in the presence of slot and floating debris, the d_s values in the present study are compared with the results of other researchers with no slots and no floating debris conditions.

Conclusion: Various methods have been proposed by researchers to reduce scour and protect the bridge pier against scour, for example, a vertical slot through the pier. In this study, the effect of accumulated floating debris during floods on the effectiveness of a slot in reducing the scour around a cylindrical bridge pier was investigated. The results showed that although the presence of the slot reduces the scour depth, the accumulated debris neutralized this effect considerably. Finally, although using the slot can reduce the scour depth to 20%, but the debris accumulation reduces this value to 15%.

Keywords: Scour, River engineering, Bridge pier, Slot, Debris.

تأثیر توأمان شکاف و جسم شناور بر آبشستگی اطراف پایه پل

دامون محمد علی نژادیان^۱، حسین حمیدی فر^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲- استادیار سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

*hamidifar@shirazu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۶، پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۶ و ب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: پدیده آبشستگی پایه پل، یکی از موضوع‌های مهم در زمینه هیدرولیک پل‌ها و مهندسی رودخانه می‌باشد. به همین دلیل، بررسی این پدیده در شرایط مختلف به منظور برآورد بیشینه عمق فرسایش پایه و کاهش خطر آبشستگی و تخریب پل، امری ضروری است. هدف این تحقیق بررسی اثرگذاری‌های همزمان حضور شکاف و اجسام شناور بر آبشستگی اطراف پایه پل است. بر این مبنای نتایج مربوط به آزمایش‌های مختلف پایه پل در شرایط آب زلال ارائه شده است. نتایج نشان داد که هر چند استفاده از شکاف می‌تواند به تنهایی باعث کاهش ۲۰٪ عمق آبشستگی شود اما تجمع اجسام شناور این مقدار را تا ۱۵٪ کاهش می‌دهد. همچنین اجسام شناور باعث می‌شوند در حالت بدون شکاف عمق آبشستگی تا ۱۷/۶٪ در مقایسه با حالت بدون تجمع اجسام شناور افزایش یابد. این نتایج نشان می‌دهد که تجمع اجسام شناور می‌تواند تأثیر شکاف در کاهش آبشستگی اطراف پایه را خنثی کرده که نیازمند توجه جدی در مرحله طراحی و همچنین انجام آزمایش‌های بیشتر به منظور بررسی و ارزیابی این مسئله در شرایط مختلف می‌باشد.

کلید واژگان: رسوب‌گذاری، مهندسی رودخانه، تخریب پل‌ها، فرسایش.

۱- مقدمه

آبشستگی را تسریع می‌کنند (Daneshfaraz et al., 2019). در طول دهه‌های گذشته روش‌های مختلفی برای مقابله با آبشستگی پایه پل پیشنهاد شده است. به طور خلاصه، این روش‌ها را می‌توان به دو دسته کلی روش‌های تغییر الگوی جریان و روش‌های مقاوم‌سازی ذرات بستر تقسیم کرد. در روش تغییر الگوی هیدرولیکی جریان، استفاده از شمع‌های فداشونده، شکاف و طوق، از جمله روش‌هایی هستند که به منظور کاهش آبشستگی پایه پل‌ها به کار می‌روند (Masjedi and Gholamzadeh, 2011; Shojaei et al., 2011; Arvanaghi et al., 2013; Izadnia and Heydarpoor, 2014; Movahedi et al., 2015; Bahrami and Ghomeshi, 2019; Davodi et al., 2019). روش‌های تغییر الگوی جریان، کاهش قدرت جریان پایین رونده و گرداب نعل اسبی می‌باشد که علت اصلی آبشستگی پایه پل است (Melville, 1997; Hormozi et al., 2014). در روش مقاوم‌سازی ذرات بستر، با استفاده از سنگ‌چین (ریپ‌رپ)، قطعه‌های بتنی پیش ساخته و دیگر اجزا متصل

آبشستگی پدیده‌ای است که در اثر جریان آب در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها رخ می‌دهد. تعیین بیشینه عمق آبشستگی از آن جهت دارای اهمیت است که بیان‌گر میزان قابلیت (پتانسیل) تخریب جریان در اطراف سازه بوده و همچنین نقش تعیین‌کننده‌ای در برآورد ابعاد و اندازه‌های طراحی پی سازه‌ها ایفا می‌کند (Esmaeili-Varaki and Saadati-Pacheh Kenari, 2016). منای ایجاد این پدیده ایجاد خلأ در مرزهای تماس دو محیط، به دلیل تغییر سرعت سیال است که می‌تواند به پایداری و دوام سازه‌های هیدرولیکی آسیب برساند. به طور کلی وجود یک بازدارنده در مسیر جریان آب، موجب تلاطم جریان در اطراف آن شده و یک مجموعه (سری) از جریان‌های گردابه‌ای را به وجود می‌آورد (Breusers, 1997; Majedi-Asl et al., 2019, Keshavarzi et al., 2019). این فرایندها به تدریج سبب تشکیل الگوهای جریان مخرب در اطراف پایه‌های پل می‌شوند و فرایند

و نتیجه گرفتند که بیشینه عمق آبشستگی با گستره شکاف رابطه عکس دارد.

جریان رودخانه در حین حرکت به سمت پایین دست، اجسامی مانند تنه و شاخ و برگ درختان را با خود حمل کرده و این مواد در برخورد با بازدارنده‌هایی مانند پایه‌های پل روی یکدیگر تجمع پیدا کرده و باعث تغییر در الگوی جریان می‌شوند (Pasokhi et al., 2017). بنابراین، بررسی تجمع اجسام شناور اطراف پایه پل و لزوم جلوگیری از این فرایند یا اتخاذ روشی مناسب برای جلوگیری از افزایش عمق آبشستگی در حضور اجسام شناور به منظور حفاظت از پل‌ها، امری ضروری می‌باشد. نتایج تحقیقات بسیاری نشان می‌دهد که تجمع شاخ و برگ و تنه درختان در بالادست پایه‌های پل، با مسدود کردن تمام یا بخشی از دهانه پل، باعث تغییر الگوی جریان و تسریع در روند آبشستگی در اطراف پایه‌های پل می‌شود (Sedell, 1988; Lyn et al., 2003; Moshashaie et al., 2015; Ruiz-Villanueva, 2016).

Lagasse et al. (2010) با بررسی تأثیر جسم شناور بر بیشینه عمق آبشستگی، نتیجه گرفتند که با توجه به میزان انسداد ایجاد شده توسط جسم شناور در جلوی پایه، ابعاد گردابه‌های تشکیل شده می‌تواند نسبت به حالت بدون جسم شناور بزرگتر یا کوچکتر باشد. با بررسی اثر انباشتگی اجسام شناور بر طول و عرض گودال آبشستگی مشخص شد که در حالت تجمع اجسام شناور، بیشینه طول و عرض گودال آبشستگی، به ترتیب به ۳ و ۴ برابر حالت بدون تجمع اجسام شناور می‌رسد (Pagliara and Caranica, 2010).

Abousaiedi et al. (2018) تاثیر اجسام شناور بر الگوی جریان و آبشستگی بستر در اطراف تکیه‌گاه و پایه پل را به صورت آزمایشگاهی بررسی و چنین نتیجه گرفتند که عمق آبشستگی ایجاد شده در حضور اجسام شناور، با ضخامت نسبی اجسام شناور رابطه مستقیم دارد.

با وجود اینکه تاکنون بررسی‌های بسیاری در زمینه آبشستگی پایه‌های پل صورت گرفته است اما بررسی تأثیر همزمان شکاف و اجسام شناور بر این پدیده تاکنون بررسی و ارزیابی نشده است. لذا هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی تأثیر تجمع اجسام شناور در بالادست پایه بر

به بستر، مقاومت آن در برابر آبشستگی افزایش می‌یابد (Sousa and Riberia, 2019; Hosein-Reza et al., 2019). Melville (1992) در نتایج تحقیقی اشاره کرد که ۷۰ درصد هزینه‌های شکست پل در نیوزلند به دلیل شکست پایه‌های پل در اثر آبشستگی بوده است. تحقیقات صورت گرفته بر روی ۳۸۳ پل در ایالات متحده آمریکا، نشان می‌دهد که در ۲۵ درصد آنها تخریب پایه و در ۷۵ درصد تخریب تکیه‌گاه عامل اصلی شکست و تخریب پل بوده است (Kayaturk, 2005). با مطالعه نتایج بررسی‌های انجام شده مربوط به ۵۰۰ مورد از خرابی‌های پل در ایالات متحده آمریکا بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰، مشخص شد که سه دلیل عمده تخریب پل‌ها، آبشستگی، سیل و نیروی وارده به پایه است (Wardhana and Hadipriono, 2003). در نتیجه یک تحقیق گسترده در زمینه آبشستگی، اداره فدرال بزرگراه-های آمریکا گزارش داد که آبشستگی و سیلاب‌های رخ داده در این کشور بین سال‌های ۱۹۶۴ تا ۱۹۷۲، بالغ بر ۱۰۰ میلیون دلار آسیب و زیان به بار آورده است (Brandimarte et al., 2012). Shen (1969) با تغییر دادن مقادیر قطر و عرض پایه، بیشینه عمق آبشستگی در آب زلال را بررسی و مشخص کرد که تاثیر عرض و قطر پایه بر آبشستگی بیشتر از فاصله پایه است.

در سال‌های اخیر استفاده از شکاف در پایه‌های پل، به عنوان روشی جدید برای مدیریت و مهار (کنترل) آبشستگی مطرح شده است. هدف اصلی از ایجاد شکاف، کاهش قدرت برخورد جریان رو به پایین با بستر رودخانه می‌باشد (Heidarpour et al., 2003). محل قرارگیری، عرض، طول و مقداری از شکاف که در بستر رودخانه قرار می‌گیرد، از جمله عامل‌های موثر بر جریان در اطراف پایه‌های پل دارای شکاف هستند (Melville, 1997). Cheiw (1995) با بررسی فراسنجه (پارامتر)هایی مانند عرض، ارتفاع و موقعیت شکاف نشان داد که با قرارگیری یک شکاف با عرض یک-چهارم قطر پایه پل و ارتفاع شکاف بزرگتر از ۲ برابر قطر پایه، شکاف نزدیک بستر به میزان ۲۰ درصد و شکاف نزدیک سطح آب تا ۵ درصد به کاهش عمق آبشستگی کمک می‌کند. همچنین Ardalani et al. (2019) تأثیر گستره شکاف بر آبشستگی اطراف پایه مستطیلی را بررسی کردند

اثرگذاری شکاف در کاهش آبشستگی اطراف پایه پل است.

۲- مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز و در یک فلوم از جنس شیشه با مقطع مستطیلی به عرض ۰/۴ متر و طول ۹ متر با شیب کف ۰/۰۲ انجام شد. دیواره‌های فلوم از جنس شیشه به ضخامت ۶ میلی‌متر می‌باشد. در انتهای فلوم نیز یک دریچه تنظیم تعبیه شده تا به وسیله آن بتوان عمق آب روی بستر رسوبی را تنظیم کرد. در ابتدای فلوم نیز مخزنی قرار دارد که برای آرام کردن جریان تعبیه شده است. به منظور تعیین فراسنجه‌های مهم در پدیده آبشستگی موضعی اطراف پایه پل استوانه‌ای شکاف‌دار در حضور تجمع جسم شناور، با استفاده از نظریه (تئوری) π باکینگهام و با حذف فراسنجه‌های که در تحقیق حاضر ثابت در نظر گرفته شده بودند، از جمله دانه‌بندی رسوبات، عرض و ارتفاع شکاف، طول جسم شناور و شکل آن و همچنین با عنایت به این نکته که آبشستگی در حالت شبه‌تعادلی بررسی شده است، عمق آبشستگی بدون بعد در هر نقطه (ds/b) به عنوان تابعی از موقعیت مکانی آن نقطه نسبت به مرکز پایه (x/b) و همچنین عدد فرود جریان (Fr) به دست آمد.

از رسوب‌های از جنس کوارتز با قطر میانگین ۰/۸ میلی‌متر در لابه‌ای به ضخامت ۲۰۰ میلی‌متر به منظور شبیه سازی بستر فرسایش‌پذیر استفاده شد. سامانه تأمین آب نیز شامل یک مخزن ذخیره زیرزمینی به ظرفیت ۱۰۰ متر مکعب می‌باشد و آب مخزن توسط دو پمپ سانتریفیوژ با بیشینه دبی ۱۲۰ لیتر بر ثانیه به ارتفاع ۸ متر پمپاژ می‌گردد. قطر پایه پل مورد استفاده در این آزمایش ۴۰ میلی‌متر است که به منظور شبیه سازی شکاف، بر مبنای توصیه Chiew (1995) شکافی به عرض ۱۰ میلی‌متر و ارتفاع معادل ارتفاع آب روی پایه تعبیه شد. در آغاز، آزمایش با پایه پل بدون شکاف و جسم شناور انجام شد و در ادامه نیز وضعیت‌های مختلف شامل حضور و بدون حضور شکاف و جسم شناور بررسی شد. برای شبیه‌سازی جسم شناور تجمع یافته در بالادست پایه در آزمایش‌های این تحقیق، استوانه‌ای از

جنس تفلون با قطر ۱۲ میلی‌متر در سطح آب و به صورت عمود بر جهت جریان اصلی روی پایه نصب شد. برای خواندن عمق آبشستگی، از دستگاه سنجش لیزری با دقت $\pm 0/1$ میلی‌متر استفاده شد. خواندن عمق آبشستگی در شبکه‌ای از نقاط طولی و عرضی و به فاصله‌های ۲۰ میلی‌متر از بالادست، پایین‌دست، چپ و راست پایه انجام و از آن به منظور ترسیم شکل سه-بعدی چاله آبشستگی استفاده شد. با انجام یک آزمایش به مدت ۴۸ ساعت مشخص شد که ۸۰٪ از بیشینه عمق آبشستگی در شش ساعت اول رخ می‌دهد و بنابراین مدت زمان انجام آزمایش‌ها شش ساعت در نظر گرفته شد. اگرچه این مدت زمان، باعث رسیدن چاله آبشستگی به بیشینه عمق تعادلی نمی‌شود اما از آنجا که هدف اصلی این تحقیق مقایسه حالت‌های مختلف حضور شکاف و جسم شناور تجمع یافته در بالادست پایه است، فراسنجه زمان در این مقایسه ثابت بوده و از متغیرهای مورد بررسی حذف می‌شود. این امر در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده در زمینه آبشستگی پایه پل گزارش شده است. از جمله Melville and Chiew (1999) در نتیجه بررسی‌های خود اظهار می‌دارند، که پس از گذشت ۱۰٪ از زمان مورد نیاز برای تعادل چاله آبشستگی، تا ۸۰٪ از بیشینه عمق آبشستگی تعادلی ممکن است رخ دهد.

آزمایش‌های این تحقیق در شرایط آب زلال و شامل ۸ آزمایش با دو دبی ۱۳ و ۱۶ لیتر بر ثانیه می‌باشد که به منظور آسانگری در ارائه نتایج، برای هر آزمایش یک کد تعریف شده است. به این صورت که حرف S نماد واژه Slot به معنی شکاف، D12 نماد واژه Debris به معنی جسم شناور، NS و ND به ترتیب به معنای بدون حضور شکاف و جسم شناور و اعداد 130 و 160 معرف عمق جریان متناظر با دو دبی مورد استفاده می‌باشد. به عنوان مثال کد NS-ND-130 به معنی آزمایش با پایه پل بدون شکاف و بدون جسم شناور (پایه ساده) در عمق جریان ۱۳۰ میلی‌متر است. در شکل ۱، نمای بالای آبراهه (کانال) آزمایشی مورد استفاده را نشان می‌دهد.

باید اشاره کرد که فراسنجه‌های زیادی در آبشستگی اطراف پایه پل تاثیر دارند. این فراسنجه‌ها شامل فراسنجه‌های مربوط به جریان مانند عمق و سرعت آب، فراسنجه‌های

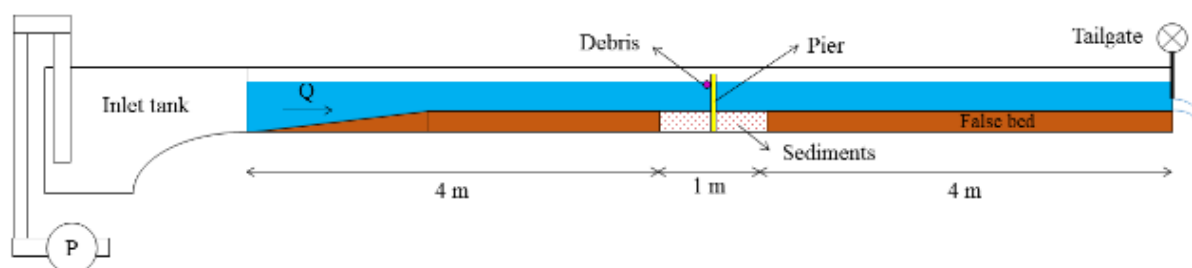


Fig. 1 Schematic view of the experimental flume (not in scale)

شکل ۱ طرح و شمای کلی فلوم مورد استفاده (بدون مقیاس)

جابجایی ذرات رسوب توسط گردابه‌ها کاهش می‌یابد. برابر مشاهده‌ها، بیشینه عمق آبشستگی در بالادست پایه رخ می‌دهد. در پایین دست پایه پل، به دلیل قدرت بالای گرداب برخاستگی، تپه‌های رسوبی تشکیل می‌شوند. نیمرخ طولی چاله آبشستگی در خط مرکزی آبراهه در آزمایش‌های مختلف در شکل‌های ۲ تا ۹ آورده شده است که در ادامه به طور جداگانه بحث خواهند شد.

۳-۱- پایه پل بدون شکاف و بدون جسم شناور

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در حالت شاهد یعنی آزمایش NS-ND-130 میزان نسبت ds/b برابر 0.85 است. همچنین مشاهده می‌شود که در شکل ۳ یعنی در حالت NS-D12-130 این نسبت به ۱ رسیده است که در قیاس با حالت شاهد، $17/6$ درصد افزایش پیدا کرده است. علت این افزایش عمق، وجود جسم شناور است. هردو این رقم‌ها مربوط به عمق جریان 130 میلی‌متر هستند. برای عمق جریان 160 میلی‌متر نیز می‌توان گفت که در حالت شاهد یعنی NS-ND-160 که در شکل ۴ نشان داده شده است، نسبت (ds/b) برابر ۱ است اما در شکل ۵ یعنی در حالت NS-D12-160 این رقم به $1/0.75$ می‌رسد که گویای افزایش $7/5$ درصدی عمق آبشستگی است. علت این امر این است که با افزایش عمق، سرعت جریان کاهش می‌یابد و کاهش سرعت موجب برخورد آرام‌تر جریان آب به پایه و کاهش اثر انسداد و جدایی و گسستگی خطوط جریان شده، و ادامه این روند با کاهش قدرت گرداب‌های نعل اسبی و جریان‌های روبه پایین اطراف پایه، موجب کاهش مکیده شدن و شسته شدن رسوب‌های اطراف پایه می‌شوند.

مربوط به ذرات بستر و فراسنجه‌های مربوط به پایه پل مانند قطر پایه هستند. در این راستا، در زمینه برآورد آبشستگی پایه پل، نتایج تحقیقات دیگر محققان اشاره شده است که به صورت معادله بیان و در جدول ۱ ارائه شده‌اند. این مقایسه با هدف تعیین میزان دقت رابطه‌های تجربی در برآورد عمق آبشستگی پایه‌های دایره‌ای شکل پل ارائه شده و مبنای این معادله‌ها، عمق آبشستگی اطراف پایه است. در این جدول، ds بیانگر بیشینه عمق آبشستگی اطراف پایه، b نشان‌دهنده قطر پایه، y نشان‌دهنده عمق جریان، v سرعت جریان و g شتاب ثقل است.

جدول ۱ برخی از معادله‌های تجربی متداول مربوط به برآورد آبشستگی اطراف پایه پل

Table 1 Some of the commonly used empirical equations for estimating the maximum scour depth around bridge piers

Equation	Reference
$ds=1.73b(y/b)^{0.78}-y$	Inglis-Poona (1949)
$ds=1.49b^{0.9}(v^2/2g)^{0.1}$	Coleman (1971)
$ds=1.5b$	Neill (1973)
$ds=2.2(b/y)^{0.65}y(Fr)^{0.43}$	CSU (1975)
$ds=1.4b$	Breusers et al. (1977)

۳- نتایج و بحث

در همه‌ی آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بی‌درنگ در اطراف پایه گردابه‌ها تشکیل و آبشستگی با سرعت بسیار بالا آغاز شد و حفره آبشستگی نیز آغاز به شکل‌گیری کرد. با شکل‌گیری حفره آبشستگی رسوب‌های برخاسته از حفره به پایین دست انتقال یافتند. با ادامه این روند، رسوب‌های انتقالی تحت تاثیر جریان‌های ثانویه قرار گرفتند و شیارهای کوچکی در اطراف پایه تشکیل دادند. پس از توسعه حفره آبشستگی و عمیق شدن آن امکان

۲-۳- تأثیر شکاف پایه بدون جسم شناور بر آبشستگی

در این بخش نتایج و تحلیل‌های مربوط به پایه پل شکاف‌دار بدون جسم شناور ارائه می‌شود. همان‌طور که اشاره شد آنچه مسلم است، کارایی مدل شکاف‌دار در هر شرایطی از مدل بدون شکاف بیشتر است. برابر شکل ۶ که مربوط به آزمایش S-ND-130 است، نسبت ds/b برابر 0.75 بوده که نسبت به حالت شاهد ($ds/b=0.87$) $14/3$ درصد عمق بیشینه آبشستگی کاهش یافته است که دلیل تأثیر مثبت شکاف است. همانند با همین استدلال و برای آزمایش S-ND-160 که در شکل ۷ آورده شده است، نسبت ds/b برابر 0.8 است که در مقایسه با حالت شاهد (در حالت شاهد برای 0.8 دبی، این نسبت برابر ۱ است) 20 درصد کاهش عمق آبشستگی را نشان می‌دهد و نشان از تأثیر مثبت استفاده از شکاف در کاهش عمق آبشستگی اطراف پایه پل دارد.

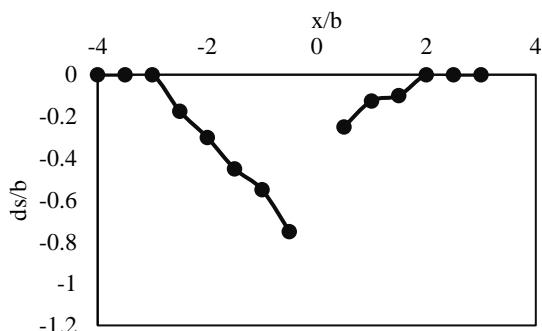


Fig. 6 Scour profile in the test S-ND-130
شکل ۶ نیمرخ طولی آبشستگی در آزمایش S-ND-130

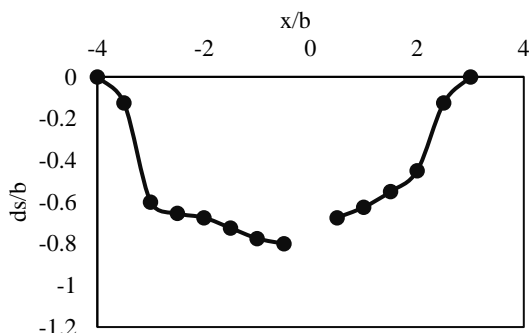


Fig. 7 Scour profile in the test S-ND-160
شکل ۷ نیمرخ طولی آبشستگی در آزمایش S-ND-160

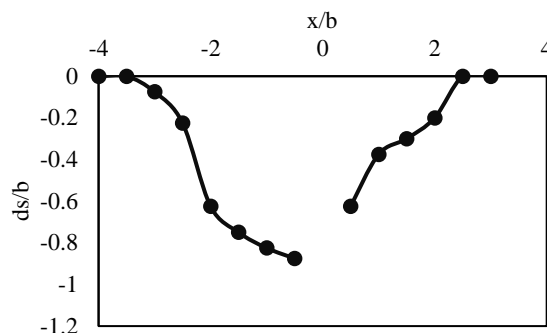


Fig. 2 Scour profile in the test NS-ND-130
شکل ۲ نیمرخ طولی آبشستگی در آزمایش NS-ND-130

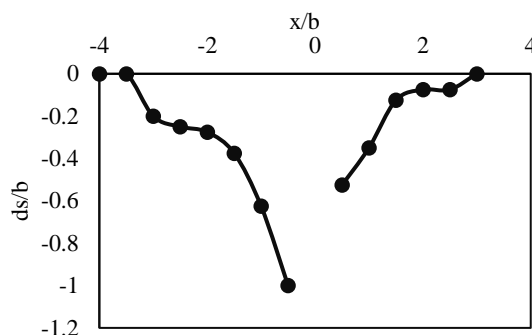


Fig. 3 Scour profile in the test NS-D12-130
شکل ۳ نیمرخ طولی آبشستگی در آزمایش NS-D12-130

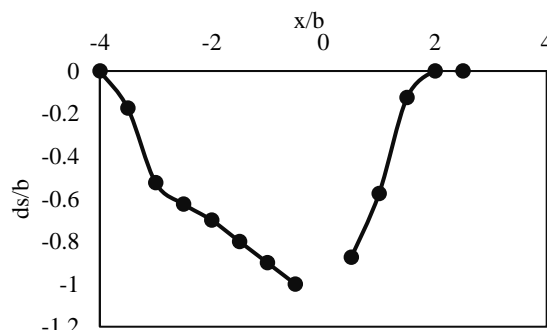


Fig. 4 Scour profile in the test NS-ND-160
شکل ۴ نیمرخ طولی آبشستگی در آزمایش NS-ND-160

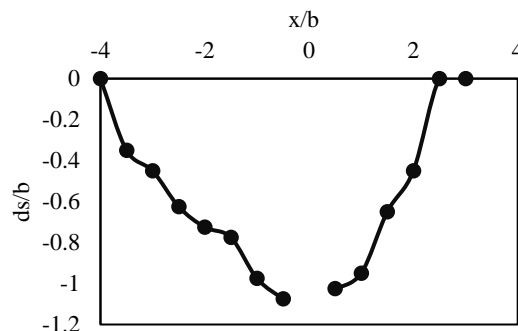


Fig. 5 Scour profile in the test NS-D12-160
شکل ۵ نیمرخ طولی آبشستگی در آزمایش NS-D12-160

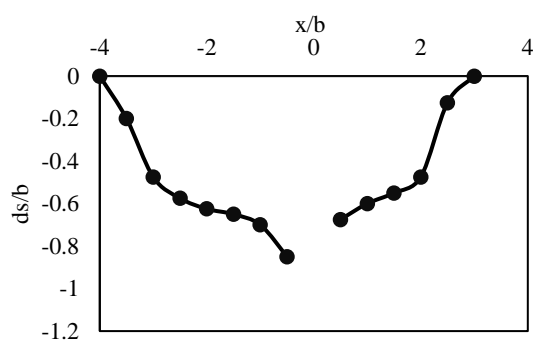


Fig. 9 Scour profile in the test S-D12-160

شکل ۹ نیمرخ طولی آبشستگی در آزمایش S-D12-160

خلاصه نتایج مربوط به تغییرها در بیشینه عمق آبشستگی در جدول ۲ آورده شده است. به طور کلی بایستی بیان کرد که با حضور و تجمع جسم شناور، لایه‌های مرزی اطراف پایه تشکیل شده و همین لایه‌ها سبب جدایی جریان می‌شوند. از سویی دیگر جریان‌های ثانویه شکل گرفته در اثر جدایی جریان، سبب افزایش طولی و عرضی گودال آبشستگی می‌شوند.

۳-۴- مقایسه با پژوهش‌های پیشین

از آنجا که تا کنون رابطه‌ای برای محاسبه بیشینه عمق آبشستگی اطراف پایه پل در حضور شکاف و جسم شناور ارائه نشده است، در جدول ۳ مقادیر ds در این تحقیق، که مربوط به پایه بدون شکاف و بدون جسم شناور می‌باشد، با نتایج بررسی‌های محققان دیگر به صورت عددی آورده و مقایسه شده است. مقادیر موجود در این جدول برابر با معادله‌های ارائه شده در جدول ۱ می‌باشند. میزان عمق آبشستگی این تحقیق که در این جدول آورده شده است مربوط به پایه بدون شکاف و بدون جسم شناور می‌باشد و با مقادیر محاسبه شده توسط دیگر محققان همخوانی مناسبی دارد. همچنین لازم به یادآوری است که میزان به دست آمده در این تحقیق به ازاء ۸۰ درصد از بیشینه عمق آبشستگی تعادلی می‌باشد و علت اختلاف عددی مقدار تحقیق حاضر با برخی مقادیر نیز همین موضوع است. همچنین بایستی اشاره شود که همه این آزمایش‌ها برای پایه پل ساده و در شرایط آب زلال انجام گرفته‌اند اما دیگر شرایط آزمایشی مانند دانه‌بندی و قطر پایه و سرعت و ارتفاع جریان با هم متفاوت هستند. با این حال همخوانی

۳-۳- تأثیر شکاف در ترکیب با جسم شناور

در شکل ۸ که مربوط به آزمایش S-D12-130 یعنی پایه شکاف‌دار با جسم شناور و عمق جریان ۱۳۰ میلی‌متر، عمق بیشینه آبشستگی نسبت به حالت شاهد ۱۱ درصد کاهش داشته است و نسبت (ds/b) که بیان‌کننده عمق بیشینه آبشستگی است، در این حالت به ۰/۷۷۵ رسیده است که نشان‌دهنده تأثیر وجود شکاف در کاهش آبشستگی است. همچنین برابر شکل ۹ برای عمق جریان ۱۶۰ میلی‌متر نیز در این حالت، یعنی S-D12-16 نیز میزان نسبت (ds/b) به ۰/۸۵ رسیده است. که ۱۵ درصد کاهش از خود نشان داده است (در حالت شاهد برای عمق ۱۶۰ میلی‌متر، این نسبت برابر ۱ است). ضمن آن که مشاهده شد که با افزایش عمق جریان، اثر جسم شناور کاهش می‌یابد. در قسمت‌های پیش‌درباره نقش موثر و مثبت شکاف در کاهش آبشستگی مطالبی بیان شد. حال با توجه به هدف این پژوهش، بایستی بررسی شود که تأثیر و نقش مثبت شکاف، در حالت تجمع اجسام شناور چگونه می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که تجمع اجسام شناور می‌تواند تأثیر شکاف در کاهش آبشستگی اطراف پایه را خنثی کند. یعنی اگرچه استفاده از شکاف نقش موثر و مثبتی در کاهش عمق آبشستگی اطراف پایه دارد، اما تجمع اجسام شناور این تأثیر مثبت را تا حد زیادی خنثی می‌کند که می‌تواند به دلیل اشغال شدن بخشی از گستره شکاف توسط جسم شناور و همچنین تغییر الگوی جریان در اطراف پایه در اثر حضور جسم شناور باشد که به اندازه‌گیری دقیق میدان سرعت نیاز دارد. بنابراین در طراحی‌ها و دیگر ملاحظه‌های هیدرولیکی بایستی به این نکته توجه شود.

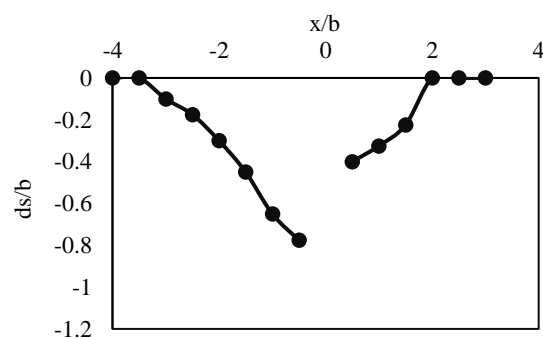


Fig. 8 Scour profile in the test S-D12-130

شکل ۸ نیمرخ طولی آبشستگی در آزمایش S-D12-130

Abousaeidi et al. جمله آنها می توان به نتایج بررسی های
Moshashaie and Moshashaie et al. (2015) و (2018)
(2015) Asadi Aghbolaghi اشاره کرد.

خوبی بین نتایج این تحقیق و نتایج پژوهش های پیشین
مشاهده می شود. همچنین، یافته های پژوهش در هماهنگی
و همسویی با محدود گزارش های منتشر شده در زمینه تأثیر
اجسام شناور بر آبستگي اطراف پایه های پل است که از

جدول ۲ خلاصه ای از نتایج و تغییرات درصد کاهش و افزایش عمق آبستگي

Table 2 Summary of the Results and Changes in the Reduction Percentage and Increase in the Scour Depth

Run No.	Code	Flow depth (mm)	Discharge (m ³ /s)	ds (mm)	Variation in ds (%)	ds/b (-)
1	NS-ND-130	130	0.0129	35	-	0.875
2	NS-D12-130	130	0.0129	40	14	1
3	S-D12-130	130	0.0129	31	-11	0.775
4	S-ND-130	130	0.0129	30	-14	0.75
5	NS-ND-160	160	0.0153	40	-	1
6	NS-D12-160	160	0.0153	43	8	1.075
7	S-D12-160	160	0.0153	34	-15	0.85
8	S-ND-160	160	0.0153	32	-20	0.8

آبستگي تثبيت می شود، خطوط تراز بستر نیز ثابت باقی
خواهند ماند. با مقایسه شکل ها مشاهده می شود که برابر
انتظار با افزایش دبی، میزان آبستگي بیشتر شده است و
همچنین پراکندگی خطوط افزایش یافته است. مشاهده
می شود که در آزمایش هایی که جسم شناور وجود دارد،
دامنه تغییرپذیری های آبستگي گستره بیشتری یافته
است که این امر به دلیل خنثی شدن اثر شکاف توسط جسم
شناور است. به عبارت دیگر هنگامی که از جسم شناور در
ترکیب با شکاف استفاده شود، تغییرپذیری های عوارض
سطح بستر دچار بی نظمی و پراکندگی گسترده ای می شود.

۴- نتیجه گیری

روش های چند و متفاوتی برای کاهش آبستگي و محافظت
پایه های پل در برابر آبستگي از سوی محققان مختلف
پیش بینی شده است که از جمله آنها می توان به ایجاد یک
شکاف قائم در پایه در راستای جریان اشاره کرد. در این
تحقیق، به بررسی تأثیر اجسام شناوری که در زمان سیلاب
همراه با جریان در رودخانه به حرکت در آمده و در بالادست
پایه تجمع می یابند، بر میزان اثرگذاری شکاف در کاهش

جدول ۳ مقایسه نتایج مطالعه حاضر با برخی تحقیقات قبلی

Table 3 Comparison of the results of the present study with those of some previous researches

Reference	ds (m)
Inglis-Poona (1949)	0.043
Coleman (1971)	0.046
Neill (1973)	0.060
CSU (1975)	0.068
Breusers et al. (1977)	0.056
Present study	0.040

۳-۵- خطوط تراز

علت استفاده از خطوط تراز در تحلیل پدیده آبستگي،
بررسی تغییرپذیری های پستی و بلندی (توپوگرافی) بستر
آبستگي به صورت سه بعدی است. با گذشت زمان و ادامه
آزمایش، انتظار می رود که خطوط تراز تغییر خاصی نداشته
باشند یا به عبارت دیگر عوارض بستر رسوبی پس از مدتی
با ثابت شدن آبستگي و فرسایش، دچار تغییرهای کمتری
می شود. همچنین در تفسیر تغییرپذیری های خطوط تراز با
افزایش عمق جریان باید گفت که با افزایش دبی، تغییرات
خطوط تراز شدیدتر شده و نامنظمی در خطوط بیشتر
مشهود است اما چنان که اشاره شد، با گذشت زمان، تأثیر
افزایش عمق نیز کمرنگ تر شده و همان طور که عمق

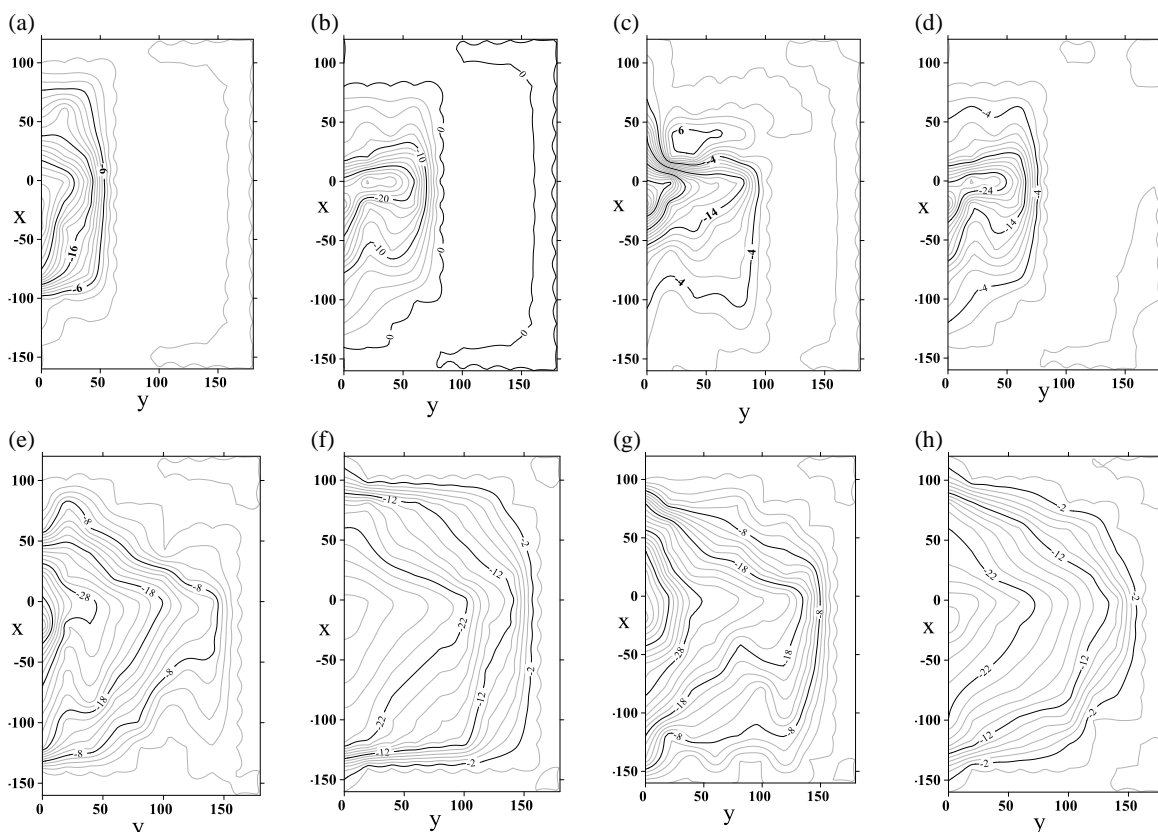


Fig. 10 Variations of contour lines, (a) NS-ND-130, (b) S-ND-130, (c) NS-D12-130, (d) S-D12-130, (e) NS-ND-160, (f) S-ND-160, (g) NS-D12-160, and (h) S-D12-160

شکل ۱۰ تغییرپذیری‌های خطوط تراز در آزمایش‌های مختلف: (a) NS-ND-130 (b) S-ND-130 (c) NS-D12-130 (d) S-D12-130 (e) NS-ND-160 (f) S-ND-160 (g) NS-D12-160 (h) S-D12-160

b	قطر پایه (m)
v	سرعت جریان (ms^{-1})
g	شتاب ثقل (ms^{-2})
ds	بیشینه عمق آبشستگی (m)

۶- سپاسگزاری

از کارکنان آزمایشگاه هیدرولیک رسوب بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز که در انجام آزمایش‌های این تحقیق همکاری کرده‌اند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

۷- منابع

Abousaeidi, Z., Qaderi, K., Rahimpour, M. and Ahmadi, M.M. (2018). Laboratory investigation of the effect of debris accumulate on the local scour at bridge pier and abutment. J. of Water and Soil Conservation. 25(2), 267-282. (in Persian)

Ardalani, A., Bakhtiari, M., Saneie, M. and Kashefipour, S.M. (2019). Experimental

آبشستگی اطراف پایه‌های پل استوانه‌ای پرداخته شده است. نتایج نشان داد که اگرچه وجود شکاف به تنهایی منجر به کاهش آبشستگی می‌شود، اما تجمع اجسام شناور این تأثیر را تا حد زیادی خنثی می‌کند. به عبارت دیگر، هرچند استفاده از شکاف می‌تواند به تنهایی باعث کاهش ۲۰٪ عمق آبشستگی شود اما تجمع اجسام شناور این میزان را تا ۱۵٪ کاهش می‌دهد. بنابراین تجمع اجسام شناور بر آبشستگی پایه پل موثر بوده و باعث افزایش عمق آبشستگی در مقایسه با حالت بدون تجمع اجسام شناور می‌شود. تحقیقات بیشتری با شکل‌های مختلف گرفتگی و همچنین شرایط مختلف پایه و جریان بایستی انجام شود تا بتوان این نتایج را در شرایط مختلف میدانی نیز تعمیم داد و به کار برد.

۵- فهرست نشانه‌ها

D	اجسام شناور تجمع یافته (-)
S	شکاف (-)

- combined with riprap on scour depth at vertical wall bridge abutments. *Irrigation Sciences and Engineering*. 42(1), 99-114. (in Persian)
- Inglis, S.C. (1949). Maximum depth of scour flatheads of guide bands and groynes, pier noses, and downstream bridges-the behavior and control of rivers and canals. Indian Waterways Experimental Station, Poona, India.
- Izadinia, E. and Heydarpoor, M. (2014). Investigation and comparison of efficiency of cable and groove in protection against scouring. *Irrigation Sciences and Engineering*. 37(1), 23-32. (in Persian)
- Kayaturk, S.Y. (2005). Scour and scour protection at bridge abutment. PhD thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Keshavarzi, A., Hamidifar, H. and Khajehnoori, L. (2019). Mean flow structure and local scour around single and two columns bridge piers. *Irrigation Sciences and Engineering*. doi: 10.22055/jise.2018.22861.1631. (In Persian)
- 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), November 7-10, San Francisco, California, United States.
- Lyn, D., Cooper, T., Yi, Y., Sinha, R. and Rao, A. (2003). Debris accumulation at Bridge Crossing: Laboratory and Field Studies. Washington D.C., USA: U.S Department of Transportation.
- Majedi Asl, M., Daneshfaraz, R. and Valizadeh, S. (2019). The experimental study of the river sand and gravel mining on the scouring pattern around pier group. *J. of Hydraulics*, 14(3), 115-130. (in Persian)
- Masjedi, A. and Gholamzadeh Mahmoodi, M. (2011). Investigation into Effect of Collar in Controlling Scour around Circular Bridge Pier at a 180 Degree Bend. *JWSS*. 15 (55),27-38. (in Persian)
- Melville, B.W. and Dongol D.M. (1992). Bridge pier scour with debris accumulation. *J. Hydraul. Eng.*, 118(9), 1306-1310.
- Melville, B.W. (1997). Pier and abutment scour-an integrated approach. *J. Hydraul. Eng.*, 123(2), 125-136.
- Melville, B.W. and Chiew, Y.M. (1999). Time scale for local scour at bridge piers. *J. Hydraul. Eng.*, 125(1), 59-65.
- Moshashaie, S.M. and Asadi Aghbolaghi, M. (2015). Scour around a square pier with parabolic nose in presence of woody debris in front of pier. *Modares Civil Engineering Journal*. 15 (4), 85-96
- Moshashaie, S., Asadi Aghbolaghi, M. and Samadi investigation of the effect of slot pier opening area on local scouring of bridge pier. *Water and Soil Science*. 29(3), 67-79. (in Persian)
- Arvanaghi, H., Hosseinzadeh-Dalir, A., Farsadizadeh, D., Fakheri-Fard, A. and Eghbali, P. (2013). Investigation of foundation depth and shape effect on scouring amount around a bridge pier. *J. of Water and Soil Conservation*. 20(2), 231-240. (in Persian)
- Bahrami, N. and Ghomeshi, M. (2019). Effect of netted collar on local scouring around the bridge cylindrical pile groups. *Irrigation Sciences and Engineering*. doi: 10.22055/jise.2018.25526.1756 (in Persian)
- Brandimarte, L. and Woldeyes, M.K. (2012). Uncertainty in the estimation of backwater effects at bridge crossings, *Hydrol. Process*, 27(9), 1292-1300.
- Breusers, H.N.C., Nicollet, G. and Shen, H.W. (1977). Local scour around cylindrical pier, *J Hydraul Res.*, 15(3), 211-252.
- CSU (Colorado State University). (1975) Highways in the River Environment: Hydraulic and Environmental Design Considerations, prepared for the Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, May 1975.
- Daneshfaraz, R., Chabokpour, J., Desineh, M. and Ghaderi, A. (2019). The experimental study of the effects of river mining holes on the bridge piers. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 50(7), 1619-1633. (in Persian)
- Davodi, H., Masjedi, A.R., Heidarnejha, M., Bordbar, A. and Kamanbedast, A.A. (2019). Investigation of the effect of cable on the control of scour around the piles group in the river. *JWSS*. 23 (2), 73-86. (in Persian)
- Esmaeili Varak, M. and Saadati-Pacheh Kenari, S. (2016). Investigating experimentally the effect of installation of piers group on foundation on scour depth around bridge Piers. *Water and Soil Science*. 25(4), 27-39. (in Persian)
- Heydarpoor, M., Afzalimehr, H. and Naderi Bani, M. (2003). Using slot to control and reduce local scour at round-nosed rectangular bridge piers. *JWSS*. 7(3), 13-28. (in Persian)
- Hormozi, M., Taleb Bidokhti, N. and Shafai Bajestan, M. (2014). experimental investigation of applications of artificial roughness for bridge pier scour reduction. *J. of Hydraulics*, 9(2), 11-21. (in Persian)
- Hosein-Reza, A., Shafai bajestan, M., Ghomeshi, M., Fathi Moghadam, M. (2019). investigation of the effect of six legged concrete (slc) elements

- Constantinescu, et al. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics (pp.2307-2314). Boca Raton: CRC Pres.
- Sedell, J., Bisson, P. and Gregory, S. (1988). From the forest to the sea: A story of fallentrees, Chapter 3. What We Know About Large Trees that Fall into Streams and Rivers, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest
- Shen, H.W. (1969). Mechanicms of local scour. Fort collins: Colorado state university, National Bureau of Standards, Institute for applied technology.
- Shojaei, P., Farsadizadeh, D. and Hoseinzadeh Dalir, A. (2011). Effects of combined submerged vanes and collar on the scour reduction around cylindrical bridge piers. JWSS. 15 (57),23-33. (in Persian)
- Sousa, A.M. and Ribeiro, T.P. (2019). Local scour at complex bridge piers–experimental validation of current prediction methods. ISH J. Hydraul. Eng., 1-8.
- Wardhana, K. and Hadipriono, F.C. (2003), Analysis of recent bridge failures in the United States, J. Perform. Constr. Facil., 17, 144-150.
- Brojeni, H. (2015). Effect of woody debris accumulation on the scour in front of a circular shaped pier with plate pile system. Water and Soil Science. 25(2), 141-153. (in Persian)
- Movahedi, N., Dehghani, A.A., Zahiri, A.R. and Aarabi, M.J. (2015). Investigating the efficiency of using bed sill in reduction of scour around single pier and side-by-side piers. J. of Water and Soil Conservation. 21(6), 191-205. (in Persian)
- Neill, C.R. (1973). Guide to bridge hydraulics, Toronto, Canada, University of Toronto Press, 191 p.
- Pagliara, S. and Carnacina, L. (2011). Influence of wood debris accumulation on bridge pier scour. J. Hydraul. Eng., 137(2), 254-261.
- Pasokhi, Z., Esmaeili Varaki, M. and Shafiee sabet, B. (2017). experimental study of local scour around inclined bridge pier groups in presence of debris accumulation under various hydraulic conditions and installation of foundation level. J. of Hydraulics, 12(1), 59-75. (in Persian)
- Ruiz-Villanueva., Badoux, A., Boes, R.M., Rickman, D., Rickli, C. and Schalko, I. (2016). Large wood research in Swiss watercourses. In G.