


# Laboratory Study on the Effects of Perforated Unsymmetrical Collar Mounted on Bridge Piers on the Flow Pattern and Scour Depth

Narges Raeisi <sup>1\*</sup>, Mehdi Ghomeshi <sup>2</sup>

1- Ph.D. Student, Faculty of Water Sci. Eng., Shahid Chamran Uni. of Ahvaz, Iran.

2- Prof., Faculty of Water Sci. Eng., Shahid Chamran Uni. Of Ahvaz, Iran.

\* [n\\_raeesi123@yahoo.com](mailto:n_raeesi123@yahoo.com)

Received: 16 February 2020, Accepted: 24 April 2020  J. Hydraul. Homepage: [www.jhyd.iha.ir](http://www.jhyd.iha.ir)

## Abstract

**Introduction:** Investigation of the scour in rivers and related structures are very important. Scour around bridge piers and bridge abutments are the main cause of bridge failure. The scour around the bridge piers causes instability of them, and without applying an appropriate solution, it eventually leads to the demolition of the structure. Therefore, a study on the mechanism of the scour and the effective parameters on the amount of scour are important. So, until now, various studies have been done on the mechanism of scour around hydraulic structures especially bridges piers. In this field, researches are more focused on the scour of piers, but no effective results were obtained on the scour phenomenon around the piers. Bed erosion and transport of sand material from its initial location by a flow called scour. Local scour is a special type of scouring that may occur around the bridge piers or bridge abutments. This type of scouring is the main reason for many bridge failures in the world. Because of this, using a method to control and reduce scour is important. One of the methods to reduce the scour depth around the bridge pier or abutment is installation a thin flat rigid plate (collar) on the pier or abutment. There is no comprehensive study to use perforated collar for protecting the piers against scour so far. Therefore, this topic was considered for this research.

**Methodology:** This study was performed in the flume with a length of 6 m, a width of 0.72 m, a height of 0.6 m, and a constant bed slope equal to nearly zero in the Hydraulic Laboratory of Shahid Chamran University of Ahvaz. The bed materials were noncohesive sediment with an average diameter equal to 0.73 mm and a geometric standard deviation of 1.22. As well as Plexiglas plates with a thickness of 3 mm were used to build the collar. In this study, 27 tests were performed to measure sediment scours and determine the two-dimensional velocity components. A series of tests were performed as a control experiment. The tests of scouring were performed in three flow rates equal to 25, 30, and 35 liters per second. In this condition, Froude Number was equal to 0.26, 0.32, and 0.37 respectively. Three unsymmetrical collars with different dimensions were tested. Then series of experimental tests were conducted in a physical model using three different  $Z_c$  (0, 0.25, and 0.5 high). For analyzing the measured data at first a general nondimensional relationship was developed.

**Results and discussion:** Dimensionless plots were drawn regarding the effects of the dimension of collars on scour reduction around bridge pier. Different positions of installation of the collar were tested. Dimensionless plots were drawn for finding the effects of collar

performance in various heights. After many testing, one of the collars that showed the best performance is selected as an optimum collar. Then, the perforated unsymmetrical collars were tested. Also, two tests were performed to determine three-dimensional components of velocity around the collars in different depths. The results show that the performance of the perforated collar in unsymmetrical shapes improves by increasing its dimensions. The performance of the collars located on the bed is better than the others located above the bed.

**Conclusion:** The results show that the collars have an important role in the reduction of scour development. In the section of determination of three-dimensional components of velocity, the results show that the collar act as a shield against the downflow. Therefore, it can control the horseshoe scour around the pier. Literature review shows that the maximum scour depth occurs in the case of the cylindrical pier. Therefore, in this study, the cylindrical shape of the pier was selected and the effects of Froude Numbers were analyzed on scouring development. Result shows, that increasing in Froude Numbers of flow will cause an increase in scour depth. Also, as the height of mounting the collar increased, so the scour depth and the width of the scour hole increase. At the final step of the study, three-dimensional components of velocities were measured by ADV. The speedometer - ADV -was fixed at 0, 1, 3, and 5 cm above the bed channel. When the 15% collar fixed on the bed, then scour decreased to 72%. In addition, the 30% and 40% collars had the same results. Velocimeter and flow pattern was drawn around the collars. Also, the results confirm that near the piers because of the downflow usually, maximum velocity occurs near the bed. Generally, downflow and generated wake vortex behind the piers are effective parameters on bridge piers scour.

**Keywords:** Perforated collar, Flow pattern, Laboratory model, Pier scour.

# بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبستگي پيرامون پايه پل همراه با طوق مشبك نامتقارن

نرگس رئیسی<sup>۱\*</sup>، مهدی قمشی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- دکترای عمران آب، استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

\* n\_raeesi123@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۷، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۵  وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

**چکیده:** تاکنون پژوهش‌های مختلفی در زمینه شناخت ساز و کار آبستگي پيرامون سازه‌های هیدرولیکی و به ویژه پل‌ها انجام شده است، که نشان می‌دهد یکی از موثرترین عامل‌های تخریب پل‌ها آبستگي در محل پایه و تکیه‌گاه آن‌هاست. پس در زمینه آبستگي پيرامون پل‌ها، تمرکز پژوهش‌ها بیشتر بر روی پایه و تکیه‌گاه آن بوده است. که به رغم پژوهش‌های پیشین، ولی با توجه به پیچیدگی این پدیده می‌توان به ارائه پژوهش‌های نوین و دستیابی به نتایج اثر بخش در پدیده آبستگي رسید. بررسی منابع نشان می‌دهد، که شکل پایه بر میزان آبستگي پيرامون آن تاثیر به سزایی دارد، و در بین اشکال مختلف پایه، پایه استوانه‌ای بیشترین میزان آبستگي را دارد. بنابراین در این پژوهش با انتخاب مقطع دایره برای پایه پل، افزون بر تاثیر شرایط جریان و دستیابی به رابطه‌های متاثر از عدد فرود بر میزان آبستگي پيرامون آن بررسی شد. نتایج نشان داد، با افزایش ارتفاع تراز نصب طوقه روی پایه پل، عمق آبستگي و وسعت چاله آبستگي افزایش می‌یابد، و از درصد عملکرد طوقه برای کاهش آبستگي کاسته می‌گردد. طوقه ۱۵ درصد مشبك با نصب روی سطح بستر و در عدد فرود ۰/۲۶ تا ۷۲ درصد کاهش آبستگي را مدیریت و مهار می‌کند. طوقه‌های ۳۰ و ۴۰ درصد مشبك با نصب در ارتفاع ۲ سانتی‌متر از سطح بستر تغییرهای عمق آبستگي به نسبت مشابهی دارند. در ادامه این پژوهش مولفه‌های سه بعدی سرعت جریان پيرامون پایه با استفاده از سرعت‌سنج ADV تعیین و برداشت نقطه‌های در ۴ سطح ۰، ۱، ۳، ۵ سانتی‌متر از بستر با نظر به اینکه سرعت‌سنج نقطه‌های ۵ سانتی‌متری در زیر حسگر را برداشت می‌کند، پس از آن برای رسم میدان جریان استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد، در نزدیکی بستر و بالای حفره آبستگي شاهد شکل‌گیری سرعت بیشینه خواهیم بود، که تقویت جریان‌های ثانویه، و گردابه‌های عمودی در نقطه جلوی پایه عامل اصلی آبستگي و توسعه آن پيرامون پایه پل می‌باشد.

**کلید واژگان:** الگوی جریان، سرعت سنج، میدان سه بعدی، طوق مشبك نامتقارن.

## ۱- مقدمه

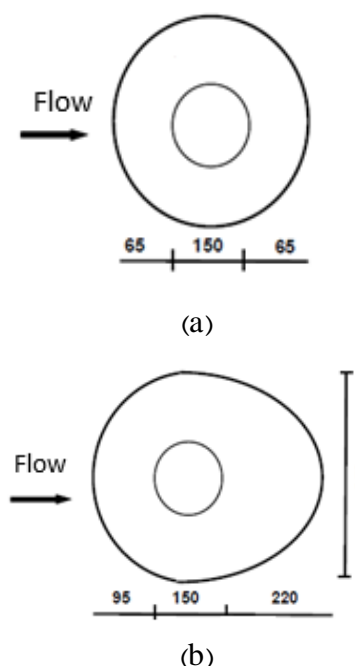
که در نتیجه برخورد جریان به آن بوجود می‌آید، موجب حفر گودالی در پيرامون پایه‌ها شده، که حفره آبستگي نامیده می‌شود. سرعت طولی جریان هنگام رسیدن به پایه کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، بدلیل اینکه جریان روباز می‌باشد، کاهش سرعت جریان با افزایش عمق جریان جبران می‌شود. از آنجایی که سرعت از سطح آب به طرف کف بستر کاهش می‌یابد، از این رو، با کاهش فشار دینامیکی در جلوی پایه مواجه می‌شود، که این گرادیان فشار موجب ایجاد جریانی به سمت کف بستر می‌شود. جریان‌های پایین‌رونده پس از برخورد با بستر رسوبی آن را حفر کرده

پل یک سازه است، که برای عبور از مانع‌های فیزیکی از جمله رودخانه‌ها و دره‌ها استفاده می‌شود، طراحی و احداث، بهسازی و مقاوم‌سازی پل‌ها، از مهم‌ترین مرحله‌های یک پروژه ساخت پل است. و از آن جایی که این سازه‌ها نقش راهبردی در سامانه حمل و نقل و ... دارند، و با توجه به ضرورت روزافزون استفاده بهینه از پل‌ها، از این رو نیاز به بهره‌گیری و شناخت از پدیده‌های حاکم پيرامون آن‌ها بدیهی می‌نماید. در واقع جریان‌های رو به پایین و تشکیل سامانه‌های گردابی پيرامون پایه پل

پل‌های احداث شده، روی رودخانه‌های مختلف بودند. برابر گزارش‌های این اداره، به تقریب بیشتر پل‌های رودخانه‌ای استان دچار تخریب‌های ناشی از آبشستگی در محل پایه شده بودند، که این مسئله باعث تحمیل هزینه‌های هنگفت تعمیر و بازسازی آن‌ها شد (Khademi et al., 2011). مسئله آبشستگی در محدوده پل‌ها، سال‌هاست، که ذهن پژوهشگران را به خود مشغول کرده است. Hoffmans and Verheij (1997) به این موضوع اشاره داشتند، که تحلیل و بررسی پدیده آبشستگی در طراحی پل‌ها ضروری بوده، و برآوردی تضمین شده از مقاومت پل در برابر سیل را ایجاد می‌کند. همانگونه که اشاره شد، الگوی جریان و فرآیند آبشستگی پیرامون پایه‌های پل یک پدیده حائز اهمیت است، که از اثر متقابل جریان آشفته سه بعدی در میدان جریان ناشی می‌شود، و فرسایش رسوب‌های بستر را به دنبال دارد. بررسی منابع نشان می‌دهد، که در زمینه میدان جریان پیرامون پایه پل و تعیین الگوی جریان آن به صورت کلی صحبت شده است. پدیده آبشستگی تاکنون در شکل‌های شناخته شده‌ای از پایه‌های پل بررسی شده است، بررسی منابع یاد شده نشان می‌دهد، که حفره آبشستگی موضعی در پایه‌ها بسته به عمق آبشستگی آن به نسبت شکل مقطع پایه متغیر است. اغلب بررسی‌های انجام شده در زمینه پدیده آبشستگی معطوف به بررسی عمق نهایی آبشستگی و روش‌های کاهش آن بوده است، که از جمله می‌توان به نتایج بررسی‌های Kuma et al. (1991)، Chiew and Lim (2000)، Zarati et al. (2004)، Heydarpour et al. (2008)، Ghorbani and Kellz (2010)، و ..... اشاره کرد. پژوهش‌های انجام شده روی الگوی جریان آشفته و سطحی تنها روی تک پایه استوانه‌ای بوده است، که می‌توان به بررسی‌های Dey and Ettema (2010)، Nath (2013)، Izadinis et al. (2013) اشاره کرد. (1980) یکسری آزمایش‌هایی به منظور امکان استفاده از طوق در کاهش پدیده آبشستگی موضعی در پایه‌های استوانه‌ای شکل به قطر ۴۵ میلی‌متر که به اندازه دو برابر قطر پایه بودند، انجام داد. طوق در ۴ تراز ۰/۵+، ۰، ۰/۵- و ۱- قرار گرفت. در حالت قرارگیری طوق در زیر سطح بستر آبشستگی محسوس بود. وی مشاهده کرد، هنگامی که

و دوباره به سمت بالا باز می‌گردد، و در برخورد با جریان‌های عمودی در جهت جریان سوق داده می‌شود. این چرخش‌های مداوم گردابه‌هایی را ایجاد می‌کنند، که ذرات را از کف بستر جدا می‌کنند، و جریان‌های عمومی آن‌ها را به سمت پایین دست حمل می‌کنند (Darghahi, 1990). این گودال افزون بر زیرشویی پی ریزی پل و تغییر در وضعیت و شکل بستر، بر زندگی و حرکت آبزیان نیز تاثیر می‌گذارد (Ministry of Power, 2006)، از این رو، کنترل شرایط حاکم بر سامانه‌های واقعی به طور معمول دشوار و اندازه‌گیری فرا سنج‌های حاکم نیز با پیچیدگی فراوانی همراه است. لذا بررسی این پدیده از جنبه‌های اقتصادی و زیست محیطی بسیار با اهمیت است (Ministry of Power, 2012). در این زمان، محاسبات نظری بر مبنای اطلاعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوضه و رودخانه و تجزیه و تحلیل آن‌ها نیز دارای اهمیت می‌باشد. از این سو، برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری بستر رودخانه که در صورت نظر نگرفتن آن باید شاهد پیامدهای خطرناکی، از جمله تهدید پایداری پل و در نهایت خرابی آن می‌باشد (Breusers and Raudkivi, 1991).

بررسی آمار موجود نشان می‌دهد، که شمار رخداد سیلاب در هر رودخانه در حال افزایش بوده و در نتیجه تخریب تعداد زیادی از پل‌ها، زیان‌های سنگین اقتصادی و جانی را به دنبال دارد. از این رو، مهار سیلاب و روبرو شدن با شناخت عامل‌های موثر بر آن اهمیت بسیار زیادی دارد. بنا بر بررسی‌های Melivelle (1992) در سال‌های ۸۴-۱۹۶۰ در کشور نیوزلند ۱۰۸ پل شکسته شد، که ۲۹ مورد از آن‌ها در نتیجه آبشستگی پایه‌های پل آن‌ها بوده است. همچنین شکسته شدن ۲۵ درصد از پل‌های ایالات متحده از مجموع ۳۸۳ پل در اثر تخریب پایه‌های آن‌ها بوده است. در داخل کشور هم برابر گزارش سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای در سال ۱۳۹۱ میزان ۳۷ درصد خرابی پل‌های کشور ناشی از آبشستگی پایه‌های میانی و کناری آن می‌باشد. همچنین در دهه ۸۰ تعداد ۱۸۳ پل در حوزه راه و ترابری استان خوزستان مورد بازدید و بررسی فنی قرار گرفتند. بخش عمده‌ای از آن‌ها،



**Fig. 1** a) symmetrical collar b) unsymmetrical collar (Darghahi, 1990)  
 شکل ۱ الف) طوق متقارن ب) طوق نامتقارن (Darghahi, 1990)

و ۱- و ۲- در زیر بستر مورد بررسی قرار دادند، آنان دریافتند که با افزایش عرض طوقه در زیر سطح بستر موجب کاهش میزان عمق آبشستگی می‌شوند. Memar et al. (2019) به بررسی تراز نصب طوقه از سطح بستر رسوبی در کاهش میزان آبشستگی و بررسی شدت جریان بر این پدیده پرداختند. با کاهش شدت جریان از ۰/۹۵ به ۰/۹ بیشترین عمق آبشستگی به همراه طوقه‌ها به‌طور میانگین بین ۲۰ تا ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین آنان دریافتند که نصب طوقه زیر سطح بستر رسوبی نسبت به نصب آن در ۱ سانتی‌متر بالای بستر، حفاظت ۵ درصدی از حفره آبشستگی را در پی دارد. نتایج Bestawy et al. (2020) بیانگر این مسئله بودند، که با وجود طوقه‌های دنداندار، گسترش چاله آبشستگی به‌طور قابل ملاحظه‌ای به تأخیر می‌افتد و هر چه تعداد دندانها بیشتر باشد، کاهش بیشتری مشاهده می‌شود. Jalili and Ghomeshi (2013) اثرگذاری استفاده از طوقه ساده و مشبک را بر کاهش آبشستگی در شرایط آب زلال پیرامون پایه‌های مکعبی و استوانه‌ای بررسی کردند. نتایج نشان داد، که در عدد فرود ۰/۱۹، برای پایه مکعبی و استوانه‌ای

طوق با عرضی برابر با ۲ برابر قطر پایه در ارتفاعی برابر با نصف قطر پایه بالاتر از سطح بستر قرار گیرد، طوق در کاهش عمق آبشستگی مؤثر نیست. اما تأثیر طوق مورد بررسی در کاهش عمق آبشستگی در حالت قرارگیری در سطح بستر قابل توجه است. همچنین وی با افزایش عرض طوق و کاهش ارتفاع آن، به نتایج سودمندی در میزان کاهش آبشستگی دست یافت. (Darghahi 1990) پژوهش‌هایی در زمینه ساز و کار آبشستگی پیرامون پایه پل و چگونگی تأثیر طوق در عملکرد جریان‌های رو به پایین و در نهایت کاهش آبشستگی پایه پل انجام داد. وی از دو طوق دایره‌ای و تخم مرغی شکل ۱ استفاده کرد، درگاهی از دو طوق دایره‌ای و تخم مرغی شکل ۱ استفاده کرد، او موقعیت طوق‌ها را از بستر بصورت آزمایش‌های درگاهی در  $y_c/y = 0.25, 0.05, -0.015, -0.05$  انتخاب کرد،  $d_{50} = 0.36mm, D = 0.15m, y = 0.2m, V = 0.26m/s, V/V_c = 0.85$  انجام گرفته است. او کاهش سرعت آبشستگی را در حالت طوقدار مشاهده کرد، و بیشترین کاهش عمق حفره را در طوق تخم مرغی (نامتقارن) زیر بستر حالت ۰/۰۵ مشاهده کرد، و بیشترین میزان کاهش عمق حفره را در این حالت ۵۰ و ۷۰ درصد، به ترتیب در بالادست و پائین دست پایه پل بیان کرد. وی با طوق دایره‌ای توانست عمق آبشستگی را در حدود ۴۰ درصد کاهش دهد.

Tabareatani and Zarrati (2019) توسعه حفره آبشستگی را پیرامون پایه پل استوانه‌ای بهمراه طوقه در شرایط جریان پایدار و ناپایدار مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دامنه سرعت برشی از ۰/۹۹ تا ۰/۸ متغیر در نظر گرفتند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد، که مهمترین عامل اثرگذار در کارایی طوقه در به تعویق انداختن عمق آبشستگی در دماغه پایه پل است. Gogus and Dogan (2010) اثرگذاری تراز نصب طوقه در بالای سطح بستر، هم‌تراز با بستر و در زیر بستر را بر کاهش آبشستگی پایه‌های پل بررسی کردند، بنا بر نتایج به دست آمده از ۹۷ آزمایش اجرا شده، که در کانالی با عرض ۱/۵ متر، طول ۳۰ متر و ارتفاع ۱ متر به همراه شیب ۰/۰۰۱ صورت پذیرفت. اندازه‌های مختلف طوق را در ترازهای ۱+ و ۲+ در بالای سطح بستر و هم‌تراز با بستر

$$f_1(B, D, D_{50}, \gamma, d_s, V, g, \rho, \rho_s, \mu, B_C, L_C, z_C, \alpha) = 0 \quad (1)$$

که در آن فراسنجه‌ها به ترتیب از سمت چپ عرض آبراهه، قطر پایه پل، قطر میانگین ذرات رسوبی بستر، عمق جریان در آبراهه، حداکثر عمق چاله رسوبی، سرعت میانگین جریان، شتاب ثقل، جرم مخصوص آب، جرم مخصوص ذرات رسوب، لزوجت دینامیکی جریان، عرض و طول طوق نامتقارن، تراز نصب طوقه روی پایه پل و درصد مشبک بودن می‌باشند. زمان همگی آزمایش‌ها برابر با زمان تعادل در نظر گرفته شده است، بهمین دلیل فراسنجه زمان از رابطه‌ها حذف شد. با توجه به ثابت بودن متغیرهای  $D_{50}, \rho, \rho_s, \gamma, B, L_C$  در همگی آزمایش‌ها و ثابت بودن ضخامت و شکل طوقه با استفاده از تحلیل ابعادی و استفاده از روش باکینگهام رابطه ۲ قابل ارائه است. البته در تمامی آزمایش‌ها عدد رینولدز برای اطمینان از برقراری جریان متلاطم  $Re > 2000$  بررسی شد (Chow, 1989).

$$\frac{d_s}{D} = f_2\left(R_e, F_r, \alpha, G_s, \frac{D_{50}}{D}, \frac{z_C}{D}, \frac{B_C}{D}, \frac{L_C}{D}\right) \quad (2)$$

که در آن  $Re$ : عدد رینولدز و  $G_s$ : چگالی ذرات رسوبی می‌باشد. از میان فراسنجه‌های بالا عدد فرود و نسبت تراز نصب طوقه به عنوان متغیر و تاثیرشان بر  $d_s/D$  (عمق بی بعد آبشستگی) بررسی شد. در جدول ۱ دامنه تغییر پذیری‌های فراسنجه‌های حاکم بر آزمایش ارائه شده است.

جدول ۱ دامنه تغییر پذیری‌های فراسنجه‌های حاکم

Table 1 The range of changes in parameters				
$V/V_c$	$V (m/s)$	$Q (m^3/s)$	$F_r$	$Re$
0.94	0.41	0.035	0.37	36900
0.81	0.35	0.030	0.32	31500
0.67	0.29	0.025	0.26	26100

## ۲-۲- امکان‌ات آزمایشگاه و روش انجام آزمایش

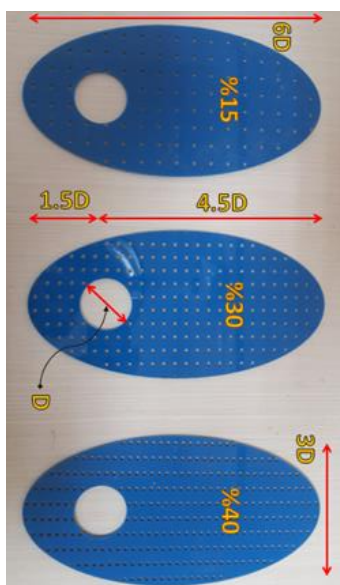
به منظور انجام آزمایش‌های آبشستگی، از یک آبراهه مستطیلی با دیواره شیشه‌ای در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب

به ترتیب طوقه‌های ۳۰ و ۴۰ درصد مشبک بالاترین بازده را با ۲۷ و ۳۴ درصد کاهش آبشستگی دارا بودند. همچنین در عدد فرود ۰/۱۶ طوقه ۴۰ درصد مشبک با ۷۰ درصد و ۵۶ درصد کاهش آبشستگی به ترتیب برای پایه مکعبی و استوانه‌ای بهترین عملکرد را داشت. (Vaghephi et al. 2010) در یک مطالعه آزمایشگاهی اثرگذاری عدد فرود جریان را بر الگوی آبشستگی پیرامون پایه بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد، که با افزایش عدد فرود جریان، بر میزان آبشستگی و ابعاد حفره آبشستگی افزوده می‌شد. (Khozayemehnezhad et al. 2014) کارایی طوق نامتقارن مستطیلی شکل بر کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد، افزایش ابعاد طوق موجب افزایش بازده عملکرد آن‌ها می‌شود. هنگامی عرض بالادست طوق از عرض پایین دست آن بزرگتر (نامتقارن) باشد، عملکرد آن از طوق متقارن با سطح یکنواخت (بدون زبری) بهتر خواهد بود. از سوی دیگر، نصب طوق‌ها زیر سطح بستر نسبت به نمونه نصب شده رو و بالاتر از سطح بستر در کاهش آبشستگی موثرتر می‌باشد. با توجه به اینکه شکل پایه پل بر روی میزان آبشستگی تاثیرگذار بوده، و به طور یقین و با استناد به منبع‌های الگوی آبشستگی به طور کامل متاثر از میدان سه بعدی یا به عبارت دیگر، الگوی جریان پیرامون پایه می‌باشد، بنابراین در این پژوهش افزون بر بررسی الگوی آبشستگی و بررسی تاثیر شماری از فراسنجه‌ها بر میزان آن، و اینکه الگوی جریان پیرامون پایه با شکل دایره‌ای بیشترین میزان آبشستگی را دارد، با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی تعیین و عامل‌های موثر بر میزان و توسعه آبشستگی بررسی کرد. در منبع‌ها در زمینه تعیین الگوی جریان و آبشستگی پیرامون پایه با طوقه مشبک و نامتقارن اشاره‌ای نشده است، که از این نظر پژوهش روی طوقه مشبک نامتقارن نوآوری این پژوهش می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تحلیل ابعادی

فراسنجه‌های موثر بر بیشترین عمق آبشستگی در محل پایه پل را می‌توان با استفاده از رابطه ۱ بیان نمود:



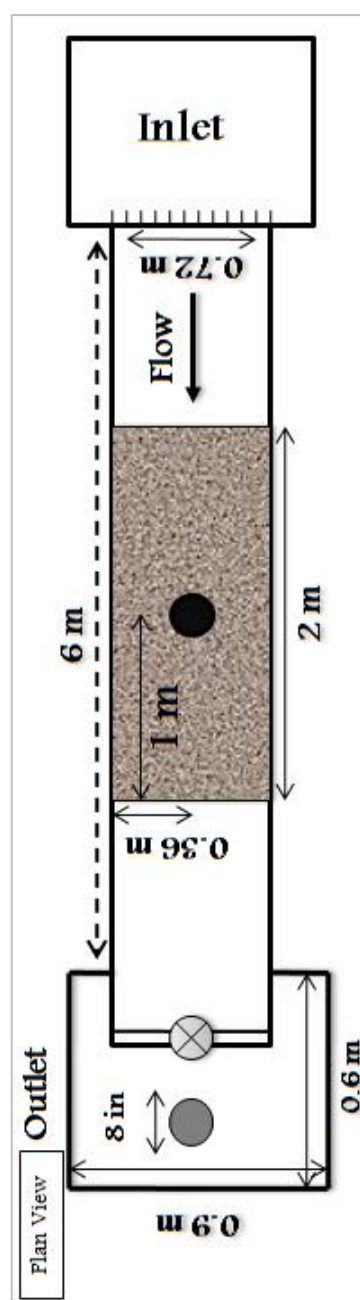
(b)  
Fig. 2 a) Plan view of laboratory Channel, b)  
Unsymmetrical collars netted

شکل ۲ الف) نمای پلان آبراهه آزمایشگاهی (ب) طوق‌های مشبک نامتقارن

یک توری مشبک بدون فاصله استفاده شده است. یک دریچه کشویی به منظور مهار و تنظیم سطح آب در انتهای آبراهه طراحی گردیده، که از طریق آن امکان برگشت آب به مخزن، زهکشی و چرخش در سامانه وجود دارد. در شکل ۲ نمایی از طرح و نقشه آبراهه آزمایشگاهی نشان داده شده است. در این پژوهش از پایه پل چوبی با مقطع دایره‌ای و طوق مشبک نامتقارن، با ابعاد نامتقارنی  $3 \times 6$  برابر قطر پایه و درصد مشبک ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد استفاده شد.

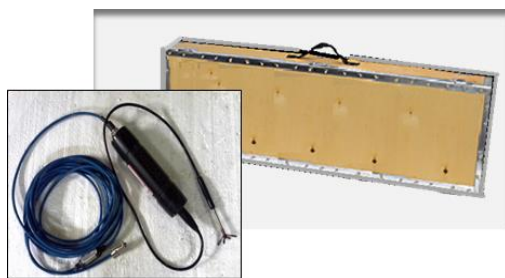
آزمایش‌های این پژوهش در شرایط آب زلال انجام شد، سرعت آستانه حرکت، مرز شرایط آب زلال و بستر زنده می‌باشد، و بیشترین میزان آب‌سستگی موضعی نیز در همین شرایط رخ می‌دهد. آب‌سستگی آب زلال هنگامی ایجاد می‌شود که سرعت جریان در محدوده  $0.3V_c < V < V_c$  باشد (Melville and Chiew, 1999). بنابراین در آغاز سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی، بدون حضور پایه پل تعیین شد. یکی از روش‌های تعیین سرعت آستانه حرکت، استفاده از سرعت بحرانی است. سرعت بحرانی جریان با برقراری دبی ثابت و کاهش تدریجی جریان، در چند مرحله محاسبه شد. از این رو، عمق‌های

دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. طول فلوم ۶ متر، عرض و ارتفاع آن به ترتیب  $0.172$  و  $0.16$  متر بود. شیب آبراهه آزمایشگاهی قابل تغییر بوده، و برای انجام آزمایش‌ها روی شیب نزدیک به صفر تنظیم شد. آبراهه حاوی مخزن آرام‌کننده در ابتدا و انتها است. برای اندازه‌گیری دبی از یک فلومتر نصب شده در ابتدای آبراهه استفاده شد. آب مورد نیاز بوسیله یک پمپ از مخزن اصلی به آبراهه منتقل می‌شد، و به منظور حذف تلاطم جریان ورودی از

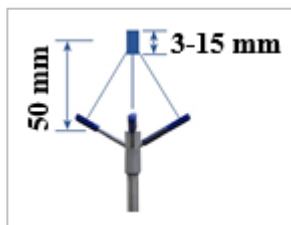


(a)

در ابتدای آزمایش گرفته می‌شود، آنگاه با افزایش دبی آب به آرامی در عمق ۰/۱۲ متر قرار گرفت. پس از پایان زمان آزمایش آب به آرامی از آبراهه زهکشی شد. سپس با مترلیزری الگوی رسوب‌گذاری و فرسایش برداشت گردید. در بخش آزمایش‌های مربوط به تعیین الگوی جریان دوباره بر روی پایه که در شرایط بهینه طوقه میزان آبشستگی روی داد، آزمایشی در همان زمان و شرایط قبلی انجام و بستر رسوبی با استفاده از دوغاب سیمان تثبیت شد، و پس از تثبیت بستر، جریان با همان شرایط در فلوم برقرار و در نقاط پیرامون پایه مولفه‌های سه بعدی با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج ADV برداشت و برای رسم الگوی جریان استفاده قرار شد. در شکل ۳ دستگاه سرعت‌سنج و سنسور برداشت آن نشان داده شده است.



(a)



(b)



(c)

**Fig. 3** a) Adv Velocity meter device, b) Sensor, c) Channel velocity measurement

شکل ۳ (a) دستگاه سرعت‌سنج ADV (b) سنسور (c) نمایی از روش اندازه‌گیری سرعت روی بستر تثبیت شده به وسیله دوغاب سیمان

مختلفی از ۱۰ تا ۲۸ سانتی‌متر بدون حضور پایه ایجاد شد تا حرکت یانبود حرکت رسوب‌های بستر بررسی شود. سرعت بحرانی با توجه به شرایط نام برده معادل ۰/۴۳۹ متر بر ثانیه تعیین شد، و پس از آن اعداد فرود جریان در شرایط آستانه حرکت ذرات رسوب مشخص شد، بنابراین آزمایش‌ها در سه عدد فرود ۰/۳۷، ۰/۳۲ و ۰/۲۶ انجام شد، و عمق جریان ثابت و برابر ۰/۱۲ متر بود. برای تامین رسوبات بستر از ماسه باقی‌مانده‌های بین الک‌های ۲۰ و ۳۰ در محدوده ذرات ۰/۵۹ تا ۰/۸۳ با میانگین قطر ذرات ۰/۷۳ میلی‌متر استفاده شد. که برای حذف تأثیر ناپیکنواختی رسوب‌ها برابر پیشنهاد Chiew and Melville (1987) میزان انحراف معیار هندسی ذرات کمتر از ۱/۳ باشد، که برای ذرات مورد استفاده ۱/۲۲ است. به منظور تامین و دستیابی هدف‌های پژوهش، تأثیر تغییر طوقه نامتقارن مشبک بر آبشستگی پلایه پل برای پلایه پل استوانه‌ای با سه شدت جریان بررسی شد. محدوده تغییرپذیری‌های فراسنجه‌های پژوهش و شمار آزمایش‌های انجام شده برای پایه استوانه‌ای و مدل طوق مشبک نامتقارن در جدول ۲ آورده شده است. طوق‌های نامتقارن ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد مشبک در این پژوهش در سه ارتفاع مختلف: روی سطح بستر رسوبی  $Z_c=0$ ، ۱ cm بالای بستر  $Z_c=0.25D$  و ۲ cm بالای بستر  $Z_c=0.5D$  در معرض سه دبی جریان ۳۵، ۳۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه قرار گرفتند.

**جدول ۲** ویژگی‌های آزمایش‌های انجام شده

**Table 2** Specification of experiments performed

collar	Zc	Experiment		
		Fr=0.37	Fr=0.32	Fr=0.26
15%	0-0.25D-0.5D	3	3	3
30%	0-0.25D-0.5D	3	3	3
40%	0-0.25D-0.5D	3	3	3

در آغاز هر آزمایش، فلوم با شدت کم جریان پر می‌شود، این امر به این دلیل است، که جلوی فرسایش‌های ناچیز



### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- آزمایش‌های مرحله اول (تاثیر شرایط جریان بر میزان آبشستگی)

در این پژوهش سه آزمایش به مدت ۳۰۰ دقیقه در اعداد فرود ۰/۳۷، ۰/۳۲ و ۰/۲۶ روی پایه پل انجام شد. محدوده عدد فرود نام برده به گونه‌ای انتخاب شد، که شرایط آب زلال قابل تامین باشد. یکی از ضمیمه‌های این پژوهش، این بود که ۹۹ درصد عمق تعادل آبشستگی (عمق نهایی آبشستگی) در مدت زمان ۳۰۰ دقیقه رخ دهد (Azam and Ghomeshi, 2012)، در طول این مدت، در زمان‌های مختلف عمق آبشستگی در نقطه مینا (جلوی پایه پل) - که بیشترین عمق چاله آبشستگی در این نقطه رخ داد- برداشت شد. نمونه‌ای از این نتایج در شکل ۵ نشان داده شده است. از این روی، زمان تعادل (۱۵۰ دقیقه) بر مبنای تغییر پذیری‌های ناچیز حفره آبشستگی نسبت به زمان به دست آمد.

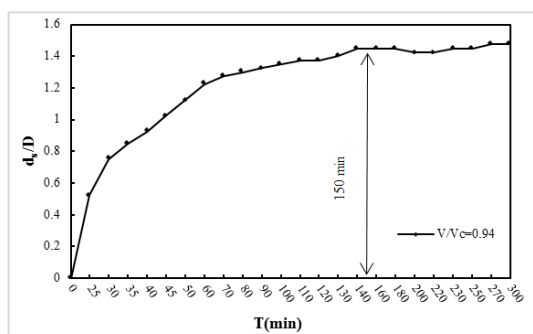


Fig. 5 Depth of scouring at the base point -Fr=0.37- شکل ۵ عمق آبشستگی در نقطه مینا - عدد فرود ۰/۳۷-

برابر شکل ۵ در زمان‌های آغازین به سرعت بر عمق چاله آبشستگی افزوده می‌شود، به طوری که در همان ساعت اول آزمایش حدود ۸۰ درصد عمق نهایی آبشستگی و ۲۰ درصد دیگر در ۱۲ ساعت باقی‌مانده رخ داد. در دیگر اعداد فرود نیز وضعیت بر همین منوال بود، با این تفاوت که با کاهش عدد فرود چاله آبشستگی زودتر به عمق نهایی آبشستگی نزدیک می‌شد. نکته قابل توجه دیگر این است، که توسعه چاله آبشستگی بر خلاف عمق آن به کلی تدریجی بود و با تفاوت محسوسی در روند توسعه چاله آبشستگی در زمان‌های مختلف مشاهده نشد. در جدول ۳ نرخ آبشستگی را شرایط مختلف جریان در پایه پل

مولفه‌های سه بعدی سرعت در عمق‌های ۵، ۶، ۸ و ۱۰ سانتی‌متر از بستر رسوبی اولیه فلوم، برداشت شدند. عبارتی سرعت‌سنج ADV به علت داشتن حسگرهای پامرغی مطابق شکل ۳ (ب) نقطه متمرکزی که سرعت را در آن اندازه‌گیری می‌کند، ۵ سانتی‌متر زیر سطح آن می‌باشد. از این رو، هنگامی که سرعت‌سنج در فاصله ۱۰ سانتی‌متر از سطح بستر قرار می‌گیرد، بدین معناست که سرعت در نقطه‌های ۵ سانتی‌متری از سطح در حال برداشت است، پس با استفاده از این ویژگی در نحوه برداشت داده‌ها می‌توان بیان کرد که محل نصب طوقه خللی در روند برداشت داده‌ها نداشته است. پلان شبکه نقطه‌های اندازه‌گیری سرعت در یکی از عمق‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. در هر نقطه بیش از ۵۰۰ سرعت مستمر در سه بعد توسط دستگاه ثبت شد. لازم به یادآوری است، در عمق‌های پایین به دلیل وجود پشته‌های رسوبی، امکان اندازه‌گیری در شمار کمی از نقطه‌ها با محدودیت رو به رو شده که با توجه به تپه‌های رسوبی و نبود وجود جریان در آن نقطه‌ها میزان سرعت صفر منظور شد. به طور کلی در آزمایش‌های این مرحله بیش از یک میلیون مولفه سه بعدی سرعت ثبت گردید. همچنین میانگین سرعت‌های مستمر در هر نقطه محاسبه شد. به این ترتیب در هر یک از نقاط مورد نظر، سه مولفه سرعت در سه بعد مختلف محاسبه و در بررسی الگوی جریان استفاده شد.

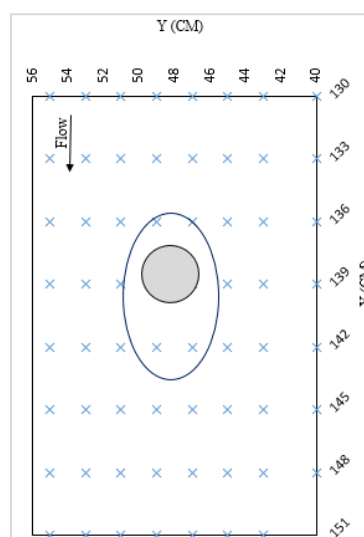


Fig. 4 The position of three dimensional velocity component measurement points at one of the depths of the flow

شکل ۴ موقعیت نقطه‌های اندازه‌گیری مولفه‌های سه بعدی سرعت در یکی از عمق‌های جریان

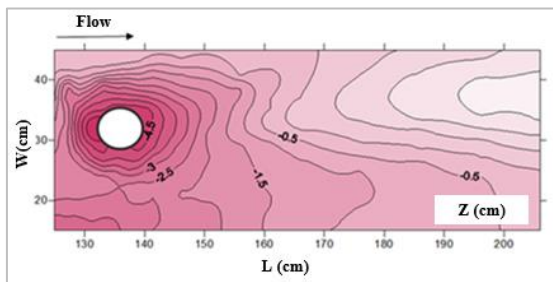


Fig. 6 Pattern of erosion and deposition around of the bridge pier without collar- $Fr=0.37$ -

شکل ۶ الگوی فرسایش و رسوب گذاری پیرامون پایه پل بدون حضور طوق در عدد فرود ۰/۳۷

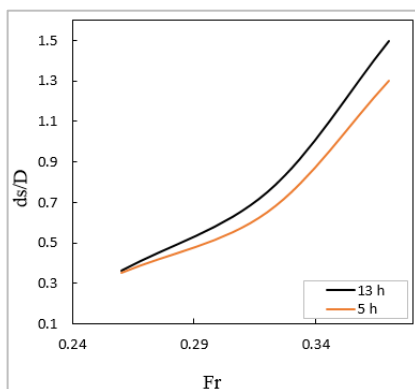


Fig. 7 Depth of scouring without collar in the base point on froud number at 2 time 5 and 13 hours

شکل ۷ عمق آبشستگی بدون حضور طوق در نقطه مبنا در مقابل عدد فرود در دو زمان ۵ و ۱۳ ساعت

پایین جریان، عمق چاله آبشستگی در زمان کمتری به تعادل می‌رسد. البته با گذشت زمان بر گستره چاله آبشستگی، حتی در اعداد فرود پایین نیز افزوده می‌شود، به رغم اینکه عمیق بودن چاله آبشستگی متوقف شود. در شکل ۸ میزان عمق بی‌بعد آبشستگی با استفاده از رابطه  $(d_s/D = f(Fr, y/D))$  Jain (1981) با توجه به ثلثت در نظر گرفتن عمق جریان در آزمایش‌ها در محور عمودی و مقدار آبشستگی محاسبه شده در رابطه مستخرجه در محور افقی با هم مقایسه شدند. پراکندگی نقطه‌ها نسبت به خط ۴۵ درجه نشان می‌دهد، که همبستگی دو مقدار در شرایط هیدرولیکی مورد آزمایش با استفاده از روش‌های آماری ۸۰ درصد می‌باشد.

همه آزمایش‌های انجام شده با حضور طوقه از حجم آبشستگی نسبت به آزمایش شاهد کاسته شده است. با نصب طوق در ارتفاع ۲ سانتی‌متر از سطح بستر در عدد

استوانه‌ای نشان می‌دهد. افزون بر اندازه‌گیری بیشینه عمق آبشستگی، الگوی فرسایش و آبشستگی نیز در همه‌ی آزمایش‌ها بررسی شد و عملکرد طوقه‌ها نیز با توجه به آن محاسبه شد. پس از پایان اندازه‌گیری‌ها مقطع آزمایش بار دیگر صاف و تراز شده و برای انجام آزمایش بعدی مهیا شود.

جدول ۳ بیشینه عمق آبشستگی در آزمایش‌های بدون حضور طوق

Fr=0.37	Fr=0.32	Fr=0.26	Circular pier ds (mm)
65	59	48	

شکل ۶ الگوی آبشستگی در پیرامون پایه استوانه‌ای در عدد فرود ۰/۳۷ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های زیر می‌توان دید، با افزایش عدد فرود حفره آبشستگی توسعه طولی، عرضی و عمقی بیش‌تری می‌یابد، هم‌چنین تپه رسوبی با ارتفاع بیش‌تر و در فاصله بیش‌تری از پای پل تشکیل می‌شود. هم‌چنین بیش‌ترین عمق ناشی از آبشستگی در جلوی پایه ایجاد و در دو سمت به صورت متقارن رو به پایین دست پایه از عمق آن کاسته می‌شود و در پشت پایه، مواد جدا شده از جلوی پایه انباشته شود. در آزمایش‌های ۱۳، ۹۱، ۹۲ و ۹۴ درصد عمق تعادل آبشستگی به ترتیب در اعداد فرود ۰/۳۷، ۰/۳۲ و ۰/۲۶ رخ داد. در شکل ۷ عمق بی‌بعد آبشستگی (بیشینه عمق آبشستگی به قطر پایه پل) در نقطه مبنا در مقابل عدد فرود در دو زمان ۱۳ و ۵ ساعت نشان داده شده است. رابطه‌های ۳ و ۴ به ترتیب رابطه‌های رگرسیونی دو فراسنجه عمق بی‌بعد آبشستگی و عدد فرود را در دو زمان ۱۳ و ۵ ساعت نشان می‌دهند، که از ضریب‌های همبستگی بالایی نیز دارند.

$$d_s/D = 83.58(Fr)^2 - 25.68(Fr) + 0.5 \quad r^2 = 0.95 \quad (3)$$

$$d_s/D = 75.24(Fr)^2 - 23.69(Fr) + 0.25 \quad r^2 = 0.97 \quad (4)$$

برای شکل ۷ و رابطه‌های ۳ و ۴ با کاهش عدد فرود جریان، عمق بی‌بعد آبشستگی کاهش یافته، و همین‌طور از فاصله بین دو منحنی کاسته می‌شود، که نشان‌دهنده این است، که در اعداد فرود پایین و یا به عبارتی سرعت‌های

مشبک را در فاصله  $0.5D$  از بستر رسوبی در عدد فرود  $0.32$  نشان می‌دهد. شکل ۱۰ تغییر پذیری‌های عمق آبشستگی را با توجه به تغییر نوع طوق روی پایه نسبت به آبشستگی بدون طوق نشان می‌دهد. از این رو نصب طوق در کاهش عمق آبشستگی نسبت به آزمایش‌های شاهد موثر می‌باشد.

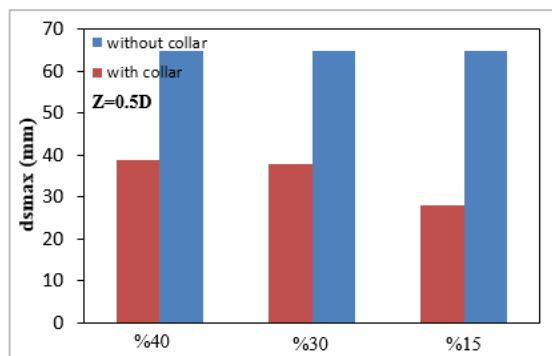


Fig. 10 Scour depth with collar in froud number 0.32

شکل ۱۰ عمق آبشستگی با حضور طوقه در عدد فرود  $0.32$

### ۲-۳- آزمایش‌های مرحله دوم (تأثیر تراز نصب طوقه

از بستر بر میزان آبشستگی پیرامون آن) مرحله‌های انجام آزمایش‌های اصلی نیز همانند آزمایش‌های شاهد بود، با این تفاوت که در این آزمایش‌ها، پایه پل استوانه‌ای مجهز به طوقه بوده است. شکل ۱۱ (الف) نمای کلی ساده‌ای از مقطع آزمایش در این بخش از آزمایش‌ها نشان داده شده است. شکل ۱۱ (ب) یکی از مراحل آزمایش‌های انجام شده به همراه نصب طوقه بر پایه پل را نشان می‌دهد.

تراز نصب طوقه، تأثیر بسزایی در کاهش آبشستگی اطراف پایه پل دارد. هر چه تراز نصب طوقه نسبت به بستر کاهش یابد، عملکرد طوقه افزایش می‌یابد. در هر سه فاصله نصب طوقه روی پایه، توسعه حفره آبشستگی نسبت به آزمایش‌های شاهد کاهش یافته است. با قرار گرفتن طوقه روی سطح بستر و جلوگیری از تشکیل جریان‌های نعل اسبی زیر طوقه و افزایش مدت زمان لازم برای توسعه حفره آبشستگی از کناره‌های طوقه به زیر آن، عمق بیشینه و توسعه طولی و عرضی حفره آبشستگی نسبت به حالت شاهد به میزان قابل توجهی کاهش نشان داد. در این تراز با افزایش درصد بازشدگی طوقه عمق بیشینه آبشستگی

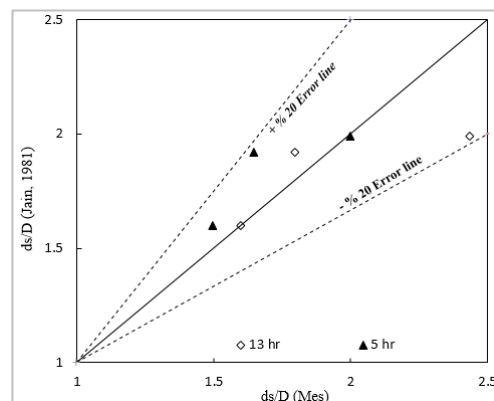
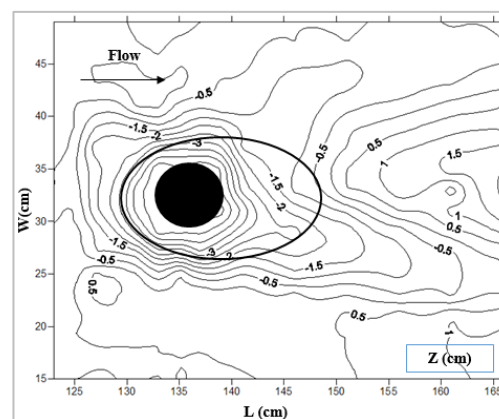


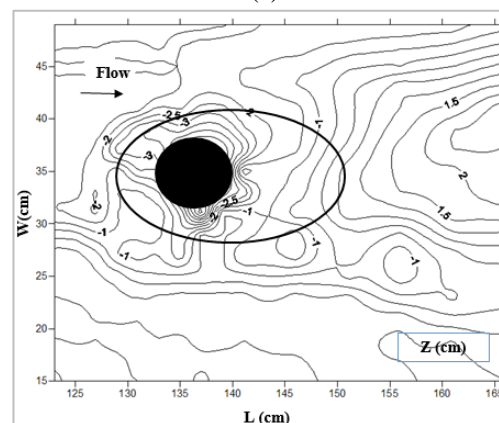
Fig. 8 Comparison of Jain (1981) and new Eqs.

شکل ۸ مقایسه بین رابطه Jain (1981) و رابطه‌های مستخرج

شده



(a)



(b)

Fig. 9 Depth of scouring with collar in 0.5D on froud number 0.32 (a) 30%, (b) 40%

شکل ۹ الگوی آبشستگی طوق مشبک در فاصله  $0.5D$  از بستر رسوبی در عدد فرود  $0.32$  (a) ۳۰ درصد، (b) ۴۰ درصد

فرود  $0.32$ ، طوقه‌های ۳۰ و ۴۰ درصد مشبک با کاهش ۳۷ درصدی در میزان بیشینه عمق آبشستگی نسبت به آزمایش شاهد، هر دو عملکرد یکسانی را از خود نشان دادند. شکل ۹ الگوی آبشستگی با حضور طوقه‌های ۳۰ و ۴۰ درصد

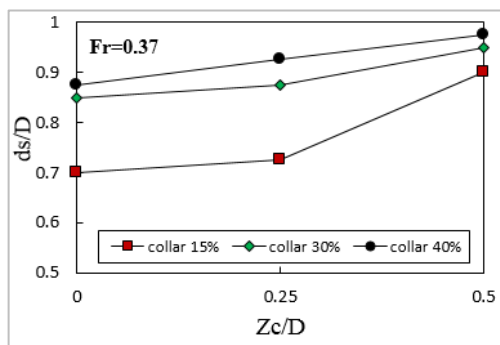


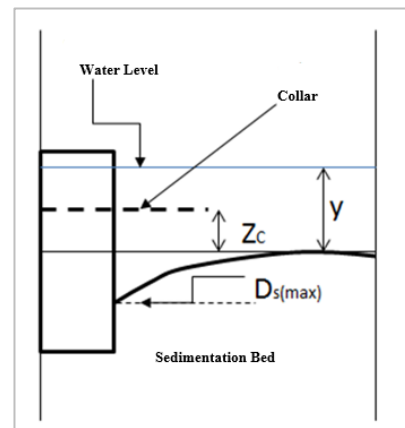
Fig. 12 Dimensional depth changes of scour with changing distance from the sedimentary bed

شکل ۱۲ تغییر پذیری‌های عمق بی‌بعد آبشستگی با تغییر فاصله از بستر رسوبی در عدد فرود ۰/۳۷

رابطه ۵، رابطه رگرسیونی بین دو فراسنجه عمق بی‌بعد آبشستگی با تغییر پذیری‌های فاصله را نشان می‌دهد که از ضریب همبستگی بالایی دارد.

$$d_s/D = 0.25(Z_c/D)^2 + 0.8(Z_c/D) + 0.5 - r^2 = 0.98 \quad (5)$$

برابر شکل ۱۲ و رابطه ۵ هر چه میزان فراسنجه بی‌بعد تراز نصب طوقه از بستر رسوبی افزایش می‌یابد، از میزان درصد کاهش آبشستگی با حضور طوقه کاسته می‌شود. درصد کاهش آبشستگی با استفاده از نتایج آزمایش‌های شاهد و بر مبنای بیشینه عمق آبشستگی در حضور طوق مستنجه می‌شود، و در صورتی که میزان تراز نصب دوباره افزایش یابد، فراسنجه نامبرده تاثیر چندانی در میزان عمق آبشستگی ندارد. نصب طوقه‌ها بر عوارض بستر و هم بر میزان عمق آبشستگی تاثیر قابل ملاحظه‌ای داشت. در شکل ۱۳ تأثیر میزان بازشدگی طوقه‌ها در تراز ۰/۲۵D در عدد فرود ۰/۳۷ نشان داده شده است. میزان عمق بیشینه آبشستگی به دست آمده با حضور طوقه‌های مختلف بهم نزدیک بود. بهترین بازده کاربرد طوقه‌های مشبک در تراز ۱ سانتی‌متر مربوط به طوقه ۱۵ درصد مشبک است. در این طوقه جریان لایه مرزی ایجاد شده توانسته با به تأخیر انداختن جدایی جریان از سطح طوقه اندکی در مقابل جریان‌های گردابه‌ای ایجاد شده عملکرد بهتری نشان دهد.



(a)



(b)

Fig. 11 a) cross section with collar b) Sample from the lab

شکل ۱۱ (a) نمای کلی ساده‌ای از مقطع آزمایش‌های همراه با طوق، (b) نمونه آزمایشگاهی

افزایش یافت. از سوی دیگر با افزایش فاصله طوقه از بستر نیروی جریان‌های نعل اسبی زیر طوقه افزایش یافته و در نتیجه آبشستگی افزایش خواهد داشت. شکل ۱۲ تغییر پذیری‌های عمق بی‌بعد آبشستگی (ds/D) را نسبت به فاصله از سطح بستر رسوبی (Zc/D) در عدد فرود ۰/۳۷ برای طوقه‌های نامتقارن ۶×۳ و ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد مشبک را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار با کاهش فاصله هر یک از طوقه‌ها از بستر رسوبی، فضایی لازم برای گسترش جریان‌های گردابه‌ای زیر طوقه موجود نمی‌باشد، در نتیجه بیشینه عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. و بر عکس آن با افزایش فاصله طوقه از بستر رسوبی بر میزان عمق آبشستگی افزوده می‌شود. همه طوقه‌ها نسبت به آزمایش شاهد روند کاهش را در میزان عمق بیشینه نشان می‌دهند. طوقه‌های ۳۰ و ۴۰ درصد مشبک، تغییرپذیری‌های عمق آبشستگی به تقریب مشابهی در تراز متفاوت نصب طوقه روی پایه دارند.

هنگامی که سرعت به صفر می‌رسد، جهت آن عوض می‌شود و جریان رو به بالا شکل می‌گیرد. این گرداب که با عنوان گرداب نعل اسبی شناخته می‌شود، باعث اعمال نیروی بالابرنده بر ذرات رسوب شده و همچنین سرعت‌های عرضی و طولی نیز مسبب انتقال ذرات رسوب بلند شده از بستر می‌باشند.

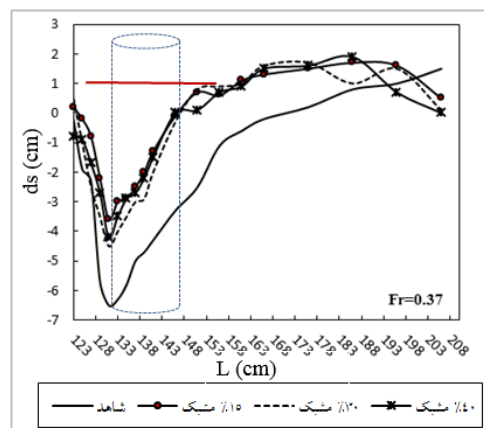


Fig. 13 Length development scour hole in Froude number 0.37

شکل ۱۳ توسعه طولی حفره آبشستگی بر عدد فرود ۰/۳۷

### ۳-۳-آزمایش‌های مرحله سوم (آزمایش‌های سرعت‌سنجی جریان پیرامون پایه)

در این بخش در آغاز مولفه‌های سه بعدی سرعت جریان در عمق‌های مختلف جریان در نقطه مبنا تعیین شد، و پس از آن مولفه‌های سه بعدی سرعت جریان پیرامون پایه و طوقه در چند عمق مختلف برداشت و برای رسم میدان سه بعدی جریان پیرامون پایه مورد استفاده شدند.

#### ۱. بررسی رخ نمای مولفه‌های سرعت در نقطه

بیشینه آبشستگی (آزمایش شاهد): برای آشنایی با توزیع سرعت در نقطه بیشینه آبشستگی، در حالت بدون طوقه یا آزمایش شاهد، مولفه‌های سه بعدی سرعت را در عمق‌های مختلف از سطح آب تا نزدیک کف حفره آبشستگی اندازه‌گیری شدند، که در این سری آزمایش‌های مربوط به سرعت، رخ نما سرعت در راستای عمقی و برای عدد فرود ۰/۳۲ برداشت شده است. در شکل ۱۴ رخ نما سرعت طولی، عرضی و عمقی نشان داده شده است. با توجه به شکل بیشترین میزان سرعت مربوط به سرعت عرضی می‌باشد، که حدود ۳۰ سانتی‌متر بر ثانیه است، البته این سرعت به سمت کف سیر کاهشی را در پیش می‌گیرد و به میزان ۲۸ سانتی‌متر بر ثانیه می‌رسد. در زمینه سرعت عمقی می‌توان گفت که از سطح آب تا عمق حدود ۳ سانتی‌متری یک جریان رو به پایین شکل می‌گیرد، و به تدریج از میزان سرعت آن کاسته می‌شود، و

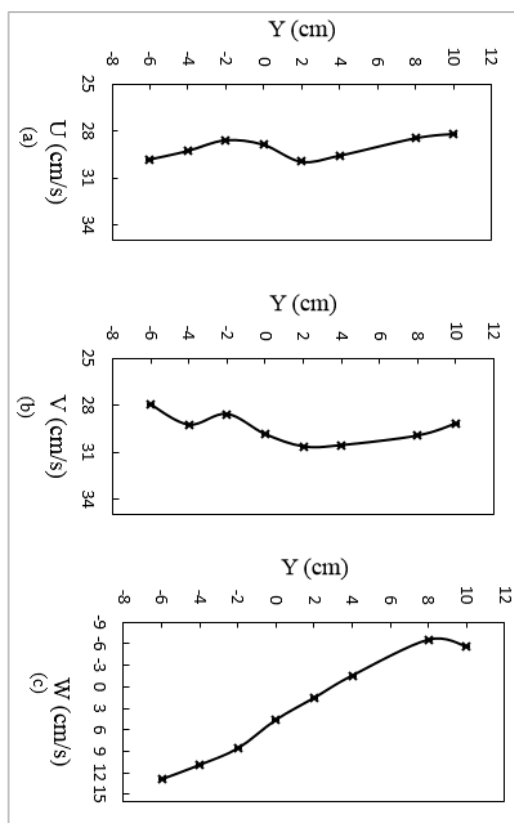


Fig. 14 Velocity profile at maximum point  
a) Longitudinal profile b) Width profile d) Depth profile  
شکل ۱۴ رخ نمای سرعت در نقطه بیشینه عمق آبشستگی:  
الف) رخ نمای طولی ب) رخ نمای عرضی ج) رخ نمای عمقی

۲. بررسی الگوی جریان در نیم‌رخ‌های عمودی پیرامون پلایه استولنه‌ای: در این بخش، با استفاده از مدل آزمایشگاهی و سرعت سنج سه بعدی ADV، الگوی آبشستگی و همین‌طور الگوی جریان پیرامون پایه و همچنین طوقه بررسی و ترسیم شد، و عامل‌های موثر بر آغاز و توسعه آبشستگی بررسی شدند. در شکل ۱۵ در هر دو آزمایش شاهد و طوقه بهینه الگوی جریان‌ها در نیم‌رخ عمومی ترسیم شده است. در هر دو آزمایش جریان در

محافظتی در مقابل جریان‌های پیرامون پایه را بر عهده دارد. الگوی جریان در نیمرخ نشان می‌دهد که وجود جریان رو به پایین و گرداب نعل‌اسبی شکل گرفته در قسمت جلوی پایه در هر دو آزمایش به طور کامل مشخص می‌باشد. البته شدت گرداب حاصله در صورت استفاده از طوقه نسبت به آزمایش شاهد کاهش یافته است.

#### ۴- نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، تاثیر فراسنجه بی بعد ارتفاع نصب طوق بر میزان آبشستگی پیرامون پایه پل بررسی شد. نتایج نشان داد، ۱: با افزایش عدد فرود و افزایش تراز نصب طوقه بر پایه میزان آبشستگی پیرامون پایه افزایش می‌یابد. بهترین بازده کاربرد طوقه‌های مشبک در تراز ۱ سانتی‌متر و عدد فرود  $0.37$  مربوط به طوقه ۱۵ درصد مشبک با ۴۴ درصد کاهش نسبت به آزمایش شاهد است. و طوقه ۴۰ درصد مشبک عملکرد بهتری نسبت به طوقه ۳۰ درصد مشبک را داشت (شکل ۱۲). ۲: استفاده از طوقه مشبک موجب کاهش عمق آبشستگی پیرامون پایه نسبت به شرایط بدون طوقه می‌باشد (شکل ۱۰). ۳: با برداشت سرعت‌های پیرامون طوقه و ترسیم شکل ۱۴ می‌توان عنوان کرد که جریان لایه مرزی ایجاد شده پیرامون طوقه‌ها موجب استهلاک بیشتر جریان‌های گردابه‌ای شده، و در نتیجه مطابق شکل ۹ حفره کوچکتری پیرامون پایه تشکیل شد. طوقه‌های مورد آزمایش با تاثیر جریان لایه مرزی در به تأخیر انداختن جدایی جریان از حجم آبشستگی کاسته اند. همچنین نتایج این پژوهش بیانگر تاثیر جریان رو به پایین و گرداب‌های ایجاد شده، در محدوده پایه پل با مقطع دایره‌ای بر آغاز و توسعه آبشستگی پیرامون آن می‌باشد.

#### ۵- فهرست نشانه‌ها

$B$	عرض آبراهه (m)
$y$	عمق جریان (m)
$V$	سرعت ( $ms^{-1}$ )
$D$	قطر پایه پل (m)
$D_{50}$	میانگین ذرات رسوبی (m)

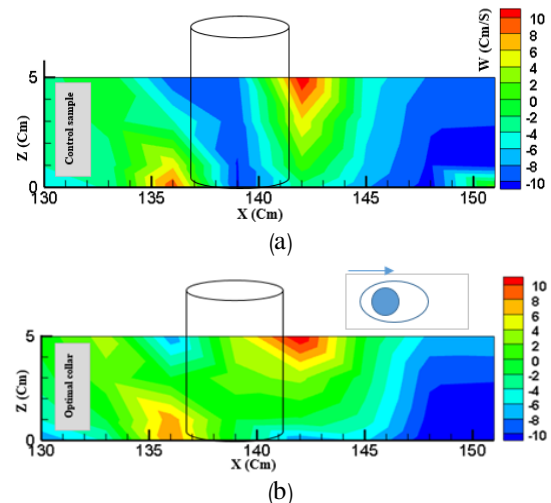


Fig. 15 Flow field around circular bridge pier a) control sample b) optimal collar

شکل ۱۵ میدان جریان پیرامون پایه پل استوانه‌ای در آزمایش (الف) شاهد و (ب) طوقه بهینه

نزدیکی سطح آب، پس از برخورد با مانع رو به پایین حرکت کرده است، که در نزدیکی بستر پس از برخورد با کف به سمت جریان اصلی آبراهه منحرف می‌شود. وجود طوقه مانند یک سپر محافظتی در مقابل جریان‌های پایین‌رونده عمل می‌کند و از این رو، جریان رو به پایین در پی آن گرداب نعل‌اسبی ضعیف‌تری شکل خواهد گرفت. گرداب حاصله و جریان‌های رو به پایین از عامل‌های اصلی آغاز آبشستگی پیرامون پایه هستند در حضور طوقه جریان لایه مرزی ایجاد شده توانسته با به تأخیر انداختن جدایی جریان از سطح طوقه اندکی در مقابل جریان‌های گردابه‌ای ایجاد شده عملکرد بهتری نشان دهد. در این پژوهش آزمایش تعیین مولفه‌های سه بعدی و رسم الگوی جریان پیرامون طوقه بهینه صورت گرفت، که روی سطح بستر نصب شده بود. همان طور که مشاهده می‌شود، گرداب نعل‌اسبی کمترین تماس را با بستر پیرامون مانع داشته است، و مدت زیادتری آبشستگی را به تعویق می‌اندازد. البته گرداب نعل‌اسبی رسوب‌های پیرامون طوقه را شسته و به زیر آن نفوذ می‌کند، و باعث آبشستگی می‌شود، که البته آبشستگی ایجاد شده نسبت به حالت بدون طوقه با تاخیر همراه خواهد بود، و همچنین شدت گرداب‌های نعل‌اسبی در آزمایش طوقه بهینه نسبت به آزمایش شاهد کاهش یافته است. بنابراین طوقه بهینه تنها نقش یک سپر

Gogus, M. and Dogan, A. (2010). Effect of collars on scour reduction at bridge abutments. Department of Civil Engineering Hydraulics.

Heidarpour, M., Afzalimehr, H. and Izadinia, E. (2010). Reduction of local scour around bridge pier group using collars. *Int. J. Sed. Res.*, 25(4), 411-422.

Hoffmans, G.J. and Verheij, H.J. (1997). Scour manual. 5th.eden, London, Balkema Publishing. 205p.

Izadinia, E., Heidarpour, M. and Schleiss, A.J. (2013). Investigation of turbulence flow and sediment entrainment around a bridge pier. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 27(1), 1303-1314.

Jain, S.C. (1981). Maximum clear-water scour around circular bridge piers. *J of hydraulic division*, 107(50), 102-114.

Jalili, A. and Ghomeshi, M. (2013). Effect of collar on the square and circular bridge pier on the sedimentation bed. PhD Thesis, University of shahid chamran. 106p. (In Persian)

Khademi, K.H., Khozaymeh-Nezhad, H. and Shafaei Bejestan, M. (2011). Height extraction of river material in Khozestan province in the main factors of bridge abutment scour. 3<sup>rd</sup> Irrigation and Drainage Network Management National Conference (IDNC). Shahid Chamran University. (In Persian)

Khozaymehnezhad, H., Ghomeshi, M. and Shafai-Bajestan, M. (2014). Comparison of symmetrical and unsymmetrical rectangular collars on reduction of local scour at bridge abutment. *Irrigation sciences and engineering (JISE)*, 37(2), 1-12.

Kumar, V., Ranga Raju, K.G. and Vittal, N. (1999). Reduction of local scour around bridge pier using slots and collars. *J. Hyd. Eng. ASCE*, 125(12), 1302-1305.

Melville, B.W. and Chiew, Y.M. (1999). Design method for local scour at bridge pier. *J. Hyd. Eng. ASCE*, 114(10), 1210-1226.

Melville, B.W. (1992). Local Scour at Bridge Abutments. *J. Hydr. Engin. ASCE*, 118(4), 615-631.

Memar, S., Kermani, M., Rahimpour, M., Decesare, G. and Schless, A. (2019). Influence of collars on reduction in scour depth at two piers in a tandem configuration. *Polish academy of science & polish academy science*.

Ministry of Power. (2006). Handbook of Dewatering and protecting the river. J. No. 307a. Dec. Iran, 164P. (In Persian)

Ministry of Power. (2012). Handbook of Mathematical and Physical Modeling in River

$d_s$  بیشینه عمق حفره آبستگي (m)

$g$  شتاب ثقل ( $ms^{-2}$ )

$B_c$  عرض طوقه (m)

$L_c$  طول طوقه (m)

$Z_c$  ارتفاع نصب طوقه از بستر (m)

### نشانه‌های یونانی:

$\rho$  چگالی ( $kgm^{-3}$ )

$\mu$  لزجت دینامیکی ( $kgm^{-1}s^{-1}$ )

$\rho_s$  چگالی ذرات رسوبي ( $kgm^{-3}$ )

### ۶- منابع ها

Azam, N. and Ghomeshi, M. (2012). Influence of sacrificial piles on scour reduction of bridge pier. PhD Thesis, University of shahid chamran. 106p. (In Persian)

Bestway, A., Eltaway, T., Alsaluli, A., Almaliki, A. and Alqurashi, M. (2020). Reduction of local scour around a bridge pier by using different shapes of pier slots and collars. *J. Water Supply*, 20 (3), 1006-1015.

Breusers, H.N.C. and Raudkivi, A.J. (1991). Scouring 2nd hydraulic structures design manual. IRHR. AA. Balkema. Rotterdam. The Netherlands.

Chiew, Y.M. and Lim, F.H. (2000). Failure behavior of riprap layers at bridge piers under live-bed conditions. *J. Hyd. Eng. ASCE*, 126(1), 43-55.

Chiew, Y.M. and Melville, B.W. (1987). Local scour around bridge piers. *J. Hyd. Res.*, 25(1), 15-26.

Chow, V.T. (1989). Handbook of Applied Hydrology. MC Growill Book. Co, New York.

Ettema, R. (1980). Scour at bridge piers. Report No. 216, University of Auckland, NewZeland.

Dargahi, B. (1990). Controlling Mechanism of Local Scouring. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 116(10), 1197-1214.

Dey, S. and Nath, T. (2010). Turbulence characteristics in flows subjected to boundary injection and suction. *J. Eng Mech. ASCE*, 136(7), 877-887.

Ghorbani, B. and Kells, J.A. (2008). Effect of submerged venes on the scour occurring at a cylindrical pier. *J. Hyd. Res. IAHR*, 46(5), 610-619.

Engineering and Studies. J. No. 584. Iran, 154P. (In Persion).

Tabarestani, M. and Zarrati, A. (2019). Local scour depth at a bridge pier protected by a collar in steady and unsteady flow. J. Water Management. 126(6), 301-311.

Vaghefi, M., Ghodsiyan, M. and Salami Neyshabouri., S.A. (2010). Laboratory investigations of froud number on scour pattern around pier. Shiraz University.

Zarrati., A.R., Gholami., H. and Mashahir, M.B. (2004). Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. J. Hyd. Res. IAHR, 42(1), 97-103.