Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 45, No. 3, Fall 2022, p. 131-145

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Experimental investigation of the angle effect of the cylindrical bridge group piers relative to the flow direction on the maximum scour depth of the piers

B. Pourghasemzadeh[1*] and M. Ghomeshi[2]

1- Corresponding Author, Graduated Student of Water Engineering and Environment Faculty, Shahid Chamran Univeristy of Ahvaz,Ahvaz, Iran. (behnam.pourghasem@yahoo.com).*
2- Professor of Water Engineering and Environment Faculty, Shahid Chamran Univeristy of Ahvaz,Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 8 September 2020
Revised: 7 March 2022
Accepted: 9 March 2022

Keywords:
Local scour, Clear water, cylindrical pier Group, Scour hole, angle

TO CITE THIS ARTICLE:

Pourghasemzadeh, B., Ghomeshi, M. (2022). 'Experimental investigation of the angle effect of the cylindrical bridge group piers relative to the flow direction on the maximum scour depth of the piers', *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(3), pp. 131-145.

Introduction

Bridges are one of the important structures in the field of land communication. With the construction of these structures in the river, a flow pattern with a three-dimensional structure is formed in the vicinity of its piers, and as a result of increasing the flow speed and the formation of horseshoe vortex and wake vortices, part of the sediments around the piers and foundation will be washed away, and if the sufficient depth of foundation is not taken into account, the destruction of the bridge will result especially during floods. Road or railway crossing over the rivers is limited to the particular reach of the rivers which is determined by the general direction of the road or railway. Moreover, the general direction of the road or railway determines the position of the bridge over the river. Selection of the bridge path angle relative to the river flow direction is very important. Sometimes, due to the geographical conditions of the region and the general direction of the road or railway, the bridge crossing directly perpendicular to the flow direction is impossible. In this case, the bridge deck diagonally crosses over the river and the bridge group piers are angled relative to the flow direction. In such case, the distance between the piers, the flow direction relative to the piers and the piers submergence are very important parameters which affect the scour depth.

Methodology

The experiments of this research are carried out in a laboratory channel six meters long, 0.73 meters wide and 0.6 meters high with a longitudinal slope close to zero located in the Laboratory of Physical and Hydraulic Models of the Faculty of Water & Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. The walls of the channel were made of

glass with a thickness of 10 mm and the bottom was made of iron. The channel has a tank at the beginning and also at the end. A flowmeter installed at the beginning of the channel was used to measure the flow rate. The required water was transferred from the main tank to the channel by a pump with a maximum flow rate of 26 liters per second, and in order to remove the disturbance of the flow, a mesh net was used immediately after the inlet of flume. A sliding valve has been designed to control and regulate the water level at the downstream end of this channel, through which it is possible to return water to the tank and drain or circulate in the system. The geometric standard deviation of the sand particles used in the experiments is equal to 1.3. According to the mentioned conditions, an area of the flume with a length of approximately two meters and a thickness of 0.1 meter was covered with fine sand sediments with uniform grain size and an average diameter of 0.0005 meters. The diameter of the bridge piers (D_p) used in the experiments was 25 mm, which are made of *PVC*. The arrangement of the piers were three groups of triplets, and the center-to-center distance of these piers was 10 cm (equal to four times the diameter of the piers). Also, the distance between the groups of piers was 18.5 cm (equivalent to 7.4 times the diameter of the piers).

Results and discussion

In this study, the effect of the angle of the bridge group piers on the maximum scour depth at different angles relative to the flow direction (0, $\pi/18$, $\pi/9$ and $\pi/6$) at the clear water condition and for the three Froude Numbers (0.13, 0.15 and 0.17) were experimentally investigated. The results of the experiments indicated that with the increase in the relative speed of the flow, deeper and wider holes of scour are formed due to the activity of vortex around the piers groups. In general, with the increase in the Froude Numbers of the flow, the depth of scour holes increases as well as the longitudinal and transverse development of scour holes. Also, the results showed that with increasing of the angle of the group piers (0 to $\pi/6$) the maximum scour depth increases so that the maximum percent increases scour depth is equal to 36% that with changing of the angle of the group piers (0 to $\pi/6$) was observed in the Froude Number equal to 0.13.

Acknowledgment

This article has been prepared from the results of the MSc. thesis of the first author and with the support of the university's research unit through the second author's Grant (SCU.WH.98.86) by which the authors thank and appreciate the university's vice chancellor for research. We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support In addition, the spiritual support of the scientific center "Improvement and maintenance of irrigation and drainage networks" is thanked and appreciated.

© 2022 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٥، شماره‌ی۳، پاییز ۱٤۰۱، مقاله پژوهشی، ص. ۱٤٥-۱۳۱

بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه گروه پایه‌های استوانه‌ای پل نسبت به جهت جریان روی حداکثر عمق آبشستگی گروه پایه‌ها

بهنام پورقاسم زاده[۱*] و مهدی قمشی[۲]

۱*- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
behnam.pourghasem@yahoo.com
۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۸

چکیده

عبور جاده و یا خط راه‌آهن از روی رودخانه‌ها محدود به بازه‌های خاصی از رودخانه‌هاست که توسط مسیر کلی راه مشخص می‌گردد، علاوه بر آن مسیر کلی راه راستای قرارگیری پل روی رودخانه را نیز تعیین می‌نماید، انتخاب راستای پل نسبت به مسیر جریان در رودخانه بسیار مهم است. گاهی به‌دلیل شرایط جغرافیایی منطقه و مسیر کلی راه، امکان عبور پل به‌صورت مستقیم و عمود بر مسیر جریان در رودخانه میسر نمی‌باشد، در این صورت عرشه پل، به‌صورت مورب عرض رودخانه را طی می‌کند و راستای گروه پایه‌های پل که عمود بر راستای عرشه هستند با جهت جریان زاویه‌دار می‌شوند. در این حالت فاصله بین پایه‌ها، زاویه برخورد جریان به گروه پایه‌ها و همچنین میزان مستغرق بودن پایه‌ها، از مهم‌ترین عواملی هستند که عمق آبشستگی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از این رو در مطالعه کنونی با شبیه‌سازی فیزیکی آبشستگی، به بررسی اثر زاویه گروه پایه‌های استوانه‌ای پل نسبت به جهت جریان بر حداکثر عمق آبشستگی گروه پایه‌ها در زاویه‌های صفر، π/۱۸، π/۹، π/٦ رادیان در شرایط آب زلال با اعداد فرود ۰/۱۳، ۰/۱۵ و ۰/۱۷ پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش زاویه گروه پایه‌های پل نسبت به جهت جریان از صفر تا π/٦ رادیان حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد، به‌طوری که بیشینه درصد افزایش عمق آبشستگی برابر است با ۳٦ درصد که با تغییر زاویه از صفر به π/٦ رادیان در عدد فرود ۰/۱۳ مشاهده گردید.

کلید واژه‌ها: آبشستگی موضعی، آب زلال، گروه پایه پل استوانه‌ای، حفره‌ی آبشستگی، زاویه.

مقدمه

پل‌ها یکی از سازه‌های مهم در حوزه ارتباطات زمینی می‌باشند. با احداث این سازه‌ها در رودخانه، الگوی جریانی با ساختاری سه‌بعدی در مجاورت پایه‌های آن شکل می‌گیرد که در نتیجه‌ی افزایش سرعت جریان و تشکیل گردابه‌های نعل اسبی و برخاستگی، بخشی از رسوبات اطراف پایه و پی آن دچار آبشستگی می‌شود و در صورت در نظر نگرفتن عمق کافی برای پی یا پایه‌ها، تخریب پایه‌های پل، به‌ویژه در زمان سیلاب را به دنبال خواهد داشت. یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل این تخریب‌ها آبشستگی اطراف پایه‌های پل ناشی از جریان رودخانه می‌باشد، به‌طوری که حدود ۶۰ درصد از تخریب پل‌ها را می‌توان به آبشستگی یا عوامل هیدرولیکی دیگر نسبت داد.

Nourzad et al. (2001) مسئله‌ی آبشستگی در اطراف پایه‌های پل سال‌هاست که ذهن محققین را به خود مشغول نموده است، علی‌رغم اینکه تا به امروز روابط مختلفی برای پیش‌بینی و جلوگیری این پدیده به‌صورت تجربی ارائه شده است، لکن هر یک از آن‌ها در شرایط محیطی و هیدرولیکی خاص قابل استفاده هستند. همچنین آبشستگی در گروه پایه‌ها موضوعی است که کم‌تر به آن توجه شده است. لذا تخمین دقیق حداکثر عمق آبشستگی در اطراف گروه پایه‌ها به‌عنوان ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در کارهای مهندسی رودخانه مطرح است. فرآیند آبشستگی اطراف گروه پایه با تک پایه متفاوت می‌باشد. فرآیندهایی که آبشستگی اطراف گروه پایه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند عبارتند از اثر تقویت کردن، اثر محافظت یا پناه دادن، اثر گرداب‌های جاری و اثر به هم فشردگی گردابه‌های نعل اسبی (Hannah، 1978).

Sheppard و Renna (2005) فاصله بین پایه‌ها، زاویه برخورد جریان با پایه‌ها، میزان مستغرق بودن پایه‌ها و نیز آرایش یا نحوه قرارگیری پایه‌ها نسبت به هم، مهم‌ترین عواملی هستند که عمق

DOI: 10.22055/JISE.2017.19147.1379

آبشستگی در گروه پایه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در ادامه به چند نمونه از کارهای صورت پذیرفته توسط محقق‌های مختلف که به بررسی آبشستگی در گروه پایه پل پرداختند، به‌طور مختصر اشاره می‌گردد:

Heidarpour et al. (2007) نتایج آزمایش‌های خود را که در کنترل آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال برای گروه پایه‌های دو و سه‌تایی استوانه‌ای واقع در امتداد یک خط مورد بررسی قرار گرفت، بدین منوال ارائه دادند که عملکرد شکاف برای پایه‌های عقبی گروه پایه‌های دو و سه‌تایی با فاصله (S) چهار برابر قطر پایه (D_P)، بیشتر از پایه‌های جلویی و تک پایه می‌باشد، همچنین عملکرد شکاف در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی با فاصله دو برابر قطر پایه‌ها، برای کلیه پایه‌ها یکسان و برابر تک‌پایه می‌باشد و با افزایش فاصله بین پایه‌ها در گروه پایه‌های دو و سه تایی عملکرد شکاف در پایه جلویی به‌علت کاهش عامل تقویت کننده و در پایه‌های عقبی به‌علت کاهش تأثیر گرداب‌های جاری افزایش می‌یابد.

Nazariha (1996) فرایند آبشستگی را در گروه پایه‌های استوانه‌ای دو، سه، چهار و شش تایی مورد بررسی قرار داد. نتایج مربوط به آبشستگی در گروه پایه‌های دوتایی نشان می‌دهد که تأثیر عامل تقویت کنندگی در $S/D_p = 4$ حداکثر بوده و باعث ۱۰ درصد افزایش در عمق آبشستگی پایه جلویی نسبت به تک‌پایه شده و با تغییر فاصله این عامل کاهش پیدا کرده است. وی اثر زاویه برخورد جریان در گروه پایه سه‌تایی مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که با افزایش زاویه، حداکثر عمق آبشستگی در پایه میانی در ۵۰ درجه مشاهده شد.

نتایج آزمایش‌های Mousavi Jahromi و Taghizadeh (2006) نشان داد که استفاده از تعداد پایه‌های بیشتر با پهنای کمتر نسبت به تعداد پایه‌های کمتر با پهنای بیشتر، باعث کاهش عمق آبشستگی موضعی می‌شود و هزینه‌های احداث پل را در برخی مواردکاهش می دهد.

Beheshti و Ataei Ashtiyani (2004) اثر فاصله بین پایه‌ها بر حداکثر عمق آبشستگی در بالادست گروه پایه‌ها را بررسی کرده و برای گروه پایه مطالعه شده، عمق آبشستگی نسبی به پارامترهای بدون بعد، نسبت عمق جریان به قطر پایه، نسبت فاصله بین پایه ها به قطر پایه و عدد فرود بستگی دارد.

Azhari et al. (2012) اثر زاویه قوس کانال و فاصله بین پایه‌ها را در گروه پایه‌ها مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که با افزایش زاویه و فاصله بین پایه‌ها آبشستگی در قوس کانال افزایش می‌یابد.

Zhao و Sheppard (1999) اثر زاویه برخورد جریان با گروه پایه‌ها بر عمق آبشستگی را بررسی کردند. آن‌ها آزمایش‌هایی برای دو نوع پایه استوانه‌ای و مکعبی در شرایط آب زلال و $S/D_p = 3$ انجام دادند. طبق مشاهدات آن‌ها برای گروه پایه‌های استوانه‌ای حداکثر عمق آبشستگی در زاویه ۲۵ درجه اتفاق افتاد. تحقیق حاضر، تأثیر زاویه گروه پایه‌های استوانه‌ای پل نسبت به جهت جریان بر حداکثر عمق آبشستگی در اطراف گروه پایه‌های پل با استفاده از مدل آزمایشگاهی را مورد توجه قرار داده است.

Movahedi et al. (2015) به بررسی آبشستگی پیرامون گروه پایه دوتایی پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش فاصله بین پایه‌ها عمق آبشستگی کاهش پیدا کرده و به تک‌پایه نزدیک می‌شود و با به‌کارگیری پی پیوسته عمق آبشستگی جلوی پایه تا ۵۵ درصد کاهش می‌یابد.

Lança et al. (2013) آزمایش‌هایی برای مشاهده اثر فاصله بین پایه‌ها در گروه پایه و تعداد گروه پایه‌ها انجام دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که در، حفره‌های آبشستگی حاصل از آبشستگی در پایه‌ها، باهم ادغام می‌شوند و یک حفره آبشستگی بزرگ‌تر برای گروه پایه ایجاد می‌کنند؛ اما از و بیش‌تر از آن، حفره‌های آبشستگی برای هر پایه واقع در گروه پایه، تمایل به جدا شدن از هم دارند و به‌صورت مجزا تشکیل می‌شوند.

همان‌گونه که پیش‌تر نیز بیان گردید تاکنون پژوهش‌های متنوعی در زمینه آبشستگی پایه‌های پل صورت گرفته است؛ که بیشتر آن‌ها تحلیل این پدیده حول یک پایه بوده است. بنابراین در این مقاله ضمن بررسی پدیده آبشستگی در گروه پایه‌های پل، به تحلیل اثر راستای گروه پایه نسبت به راستای جریان و زاویه تشکیل شده بین این دو راستا بر میزان حداکثر آبشستگی حول گروه پایه‌ها پرداخته خواهد شد؛ که نوآوری این تحقیق محسوب می‌شود.

مواد و روش ها

تحلیل ابعادی

برای شرایط آب زلال حداکثر عمق آبشستگی (d_s) در گروه پایه‌های پل تابع عوامل زیر است:

$$f\,(d_s, y, B, D_p, D_{50}, V, g, \rho, \rho_s, \vartheta, t, \theta, K_\varphi, S, G, m, n, C_D, \sigma) = 0 \qquad (۱)$$

که در این رابطه d_s: عمق آبشستگی، y: عمق جریان، B: عرض کانال، D_p: قطر پایه پل، D_{50}: قطر متوسط رسوبات بستر، S: فاصله مرکز به مرکز پایه‌ها در هر گروه پایه، G: فاصله گروه پایه‌ها از هم، V: سرعت جریان، شتاب ثقل، ρ: جرم واحد حجم آب، ρ_s: جرم واحد حجم رسوبات، ϑ: لزجت سینماتیکی سیال، t: زمان، θ: زاویه گروه پایه نسبت به جهت جریان، K_φ: ضریب زاویه‌ی برخورد آب به سطح پایه، m: تعداد پایه‌ها در هر گروه پایه، n: تعداد گروه پایه‌ها، C_D: ضریب شکل پایه، σ: انحراف معیار ذرات رسوبی

می‌باشد. با استفاده از روش باکینگهام رابطه بدون بعد بین پارامترهای فوق (۱) به‌دست آورده و با ترکیب پارامترهای بی بعد به‌دست آمده رابطه (۲) به‌دست آمد:

$$d_s/D_p = f(F_r, R_e, B/D_p, S/D_p, G/D_p, D_{50}/D_p, \theta, m, n, K_\varphi, G_s, C_D, \sigma, t) \quad (۲)$$

برای حذف پارامتر زمان از آزمایش‌های صورت پذیرفته و انجام آن‌ها در شرایط جریان پایدار، زمان تمامی آزمایش‌ها ثابت و برابر زمان تعادل بستر (۲۴۰ دقیقه) در نظر گرفته شد، به همین دلیل پارامتر زمان از آزمایش‌ها حذف گردید. همچنین برای انجام آزمایش‌ها، از پایه‌هایی با مقطع دایره‌ای و از جنس *PVC* استفاده شد، به همین دلیل مقدار C_D نیز ثابت می‌باشد. با توجه به اینکه عدد رینالدز در محدوده‌ی انجام آزمایش‌های صورت پذیرفته بیشتر از ۲۰۰۰ می‌باشد، بنابراین جریان در محدوده‌ی آشفته بوده و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد (Chiew and Melville, 1999). از طرفی پایه‌های به‌کار رفته در آزمایش‌ها استوانه‌ای شکل بودند، لذا از اثر ضریب زاویه‌ی برخورد سیال به سطح پایه (K_φ)، صرف‌نظر شد (لارسون و تاچ، ۱۹۵۶). همچنین متغیر انحراف معیار هندسی ذرات رسوب (σ)، چگالی نسبی ذرات رسوبی ($G_s = \rho_s/\rho$)، مقداری ثابت داشته و حذف شدند. متغیرهای عرض کانال (B)، قطر پایه‌ها (D_p)، قطر متوسط رسوبات بستر (D_{50})، فاصله مرکز به مرکز پایه‌ها در هر گروه پایه (S)، فاصله گروه پایه‌ها از هم (G) نیز ثابت بودند، بنابراین نسبت‌های B/D_p، D_{50}/D_p، S/D_p، G/D_p از رابطه کنار گذاشته شدند. درنهایت نیز با توجه به ثابت بودن تعداد پایه در هر گروه پایه (m) و تعداد گروه پایه‌ها (n)، رابطه‌ی بدون بعد به‌صورت زیر قابل ارائه می‌باشد:

$$d_s/D_p = f(F_r, \theta) \quad (۳)$$

امکانات آزمایشگاه و روش انجام آزمایش

آزمایش‌های این تحقیق در کانال آزمایشگاهی به طول شش متر، عرض ۰/۷۳ متر و ارتفاع ۰/۶ متر با شیب طولی نزدیک به صفر در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده‌ی مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز صورت پذیرفته است. دیواره‌های کانال از جنس شیشه‌ی سیکوریت با ضخامت ۱۰ میلی‌متر و کف آن از جنس آهن بود. کانال در قسمت ابتدایی و انتهایی دارای مخزن آرام‌کننده است. برای اندازه‌گیری دبی از یک فلومتر نصب شده در ابتدای کانال استفاده شد. آب مورد نیاز به وسیله‌ی یک پمپ با حداکثر دبی ۲۶ لیتر بر ثانیه از مخزن اصلی به کانال منتقل می‌شد و به‌منظور حذف تلاطم جریان ورودی از یک توری مشبک بلافاصله پس از مخزن آرام‌کننده ورودی استفاده شده است. یک دریچه کشویی به منظور کنترل و تنظیم سطح آب در انتهای پائین‌دست این کانال طراحی گردیده است که از طریق آن امکان برگشت آب به مخزن و زهکشی یا چرخش در سیستم وجود دارد. در شکل (۱) نمایی از کانال و تجهیزات آزمایشگاهی نشان داده شده است.

برای یکنواخت تلقی کردن ذرات رسوبی مورد استفاده مطابق پیشنهاد (Chiew and Melville, 1987) میزان انحراف معیار هندسی ذرات ($\sigma = \sqrt{D_{84.1}/D_{15.9}}$) باید از ۱/۳ کم‌تر باشد که با توجه به این معیار، میزان انحراف معیار هندسی ذرات رسوبی استفاده شده در آزمایش‌ها برابر ۱/۳ می‌باشد. با توجه به شرایط ذکرشده بازه‌ای از فلوم به طول تقریبی دو متر، به ضخامت ۰/۱ متر با رسوبات ماسه ریز با دانه‌بندی یکنواخت و قطر متوسط ۰/۰۰۰۵ متر پوشیده شد. در این تحقیق با هدف بررسی اثر زاویه گروه پایه‌های استوانه‌ای پل نسبت به جهت جریان روی حداکثر عمق آبشستگی گروه پایه‌ها، قاب شیشه‌ای در بالای کانال آزمایشگاهی مستقر شده است که نقش عرشه پل را ایفا می‌کند و با زاویه (θ) نسبت به حالت عمود بر جریان در کانال قرار می‌گیرد، به دنبال آن نوارهای شیشه‌ای واقع در زیر عرشه پل قرار دارند که با پیچ و مهره به عرشه متصل گردیده‌اند و گروه پایه‌های پل روی آن‌ها نصب شده است به‌طوری که راستای گروه پایه‌ها عمود بر راستای عرشه پل می‌باشد و با جهت جریان زاویه (θ) می‌سازد. قطر پایه‌های پل (D_p) به‌کار رفته در آزمایش‌ها ۲۵ میلی‌متر می‌باشد که از جنس *PVC* ساخته شده‌اند. آرایش پایه‌ها بدین گونه می‌باشد که پایه‌ها در سه گروه پایه‌ی سه‌تایی قرار دارند، به‌طوری که در هر گروه پایه، سه پایه پل قرار می‌گیرد و فاصله مرکز به مرکز این پایه‌ها (S)، ۱۰ سانتی‌متر (معادل چهار برابر قطر پایه) می‌باشد. همچنین فاصله گروه پایه‌ها از هم (G)، ۱۸/۵ سانتی‌متر (معادل ۷/۴ برابر قطر پایه) منظور شد. شایان ذکر است فاصله مرکز به مرکز پایه‌ها در هر گروه پایه نسبت به قطر پایه (S/D_p) مطابق با اندازه این نسبت در گروه پایه‌های پل‌های پنجم و نادری واقع بر رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز انتخاب گردیده است که این نسبت برابر با چهار می‌باشد. همچنین مدل پایه‌های مورد نظر به‌منظور شکل‌گیری جریانی کاملاً متلاطم و توسعه یافته در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از ابتدای بستر رسوبی نصب گردید. شکل (۲) آرایش گروه پایه‌های پل در آزمایشگاه را نشان می‌دهند. در تمامی آزمایش‌های انجام شده مبنای مقایسه‌ها و تحلیل‌ها، مقدار آبشستگی در گروه پایه وسط می‌باشد و به‌دلیل اینکه دیواره‌های کانال آزمایشگاهی و تنگ‌شدگی مقطع کانال بر مکانیزم آبشستگی در گروه پایه‌های کناری اثر می‌گذارد، از تحلیل نتایج حاصل از گروه پایه‌های کناری صرف‌نظر شد. همچنین لازم به توضیح است که فلسفه وجود دو گروه پایه پل

DOI: 10.22055/JISE.2017.19147.1379

کناری، مشاهده اثر آن‌ها بر حداکثر عمق آبشستگی گروه پایه وسط می‌باشد. آزمایش‌ها در زاویه‌های صفر، $\pi/18$، $\pi/9$، $\pi/6$ رادیان که عرشه پل با راستای عمود بر جریان در کانال ایجاد می‌کند (گروه پایه‌های پل با جهت جریان در کانال)، در شرایط آب زلال با اعداد فرود ۰/۱۳، ۰/۱۵ و ۰/۱۷ انجام گردید.

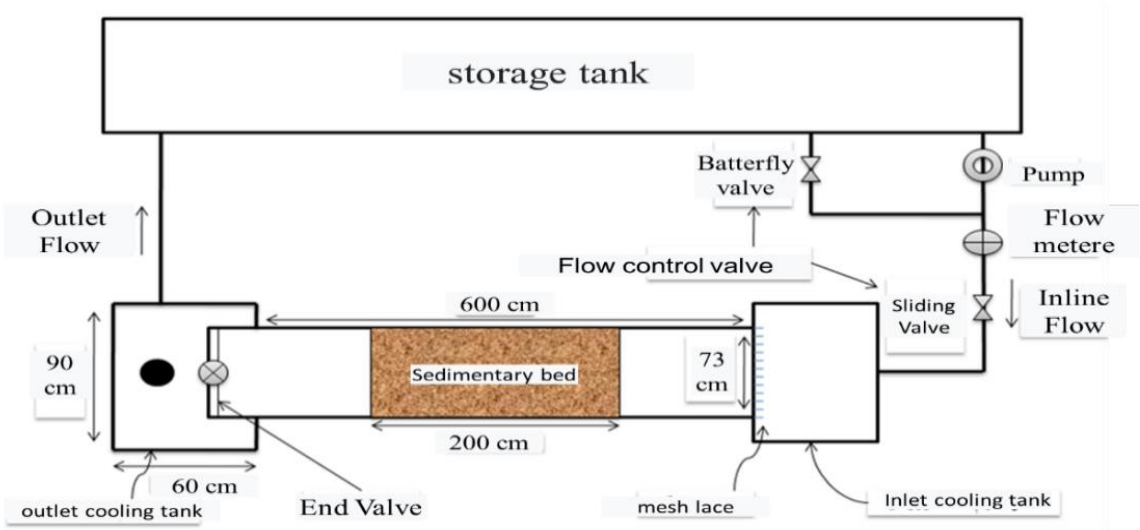


Fig. 1- Channel plan and laboratory equipment

شکل ۱-پلان کانال و تجهیزات آزمایشگاهی

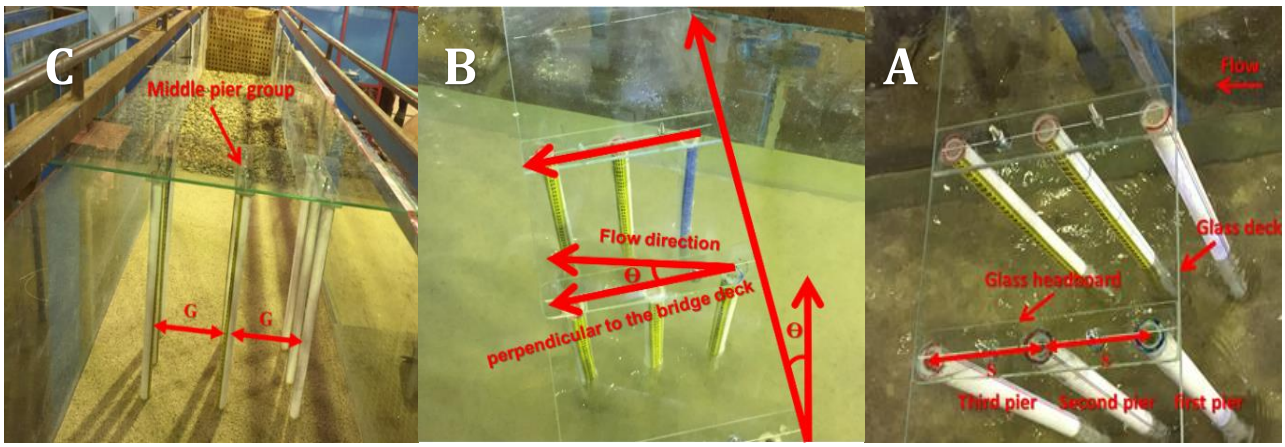


Fig. 2- A-Showing the length distance between bridge pier in each pier group. B- Showing the group of bridge pier with an angle (Θ) relative to the flow direction. C- Showing all groups of bridge pier and the transverse distance between the groups of pier

شکل ۲- الف-نمایش فاصله طولی بین پایه‌های پل در هر گروه پایه- ب- نمایش گروه پایه‌های پل با زاویه (θ) نسبت به جهت جریان- ج- نمایش هر سه گروه پایه پل و فاصله عرضی بین گروه پایه‌ها

Melville و Chiew (1999) عنوان کردند برای تعیین عمق جریان، حداکثر تنش برشی باید در شرایط آب زلال تعیین گردد. زمانی که سرعت جریان در محدوده $0.3V_c < V < V_c$ باشد آبشستگی در شرایط آب زلال رخ می‌دهد و اگر سرعت متوسط جریان (V) بیش‌تر از سرعت آستانه حرکت (V_c) باشد آبشستگی در شرایط بستر زنده صورت می‌پذیرد. در آزمایش‌های این تحقیق، آبشستگی در شرایط آب زلال انجام پذیرفته است. با توجه به موارد فوق، برای تعیین سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی، در کانال آزمایشگاهی روی بستر رسوبی و بدون حضور پایه، عمق‌های متفاوتی با تنظیم حداکثر دبی، ۲۶ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شد تا بتوان حرکت یا عدم حرکت رسوب‌های بستر را با چشم مشاهده نمود. لذا با ثابت نگه داشتن دبی و با کاهش تدریجی عمق جریان و مشاهده حرکت مجموعه ای از ذرات V_c تعیین گردید. پس از اندازه‌گیری‌های صورت پذیرفته در نهایت، مقدار سرعت متوسط جریان برای آستانه حرکت رسوبات ۰/۲۴ متر بر ثانیه تعیین گردید. جدول (۱) شرایط جریان حاکم بر آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. پدیده آبشستگی در اطراف پایه پل‌ها، فرآیندی است که با گذشت زمان توسعه یافته و در نهایت به تعادل می‌رسد. شناخت این فرآیند و تخمین عمق آبشستگی در طی زمان و به‌خصوص در زمان رسیدن حفره آبشستگی به حالت تعادل برای طراح پل حائز اهمیت می‌باشد. از این رو، به منظور تعیین زمان مناسب برای انجام آزمایش‌ها، یک آزمایش ۳۶۰ دقیقه‌ای با دبی ۲۶ لیتر بر ثانیه (سرعت نسبی: ۰/۹۲ V/V_c) برای گروه پایه‌های پل انجام گرفت و زمان تعادل بر اساس تغییرات ناچیز حفره‌های آبشستگی نسبت به زمان به‌دست آمد. شکل (۳) منحنی توسعه‌ی زمانی حفره‌های آبشستگی برای گروه پایه وسط نشان داده شده است که با توجه به آن زمان انجام آزمایش‌ها ۲۴۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

در شروع هر آزمایش دریچه کشویی در انتهای مجرای کانال به‌طور کامل بسته شده و آب به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد فرسایش اولیه در سطح بستر و ایجاد خطا در آزمایش جلوگیری به‌عمل آید. پس از بالا آمدن سطح آب، به‌طوریکه در حدود یک سانتی‌متر از سطح رسوب‌های بستر را می‌پوشاند، پمپ با دبی حداقل راه اندازی و جریان ورودی با سرعت بسیار کم وارد کانال می‌گردید تا سطح آب همچنان بالا بیاید. پیش از آنکه آب از روی دریچه ریزش کند، دریچه را به آهستگی گشوده تا اینکه دبی و ارتفاع آب درون کانال در مقدار مورد نظر تنظیم گردد. عمق جریان در کانال با استفاده از خط‌کش نصب شده در جداره کانال با دقت $\pm 1mm$ اندازه‌گیری شد. پس از برقراری جریان در طول مدت زمان آزمایش‌ها، پمپ خاموش می‌شد و پس از گذشت مدت زمان کوتاهی آب موجود در کانال به آرامی زهکشی می‌شد تا توپوگرافی بستر تغییر نکند و در نهایت به‌وسیله عمق سنج لیزری از روی شیشه‌ای که با متر پارچه‌ای مدرج شده بود، توپوگرافی بستر در اطراف گروه پایه‌ها در یک شبکه ۱×۱ سانتی‌متری برداشت گردید. در این بخش ۱۲ آزمایش برای حالتی که عرشه پل نسبت به حالت عمود بر جریان زاویه (θ) می‌سازد، در سرعت‌های نسبی $\left(V/V_c\right)$ ۰/۹۲، ۰/۸۲ و ۰/۷۲ به ترتیب، متناظر با اعداد فرود بالادست ۰/۱۷، ۰/۱۵ و ۰/۱۳ در شرایط آب زلال انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها در جدول (۲) آورده شده است.

نتایج و بحث

۱. بررسی تأثیر عدد فرود جریان بر حداکثر عمق آبشستگی گروه پایه وسط

با افزایش سرعت نسبی جریان، حفره‌های عمیق‌تر و وسیع‌تری ناشی از فعالیت جریان‌های گردابی در اطراف گروه پایه‌ها تشکیل می‌شود. به‌طور کلی با افزایش عدد فرود جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های گردابه‌ای، عمق حفره‌های آبشستگی و همچنین توسعه‌ی طولی و عرضی حفره‌های آبشستگی افزایش پیدا می‌کند. در شکل (۴) تأثیر عدد فرود جریان بر تغییرات بی‌بعد حداکثر عمق آبشستگی به قطر پایه در تمام زوایا (θ) مشهود است.

نمودارهای ارائه شده در شکل (۵) توسعه‌ی طولی حفره‌های آبشستگی پیرامون گروه پایه وسط را در زوایای (θ) برابر با π/۱۸، π/۹، π/۶ رادیان در اعداد فرود ۰/۱۳، ۰/۱۵، ۰/۱۷ نشان می‌دهد. توسعه‌ی طولی حفره‌ها بیان‌گر این است که در تمامی زاویه‌ها با افزایش شدت جریان حفره‌های آبشستگی پیرامون گروه پایه توسعه بیشتری یافته و حداکثر عمق آبشستگی در اطراف پایه‌ها افزایش می‌یابد.

جدول ۱- شرایط هیدرولیکی حاکم بر آزمایش‌ها

Table 1- Hydraulic conditions governing the experiments

V/V_c	Fr	Re	$V(m/s)$	$A(m^2)$	$B(m)$	$y(m)$	$Q(m^3/s)$	Row
0/92	0/17	35200	0/22	0/116	0/73	0/16	0/026	1
0/82	0/15	31360	0/19	0/116	0/73	0/16	0/0/23	2
0/72	0/13	27360	0/17	0/116	0/73	0/16	0/02	3

DOI: 10.22055/JISE.2017.19147.1379

. $* V/V_c$: Relative Flow Velocity

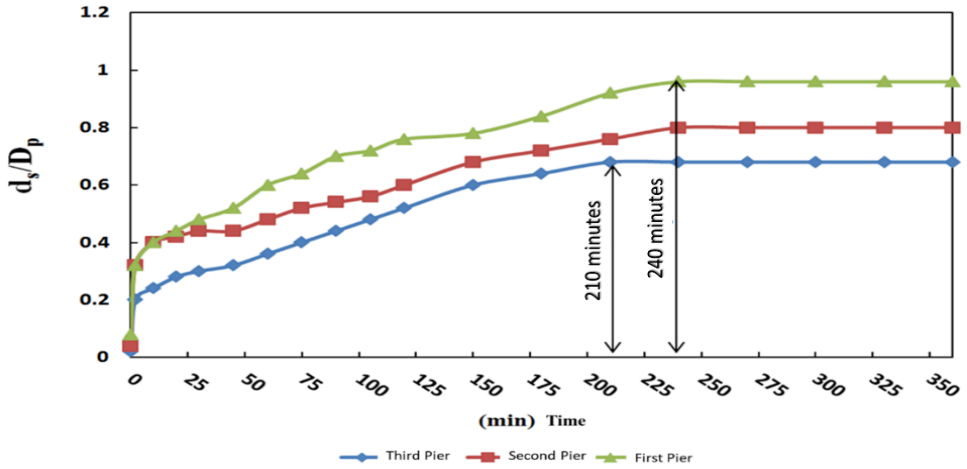


Fig. 3- The time development curve of scour holes around the middle base group by different bases in Froude number 0.17

شکل ۳- منحنی توسعه‌ی زمانی حفره‌های آبشستگی پیرامون گروه پایه وسط به تفکیک پایه‌ها در عدد فرود ۰/۱۷

Table 2- Dimensionless changes of the maximum scour depth to the diameter of the bridge pier (d_s/D_p) in constant hydraulic conditions

جدول ۲- تغییرات بی‌بعد حداکثر عمق آبشستگی به قطر پایه پل (d_s/D_p) در شرایط هیدرولیکی ثابت

Froude number	The ratio of the maximum scour depth to the pier diameter (d_s/D_p)			
Fr	$\theta=0$	$\theta=\frac{\pi}{18}$	$\theta=\frac{\pi}{9}$	$\theta=\frac{\pi}{6}$
0/13	0/76	0/84	0/88	1/04
0/15	0/84	0/88	0/96	1/08
0/17	0/96	1	1/04	1/2

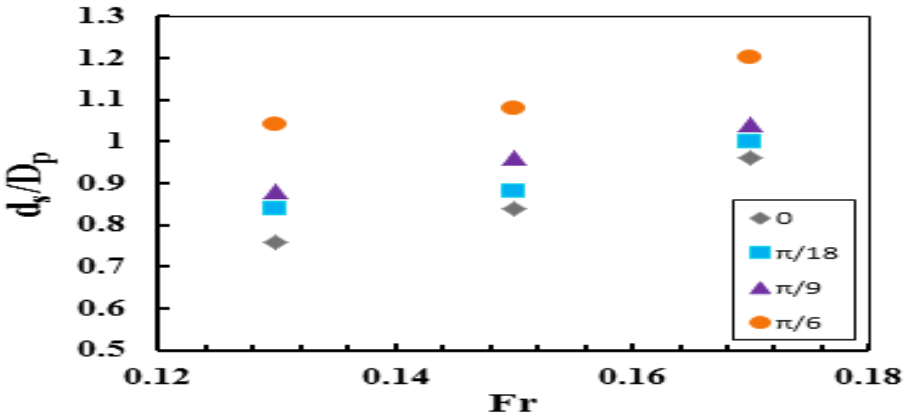


Fig. 4- The influence of the flow descent number on the dimensionless changes of the maximum scour depth to the base diameter

شکل ٤- تأثیر عدد فرود جریان بر تغییرات بی‌بعد حداکثر عمق آبشستگی به قطر پایه

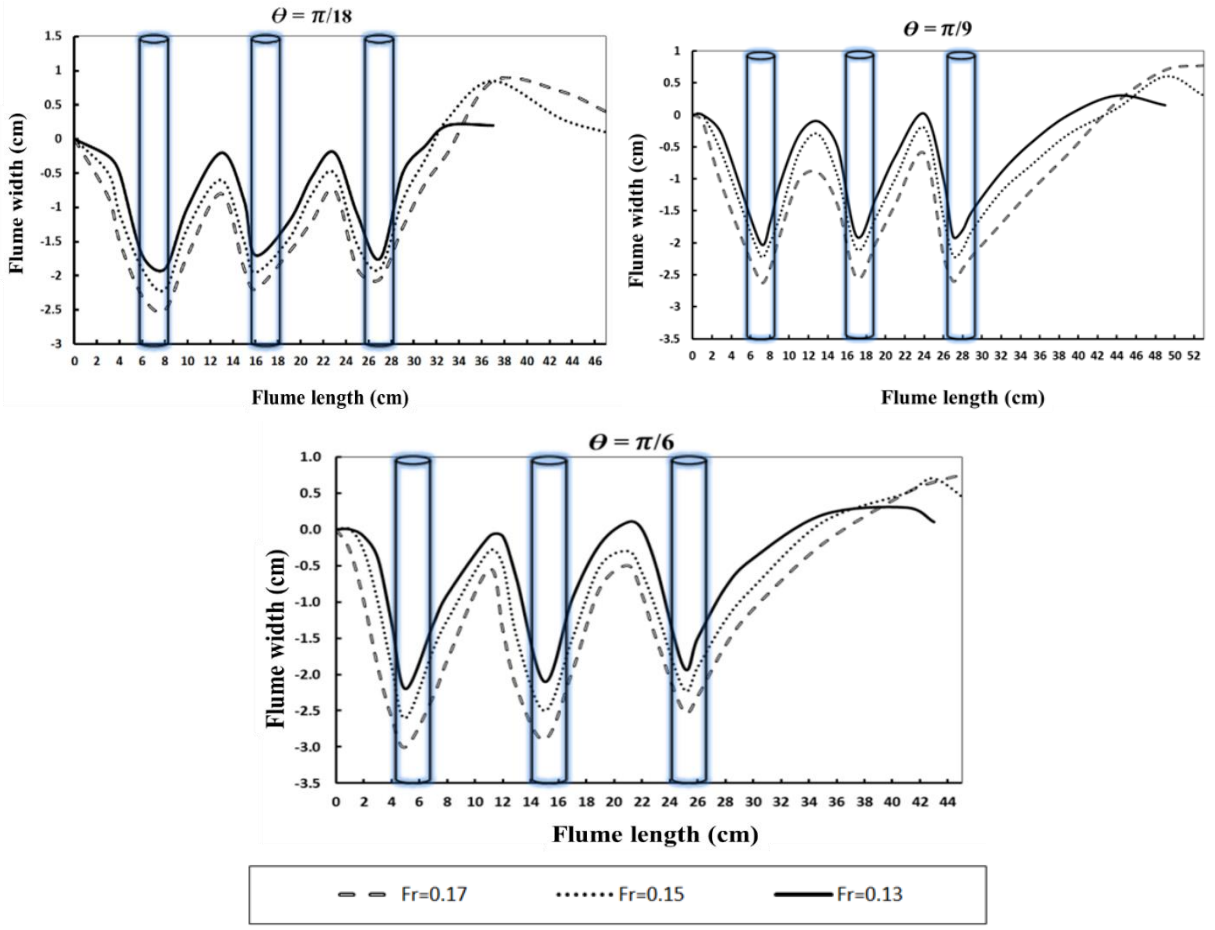


Fig. 5- The influence of the descent number of the flow and angle change on the longitudinal development of scour holes in centimeters

شکل ۵- تأثیر عدد فرود جریان و تغییر زاویه در توسعه‌ی طولی حفره‌های آبشستگی بر حسب سانتی‌متر

بررسی تأثیر زاویه‌ی گروه پایه‌های پل نسبت به جهت جریان بر حداکثر عمق آبشستگی

با توجه به شکل (۶) که تأثیر تغییر در زاویه گروه پایه‌های پل نسبت به جهت جریان روی حداکثر عمق آبشستگی موضعی اطراف گروه پایه‌ها در عدد فرود ثابت جریان نشان می‌دهد، افزایش زاویه گروه پایه‌های پل نسبت به جهت جریان از صفر تا π/۶ رادیان، باعث افزایش حداکثر عمق آبشستگی در گروه پایه وسط واقع در مرکز کانال می‌شود. به‌طوری که با افزایش زاویه (θ) از اثر حفاظتی پایه‌های جلویی بر پایه‌های عقبی کاسته می‌شود و سبب می‌شود تا عمق آبشستگی در پایه‌های عقبی افزایش یابد، همچنین افزایش زاویه گروه پایه‌ها نسبت به جهت جریان، سبب کانالیزه شدن خطوط جریان می‌گردد و در نتیجه مانند دیواره بیرونی قوس کانال عمل نموده و آبشستگی در اطراف گروه پایه وسط خصوصاً پایه جلویی (اول) افزایش می‌یابد. در پایه دوم از این گروه پایه نیز به علت گرداب‌های جاری شده از پایه اول و در نتیجه کاهش اثر محافظت‌کننده، جریان با تلاطم بیش‌تری در اطراف آن شکل می‌گیرد و افزایش عمق آبشستگی را در پی دارد. شکل (۶) اثر تغییر زاویه گروه پایه‌های پل نسبت به جهت جریان بر حداکثر عمق آبشستگی را در اعداد فرود ۰/۱۳، ۰/۱۵ و ۰/۱۷ برای گروه پایه وسط نشان می‌دهد. بررسی پروفیل طولی حفره‌های آبشستگی ایجاد شده از پایه اول تا پایه سوم واقع در گروه پایه وسط نشان داد که در زوایای π/۱۸، π/۹، π/۶ رادیان، با افزایش زاویه (θ)، حداکثر عمق آبشستگی در تمامی پایه‌های واقع در گروه پایه وسط افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه این‌که در تمام زوایای گروه پایه‌ها با جهت جریان، در گروه پایه وسط، عمق آبشستگی در تمام مدت آزمایش در پایه دوم کم‌تر از پایه اول و در پایه سوم کم‌تر از پایه دوم می‌باشد؛ بنابراین در تمامی زوایا، شاهد روند کاهشی حداکثر عمق آبشستگی از پایه‌های جلویی در بالادست به سمت پایه‌های عقبی می‌باشیم. در واقع با افزایش زاویه گروه پایه‌ها نسبت به جهت جریان

DOI: 10.22055/JISE.2017.19147.1379

از صفر تا π/۶ رادیان، به‌دلیل دور شدن پایه‌های عقبی از منطقه کم فشار ایجاد شده توسط پایه‌های جلویی و در نتیجه کاهش اثر عامل حفاظتی، روند کاهشی حداکثر عمق آبشستگی از پایه‌های جلویی به پایه‌های عقبی، شدت کمتری پیدا می‌کند، به‌طوری که در زوایای و حداکثر عمق آبشستگی در پایه‌های دوم و سوم بسیار نزدیک به حداکثر عمق آبشستگی در پایه اول می‌باشد. شکل (۷) تأثیر زاویه گروه پایه‌های پل نسبت به جهت جریان بر حداکثر عمق آبشستگی به تفکیک پایه‌ها در گروه پایه وسط در اعداد فرود ۰/۱۳، ۰/۱۵ و ۰/۱۷ نشان می‌دهد. شکل (۷) درصد افزایش حداکثر عمق آبشستگی نسبت به شرایط شاهد (زاویه صفر رادیان)، با تغییر در زاویه گروه پایه‌های پل را نشان می‌دهد.

شکل (۸) تأثیر زاویه گروه پایه‌های پل نسبت به جهت جریان بر حداکثر عمق آبشستگی به تفکیک پایه‌ها در گروه پایه وسط در اعداد فرود ۰/۱۳، ۰/۱۵ و ۰/۱۷ نشان می‌دهد.

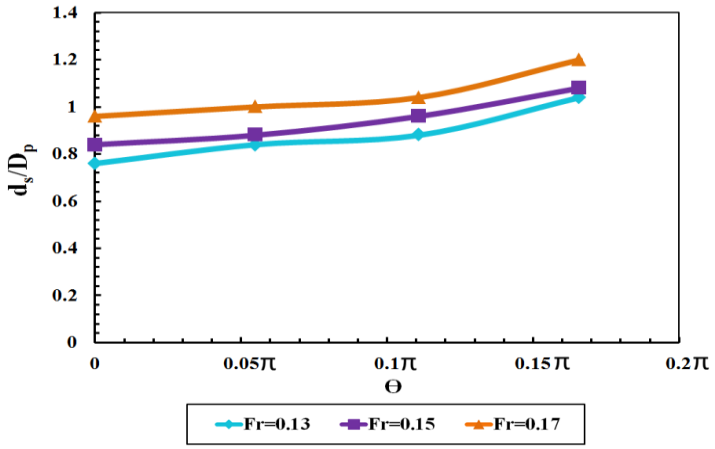


Fig. 6- The effect of the angle of the foundation group with respect to the flow on the dimensionless changes of the maximum scour depth to the base diameter in the middle base group

شکل ٦- اثر زاویه گروه پایه‌ها نسبت به جریان بر تغییرات بی‌بعد حداکثر عمق آبشستگی به قطر پایه در گروه پایه وسط

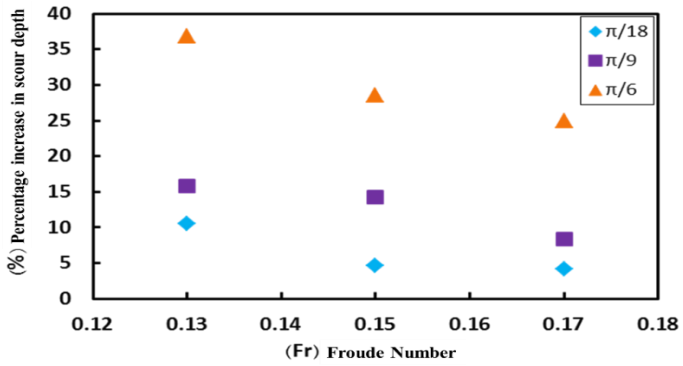


Fig. 7- The percentage increase of the maximum scour depth compared to the control condition (zero radian angle) in the middle base group

شکل ۷- درصد افزایش حداکثر عمق آبشستگی نسبت به شرایط شاهد(زاویه صفر رادیان) در گروه پایه وسط

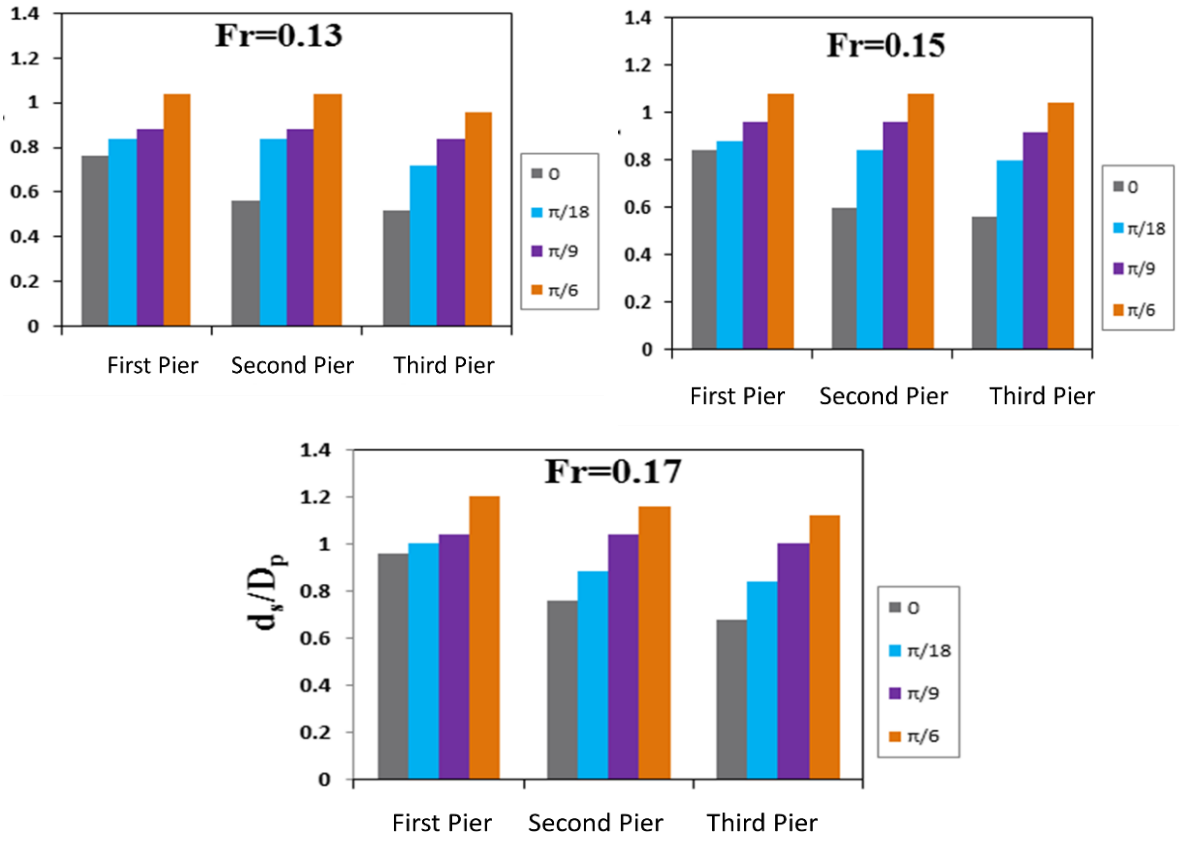


Fig. 8- The effect of the angle of the group of bridge piers in relation to the flow direction on the maximum dimensionless scour depth by piers

شکل ۸- اثر زاویه گروه پایه‌های پل نسبت به جهت جریان بر حداکثر عمق بی‌بعد آبشستگی به تفکیک پایه‌ها

شکل‌های شکل‌های (۹) الی (۱۲)، الگوی دوبعدی و سه‌بعدی توسعه‌ی حفره‌های آبشستگی پیرامون گروه پایه‌های پل در زوایای صفر، π/۱۸، π/۹، π/۶ رادیان را در عدد فرود ۰/۱۳ نشان می‌دهند، با افزایش زاویه گروه پایه‌ها نسبت به جهت جریان، حداکثر عمق آبشستگی افزایش یافته و حفره‌های آبشستگی اطراف گروه پایه‌ها توسعه بیشتری داشته است. همچنین با افزایش زاویه گروه پایه‌ها با جهت جریان، تپه رسوبی حاصل از آبشستگی از جلوی گروه پایه‌ها به کنار گروه پایه‌ها انتقال پیدا می‌کند.

DOI: 10.22055/JISE.2017.19147.1379

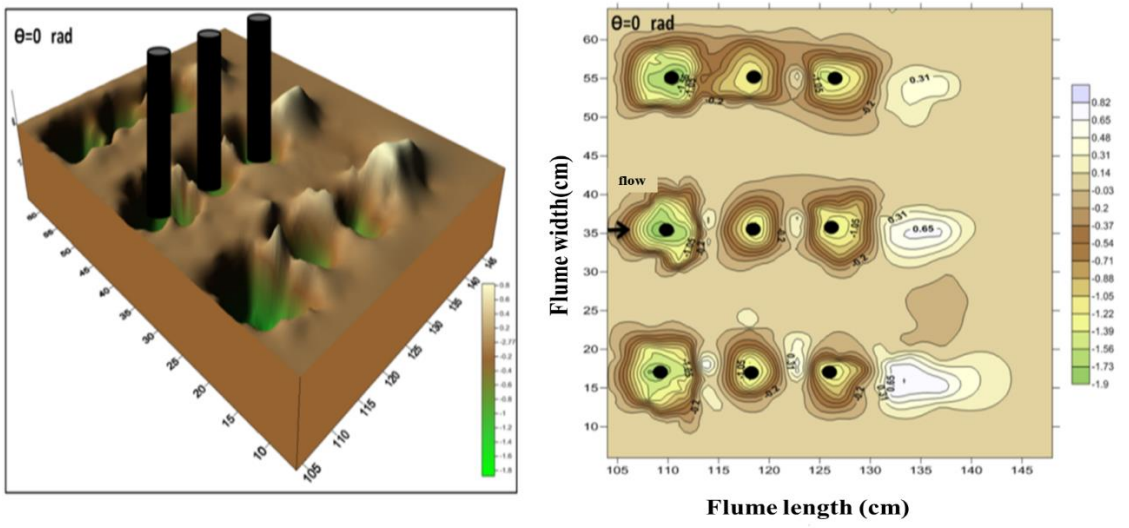


Fig. 9- Two-dimensional and three-dimensional pattern of scour development around the foundation group in centimeters $(Fr = 0.13)$

شکل ۹- الگوی دوبعدی و سه بعدی توسعه‌ی آبشستگی پیرامون گروه پایه‌ها برحسب سانتی‌متر $(Fr = 0.13)$

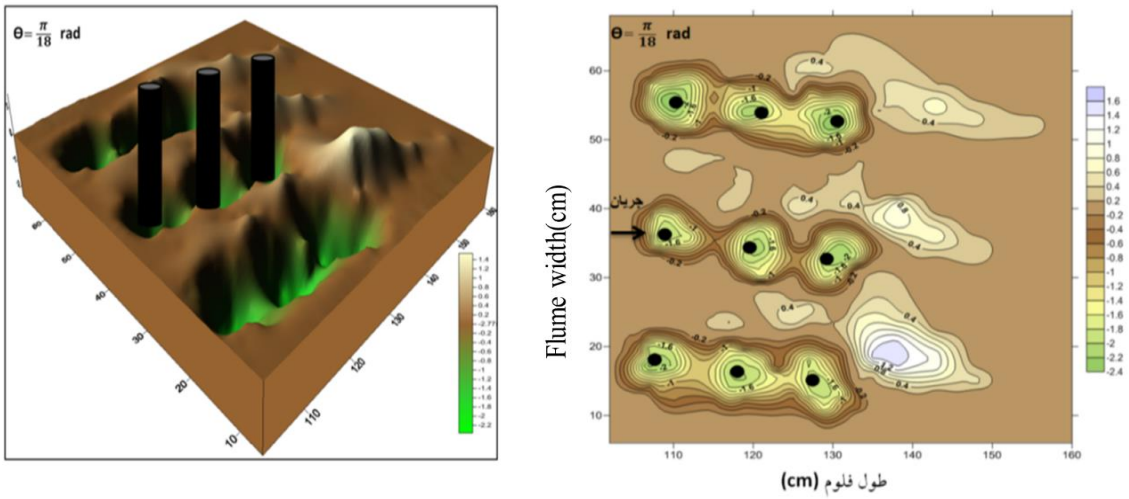


Fig. 10- The two-dimensional and three-dimensional pattern of scour development around the foundation group in centimeters $(Fr = 0.13)$

شکل ۱۰- الگوی دوبعدی و سه بعدی توسعه‌ی آبشستگی پیرامون گروه پایه‌ها برحسب سانتی‌متر $(Fr = 0.13)$

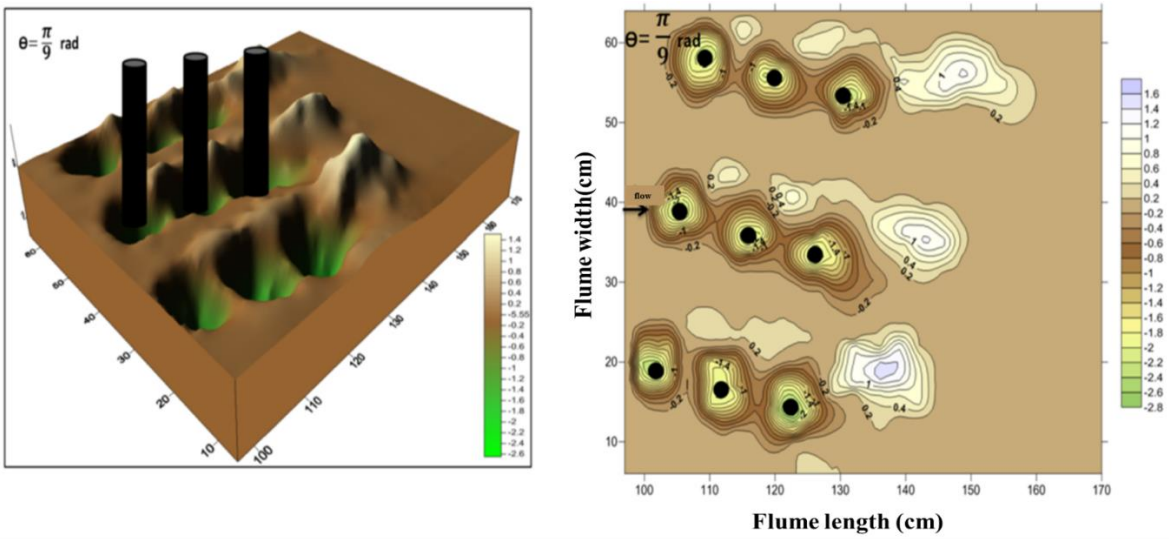


Fig. 11- Two-dimensional and three-dimensional pattern of scour development around the foundation group in centimeters $(Fr = 0.13)$

شکل ۱۱- الگوی دوبعدی و سه بعدی توسعه‌ی آبشستگی پیرامون گروه پایه‌ها برحسب سانتی‌متر $(Fr = 0.13)$

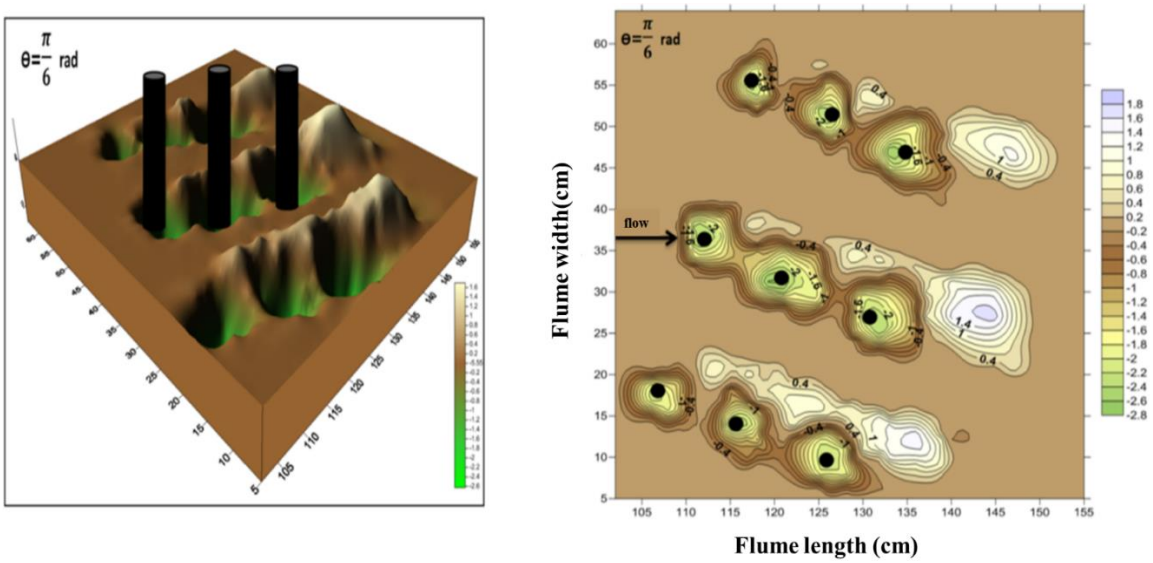


Fig. 12- The two-dimensional and three-dimensional pattern of scour development around the foundation group in centimeters $(Fr = 0.13)$

شکل ۱۲- الگوی دوبعدی و سه بعدی توسعه‌ی آبشستگی پیرامون گروه پایه‌ها برحسب سانتی‌متر $(Fr = 0.13)$

نتیجه‌گیری

۱- در طول آزمایش‌ها مشخص شد که اغلب ذرات بستر پیرامون گروه پایه‌های پل در ساعات اولیه به دلیل سرعت بالای آبشستگی شسته می‌شوند، اما به مرور زمان با توسعه‌ی حفره‌های آبشستگی نرخ آبشستگی کند می‌گردد.

۲- همچنین مشاهده شد، در گروه پایه وسط زمان رسیدن به حالت تعادل برای پایه عقبی (پایه سوم) کوتاه‌تر است و پایه‌های جلویی (پایه

DOI: 10.22055/JISE.2017.19147.1379

اول و دوم) با گذشت مدت زمان طولانی‌تری به حالت تعادل آبشستگی می‌رسند.

۳- بررسی‌ها نشان داد الگوی آبشستگی و حداکثر عمق آبشستگی کاملاً متأثر از شرایط جریان است. به عبارتی تحت شرایط آب زلال، در تمامی زوایای گروه پایه‌های استوانه‌ای پل نسبت به جهت جریان، ضمن توسعه‌ی آبشستگی، حداکثر عمق آبشستگی پیرامون گروه پایه وسط (واقع در مرکز کانال) افزایش می‌یابد و بیشترین افزایش آن با با تغییر در شدت جریان از عدد فرود ۰/۱۳ به ۰/۱۷ در زاویه صفر رادیان مشاهده می‌شود که برابر است با ۲۶/۳ درصد.

۴- همچنین مشاهده شد در عدد فرود ثابت، با افزایش زاویه گروه پایه‌های پل نسبت به جهت جریان، حداکثر عمق آبشستگی در گروه پایه وسط افزایش می‌یابد به‌طوری که حداکثر مقدار عمق آبشستگی در زاویه $\pi/۶$ رادیان (بیش‌ترین زاویه مورد آزمایش) در فرود ۰/۱۷ مشاهده شد.

۵- در گروه پایه وسط هر چه از پایه‌های جلویی به سمت پایه‌های عقبی پیش برویم، به دلیل اثر حفاظتی پایه‌های جلویی بر پایه‌های عقبی، حداکثر عمق آبشستگی در هر پایه کاهش می‌یابد، این روند کاهشی با افزایش زاویه گروه پایه‌های پل نسبت به جریان، به دلیل کاهش اثر محافظت کننده پایه‌های جلویی بر پایه‌های عقبی، شدت کمتری پیدا می‌کند به طوری که در زوایای $\pi/۹$ و $\pi/۶$ رادیان حداکثر عمق آبشستگی در پایه‌های اول و دوم و سوم بسیار نزدیک به هم می‌باشد و اختلاف حداکثر عمق آبشستگی پیرامون پایه‌های اول و دوم و سوم کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد.

سپاسگزاری

این مقاله از نتایج پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول و با حمایت واحد پژوهشی دانشگاه از طریق پژوهانه نویسنده دوم (SCU.WH. 98.86) تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌کنند. ضمناً از حمایت معنوی قطب علمی "بهسازی و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی" تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1- Azhari, A., Taghipour, R,. and Alizadeh, M, 2012. Local scouring around the foundation group of the bridge: investigation of the effect of the arch angle of the channel and the distance between the foundations. *The 11th Iranian Hydraulic Conference*, Urmia University. (In Persian).

2- Beheshti, E,. Ataei Ashtiani, B,. 2004. Scouring in clear water conditions around the base group. *Second National Congress of Civil Engineering*, Sharif University of Technology, Tehran.

3- Chiew, Y.M. and Melville, B.W., 1987. Local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, *25*(1), pp.15-26.

4- Hannah, C.R. 1978. Scour at pile groups. Research Rep. No. 78-3, Civil Engineering, Univ. of Canterbury, New Zealand.

5- Heidarpour, M., Afzali Mehr, H. and Khoda Rahmi, Z, 2007. Local scour protection of circular bridge pier groups using slot, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(3), pp174-185. (In Persian).

6- Lança, R., Fael, C., Maia, R., Pêgo, J.P. and Cardoso, A.H., 2013. Clear-water scour at submerged pile groups.10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000770, 1089-1098.

7- Melville, B.W. and Chiew, Y.M., 1999. Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, *125*(1), pp.59-65.

8- Mousavi Jahromi, H., and Taghizadeh, K. 2006. The influence of the shape and number of bridge piers on erosion. *Seventh International Seminar on River Engineering, Ahvaz, Shahid Chamran University*. (In Persian).

9- Movahedi, N., Dehghani, A.A., Zahiri, A.R. and Aarabi, M.J., 2015. Investigation the efficiency of using bed sill in reduction of scour around single pier and side-by-side piers. *Journal of Water and Soil Conservation*, *21*(6), pp.191-205. (In Persian).

10- Nazariha, M. 1996. Design relationships for maximum local scour depth for bridge pier groups. PhD Dissertation, University of Ottawa.

11- Nourzad, H,. Heidarpour, M,. and Afzali Mehr, R. 2001. Controlling the local scouring of the bridge foundation by using gaps in the foundation group. *Proceedings of the 2nd Iranian Hydraulic Conference, Technical Faculty of Tehran University*. (In Persian).

12- Sheppard D. M. and Renna R. 2005. Bridge scour manual. florida department of transportation. 605 Suwannee Street. Tallahassee. Florida. 129 pp.

13- Zhao, G. Sheppard, D. M. 1999.The effect of flow skew angle on sediment scour near pile groups. Stream Stability and Scour at Highway Bridges; *Compilation of Conference Papers, Reston* (U.S.): ASCE.