

Research Paper

Laboratory Study of the Effect of Pile in Reducing the Scour of Spindle-Shaped Bridge Pier

Ali Niknam¹, Mohammad Heidarnejad^{2*}, Alireza Masjedi², Amin Bordbar³

1. Ph.D. Student. Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Associate Prof. Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

3. Assistant Prof. Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Received: 2020/11/23

Revised: 2020/12/06

Accepted: 2021/02/13

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/wej.2022.26619.2281

Keywords:

Bridge Pier, Spindle-shaped, Pile, Scour

Abstract

Introduction: Several bridges around the world are destroyed each year, often due to ignoring the role of hydraulics in their design. Local scour can be controlled and reduced using roughness, collars, submerged vanes, and protective piles. The present study looks into scour control and reduction for spindle-shaped piers using protective piles.

Methods: This study was carried out on a 0.5 m wide and 0.6 m tall rectangular plexiglass flume at the Islamic Azad University of Ahvaz. The experiments were conducted with five piles installed at different orientations and relative distances. A total of 40 experiments were carried out, consisting of 36 experiments with the piles installed and 4 control experiments without piles.

Findings: The results indicated that scour was reduced by 20% compared to the case of unprotected spindle-shaped piers by installing five piles at 30° with a relative distance (L/D) of 0.5. Scour reduction can be attributed to sediment transport from around the pile to the pier and sediment accumulation between the piles and before the spindle-shaped pier. The other reasons for the reduced scour were the change in the flow regime, reduced velocity, and weakened vortex before the spindle-shaped pier. Moreover, increasing the relative velocity (ratio of flow velocity to critical velocity, V/V_c) from 0.54 to 0.95 led to an average 165.4% increase in scour.

Citation: Niknam A, Heidarnejad M, Masjedi AR, Bordbar A. Laboratory Study of the Effect of Pile in Reducing the Scour of Spindle-Shaped Bridge Pier. Water Resources Engineering Journal. Water Resources Engineering Journal. 2022;14 (51):129-146

***Corresponding author:** Mohammad Heidarnejad

Address: Dept. of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Tell: +989113919533

Email: mo_he3197@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

Every year, floods destroy many river bridges when they are needed the most. Much research has gone into the scour problem, but the complexity and multitude of the governing phenomena prevent a unified solution to calculating the scour depth. Scour formation around piers depend on the shape and other geometric specifications of the piers. Moreover, the bed materials and the flow hydraulics, for example, during a flood, and the bedload transport affect the scour depth (23). Wang et al. (5) addressed scour protection for cylindrical bridge piers using collars in a physical model. They used sediment particles with a D50 of 0.324 mm and conducted their experiments with and without collars of different diameters placed at different depths. It was found that collars reduced scour, but a higher collar height undermined its protective effects. Increasing the collar diameter also helped reduce scour. Using a physical model, Namaee et al. (6) studied scour around bridge piers under frost conditions. The experiments involved four diameters of circular bridge piers and three sediment particle sizes (0.47, 0.5, and 0.57 mm). Their results were indicative of less scour for smaller piers. Furthermore, the maximum scour depth decreased for larger diameter bed sediment particles. Vertical velocity distribution decreased more under the rough ice cover. Chen et al. (8) too, studied the effects of collars on bridge pier scour. Their experiments used collars with a width of 1.25 b and a depth of 0.25 b, where b represents the bridge pier width. The collar at a depth of 0.25 b was shown to be the most effective in reducing scour depth. Accordingly, by adding piles before spindle-shaped bridge piers and varying their orientation and spacing to limit vortex formation and turbulence in an experimental model, this study investigated how optimizing the length and orientation

of the piles and vanes affects deposition patterns to minimize local scour around spindle-shaped bridge piers at four Froude numbers (considering four flow velocities and a fixed flow depth).

Materials and Methods

This experimental study was carried out on a 0.5 m wide and 0.6 m tall rectangular plexiglass flume at the Islamic Azad University of Ahwaz. The straight sections at the beginning and end of the flume were 4.5 and 2.5 m long. A straight flume input was also considered to create a uniform flow. The 4.5 m flume inlet with a 3 mm thick sheet metal floor and 10 mm plexiglass walls reduced wall roughness effects and allowed for the hydraulic phenomena taking place inside to be visible. The 2.5 m outlet was also straight and had a 3 mm sheet metal floor and 10 mm plexiglass walls. The flume had a fixed bed that was made without inclination and as horizontal as practically possible. An 11kW centrifugal pump and a 6" suction and discharge hose were used to circulate water in the flume at the required flow rate. The pump suction and discharge heads were approximately 2 m and 6 m, respectively, yielding a maximum discharge rate of 60 l.s⁻¹. Non-cohesive natural sand with a D50 of 1.37 mm, a geometric standard deviation σ_g of 1.13, and a density of 2.65 was used as the sediment.

The experiments involved five piles installed at 15, 30, and 45° with relative distances (L/D) of 1, 0.5, and 1.5. A total of 40 experiments, consisting of 36 experiments with piles and four control experiments without piles, were carried out.

Findings and Discussion

The results included analyzing the effects of flow velocity (Froude number), pile inclination, and pile spacing on scour around spindle-shaped bridge piers and were reported and evaluated in five sections:

1. Effects of increasing flow velocity on the deposition pattern around unprotected spindle-shaped bridge piers;
2. Effects of the relative distance of piles on the deposition pattern around spindle-shaped bridge piers;
3. Effects of pile inclination on the deposition pattern around spindle-shaped bridge piers;
4. Bed topography with spindle-shaped piers and vanes;
5. Effects of increasing Froude number on the deposition pattern around spindle-shaped bridge piers with vanes.

Supervision and final draft: Ali Niknam, Mohammad Heidarnejad, Alireza Masjedi, Amin Bordbar.

Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest in this paper.

Conclusion

The results indicated a 20% scour reduction compared to the case of unprotected spindle-shaped piers by installing five piles at 30° with a relative distance (L/D) of 0.5. Scour reduction can be attributed to sediment transport from around the pile to the pier and sediment accumulation between the piles and before the spindle-shaped pier. The other reasons for the reduced scour were the change in the flow regime, reduced velocity, and weakened vortex before the spindle-shaped pier. Moreover, increasing the relative velocity (ratio of flow velocity to critical velocity, V/V_c) from 0.54 to 0.95 led to an average 165.4% increase in scour.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

There are no ethical considerations about this study. The general rules of research integrity were followed.

Funding

This study was conducted using the laboratory equipment of the Islamic Azad University of Ahwaz.

Authors' contributions

Planning and idea: Ali Niknam
Methodology and analysis: Ali Niknam

مقاله پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی اثر شمع در کاهش آبشستگی پایه‌ی پل دوکی شکل

علی نیکنام^۱، محمد حیدر نژاد^{۲*}، علیرضا مسجدی^۳، امین بردبار^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۳. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

چکیده

مقدمه: مسئله آبشستگی یکی از مهمترین مسائل در بحث مهندسی رودخانه می‌باشد. سالانه تعداد بسیار زیادی از پل‌ها در سراسر جهان تخریب می‌شوند که عمدتاً به دلیل عدم در نظر نگرفتن نقش هیدرولیکی در طراحی آنها می‌باشد. از جمله روش‌های کنترل و کاهش آبشستگی موضعی می‌توان از استفاده از زبری‌ها، طوق، صفحات مستغرق و شمع‌های حفاظتی نام برد. در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر شمع‌های حفاظتی در کنترل و کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌ی دوکی پرداخته شده است.

روش: برای انجام این پژوهش آزمایشگاهی، از فلومی با مقطع مستطیلی به عرض و ارتفاع ۰/۵ و ۰/۶ متر و از جنس پلکسی‌گلاس در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز استفاده شده است. آزمایش‌ها با نصب ۵ شمع با زاویه‌های مختلف و فاصله نسبی مختلف انجام شد. آزمایش‌ها شامل ۳۶ آزمایش با نصب شمع و ۴ آزمایش شاهد بدون شمع می‌باشد. مجموعاً ۴۰ آزمایش انجام شد.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتیجه‌های پژوهش آزمایش‌ها نشان دادند با نصب ۵ شمع با زاویه‌ی ۳۰ درجه و با فاصله نسبی $(L/D) = 0/5$ ، شاهد ۲۰٪ کاهش آبشستگی نسبت به پایه‌ی دوکی بدون شمع می‌باشد. این کاهش آبشستگی به دلیل منتقل شدن رسوبات اطراف شمع به سمت پایه‌ی و جمع شدن رسوبات در وسط شمع‌ها و

جلوی پایه‌ی دوکی می‌باشد. دلیل دیگر، تغییر رژیم جریان و کاهش سرعت و گردابه در جلوی پایه‌ی دوکی می‌باشد که این نیز به نوبه خود باعث کاهش آبشستگی شده است. همچنین افزایش سرعت نسبی (V/V_c) (سرعت جریان به سرعت بحرانی) از ۰/۵۴ به ۰/۹۵ به‌طور متوسط باعث افزایش آبشستگی به میزان ۱۶۵/۴٪ شده است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۳

تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/wej.2022.26619.2281

واژه‌های کلیدی:

پایه‌ی پل، دوکی، شمع، آبشستگی

* نویسنده مسئول: محمد حیدر نژاد

نشانی: گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

تلفن: ۰۹۱۱۳۹۱۹۵۳۳

پست الکترونیکی: mo_he3197@yahoo.com

مقدمه

هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از پل ها درست زمانی که بیشترین نیاز به آنها وجود دارد تخریب می گردند. یکی از موثرترین عوامل این تخریب ها آبستگي موضعی اطراف پایه ی ها می باشد. تخریب پل ها به علت آبستگي زبان های سنگین اقتصادی و جانبی به دنبال دارد (۱). تاکنون محققین متعددی مسئله آبستگي را مورد مطالعه قرار داده اند، که به علت پیچیدگی و تعدد عوامل حاکم بر پدیده، هنوز موفق به ارائه راه حل واحدی برای محاسبه عمق آبستگي نشده اند. عواملی چون شکل آبراهه، خصوصیات جریان، شکل پایه ی و زاویه ی استقرار آن نسبت به جریان و خصوصیات رسوبات، همگی از عواملی می باشند که در پیچیدگی مسئله آبستگي پایه ی های پل دخالت می نماید (۲). باید توجه داشت که عمق نهایی آبستگي ایجاد شده در مجاورت پایه ی پل برابر با مجموع عمق های فرسایش ناشی از آبستگي موضعی، عمومی و تنگ شدگی عرض جریان می باشد. فرآیندهای حرکت آب و حمل رسوب در رودخانه ها به علت تغییر و تحول در بستر و کناره ها، شکل های بسیار متنوعی را با توجه به لیوتولوژی و توپوگرافی هر منطقه در پلان بوجود می آورند. پایه ها جریان عادی رودخانه را مختل می کند و تلاطم و اغتشاش حاصل از آن موجب فرسایش مواد رسوبی موجود در اطراف پایه ی می شود. چاله فرسایش ایجاد شده در اطراف پایه ی، به شکل و مشخصات هندسی آن بستگی دارد. به علاوه نوع مواد تشکیل دهنده ی بستر رودخانه و همچنین شرایط هیدرولیکی جریان نظیر وقوع حالت سیلابی و عبور تلماسه ها در میزان عمق چاله فرسایش موثر است (۲). مساله آبستگي در اطراف پایه ی پل ها سالهاست که ذهن محققین را به خود مشغول نموده است. به طوریکه آبستگي موضعی اطراف پایه ی پل را یکی از مهمترین عوامل تخریب آن می دانند. این مشکل در تمام دنیا وجود دارد و پتانسیل ایجاد عواقب غم انگیز و انسانی را داراست. برآوردها حاکی از آن است که ۶۰ درصد شکست پل ها در نتیجه آبستگي و عوامل هیدرولیکی می باشد (۲). بلازک و هاینی (۳) در تحقیقی اعلام کردند آبستگي شایع ترین علت شکست پل در بزرگراه های ایالات متحده است که در آن در طول سال های ۱۹۶۱ الی ۱۹۷۶، ۴۶ مورد از ۸۶ مورد شکست پل در نتیجه آبستگي نزدیک پای پل بوده است. بنابراین شناخت پدیده آبستگي و به کار بردن تمهیدات لازم برای کاهش آبستگي و کنترل آن بسیار ضروری می باشد. از جمله مطالعاتی که در مورد سازه های حفاظتی برای کنترل و کاهش عمق آبستگي اطراف پایه های پل صورت گرفته می توان به موارد زیر اشاره نمود. قاسمی و سلطانی-گردفرامزی (۴) به شبیه سازی آبستگي پایه ی پل با استفاده از نرم افزار Flow-3D پرداختند. در این تحقیق پارمترهای هیدرولیکی شامل سرعت، عمق سیال، عدد فرود و غیره مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد حداکثر عمق آبستگي در دبی های ۵،

۱۰، ۱۹ و ۳۰ لیتر بر ثانیه برابر با ۰، ۱/۳، ۲/۴ و ۳/۶ سانتی متر می-شود. همچنین مشاهده شد بیشترین آبستگي در بالادست می باشد و در پایین دست آبستگي کمتر می باشد. وانگ و همکاران (۵) (۲۷) به بررسی از حفاظت آبستگي پایه های استوانه ای با استفاده از طوقه در مدل فیزیکی پرداختند. در این تحقیق از ذرات رسوبی با قطر متوسط ۰/۳۲۴ میلی متر استفاده شد. آزمایش ها بدون طوقه و با طوقه در عمق و قطر مختلف انجام شد. نتایج نشان داد استفاده از طوقه باعث کاهش آبستگي می شود اما با افزایش ارتفاع طوقه اثر حفاظتی کاهش پیدا می کند. همچنین با افزایش قطر طوقه آبستگي کاهش پیدا می کند. نمای و همکاران (۶) به بررسی آبستگي تکیه گاه پل در شرایط یخ زده در مدل فیزیکی پرداختند. آزمایش ها بر روی چهار قطر پایه ی پل دایره ای با سه ذره رسوبی ۰/۴۷، ۰/۵ و ۰/۵۷ میلی متر انجام شد. نتایج نشان داد پایه ی های کوچکتر آبستگي کمتری دارند. همچنین با افزایش قطر ذرات رسوبی کف، میزان حداکثر آبستگي کاهش پیدا کرده است. در زیر پوشش یخ زبر توزیع سرعت عمودی کاهش بیشتری نشان می دهد. تحقیق دیگری به بررسی تاثیر انسداد و آبستگي در پل با پایه های چند پره ای در مدل فیزیکی و ریاضی پرداخت. وجود انسداد مانند زباله و ضایعات صنعتی منجر به افزایش عمق آبستگي در اطراف پایه ی پل و حتی خرابی پل می شود. در این تحقیق از نرم افزار (SSIIM) با مدل آشفتنگی k-e استفاده شد. نتایج نشان داد عمق آبستگي موضعی با انسدادهای نفوذناپذیر، بستگی به عدد فرود و ابعاد مانع دارد. مشخص شد که عمق آبستگي موضعی از انسداد نفوذناپذیر در مقابل یکی اسکله پل بستگی به عدد فرود و ابعاد مانع داشت. نتایج نشان می دهد که تشابه کافی بین هر دو شبیه سازی عددی و آماری با مدل فیزیکی وجود دارد (۷). پژوهش دیگری به بررسی تاثیر طوقه بر آبستگي پایه ی پل پرداخت. آزمایشات با استفاده از طوقه به عرض ۱/۲۵ b و عمق ۰/۲۵ b انجام شد، (b عرض پایه ی پل است). نتایج نشان داد طوقه در عمق ۰/۲۵ b، در کاهش عمق آبستگي کارآمدتر بود است. آزمایش های آزمایشگاهی و تست های عددی نشان می دهد در آزمایش ها با طوقه، جریان رو به پایین و گرداب نعل اسبی، در مقایسه با مواردی که طوقه وجود ندارد، بسیار کاهش می یابد. همچنین حداکثر انرژی جنبش آشفته کاهش می یابد (۸). در ادامه در جدول ۱ به بررسی نتایج دیگر محققین در حفاظت پایه های پل با استفاده از شمع پرداخته شده است.

با توجه به جدول ۱ می توان به خوبی مشاهده کرد تحقیقات فراوانی در رابطه با حفاظت از پایه پل استوانه ای با استفاده از شمع صورت گرفته است. ولی تاکنون تحقیقی مبنی بر استفاده از شمع جهت حفاظت از پایه های دوکی شکل انجام نشده است. بنا به این مهم در این پژوهش با اضافه نمودن شمع در جلوی پایه ی پل دوکی و با تغییر زاویه ی و فاصله به منظور کم کردن تشکیل گردابه ها و

گرفتن چهار سرعت مختلف جریان و عمق جریان ثابت) با استفاده از مدل آزمایشگاهی پرداخته خواهد شد.

جریان‌های آشفته به بررسی تأثیر بهینه‌سازی پارامترهای طولی و زاویه‌ی شمع و صفحه و تأثیر آن بر روی الگوی رسوب به منظور کمینه کردن آبستگي موضعی اطراف پایه‌ی‌های پل دوکی با چهار عدد فرود مختلف (با در نظر

جدول ۱- بررسی نتایج محققین پیشین در حفاظت از پایه‌های پل

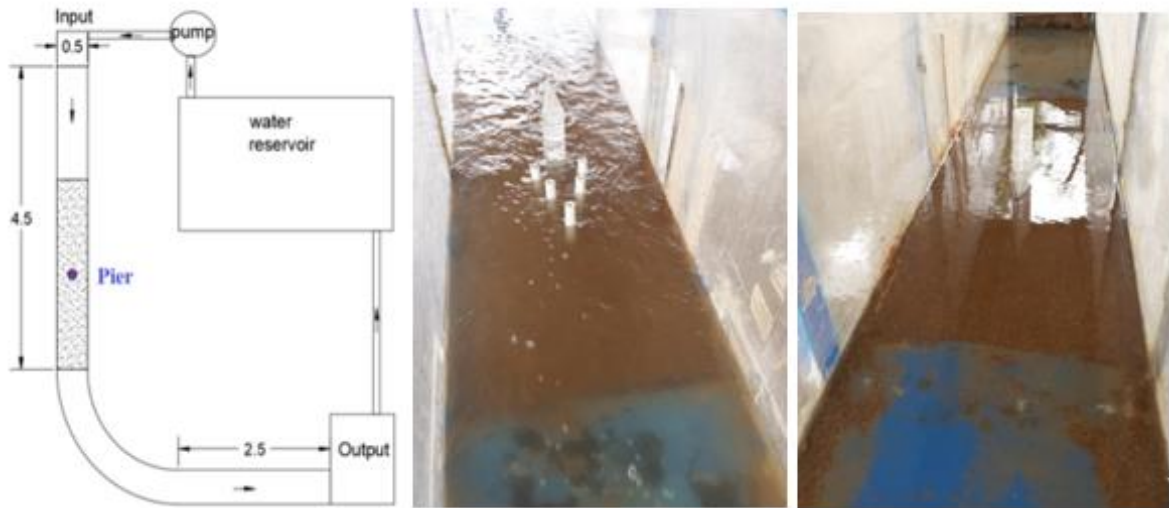
محققین	روش حفاظت از پایه پل	نتایج
سینگ و همکاران (۹)	شمع حفاظتی با قطر برابر با قطر پایه ی پل در فاصله 2D (D: قطر پایه‌ی پل)	حدود ۵۰ درصد آبستگي در آن کاهش یافت
چیو (۱۰)	طوقه دو برابر قطر پایه ی پل	عمق آبستگي به میزان ۲۰ درصد کاهش می‌یابد
ذراتی و همکاران (۱۱)	طوقه	طوقه‌های پهن‌تر و در ترازهای پایین‌تر در کاهش عمق آبستگي موثرترند
تفرج‌نوروز و همکاران (۱۲)	استفاده از شمع، دو پره مستغرق، طوقه و وجود شکاف در پایه ی	می‌توانند تا حدود ۳۵ درصد حداکثر عمق آبستگي را کاهش دهند
الغراب (۲)	از سه شکل اسکله مختلف، دایره‌ای، مربعی و مستطیل شکل که دارای چیدمان‌های مختلف باز و فاصله عمودی بود استفاده شد	که عمق آبستگي ۴۵ درصد کاهش می‌یابد و همچنین حجم آبستگي نیز کاهش می‌یابد
اسمائل و همکاران (۱۳)	بال دوکی رو به بالا دست و پایه دایره‌ای	پایه‌ی دوکی با بال رو به پایین‌دست نسبت به پایه‌ی دوکی با بال رو به بالا دست و پایه‌ی دایره‌ای به ترتیب ۵۹ و ۶۸ درصد کاهش عمق آبستگي را دارد
امینی و اقبال‌زاده (۱۴)	آرایش گروه شمع‌ها بر عمق آبستگي در پایه‌های پل پرداختند	با افزایش تعداد ردیف شمع‌ها تا ۵ ردیف در جهت جریان، عمق آبستگي افزایش پیدا می‌کند
محمودی و حیدرپور (۱)	آرایش‌های مورد آزمایش در دو زاویه راس ۳۰ و ۴۵ درجه و فاصله افقی شمع‌ها از یکدیگر ۰/۷، ۱، ۱/۳، برابر قطر پایه، بر روی پایه با قطر ۳ سانتی‌متر	نتایج آزمایش‌ها نشان داد با کاهش زاویه راس و یا کاهش فاصله افقی شمع‌ها راندمان شمع‌ها افزایش می‌یابد
آزم و قمشی (۱۵)	آزمایشات در ۳ قطر ۲۰، ۲۷ و ۳۲ میلی‌متری شمع‌های حفاظتی و در فواصل D ۲/۸، D ۲/۹۵، D ۳/۱، D ۳/۴ شمع نخست از ابتدای پایه اصلی در شرایط آب زلال با سرعت‌های نسبی ۰/۶۷، ۰/۸۱، ۰/۹۴ انجام گردید	با افزایش قطر شمع‌ها از میزان آب‌تستگي کاسته می‌شود ولی با بیش‌ترشدن فاصله، عملکرد شمع‌ها با افزوده شدن قطر روندی کاهشی می‌گیرد. در این آزمایشات بهترین موقعیت قرارگیری شمع‌ها در فاصله D ۲/۹۵ بود، که با توجه به قطر شمع‌ها و سرعت نسبی، راندمان ۳۹ تا ۱۲۱ درصدی در آن حاصل شد.
زمریدیان و همکاران (۱۶)	شمع‌های فداشونده، طوق مربعی و کاربرد توأم، گروه پایه دو و سه تایی در امتداد یک خط و با فاصله D ۲/۵ در جهت طولی و عرضی جریان	طوق تأثیر بیشتری در کاهش آبستگي پایه جلویی به میزان ۷۲/۲۲٪ و ۶۹/۲۳٪ به‌ترتیب در گروه پایه دوتایی و سه‌تایی نشان داد و کاربرد توأم آنها منجر به کاهش بیشتر آبستگي در تک تک پایه‌ها شده است. در گروه پایه دو و سه‌تایی عمود بر جریان روش ترکیبی به‌ترتیب با کاهش ۱۴/۵۷٪ و ۶۷/۵٪ آبستگي، بیشترین تأثیر را نسبت به کاربرد جداگانه آنها نشان داد
شاه‌سون پور و همکاران (۱۷)	بررسی تاثیر طوقه در کاهش آبستگي شمع‌ها با استفاده از نرم افزار فلوتنت	طوقه در ارتفاع $Z = -0.4D$ آبستگي را ۵۰٪ کاهش می‌دهد.
بیطارنژادشیرازی و حیدرپور (۱۸)	یک مدل پایه استوانه ای به قطر ۴ سانتی‌متر و شش مدل پایه مستطیلی دماغه گرد با نسبت طول به عرض‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ با عرضی برابر قطر پایه استوانه‌ای و همچنین از سه عدد شمع حفاظتی با نسبت قطر شمع به قطر پایه ۰/۲ با آرایش مثلثی و با زاویه راس ۳۰ درجه در پایه محافظت‌شده با شمع‌های حفاظتی استفاده گردید	افزایش طول پایه مستطیلی دماغه گرد موجب مستهلک شدن انرژی و کاهش قدرت گرداب نعل اسبی می‌شود. عملکرد شمع‌های حفاظتی در پایه استوانه‌ای برابر با ۲۵/۶ درصد و در پایه مستطیلی دماغه گرد با نسبت L/B برابر ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ به ترتیب برابر با ۲۲، ۳۳، ۳۴/۶، ۳۵/۸، ۳/۵، ۷ و ۳۲/۳ درصد کاهش عمق آبستگي می‌باشد. با افزایش نسبت L/B، عملکرد شمع‌های حفاظتی افزایش می‌یابد

مشخصات فوم ساخته شده و نحوه ساخت آن

مواد و روش‌ها

ساخته شد که هم اثر زبری جداره را کاهش می‌دهد و هم پدیده‌های هیدرولیکی در محفظه قابل رویت می‌باشند مسیر خروجی نیز مستقیم می‌باشد و کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت ۳ میلی‌متر و دیواره آن از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر به طول ۲/۵ متر است، کف فلوم به‌صورت بستر ثابت و بدون شیب و در حد دقت اجرایی به‌صورت افقی ساخته شده است (شکل ۱).

برای انجام این پژوهش آزمایشگاهی، از فلومی با مقطع مستطیلی به عرض و ارتفاع ۰/۵ و ۰/۶ متر و از جنس پلکسی‌گلاس در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز استفاده شده است. طول بخش مستقیم در ابتدا و انتهای فلوم به ترتیب ۴/۵ و ۲/۵ متر است. مسیر ورودی فلوم جهت ایجاد جریان یکنواخت، مستقیم در نظر گرفته شد. همچنین کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت ۳ میلی‌متر و دیواره‌ها از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۱۰ میلی‌متر و به طول ۴/۵ متر



شکل ۱ - نمایی از فلوم همراه با ضامائم آن



شکل ۲- سرریزهای ورودی و خروجی مثلثی با رأس ۹۰ درجه، در ابتدا و انتهای فلوم

در ثانیه است. همه‌ی آزمایش‌ها با آب زلال به منظور ایجاد بیشینه‌ی آبستتگی انجام گرفت.

طبق این شرط باید $\frac{V}{V_c} < 1$ باشد که در آن V سرعت متوسط جریان و V_c سرعت بحرانی در آستانه‌ی حرکت رسوبات ذرات می‌باشد (۱۹). در همه آزمایش‌ها جریان یکنواخت و زیربحرانی و متلاطم بود. پایه‌های پل دوکی در نظر گرفته شده از جنس پلکسی گلاس خواهد بود. طبق نتایج یک پژوهش حداکثر قطر پایه‌ی پل بین ۱۰ - ۲۰ درصد عرض کانال باید در نظر گرفته شد (۲۰).

عد از مخزن فلوم، یک دریچه کشویی جهت تنظیم دبی ورودی به فلوم استفاده شده است. یک سرریز مثلثی ۹۰ درجه برای اندازه‌گیری دبی ورودی تعبیه شده است. برای جلوگیری از ورود امواج به کانال از یک توری مشبک، بعد از سرریز ابتدایی استفاده شده است (شکل ۲).

برای چرخش آب در فلوم آزمایشگاهی با توجه به دبی مورد نظر از یک پمپ سانتریفیوژ به قدرت ۱۱ کیلووات، قطر لوله مکش و دهش ۶ اینچ استفاده شد. ارتفاع مکش پمپ تقریباً ۲ متر و ارتفاع دهش آن حدود ۶ متر و حداکثر دبی قابل انتقال توسط پمپ ۶۰ لیتر

باشد که در این رابطه σ_g بیانگر انحراف معیار رسوبات می‌باشد. هر چه دانه‌بندی ذرات یکنواخت‌تر گردد ابعاد آبهستگی هم بیشتر خواهد بود (۲۲). در صورت تغییر در یکنواختی، نتایج آبهستگی تغییر خواهد کرد.

محققان دیگر می‌توانند پژوهشی در این زمینه انجام دهند.

در خصوص اندازه رسوبات معیارهای مختلفی ذکر گردیده است، طبق پژوهش‌های انجام گرفته برای اینکه اندازه‌ی رسوبات تأثیری بر روی عمق آبهستگی ایجاد نکند و از تشکیل فرم بستر نیز ممانعت به عمل آید باید شرط $\frac{L_a}{d_{50}} > 25$ لحاظ گردد که در این

رابطه L_a طول تکیه‌گاه (بعد عمود بر جریان) و d_{50} قطر متوسط ذرات رسوبی می‌باشد (۲۳). برای برقراری شرط یکنواختی ذرات

باید $\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} < 1.3$ باشد که در این رابطه σ_g بیانگر

انحراف معیار رسوبات می‌باشد (۲۴). به پیشنهاد یک پژوهشگر برای جلوگیری از تشکیل ریپل باید قطر متوسط ذرات از 0.7 میلی‌متر

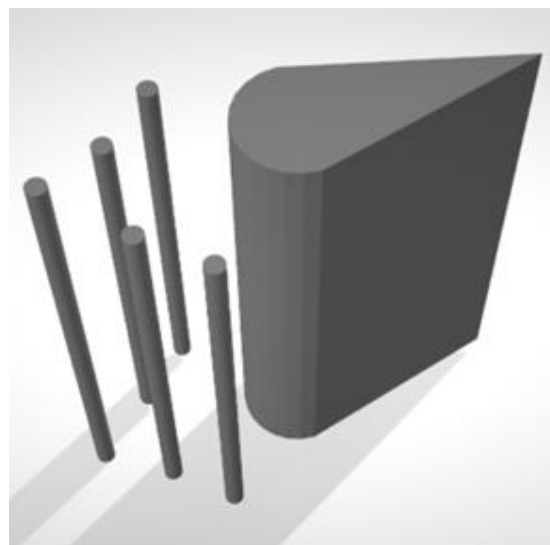
بیشتر باشد (۲۵). لذا ذرات رسوبی از جنس ماسه طبیعی غیرچسبیده دارای قطر متوسط $1/37$ میلی‌متر، انحراف هندسی $\sigma_g = 1/13$

و چگالی $2/65$ انتخاب گردیدند. نمودار دانه‌بندی ذرات رسوبی با روش الک در شکل ۴ نشان داده شده است.

ضخامت مصالح بستر

پژوهشگران دیگر حداکثر مقدار آبهستگی را برابر $D/4$ بیان کرده‌اند که در این تحقیق این مقدار برابر 12 سانتی‌متر می‌باشد که برای اطمینان بیشتر 20 سانتی‌متر انتخاب شد (۱۹).

براساس تحقیقات دیگری به منظور جلوگیری از اثرات زبری، عمق جریان بیشتر از 20 میلی‌متر در نظر گرفته شود (۲۱). شماتیک پایه‌ی پل دوکی با شمع در شکل ۳ آمده است.



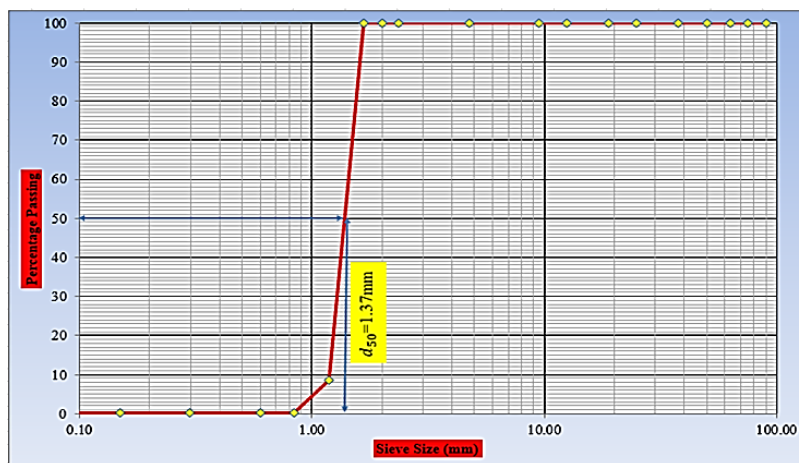
شکل ۳- شماتیک پایه‌ی دوکی با شمع

قطر پایه‌ی پل 5 سانتی‌متر و ارتفاع آن برای جلوگیری از استغراق، 20 سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

رسوبات کف

ذرات رسوبی از جنس ماسه ی طبیعی غیرچسبیده با قطر مشخص و دانه‌بندی یکنواخت به عنوان بستر در کف فلوم منظور شد

برای برقراری شرط یکنواختی ذرات باید $\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{50}}} < 3.1$



شکل ۴- نمودار منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی

۱- خصوصیات مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: سرعت جریان در بالادست (U)، عمق جریان (V) و شتاب ثقل (g).

آنالیز ابعادی

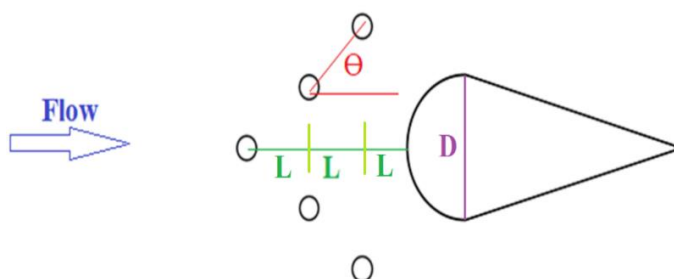
عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض کانال (B)، شیب طولی فلوم (S)

$$f\left(S_0 \cdot \frac{B}{Y} \cdot \frac{R}{Y} \cdot \delta \cdot \frac{L}{Y} \cdot \theta \cdot \frac{d}{D} \cdot \frac{h}{Y} \cdot \frac{d_{50}}{Y} \cdot \frac{\rho_s}{\rho} \cdot \frac{d_s}{Y} \cdot \frac{\mu}{\rho u y}, \frac{u^2}{g y}\right) = 0 \quad (2)$$

در این مطالعه شیب طولی فلووم نزدیک به صفر می‌باشد، زاویه‌ی مرکزی قوس در تمامی آزمایش‌های ثابت می‌باشد بنابراین می‌توان از آن‌ها صرف‌نظر کرد، همچنین به علت ثابت بودن اندازه و جنس مصالح، نوع سیال و نیز عمق جریان در تمامی آزمایش‌های از نسبت $\frac{\rho_s}{\rho}$ و $\frac{d_{50}}{Y}$ نیز می‌توان صرف‌نظر کرد. در نهایت می‌توان نوشت:

$$d_s/y = f(\theta, L/D, Fr) \quad (3)$$

در شکل ۵ پلان پایه‌ی پل دوکی با شمع آورده شده است.



شکل ۵- پلان پایه‌ی پل دوکی با شمع.

۲- خصوصیات مربوط به رسوب: قطر متوسط رسوبی (d_{50}).

چگالی رسوبات (S)، عمق آبستتگی رسوبات (ds)

۳- خصوصیات مربوط به سیال: جرم مخصوص (ρ) و ویسکوزیته دینامیکی (μ)

بنابراین می‌توان نوشت:

$$f(S_0 \cdot B \cdot L \cdot \theta \cdot D \cdot S \cdot U \cdot y \cdot g \cdot d_{50} \cdot d_s \cdot \rho \cdot \mu) = 0 \quad (1)$$

اگر سه متغیر عمق جریان (y)، سرعت جریان (U) و جرم مخصوص سیال (ρ) به عنوان عامل‌های تکراری انتخاب شوند، براساس آنالیز ابعادی به روش π باکینگهام می‌توان نوشت:

مدت زمان انجام آزمایش برابر با معیار اتما (۲۶) انتخاب شد، که عبارت است از مدت زمانی که تغییرات در عمق آبستتگی در یک بازه زمانی ۱ ساعته کمتر از یک میلی‌متر باشد. در شکل ۶ نمودار توسعه زمانی برای پایه‌ی شاهد (پایه‌ی استوانه‌ای) آورده شده است. با توجه به نمودار شکل ۸ مشاهده می‌شود که تغییرات عمق آبستتگی در ابتدا زیاد است ولی با گذشت زمان رفته رفته کم می‌شود و به دلیل وقوع بخش عمده آبستتگی در بازه ۶ ساعت اولیه آزمایش، این زمان برای کلیه آزمایش‌ها یکسان در نظر گرفته شد. در نتیجه با توجه به معیارهای فوق و محاسبه سرعت بحرانی، با در نظر گرفتن عمق جریان برابر با ۱۶ سانتی‌متر و دبی ۹ لیتر بر ثانیه شرط $V/Vc = 0.9$ در آزمایش‌ها برقرار شد.

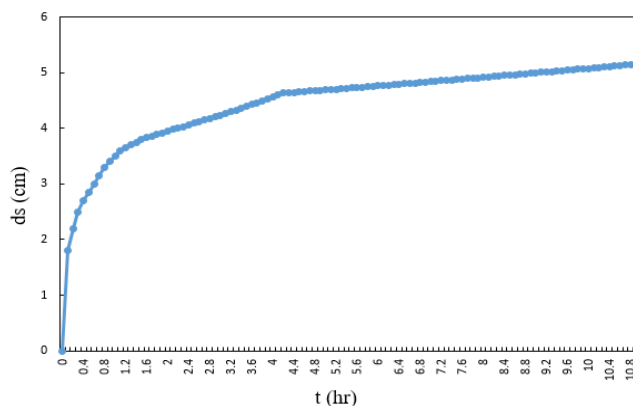
متغیرهای آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- متغیرهای آزمایش

(Fr)	فاصله نسبی شمع‌ها (L/D)	زاویه شمع (θ)
۴ متغیر	۱، ۰.۵ و ۱/۵	(۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه)

آزمایش‌های شامل ۳۶ آزمایش با نصب شمع و ۴ آزمایش شاهد بدون شمع می‌باشد. مجموعاً ۴۰ آزمایش انجام شده است. برای اندازه‌گیری عمق آبستتگی و توپوگرافی بستر رسوبی، از متر لیزری استفاده خواهد شد.

مدت زمان انجام آزمایش



شکل ۶- نمودار توسعه زمانی آبستتگی

برای این منظور از یک متر لیزری با دقت ۱ میلی‌متری و دارای ۲ تراز لوبیایی، که بر روی یک چارچوب فلزی که طول و عرض آن در

ابزار نقشه برداری از پروفیل آبستتگی

۵. بررسی اثر افزایش عدد فرود بر الگوی رسوب در اطراف پایه‌های پل دوکی با صفحات.



شکل ۷- تصاویری از آبستتگی

بررسی اثر افزایش سرعت جریان بر الگوی رسوب در اطراف پایه‌های پل دوکی بدون محافظ

با انجام آزمایشات، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل نتایج برداشت شد که در قالب نمودارهایی در ادامه نشان داده می‌شود. در ادامه به بررسی تاثیر سرعت جریان بر الگوی رسوب در اطراف پایه‌های پل دوکی بدون محافظ پرداخته شده است.

فاصله ۵ سانتی‌متر نشانه‌گذاری شده‌اند و در ارتفاع تقریبی ۶۹/۵ سانتی‌متری از کف قرار گرفته بود، استفاده شد. از آنجا که در خط مرکزی عرض جریان همواره بیشترین میزان سرعت ممکن در هر مقطع وجود دارد، چارچوب روی کانال قرار داده شد و پس از ثابت کردن عرض در خط مرکزی، با حرکت دادن صفحه‌ای که متر لیزری روی آن نصب شده بود در طول فلوم، با فواصل طولی مشخص، ارتفاع متناظر با این نقاط با استفاده از متر بر حسب میلی‌متر، مشخص شد. برای به‌دست آوردن اختلاف ارتفاع نقاط، از فرمول زیر استفاده شد.

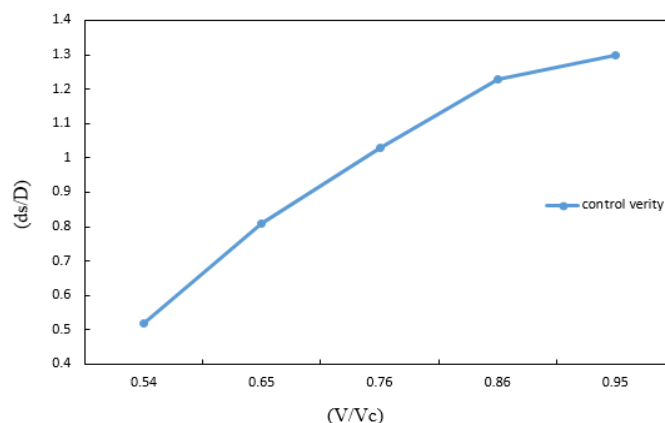
$$Z = -\left(\frac{Z_s}{10}\right) + \left(\frac{Z_0}{10}\right) \quad (4)$$

که در رابطه‌ی ۴، Z بیان‌گر ارتفاع سطح پروفیل آبستتگی در یک نقطه‌ی خاص برحسب سانتی‌متر، Z_s ارتفاع خوانده شده توسط متر لیزری برحسب میلی‌متر پس از انجام آزمایش و Z_0 برابر ارتفاع اولیه خوانده شده توسط متر لیزری قبل از انجام آزمایش برحسب میلی‌متر هستند.

نتایج و بحث

نتایج در این پژوهش شامل ارزیابی سرعت جریان (عدد فرود)، تغییر زاویه‌ی شمع‌ها و تغییر فاصله شمع‌ها بر میزان آبستتگی پایه‌ی پل دوکی می‌باشد که به این ترتیب نتایج در ۵ بخش تقسیم می‌شوند:

۱. بررسی اثر افزایش سرعت جریان بر الگوی رسوب در اطراف پایه‌های پل دوکی بدون محافظ.
۲. بررسی فاصله نسبی شمع‌ها بر الگوی رسوب در اطراف پایه‌ی پل دوکی
۳. بررسی تاثیر زاویه‌ی شمع‌ها بر الگوی رسوب در اطراف پایه‌ی پل دوکی
۴. بررسی توپوگرافی بستر با وجود پایه‌ی دوکی و صفحه



شکل ۸- نمودار تاثیر سرعت جریان بدون بعد بر الگوی رسوب در اطراف پایه‌ی پل دوکی بدون محافظ (شاهد)

فاظ افزایش یافته است. با افزایش سرعت نسبی جریان (V/V_c) از ۰/۵۴ به ۰/۹۵ میزان نسبی آبستتگی (ds/D) از ۱/۳ به ۱/۳

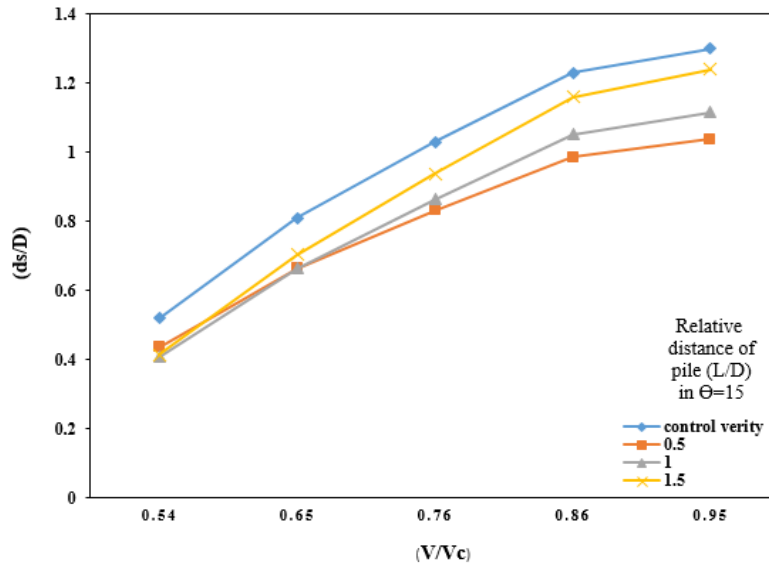
با توجه به نمودارهای شکل‌های ۸ می‌توان به خوبی مشاهده کرد با افزایش سرعت جریان میزان آبستتگی حول پایه‌ی پل دوکی بدون

بررسی تاثیر فاصله نسبی شمع‌ها بر الگوی رسوب در اطراف پایه‌ی پل دوکی پرداخته شده است. در این تحقیق شمع‌ها در سه فاصله نسبی (L/D) 0.5 ، 1 و 1.5 قرار گرفته است. لازم به ذکر است آرایش شمع‌ها به صورت مثلثی با زوایای مختلف نصب می‌شوند.

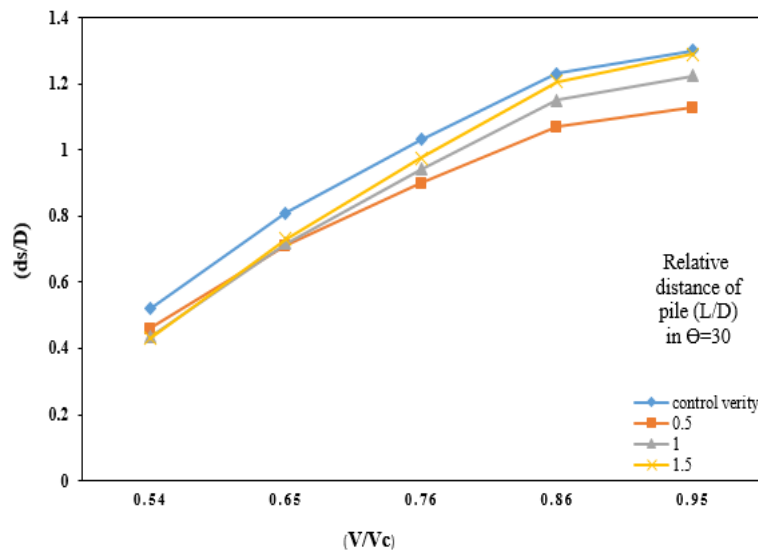
رسیده است که نشان‌دهنده افزایش 150 درصدی آبستگی می‌باشد.

بررسی فاصله نسبی شمع‌ها بر الگوی رسوب در اطراف پایه‌ی پل دوکی

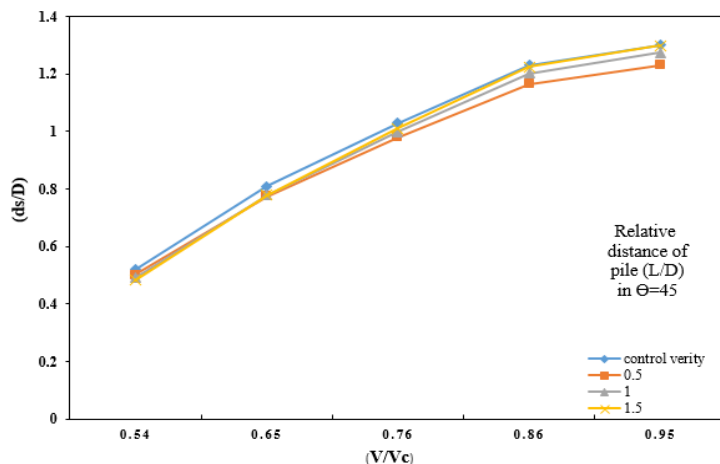
با انجام آزمایشات، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل نتایج برداشت شد که در قالب نمودارهای در ادامه نشان داده شده است. در ادامه به



شکل ۹- نمودار تاثیر فاصله نسبی شمع‌ها بر میزان آبستگی با زاویه 15 درجه



شکل ۱۰- نمودار تاثیر فاصله نسبی شمع‌ها بر میزان آبستگی با زاویه 30 درجه



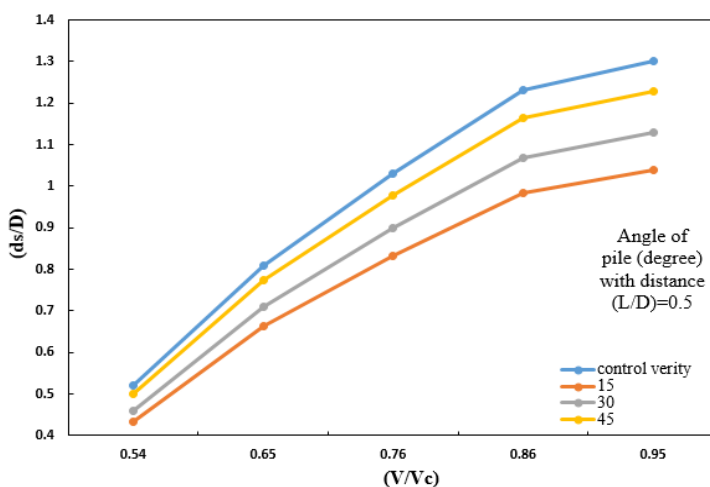
شکل ۱۱- نمودار تاثیر فاصله نسبی شمع‌ها بر میزان آبشستگی با زاویه ی ۴۵ درجه

آبشستگی شده است. کاهش فاصله شمع‌ها تا پایه ی پل، باعث کاهش آبشستگی شده است. با کاهش فاصله پایه‌ها رسوب‌های منتقل شده از شمع‌ها به سمت پایه‌ها بیشتر صورت گرفته است. همچنین به دلیل فاصله کمتر شمع‌ها از هم و انسداد بیشتر جریان، کاهش سرعت و گردابه شده و باعث آبشستگی کمتر در حول پایه ی دوکی می‌شود.

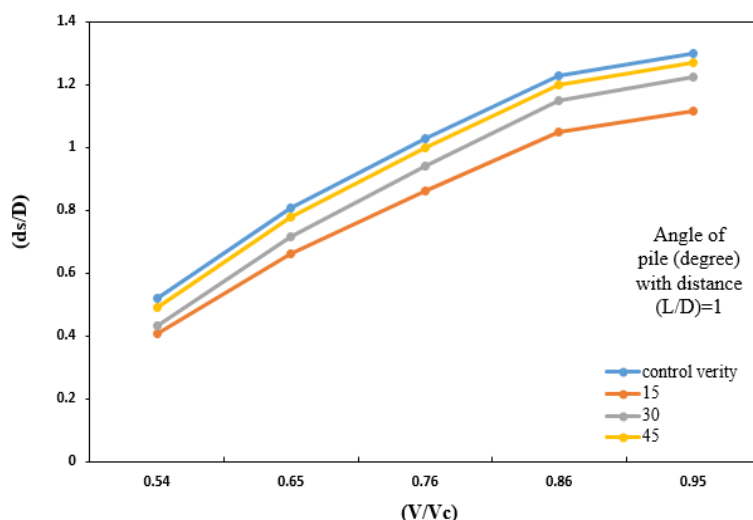
بررسی زاویه ی شمع‌ها بر الگوی رسوب در اطراف پایه ی پل دوکی

با انجام آزمایش‌ها، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل نتایج برداشت شد که در قالب نمودارهای در ادامه نشان داده می‌شود. در ادامه به بررسی تاثیر زاویه ی شمع‌ها نسبت به محور افقی بر الگوی رسوب در اطراف پایه ی پل دوکی پرداخته شده است. در این تحقیق زاویه ی‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه برای شمع‌ها با فواصل مختلف در نظر گرفته شده است.

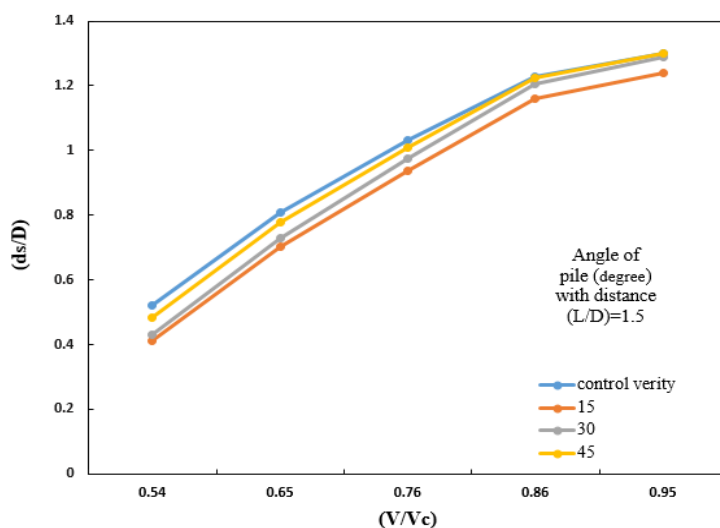
با توجه به نمودارهای شکل‌های ۹ تا ۱۱ می‌توان به خوبی مشاهده کرد با نصب شمع در جلوی پایه ی پل دوکی میزان آبشستگی کاهش یافته است. از نتایج می‌توان دریافت با کاهش فاصله نسبی شمع‌ها میزان آبشستگی کمتر شده است. با نصب دو ردیف شمع با زاویه ی ۱۵ درجه نسبت به محور افقی با فاصله نسبی (L/D) ۱، ۰/۵ و ۱/۵ به ترتیب ۲۰/۰، ۱۴/۶ و ۹/۴ درصد کاهش آبشستگی نسبت به پایه ی بدون شمع را با نصب دو ردیف شمع با زاویه ی ۳۰ درجه نسبت به محور افقی با فاصله نسبی (L/D) ۱، ۰/۵ و ۱/۵ به ترتیب ۱۲/۰، ۷/۸ و ۴/۹ درصد کاهش آبشستگی نسبت به پایه ی بدون شمع را با نصب دو ردیف شمع با زاویه ی ۴۵ درجه نسبت به محور افقی با فاصله نسبی (L/D) ۱، ۰/۵ و ۱/۵ به ترتیب ۳/۲، ۲/۷ و ۱/۹ درصد کاهش آبشستگی نسبت به پایه ی بدون شمع را. این کاهش آبشستگی به دلیل منتقل شدن رسوبات اطراف شمع به سمت پایه ی و جمع شدن رسوبات در وسط شمع‌ها و جلوی پایه ی دوکی می‌باشد. دلیل دیگر، تغییر رژیم جریان و کاهش سرعت و گردابه در جلوی پایه ی دوکی می‌باشد که این نیز به نوبه خود باعث کاهش



شکل ۱۲- نمودار تاثیر زاویه ی شمع‌ها بر میزان آبشستگی در شمع‌ها با فاصله $(L/D) = 0.5$



شکل ۱۳- نمودار تاثیر زاویه ی شمع ها بر میزان آبشستگی در شمع ها با فاصله $(L/D) = 1$



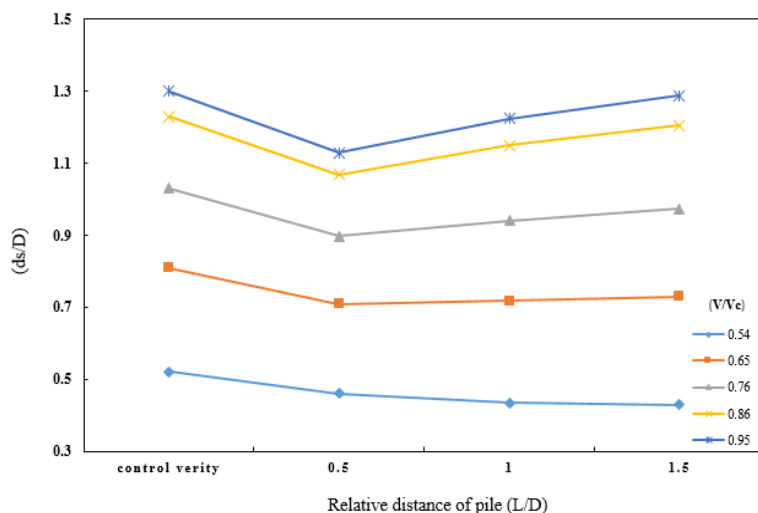
شکل ۱۴- نمودار تاثیر زاویه ی شمع ها بر میزان آبشستگی در شمع ها با فاصله $(L/D) = 1/5$

آبشستگی به دلیل منتقل شدن رسوبات اطراف شمع به سمت پایه ی و جمع شدن رسوبات در وسط شمع ها و جلوی پایه ی دوکی می باشد. دلیل دیگر، تغییر رژیم جریان و کاهش سرعت و گردابه در جلوی پایه ی دوکی می باشد که این نیز به نوبه خود باعث کاهش آبشستگی شده است. کاهش زاویه ی شمع ها، باعث کاهش آبشستگی شده است که این به دلیل این می باشد که با کاهش زاویه ی شمع ها جریان کمتری از بین شمع ها عبور کرده و باعث کاهش آبشستگی در حول پایه ی دوکی می شود.

بررسی تغییر سرعت نسبی بر میزان آبشستگی در اطراف پایه ی پل دوکی با وجود شمع

در این بخش به بررسی تغییر سرعت بر میزان آبشستگی پرداخته شده است.

با توجه به نمودارهای شکل های ۱۲ تا ۱۴ می توان به خوبی مشاهده کرد با نصب شمع در جلوی پایه ی پل دوکی میزان آبشستگی کاهش یافته است. از نتایج می توان فهمید به طور متوسط شمع ها با زاویه ی ۱۵ درجه کمترین میزان آبشستگی را داشته است. با نصب شمع ها با فاصله نسبی $(L/D) = 0/5$ و با زاویه ی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به محور افقی به ترتیب ۲۰٪، ۱۲٪ و ۳٪ درصد کاهش آبشستگی نسبت به پایه ی بدون صفحه را شاهد هستیم. با نصب شمع ها با فاصله نسبی $(L/D) = 1$ و با زاویه ی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به محور افقی به ترتیب ۱۴٪، ۷٪ و ۲٪ درصد کاهش آبشستگی نسبت به پایه ی بدون صفحه را شاهد هستیم. با نصب شمع ها با فاصله نسبی $(L/D) = 1/5$ و با زاویه ی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به محور افقی به ترتیب ۹٪، ۴٪ و ۱٪ درصد کاهش آبشستگی نسبت پایه ی بدون صفحه را شاهد هستیم. این کاهش

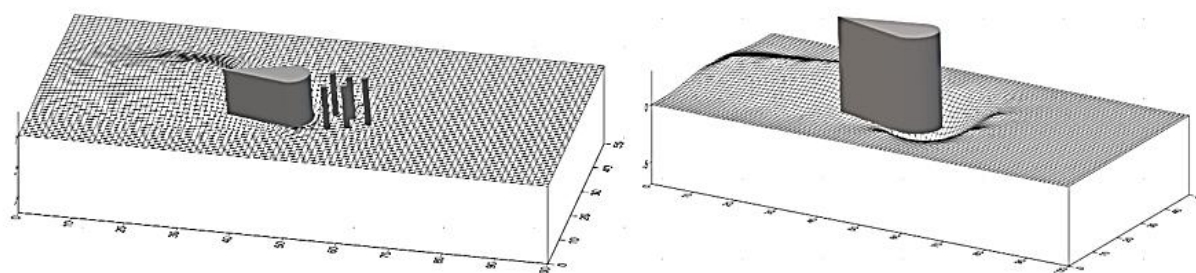


شکل ۱۵- نمودار تاثیر سزعت نسبی بر میزان آبشستگی

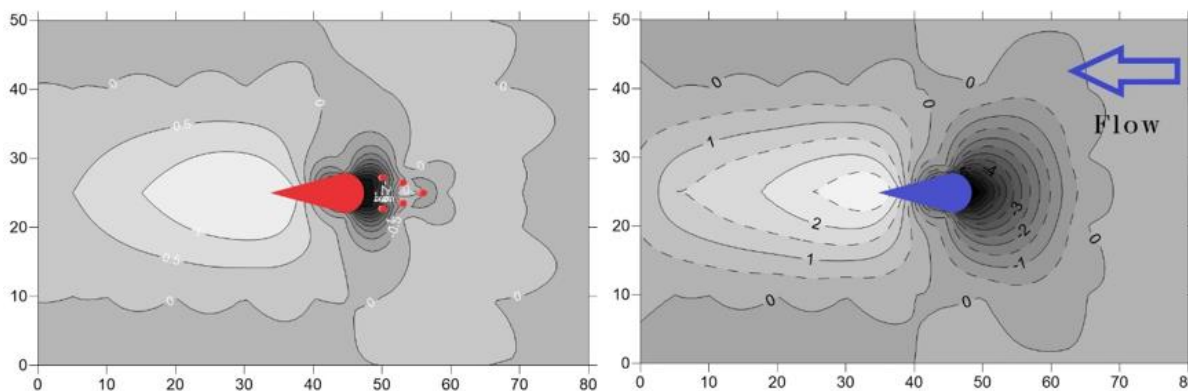
توپوگرافی بستر رسوبی

در این بخش توپوگرافی بستر رسوبی برای حالت شاهد و با حالت نصب ۵ شمع با زاویه ی ۳۰ درجه و با فاصله نسبی $(L/D) = 0.5$ در سرعت نسبی $(V/Vc) = 0.95$ پرداخته شده است.

با توجه به نمودار شکل ۱۵ می توان به خوبی مشاهده کرد با افزایش سرعت نسبی (V/Vc) از 0.54 به 0.95 به طور متوسط باعث افزایش آبشستگی به میزان $165/4$ درصد شده است. جریان آب پس از برخورد به پایه ی دوکی و ایجاد جریان رو به پایین و ایجاد آبشستگی می شود که افزایش سرعت جریان نیز باعث افزایش سرعت عمودی و گردابه و افزایش آبشستگی شده است.



شکل ۱۶- نمای سه بعدی از توپوگرافی های بستر رسوبی در حالت شاهد (بون شمع) و با نصب شمع



شکل ۱۷- نمای پلان از توپوگرافی های بستر رسوبی در حالت شاهد (بدون شمع) و با نصب شمع

۳۰ درجه و با فاصله نسبی $(L/D) = 0.5$ ، شاهد ۲۰ درصد کاهش آبشستگی نسبت به پایه ی دوکی بدون شمع هستیم. در توپوگرافی بستر رسوبی در شکل ۱۶ و ۱۷ می توان به خوبی مشاهده کرد مدل با

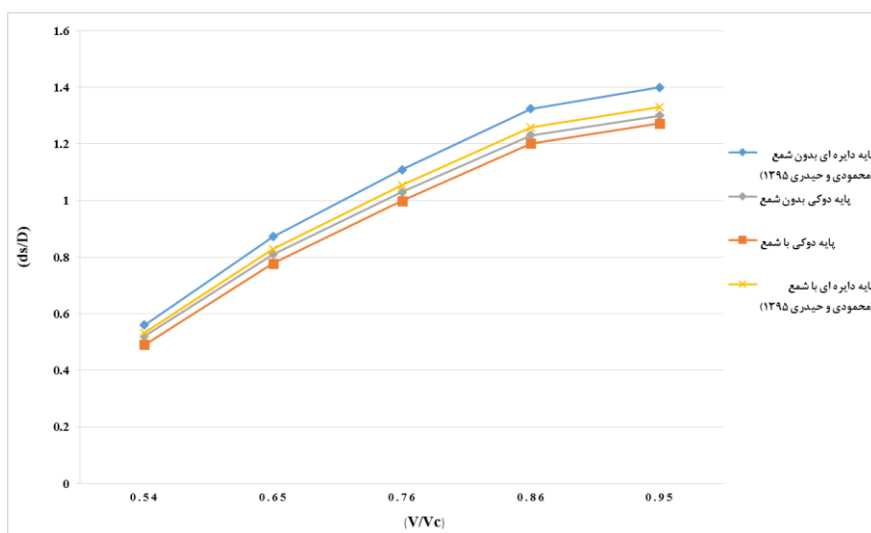
با توجه به نتایج بالا می توان به این نتیجه رسید نصب ۵ شمع با زاویه ی ۳۰ درجه و با فاصله نسبی $(L/D) = 0.5$ ، باعث کمترین آبشستگی در بین باقی موارد را دارا است. با نصب ۵ شمع با زاویه ی

مقایسه با محققان دیگر

در این بخش، نتایج این پژوهش با نتایج یک پژوهش مقایسه گردید (۱). برای مقایسه دقیق، شرایط آزمایش یکسان در نظر گرفته شد. نتایج مربوط به آزمایش با زاویه شمعها ۴۵ درجه و فاصله نسبی می‌باشد.

$$(L/D)=1$$

شمع نسبت به مدل شاهد، عمق و توسعه آبستتگی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. این کاهش آبستتگی به دلیل منتقل شدن رسوبات اطراف شمع به سمت پایه‌ی و جمع شدن رسوبات در وسط شمعها و جلوی پایه‌ی دوکی می‌باشد. دلیل دیگر، تغییر رژیم جریان و کاهش سرعت و گردابه در جلوی پایه‌ی دوکی می‌باشد که این نیز به نوبه خود باعث کاهش آبستتگی شده است.



شکل ۱۸- مقایسه نتایج این تحقیق با پژوهش دیگر (۲۴)

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: علی نیکنام؛
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: علی نیکنام، محمد حیدرنژاد؛
نظارت و نگارش نهایی: علی نیکنام، محمد حیدرنژاد

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است

با توجه به نمودار شکل ۱۸ می‌توان به خوبی مشاهده کرد پایه پل دوکی ۷/۱ درصد آبستتگی کمتری نسبت به پایه پل دایره‌ای داشته است. همچنین با نصب شمع در جلوی پایه پل با زاویه شمعها ۴۵ درجه و فاصله نسبی $(L/D)=1$ ، در این شرایط پایه پل دوکی ۵/۵ درصد آبستتگی کمتری نسبت به پایه پل دایره‌ای داشته است.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش‌ها نشان دادند کاهش آبستتگی به دلیل منتقل شدن رسوبات اطراف شمع به سمت پایه و جمع شدن رسوبات در وسط شمعها و جلوی پایه‌ی دوکی می‌باشد. این دلیل دیگر، تغییر رژیم جریان و کاهش سرعت و گردابه در جلوی پایه‌ی دوکی می‌باشد که این نیز به نوبه خود باعث کاهش آبستتگی شده است. کم‌تر شدن فاصله‌ی نسبی شمعها باعث کاهش آبستتگی شده است. افزایش سرعت نسبی (V/Vc) به‌طور متوسط باعث افزایش آبستتگی شده است. جریان آب پس از برخورد به پایه‌ی دوکی و ایجاد جریان رو به پایین و ایجاد آبستتگی می‌شود که افزایش سرعت جریان نیز باعث افزایش سرعت عمودی و افزایش آبستتگی شده است.

References

1. Mahmoudi, S. A. H., Heidarpour, M. Evaluate the performance of the control and reduction of scour protection of

bridge piers cylindrical candles. Journal of Construction Engineering and Management, 2016; 1(3):7-11.

2. EL-Ghorab, E.A. Reduction of scour around bridge piers using a modified method for vortex reduction. *Alexandria Engineering Journal*, 2013; 52(3): 467-478.
3. Placzek, G., Haeni, F. Surface-geophysical techniques used to detect existing and infilled scour holes near bridge piers. US Department of the Interior, US Geological Survey. 1995
4. Ghasemi, M., Soltani-Gerdefaramarzi, S. The Scour Bridge Simulation around a Cylindrical Pier Using FLOW-3D. *Journal of Hydrosience and Environment*, 2017; 1(2): 46-54.
5. Wang, S., Wei, K., Shen, Z., Xiang, Q. Experimental Investigation of Local Scour Protection for Cylindrical Bridge Piers Using Anti-Scour Collars. *Water*, 2019; 11(7): 1515.
6. Namaee, M.R., Sui, J., Wu, P. Experimental Study of Local Scour around Side-by-Side Bridge Piers under Ice-Covered Flow Conditions. In Book: *The Fluvial Processes and Forms-Dynamics, Delineation and Conservation*. 2019.
7. Moussa, Y.A.M., Nasr-Allah, T.H., Abd-Elhasseb, A. Studying the effect of partial blockage on multi-vents bridge pier scour experimentally and numerically. *Ain Shams Engineering Journal*, 2018; 9(4): 1439-1450.
8. Chen, S.C., Tfwala, S., WU, T-Y., Chan, H-C., and Chou, H-T. A hooked-collar for bridge piers protection: Flow fields and scour. *Water*, 2018; 10(9): 1251.
9. Singh, C., Setia, B., Verma, D. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. *Proceedings of the Congress International Association for Hydraulics Research*. 2001.
10. Chiew, Y.M. Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1992; 118(9): 1260-1269.
11. Zarrati, A.R., Gholami, H., Mashahir, M. Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, 2004; 42(1): 97-103.
12. Tafarjnoruz, A., Gaudio, R., Calomino, F. Evaluation of flow-altering countermeasures against bridge pier scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2012; 138(3): 297-305.
13. Ismael, A., Gunal, M., Hussein, H. Use of Downstream-Facing Aerofoil-Shaped Bridge Piers to Reduce Local Scour. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 2014; 5(11): 44-56.
14. Amini, A., and Eghbalzadeh, A. Laboratory study of the effect of pile arrangement on scour depth in bridge piers. *Iranian Water Reserchers Journal*, 2012; 6 (11): 95-103.
15. Azam, N., and Ghomeshi, M. Influence of sacrificial piles on scour reduction of cylindrical bridge pier. *Water and Soil Science*, 2013; 23(3): 123-134 .
16. Zomorodian, S.M.A., Ghaffari, H., Ghasemi, Z. 2017. Separated and combined effects of collar and sacrificial pile on scour reduction of bridge piers group. *Iran. Journal of Soil & Water Research*, 2017; 48 (4): 879-890.
17. Shahsavanpour, F., Ershadi, S., Olyaei, N. Numerical modeling of scour reduction of pile group with collar and the effect of collar height on scour depth. *Proceedings of the 6th Nat. Congress of Civil Engineering Ministry of Science, Research and Technology, Babol School of Civil Engineering, Iran*. 2014.
18. Bitarnejad Shirazi, R., and Heidarpour, M. Investigation of the performance of protective piles in rectangular bases of round noses with different length to width ratios on the amount of scour. *Proceedings of the Conference Civil Engineering Archit. Urban Development of Islamic World Country*. Iran, Tabriz, Azarbaijan Shahid Madani University, Sahand University of Technology. 2018.
19. Chiew, Y-M., Melville, B.W. Temporal development of local scour at bridge piers. In *North American Water and*

- Environment Congress & Destructive Water. Anaheim, California, United States.1999.
20. Donat, M. Bioengineering techniques for stream bank restoration: A review of central European practices. Ministry of Environment, Lands, and Parks and Ministry of Forests, British Columbia. Watershed Restoration Project Report.1995.
 21. Oliveto, G., Hager, W.H. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. Journal of Hydraulic Engineering, 2002; 128(9): 811-820.
 22. Ettema, R., Melville, B.W., and Barkdoll, B. Pier width and local-scour depth. In North American Water and Environment Congress & Destructive Water (ASCE).1991.
 23. Dongol, D.M.S. Local scour at bridge abutments. Department of Civil Engineering, University of Auckland.1994.
 24. Raudkivi, A.J., The roughness height under waves. Journal of Hydraulic Research, 1988; 26(5): 569-584.
 25. Ettema, R. Scour at bridge piers. Volume 216 of Report/University of Auckland.pp.527. 1980.

