



بررسی تأثیر بیرون زدگی زبری‌ها در کاهش عمق آبستگی اطراف پایه پل و تأثیر آن روی پروفیل‌های سرعت قائم

*احمد رحیمی‌نیا^۱، منوچهر حیدرپور^۲ و حامد شهسوار^۱

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه صنعتی اصفهان، آستاد گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: همه‌ساله پل‌های زیادی در سراسر جهان تخریب می‌شوند. تخریب این پل‌ها اکثراً نه به دلیل سازه‌ای، بلکه به دلیل در نظر نگرفتن نقش هیدرولیکی در طراحی آن‌ها می‌باشد. از این‌رو یافتن راهکاری برای کاهش عمق آبستگی از اهمیت خاصی برخوردار است. به‌طورکلی دو روش اساسی برای محافظت پل‌ها در مقابل پدیده آبستگی وجود دارد که عبارتند از: بالا بردن مقاومت مواد بستر و کاهش قدرت عوامل فرسایش. یک روش جدید مطرح شده در کاهش آبستگی پایه پل ایجاد زبری دور تا دور پایه در هنگام بتن‌ریزی می‌باشد که در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش‌ها تحت شرایط آب زلال و دبی ثابت در بازه زمانی ۸ ساعت در کانال آزمایش به طول ۷ متر، عرض ۰/۳۲ متر و ارتفاع ۰/۳۶ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. همچنین از ماسه گردگوشه با قطر متوسط ۰/۷۵ میلی‌متر، وزن مخصوص ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب و انحراف معیار هندسی ۱/۲ استفاده شد. در این پژوهش ساختار جریان قائم به‌وسیله داده‌برداری با دستگاه ADV در اطراف پایه و تأثیر آن بر آبستگی مورد بررسی قرار گرفته است.

یافته‌ها: با توجه به نتایج به‌دست آمده، سرعت قائم در راستای محور مرکزی کانال در بالادست پایه دارای مقادیر منفی است که نشان‌دهنده جریان رو به پایین می‌باشد و در پشت پایه دارای مقادیر مثبت می‌باشد که نشان‌دهنده جریان رو به بالا در این ناحیه است. مقادیر سرعت با نزدیک شدن به پایه بیش‌تر می‌گردد. در بالادست پایه، سرعت در راستای قائم برای پایه زبری‌دار از نظر اندازه از مقادیر پایه شاهد کوچک‌تر می‌باشد. کوچک بودن اندازه مقادیر منفی در بالادست پایه زبری‌دار نشان‌دهنده کاهش جریان رو به پایین و در نتیجه کاهش قدرت گرداب‌های نعل‌اسبی نسبت به پایه شاهد می‌باشد. بررسی‌های انجام شده بر روی پروفیل‌های سرعت حول پایه‌ها نشان‌دهنده حضور توأمان گرداب‌های نعل‌اسبی و جریان رو به پایین در بالادست جریان می‌باشد. در پایین‌دست جریان حضور گرداب‌های برخاستگی سبب به‌وجود آمدن نامنظمی‌های فراوان در ساختار جریان گردیده است. مقادیر نوسانات سرعت در بالا دست پایه‌ها به محض ورود به گودال آبستگی افزایش می‌یابد از این‌رو درون حفره یک هسته با شدت توربولانس زیاد در جلوی پایه‌ها وجود دارد که نتیجه جدایی جریان در آن‌جاست.

* مسئول مکاتبه: rahimiahmad12219@yahoo.com

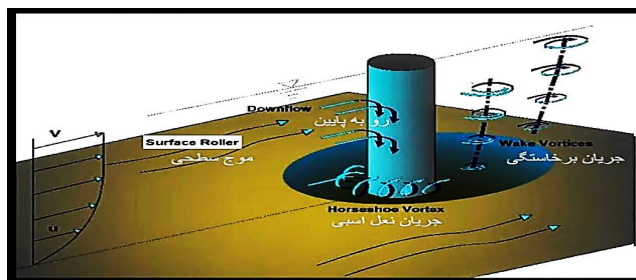
نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد با افزایش اندازه بیرون‌زدگی زبری‌ها میزان آبستگي کاهش می‌یابد. در بهترین حالت، مقدار درصد کاهش آبستگي نسبت به پایه شاهد برابر ۳۴ درصد است. افزایش بیرون‌زدگی زبری‌ها باعث کاهش قدرت جریان رو به پایین می‌گردد و به موازات آن باعث کاهش قدرت گرداب‌های نعل‌اسبی و برخاستگی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آبستگي، پایه زبری‌دار، ساختار جریان، دستگاه سرعت سنج صوتی (ADV)

مقدمه

پل‌ها از جمله مهم‌ترین سازه‌های هیدرولیکی هستند که از دیر باز مورد استفاده بشر قرار گرفته است و نقش استراتژیک آن در مسائل گوناگون بر کسی پوشیده نیست. سامانه‌های گردابی پیچیده‌ای در اطراف پایه پل‌ها به وجود می‌آید که عملکرد آن‌ها باعث حفر گودالی در اطراف پایه‌ها شده که حفره آبستگي نامیده می‌شود. توسعه این گودال در اطراف پایه‌ها باعث خالی شدن زیر پی‌ها و در نتیجه خرابی

آن‌ها و خرابی پل می‌شود. دو عامل مهم باعث ایجاد چنین سامانه‌هایی می‌شود. یکی برخورد جریان به پایه و دیگری جداشدن جریان از پایه پل می‌باشد (۸). در اثر برخورد جریان به پایه جریان رو به پایین و در نهایت گرداب‌های نعل‌اسبی تشکیل می‌شود و جدایی جریان از پایه باعث به وجود آمدن گرداب‌هایی برخاستگی می‌گردد (۱۳). شکل ۱ میدان جریان در اطراف پایه پل را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۱- میدان جریان در اطراف پایه پل.

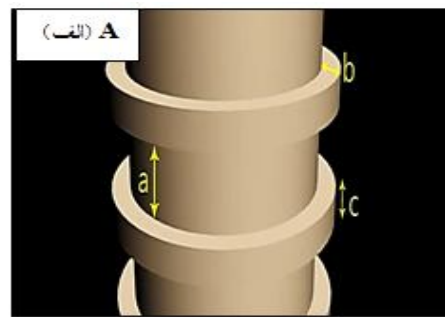
Figure 1. The flow field around the bridge pier.

لاگسی و ریچاردسون (۲۰۰۱) علت تخریب پل‌ها را در ایالات متحده پدیده آبستگي موضعی و عمومی دانسته‌اند (۹). دی و باریو (۲۰۰۴) تخریب پل‌ها در نیوزیلند را به علت پدیده آبستگي گزارش نمودند (۵). در چند دهه اخیر پژوهشگران زیادی در سراسر دنیا روش‌های مختلف محافظت از آبستگي پایه‌های پل را مطالعه کرده‌اند، چيو (۱۹۹۲) نشان داد با افزایش قطر طوق رانده‌مان آن در کاهش آبستگي افزایش می‌یابد در حالی‌که زراتی و همکاران (۲۰۰۶) بیان داشتند طوق با قطر بیش‌تر از سه برابر قطر پایه

غیرکاربردی می‌باشد (۲، ۱۵). ایجاد شکاف در پایه به‌عنوان راه‌حلی در کاهش گرادیان فشار بین سطح آب و بستر و همچنین کاهش قدرت جریان رو به پایین پیشنهاد شده است. حیدرپور (۲۰۰۲) تأثیر ایجاد شکاف در بدنه پایه‌های استوانه‌ای منفرد بر پدیده آبستگي را مورد بررسی قرار داد (۷). استفاده از کابل‌های پیچیده شده به دور پایه برای اولین بار توسط دی و همکاران (۲۰۰۶) به‌عنوان یک روش اقتصادی، ساده و قابل اجرا در کنترل و کاهش آبستگي پیشنهاد گردید (۶).

متوسط ذرات بیش از $0/7$ میلی متر باشد (۱۱). همچنین زمانی که انحراف معیار هندسی ذرات کم تر از $1/3$ می باشد می توان از تاثیر غیریکنواختی ذرات بر عمق آبشستگی صرف نظر کرد (۱۲). بنابراین طبق معیارهای فوق از رسوبات غیرچسبنده با قطر متوسط $0/75$ میلی متر، وزن مخصوص $2/65$ گرم بر سانتی متر مکعب و انحراف معیار هندسی $1/12$ استفاده شد. برای صرف نظر کردن از تأثیر دیواره های کانال بر عمق آبشستگی، قطر پایه نباید بیش از 10 درصد عرض کانال باشد (۳). طبق این معیار قطر پایه استوانه ای (D) 3 سانتی متر انتخاب شد.

پایه زبری دار استفاده شده به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می کنید فاصله بین زبری ها با حرف (a)، بیرون زدگی زبری ها با حرف (b) و ارتفاع زبری ها با حرف (c) نشان داده شده است.



شکل ۲- طرح شماتیک، (الف) زبری های ایجاد شده اطراف پایه، (a) فاصله بین زبری ها، (b) بیرون زدگی زبری ها و (c) ارتفاع زبری ها، (ب) پایه مدل شده در آزمایشگاه.

Figure 2. A schematic, (A) roughness created around the pier, (a) distance between roughnesses, (b) roughness depth, (c) roughness height, (B) The pier model in the laboratory.

از آن جا که حداکثر عمق آبشستگی در شرایط جریان آب زلال و آستانه حرکت ذرات رخ می دهد، همه آزمایش ها در این شرایط صورت گرفت (۱۰). بنابراین نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی (v/v_c) برابر $0/95$ و عمق جریان 12 سانتی متر

هدف از این پژوهش ارائه روشی جدید و کارآمد در کنترل و کاهش آبشستگی اطراف پایه پل و بررسی عوامل مؤثر در این روش می باشد. یکی از راه حل های کنترل و کاهش آبشستگی موضعی ایجاد زبری موضعی بر روی پایه پل است که برای ایجاد برجستگی روی پایه، در هنگام بتن ریزی اجرا می شود. در این مطالعه با استفاده از زبری های ایجاد شده روی پایه استوانه ای، به بررسی تأثیر بیرون زدگی زبری ها بر عملکرد آن در کاهش آبشستگی در پایه پل و بررسی تأثیر زبری ها روی پروفیل های سرعت قائم نیز پرداخته شده است.

مواد و روش ها

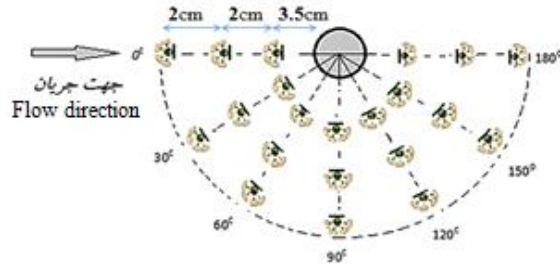
برای انجام آزمایش ها از یک کانال مستطیلی با کف افقی به طول 7 متر، عرض $0/32$ و ارتفاع $0/36$ متر استفاده شد. منبع تغذیه یک پمپ با حداکثر دبی 11 لیتر بر ثانیه بوده است.

طبق نظریه رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) برای جلوگیری از تشکیل ریپل در طول آزمایش باید قطر

در پژوهش حاضر فاصله بین زبری ها (a) و ارتفاع زبری ها (c) ثابت و به ترتیب برابر $0/66D$ و برابر $0/7D$ در نظر گرفته شد. بیرون زدگی زبری ها در سه اندازه مشخص انتخاب شد که بر حسب قطر پایه به ترتیب برابر با $0/7D$ ، $0/8D$ و $0/13D$ می باشند.

پس از تثبیت بستر، به منظور بررسی الگوی جریان اطراف پایه نیاز به اندازه‌گیری و داده‌برداری در اطراف پایه می‌باشد برای این منظور شبکه‌ای مشخص در اطراف پایه در نظر گرفته شد (شکل ۳).

بمدست آمده است. پس از ۲۴ ساعت گودال آبستگي به تعادل رسید، سپس این گودال با سیمان تثبیت گردید و داده‌برداری توسط دستگاه ADV انجام شد (۱۴).



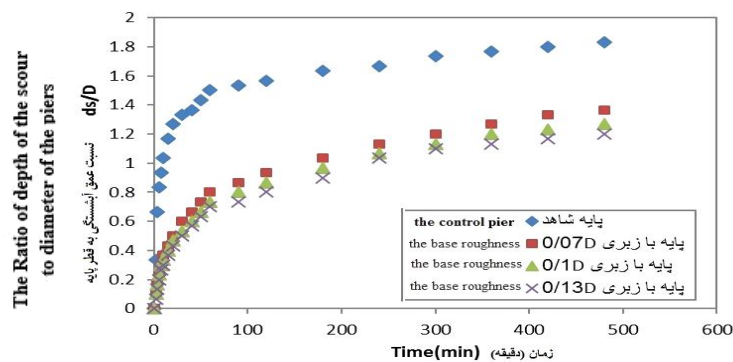
شکل ۳- محل برداشت پروفیل‌های سرعت در اطراف پایه.

Figure 3. Took place speed profiles around the pier.

در پشت پایه کاهش می‌یابد این امر باعث کاهش قدرت گردابه‌های برخاستگی در پشت پایه می‌شود. در شکل ۴ مقایسه نمودار توسعه زمانی آبستگي در پایه با زبری‌های مشخص شده نشان داده شده است. با توجه به شکل می‌توان بیان نمود که با فاصله و ارتفاع مشخص شده برای زبری‌ها، با افزایش بیرون‌زدگی زبری‌ها از عمق آبستگي کاسته می‌شود.

بحث و نتایج

با توجه به شکل ۴ زبری ایجاد شده دور پایه از قدرت جریان رو به پایین می‌کاهد و از آنجا که گردابه‌های نعل‌اسبی در اثر جریان رو به پایین به وجود می‌آیند، گردابه‌های نعل‌اسبی ضعیف‌تر شده و از شدت آبستگي و همچنین عمق آبستگي کاسته می‌شود (۱). وجود زبری‌های دور پایه باعث تاخیر جدایی جریان می‌گردد و در نتیجه ناحیه جدایی جریان



شکل ۴- مقایسه نمودار توسعه زمانی آبستگي در پایه با زبری‌های مشخص شده.

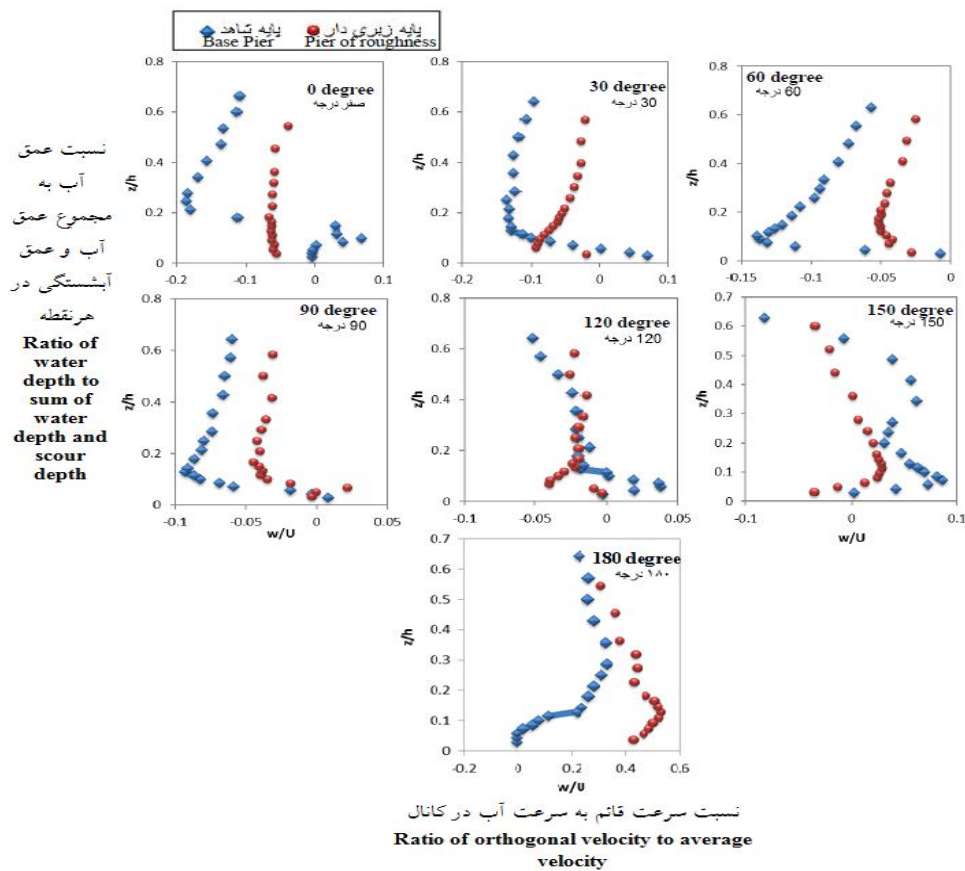
Figure 4. Comparison chart temporal development of scour at the pier of the rough specified.

به این‌که پایه با بیرون‌زدگی زبری $0/13D$ از عملکرد بالایی برخوردار بود از آن برای بررسی ساختار جریان و مقایسه با پایه شاهد استفاده گردید. پروفیل‌های

درصد کاهش آبستگي پایه‌های زبری‌دار نسبت به پایه شاهد برای پایه با زبری $0/13D$ ، $0/1D$ و $0/07D$ به ترتیب برابر ۳۴، ۳۰ و ۲۵ درصد. با توجه

عمودی در پایه شاهد در نزدیکی بستر دارای مقادیر مثبت می‌باشد که نشان‌دهنده جریان رو به بالا و تشکیل گرداب نعل‌اسبی می‌باشد ولی در پایه زبری‌دار سرعت مثبتی مشاهده نمی‌گردد که نشان‌دهنده تضعیف شدن گرداب‌های نعل‌اسبی در این ناحیه می‌باشد. در پایین‌دست گودال سرعت‌های عمودی مجدداً افزایش زیادی را نشان می‌دهند. که نشان از وجود ورتکس‌های برخاستگی در پشت پایه پل می‌باشد. دی و باریبو (۲۰۰۵) سرعت‌های عمودی مثبت و بزرگ در ناحیه‌ی پایین‌دست پایه پل را گزارش کرده‌اند آن‌ها علت این پدیده را مکش‌هایی می‌دانند که در این ناحیه به‌علت گرداب‌های برخاستگی رخ می‌دهد (۴).

سرعت قائم در اطراف پایه زبری‌دار $0.13D$ و پایه شاهد برای زوایای مشخص شده در شکل ۵ نشان داده شده است. وجود زبری باعث گرفتن مقدار زیادی از انرژی آب و کاهش میانگین مقدار جریان رو به پایین شده است. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد که نیمرخ‌های سرعت در راستای قائم در پایه زبری‌دار روندی مشابه با پایه شاهد را طی می‌کنند با این تفاوت که سرعت در راستای قائم از نظر اندازه از مقادیر پایه شاهد در تمام زوایا به‌جز زاویه 180° درجه، کوچک‌تر می‌باشد. کوچک بودن اندازه مقادیر منفی در بالادست پایه زبری‌دار نشان‌دهنده کاهش جریان رو به پایین و در نتیجه کاهش قدرت گرداب‌های نعل‌اسبی نسبت به پایه شاهد شده است. در بالادست جریان پروفیل‌های سرعت در راستای



شکل ۵- پروفیل‌های سرعت قائم در پایه شاهد و پایه زبری‌دار.

Figure 5. The vertical velocity profile at the base roughness of the pier control.

پایین در جلوی پایه در حدود $0/0067U$ و حداکثر مقدار سرعت قائم رو به بالا در پشت پایه در حدود $0/52U$ به دست آمد. همان‌طور که انتظار می‌رفت در حضور زبری مقدار جریان رو به پایین در بالادست پایه کاهش یافته است.

نتایج به دست آمده از مقدار حداکثر سرعت قائم در جدول ۱ نشان داده شده است. حداکثر مقدار سرعت قائم رو به پایین در جلوی پایه در شاهد در حدود $0/19U$ و حداکثر مقدار سرعت قائم رو به بالا در پشت پایه در حدود $0/331U$ به دست آمد ولی در پایه زبری‌دار حداکثر مقدار سرعت قائم رو به

جدول ۱- نتایج به دست آمده از مقدار حداکثر سرعت قائم در پایه شاهد و پایه زبری‌دار.

Table 1. The results of the maximum vertical velocity control at the pier of the pier of the roughness.

مقدار حداکثر سرعت قائم در پایه شاهد (Maximum Vertical speed at the pier control)	مقدار حداکثر سرعت قائم در پایه زبری‌دار (Maximum Vertical speed at the base roughness)	زاویه پروفیل (Direction profiles)
-0/19U	-0/0067U	0
-0/134U	-0/094U	30
-0/139U	-0/051U	60
-0/092U	-0/044U	90
+0/06U	-0/04U	120
+0/103U	+/125U	150
+0/331U	+0/52U	180

نتیجه‌گیری

سرعت در راستای قائم می‌توان بیان نمود که وجود سرعت‌های قائم منفی در بالادست پایه نشان از جریان رو به پایین در جلوی پایه پل که عامل ایجاد گرداب‌های نعل‌اسبی می‌باشد. همان‌طور که مشاهده شد مقدار جریان رو به پایین برای پایه زبری‌دار به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کرد.

همان‌طور که اشاره شد، وجود زبری در دور تا دور پایه باعث کاهش میزان آبستگي به مقدار قابل توجهی می‌شود. مقدار درصد کاهش آبستگي نسبت به پایه شاهد در بهترین حالت برابر ۳۴ درصد است که برای پایه زبری‌دار با بیرون‌زدگی $0/13D$ می‌باشد. با توجه به نتایج و با نگاهی به پروفیل‌های

منابع

1. Bahrami, A. 2015. Investion of roughness effect on reduction of local scour bridge piers. Isfahan. Technol. Univ. Press, 120p. (In Persian)
2. Chiew, Y.M. 1992. Scour protection at bridge piers. J. Hydraul. Eng. ASCE. 118: 1260-1269.
3. Chiew, Y.M., and Melville, B.W. 1987. Local scour around bridge piers. J. Hydraul. Res. Iahr 25: 1. 15-26.
4. Dey, S., and Barbhuiya, A.K. 2005. Turbulent flow field in a scour hole at a semicircular abutment. Can. J. Civ. Eng. 32: 1. 213-232.
5. Dey, S., and Barbhuiya, A. 2004. Clear-water scour at abutment in thiny armoured beds. J. Hydraul. Eng. ASCE. 130: 622-634.
6. Dey, S., Sumer, B.M., and Fredsoe, J. 2006. Control of scour at vrtical circular piles under waves and current. J. Hydraul. Eng. ASCE. 132: 3. 270-279.

7. Heidarpour, M. 2002. Control and reduction of local scour at bridge piers by using slot. *Pro. Riv. Flow. Louvain, Belgium*. 2: 1069-1072.
8. Hamill, L. 1999. *Bridge hydraulics*. London. CRC Press. 367p.
9. Lagasse, P.F., and Richardson, E.V. 2001. compendium of stream stability and bridge scour papers. *J. Hydraul. Eng. ASCE*. 127: 531-533.
10. Melville, B.W., and Sutherland, A.J. 1988. Design Method for local Scour at bridge Piers. *J. Hydraul. Engr. ASCE*. 114: 10. 1210-1226.
11. Raudkivi, A., and Ettema, J.R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *J. Hydraul. Eng. ASCE*. 109: 3. 338-350.
12. Shafai Bajestan, M. 1994. *Hydraulic sediment*. Ahvaz. Univ. Press. 327p. (In Persian)
13. Stearns, F.P. 1883. On the current meter, together with the reason why the maximum velocity of water flowing in open channel is below the surface. *Trans ASCE*.
14. Wahl, T. 2000. Analyzing ADV data using WinADV. ASCECP, joint Conference on water Resources Planning and Managment. ASCE, July 30-August 2. Minneapolis.
15. Zarrati, A.R., Nazariha, M., and Mashahir, M.B. 2006. Reduction of Local Scour in the Vicinity of Bridge pier Groups Using Collars and Riprap. *J. Hydraul. Eng.* 132: 2. 154-162.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(5), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Short Technical Report

The effect of roughness protrusions in reducing scour around bridge piers and its impact on the vertical velocity profiles

*A. Rahiminia¹, M. Heidarpour² and H. Shahsavari¹

¹M.Sc. Student, Dept. of Hydraulic Structures, Isfahan University of Technology,

²Professor, Dept. of Water Engineering, Isfahan University of Technology

Received: 10/13/2015; Accepted: 12/18/2016

Abstract

Background and Objectives: Bridge failure is a common phenomenon all around the world. The reason of the failure is not just the construction, but ignoring hydraulics' roll in designing. Therefore, finding ways to reduce scouring is essential. There are two fundamental ways to protect bridges from scouring; increasing the resistant of bed materials and decreasing the power of erosion factors. A new method of decreasing pier scouring is to create roughness around the pier.

Materials and Methods: The experiments were conducted under clear water scouring and with a constant discharge during 8 hours in hydraulic laboratory of Isfahan University of Technology using a flume of 7 m length, 0.32 m width and 0.36 depth. Sands with median diameter of 0.75, special gravity of 2.65 grams per cubic centimeters and geometric standard deviation of 1.2 are used in the experiments. In this research vertical flow structure has been investigated has been by analyzing with ADV tool and also effect of this type of flow on scouring of piers surrounding area was also evaluated.

Results: According to the results, vertical flow values were negative through central open canal line at upstream of pier which indicated that the flow was downward and also upward flow at the behind of piers was clarified by positive vertical flow values at that area. At common condition flow velocity increases by getting closer to the pier. At upstream of the flow, vertical velocity was particularly lower in existence of roughness on pier surface than control piers which didn't have any roughness. Low negative values at upstream of the pier with roughness on its surface, the reduction of downward flow with reducing horseshoe vortex power than control pier was demonstrated. Investigation of velocity and shear profiles around the piers shows the existence of horseshoe vortex and downward flow simultaneously at upstream of piers. In downstream, existence of wake vortex causes fluctuations in flow structure. Velocity fluctuations in upstream of flow increases by entering scour hole, so inside the hole, there is a core with high intensity of turbulence in front of piers which is the result of flow separation in that region.

Conclusion: In this study, the efficiency of using roughness around the piers is investigated in order to decrease scouring. Results show that by increasing the size of roughness, scouring will decrease. In fact, increasing the size of roughness will decrease the power of down flow, horseshoe and wake vortexes.

Keywords: Scouring, The pier with roughness, Flow structure, ADV

* Corresponding Author; Email: rahimiahmad12219@yahoo.com