



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گرگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیستم، شماره چهارم، ۱۳۹۲  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

گزارش کوتاه علمی

## بررسی تأثیر تراز قرارگیری و شکل فونداسیون بر مقدار آب‌شستگی اطراف پایه پل

\* پروین اقبالی<sup>۱</sup>، امیراحمد دهقانی<sup>۲</sup>، هادی ارونقی<sup>۳</sup> و مهدی مفتاح‌هلقی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۳</sup> آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، <sup>۴</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۴

### چکیده

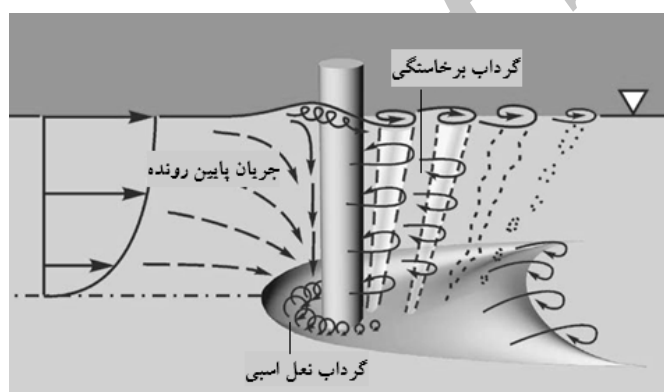
آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل یکی از علل عمده آسیب‌های جدی به پل می‌باشد. در این پژوهش، با استفاده از مدل آزمایشگاهی به بررسی این پدیده و تأثیر عمق فونداسیون و شکل فونداسیون بر مراحل آب‌شستگی پرداخته شد. آزمایش‌ها برای ۴ شکل فونداسیون شامل فونداسیون مربعی، استوانه‌ای، چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای در جهت جریان، چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای عمود بر جریان و ۵ تراز قرارگیری فونداسیون انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که عمق آب‌شستگی به تراز قرارگیری و شکل فونداسیون بستگی دارد. بهترین شکل فونداسیون که کم‌ترین آب‌شستگی در اطراف آن رخ می‌دهد، به ترتیب فونداسیون چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای در جهت جریان، فونداسیون مربعی، فونداسیون چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای عمود بر جریان و فونداسیون استوانه‌ای می‌باشد. زمانی که پی زیر سطح اولیه بستر کانال قرار دارد، علاوه بر این که آب‌شستگی را به تأخیر می‌اندازد، مقدار آن را نیز کم‌تر می‌کند. همچنین عمق آب‌شستگی با افزایش تراز فونداسیون در بالای بستر افزایش می‌یابد. با تحلیل آزمایش‌ها محدوده مناسب برای تراز قرارگیری فونداسیون، ۵۰-۲۵ درصد قطر پایه پل پیشنهاد گردیده است.

واژه‌های کلیدی: آب‌شستگی موضعی، پایه پل، شکل فونداسیون، عمق فونداسیون

\* مسئول مکاتبه: [p.eghali66@yahoo.com](mailto:p.eghali66@yahoo.com)

### مقدمه

آب‌شستگی نتیجه فعالیت فرسایشی جریان آب است که رسوبات را از بستر و سواحل رودخانه‌ها و از اطراف پایه‌های پل‌ها کنده و به پایین‌دست منتقل می‌کند. در اثر برخورد آب به پایه پل روی پایه به تناسب سرعت جریان، فشار ایجاد می‌شود و به دلیل توزیع سرعت عمودی جریان که سرعت از بستر رودخانه به طرف سطح آب زیاد می‌شود، فشار دینامیکی بیش‌تری نیز در ترازهای بالاتر به پایه وارد شده که باعث به‌وجود آمدن گردان فشار روی پایه از بالا به پایین می‌شود. این گردان فشار باعث ایجاد جریان‌های رو به پایین می‌شود. این جریان‌های رو به پایین پس از برخورد به بستر با جریان اصلی برخورد کرده و گرداب نعل اسبی را به‌وجود می‌آورند. بررسی‌ها نشان می‌دهد گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی نقش عمده‌ای در ایجاد حفره آب‌شستگی اطراف پایه پل دارند (زراتی و عزیز، ۲۰۰۱). الگوی جریان و آب‌شستگی اطراف پایه پل‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- الگوی جریان در اطراف یک پایه با مقطع دایره‌ای (اتما و همکاران، ۲۰۱۱).

برای انتقال بار وارد بر پل‌ها به زمین از فونداسیون‌ها استفاده می‌شود که شکل فونداسیون و تراز قرارگیری آن هم از نظر اقتصادی و هم از نظر جوانب پایداری بسیار با اهمیت است. در پژوهش‌های گذشته تعداد محدودی مطالعه در خصوص پایه پل با فونداسیون که تحت عنوان پایه‌های غیریکنواخت نیز شناخته می‌شوند، انجام شده است.

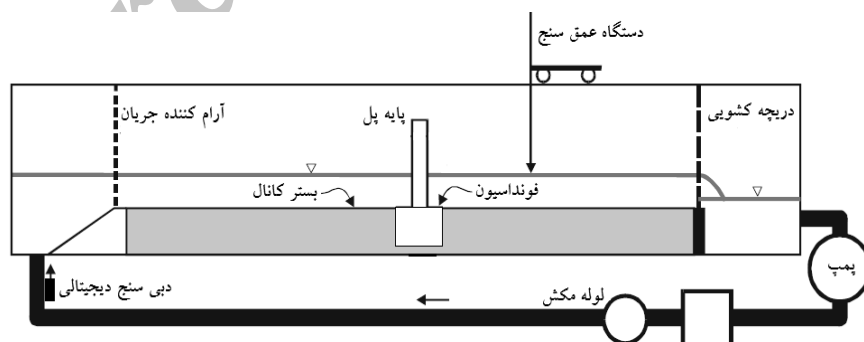
در مورد پایه‌های غیریکنواخت مطالعاتی توسط چابرت و انگلدینگر (۱۹۵۶) بر روی پایه با فونداسیون استوانه‌ای، جونز و همکاران (۱۹۹۲) بر روی پایه و فونداسیون مستطیلی، ملویل و رودکیوی (۱۹۹۶) بر روی پایه و فونداسیون استوانه‌ای، پارولا و همکاران (۱۹۹۶) بر روی پایه و

فونداسیون مستطیلی و اومدا و همکاران (۲۰۱۰) بر روی پایه و فونداسیون استوانه‌ای انجام دادند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد کاهش آب‌شستگی وقتی صورت می‌گیرد که فونداسیون زیر تراز بستر قرار گیرد. عطایی‌آشتیانی و همکاران (۲۰۱۰) آب‌شستگی آب زلال اطراف پایه پل پیچیده با ابعاد مختلف سرشمع را مورد ارزیابی قرار داد. همچنین لو و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل نیمه‌تجربی برای توسعه زمانی عمق آب‌شستگی پایه‌های پل استوانه‌ای با پی را پیشنهاد دادند.

مروری به پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مطالعات چندانی بر روی شکل فونداسیون پایه پل‌ها صورت نگرفته است. در طراحی پل‌ها، پی آن‌ها باید به اندازه کافی عمیق باشد تا در مقابل آب‌شستگی مقاومت کند. از طرفی، این پی نباید آن‌قدر عمیق باشد که باعث بالا رفتن هزینه‌ها گردد. به این منظور، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر شکل فونداسیون و تراز قرارگیری فونداسیون بر توسعه آب‌شستگی اطراف پایه پل غیریکنواخت می‌باشد.

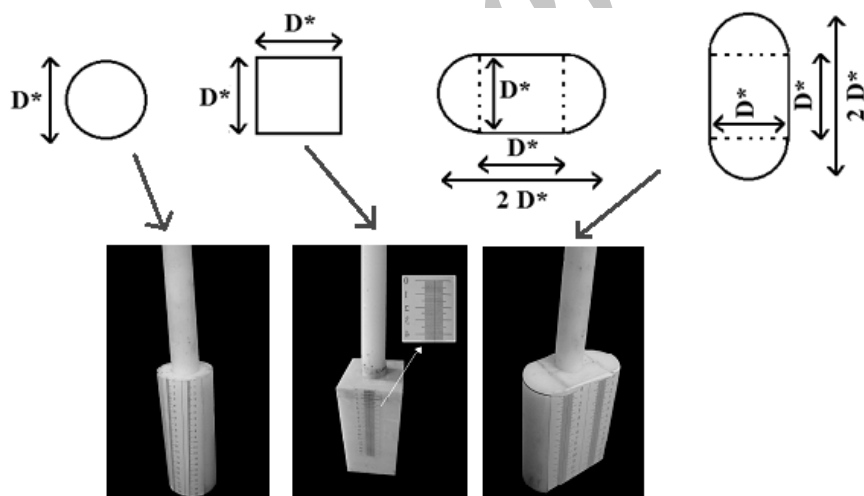
### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع گرگان در کانال مستطیلی به طول ۱۲ متر، عرض ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و با شیب ۰/۰۰۱ انجام شد (شکل ۲). جنس جداره و کف این فلوم پلاکسی‌گلانس شفاف می‌باشد. عمق جریان در همه آزمایش‌ها برابر ۱۵ سانتی‌متر که در پایین‌دست توسط دریچه‌ای در انتهای فلوم تنظیم می‌شد. سرعت متوسط جریان برابر ۰/۲۸۴ متر بر ثانیه و مقدار  $V/V_c = ۰/۹۵$  بود. دبی جریان ۲۵/۵ لیتر بر ثانیه و عدد فرود جریان ۰/۲۳ است.



شکل ۲- مقطع طولی فلوم آزمایشگاهی.

مدل‌های آزمایشگاهی با ۴ شکل مختلف فونداسیون شامل فونداسیون مربعی، استوانه‌ای، چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای در جهت جریان و چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای عمود بر جریان با قطر پایه استوانه‌ای (D) ۴ سانتی‌متر که بر روی فونداسیون نصب شده در شکل ۳ ارایه شده است. ارتفاع سطح فونداسیون تا بستر (Z)، زمانی‌که فونداسیون بالای بستر قرار دارد با علامت منفی و زمانی‌که فونداسیون پایین بستر قرار دارد با علامت مثبت نشان داده شده است. تغییرات عمق آب‌شستگی در طول آزمایش‌ها با استفاده از خط‌کش میلی‌متری مدرج شده روی فونداسیون، قرائت می‌شد. پایه پل نیز در فاصله‌ای از ورودی کانال (۴ متر) نصب شده بود که هیچ اغتشاشی به محل پایه نرسد. هر کدام از شکل فونداسیون در ۵ تراز مختلف به نسبت‌های ۰،  $+0/25$ ،  $+0/5$ ،  $+1/5$ ،  $-0/25$  مورد بررسی قرار گرفت. ضخامت لایه رسوبات به کار رفته در این آزمایش‌ها ۲۵ سانتی‌متر بوده و قطر متوسط ذرات آن ۰/۹ میلی‌متر بود. مقدار انحراف معیار ذرات رسوبی با توجه به منحنی دانه‌بندی برابر با ۱/۳۵ است که رسوبات یکنواختی را تشکیل می‌دهد (لی و استورم، ۲۰۰۹).

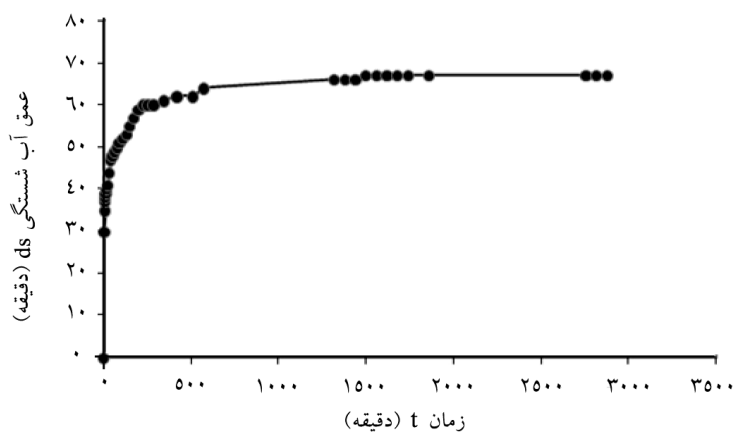


شکل ۳- شکل‌های مختلف فونداسیون مورد استفاده در این پژوهش.

### نتایج و بحث

در این قسمت سعی می‌شود تا نتایج آزمایشگاهی برای پایه بدون فونداسیون و پایه پل همراه فونداسیون با شکل‌های مختلف (شکل ۳) و برای ۵ تراز قرارگیری مختلف ارایه شوند:

آب‌شستگی پایه پل بدون فونداسیون: در حالت بدون فونداسیون آب‌شستگی از جلو پایه پل شروع و سپس به طرفین پایه پل کشیده شد و پس از مدت زمان کوتاهی آب‌شستگی به پشت پایه پل می‌رسید. در ابتدای آزمایش شدت آب‌شستگی و به عبارت دیگر فعالیت گرداب‌های نعل‌اسبی و برخاستگی بیش‌تر بود و سپس به تدریج کم می‌شد. توسعه زمانی عمق حفره آب‌شستگی در جلو پایه پل در شکل ۴ نشان داده شده است. پس از گذشت ۳۰ ساعت تغییرات عمق حفره آب‌شستگی بسیار کم بوده به طوری که تغییرات عمق حفره ایجاد شده در ۴ ساعت متوالی کم‌تر از ۱ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین مدت زمان ۳۰ ساعت به عنوان زمان تعادل عمق حفره آب‌شستگی در نظر گرفته شد. شایان ذکر است این مقدار زمان تعادل با نتایج پژوهش ملویل و چیو (۱۹۹۹) مطابقت خوبی را نشان می‌دهد.

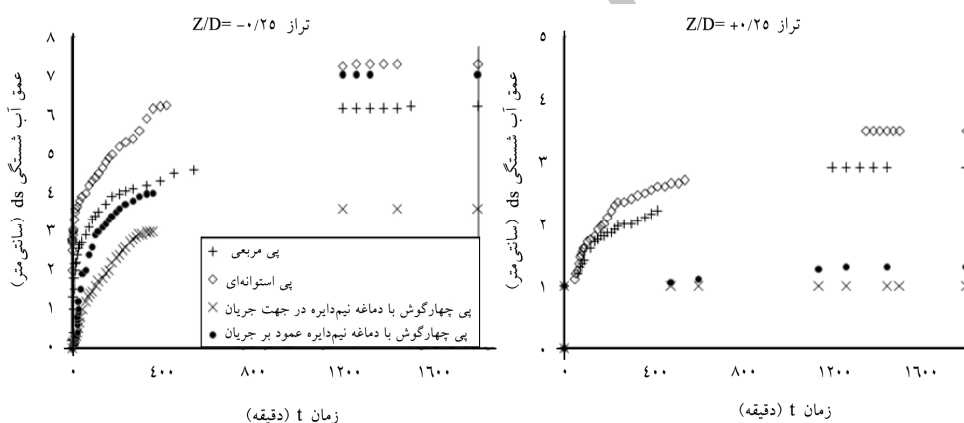


شکل ۴- توسعه زمانی عمق حفره آب‌شستگی در پایه بدون فونداسیون.

#### آب‌شستگی پایه پل با حضور فونداسیون

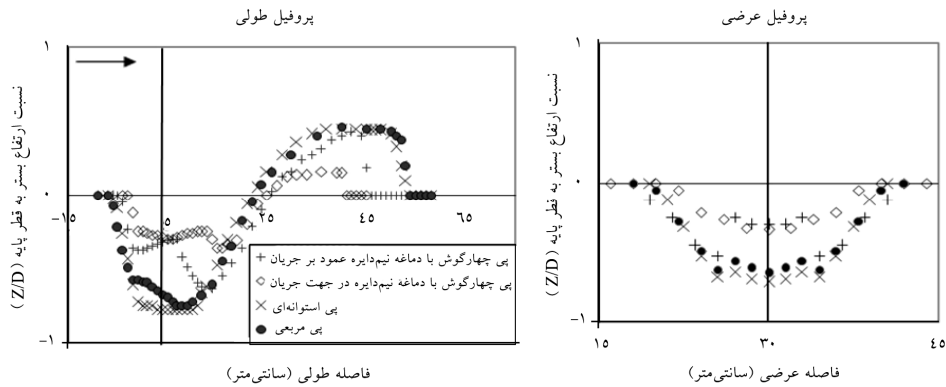
توسعه زمانی عمق آب‌شستگی: مشاهده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مکانیزم آب‌شستگی پایه غیریکنواخت و پایه یکنواخت متفاوت است. یعنی زمانی که پی روی بستر قرار دارد ( $Z=0$ )، سطح فونداسیون همانند طوق عمل کرده و از آب‌شستگی جلوی فونداسیون جلوگیری می‌کند و آب‌شستگی ابتدا از کناره‌های پی شروع می‌شود و به سرعت ابعاد حفره آب‌شستگی در بالادست پی گسترش می‌یابد. در ابتدای آزمایش موقعیت عمق حداکثر آب‌شستگی در لبه‌های کناری پی است ولی با

گذشت زمان و گسترش ابعاد حفره آب‌شستگی در بالادست پایه موقعیت عمق حداکثر آب‌شستگی به جلوی پی منتقل می‌شود. با افزایش تراز پی در جلوی پایه، جریان‌های رو به پایین جدیدی ایجاد کرده و عمل آب‌شستگی را تشدید می‌کند. یعنی زمانی که پی بالای بستر قرار دارد ( $Z = -0/25$ )، از همان ابتدای آزمایش آب‌شستگی از جلوی پی شروع شده و سپس به پشت پی می‌رسد و وقتی که پی زیر بستر قرار دارد ( $Z = +0/5$ ) آب‌شستگی اطراف پایه پل غیریکنواخت تا زمانی که سطح پی دیده نشده، شبیه آب‌شستگی پایه پل یکنواخت است ولی با دیده شدن آن، سطح بالای پی از آب‌شستگی جلوی پایه جلوگیری می‌کند ولی آب‌شستگی کناره‌های پی وجود داشت. همچنین پس از چند ساعت از شروع آزمایش کم کم آب‌شستگی به جلوی پی رسید و عمق آب‌شستگی دوباره افزایش می‌یافت. توسعه زمانی عمق آب‌شستگی برای شکل‌های مختلف فونداسیون در تراز قرارگیری فونداسیون  $Z/D = -0/25$  و  $+0/25$  در شکل ۵ ارائه شده است.



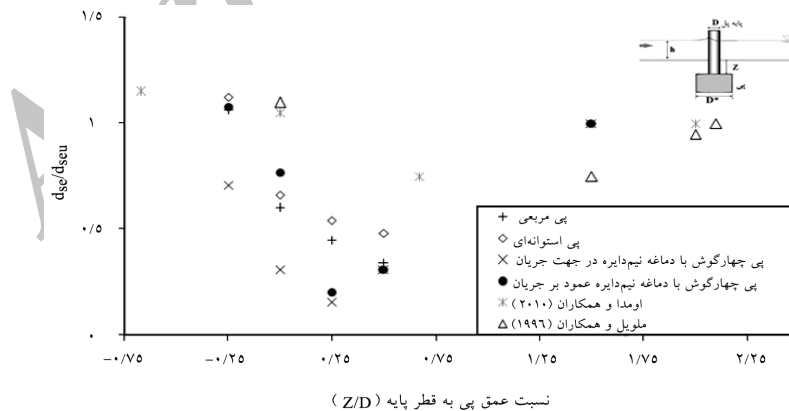
شکل ۵- توسعه زمانی عمق آب‌شستگی تمام شکل فونداسیون در تراز  $Z/D = -0/25$  و  $Z/D = +0/25$

همچنین در شکل ۶ پروفیل طولی و عرضی بستر در بهترین تراز قرارگیری فونداسیون که کم‌ترین آب‌شستگی را دارد، برای شکل‌های مختلف فونداسیون نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۵ و ۶، مشاهده می‌شود کم‌ترین آب‌شستگی در این تراز به ترتیب، برای شکل فونداسیون چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای در جهت جریان، فونداسیون مربعی، فونداسیون چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای عمود بر جریان و فونداسیون استوانه‌ای رخ داده است.



شکل ۶- پروفیل طولی و عرضی بستر در تراز قرارگیری  $Z/D = +0/5$  برای فونداسیون مربعی و استوانه‌ای و تراز  $Z/D = +0/25$  برای فونداسیون چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای.

حداکثر عمق آب‌شستگی: شکل ۷ ارتباط بین حداکثر عمق آب‌شستگی در پایه غیریکنواخت با عمق فونداسیون را برای شکل‌های مختلف فونداسیون و نتایج آزمایش‌های اومدا و همکاران (۲۰۱۰) و ملویل و همکاران (۱۹۹۶) نشان می‌دهد. محور افقی نسبت عمق فونداسیون ( $Z$ ) به قطر پایه ( $D$ ) و محور عمودی حداکثر عمق آب‌شستگی در پایه غیریکنواخت ( $d_{se}$ ) نسبت به حداکثر عمق آب‌شستگی در پایه یکنواخت ( $d_{seu}$ )، می‌باشد. با مقایسه این نتایج و پژوهشگران قبلی مشاهده می‌گردد که با وجود شرایط آزمایشگاهی مختلف در هر یک از مطالعات پژوهشگران ذکر شده، روند حداکثر عمق آب‌شستگی شبیه به هم می‌باشد.



شکل ۷- تغییرات  $(d_{se}/d_{seu})$  نسبت به  $(Z/D)$  برای شکل‌های مختلف فونداسیون و مقایسه با پژوهشگران قبلی.

با توجه به شکل ۷، ملاحظه می‌شود که کم‌ترین آب‌شستگی در پایه با فونداسیون چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای در جهت جریان و در تراز  $Z/D = +0/25$  رخ می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود زمانی که عمق پی بیش‌تر از حداکثر عمق آب‌شستگی در پایه یکنواخت باشد ( $Z/D > 1/67$ )، مقدار حداکثر عمق آب‌شستگی در پایه غیریکنواخت برابر حداکثر عمق آب‌شستگی در پایه یکنواخت است ( $d_{se} = d_{seu}$ ). همچنین عمق آب‌شستگی با کاهش عمق پی در صورتی که کم‌تر از عمق آب‌شستگی پایه یکنواخت باشد ( $Z/D < d_{seu}/D \approx 1/5 - 2$ )، کاهش می‌یابد. حداکثر کاهش عمق آب‌شستگی نسبت به حالت پایه یکنواخت در محدوده  $Z/D = 0/25 - 0/5$  می‌باشد و از آن به بعد با کاهش عمق پی، عمق آب‌شستگی افزایش می‌یابد. همچنین وقتی پی بالای سطح اولیه بستر قرار می‌گیرد مقدار آب‌شستگی بیش‌تر از حالتی است که در پایه یکنواخت رخ می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر شکل پی و تراز قرارگیری پی بر مقدار آب‌شستگی به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر به‌دست آمد:

- ۱- بهترین شکل فونداسیون که کم‌ترین آب‌شستگی را دارد به‌ترتیب برای فونداسیون چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای در جهت جریان، فونداسیون مربعی، فونداسیون چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای عمود بر جریان و فونداسیون استوانه‌ای می‌باشد.
- ۲- به‌کارگیری پی در زیر بستر تا محدوده ( $Z/D = 0/25 - 0/5$ ) برای شکل‌های مختلف فونداسیون، ابعاد حفره آب‌شستگی را نسبت به حالت پایه یکنواخت کاهش می‌دهد و با افزایش تراز پی در بالای بستر، جریان‌های رو به پایین جدیدی را ایجاد کرده و عمل آب‌شستگی را تشدید می‌کند بنابراین ابعاد حفره نیز افزایش می‌یابد.
- ۳- بهترین تراز قرارگیری فونداسیون برای شکل‌های مختلف فونداسیون متفاوت است. برای فونداسیون مربعی و استوانه‌ای کم‌ترین آب‌شستگی در تراز  $Z/D = +0/5$  به اندازه ۷۰-۵۰ درصد کاهش و برای هر دو فونداسیون چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای در تراز  $Z/D = +0/25$  به اندازه ۹۰ درصد کاهش آب‌شستگی رخ می‌دهد.



منابع

1. Ataie-Ashtiani, B., Baratian-Ghorghi, Z., and Beheshti, A. 2010. Experimental Investigation of Clear-Water Local Scour of Compound Piers. *J. Hydr. Engin.* 136: 6. 343-351.
2. Chabert, J., and Engeldinger, P. 1956. Study of scour around bridge piers. Serie A. Laboratoire Nationald' Hydraulique, Vol. 6, Quai Watier, Chatou, France. (In French)
3. Ettema, R., Constantinescu, G., and Melville, B. 2011. Evaluation of Bridge Scour Research: Pier Scour Processes and Predictions. Contractor's Final Report for NCHRP Project 24-27(01), School of Engineering, The University of Auckland, Auckland, New Zealand.
4. Jones, G.S., Kilgore, R.T., and Mistichelli, M.P. 1992. Effects of footing location on bridge pier scour. *J. Hydr. Engin. ASCE.* 118: 2. 280-289.
5. Lee, S., and Sturm, T. 2009. Effect of Sediment Size Scaling on Physical Modeling of Bridge Pier Scour. *J. Hydr. Engin.* 135 :10. 793-802.
6. Lu, J.Y., Shi, Z.Z., Hong, Z.H., Lee, J.J., and Raikar, R.V. 2011. Temporal Variation of Scour Depth at Nonuniform Cylindrical Piers. *J. Hydr. Engin. ASCE.* 137: 1. 45-56.
7. Melville, B.W., and Chiew, Y.M. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. *J. Hydr. Engin. ASCE.* 125: 1. 59-65.
8. Melville, B.W., and Raudkivi, A.J. 1996. Effects of foundation geometry on bridge pier scour. *J. Hydr. Engin.* 122: 4. 203-209.
9. Parola, A.C., Mahavadi, S.K., Brown, B.M., and El-Khoury, A. 1996. 'Effect of rectangular foundation geometery on Local pier scour. *J. Hydr. Engin. ASCE.* 122: 1. 35-40.
10. Umeda, S., Yamazaki, T., and Yuhi, M. 2010. An Experimental Study of Scour Process and Sediment Transport around a Bridge Pier with Foundation. *Int. Conf. on Scour and Erosion, (ICSE-5):* 66-75.
11. Zarrati, A., and Azizi, M. 2001. Control of scouring around bridge piers. *Tehran, J. Tehran Univ.* 35: 1. 21-33. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(4), 2013*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Investigation of foundation depth and shape effect on scouring amount around a bridge pier**

**\*P. Eghbali<sup>1</sup>, A.A. Dehghani<sup>2</sup>, H. Arvanaghi<sup>3</sup> and M. Meftah Halaghi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Tabriz University, <sup>4</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 11/07/2012; Accepted: 03/04/2013

### **Abstract**

Scour around bridge foundations is one of the major cause of serious damage to the bridge. In this study, the effect of foundation shape and level on scour process was investigated experimentally. The experiments were conducted for 4 foundations shape including; square, cylinder and aerodynamic along and across the channel and 4 foundation depths. The results showed that the scour depth depends on the foundation depth and shape. The best foundation shape which leads to minimum scour around it, were aerodynamic along the channel, square, aerodynamic across the channel and cylindrical shape, respectively. The results also show that by positioning the foundation below the initial channel bed, in addition to postponing in scour, leads to lower values of it. The scour depth also increases when the foundation level above the initial bed level increases. Analyses of results show that the appropriate location for positioning the foundation is 25 to 50% pier diameter.

**Keywords:** Bridge pier, Foundation depth, Foundation shape, Local scour

---

\* Corresponding Author; Email: [p.eghbali66@yahoo.com](mailto:p.eghbali66@yahoo.com)