



## بررسی اثر بده ماکزیمم هیدروگراف سیل بر آبشستگی پیرامون گروه پایه دوتایی پل با استفاده از مدل آزمایشگاهی

سعیده محمدی گیوشاد<sup>۱</sup>، یوسف رضانی<sup>۲\*</sup>، حسین خزیمه نژاد<sup>۳</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۴

مقاله پژوهشی

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

### چکیده

آبشستگی موضعی اطراف پایه‌های پل علت اصلی تخریب آن‌ها می‌باشد. بر این اساس مطالعات گسترده‌ای برای شناخت این پدیده صورت گرفته است. اغلب این مطالعات در شرایط جریان ماندگار بوده است. این در حالی است که جریان در رودخانه به صورت غیرماندگار می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر دبی پیک هیدروگراف سیل بر آبشستگی پیرامون گروه پایه‌های دوتایی پل در فواصل مختلف پایه‌ها از یکدیگر در جریان یکنواخت و همچنین جریان غیرماندگار با استفاده از هیدروگراف‌های متقارن با تغییر در دبی پیک می‌باشد. هیدروگراف‌های مورد استفاده در آزمایشات، هیدروگراف‌های پله‌ای و در ۵ گام می‌باشند. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و  $U/U_C=0.95$  انجام گرفت. در تمامی آزمایشات، قطر پایه پل ( $D$ ) ثابت و برابر  $2/5$  سانتی‌متر تعیین گردید.  $S/D$  (فاصله مرکز به مرکز بین گروه پایه‌های دوتایی و  $D$  قطر پایه) به میزان ۲، ۳، ۴ و ۵ انتخاب گردید. نتایج نشان داد در یک هیدروگراف سیل معین، با افزایش فاصله‌ی نسبی بین گروه پایه‌های دوتایی پل، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول و پایه دوم افزایش یافته و حداکثر آن در فاصله نسبی  $S/D=5$  اندازه‌گیری شد. در حالی که در جریان یکنواخت، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول در  $S/D=3$  و پایه دوم در  $S/D=4$  مشاهده شد. همچنین، در یک فاصله نسبی ثابت پایه‌ها از یکدیگر، با افزایش گام به گام دبی پیک هیدروگراف‌ها، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه دوتایی پل، با یک روند افزایشی، افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: آب زلال، آبشستگی، پایه پل، دبی پیک، هیدروگراف سیل.

<sup>۱</sup> - کارشناسی ارشد سازه‌های آبی گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند. Email: s.mohamady71@yahoo.com

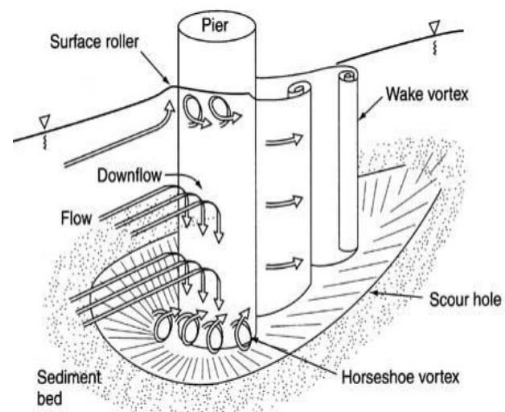
<sup>۲</sup> - دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند. Email: y.ramezani@birjand.ac.ir (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> - دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند. Email: khkozeymeh@birjand.ac.ir

## مقدمه

پل‌ها از جمله مهمترین و پرکاربردترین سازه‌های رودخانه‌ای هستند که از دیرباز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تخریب و خسارت وارده به پل‌ها که اغلب در هنگام سیلاب رخ می‌دهد باعث قطع راه‌های ارتباطی، خسارات مالی و حتی جانی می‌شود. همچنین قطع راه‌های ارتباطی، کمک به مناطق سیل‌زده را مختل نموده و از این نظر عواقب اجتماعی نیز به دنبال دارد. آبخستگی پایه پل‌ها بزرگترین دلیل شکست پل‌ها در ایالات متحده آمریکا می‌باشد. در طول ۹۳ سال گذشته بیشتر از ۱۰۰۰ پل از ۶۰۰۰۰۰ پل ساخته شده در ایالات متحده آمریکا تخریب شده‌اند که ۶۰ درصد آن‌ها به دلیل آبخستگی بوده است (Sumer and Fredsoe, 2002). بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۸۷، ۹۰ پل در نیویورک، پنسیلوانیا، ویرجینیا و ویرجینیای شرقی به دلیل تخریب پایه‌های پل ویران شدند (Melville and Coleman, 2010). در سال‌های اخیر، در ایران می‌توان به پل بالارود و کر در استان خوزستان، پل چمچال در استان کردستان و چندین پل دیگر در استان گلستان اشاره کرد. بنابراین شناخت این پدیده، پیش‌بینی میزان آن و به کار بردن تمهیدات لازم برای کنترل و کاهش آبخستگی موضعی امری بسیار ضروری است.

در شکل ۱ الگوی جریان در اطراف پایه پل نشان داده شده است.



شکل (۱): الگوی جریان در اطراف پایه پل  
 (Hamill, 1999)

الگوی جریان پیرامون پایه پل به این صورت است که پس از برخورد جریان به پایه پل، به علت کاهش فشار از سطح آزاد جریان به سمت بستر، جریان رو به پایین ایجاد می‌گردد و این جریان رو به پایین پس از برخورد به بستر با جریان اصلی برخورد کرده و گرداب نعل اسبی را به وجود می‌آورد (EL-Ghorab, 2013). از سوی دیگر، جدایی جریان از پایه پل، موجب ایجاد گرداب‌هایی می‌شود که محور آن‌ها عمود بر بستر رودخانه می‌باشند. این گرداب‌ها که گرداب برخاستگی نامیده می‌شوند، همچون گردباد ذرات بستر را به سمت بالا مکیده و در معرض جریان قرار می‌دهند. به این ترتیب به حمل مصالح کنده شده از جلو و اطراف پایه به سمت پایین دست کمک می‌نمایند و در عین حال نیز یک حفره آبخستگی مستقل در پایین دست پایه ایجاد می‌گردد (Chiew, 1992). بنا به دلایل اقتصادی و ژئوتکنیکی، در طراحی پایه‌های پل از گروه پایه استفاده می‌شود (Bateni et al, 2018). فرآیند آبخستگی پیرامون گروه پایه با تک پایه متفاوت می‌باشد.

مکانیزم‌هایی که آبخستگی 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 گرداب‌های نعل اسبی (Hannah, 1978). در پایه‌های دوتایی عمود بر مسیر جریان، تنها اثر به هم فشردگی گرداب‌های نعل اسبی وجود خواهد داشت.

کریمایی طبرستانی و زرانی (۱۳۹۳) به بررسی تأثیر زمان وقوع دبی پیک سیلاب بر آبخستگی پیرامون پایه پل پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با وجود تفاوت در نحوه توسعه زمانی عمق آبخستگی دور پایه برای هیدروگراف‌های با زمان تداوم یکسان و زمان وقوع دبی پیک متفاوت، عمق آبخستگی نهایی یکسان می‌باشد. همچنین برای هیدروگراف‌هایی با دو دبی پیک متفاوت و زمان تداوم یکسان، زمان وقوع دبی پیک بر توسعه زمانی عمق آبخستگی مؤثر بوده، ولی اهمیت چندانی بر عمق

بیشتر باشد، سیلاب دوم اثری بر توسعه عمق آبشستگی ندارد. در غیر اینصورت بایستی تغییرات زمانی عمق آبشستگی ناشی از سیلاب دوم نیز در نظر گرفته شود (Briaud et al., 2001).

اولیوتو و هگر (۲۰۰۲) به بررسی شکل حفره آبشستگی پایه پل در رسوبات غیر یکنواخت و جریان غیر دائمی پرداختند. آن‌ها با تقسیم کردن هیدروگراف به پله‌هایی با جریان دائمی، از روابط تخمین عمق آبشستگی در جریان دائمی استفاده نموده و یک روش محاسباتی برای تخمین عمق آبشستگی در شرایط جریان غیر دائمی ارائه دادند (Oliveto and Hager, 2002).

لو و همکاران (۲۰۰۸) یک سری مشاهدات میدانی روی پل Si-Lo در رودخانه Shui (طولانی‌ترین رودخانه در تایوان) انجام داده و داده‌های عمق آبشستگی را جمع‌آوری نمودند. ایشان با جدا کردن هر بخش آبشستگی، روشی برای شبیه‌سازی تغییرات زمانی عمق کل آبشستگی تحت جریان غیردائمی ارائه کردند. داده‌های صحرایی جمع‌آوری شده، که مجموع مقدار آبشستگی عمومی و موضعی می‌باشند، برای ارزیابی کارایی مدل استفاده شد. مقایسه داده‌های عمق‌های آبشستگی موضعی مشاهداتی با مقادیر محاسباتی (عمق آبشستگی محاسبه شده با چند فرمول متداول بر مبنای دبی پیک سیلاب) نشان داد که اکثر این روابط، عمق آبشستگی را دست بالا تخمین می‌زنند (Lu et al., 2008).

کوتیاری و همکاران (۱۹۹۲) به مطالعه آزمایشگاهی برای محاسبه تغییرات زمانی عمق آبشستگی در جلوی یک پایه پل در شرایط دائمی و غیر دائمی پرداختند. نتایج نشان داد که مدل هیدروگراف پله‌ای نتایج قابل قبولی بدست می‌دهد. با توجه به مطالعات انجام شده، هدف این تحقیق بررسی حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پیرامون گروه پایه‌های دو، سه و چهارتایی در جریان غیرماندگار با استفاده از هیدروگراف‌های متقارن با تغییر در دبی پیک و دبی پایه می‌باشد (Kothyari et al., 1992).

آبشستگی نهایی ندارد. همچنین بررسی مسیر منحنی توسعه زمانی عمق آبشستگی نشان می‌دهد به علت ریزش جداره‌ها پس از فروکش کردن پیک سیلاب، عمق آبشستگی پس از عبور دبی پیک اول تا حدودی کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار این کاهش در حدود ۵ درصد عرض پایه مشاهده گردید.

چانگ و همکاران (۲۰۰۴) نیز با پله‌ای فرض نمودن هیدروگراف سیل، روشی برای محاسبه تغییرات عمق آبشستگی بر اساس مدل هیدروگراف پله‌ای در جریان غیر دائمی ارائه نمودند. آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که تأثیر دبی پیک هیدروگراف بر روی عمق نهایی آبشستگی بیشتر از زمان تداوم هیدروگراف می‌باشد. همچنین در زمان افزایش سرعت جریان تا رسیدن به دبی پیک، عمق آبشستگی دارای تغییرات شدیدی می‌باشد ولی در شاخه پایین‌رونده هیدروگراف تغییرات نرخ آبشستگی بسیار ناچیز است (Chang et al., 2004).

لای و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر هیدروگراف را بر میزان عمق آبشستگی پیرامون پایه پل بررسی نمودند. ایشان با آنالیز تغییرات زمانی عمق آبشستگی تحت هیدروگراف‌های صعودی مختلف، رابطه‌ای برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی پیرامون پایه پل ارائه دادند (Lai et al., 2009).

لو و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی یک مدل شبه تجربی برای پیش‌بینی تغییرات زمانی عمق آبشستگی در پایه‌هایی از پل که پی آن‌ها در اثر آبشستگی در معرض جریان می‌باشند، ارائه دادند. ایشان از سه نوع هیدروگراف با دبی پیک یکسان ولی با زمان وقوع دبی پیک متفاوت استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی مدل پیشنهادی ایشان تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی نشان داد (Lu et al., 2011).

براید و همکاران (۲۰۰۱) تحقیقی در زمینه‌ی اثر سیلاب با سرعت پیک بیشتر و سپس سیلاب با سرعت پیک کمتر را بر روی عمق آبشستگی پایه پل انجام دادند. نتایج نشان داد که اگر عمق آبشستگی ناشی از سیلاب اول از عمق آبشستگی سیلاب دوم



Ettema (1998) بنابراین، ماسه با قطر متوسط یک میلی‌متر انتخاب گردید. معیار یکنواختی رسوب بر اساس مقدار انحراف معیار هندسی،  $\sigma_g$ ، می‌باشد. برای توزیع لوگ نرمال رسوبات،  $\sigma_g$  به صورت زیر به دست آمد:

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{D_{84.1}}{D_{15.9}}} \quad (4)$$

رسوبات در صورتی یکنواخت در نظر گرفته خواهند شد که  $\sigma_g < 1/4$  باشد (Dey and Barbhuiya., 2005). در این تحقیق  $\sigma_g = 1/27$  بدست آمد که نشان دهنده یکنواختی رسوبات می‌باشد. آزمایشات آستانه حرکت برای ۴ دبی ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لیتر در ثانیه انجام شدند. هدف از آزمایش آستانه حرکت بدست آوردن عمق آستانه حرکت در دبی‌های مذکور می‌باشد. بدین منظور ابتدا رسوبات بستر رسوبی (بدون حضور پایه‌ها) کاملاً مسطح شده و دریاچه انتهایی کاملاً بالا کشیده شد. سپس، فلوم به آرامی بوسیله جریان آب پر شده و دبی مورد نظر تنظیم گردید. پس از تنظیم دبی، دریاچه انتهایی به آرامی پایین کشیده شد. روند پایین کشیدن دریاچه انتهایی تا جایی ادامه پیدا کرد که حرکت عمومی رسوبات در بستر رسوبی مشاهده شود. هدف این تحقیق، انجام آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و  $U/U_c = 0/95$  است. در این پژوهش برای دبی‌های ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لیتر در ثانیه عمق آستانه حرکت به ترتیب ۱۰/۴، ۱۴/۶، ۱۹/۱ و ۲۳/۴ سانتی‌متر بدست آمد. همچنین عمق آب برای انجام آزمایشات برای دبی‌های مذکور به ترتیب ۱۰/۹، ۱۵/۴، ۲۰/۱ و ۲۴/۶ سانتی‌متر انتخاب گردیدند

انتهای بستر رسوبی تا انتهای فلوم نیز ۳/۹ متر تعیین گردید. این فاصله باعث می‌شود تا نیمرخ سطح آب روی بستر رسوبی یکنواخت بوده و تحت تأثیر دریاچه نباشد. دبی با استفاده از شیر ورودی تنظیم و بوسیله دبی‌سنج الکترومغناطیس اندازه‌گیری شد. چند آرام‌کننده جریان در ابتدای فلوم به منظور کاهش تلاطم‌های جریان نصب شد. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال<sup>۱</sup> و در  $U/U_c = 0/95$  (U سرعت جریان و  $U_c$  سرعت بحرانی آستانه حرکت رسوب) انجام شد. آبشستگی آب زلال زمانی صورت می‌پذیرد که انتقال رسوب از طرف جریان نزدیک‌شونده به حفره آبشستگی وجود نداشته باشد ( $U < U_c$ ). از طرف دیگر، آبشستگی بستر زنده<sup>۲</sup> زمانی صورت می‌پذیرد که حفره آبشستگی دائماً بوسیله رسوب توسط جریان نزدیک‌شونده تغذیه شود ( $U > U_c$ ) (صادقی و همکاران، ۲۰۱۸). برای از بین بردن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی، طبق نظر چیو و ملویل<sup>۳</sup> (۱۹۸۷)، قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد ( $B/D > 10$ ) و بر اساس نظر رادکیوی و اتما<sup>۴</sup> (۱۹۸۳) نسبت فاصله مرکز پایه تا دیواره فلوم به قطر پایه، باید بیش‌تر از ۶/۲۵ باشد. در این آزمایش‌ها از مدل پایه استوانه‌ای از جنس PVC با قطر پایه ثابت ۲/۵ سانتی‌متر استفاده شد. در این تحقیق  $S/D$  فاصله مرکز به مرکز بین گروه پایه‌های دوتایی و  $D$  قطر پایه) به میزان ۲، ۳، ۴ و ۵ انتخاب گردید.

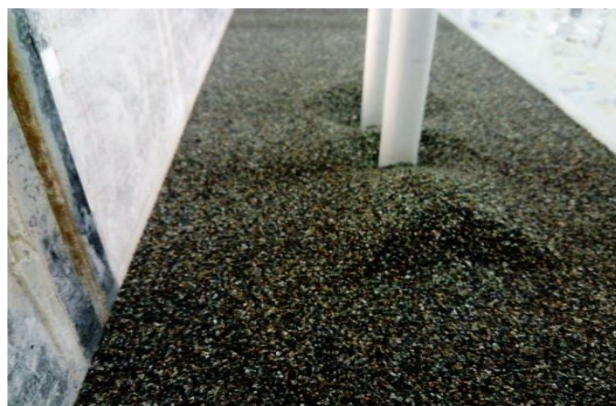
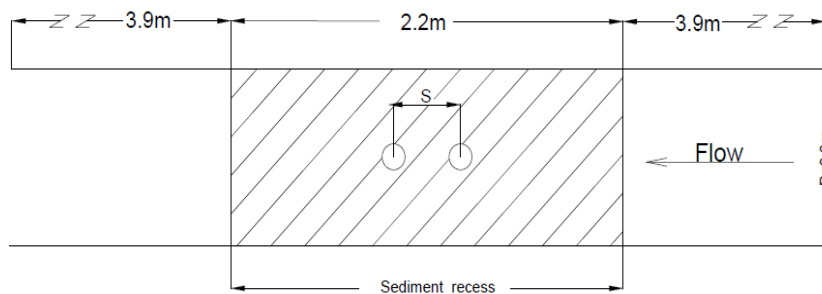
از رسوبات ماسه‌ای با دانه‌بندی یکنواخت استفاده گردید. قطر رسوبات باید به نحوی انتخاب شود که فرم بستر مشاهده نشود. بنابراین قطر متوسط رسوبات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد. همچنین، برای حذف اثر اندازه رسوبات روی عمق آبشستگی باید ۲۵-  $D/d_{50} > 20$  باشد که در آن،  $D$  قطر پایه و  $d_{50}$  قطر متوسط ذرات رسوب است (Raudkivi and

<sup>1</sup> Clear water

<sup>2</sup> Live bed

<sup>3</sup> Chiew & Melville

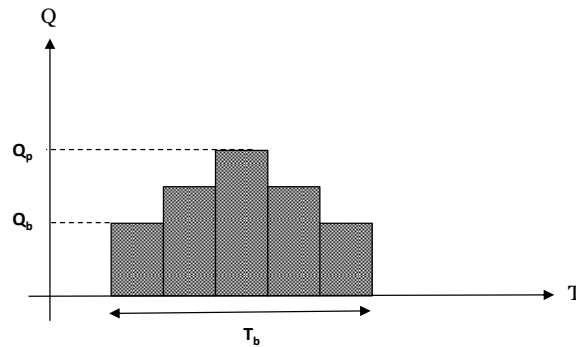
<sup>4</sup> Raudkivi & Ettema



شکل (۲): نمای بالای فلوم آزمایشگاهی و مقطع رسوبی مورد استفاده در آزمایش‌ها

فواصل مختلف گروه پایه‌های دوتایی برای جریان یکنواخت و هیدروگراف‌های متقارن با تغییر در دبی پیک انجام شدند. هیدروگراف‌های مورد استفاده در آزمایشات، هیدروگراف پله‌ای و در ۵ گام می‌باشند، که در این هیدروگراف‌ها  $Q_p$  معرف دبی پیک،  $Q_b$  معرف دبی پایه و  $T_b$  نشان دهنده کل زمان آزمایش می‌باشد (شکل ۳). پس از اتمام آزمایشات توپوگرافی بستر نیز برداشت گردید. برای اندازه‌گیری توپوگرافی بستر از متر لیزری با دقت  $\pm 1$  استفاده شد. در جدول ۱ خلاصه پارامترهای مورد استفاده در تحقیق ذکر گردیده است.

با توجه به مطالعات چپو (۱۹۹۵)، چنانچه  $Y/D > 3$  باشد ( $Y$  عمق جریان و  $D$  قطر پایه) عمق جریان تأثیری بر روی عمق آبستگي ندارد. برای انجام آزمایشات، پایه‌های استوانه‌ای در مرکز بستر رسوبی نصب گردیدند (Chiew, 1995). سپس سطح رسوبات، به طور کامل مسطح گردید. به منظور جلوگیری از آبستگي ناخواسته ناشی از عمق کم جریان، فلوم بوسیله یک لوله با نرخ کم پر شده و سپس دبی و عمق مورد نظر تنظیم گردید. با توجه به امکانات آزمایشگاهی موجود زمان تداوم تمامی هیدروگراف‌ها ثابت و معادل ۱۰ ساعت انتخاب گردید تا حفره آبستگي تقریباً به حالت تعادل برسد. آزمایشات، در



شکل (۳): شکل شماتیک هیدروگراف‌های پله‌ای مورد استفاده در تحقیق

جدول (۱): خلاصه پارامترهای مورد استفاده در تحقیق

ردیف	S/D	دبی هیدروگراف‌ها (lit/s)	توضیحات
۱	۵، ۴، ۳، ۲	جریان یکنواخت (دبی‌های ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۰)	
۲	۵، ۴، ۳، ۲	۸، ۱۴، ۲۰، ۱۴، ۸	دبی پایه ۸، دبی پیک ۲۰ ( $Q_p/Q_b=2/5$ )
۳	۵، ۴، ۳، ۲	۸، ۱۲، ۱۶، ۱۲، ۸	دبی پایه ۸، دبی پیک ۱۶ ( $Q_p/Q_b=2$ )
۴	۵، ۴، ۳، ۲	۸، ۱۰، ۱۲، ۱۰، ۸	دبی پایه ۸، دبی پیک ۱۲ ( $Q_p/Q_b=1/5$ )

## نتایج و بحث

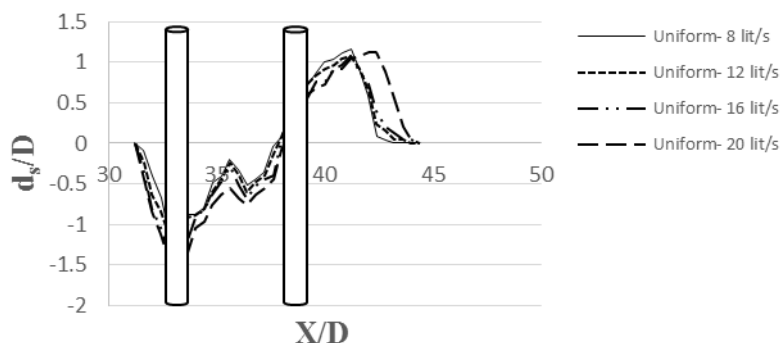
نتایج آزمایشات در چند بخش مورد بررسی قرار می‌گیرند:

### الف) بررسی پروفیل آبشستگی گروه پایه دوتایی در جریان یکنواخت

در شکل ۴ پروفیل آبشستگی پایه اول و دوم گروه پایه دوتایی در  $S/D=3$  پایه‌ها از یکدیگر در جریان یکنواخت نشان داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، با افزایش دبی در جریان یکنواخت، حفره آبشستگی پیرامون پایه اول و دوم، بزرگ‌تر شده است به عنوان مثال در دبی‌های یکنواخت ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لیتر بر ثانیه، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول به ترتیب  $1/12$ ،  $1/16$ ،  $1/4$  و  $1/48$  (۳۲ درصد افزایش عمق بی بعد آبشستگی پایه اول) اندازه‌گیری شد. همچنین با افزایش دبی در جریان یکنواخت، ارتفاع تپه رسوب‌گذاری متمایل به پایین‌دست می‌گردد. به عنوان مثال، در دبی‌های یکنواخت ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لیتر بر ثانیه، ارتفاع تپه رسوب‌گذاری به ترتیب  $0/84$ ،

$1/08$ ،  $1/24$  و  $1/36$  (۶۲ درصد افزایش عمق آبشستگی پایه اول) اندازه‌گیری شد و حفره آبشستگی پایه اول نسبت به پایه دوم بزرگ‌تر می‌باشد. پایه اول تحت تأثیر پدیده تقویت‌کننده پایه دوم است و همین عامل باعث افزایش عمق آبشستگی پایه اول می‌شود. وجود پایه اول باعث کاهش سرعت مؤثر جریان برای پایه دوم و کم شدن اثر گرداب‌های نعل اسبی می‌شود و عمق آبشستگی در پایه دوم کاهش می‌یابد. به عنوان مثال در جریان یکنواخت ۱۶ لیتر بر ثانیه، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول و دوم گروه پایه‌ها به ترتیب  $1/12$ ،  $0/68$  اندازه‌گیری شده است. این نتایج با نتایج محبوب و همکارانش (۱۳۹۳) مطابقت دارد.

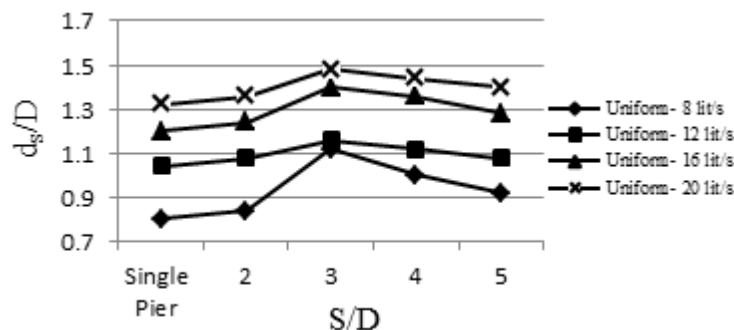


شکل (۴): پروفیل آبشستگی پایه اول و دوم گروه پایه دوتایی در  $S/D=3$  پایه‌ها از یکدیگر در جریان یکنواخت

همچنین، در یک فاصله ثابت پایه‌ها از یکدیگر، با افزایش دبی، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی افزایش یافته است. به طور مثال، در گروه پایه‌های دوتایی با  $S/D=2$ ، در دبی‌های یکنواخت ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لیتر بر ثانیه، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول به ترتیب ۰/۸۴، ۱/۰۸، ۱/۲۴ و ۱/۳۶ (۶۲ درصد افزایش عمق آبشستگی پایه اول) اندازه‌گیری شد. همچنین، همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌گردد، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه دوتایی از حداکثر عمق بی بعد آبشستگی تک پایه، بیشتر می‌باشد. که علت آن عامل تقویت‌کننده گرداب‌های نعل اسبی در گروه پایه دوتایی می‌باشد. این نتایج با نتایج عطایی آشتیانی (۲۰۰۶) مطابقت دارد.

#### ب) بررسی حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه دوتایی در فواصل مختلف پایه‌ها از یکدیگر در جریان یکنواخت

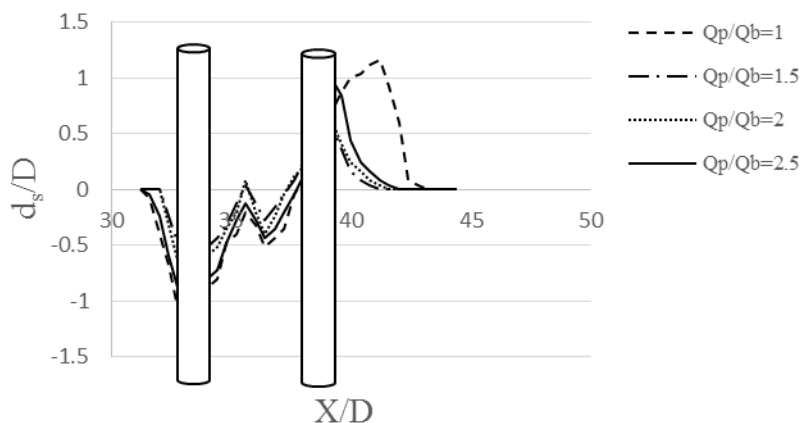
در شکل ۵ حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه دو تایی در فواصل مختلف پایه‌ها از یکدیگر در جریان یکنواخت نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، در جریان یکنواخت، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه‌های دوتایی در  $S/D=3$  مشاهده شده است. به عنوان نمونه، در دبی یکنواخت ۱۶ لیتر بر ثانیه، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول در ۴، ۵، ۳،  $S/D=2$ ، به ترتیب ۱/۲۴، ۱/۴، ۱/۳۶ و ۱/۲۸ اندازه‌گیری شده است.



شکل (۵): حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه دوتایی در فواصل مختلف پایه‌ها از یکدیگر در جریان یکنواخت



به‌عنوان نمونه،  $Q_p/Q_b=2$ ، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول، دوم گروه پایه دوتایی به ترتیب  $0/92$  و  $0/4$  اندازه‌گیری شده است. حفره آبشستگی پیرامون پایه اول و دوم گروه پایه دوتایی در شرایط اعمال هیدروگراف کمتر از حفره آبشستگی در شرایط جریان ماندگار می‌باشد. به‌عنوان نمونه، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه‌های دوتایی در  $Q_p/Q_b$  های مختلف  $1$ ،  $1/5$ ،  $2$ ،  $2/5$ ، به ترتیب  $1/12$ ،  $0/84$ ،  $0/92$ ،  $1/12$  اندازه‌گیری شده است. ارتفاع تپه رسوب‌گذاری در شرایط اعمال هیدروگراف از شرایط جریان ماندگار کمتر می‌باشد به‌عنوان مثال ارتفاع تپه رسوب‌گذاری در شرایط جریان ماندگار  $(Q_p/Q_b=1)$ ، برابر  $1/16$  و در شرایط اعمال هیدروگراف  $(Q_p/Q_b=2/5)$ ، برابر  $0/98$  می‌باشد.



شکل (۶): پروفیل آبشستگی پایه اول و دوم گروه پایه دوتایی در  $S/D=3$  پایه‌ها از یکدیگر با تغییر در میزان دبی پیک هیدروگراف‌ها

دوتایی در فواصل مختلف پایه‌ها از یکدیگر نشان داده شده است.

در یک هیدروگراف معین سیل، با افزایش فاصله نسبی بین پایه‌ها از یکدیگر، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه دوتایی، افزایش یافته است. حداکثر عمق بی بعد آبشستگی در  $S/D=5$  (در بازه فواصل مورد تحقیق) مشاهده شده است. به‌عنوان نمونه، در  $Q_p/Q_b=1/5$ ، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه دوتایی در  $S/D$  های

### ج) تأثیر دبی پیک بر پروفیل آبشستگی گروه پایه دوتایی

در شکل ۶ پروفیل آبشستگی پایه اول و دوم گروه پایه دوتایی در فاصله  $S/D=3$  پایه‌ها از یکدیگر در جریان غیرماندگار نشان داده شده است.

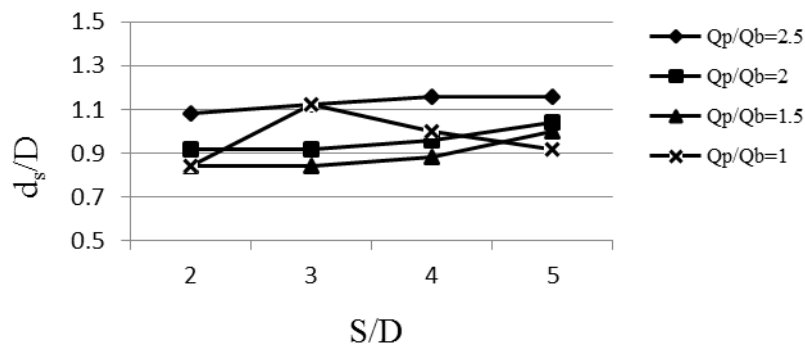
همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، با افزایش گام به گام دبی پیک هیدروگراف‌ها، حفره آبشستگی پیرامون پایه اول و دوم گروه پایه دوتایی افزایش یافته است. به‌عنوان مثال، حداکثر عمق بی بعد حفره آبشستگی پایه اول گروه پایه دوتایی در  $Q_p/Q_b$  های مختلف  $1$ ،  $1/5$ ،  $2$ ،  $2/5$ ، به ترتیب  $0/84$ ،  $0/92$ ،  $1/12$  (معادل ۳۳ درصد افزایش عمق آبشستگی پایه اول) اندازه‌گیری شد. همچنین حفره آبشستگی پایه اول نسبت به پایه دوم بیشتر می‌باشد.

### د) تأثیر دبی پیک بر حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه دوتایی در فواصل مختلف پایه‌ها از یکدیگر

در این بخش، دبی پایه هیدروگراف‌ها ثابت (۸ لیتر بر ثانیه) و دبی پیک هیدروگراف‌ها به‌صورت گام به گام افزایش داده شده است. دبی پیک هیدروگراف‌ها به‌صورت گام به گام از ۸ به ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لیتر بر ثانیه افزایش داده شده است. در شکل ۷ تأثیر دبی پیک بر حداکثر عمق بی‌بعد آبشستگی پایه اول گروه پایه

پیک هیدروگرافها، حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه اول گروه پایه دوتایی با یک روند افزایشی، افزایش یافته است که با نتایج پژوهش گونی و بور ترکیب (۲۰۱۵) مطابقت دارد [۲۴]. به طور مثال، در گروه پایه‌های دوتایی با  $S/D=5$ ، در  $Q_p/Q_b$  های مختلف ۱/۵، ۲، ۲/۵، حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه اول به ترتیب ۱، ۱/۰۴ و ۱/۱۶ (معادل ۱۶ درصد افزایش عمق آبستگی) اندازه‌گیری شد.

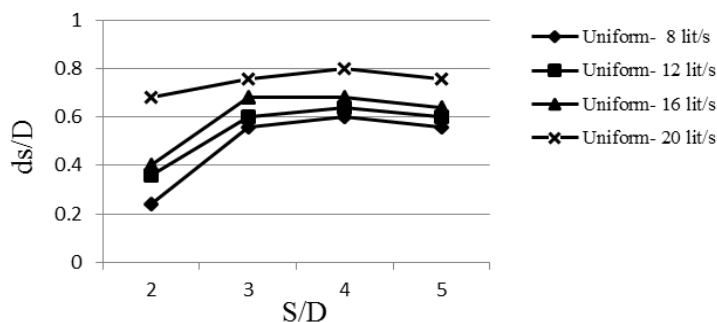
مختلف ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب ۰/۸۴، ۰/۸۴، ۰/۸۸ و ۱ (معادل ۲۳ درصد افزایش عمق بی بعد آبستگی پایه اول) اندازه‌گیری شد. در حالی که در جریان یکنواخت، حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه اول گروه پایه دوتایی در فاصله  $S/D=3$  مشاهده شده است. به عنوان نمونه، در دبی یکنواخت ۸ لیتر بر ثانیه، حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه اول گروه پایه دوتایی در ۴، ۵، ۳،  $S/D=2$ ، به ترتیب ۰/۸۴، ۱/۱۲، ۱ و ۰/۹۵ اندازه‌گیری شد. همچنین در این شکل نشان داده شده است که در یک فاصله ثابت، با افزایش گام به گام دبی



شکل (۷): حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه اول گروه پایه دوتایی در فواصل مختلف پایه‌ها از یکدیگر با تغییر در میزان دبی پیک هیدروگرافها

گروه پایه دوتایی با  $S/D=2$ ، در دبی‌های یکنواخت ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لیتر بر ثانیه، حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه دوم به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۳۶، ۰/۴ و ۰/۶۸ اندازه‌گیری شد.

ت) بررسی حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی در جریان یکنواخت  
در شکل ۱۰ حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه دوم گروه پایه در فواصل نسبی مختلف پایه‌ها از یکدیگر در جریان یکنواخت نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، در جریان یکنواخت، حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی در  $S/D=4$  مشاهده شد. به عنوان نمونه، در دبی یکنواخت ۱۲ لیتر بر ثانیه، حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی در ۲، ۳، ۴، ۵،  $S/D=2$  پایه‌ها از یکدیگر، به ترتیب ۰/۳۶، ۰/۶، ۰/۶۴ و ۰/۶-گیری شد. همچنین، در یک فاصله ثابت پایه‌ها از یکدیگر، با افزایش دبی، حداکثر عمق بی بعد آبستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی، افزایش یافته است. به عنوان نمونه، در



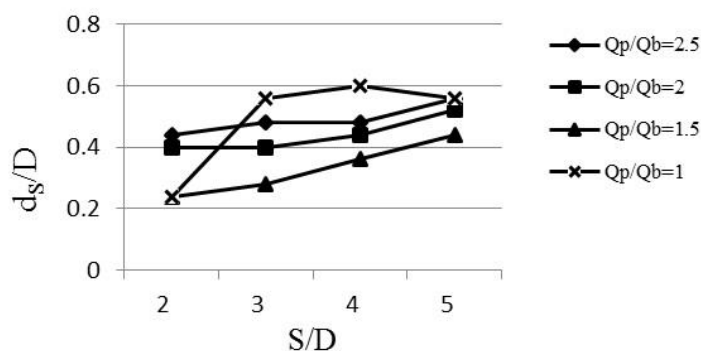
شکل (۱۰) حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی در فواصل نسبی مختلف پایه‌ها از یکدیگر در جریان یکنواخت

در  $S/D$  های مختلف ۲، ۳، ۴ و ۵، به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۲۸، ۰/۳۶ و ۰/۴۴ (۸۳ درصد افزایش عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم) اندازه‌گیری شد. در حالی که در جریان یکنواخت، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی در  $S/D=4$  مشاهده شده است. به عنوان نمونه، در دبی یکنواخت ۸ لیتر بر ثانیه، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی در ۳، ۴، ۵، ۳،  $S/D=2$  به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۵۶، ۰/۶ و ۰/۵۶ اندازه‌گیری شد. همچنین در این شکل نشان داده شده است که در یک فاصله ثابت، با افزایش گام به گام دبی پیک هیدروگراف‌ها، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی، با یک روند کاهشی، افزایش یافته است. به‌عنوان نمونه، در گروه پایه دوتایی با  $S/D=3$ ، در  $Q_p/Q_b$  های مختلف ۱/۵، ۲، ۲/۵، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی به ترتیب ۰/۲۸، ۰/۴ و ۰/۴۸ اندازه‌گیری شد.

### ث) تأثیر دبی پیک بر حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی

در این بخش، دبی پایه هیدروگراف‌ها ثابت (۸ لیتر بر ثانیه) و دبی پیک هیدروگراف‌ها به صورت گام به گام افزایش داده شده است. دبی پیک هیدروگراف‌ها به صورت گام به گام از ۸ به ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لیتر بر ثانیه افزایش داده شده است.

در شکل ۱۱ تأثیر دبی پیک بر حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی در فواصل نسبی مختلف پایه‌ها از یکدیگر نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، در یک هیدروگراف معین سیل، با افزایش فاصله نسبی بین پایه‌ها از یکدیگر، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی، افزایش یافته است. حداکثر عمق بی بعد آبشستگی در  $S/D=5$  (در بازه فواصل مورد تحقیق) مشاهده شده است. به‌عنوان نمونه، در  $Q_p/Q_b=1/5$ ، حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی



شکل (۱۱) حداکثر عمق بی بعد آبشستگی پایه دوم گروه پایه دوتایی در فواصل نسبی مختلف پایه‌ها از یکدیگر با تغییر در میزان دبی پیک هیدروگراف‌ها



### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، آبخستگی پیرامون گروه پایه‌های دوتایی در فواصل مختلف پایه‌ها از یکدیگر در جریان یکنواخت و جریان غیر ماندگار با استفاده از هیدروگراف‌های متقارن با تغییر در دبی پیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در جریان غیرماندگار، با افزایش فاصله‌ی نسبی بین گروه پایه‌های دوتایی، حداکثر عمق بی بعد آبخستگی پایه اول و پایه دوم افزایش یافته و حداکثر آن در فاصله نسبی  $S/D=5$  (در بازه اعداد مورد مطالعه در تحقیق) اندازه‌گیری شد. ولی در جریان یکنواخت، حداکثر عمق بی بعد آبخستگی پایه اول در ۳

$S/D=4$  و پایه دوم در  $S/D=4$  مشاهده شد. همچنین، در یک فاصله ثابت پایه‌ها از یکدیگر، با افزایش گام به گام دبی پیک هیدروگراف‌ها، حداکثر عمق بی بعد آبخستگی پایه اول گروه پایه دوتایی، با یک روند افزایشی، افزایش یافته است. در حالی که حداکثر عمق بی بعد آبخستگی پایه دوم، با افزایش گام به گام دبی پیک هیدروگراف‌ها، با یک روند کاهشی، افزایش یافته است. این مطالعه تفاوت آشکار بین نتایج مطالعات جریان‌های یکنواخت و غیرماندگار را نشان می‌دهد و اهمیت تحقیقات در جریان‌های غیرماندگار را دوچندان می‌سازد.

### منابع

- کریمایی طبرستانی، م. ا. ر. زراتی. ۱۳۹۳. تأثیر زمان وقوع اوج هیدروگراف سیل بر آبخستگی موضعی در اطراف پایه پل. مجله هیدرولیک، دوره ۹، شماره ۳، ص ۳۲-۱۵.
- محبوب، ب. ب. محمدنژاد و ج. بهمنش. ۱۳۹۳. مدلسازی عددی آبخستگی موضعی اطراف گروه پایه پل و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی. نشریه آب و خاک، جلد ۲۸، شماره ۲، ص ۲۷۵-۲۶۷.
- Ataie-Ashtiani, B and A. A. Beheshti. 2006. Experimental investigation of clear-water local scour at pile groups. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10):1100-1104.
- Briaud, J. L., H. C. Chen, K.W. Kwak, S. W. Han and F. C. K. Ting. 2001. Multiflood and multilayer method for scour rate prediction at bridge piers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(2): 114-125.
- Batani S.M., Vosoughifar H.R., Truce B., Jeng D.S., Estimation of Clear-Water Local Scour at Pile Groups Using Genetic Expression Programming and Multivariate Adaptive Regression Splines, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 145(2018) 04018029.
- Chang, W. Y., J. S. Lai and C. L. Yen. 2004. Evolution of scour depth at circular bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(9): 905-913.
- Chiew, Y. M and B. W. Melville. 1987. Local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, 25(1): 15-26.
- Chiew, Y. M. 1992. Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(9): 1260-1269.
- Dey, S and A. K. Barbhuiya. 2005. Time variation of scour at abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(1): 11-23.
- EL-Ghorab, E. A. 2013. Reduction of scour around bridge piers using a modified method for vortex reduction. *Alexandria Engineering Journal*, 52(3): 467-478.
- Guney, M and A. Bor Turkben. 2015. Experimental study of local scour around circular pier under hydrographs succeeding steady flow, In 36th IAHR World Congress, The Hague, Netherlands, June.
- Hamill, L. 1999. *Bridge Hydraulics*. E and FN Spon. Routledge, London. Khosronejad, A., S. Kang, and F. Sotiropoulos. 2012. Experimental and computational investigation of local scour around bridge piers, *Advances in water resources.*, 37, 73-85.
- Hannah, C. R. 1978. Scour at Pile Groups. Research Report No. 28-3; Civil Engineering Department, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.



Kothyari, U. C., R. C. J. Garde and K. G. Ranga Raju. 1992. Temporal variation of scour around circular bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(8): 1091-1106.

Lai, J. S., W. Y. Chang and C. L. Yen. 2009. Maximum local scour depth at bridge piers under unsteady flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(7): 609-614.

Lu, J. Y., J. H. Hong, C. C. Su, C. Y. Wang and J. S. Lai. 2008. Field measurements and simulation of bridge scour depth variations during floods, *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(6): 810-821.

Lu, J. Y., Z. Z. Shi, J. H. Hong, J. J. Lee and R. V. Raikar. 2010. Temporal variation of scour depth at nonuniform cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(1): 45-56.

Melville, B. W. and S. E. Coleman. 2002. *Bridge scour*. Water Resources Publications, LLC, Colorado, USA.

Nazariha, M. 1996. *Design Relationships for Maximum Local Scour Depth for Bridge Pier Groups*, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada.

Oliveto, G and W. H. Hager. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(9): 811-820.

Raudkivi, A. J and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3): 338-350.

Sadeghi, F., Y. Ramezani and H. Khozaymehnezhad. 2018. Effect of submergence ratio of parallel wall on bridge abutment scour. *Alexandria engineering journal*, 57(4): 2659-65.

Salamatian, S. A., M. Karimaei Tabarestani and A. R. Zarrati. 2014. Local scour at a cylindrical bridge pier under a flood hydrograph. *River Flow 2014 – the 7th International Conference on Fluvial Hydraulics*, Lausanne, Switzerland.

Sumer, B. M and J. Fredsoe. 2002. *The mechanics of scour in the marine environment*. World Scientific, Vol. 17.



## Effect of the peak flow of flood hydrograph on scour around the dual bridge piers using experimental model

Saeedeh Mohammadi Givshad<sup>1</sup>, Yousef Ramezani<sup>2\*</sup>, Hossein Khozaymehzhad<sup>3</sup>

### Research Paper

#### Abstract

The local scour around the bridge piers is the main cause of their destruction. Based on this, extensive studies have been done to understand this phenomenon. Most of these studies have been done under steady flow conditions. This is while the flow in the river is unsteady. The purpose of this study was to investigate the effect of peak flow of flood hydrograph on scour around the dual bridge piers at different distances from each other in uniform and unsteady flow using symmetric hydrographs with change in peak flow. The hydrographs used in the experiments are stepped hydrographs in 5 steps. The experiments were conducted under clear water condition and  $U/U_c=0.95$ . In all experiments, the diameter of the bridge pier (D) was constant and equal to 2.5 cm. S/D (S: center-to-center distance between dual bridge piers and D: bridge pier diameter) was selected as 2, 3, 4 and 5. The results showed that in a given flood hydrograph, with increasing the relative distance between the dual bridge piers, the maximum dimensionless scour depth of the first and second piers increased and its maximum was measured at a relative distance of  $S/D=5$ . Whereas in uniform flow, maximum dimensionless scour depth of first pier was observed at  $S/D=3$  and second pier at  $S/D=4$ . Also, at a constant relative distance of the pier from each other, with increasing peak flow of hydrographs, the maximum dimensionless scour depth of the first pier of the dual bridge piers increased with an increasing rate.

**Keywords:** clear water, scour, bridge pier, peak flow, flood hydrograph.

---

<sup>1</sup> M.Sc. of Hydro-Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand. Iran.  
Email: s.mohamady71@yahoo.com

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand. Iran.  
Email: y.ramezani@birjand.ac.ir (Corresponding Author)

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand. Iran.  
Email: hkhozeymeh@birjand.ac.ir



## Effect of the peak flow of flood hydrograph on scour around the dual bridge piers using experimental model

Saeedeh Mohammadi Givshad<sup>1</sup>, Yousef Ramezani<sup>2\*</sup>, Hossein Khozaymehzad<sup>3</sup>

### Extended Abstract

**Introduction:** The local scour around the bridge piers is the main cause of their destruction. Based on this, extensive studies have been done to understand this phenomenon. Most of these studies have been done under steady flow conditions. This is while the flow in the river is unsteady. The purpose of this study was to investigate the effect of peak flow of flood hydrograph on scour around the dual bridge piers at different distances from each other in uniform and unsteady flow using symmetric hydrographs with change in peak flow.

**Materials and Methods:** The experiments were carried out in a laboratory flume 10 m long and 30 cm wide. The bridge piers were placed in a sediment recess with a length of 2.2 m and a depth of 15 cm. Sandy uniform sediments with  $D_{50}=1$  mm were used in the experiments. The experiments were conducted under clear water condition and  $U/U_c=0.95$ . In this study, for flow rates of 8, 12, 16, and 20 Lit/sec, the depth of incipient motion of sediments were observed in flow depths of 10.4, 14.6, 19.1, and 23.4 cm, respectively. Also, flow depths in the experiments for the mentioned flow rates were selected 10.9, 15.4, 20.1, and 24.6 cm, respectively. In all experiments, the diameter of the bridge pier ( $D$ ) was constant and equal to 2.5 cm.  $S/D$  ( $S$ : center-to-center distance between dual bridge piers and  $D$ : bridge pier diameter) was selected as 2, 3, 4 and 5. The experiments were carried out around the dual bridge piers at different distances from each other in uniform and unsteady flow using symmetric hydrographs with change in peak flow. The hydrographs used in the experiments are stepped hydrographs in 5 steps. According to the available laboratory facilities, the duration of all hydrographs was fixed to 10 hours. So, the scour depth was almost equilibrium. After ending the experiment, the bed topography was measured. Laser meter with 1% accuracy was used to measure the bed topography.

**Results:** The results showed that in a given flood hydrograph, with increasing the relative distance between the dual bridge piers, the maximum dimensionless scour depth of the first and second piers increased and its maximum was measured at a relative distance of  $S/D=5$ . Whereas in uniform flow, maximum dimensionless scour depth of first pier was observed at  $S/D=3$  and second pier at  $S/D=4$ . Also, at a constant relative distance of the pier from each other, with increasing peak flow of hydrographs, the maximum dimensionless scour depth of the first pier of the dual bridge piers increased with an increasing rate. While, the maximum dimensionless scour depth of the second pier of the dual bridge piers increased with a decreasing rate.

**Conclusion:** This study shows the obvious difference between the results of studies of uniform and unsteady flow conditions and doubles the importance of research on unsteady flows.

<sup>1</sup> M.Sc. of Hydro-Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand. Iran.  
Email: s.mohamady71@yahoo.com

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand. Iran.  
Email: y.ramezani@birjand.ac.ir (Corresponding Author)

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand. Iran.  
Email: hkhozeymeh@birjand.ac.ir



### **The most important references**

Ataie-Ashtiani, B and A. A. Beheshti. 2006. Experimental investigation of clear-water local scour at pile groups. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10):1100-1104.

Chang, W. Y., J. S. Lai and C. L. Yen. 2004. Evolution of scour depth at circular bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(9): 905-913.

Lai, J. S, W. Y. Chang and C. L. Yen. 2009. Maximum local scour depth at bridge piers under unsteady flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(7): 609-614.

Lu, J. Y., Z. Z. Shi, J. H. Hong, J. J. Lee and R. V. Raikar. 2010. Temporal variation of scour depth at nonuniform cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(1): 45-56.

**Keywords: clear water, scour, bridge pier, peak flow, flood hydrograph.**