



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی گوارش

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و دوم، شماره سوم، ۱۳۹۴  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## اثر احداث دیوار موازی بر کاهش آبستگی پیرامون تکیه‌گاه پل در مقطع مرکب

مجتبی کریمی<sup>۱</sup>، مهدی قمشی<sup>۲</sup> و \*یوسف رضانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، آستاد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند  
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۲

### چکیده

**سابقه و هدف:** آبستگی تکیه‌گاه پل می‌تواند عامل اصلی شکست پل و در نتیجه افزایش هزینه تعمیرات و کاهش دسترسی به راه‌ها شود. بنابراین، اهمیت مطالعه در مورد پیش‌بینی آبستگی در تکیه‌گاه پل‌ها و راه‌های کاهش آن به خوبی روشن است. اکثر تکیه‌گاه پل‌ها در دشت سیلابی یک آبراهه مرکب قرار گرفته‌اند. هدف این پژوهش بررسی تأثیر احداث دیوار موازی بر آبستگی تکیه‌گاه پل با دیواره عمودی در مقطع مرکب می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش‌های این پژوهش در فلومی به طول ۹ متر و عرض ۱ متر انجام شد. عرض دشت سیلابی ۷۰ سانتی‌متر و عرض آبراهه اصلی ۳۰ سانتی‌متر و اختلاف ارتفاع کف آبراهه اصلی و کف دشت سیلابی ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و با تنظیم دبی و عمق جریان در حد آستانه حرکت رسوبات ( $U/U_c = 0.95$ ) انجام شد. بدین ترتیب چهار عمق  $4/8$ ،  $6/4$ ،  $8/3$  و  $10$  سانتی‌متر در دشت سیلابی به ترتیب برای دبی‌های ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ لیتر بر ثانیه به دست آمد. در این پژوهش، از دیوارهای موازی با طول‌هایی برابر ضرایبی از طول تکیه‌گاه ( $0.5$ ،  $0.75$ ،  $1$ ،  $1.25$  و  $1.5$  برابر) استفاده گردید. بنابراین، ۵ طول دیوار موازی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر محاسبه گردید. دیوار موازی در دماغه تکیه‌گاه، موازی با دیواره فلوم به سمت بالادست، کار گذاشته شد. مدت آزمایش‌ها تا زمانی بود که حفره آبستگی ایجاد شده تقریباً به حالت تعادل رسیده باشد. بنابراین، مدت زمان هر آزمایش ۱۰ ساعت در نظر گرفته شد. بعد از اتمام هر آزمایش، جریان آب فلوم به آرامی تخلیه شده و نقطه حداکثر عمق آبستگی و همچنین توپوگرافی ایجاد شده در بستر رسوبی توسط متر لیزری با دقت  $\pm 1$  میلی‌متر برداشت شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان می‌دهد که در یک عمق آب ثابت و با افزایش طول دیوار موازی، درصد کاهش عمق آبستگی در دماغه بالادست تکیه‌گاه افزایش یافته، به طوری که دارای یک نرخ کاهشی می‌باشد. همچنین، در یک عمق آب ثابت و طول‌های مختلف دیوار موازی، نتایج تقریباً یکسانی در عمق آبستگی پای دیوار مشاهده شد. با افزایش عمق آب، آبستگی پای دیوار نیز افزایش یافت. با استفاده از دیوار موازی به طولی برابر نصف طول تکیه‌گاه پل، بسته به عمق جریان، ۵۱ تا ۶۴ درصد کاهش عمق آبستگی در ناحیه دماغه بالادست تکیه‌گاه مشاهده گردید.

\* مسئول مکاتبه: [y.ramezani@birjand.ac.ir](mailto:y.ramezani@birjand.ac.ir)

**نتیجه‌گیری:** با استفاده از دیوار موازی، آبشستگی در ناحیه دماغه بالادست تکیه‌گاه (به‌عنوان نقطه بحرانی آبشستگی) کاهش یافته و حتی در بعضی موارد رسوبگذاری مشاهده شد. دیوار موازی می‌تواند با تغییر الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه پل، حداکثر عمق آبشستگی را از دماغه بالادست تکیه‌گاه دور کرده و با عمق کم‌تری به پای دیوار موازی منتقل کند.

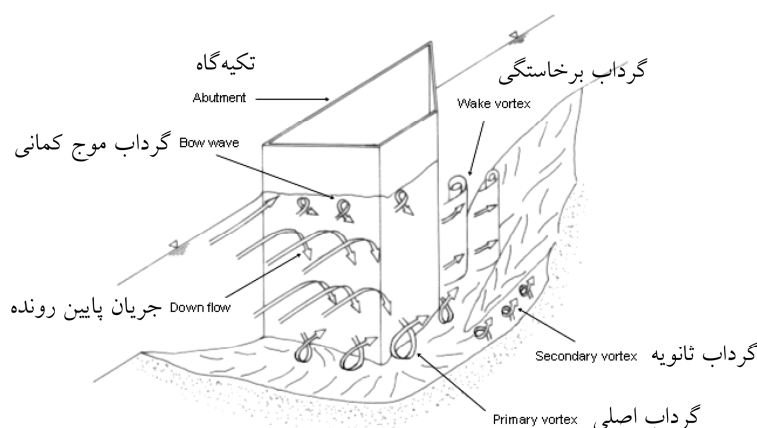
**واژه‌های کلیدی:** آبشستگی موضعی، شکست پل، دیوار موازی، الگوی جریان، دشت سیلابی

### مقدمه

شکست پل ناشی از آبشستگی در فونداسیون (شامل پایه و تکیه‌گاه)، ضرورت مطالعه در مورد پیش‌بینی آبشستگی و راه‌های کاهش آن را کاملاً روشن می‌سازد. بر طبق مطالعات ملویل (1992)، از ۱۰۸ شکست پل که در فاصله سال‌های ۸۴-۱۹۶۰ در نیوزیلند رخ داد، ۲۹ مورد آن مربوط به آبشستگی تکیه‌گاه پل بود. ملویل همچنین خاطر نشان می‌سازد که ۷۰ درصد هزینه‌ها روی شکست پل در نیوزیلند ناشی از آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است (15).

در شکل ۱ میدان جریان پیرامون یک تکیه‌گاه پل نشان داده شده است. عوامل مؤثر در آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل را می‌توان به جریان پایین‌رونده، گرداب موج کمائی، گرداب نعل اسبی (گرداب اصلی)، گرداب

ثانویه و گرداب برخاستگی تقسیم‌بندی نمود. پژوهش‌ها در زمینه مکانیسم آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها توسط کوان (1984, 1988)، احمد و راجاراتنام (2000)، باربویا و دی (2003)، دی و باربویا (2005a, 2005b) و (2006a, 2006b) و بسیاری دیگر نشان داده است که جریان پایین‌رونده و گرداب نعل اسبی در گوشه بالادست تکیه‌گاه پل، همراه با گرداب ثانویه و گرداب برخاستگی در قسمت میانی و گوشه انتهایی تکیه‌گاه پل باعث ایجاد اندرکنش پیچیده‌ای بین سیال و مواد بستر می‌شود که دلیل اصلی آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها است. آن‌ها بیشترین عمق آبشستگی را در دماغه بالادست تکیه‌گاه مشاهده نمودند (1, 2, 4, 12, 13, 5, 7, 8).

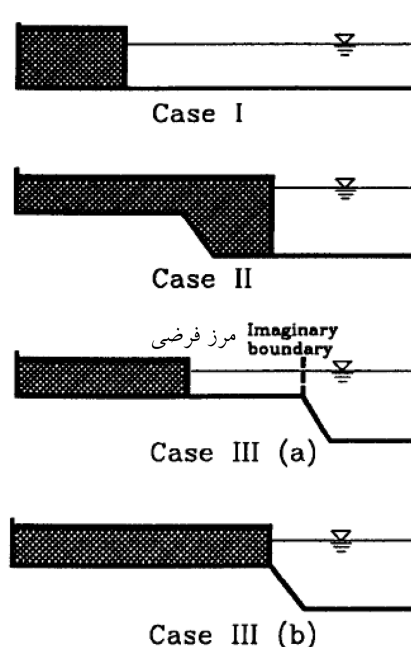


شکل ۱- میدان جریان پیرامون یک تکیه‌گاه پل (۳).

Figure 1. Flow field around a bridge abutment (3).

مرکب قرار دارد. مورد سوم را می‌توان به دو قسمت تفکیک نمود. قسمت اول در مورد تکیه‌گاه‌هایی است که کاملاً در قسمت دشت سیلابی آبراهه مرکب قرار دارد و از ساحل مقطع اصلی آبراهه مرکب دارای فاصله می‌باشد. قسمت دوم در مورد تکیه‌گاه‌هایی است که از مقطع دشت سیلابی آبراهه مرکب شروع شده و در ساحل مقطع اصلی آبراهه مرکب خاتمه می‌یابد.

ملویل (1995) آبخستگی تکیه‌گاه پل‌ها را به سه مورد (مطابق شکل ۲) تقسیم‌بندی نمود (16). مورد اول حالتی است که تکیه‌گاه در آبراهه‌ای قرار گرفته است که بدون دشت سیلابی بوده و تکیه‌گاه کاملاً در مقطع اصلی جریان قرار دارد. در مورد دوم آبراهه به صورت مقطع مرکب بوده و تکیه‌گاه از مقطع دشت سیلابی شروع شده و تا درون مقطع اصلی آبراهه مرکب پیشروی نموده است. مورد سوم در مورد تکیه‌گاه‌هایی است که در مقطع دشت سیلابی آبراهه



شکل ۲- سه طبقه‌بندی آبخستگی تکیه‌گاه پل (۱۶).

Figure 2. Three cases of bridge abutment scour (16).

تکیه‌گاه کوتاه،  $1 \leq L/y \leq 25$  تکیه‌گاه متوسط و  $L/y > 25$  تکیه‌گاه بلند اطلاق گردید. اکثر تکیه‌گاه پل‌ها در محدوده طبقه‌بندی طول متوسط طبقه‌بندی ملویل (1992) قرار می‌گیرند (15).

تاکنون پژوهش‌های یادی در زمینه روش‌های کاهش آبخستگی پیرامون تکیه‌گاه پل‌ها انجام شده است که در ادامه به چند مورد آن‌ها اشاره می‌شود.

بیش‌تر انواع تکیه‌گاه‌ها در مورد سوم طبقه‌بندی ملویل قرار می‌گیرند یعنی تکیه‌گاه‌هایی که کاملاً در قسمت دشت سیلابی آبراهه مرکب قرار دارند یا در ساحل مقطع اصلی آبراهه مرکب خاتمه می‌یابند. ملویل (1992)، تکیه‌گاه‌های متوسط، کوتاه و بلند را بر اساس نسبت طول تکیه‌گاه به عمق جریان ( $L/y$ ) طبقه‌بندی نمود. بر اساس این طبقه‌بندی،  $L/y < 1$

است بسته به توزیع جریان نزدیک‌شونده در مقطع مرکب و توزیع جریان در مقطع تنگ‌شده، عمق آبشستگی متفاوتی را ایجاد نماید. اکثر تکیه‌گاه پل‌ها در دشت سیلابی قرار گرفته‌اند (تیپ ۳) و قرار گرفتن تکیه‌گاه در مجرای اصلی کم‌تر رایج است (۹). مطالعه سازه‌های کاهنده آبشستگی در پل‌ها دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. هدف این پژوهش بررسی تأثیر احداث دیوار موازی بر آبشستگی تکیه‌گاه با دیواره عمودی در مقطع مرکب می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این پژوهش در فلومی به طول ۹ متر و عرض ۱ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. عرض دشت سیلابی ۷۰ سانتی‌متر و عرض آبراهه اصلی ۳۰ سانتی‌متر و اختلاف ارتفاع کف آبراهه اصلی و کف دشت سیلابی ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل‌های ۳ و ۴). تکیه‌گاه در یک بستر رسوبی<sup>۴</sup> به طول ۲ متر و عمق ۳۰ سانتی‌متر در دشت سیلابی قرار گرفت. دبی ورودی با استفاده از شیر ورودی تنظیم و به‌وسیله یک سرریز مثلثی شکل کالیبره شده اندازه‌گیری شد. عمق جریان نیز با استفاده از دریچه انتهایی تنظیم گردید. چند آرام‌کننده جریان در ابتدای فلوم به‌منظور کاهش تلاطم‌های جریان نصب شد. فاصله ابتدای بستر رسوبی تا ابتدای فلوم ۴ متر در نظر گرفته شد. همچنین، فاصله انتهای بستر رسوبی تا انتهای فلوم نیز ۳ متر در نظر گرفته شد. این فاصله باعث می‌شود تا نیم‌رخ سطح آب روی بستر رسوبی یکنواخت بوده و تحت تأثیر دریچه نباشد. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال<sup>۵</sup> و با تنظیم دبی و عمق جریان در حد آستانه حرکت رسوبات ( $U/U_c=0/95$ ) انجام شد. آبشستگی آب زلال زمانی صورت می‌پذیرد

جانسن و همکاران (2001) به بررسی اثر صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل پرداختند (10). آن‌ها به این نتیجه رسیدند که صفحات مستغرق به‌طور کاملاً موثری آبشستگی را از تکیه‌گاه پل دور کرده و به مرکز کانال منتقل می‌نمایند. بسته به تعداد، زاویه و فاصله صفحات مستغرق بین ۲۲ تا ۹۶ درصد کاهش در حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه مشاهده شد.

کرکوت و همکاران (2007) به بررسی نقش کیسه خاک<sup>۱</sup> در کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل پرداختند (11). این کیسه خاک‌ها با رسوبات موجود در محل یا بتن پر می‌شوند. در نهایت، دستورالعمل‌های طراحی شامل محل قرارگیری کیسه‌خاک و اندازه آن‌ها پیشنهاد گردید. ملویل و همکاران (2007) به مطالعه انتخاب اندازه سنگ‌چین در یک تکیه‌گاه دیوار باله‌ای<sup>۲</sup> پرداختند (17). لی (2005) به بررسی تأثیر آبشکن، دیوار موازی<sup>۳</sup> و طوق در کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل پرداخت (14). آبشکن و دیوار موازی در شرایط آب زلال و بستر زنده و طوق تنها در شرایط آب زلال مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی مرکب که دارای مقطع اصلی فرسایش‌پذیر و دشت سیلابی فرسایش‌ناپذیر بود انجام پذیرفت. تکیه‌گاه پل از دشت سیلابی شروع شده و در مجرای اصلی خاتمه می‌یافت (تیپ ۲).

در یک رودخانه واقعی شامل مجرای اصلی و دشت‌های سیلابی مجاور، آبشستگی تکیه‌گاه واقع در دشت سیلابی تابعی از یک توزیع سرعت جریان نزدیک‌شونده یکنواخت نمی‌باشد. در عوض، آبشستگی تابعی از توزیع جریان بین مجرای اصلی و دشت سیلابی است که در محل تنگ‌شدگی پل رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، در یک طول تکیه‌گاه مشابه ممکن

- 1- Geobag
- 2- Wing-wall
- 3- Parallel wall

- 4- Sediment recess
- 5- Clear water

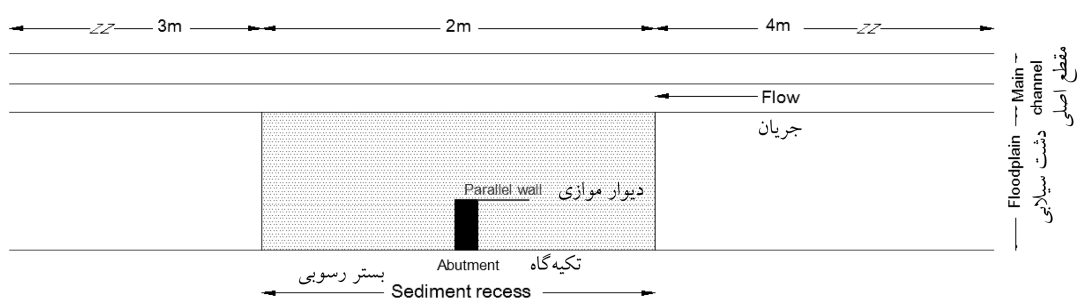
آبشستگی تکیه‌گاه پل‌ها در محدوده طول متوسط تکیه‌گاه قرار می‌گیرند. در این پژوهش ز تکیه‌گاه‌هایی با دیواره عمودی و در محدوده طول متوسط طبقه‌بندی ملویل (1992) استفاده شد (15). با توجه به حداکثر عمق جریان روی دشت سیلابی و عرض آبراهه و عرض دشت سیلابی، تکیه‌گاهی با طول ۲۰ سانتی‌متر در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. عرض تکیه‌گاه (در جهت جریان) نیز ۱۲ سانتی‌متر انتخاب گردید.

در این پژوهش، از دیوارهای موازی با طول‌هایی برابر ضرایبی از طول تکیه‌گاه (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۱/۵ برابر) استفاده گردید. بدین ترتیب ۵ طول دیوار موازی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر محاسبه گردید. دیوار موازی در دماغه تکیه‌گاه، موازی با دیواره فلوم به سمت بالادست (شکل ۳) کار گذاشته شد. رسوب یکنواخت با قطر متوسط ۰/۴ میلی‌متر در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. معیار یکنواختی رسوب بر اساس مقدار انحراف معیار هندسی،  $\sigma_g$  می‌باشد. رسوبات در صورتی یکنواخت در نظر گرفته خواهند شد که  $\sigma_g < 1/4$  باشد (6). در این پژوهش  $\sigma_g = 1/27$  به دست آمد که نشان‌دهنده یکنواختی رسوبات می‌باشد. در ابتدای آزمایش‌ها، به‌منظور جلوگیری از آبشستگی ناخواسته ناشی از عمق کم جریان، فلوم به‌وسیله یک لوله با نرخ کم پر شده و سپس دبی و عمق مورد نظر تنظیم گردید. مدت آزمایش‌ها تا زمانی بود که حفره آبشستگی ایجاد شده تقریباً به حالت تعادل رسیده باشد. در اینجا با توجه به مشاهدات و امکانات آزمایشگاهی موجود، این زمان ۱۰ ساعت در نظر گرفته شد. بعد از اتمام هر آزمایش، جریان آب فلوم به آرامی تخلیه شده و نقطه حداکثر عمق آبشستگی و همچنین توپوگرافی ایجاد شده در بستر رسوبی توسط متر لیزری با دقت  $\pm 1$  میلی‌متر برداشت شد.

که انتقال رسوب از طرف جریان نزدیک‌شونده به حفره آبشستگی وجود نداشته باشد ( $U < U_c$ ). از طرف دیگر، آبشستگی بستر زنده<sup>۱</sup> زمانی صورت می‌پذیرد که حفره آبشستگی دائماً به‌وسیله رسوب توسط جریان نزدیک‌شونده تغذیه شود ( $U > U_c$ ).

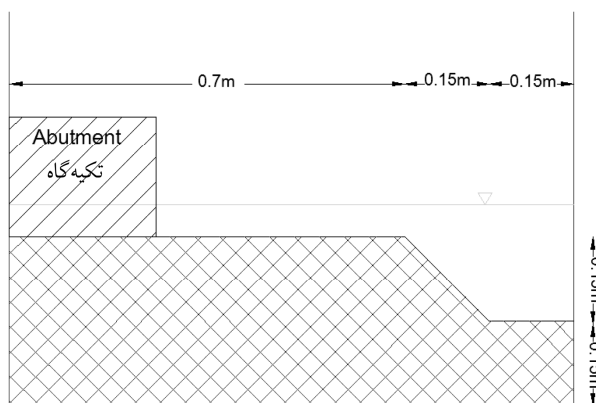
با توجه به شکل مقطع مرکب کانال و غیریکنواختی سرعت جریان نزدیک‌شونده، سرعت آستانه حرکت و عمق مورد نظر با انجام آزمایش‌های آستانه حرکت در آزمایشگاه به‌دست آمد. هدف، به‌دست آوردن عمق و سرعت آستانه حرکت در یک دبی معین بود. بدین منظور ابتدا رسوبات بستر رسوبی (بدون حضور تکیه‌گاه) کاملاً مسطح شده و دریچه انتهایی کاملاً بالا کشیده شد. سپس، فلوم به آرامی به‌وسیله جریان آب پر شده و دبی مورد نظر تنظیم گردید. پس از تنظیم دبی، دریچه انتهایی به آرامی پایین کشیده شد. روند پایین کشیدن دریچه انتهایی تا جایی ادامه پیدا کرد که حرکت عمومی رسوبات در بستر رسوبی مشاهده شود. برای مثال، در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه، عمق آستانه حرکت رسوبات در عمق آب ۴/۵ سانتی‌متر در دشت سیلابی مشاهده شد.

هدف این پژوهش، انجام آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و تنظیم دبی و عمق جریان در حد آستانه حرکت رسوبات ( $U/U_c = 0/95$ ) بود. بنابراین، نزدیک‌ترین عمق ممکن به عمق آستانه حرکت (به‌طوری‌که هیچ‌گونه حرکت رسوب در بستر رسوبی وجود نداشته باشد) به‌عنوان عمق مورد نظر انتخاب گردید. در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه، عمق حد آستانه حرکت رسوبات در عمق ۴/۸ سانتی‌متر در دشت سیلابی مشاهده شد. برای سایر دبی‌ها نیز روند مشابهی انجام گرفت. بدین ترتیب چهار عمق ۴/۸، ۶/۴، ۸/۳ و ۱۰ سانتی‌متر در دشت سیلابی به‌ترتیب برای دبی‌های ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ لیتر بر ثانیه به‌دست آمد. بیش‌تر شرایط واقعی



شکل ۳- پلان فلوم آزمایشگاهی.

Figure 3. Plan of experimental flume.



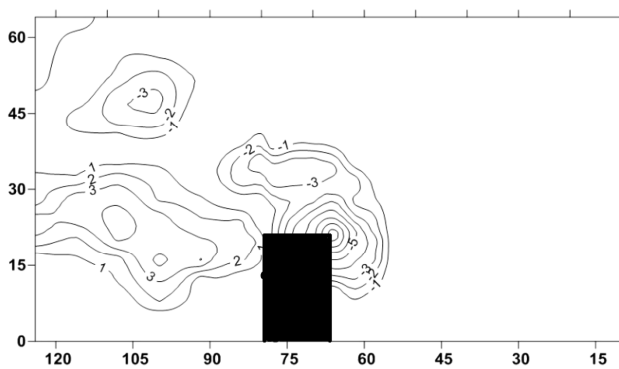
شکل ۴- مقطع عرضی فلوم آزمایشگاهی.

Figure 4. Cross section of experimental flume.

سانتی‌متر، در دو دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه (عمق آب روی دشت سیلابی ۴/۸ سانتی‌متر) و ۳۰ لیتر بر ثانیه (عمق آب روی دشت سیلابی ۸/۳ سانتی‌متر) مورد مقایسه قرار گرفته است.

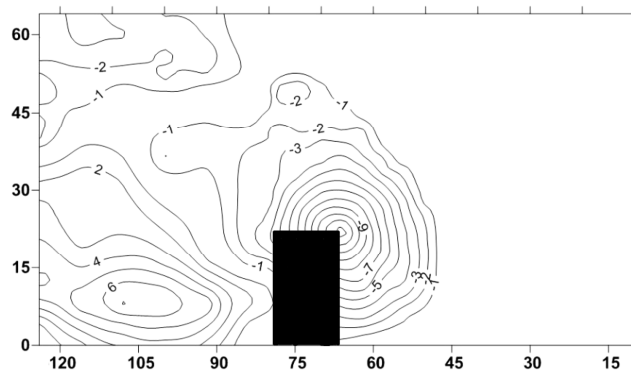
### نتایج و بحث

توپوگرافی آبستگي پيرامون تکیه‌گاه پل حالت بدون استفاده از دیوار موازی (شاهد): در اینجا توپوگرافی پيرامون تکیه‌گاه پل به طول ۲۰



شکل ۵- توپوگرافی بستر رسوبی در حالت بدون استفاده از دیوار موازی و دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه.

Figure 5. Sediment recess topography in the case of without parallel wall and discharge of 20 lit/sec.



شکل ۶- توپوگرافی بستر رسوبی در حالت بدون استفاده از دیوار موازی و دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه.

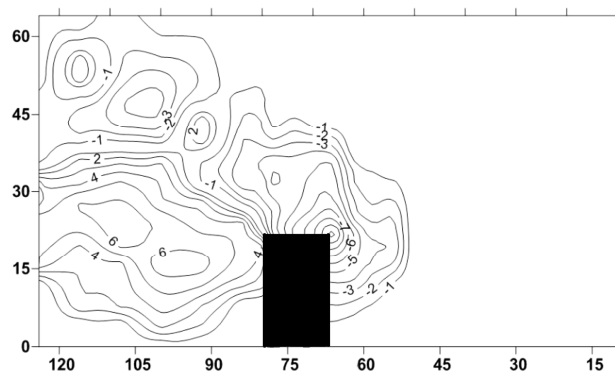
Figure 6. Sediment recess topography in the case of without parallel wall and discharge of 30 lit/sec.

رسوبات بیش‌تری در پشت تکیه‌گاه تجمع پیدا نمودند. این امر به دلیل افزایش قدرت گرداب نعل‌اسبی ناشی از افزایش سرعت جریان نزدیک شونده می‌باشد. با افزایش قدرت گرداب نعل‌اسبی میزان رسوبات بیش‌تری از پیرامون تکیه‌گاه شسته شده و در نتیجه میزان رسوبگذاری در پشت تکیه‌گاه نیز افزایش یافت.

در حالت استفاده از دیوار موازی: در اینجا توپوگرافی پیرامون تکیه‌گاه پل به طول ۲۰ سانتی‌متر در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه (عمق آب روی دشت سیلابی ۶/۴ سانتی‌متر)، در چهار حالت بدون استفاده از دیوار موازی، استفاده از دیوار موازی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری مورد مقایسه قرار گرفته است.

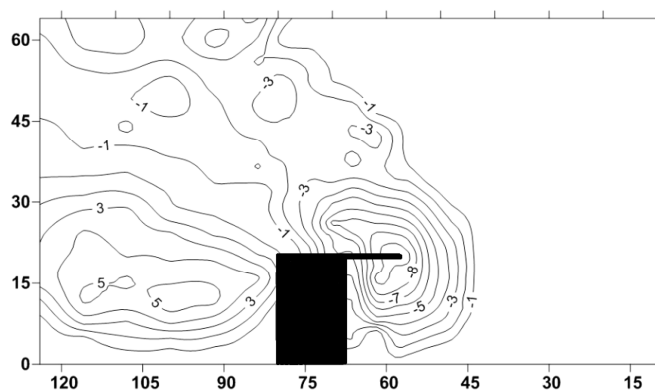
با توجه به شکل‌های ۵ و ۶، بیش‌ترین عمق آبستگی در دماغه بالادست تکیه‌گاه مشاهده گردید. حفره آبستگی نیز پیرامون دماغه به صورت مخروطی شکل تشکیل گردید. همچنین، گرداب نعل‌اسبی و به تبع آن آبستگی تحت یک زاویه مایل در حدود ۴۵ نسبت به دماغه بالادست تکیه‌گاه توسعه یافته و رسوبات پس از جاروب شدن از نواحی نام‌برده، در پشت تکیه‌گاه تجمع پیدا نمودند.

با افزایش دبی، میزان عمق آبستگی در دماغه تکیه‌گاه افزایش یافت. بیش‌ترین عمق آبستگی در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه ۸/۵ سانتی‌متر و در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه ۱۲/۶ سانتی‌متر مشاهده گردید. با افزایش دبی، ابعاد حفره آبستگی پیرامون دماغه نیز افزایش یافته و



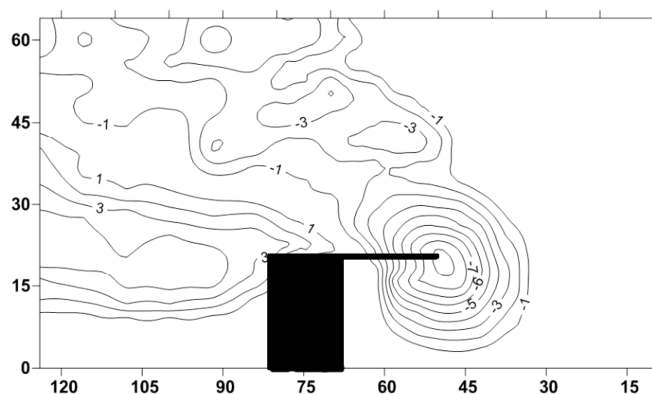
شکل ۷- توپوگرافی بستر رسوبی در حالت بدون استفاده از دیوار موازی (دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه).

Figure 7. Sediment recess topography in the case of without parallel wall (discharge of 25 lit/sec).



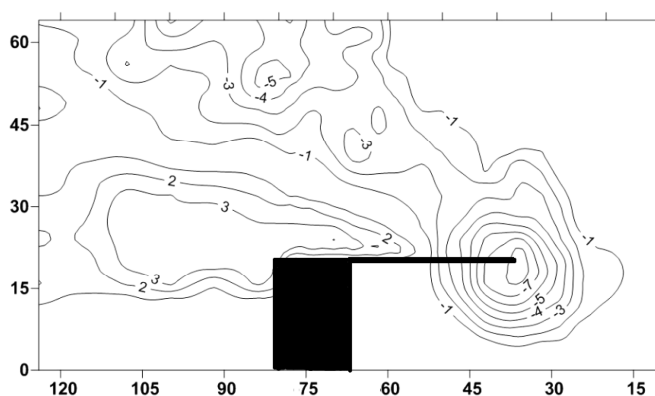
شکل ۸- توپوگرافی بستر رسوبی در حالت استفاده از دیوار موازی ۱۰ سانتی‌متری (دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه).

Figure 8. Sediment recess topography in the case of the use of 10 cm parallel wall (discharge of 25 lit/sec).



شکل ۹- توپوگرافی بستر رسوبی در حالت استفاده از دیوار موازی ۲۰ سانتی‌متری (دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه).

Figure 8. Sediment recess topography in the case of the use of 20 cm parallel wall (discharge of 25 lit/sec).



شکل ۱۰- توپوگرافی بستر رسوبی در حالت استفاده از دیوار موازی ۳۰ سانتی‌متری (دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه).

Figure 8. Sediment recess topography in the case of the use of 30 cm parallel wall (discharge of 25 lit/sec).



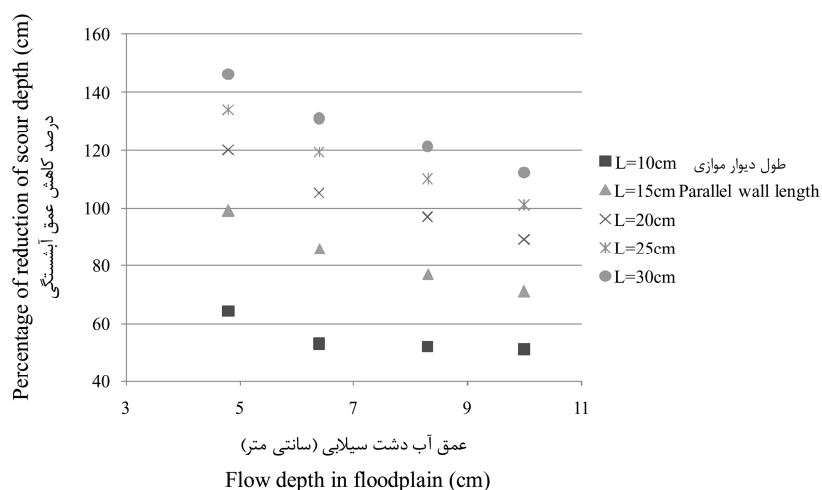
آبشستگی پای دیوار موازی به ترتیب ۸/۷، ۸/۷ و ۸/۶ سانتی متر است. این امر به دلیل کاهش قدرت گرداب نعلاسبی ناشی از کاهش گرادیان فشار پای دیوار موازی نسبت به دماغه بالادست تکیه‌گاه، علی‌رغم ثابت بودن سرعت جریان نزدیک‌شونده، می‌باشد. همچنین، در دبی یا عمق آب ثابت و در طول‌های مختلف دیوار موازی، ثابت ماندن گرادیان فشار و سرعت جریان نزدیک‌شونده، باعث عمق آبشستگی تقریباً یکسان پای دیوار موازی شده است.

**اثر دیوار موازی در کاهش عمق آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه:** در جدول ۱ داده‌ها و نتایج آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش گنجانده شده است. لازم به ذکر است عمق آبشستگی با علامت منفی و رسوبگذاری با علامت مثبت تعریف شده است.

در شکل ۱۱، درصد کاهش عمق آبشستگی دماغه تکیه‌گاه در طول‌های مختلف دیوار موازی و در اعماق مختلف آب دشت سیلابی نشان داده شده است. درصد کاهش عمق آبشستگی بیش از ۱۰۰ درصد نشان‌دهنده رسوبگذاری در دماغه بالادست تکیه‌گاه می‌باشد.

با توجه به اشکال ۷ تا ۱۰، استفاده از دیوار موازی باعث انتقال حفره آبشستگی از دماغه بالادست تکیه‌گاه به پای دیوار موازی شده است. به طوری که با افزایش طول دیوار موازی حفره آبشستگی از دماغه بالادست تکیه‌گاه دورتر شده و حتی در برخی موارد باعث رسوبگذاری در ناحیه دماغه تکیه‌گاه شده است. این امر به دلیل تغییر الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه در حالت استفاده از دیوار موازی می‌باشد. در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه، ارتفاع رسوبات دماغه تکیه‌گاه در حالات بدون استفاده از دیوار موازی، استفاده از دیوار موازی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متری، به ترتیب ۱۰/۸-، ۵/۱-، ۰/۵+ و ۳/۴+ سانتی متر است.

در یک دبی یا عمق آب ثابت، عمق آبشستگی پای دیوار موازی در طول‌های مختلف تقریباً یکسان و این عمق آبشستگی تقریباً یکسان از میزان عمق آبشستگی دماغه بالادست تکیه‌گاه در حالت بدون استفاده از دیوار موازی، کمتر است. در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه، در حالت بدون استفاده از دیوار موازی، عمق آبشستگی دماغه بالادست تکیه‌گاه ۱۰/۸ سانتی متر است. در حالی که در همان دبی و در حالات استفاده از دیوارهای موازی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متری، عمق



شکل ۱۱- درصد کاهش عمق آبشستگی دماغه تکیه‌گاه در طول‌های مختلف دیوار موازی.

Figure 11. Percentage of reduction of scour depth at abutment nose in different lengths of parallel wall.

جدول ۱- داده‌ها و نتایج آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش.

Table 1. Experimental results used in this research.

عمق آبستنگی پای دیوار موازی (سانتی‌متر) Scour Depth at Parallel Wall (cm)	درصد کاهش عمق آبستنگی Percentage of Reduction of Scour Depth	عمق آبستنگی دماغه تکیه‌گاه (سانتی‌متر) Scour Depth at Abutment Nose (cm)	طول دیوار موازی (سانتی‌متر) Parallel Wall Length (cm)	طول تکیه‌گاه (سانتی‌متر) Abutment Length (cm)	دبی جریان (لیتر در ثانیه) Flow Discharge (lit/sec)	عمق جریان (سانتی‌متر) Flow Depth (cm)	شماره آزمایش Experiment Number
-	-	-8.5	0	20	20	4.8	1
-7.2	64	-3.1	10	20	20	4.8	2
-7.1	99	-0.1	15	20	20	4.8	3
-7.1	120	+1.7	20	20	20	4.8	4
-7	134	+2.9	25	20	20	4.8	5
-7.1	146	+3.9	30	20	20	4.8	6
-	-	-10.8	0	20	25	6.4	7
-8.7	53	-5.1	10	20	25	6.4	8
-8.8	86	-1.5	15	20	25	6.4	9
-8.7	105	+0.5	20	20	25	6.4	10
-8.6	119	+2	25	20	25	6.4	11
-8.7	131	+3.4	30	20	25	6.4	12
-	-	-12.6	0	20	30	8.3	13
-10.3	52	-6	10	20	30	8.3	14
-10.3	77	-2.9	15	20	30	8.3	15
-10.5	97	-0.4	20	20	30	8.3	16
-10.5	110	+1.2	25	20	30	8.3	17
-10.6	121	+2.6	30	20	30	8.3	18
-	-	-14	0	20	35	10	19
-11.7	51	-6.9	10	20	35	10	20
-11.6	71	-4.1	15	20	35	10	21
-11.8	89	-1.6	20	20	35	10	22
-11.7	101	+0.2	25	20	35	10	23
-11.7	112	+1.7	30	20	35	10	24

با توجه به شکل ۱۱، در یک عمق آب ثابت و با افزایش گام به گام طول دیوار موازی، درصد کاهش عمق آبستنگی در دماغه بالادست تکیه‌گاه افزایش یافته، به طوری که دارای یک نرخ کاهشی می‌باشد. در عمق آب دشت سیلابی ۸/۳ سانتی‌متر، درصد کاهش عمق آبستنگی دماغه بالادست تکیه‌گاه در دیوارهای

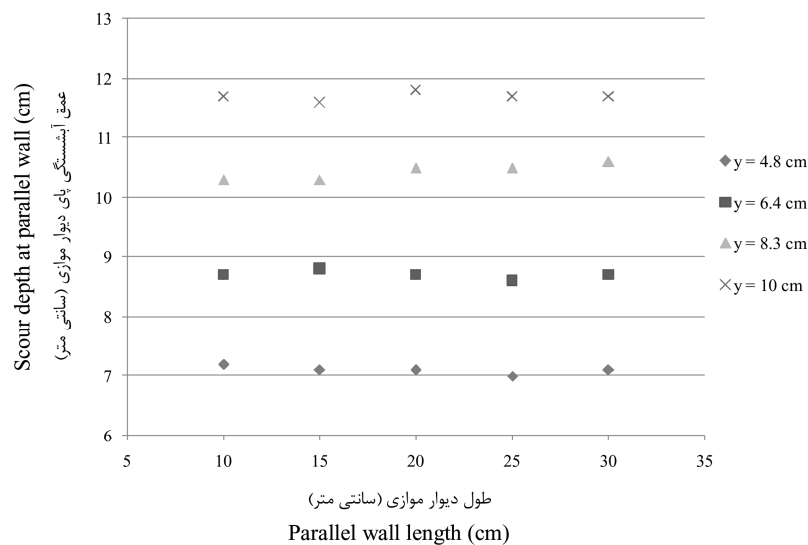
همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، استفاده از دیوار موازی باعث کاهش عمق آبستنگی دماغه بالادست تکیه‌گاه (که نقطه بحرانی آبستنگی می‌باشد) شده است. با افزایش طول دیوار موازی، آبستنگی در ناحیه دماغه بالادست تکیه‌گاه کاهش یافته و حتی در بعضی موارد رسوبگذاری مشاهده شد.

مختلف دیوار موازی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، در یک عمق آب ثابت و در طول‌های مختلف دیوار موازی، نتایج تقریباً یکسانی در عمق آبستگي پای دیوار مشاهده شد. در عمق آب  $4/8$  سانتی‌متری در دشت سیلابی و با افزایش طول دیوار موازی از ۱۰ به ۳۰ سانتی‌متر، عمق آبستگي پای دیوار به ترتیب  $7/2$ ،  $7/1$ ،  $7$  و  $7/1$  سانتی‌متر مشاهده شد. این امر به دلیل عدم تغییر سرعت جریان نزدیک‌شونده، گرادیان فشار و به تبع آن عدم تغییر الگوی جریان پیرامون دیوار موازی می‌باشد. در یک طول دیوار موازی ثابت با افزایش عمق آب دشت سیلابی، آبستگي پای دیوار نیز افزایش یافت.

موازی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر به ترتیب ۵۲، ۷۷، ۹۷، ۱۱۰ و ۱۲۱ درصد می‌باشد. در عمق آب نام‌برده، دیوارهای موازی ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متری به‌طور کاملاً مؤثری عمل کرده و باعث رسوبگذاری در دماغه بالادست تکیه‌گاه شده است.

همچنین، در یک طول ثابت دیوار موازی و با افزایش عمق آب دشت سیلابی، درصد کاهش عمق آبستگي دماغه بالادست تکیه‌گاه کاهش یافته و به عبارت دیگر از اثر دیوار موازی کاسته شد. در دیوار موازی ۱۵ سانتی‌متری و با افزایش عمق آب دشت سیلابی، درصد کاهش عمق آبستگي دماغه بالادست تکیه‌گاه از ۹۹ درصد به ۸۶، ۷۷ و ۷۱ درصد کاهش یافت.

در شکل ۱۲، عمق آبستگي پای دیوار موازی در عمق‌های مختلف آب دشت سیلابی و طول‌های



شکل ۱۲- عمق آبستگي پای دیوار موازی در عمق‌های مختلف آب دشت سیلابی و طول‌های مختلف دیوار موازی.

Figure 11. Scour depth at parallel wall in different flow depths in floodplain and different lengths of parallel wall.

سرعت جریان نزدیک‌شونده و به تبع آن افزایش قدرت فرسایشی گرداب نعل‌اسبی می‌باشد. به دلیل نزدیکی مقادیر عمق آبستگي پای دیوار در هر عمق آب ثابت دشت سیلابی، متوسط آن‌ها

در دیوار موازی ۱۰ سانتی‌متری و با افزایش عمق آب دشت سیلابی از  $4/8$  به ۱۰ سانتی‌متر، عمق آبستگي پای دیوار به ترتیب  $7/2$ ،  $8/7$ ،  $10/3$  و  $11/7$  سانتی‌متر مشاهده گردید. این امر به دلیل افزایش

در مقطع مرکب مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، از دیوارهای موازی تا حداکثر ۱/۵ برابر طول تکیه‌گاه با ۵ طول ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و با تنظیم دبی و عمق جریان در حد آستانه حرکت رسوبات ( $U/U_c = 0.95$ ) انجام شد. نتایج نشان داد دیوار موازی می‌تواند با تغییر الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه، حداکثر عمق آبشستگی را از دماغه بالادست تکیه‌گاه دور کرده و با عمق کم‌تری به پای دیوار موازی منتقل کند. افزایش گام به گام طول دیوار موازی باعث کاهش هرچه بیش‌تر عمق آبشستگی دماغه بالادست تکیه‌گاه و حتی رسوبگذاری در آن ناحیه گردید. اما افزایش طول دیوار موازی باعث افزایش هزینه‌های اجرای پروژه نیز می‌گردد. بنابراین باید طول بهینه دیوار موازی تعیین و اجرا گردد. با توجه به نتایج پژوهش، استفاده از دیوار موازی به طولی به‌میزان نصف طول تکیه‌گاه پل، به‌طور متوسط باعث ۵۵ درصد کاهش عمق آبشستگی در ناحیه دماغه بالادست تکیه‌گاه می‌شود. همچنین، استفاده از دیوار موازی به طولی به اندازه ۱/۲۵ برابر طول تکیه‌گاه پل، آبشستگی دماغه بالادست تکیه‌گاه را کاملاً مهار می‌نماید.

روش‌های بسیار زیادی مانند کیسه خاک، سنگ چین، طوق، و ... وجود دارند که می‌توانند به‌منظور کاهش آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها به‌کار گرفته شوند. احداث دیوار موازی نیز یکی از این روش‌ها می‌باشد. بسته به‌میزان اهمیت پروژه، ملاحظات اقتصادی، قابلیت اجرا و ... یک یا چند روش اجرا می‌شود.

برای هر عمق محاسبه گردید. متوسط عمق آبشستگی پای دیوار در عمق آب ۴/۸، ۶/۴، ۸/۳ و ۱۰ سانتی‌متری در دشت سیلابی به‌ترتیب ۷/۱، ۸/۷، ۱۰/۴ و ۱۱/۷ سانتی‌متر می‌باشد.

با توجه به شکل ۱۲ و جدول ۱، در یک عمق آب ثابت در دشت سیلابی، عمق آبشستگی پای دیوار موازی از عمق آبشستگی دماغه بالادست تکیه‌گاه در حالت بدون دیوار موازی، کم‌تر می‌باشد. در عمق آب ۴/۸، ۶/۴، ۸/۳ و ۱۰ سانتی‌متر روی دشت سیلابی، متوسط عمق آبشستگی پای دیوار در طول‌های مختلف دیوار موازی به‌ترتیب ۷/۱، ۸/۷، ۱۰/۴ و ۱۱/۷ سانتی‌متر و عمق آبشستگی دماغه بالادست تکیه‌گاه در حالت بدون دیوار موازی به‌ترتیب ۸/۵، ۱۰/۸، ۱۲/۶ و ۱۴ سانتی‌متر می‌باشد.

#### مقایسه نتایج این پژوهش و نتایج پژوهش لی (۲۰۰۵):

در این پژوهش، استفاده از دیوار موازی به طولی به‌میزان نصف طول تکیه‌گاه پل، به‌طور متوسط ۵۵ درصد کاهش عمق آبشستگی در ناحیه دماغه بالادست تکیه‌گاه مشاهده گردید. در پژوهش لی (۲۰۰۵) این میزان ۴۸ درصد گزارش شده بود (۱۴). همچنین، در این پژوهش، استفاده از دیوار موازی به طولی به اندازه ۱/۲۵ برابر طول تکیه‌گاه پل، کاملاً آبشستگی دماغه بالادست تکیه‌گاه را مهار کرده و حتی در آن ناحیه رسوبگذاری مشاهده گردید. در پژوهش لی (۲۰۰۵) استفاده از دیوار موازی به طولی به اندازه ۱/۶ برابر طول تکیه‌گاه پل، آبشستگی در دماغه بالادست تکیه‌گاه مشاهده نشد (۱۴).

#### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر احداث دیوار موازی بر میزان کاهش عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل با دیواره عمودی

## منابع

1. Ahmed, F., and Rajaratnam, N. 2000. Observations on flow around an abutment. *J. Eng. Mech.* 125: 1. 51-59.
2. Barbhuiya, A.K., and Dey, S. 2003. Vortex flow field in a scour hole around abutments. *Int. J. Sediment Res.* 18: 4. 310-325.
3. Barbhuiya, A.K., and Dey, S. 2004. Local scour at abutments: a review. *Sadhana, Indian Academy of Sciences.* 29: 139: 449-476.
4. Dey, S., and Barbhuiya, A.K. 2005a. Flow field at a vertical-wall abutment. *J. Hydraul. Eng.* 131: 12. 1126-1135.
5. Dey, S., and Barbhuiya, A.K. 2005b. Turbulent flow field in a scour hole at a semicircular abutment. *Can. J. Civil Eng.* 32: 1. 213-232.
6. Dey, S., and Barbhuiya, A.K. 2005c. Time variation of scour at abutments. *J. Hydraul. Eng.* 131: 1. 11-23.
7. Dey, S., and Barbhuiya, A.K. 2006a. 3D flow field in a scour hole at a wing-wall abutment. *J. Hydraul. Res.* 44: 1. 33-50.
8. Dey, S., and Barbhuiya, A.K. 2006b. Velocity and turbulence in a scour hole at a vertical-wall abutment. *J. Flow Measurement and Instrumentation.* 17: 1. 13-21.
9. FHWA Report. 2004. Enhanced abutment scour studies for compound channels. Publication No. FHWA-RD-99-156.
10. Johnson, P.A., Hey, R.D., Tessier, M., and Rosgen, D.L. 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. *J. Hydraul. Eng.* 127: 9. 772-778.
11. Korkut, R., Martinez, E.J., Morales, R., Ettema, R., and Barkdoll, B. 2007. Geobag performance as scour countermeasure for bridge abutments. *J. Hydraul. Eng.* 133: 4. 431-439.
12. Kwan, F. 1984. Study of abutment scour. Report No. 328, School of Engineering, University of Auckland, New Zealand.
13. Kwan, F. 1988. Study of abutment scour. Report No. 451, School of Engineering, University of Auckland, New Zealand.
14. Li, H. 2005. Countermeasures against scour at bridge abutments. Ph.D. Thesis, Michigan Technological University.
15. Melville, B.W. 1992. Local scour at bridge abutments. *J. Hydraul. Eng.* 118: 4. 615-631.
16. Melville, B.W. 1995. Bridge abutment scour in compound channels. *J. Hydraul. Eng.* 121: 12. 863-868.
17. Melville, B.W., Ballegooy, S.V., Coleman, S.E., and Barkdoll, B. 2007. Riprap size selection at wing-wall abutments. *J. Hydraul. Eng.* 133: 11. 1265-1269.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(3), 2015*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## The effect of parallel wall on reduction of bridge abutment scour in compound channels

M. Karimi<sup>1</sup>, M. Ghomeshi<sup>2</sup> and \*Y. Ramezani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of River Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, <sup>2</sup>Professor, Dept. of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Birjand

Received: 02/20/2014; Accepted: 09/13/2014

### Abstract

**Background and Objectives:** Scour can be the main factor of bridges failure, collapsing and as a result excessive repair costs and decreasing the access to the paths. Bridge failures due to scour at bridge abutments reveal importance of scour prediction and countermeasure. Most of the bridges abutments are located in floodplains. This study aims to investigate the effect of parallel wall construction on vertical wall abutment scour in compound channels.

**Materials and Methods:** The experiments were carried out in a flume of 9 m long, 1 m wide. A compound channel was used consisting of a floodplain width of 0.7 m and main channel width of 0.3 m. The elevation difference between the floodplain bed and the main channel bed was 0.15 m. A clear water scour condition was maintained for all the runs adjusting the approaching flow condition to  $U/U_c=0.95$ . 4 discharges of 20, 25, 30 and 35 lit/sec were selected. Incipient motion experiments in the floodplain were conducted and 4 depths of 4.8, 6.4, 8.3 and 10 cm were achieved. In this research, parallel walls with lengths of 0.5, 0.75, 1, 1.25 and 1.5 times of abutment length were used. Therefore, 5 Parallel wall lengths of 10, 15, 20, 25 and 30 cm were calculated. Parallel wall attached to the upstream end of the abutment and parallel to the flow direction. Experiments continued until the scour hole had reached equilibrium approximately. Duration of time of 10 hour for an experiment was selected. At the end of each experiment, the flume was carefully drained and the bed elevations throughout the sediment recess were recorded by a laser meter with an accuracy of  $\pm 1$  mm.

**Results:** The results show that For constant flow depth and with increasing the parallel wall length, percentage of reduction of scour depth at the upstream corner of the abutment increased, with a decreasing rate. Also, for constant flow depth and with different lengths of the parallel walls, same approximate scour depth results were seen at parallel wall noses. With increasing the flow depth, scour depth at the parallel wall nose increased. Using a parallel wall with length of half of the abutment length, depend on flow depth, 51 to 64 percent reduction in scour depth at the upstream corner of the abutment was observed.

**Conclusion:** With use of parallel wall, the scour depth at the upstream corner of the abutment (critical point of scour) is decreased and in some cases at the upstream corner of the abutment the deposition was observed. Parallel wall can keep the maximum scour depth away from the upstream corner of the abutment and transfer it with a lower depth to the parallel wall nose.

**Keywords:** Local scour, Bridge failure, Parallel wall, Flow pattern, Floodplain

---

\* Corresponding Author; Email: [y.ramezani@birjand.ac.ir](mailto:y.ramezani@birjand.ac.ir)