علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤١، شماره‌ی۳، پاییز ۹۷، ص. ٤٤-۲۹

بررسی تأثیر زبری‌های موضعی در کنترل و کاهش آبشستگی موضعی تکیه‌گاه پل

حامد شهسواری[1*] و منوچهر حیدرپور[2]

۱*-نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد. hshahsavary@yahoo.com
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

تاریخ دریافت:۹۵/۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۲۳

چکیده

یکی از مهم‌ترین مباحث مهندسی رودخانه آبشستگی موضعی در تکیه‌گاه‌های پل است که به‌صورت گسترده‌ای در شش دهه گذشته مورد مطالعه قرار گرفته است. دلیل این امر تخریب اکثر پل‌ها به دلیل آبشستگی موضعی اطراف پایه و تکیه‌گاه آن‌ها می‌باشد و نه به دلیل سازه‌ای. از این رو یافتن راهکاری برای کاهش عمق آبشستگی از اهمیت خاصی برخوردار است. در روش‌های تغییر دهنده الگوی‌جریان، کنترل آبشستگی به وسیله کاهش قدرت جریان‌های موثر در آبشستگی صورت می‌گیرد. از جمله این روش‌ها می‌توان به زبری‌های موضعی اشاره کرد. در این تحقیق که آزمایشات در شرایط آبشستگی آب‌زلال و بر روی تکیه‌گاه نیم‌دایره‌ای انجام شد، اثر زبری‌های موضعی در عمق‌های مختلف و فواصل متفاوت و با ضخامت ثابت، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این زبری‌ها در کاهش عمق آبشستگی و همچنین تأخیر در روند آبشستگی موثر بوده است. به طوری که وجود یک مقدار بهینه برای فاصله بین زبری‌ها سبب افزایش عملکرد زبری‌ها شده است. همچنین در بهینه‌ترین فاصله بین زبری‌ها هر چه عمق زبری افزایش یابد موجب کاهش بیشتر عمق آبشستگی و تأخیر بیشتر در روند آن خواهد شد.

کلید واژه‌ها: آبشستگی موضعی، تکیه‌گاه پل، زبری‌های موضعی، ضخامت، فاصله.

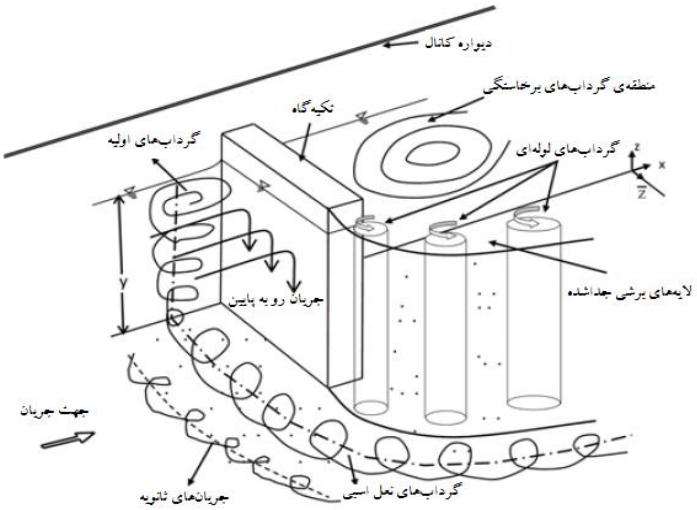
مقدمه

پل‌ها از جمله مهم‌ترین و پرکاربردترین سازه‌های رودخانه‌ای هستند و برای موارد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. آبشستگی موضعی بر اثر ایجاد موانعی مانند پایه‌های پل‌ها، تکیه‌گاه‌های کناری و آبشکن‌ها در مسیر جریان و در اطراف این موانع رخ می‌دهد. این موانع می‌توانند سرعت موضعی جریان و آشفتگی آن را افزایش دهند و بسته به شکل سازه می‌توانند گردابه‌هایی ایجاد نمایند که نیروهای فرسایشی اضافی را بر بستر اطراف سازه اعمال نمایند. در نتیجه، نرخ حرکت رسوب و فرسایش به صورت موضعی در حوالی این سازه‌ها افزایش می‌یابد و منجر به پایین رفتن موضعی بستر نسبت به تراز عمومی بستر آبراهه می‌گردد (Shafai Bajestan, 1994). آبشستگی موضعی در محل تکیه‌گاه پل‌ها موجب آسیب به پل‌ها و در موارد زیادی تخریب پل و پایین افتادن عرشه پل شده و منجر به خسارات مالی و جانی فراوانی می‌شود. علل اصلی خرابی بسیاری از پل‌ها قبل از پایان عمرشان، عدم توجه به معیارهای هیدرولیکی در طراحی و اجرا و نگهداری از آنهاست (Thompson, 2006).

بر اساس مطالعه‌های Melville (1992) ۱۰۸ شکست پل در فاصله سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۸۴در نیوزیلند رخ داده که ۲۹ مورد آن ناشی از آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است. وی همچنین خاطر نشان می‌سازد که ۷۰ درصد هزینه‌های شکست پل در نیوزیلند ناشی از آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است. در ایران بر طبق آمار انجام شده مشکل آبشستگی موضعی در پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل عامل اصلی تخریب آن‌ها می‌باشد که از جمله می‌توان به پل تالار در استان مازندران اشاره کرد که در سال ۱۳۶۹ تحت تاثیر آبشستگی قرار گرفت و در بدترین حالت درحدود ۱۰ تا ۱۴ متر عمق آبشستگی ایجاد شد و منجر به معلق شدن بعضی پایه‌ها شد که برای پل بسیار خطرساز بود (Sturm, 2006).

تحقیقات در زمینه‌ی مکانیسم آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها نشان داده است که مکانیسم آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها بسیار شبیه به مکانیسم آبشستگی در پایه پل‌ها است. جریان پایین‌رونده و گرداب اصلی در گوشه بالادست تکیه‌گاه پل، همواره با گرداب‌های ثانویه و گرداب‌های برخاستگی در قسمت میانی و گوشه‌ی انتهایی تکیه‌گاه پل باعث ایجاد فعل و انفعالات پیچیده‌ای بین سیال و مواد بستر می‌شود که دلیل اصلی آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها است.

در شکل (۱) میدان جریان پیرامون یک تکیه‌گاه پل نشان داده شده است. عوامل موثر آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل را می‌توان به جریان پایین رونده، گرداب موج کمانی، گرداب‌های اولیه (گرداب‌های نعل‌اسبی)، گرداب ثانویه و گرداب‌های برخاستگی تقسیم‌بندی نمود.



شکل ۱- میدان جریان در اطراف تکیه‌گاه پل (Koken and Constantinescu, 2008)

تخریب پل‌ها در نتیجه آبشستگی پی یا تکیه‌گاه پل‌ها موجب ترغیب روزافزون پژوهشگران برای مطالعه و بررسی پدیده آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل و ارائه روش‌های کنترل و کاهش آبشستگی شده است. در چندین دهه گذشته مطالعات بسیاری جهت شناخت مکانیزم، توسعه آبشستگی و پدیده آبشستگی اطراف تکیه‌گاه، توسط افرادی چون Melville 1992، Molinas et al 1998، Dey et al 2005 و Melville et al. 2006 انجام شده است.

روش‌های کاهش آبشستگی توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته که هریک از آن‌ها دارای مزایا و معایبی است. در روش‌های مقاوم‌سازی مواد مختلفی را در بستر، سواحل و در مجاورت آبشکن قرار می‌دهند تا توانایی و مقاومت بستر و دیواره‌ها در برابر آبشستگی افزایش یابد. از این روش‌ها می‌توان به سنگ‌چین اشاره کرد. در روش‌های تغییر دهنده الگوی‌جریان، کنترل آبشستگی به وسیله کاهش قدرت جریان صورت می‌گیرد. از این روش‌ها می‌توان به پره‌های مستغرق و طوق‌ها اشاره کرد. (Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision of Iran, 2011).

Johnson et al. (2001) تأثیر صفحات مستغرق را در جلوگیری از آبشستگی تکیه‌گاه پل‌ها از طریق مدل آزمایشگاهی بررسی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که این صفحات، سرعت جریان و تنش برشی را در ساحل کاهش داده و سرعت جریان را در مرکز کانال افزایش می‌دهند. استفاده از صفحه مدفون روشی برای کنترل آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها با دیواره قائم و آبشکن‌های قائم است که توسط Alizadeh et al. (2012) معرفی شده است. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که صحفه مدفون تا حدود ۶۰ درصد حداکثر عمق آبشستگی را کاهش می‌دهد.

Kayaturk et al. (2012) در زمینه عملکرد طوق بر پیشرفت آبشستگی اطراف تکیه‌گاه مستطیلی بلند، در آستانه حرکت ذرات بستر، آزمایش‌هایی انجام داده‌اند. آزمایش‌ها در کانالی با عرض ۱/۵ متر و شیب طولی ۰/۰۰۰۱ و با نسبت سرعت u_*/u_{*c}=۰/۹ (در حالت آب‌زلال) انجام شد. آن‌ها با نصب طوق با اندازه‌های مختلف در ترازهای متغیر دریافتند که با قرارگیری طوق در تراز پایین‌تر از بستر نتایج بهتری حاصل می‌شود. بر اساس این آزمایش‌ها، زمانی که طوق در تراز ۵۰ میلی‌متر پایین‌تر از کف بستر قرار بگیرد، آبشستگی تا ۶۷ درصد کاهش می‌یابد. از روش‌های دیگر کاهش میزان آبشستگی تکیه‌گاه‌ها استفاده از دیواره‌های افقی به صورت بال‌ها در بالادست و پایین‌دست تکیه‌گاه می‌باشد (Li et al, 2006).

استفاده از کابل‌های پیچیده شده به دور پایه برای اولین بار توسط Dey et al (2006) به عنوان یک روش اقتصادی، ساده و قابل اجرا در کنترل و کاهش آبشستگی پیشنهاد گردید. در این روش کابل به صورت حلزونی به دور پایه پیچیده شده و منجر به تضعیف جریان روبه‌پایین و قدرت گردابه‌های نعل‌اسبی می‌گردد. Dey et al (2006) کارایی کابل پیچیده شده به دور پایه را در دو شرایط جریان موجدار و جریان پایدار مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش قطر کابل و تعداد کابل‌های پیچیده شده به دور پایه و کاهش زاویه کابل‌ها میزان آبشستگی کاهش می‌یابد.

Izadinia و Heydarpour (2014) در مورد عملکرد کابل در کاهش آبشستگی آزمایش‌هایی انجام دادند، نتایج نشان داد که کابل پیچیده شده به دور پایه در کاهش آبشستگی مؤثر بوده و با کاهش زاویه پیچش و افزایش قطر کابل راندمان کابل افزایش می‌یابد.

ایجاد شکاف در پایه به عنوان راه حلی در کاهش گرادیان فشار بین سطح آب و بستر و همچنین کاهش قدرت جریان رو به پایین پیشنهاد شده است. Heydarpour (2002) تأثیر ایجاد شکاف در بدنه پایه‌های استوانه‌ای منفرد بر پدیده آبشستگی را

مورد بررسی قرار داد. از جمله محدودیت‌های وارد بر شکاف آن است که راندمان شکاف برای جریان‌های زاویه‌دار کاهش یافته، همچنین وجود شکاف باعث کاهش استقامت و پایداری پایه پل می‌شود.

Molinas et al. (1998) آزمایش‌هایی را برای تکیه‌گاه‌های مستطیلی شکل و جریانی با عدد فرود بین ۰/۳ تا ۰/۹، انجام دادند. آنان با توجه به نتایج آزمایشات گزارش کردند که تنش برشی در تکیه‌گاه‌ها نسبت به تنش برشی جریان بالادست تکیه‌گاه تا ده برابر افزایش می‌یابد درحالی‌که سرعت جریان در محل جلوآمدگی تکیه‌گاه‌ها نسبت به سرعت جریان بالادست ۱/۵ برابر افزایش می‌یابد. Kwan (1988) نیز در آزمایش‌های خود بر روی تکیه‌گاه‌های ذوزنقه‌ای و نیم‌دایره به این نتیجه رسید که حداکثر عمق آبشستگی برای مقدار ثابت (τ_0 / τ_c) (که نزدیک به واحد باشد)، با افزایش اندازه‌ی ذرات بستر، افزایش می‌یابد.

در اینجا برخی از روابط محاسبه روند آبشستگی در تکیه‌گاه توسط محققین مختلف ارائه شده است:

رابطه Oliveto و Hager (2002).

$$\frac{d_{st}}{L_R} = 0.068 N_s \sigma_g^{-0.5} F_d^{1.5} \log(T_R) \qquad (۱)$$

که در آن N_s عدد یا شماره شکل، L_R طول مبنا که برابر است با $L_R = L^{2/3} y^{1/3}$ و T_R زمان بی‌بعد که برابر است با $T_R = t \frac{(\Delta g d_{50})^{0.5}}{L_R}$، L طول تکیه‌گاه، y عمق جریان، d_{st} عمق آبشستگی در هر لحظه، d_{50} قطر متوسط ذرات، σ_g انحراف معیار هندسی ذرات.رابطه Coleman et al. (2003):

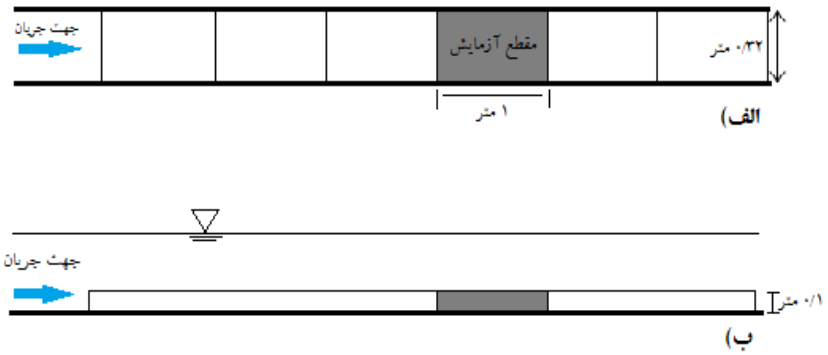
$$\frac{d_{st}}{d_s} = \exp\left[-0.07 \left(\frac{V_c}{V} \right) \left| \ln\left(\frac{t}{t_e} \right) \right|^{1.5} \right] \qquad (۲)$$

d_{st} عمق آبشستگی در هر لحظه، d_s عمق آبشستگی نهایی، v_c سرعت بحرانی، v سرعت متوسط، t زمان، t_e زمان تعادل. هدف ازمطالعه حاضر ارائه روشی جدید و کارآمد در کنترل و کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل و بررسی عوامل موثر در این روش می‌باشد. یکی از راه‌حل‌های کنترل و کاهش آبشستگی موضعی ایجاد زبری برروی تکیه‌گاه پل است که برای ایجاد برجستگی روی پایه، در هنگام بتن‌ریزی حلقه‌های کروی و زاویه‌دار اجرا می‌شود. در این مطالعه با استفاده از زبری‌های ایجاد شده روی تکیه‌گاه نیم‌دایره‌ای، به بررسی تاثیر این زبری‌ها بر مقدار کاهش آبشستگی در تکیه‌گاه پرداخته شد.

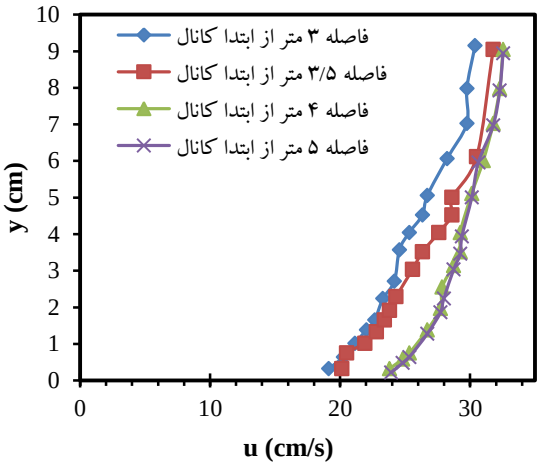
مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در کانال آزمایشگاهی به طول ۷، عرض ۰/۳۲ و ارتفاع ۰/۳۶ متر با کف افقی انجام گرفته است. یک پمپ وظیفه‌ی انتقال آب از مخزن اصلی به کانال را عهده‌دار است که حداکثر دبی آن ۱۰/۵ لیتر بر ثانیه است. کانال به یک مخزن حجم- زمان مجهز است که به کمک آن می‌توان دبی را اندازه‌گیری کرد. یک سرریز قابل تنظیم در پایین‌دست، عمق آب در کانال را تنظیم می‌نماید. منطقه انجام آزمایش‌ها در کانال، دارای طول ۱ متر و ارتفاع بستر ۱۰ سانتیمتر است که از ابتدای کانال ۴ متر فاصله دارد. در بالادست و پایین‌دست این محل، سکوهایی از جنس تفلون به طول ۱ متر و ارتفاع ۰/۱ متر نصب گردید، تا تغییر تراز مشهودی در بین سطح انجام آزمایش با کف کانال ایجاد نشود. (شکل ۲).

طول فلوم در بالادست محل قرارگیری تکیه‌گاه به گونه‌ای انتخاب شـده کـه جریـان کاملاً توسعه یافته باشد. در ادامه با توجه به پروفیل‌های سرعت برداشت شده توسط دستگاه سرعت‌سنج ADV در طول فلوم، پروفیل‌های سرعت در محل انجام آزمایشات بر روی هم منطبق شده‌اند، که نشان از توسعه یافتگی جریان می‌باشد، (شکل ۳).



شکل۲- نمایی از کانال آزمایشگاهی الف) پلان ب) مقطع عرضی



شکل۳ – نیمرخ‌های برداشته شده سرعت توسط دستگاه ADV در طول کانال

برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی، طبق نظر Raudkivi و Ettema (1983) فاصله محور تکیه‌گاه تا دیواره روبرویی کانال به طول تکیه‌گاه باید بزرگتر از ۶/۲۵ باشد. بر اساس این معیار و با کمی ملاحظات بیشتر طول تکیه‌گاه‌ها برابر با L=۳۰ میلی‌متر و از جنس پلاستیک تفلون و در تمامی آزمایش‌ها از تکیه‌گاه نیم‌دایره‌ای کوتاه L/y<۱ (L شعاع تکیه‌گاه و y عمق جریان) استفاده شده است. ارتفاع تکیه‌گاه‌ها با توجه به این نکته که تکیه‌گاه‌ها نباید در آب مستغرق گردد برابر ۳۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. همچنین طبق نظر Raudkivi و Ettema (1983) برای جلوگیری از تشکیل ریپل در طول آزمایش باید قطر متوسط ذرات بیش از ۰/۷ میلیمتر باشد. Melville (1992) بیان نمودند زمانیکه انحراف معیار هندسی ذرات کمتر از ۱/۳ می‌باشد می‌توان از تأثیر غیریکنواختی ذرات بر عمق آب‌شستگی صرف‌نظر کرد. بنابراین طبق معیارهای فوق فاصله بین سکوها به وسیله رسوبات غیرچسبنده و با قطر متوسط ۰/۷۲ میلیمتر، وزن مخصوص ۲/۶۵ و انحراف معیار هندسی ۱/۱۳ پرگردید. برای ثابت ماندن خصوصیات جریان در طول کانال از جنس رسوب انتخاب شده برای محل آزمایش روی سکوها چسبانده شد. شکل (۴) نمایی از مدل تکیه‌گاه و نحوه‌ی قرارگیری آن در کانال را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه حداکثر عمق آبشستگی در شرایط جریان آب‌زلال و در هنگامی که شرایط جریان در فلوم کمتر از شرایط آستانه حرکت باشد، رخ می‌دهد، همه آزمایش‌ها در این شرایط صورت گرفت (Shafai Bajestan,1994). بنابراین برای تعیین آستانه حرکت ذرات، آزمایشی بدون حضور تکیه‌گاه در کانال انجام شد. جریان با دبی ۱۰/۵ لیتر بر ثانیه و عمق ۱۵ سانتی‌متر در کانال برقرار گردید. در این عمق هیچ حرکتی در ذرات بستر مشاهده نشد. پس از آن با استفاده از سرریز انتهایی عمق آب در کانال به تدریج کاهش یافت. عمقی که در آن ذرات شروع به حرکت نمودند به عنوان عمق بحرانی در نظر گرفته شد که این عمق معادل ۱۱ سانتی‌متر بود و بنابر اصل پیوستگی $u=\frac{Q}{Bz}$، B عرض کانال است. سرعت بحرانی به‌دست آورده می‌شود:

Z_c=۱۱ cm➔u_c=۲۹/۸۲ cm/s

همچنین با استفاده از رابطه‌ی Raudkivi و Sutherland (1981) به شکل زیر:

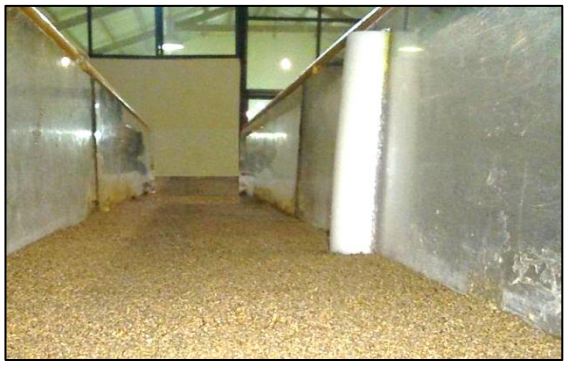
$$\frac{u_c}{u_{*c}}=5.75\log\frac{u_{*c}z_c}{\nu}+5.5 \qquad (۳)$$

ν لزجت سینماتیک است. سرعت برشی بحرانی (u_{*c}) برابر ۱/۲۶۵ سانتی‌متر بر ثانیه به دست آمد. با در نظر گرفتن سرعت برشی جریان (u_*) برابر ۰/۹۵ سرعت‌برشی بحرانی و با استفاده از رابطه‌ی (۳) عمق جریان برابر ۱۲ سانتی‌متر به دست آمد و در نهایت سرعت ۲۸/۵ سانتی‌متر بر ثانیه به‌دست می‌آید.

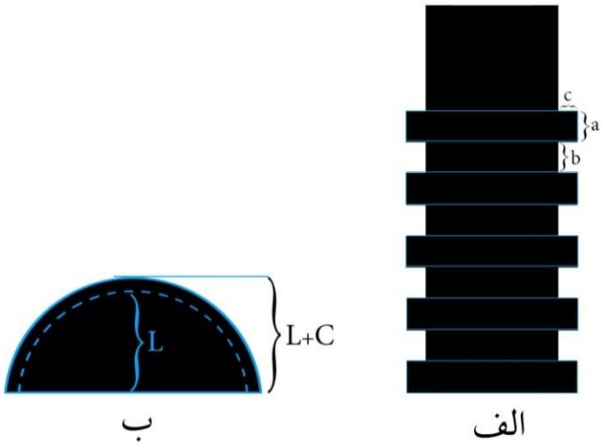
در نتیجه نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی (u/u_c) برابر ۰/۹۵ بدست آمده است.

نحوه‌ی قرارگیری زبری‌ها نسبت به هم در شکل (۵) نشان داده شده است. همچنین به منظور بررسی تاثیر عمق زبری‌ها و تعیین فاصله مناسب بین زبری‌ها در کنترل و کاهش عمق آبشستگی مجموعا ۱۰ آزمایش مطابق جدول (۱) انجام گرفت. ضخامت زبری‌ها در طول همه آزمایشات ثابت در نظر گرفته شده است.

علوم و مهندسی آبیاری (مجله ی علمی- پژوهشی)، جلد ۴۱، شماره‌ی۳ پاییز ۹۷



شکل٤- مدل آزمایشگاهی تکیه‌گاه نصب شده در کانال



شکل٥- طرح شماتیک از زبری‌ها روی تکیه‌گاه الف) نما از روبرو ب) پلان

جدول۱- ابعاد زبری‌های لبه‌ی تیز

شماره آزمایش	Q(l/s)	a	b	c
۱	۱۰/۵	۰	۰	۰
۲	۱۰/۵	۰/۰۵ L	۰/۱۵ L	۰/۱ L
۳	۱۰/۵	۰/۰۵ L	۰/۴۵ L	۰/۱ L
۴	۱۰/۵	۰/۰۵ L	۰/۷۵ L	۰/۱ L
۵	۱۰/۵	۰/۰۵ L	۰/۱۵ L	۰/۰۷۵ L
۶	۱۰/۵	۰/۰۵ L	۰/۴۵ L	۰/۰۷۵ L
۷	۱۰/۵	۰/۰۵ L	۰/۷۵ L	۰/۰۷۵ L
۸	۱۰/۵	۰/۰۵ L	۰/۱۵ L	۰/۰۵ L
۹	۱۰/۵	۰/۰۵ L	۰/۴۵ L	۰/۰۵ L
۱۰	۱۰/۵	۰/۰۵ L	۰/۷۵ L	۰/۰۵ L

تحلیل ابعادی

قبل از انجام آزمایش‌ها ابتدا به واسطه تحلیل ابعادی، پارامترهای مهم در پدیده آبشستگی در اطراف دماغه تکیه‌گاه بررسی شد. عوامل مورد استفاده در تحلیل ابعادی عبارتند از:

- عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض کانال در مقطع قبل از تکیه‌گاه (B_1)، عرض کانال در مقطع تنگ شده (B_2) و شیب کانال (S).
- پارامترهای مربوط به هندسه تکیه‌گاه: طول تکیه‌گاه(L)، فاصله‌ی زبری‌ها (b)، بیرون زدگی یا عمق زبری (c) و ضخامت یا ارتفاع زبری (a).

– عوامل مربوط به هیدرولیک جریان: سرعت متوسط جریان در مقطع قبل از تکیه‌گاه (v)، عمق جریان (y)، حداکثر عمق آبشستگی دماغه تکیه‌گاه (h_s)، شتاب ثقل (g)، طول گودال آبشستگی (L_1) و عرض گودال آبشستگی (w).

– عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر: قطر متوسط ذرات (D_{50})، چگالی رسوبات بستر (G_s) و سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر (v_c).

– عوامل مربوط به خواص سیال: جرم مخصوص سیال (ρ) و لزوجت دینامیکی (μ).

با در نظر گرفتن جرم مخصوص سیال (ρ)، عمق جریان (y) و سرعت متوسط جریان (v) به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش باکینگهام می‌توان پارامترهای بدون بعد مهم را به صورت زیر بدست آورد:

$$\frac{h_s}{y},\frac{w}{y},\frac{L_1}{y}=f(\frac{b}{y},\frac{c}{y},\frac{a}{y},\frac{B_1}{y},\frac{B_2}{y},\frac{L}{y},\frac{v}{v_c},\mathrm{Re},Fr,\frac{v}{\sqrt{g(G_s-1)D_{50}}},s) \qquad (۳)$$

با توجه به این که قطر متوسط مصالح در تمام آزمایش‌ها برابر می‌باشد و اثر پارامتر سرعت در عدد فرود جریان لحاظ شده است و عدد فرود در آزمایشات ثابت می‌باشد، در نتیجه از پارامترهای مربوطه صرف نظر شده است. به علاوه به علت اینکه محدوده عدد رینولدز برای این آزمایش‌ها نزدیک ۲۰۰۰۰ می‌باشد و جریان آشفته است، از پارامتر Re صرف نظر شد. پارامترهای S، $\frac{L}{y}$، $\frac{B_2}{y}$، $\frac{B_1}{y}$، $\frac{a}{y}$ نیز به دلیل ثابت بودن کنار گذاشته شدند. همچنین چون عمق نهایی گودال آبشستگی در این مقاله مد نظر است، از طول و عرض گودال آبشستگی چشمپوشی شده است، در نهایت داریم:

$$\frac{h_s}{y}=f(\frac{b}{y},\frac{c}{y}) \qquad (۴)$$

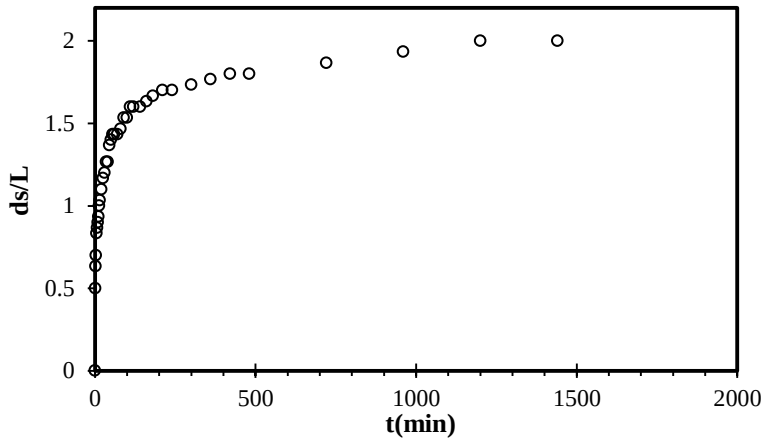
نتایج و بحث

با توجه به اهمیت زمان تعادل با مروری بر مطالعات صورت گرفته مشخص می‌شود که محققین معیارهای مختلفی را برای زمان تعادل آبشستگی به‌کار برده‌اند. Kummar et al. (1999) زمانی را به عنوان زمان تعادل آبشستگی در نظر گرفت که سه ساعت پس از آن، عمق آبشستگی کمتر از یک میلیمتر تغییر کند. Vittal et al. (1994)، زمانی را که شش ساعت پس از آن، عمق آبشستگی کمتر از یک میلیمتر تغییر کند را به‌عنوان زمان تعادل آبشستگی انتخاب کردند. Melville و Chiew (1999)، تعریف جدیدی برای زمان تعادل ارائه دادند. طبق تعریف آنها زمان تعادل، به قطر پایه بستگی دارد و زمانی است که در آن حفره‌ی آبشستگی تا عمقی توسعه یابد که سرعت افزایش آبشستگی در آن بیشتر از ۵ درصد قطر پایه در طول ۲۴ ساعت متوالی نباشد.

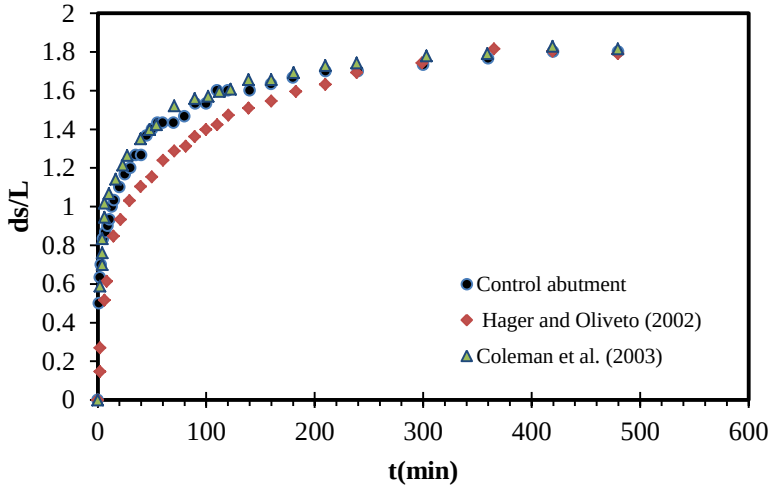
از آن‌جا که هدف این تحقیق مقایسه توسعه‌ی زمانی گودال آبشستگی تکیه‌گاه شاهد با تکیه‌گاه‌های زبری‌دار بوده است لذا معیار Kummar et al. (1999) برای زمان تعادل انتخاب گردید. با در نظر گرفتن این معیار، زمان تعادل برابر با ۲۴ ساعت به دست آمد.

Yanmaz و Altinbilek (1991) و هم‌چنین Mia و Nago (2003) نشان دادند که بیشترین مقدار آبشستگی پس از گذشت ۳ تا ۴ ساعت از شروع آزمایش اتفاق می‌افتد. با توجه به شکل (۶) مشخص گردید که ۹۰ درصد از عمق تعادل آبشستگی پس از گذشت ۸ ساعت از شروع آزمایش بدست می‌آید. از این رو معمولاً زمان انجام آزمایش‌ها کمتر از زمان تعادل آبشستگی انتخاب می‌گردد. در این تحقیق به منظور مقایسه روش‌های مختلف کنترل آبشستگی زمان ۸ ساعت به عنوان زمان توقف آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. در شکل (۶) محور افقی زمان بر حسب دقیقه و محور عمودی عمق آبشستگی در هر لحظه به طول تکیه‌گاه می‌باشد. سایر نمودارها، محور افقی برحسب نسبت زمان به زمان تعادل هشت ساعته (t/t_e) و محور عمودی نسبت عمق گودال آبشستگی در هر لحظه به طول تکیه‌گاه (d_s/L) آورده شده است.

در شکل (۷) توسعه زمانی عمق آبشستگی بی‌بعد برای تکیه‌گاه پل با نتایج Oliveto و Hager (2002) و Coleman et al. (2003) در شرایط آبشستگی آب‌زلال مقایسه شده است. مقایسه‌ها نشان از تطابق خوب روند آبشستگی تحقیق حاضر با دو تحقیق دیگر می‌باشد. همان‌طور که از شکل پیداست آبشستگی در اوایل زمان با سرعت بیشتری گسترش می‌یابد و با گذشت زمان به یک تعادل نسبی دست پیدا می‌کند. در معادله Coleman et al. (2003) پارامترهای موثر بر آبشستگی مانند σ_g، d_{50} و ρ_s به طور کلی و در معادله Oliveto و Hager (2002) نیز σ_g، d_{50} و ρ_s را به صورت مستقیم وارد کردند که به نظر می‌رسد دلیل نزدیکی نمودار این تحقیق با نمودار این دو تحقیق می‌باشد. علاوه بر این به دلیل استفاده از پارامترهای بی‌بعد سرعت و زمان در معادله Coleman et al. (2003) روند آبشستگی تحقیق حاضر با ایشان نزدیک‌تر است. به نظر می‌رسد دلیل اختلاف کمی که در روند آبشستگی این تحقیق با Oliveto و Hager (2002) مشاهده می‌شود، استفاده از u/u_c بزرگتر و نزدیک به یک این تحقیق نسبت به u/u_cهای به کار گرفته شده توسط Oliveto و Hager باشد.



شکل٦- روند آبشستگی تکیه‌گاه شاهد در مقابل زمان



شکل۷- مقایسه نتایج آبشستگی با نتایج Oliveto و Hager (2002) و Coleman et al. (2003)

شکل (۸) مقایسه توسعه زمانی آبشستگی در تکیه‌گاه شاهد و تکیه‌گاه‌های داری زبری با عمق ثابت (c=۰/۱L) و در فواصل مختلف در ماکزیمم نقطه را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل (۸) دیده می‌شود وجود زبری‌ها از قدرت جریان روبه پایین می‌کاهد و از آن‌جا که گردابه‌های اولیه (نعل اسبی) در اثر جریان روبه پایین به وجود می‌آیند، گردابه‌های اولیه ضعیف‌تر شده و از شدت و روند آبشستگی و همچنین عمق نهایی آبشستگی کاسته می‌شود.

با توجه به شکل (۸) و ثابت بودن میزان بیرون‌زدگی زبری‌ها (c)، با افزایش فاصله بین آنها از ۰/۱۵L به ۰/۴۵L شدت توسعه گودال آبشستگی کاهش می‌یابد. در صورتی که با افزایش دوباره این فاصله به مقدار ۰/۷۵L مقدار آبشستگی افزایش می‌یابد. با توجه به شکل (۸) اختلاف موجود بین دو نمودار b=۰/۴۵L و b=۰/۷۵L بیانگر نقش مؤثر فاصله موجود بین زبری‌ها است؛ بنابراین هر چه سطح زبری‌های موجود در مسیر جریان رو به پایین بیشتر باشد انرژی جریان رو به پایین بیشتر مستهلک می‌شود. تأثیر زبری‌ها زمانی به‌صورت حداکثر خواهد بود که علاوه بر انتخاب بیشترین مقدار سطح زبری موجود در مسیر جریان رو به پایین، فاصله مناسب بین زبری‌ها رعایت شده باشد. اگرچه کم بودن فاصله بین زبری‌ها سبب افزایش سطح مؤثر زبری‌های موجود در مسیر جریان رو به پایین می‌شود ولی از طرفی این امر سبب کاهش میزان برخورد جریان با زبری‌ها می‌شود. به‌گونه‌ای که در صورت برخورد جریان با زبری‌هایی که فاصله کمی نسبت به هم دارند؛ شرایط لازم جهت راه‌یابی میدان جریان به فضای بین زبری‌ها مهیا نمی‌شود. درنتیجه از کارایی زبری‌ها کاسته می‌شود.

بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات مشاهده شد که نزدیکی بیش از حد زبری‌ها به یکدیگر باعث افزایش طول موثر تکیه‌گاه (L+c) در مقابل جریان و کاهش کمتر آبشستگی نسبت به دو فاصله دیگر می شود. با افزایش فاصله‌ی بین زبری‌ها از میزان حداقلی که برای فاصله بین زبری‌ها در نظر گرفته شده است، روند و عمق آبشستگی نهایی کاهش می‌یابد که به نظر

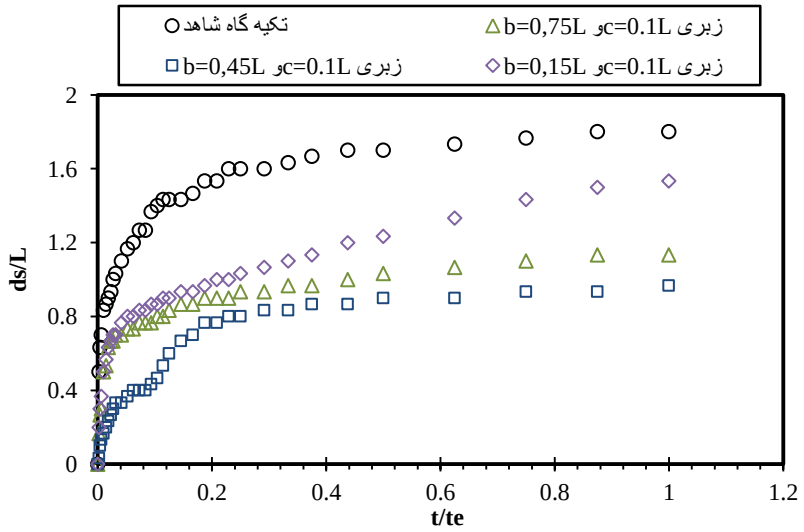
می‌رسد احتمالا دلیل این کاهش، افزایش فاصله‌ی بین زبری‌ها است که باعث کاهش طول موثر تکیه‌گاه می‌شود. از طرفی می‌توان گفت با افزایش فاصله بین زبری‌ها، فضای بیشتری برای به وجود آمدن جریان روبه‌پایین و افزایش سرعت این جریان ایجاد می شود. در نتیجه برخورد این جریان با زبری‌ها موجب مستهلک شدن جریان روبه پایین می‌شود، به عبارتی می‌توان گفت با افزایش فاصله‌ی میان زبری‌ها نسبت به کمترین حالت، کاهش عمق نهایی آبشستگی مشاهده می‌گردد.

از سوی دیگر این افزایش فاصله، دارای یک مقدار ماکزیمم است به طوریکه بعد از این مقدار، با افزایش فاصله بین زبری‌ها عمق آبشستگی مجددا افزایش می‌یابد. که احتمالا به دلیل قدرتمندتر شدن جریان روبه‌پایین و کاهش تعداد زبری‌ها باشد که در نهایت منجر به کاهش سطح موثر در مسیر جریان روبه‌پایین می‌شود. همچنین می‌توان گفت با افزایش مجدد فاصله زبری‌ها، تماس زبری در قامت تکیه‌گاه با بستر کمتر شده که منجر به افزایش دوباره آبشستگی نسبت به حالت قبل می‌گردد.

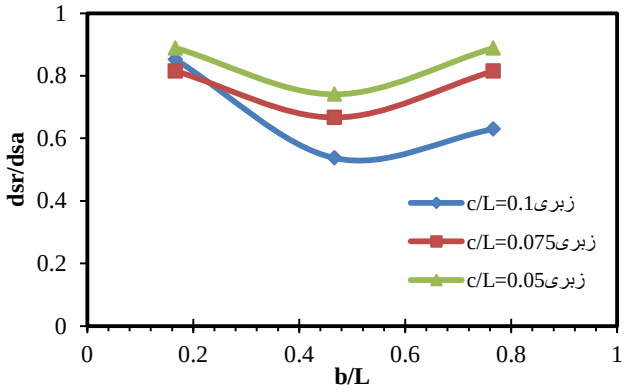
برای دید بهتر، شکل (۹) روند تغییرات عمق آبشستگی موضعی را برای b/L های مختلف و سه مقدار c/L هنگامی‌که a/L برابر با ۰/۰۵ باشد نشان می‌دهد. البته آوردن چنین روندی با اطمینان بالا مستلزم افزایش دامنه این نمودار و انجام آزمایش‌های تکمیلی در مطالعات آینده می‌باشد.

با توجه به شکل (۹) به ازای مقادیر b/L< ۰/۲۲ افزایش بیرون‌زدگی‌ها در ابتدا باعث کاهش عمق آبشستگی ولی افزایش بیشتر آن سبب کاهش عملکرد زبری شده است که به دلیل فاصله کم زبری‌ها و افزایش عمق آن‌ها موجب افزایش طول مؤثر تکیه‌گاه با وجود زبری شده در نتیجه عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. برای مقادیر ۰/۲۲ < b/L<۰/۵۶ با افزایش فاصله بین زبری‌ها سبب افزایش کارایی زبری‌ها می‌شود. همان طور که دیده می‌شود با افزایش عمق زبری (بیرون‌زدگی زبری) مقدار آبشستگی در بهترین حالت فاصله‌ی بین زبری‌ها کاهش می‌یابد. افزایش فاصله بین زبری‌ها به ازای مقادیر b/L >۰/۵۶ سبب کاهش سطح مؤثر موجود در مسیر جریان روبه پایین و در نتیجه کاهش عملکرد زبری‌ها می‌شود.

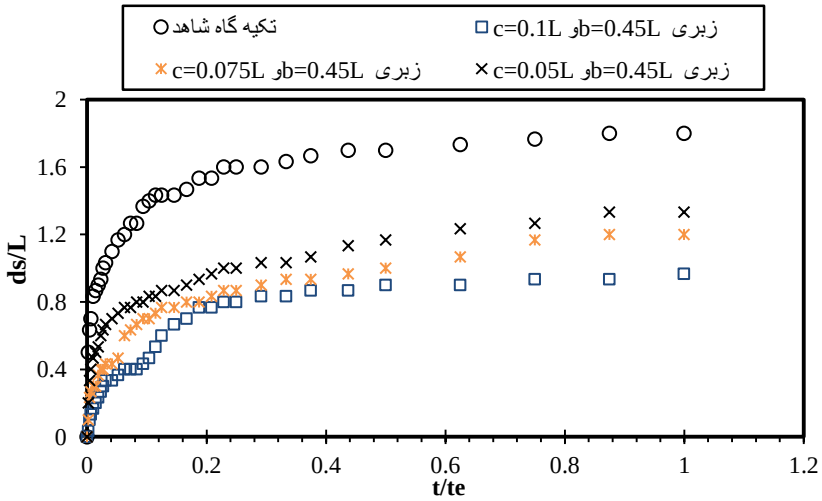
حال با انتخاب b=۰/۴۵L به عنوان موثرترین فاصله بین زبری‌ها، به بررسی میزان عمق زبری‌ها در کاهش روند آبشستگی پرداخته می‌شود. شکل (۱۰) مقایسه توسعه آبشستگی در تکیه‌گاه شاهد و تکیه‌گاه‌های داری زبری با عمق‌های مختلف و در فاصله ثابت (b=۰/۴۵L) در بیشترین نقطه را نشان می‌دهد.



شکل۸- تأثیر فاصله زبری‌ها در روند آبشستگی



شکل ۹- تأثیر فاصله و عمق زبری در کاهش عمق نهایی آبشستگی

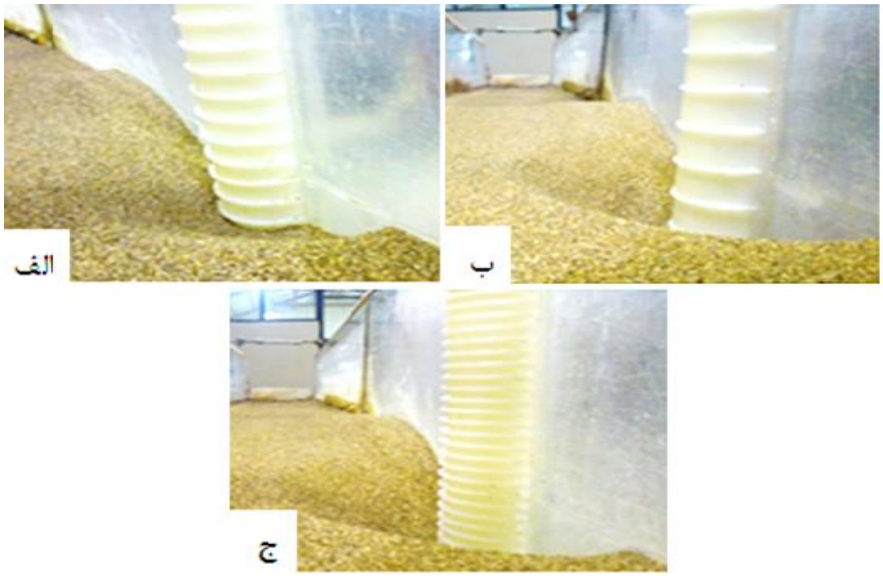


شکل ۱۰- تأثیر اندازه زبری‌ها در روند آبشستگی

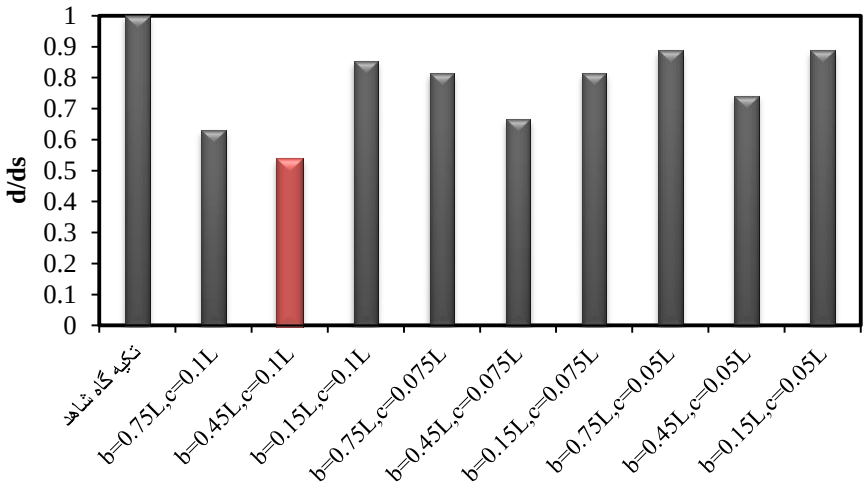
بنابر شکل (۱۰) هرچه عمق زبری افزایش یابد موجب کاهش بیشتر عمق آبشستگی و نیز تأخیر در روند آن خواهد شد. به نظر می‌رسد با افزایش عمق زبری‌ها، جریان رو به پایین هنگام برخورد به آن‌ها بیشتر منحرف شده و از برخورد مستقیم و شدید جریان به بستر جلوگیری و موجب کاهش بیشتر آبشستگی نسبت به تکیه-گاه‌هایی که دارای زبری‌های کوچک‌تر هستند، می‌شود. همچنین ذکر این نکته قابل بیان است که، هنگامی بستر دقیقاً زیر هر زبری قرار می‌گیرد، زبری همانند یک طوقه کوچک عمل کرده و موجب یک تأخیر زمانی کوتاه در روند آبشستگی می‌شود، که به عنوان نمونه این رخداد در توسعه آبشستگی مربوط به (b=۰/۴۵L و c=۰/۱L) در بازه ۰/۰۵ تا ۰/۰۹ دیده می‌شود. گمان می‌رود زبری‌هایی که در محدوده بالای بستر قرار می‌گیرند، باعث کاهش قدرت جریان‌های روبه‌پایین و زبری‌هایی که در محدوده زیر بستر قرار می‌گیرند باعث کاهش قدرت گرداب‌های اولیه و فعل‌وانفعالات درون گودال آبشستگی می‌شوند. شکل (۱۱) نمونه‌هایی از آزمایش‌های صورت گرفته را بر روی تکیه‌گاه‌های زبری‌دار به تصویر می‌کشد، قسمت الف این شکل مربوط به تکیه‌گاه دارای عمق زبری (c=۰/۱L) و فاصله بین زبری‌ها (b=۰/۴۵L)، همراه با گودال آبشستگی آن می‌باشد. قسمت ب و ج به ترتیب مربوط به تکیه‌گاه (b =۰/۷۵L و c=۰/۱L) و (b =۰/۱۵L و c=۰/۱L) می‌باشد. همان‌طور که مشخص است گودال شکل الف نسبت به دو شکل دیگر دارای گودال آبشستگی کوچک‌تر، هم از نظر عمق و نیز اندازه می‌باشد.

سایر آزمایش‌ها با اعماق زبری متفاوت و نیز فاصله‌های مختلف مطابق جدول (۱) انجام شد، که میزان عمق آبشستگی نهایی و درصد کاهش مقدار آن نسبت به تکیه‌گاه شاهد در شکل (۱۲) آمده است. محور افقی این نمودار مربوط به هر کدام از تکیه‌گاه‌ها و محور قائم آن به صورت بی‌بعد عمق آبشستگی نهایی هر تکیه‌گاه به عمق آبشستگی تکیه‌گاه شاهد (d_s/d_{se}) می‌باشد.

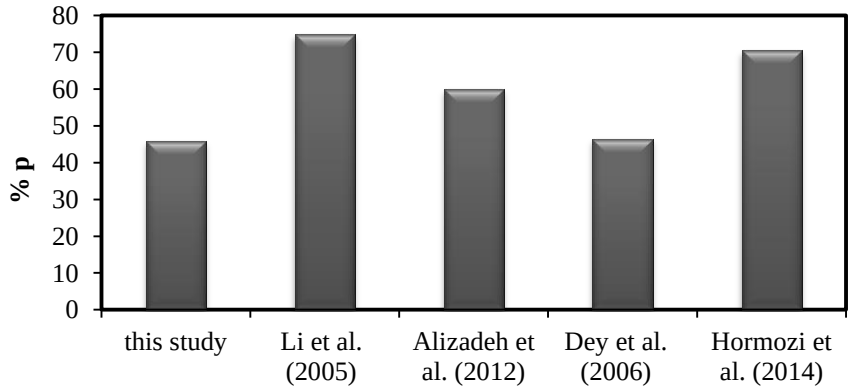
همچنین با توجه به شکل (۱۲) تکیه‌گاه دارای عمق زبری (c=۰/۱L) و فاصله بین زبری‌ها (b=۰/۴۵L) که با رنگ قرمز مشخص شده است بیشترین عملکرد را در کاهش عمق آبشستگی دارد.



شکل۱۱- تصاویری از تکیه‌گاه های زبری‌دار مدل شده



شکل۱۲- مقدار آبشستگی نهایی هر یک تکیه‌گاه‌ها



شکل ۱۳- درصد کاهش آبشستگی روش‌های مختلف محققین

با توجه به جدید بودن روش استفاده از زبری موضعی در ارزیابی عمق آبشستگی در تکیه‌گاه، در ادامه به مقایسه‌ی این روش با سایر روش‌های انجام شده برای تعیین عمق آبشستگی پرداخته می‌شود.

Li et al. (2005) مطالعاتی در زمینه تأثیر طوق در کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه دیواربالهای در حالت آب‌زلال انجام دادند، آن‌ها دریافتند که اندازه طوق مؤثرترین پارامتر در کاهش میزان عمق آبشستگی است و همچنین به این نتیجه رسیدند که عمق آبشستگی تا ۷۵ درصد کاهش می‌یابد.

Alizadeh et al. (2012) شش زاویه‌ی (صفر، ۲۲، ۳۰، ۳۷/۵، ۴۵ و ۹۰ درجه) قرار گیری پرّه مدفون را در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پرّه-های مدفون قادرند عمق آبشستگی را از ۳۰ الی ۶۰ درصد کاهش دهند که بیشترین مقدار مربوط به زاویه ۳۷/۵ درجه با ۶۰ درصد کاهش و کمترین آن صفر درجه با ۳۰ درصد کاهش می‌باشد.

Dey et al. (2006) کارایی کابل پیچیده شده به دور پایه را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها آزمایش‌هایی را در شرایط جریان پایدار در کانالی به طول ۲۰ متر ، عرض ۰/۹ متر و عمق ۰/۷ متر با قطر پایه برابر ۲۰ سانتی‌متر و اندازه متوسط ذرات برابر با ۰/۲۶ میلی‌متر انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش قطر کابل و تعداد کابل‌های پیچیده شده به دور پایه و کاهش زاویه کابل‌ها میزان آبشستگی کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار کاهش آبشستگی برابر ۴۶/۳ درصد برای شرایطی که زاویه کابل برابر ۱۵ و نسبت قطر کابل به پایه برابر ۰/۱ است گزارش گردید.

Hormozi et al. (2014) به بررسی اثر زبری‌های مستطیلی شکل بر کاهش میزان آبشستگی موضعی در اطراف پایه پل مربعی شکل در کانالی به طول ۷/۳۰ متر، عرض ۰/۵۶ متر و ارتفاع ۰/۵۶ متر با شیبی طولی معادل ۰/۰۰۲۸ پرداختند و به این نتایج دست یافتند که به‌طورکلی زبری‌ها باعث کاهش عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون زبری می‌شوند. همچنین بیشترین کاهش عمق آبشستگی مربوط به زبری با ارتفاع h=۳/۸D، عرض b=۱/۱۶D و فواصل قرارگیری l=۱/۴D بوده است. بطور کلی نتایج نشان داد که زبری می‌تواند تا ۷۰ درصد باعث کاهش عمق آبشستگی پایه شود که میزان این کاهش به نحوه چیدمان زبری، ابعاد و شرایط جریان بستگی دارد.

همراستا با یافته‌های این محققان نتایج مطالعه حاضر حاکی از کاهش ۴۶ درصدی عمق نهایی آبشستگی در بهترین حالت قرارگیری زبری‌ها نسبت به یکدیگر می‌باشد. که در نهایت با مقایسه‌ی تمامی نتایج با یکدیگر می‌توان گفت بخش عمده‌ای از تفاوت نتایج، به دلیل نوع روش مورد استفاده برای ارزیابی میزان عمق آبشستگی می‌باشد.

شکل (۱۳) میزان کاهش آبشستگی روش‌های استفاده شده هر یک از محققان ذکر شده را نشان می‌دهد. در این میان به نظر می‌رسد نتایج روش استفاده از کابل تقریبا به نتایج بررسی حاضر نزدیکتر است. که نشان از شباهت قرارگیری زبری موضعی حول تکیه‌گاه با کابل پیچیده شده در اطراف پایه پل می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر از روش زبری موضعی در تکیه‌گاه به منظور کنترل و کاهش آبشستگی استفاده شده است. نتایج نشان داد که این زبری‌ها در کاهش عمق آبشستگی و همچنین تأخیر در روند آبشستگی موثر بوده است. از عوامل موثر بر عملکرد زبری‌ها:

۱. تأثیر فاصله بین زبری‌هاست، کم بودن فاصله بین زبری‌ها که موجب کاهش فضای مناسب بین زبری‌ها و افزایش طول تکیه‌گاه می‌شود. همچنین زیاد بودن فاصله بین زبری‌ها موجب کاهش سطح مؤثر موجود در مسیر جریان رو به پایین و کمبود تعداد زبری می‌شود، بنابراین وجود یک مقدار بهینه برای فاصله بین زبری‌ها سبب افزایش عملکرد زبری و کاهش مقدار آبشستگی می‌گردد.

۲. تأثیر اندازه اعماق زبری بر عملکرد زبری، که در رابطه با فاصله بین زبری‌ها می‌باشد. در بهینه‌ترین فاصله بین زبری‌ها هر چه عمق زبری افزایش یابد موجب کاهش بیشتر عمق آبشستگی و نیز تأخیر در روند آن خواهد شد.

۳. زبری‌هایی که در محدودی بالای بستر قرار می‌گیرند، باعث کاهش قدرت جریان‌های روبه‌پایین و زبری‌هایی که در محدوده زیر بستر قرار می‌گیرند باعث کاهش فعالیت گرداب‌های اولیه می‌شوند.

۴. به صورتی که تکیه‌گاه با عمق زبری c=۰/۱L و فاصله بین زبری‌ها b=۰/۴۵L و در ضخامت ثابت زبری، موجب کاهش ۴۶ درصدی میزان آبشستگی نسبت به تکیه‌گاه بدون زبری شده است. بنابراین می‌توان از زبری‌های موضعی به عنوان یک روش عملی در هنگام بتن‌ریزی و کم هزینه و کارآمد در کنترل و کاهش آبشستگی استفاده کرد.

منابع

1- Alizadeh, V.N., Saneie, M., and Azhdary Moghaddam, M. 2012. Experimental investigations on effect of buried vane' angels to control scour at vertical wall abutments and spur dykes. *9th International Congrees on Civil Engineering. Isfahan. Iran*.

2- Coleman, S.E., Lauchlan, C.S. and Melville, B.W., 2003. Clear-water scour development at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Research, 41*(5), pp.521-531.

3- Dey, S. and A. K. Barbhuiya 2005. Time variation of scour at abutments. *Journal of Hydraulic Engineering, 131*(1): 11-23.

4- Dey, S., Sumer, B. M., Fredsøe, J. 2006. Control of scour at vertical circular piles under waves and current. *Journal of Hydraulic Engineering, 132*(3): 270-279.

5- Heidarpour, M. 2002. Control and reduction of local scour at bridge piers by using slot. *Proceeding of River Flow, Louvain, Belgium, 2*:1069-1072.

6- Hormozi, M., Taleb Bidokhti, N., Shafai Bajestan, M. 2014.'Experimental Investigation of Applications of Artificial Roughness for Bridge Pier Scour Reduction, *Journal of Hydraulics*, *9*(2), pp. 11-21. (In Persian)

7- Izadinia, E., Heydarpoor, M. 2014. Investigation and Comparison of Efficiency of Cable and Groove in Protection Against Scouring, *Irrigation Sciences and Engineering*, *37*(1), pp. 23-32. (In Persian)

8- Johnson, P., Hey, R., Tessier, M., and Rosgen, D. 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. *Journal of Hydraulic Engineering, 127*(9): 772-778.

9- Kayaturk, S. Y., M. A. Kokpinar, and M. Gogus. 2004. Effect of collar on temporal development of scour around bridge abutments. *2nd International Conference on scour and erosion, IAHR, Singapore*, *7*: 14-17.

10- Koken, M. and Constantinescu, G., 2008. An investigation of the flow and scour mechanisms around isolated spur dikes in a shallow open channel: 1. Conditions corresponding to the initiation of the erosion and deposition process. *Water Resources Research*, *44*(8): 1-16.

11- Kummar, V., Ranga Raju, K. G., and N. Vittal. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slot and collar. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125*(12): 1302–1305.

12- Kwan, T.F., 1988. A study of abutment scour. School of Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand (No. 451). Report.

13- Li, H., Barkdoll, B., Kuhnle, R., and Alonso, C. 2006. Parallel walls as an abutment scour countermeasure. *Journal of Hydraulic Engineering, 132*(5): 510-520.

14- Li, H.-M. T., R. Kuhnle, and B. M. T. Barkdoll. 2005. Countermeasures against scour at abutments. *Lab Publ. 49*: 150.

15- Melville, B. 1992. Local scour at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering, 118*(1): 615-631.

16- Melville, B. W. and Y. M. Chiew. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(1): 59–65.

17- Melville, B., van Ballegooy, S., Coleman, S., and Barkdoll, B. 2006. Scour countermeasures for wing-wall abutments. *Journal of Hydraulic Engineering, 132*(6): 563-574.

18- Mia, F. and H. Nago. 2003. Design Method of Time-Dependent Local Scour at Circular Bridge Pier. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 117*(7): 891-904.

19- Molinas, A., K. Kheireldin, and B. Wu. 1998. Shear stress around vertical wall abutments. *Journal of Hydraulic Engineering, 124*(8): 822-830.

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

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

22- Raudkivi, A. J., and Sutherland, A. J. 1981. Scour at bridge crossings. *Report No. 51*, Road Research Unit, National Roads Board, Wellington, New Zealand.

23- Shafai Bajestan, M. 1994. *Hydraulics of Sediment.* Ahvaz. univ. press. 327p. (In Persian).

24- Sturm, T. W. 2006. Scour around bankline and setback abutments in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineerin,. 132*(1): 21-32.

25- Thompson, D. M. 2006. The role of vortex shedding in the scour of pools. *Advances in Water Resources, 29*(2): 121-129.

26- Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision of Islamic Republic of Iran. (2011). Guideline for Estimation of Local Scour. *No. 549.* (In Persian)

27- Vittal, N., U. Kothyari, and M. Haghighat. 1994. Clear-water scour around bridge pier group. *Journal of Hydraulic Engineering, 120*(11): 1309-1318.

28- Yanmaz, A. M., and H. D. Altinbilek. 1991. Study of time-dependent local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 117*(10):1247–1268.

Shahid Chamran University of Ahvaz
Irrigation Sciences and Engineering **Vol. 41, No. 3, Fall 2018, p. 29-44**

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Local Roughness on Local Scouring Reduction at Bridge Abutment

H. Shahsavari[*1] and M. Heidarpour[2]

1[*]-Corresponding Author, Ph.D. Student, in the field of Hydraulic Structures, Agricultural College, Ferdowsi University of Mashhad , Mashhad, Iran. (*hshahsavary@yahoo.com*).
2- Professor, Department of Water Engineering, Agricultural College, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Received: 17 April 2016 Accepted:13 November 2016

Keywords: Abutment, Local scour, Local roughness, Thickness, Distance.

Introduction

Bridges are one of the most important structures which are under attention from many years. Bridge is a structure to cross over obstacles such as rivers or valleys. In recent decades, despite using modern materials and technology, and spending lot of costs for designing and building bridges, failure of them are commonly reported due to flood and local scouring. Local scouring occurs by placing obstacles such as abutments in flow direction. Different methods of reducing scour hole have been investigated by researchers. (Johnson et al. (2001) and Kayaturk et al. (2012)).

The methods of scour reduction are divided to two main groups, known as direct and indirect methods. In direct methods or bed resistant methods, the resistant of bed against scouring is increased by adding different materials to the bed and near groin. In these methods, flow patterns remain constant but resistant of bed materials increases. Morales et al. 2008 investigated these kinds of methods by using of gravels and rocks. Korkut et al. 2006 used sacks of sands (geo bag). In indirect methods which are known for changing flow pattern, changes are made to flow pattern to reduce the power of destructive vortexes or remove them from head of abutment. Examples of investigating these methods are using parallel walls in abutments by Li et al. 2006, using submerged plates by Johanson et al 2001 who investigated a short vertical abutment in flood plain of a river. They investigated effects of different cases of placement submerged plates in main channel on water scouring. They reported that these plates eliminate vortexes from abutment and scour hole will transfer to the middle of the river; however scour depth will increase in this method.

One way of controlling and reducing local scouring, is to create roughness on abutments which are prominent spherical and angled rings concrete. In this study, by creating roughness on semi-circular abutment, their effects on reducing scour depth were investigated.

Methodology

Experiments were carried out in a flume which is 7 m long, 0.32 m wide and 0.36 m deep with horizontal bed slope. A pump with a maximum discharge capacity of 10.5 lit/s circulated water from sump. A movable weir located at downstream of flume controlled water level.

To minimize sidewall effects on local scouring, Raudkivi and Ettema 1983 determined the ratio of the distance between abutment axis and the wall to the length of the abutment greater than 6.25. According to this number, the length of the abutment in this study was chosen as 30 mm

and from Perspex. In all experiments a short semicircular abutment L/y<1 (in which L is the radius of the abutment and y is flow depth) was used. According to Raudkivi and Ettema (1983) to avoid ripples, the median size of bed materials should be greater than 0.7 mm. Therefore, according to mentioned studies, the experiments were carried out using non cohesive sediments with median diameter of 0.7 mm, specified gravity of 2.65 and geometric standard deviation of 1.2.

To investigate the effects of the depth of roughness and determine the appropriate distance between roughness to control and reduce scour hole, 10 runs were carried out according to table 1. The thickness of roughness is constant in all runs.

Table 1- the dimensions of sharp edge roughness

Test No.	*a (roughness height)*	*b (distance between roughnesses)*	*c (roughness depth)*
1	0	0	0
2	0.05 L	0.15 L	0.1 L
3	0.05 L	0.45 L	0.1 L
4	0.05 L	0.75 L	0.1 L
5	0.05 L	0.15 L	0.075L
6	0.05 L	0.45 L	0.075L
7	0.05 L	0.75 L	0.075L
8	0.05 L	0.15 L	0.05L
9	0.05 L	0.45 L	0.05L
10	0.05 L	0.75 L	0.05L

Findings

Existence of roughness will reduce the final scouring depth and intensity of scouring. It seems that the existence of roughness will reduce the power of downward flow. As the creation of initial vortexes (horseshoe vortexes) is due to existence of downward flows, reducing the intensity of them will reduce initial vortexes and this will effect on scouring. Figure 1 illustrates the effect of roughness intervals on scour depth in different roughness depth.

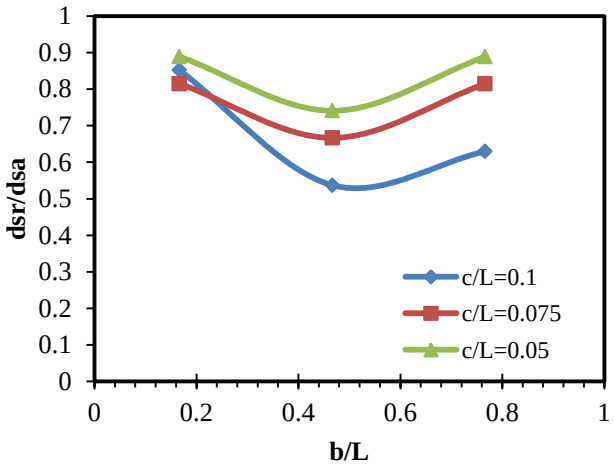


Fig. 1- Effect of roughness interval and the size of roughness in scour reduction

Totally, there is a special relation between the interval and the depth of roughness. In field operations it is crucial to pay attention to the point that increasing the roughness depth has a lot of limitations. So according to figure 1, The abutment with roughness depth, interval and constant thickness of (c=0.1L), (b=0.45L) and (a=0.05L) respectively has the most efficiency on reduction of final depth and trend intensity of scouring.

Conclusion

In this study, the local roughness method is used for abutments to control and reduce scouring. Results revealed that the existence of roughness is effective for scour hole reduction. By increasing the depth of roughness and also by choosing an appropriate distance between them, the efficiency of roughness will increases, in which roughness with depth of c=0.1L, intervals of b=0.45L and constant thickness of a=0.05L will reduce scouring by 46%. Therefore, local roughness can be used as an operable method while concreting, economical and reliable way of controlling and reducing scouring.

References

1- Johnson P.A., Hey R. D., Tessier M., and D. L. Rosgen 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. *Journal of Hydraulic Engineering, 127*(9): 772–778.

2- Li H., B. D. Barkdoll, R. Kuhnle and C. Alonson 2006. Parallel walls as an abutment scour countermeasure. *Journal of Hydraulic Engineering, 132*(5):510-520.

3- Kayaturk, S. Y., M. A. Kokpinar, and M. Gogus. 2004. Effect of collar on temporal development of scour around bridge abutments. *2nd International Conference on scour and erosion, IAHR, Singapore, 7*: 14-17.

4- Korkut R., Martinez E. J., Morales R., Ettema R. and B. Barkdoll 2006. Geobag performance as scour countermeasure for bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering, 133*(4):431–439.

5- Morales R., R. Ettema and B. Barkdoll 2008. Large-scale flume tests of riprap-apron performance at a bridge abutment on a floodplain. *Journal of Hydraulic Engineering, 134*(6): 800–809.