

اثر شکاف در کاهش آبشستگی آبشکن با دیواره عمودی

میلاذ عبدالله پور^{1*}، نسرین حسن پور¹، پیام خسروی نیا² و علی حسین زاده دلیر³

تاریخ دریافت: 91/07/11 تاریخ پذیرش: 91/09/06

¹ دانش آموخته کارشناس ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

² دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

³ استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.abdolahpour@yahoo.com

چکیده

آبشکن‌ها برای محافظت سواحل فرسایش پذیر در رودخانه استفاده می‌شوند. این سازه در معرض فرسایش ناشی از تمرکز جریان در قسمت دماغه خود می‌باشد. به همین دلیل باید با روش‌هایی مانع از تخریب این سازه و صدمه‌های مالی و جانی جبران ناپذیر آن شد. یکی از این روش‌ها، استفاده از شکاف است. کاربرد اصلی شکاف، منحرف کردن جریان پایین‌رونده و جریان‌های کناری در وجه بالادست آبشکن و کاهش قدرت گرداب‌های اطراف آبشکن می‌باشد. در تحقیق حاضر ابتدا به بررسی عمق، ابعاد حفره و توسعه زمانی آبشستگی آبشکن با دیواره عمودی پرداخته و در ادامه عملکرد مدل‌های مختلف شکاف با تغییرات ارتفاع، عمق، عرض شکاف، همچنین فاصله از دماغه آبشکن مورد ارزیابی قرار گرفته و با حالت آبشکن بدون شکاف مقایسه گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مدل‌های دارای شکافی که شامل ارتفاع شکاف تا زیر بستر، عمق شکاف معادل عرض آبشکن و نزدیک دیواره کانال و عرض شکاف‌های بیشتر باشند عملکرد بهتری در کاهش عمق و ابعاد حفره آبشستگی داشتند. همچنین درصد کاهش عمق آبشستگی برای مدل‌های مختلف از 11/8 تا 43 درصد متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، آبشکن، توسعه زمانی، جریان پایین رونده، شکاف

Effect of Slot on Reduction of Scouring Around the Vertical Abutment

M Abdolapour^{1*}, N Hasanpour¹, P Khosravinia² and A Hosseinzadeh Dalir³

Received: 3 October 2011 Accepted: 26 November 2012

¹Former M.Sc. student of Hydraulic Engin., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

²Ph.D student, Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

³ Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

*Corresponding Author Email: m.abdolapour@yahoo.com

Abstract

Abutments are used to protect erodible river banks. This structure is subjected to scouring due to flow convergence at the nose of structure. Therefore, countermeasure methods should be employed in order to prevent financial damages and life hazards. One of these methods is to use a slot. The main application of a slot is to deviate and change the down flow at the upstream region of an abutment. Also it reduces the power of vortices around the abutment. In this research, parameters such as depth, hole dimensions and time development of scoring process were measured around a vertical abutment. Operation of the slot was then evaluated at different height, depth, width and distance from the abutment nose and compared with unprotected abutment. The results showed that the models for which the slot was installed near the wall under the bed with the depth equal to the width of the abutment had the best performance. The amount of scour reduction for different models was 11.8 to 43 percent.

Keywords: Abutment, Down flow, Scour, Slot, Time development.

مقدمه

رودخانه و در پل‌ها به عنوان تکیه گاه جانبی² مورد استفاده قرار می‌گیرند. زمانی که در بستر رودخانه سازه‌های تنگ کننده جریان نظیر تکیه گاه پل، آبشکن و پایه پل قرار می‌گیرد، الگوی جریان سه بعدی به دلیل توسعه جریان گردابی در مجاورت تنگ شدگی تغییر می‌کند. الگوی جریان و مکانیزم آبشستگی اطراف آبشکن و تکیه‌گاه پل یک پدیده پیچیده است که از اثر متقابل جریان آشفته سه بعدی در میدان اطراف آبشکن ناشی می‌شود و به برداشته شدن مواد بستر و توسعه

هنگامی که سازه‌ای در بستر رودخانه قرار می‌گیرد تغییراتی را در جریان رودخانه اعمال می‌کند که باعث افزایش ظرفیت انتقال رسوب در سیال شده و منجر به ایجاد آبشستگی¹ خواهد شد. آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که با هدف انحراف جریان از ساحل فرسایش‌پذیر رودخانه، ایجاد مسیر مناسب برای هدایت جریان، کنترل سیلاب، برقراری عمق لازم برای اهداف کشتیرانی، حفاظت دیواره خارجی قوسها و اصلاح مسیر

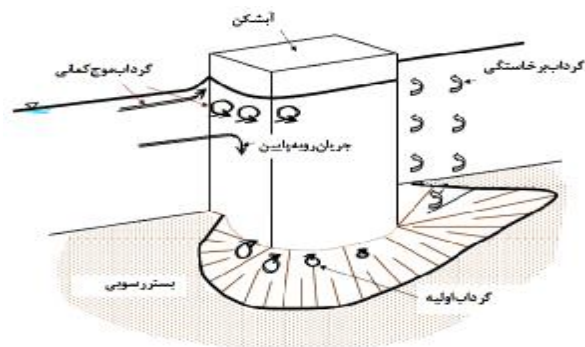
² Bridge abutment

¹ Scouring

توانایی و مقاومت بستر و دیواره‌ها در برابر آبخستگی افزایش یابد. از این گروه میتوان به سنگ چین¹، بلوک‌های بهم چسبیده² و ژئوبگ³ اشاره کرد. گروه دوم روش‌های اصلاح الگوی جریان هستند که به منظور تغییر الگوی جریان و کاهش شدت گرداب‌های ایجاد شده در اطراف آبشکن به کار می‌روند. از این گروه می‌توان به صفحات مستغرق⁴، دیواره‌های موازی⁵، طوق⁶ و شکاف⁷ اشاره کرد.

کاربرد اصلی شکاف، منحرف کردن جریان پایین‌رونده در وجه بالادست آبشکن و جریان‌های کناری در اطراف آبشکن می‌باشد چرا که مهمترین عامل ایجاد آبخستگی، جریان پایین‌رونده در وجه بالادست آبشکن‌ها و همچنین توسعه‌ی گرداب‌های ثانویه می‌باشد. شکاف در نزدیکی سطح آب اجازه می‌دهد که جریان نزدیک سطح از شکاف گذشته و اثر مشابهی مانند اثر جریان کم عمق ایجاد کند که در این حالت باعث کاهش قدرت جریان پایین‌رونده و گرداب نعل اسبی می‌گردد. شکاف نزدیک بستر با ایجاد جت جریان افقی، جریان پایین‌رونده که یکی از عوامل اصلی فرسایش اطراف سازه می‌باشد را به فاصله‌ی دورتری از سازه منحرف کرده و باعث کاهش مؤثر جریان و گردیدان فشار گردیده و در نتیجه باعث کاهش عمق آبخستگی می‌شود (کومار 1996). همچنین تعبیه شکاف موجب کاهش میزان تنش‌های برشی کف کانال، کوچک‌تر شدن ناحیه تنش‌های برشی بحرانی و کاهش قدرت گرداب‌های مخرب شکل گرفته در اطراف سازه می‌شود (نوری فر و همکاران 1389). در زمینه استفاده از شکاف برای کاهش آبخستگی اطراف سازه‌ها، تحقیقاتی توسط حیدرپور و همکاران (2007 و 1382) پیرمحمدی

یک حفره آبخستگی حوالی آبشکن یا تکیه گاه منجر می‌شود و سازه را در معرض تخریب قرار داده و خطرات جانی و مالی را به همراه دارد (کلمن و همکاران 2003، باربیهوا و دی 2004). وجود سازه آبشکن در مسیر جریان، باعث ایجاد جریان آشفته‌ی چرخشی و گردابی در اطراف آن خواهد شد. این جریان‌های گردابی به همراه تمرکز شدید سرعت‌ها و آشفته‌گی در دماغه بالادست، مکانیزم اصلی آبخستگی موضعی به حساب می‌آیند (شکل 1). ترکیب این عوامل منجر به برداشته شدن مواد بستر از حوالی آبشکن یا تکیه‌گاه و توسعه یک حفره آبخستگی شده که در دراز مدت باعث ایجاد حفره‌های بزرگ در محل دماغه‌ی آبشکن و در نهایت احتمال شکست سازه را به دنبال خواهد داشت. به همین دلیل با کنترل و محافظت از این سازه در برابر آبخستگی و ارائه روش‌های مناسب کاهش آبخستگی می‌توان از این خسارات پیش‌گیری کرد.



شکل 1- مکانیزم آبخستگی در اطراف آبشکن (گراف 1996).

بطور کلی روش‌های کاهش آبخستگی به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول روش‌های مقاوم سازی بستر هستند که به منظور تقویت بستر و بالا بردن مقاومت آن در برابر تنش برشی ناشی از جریان استفاده می‌شوند. در این روش‌ها، مواد مختلفی را در بستر، سواحل و در مجاورت آبشکن قرار می‌دهند تا

¹ Riprap

² Cable tied block

³ Geobag

⁴ Vane

⁵ Parallel walls

⁶ Collar

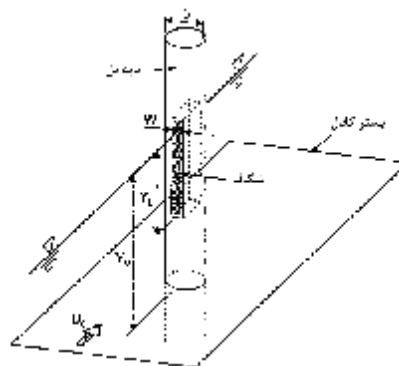
⁷ Slot

مونکادا و همکاران (2009) به بررسی عملکرد طوق و شکاف در کاهش آبشستگی پایه پل پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش ارتفاع شکاف و در صورت استفاده هم زمان با طوق می‌توان آبشستگی را 48 تا 85 درصد کاهش داد. حیدرژاد و همکاران (2010) تأثیر شکاف را در کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های پل در قوس 180 درجه بررسی کردند. آنها نشان داد درصد کاهش آبشستگی به ازای قرارگیری شکاف در ارتفاع‌های مختلف از سطح بستر بین 12 تا 23/8 درصد می‌باشد. ایزدی نیا و همکاران (1387) اثر شکاف را در کاهش آبشستگی گروه پایه‌های مستطیلی با دماغه‌ی گرد مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که با تغییر فواصل بین پایه‌ها در عرض کانال عملکرد شکاف در پایه‌ها افزایش یافته و این تأثیر در پایه‌های عقبی بیشتر است. نوری فر و همکاران (1389) میدان سه بعدی جریان اطراف پایه پل استوانه‌ای بدون شکاف و پایه دارای شکاف مستطیلی با نسبت‌های بازشدگی متفاوت و پایه با شکاف‌های بازشونده و تنگ شونده را با کمک نرم افزار فلونت شبیه سازی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش بازشدگی شکاف، بر میزان تأثیرات مثبت آن در محافظت پایه در برابر آبشستگی موضعی افزوده شد. همچنین مدل شکاف بازشونده عملکرد مطلوبی در کاهش تنش‌های برشی کف در اطراف پایه از خود نشان داد.

زمان رسیدن به عمق تعادل آبشستگی در پایه‌های پل و آبشکن‌ها بسیار زیاد است و ممکن است روزها، هفته‌ها و حتی ماهها به طول انجامد. وقتی که زمان رخ دادن سیل، خیلی کمتر از زمان لازم برای رسیدن به حالت تعادل حفره آبشستگی باشد، مطالعه تغییرات زمانی عمق آبشستگی خیلی مهم و ضروری است (کایاترک 2005).

بالیو و ارسی (2000) برای توسعه زمانی آبشستگی آبشکن با طول‌های 5 و 10 سانتی متر رابطه زیر را ارائه دادند:

(1383)، بابار و همکاران (2000) و تفرج نوروز و همکاران (2012) انجام پذیرفته است. چپو (1992) در مطالعات خود پارامترهایی همچون عرض، ارتفاع و موقعیت شکاف را بر روی پایه پل بررسی نمود. نتایج نشان داد که با قرارگیری یک شکاف با عرض 0/25 برابر قطر پایه پل و ارتفاع شکاف بزرگتر از 2 برابر قطر پایه، شکاف نزدیک بستر به میزان 20 درصد و نزدیک سطح آب تا 5 درصد به کاهش عمق آبشستگی کمک می‌کند. همچنین شکافی به عرض نصف پایه می‌تواند عمق آبشستگی را به میزان 30 درصد کاهش دهد. کومار (1996) برای تکمیل نتایج چپو (1992)، آزمایش‌هایی با شکافی به عرض 0/25 قطر پایه پل انجام داد. نتایج حاکی از آن بود که اگر ارتفاع شکاف تا سطح بستر ادامه داشته باشد کاهش آبشستگی حدود 18 درصد و با توسعه شکاف به تراز پایین‌تر از بستر آبشستگی را حدود 33 درصد می‌توان کاهش داد. کومار و همکاران (1999)، شکاف‌هایی به عرض 0/25 قطر پایه و با دو ارتفاع متفاوت $Y=y_0$ و $Y=y_0+ds$ عمق جریان یکنواخت و d_s عمق تعادل آبشستگی موضعی در پایه پل بدون شکاف) در پایه‌های استوانه‌ای ایجاد کردند (شکل 2). ایشان به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع شکاف، عمق آبشستگی کاهش پیدا می‌کند و شکاف‌هایی با ارتفاع بیشتر از عمق جریان، کاهش بیشتری در عمق آبشستگی ایجاد می‌کند.



شکل 2- نمایش شماتیک شکاف در پایه پل (کومار و همکاران 1999).

دماغه آبشکن در توسعه زمانی، کاهش عمق و ابعاد حفره آبستگي آبشکن انجام گردید.

مواد و روش ها

آزمایشها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز و در کانال مستطیلی بطول 9 متر، عرض 0/25 متر، ارتفاع 0/5 متر و شیب کف کانال 0/0022 انجام گرفت. کانال در قسمت ابتدایی و انتهایی دارای مخزن بوده که در مخزن انتهایی یک سریز مثلی برای اندازه گیری دبی جریان تعبیه شده است. آب مورد نیاز کانال توسط یک پمپ با حداکثر دبی 60 لیتر بر ثانیه در یک مدار بسته تامین می شود، که برای تنظیم دبی خروجی از موتور پمپ، از شیر فلکه تعبیه شده قبل از دهانه ورودی به مخزن بالادست استفاده می گردد. عمق آب در کانال توسط یک دریچه کشویی در انتهای کانال تنظیم می شود. کانال آزمایشگاهی به دو قسمت بستر متحرک و کف کاذب تقسیم می شود، بدین صورت که کف کانال توسط سکویهای فلزی به ارتفاع 14 سانتی متر و عرضی برابر با عرض کانال، بالا آورده شد و منطقه ای بین سکوها به طول 2/5 متر که ابتدای آن در فاصله 3/5 متری از ابتدای کانال قرار داشت به عنوان منطقه مورد آزمایش منظور شد. شکل 3 پلان مدل آزمایشگاهی را نشان می دهد.

$$\frac{d_s}{d_{se}} = 1 - e^{-0.028 \left(\frac{rV}{\sqrt{L_a y}} \right)^{0.33}} \quad [1]$$

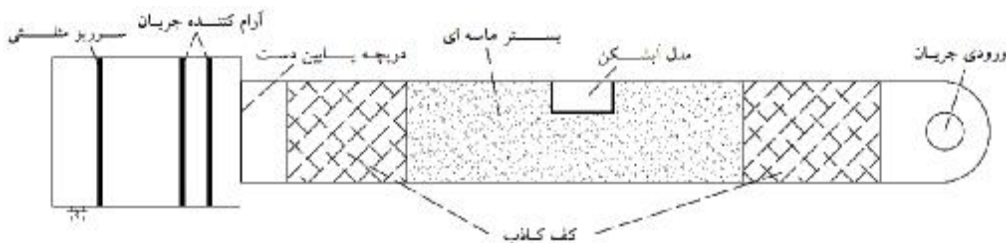
که در این رابطه، t زمان آبستگي، V سرعت جریان، L_a طول آبشکن و y عمق جریان می باشد. کاردوسو و بتس (1999) توسعه زمانی آبستگي در شش آبشکن با مصالح بستر 0/835 میلی متر را مورد بررسی قرار دادند و نهایتاً رابطه زیر را ارائه کردند:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = 1 - \left[-1.025 \left(\frac{t}{T} \right)^{0.35} \right] \quad [2]$$

در این رابطه، T زمانی از آبستگي است که در آن $d_s = 0.632 d_{se}$ باشد. کولمن و همکاران (2003) برای توسعه زمانی آبستگي اطراف آبشکنهای با دیواره عمودی رابطه زیر را ارائه کردند:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = \exp \left[-0.07 \left(\frac{V}{V_c} \right)^{-1} \ln \left(\frac{t}{t_e} \right)^{1.5} \right] \quad [3]$$

در این رابطه، t_e زمان تعادل آبستگي می باشد. با توجه به اینکه در زمینه استفاده از شکاف در کاهش آبستگي آبشکنها تحقیقی صورت نگرفته است، لذا در تحقیق حاضر ابتدا به بررسی آبستگي آبشکن با دیواره عمودی پرداخته و در ادامه آزمایشهایی جهت تعیین عملکرد مدل های مختلف شکاف با تغییرات ارتفاع، عمق، عرض شکاف، همچنین فاصله از



شکل 3- پلان فلوم آزمایشگاهی.

و برای سرعت بحرانی از رابطه زیر (توزیع لگاریتمی سرعت) استفاده شد:

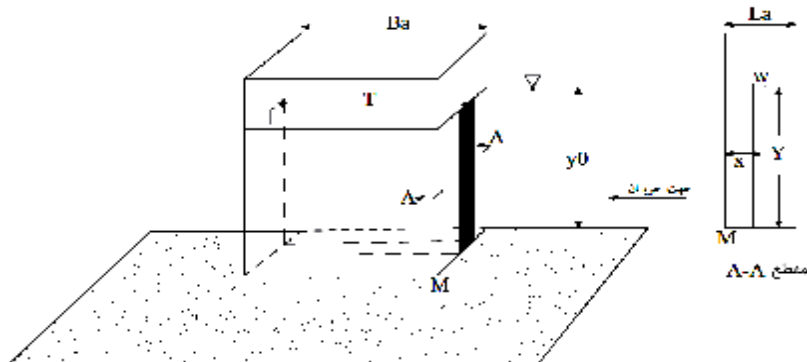
$$\frac{V}{U_*} = 5.75 \log\left(\frac{yU_*}{n}\right) + 5.5 \quad [6]$$

در رابطه فوق U_* سرعت برشی بستر، u لزجت سینماتیکی، V سرعت جریان و y عمق آب می-باشد (شفاعی بجستان 1384). مدل‌ها از نوع آبشکن با دیواره عمودی از جنس ورقه‌های پی وی سی انتخاب گردید، طول (L_a) و عرض آبشکن (B_a) به ترتیب 5 و 10 سانتی‌متر می‌باشد. برای انجام آزمایش‌ها، شکاف‌هایی بر روی آبشکن با ارتفاع (Y) 16 و 25 سانتی‌متر، عرض (r) 1، 1/5 و 2 سانتی‌متر در فاصله‌های قرارگیری (x) 1/5، 2/5 و 3/5 سانتی‌متر از دماغه آبشکن و همچنین عمق شکاف (T) در دو حالت شکاف سراسری ($T=B_a$) و شکاف نیمه ($T=B_a/2$) ایجاد گردید. پارامتر w معادل عرض شکاف و در تمام آزمایش‌ها 1 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. دو ارتفاع شکاف 16 و 25 سانتی‌متر به این دلیل انتخاب گردید که ارتفاع اول معادل عمق جریان آب ($Y=y_0$) و ارتفاع دوم معادل عمق جریان و عمق تعادل آبشستگی (حالت بدون شکاف) ($Y=y_0+d_{se}$) می‌باشد. شکل 4 مدل آبشکن همراه با شکاف همراه با شکاف و پارامترهای فوق را در تحقیق حاضر نشان می‌دهد.

طبق تحقیقات انجام گرفته زمانی که نسبت $\frac{L_a}{d_{50}}$ بزرگتر از 40 باشد، حداکثر عمق آبشستگی به دست می‌آید (دونگال 1994). بنابراین از ذرات ماسه‌ای غیرچسبنده با قطر متوسط (d_{50}) 0/56 میلی‌متر و چگالی نسبی 2/65 با انحراف معیار هندسی (S_g) 1/37 استفاده شد. تمامی آزمایش‌ها با شدت جریان $=0/9$ $\frac{V}{V_c}$ و جریان متلاطم زیربحرانی با عدد رینولدز 70175 و عدد فرود 0/179 انجام پذیرفت. مهمترین پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل دبی جریان، عمق جریان، سرعت برشی، عمق و ابعاد حفره آبشستگی بود. دبی در تمام آزمایش‌ها 9 لیتر بر ثانیه انتخاب شد. با انتخاب عمق جریان 16 سانتی‌متر، رابطه $\frac{y}{L_a} > 1$ حاکم بود چرا که در چنین شرایطی عمق آب تأثیری در کاهش حفره ایجاد شده، نخواهد داشت (کولمن و همکاران 2003). ملویل و چیو (1999) برای تعیین سرعت برشی بحرانی به ازای اندازه متوسط دانه‌های بستر از جنس کوارتز و دمای آب 20 درجه سانتی‌گراد روابط زیر را ارائه نمود که تخمین خوبی برای منحنی شیلدز می‌باشد.

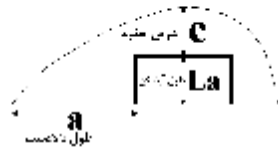
$$U_{*c} = 0.0115 + 0.0125 d_{50}^{1.4} \quad 0.1mm < d_{50} < 1mm \quad [4]$$

$$U_{*c} = 0.0305 d_{50}^{0.5} - 0.0065 d_{50}^{-1} \quad 1mm < d_{50} < 100mm \quad [5]$$



شکل 4- مدل آبشکن همراه با شکاف.

چشم‌انداز:



شکل 5- نمایش شماتیک ابعاد حفره در پلان.

شکل 6 تصویری از حفره آبشستگی ایجاد شده در آزمایش‌های آبشکن شکاف دار با دو ارتفاع $Y=y_0$ و $Y=y_0+ds$ در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)

شکل 6- تصویری از آزمایش‌های تحقیق حاضر با دو ارتفاع شکاف مختلف، (الف) $Y=y_0+ds$ (ب) $Y=y_0$.

بالادست و پایین دست آبشکن توسعه می‌یابد (الیوتو و هاگر 2002). سرعت عمیق شدن حفره آبشستگی در لحظات اولیه آزمایش زیاد بود و به تدریج کم شد. 70 درصد حداکثر عمق آبشستگی در ساعت اول ایجاد شد. جدول 1 مقدار عمق تعادل آبشستگی را در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که با رابطه محققین دیگر مقایسه شده است.

در روابط ارائه شده d_{se} عمق آبشستگی، y عمق جریان، Q دبی جریان، k_1 ضریب تصحیح، L_a طول آبشکن، f_1 ضریب لیزی ($1.76d_{50}^{0.5}$)، F_r عدد

در اثر آبشستگی حفره‌ای در جلوی آبشکن ایجاد می‌شود. ابعاد حفره آبشستگی شامل طول بالادست (a)، عمق حفره (d_{se}) توسط نوارهای میلی‌متری چسبانده شده با دقت $0/1 \pm$ میلی‌متر بر روی آبشکن و دیواره‌های کانال، قرائت شد. عرض حفره آبشستگی (c) نیز در امتداد عرضی آبشکن به وسیله خط کش میلی‌متری قرائت شد. در انتهای آزمایش، توپوگرافی حفره هر یک از آبشکن‌ها، با شبکه بندی حفره آبشکن و اندازه‌گیری ارتفاع نقاط شبکه با استفاده از سطح سنج، تهیه گردید. شکل 5 نمای شماتیک ابعاد حفره را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

در این قسمت نتایج حاصل از آزمایش‌های آبشستگی آبشکن بدون شکاف و شکاف دار ارائه و بررسی خواهند شد. در آزمایش آبشکن بدون شکاف مشاهده گردید که آبشستگی از جلوی آبشکن (نقطه M در شکل 4) شروع شد. مواد رسوبی فرسایش یافته از جلو آبشکن به تدریج به طرف پایین دست منتقل شدند و تشکیل ریپل دادند. با انتقال این ریپل‌ها به پشت آبشکن، انتقال مواد رسوبی موجود در جلو و اطراف آبشکن توسط گرداب‌های برخاستگی سرعت بیشتری یافت. با گذشت زمان حفره ایجاد شده به طرف

روابط محققین دیگر مقادیر عمق تعادل محاسبه شده است. همانگونه که مشخص است مقدار عمق تعادل محاسبه شده با رابطه CBI (بی نام 1949)، ملویل (1992) و چاراسیا و لای (2002) تطابق مناسبی از خود نشان می‌دهد.

شکل 7 توسعه زمانی آبخستگی آبشکن بدون شکاف را در مقایسه با مطالعات قبلی از جمله کاردوسو و بتس (1999)، بالیو و ارسی (2001) و کولمن و همکاران (2003) نشان می‌دهد.

فرود جریان، $a = 1 - (L_a/B)$ نسبت بازشدگی، q_a زاویه برخورد جریان، k_{hl} فاکتور طول آبشکن - عمق جریان، k_r فاکتور شدت جریان، k_d فاکتور اندازه ذرات، k_s فاکتور شکل آبشکن، k_q فاکتور زاویه آبشکن، k_G فاکتور هندسه کانال، q_c پارامتر شیلدن، F_0 عدد فرود ذره و d_{50} قطر متوسط ذرات بستر می‌باشد.

جدول 1 نشان می‌دهد که مقدار عمق تعادل آبخستگی در تحقیق حاضر 9/3 سانتی‌متر به دست آمد. با قرار دادن پارامترهای مختلف این تحقیق در

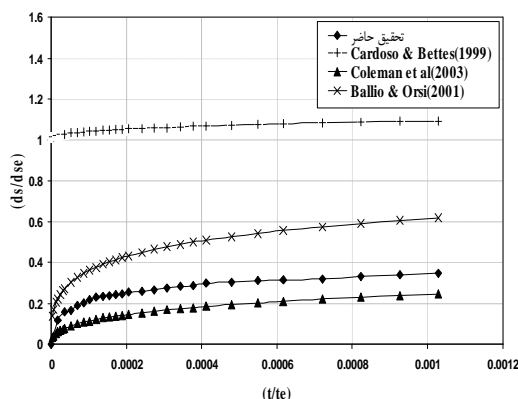
جدول 1- مقایسه مقادیر عمق آبخستگی با سایر محققین.

روابط محققین	عمق آبخستگی (cm)	تحقیق حاضر
-----	9/3	تحقیق حاضر
$d_{se} + y = 0.47 k_1 (Q / f_1)^{1/3}$ in FPS units	9/08	CBI (بی نام 1949)
$d_{se}/y = 2.15 \left(\frac{L_a}{y} \right)^{0.4} F_r^{0.33}$	12/2	لای و همکاران (1961)
$d_{se}/y = 2.62 F_r^{(2/3)} (a q_a)^{-0.043}$	13/2	ناغلول و مک کرکودیل (1975)
$d_{se} = k_{hl} k_l k_d k_s k_q k_G$	10	ملویل (1992)
$\frac{d_{se}}{y} = 2.657 q_c^{-0.16} F_0 \left(\frac{L_a}{y} \right) \left(\frac{d_{50}}{y} \right)^{0.265} - 1$	8/7	چاراسیا و لال (2002)

همانگونه که در این شکل مشخص است نرخ آبخستگی در شروع آزمایش بالا بوده و با گذشت زمان و توسعه حفره آبخستگی، این نرخ کاهش می‌یابد. همچنین این شکل نشان می‌دهد که نمودار توسعه زمانی تحقیق حاضر، تطابق خوبی با نمودار کولمن و همکاران (2003) از خود نشان می‌دهد.

شکل 8 توسعه زمانی آبخستگی آبشکن بدون شکاف و آبشکن شکاف دار با مدل‌های مختلف را نشان می‌دهد.

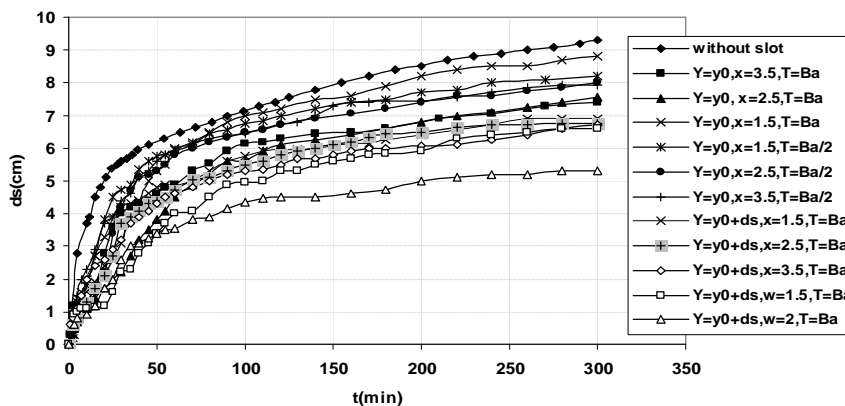
منحنی توسعه زمانی آبخستگی آبشکن بدون شکاف در بالاترین سطح نسبت به نمودارهای آبشکن -



شکل 7- توسعه زمانی آبخستگی آبشکن بدون شکاف در تحقیق حاضر و مقایسه با روابط سایر محققین.

تعادل آبستگی ادامه دارد و سوماً به دلیل عمق شکاف که جریان می‌تواند از وجه پایین دست آبشکن عبور کند. با توجه به سه دلیل ذکر شده جریانی که از بالادست آبشکن به وجه بالادست آن برخورد می‌کند بخشی از آن از شکاف ایجاد شده عبور می‌کند و به پایین دست منتقل می‌شود. به همین دلیل قدرت گرداب-های اطراف آبشکن ضعیف شده و در نهایت عمق آبستگی آن کاهش چشمگیری پیدا می‌کند.

های شکافدار قرار دارد. همچنین از نمودار مشخص است که منحنی آبشکن با ارتفاع شکاف $Y=y_0+d_s$ ، عرض شکاف $(r=2)$ 2 سانتی‌متر و عمق شکاف $T=B_a$ در پایین ترین سطح قرار دارد و در انتهای 5 ساعت آزمایش کمترین عمق آبستگی را به خود اختصاص داد که این مسئله را می‌توان به سه علت زیر ارتباط داد. اولاً به دلیل بزرگتر بودن عرض شکاف نسبت به مدل‌های دیگر، دوماً به دلیل ارتفاع شکاف که تا عمق



شکل 8- توسعه زمانی آبستگی آبشکن با مدل‌های مختلف شکاف.

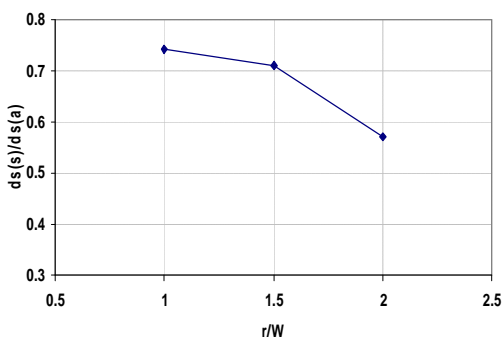
آبستگی شروع به زیاد شدن می‌کند و این روند ادامه می‌یابد.

شکل 9 تأثیر همزمان عمق شکاف و فاصله شکاف از دماغه آبشکن را در کاهش عمق آبستگی آبشکن نشان می‌دهد. شکل 9 نشان می‌دهد زمانی که عمق شکاف برابر با عرض آبشکن باشد یا به عبارت دیگر جریان بتواند از انتهای شکاف عبور کند و به پایین دست منتقل شود، این مسئله می‌تواند از قدرت گرداب-های بوجود آمده در وجه بالادست آبشکن جلوگیری کرده و عمق آبستگی را نسبت به عمق شکاف نیمه، کاهش بیشتری دهد. نکته دیگری که از این نمودار استنباط می‌شود این است که زمانی که فاصله شکاف از دماغه آبشکن بیشتر می‌شود و به سمت دیواره‌های کانال می‌رود، به تاثیرات مثبت شکاف افزوده می‌شود

همچنین از شکل 9 مشخص است که نمودار توسعه زمانی مدل‌هایی که ارتفاع شکاف آنها معادل ارتفاع عمق آب و عمق حفره آبستگی بودند عملکرد بهتری در توسعه زمانی آبستگی از خود نشان دادند. در تعدادی از نمودارهای توسعه زمانی آبستگی آبشکن‌های شکافدار قسمت‌هایی از نمودار است که عمق آبستگی در بازه‌های زمانی تقریباً ثابت و یا با حداقل افزایش است. علت این مسئله می‌تواند این باشد که زمانی که آبستگی شروع می‌شود، در ابتدا نرخ آبستگی بالا است تا جایی که گرداب‌ها قدرت حمل و جابجایی ذرات رسوبی را از جلوی آبشکن از دست می‌دهند. در این زمان ابعاد حفره افزایش پیدا کرده و عمق تقریباً ثابت می‌ماند. زمانی که حفره بزرگ تر شد و گرداب‌ها قدرت بیشتری پیدا کردند مجدداً عمق

آبشستگی اطراف آبشکن باعث می‌شود که جریان بتواند از شکاف بوجود آمده عبور کرده و قدرت گرداب‌های بوجود آمده در اطراف دماغه آبشکن را کاهش دهد. در صورتی که این مکانیزم در اطراف آبشکن با ارتفاع شکاف معادل عمق جریان وجود ندارد. نکته دیگری که از این شکل مشخص است کاهش نسبت عمق آبشستگی با افزایش فاصله شکاف نسبت به دماغه آبشکن می‌باشد، به طوری که نمودار آبشستگی با ارتفاع شکاف عمق جریان و عمق تعادل آبشستگی در $x/w = 3/5$ (شکاف نزدیک جداره کانال) کاهش آبشستگی 28 درصد را از خود نشان داد. لازم به ذکر است که در هر دو حالت عمق شکاف معادل عرض آبشکن بوده و جریان از انتهای آبشکن و از وجه پایین دست آن عبور می‌کند.

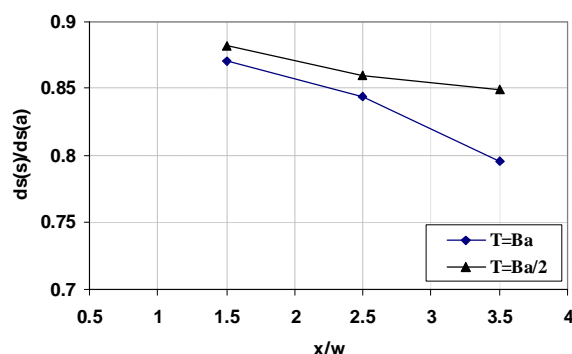
همان طور که قبلاً اشاره شده، در تمامی آزمایش‌ها $w=1\text{cm}$ در نظر گرفته شده است، بنابراین با انتخاب سه مقدار 1، $1/5$ و 2 سانتی‌متر برای پارامتر r در کل سه نسبت عرض شکاف (r/w) خواهیم داشت که تأثیر آن در کاهش عمق آبشستگی آبشکن در شکل 11 نشان داده شده است.



شکل 11- تأثیر عرض شکاف در عمق آبشستگی آبشکن.

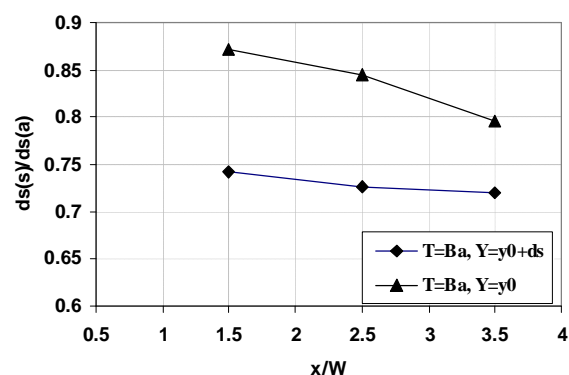
نتایج بررسی‌ها نشان داد با افزایش عرض شکاف عمق آبشستگی در مقایسه با حالت بدون شکاف کاهش چشمگیری یافته است. این حالت از نسبت $(r/w=1/5)$ تا نسبت $(r/w=2)$ به وضوح مشاهده می‌شود. در نسبت $(r/w=2)$ که معادل $0/4 La$ می‌باشد

به طوری که در $x/w = 3/5$ نسبت بدون بعد عمق آبشستگی حدود $0/8$ می‌شود که کاهش حدود 20 درصدی را نشان می‌دهد.



شکل 9- تأثیر عمق شکاف در عمق آبشستگی آبشکن.

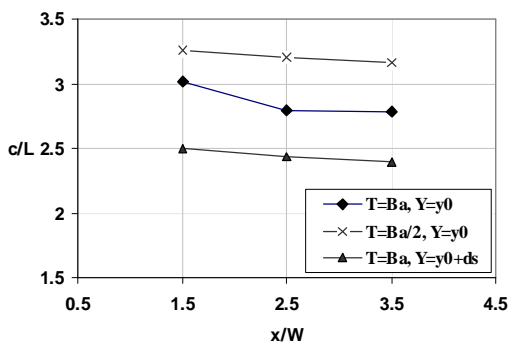
شکل 10 تأثیر همزمان ارتفاع شکاف و فاصله شکاف از دماغه آبشکن را در نسبت بدون بعد عمق آبشستگی آبشکن نشان می‌دهد.



شکل 10- تأثیر ارتفاع و فاصله شکاف در عمق آبشستگی آبشکن.

همانگونه که شکل 10 نشان می‌دهد نموداری که ارتفاع شکاف آن شامل عمق جریان آب و عمق تعادل آبشستگی آبشکن بدون شکاف می‌باشد در سطح پایین‌تری از نمودار با شکاف معادل عمق جریان آب قرار دارد. در نتیجه این مدل‌ها کاهش آبشستگی بیشتری از خود نشان دادند. زمانی که ارتفاع شکاف تا عمق تعادل آبشستگی آبشکن بدون شکاف توسعه می‌یابد، حفره

داشتند. بهترین عملکرد مربوط به ارتفاع شکاف معادل عمق جریان و عمق آبستگي ($Y=y_0+d_{se}$) و عمق شکاف برابر عرض آبشکن ($T=B_a$) می باشد، که به تأثیرات مثبت عملکرد شکاف در کاهش ابعاد حفره آبستگي شامل طول بالادست و عرض حفره افزوده است. همچنین شکل های 12 و 13 نشان می دهد که آبشکن هایی که فاصله ی بیشتری از دماغه آبشکن دارند، طول بالادست و عرض حفره آبستگي کمتری دارند. شکل 14 تأثیر افزایش عرض شکاف را بر روی نسبت بدون بعد طول بالادست و عرض حفره آبستگي آبشکن نشان می دهد.



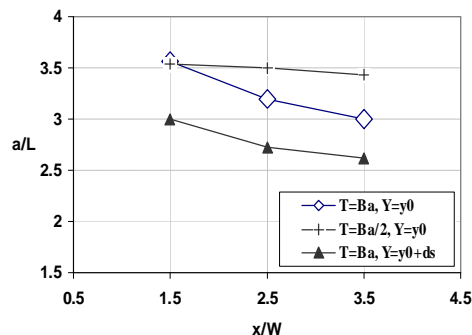
شکل 13- تأثیر عرض شکاف در کاهش عرض حفره آبستگي.

می کند و جریان های گردابی در حفره آبستگي ایجاد شده توان عریض تر کردن ابعاد حفره را ندارد. به همین دلیل از قدرت گرداب های ایجاد شده در جلو و کناره آبشکن کاسته می شود و هر دو پارامتر طول بالادست و عرض حفره کاهش می یابند.

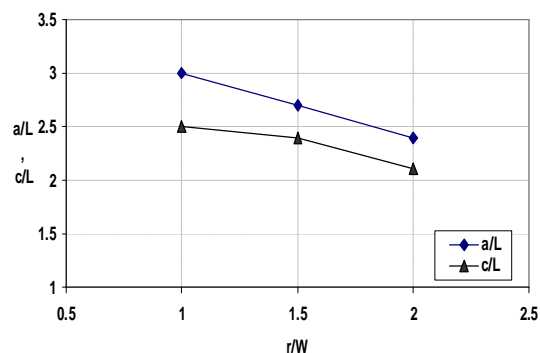
جدول 2 درصد کاهش آبستگي مدل های مختلف آبشکن با شکاف را در تحقیق حاضر نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود مدل های مختلف در تحقیق حاضر طبقه بندی شده و درصد کاهش عمق آبستگي را در انتهای آزمایش برای هر مدل در این جدول آورده شده است. بیشترین کاهش آبستگي 43 درصد می باشد که مربوط به مدل شکاف با ارتفاع

مقدار نسبت بدون بعد عمق آبستگي ($d_s(s)/d_{s(a)}$) 0/56 به دست می آید که کاهش آبستگي معادل 43 درصد را در پی خواهد داشت. شکل 12 و 13 تأثیر همزمان عمق و ارتفاع شکاف، همچنین فاصله شکاف از دماغه آبشکن را بر روی نسبت بدون بعد طول بالادست و عرض حفره آبستگي آبشکن نشان می دهد.

همانطور که در هر دو شکل مشخص است در دو نموداری که ارتفاع شکاف آن ها معادل عمق جریان است ($Y=y_0$)، نموداری که عمق شکاف آن برابر عرض آبشکن است ($T=B_a$) یا به عبارت دیگر جریان از وجه پایین دست آن عبور می کند، کاهش بیشتری برای نسبت بدون بعد طول بالادست و عرض حفره آبستگي



شکل 12- تأثیر عرض شکاف در کاهش طول بالادست حفره آبستگي.



شکل 14- تأثیر افزایش عرض شکاف بر روی طول بالادست و عرض حفره آبستگي.

همانگونه که مشخص است، با افزایش عرض شکاف با توجه به اینکه جریان بیشتری از آبشکن عبور

فاصله شکاف از دماغه آبشکن بیشتر می‌شود، درصد کاهش آبشستگی بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر هر چه شکاف به جداره کانال نزدیک‌تر می‌شود عملکرد مثبت بالایی نسبت به شکاف نزدیک دماغه آبشکن از خود نشان داد.

$Y=Y_0+ds$ و عرض شکاف برابر 2 سانتی‌متر می‌باشد. کمترین درصد کاهش آبشستگی 11/8 درصد بوده که مربوط به مدل شکاف با ارتفاع معادل از سطح آب تا سطح بستر ($Y = Y_0$)، عمق شکاف $T=B_0/2$ و فاصله شکاف از دماغه آبشکن 1/5 سانتی‌متر می‌باشد. همچنین مشخص است برای مدل‌های یکسان زمانی که

جدول 2- درصد کاهش آبشستگی مدل‌های مختلف شکاف در تحقیق حاضر.

درصد کاهش آبشستگی (%)	فاصله شکاف از دماغه (cm)	مدل‌های مورد مطالعه
12/9	$x=1/5$	$T=B_a$
15/6	$x=2/5$	
20/5	$x=3/5$	
11/8	$x=1/5$	
14	$x=2/5$	$T=B_0/2$
15	$x=3/5$	
25/8	$x=1/5$	$T=B_a$
27/4	$x=2/5$	
28	$x=3/5$	
25/8	$r=1$	$T=B_a$
29	$r=1/5$	
43	$r=2$	$r= \text{variable}$

نتیجه گیری کلی

با افزایش ارتفاع شکاف تا زیر بستر و تا سطح عمق تعادل آبشستگی تأثیر بیشتری در کاهش قدرت گرداب‌های اطراف آبشکن داشت. با افزایش عمق شکاف تا وجه پایین‌دست آبشکن، جریان‌های کناری و پایین رونده از آبشکن عبور کرده و قدرت تخریبی آنها و متعاقب آن عمق و ابعاد حفره کاهش می‌یابد. مدل آبشکن‌های شکاف‌داری که فاصله بیشتری از دماغه آبشکن داشتند، تأثیر بهتری در کاهش عمق و ابعاد حفره آبشستگی از خود نشان دادند. با افزایش عرض شکاف جریان بیشتری از شکاف عبور کرده و عملکرد شکاف بهتر شد.

در این تحقیق تأثیر شکاف در عمق، طول بالادست، عرض حفره و توسعه زمانی آبشستگی آبشکن با دیواره عمودی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق را به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد: در آزمایش آبشکن بدون شکاف مشاهده گردید که آبشستگی از جلوی آبشکن شروع شد. برای آبشکن بدون شکاف، سرعت آبشستگی در لحظات اولیه آزمایش بیشتر بود و با توسعه حفره آبشستگی شدت آن کاهش یافت و حدود 70 درصد آبشستگی در ساعت اول آزمایش ایجاد شد.

بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی مربوط به مدل با ارتفاع شکاف معادل عمق جریان و عمق تعادل آبشستگی ($Y=y_0+ds$)، عمق شکاف معادل عرض آبشکن ($T=Ba$) و فاصله $x/w=3/5$ بوده و مقدار آن 43 درصد به دست آمد. همچنین مدل مذکور بهترین عملکرد را در کاهش طول بالادست و عرض حفره از خود نشان داد.

منابع مورد استفاده

ایزدی نیا الف، حیدرپور م و افضل‌مهر ح، 1387. بررسی اثر شکاف در کاهش آبشستگی گروه پایه‌های مستطیلی نوک گرد. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، 23 الی 25 مهر ماه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز. پیرمحمدی د، 1383. تاثیر شکاف بر پایداری سنگ‌چین در کنترل و کاهش آبشستگی موضعی پایه‌های پل، پایان‌نامه-یکارشناسی ارشد گروه آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. حیدرپور م، افضل‌مهر ح و نادری م، 1382. کنترل و کاهش آبشستگی موضعی در پایه‌های پل با مقاطع مستطیلی گرد گوشه با استفاده از شکاف. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال هفتم، شماره سوم، صفحه‌های 13 تا 27.

شفاعی بستان م، 1384. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

نوری فر م، فغور مغربی م و حسن زاده ی، 1389. مقایسه عددی کاهش آبشستگی موضعی اطراف پایه پل شکاف دار و در پایه پل مجزا. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. 14 الی 16 اردیبهشت ماه. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

Babar R, Setia S and Setia B, 2000. Scour protection by a slot through a model bridge pier. Proceeding of International Symposium on Recent Advances in Experimental Fluid Mechanics, Indian Institute of Technology Kanpur, India.

Ballio F, Orsi E, 2000. Time evaluation of scour around bridge abutments. Water Engr Res 2: 243-259.

Barbhuiy AK and Dey S, 2004. Local Scour at Abutments. A review. Sadhana 29(5): 449-476.

Cardoso AH, Bettess R, 1999. Effects of time and channel geometry on scour at bridge abutments. J Hyd Engr ASCE.125: 388-399.

Anonymous, 1949. Central Board of Irrigation, CBI. Pub. No. 49, New Delhi.

Chaurasia E S R and Lal P B B, 2002. Local scour around bridge abutments. Int J of Sed Research, 17(1): 48-74.

Chiew YM, 1992. Scour protection at bridge Piers. J Hyd Engr, ASCE 118(9): 1260-1269.

Coleman SE, Lauchlan CS and Melville BW, 2003. Clear-water scour development at bridge abutments. J Hyd Res IAHR 41(5): 521-531.

Dongol DMS, 1994. Local Scour at Bridge Abutments. Report No. 544, University of Auckland School of the Engineering, Department of Civil Engineering, Private Bag, Auckland, New Zealand.

Graf W H, 1996. Fluvial Hydraulics, John Wiley & Sons press, New York.

Heidarnejad M, Shafai Bajestan M and Masjedi A, 2010. The effect of slots on scouring around piers in different positions of 180-degree bends. J World App Sci 8 (7): 892-899

Heidarpour M, Afzalimehr H, and Khodarahmi Z, 2007. Local scour protection of bridge pier groups using slot. J Agric Sci Natur Resour 14(3): 174-185.

Kayaturk SY, 2005. Scour and scour protection at bridge abutment, PhD thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

Kumar V, 1996. Reduction of scour around bridge piers using protection devices. PhD Thesis, University of Roorkee, India.

Kumar V, Rango Raju KG and Vittal N, 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and Collars. J Hyd Eng ASCE, 125(12): 1302-1305.

Liu H K, Chang F M and Skinner M M, 1961. Effect of bridge construction on scour and backwater. CER60 HKL 22, Colorado State University, Civil Engineering Section, Fort Collins, Colorado

Melville BW, 1992. Local scour at bridge abutments. J Hyd Engr, 118 (4): 615-631.

Mellvil BW and Chiew YM, 1999. Time scale for local scour at bridge piers. J Hyd Engr ASCE 125(1):59-65.

Moncada AT, Aguirre PEJ, Bolivar JC and Flores EJ, 2009. Scour protection of circular bridge piers with collar and slots. J Hyd Res 47(1):119-126.

- Oliveto G and Hager WH, 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutments scour. *J Hyd Engr* 128(9): 811-820.
- Tafarajnoruz A, Gaudio R and Calomino F, 2012. Evaluation of flow-altering countermeasures against bridge pier scour. *J Hyd Engr*. 138(3): 297–305.
- Zaghloul N A, McCorquodale J A, 1975. A stable numerical model for local scour. *J Hyd Res* 13: 425–444.