

بررسی تغییرات زمانی عمق آبشستگی تحت شرایط سیلاب  
اعظم اردلانی، مرتضی بختیاری، مجتبی صانعی و سید محمود کاشفی پور

دوره ۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، صفحات ۱۱ - ۱

Vol. 4(1), Spring 2018, 1 – 11

DOI:10.22034/JEWE.2018.55360



**Investigation of the Time Variation of the Scour  
Depth under Flood Conditions**

Ardalani A., Bakhtiari M., Sanei M. and  
Kashefipour M.

[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: اردلانی ا.، بختیاری م.، صانعی م. و کاشفی پور م. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی عمق آبشستگی تحت شرایط سیلاب. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۴، شماره ۱، صفحات: ۱۱ - ۱.

**Citing this paper:** Ardalani A., Bakhtiari M., Sanei M. and Kashefipour M. (2018). Investigation of the time variation of the scour depth under flood conditions. J. Environ. Water Eng., 4(1), 1 – 11. DOI: 10.22034/JEWE.2018.55360

## بررسی تغییرات زمانی عمق آبستگي تحت شرایط سیلاب

اعظم اردلانی<sup>۱</sup>، مرتضی بختیاری<sup>۲\*</sup>، مجتبی صانعی<sup>۳</sup> و سید محمود کاشفی پور<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه عمران آب- سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر،

خرمشهر، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه عمران آب- سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر،

خرمشهر، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه مهندسی عمران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

<sup>۴</sup> استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

\* نویسنده مسئول: mortezabakhtiari@yahoo.com

### مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۶/۰۹/۱۹]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۶/۱۰/۱۵]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۶/۱۰/۱۷]

### چکیده

سالانه هزینه‌های مالی و جانی زیادی در اثر تخریب پل‌ها در مواقع وقوع سیلاب ایجاد می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد ایجاد تغییر در هندسه پایه پل‌ها می‌تواند موجب ایجاد تغییراتی در زمان رسیدن به حداکثر آبستگي شود. در تحقیق حاضر هدف بررسی تغییرات زمانی عمق آبستگي در پایه پل است. به این منظور از یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۴، عرض ۱/۵ و ارتفاع ۰/۷ m استفاده شد. چهار شکل مختلف شکاف شامل دو نوع شکاف مستطیلی شکل (عمودی و افقی)، شکاف‌های مربعی و لوزی شکل بر روی پایه مستطیلی ایجاد شد. آزمایش‌ها در سه تراز بالای بستر، هم‌تراز بستر و زیر بستر و با چهار دبی جریان شامل ۲۱/۲، ۲۵/۶، ۲۹ و ۳۲ l/s در رسوبات با قطر میانگین ۰/۵ mm انجام شد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان‌داد نرخ آبستگي در دقایق اولیه شروع آزمایش بیشتر است. با گذشت زمان، از شدت تغییرات کاسته می‌شود. همچنین میان رسیدن پارامتر بدون بعد آبستگي به یک میزان مشخص و تغییرات بعدی در این پارامتر مدت زمانی طول می‌کشد که می‌تواند در شرایط رخداد سیلاب، انجام اقدامات اضطراری کارایی داشته باشد. همچنین در یک زمان ثابت، قرارگیری شکاف بالای بستر نسبت به زیر بستر تا حدود دو برابر، میزان آبستگي را افزایش داد.

**واژه‌های کلیدی:** آبستگي موضعی؛ شکاف؛ لنگر دوم سطح؛ پایه پل؛ حفره آبستگي.

## ۱- مقدمه

پل‌ها یکی از سازه‌های تأثیرگذار در هیدرولیک و ریخت-شناسی رودخانه‌ها می‌باشند. وجود پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های جانبی پل در عرض رودخانه باعث کاهش عرض جریان عبوری، برخورد جریان به پایه، انحراف خطوط جریان اطراف پایه به کف بستر و در نتیجه باعث ایجاد آبشستگی موضعی در اطراف پایه پل‌ها می‌شوند. محققان در طول ۱۰۰ سال گذشته مطالعاتی بر روی این پدیده انجام داده‌اند که نتایج آن‌ها در پیشگیری و خرابی پل مؤثر بوده است. اغلب مطالعات انجام‌شده در زمینه آبشستگی در اطراف سازه‌های هیدرولیکی و بخصوص پایه‌ها و کوله‌های پل در شرایط جریان دائمی بوده است. تغییرات زمانی عمق آبشستگی در پایه‌های پل یکی از موضوعات مورد توجه در مهندسی رودخانه و هیدرولیک می‌باشد. در این تحقیقات بر اهمیت ارزیابی زمانی آبشستگی تأکید شده است. Hassanpour et al. (2013) با به‌کارگیری ۹ شکل هندسی مختلف از پایه‌های پل و نصب طوق در سطح بستر، سرعت آبشستگی و عمق حفره آبشستگی اطراف آن‌ها را با پایه استوانه‌ای شکل مقایسه کردند. همچنین اثر طول درروی پایه‌های باله‌ای شکل نیز مورد بررسی قرار گرفت. مدت‌زمان آزمایش برابر با معیار Ettema et al. (2006) انتخاب شد. این معیار عبارت است از مدت‌زمانی که تغییرات در عمق آبشستگی در یک بازه زمانی ۴ h کمتر از ۱ mm باشد. نتایج نشان داد که پایه باله‌ای شکل با طول نسبی  $3/85$  m به علت کاهش قدرت گرداب‌های نعل اسبی و حذف گرداب برخاستگی بیش‌ترین کاهش آبشستگی را از خود نشان‌داده و در مقایسه با شکل‌های مختلف پایه، در کاهش حداکثر عمق آبشستگی اثر بهتری داشته است. همچنین نسبت به پایه استوانه‌ای باعث کاهش در حدود ۲۲٪ حداکثر عمق آبشستگی شده است. Tafarijnoruz et al. (2012) در تحقیقی تغییر جریان در برابر آبشستگی پایه پل برای تعیین زمان تعادل بر طبق تحقیقات Betttes and Cardoso (1991) اقدام نمودند. آن‌ها زمان تعادل را زمانی که تغییر شیب در طرح نیمه لگاریتمی از عمق آبشستگی مشاهده شده بود را در نظر

گرفتند. همچنین بر اساس تحقیقات Melville and Chiew (1999) زمانی که حفره آبشستگی تا عمقی توسعه یابد که سرعت افزایش آبشستگی در آن بیشتر از  $0/05$  قطر پایه در طول ۲۴ h متوالی نباشد، را به‌عنوان معیار محاسبه زمان تعادل در نظر گرفتند. نتایج نشان‌داد حداکثر عمق آبشستگی به هنگام استفاده از صفحات مستغرق و پایه‌های تخت کمتر از  $0/02$  و هنگام استفاده از طوقه، شکاف پایه و شمع قربانی عرضی برابر یا کمتر از  $0/35$  کاهش یافت. Grimaldi et al. (2009) به‌منظور بررسی زمان آزمایش، مدت‌زمان آزمایش را به‌طور پیش‌فرض بر اساس سرعت و عرض پایه محاسبه نمودند. همچنین عمق آبشستگی در مقابل زمان در یک نمودار نیمه لگاریتمی رسم و فرض شد که اگر تغییر شیب در طرح نیمه لگاریتمی مشاهده شد، در حال تعادل است (Rudkivi Cardoso and Betttes 1999 and Ettema 1983). همچنین نتایج این تحقیقات نشان داد که آبشستگی در مقابل پایه حدود  $45\%$  کاهش یافت. Tafarijnoruz et al. (2010) در مطالعه بررسی شرایط موردنیاز برای رسیدن به حداکثر عمق آبشستگی در یک پایه دایره‌ای، برای محاسبه زمان تعادل از معیار Grimaldi et al. (2009) استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در آزمایش‌های طولانی‌مدت، با افزایش سرعت جریان و عمق آب، توانایی مقابله با انحراف جریان به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد و در نتیجه بهره‌وری کم می‌شود. Ghani and Mohammadpour (2015) تغییرات موقت آبشستگی موضعی در تکیه‌گاه‌های مرکب را به‌صورت آزمایشگاهی در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در تمام آزمایش‌ها عمق آبشستگی تا نقطه بالایی فونداسیون به‌سرعت توسعه پیدا نموده و سپس حضور فونداسیون برای زمان معینی توسعه آبشستگی را به تأخیر انداخت. طول مدت‌زمان تأخیر به ابعاد تکیه‌گاه، اندازه فونداسیون و سطح قرارگیری فونداسیون بستگی دارد. مقایسه بین پایه و تکیه‌گاه مرکب در تحقیق (Ghani and Mohammadpour 2015) نشان داد که روند عمق آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها به‌طور کامل شبیه پایه‌ها است. ضمن این‌که سطح قرارگیری فونداسیون،



شکل ۱- نمایی از کانال آزمایشگاهی

Fig. 1 A view of the laboratory flume

## ۲-۲- انتخاب اندازه رسوبات

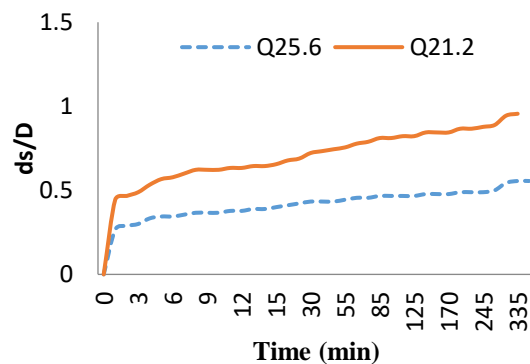
بنا بر توصیه (Amini et al. 2012) عرض پایه باید کمتر از ۰/۱ عرض کانال باشد تا تأثیر دیواره فلوم قابل صرف نظر کردن باشد. با توجه به این موضوع عرض پایه ۶ cm به دست آمد. قطر متوسط ذرات رسوبی باید به گونه‌ای باشد که حداکثر مقدار عمق آبشستگی ایجاد شود. Raudkivi and Ettema (1983) برای این موضوع شرط  $\frac{D}{d_{50}} > 20 - 25$  را مطرح کرده‌اند؛ که در این رابطه  $D$  نسبت قطر پایه به اندازه متوسط رسوبات ( $d_{50}$ ) می‌باشد. در این پژوهش شرایط دانه‌بندی رسوبات به صورت  $D = 60\text{mm}$ ,  $d_{50} = 0.5$  →  $\frac{D}{d_{50}} = 30$  در نظر گرفته شد. همچنین، برای حذف اثر غیریکنواختی ذرات بر آبشستگی موضعی لازم است که انحراف معیار هندسی ذرات کوچک‌تر از ۱/۴ باشد (Solaimani et al. 2017). در پژوهش حاضر برای دانه‌بندی رسوبات از ماسه طبیعی رودخانه با دانه‌بندی یکنواخت و چگالی نسبی  $G_s = 2.67$  و قطر متوسط  $d_{50} = 0.5$  و ضریب یکنواختی  $\sigma_g = 1.23$  استفاده شد. این خصوصیات در معیارهای بیان شده صدق می‌کند. Melville and Chiew (1999) حداکثر مقدار آبشستگی را ۲/۴ برابر عرض پایه بیان کردند. در این تحقیق این عرض پایه ۶ cm بوده و از همین رو ضخامت مصالح بستر ۱۵ cm در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه این پژوهش در

ابعاد و آهنگ سرعت  $\frac{U}{U_c}$  به عنوان نسبت سرعت متوسط به سرعت بحرانی جریان پارامترهای اصلی هستند که روی عمق آبشستگی بیشینه و زمان تأخیر مؤثر می‌باشند. در تحقیقات انجام شده، تغییرات زمانی آبشستگی در حالت استفاده از شکل شکاف و رقوم قرارگیری شکاف‌ها، تاکنون کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. در حالی که تغییرات زمانی آبشستگی موضعی پایه پل می‌تواند در پیش‌بینی دقیق عمق آبشستگی به‌ویژه در زمان سیلاب بسیار مؤثر باشد. اگرچه به دلیل مسائل اجرایی، ژئوتکنیکی و اقتصادی، ایجاد شکاف در پایه‌های پل دشوار است ولی از نظر تئوری و در صورت شناسایی میزان تأثیر مثبت در عملکرد می‌تواند توصیه گردد. در تحقیق حاضر بررسی تغییرات زمانی آبشستگی در شرایط استفاده از شکاف‌های مختلف در پایه پل‌ها در ترازهای مختلف بررسی شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- شرایط آزمایشگاهی و انتخاب پارامترها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران و در کانالی به طول ۱۴، عرض ۱/۵، ارتفاع ۰/۷ m و شیب طولی ۰/۰۰۲ انجام گرفت. جنس بستر و چهار متر ابتدایی کانال، آجر و سیمان و جنس ده متر اصلی دیواره از پلکسی گلاس بود. آب به کمک پمپ از مخزن زیرزمینی به داخل کانال وارد شد. در ابتدای فلوم حوضچه‌ای برای آرامش جریان تعبیه و در ورودی کانال بلوک‌های مشبک جهت از بین رفتن تلاطم جریان قرار داده شد. دبی عبوری به وسیله یک سرریز مستطیلی لبه تیز در انتهای فلوم، اندازه‌گیری شد. عمق جریان نیز به وسیله یک دریچه فولادی در انتهای فلوم تنظیم گردید. پایه‌ها از جنس پلکسی گلاس و با شکاف‌هایی به شکل مربعی لوزی - مستطیلی ایستاده و مستطیلی افقی ساخته شد (شکل ۱). محل قرارگیری آن‌ها در وسط عرض فلوم و طول ۶ m از ابتدای فلوم در نظر گرفته شد.



شکل ۲- منحنی تغییرات زمانی آبخستگی برای دو دبی ۲۱/۲ و ۲۵/۶ l/s در مدت ۶ h

Fig. 2 Scour change curves for discharges of 21.2 and 25.6 l/s over a period of 6 h

#### ۲-۴- الگوی آزمایش‌ها

در تحقیق حاضر در یک پایه پل مستطیلی شکل، چهار شکل شکاف به مساحت  $4 \text{ cm}^2$ ، شامل شکاف مستطیلی عمودی، مستطیلی افقی، لوزی و مربع در سه تراز قرارگیری شامل ۲ cm بالای بستر، همتراز بستر و ۲ cm پایین بستر در رسوبات بستر به قطر ۰/۵ mm برای چهار دبی ۲۱/۲، ۲۵/۶، ۲۹ و ۳۲ l/s مورد آزمایش قرار گرفت. جدول (۱) الگوی آزمایش‌های تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

جدول ۱- الگوی انجام آزمایش‌های تحقیق حاضر

Table 1. The pattern of experiments in the present research

Q (l/s)	O (cm)	D (mm)	S (cm <sup>2</sup> )	شکل شکاف
4	3	0.5	4	مربعی
4	3	0.5	4	لوزی
4	3	0.5	4	مستطیلی عمودی (PSR1)
4	3	0.5	4	مستطیلی افقی (PSR2)
4	-	0.5	-	شاهد

S = مساحت سطح شکاف؛ D = قطر متوسط ذرات؛ O = فاصله قرارگیری شکاف از بستر

شرایط آب زلال<sup>۱</sup> انجام گرفت، به منظور تعیین عمق و سرعت جریان، سری آزمایش‌های ابتدایی انجام تا بتوان عمق و سرعت‌هایی را مشخص کرد که از یک سو شرایط آب زلال در آن‌ها برقرار باشد و از سوی دیگر هم آبخستگی موضعی در آن‌ها رخ دهد و هم اعداد فرود جریان به گونه‌ای قابل توجه تغییر کنند. از این رو، عمق ۸ cm و چهار دبی ۲۱/۲، ۲۵/۶، ۲۹ و ۳۲ l/s انتخاب شد. (Melville (1997) برای تعیین سرعت برشی بحرانی برای اندازه متوسط دانه‌های بستر از جنس کوارتز و دمای آب  $20^\circ\text{C}$ ، رابطه (۱) را ارایه نمود که تخمین خوبی برای منحنی شیلدز است.

$$U_{*c} = 0.0115 + 0.0125d_{50}^{1.4}, \quad (1)$$

$$0.1\text{mm} < d_{50} < 1\text{mm}$$

در رابطه فوق  $U_{*c}$  سرعت بحرانی برحسب m/s و  $d_{50}$  قطر متوسط رسوبات mm می‌باشد. برای سرعت بحرانی از رابطه (۲) (توزیع لگاریتمی سرعت) استفاده نمود.

$$\frac{v_c}{U_{*c}} = 5.75 \log\left(5.53 \frac{v}{d_{50}}\right) \quad (2)$$

#### ۲-۳- آزمایش زمان تعادل

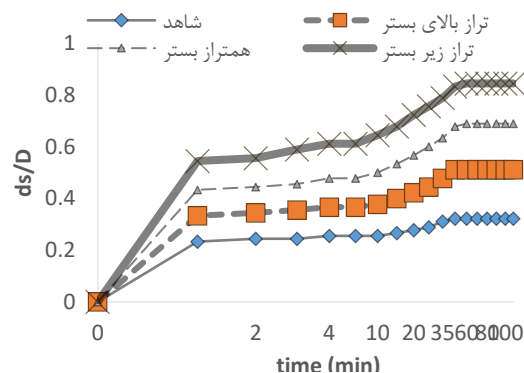
جهت تعیین زمان آزمایش‌ها در این تحقیق ابتدا به ازای دو دبی ۲۱/۲ و ۲۵/۶ l/s، پایه بدون شکاف به مدت ۶ h آزمایش شد. پس از گذشت این زمان مشاهده شد که حرکت ذرات بستر تقریباً متوقف شده و شکل بستر به حالت ثابت و مشخص رسید. تعیین زمان تعادل برای دو دبی ۲۱/۲ و ۲۵/۶ l/s و به مدت ۶ h انجام پذیرفت. پس از گذشت ۱ h تقریباً ۸۰٪ حداکثر عمق آبخستگی رخ داد. لذا این زمان به عنوان زمان تعادل منظور گردید. در شکل (۲) نتایج آزمایش زمان تعادل نشان داده شده است. در این نمودار پارامتر محور افقی زمان بر حسب دقیقه و محور عمودی پارامتر بدون بعد آبخستگی است که این پارامتر نسبت بدون بعد عمق آبخستگی به قطر پایه می‌باشد. بدون بعد نمودن پارامترها بر اساس روش پی باکینگهام انجام شد.

<sup>۱</sup> Clear water

۴۵ ثابت می‌ماند. بررسی نمودار شکل (۳) نشان می‌دهد در همه شکاف‌های مورد بررسی روند رخ داده مشابه یکدیگر است. به این صورت که تغییرات آبشستگی در همه موارد با گذشت زمان افزایشی است. در موقعیت قرارگیری شکاف بالای بستر، آبشستگی بیشتر از حالتی است که شکاف همتراز بستر قرار دارد و در موقعیت قرارگیری شکاف زیر بستر کمتر از سایر حالات می‌باشد.

### ۳-۱-۲-۳- دبی ۲۵/۶ l/s

شکل (۴) توسعه آبشستگی با زمان برای دبی ۲۵/۶ l/s را نشان می‌دهد. نتایج روندی مشابه حالت قبل داشت. تنها تفاوت به دلیل شرایط جریان، میزان آبشستگی در حالت دبی ۲۵/۶ l/s به صورت متوسط ۵۰ درصد بیشتر از شرایط دبی ۲۱/۲ l/s بود. بررسی نتایج نشان داد در دبی ۲۵/۶ l/s در شکاف لوزی شکل پس از گذشت زمان ۴۳ min مقدار  $(\frac{d_s}{D})$  برای حالات قرارگیری شکاف بالای بستر، همتراز و زیر تراز بستر به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۲ و ۰/۱۸ شد. همانند آزمایش قبل این شرایط به مدت ۳۰ تا ۳۵ min دیگر ثابت ماند. همچنین دوباره تغییری به صورت تدریجی و البته ناچیز صورت گرفت تا شرایط به صورت ثابت برسد.



ب- شکاف مستطیلی عمودی  
b) Vertical rectangular slot

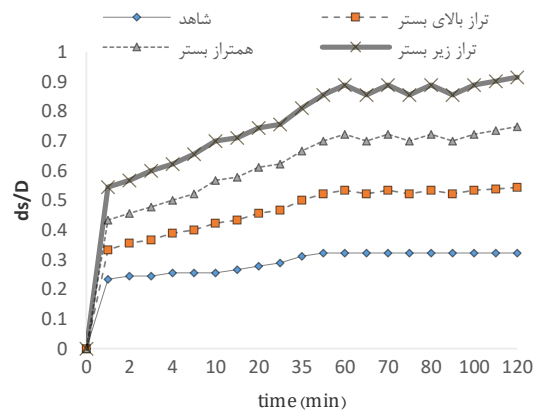
### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- توسعه آبشستگی با زمان در پایه‌های دارای شکاف

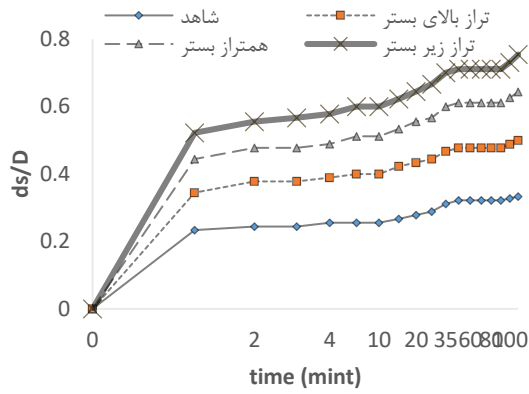
در این بخش تغییرات عمق آبشستگی حداکثر باگذشت زمان، در مدت ۶ ساعت اجرای مدل برای شرایط مختلف جریان نشان داده شده است. شکل‌های مختلف شکاف‌ها، در رقوم‌های مختلف قرارگیری نسبت به بستر در مقایسه باحالت شاهد نشان داده شده است که در ادامه ارایه می‌شوند.

#### ۳-۱-۱-۳- دبی ۲۱/۲ l/s

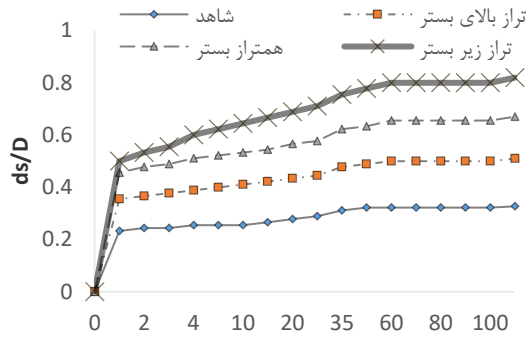
نتایج به دست آمده در شرایط دبی ۲۱/۲ l/s و شکاف مستطیل شکل عمودی در شکل (۳) نشان می‌دهد که هنگام قرارگیری شکاف ۲ cm بالای بستر، پس از گذشت ۴۵ min از زمان آزمایش مقدار عدد بدون بعد آبشستگی  $(\frac{d_s}{D})$  به ۰/۲ می‌رسد. در این رابطه  $d_s$  عمق آبشستگی و  $D$  قطر پایه می‌باشد. این شرایط تا ۹۵ min ثابت می‌ماند. در حالت قرارگیری شکاف همتراز بستر این مقدار در همان مدت زمان به ۰/۱۸ رسیده و در این حالت، به مدت ۴۵ min این شرایط ثابت باقی می‌ماند. در حالت قرارگیری شکاف زیر تراز بستر بعد از مدت زمان ۴۰ min مقدار  $(\frac{d_s}{D})$  به ۰/۱۶ رسیده و این شرایط نیز حدود ۹۰ min



الف- شکاف مثلثی  
a) Triangular slot



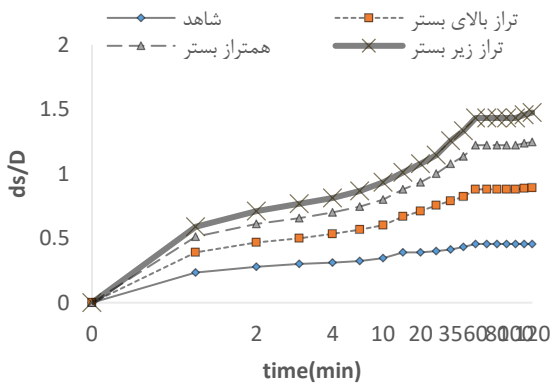
د) شکاف مستطیلی افقی  
d) Horizontal



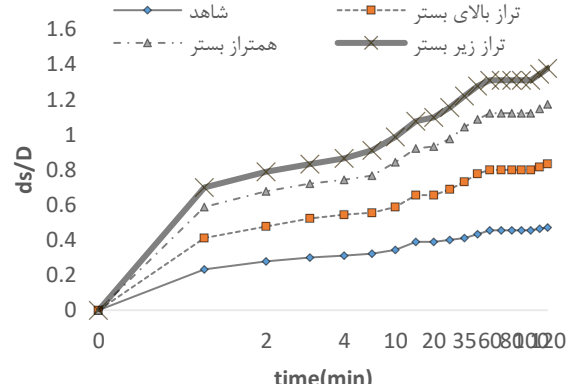
ج- شکاف مربعی  
c) Square slot

شکل ۳- روند توسعه آبشستگی با زمان برای دبی  $21.2 \text{ l/s}$  ( $\frac{U}{U_c} = 0.55, Fr = 0.19$ )

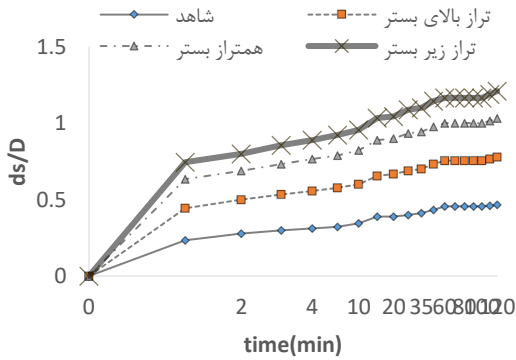
Fig. 3 Scouring development process with time for discharge of  $21.2 \text{ l/s}$  ( $\frac{U}{U_c} = 0.55, Fr = 0.19$ )



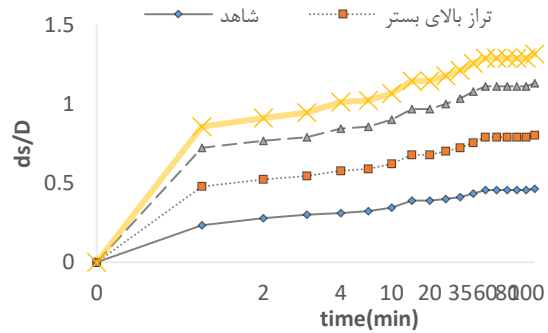
ب- شکاف مستطیلی عمودی  
b) Vertical rectangular slot



الف- شکاف مثلثی  
a) Triangular



د- شکاف مستطیلی افقی  
d) Horizontal rectangular



ج- شکاف مربعی  
c) Square slot

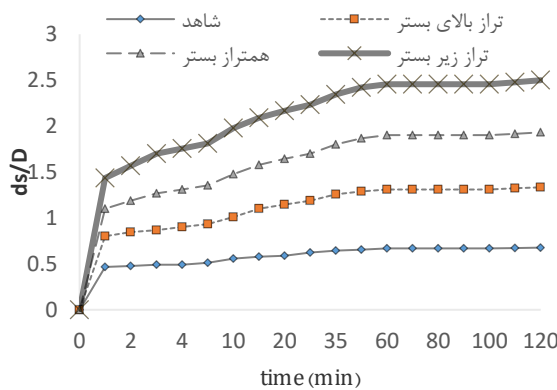
شکل ۴- روند توسعه آبشستگی با زمان برای دبی  $25.6 \text{ l/s}$  ( $\frac{U}{U_c} = 0.66, Fr = 0.24$ )

Fig. 4 Scouring development process with time for flow rate of  $25.6 \text{ l/s}$  ( $\frac{U}{U_c} = 0.66, Fr = 0.24$ )

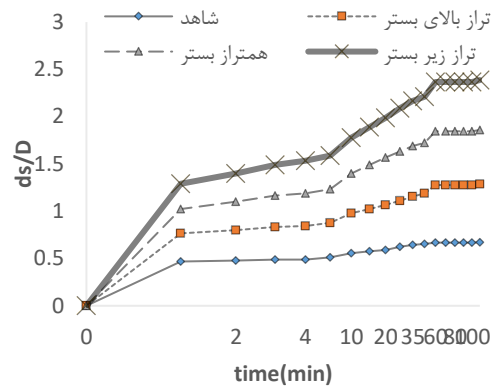
پایه پل بدون وجود شکاف بسیار بیشتر از این مقدار برای پایه‌های پل با وجود شکاف است. همچنین در خصوص زمان رسیدن به میزان مشخص  $(\frac{d_s}{D})$  این زمان برای آزمایش‌های شاهد بسیار کمتر از حالت‌های قرارگیری شکاف بالا و همتراز بستر است و بیشتر از حالت قرارگیری شکاف از بستر بوده است.

۳-۱-۳- دبی ۲۹ l/s

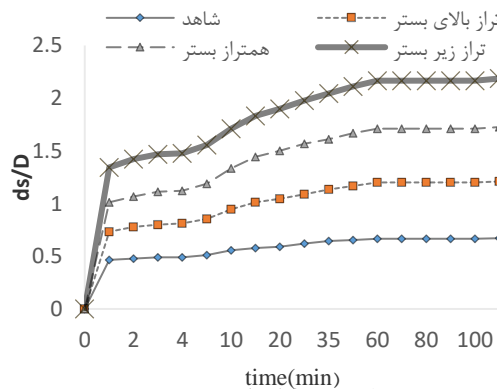
شکل (۵) توسعه آبشستگی در شکاف‌های مختلف برای دبی ۲۹ l/s را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده در خصوص مقایسه میان شرایط آزمایش‌های پایه پل بدون شکاف (شاهد) و پایه پل با وجود شکاف نشان‌داد در کلیه شرایط آزمایش‌های تحقیق حاضر، مقدار  $(\frac{d_s}{D})$  برای آزمایش‌های



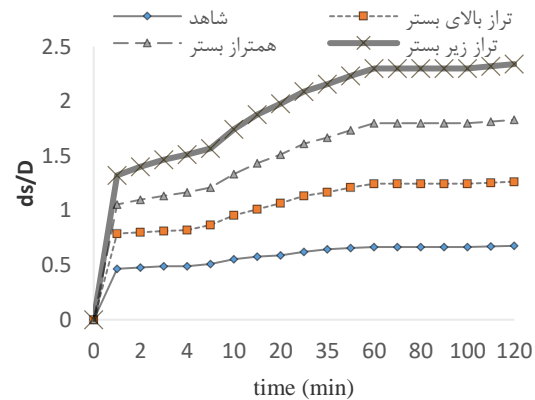
ب- شکاف مستطیلی عمودی  
b) Vertical Rectangular slot



الف- شکاف مثلثی  
a) Triangular slot



د- شکاف مستطیلی افقی  
d) Horizontal rectangular slot



ج- شکاف مربعی  
c) Square slot

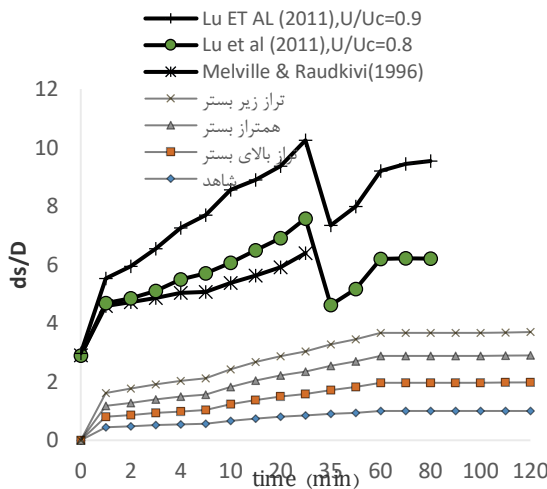
شکل ۵- روند توسعه آبشستگی با زمان برای دبی ۲۹ لیتر بر ثانیه  $(\frac{u}{u_c} = 0.75, Fr = 0.27)$

Fig. 5 Scouring development process with time a flow rate of 29 l/s  $(\frac{u}{u_c} = 0.75, Fr = 0.27)$

بررسی نتایج نمودارهای شکل (۵) نشان می‌دهد در کلیه شرایط آزمایش‌های تحقیق حاضر با افزایش دبی و گذشت زمان حداکثر عمق آبشستگی افزایش یافته است. همچنین بررسی و مقایسه میان نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد در کلیه شرایط در هر شکل شکاف، روند یکسانی در دبی‌ها و

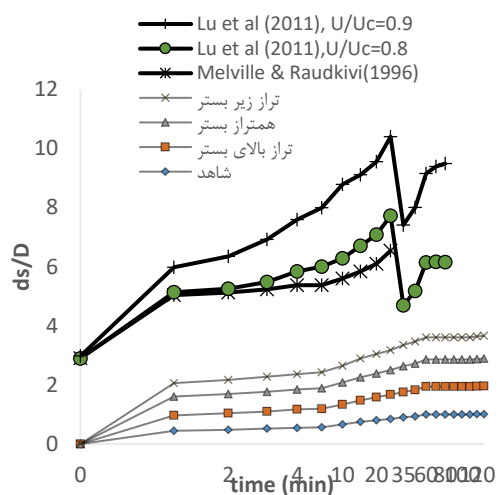


رقوم‌های قرارگیری شکاف‌ها دارد. بررسی نتایج به‌دست‌آمده در کلیه شرایط آزمایش‌های تحقیق حاضر حاکی از وجود یک زمان تأخیر میان رسیدن  $\left(\frac{ds}{D}\right)$  به یک مقدار مشخص و تغییر بعدی در این مقدار می‌باشد. این زمان در شرایط مختلف کنترل آبشستگی و بخصوص در شرایط رخداد سیلاب که این زمان تأخیر می‌تواند صرف تعمیرات پایه پل و همچنین انجام اقدامات اضطراری شود. یکی دیگر از پارامترهای با اهمیت در تغییرات نرخ زمانی آبشستگی، پارامتر نسبت سرعت  $\left(\frac{U}{U_c}\right)$  می‌باشد که به‌صورت مستقیم بر روی تغییرات آبشستگی در پایه پل اثر دارد. برای کلیه شرایط با افزایش عدد بدون بعد سرعت تغییرات زمانی آبشستگی افزایش یافته‌است. با توجه به اهمیت این پارامتر در شکل (۶) مقایسه میان نتایج به‌دست‌آمده در حالت‌های مختلف تحقیق حاضر با نتایج تحقیق (Melville and Raudkivi 1996; lu et al. 2011) که تقریباً در یک محدوده از عدد بدون بعد سرعت  $\left(\frac{U}{U_c} = 0.8 - 0.9\right)$  قرار دارند، هم‌خوانی دارد. همچنین بررسی کمی نتایج به‌دست‌آمده نشان‌داد در شرایط حداقل دبی در موقعیت قرارگیری، شکاف بالای بستر به نسبت به موقعیت شکاف هم‌تراز بستر در یک زمان مشخص، پارامتر بدون بعد آبشستگی به میزان ۱۱ درصد و نسبت به موقعیت قرارگیری به میزان ۲۵ درصد افزایش یافته‌است. همچنین به‌صورت متوسط در یک زمان ثابت قرارگیری، شکاف بالای بستر تا حدود دو برابر بیشتر از قرارگیری شکاف زیر بستر عدد بدون بعد آبشستگی را افزایش داده‌است. مقایسه یادشده نشان می‌دهد، روند در کلیه شرایط مشابه یکدیگر است. بدین‌صورت که در یک بازه بدون بعد سرعت یکسان، نرخ آبشستگی در شرایط استفاده از شکاف بسیار کمتر از شرایطی که در پایه پل شکاف ایجادشده است، می‌باشد. بررسی نتایج به‌دست‌آمده در شرایط تحقیق (Melville and Raudkivi 1996) نیز مشابه تحقیق حاضر، حاکی از وجود زمان تأخیر در وقوع آبشستگی می‌باشد همچنین نتایج نشان‌داد در مقایسه صورت‌گرفته میان اعداد بدون بعد سرعت مختلف، زمان تأخیر یادشده با افزایش نسبت بدون بعد سرعت، کاهش یافته‌است. با توجه به اینکه استفاده از ریپرپ و سنگ‌های درشت‌دانه می‌تواند نسبت بدون بعد سرعت را کاهش دهد لذا این موضوع به همراه ایجاد شکاف در بدنه به‌ویژه در موقعیت زیرتراز بستر می‌تواند به‌عنوان راه‌حل عملی برای کاهش آبشستگی در پایه‌های پل استفاده شود.



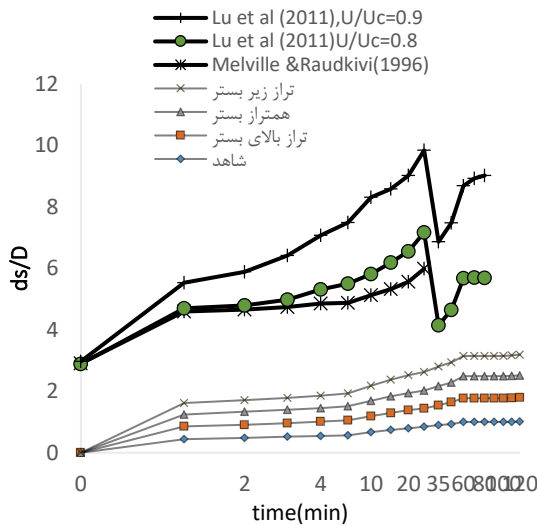
ب- شکاف مستطیلی عمودی

b) Vertical rectangular slot



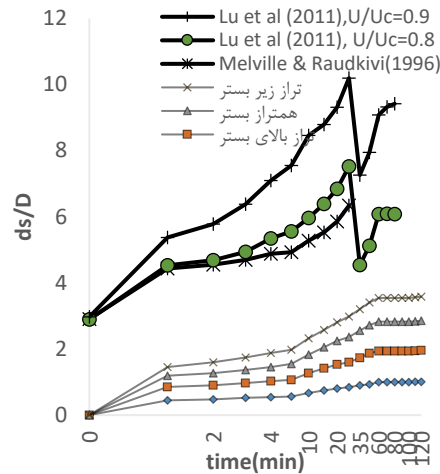
الف- شکاف مثلثی

a) Triangular slot



د- شکاف مستطیلی افقی

d) Horizontal rectangular slot



ج- شکاف مربعی

c) Square slot

شکل ۶- روند توسعه آبشستگی با زمان برای دبی  $32 \text{ l/s}$  ( $\frac{U}{U_c} = 0.83, Fr = 0.3$ )

Fig. 6 Scouring development process with time for flow rate of  $32 \text{ l/s}$  ( $\frac{U}{U_c} = 0.83, Fr = 0.3$ )

۲- روند تغییرات زمانی عمق آبشستگی در همه آزمایش‌ها مشابه یکدیگر است. بنابراین با توجه به ثابت بودن مقطع پایه پل پارامترهایی مانند شکل شکاف، رقوم قرارگیری شکاف نسبت به بستر و شرایط هیدرولیکی جریان می‌توانند در جزئیات رخ داده در تغییرات زمانی آبشستگی تأثیرگذار باشد.

۳- مقاطع هندسی دارای لنگر دوم سطح کمتر و همچنین رقوم قرارگیری پایین‌تر می‌تواند زمان آبشستگی را افزایش دهد که این موضوع به‌ویژه در زمان‌های سیلاب می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.

#### ۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران به جهت ایجاد شرایط انجام تحقیق، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر مطالعه تغییرات زمانی آبشستگی در پایه پل در شرایط آب زلال مورد مطالعه قرار گرفت. در پایه پل شکاف‌های با اشکال مستطیلی عمودی، مستطیلی افقی، مربع و لوزی شکل ایجاد و در سه رقوم بالاتر از سطح بستر، همتراز بستر و پایین‌تر از رقوم بستر قرار داده شد. به‌منظور مقایسه تأثیر عملکرد شکاف در پایه پل، پایه پل در شرایط بدون ایجاد شکاف به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست‌آمده به‌صورت بررسی عدد بدون بعد آبشستگی ( $\frac{d_s}{D}$ ) در مقابل زمان به‌صورت نیمه لگاریتمی ترسیم و موارد زیر به‌دست آمد:

- ۱- حداکثر عمق آبشستگی در زمان‌های اولیه آزمایش افزایش‌یافته سپس به‌تدریج با توجه به شکل شکاف و همچنین رقوم قرارگیری آن این روند کاهشی شده و به تعویق می‌افتد.

**Reference**

- groups in shallow-water flow. *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 138(2), 177-185.
- Ettema R., Kirkil G. and Muste M. (2006). Similitude of large scale turbulence in experiments on local scour at cylinders. *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 132(1), 33-40.
- Ghani A. and Mohammadpour R. (2015). Temporal variation of clear-water scour at compound abutments. *Ain Shams Eng. J.*, 7(4), 1045-1052.
- Grimaldi C., Gaudio R., Calomino F. and Cardoso A. H. (2009). Countermeasures against local scouring at bridge piers: slot and combined system of slot bed sill. *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 135(5), 431-425.
- Hassanpour N., Hosseinzadeh dalir A and Oronaghi H. (2013). Investigation of Local Scour around Airfoil Shaped Pier with Collar. *J. Soil Water Sci.*, 23(3), 221-234.
- Lu J - Y., Shi Z – Z., Hong J – H., Lee J – J. and Raikar R. V. (2011). Temporal variation of scour depth at nonuniform cylindrical piers. *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 137(1), 45–56.
- Mashahiri M. B., Zarrati A.R. and Rezayi A. R. (2004). Time development of scouring around a bridge pier protected by collar. 2<sup>nd</sup> International Conference on Scour and Erosion, ICSE-2, Singapore.
- Melville B.W. and Chiew Y.M. (1999). Time scale for local scour depth at bridge piers. *J. Hydraul. Eng., ASCE*. 125(1), 59-65.
- Melville B.W. (1997). Pier and abutment scour. Integrated approach. *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 132(2), 125-136.
- Melville B. W. and Raudkivi A. J. (1996). Effects of foundation geometry on bridge pier scour. *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 122(4), 203–209.
- Raudkivi A. J. and Ettema R. (1983). Clear-water scour at cylindrical piers. *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 109(3), 339-350.
- Solaimani N., Amini A., Banejad H. and Taheri Ghazvinei P. (2017). The effect of pile spacing and arrangement on bed formation and scour hole dimensions in pile groups. *Int. J. River Basin Manag.*, 15(2), 219-225.
- Tafarajnoruz A., Gaudio R. and Calomino F. (2012). Evaluation of Flow- Altering Countermeasures against Bridge Pier Scour. *J. Hydraul. Eng., ASCE* 138(3), 297-305.

## Investigation of Time Variation of Scour Depth under Flood Conditions

**Azam Ardalani<sup>1</sup>, Morteza Bakhtiari<sup>2\*</sup>, Mojtaba Sanei<sup>3</sup> and Seyed Mahmood**

<sup>1</sup>M.Sc., Department of Civil Engineering- Hydraulic Structures, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr Marine Science and Technology University, Khorramshahr, Iran

<sup>2</sup>Assist. Professor, Department of Civil Engineering- Hydraulic Structures, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr Marine Science and Technology University, Khorramshahr, Iran

<sup>3</sup>Assoc. Professor, Department of Civil Engineering, Institute of Soil Watershed Protection, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Professor, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

\*Corresponding author: mortezabakhtiari@yahoo.com

### Original Paper

Received: December 10, 2017

Revised: January 5, 2018

Accepted: January 7, 2018

### Abstract

Many financial and living expenses are caused annually due to the destruction of bridges in the flood events. Studies show that changes in bridges' geometry can lead to changes in the time to reach maximum scouring. The purpose of this study was to investigate the time variation of scour depth at the bridge pier. For this purpose, a laboratory flume with a length of 14 meters, a width of 1.5 meters and a height of 0.7 meters was used. Four different forms of the slot were created on the rectangular pier including two rectangular (vertical and horizontal), square and diamond slots. Experiments were carried out at three levels: above the bed, on the bed and under the bed at four flow rates of 21.2, 25.6, 29 and 32 l/s in sediments with a mean diameter of 0.5 mm. The results of this study showed that the scour rate is higher in the first minutes of the start of the test. Over time, the intensity of changes is reduced. increasing the depth and volume of the scour hole, decreases the intensity of the changes. Moreover, there is a delay between Approaching the dimensionless scour number to a certain degree and next changes in this parameter, which indicates that in a flood event, performing emergency measures could be effective. In addition, at a given time, placing slot at the top of bed increased the scouring dimensionless number by twice rather than placing under the bed.

**Keywords:** Local Scouring; Slot; Second Moment; Bridge Pier; Scour Hole.