

## مطالعه آزمایشگاهی تأثیر یک و دو پایه پل بر روی عمق حفره آبستگی در آبشکن

سرگل معمار<sup>1\*</sup>، علی حسین‌زاده دلیر<sup>2</sup>، هادی ارونقی<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 94/02/01 تاریخ پذیرش: 94/10/09

1- کارشناس ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

2- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

3- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [sargol.memar@yahoo.com](mailto:sargol.memar@yahoo.com)

### چکیده

بسیاری از پل‌ها دارای پایه‌های قرار گرفته در مجاورت آبشکن و تکیه‌گاه‌های پل می‌باشند. آبستگی موضعی در دماغه آبشکن‌ها از مسائل مهم در زمینه طراحی آبشکن‌ها محسوب می‌شود. وجود پایه‌های پل احداث شده در مجاورت آبشکن‌ها میزان آبستگی در آبشکن‌ها را به علت ایجاد جریان‌های گردابی قوی بین پایه‌ها و آبشکن تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو در این مطالعه به منظور بررسی تأثیر یک و دو پایه پل بر روی عمق حفره آبستگی در آبشکن، آزمایش‌هایی انجام شد. بدین منظور، "یک پایه پل و آبشکن" و "دو پایه پل در راستای جریان و آبشکن" با سه فاصله ( $x$ ) پایه‌ها از آبشکن در عرض کانال قرار داده شدند به طوری که  $\left(\frac{x}{D}\right) = 3.5$  و  $D$  قطر پایه هست. نتایج نشان داد که در حالت دو پایه، وجود پایه‌ها در بیشتر موارد سبب افزایش عمق آبستگی در آبشکن شده است. در حالت تک‌پایه در بیشتر موارد تأثیر پایه بر روی عمق آبستگی در آبشکن ناچیز و یا به صورت کاهشی هست. همچنین در حالت کلی، زمانی که قطر پایه حدود 50 درصد طول آبشکن بود، کمترین عمق آبستگی و زمانی که قطر پایه بیشتر از طول آبشکن بود بیشترین عمق آبستگی در آبشکن ایجاد شد.

واژه‌های کلیدی: آبستگی موضعی، آبشکن، پایه پل، تکیه‌گاه پل، جریان‌های گردابی

## An Experimental Study of Impact of Bridge Pier on Depth of Scour Hole in Abutment

S Memar<sup>\*1</sup>, A Hosseinzadeh Dalir<sup>2</sup>, H Arvnaghi<sup>3</sup>

Received: 21 April 2014 Accepted: 30 December 2015

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

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

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

\* Corresponding Author, Email: [sargol.memar@yahoo.com](mailto:sargol.memar@yahoo.com)

### Abstract

Many of bridge piers have been located in the vicinity of abutment and bridge supports. Local scour at the abutment nose is considered as one of the major factors in designing the abutments. The presence of bridge piers in the vicinity of abutments can affect the scour rate of them, due to the creation of strong vortex flows between piers and abutment. Hence, this study investigates the impact of single bridge piers on the depth of scour hole in the abutment, experimentally. For this, in the first case, a single bridge pier and an abutment, and in the second, two tandem bridge piers and an abutment, were placed in the experimental channel. The piers and abutment were established at three different distances (X), so that they can satisfy the constrain  $\left(\frac{x}{D}\right) = 3.5$ , (D: pier diameter, x: distance between pier and abutment). Results showed that in the second case study i.e. [two tandem bridge piers and an abutment], presence of piers in most of experiments increased the scour depth in abutment. In the case of using single pier, the effect of pier on abutment scour depth is either negligible or decreasing. Generally, when the pier's diameter was about 50 percent of abutment's length, the minimum depth of scour was reached, and when the diameter of pier was bigger than abutment's length, maximum depth of scour in abutment was obtained.

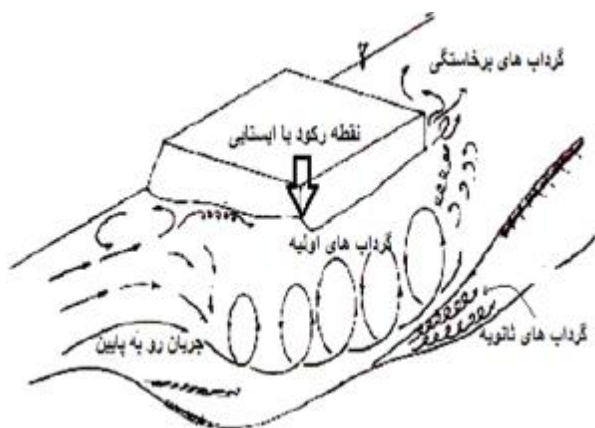
**Keywords:** Abutment, Bridges abutment, Bridges pier, Local scour, Vortex flow

### مقدمه

نهایت شکست پل‌ها محسوب می‌شود. هم‌چنین آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که به‌عنوان سازه کناری پایه پل نقش مهمی در حفاظت دیواره و اصلاح مسیر رودخانه ایفا می‌کنند. اما آبشستگی در اطراف این سازه‌ها موجب شکست و واژگونی آن‌ها می‌گردد. تاکنون تحقیقات فراوانی در زمینه آبشستگی در اطراف پایه پل تکی و آبشکن تکی صورت گرفته است. این در حالی است که تحقیقات اندکی در شرایطی که هر دو سازه در کنار هم وجود داشته باشند، صورت گرفته است.

به فرسایش بستر و کناره آبراهه در اثر عبور جریان آب، فرسایش بستر در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی و یا فرسایش بستر در اثر جریان‌های متلاطم، آبشستگی گفته می‌شود. عمق ناشی از فرسایش بستر نسبت به بستر اولیه را عمق آبشستگی می‌نامند (شفاعتی بجزستان 1384). یکی از مباحث مهم در هیدرولیک رسوب بررسی آبشستگی موضعی اطراف پایه‌های پل و محاسبه بیشینه عمق آبشستگی در دماغه پایه پل هست. آبشستگی موضعی یکی از دلایل عدم پایداری پل‌ها و در

تعداد زیادی از محققان پدیده آبستگي در گروه پایه را مطالعه کرده‌اند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. هانا (1978) آبستگي موضعي را در گروه شمع استوانه‌ای شکل با دو پایه تحت شرایط جریان دائمی یکنواخت و آبستگي آب زلال بررسی کرد. وی مشاهده کرد که با افزایش فاصله بین پایه‌ها تأثیر عامل تقویت‌کننده کاهش می‌یابد و در حالتی که فاصله بین پایه‌ها 2/5 برابر قطر پایه‌ها باشد، تأثیر عامل تقویت‌کننده بیشینه خواهد بود (رادکوی 1990).



شکل 1- ساختار جریان در اطراف آبشکن کوتاه (کوان 1984).

نظری‌ها (1996) فرآیند آبستگي موضعي را در گروه پایه‌های 2، 3، 4 و 6 تایی مورد بررسی قرار داد. در گروه پایه‌های 2 تایی مشاهده شد که تأثیر عامل تقویت‌کننده در  $(\frac{s}{a} = 4)$  بیشترین مقدار بوده و عمق آبستگي در پایه جلویی را 10 درصد نسبت به حالت تک پایه افزایش می‌دهد و با تغییر فاصله این عامل کاهش می‌آید. همچنین وی اثر زاویه برخورد جریان  $(\alpha)$ ، در گروه پایه‌های 3 تایی را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که با افزایش زاویه برخورد جریان  $(\alpha)$  بیشینه عمق آبستگي در پایه میانی در  $\alpha = 50^\circ$  و برای  $(\frac{s}{a} = 2)$  اتفاق می‌افتد و در پایه عقبی در  $\alpha = 50^\circ$  و  $(\frac{s}{a} = 11)$  بیشینه عمق آبستگي مشاهده می‌شود. بدلی

در حالتی که سرعت جریان  $(V)$  در حدود 50 درصد سرعت جریان بحرانی  $(V_c)$  باشد، شرایط آبستگي آب زلال در کانال برقرار است و رسوبات بستر توسط جریان آب حرکت نمی‌کنند. حالتی که سرعت جریان بزرگ‌تر یا مساوی سرعت جریان بحرانی شود  $(V \geq V_c)$ ، آبستگي بستر زنده نامیده می‌شود و رسوبات شروع به حرکت می‌کنند (ملویل 1984).

ساختار جریان در آبشکن کوتاه<sup>1</sup>  $(\frac{y}{L} > 1)$  که در آن  $y$  عمق جریان و  $L$  طول آبشکن هست، شامل 4 قسمت هست، جریان پایین‌رونده، گرداب اولیه، گرداب ثانویه و گرداب برخاستگی که در شکل 1 نشان داده شده است. هنگامی که جریان به سطح بالادست سازه می‌رسد، از سرعت آن کاسته شده و فشار ایستایی ایجاد می‌گردد که این قسمت از سازه را نقطه رکود یا ایستایی<sup>2</sup> می‌گویند. سرعت در سطح افزایش و در کف کاهش یافته و متناظر با آن فشار ایستایی در سطح سازه افزایش می‌یابد. گردابان فشار موجود باعث ایجاد جریان پایین‌رونده می‌شود که در انتهای آبشکن قوی‌تر می‌شود. جریان پایین‌رونده مانند جت عمودی به بستر برخورد نموده و مواد بستر را در پیشانی آبشکن فرسایش می‌دهد که توسط جریان اولیه حمل می‌شوند. جریان پایین‌رونده شامل گرداب اولیه در انتهای آبشکن دارای بیشینه سرعت پایین‌رونده معادل 75 درصد سرعت جریان نزدیک‌شونده هست. عامل اصلی آبستگي آبشکن جریان پایین‌رونده هست (ونگ 1982، کودیاری و همکاران 1992). گرداب ثانویه توسط گرداب اولیه ایجاد می‌گردد و در جهت مخالف آن چرخش می‌نماید و یک حفره کوچک ثانویه در خارج حفره اولیه آبستگي ایجاد می‌کند. در نتیجه جدایی جریان، لایه‌های برشی ناپایدار ایجاد شده و همراه با ساختار چرخشی جریان روی هم جمع شده که گرداب برخاستگی نامیده می‌شود (بالگوی 2005، باربهیوا و دی 2004).

<sup>2</sup>- Stagnation point

<sup>1</sup>- Short abutment

انتهایی بود که یک سرریز مستطیلی در آن تعبیه شده و با استفاده از آن می‌توان دبی جریان را اندازه‌گیری کرد. آزمایش‌ها در شرایط آبشستگی آب زلال و به‌ازای شدت جریان  $(\frac{V}{V_c})$  0/85 انجام شد که  $V$  سرعت متوسط جریان و  $V_c$  سرعت متوسط بحرانی هست. برای تعیین سرعت بحرانی، بستر رسوبی به‌ازای دبی‌های مختلف در شرایط آستانه حرکت قرار داده می‌شد و سرعت جریان در این شرایط  $V_c$  بود که در آزمایش‌ها مقدار آن برابر با 0/28 متر بر ثانیه به‌دست آمد. رسوبات مورد استفاده در آزمایش‌ها با قطر متوسط 0/98 میلی‌متر و انحراف معیار هندسی برابر 1/15 بود. مقدار عمق آب در آزمایش‌ها برابر 20/05 سانتی‌متر بود و دبی جریان به‌گونه‌ای تعیین شد که در نهایت شدت جریان  $(\frac{V}{V_c})$  مورد نظر حاصل گردد. در این حالت به بیشینه مقدار عمق حفره آبشستگی خواهیم رسید. در آزمایش‌های انجام‌شده مقدار دبی ثابت و برابر 38/43 لیتر بر ثانیه بود. در آزمایش‌های انجام‌گرفته عدد رینولدز برابر 127626 و عدد فرود برابر 0/17 بود. بنابراین جریان متلاطم و زیربحرانی در کانال برقرار بود. همچنین روابط  $(\frac{y}{D} > 3.5)$  و  $(\frac{y}{L} > 1)$  در تعیین عمق آب حاکم بود چرا که در چنین شرایطی عمق آب تأثیری در کاهش حفره ایجاد شده نخواهد داشت. عمق آب نیز توسط سطح‌سنج با دقت 0/1 میلی‌متر اندازه‌گیری شد. آبشکن‌ها با مقطع نوزنقه‌ای از ورق آلومینیومی 2 میلی‌متری تهیه شدند به‌طوری‌که  $(\frac{L}{D} = 0.8, 1, 1.25, 1.5, 1.88)$  که  $D$  قطر پایه پل و  $L$  طول آبشکن هست. پایه‌های پل از لوله‌های آهنی ساخته شدند و  $(\frac{D}{L} = 0.53, 0.67, 0.8, 1, 1.25)$  همچنین دو پایه پل با سه فاصله  $s$  از یکدیگر  $(\frac{s}{D} = 3, 3.5, 4)$  قرار داده شدند. در تعیین مقدار  $s$  از نمودار هانا (1978) استفاده شد. با توجه به شکل 2 که برای دو پایه پل در راستای جریان است و نشان می‌دهد که عمق آبشستگی هر یک از پایه‌ها بستگی به نسبت  $(\frac{s}{a})$  دارد که  $s$  فاصله بین دو پایه و  $a$  قطر پایه هست، در منطقه بحرانی نمودار سه فاصله  $(s)$  در نظر گرفته شد. آبشکن در دیواره کانال و پایه‌های پل

مشاهیر و همکاران (2006) تحقیقاتی بر روی گروه پایه‌های 2 تا 4 سانتی‌متر در دو حالت قرارگیری در راستای جریان و در عرض جریان با فواصل مختلف انجام دادند. فواصل بین پایه‌ها 2، 3 و 4 برابر قطر پایه‌ها بود. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال با نسبت سرعت برشی بستر به‌سرعت برشی بحرانی برابر با 0/923 انجام گرفته است. آن‌ها با مقایسه داده‌های خود با نتایج هانا (1978) به این نتیجه رسیدند که در حالت قرارگیری دو پایه در راستای جریان، عمق آبشستگی برای پایه جلویی مشابه یکدیگر بوده ولی برای پایه پشتی این عمق بیشتر هست. بر اساس مطالعات اوپن نیارکو و اتما (2011) بر روی اثر متقابل (یک پایه پل و آبشکن بلند) که با دو نوع آبشکن دیواره بالدار و آبشکن دیواره شیب‌دار انجام شد، نتایج نشان داد که در حالتی که پایه و آبشکن در فاصله نزدیک از هم قرار دارند، حضور پایه نمی‌تواند منجر به کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در عمق آبشستگی آبشکن شود. همچنین زمانی که پایه بدون فاصله از آبشکن قرار گیرد، آبشستگی در آبشکن غالب است. در این شرایط به علت این‌که عمق آبشستگی پایه پل تحت تأثیر جریان اطراف آبشکن هست، معادله‌ای که حاکم بر عمق آبشستگی پایه پل است، همان معادله حاکم بر عمق آبشستگی آبشکن هست.

با توجه به این‌که بیشتر تحقیقات انجام‌شده توسط محققین بر روی آبشکن تکی، پایه پل تکی و گروه پایه‌های پل بوده است، در این مطالعه آبشکن همراه با یک پایه پل و آبشکن همراه با دو پایه پل به‌طور هم‌زمان در کانال قرار داده شدند و به بررسی تأثیر یک و دو پایه پل بر روی عمق آبشستگی آبشکن پرداخته شد.

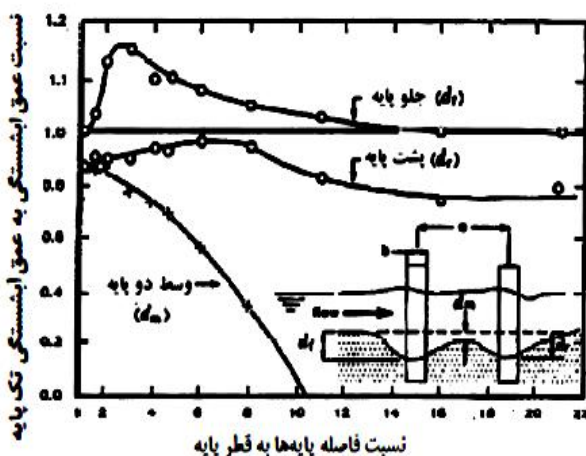
### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز که مجهز به یک کانال مستطیلی فلزی- شیشه‌ای به طول 6 متر، عرض 80 و ارتفاع 50 سانتی‌متر بود، انجام گردید. کانال دارای مخزن

### نتایج و بحث

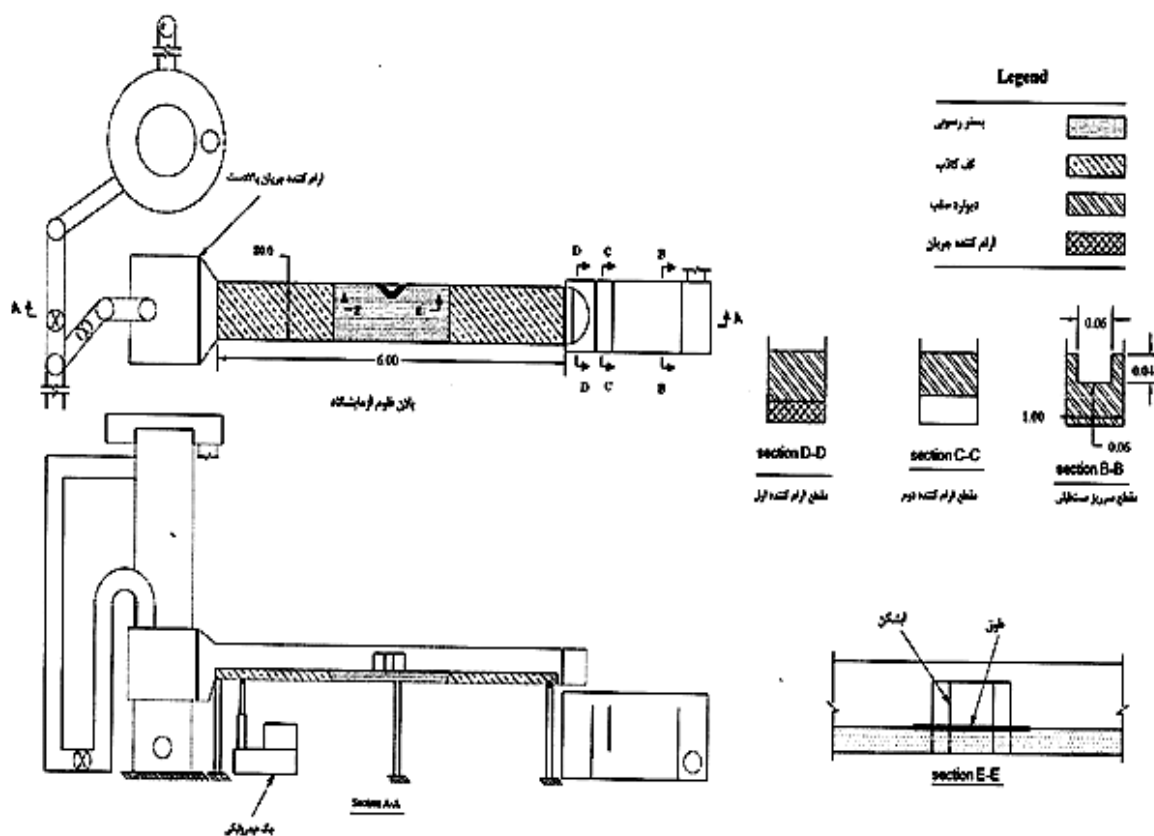
در این مطالعه با هدف بررسی تأثیر یک و دو پایه پل بر روی عمق آبستگي آبشکن، در ابتدا آزمایش‌هایی با آبشکن تکی با دو طول 6 و 7/5 سانتی‌متر انجام شد (آزمایش شاهد). سپس آزمایش‌ها برای حالت آبشکن و یک پایه پل و آبشکن و دو پایه پل در حالت‌های مختلف انجام شد. در جدول 1 تأثیر یک پایه پل بر روی عمق آبستگي آبشکن نسبت به آزمایش شاهد به صورت میانگین درصد کاهش یا افزایش عمق آبستگي در آبشکن نسبت به آزمایش شاهد در حالت‌های مختلف نشان داده شده است. اعداد مثبت مقدار افزایش و اعداد منفی مقدار کاهش عمق را نشان می‌دهند. در آزمایش‌های انجام‌شده با آبشکن 6 سانتی‌متری، پایه 7/5 سانتی‌متر در هر سه فاصله  $x$  باعث افزایش عمق آبستگي آبشکن نسبت به آزمایش شاهد می‌شود. در این حالت با توجه به اینکه قطر پایه بزرگتر از طول آبشکن هست قدرت گرداب‌ها و امواج عرضی منتشرشده در اطراف پایه نسبت به آبشکن بیشتر است که سبب افزایش عمق آبستگي آبشکن نسبت به آزمایش شاهد می‌شوند. پایه‌های 6 و 4 سانتی‌متری تأثیر ناچیزی بر روی عمق آبستگي در آبشکن 6 سانتی‌متر دارند. در واقع با کاهش قطر پایه قدرت گرداب‌ها و امواج عرضی منتشرشده حاصل از پایه کاهش می‌یابد و تأثیر آن بر روی عمق آبستگي در آبشکن خیلی کمتر شده است. شکل 7 نمودار بی‌بعد عمق آبستگي برای آزمایش شاهد و آبشکن و یک پایه پل را نشان می‌دهد که محور افقی زمان بی‌بعد و محور عمودی نسبت عمق آبستگي در آبشکن به طول آبشکن را نشان می‌دهد. شکل 8 پروفیل بستر در آزمایش شاهد و حالت آبشکن و یک پایه پل هست.

با سه فاصله ( $x$ ) از آبشکن و با در نظر گرفتن  $(\frac{x}{D} = 3.5)$ ، با توجه به عرض کانال و فاصله بین پایه‌ها، در عرض کانال قرار گرفتند. در شکل 3 تصویر شماتیک فلوم آزمایشگاهی و مدل فیزیکی نشان داده شده است.

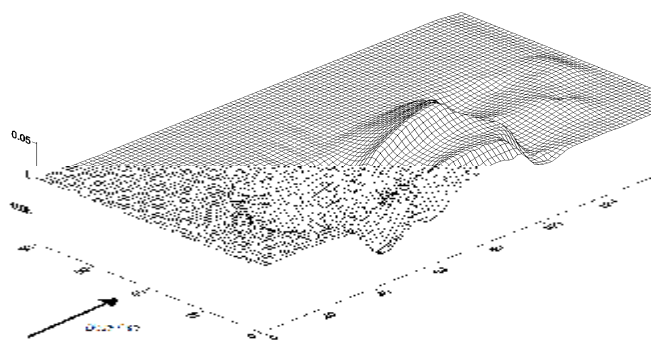


شکل 2- نمودار بین تغییر میزان آبستگي و فاصله‌ی نسبی دو پایه در حالت در امتداد جریان (هانان 1978).

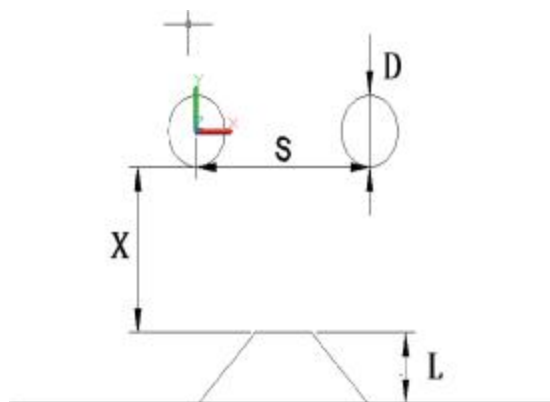
آزمایش‌ها در 4 مرحله انجام شد. در مرحله اول به‌منظور تعیین زمان تعادل آزمایش‌هایی با آبشکن تکی و پایه پل تکی در مدت 24 ساعت انجام شدند. در نهایت با توجه به اینکه 85 درصد بیشینه عمق آبستگي بزرگ‌ترین پایه پل با قطر 7/5 سانتی‌متر در 5 ساعت اول انجام شد، زمان تعادل برای تمام آزمایش‌ها برابر 5 ساعت در نظر گرفته شد. در مرحله دوم آزمایش‌های شاهد آبشکن (آبشکن تکی) انجام شد. مرحله سوم شامل آزمایش‌هایی با آبشکن و یک پایه پل بود. مرحله چهارم شامل آزمایش‌هایی با آبشکن و دو پایه پل در راستای جریان بود. شکل 4 پلان مدل آزمایشگاهی آزمایش‌ها در حالت دو پایه را نشان می‌دهند. در انتهای آزمایش توپوگرافی پروفیل بستر در اطراف پایه‌ها و آبشکن با استفاده از متر لیزری با دقت 0/1 میلی‌متر برداشت شد و با استفاده از نرم‌افزار surfer رسم گردید. در شکل 5 توپوگرافی بستر و در شکل 6 منحنی‌های هم عمق دو بعدی آن دیده می‌شود.



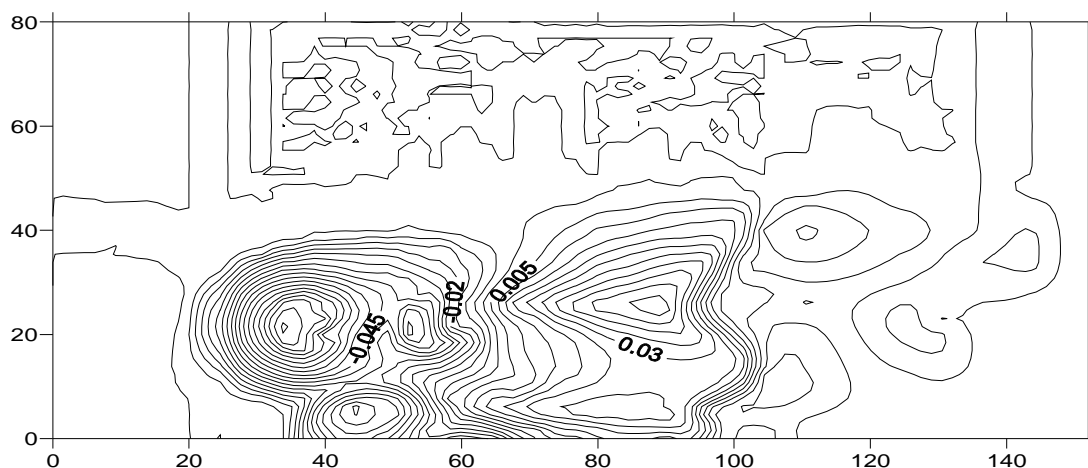
شکل 3- تصویر شماتیک فلوم آزمایشگاهی و مدل فیزیکی.



شکل 5- توپوگرافی حفره‌های آبستگی ایجاد شده در اطراف دو پایه پل و آبشکن.



شکل 4- پلان مدل آزمایشگاهی در حالت دو پایه پل.



شکل 6- منحنی‌های هم‌عمق دو بعدی حفره‌های ایجادشده.

به آبشکن برخورد می‌کنند. در جدول مشاهده می‌شود که در آزمایش‌های انجام شده با آبشکن 6 سانتی‌متری، تأثیر پایه‌ها باعث افزایش عمق آبخستگی در آبشکن نسبت به آزمایش شاهد شده است. در این حالت گرداب‌ها و امواج عرضی منتشرشده از هر دو پایه و به سمت آبشکن، باعث تسریع سرعت آبخستگی در کنار آبشکن شده‌اند. شکل 9 نمودار بی‌بعد عمق آبخستگی برای آزمایش شاهد و آبشکن و دو پایه پل را نشان می‌دهد.

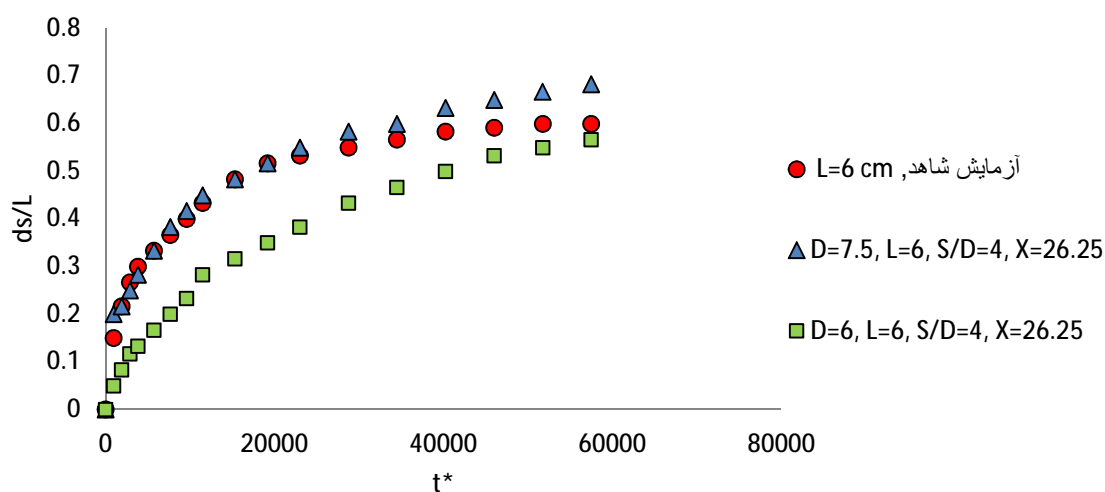
جدول 1- میانگین درصد کاهش یا افزایش عمق آبخستگی آبشکن نسبت به آزمایش شاهد.

L (cm)	D (cm)	درصد تغییرات نسبت به آزمایش شاهد
7/5	7/5	-6
7/5	6	-10
7/5	4	-11
6	7/5	23
6	6	1/6
6	4	-1

همچنین با توجه به جدول 1 مشاهده می‌شود در آزمایش‌های انجام شده با آبشکن 7/5 سانتی‌متری، پایه 7/5 سانتی‌متر سبب کاهش عمق آبخستگی آبشکن نسبت به آزمایش شاهد شده است. در پایه‌های 6 و 4 سانتی‌متری عمق آبخستگی نسبت به آزمایش شاهد برای آبشکن کاهش یافته است. در این حالت گرداب‌ها و امواج عرضی منتشرشده از پایه و آبشکن به یکدیگر برخورد کرده و اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند. بنابراین سرعت انجام آبخستگی در آبشکن نسبت به حالتی که در کانال پایه وجود ندارد کاهش می‌یابد. در واقع می‌توان گفت اثر پایه بر روی آبشکن کاهش یافته است.

کاهش یا افزایش عمق آبخستگی در آبشکن نسبت به آزمایش شاهد در حالت‌های مختلف نشان داده شده است.

در آزمایش‌ها مشاهده شد که با برخورد جریان به پایه جلو گرداب‌ها و امواج عرضی از کنار پایه منتشر می‌شوند و به پایه عقب و آبشکن برخورد می‌کنند. گرداب‌ها و امواج عرضی حاصل از پایه جلو سبب کاهش سرعت جریان نزدیک شونده به پایه عقب می‌شود و در پایه عقب گرداب‌ها و امواج عرضی که از کنار پایه منتشر می‌شود نسبت به پایه جلو از قدرت کمتری برخوردار است. همچنین گرداب‌ها و امواج عرضی حاصل از پایه‌ها



شکل 7- نمودار بی بعد مقایسه عمق آبشستگی در آبشکن تکی و آبشکن و یک پایه پل.

آبشستگی در آبشکن کاهش یافته است و تأثیر دو پایه پل به صورت کاهش عمق آبشستگی دیده شد. شکل 10 نمودار بی بعد عمق آبشستگی در این حالت را نشان می دهد.

جدول 2- میانگین درصد کاهش یا افزایش عمق آبشستگی آبشکن نسبت به آزمایش شاهد.

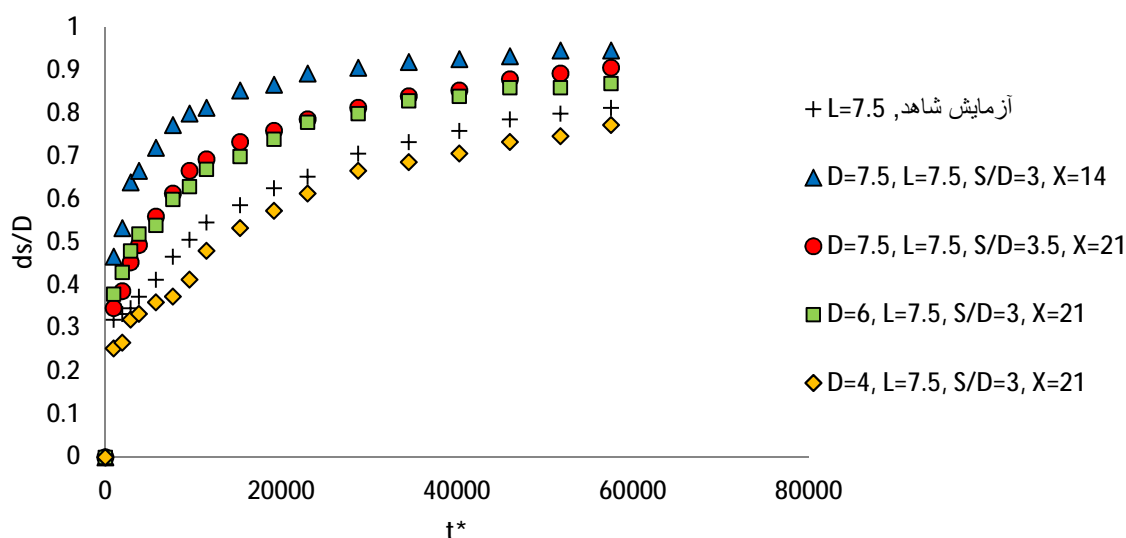
L (cm)	D (cm)	درصد تغییرات نسبت به آزمایش شاهد
7/5	7/5	15
7/5	6	5
7/5	4	-1
6	7/5	50
6	6	35
6	4	30



شکل 8- پروفیل بستر در آزمایش شاهد آبشکن و در حالت آبشکن و یک پایه پل.

با توجه به جدول 2، نتایج نشان می دهد که برای آبشکن با طول 7/5 سانتی متر، پایه های 6 و 7/5 سانتی متر باعث افزایش عمق آبشستگی آبشکن نسبت به آزمایش شاهد می شوند. در پایه 4 سانتی متر تأثیر پایه ها بر روی آبشکن ناچیز است و حتی در بعضی موارد عمق

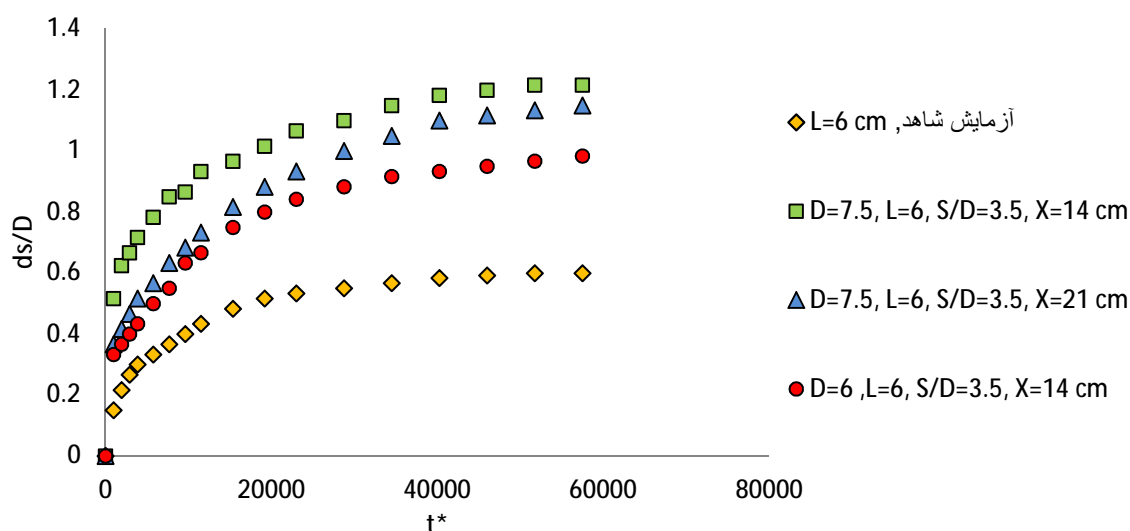




شکل 9- نمودار بی بعد عمق آبستگی برای مقایسه عمق آبستگی در آبشکن 6 سانتی متری.

که به آبشکن برخورد کرده سبب افزایش عمق آبستگی در آبشکن شده است. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که حضور پایه در کنار آبشکن دیواره بالدار به علت ایجاد جریان‌های آشفته مزاد در اطراف پایه سبب افزایش 10 درصد عمق آبستگی آبشکن می‌شود که در مقایسه با حالت دو پایه پل و آبشکن، نتایج مشابه هست.

در تحقیق حاضر که با آبشکن از نوع کوتاه انجام شده است، در حالت (آبشکن و یک پایه پل) تأثیر پایه بر روی عمق آبستگی در آبشکن در بیشتر موارد ناچیز و یا باعث کاهش عمق شده است که در مقایسه با مطالعات اوین نیارکو و اتما (2011) نتایج تا حدودی مشابه هست. اما در حالت (آبشکن و دو پایه پل) حضور یک پایه دیگر سبب ایجاد جریان‌های گردابی مزاد شده



شکل 10- نمودار بی بعد عمق آبستگی برای مقایسه عمق آبستگی در آبشکن 7/5 سانتی متری.

**نتیجه‌گیری کلی**

برای آبشکن و دو پایه پل، به‌علت ایجاد جریان گردابی قوی در فاصله بین دو پایه پل و آبشکن، آبشستگی در آبشکن با سرعت خیلی بیشتر از آبشستگی در آزمایش شاهد انجام شد و مشاهده گردید و در تمام حالت‌ها وجود دو پایه پل سبب افزایش عمق آبشستگی آبشکن نسبت به آزمایش شاهد شد. اما در حالت آبشکن 7/5 سانتی‌متری و پایه 4 سانتی‌متری تأثیر ناچیز بوده و در بعضی موارد به‌صورت کاهش عمق آبشستگی هست.

در حالت کلی، بهترین حالت زمانی است که قطر پایه حدود 50 درصد طول آبشکن انتخاب شود. بدترین حالت نیز زمانی است که قطر پایه بزرگتر از طول آبشکن باشد.

برای آبشکن و یک پایه پل نتایج به‌این‌صورت هست که زمانی که قطر پایه بیشتر از طول آبشکن است، وجود پایه به‌علت جریان‌های گردابی قوی‌تر که به آبشکن برخورد کرده و فرآیند آبشستگی در آبشکن را افزایش می‌دهند، سبب افزایش عمق آبشستگی آبشکن نسبت به آبشکن شاهد می‌گردد. زمانی که قطر پایه و طول آبشکن یکسان است، گرداب‌های حاصل از هر دو سازه به یکدیگر برخورد نموده و اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند. بنابراین وجود پایه تأثیر ناچیزی بر روی عمق آبشستگی آبشکن نسبت به آزمایش شاهد دارد و در حالتی که قطر پایه کمتر از طول آبشکن است، وجود پایه سبب کاهش عمق آبشستگی در آبشکن نسبت به آزمایش شاهد شده است.

**منابع مورد استفاده**

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

- Badali Mashahir M, Zarrati AR and Mokallaf E, 2006. Depth of Scour at Groups of two bridge piers, Pp: 434-436. In: Proceeding of the 3rd conferefnce on scour and erosion. Amsterdam. Netherlands, November 1-3.
- Ballegooye SV, 2005. Bridge abutment scour countermeasures. Thesis, University of Auckland, Department of Civil and Environmental Engineering Private Bag 92019, New Zealand.
- Barbhuiya AK and Dey S, 2004. Local scour at abutments, A review. *Sadhana* 29(5): 449-476.
- Kothyari UC, Garde RJ and Ranga Raju KG, 1992. Live -bed scour around cylindrical bridge piers. *Journal of Hydraulic Research* 30(4): 701-715.
- Kwan TF, 1984. Study of Abutment Scour. Rep No. 328, School of Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.
- Melvill BW, 1984. Live bed scour at bridge pier. *Journal of Hydraulic Engineering* 110(9): 203-209.
- Nazariha M, 1996. Design relationships for maximum local scour depth for bridge pier groups. Ph.D Dissertation, University of Ottawa, Canada. 212p.
- Oben-Nyarko k and Ettema R, 2011. Pier and abutment scour interaction. *Journal of Hydraulic Engineering* 137: 1598-1605.
- Raudkivi AJ, 1990. *Loose Boundary Hydraulic*. 3rd Edition, Pergamon press.
- Wong WH, 1982. Scour at Bridge Abutment. Report No. 275, Department of Civil Engineering, University of Auckland, New Zealand.