

تأثیر طوق در کاهش آبشستگی اطراف آبشکن‌ها

پیام خسروی نیا^{1*}، علی حسین زاده دلیر²، داود فرسادی زاده² و احمد فاخری فرد³

تاریخ دریافت: 88/7/5 تاریخ پذیرش: 88/12/17

1- دانشجوی دکترا، سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

2 و 3- دانشیار و استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: E-mail: P.khosravinia@tabrizu.ac.ir

چکیده

آبشکن‌ها برای محافظت و کنترل کناره‌ها و حواشی رودخانه احداث می‌گردند. روش‌های مهار و جلوگیری از آبشستگی آبشکن‌ها بر اساس مطالعات انجام شده روی مکانیزم آبشستگی می‌باشند. یکی از این روش‌ها، نصب طوق در اطراف آبشکن می‌باشد. طوق‌ها بستر را در مقابل سیستم گرداب اطراف آبشکن محافظت کرده و میزان آبشستگی را کاهش می‌دهند. در تحقیق حاضر، آبشستگی اطراف سه آبشکن به طول‌های 6، 8 و 10 سانتی‌متر بررسی و عملکرد طوق‌های دوزنقه‌ای با ابعاد مختلف و به ازای قرارگیری در سطح بستر و در شرایط آبشستگی آب زلال با حالت آبشکن‌های بدون طوق مقایسه گردید. نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش عرض طوق، عملکرد طوق در کاهش عمق و افزایش تأخیر زمانی آبشستگی بیشتر شد. همچنین درصد کاهش آبشستگی از 15 تا 100 درصد برای طوق‌های با عرض مختلف متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، آبشستگی آب زلال، آبشکن، طوق

Effect of Collar on Scour Reduction Around Abutments

P Khosravi Nia^{1*}, A Hosseinzadeh Dalir², D Farsadizadeh²
and A Fakheri-Fard³

Received: 27 September 2009 Accepted: 8 March 2010

¹ PhD Student, Dept. of Water Engin., University of Tabriz, Iran

^{2,3} Assoc. Prof. and Prof., Dept. of Water Engin., University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author: E-mail: P.khosravinia@tabrizu.ac.ir

Abstract

Abutments are constructed to protect and control river banks. Studies show that methods of preventing and reducing scour are based on the scour mechanism. One of these methods is to set a collar around the abutment. Collars protect the bed against downward flow and vortex system developed due to the separation of flow at the upstream edge of the abutment and reduces the amount of scour. In this research, scour is considered around three types of abutments with 6, 8, 10 centimeters length. Trapezoidal collars with miscellaneous dimensions and fixing on bed surface under the clear water scouring conditions were also investigated and compared with the case of collars were not in use. The results obtained showed that increasing the collar width, improve the impact of collar on scour depth reduction and its time delay. The percentage of scour reduction for different collar width fluctuate from 15 to 100.

Key words: Abutment, Clear-water scour, Collar, Scour

مقدمه

می‌گیرد، الگوی جریان سه بعدی به دلیل توسعه جریان گردابی در مجاورت تنگ شدگی تغییر می‌کند. در مورد آبشکن (تکیه گاه پل)، جریان پایین رونده و گرداب‌های اولیه در گوشه بالادست آبشکن با گرداب‌های ثانویه و برخاستگی در بخش میانی و گوشه پایین دست باعث اثر متقابل مابین سیال و مواد بستر شده و عامل اصلی آبشستگی آبشکن هستند. 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 (شکل 1) و فرسایش بستر رسوبات را به دنبال دارد (رادکیوی 1990، باربھیوا و دی 2004، کلمن و همکاران 2003).

عملیات ساماندهی رودخانه به‌منظور کاهش خسارت و نیز بهره‌برداری مناسب از امکانات رودخانه، به تناسب نوع و شرایط آن انجام می‌گیرد. از جمله روش‌های مورد استفاده، منحرف کردن جریان رودخانه یا کاهش سرعت جریان در نزدیکی ساحل است.

آبشکن‌ها¹ از مهمترین سازه‌هایی هستند که در رودخانه‌ها بدین منظور ساخته می‌شوند. این نوع سازه در پل‌ها به‌عنوان پایه کناری یا تکیه‌گاه پل² نیز بکار می‌رود. زمانی که در بستر رودخانه سازه‌های تنگ کننده جریان نظیر تکیه گاه پل، آبشکن و پایه پل قرار

¹ Spur dike

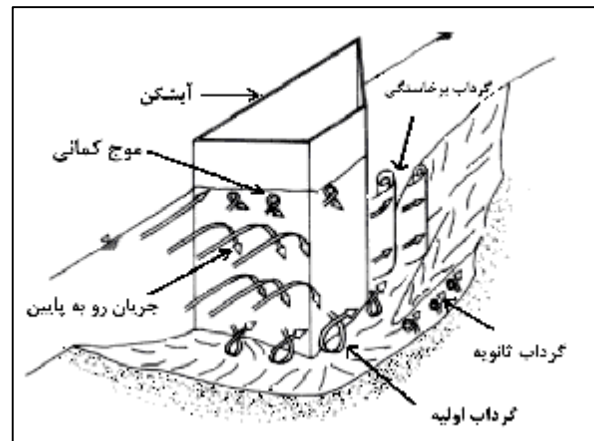
² Bridge abutment

که در ارتفاعات مختلف آبشکن یا پایه پل، معمولاً نزدیک بستر و اطراف این سازه‌ها قرار می‌گیرند. این صفحه محافظ به صورت یک سطح صاف و دارای ضخامت ناچیز می‌باشد که از شکل‌گیری یا کاهش قدرت جریان پایین رونده و گرداب‌های ثانویه و برخورد این جریانات به بستر اطراف سازه جلوگیری می‌کند و از این طریق در کاهش توسعه آبشستگی موثر می‌باشد. علاوه بر این طوق‌ها هم چنین باعث به تعویق انداختن پیشرفت آبشستگی و تبعات ناشی از آن می‌شوند.

کاربرد طوق برای کاهش آبشستگی

آبشستگی موضعی اطراف یک آبشکن از جریان پایین رونده در وجه بالادست آبشکن و همچنین توسعه گردابه‌های ثانویه نتیجه می‌شود. بنابراین یک راه کاهش آبشستگی جلوگیری از شکل‌گیری یا کاهش قدرت جریان پایین رونده و گردابه‌های ثانویه و برخورد این جریانات به بستر اطراف سازه است. یکی دیگر از روش‌های اصلاح الگوی جریان، طوق‌ها هستند. طوق‌ها وسایلی هستند که در ارتفاعات مختلف آبشکن یا پایه پل، معمولاً نزدیک بستر و اطراف این سازه‌ها قرار می‌گیرند. این صفحه محافظ به صورت یک سطح صاف و دارای ضخامت ناچیز می‌باشد و در کاهش توسعه آبشستگی مؤثر می‌باشد (آلابی 2006). طوق نباید خیلی ضخیم باشد، چرا که ضخامت زیاد طوق، سبب ایجاد یک مانع در برابر جریان شده و آبشستگی را بیشتر می‌کند (درگاهی 1990). طوق در هر ارتفاعی بالای بستر که نصب می‌شود، جریان را به دو منطقه بالا و پایین طوق تقسیم می‌کند. برای منطقه بالا، طوق به صورت مانعی در مقابل جریان پایین رونده عمل می‌کند و قدرت جریان پایین رونده را که منجر به تخریب بستر می‌شود کاهش می‌دهد. برای منطقه پایین طوق، جریان پایین رونده و گردابه‌های اصلی کاهش می‌یابند. با این وجود تاثیر طوق به اندازه و موقعیت قرارگیری آنها نسبت به سطح بستر در اطراف آبشکن دارد (شکل 2).

این آبشستگی موضعی پایه و خود سازه را در معرض خطر تخریب قرار می‌دهد. به همین دلیل به کار بردن روش‌ها و تجهیزاتی برای کاهش آبشستگی اطراف آبشکن‌ها ضروری به نظر می‌رسد.



شکل 1- مکانیزم آبشستگی در اطراف آبشکن (بارهبیوا و دی 2004)

روش‌های کاهش آبشستگی توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته که هریک از آنها دارای مزایا و معایبی است. روش‌های کاهش آبشستگی در دو گروه (الف) روش‌های مقاوم‌سازی بستر و سواحل³ و (ب) روش‌های تغییر دهنده الگوی جریان⁴ (سی و همکاران 2006) طبقه‌بندی می‌شوند. در روش‌های مقاوم سازی 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 سنگ چین⁵، بلوک‌های بهم چسبیده⁶ و ژئوبگ⁷ اشاره کرد. در روش‌های تغییر دهنده الگوی جریان، کنترل آبشستگی به وسیله کاهش قدرت جریان صورت می‌گیرد. از این روش‌ها می‌توان به پره‌های مستغرق⁸ و طوق‌ها⁹ اشاره کرد. طوق‌ها وسایلی هستند

³ Bank-bed hardening

⁴ Flow altering

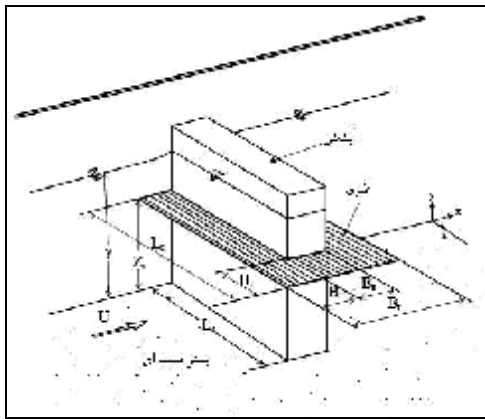
⁵ Riprap

⁶ Cable tied block

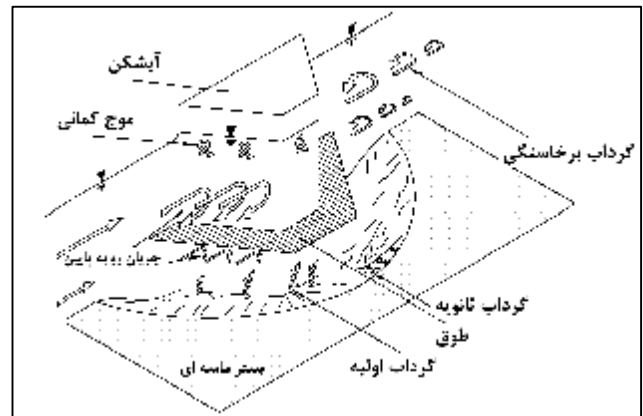
⁷ Geobag

⁸ Vane

⁹ Collar



شکل 3- طرح شماتیک مدل آبشکن و طوق قرار گرفته بر آن (کایاترک 2005)



شکل 2- مکانیزم آبشستگی اطراف آبشکن با طوق

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که وجود طوق عمق نه‌تنها آبشستگی را کاهش می‌دهد، بلکه طوق نرخ آبشستگی را نیز می‌کاهد. مشاهده شد، زمانی که طوق‌ها در زیر سطح بستر قرار داده می‌شوند عمق آبشستگی موضعی نیز کاهش می‌یابد. از آنجایی که اغلب سیل‌ها در مدت زمان کمتری نسبت به زمان تعادل آبشستگی به طول می‌انجامند، نقش طوق‌ها در عمل برای جلوگیری از آبشستگی آبشکن‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. هم‌چنین کارایی طوق با افزایش فاصله قائم بین صفحه طوق و سطح بستر، کاهش می‌یابد. نصب طوق در ارتفاعات زیر بستر نتایج خوبی در برداشت در خاتمه زمان آزمایش 6 ساعته، حداکثر عمق آبشستگی به 63% تا 69% عمق تعادل آبشستگی می‌رسد.

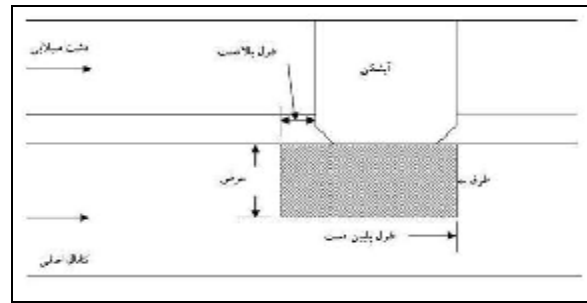
لی و همکاران (2006) عملکرد طوق‌ها را در کاهش آبشستگی آبشکن‌ها بررسی کردند. آزمایش‌ها در فلومی به طول 30 متر، عرض 1/2 متر و ارتفاع 0/6 انجام گرفت. تعدادی طوق با طول و عرض‌های مختلف برای کاهش آبشستگی در تکیه گاه‌های جانبی پل واقع شده در دشت سیلابی، تحت شرایط آب زلال مورد آزمایش قرار گرفت. طوق‌ها از جنس استیل بوده و در ارتفاعات دلخواه به صورت افقی قرار داده شده بودند (شکل 4).

کایاترک (2005) تأثیر طوق بر توسعه زمانی آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه‌های جانبی پل‌ها (آبشکن با دیواره عمودی) را مورد مطالعه قرار داد. آزمایش‌ها در فلومی به عرض 1/5 متر و شیب کف 0/0001 انجام گرفت. شدت جریان $\frac{V}{V_c}$ برابر 0/9 (سرعت جریان و V_c سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی) بود و کلیه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال انجام شد. پنج طول آبشکن (L_a) برابر 7/5، 15، 20، 25 و 35 سانتی‌متر و چهار عرض مختلف (B_c) برای طوق‌ها معادل 2/5، 5، 7/5 و 10 سانتی‌متر مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به اینکه تأثیر طوق‌ها در توسعه زمانی حفره آبشستگی تابعی از موقعیت قائم آن‌ها نسبت به دیواره جانبی پل می‌باشد، همه طوق‌ها در ارتفاعات مختلف شامل سطح بستر، 0/025 و 0/050 متر بالاتر از سطح بستر و 0/025 و 0/050 متر پایین‌تر از سطح بستر مورد آزمایش قرار گرفتند. (شکل 3) مدل آبشکن، طوق هم‌چنین دیگر پارامترهای موثر در آبشستگی را در آزمایشات نشان می‌دهد.

تبعیت می‌کند و با توجه به اینکه در مورد طوق دوزنقه-ای در اطراف آبشکن بالدار هنوز تحقیقاتی صورت نگرفته است، لذا در این تحقیق از طوق‌های دوزنقه‌ای شکل برای کاهش آبشستگی در آبشکن‌های بالدار استفاده شد و عملکرد طوق‌ها نسبت به حالت آبشکن بدون طوق مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز که مجهز به یک کانال مستطیلی فلزی- شیشه‌ای به طول کاری 6 متر، عرض 80 سانتی‌متر و ارتفاع 50 سانتی‌متر بود، انجام شد. شیب کف کانال از 0/0 تا 0/03 قابل تغییر بوده و مجهز به یک حوضچه آرامش انتهایی است که به کمک آن و با استفاده از سرریز مستطیلی نصب شده در آن دبی اندازه‌گیری گردید. آب به وسیله یک پمپ از مخزن اصلی به کانال انتقال می‌یابد و یک دریچه قابل تنظیم در پایین‌دست، عمق پایاب را تنظیم می‌نماید. به منظور اجرای آزمایش رسوب و با توجه به شرایط کانال آزمایشگاهی موجود، تغییراتی شامل ایجاد کف کاذب و بستر متحرک بر روی کانال انجام شد. بدین صورت که کف کانال توسط سکوها‌ی چوبی با ارتفاع 15 سانتی‌متر و عرضی برابر با عرض کانال بالا آورده شد (کف کاذب) و بین سکوها محدوده‌ای به طول 2 متر که ابتدای آن در فاصله 2 متری از ابتدای کانال قرار داشت، به عنوان منطقه مورد آزمایش منظور شد (بستر متحرک) و سپس به همان ارتفاع سکوها با رسوبات غیرچسبنده پر گردید (شکل 5).



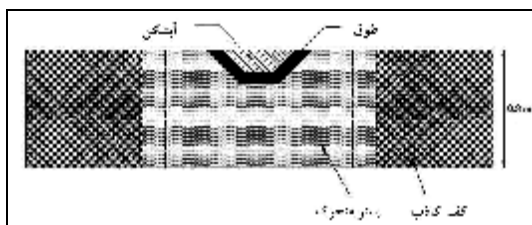
شکل 4- شکل شماتیک قرارگیری طوق در اطراف آبشکن (لی و همکاران 2006)

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که طوق‌ها قادر به حفاظت تکیه‌گاه‌های پل از آبشستگی می‌باشند. طوق‌ها قادر هستند جریان برگشتی و گردابه‌های ثانویه را که مسبب آبشستگی هستند، در اطراف بستر آبشکن کنترل کرده و بدین وسیله موجب کاهش آبشستگی شوند. هم‌چنین نتایج نشان داد که چنانچه ابعاد طوق در عرض کانال افزایش یابد، عمق حفره آبشستگی در لبه‌های طوق کاهش می‌یابد.

زراتی و عزیززی (1380) تاثیر نیم طوق را با دو عرض متفاوت $2D, 3D$ (عرض پایه پل) که در ترازهای مختلف در اطراف پایه پل نصب شده بودند را در کاهش آبشستگی پایه پل مستطیلی با دماغه گرد بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند هر چه طوق پایین‌تر نصب شود درصد کاهش آبشستگی بیشتر خواهد بود. البته هر چه طوق پایین‌تر از بستر برده شود فضای روی آن نیز به عنوان قسمتی از حفره آبشستگی محسوب می‌شود و بنابراین می‌توان گفت عمق مناسبی در زیر بستر برای نصب طوق وجود دارد که در آن عمق، حداکثر کاهش آبشستگی نتیجه خواهد شد.

در تحقیقات قبلی از طوق‌های مستطیلی برای آبشکن با دیواره عمودی و از طوق‌های نامنظم مستطیلی برای آبشکن بالدار در دشت سیلابی استفاده شده است. با توجه به اینکه در اکثر تحقیقات انجام شده، در پایه پل و در آبشکن، شکل طوق از شکل سازه

طوق قرار گرفته اطراف آبشکن‌ها در شکل 6 نشان داده شده است.

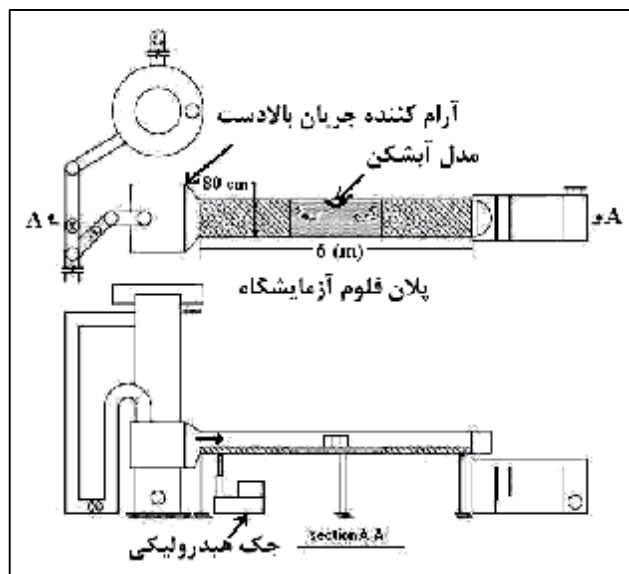


شکل 6- پلان طرح طوق قرار گرفته اطراف آبشکن در تحقیق حاضر

آزمایشات با جریان متلاطم زیربحرانی با عدد رینولدز $11/2 * 10^4 < Re < 6/8 * 10^4$ و عدد فرود $0/14 < Fr < 0/2$ انجام پذیرفت. مهم‌ترین پارامترهای اندازه‌گیری شده دبی جریان، عمق جریان، سرعت برشی و عمق حفره آبشستگی بود. دبی انتخاب شده (Q) با توجه به طول آبشکن و همچنین با در نظر گرفتن پارامتر $\frac{y}{L}$ انتخاب شد و بین 17 تا 34 لیتر در ثانیه قرار داشت. در آزمایشات انجام شده رابطه $\frac{y}{L} > 1$ حاکم بود چرا که در چنین شرایطی عمق آب تأثیری در کاهش حفره ایجاد شده، نخواهد داشت (کولمن و همکاران 2003). بیشترین مقدار عمق آب در آزمایش‌ها برابر 21 سانتی‌متر و کمترین مقدار آن 12 سانتی‌متر بود. بنابراین در کل آزمایشات نسبت $\frac{y}{L}$ در محدوده $2/8 < y/L < 2/1$ قرار داشت. با توجه به اینکه بستر متحرک از نظر هیدرولیکی صاف بود لذا از توزیع لگاریتمی سرعت (قانون جدار) برای محاسبه سرعت برشی استفاده شد.

$$\frac{V}{U_*} = 5.75 \log\left(\frac{yU_*}{u}\right) + 5.5 \quad [1]$$

در رابطه فوق U_* سرعت برشی بستر، u لزجت سینماتیکی، V سرعت جریان و y عمق آب می‌باشد (شفاعی بچستان 1378). برای این کار سرعت



شکل 5- تصویر شماتیک فوم آزمایشگاهی و مدل فیزیکی

طبق تحقیقات انجام گرفته (دونگال 1994)،

زمانی که نسبت $\frac{L}{d_{50}}$ بزرگتر از 40 باشد، حداکثر عمق آبشستگی به دست می‌آید. بنابراین از ذرات ماسه ای غیر چسبیده با اندازه متوسط $0/4 (d_{50})$ میلی‌متر و چگالی $2/67$ و انحراف معیار هندسی $1/4 (S_g)$ استفاده شد. مدل‌های آبشکن با مقطع نوزنقه‌ای، از جنس ورق آهنی و با طول آبشکن 6، 8 و 10 سانتی متر تهیه شدند. مدل طوق‌ها نیز از ورقه‌های آهنی به ضخامت $0/7$ میلی‌متر که در قالب شکل‌های نوزنقه‌ای ساخته شدند. آزمایشات در دو سری انجام شد. سری اول شامل آزمایشات آبشکن‌های بدون طوق بود. آزمایش‌های سری اول با شدت جریان‌های $0/8 \left(\frac{V}{V_c}\right)$ و $0/9$ انجام شد. سری دوم آزمایش‌های آبشکن‌ها همراه با طوق‌های نوزنقه‌ای بود. طوق‌های نوزنقه‌ای با ابعاد (B_c) معادل 2، 4، 6 و 8 سانتی‌متر (B_c) عرض طوق در مدل و به ازای قرارگیری در ارتفاع (Z_c) برابر صفر (Z_c) فاصله طوق نسبت به تراز بستر و شدت جریان $\left(\frac{V}{V_c}\right)$ ، $0/8$ و $0/9$ آزمایش شدند. پلان طرح

نتایج و بحث

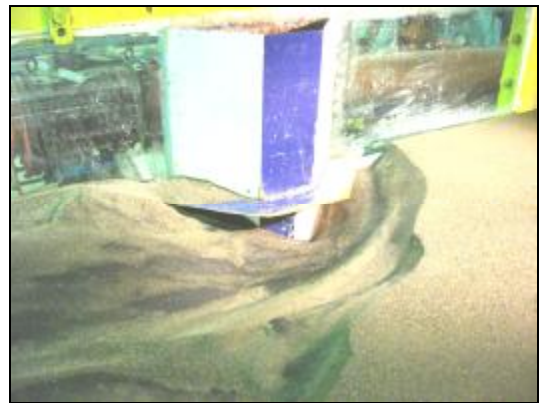
در این بخش نتایج حاصل از آزمایش‌های آبشستگی آبشکن بدون طوق و همراه با طوق ارائه و بررسی خواهند شد.

نتایج آزمایش‌های آبشکن‌های بدون طوق

در آزمایش آبشکن بدون طوق مشاهده شد که آبشستگی از جلوی آبشکن و با زاویه حدود 117 درجه و در آبشستگی همراه با طوق از زاویه 63 درجه شروع گردید (شکل 8).

مواد رسوبی فرسایش یافته از جلو آبشکن به تدریج به طرف پایین‌دست 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 عمیق‌تر شدن حفره آبشستگی، حفره ایجاد شده به طرفین آبشکن توسعه یافت (الیوت 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.

جریان در فاصله 2/5 سانتیمتری از بستر فرسایش‌پذیر توسط میکرومولینه اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از رابطه فوق سرعت برشی بستر محاسبه گردید. عمق حفره ایجاد شده، d_s توسط نوار میلیمتری چسبانده شده بر روی آبشکن‌ها قرائت شد. در شکل 7 نمونه‌ای از حفره آبشستگی اطراف آبشکن نشان داده شده است.



شکل 7- نمونه‌ای از حفره آبشستگی ایجاد شده در اطراف آبشکن طوق‌دار در تحقیق حاضر

زمان تعادل

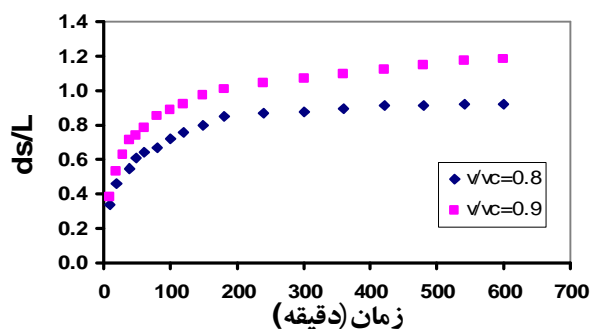
زمان تعادل، زمانی است که در آن عمق آبشستگی به حداکثر مقدار خود رسیده و تقریباً ثابت می‌گردد. در حالت آبشکن بدون طوق مهم‌ترین پارامترهای موثر در توسعه حفره آبشستگی شامل عمق جریان (y)، سرعت جریان (V)، طول آبشکن (L) و زمان (t) می‌باشند. بنابراین می‌توان نوشت:

$$f_1(d_s, L, V, y, t) = 0 \quad [2]$$

با به کار بردن آنالیز ابعادی رابطه (2) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$T^* = \frac{Vt}{y} = f_2\left(\frac{d_s}{L}\right) \quad [3]$$

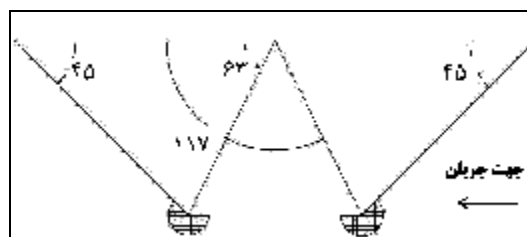
در این رابطه T^* زمان بی‌بعد است. به منظور تعیین زمان تعادل، آزمایشی با استفاده از آبشکن به طول 8 سانتی‌متر در $V/V_c=0/9$ انجام گرفت.



شکل 9- توسعه زمانی آبشستگی آبشکن بدون طوق به ازای شدت جریان‌های متفاوت

با توجه به شکل 9 با افزایش شدت جریان مقدار عمق بدون بعد آبشستگی و شدت توسعه عمق آبشستگی افزایش یافت. با افزایش شدت جریان، قدرت جریان در اطراف آبشکن بیشتر شده و در نتیجه آن شدت جریان رو به پایین افزایش یافت. با افزایش شدت جریان از $0/8$ به $0/9$ مقدار عمق بدون بعد آبشستگی $\left(\frac{d_s}{L}\right)$ در پایان زمان 10 ساعت از $0/925$ به $1/185$ رسید.

توسعه زمانی آبشستگی به ازای طول‌های مختلف نتایج زمان تعادل برای آبشکن بدون طوق بر اساس $\frac{ds}{L}$ و T^* در شکل 10 نشان داده شده است. بر اساس این شکل سرعت آبشستگی در لحظات اولیه بیشتر است و با توسعه و پیشروی حفره آبشستگی شدت آن کاهش می‌یابد. مطابق شکل 10 پس از گذشت زمان حدود 7 ساعت برای آبشکن 6 سانتی‌متر، 9 ساعت برای آبشکن 8 سانتی‌متر و 10 ساعت برای آبشکن 10 سانتی‌متر از شروع آزمایش، حفره آبشستگی تقریباً به تعادل رسید.



(الف)



(ب)



(ج)

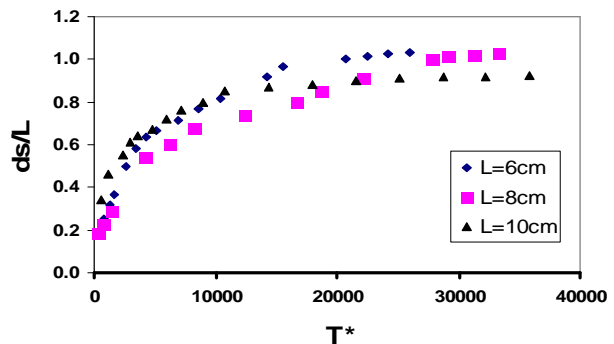
شکل 8 - محل شروع آبشستگی در حالت استفاده از طوق و بدون طوق

توسعه زمانی آبشستگی به ازای شدت جریان‌های مختلف در شکل 9 نمودار توسعه زمانی آبشستگی آبشکن به طول 10 سانتی‌متر بدون طوق به ازای شدت جریان‌های $0/8$ و $0/9$ نشان داده شده است.

شده بین طوق و سطح بستر امکان تشکیل گرداب نعل اسبی در جلوی پایه پل و آبشکن را فراهم نموده و به همین دلیل آبشستگی در جلوی پایه پل و آبشکن از همان لحظات اولیه آزمایش وجود خواهد داشت و باعث کاهش کارایی طوق می‌شود. در حالتی که طوق‌ها در زیر سطح بستر قرار بگیرند، ذرات رسوبی قرار گرفته بر روی طوق‌ها خیلی زود در اثر جریان آب شسته می‌شوند، ولی پس از آن آبشستگی در اطراف پایه پل و آبشکن با تأخیر زمانی همراه خواهند بود. به طور کلی در فواصل نزدیک به سطح بستر طوق‌های قرار گرفته در زیر سطح بستر به مراتب کاراتر از طوق‌های قرار گرفته در بالای سطح بستر هستند. با طوق‌های قرار گرفته در زیر سطح بستر، چنانچه فاصله طوق‌ها از سطح بستر افزایش یابد، ارتفاع بالای طوق خود بخشی از آبشستگی محسوب می‌شود و به سرعت توسط جریان شسته می‌شود و موجب کاهش عملکرد طوق‌ها می‌گردد (اتما 1980، درگاهی 1990، کایاترک 2005، ثانی خانی و همکاران 1386). به دلیل مشکلات اجرایی قرارگیری طوق‌ها در زیر سطح بستر، همچنین به دلیل کارایی پایین طوق در بالای سطح بستر، لذا در تمامی آزمایش‌ها در این تحقیق طوق‌ها بر روی سطح بستر قرار داده شد. به همین دلیل در اکثر آن‌ها، آبشستگی با تأخیر زمانی همراه بود.

توسعه زمانی آبشستگی آبشکن با طوق ذوزنقه‌ای

در شکل‌های 12، 13 و 14 توسعه زمانی آبشکن‌ها همراه با طوق با ابعاد مختلف به ازای قرارگیری در سطح بستر در مقایسه با آبشکن بدون طوق نمایش داده شده است. در شکل‌های 12 و 13 توسعه زمانی آبشستگی آبشکن با طوق برای طول‌های 6 و 8 سانتی‌متر در $V/V_c=0/9$ نشان داده شده است. در شکل‌های مذکور مشاهده می‌شود که نمودار آبشستگی آبشکن بدون طوق در سطح بالاتری از نمودارهای آبشستگی آبشکن با طوق در اندازه‌های مختلف قرار دارد. هم‌چنین از نمودار مشخص است که هر چه عرض طوق افزایش پیدا کرده شروع آبشستگی به تعویق افتاده است



شکل 10- رابطه بین T^* و $\frac{d_s}{L}$ برای آبشکن بدون طوق

نتایج آزمایش‌های آبشکن با طوق ذوزنقه‌ای

به طور کلی با نصب طوق در اطراف آبشکن ابتدا آبشستگی در اثر وجود گرداب‌های برخاستگی در پایین دست آبشکن و در زاویه حدود 63 درجه ایجاد گردید. کایاترک (2005) این مکانیزم را در آزمایش‌های خود گزارش داده است. با گذشت زمان در لبه‌های طوق شیارهایی ایجاد شدند. این شیارها به مرور به سمت بالادست و پایین‌دست توسعه پیدا کردند و عمق آن‌ها افزایش یافت. مدت زمان لازم برای توسعه این شیارها به دماغه آبشکن تابعی از اندازه و ارتفاع نصب طوق بر روی آبشکن می‌باشد (شکل 11).

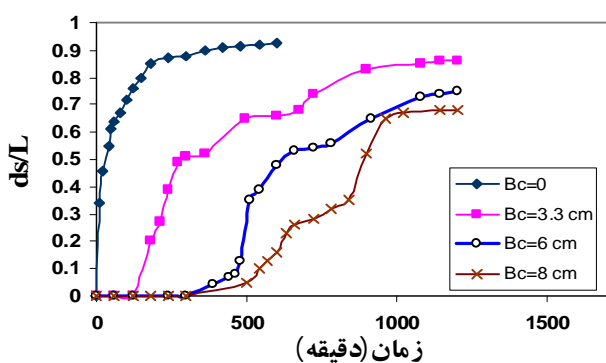


شکل 11- تصویری از شیار ایجاد شده در اطراف آبشکن

طوق‌دار در تحقیق حاضر

نتایج آزمایش‌های محققین در مورد طوق روی پایه پل و آبشکن‌ها نشان می‌دهد که طوق‌های نصب شده در زیر و روی سطح بستر به مراتب موثرتر از طوق‌های قرار گرفته در بالای سطح بستر می‌باشند. در حالتی که طوق‌ها بالاتر از سطح بستر قرار بگیرند فاصله ایجاد

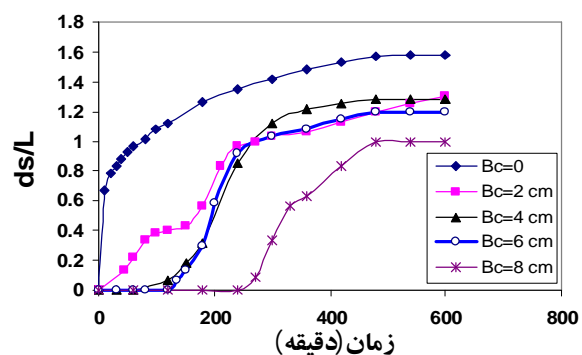
بوده است. به نظر می‌رسد در آزمایش‌های همراه با طوق احتمال اینکه عمق آبشستگی در زمان‌های طولانی به عمق آبشستگی بدون طوق و یا حتی بزرگتر برسد، وجود دارد. همچنین در این شکل مشخص است نمودارهای آبشستگی در زمان برابر 10 ساعت بیشتر عمق آبشستگی را نشان می‌دهد.



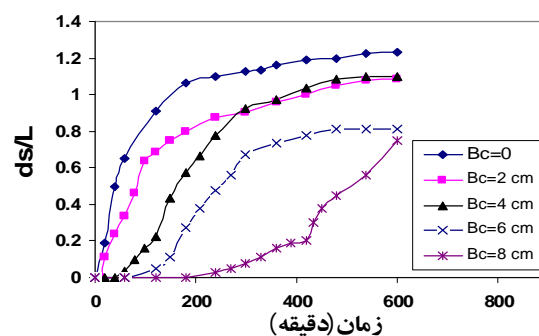
شکل 14- توسعه زمانی آبشستگی آبشکن $L=10$ cm همراه با طوق و بدون طوق $V/V_c=0/8$

نکته جالب توجه در همه منحنی‌های توسعه زمانی آبشستگی آبشکن با طوق قسمت‌هایی از منحنی است که عمق بی‌بعد آبشستگی در بازه‌های زمانی مختلف تقریباً ثابت و یا با حداقل افزایش همراه است. این مسئله در شکل 14 با $B_c=3/3$ cm به وضوح مشاهده می‌شود. حالتی که آزمایش با طوق شروع می‌شود مدت زمانی می‌گذرد تا آبشستگی به زیر طوق نفوذ کند و حفره آبشستگی ایجاد شود، بعد از آن آبشستگی تقریباً با همان نرخ بدون طوق شروع به افزایش می‌کند تا جایی که گرداب‌های داخل حفره آبشستگی اطراف آبشکن قدرت حمل ذره در داخل حفره آبشستگی را نداشته باشد. در این حالت عمق آبشستگی تقریباً به مقدار ثابت در خواهد آمد و عرض، طول و حجم حفره اطراف آبشکن افزایش می‌یابد و دوباره به حالتی می‌رسد که گرداب‌های داخل حفره آبشستگی و اطراف آبشکن قدرت جابجایی ذرات رسوبی اطراف آبشکن را پیدا می‌کنند. در این زمان عمق آبشستگی دوباره شروع به افزایش می‌کند تا جایی که گرداب‌ها قدرت خود را برای جابجایی ذرات رسوبی از داخل حفره

و عمق بی‌بعد آبشستگی نیز کاهش یافته است. در هر دو نمودار مشاهده می‌شود که در آزمایشات با عرض طوق 2 و 4 سانتی‌متر بعد از گذشت 10 ساعت از آزمایش تقریباً به یک عمق آبشستگی رسیده‌اند. در آزمایش با طوق به عرض 4 سانتی‌متر تأخیر زمانی بیشتری نسبت به طوق با عرض 2 سانتی‌متر دارد ولی بعد از گذشت 10 ساعت (زمان معادل آبشستگی) هر دو به عمق تقریباً برابر رسیده‌اند و درصد کاهش آبشستگی تقریباً برابر بود.

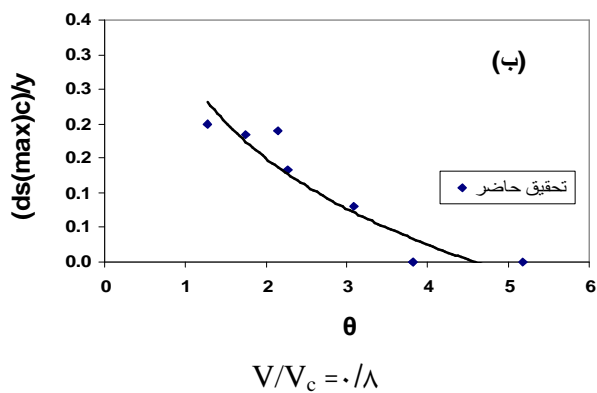
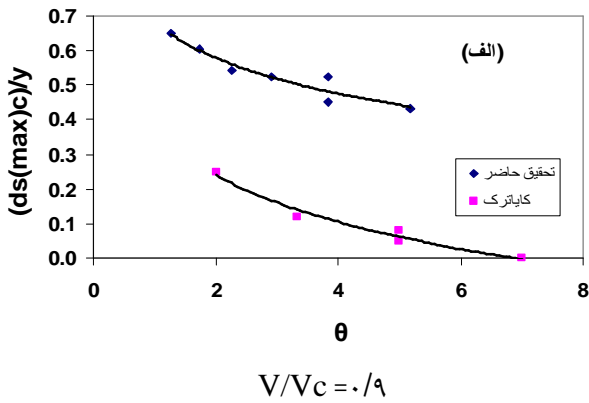


شکل 12- توسعه زمانی آبشستگی آبشکن $L=6$ cm همراه با طوق و بدون طوق در $V/V_c=0/9$



شکل 13- توسعه زمانی آبشستگی آبشکن $L=8$ cm همراه با طوق و بدون طوق در $V/V_c=0/9$

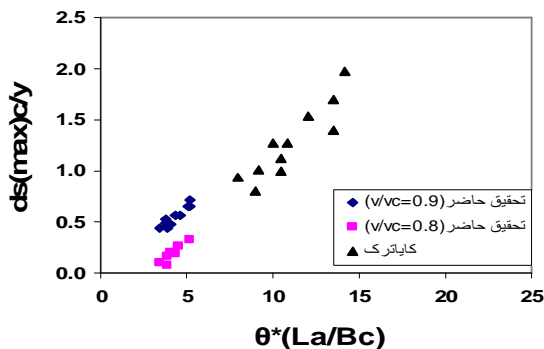
شکل 14 توسعه زمانی آبشستگی آبشکن با طول 10 سانتی‌متر در $V/V_c=0/8$ را نشان می‌دهد. در این شکل، توسعه زمانی به ازای زمان‌های مختلف نشان داده شده است. آزمایش‌های همراه با طوق به مدت 20 ساعت به طول انجامید. همانطور که از شکل مشخص است با افزایش عرض طوق تأخیر آبشستگی بیشتر



شکل 15- تأثیر پارامتر q در کاهش عمق ماکزیمم آبشستگی

همان طور که از نمودار مشخص است با افزایش

پارامتر $\theta^* \left(\frac{L_a}{B_c} \right)$ عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. دلیل آن، تأثیر بیشتر طول آبشکن نسبت به عرض طوق در کاهش آبشستگی است. به این معنی که طول آبشکن تأثیر بیشتری روی عمق آبشستگی دارد. نتایج کایاترک (2005) در این نمودار نیز موید همین مطلب است.



شکل 16- تأثیر پارامتر q و L_a در مقابل عمق ماکزیمم آبشستگی و مقایسه با نتایج کایاترک

آبشستگی به بیرون حفره از دست می‌دهند. این روند به همین صورت ادامه می‌یابد تا جایی که حتی ممکن است عمق آبشستگی آبشکن با طوق بعد از گذشت زمان طولانی بیشتر از عمق آبشستگی بدون طوق شود. بنابراین در عمل استفاده از طوق می‌تواند تأخیر در شروع آبشستگی ایجاد نماید که این مسأله در رابطه با سیلاب‌های چندروزه می‌تواند موثر باشد.

تأثیر اندازه طوق در کاهش عمق حداکثر آبشستگی

اندازه طوق یکی از پارامترهای مهم در کاهش عمق آبشستگی است. در این قسمت از پارامتر q که معرف سطح طوق می‌باشد، استفاده شده است. پارامتر q به این صورت تعریف شده است (کایاترک 2005):

$$q = \frac{A_{total}}{A_{abutment}} \quad [4]$$

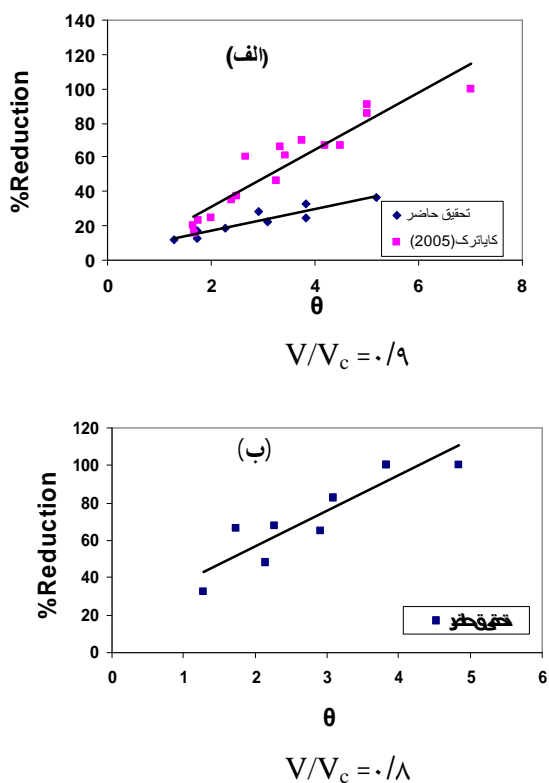
در رابطه مذکور A_{total} سطح کل طوق و آبشکن می‌باشد و $A_{abutment}$ سطح کل آبشکن می‌باشد.

شکل 15- (الف) - تأثیر این پارامتر را در عمق آبشستگی در $V/V_c=0/9$ نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق با نتایج کایاترک (2005) مقایسه شده است. شکل 15- (ب) تأثیر متقابل این دو پارامتر را در $V/V_c=0/8$ نشان می‌دهد. همان طور که از دو نمودار مشخص است با افزایش پارامتر q عمق حداکثر آبشستگی کاهش می‌یابد.

شکل 16 تأثیر پارامتر q و طول آبشکن را در مقابل حداکثر عمق آبشستگی نشان می‌دهد. در محور x ها حاصل ضرب دو پارامتر q و $\frac{L_a}{B_c}$ قرار دارد، که تأثیر متقابل طول آبشکن و عرض طوق را به صورت حاصل ضرب دو پارامتر ذکر شده ارائه می‌دهد.

تأثیر اندازه طوق در کاهش آبستگی

شکل 18 تغییرات پارامتر q را در مقابل درصد کاهش آبستگی نشان می‌دهد. نمودار (الف) در $V/V_c=0/9$ و نمودار (ب) در $V/V_c=0/8$ می‌باشد. همان‌طور که از این دو نمودار مشخص است با افزایش پارامتر q درصد کاهش آبستگی افزایش می‌یابد. این مسئله به دلیل افزایش عرض طوق و در نتیجه آن سطح کل آبشکن و طوق می‌باشد و همان‌طور که در شکل‌های 15- (الف) و (ب) با افزایش q عمق آبستگی کاهش پیدا می‌کرد. نتیجه این قضیه نیز در این نمودار باعث افزایش درصد کاهش آبستگی می‌شود. نتایج این تحقیق با نتایج کایاترک (2005) نیز مقایسه شده است و نمودار کایاترک نیز موید همین مسئله است.

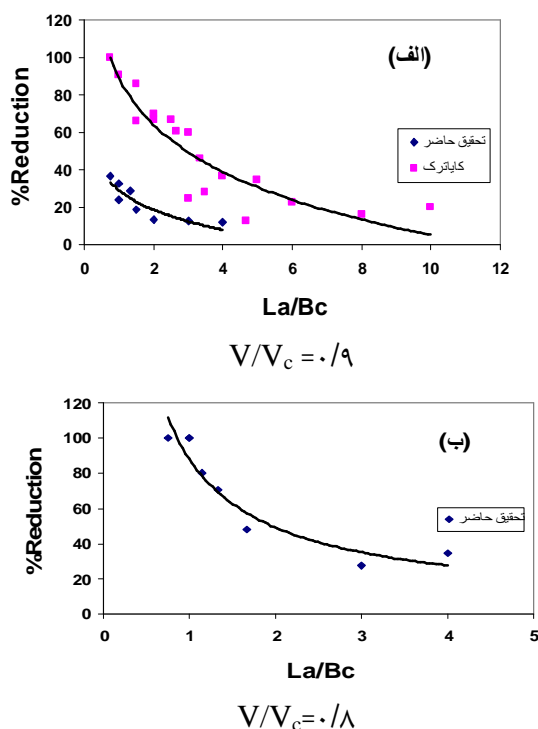


شکل 18- تاثیر پارامتر q در درصد کاهش آبستگی

شکل 17 تأثیر $\frac{L_a}{B_c}$ را در کاهش درصد آبستگی نشان می‌دهد. در دو نمودار (الف) و (ب) مشخص است که با افزایش نسبت $\frac{L_a}{B_c}$ درصد کاهش آبستگی کمتر می‌شود. این مسئله به دلیل افزایش طول آبشکن و یا کاهش عرض طوق می‌باشد. نمودار (الف) با $0/9 = V/V_c$ و نمودار (ب) با $0/8 = V/V_c$ است. نتایج این تحقیق با نتایج کایاترک (2005) نیز مقایسه شده است. تغییرات این دو پارامتر در این دو تحقیق روند مشابهی با هم دارند. درصد کاهش آبستگی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$R = \frac{(d_s)_{\max} - (d_s)_{\max c}}{(d_s)_{\max}} * 100 \quad [5]$$

که در این رابطه $(d_s)_{\max}$ عمق آبستگی آبشکن بدون طوق، $(d_s)_{\max c}$ عمق آبستگی آبشکن همراه با طوق و R درصد کاهش آبستگی می‌باشد.



شکل 17- تاثیر $\frac{L_a}{B_c}$ در درصد کاهش آبستگی

نتیجه گیری

سپس از همان منطقه آبشستگی آبشکن بدون طوق شروع به تخریب و پایین رفتن کرد.
 - در آزمایش‌های آبشکن‌های با طوق در مقایسه با حالت بدون طوق، عمق آبشستگی کاهش یافت
 - با افزایش عرض طوق کارایی طوق در کاهش عمق آبشستگی افزایش یافت.
 - با افزایش عرض طوق تاخیر زمانی آبشستگی بیشتر شد.

- با افزایش نسبت $\frac{L_a}{B_c}$ درصد کاهش آبشستگی کمتر شد.

- با افزایش پارامتر q که معرف سطح طوق می‌باشد، عمق آبشستگی کاهش و درصد کاهش آبشستگی افزایش پیدا کرد.

- در آزمایش آبشکن‌های همراه با طوق مشخص شد که در زمان برابر با آبشستگی آبشکن بدون طوق، کاهش آبشستگی بالا می‌باشد و در صورتی که آزمایش ادامه پیدا می‌کرد عمق آبشستگی نزدیک به حالت بدون طوق می‌شد.

- برای آبشکن بدون طوق، سرعت آبشستگی در لحظات اولیه آزمایش بیشتر بود ولی با توسعه حفره آبشستگی شدت آن کاهش یافت. حدود 70 درصد آبشستگی در ساعت اول آزمایش ایجاد شد.

- عمق بدون بعد آبشستگی در نسبت $\frac{y}{L} > 1$ تقریباً ثابت بود که با نتایج ملویل (1992) همخوانی دارد.

- استفاده از طوق در اطراف آبشکن، تأثیر جریان رو به پایین را تا زمان توسعه آبشستگی به زیر طوق به تاخیر انداخت. در این راستا طوق بزرگ ($B_c = 8$ cm) عملکرد بهتری در مقایسه با طوق‌های کوچکتر برای هر آبشکن داشت.

- برای آبشکن بدون طوق، آبشستگی از زاویه حدود 117 درجه نسبت به دیواره کانال شروع شد، در صورتی که برای آبشکن همراه با طوق در تمامی آزمایشات از زاویه 63 درجه آغاز شد و به تدریج به صورت شیاری به سمت بالادست آبشکن حرکت کرد و

منابع مورد استفاده

ثانی خانی ه، حسین زاده دلیر ع و فرسادی زاده د، 1387. کاربرد طوق‌های مستطیلی و دایره ای در کاهش آبشستگی پایه‌های پل. مجله علمی پژوهشی دانش کشاورزی، جلد 18، شماره 4، صفحات 1 تا 16.

زراتی الف، عزیزی م، 1380. کنترل آبشستگی در اطراف پایه های پل. نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، جلد 35، شماره 1. صفحات 21 تا 33

شفاعی بجستان، محمود. 1378. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

Alabi, PD 2006. Time development of local scour at bridge pier fitted with a collar. MS thesis, University of Saskatchewan, Canada.

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

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

Dargahi B 1990. Controlling mechanism of local scouring. J of Hydr Engin 116(10): 1197-1214.

- 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.
- Ettema R, 1980. Scour at bridge piers. PhD thesis, University of Auckland, Department of Civil Engineering, Report No. 216.
- Kayaturk SY, 2005. Scour and scour protection at bridge abutment, PhD thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Li H Kuhnle RA and Barkdoll BD, 2006. Countermeasures against scour at abutments. Report No. 49, USDA, Agricultural Research Service.
- Melville BW, 1992. Local scour at bridge abutments. J Hyd Eng, ASCE 118(4): 615-631.
- Oliveto G and Hager WH, 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutments scour. J Hydr Eng 128(9): 811-820.
- Raudkivi AJ, 1998. Loose Boundary Hydraulics. 3rd Edition, Pergamon Press, Oxford, New York.