

بررسی عملکرد هندسه طوق در آبشستگی موضعی در پایه پل

حسین شریعتی^{۱*}، سعید رضا خدائشناس^۲، کاظم اسماعیلی^۳

۱- کارشناس ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

* کاشمر، صندوق پستی ۹۶۷۱۸۳۶۳۹

shariaty13@gmail.com

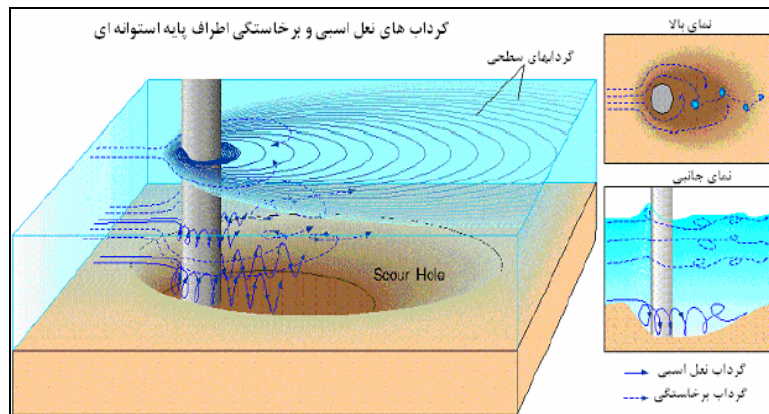
چکیده- آبشستگی پایه‌های پل خسارت زیادی به پل وارد می‌آورد. در روش‌های مستقیم کنترل این پدیده، به‌منظور افزایش مقاومت بستر، از سنگ چین استفاده می‌شود. در روش‌های غیرمستقیم برای کاهش آبشستگی ناشی از جریان رو به پایین و گرداب نعل اسبی، از تجهیزاتی مانند طوق، شکاف و صفحات مستغرق استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر، عملکرد طوق مربعی و طوق دایره‌ای در مدل تک پایه استوانه‌ای بررسی شده است. نتایج نشان داده که استفاده از هر دو نوع طوق به‌ویژه در زیر سطح بستر، باعث کاهش عمق آبشستگی می‌شود. نوع مربعی نسبت به دایره‌ای، عملکرد بهتری در کاهش عمق آبشستگی داشته است. طوق مربعی کاهش ۷۰ درصدی و طوق دایره‌ای کاهش ۵۰ درصدی در عمق آبشستگی را نسبت به حالت بدون طوق ایجاد کرده‌اند.

کلیدواژگان: آبشستگی، طوق، پایه پل، آب زلال.

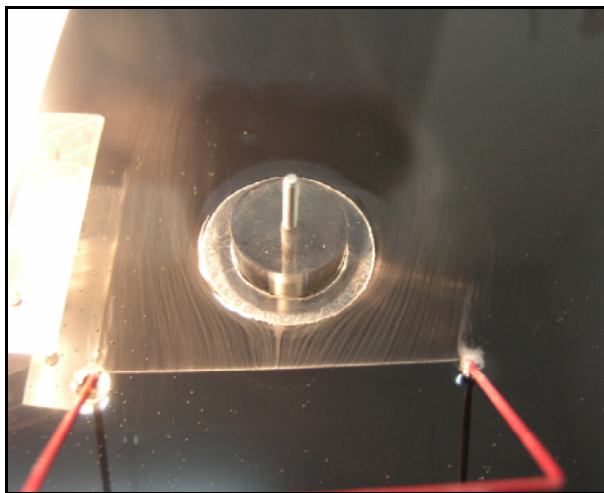
۱- مقدمه

مطالعات نشان می‌دهد که یکی از مهم‌ترین دلایل تخریب پل‌ها پدیده آبشستگی است که علاوه بر تلفات جانی، هزینه‌های زیادی را به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم برکشورها تحمیل می‌کند. برخورد و جدا شدگی جریان از پایه پل، دو عامل اصلی ایجاد آبشستگی در اطراف پایه پل است. برخورد جریان به پایه گرداب نعل اسبی را شکل داده و جدایی جریان از پایه باعث به‌وجود آمدن گرداب‌های برخاستگی می‌شود. گرداب نعل اسبی عامل اصلی فرسایش بستر رودخانه در اطراف پایه، به‌ویژه در

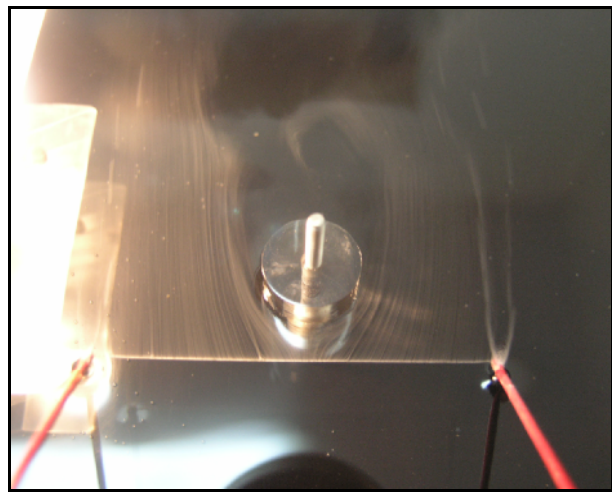
جلوی آن است (شکل ۱). مطالعات آزمایشگاهی و عددی فراوانی به‌منظور شناخت راه‌های کاهش این پدیده انجام شده است. یکی از این راه‌ها استفاده از طوق است. طوق صفحه‌ای تخت با ضخامت کم است، که در اطراف پایه نصب می‌شود. شکل‌های ۲ و ۳ جریان اطراف پایه را بدون طوق و با طوق در دستگاه نمایش جریان معروف به F14، نشان می‌دهند. دیده می‌شود که استفاده از طوق باعث پخش کردن خطوط جریان از اطراف پایه و کاهش قدرت گرداب‌ها می‌شود.



شکل ۱ الگوی سه بعدی جریان در اطراف پایه پل



شکل ۳ الگوی جریان در اطراف پایه با طوق دایره‌ای



شکل ۲ الگوی جریان در اطراف پایه استوانه‌ای

بلوچی و همکاران (۱۳۸۶) آزمایشهایی را به منظور بررسی اثر طوق بر روند و میزان آبستگي موضعی انجام دادند. طوق‌های دایره‌ای مسطح به کار رفته عبارت بودند از: طوق با دو و سه برابر قطر پایه و هم مرکز با پایه، و طوق با سه برابر قطر پایه و ناهم مرکز با پایه. نتایج نشان داده که وجود طوق موجب تأخیر در زمان تعادل و کاهش عمق آبستگي می‌شود. طوق با قطر دو و سه برابر قطر پایه روی بستر به ترتیب آبستگي را ۱۴/۵۸٪ و ۳۵٪ کاهش داد. براساس نتایج طوق نامتقارن سه برابر قطر پایه، زمان تعادل به مراتب بیشتر از حالت‌های قبل است، اما میزان عمق آبستگي تغییر چندانی ندارد.

Kumar et al. (1999) با انجام آزمایشهایی تأثیر طوق را بر کاهش آبستگي بررسی کردند. ایشان از پایه‌هایی استوانه‌ای شکل با قطر ۶۱ و ۱۱۲ میلی‌متر و پنج اندازه مختلف با شکل دایره‌ای برای کاهش آبستگي استفاده کردند. مطالعات نشان داده که هر چه طوق بزرگتر باشد تأثیر بیشتری بر کاهش خسارت آبستگي خواهد داشت. آنان با استفاده از تحلیل آزمایشها معادله زیر را برای محاسبه میزان کاهش عمق آبستگي ارائه کردند.

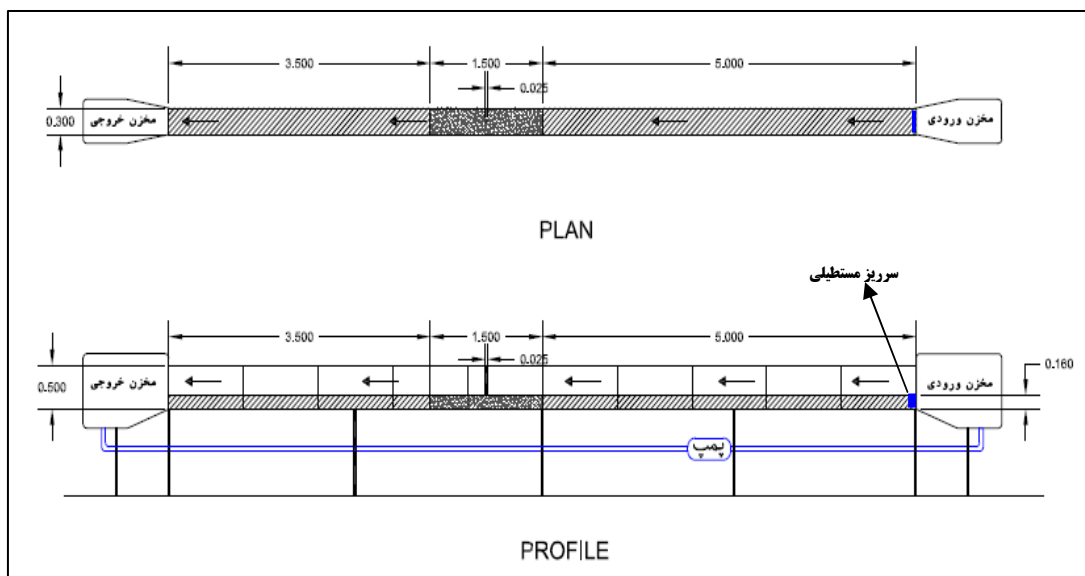
$$\frac{ds_p - ds_c}{ds_p} = 0.057 \left(\frac{B}{b}\right)^{1.612} \left(\frac{H}{y_0}\right)^{0.837} \quad (1)$$

کاربرد طوق‌های با هندسه متفاوت مربعی و دایره‌ای در اطراف پایه پل استوانه‌ای در ترازهای مختلف نسبت به تراز بستر بوده است.

۲- مواد و روشها

آزمایشها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. کانال دارای طول ۱۰m، عرض ۰/۳m و ارتفاع ۰/۵m با جنس دیوار شیشه‌ای است. اندازه‌گیری دبی توسط سرریز لبه تیز مستطیلی در ورودی کانال انجام شد. برای تنظیم عمق از دریچه نصب شده در انتهای کانال استفاده شد. برای توسعه یافتن کامل جریان بازه‌ای آزمایشی به طول ۱/۵m در فاصله ۵ m از ابتدای کانال در نظر گرفته شد. ضخامت رسوبهای ریخته شده در بازه آزمایش برابر ۱۶cm بود، بنابراین تراز کف کانال در قسمت بالادست و پایین دست منطقه آزمایش به مقدار مشابه (۱۶cm) در نظر گرفته شد (شکل ۴).

که در آن ds_c عمق آبشستگی پایه طوق‌دار، ds_p عمق آبشستگی پایه بدون طوق، H فاصله سطح طوق تا سطح آب، λ عمق جریان، B قطر طوق و b عرض پایه است. همچنین Zarrati et al. (2004) تأثیر طوق پایه‌های مستطیلی با سه نوع زاویه قرارگیری پایه نسبت به جریان ($\theta = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$) را ارزیابی کردند و دریافتند که اگر طوق عریض بوده و ارتفاع آن نسبت به بستر کمتر باشد، عملکرد بهتری دارد و همچنین کارایی طوق با افزایش زاویه قرارگیری پایه نسبت به جریان، کاهش می‌یابد. (Moncada et al. 2009) به مطالعه عملکرد طوق و شکاف در کاهش آبشستگی پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که استفاده از طوقی با عرض دو برابر قطر پایه می‌تواند آبشستگی را ۵۵ تا ۹۶ درصد کاهش دهد. با توجه به اینکه در گذشته محققان معمولاً از طوق دایره‌ای در اطراف پایه‌های استوانه‌ای و از طوق مستطیلی در اطراف پایه‌های مستطیلی برای کاهش آبشستگی در اطراف پایه پل استفاده کرده‌اند و در باره شکل و هندسه طوق اطلاعاتی در دسترس نیست، هدف از این تحقیق بررسی



شکل ۴ طرحواره فلوم آزمایشگاهی

خطا، عمق و دبی آستانه حرکت ذرات بستر به کمک روش شیلدز و رابطه ارائه شده در (Mellville 1997) به ترتیب برابر 10 lit/s و $10/5 \text{ cm}$ به عنوان شرایط آستانه حرکت انتخاب شد که در این حالت $\frac{U}{U_c} = 0.93$ ($\frac{U}{U_c}$) نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی در آستانه حرکت است).

برای به دست آوردن زمان تعادل شرایط بستر و پایان هر آزمایش، تغییرات آبشستگی در محدوده پایه ساده (مدل راهنما) نسبت به زمان برای مدت ۱۵ ساعت ثبت شد. نتایج مؤید آن است که سرعت آبشستگی در لحظات اول زیاد بوده و تقریباً ۹۰ درصد آبشستگی ($\frac{d_s}{d_{se}} = 0.9$) در ساعاتی اولیه آزمایش رخ می‌دهد. پس از گذشت هفت ساعت تغییرات عمق آبشستگی بسیار کاهش یافته و در مدت هشت ساعت به 1 mm می‌رسد. از طرفی به کمک رابطه (Melville and Chiew 1999) برای زمان تعادل داریم:

$$t_e = 30.89 \frac{D}{U} \left(\frac{U}{U_c} - 0.4 \right) \left(\frac{y_0}{D} \right)^{0.25} \quad \frac{y_0}{D} \leq 6 \quad (2)$$

که در آن t_e زمان تعادل بر حسب روز، U سرعت جریان، U_c سرعت بحرانی در آستانه حرکت بر حسب متر بر ثانیه، D قطر پایه بر حسب متر، y_0 عمق اولیه جریان، d_{st} عمق آبشستگی در زمان t و d_s حداکثر عمق آبشستگی و $t_{90\%}$ زمانی است که ۹۰ درصد آبشستگی رخ داده باشد.

با فرض $\frac{d_s}{d_{se}} = 0.9$ و با توجه به عمق جریان و سرعت متوسط و سرعت برشی داریم:

$$y_0 = 0.105 \text{ m}, U = 0.317 \text{ m/s}, U_c = 0.338 \text{ m/s} \quad (3)$$

$$\Rightarrow t_e = 44.36 \text{ hr}, t_{90\%} = 5.77 \text{ hr}$$

با توجه به زمان به دست آمده از فرمول و آزمایش راهنما، تمامی آزمایشها در مدت زمان هفت ساعت انجام شد. هر چند در انواع مدل‌های به کار گرفته شده، زمان تعادل حتی

برای جلوگیری از اثرگذاری جدار بر آبشستگی طبق توصیه (Chiew and Mellville 1987) حداکثر قطر پایه باید برابر ۱۰ درصد عرض کانال باشد و بر اساس نظر (Raudkivi and Ettema 1983) نسبت عرض کانال به قطر پایه باید بزرگتر از $6/25$ باشد و برای جلوگیری از تموج در شکل بستر (ریپل) قطر متوسط ذرات باید از 0.7 mm بزرگتر باشد. همچنین برای حذف اثر رسوبات بر عمق آبشستگی باید $20 - 25 > \frac{D}{d_{50}}$ باشد (D قطر پایه و d_{50} اندازه متوسط ذرات رسوب است). لذا برای مدل‌سازی پایه از استوانه‌ای با قطر 25 mm از جنس پلاستیک تفلون و از رسوبهایی با $d_{50} = 0.8 \text{ mm}$ استفاده شد (شکل ۵).



شکل ۵ نمایی از پایه قرار گرفته در کانال

از طرفی چنانچه عمق جریان از $3/5$ برابر قطر پایه بیشتر باشد تأثیری بر میزان آبشستگی نخواهد داشت که این معیار نیز رعایت شد (Chiew and Mellville, 1987). با توجه به اینکه حداکثر عمق آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال رخ می‌دهد، در مرحله اول با توجه به محدودیت‌ها و انجام آزمایشهایی مقدماتی و با سعی و

آبشستگی، d_{se} عمق تعادل آبشستگی در حالت بدون طوق) در برابر t/t_e (زمان t و t_e زمان تعادل) استفاده شد.

۳- نتایج

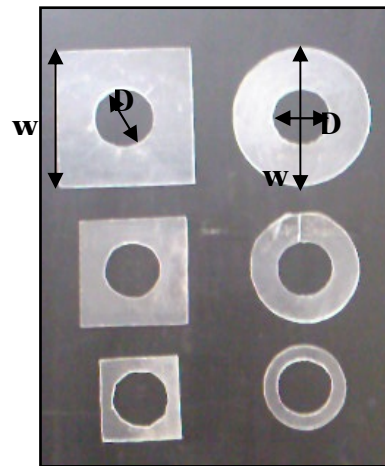
۳-۱- مدل ساده (پایه بدون طوق)

در شکل ۷ تغییر زمانی آبشستگی در حالت پایه بدون طوق در مدت ۱۵ ساعت نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که سرعت آبشستگی در لحظات اولیه بیشتر بوده و با توسعه و پیشروی حفره آبشستگی شدت آن کاهش می‌یابد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که پس از گذشت هفت ساعت از شروع آزمایش حفره آبشستگی تقریباً به تعادل می‌رسد. تغییرات عمق آبشستگی از این ساعت تا پایان آزمایش فقط ۱mm تغییر می‌کند، لذا زمان تعادل آبشستگی برای سایر آزمایشها برابر مدت هفت ساعت انتخاب شد. در این حالت آبشستگی از جلوی پایه و به صورت متقارن نسبت به محور پایه شروع شده و مواد رسوبی از جلو و اطراف پایه شسته و به صورت پشته‌ای در پشت پایه جمع می‌شوند. این پشته‌ها به تدریج به سمت پایین دست انتقال می‌یابد. بیشینه عمق آبشستگی برابر ۵۳mm در جلوی پایه ایجاد می‌شود. این مقدار با رابطه Melville and Chiew (1999) کمتر از چهار درصد و با رابطه دانشگاه ایالتی کلرادو کمتر از شش درصد اختلاف داشت (Ettema et al, 1998).

۳-۲- آزمایشات مدل پایه با طوق مربعی

شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ تغییرات زمانی آبشستگی در اطراف مدل پایه را برای طوق مربعی در ابعاد مختلف ($W/D = 1.5, 2, 2.5$) و با قرارگیری در ترازهای مختلف ($Z/D = -0.4, 0, 0.4$) نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج،

کمتر از این مقدار بوده است. عمق آبشستگی در جلوی پایه در ساعت اول در هر ۱۰ دقیقه و در ساعت دوم در هر ۲۰ دقیقه و در ساعت سوم به بعد در هر نیم ساعت یک بار ثبت می‌شد. عمق جریان در کانال توسط عمق‌سنج با دقت ± 0.1 mm اندازه‌گیری می‌شد. برای بررسی اثر طوق بر میزان آبشستگی در اطراف پایه پل از دو نوع طوق (دایره‌ای و مربعی) در سه اندازه $W/D = 1.5, 2, 2.5$ قطر پایه و W به ترتیب طول طوق مربعی و قطر طوق دایره‌ای) استفاده شد (شکل ۶).

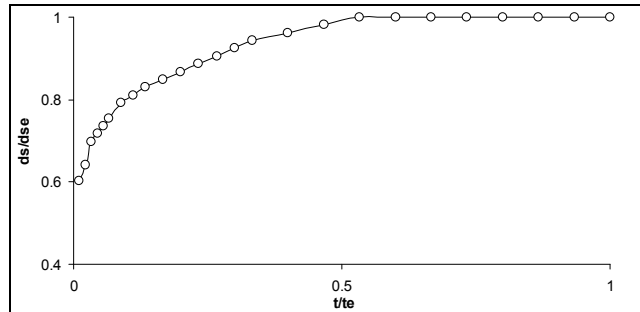


شکل ۶ طوق‌های دایره‌ای و مربعی

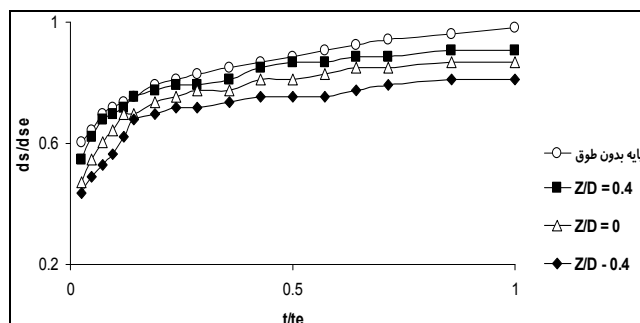
بر اساس آزمایشهای Dargahi (1990) اگر نسبت ضخامت طوق به قطر پایه بزرگ باشد، قطر مؤثر پایه افزایش یافته و باعث افزایش عمق آبشستگی می‌شود. در این تحقیق از صفحاتی با ضخامت ۱mm استفاده شد. همچنین برای بررسی تأثیر تراز قرارگیری طوق‌ها بر میزان آبشستگی، سه ارتفاع $Z/D = -0.4, 0, 0.4$ (فاصله طوق نسبت به سطح بستر) در نظر گرفته شد. برای نشان دادن توسعه زمانی آبشستگی در تمامی حالتها از نسبت d_s/d_{se} (عمق

ابعاد طوق و ارتفاع نصب بر روی پایه، عامل‌های مؤثری بر عمق آبشستگی محسوب می‌شوند. طوق بالاتر از سطح بستر، تأثیر محسوسی بر کاهش آبشستگی نمی‌گذارد که این احتمالاً ناشی از فاصله ایجاد شده بین طوق و سطح بستر بوده که امکان تشکیل گرداب نعل اسبی را فراهم می‌سازد. اما درحالتی که طوق روی بستر یا زیر بستر قرار می‌گیرد، با تضعیف گرداب‌های نعل اسبی و جریان برخاستگی، موجب کاهش عمق آبشستگی در جلوی پایه می‌شود. در حالت قرارگیری طوق بر روی بستر مشاهده شد که نخست در اطراف لبه‌های طوق شیارهایی ایجاد می‌شود که با گذشت زمان توسعه یافته و عمق آبشستگی را در اطراف پایه افزایش می‌دهد. در حالتی که طوق در زیر بستر قرار داده شد، ذرات رسوبی بالای آنها با شروع جریان بلافاصله شسته می‌شد. پس از رسیدن حفره

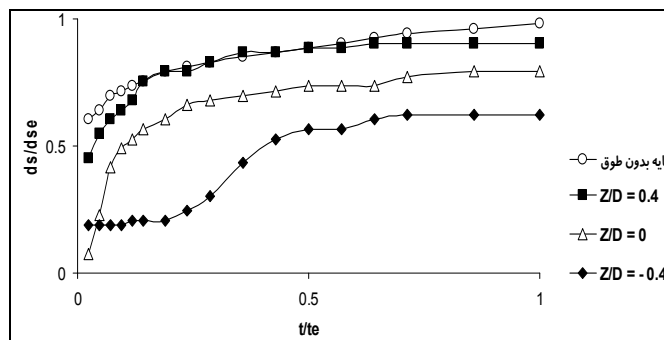
آبشستگی به طوق، روند آبشستگی کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد که طوق بر الگوی جریان اثر گذاشته و روند فرسایش را تغییر می‌دهد. هر چه طوق پایین‌تر نصب شود، درصد کاهش آبشستگی بیشتر خواهد شد، اما باید توجه داشت که افزایش عمق نصب، موجب افزایش فضای بالای آن می‌شود که این بر میزان آبشستگی تأثیر نامطلوبی دارد. بنابراین می‌توان عمقی بهینه را در زیر بستر برای نصب طوق در نظر گرفت که در آن آبشستگی به کمترین مقدار می‌رسد. مشاهدات آزمایشگاهی حاکی از آن است که در حالت قرارگیری طوق در زیر بستر، رسوبهای روی آن به سرعت بر اثر جریان شسته می‌شود، اما آبشستگی با تأخیر زمانی همراه است. این تأخیر برای طوق با عرض $2/5$ برابر قطر پایه در زیر بستر به دو ساعت می‌رسید.



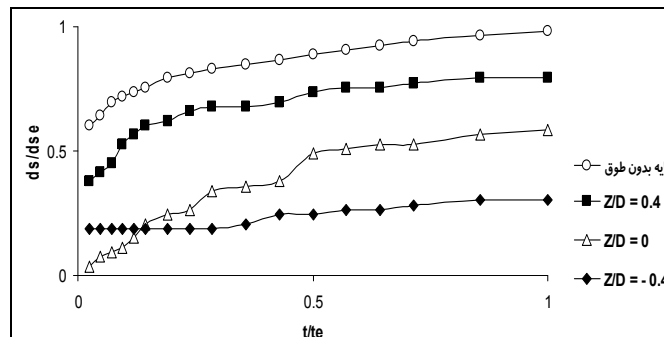
شکل ۷ تغییرات زمانی آبشستگی در حالت پایه بدون طوق



شکل ۸ توسعه زمانی آبشستگی در حالت پایه با طوق مربعی $W/D = 1.5$



شکل ۹ توسعه زمانی آبشستگی در حالت پایه با طوق مربعی $\frac{W}{D} = 2$



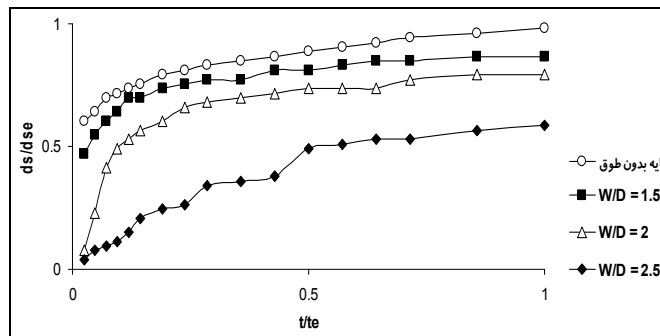
شکل ۱۰ توسعه زمانی آبشستگی در حالت پایه با طوق مربعی $\frac{W}{D} = 2.5$

۳-۳- آزمایشهای پایه با طوق دایره‌ای

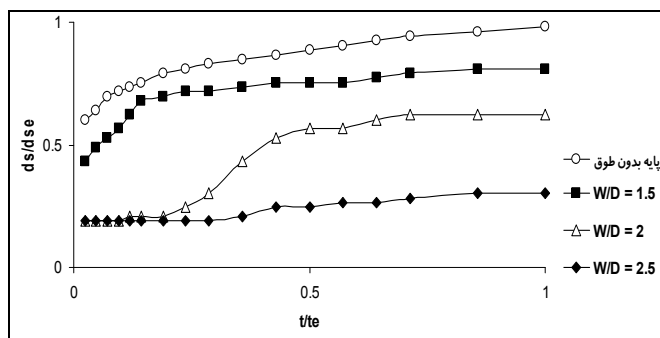
شکل‌های ۱۳ تا ۱۷ تغییرات زمانی آبشستگی را برای طوق‌های دایره‌ای مختلف ($\frac{W}{D} = 1.5, 2, 2.5$) با قرارگیری در ترازهای مختلف ($\frac{Z}{D} = -0.4, 0.4$) روی پایه نشان می‌دهد. با توجه به نامحسوس بودن کاهش آبشستگی با طوق در شرایط قرارگیری بالای بستر، دو تراز برای قرارگیری آن در نظر گرفته شد. نتایج به دست آمده در مورد تأثیر طوق دایره‌ای در ابعاد مختلف نشان می‌دهد که هر چه طوق بزرگتر باشد و در زیر سطح بستر قرار گیرد، تأثیر بیشتری بر کاهش آبشستگی دارد.

طوق با عرض $\frac{2}{5}$ برابر قطر پایه در زیر بستر می‌تواند عمق آبشستگی را تا ۷۰ درصد کاهش دهد. این مقدار برای طوق‌های با $\frac{W}{D} = 1.5$ در حدود ۲۰ و در مورد $\frac{W}{D} = 2$ در حدود ۴۰ درصد است.

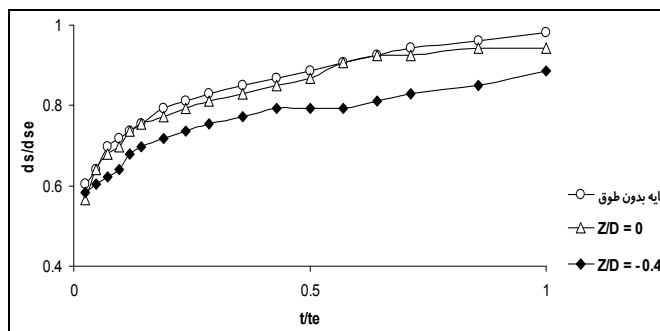
شکل‌های ۱۱ و ۱۲ تأثیر ابعاد طوق مربعی قرار گرفته در ترازهای مختلف را بر کاهش آبشستگی نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود طوق با ابعاد نسبی $\frac{W}{D} = \frac{2}{5}$ در کاهش عمق آبشستگی نسبت به دو طوق دیگر بیشتر مؤثر است. طوق با $\frac{W}{D} = 1.5$ به دلیل کوچک بودن عرض، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر الگوی جریان در ناحیه حفره آبشستگی نداشته و لذا نتوانست تأثیر زیادی بر کاهش عمق آبشستگی داشته باشد؛ لذا پس از گذشت زمان کوتاهی، با توسعه گرداب‌های نعل اسبی، عمق آبشستگی افزایش یافت.



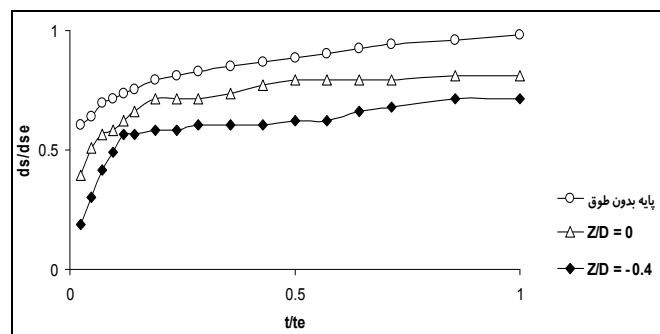
شکل ۱۱ تغییرات زمانی آبستگي برای پایه با طوق مربعی در روی بستر ($\frac{Z}{D} = 0$)



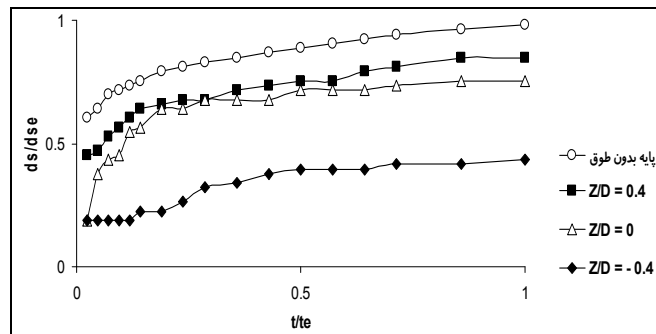
شکل ۱۲ تغییرات زمانی آبستگي برای پایه با طوق مربعی در زیر بستر ($\frac{Z}{D} = -0.4$)



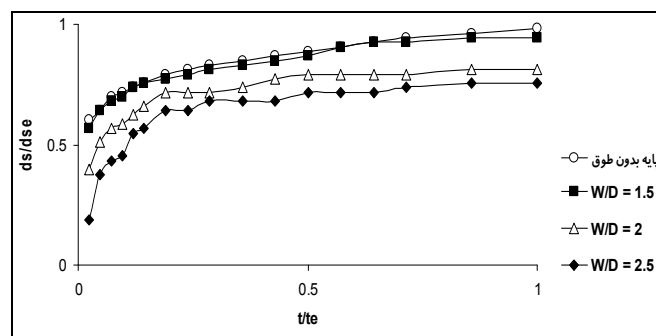
شکل ۱۳ تغییرات زمانی آبستگي در حالت پایه با طوق دایره‌ای $\frac{W}{D} = 1/5$



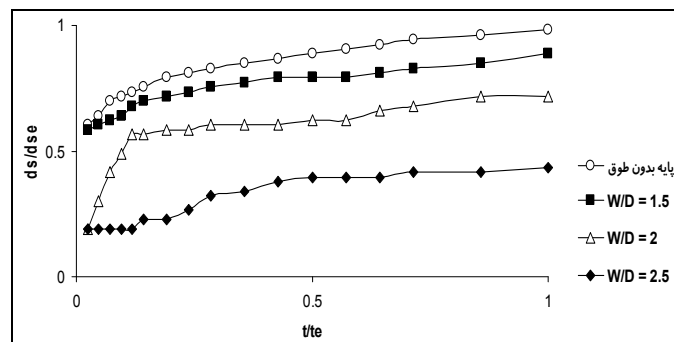
شکل ۱۴ تغییرات زمانی آبستگي در حالت پایه با طوق دایره‌ای $\frac{W}{D} = 2$



شکل ۱۵ تغییرات زمانی آبشستگی در حالت پایه با طوق دایره‌ای $\frac{W}{D} = \frac{2}{5}$



شکل ۱۶ تغییرات زمانی آبشستگی برای پایه با طوق دایره‌ای روی بستر $(\frac{Z}{D} = 0)$



شکل ۱۷ تغییرات زمانی آبشستگی برای پایه با طوق دایره‌ای زیر بستر $(\frac{Z}{D} = -0.4)$

فاصله طوق تا بستر رودخانه به سرعت شسته شده و جزو عمق آبشستگی محسوب می‌شود. از سوی دیگر، مزیت استفاده از طوق در کنترل آبشستگی، تأخیر زمانی ایجاد شده است. این تأخیر با استفاده از طوق دایره‌ای با عرض $\frac{2}{5}$ برابر قطر پایه در زیر بستر برابر یک ساعت بود.

علت آن است که طوق در حقیقت جلوی جریان رو به پایین را گرفته و مانع تشکیل گرداب نعل اسبی قوی می‌شود و هر چه طوق پایین‌تر باشد، جریان کمتری به زیر آن نفوذ کرده و لذا جریان رو به پایین ضعیف‌تری ایجاد می‌شود. بهترین وضعیت برای طوق آن است که طوق کمی زیر بستر قرار داده شود. البته در این صورت

قرارگیری طوق در تراز زیر بستر، نسبت به دیگر موقعیت‌ها، بیشتر در کاهش آبشستگی مؤثر است که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

۳-۴- مقایسه طوق دایره‌ای و مربعی

در شکل ۱۸ عملکرد طوق‌های مربعی و دایره‌ای بر کاهش آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، طوق مربعی - به دلیل داشتن شکل هندسی و لبه‌های تیز- کارایی بیشتری در کم کردن قدرت گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی نسبت به طوق دایره‌ای داشته و بیشتر بر کاهش عمق آبشستگی مؤثر است. حداکثر کاهش عمق آبشستگی در شرایط به‌کارگیری طوق مربعی برابر ۷۰ درصد و برای طوق دایره‌ای برابر ۵۷ درصد است. در جدول ۱ درصد کاهش عمق آبشستگی با استفاده از طوق‌های دایره‌ای و مربعی نشان داده شده است.

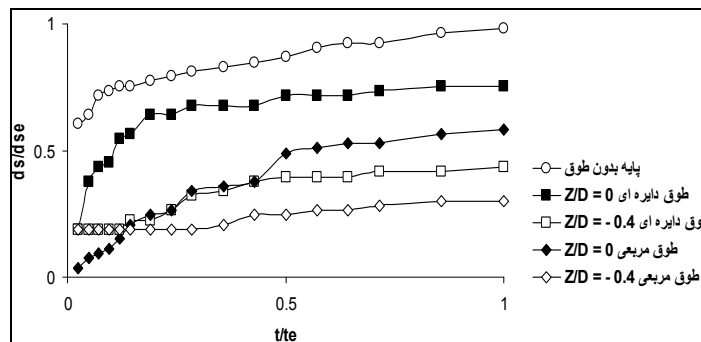
۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر از دو نوع طوق مربعی و دایره‌ای با ابعاد مختلف و در ترازهای گوناگون به‌منظور مطالعه کاهش آبشستگی موضعی در تک پایه استوانه‌ای استفاده شد.

نصب طوق با $\frac{W}{D} = 2.5$ در زیر بستر می‌تواند عمق آبشستگی را تا ۵۵ درصد کاهش دهد. این مقدار برای طوق‌های $\frac{W}{D} = 1/5$ ، برابر ۱۵ درصد و برای طوق‌هایی با $\frac{W}{D} = 2$ برابر ۲۴ درصد است.

بر اساس رابطه Kumar et al. (1999) که فقط برای طوق‌های دایره‌ای روی بستر و بالای بستر درست است، میزان کاهش آبشستگی با استفاده از طوق‌های $2D$ و $2/5D$ روی بستر به ترتیب برابر ۱۷ و ۲۵ درصد است. در تحقیق حاضر درصد کاهش آبشستگی برای طوق‌های با قطر $2D$ و $2/5D$ با قرارگیری روی سطح بستر به ترتیب برابر ۱۸ و ۲۴ درصد است که مطابقت خوبی با رابطه Kumar et al. (1999) دارد. اختلاف بین درصد کاهش آبشستگی ممکن است ناشی از نایکنواختی ذرات رسوبی باشد. نتایج تحقیق حاضر همچنین با نتایج Dargahi (1990) مطابقت خوبی دارد. لازم است ذکر شود که آزمایشهای Dargahi (1990) نشان داده که با قرارگیری

طوق دایره‌ای در تراز $\frac{y_c}{y_0} = -0.015$ عمق آبشستگی در بالادست پایه ۵۰٪ کاهش می‌یابد. (y_c تراز طوق نسبت به کف و y_0 عمق جریان است؛ علامت منفی نشان دهنده آن است که طوق زیر بستر قرار دارد). نتایج آزمایشهای زراتی و عزیززی (۱۳۸۰) نیز حاکی از آن بوده که



شکل ۱۸ تغییرات زمانی آبشستگی برای طوق مربعی و دایره‌ای با $\frac{W}{D} = 2.5$

جدول ۱ درصد کاهش آبشستگی نسبت به پایه بدون طوق

$\frac{W}{D} = 2.5$	$\frac{W}{D} = 2$	$\frac{W}{D} = 1.5$	ابعاد طوق	
			موقعیت طوق	
۲۴/۵	۱۸/۸	۵/۶	روی بستر	
۵۶/۶	۲۸/۳	۱۱/۳	زیر بستر	
۴۱/۵	۲۰/۷۵	۱۳/۲	روی بستر	
۷۰	۳۷/۷	۱۸/۸	زیر بستر	

۲- زراتی، ا. ر. و عزیزی، م. ۱۳۸۰. "کنترل آبشستگی در اطراف پایه های پل". نشریه دانشکده فنی امیرکبیر ۳۵ (۱) ص. ۲۱-۳.

Chiew Y.M., Mellville B.W. (1987). "Local scour around bridge piers". J. Hyd. Res. 25(1), pp. 15-26.

Dargahi B. (1990). "Controlling mechanism of local scouring". J. Hyd. Eng. 116(10), pp. 1197-121

Ettema R., Melville B.W. and Barkdoll B. (1998). "Scale effect in pier-scour experiments." Journal of Hydraulic Engineering, 124(6), pp.639-642.

Kumar V., Raja K. and Vittal N. (1999). "Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars, piers". J. Hyd. Eng. 125(12), pp. 1302-1305.

Melville W. and Chiew Y. (1999). "Time scale for local scour at bridge piers", J. Hyd. Eng. 125(1), pp. 59-65.

Melville B.W. (1997). "Pier and abutment scour-an integrated approach". J. Hyd. Eng. 123(2), pp. 125-136.

Moncada-M, A, T., Aguirre-Pe J., Bolivar J.C. and Flores E.J. (2009). "Scour protection of circular bridge piers with collars and slots". J. Hyd. Res. 47(1), pp. 119-126.

Raudkivi A. and Ettema R. (1983). "Clear-water scour at cylindrical piers". J. Hyd. Eng. 109(3), pp.338-350.

Zarrati A.R., Gholami H. and Mashahir M.B. (2004). "Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers". J. Hyd. Res. 42(1), pp. 97-103.

عملکرد طوقها در حالت‌های مختلف مقایسه شد و نتایج نشان داد که معمولاً استفاده از طوق در کاهش عمق آبشستگی مؤثر است. همچنین استفاده از طوق در تراز زیر بستر نسبت به سایر ترازها بیشتر مؤثر است. با افزایش ابعاد طوق، تأثیر بیشتری بر کاهش آبشستگی دیده می‌شود. طوق مربعی به دلیل داشتن لبه‌های تیز نسبت به طوق دایره‌ای، عملکرد بهتری در کم کردن قدرت گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی داشته و در کاهش عمق آبشستگی بیشتر مؤثر است.

۵- فهرست علائم

D	قطر پایه
d_{50}	قطر متوسط ذرات
d_s	عمق آبشستگی
d_{se}	عمق تعادل آبشستگی
t	زمان
t_e	زمان تعادل
W	قطر طوق دایره‌ای و عرض طوق مربعی
Z	تراز قرارگیری طوق نسبت به بستر

۶- منابع

۱- بلوچی، م.، چمنی، م. ر.، و بیرامی، م. ک. ۱۳۸۶. "بررسی اثر تغییر شکل طوق بر روند و میزان آبشستگی موضعی". مجموعه مقالات ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهر کرد.