

بررسی آزمایشگاهی کارکرد با هم طوق و شکاف بر میزان آبستگي موضعی در پایه پل *

حسین شریعتی^(۱) سعیدرضا خداشناس^(۲) کاظم اسماعیلی^(۳)

چکیده جابه جایی ذره‌های رسوب ناشی از تغییر الگوی جریان، آبستگي نامیده می‌شود. این پدیده یکی از دلایل‌های پایدار نبودن پل‌ها و در نهایت خراب شدن آن‌ها به شمار می‌رود. از این رو ارائه روش‌هایی برای مهار و کاهش آبستگي اهمیت دارد. به کارگیری تجهیزاتمانند طوق و شکاف بر روی پایه برای فراهم ساختن پایداری پل‌ها می‌تواند از راهکارهای مناسب برای رسیدن به این هدف باشد. در این پژوهش، نخست کارکرد دو گونه طوق مربعی و دایره‌ای روی یک الگوی تک پایه استوانه‌ای بررسی شد. سپس با ایجاد شکاف روی پایه و ترکیب طوق و شکاف اثر با هم این دو روش در کاهش میزان آبستگي مورد توجه قرار گرفت. نتیجه‌ها نشان داد، طوق مربعی نسبت به گونه دایره‌ای در کاهش عمق آبستگي کارکرد بهتری دارد. به کارگیری ترکیبی از طوق و شکاف روی پایه سبب شد عمق آبستگي به میزان بیشتری کاهش یابد، به گونه‌ای که در این حالت (ترکیب طوق مربعی با $W/D=2-5$ و شکاف) توانست عمق آبستگي را تا ۸۰٪ کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی آبستگي، طوق، شکاف، ترکیب طوق و شکاف، پایه پل.

Effect of Collar- Slot Combination on the Local Scouring Around the Bridge Piers

H.Shariati

S.R.Khodashenas

K.Esmaili

Abstract Scour is the removal of particle sediment which results variation of flow pattern. Local scour is considered as one of the reasons of instability and ultimately failure of bridges. Therefore, proposing some controlling methods to reduce this phenomenon is essential. In the study, effects of two types of squar and circular collar on a single cylindrical model have been investigated. In the next step by providing a slot through the pier and combination of collar and slot was used to investigate the scouring reduction. The results showed that use of both collar, specially below bed level decreased the scour depth. Square collar was more effective than circular in decreasing the scour depth. Combination of slot and collar on the pier could further reduce the scouring depth in which a square collar with $W/D=2.5$ in the bed with a slot near the bed reduce scouring depth up to 80 percent consequence.

Key Words Scouring, Collar, Slot, Collar- Slot Combination, Bridge Pier.

* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۱۰ و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۱۲ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسئول، دانش آموخته کارشناس ارشد سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) استادیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

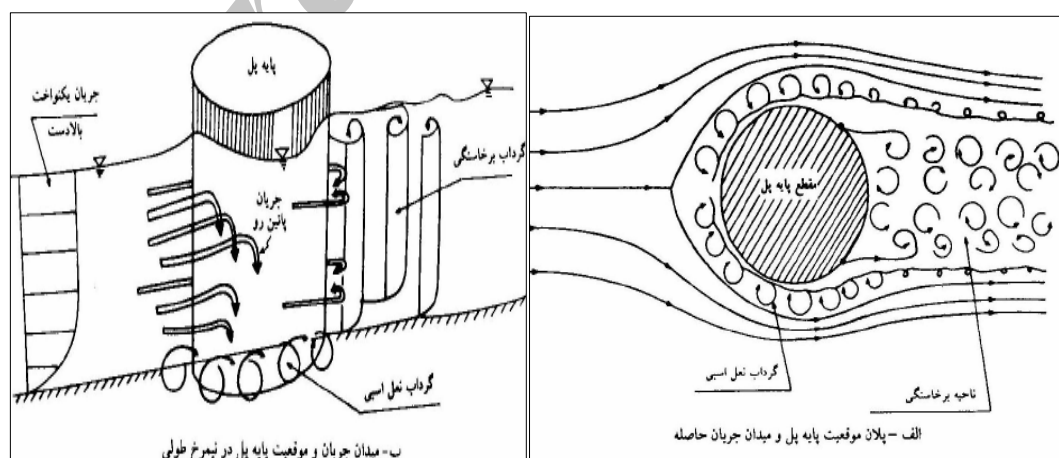
(۳) استادیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه

مطالعه‌های انجام شده نشان می‌دهند که یکی از اصلی‌ترین دلایل خراب شدن پل‌ها پدیده‌ی آبشستگی است که افزون بر جان باختن بسیاری از انسان‌ها، هزینه‌های زیادی به صورت مستقیم و غیر مستقیم در کشورها به بار می‌آورد. به طور کلی برخورد و جدا شدن جریان از پایه پل دو عامل اصلی در ایجاد آبشستگی در پیرامون پایه پل می‌باشند. برخورد جریان به پایه گرداب نعل اسبی (Horse shoe vortex) را شکل داده و جدایی جریان از پایه گرداب‌های برخاستگی (Wake vortex) را پدید می‌آورد. گرداب نعل اسبی عامل اصلی فرسایش بستر رودخانه در پیرامون پایه به ویژه در جلوی آن است (شکل ۱). پژوهشگران مطالعه‌های آزمایشگاهی و عددی بسیاری را برای شناخت راه‌های کاهش این پدیده انجام داده‌اند.

چیو [1]، در سال ۱۹۹۲ برای اولین بار از شکاف (سوراخ در درون پایه) به عنوان یکی از روش‌های پیشگیری و کاهش آبشستگی بهره گرفت. آزمایش‌های او نشان داد که با قرارگیری یک شکاف به عرض ۰/۲۵ قطر پایه و ارتفاع دو برابر آن نزدیک بستر به میزان ۲۰ درصد و نزدیک سطح آب تا ۵ درصد به کاهش عمق آبشستگی

کمک می‌کند. همچنین، شکافی به عرض نصف پایه می‌تواند عمق آبشستگی را به میزان ۳۰ درصد کاهش دهد [1]. کومار و همکاران [2]، در سال ۱۹۹۹ با انجام آزمایش‌هایی اثر طوق را بر کاهش آبشستگی بررسی کردند. آن‌ها پایه‌های استوانه‌ای شکل به قطر ۶۱ و ۱۱۲ میلی‌متر و ۵ اندازه مختلف طوق را به شکل دایره‌ای برای کاهش آبشستگی به کار بردند. مطالعه‌های آن‌ها نشان داد هر چه طوق بزرگتر باشد اثر بیشتری در کاهش آبشستگی خواهد داشت [2]. خداکرمی و همکاران [۳]، در سال ۱۳۸۱ به مطالعه اثر جهت جریان بر عملکرد شکاف در گروه پایه‌های استوانه‌ای پرداختند. بنا به نتیجه‌های آن‌ها، با افزایش زاویه برخورد جریان به پایه از عملکرد شکاف در کاهش آبشستگی کاسته می‌شود [۳]. آفاخانی و همکاران [۴] در سال ۱۳۸۹، اثر هندسه شکاف در کاهش آبشستگی پایه‌های استوانه‌ای را بررسی کردند. آن‌ها همه آزمایش‌ها را در شدت جریان $\frac{U}{U_c} = 0/86$ انجام دادند ($\frac{U}{U_c}$ نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی در آستانه حرکت). بنا به نتیجه‌های آن‌ها ایجاد شکاف‌های به عرض ۰/۲ و ۰/۳ قطر پایه که تا سطح بستر امتداد یافته بودند، عمق آبشستگی را به ترتیب ۴۴٪ و ۷۴٪ کاهش دادند [۴].



شکل ۱ الگوی سه بعدی جریان پیرامون پایه پل [۱۶]

در کاهش آبخستگی در پیرامون پایه پل استفاده شد و عملکرد طوق‌ها نیز با حالت پایه بدون طوق مورد مقایسه قرار گرفت و در مرحله بعد با ایجاد شکاف روی پایه و ترکیب با طوق، عملکرد باهم طوق و شکاف برای رویارویی با پدیده آبخستگی مطالعه و بررسی شد.

مواد و روش

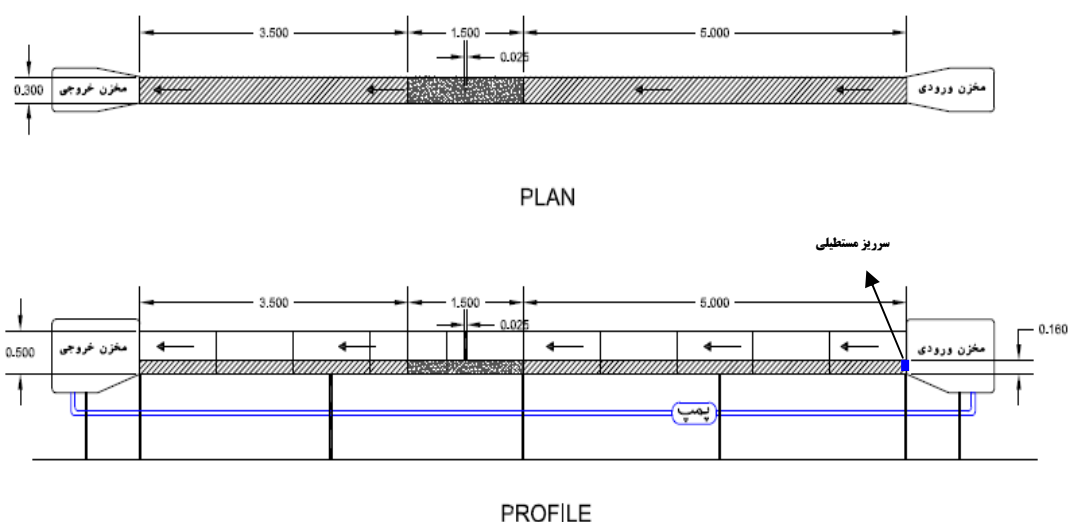
آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت. آبراهه مورد استفاده دارای طول ۱۰m، عرض ۳۰cm و ارتفاع ۵۰cm بوده و جنس دیواره آن شیشه‌ای که امکان دیدن جریان را فراهم می‌ساخت. اندازه‌گیری دبی با یک سرریز لبه تیز مستطیلی که در ورودی آبراهه نصب و بیشتر واسنجی شده بود انجام می‌گرفت. برای تنظیم عمق از یک دریچه نصب شده در انتهای آبراهه استفاده شد (شکل ۲). برای توسعه یافتگی کامل جریان بازه آزمایشی به طول ۱/۵m در فاصله ۵ m از ابتدای آبراهه در نظر گرفته شد. ضخامت رسوب‌های ریخته شده در بازه آزمایش ۱۶ cm بود، بنابراین تراز کف آبراهه در بخش بالادست و پایین دست منطقه آزمایش به مقدار مشابه (۱۶cm) بالا آورده شد. برای پیشگیری از اثر جداره بر میزان آبخستگی بنابه توصیه چیو و ملویل [9] بیشترین قطر پایه باید ۱۰ درصد عرض آبراهه باشد و براساس نظر رادکیوی و اتما [10] نسبت عرض آبراهه به قطر پایه باید بزرگتر از ۶/۲۵ باشد [9,10]. بنابراین برای الگو کردن پایه از استوانه‌ای به قطر ۲۵mm از جنس پلاستیک تفلون استفاده شد (شکل ۴). برای پیشگیری از تشکیل شکل بستر (ریپل) قطر متوسط ذره‌ها باید از ۰/۷ mm بزرگتر باشد. همچنین، برای حذف اثر رسوب‌ها روی عمق آبخستگی نسبت $\frac{D}{d_{50}} > 20 - 25$ باشد (D قطر پایه و d_{50} میانگین اندازه ذره‌های رسوب). بنابراین از رسوب‌هایی با $d_{50} = 0/8$ mm استفاده شد. از سوی دیگر، چنانچه عمق جریان از ۳/۵ برابر قطر پایه

زرانی و همکاران [5]، در سال ۲۰۰۴، نیز اثر طوق در پایه‌های مستطیلی با سه گونه زاویه قرارگیری ($\theta = 0, 5, 10$) پایه نسبت به جریان را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها دریافتند چنانچه طوق عریض‌تر بوده و ارتفاع آن نسبت به بستر کمتر باشد، عملکرد بهتری خواهد داشت. همچنین، کارایی طوق با افزایش زاویه قرارگیری پایه نسبت به جریان، کاهش می‌یابد [5]. پیر محمدی و حیدرپور [۶] در سال ۱۳۸۵، به مقایسه عملکرد طوق در کاهش آبخستگی موضعی در گروه پایه‌های مجموعه دوتایی و سه‌تایی استوانه‌ای شکل پل‌ها پرداختند. نتیجه‌های پژوهش آن‌ها نشان داد که آبخستگی پایه‌های دارای طوق با یک دیرکرد زمانی نسبت به پایه‌های بدون طوق آغاز می‌شود و این دیرکرد در آغاز آبخستگی در پایه‌های عقبی نسبت به پایه‌های جلویی بیشتر است [۶]. ثانی خانی و همکاران [۷] در سال ۱۳۸۸، با استفاده از طوق‌های مستطیلی و دایره‌ای سعی در کاهش آبخستگی در پیرامون پایه‌های استوانه‌ای کردند. نتیجه‌های این پژوهش نشان داد طوق‌های مستطیلی با بعدهای ۲ و ۲/۵ برابر قطر پایه به ترتیب آبخستگی را به میزان ۲۹ و ۴۹ درصد نسبت به شرایط پایه بدون طوق، کاهش می‌دهد [۷].

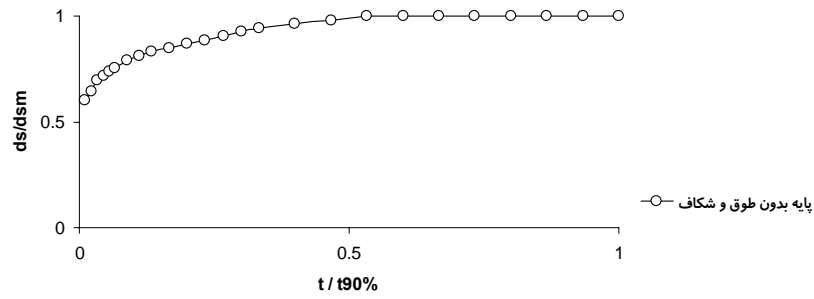
مونکادا و همکاران [8] در سال ۲۰۰۹ به بررسی عملکرد طوق و شکاف در کاهش آبخستگی پرداختند. یافته‌های آنها نشان داد کاربرد طوقی با عرض ۲ برابر قطر پایه می‌تواند آبخستگی را بین ۵۵ تا ۹۶ درصد کاهش دهد. در پژوهش‌های پیشین بیشتر از یک گونه روش (طوق یا شکاف و یا ...) برای کاهش آبخستگی در پیرامون پایه پل استفاده شده است. همچنین، پژوهشگران در استفاده از طوق، بیشتر از طوق‌های دایره‌ای در پیرامون پایه‌های استوانه‌ای و از طوق‌های مستطیلی برای پایه مستطیلی برای مهار آبخستگی پیرامون پایه پل استفاده کرده‌اند، و در زمینه‌ی شکل و هندسه طوق برای مهار آبخستگی داده‌هایی در دسترس نمی‌باشد. بنابراین، در پژوهش حاضر، نخست برای هدف بررسی و مقایسه عملکرد شکل طوق از دو گونه طوق مربعی و دایره‌ای

بیشتر باشد، اثری بر میزان آبشستگی نخواهد داشت که این معیار نیز رعایت شد [9]. با توجه به این که بیشترین عمق آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال رخ می دهد، در مرحله اول با ملاحظه محدودیت ها و انجام آزمایش های مقدماتی و سعی و خطا عمق و دبی آستانه حرکت ذره های بستر به کمک روش شیلدز و رابطه ارائه شده ملویل [11] به ترتیب برابر $10/5 \text{ cm}$ و 10 lit/s به عنوان شرایط آستانه حرکت انتخاب شد که در این حالت نسبت $\frac{U}{U_c} = 0/93$ بود ($\frac{U}{U_c}$ نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی در آستانه حرکت). برای به دست آوردن زمان تعادل شرایط بستر و پایان هر آزمایش، تغییرهای آبشستگی در محدوده پایه ساده (الگوی شاهد) نسبت به زمان در مدت ۱۵ ساعت ثبت شد. بنا به نتیجه های آزمایش پس از ۷ ساعت تغییرهای عمق آبشستگی بسیار کاهش یافته که با نتیجه های حاصل از ملویل و چپو [12] هماهنگی دارد. از این رو در کلیه آزمایشات زمان تعادل بستر ۷ ساعت در نظر گرفته شد، هر چند که در چندین الگوی به کار گرفته شده این زمان حتی کمتر از این مقدار بوده است (شکل ۳). برای اندازه گیری عمق آبشستگی از مقیاس نصب شده روی پایه استفاده می شد و عمق جریان در آبراهه را یک عمق سنج با دقت

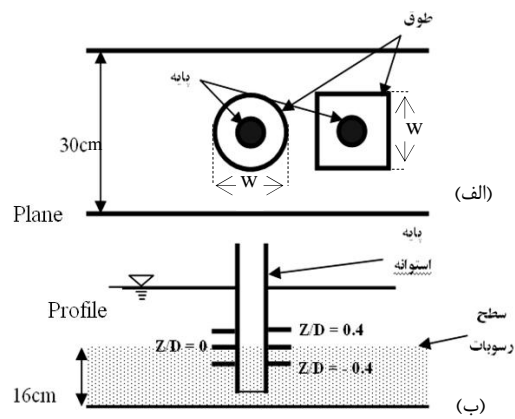
بیشتر باشد، اثری بر میزان آبشستگی نخواهد داشت که این معیار نیز رعایت شد [9]. با توجه به این که بیشترین عمق آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال رخ می دهد، در مرحله اول با ملاحظه محدودیت ها و انجام آزمایش های مقدماتی و سعی و خطا عمق و دبی آستانه حرکت ذره های بستر به کمک روش شیلدز و رابطه ارائه شده ملویل [11] به ترتیب برابر $10/5 \text{ cm}$ و 10 lit/s به عنوان شرایط آستانه حرکت انتخاب شد که در این حالت نسبت $\frac{U}{U_c} = 0/93$ بود ($\frac{U}{U_c}$ نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی در آستانه حرکت). برای به دست آوردن زمان تعادل شرایط بستر و پایان هر آزمایش، تغییرهای آبشستگی در محدوده پایه ساده (الگوی شاهد) نسبت به زمان در مدت ۱۵ ساعت ثبت شد. بنا به نتیجه های آزمایش پس از ۷ ساعت تغییرهای عمق آبشستگی بسیار کاهش یافته که با نتیجه های حاصل از ملویل و چپو [12] هماهنگی دارد. از این رو در کلیه آزمایشات زمان تعادل بستر ۷ ساعت در نظر گرفته شد، هر چند که در چندین الگوی به کار گرفته شده این زمان حتی کمتر از این مقدار بوده است (شکل ۳). برای اندازه گیری عمق آبشستگی از مقیاس نصب شده روی پایه استفاده می شد و عمق جریان در آبراهه را یک عمق سنج با دقت



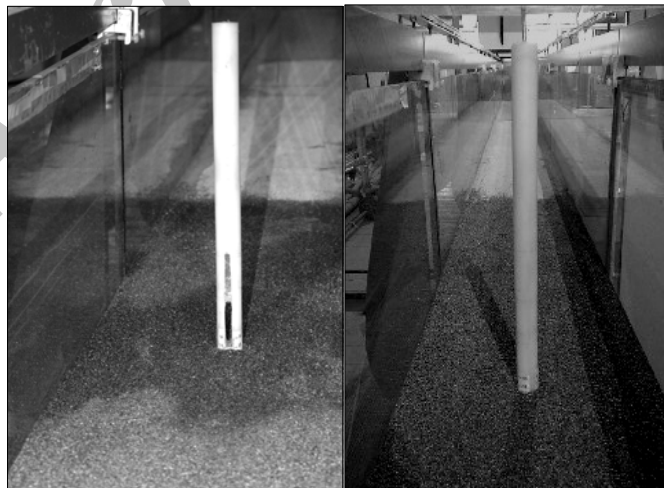
شکل ۲. نمایی از آبراهه (فلوم) آزمایشگاهی



شکل ۳ گسترش زمانی آبستنگی در حالت پایه بدون طوق



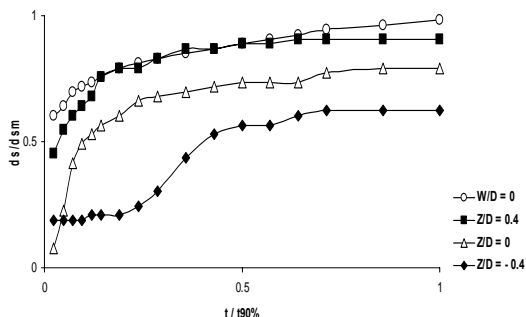
شکل ۴ (الف) نمایی از پایه قرارگرفته در آب‌راهه (ب) پایه شکافدار نصب شده در بستر



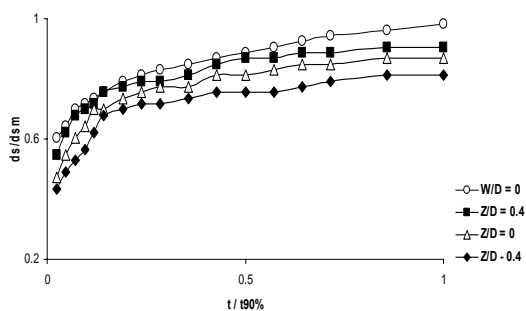
شکل ۵ (الف) پلان (ب) نیم‌رخ قرارگیری طوق روی پایه

نتیجه‌ها

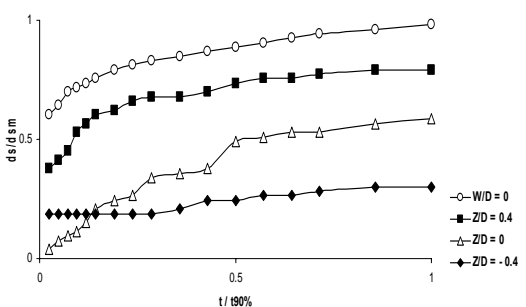
بهینه در زیر بستر برای نصب طوق می‌توان فرض کرد که در آن آبستگي به کمترین مقدار خود می‌رسد.



شکل ۶ تغییرات زمانی عمق آبستگي، پایه با طوق مربعی $\frac{W}{D}=1/5$



شکل ۷ تغییرات زمانی عمق آبستگي، پایه با طوق مربعی $\frac{W}{D}=2$

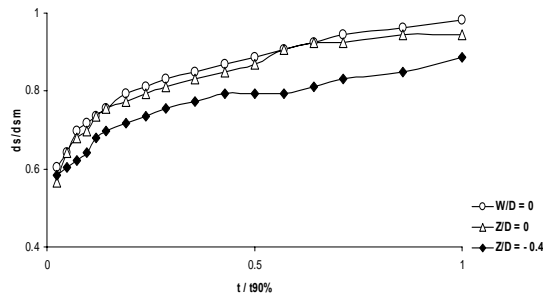


شکل ۸ تغییرات زمانی عمق آبستگي، پایه با طوق مربعی $\frac{W}{D}=2/5$

اثر بعدهای طوق. شکل‌های (۹) و (۱۰) اثر بعدهای طوق مربعی در کاهش آبستگي با قرارگیری در ترازهای مختلف پایه را نشان می‌دهند. همان گونه که می‌توان مشاهده کرد طوق با بعدهای نسبی $\frac{W}{D}=2/5$ برای مهار و کاهش عمق آبستگي نسبت به دو طوق دیگر عملکرد

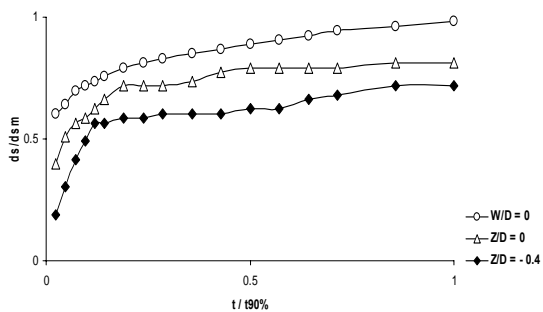
آزمایش‌های الگوی پایه با طوق مربعی. الف- اثر ارتفاع نصب طوق. شکل‌های (۶)، (۷) و (۸) توسعه زمانی آبستگي پیرامون الگو پایه همراه با طوق مربعی که در ترازهای مختلف $\frac{Z}{D}=-0/4,0,0/4$ قرار گرفته برای اندازه‌های مختلف بعدهای $\frac{W}{D}=1/5,2,2/5$ را نشان می‌دهند. در این شکل‌ها نتیجه‌های وابسته به پایه بدون طوق ($\frac{W}{D}=0$) نیز برای مقایسه رسم شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، کاربرد طوق در پیرامون پایه سبب کاهش قدرت گرداب‌های نعل اسبی شده و کاهش آبستگي را در پی دارد. با توجه به نتیجه‌های حاصل، ارتفاع نصب طوق بر روی پایه عامل مهمی در کاهش عمق آبستگي به شمار می‌رود. طوق‌های بالاتر از سطح بستر اثر محسوسی در کاهش آبستگي از خود نشان نمی‌دهند. احتمال دارد این امر به علت فاصله ایجاد شده بین طوق و سطح بستر بوده که با آغاز آبستگي این فاصله مرتب افزایش می‌یابد و نمی‌تواند مانعی برای تشکیل گرداب نعل اسبی باشد. ولی در حالتی که طوق‌ها روی بستر و یا زیر بستر قرار می‌گیرد، با مهار و ضعیف کردن گرداب‌های نعل اسبی و جریان برخاستگی کاهش عمق آبستگي در جلوی پایه را موجب می‌شوند. در حالت قرارگیری طوق روی بستر مشاهده شد، نخست پیرامون لبه‌های طوق شیارهایی پدید می‌آید که با گذشت زمان این شیارها گسترش پیدا کرده و عمق آبستگي را در پیرامون پایه افزایش می‌دهند. در موقعیت نصب طوق‌ها زیر بستر، ذره‌های رسوبی بالای آن‌ها با آغاز جریان بی‌درنگ شسته شد و پس از رسیدن حفره آبستگي به طوق سرعت آبستگي کاهش یافت. این شرایط نشان می‌دهد طوق بر الگوی جریان اثر گذاشته و روند فرسایش را تغییر می‌دهد. به طور کلی هر چه طوق پایین‌تر نصب شود درصد کاهش آبستگي بیشتر خواهد شد. ولی باید در نظر داشت افزایش عمق نصب طوق موجب افزایش فضای بالای آن شده که خود بر میزان آبستگي اثر نامطلوب دارد. بنابراین می‌توان گفت عمقی

ترازهای مختلف $\frac{Z}{D} = -0/4,0$ روی پایه را نشان می‌دهند. با توجه به اثر نامحسوس کاهش آبستگی در حالت قرارگیری طوق بالای بستر دو انتخابی برای قرارگیری طوق در نظر گرفته شد. نتیجه‌ها بیان‌گر آن است اگر طوق زیر سطح بستر قرار گیرد، اثر بیشتری بر کاهش آبستگی خواهد داشت.



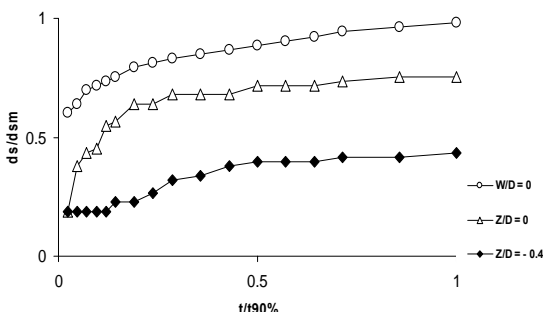
شکل ۱۱ تغییرات زمانی عمق آبستگی، پایه با طوق

$$\frac{W}{D} = 1/5$$



شکل ۱۲ تغییرات زمانی عمق آبستگی، پایه با طوق

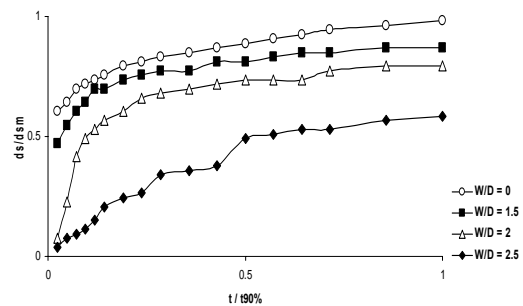
$$\frac{W}{D} = 2$$



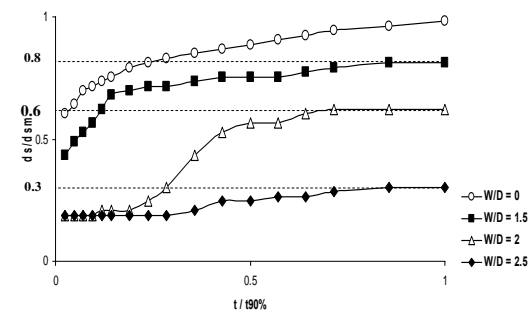
شکل ۱۳ تغییرات زمانی عمق آبستگی، پایه با طوق

$$\frac{W}{D} = 2/5$$

بهتری از خود نشان می‌دهد. در مورد طوق با بعدهای $\frac{W}{D} = 1/5$ به دلیل کوچک بودن عرض اثر چشمگیری بر الگوی جریان در ناحیه حفره آبستگی نداشت، بنابراین نتوانست اثر زیادی در کاهش عمق آبستگی از خود نشان دهد، چنان‌که پس از گذشت مدت کوتاهی با گسترش گرداب‌های نعل اسبی عمق آبستگی افزایش یافت. نتیجه‌های به دست آمده از اندازه‌گیری‌های انجام گرفته برای سه الگوی طوق انتخابی بیان‌گر آنست که نصب طوق با عرض $1/5$ برابر قطر پایه در زیر بستر می‌تواند عمق آبستگی را تا ۲۰ درصد کاهش دهد. این مقدار برای طوق با $\frac{W}{D} = 2$ به ۴۰ درصد و در مورد طوق $\frac{W}{D} = 2/5$ به ۷۰ درصد می‌رسد.



شکل ۹ تغییرات زمانی عمق آبستگی، برای طوق مربعی با $\frac{Z}{D} = 0$



شکل ۱۰ تغییرات زمانی عمق آبستگی، برای طوق مربعی با

$$\frac{Z}{D} = -0/4$$

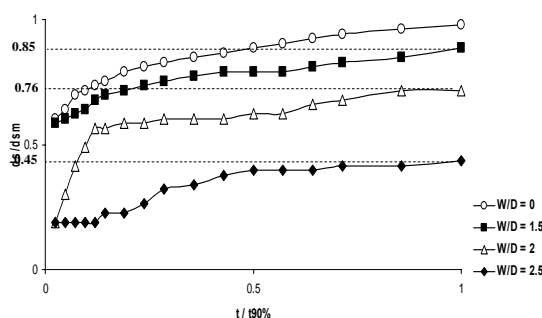
آزمایش‌های الگوی پایه با طوق دایره‌ای. الف- اثر ارتفاع نصب طوق. شکل‌های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) گسترش زمانی آبستگی را با بکارگیری طوق دایره‌ای در بعدهای مختلف ($\frac{W}{D} = 1/5, 2, 2/5$) و قرارگیری در

تنها برای طوق‌های دایره‌ای که روی بستر یا بالای بستر قرار گرفته‌اند، درست است، میزان کاهش آبشستگی با طوق‌های ۲D و ۲/۵D روی بستر به ترتیب ۱۷ و ۲۵ درصد می‌باشد [2]. درصد کاهش عمق آبشستگی در آزمایش‌های بلوچی و همکاران [۱۴] که از طوق‌های دایره‌ای با عرض ۲ و ۳ برابر قطر پایه روی بستر استفاده کرده بودند، به ترتیب ۱۵ و ۳۵ بود. در پژوهش حاضر درصد کاهش آبشستگی برای طوق‌های به قطر ۲D و D ۲/۵ با قرارگیری روی سطح بستر به ترتیب برابر ۱۸ و ۲۴ درصد می‌باشد، هماهنگی خوبی با رابطه‌ی کومار و همکاران [2] و نتیجه‌های بلوچی و همکاران [14] دارد. اختلاف بین درصد کاهش آبشستگی می‌تواند ناشی از نبود یکنواختی ذره‌های رسوبی باشد. همچنین مقایسه نتیجه‌های این پژوهش با نتیجه‌های ثانی خانی و همکاران [7] از هماهنگی تقریبی خوبی برخوردار است. آن‌ها نشان دادند که کار بردن طوق در زیر بستر نسبت به سطح بستر در کاهش آبشستگی موثرتر می‌باشد. آن‌ها توانستند کاربرد از طوق‌های دایره‌ای با عرض ۲ و ۲/۵ برابر قطر پایه روی بستر عمق آبشستگی را بین ۱۹ تا ۳۵ درصد کاهش دهند و میزان کاهش عمق آبشستگی با به کارگیری طوق‌های مستطیلی با بعدهای یاد شده در زیر بستر به ترتیب ۲۹ و ۴۹ درصد بود [7]. متفاوت بودن شرایط آزمایش‌ها مانند تفاوت در دانه‌بندی رسوب، زمان آزمایش‌ها، بعدها و تراز قرارگیری طوق‌ها سبب اختلاف‌های بین نتیجه‌های این پژوهش با نتیجه‌های ثانی خانی و همکاران [7] شده است.

مقایسه عملکرد طوق دایره‌ای و مربعی بر کاهش آبشستگی

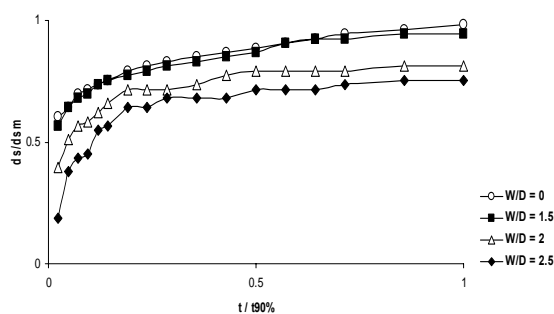
شکل‌های (۱۶) و (۱۷) گسترش آبشستگی برای طوق‌های دایره‌ای و مربعی با بعدهای $\frac{W}{D}=2,2/5$ را نشان می‌دهند. با توجه به نتیجه‌های حاصل شده طوق‌های مربعی نسبت به دایره‌ای عملکرد موثرتری در کاهش آبشستگی دارند. به نظر می‌رسد استفاده از طوق مربعی به

ب- اثر بعدهای طوق. نمودارهای رسم شده در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) اثر بعدهای طوق دایره‌ای را نشان می‌دهند. همانند حالت قبل (طوق مربعی) هرچه طوق بزرگتر باشد اثر بیشتری در کاهش آبشستگی از خود نشان می‌دهد و همان گونه که قابل مشاهده است طوق با بعدهای نسبی $\frac{W}{D}=2/5$ برای مهار و کاهش عمق آبشستگی نسبت به دو طوق دیگر عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. در مجموع می‌توان بیان داشت افزایش بعدهای طوق و عمق قرارگیری در زیر سطح بستر نتیجه‌های بهتری را در کاهش عمق آبشستگی از خود نشان می‌دهد. به گونه‌ای که نصب طوق با بعدهای $\frac{W}{D}=1/5$ در زیر بستر می‌تواند عمق آبشستگی را تا ۱۵ درصد کاهش دهد. این مقدار برای طوق با $\frac{W}{D}=2$ برابر ۲۴ درصد و در مورد طوق با $\frac{W}{D}=2/5$ برابر ۵۵ درصد می‌باشد (شکل ۱۵).



شکل ۱۴ تغییرات زمانی عمق آبشستگی برای طوق دایره‌ای

$$\frac{Z}{D}=0$$

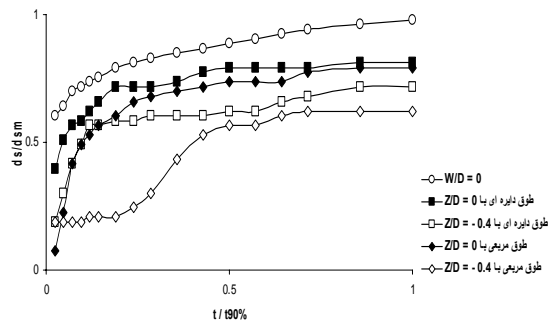


شکل ۱۵ تغییرات زمانی عمق آبشستگی برای طوق دایره‌ای با

$$\frac{Z}{D}=-0/4$$

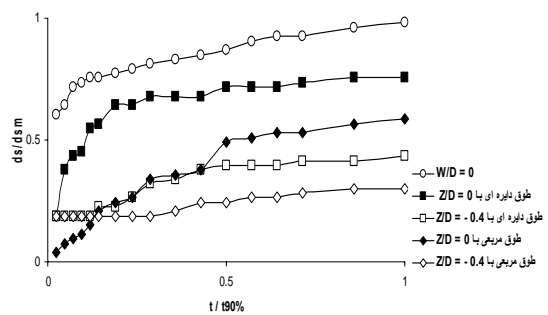
براساس رابطه پیشنهادی کومار و همکاران [2] که

کاهش آبستنگی با افزایش شدت جریان کاسته می‌شود، اختلاف ناشی از درصد کاهش آبستنگی ناشی از متفاوت بودن شدت جریان آزمایش‌ها و متفاوت بودن عرض و طول شکاف در پایه است [۱۵].



شکل ۱۶ تغییرات زمانی عمق آبستنگی طوق مربعی و دایره‌ای

$$\frac{W}{D} = 2$$



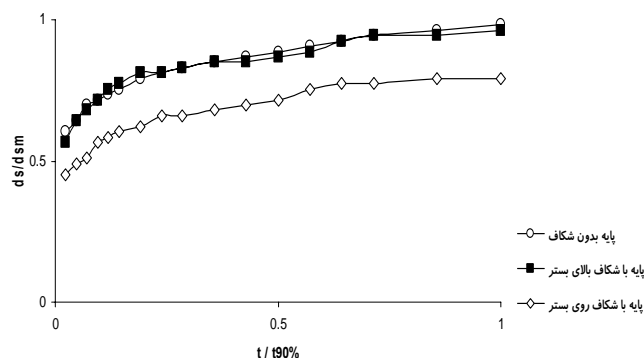
شکل ۱۷ تغییرات زمانی عمق آبستنگی طوق مربعی و دایره‌ای

$$\frac{W}{D} = 2/5$$

دلیل داشتن لبه‌های تیز در کناره‌ها نسبت به دایره‌ای برای مهار و کم کردن قدرت گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی عملکرد بهتری دارد. جدول (۱) درصد کاهش عمق آبستنگی با به کارگیری طوق‌های مربعی و دایره‌ای در بعدهای و ترازهای متفاوت را نشان می‌دهد. نتیجه‌های آزمایش‌ها پایه با شکاف در شکل (۱۸) تغییرات زمانی نسبت عمق آبستنگی به بیشترین عمق آبستنگی برای شرایط پایه بدون شکاف و شکاف دار بالای بستر و روی بستر را نشان می‌دهد. با توجه به عمق جریان (۱۰/۵ cm) شکاف بالای بستر در فاصله‌ی ۰/۵cm از سطح آب قرار داشت. با افزایش سرعت جریان عبوری از شکاف و سپس منحرف شدن آن رو به پایین و نیز در اثر کاهش قطر موثر پایه به علت وجود شکاف، الگوی جریان در این منطقه تغییر کرده و کاهش آبستنگی موضعی در محل پایه را در پی خواهد داشت. نتیجه‌ها نشان می‌دهد موقعیت شکاف بالای بستر اثر چندانی در کاهش آبستنگی ندارد، در حالی که شکاف نزدیک بستر می‌تواند عمق آبستنگی را تا ۲۱ درصد کاهش دهد. این مقدار توسط چپو [۱]، برای شکاف با عرض ۰/۲۵ قطر پایه نزدیک بستر باعث کاهش ۲۰٪ در عمق آبستنگی شده است. آقاخانی و همکاران [۴] نشان دادند استفاده از شکاف با عرض ۰/۲ قطر پایه و طول شکاف ۱۰cm عمق آبستنگی را به میزان ۴۴/۲ درصد کاهش می‌دهد. با توجه به این‌که عملکرد شکاف در

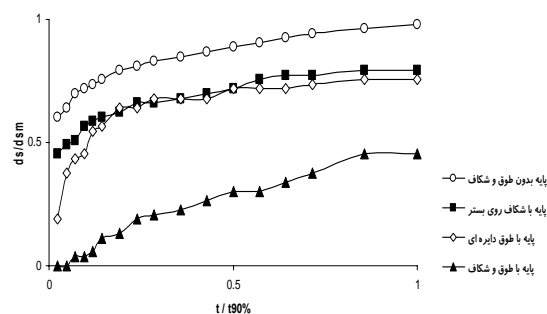
جدول ۱ درصد کاهش عمق آبستنگی نسبت به پایه بدون طوق

$\frac{W}{D} = 2/5$	$\frac{W}{D} = 2$	$\frac{W}{D} = 1/5$	بعدهای	
			طوق	گونه طوق
			موقعیت طوق	
۲۴/۵	۱۸/۸	۵/۶	Z/D=0	طوق روی بستر
۵۶/۶	۲۸/۳	۱۱/۳	Z/D=-0/4	دایره‌ای زیر بستر
۴۱/۵	۲۰/۷۵	۱۳/۲	ZD=0	طوق روی بستر
۷۰	۳۷/۷	۱۸/۸	Z/D=-0/4	مربعی زیر بستر

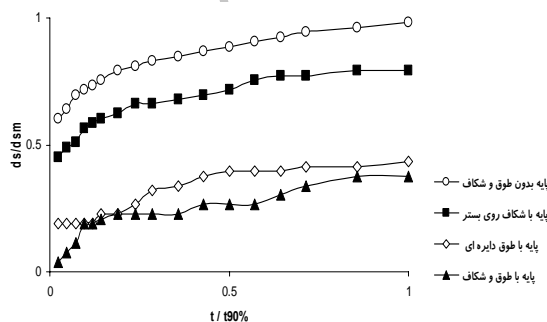


شکل ۱۸ تغییرات زمانی عمق آبشستگی برای پایه شکاف دار

مونکادا و همکاران [8] نشان می‌دهد که استفاده از روش ترکیبی طوق و شکاف روی پایه موجب کاهش بیشتری در عمق آبشستگی موضعی شده و نسبت به استفاده جداگانه از هر دو روش در کاهش آبشستگی موثرتر می‌باشد [9]. اختلاف ناشی از درصد کاهش های عمق آبشستگی می‌تواند ناشی از اختلاف در طول شکاف روی پایه، بعدهای طوق و اندازه ذره‌های رسوبی باشد.



شکل ۱۹ تغییرات زمانی آبشستگی با ترکیب طوق دایره‌ای زیر بستر و شکاف روی بستر



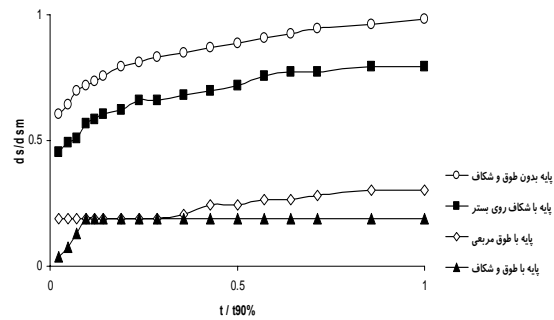
شکل ۲۰ تغییرات زمانی آبشستگی با ترکیب طوق دایره‌ای روی بستر و شکاف روی بستر

ترکیب طوق و شکاف

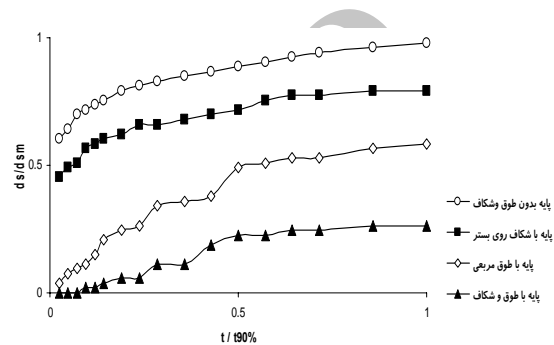
با توجه به این که طوق‌های (مربعی و دایره‌ای) با بعدهای بزرگتر ($\frac{W}{D}=2/5$) و شکاف روی بستر عملکرد بهتری را در کاهش آبشستگی نسبت به حالت‌های دیگر از خود نشان دادند. از این‌رو آزمایش‌هایی در شرایط ترکیبی طوق و شکاف انجام شد که بعدهای $\frac{W}{D}=2/5$ در ترازهای $\frac{Z}{D}=0, -0/4$ و شکاف روی بستر قرار گرفتند. شکل‌های (۱۹)، (۲۰)، (۲۱) و (۲۲) گسترش زمانی آبشستگی پیرامون الگوی پایه را همراه با طوق و شکاف نشان می‌دهند. همان گونه که مشاهده می‌شود، کاربرد با هم طوق و شکاف باعث کاهش بیشتری در عمق آبشستگی می‌شود. این کاهش در هنگامی که طوق روی بستر قرار دارد، بیشتر است، به گونه‌ای که درصد کاهش عمق آبشستگی در حالت استفاده تنها از طوق مربعی و دایره‌ای ($\frac{W}{D}=2/5$) روی بستر به ترتیب ۴۰٪ و ۲۵٪ است در حالی که ترکیب طوق مربعی و شکاف باعث کاهش ۷۳٪ درصد و ترکیب طوق دایره‌ای و شکاف موجب کاهش ۵۵٪ درصدی در عمق آبشستگی می‌شود. بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی وابسته به ترکیب طوق مربعی زیر بستر و شکاف می‌باشد، که در این حالت عمق آبشستگی در جلوی پایه تا ۸۱٪ کاهش می‌یابد. جدول (۲) درصد کاهش عمق آبشستگی را در استفاده از روش ترکیبی طوق و شکاف نشان می‌دهد. مقایسه نتیجه‌های حاصل از این پژوهش با آزمایش‌های

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر برای بررسی مهار و کاهش آبشستگی دو گونه طوق و شکاف بر روی پایه به کار رفت. نخست، کارکرد طوق مربعی و دایره‌ای در بعدهای و ترازهای مختلف و سپس اثر شکاف روی پایه و ترکیب با طوق، مطالعه شد. نتیجه‌ها نشان داد به طور کلی طوق در کاهش عمق آبشستگی موثر است. همچنین به کار بردن استفاده از طوق در تراز زیر بستر نسبت به قرارگیری آن در سایر ترازها موثرتر می‌باشد. با افزایش بعدهای طوق عمق آبشستگی کاهش بیشتری می‌یابد. در مورد شکل طوق نیز می‌توان بیان داشت که استفاده از طوق مربعی به دلیل داشتن لبه‌های تیز نسبت به طوق دایره‌ای برای مهار و کم کردن قدرت گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی کارکرد بهتری داشته و در کاهش عمق آبشستگی موثرتر است، چنان که استفاده از طوقی مربعی با $\frac{W}{D}=2/5$ در موقعیت $\frac{Z}{D}=-0/4$ می‌تواند عمق آبشستگی را تا ۷۰٪ کاهش دهد. استفاده از شکاف نیز می‌تواند با ایجاد جریان افقی، جریان‌های رو به پایین در جلوی پایه را به فاصله دورتر از پایه منحرف کند و عمق آبشستگی را کاهش دهد. شکاف نزدیک سطح آب اثر محسوسی در کاهش آبشستگی ندارد، در حالی که استفاده از شکاف نزدیک بستر می‌تواند عمق آبشستگی را تا ۲۱٪ کاهش دهد. به کار بردن ترکیب دو حالت طوق و شکاف روی پایه عمق آبشستگی به میزان بیشتری کاهش می‌دهد، به طوری که ترکیب طوق مربعی $\frac{W}{D}=2/5$ زیر بستر همراه با شکاف نزدیک بستر عمق آبشستگی را تا ۸۰٪ کاهش داده است.



شکل ۲۱ تغییرات زمانی آبشستگی با ترکیب طوق مربعی زیر بستر و شکاف روی بستر



شکل ۲۲ تغییرات زمانی آبشستگی با ترکیب طوق مربعی روی بستر و شکاف روی بستر

جدول ۲ درصد کاهش عمق آبشستگی نسبت به پایه بدون طوق در حالت ترکیب طوق و شکاف

درصد کاهش	موقعیت طوق	ترکیب طوق و شکاف
۵۵٪	روی بستر	طوق دایره‌ای $\frac{W}{D}=2/5$ و شکاف
۶۲٪	زیر بستر	
۷۳٪	روی بستر	طوق مربعی $\frac{W}{D}=2/5$ و شکاف
۸۱٪	زیر بستر	

مراجع

- Chiew, Y., "Scour protection at bridge piers." *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(9), pp.1260-1269. (1992).
- Kumar, V., Raja, K., and Vittal, N. "Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars.", *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(12), pp.1302-1305, (1999).

۳. خداکرمی، ز.، حیدرپور، م.، و افضل‌ی مهر، ح.، " اثر جهت جریان بر عملکرد شکاف در کنترل و کاهش آبستگي موضعی در گروه پایه‌های استوانه‌ای در شرایط آب زلال."، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۸۱).
۴. آفاخانی، ا.، فغفور مغربی، م.، و اسماعیلی، ک.، " بررسی آزمایشگاهی اثر هندسه شکاف پایه و پایه‌های مجاور هم"، مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۹).
5. Zarrati, A.R., Gholami, H., and Mashahir, M.B., "Aplication of collar to control scouring around rectangular bridge piers." *Journal of Hydraulic Research*, 42(1), pp. 97-103, (2004).
۶. پیرمحمدی، ر.، حیدرپور، م.، " مقایسه عملکرد طوق در کاهش آبستگي موضعی در گروه پایه‌های سری دوتایی و سه‌تایی استوانه‌ای شکل پل‌ها."، مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران، (۱۳۸۵).
۷. ثانی‌خانی، ه.، حسین زاده دلیر، ع.، فرسادی زاده، د.، و ملاحسینی، ش.، " بررسی اثر شکل طوق در کاهش آبستگي پایه‌های پل"، مجموعه مقالات هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۸۸).
8. Moncada-M, A.T., Aguirre-PE, J., Bolivar, J.C., and Flores, E.J., " Scour protection of circular bridge piers with collars and slots." *Journal of Hydraulic Research*, 47(1), pp. 119-126, (2009).
9. Chiew, Y.M., and Mellville, B.W., "Local scour around bridge piers." *Journal of Hydraulic Research*, 25(1), pp. 15-26, (1987).
10. Raudkivi, A., and Ettema, R., "Clear-water scour at cylindrical piers", *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3), pp. 338-350, (1983).
11. Melvill, B.W. "Piers and abutment scour-an integrated approach", *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(3), pp. 125-136, (1997).
12. Melville, W., and Chiew, Y. "Time scale for local scour at bridge piers", *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(1), pp. 59- 65, (1999).
13. Dargahi, B. "Controlling mechanism of local scouring", *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(10), pp.1197-1214, (1990).
۱۴. بلوچی، م.، چمنی، م.ر.، و بیرامی، م.ک.، "بررسی اثر تغییر شکل طوق بر روند و میزان آبستگي موضعی"، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهر کرد، (۱۳۸۶).
۱۵. ادیبان، ح.، حیدرپور، م.، و افضل‌ی مهر، ح.، " بررسی اثر فاصله بین پایه‌ها بر عملکرد شکاف‌ها در کاهش آبستگي موضعی در گروه پایه‌های استوانه‌ای شکل"، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۸۱).
۱۶. وزارت نیرو، راهنمای روش‌های محاسبه آبستگي موضعی، نشریه شماره ۳۱۸، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۸۶).