

## کنترل آب‌شستگی موضعی توسط طوقه‌های مربعی شکل در اطراف پایه پل در قوس‌های ۱۸۰ درجه

علیرضا مسجدی<sup>۱\*</sup>، محمود شفاعی بجستان<sup>۲</sup> و علی مطیع<sup>۳</sup>

### چکیده

وقوع آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل یکی از عمده‌ترین دلایل تخریب پل‌ها است. هرچند که معمولاً پل در مسیرهای مستقیم رودخانه قرار دارند ولی نمونه‌های متعددی از وجود پل در محل خم رودخانه‌ها می‌توان مشاهده کرد. از جمله روش‌های کاهش آب‌شستگی اطراف پایه‌های پل نصب طوقه محافظ بر روی پایه است. در این مطالعه به منظور بررسی اثر طوقه مربعی در کنترل آب‌شستگی اطراف پایه پل استوانه‌ای در قوس رودخانه‌ها، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه با  $Rc/B=4/67$  از جنس پلاکسی گلاس صورت گرفت. در این تحقیق با قرار دادن یک پایه استوانه‌ای به قطر ۶ سانتی‌متر به همراه طوقه مربعی با چهار قطر مختلف در موقعیت ۶۰ درجه با دبی ۳۲ لیتر بر ثانیه و عمق ثابت ۱۲ سانتی‌متر پدیده آب‌شستگی حول پایه‌ها در حالت آب زلال بررسی شد. محل نصب طوقه در آزمایش‌ها در ۴ ارتفاع بود. برای مصالح کف فلوم از ماسه طبیعی با دانه‌بندی یکنواخت با  $D_{50} = 2 \text{ mm}$  و ضریب یکنواختی ۱/۳ استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش ابعاد طوقه میزان آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد به‌طوری‌که حداقل میزان آب‌شستگی در هنگام نصب یک طوقه با قطر مؤثر سه برابر قطر پایه روی یک پایه استوانه‌ای در  $D/1$  زیر بستر ایجاد شد.

**واژه‌های کلیدی:** طوقه، آب‌شستگی، پایه استوانه‌ای، قوس ۱۸۰ درجه، جریان ثانویه.

**ارجاع:** مسجدی ع. شفاعی بجستان م. و مطیع ع. ۱۳۹۰. کنترل آب‌شستگی موضعی توسط طوقه‌های مربعی شکل در اطراف پایه پل در قوس‌های ۱۸۰ درجه. مجله پژوهش آب ایران. ۵۳(۸): ۶۰-۵۳.

۱- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.

۲- استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

\* نویسنده مسئول: [Drmasjedi.2007@yahoo.com](mailto:Drmasjedi.2007@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۱۸

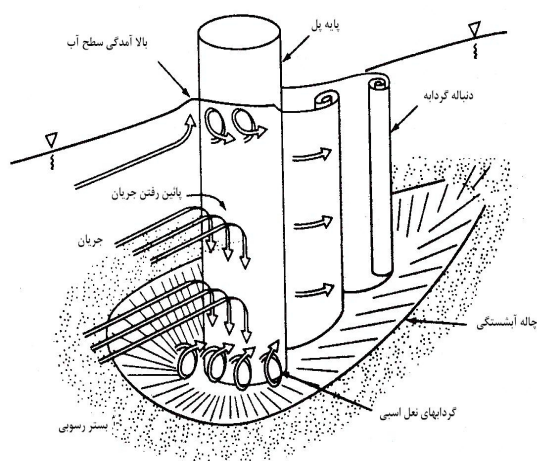
## مقدمه

قوس رودخانه به‌خاطر داشتن الگوی خاص جریان به‌نام جریان حلزونی، همواره مورد توجه مهندسين هیدرولیک بوده است. با ورود جریان به قوس، نیروی گریز از مرکز بر آن اثر می‌کند که این نیرو در راستای شعاع قوس و نیز در جهت عمق به خاطر تغییرات سرعت، متغیر است. نیروی گریز از مرکز موجود در خم شیب عرضی در سطح آب ایجاد می‌کند و سطح آب را در قوس بیرونی بالا می‌برد و در قوس داخلی باعث کاهش عمق می‌شود. این پدیده گرادیان فشار جانبی در داخل مقطع ایجاد می‌کند. هرگاه گرادیان فشار مزبور بر نیروی گریز از مرکز غلبه کند، جریانی در جهت عرضی، داخل مقطع شکل می‌گیرد که به جریان ثانویه موسوم است. در اثر این جریان، ذرات موجود در سطح آب به طرف دیواره بیرونی حرکت می‌کنند و ذرات موجود در کف به طرف دیواره داخلی جابجا می‌شوند.

پل‌ها از جمله مهمترین سازه‌های رودخانه‌های هستند که در راه‌سازی اهمیت زیادی دارند. هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از این پل‌ها درست زمانی که بیشترین نیاز به آنها هست، خراب می‌شوند. یکی از مؤثرترین عوامل این تخریب‌ها آبشستگی موضعی اطراف پایه‌ها در رودخانه است. تخریب پل‌ها به‌علت آبشستگی زیان‌های بزرگ اقتصادی و جانبی به دنبال دارد. مکانیزم آبشستگی بدین صورت است که پس از برخورد جریان به پایه پل، با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود فشار بیشتری نیز در ترازهای بالاتر بر روی پایه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی پایه از بالا به پایین به‌وجود می‌آید که خود باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در جلو پایه می‌شود. جریان رو به پایین همانند یک جت عمودی عمل می‌کند و پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر ذرات رسوبی به اطراف پراکنده می‌شود (رادکیوی، ۱۹۹۸). بخشی از جریان رو به پایین که به سمت بالا بازگشت می‌کند، در برخورد به جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدداً به پایه برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت آن در داخل حفره کنده شده، گردابی تشکیل می‌دهد که به تدریج در دو طرف پایه، امتداد می‌یابد و شکل شبیه نعل اسب پدید می‌آورد که به آن

گرداب نعل اسبی می‌گویند. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آبشستگی، باعث تسریع در حفره آن شده و ذرات جدا شده از بستر، به وسیله‌ی جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند (بروسز و همکاران، ۱۹۷۷).

در اثر جدایی جریان در کناره‌های پایه نیز گرداب‌هایی تشکیل می‌شوند که محور آن‌ها عمود بر بستر رودخانه است و به آن‌ها گرداب برخاستگی می‌گویند. این گرداب‌ها همانند گردباد ذرات بستر را جدا می‌کند و در معرض جریان قرار می‌دهند و به انتقال ذرات از جلو و اطراف پایه به سمت پایین دست کمک می‌کنند. حفر گودال آبشستگی توسط گرداب نعل اسبی آنقدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبشستگی زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. در این حالت عمق آبشستگی به حالت تعادل می‌رسد (رادکیوی، ۱۹۹۸). شکل ۱ نمونه‌ای از جریان آشفته و گرداب‌هایی را که باعث آبشستگی موضعی و حفره می‌شوند نشان می‌دهد.



شکل ۱- الگوی جریان و حفره آبشستگی موضعی اطراف

یک پایه پل استوانه‌های

با توجه به مطالعات صورت گرفته نصب طوقه روی پایه باعث کاهش عمق آبشستگی می‌شود. با نصب طوقه در اطراف پایه، جریان رو به پایین در حین برخورد به طوقه از بستر منحرف شده و باعث کاهش آبشستگی می‌شود (چیو، ۱۹۹۲). اتما (۱۹۸۰) گزارش داد نصب یک طوقه با قطر مؤثر دو برابر قطر پایه روی یک پایه استوانه‌های در سطح بستر در کانال مستقیم باعث کاهش آبشستگی موضعی می‌شود.

جریان استفاده شده و تأثیر اندازه طوق بر کاهش آبشستگی در گروه پایه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که هر دو اندازه طوقه، عمق آبشستگی را در هر دو پایه کاهش می‌دهند و کاهش عمق آبشستگی در گروه پایه دارای طوقه بزرگ‌تر در هر دو پایه از گروه پایه دارای طوقه کوچک‌تر بیشتر است. همچنین براساس نتایج آزمایش‌ها، تأثیر هر دو اندازه طوقه در کاهش عمق آبشستگی در پایه بالادست نسبت به پایه پایین‌دست بیشتر است.

زرانی و همکاران (۱۳۸۵) درخصوص توسعه حفره آبشستگی موضعی اطراف یک پایه مستطیلی همراه با طوق تحقیقاتی کرده‌اند. در این تحقیق یک طوق به‌اندازه سه برابر عرض پایه مستطیلی بر روی بستر نصب شده است و توسعه حفره آبشستگی در سرعت‌های برشی متفاوت (نسبت‌های مختلف سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی حاصل از دیاگرام شیلدز) بررسی شده است. نتایج نشان داد علی‌رغم این که در وضعیت بدون طوق تغییرات نسبت سرعت‌های برشی از مقدار ۰/۸ تا ۱ تأثیر چندانی در روند توسعه آبشستگی ندارد، با حضور طوق تغییر این نسبت‌ها در محدوده فوق، تأثیر بسزایی در توسعه روند آبشستگی می‌گذارد.

زرانی و همکاران (۲۰۰۶) نیز عملکرد طوقه‌های مستقل و پیوسته همراه با سنگ‌چین را در گروه پایه‌های پل بررسی کردند. نتایج نشان داد که ترکیبی از یک طوقه پیوسته و سنگ چین منجر به کاهش عمق آبشستگی به‌میزان ۵۰ و ۶۰ درصد به‌ترتیب در جلو و پشت پایه می‌شود. همچنین عملکرد طوقه‌های مستقل بر روی هر پایه بهتر از عملکرد یک طوقه پیوسته بر روی دو پایه بود. اصولاً پل‌ها در بازه‌ای از رودخانه احداث می‌شوند که رودخانه پایدارتر باشد. در این مسیر، ممکن است به‌علت محدودیت‌های احداث راه و یا عدم پایداری رودخانه در بازه‌های مستقیم، اقدام به احداث پل در قوس رودخانه شود. با توجه به مطالعات انجام گرفته توسط صفرزاده (۱۳۸۳) در خصوص الگوی جریان در قوس ۱۸۰ درجه، بیشترین توزیع سرعت در زاویه ۶۰ درجه به‌دلیل قدرت بالای جریان‌های ثانویه ایجاد می‌شود.

چیو (۱۹۹۲) تأثیر طوق‌های محافظ را در کاهش آبشستگی پایه پل مورد آزمایش قرار داد و با استفاده از طوقه به اندازه دو برابر قطر پایه عمق آبشستگی به‌میزان ۲۰ درصد کاهش یافت. همچنین او اظهار داشت که طراحی و کاربرد صحیح طوقه می‌تواند جایگزین مناسبی برای سنگ‌چین در حل مشکلات آبشستگی موضعی پایه‌های پل باشد.

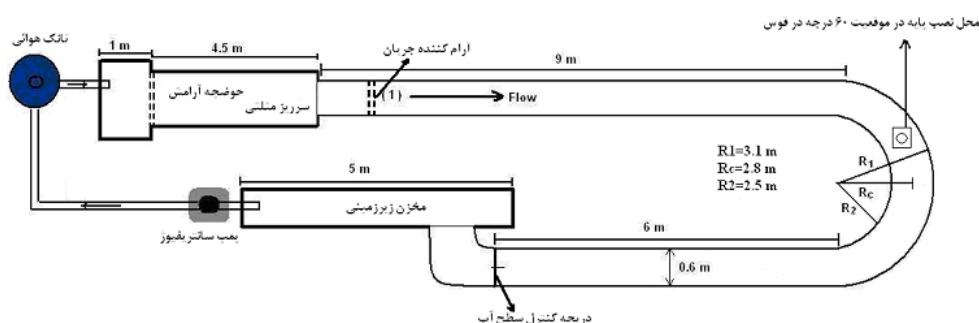
کومار و همکاران (۱۹۹۹) برای کاهش عمق آبشستگی از پنج اندازه مختلف طوقه با قطر ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۴ برابر قطر پایه در اطراف پایه استوانه‌ای استفاده کردند و مشاهده نمود که طوقه‌های کوچک باعث به‌وجود آمدن چاله‌های بزرگ در وجه بالادست پایه می‌شوند. همچنین آن‌ها با استفاده از تحلیل نتایج حاصل از آزمایش‌ها، معادله زیر را برای تعیین ماکزیمم عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای شکل که توسط طوقه محافظت شده است، ارائه دادند.

$$\left( \frac{ds_p - ds_c}{ds_p} \right) = 0.057 \left( \frac{B}{b} \right)^{1.612} \left( \frac{H}{Y_0} \right)^{0.837} \quad (1)$$

در این معادله  $ds_p$  عمق تعادل آبشستگی بدون طوقه،  $ds_c$  عمق تعادل آبشستگی با طوقه،  $B$  قطر طوقه،  $b$  قطر پایه،  $H$  ارتفاع طوقه نسبت به سطح آزاد آب و  $Y_0$  عمق جریان است.

سینگ و همکاران (۲۰۰۱) عملکرد طوقه‌ها را در کاهش آبشستگی بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که چنانچه فاصله بین تراز بستر و تراز نصب طوقه افزایش یابد، ماکزیمم عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. بهترین محل نصب طوقه در آزمایش‌ها برابر  $D/1$  ( $D =$  قطر پایه) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوقه به قطر دو برابر قطر پایه مقدار آبشستگی را ۹۱ درصد کاهش می‌دهد. همچنین طوقه‌هایی با قطرهای ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر قطر پایه زیر بستر کانال قرار گیرند به‌میزان ۵۰٪، ۶۸٪ و ۱۰۰٪ نسبت به پایه بدون محافظ کاهش آبشستگی مشاهده می‌شود. حیدریور و همکاران (۱۳۸۴) درخصوص مشاهدات نحوه توسعه آبشستگی موضعی در گروه پایه‌های پل در هنگام استفاده از طوقه تحقیقاتی کرده‌اند. در این تحقیق از دو اندازه طوقه دایره‌ای شکل با قطرهای دو و سه برابر قطر پایه در گروه پایه‌های استوانه‌ای شکل دوتایی در جهت

با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه، شعاع مرکزی  $R_c = 2/8 \text{ m}$  و عرض  $B = 0/6 \text{ m}$  انجام شد. انحنای نسبی قوس  $R_c/B = 4/7$  بوده که قوس را در رده قوس‌های ملایم قرار می‌دهد. کانال مستقیم ورودی به طول ۹/۱ متر به یک کانال با قوس ۱۸۰ درجه متصل می‌گردد. این کانال قوسی شکل توسط کانال مستقیم دیگری به طول ۵/۵ متر به دریچه کنترل عمق جریان و سپس مخزن خروجی متصل می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- پلان کانال قوسی شکل

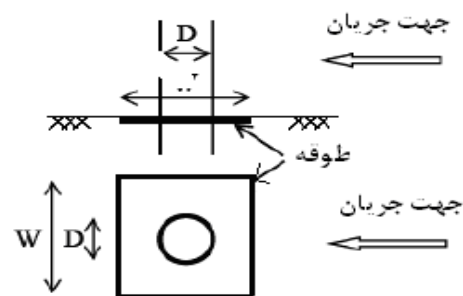
به توصیه راودکیوی و اتما (۱۹۸۳) برای جلوگیری از تشکیل ریپل در رسوبات قطر متوسط ذرات باید از  $0/7$  میلی‌متر بزرگتر باشد. همچنین برای حذف اثر قطر رسوبات روی عمق آبشستگی نسبت قطر پایه به متوسط ذرات باید کمتر از ۵۰ باشد (چیو و ملویل، ۱۹۸۷). در همین راستا راودکیوی و اتما (۱۹۸۳) این نسبت را ۲۵-۳۰ پیشنهاد نموده‌اند. با توجه به این موارد یک لایه از ماسه طبیعی رودخانه‌های با قطر متوسط معادل ۲ میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل  $1/3$  انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۲۰ سانتی‌متر برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. طبق توصیه الیوتو و هاگر (۲۰۰۲) برای جلوگیری از اثرات زبری عمق آب را بیشتر از ۲۰ میلی‌متر پیشنهاد نموده‌اند که در کلیه آزمایش‌ها عمق آب ثابت و برابر ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به این که آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد برای جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی  $(u < u_c)$  باشد. در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی  $0/93$  بود که سرعت برشی بحرانی براساس پارامتر بحرانی شیلدز به دست آمد. دبی لازم توسط

در این تحقیق بررسی تأثیر طوقه مربعی شکل در کاهش آبشستگی اطراف پایه پل در موقعیت ۶۰ درجه در قوس بررسی شد.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر طوقه مربعی شکل در کاهش آبشستگی اطراف پایه پل استوانه‌های در قوس رودخانه، آزمایش‌ها در یک فلوم از جنس پلاکسی گلاس قوسی شکل

در کلیه آزمایش‌ها برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی، طبق توصیه‌های چیو و ملویل (۱۹۸۷) قطر پایه نباید از  $10\%$  عرض کانال بیشتر باشد. لذا پایه‌ای با عرض ۶ سانتی‌متر استفاده شد که جهت مدل کردن پایه پل از لوله PVC به قطر ۶ سانتی‌متر استفاده شد. برای انتخاب قطر طوقه‌ها براساس پیشنهاد سینگ (۲۰۰۱) و اتما (۱۹۸۰) از قطر با ابعاد  $1/5$ ،  $2$ ،  $2/5$  و  $3$  برابر قطر پایه استفاده شد. لذا ورق پلاکسی گلاس به ضخامت ۱ میلی‌متر با ابعاد  $1/5$ ،  $2$ ،  $2/5$  و  $3$  برابر قطر پایه و با قرارگیری در ارتفاعات روی سطح بستر،  $0/1 D$ ،  $0/5 D$  و  $D$  (قطر پایه) زیر بستر مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۳).



شکل ۳- پایه و طوقه مربعی شکل در اطراف آن  $W =$  عرض طوقه و  $D =$  قطر پایه (مشاهیر و همکاران، ۲۰۰۴).

آرامش، دبی به میزان موردنظر تنظیم شد. سپس با تنظیم دقیق و هم‌زمان شیر فلکه و دریچه پایین دست عمق جریان ۱۲ سانتی‌متر و دبی موردنظر حاصل شد. پس از گذشت ۶ ساعت، پمپ خاموش و دریچه‌ی انتهایی بسته شد تا این که آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شد به طوری که تأثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. به منظور تعیین توسعه زمانی آب‌شستگی، در طول آزمایش حداکثر عمق آب‌شستگی در بالادست پایه و در طول آزمایش توسط عمق‌سنج با دقت میلی‌متر برداشت شد. پس از زمان تعادل دریچه انتهایی کانال به آرامی باز شده تا آب به آرامی از درون کانال تخلیه شود.

#### نتایج و بحث

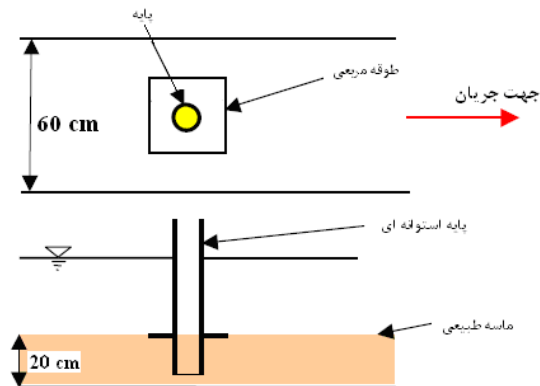
در کلیه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف پایه گردابه‌ها تشکیل و آب‌شستگی سرعت بسیار بالا آغاز شد. با شکل‌گیری حفره آب‌شستگی رسوب‌ها برخاسته از حفره به سمت پایین دست منتقل شد. پس از مدتی از شروع آزمایش، رسوبات برخاسته از حفره آب‌شستگی به محدوده‌ای می‌رسند که تأثیر پایه بر آن محدوده، کاهش یافته است و اثر گردابه‌های پشت پایه ناچیز می‌گردد. در این وضعیت رسوبات انتقالی از حفره آب‌شستگی تحت تأثیر جریان ثانویه به سمت پایین دست منتقل گشته و تعداد دو و یا بیشتر شیارهای کوچک در اطراف پایه تشکیل شد (شکل ۶).



شکل ۶- محل تشکیل آب‌شستگی و رسوب گذاری در اطراف پایه با طوقه مربعی

تأثیر ابعاد طوقه مربعی در توسعه آب‌شستگی اطراف پایه استوانه‌ای شکل ۷ تأثیر ابعاد طوقه در توسعه زمانی آب‌شستگی در ۴ ارتفاع و مقایسه آن با حالت بدون طوقه را در موقعیت ۶۰ درجه در قوس برای دبی ۳۲ لیتر بر ثانیه نشان می‌دهد.

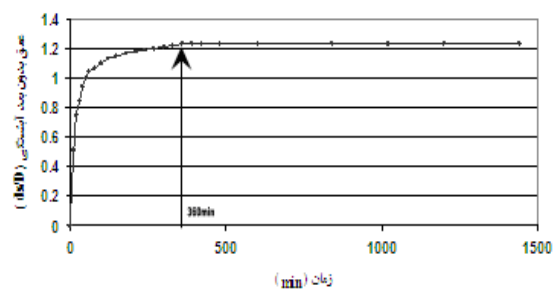
سرریز مثلثی ۶۰ درجه در ابتدای ورودی فلوم اندازه‌گیری شد (شکل ۴).



شکل ۴- پایه استوانه‌های با طوقه مربعی

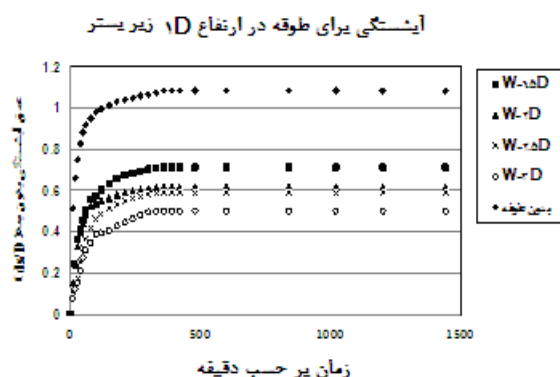
برای تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها، یک آزمایش طولانی به مدت ۲۴ ساعت بر روی پایه پل بدون طوقه در دبی ۳۲ لیتر بر ثانیه در موقعیت ۶۰ درجه صورت گرفت. با توجه به نمودار شکل ۵ مشاهده شد که در ۶ ساعت اول تقریباً ۹۸٪ آب‌شستگی رخ می‌دهد. لذا در کلیه آزمایش‌ها، زمان تعادل ۶ ساعت در نظر گرفته شد.

محتی توسعه زتی آب‌شستگی



شکل ۵- زمان تعادل در موقعیت ۶۰ درجه و دبی ۳۲ لیتر بر ثانیه

در ابتدای هر آزمایش با استفاده از ارابه متحرک، بستر کانال تحت شیب ثابت مسطح شد. سپس پایه در موقعیت ۶۰ درجه نصب شد. پیش از راه‌اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریپل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. مدت زمان اشباع بستر کانال بین ۲۰ تا ۳۰ دقیقه بود. پس از بالا آمدن سطح آب و اطمینان از خیس شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه‌اندازی شد و به آرامی توسط شیر فلکه اصلی روی لوله ورودی به حوضچه



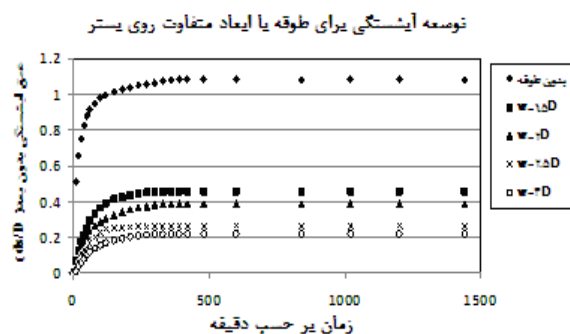
شکل ۷- تأثیر ابعاد طوقه در توسعه زمانی آبشستگی در مقایسه با پایه بدون طوقه در ارتفاع‌های مختلف

تأثیر ارتفاع نصب طوقه نسبت به تراز بستر در توسعه آبشستگی

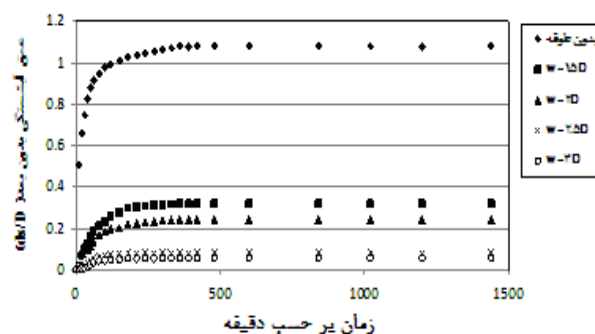
شکل ۸ تأثیر ارتفاع نصب طوقه در توسعه زمانی آبشستگی در ۴ ابعاد طوقه و مقایسه آن با حالت بدون طوقه را نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نصب طوقه در ارتفاع ۱D زیر بستر، نسبت به موقعیت روی بستر کمترین عمق آبشستگی را ایجاد کرده است. زیرا برای طوقه نصب شده در روی سطح بستر، در همان لحظات اولیه آزمایش، با فعالیت گرداب‌های نعل اسبی در جلو و زیر پایه، آبشستگی شروع می‌شود و به سرعت توسعه می‌یابد. همچنین نصب طوقه با قطرهای مختلف در ارتفاع ۰/۵D و ۱D را زیر بستر مقدار عمق آبشستگی در مقایسه با ارتفاع ۰/۱D زیر بستر عمق آبشستگی افزایش یافته است. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج محققین دیگر نظیر آلابی (۲۰۰۶)، اتما (۱۹۸۰)، مشاهیر و همکاران (۲۰۰۴) و ملویل و رادکیوی (۱۹۹۶) در مورد کاربرد طوقه دایره‌ای در اطراف پایه استوانه‌ای در مسیر مستقیم مقایسه شد.

در شکل ۹ مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج محققین به ازای حالت‌های مختلف پایه بدون طوقه، پایه با طوقه به اندازه ۲ و ۲/۵ برابر قطر پایه در حالت بدون بعد نشان داده شده است. نتایج حاصل از این نمودارها تطابق مناسب در حدود ۹۵٪ این تحقیق با تحقیقات محققین دیگر را نشان می‌دهد.

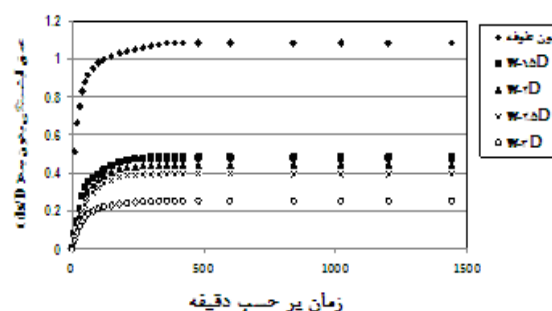
همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود در کلیه ارتفاع‌ها با افزایش ابعاد طوقه عملکرد آن در کاهش عمق آبشستگی بیشتر شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در ارتفاع‌های مختلف، طوقه با اندازه ۳ برابر قطر پایه بیشترین تأثیر در کاهش عمق آبشستگی ایجاد شد. زمانی که طوقه روی پایه نصب می‌شود، گرداب‌های نعل اسبی رو به پایین حین برخورد به طوقه از بستر منحرف شده و باعث کاهش عمق آبشستگی می‌شود (چیو، ۱۹۹۲).

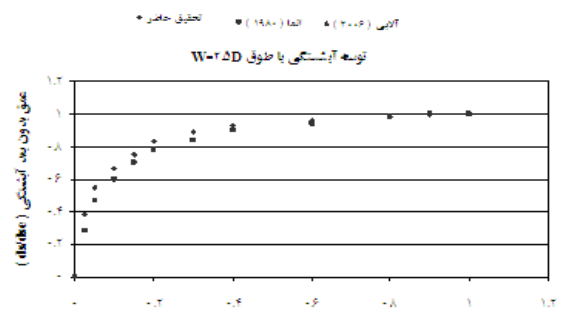
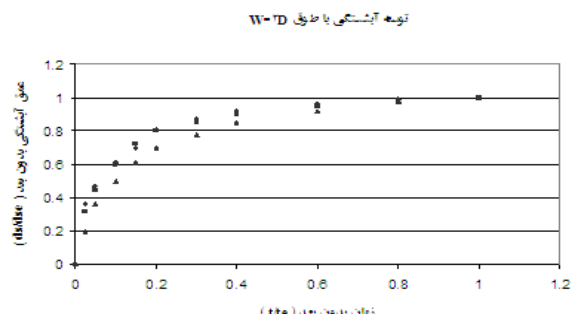
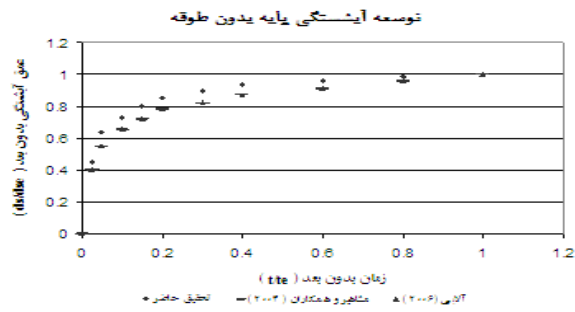


آبشستگی برای طوقه در ارتفاع ۱D، زیر بستر



آبشستگی برای طوقه در ارتفاع ۰/۵D، زیر بستر



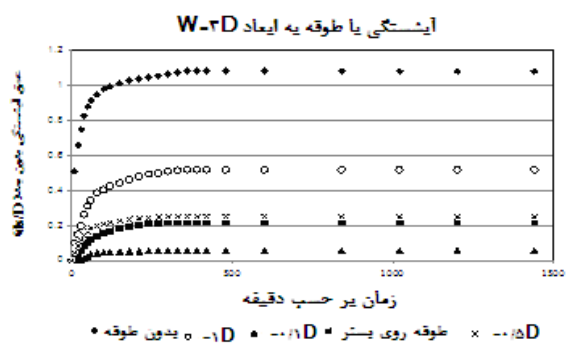
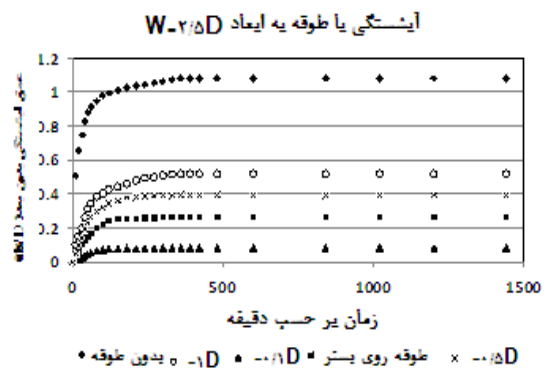
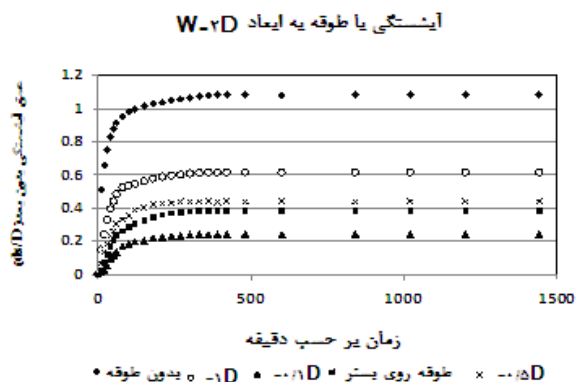
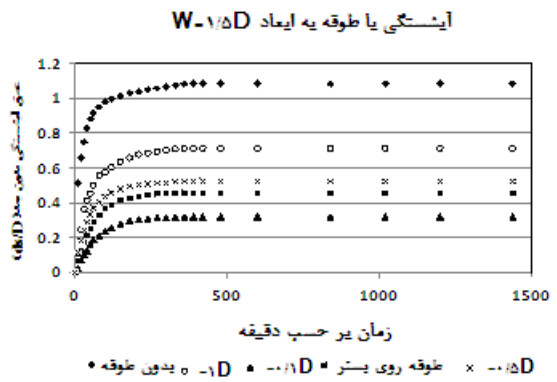


شکل ۹- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج محققین نظیر آلابی (۲۰۰۶)، اتما (۱۹۸۰)، مشاهیر و همکاران (۲۰۰۴) و مولیلول و رادکیوی (۱۹۹۶)

جدول ۱- درصد کاهش در عمق آبشستگی نسبت به پایه بدون طوقه

ارتفاع اندازه قطر طوقه	روی بستر	H/D=۰/۱	H/D=۰/۵	H/D=۱/۰
W/D=۱/۵	۵۳	۷۱	۵۱	۳۶
W/D=۲/۰	۶۲	۷۸	۵۹	۴۳
W/D=۲/۵	۷۳	۹۰	۶۱	۴۴
W/D=۳/۰	۸۰	۹۶	۷۳	۵۲

جدول ۱، درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌های با طوقه دایره‌ای نسبت به حالت بدون طوقه را برای ارتفاع قرارگیری طوقه و با ۴ اندازه طوقه نشان داده



شکل ۸- تأثیر ارتفاع نصب طوقه نسبت به تراز بستر در مقایسه با پایه بدون طوقه

۳- زراتی ا. سربند ا. و مشاهیر م. ۱۳۸۵. توسعه حفره آبشستگی موضعی اطراف یک پایه مستطیلی همراه با طوق. هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، صفحه ۶۴.

- 4- Alabi P.D. 2006. Time development of local scour at bridge pier fitted with a collar. MSC. Thesis, University of Saskatchewan, Canada.
- 5- Breusers H.N.C. Nicollet G. and Shen H.W. 1977. Local scour around cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Research*, 15(3): 211-252.
- 6- Chiew Y.M. and Melville, B.W. 1987. Local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, 25(1):15-26.
- 7- Chiew Y.M. 1992. Scour Protection at Bridge Piers. *JHE, ASCE*, 118(9):1260-1269.
- 8- Ettem R. 1980. Scour at Bridge Piers. Report No.216, University Of Aucland, School Of Engineering, New Zealand.
- 9- Kumar V. Ranga Raju K.G. and Vittal N. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(12): 1302-1305.
- 10- Mashair M.B. Zarrati A.R. and Rezayi A.R. 2004. Time development of scouring around a bridge pier protected by collar. 2nd International Conference on Scour and Erosion. ICSE-2, Singapore, 8 p.
- 11- Melville B.W. and Raudkivi A.J. 1996. Effect of foundation geometry on bridge pier scour. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 114(10): 203-209.
- 12- Oliveto G. and Hager W.H. 2002. Temporal Evolution of Clear-Water Pier and Abutment Scour. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 128 (9): 811-820.
- 13- Raudkivi, A.J. and Ettema R. 1983. Clear-Water Scour at Cylindrical Piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 109(3).
- 14- Raudkivi A.J. 1998. Loose boundary hydraulics. 4th Edition. Rotterdam ; Brookfield, VT : Balkema. P: 496.
- 15- Singh C.P. Setia B. and Verma D.V.S. 2001. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. *Proceedings of Theme D, 29th Congresson Hydraulicsof Rivers, Water Worksand Machinery, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing*, pp: 202-209.
- 16- Zarrati A.M. Nazariha M. and Mashahir M.B. 2006. Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 132(2): 154-162.

شده است. نتایج نشان می‌دهد طوقه دایره‌ای در ارتفاع  $H=0.1D$  زیر بستر با اندازه  $W=3D$ ، باعث کاهش ۹۶٪ آبشستگی اطراف پایه می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق آزمایش‌ها جهت تعیین توسعه زمانی آبشستگی در پایه استوانه‌ای با طوقه مربعی شکل مستقر در قوس ۱۸۰ درجه با هدف بررسی تأثیر طوقه مربعی شکل بر عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای و مقایسه آن با حالت بدون طوقه صورت گرفت. متغیرهای مؤثر در این تحقیق ابعاد طوقه و ارتفاع نصب طوقه نسبت به تراز بستر بود. نتایج این تحقیق به صورت زیر بیان می‌شود:

- ۱- با افزایش ابعاد طوقه مربعی، آبشستگی بیشینه کاهش یافته و در طوقه نصب شده در ارتفاع  $0.1D$  زیر بستر، کمترین عمق آبشستگی نسبت به ارتفاع‌های دیگر ملاحظه شد.
- ۲- حداقل عمق آبشستگی در هنگام نصب یک طوقه با ابعاد مؤثر ۳ برابر قطر پایه روی یک پایه استوانه‌ای در  $0.1D$  زیر بستر ایجاد شد.
- ۳- کاهش آبشستگی در طوقه مربعی شکل نسبت به حالت بدون طوقه بیشتر است. به عبارت دیگر طوقه‌های مربعی باعث پراکنده‌سازی و تضعیف عملکرد گرداب‌های ایجاد شده در اطراف پایه می‌شوند.

### سپاس‌گزاری

از مساعدت مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به منظور قرار دادن امکانات، تسهیلات و کمک‌های مالی در این تحقیق تشکر و سپاس‌گزاری می‌شود.

### منابع

- ۱- صفرزاده ا. و گندشمین ا. ۱۳۸۳. شبیه‌سازی الگوی جریان در آبگیری جانبی از قوس ۱۸۰ درجه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۶ صفحه.
- ۲- حیدرپور م. پیر محمدی ر. و افضل‌ی مهر ح. ۱۳۸۴. مشاهدات نحوه توسعه آبشستگی موضعی در گروه پایه‌های پل در هنگام استفاده از طوق. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، صفحه ۸۷.