

بررسی آزمایشگاهی اثر شکل طوق بر الگوی آب‌شستگی اطراف پایه‌های پل

امیر رضا محمدنژاد اردشیری^{۱*} و مجتبی صانعی^۲

چکیده

وقوع آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل یکی از اصلی‌ترین دلایل تخریب پل‌ها است. هم‌اکنون روش‌های مختلفی برای جلوگیری از آب‌شستگی پایه پل وجود دارد، یکی از این روش‌ها، نصب صفحه محافظ (طوق) در اطراف پایه پل است. طوق‌ها بستر را در مقابل گرداب اطراف پایه محافظت کرده و میزان آب‌شستگی را کاهش می‌دهند. در این پژوهش، به بررسی الگوهای آب‌شستگی اطراف پایه‌های استوانه‌ای پل با استفاده از طوق‌های مختلف مربع، دایره و لوزی شکل، با استفاده از ۵ دبی مختلف و با مصالح بستر با قطر متوسط ۱/۸ میلی‌متر پرداخته شد. طوق‌های به کار رفته در آزمایش‌ها، به تناسب قطر پایه، به اندازه دو برابر قطر پایه در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که الگوی آب‌شستگی ارتباط تنگاتنگی با شکل طوق استفاده شده در هر پایه را دارد. در طوق‌های مختلف محل ایجاد حفره آب‌شستگی و تپه با یکدیگر متفاوت است به طوری که با استفاده از طوق دایره و مربع محل شکل‌گیری فرآیند آب‌شستگی نزدیکی پایه رخ می‌دهد، این در حالی است که در زمان استفاده از طوق لوزی شکل محل ایجاد این فرآیند در فاصله‌ای مناسب‌تر و مطمئن‌تر از پایه ایجاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الگوی آب‌شستگی، آب‌شستگی پایه پل، طوق لوزی شکل، طوق مربعی شکل، طوق دایره‌ای.

ارجاع: محمدنژاد اردشیری ا. ر. و صانعی م. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی اثر شکل طوق بر الگوی آب‌شستگی اطراف پایه‌های پل. مجله پژوهش آب ایران. ۱۸: ۱۲۱-۱۳۰.

۱- کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نکا، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، نکا، ایران.
۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران.

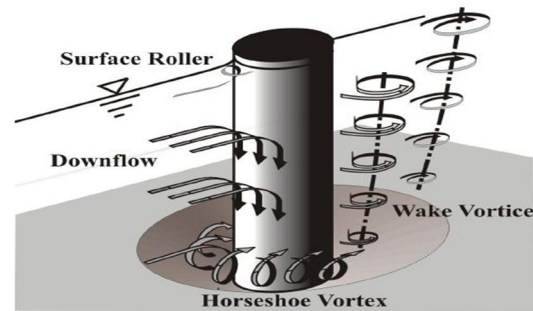
* نویسنده مسئول: amirreza_mohamadnejad@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۳۰

مقدمه

ایجاد و گسترش آبشستگی در پایه پل‌ها از مهم‌ترین عوامل آسیب و خرابی پل‌ها است. برخورد و جدا شدن جریان از پایه پل دو عامل اصلی در ایجاد آبشستگی در اطراف پایه پل هستند. برخورد جریان به پایه، گرداب نعل اسبی را شکل داده و جدایی جریان از پایه سبب به وجود آمدن گرداب‌های برخاستگی می‌شود. گرداب نعل اسبی عامل اصلی فرسایش بستر رودخانه در اطراف پایه به ویژه در جلوی آن است (شکل ۱).



شکل ۱- جریان اطراف پایه پل

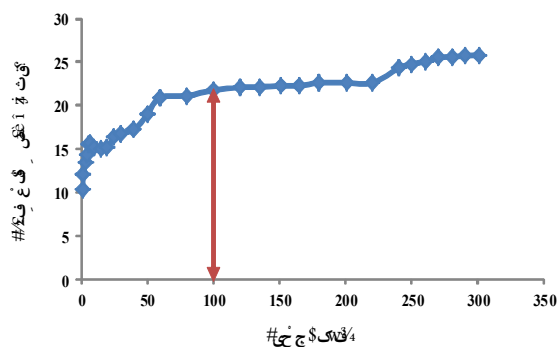
آب و روی بستر، پرداخت، بهشتی و عطایی (۱۳۸۷) به بررسی عددی الگوی جریان و آبشستگی در اطراف پایه پل پرداختند. میزان آبشستگی، تغییرات بستر و حداکثر عمق آبشستگی را با نرم‌افزار SSIIM شبیه‌سازی و نتایج آن را با مدل آزمایشگاهی مقایسه کردند. کایا (۲۰۱۰) به بررسی آبشستگی در پایه پل و اثرات سرعت و قطر متوسط دانه‌بندی بستر پرداخت. پاسیوک و استیلگر (۲۰۱۰) به بررسی حرکت ذرات بستر در اطراف پایه پل پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در شرایط یکنواخت حرکت دانه‌ها به شدت جریان گردابه بستگی دارد. علی‌حسینی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی آزمایشگاهی پروفیل آبشستگی در پایین‌دست جت مستغرق پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که شکل هندسی آبشستگی در حالت بی‌بعد مستقل از دبی، سرعت، عمق پایاب، زمان و قطر دانه‌بندی رسوب است. عیاری و همکاران (۱۳۸۸) به شبیه‌سازی عددی پایه‌های پل با شکل‌های مختلف هندسی نظیر بیضی، دایره، دوکی و غیره توسط نرم‌افزار فلوئنت پرداختند. آن‌ها در مدل‌های سه بعدی مطرح شده، تغییرات پروفیل سطح آب و اثر تغییر شکل پایه‌ها در کاهش میزان تنش برشی و در نتیجه کاهش آبشستگی را بررسی کردند. بررسی مطالعات پیشین اثر شکل طوقه بر تغییرات ابعاد حفره آبشستگی را نشان نمی‌دهند، هدف این پژوهش بررسی و عملکرد شکل‌های مختلف طوق بر میزان تغییرات آبشستگی اطراف پایه پل است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی الگوی آبشستگی روی بستر در اطراف پایه پل با اثر طوق در کانال مستقیم، یک مدل آزمایشگاهی تهیه می‌شود. آزمایش‌ها در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور و در یک فلوم (شکل ۲) از جنس شیشه برای دیواره و کف با طول ۶ متر، عرض حدودی ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. در انتهای کانال یک دریچه کنترل عمق جریان نصب و عمق آب با یک عدد دستگاه عمق‌سنج (point gage) اندازه‌گیری شد. در کلیه آزمایش‌ها برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی، براساس توصیه‌های چپو و ملویل (۱۹۸۷) قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد (زرانی و همکاران، ۲۰۰۴).

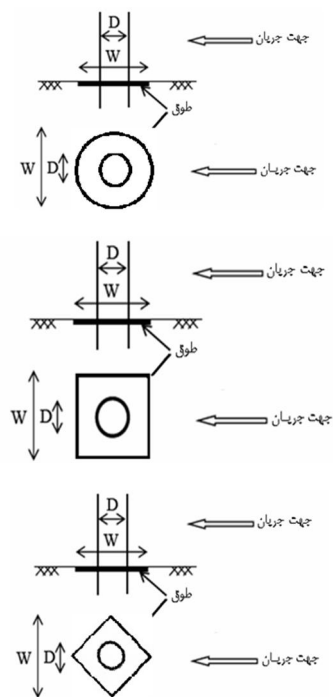
دقت پیش‌بینی الگوی آبشستگی، به مقدار زیادی به شناخت الگوی جریان اطراف سازه و حرکت رسوب در محدوده گودال آبشسته وابسته است. بررسی‌های آزمایشگاهی و عددی زیادی توسط پژوهشگران برای شناخت راه‌های کاهش این پدیده انجام شده است. یکی از این راه‌ها استفاده از طوق است. طوق صفحه‌ای تخت با ضخامت کم است، که اطراف پایه نصب می‌شود. از زمانی که مسئله آبشستگی موضعی به‌عنوان یک مسئله مهم در مهندسی رودخانه مطرح شده است، بررسی‌های آبشستگی موضعی با استفاده از مدل‌های فیزیکی تحت شرایط ساده شده آزمایشگاهی انجام شده و روابط زیادی برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی به دست آمده است. اکثر این بررسی‌ها توسط (شپارد و میلر، ۲۰۰۴)، (ملویل و کلمن، ۲۰۰۰) انجام شده است. همچنین چپو (۱۹۹۲)، کومار و همکاران (۱۹۹۹) و سینگ (۲۰۰۱) به بررسی اثرات کاهش آبشستگی بر پایه‌های پل به وسیله طوق پرداختند. بررسی‌های زیادی برای شبیه‌سازی جریان اطراف پایه پل انجام شده که از جمله ریچاردسون و همکاران (۱۹۹۸) به شبیه‌سازی نرم‌افزاری جریان اطراف پایه پل با نرم‌افزار Flow 3D، برای مقایسه الگوی جریان اطراف پایه در سطح

مقایسه میزان آب‌شستگی در یک زمان خاص است بنابراین زمان انجام تمام آزمایش‌ها ۱۰۰ دقیقه در نظر گرفته شد.



شکل ۳- تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی در حالت پایه بدون طوق (قطر $D=30\text{ mm}$ ، دبی $Q=5.36\text{ l/s}$)

با توجه به اینکه آب‌شستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی می‌شود پس برای جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت آستانه حرکت ذرات باشد، دبی مورد نیاز با سرریز مثلثی ۹۰ درجه در انتهای فلوم اندازه‌گیری شد. این آزمایش با استفاده از ۵ دبی ورودی ۹، ۹/۵، ۱۰، ۱۰/۵ و ۱۱ لیتر بر ثانیه و سه قطر مختلف پایه و با طوق لوزی، مربع و دایره‌ای شکل در فاصله ۵ متر از ابتدای فلوم انجام شد (شکل ۴).



شکل ۴- مدل پایه استوانه‌ای با طوق لوزی، مربع و دایره‌ای شکل به اندازه $2D$ ($W=2D$)



شکل ۲- نمایی از فلوم مورد استفاده در پژوهش

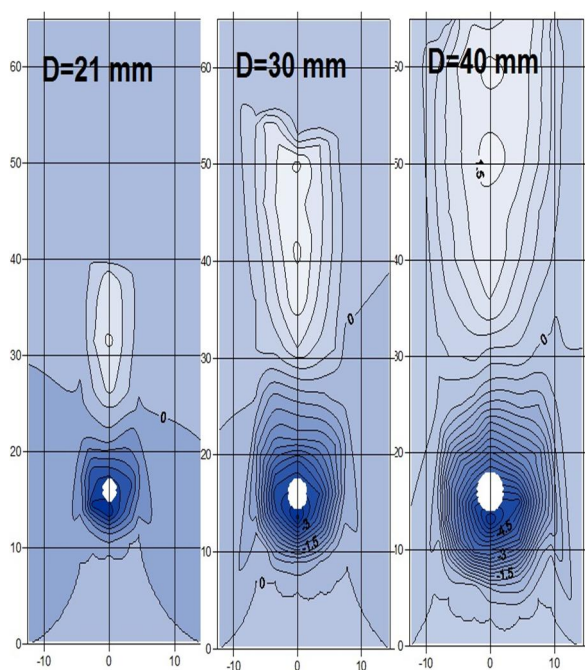
با توجه به معیار رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) عرض کانال باید حداقل $6/25$ برابر قطر پایه باشد تا تأثیر دیواره کانال بر آب‌شستگی موضعی پایه حذف شود. بنابراین پایه‌هایی با عرض ۲۱، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر و قطر طوق معادل ۲ برابر قطر پایه استفاده شد. پس ورق‌های پلاستیک فشرده به ضخامت ۳ میلی‌متر و با قرارگیری در روی سطح بستر آزمایش شد. به توصیه راودکیوی و اتما (۱۹۸۳) برای جلوگیری از تشکیل ریپل، قطر متوسط ذرات باید از $0/7$ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد. با توجه به این موارد یک لایه از ماسه با قطر متوسط معادل $1/8$ میلی‌متر و انحراف استاندارد معادل $1/3$ انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۱۵ سانتی‌متر برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. براساس توصیه الیوتو و هاگر (۲۰۰۲) برای جلوگیری از اثرات زبری، عمق آب باید بیشتر از ۲۰ میلی‌متر باشد که در کلیه آزمایش‌ها عمق آب ثابت و برابر $3/5$ برابر قطر پایه در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بعد از گذشت ۱۰۰ دقیقه به طور تقریبی ۸۵ درصد آب‌شستگی اتفاق افتاده است و از آنجا که هدف،

بستر به کمک روش شیلدز و رابطه ارائه شده ملویل (۱۹۹۷) در نظر گرفته شد (جدول ۱).

در مرحله اول با دیدن محدودیت‌ها و انجام آزمایش‌های مقدماتی و سعی و خطا، عمق ۱۰/۵ سانتی‌متر با دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه به‌عنوان شرایط و دبی آستانه حرکت ذرات

جدول ۱- شرایط هیدرولیکی جریان در تعیین سرعت بحرانی آستانه حرکت

عمق جریان cm	دبی cms	سرعت متوسط m/s	سرعت بحرانی m/s	U/Uc
۰/۱۰۵	۰/۰۱۱۰	۰/۳۷۱	۰/۴۲۷	۰/۸۷۰
۰/۱۰۵	۰/۰۱۰۵	۰/۳۵۵	۰/۴۲۷	۰/۸۳۰
۰/۱۰۵	۰/۰۱۰۰	۰/۳۳۸	۰/۴۲۷	۰/۷۹۱
۰/۱۰۵	۰/۰۰۹۵	۰/۳۲۱	۰/۴۲۷	۰/۷۵۱
۰/۱۰۵	۰/۰۰۹۰	۰/۳۰۴	۰/۴۲۷	۰/۷۱۲



شکل ۵- الگوی آبشستگی در پایه‌های مختلف در حالت بدون طوق

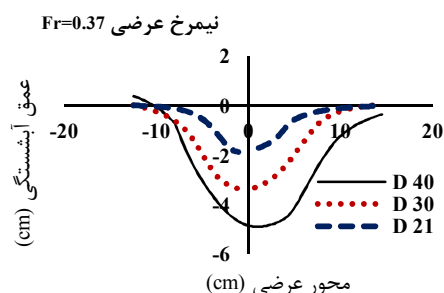
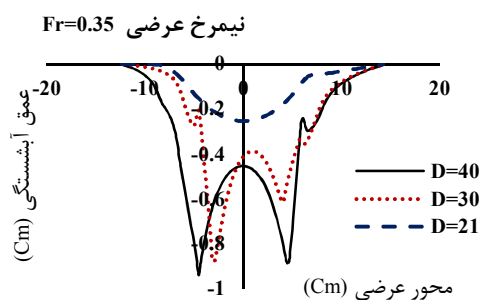
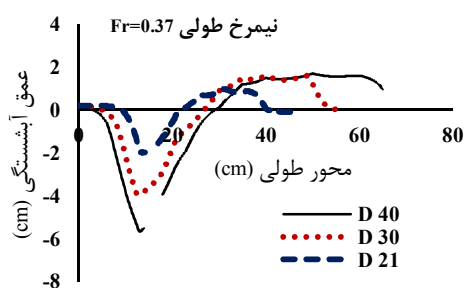
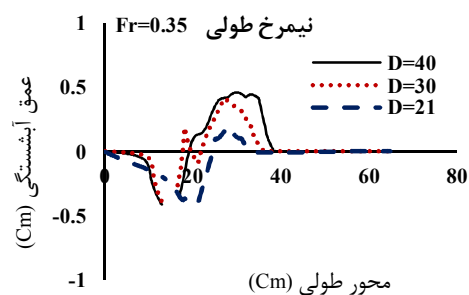


شکل ۶- نمایی از آبشستگی در حالت بدون طوق

در جدول U معرف سرعت متوسط جریان و Uc سرعت بحرانی آستانه حرکت ذرات است. برای اندازه‌گیری مقدار آبشستگی از دستگاه پروفایلر نمایشگر بستر (Profiler Indicator) استفاده شد. بعد از اتمام هر آزمایش با دستگاه پروفایلر سطح بستر رسوبات اندازه گرفته شد و سپس با نرم‌افزار Surfer 11 شکل رسوبات ترسیم گردید.

نتایج و بحث

در آزمایش‌های انجام شده با طوق مشاهده شد که ابتدا آبشستگی در اثر فعالیت گرداب‌های برخاستگی در پشت پایه شروع می‌شود. گرداب‌های برخاستگی شیارهایی را در کناره‌های پایه ایجاد می‌کنند که با توسعه و گسترش این شیارها به جلوی پایه و نفوذ آن‌ها به زیر پایه، آبشستگی تحت اثر گرداب‌های نعل اسبی ادامه یافته و سبب حفر گودال آبشستگی در جلوی پایه می‌شود. شکل ۵ پلان آبشستگی در پایه به قطرهای ۲۱، ۳۰، ۴۰ و ۲۱ میلی‌متر را در حالت بدون طوق نشان می‌دهد. با توجه به شکل نشان داده شده، می‌توان ابعاد گستردگی آبشستگی را در اطراف پایه‌ها مشاهده کرد. همچنین می‌توان گفت که هر چه قطر پایه بیشتر باشد ابعاد حفرة آبشستگی و طول شکل‌گیری تپه بیشتر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود طول حفرة آبشستگی از جلو تا پشت پایه امتداد پیدا کرده است. در شکل ۶ تأثیر قطر پایه بر الگوی آبشستگی دیده می‌شود. از شکل ۷ و با توجه به منحنی‌ها می‌توان نتیجه گرفت، هر چه قطر پایه بزرگ‌تر باشد میزان آبشستگی بیشتر است و حتی محل آبشستگی به تناسب قطر پایه در منطقه وسیع‌تری رخ می‌دهد.

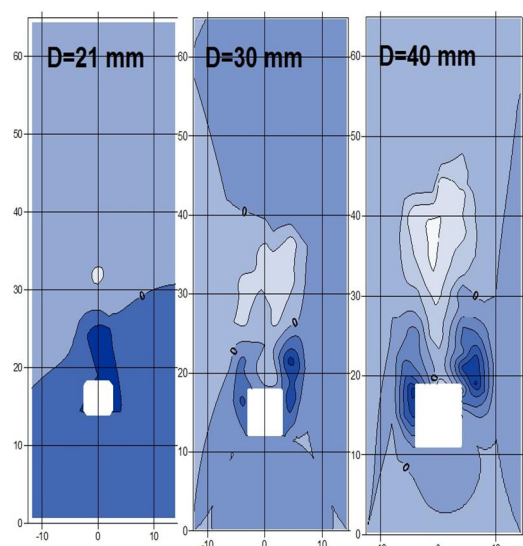


شکل ۷- نیمرخ طولی و عرضی در محور پایه، در دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه با قطرهای مختلف پایه

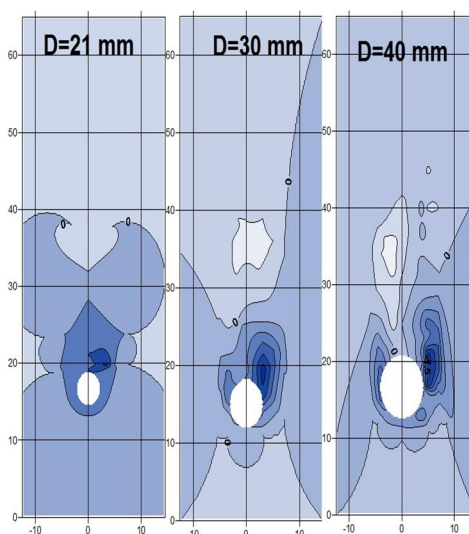
شکل ۹- نیمرخ طولی و عرضی در محور پایه با وجود طوق دایره‌ای در عدد فرود ۰/۳۷

شکل ۱۰ الگوی آبشستگی در حالتی که از طوق مربع شکل استفاده شده است را در پایه‌های مختلف با بیشترین مقدار عدد فرود یعنی ۰/۳۷ نشان می‌دهد (جدول ۳). در این شکل‌ها، به‌خصوص در پایه ۴۰ میلی‌متری محل آبشستگی بسیار نزدیک پایه است.

در شکل ۸، الگوی آبشستگی در پایه‌های مختلف با وجود طوق دایره‌ای در عدد فرود ۰/۳۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل آبشستگی، آبشستگی در زیر طوق رخ داده است و سپس به اطراف توسعه پیدا کرده است. شکل ۹ نیمرخ طولی و عرضی در محدوده پایه را با وجود طوق دایره‌ای نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش قطر پایه ابعاد حفره آبشستگی گسترش می‌یابد که این مطلب در جدول ۲ نیز قابل مشاهده است.



شکل ۱۰- الگوی آبشستگی اطراف پایه پل با وجود طوق مربعی با عدد فرود ۰/۳۷



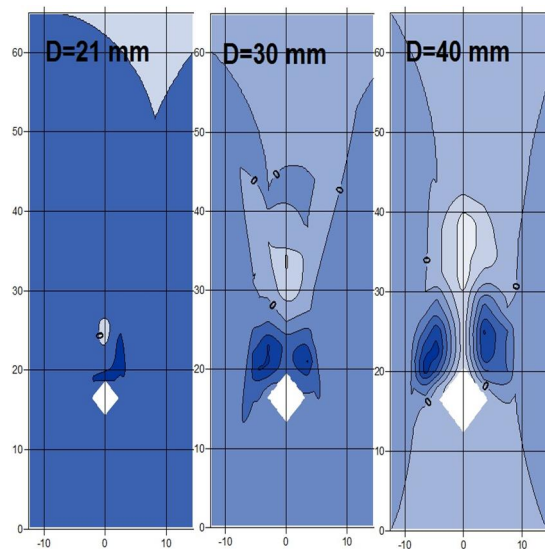
شکل ۸- الگوی آبشستگی در پایه‌های مختلف با وجود طوق دایره‌ای در عدد فرود ۰/۳۷

جدول ۲- میزان آبشستگی در اطراف پایه‌ها با طوقه دایره‌ای

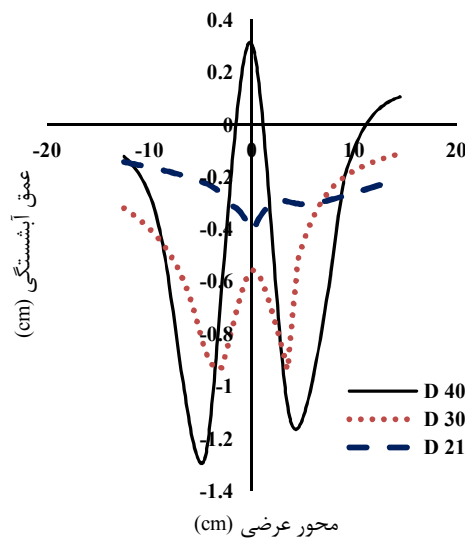
ردیف	قطر پایه (Cm)	دبی جریان (l/s)	عمق جریان (Cm)	عمق آبشستگی (Cm)	ارتفاع تپه رسوب‌گذاری (Cm)	حجم حفره آبشستگی (Cm ³)	سطح حفره آبشستگی (Cm ²)	عدد فرود
۱	۴۰	۹	۱۰/۵	۰/۴۱	۰/۵۱	۴۴/۳	۸۲۲/۸	۰/۳۰
۲	۴۰	۹/۵	۱۰/۵	۱/۱۱	۱/۰۱	۹۴/۴	۹۹۱/۲۵	۰/۳۲
۳	۴۰	۱۰	۱۰/۵	۰/۹	۰/۷	۵۱/۱	۸۵۱/۵	۰/۳۳
۴	۴۰	۱۰/۵	۱۰/۵	۱/۱۵	۰/۷۳	۱۰۵/۴۲	۹۶۹	۰/۳۵
۵	۴۰	۱۱	۱۰/۵	۲	۰/۷	۱۵۵/۳۵	۵۸۲/۵	۰/۳۷
۶	۳۰	۹	۱۰/۵	۰/۳۱	۰/۳۱	۶۱	۸۲۰	۰/۳۰
۷	۳۰	۹/۵	۱۰/۵	۰/۷۱	۰/۵۱	۵۸	۹۸۰/۵	۰/۳۲
۸	۳۰	۱۰	۱۰/۵	۰/۴	۰/۲	۵۰	۵۴۰/۵	۰/۳۳
۹	۳۰	۱۰/۵	۱۰/۵	۰/۹۴	۰/۴۲	۷۰	۷۷۲/۷	۰/۳۵
۱۰	۳۰	۱۱	۱۰/۵	۱/۷	۰/۴	۱۰۵	۸۳۵/۵	۰/۳۷
۱۱	۲۱	۹	۱۰/۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۳۰
۱۲	۲۱	۹/۵	۱۰/۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۳۲
۱۳	۲۱	۱۰	۱۰/۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۳۳
۱۴	۲۱	۱۰/۵	۱۰/۵	۰/۴۲	۰/۲۱	۳۹/۵	۵۷۴	۰/۳۵
۱۵	۲۱	۱۱	۱۰/۵	۱	۰/۲	۸۲/۶	۵۲۰/۱	۰/۳۷

جدول ۲- میزان آبشستگی در اطراف پایه‌ها با طوقه دایره‌ای

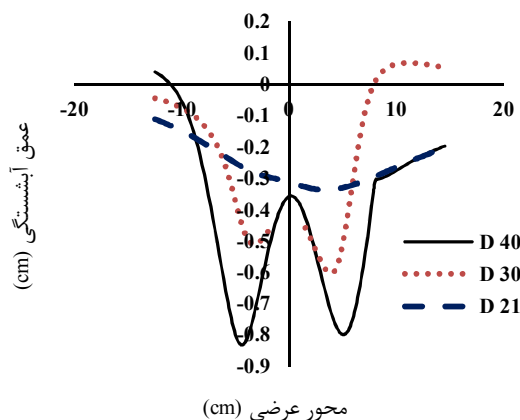
ردیف	قطر پایه (Cm)	دبی جریان (l/s)	عمق جریان (Cm)	عمق آبشستگی (Cm)	ارتفاع تپه رسوب‌گذاری (Cm)	حجم حفره آبشستگی (Cm ³)	سطح حفره آبشستگی (Cm ²)	عدد فرود
۱	۴۰	۹	۱۰/۵	۰/۴۱	۰/۵۱	۴۴/۳	۸۲۲/۸	۰/۳۰
۲	۴۰	۹/۵	۱۰/۵	۱/۱۱	۱/۰۱	۹۴/۴	۹۹۱/۲۵	۰/۳۲
۳	۴۰	۱۰	۱۰/۵	۰/۹	۰/۷	۵۱/۱	۸۵۱/۵	۰/۳۳
۴	۴۰	۱۰/۵	۱۰/۵	۱/۱۵	۰/۷۳	۱۰۵/۴۲	۹۶۹	۰/۳۵
۵	۴۰	۱۱	۱۰/۵	۲	۰/۷	۱۵۵/۳۵	۵۸۲/۵	۰/۳۷
۶	۳۰	۹	۱۰/۵	۰/۳۱	۰/۳۱	۶۱	۸۲۰	۰/۳۰
۷	۳۰	۹/۵	۱۰/۵	۰/۷۱	۰/۵۱	۵۸	۹۸۰/۵	۰/۳۲
۸	۳۰	۱۰	۱۰/۵	۰/۴	۰/۲	۵۰	۵۴۰/۵	۰/۳۳
۹	۳۰	۱۰/۵	۱۰/۵	۰/۹۴	۰/۴۲	۷۰	۷۷۲/۷	۰/۳۵
۱۰	۳۰	۱۱	۱۰/۵	۱/۷	۰/۴	۱۰۵	۸۳۵/۵	۰/۳۷
۱۱	۲۱	۹	۱۰/۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۳۰
۱۲	۲۱	۹/۵	۱۰/۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۳۲
۱۳	۲۱	۱۰	۱۰/۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۳۳
۱۴	۲۱	۱۰/۵	۱۰/۵	۰/۴۲	۰/۲۱	۳۹/۵	۵۷۴	۰/۳۵
۱۵	۲۱	۱۱	۱۰/۵	۱	۰/۲	۸۲/۶	۵۲۰/۱	۰/۳۷



شکل ۱۱- الگوی آب‌شستگی در پایه‌های مختلف با استفاده از طوق لوزی شکل با عدد فرود ۰/۳۷



شکل ۱۲- نیمرخ عرضی در محور پایه با وجود طوق لوزی



شکل ۱۳- نیمرخ عرضی فلوم در جلوی پایه با وجود طوق لوزی

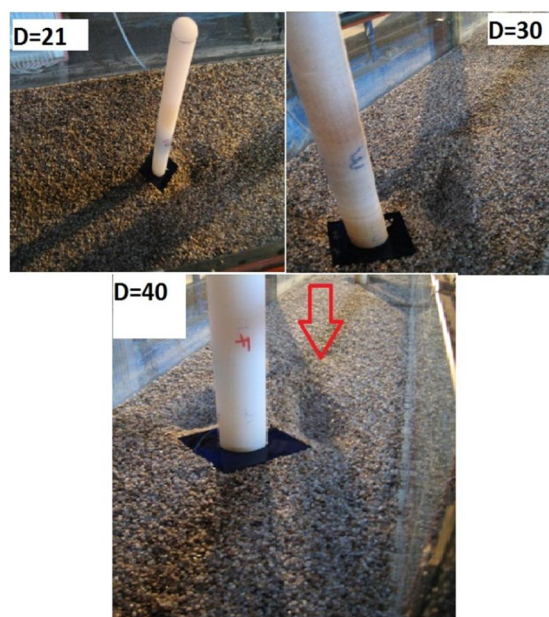
در شکل ۱۱ الگوی آب‌شستگی اطراف پایه پل با وجود طوق لوزی شکل دیده می‌شود و همچنین جدول ۴ میزان آب‌شستگی با وجود طوق لوزی شکل را در دبی‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است نقاط ایجاد شده آب‌شستگی در فاصله دورتری از پایه رخ می‌دهند. آب‌شستگی در پایه ۴۰ میلی‌متری در فاصله ۶/۵ سانتی‌متری جلوی پایه رخ داده و این در حالی است که در پایه‌های ۳۰ و ۲۱ میلی‌متری به ترتیب در فاصله‌های ۴/۵ و ۲/۵ سانتی‌متری در جلوی پایه ایجاد شده است. شکل ۱۲ نیمرخ عرضی محور پایه با استفاده از طوق لوزی شکل را نشان می‌دهد، همان‌طور که می‌بینید میزان آب‌شستگی کم است. در شکل ۱۳ نیمرخ عرضی فلوم در پایه‌های مختلف با استفاده از طوق لوزی شکل دیده می‌شود. برش‌ها در هر پایه در محل ایجاد گودال آب‌شستگی ترسیم شده است. شکل ۱۴ نمایی از آب‌شستگی در پایه‌های مختلف با استفاده از طوق لوزی شکل را در عدد فرود ۰/۳۷ نشان می‌دهد.

در شکل ۱۱ الگوی آب‌شستگی اطراف پایه پل با وجود طوق لوزی شکل دیده می‌شود و همچنین جدول ۴ میزان آب‌شستگی با وجود طوق لوزی شکل را در دبی‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است نقاط ایجاد شده آب‌شستگی در فاصله دورتری از پایه رخ می‌دهند. آب‌شستگی در پایه ۴۰ میلی‌متری در فاصله ۶/۵ سانتی‌متری جلوی پایه رخ داده و این در حالی است که در پایه‌های ۳۰ و ۲۱ میلی‌متری به ترتیب در فاصله‌های ۴/۵ و ۲/۵ سانتی‌متری در جلوی پایه ایجاد شده است. شکل ۱۲ نیمرخ عرضی محور پایه با استفاده از طوق لوزی شکل را نشان می‌دهد، همان‌طور که می‌بینید میزان آب‌شستگی کم است. در شکل ۱۳ نیمرخ عرضی فلوم در پایه‌های مختلف با استفاده از طوق لوزی شکل دیده می‌شود. برش‌ها در هر پایه در محل ایجاد گودال آب‌شستگی ترسیم شده است. شکل ۱۴ نمایی از آب‌شستگی در پایه‌های مختلف با استفاده از طوق لوزی شکل را در عدد فرود ۰/۳۷ نشان می‌دهد.

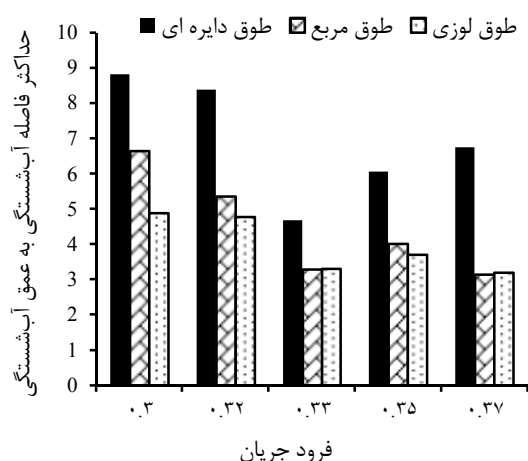
جدول ۴- میزان آبشستگی با وجود طوق لوزی شکل

ردیف	قطر پایه (Cm)	دبی جریان (l/s)	عمق جریان (Cm)	حداکثر عمق آبشستگی (Cm)	حداکثر ارتفاع تپه رسوبگذاری (Cm)	حجم حفره آبشستگی (Cm ³)	سطح حفره آبشستگی (Cm ²)	Fr
۱	۴۰	۹	۱۰/۵	۰/۸	۰/۸	۱۰۴/۶۸	۹۸۰/۲۵	۰/۳۰
۲	۴۰	۹/۵	۱۰/۵	۰/۹۱	۰/۶۱	۷۴/۰۸	۸۴۵/۹۲	۰/۳۲
۳	۴۰	۱۰	۱۰/۵	۱/۷	۱	۱۷۴/۸۶	۸۷۰/۷۸	۰/۳۳
۴	۴۰	۱۰/۵	۱۰/۵	۱/۶۲	۰/۷۱	۱۱۲/۳	۹۰۸/۹۶	۰/۳۵
۵	۴۰	۱۱	۱۰/۵	۱/۳۵	۰/۸۳	۱۴۲/۶	۹۲۳/۵	۰/۳۷
۶	۳۰	۹	۱۰/۵	۰/۲	۰/۴	۴۸/۲	۱۰۲۱	۰/۳۰
۷	۳۰	۹/۵	۱۰/۵	۰/۶۱	۰/۴	۶۸/۲	۷۲۳/۳	۰/۳۲
۸	۳۰	۱۰	۱۰/۵	۰/۹	۰/۹	۹۶	۹۶۵/۷	۰/۳۳
۹	۳۰	۱۰/۵	۱۰/۵	۰/۵۱	۰/۵۱	۵۵/۱	۸۹۲/۳	۰/۳۵
۱۰	۳۰	۱۱	۱۰/۵	۰/۹۳	۰/۶۲	۹۰/۲	۵۱۹/۵	۰/۳۷
۱۱	۲۱	۹	۱۰/۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۳۰
۱۲	۲۱	۱۰	۱۰/۵	۰/۲	۰/۲	۶۵	۷۳۳/۸۵	۰/۳۳
۱۳	۲۱	۱۱	۱۰/۵	۰/۴۲	۰/۱	۶۵/۰۶	۷۳۳/۸۵	۰/۳۷

شکل، به طور تقریبی ۵۲٪ بیشتر است از طوق دایره و مربعی شکل در فرود ۰/۳۷. در شکل ۱۶ نقاط اندازه‌گیری شده نشان داده شده‌اند. محل رخ دادن آبشستگی در پایه با استفاده از طوق لوزی شکل در فاصله‌ای دور تر از دیگر طوق‌ها است.



شکل ۱۴- نمایی از آبشستگی در طوق لوزی شکل با عدد فرود ۰/۳۷



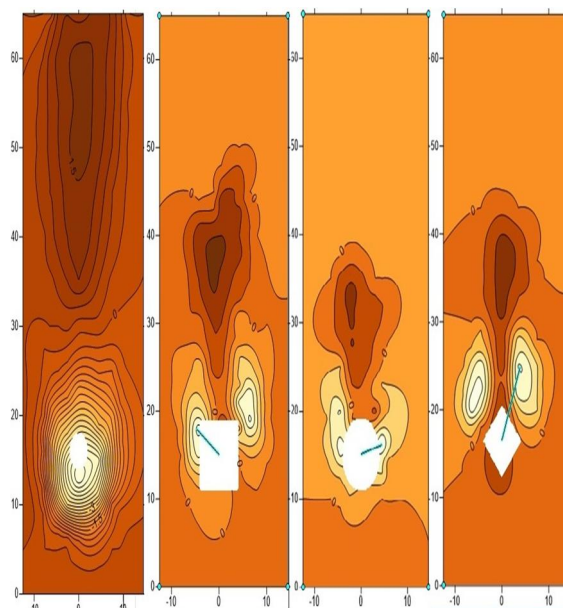
شکل ۱۵- نسبت فاصله حداکثر عمق آبشستگی تا مرکز پایه به عمق آبشستگی در برابر عدد فرود

در شکل ۱۵ نسبت فاصله حداکثر عمق آبشستگی تا مرکز پایه به عمق آبشستگی به صورت میله‌ای نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است نسبت فاصله بیشترین آبشستگی به عمق آبشستگی در طوق لوزی

مستقیم با قطر پایه دارد. به صورتی که هرچه قطر پایه بیشتر باشد میزان آبشستگی بیشتر می شود. همچنین الگوی آبشستگی در پایه های با قطرهای مختلف متفاوت است به طوری که در پایه با قطر بیشتر ابعاد آبشستگی بیشتر می شود. به عبارت دیگر مجموعه حفره و تپه ایجاد شده در سطح بزرگ تری قرار می گیرند. نتایج همچنین نشان دادند که الگوی آبشستگی ارتباط تنگاتنگی با شکل طوق استفاده شده در هر پایه دارد. به طوری که با استفاده از طوق دایره و مربع محل شکل گیری فرآیند آبشستگی در نزدیکی پایه رخ می دهد، این در حالی است که در زمان استفاده از طوق لوزی شکل محل ایجاد این فرآیند در فاصله ای دورتر و مطمئن تر از پایه ایجاد می شود. نسبت فاصله بیشترین آبشستگی به عمق آبشستگی در طوق لوزی شکل، به طور تقریبی ۵۲٪ بیشتر از طوق دایره و مربعی شکل است.

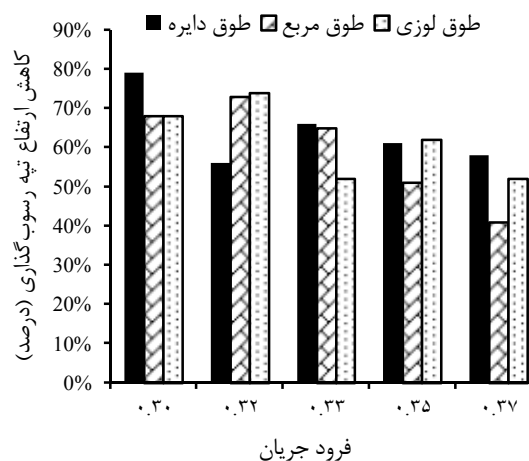
منابع

۱. بهشتی ع. و عطایی ب. ۱۳۸۷. بررسی عددی الگوی جریان و آبشستگی در اطراف گروه شمع. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران. جلد اول ۳۷۰ ص.
۲. علی حسینی پ. و صانعی م. و ابراهیمی ا. ۱۳۸۷. "بررسی تشابه هندسی پروفیل های آبشستگی پایین دست جت افقی مستغرق با استفاده از مدل آزمایشگاهی. چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، دانشگاه سمنان. ۴۶۹ ص.
۳. عیاری ش. و حکیم زاده ج. و حسن زاده ی. ۱۳۸۸. بررسی اشکال پایه پل بر الگوی جریان اطراف آن با استفاده از نرم افزار فلوئنت. هشتمین کنگره بین المللی عمران ایران.
4. Chiew Y. M. and Melville B. W. 1987. Local scour around bridge piers. J. Hydr. Res. IAHR. 25: 1. 15-26.
5. Chiew Y. M. 1992. Scour protection at bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 118(9): 1260-1269.
6. Kaya A. 2010. Artificial neural network study of observed pattern of scour depth around bridge piers. Journal of Computers and Geotechnics. 37: 413-418.
7. Kumar V. Ranga Raju K. G. and Vittal N. 1999.



شکل ۱۶- محل اندازه گیری شده در پایه ۴۰ میلی متری با استفاده از طوق ها مختلف

شکل ۱۷ درصد کاهش میزان حداکثر ارتفاع تپه رسوب گذاری آبشستگی را با وجود طوق های مختلف در اعداد فرود ۰/۳ تا ۰/۳۷ برای پایه به قطر ۴۰ میلی متر نشان می دهد. همان طور که دیده می شود میزان کاهش ارتفاع تپه رسوب گذاری شده در پایه با طوق دایره ای شکل در عدد فرود ۰/۳۷ برابر ۵۸٪ است که کمترین میزان ارتفاع را در بین طوق های لوزی و مربع دارد.



شکل ۱۷- میزان حداکثر ارتفاع تپه آبشستگی در پایه ۴۰ میلی متری با طوق های مختلف

نتیجه گیری

نتایج آزمایش با استفاده از ۳ پایه استوانه ای با قطرهای متفاوت و ۳ طوق، نشان داد که میزان آبشستگی ارتباط

- Reduction of local scour around bridge Piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 125(12): 1302-1305.
8. Melvill B. W. 1997. Pier and abutment scour: integrated approach. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 132:(2): 125-136.
 9. Melville B. W. and Coleman S. E. 2000. *Bridge scour*, Water Resources Publications, Highlands Ranch, USA. 550 p.
 10. Oliveto G. and Hager W. H. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 10.1061/(ASCE)0733-9429 (2002)128, 9(811): 811-820.
 11. Pasiok R. and Stilger-Szydło E. 2010. Sediment particles and turbulent flow simulation around bridge piers. Institute of Geotechnics and Hydrotechnics, Wrocław University of Technology, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Poland.
 12. Richardson J. E. and Pancheng V. G. 1998. Three dimensional simulation of scour inducing flow at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*. 124: 530-540.
 13. Rudkivi A. J. Ettema R. Clear-Water Scour at Cylindrical Piers. 1983. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 109(3): 339-350.
 14. Sheppard D. M. and Miller Jr. W. 2006. Live-bed local scour experiments. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*. 132 (7): 635-642.
 15. Singh C. P. Setia B. and Verma D. V. S. 2001. Collar-sleeve combination as a scour around a circular pier. *Proceedings of Theme. 29th Congress on Hydraulics of Rivers, Water Works and Machinery*, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, China. 16-21: 202-209
 16. Zarrati A. R. Gholami H. and Mashahir M. B. 2004. Application of collar to control scouring around Rectangular bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*. 42(1): 97-103.