بررسی آزمایشگاهی اثر طوقه در کنترل آبشستگی اطراف پایه پل استوانه‌ای در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه

علیرضا مسجدی[۱*] و مهدی غلامزاده محمودی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۵/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۸/۱۰)

چکیده

هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از پل‌ها درست زمانی که بیشترین نیاز به آنها وجود دارد، تخریب می‌شوند. یکی از مؤثرترین عوامل این تخریب‌ها آبشستگی موضعی اطراف پایه‌ها در قوس رودخانه می‌باشد. یکی از روش‌های کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های پل، نصب طوقه محافظ روی پایه است. طوقه‌ها بستر را در مقابل جریان‌های گردابی اطراف پایه محافظت می‌کنند. به منظور بررسی اثر طوقه در کنترل آبشستگی اطراف پایه پل در قوس رودخانه‌ها، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه و شعاع مرکزی ۲/۸ متر و عرض ۰/۶ متر با از جنس پلاکسی گلاس انجام پذیرفت. در این تحقیق با قرار دادن یک پایه استوانه‌ای به همراه چهار طوقه دایره‌ای با اندازه‌های مختلف در یک موقعیت از قوس با دبی و عمق ثابت، پدیده آبشستگی حول پایه‌ها در حالت آب زلال بررسی شد. محل نصب طوقه در آزمایش‌ها در ۴ ارتفاع متفاوت انتخاب شد. برای مصالح کف فلوم از ماسه طبیعی با دانه‌بندی یکنواخت با قطر D۵۰= ۲mm و ضریب یکنواختی ۱/۳ استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش قطر طوقه میزان آبشستگی موضعی در اطراف پایه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد به‌طوری‌که حداقل میزان آبشستگی در هنگام نصب یک طوقه با قطر مؤثرسه برابر قطر پایه روی یک پایه استوانه‌ای در D ۰/۱ زیر بستر ۹۳ درصد نسبت به حالت بدون طوقه ایجاد شد.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی موضعی، جریان‌های گردابی، قوس ۱۸۰ درجه، طوقه دایره‌ای

۱. استادیار مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

۲. دانشجوی کارشناسی سازه‌های آبی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: drmasjedi2007@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]

مقدمه

پل‌ها عموماً روی رودخانه‌ها احداث می‌شوند. ولی اغلب رودخانه‌ها دارای مسیر پرپیچ و خم و به اصطلاح مئاندری هستند. اصولاً پل‌ها در بازه‌ای از رودخانه احداث می‌شوند که رودخانه پایدارتر باشد. در این مسیر، ممکن است به علت محدودیت‌های احداث راه و یا عدم پایداری رودخانه در بازه‌های مستقیم، نظر بر احداث پل در قوس رودخانه صادر شود. وقوع آبشستگی در اطراف پایه‌های پل یکی از عمده‌ترین دلایل تخریب پل‌هاست. بنابراین حفاظت از پل‌ها در برابر آبشستگی ضروری است. پس از برخورد جریان به دماغه پل، روی پایه با توجه به این‌که سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود، فشار بیشتری نیز در ترازهای بالاتر روی پایه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی پایه از بالا به پایین به وجود می‌آید که خود باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در جلو پایه می‌شود. جریان رو به پایین همانند یک جت عمودی عمل کرده و پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود (۱۴). مقداری از این جریان 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 یافته 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 حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند (۳).

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 کرده 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 آن قدر 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(۱۳). شکل ۱ نمونه‌ای از جریان آشفته و گرداب‌هایی را که باعث آبشستگی موضعی و حفره می‌شوند را نشان می‌دهد.

با توجه به مطالعات انجام شده 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 (۵). اتما در سال ۱۹۸۰ گزارش داد نصب یک طوقه با قطر مؤثر دو برابر قطر پایه روی یک پایه استوانه‌ای در سطح بستر در کانال مستقیم باعث کاهش آبشستگی موضعی می‌شود (۶). کومار و همکاران در سال ۱۹۹۹ برای کاهش عمق آبشستگی از پنج اندازه مختلف طوقه با قطر ۱/۵ ، ۲ ،۲/۵ ،۳ و۴ برابر قطر پایه در اطراف پایه استوانه‌ای استفاده کرده و مشاهده کردند که طوقه‌های کوچک باعث به وجود 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، ارائه دادند.

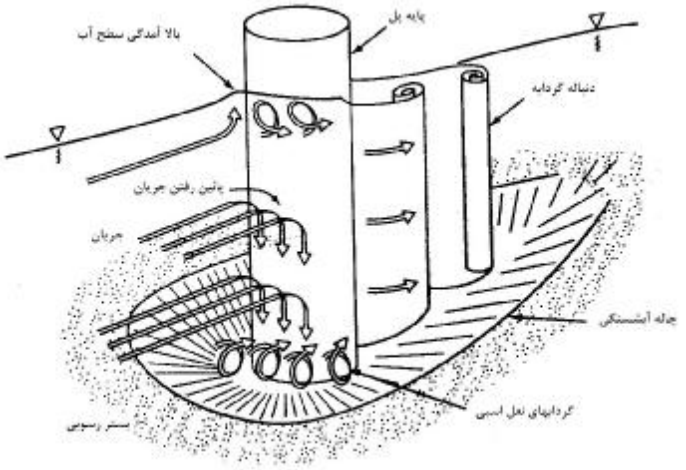
$$\left(\frac{ds_p - ds_c}{ds_p}\right) = ۰/۰۵۷\left(\frac{B}{b}\right)^{۱/۶۱۲}\left(\frac{H}{Y_\circ}\right)^{۰/۸۳۷} \qquad [۱]$$

در این معادله عمق تعادل آبشستگی بدون طوقه، عمق تعادل آبشستگی با طوقه، قطر طوقه، قطر پایه، ارتفاع طوقه نسبت به سطح آزاد آب و عمق جریان می‌باشند (۷).

سینگ و همکاران در سال ۲۰۰۱ عملکرد طوقه‌ها را در کاهش آبشستگی مورد مطالعه قرار دادند (۱۶). 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 ۰/۱D (D= قطر پایه) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوقه به قطر دو برابر قطر پایه مقدار

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]



شکل ۱. الگوی جریان و حفره آبشستگی موضعی اطراف یک پایه پل استوانه‌ای

آبشستگی را ۹۱ درصد کاهش می‌دهد. هم‌چنین طوقه‌هایی با قطرهای ۱/۵ ، ۲ و ۲/۵ برابر قطر پایه روی بستر کانال قرار گیرند به میزان ۵۰% ،۶۸% و۱۰۰% نسبت به پایه بدون محافظ کاهش آبشستگی دیده می‌شود.

چیو 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 به میزان ۲۰ درصد کاهش یافت (۵). هم‌چنین او اظهار داشت که طراحی و کاربرد صحیح طوقه می‌تواند جایگزین مناسبی برای سنگ چین در حل مشکلات آبشستگی موضعی پایه‌های پل باشد. زراتی و همکاران نیز عملکرد طوقه‌های مستقل و پیوسته همراه با سنگ چین را در گروه پایه‌های پل بررسی کردند (۱۷). نتایج نشان داد که ترکیبی از یک طوقه پیوسته و سنگ چین منجر به کاهش عمق آبشستگی به میزان ۵۰ و ۶۰ درصد به ترتیب در جلو و پشت پایه می‌شود. هم‌چنین عملکرد طوقه‌های مستقل بر روی هر پایه بهتر از عملکرد یک طوقه پیوسته روی دو پایه بود.

بر اساس مطالعات انجام شده توسط برخی از محققین پدیده آبشستگی در اطراف پایه تحت تأثیر عواملی از جمله هندسه مجرا، دبی جریان، عمق جریان، قطر پایه، شتاب ثقل خصوصیات مصالح بستر، زاویه قرارگیری پایه نسبت به جریان، شکل پایه و خواص سیال قرار دارد (۸، ۱۳ و ۱۵). اصولاً پل‌ها در بازه‌ای از رودخانه احداث می‌شوند که رودخانه پایدارتر باشد. در این مسیر، ممکن است به علت 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 در خصوص الگوی جریان در قوس ۱۸۰ درجه، بیشترین توزیع سرعت در زاویه ۶۰ درجه به دلیل قدرت بالای جریان‌های ثانویه ایجاد می‌شود (۱). لذا در این تحقیق بررسی تأثیر طوقه در کاهش آبشستگی اطراف پایه پل در موقعیت ۶۰ درجه در قوس بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر طوقه در کاهش آبشستگی اطراف پایه پل در قوس رودخانه، یک مدل آزمایشگاهی تهیه شد. آزمایش‌ها در یک فلوم از جنس پلاکسی گلاس قوسی شکل با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه، شعاع مرکزی ۲/۸ متر و عرض ۰/۶ متر انجام شد. انحنای نسبی قوس R/B = ۴/۷ بوده که قوس را در رده قوس‌های ملایم قرار می‌دهد. بازه مستقیم ورودی کانال به طول ۹/۱ متر به یک کانال با قوس ۱۸۰ درجه متصل می‌شود.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]

این کانال قوسی شکل توسط یک بازه مستقیم دیگری به طول ۵/۵ متر به دریچه کنترل عمق جریان و سپس مخزن خروجی متصل می‌شود (شکل ۲).

در کلیه آزمایش‌ها برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی، طبق توصیه‌های چیو و ملویل قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد (۴). لذا برای مدل کردن پایه پل از لوله pvc به قطر ۶۰ میلی‌متر استفاده شد. برای انتخاب قطر طوقه‌ها بر اساس پیشنهاد سینگ و اتما از قطر ۱/۵ ، ۲ ، ۲/۵ و ۳ برابر قطر پایه استفاده شد (۶ و ۱۶). برای این منظور از ورق‌های پلکسی گلاس به ضخامت ۱ میلی‌متر با قطرهای۱/۵ ، ۲ ، ۲/۵ و ۳ برابر قطر پایه و با قرارگیری در ارتفاعات روی سطح بستر، D۰/۱، D۰/۵ و D)(D = قطر پایه) زیر بستر استفاده شد (شکل ۳).

به توصیه رادکیوی و اتما برای جلوگیری از تشکیل ریپل قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد (۱۳). هم‌چنین برای حذف اثر رسوبات روی عمق آبشستگی نسبت قطر پایه به متوسط ذرات باید کمتر از ۵۰ باشد (۴). در همین راستا راودکیوی و اتما این نسبت را ۳۰-۲۵ پیشنهاد کرده‌اند (۱۳). با توجه به این موارد یک لایه از ماسه طبیعی رودخانه‌ای با قطر متوسط معادل ۲ میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل ۱/۳ انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۱۵ سانتی‌متر برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. طبق توصیه الیوتو و هاگر برای جلوگیری از آثار زبری عمق آب را بیشتر از ۲۰ میلی‌متر پیشنهاد کرده‌اند که در کلیه آزمایش‌ها عمق آب ثابت و برابر ۱۲سانتی‌متر در نظر گرفته شد (۱۲). با توجه به این‌که آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی باشد. در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت برشی جریان به سرعت برشی بحرانی ۰/۹۳ بود. دبی مورد نیاز توسط سرریز مثلثی ۶۰ درجه در ابتدای ورودی فلوم اندازه‌گیری شد.

به منظور تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها، یک آزمایش طولانی به مدت ۲۴ ساعت روی پایه پل بدون طوقه در دبی ۳۲ لیتر بر ثانیه در موقعیت ۶۰ درجه انجام شد. با توجه به نمودار شکل ۴ مشاهده شد که در ۶ ساعت اول تقریباً ۹۸ درصد آبشستگی رخ می‌دهد. بنابراین در کلیه آزمایش‌ها، زمان تعادل ۶ ساعت در نظر گرفته شد (۱۱).

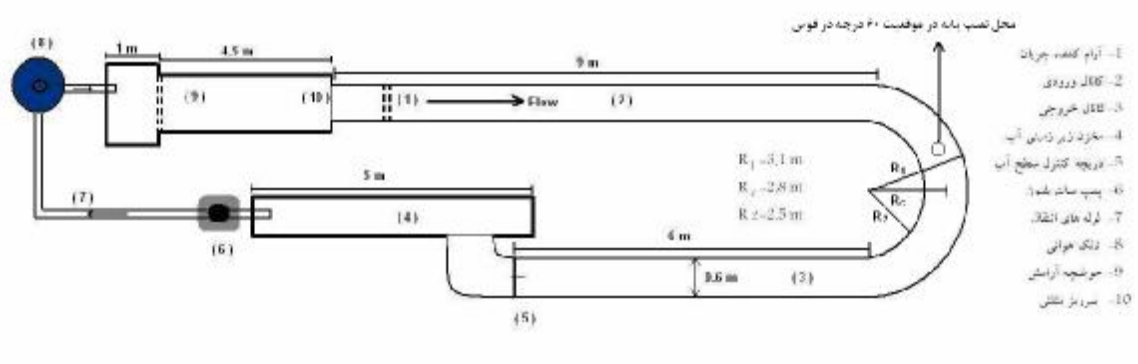
برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا پایه استوانه‌ای برای شرایط‌های مختلف در موقعیت ۶۰ درجه مورد نظر نصب شد. سپس رسوبات کف، توسط ارابه تسطیح متحرک به طور یکسان در جهت طولی و عرضی در سراسر فلوم گسترانده شد. پیش از راه‌اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریپل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه اندازی و به آرامی توسط شیر فلکه اصلی روی لوله ورودی به حوضچه آرامش، دبی به میزان مورد نظر رسانده شد. سپس با تنظیم دقیق و هم‌زمان شیرفلکه و دریچه پایین دست عمق جریان ۱۲ سانتی‌متر و دبی مورد نظر حاصل شد. پس از هر آزمایش، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته شد تا آب موجود در کانال به آرامی زه‌کشی و تأثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب از درون کانال، به وسیله عمق سنج با دقت میلی‌متر، توپوگرافی بستر در اطراف پایه در موقعیت‌ها و دبی‌های مختلف برداشت شد. به منظور اندازه‌گیری عمق آبشستگی در طول زمان، توسط دستگاه عمق‌سنج با دقت بالا، در بالادست طوقه در زمان های مختلف عمق آبشستگی اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

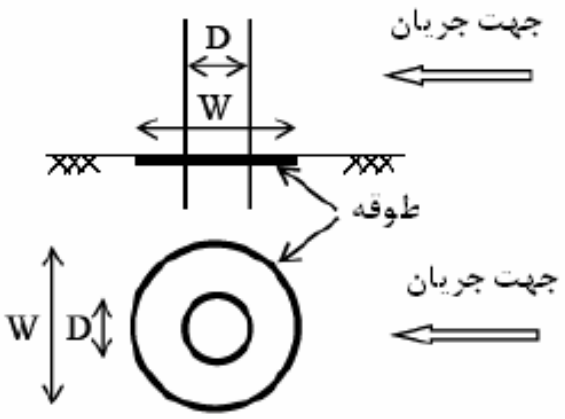
در کلیه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف پایه گردابه‌ها تشکیل و آبشستگی با سرعت بسیار بالا آغاز شد. با شکل‌گیری حفره آبشستگی رسوب‌ها برخاسته از

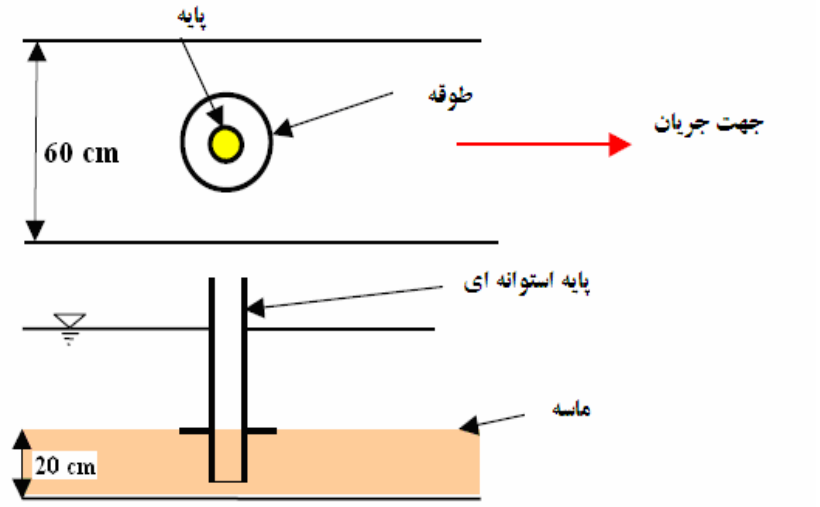
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]



شکل ۲. پلان کانال قوسی شکل



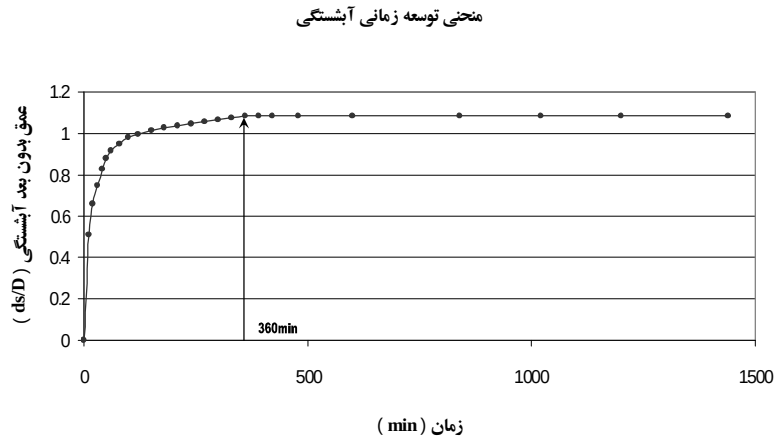


شکل ۳. پایه استوانه‌ای و طوقه دایره‌ای شکل در اطراف آن

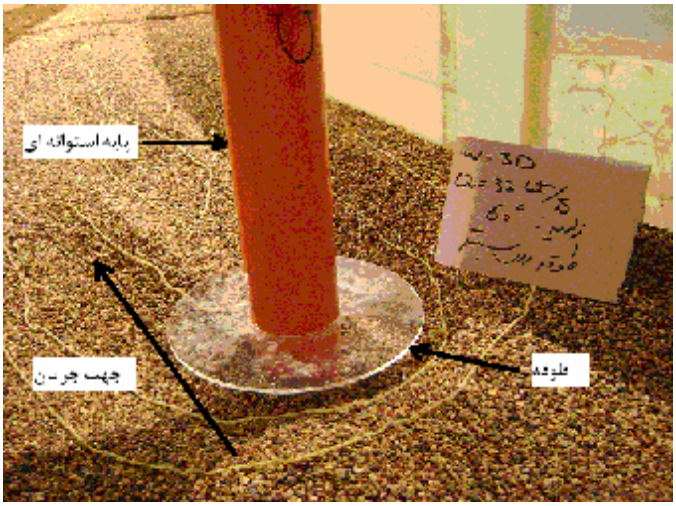
(W =قطر طوقه و D =قطر پایه) (۹)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]



شکل ۴. زمان تعادل در موقعیت۶۰ درجه ودبی ۳۲ لیتر بر ثانیه



شکل ۵. محل تشکیل آبشستگی و رسوب‌گذاری در اطراف پایه با طوقه

حفره به سمت پایین دست منتقل شدند. پس از مدتی از شروع آزمایش رسوبات انتقالی از حفره آبشستگی تحت تأثیر جریان ثانویه به سمت پایین دست منتقل شده و تعداد دو و یا بیشتر شیارهای کوچک در اطراف پایه تشکیل شد (شکل ۵).

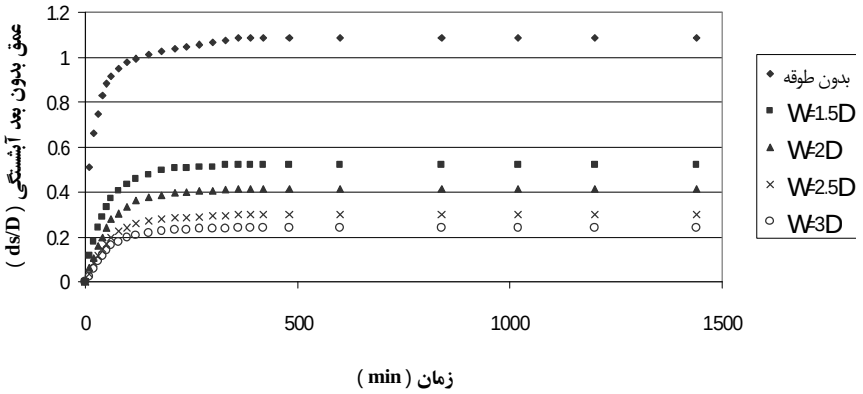
الف) تأثیر قطر طوقه در توسعه آبشستگی اطراف پایه استوانه‌ای

شکل ۶ تأثیر قطر طوقه در توسعه زمانی آبشستگی در چهار ارتفاع و مقایسه آن با حالت بدون طوقه را در موقعیت ۶۰ درجه در قوس برای دبی ۳۲ لیتر بر ثانیه نشان می‌دهد. همان‌گونه در شکل مشاهده می‌شود در کلیه ارتفاع‌ها با افزایش قطر 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 در حین برخورد به طوقه از بستر منحرف شده و باعث کاهش عمق آبشستگی می‌شود (۵)

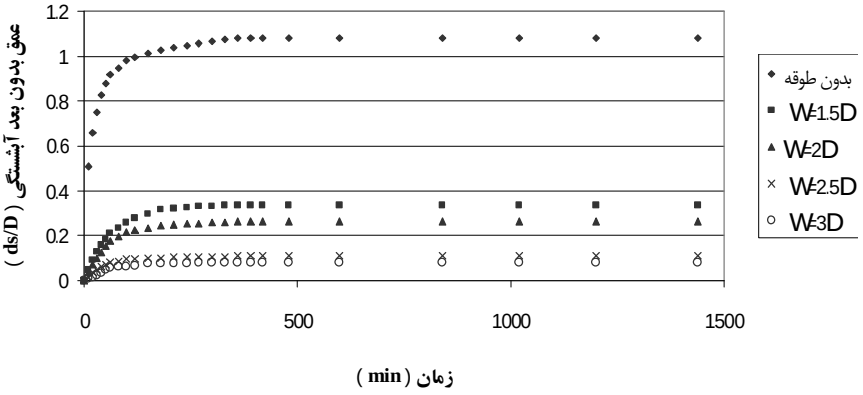
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]

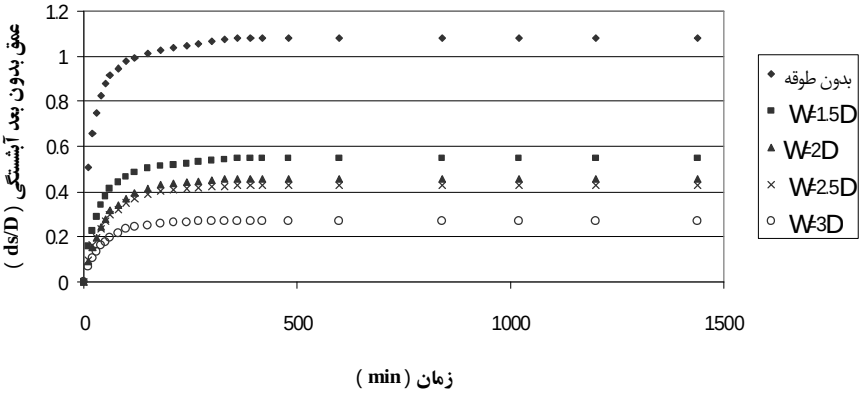
توسعه آبشستگی برای طوق با ابعاد متفاوت بر روی بستر



توسعه آبشستگی برای طوق با ابعاد متفاوت در ارتفاع 0.1D زیر بستر



توسعه آبشستگی برای طوق با ابعاد متفاوت در ارتفاع 0.5D زیر بستر



[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]



شکل ۶. تأثیر قطر طوقه در توسعه زمانی آبشستگی در مقایسه با پایه بدون طوقه در ارتفاع‌های مختلف

ب) تأثیر ارتفاع نصب طوقه نسبت به تراز بستر در توسعه آبشستگی

شکل ۷ تأثیر ارتفاع نصب طوقه در توسعه زمانی آبشستگی در چهار قطر طوقه و مقایسه آن با حالت بدون طوقه را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در قطرهای مختلف طوقه، نصب طوقه در ارتفاع D۰/۱ زیر بستر، نسبت به موقعیت روی بستر کمترین عمق آبشستگی ایجاد شد. 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 شده و به سرعت توسعه می‌یابد. هم‌چنین نصب طوقه با قطرهای مختلف در ارتفاع D۰/۵ و D زیر بستر مقدار عمق آبشستگی در مقایسه با ارتفاع D۰/۱ زیر بستر، عمق آبشستگی افزایش یافته است که دلیل آن انتقال بار رسوب بر روی طوقه و نفوذ جریان‌های گردابی به زیر طوقه است. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج محقیقین دیگر نظیر آلابی (۲)، اتما (۶)، مشاهیر و همکاران (۹) و ملویل و رادکیوی (۱۰) در مورد کاربرد طوقه دایره‌ای در اطراف پایه استوانه‌ای در مسیر مستقیم مقایسه شد.

در شکل ۸ 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 درصد این تحقیق با تحقیقات محققین دیگر را نشان می‌دهد.

جدول ۱ درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای با طوقه دایره‌ای نسبت به حالت بدون طوقه را برای چهار ارتفاع قرارگیری طوقه و با چهار اندازه طوقه نشان داده است. نتایج نشان می‌دهد طوقه دایره‌ای در ارتفاع H=0.1D زیر بستر با اندازه W = 3D ، باعث کاهش۹۳ درصد آبشستگی اطراف پایه می‌شود.

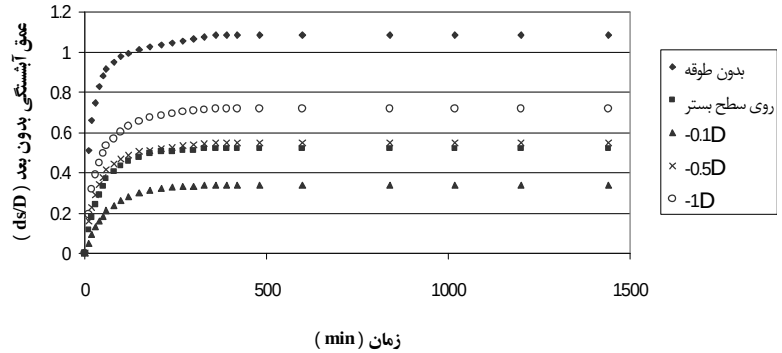
نتیجه‌گیری

در این تحقیق آزمایش‌ها جهت تعیین توسعه زمانی آبشستگی در پایه استوانه‌ای با طوقه دایره‌ای شکل مستقر در قوس ۱۸۰ درجه با هدف بررسی تأثیر طوقه دایره‌ای شکل روی عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای و مقایسه آن با حالت بدون طوقه انجام 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:

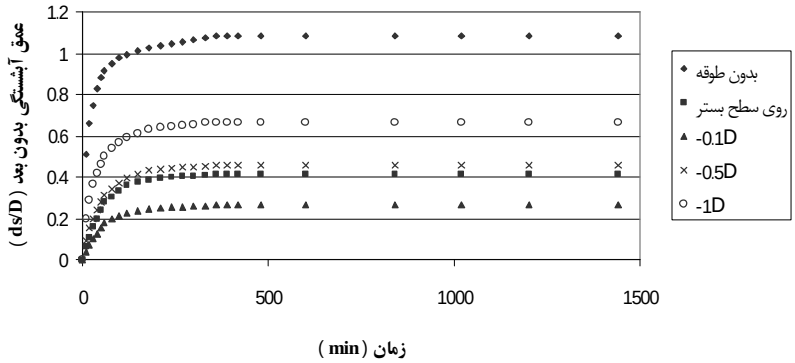
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]

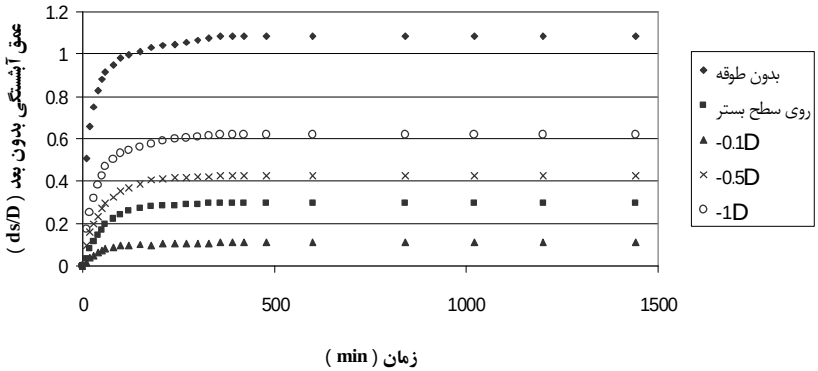
توسعه آبشستگی با طوق W=1.5D



توسعه آبشستگی با طوق W=2D

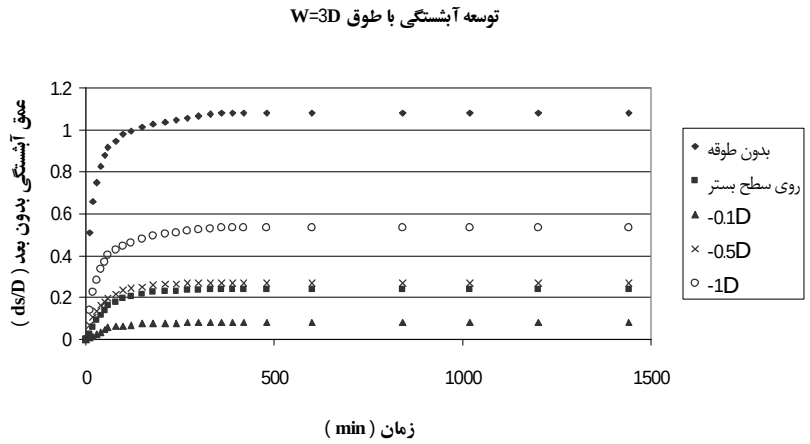


توسعه آبشستگی با طوق W=2.5D

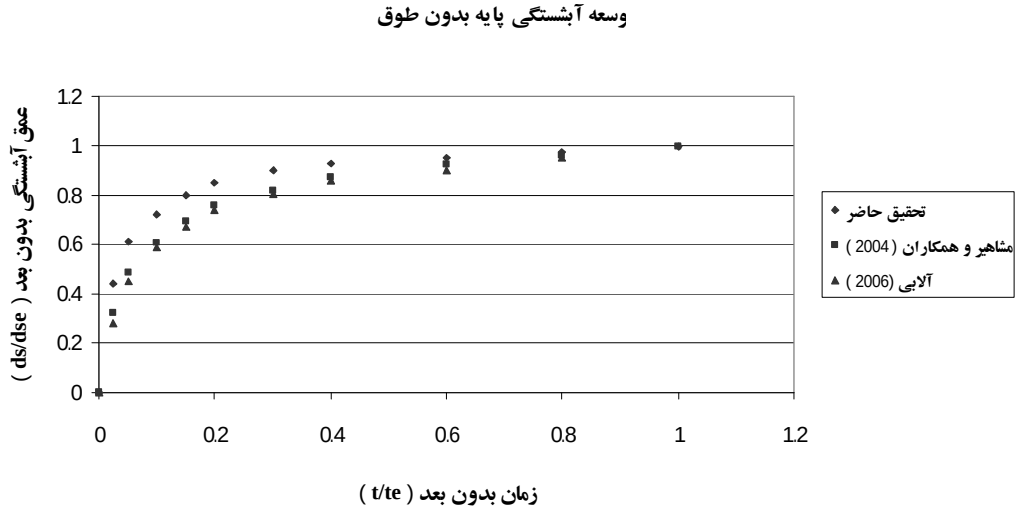


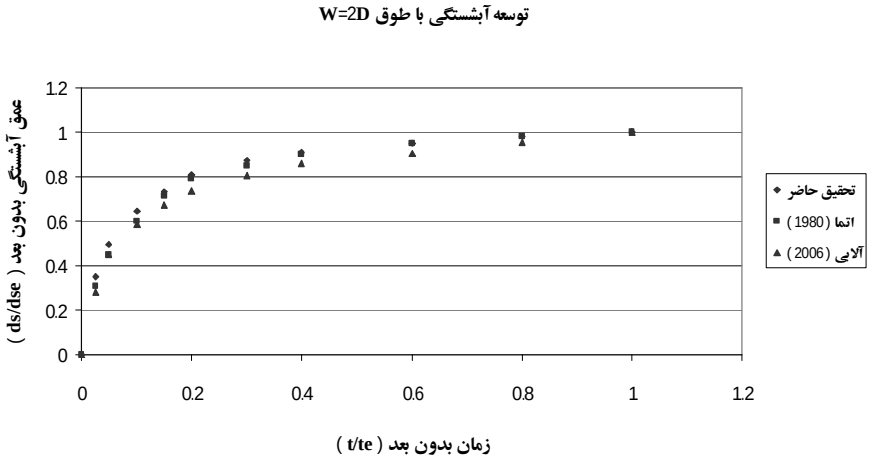
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]



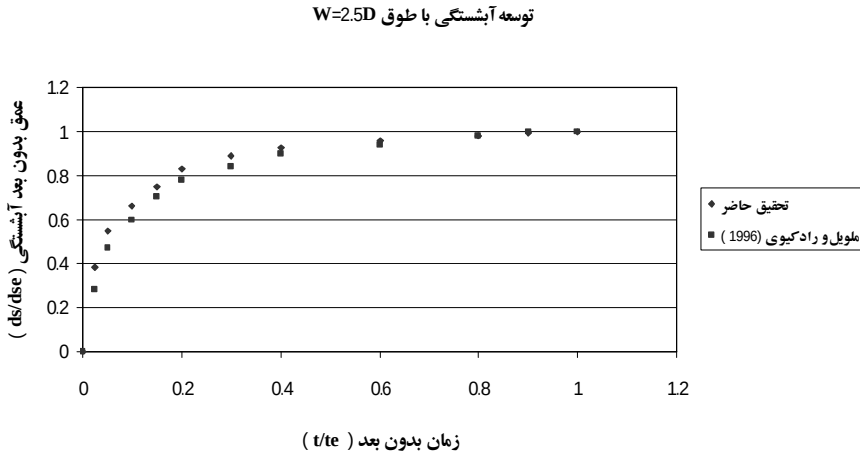
شکل ۷. تأثیر ارتفاع نصب طوقه نسبت به تراز بستر در مقایسه با پایه بدون طوقه در قطرهای مختلف روی آبشستگی





[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]



شکل۸. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج محققین دیگر

جدول ۱. درصد کاهش در عمق آبشستگی نسبت به بدون طوقه

ارتفاع اندازه قطر طوقه	روی بستر	H/D=۰/۱	H/D=۰/۵	H/D=۱/۰
W/D=۱/۵	۵۲	۶۹	۵۰	۳۴
W/D=۲/۰	۶۲	۷۶	۵۸	۳۹
W/D=۲/۵	۷۲	۸۳	۵۹	۴۳
W/D=۳/۰	۷۸	۹۳	۷۵	۵۰

۱- با افزایش ابعاد طوقه دایره‌ای، آبشستگی بیشینه کمتر شده و در طوقه نصب شده در ارتفاع D۰/۱ زیر بستر، کمترین عمق آبشستگی نسبت به ارتفاع‌های دیگر ایجاد شد.

۲- حداقل عمق آبشستگی در هنگام نصب یک طوقه با ابعاد مؤثرسه برابر قطر پایه روی یک پایه استوانه‌ای در D۰/۱ زیر بستر ایجاد گردید.

۳- کاهش آبشستگی در طوقه دایره‌ای شکل با ابعاد مؤثر سه برابر قطر پایه روی یک پایه استوانه‌ای در D۰/۱ زیر بستر نسبت به حالت بدون طوقه حدود ۹۳ درصد به دست آمد. به عبارت دیگر طوقه‌های دایره‌ای باعث پراکنده‌سازی و تضعیف عملکرد گرداب‌های ایجاد شده در اطراف پایه می‌شوند.

سپاسگزاری

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

منابع مورد استفاده

۱. صفرزاده، گندشمین، ا. ۱۳۸۳. شبیه‌سازی الگوی جریان در آبگیری جانبی از قوس ۱۸۰ درجه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

2. Alabi, P.D. 2006. Time development of local scour at bridge pier fitted with a coller. MSc. Thesis, University of

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]

Saskatchewan, Canada.
3. Breusers, H.N.C., Nicollet, G. and Shen, H. W. 1977. Local scour around cylindrical piers. J. Hydraul. Res. 15(3): 211-252.
4. Chiew, Y.M. and B.W. Melville. 1987. Local scour around bridge Piers. J. Hydraul. Res. 25(1): 15-26.
5. Chiew, Y. M. 1992. Scour protection at bridge Piers. JHE, ASCE, 118(9): 260-1269.
6. Ettem, R. 1980. Scour at Bridge Piers. Report No.216,University of Aucland,School of Engineering, New Zealand.
7. Kumar, V., K.G. Ranga Raju and N. Vittal. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. J. Hydraul. Eng. ASCE, 125(12): 1302-1305.
8. Lagasse, P.F., L.W., Zevenbergen, J.D. Schall and P.E. Clopper. 2001. Bridge scour and stream instability countermeasures: Experience, selection, and design guidelines. FHWA NHI 01-003: Federal Highway Administration, Hydraulic Engineering Circular No. 23, 2nd ed., U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
9. Mashair, M.B., A.R. Zarrati and A.R. Rezayi. 2004. Time development of scouring around a bridge pier protected by collar. 2nd International Conference on Scour and Erosion, ICSE-2, Singapore, 8 p.
10. Melville, B.W. and A.J. Raudkivi. 1996. Effect of foundation geometry on bridge pier scour. J. Hydraul. Eng. ASCE, 114(10): 203-209.
11. Melville, B.W. and Y.M. Chiew. 1999. Time Scale for local scour depth at bridge piers. J. Hydraul. Eng. ASCE, 125(1): 59-65.
12. Oliveto, G. and W.H. Hager. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. J. Hydraul. Eng. ASCE, 128(9): 811-820.
13. Raudkivi, A.J. and R. Ettema. 1983. Clear-Water Scour at Cylindrical Piers. J. Hydraul. Eng. ASCE, 109(3).
14. Raudkivi, A.J. 1998. Loose Boundary Hydraulics. 4th ed., Rotterdam, Brookfield, Balkema.
15. Richardson, E.V. and S.R. Davies. 1995. Evaluating scour at bridges. Rep. No FHWAIP- 90-017 (HEC 18), Federal Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
16. Singh, C.P., B. Setia and D.V.S. Verma. 2001. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. Proceedings of Theme D, 29th Congress on Hydraulics of Rivers,Water Works and Machinery, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, China. 16-21.
17. Zarrati, A.R., M. Nazariah and M. B. Mashahir. 2006. Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. J. Hydraul. Eng. ASCE, 132(2): 154-162.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.55.3.1]