



دانشگاه گواران و منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره ششم، ۱۳۹۸
۱۵۹-۱۷۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.15706.3090

مطالعه تأثیر قطر نسبی و عمق طوقه مشبک بر آبشستگی اطراف پایه‌های پل آرویدینامیکی

علیرضا محمدیان^۱، *امین بردبار^۲، علیرضا مسجدی^۳، امیرعباس کمان بدست^۲ و محمد حیدر نژاد^۲

^۱دانش‌آموخته دکتری گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، ^۲استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، ^۳دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: یکی از دلایل مهم شکست پل‌ها، مربوط به آبشستگی است. خصوصیات جریان، شکل پایه و زاویه استقرار آن نسبت به جریان و خصوصیات رسوبات، همگی از عواملی می‌باشند که در پیچیدگی مسأله آبشستگی پایه‌های پل دخالت می‌نماید. باید توجه داشت که عمق نهایی آبشستگی ایجادشده در مجاورت پایه‌پل برابر با مجموع عمق‌های فرسایش ناشی از آبشستگی موضعی، عمومی و تنگ‌شدگی عرض جریان است. از آنجایی‌که گسترش چاله آبشستگی پایداری سازه پل را به مخاطره می‌اندازد، پیش‌بینی میزان گودافتادگی و اتخاذ تدابیر لازم برای مهار آن از جمله اقدامات مهندسی متداول در عرصه مهندسی رودخانه تلقی می‌شود.

مواد و روش‌ها: بنا به این مهم در این پژوهش به بررسی تأثیر استفاده از طوقه‌های مشبک آرویدینامیک بر روی پایه‌های پل آرویدینامیک پرداخته شد. نتایج نشان داد با افزایش طول طوقه‌ها میزان آبشستگی کاهش بیش‌تری داشته است. جهت بررسی آزمایشگاهی این پژوهش، فلو می در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز با مشخصات زیر مورد استفاده قرار گرفت. کانال‌های ورودی و خروجی فلوم ساخته‌شده، روباز مستطیلی با جداره ورق پلکسی‌گلاس می‌باشد، به طوری‌که طول کانال‌های مستقیم ورودی در ابتدای فلوم و خروجی در انتهای فلوم به ترتیب ۴/۵ و ۲/۵ متر است، عرض و ارتفاع فلوم نیز به ترتیب ۰/۵ و ۰/۶ متر بوده و بدنه فلوم در ارتفاع ۰/۷ متری از سطح زمین قرار دارد.

یافته‌ها: با نصب طوقه در عمق نسبی ۰/۱ با افزایش طول طوقه‌های مشبک آبشستگی نسبت به پایه بدون طوقه کاهش داشته است. با نصب طوقه در عمق نسبی ۰/۵ طوقه‌های مشبک به طول نسبی ۶، ۸ و ۱۰ به ترتیب ۳۵/۲، ۳۷/۴ و ۳۸/۴ درصد کاهش آبشستگی نسبت به پایه بدون طوقه شده است. هم‌چنین با نصب طوقه در عمق نسبی ۱ طوقه‌های مشبک به طول نسبی ۶، ۸ و ۱۰ به ترتیب ۲۷/۷، ۳۱/۶ و ۳۱/۴ درصد کاهش آبشستگی نسبت به پایه بدون طوقه شده است. با افزایش سرعت نسبی از ۰/۵۴ به ۰/۹۵ به‌طور متوسط باعث افزایش آبشستگی به میزان ۱۱۳/۸ درصد شده است. با نصب طوقه در عمق نسبی ۰/۱، ۰/۵ و ۱ به ترتیب ۱۶/۶، ۳۵/۲ و ۲۷/۷ درصد کاهش آبشستگی

* مسئول مکاتبه: a.bordbar@iau.ac.ir

نسبت به پایه بدون طوقه شده است. هم‌چنین با افزایش عمق کارگذاری طوقه‌های آئرویدینامیک مشبک شاهد کاهش آب‌شستگی به میزان ۲۲/۳ درصد شده است.

نتیجه‌گیری: به این ترتیب می‌توان فهمید بهترین عمق کارگذاری طوقه به اندازه نصف قطر پایه پل است. هم‌چنین شبیه‌سازی با مدل ریاضی Flow-3D نزدیک به مدل فیزیکی است و به طور متوسط تنها ۵/۴ درصد خطا دارد که قابل قبول می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب‌شستگی، آئرویدینامیک، پایه پل، طوقه مشبک، مدل فیزیکی، Flow-3D

مقدمه

نسبت به جریان و خصوصیات رسوبات، همگی از عواملی می‌باشند که در پیچیدگی مسأله آب‌شستگی پایه‌های پل دخالت می‌نمایند. باید توجه داشت که عمق نهایی آب‌شستگی ایجادشده در مجاورت پایه پل برابر با مجموع عمق‌های فرسایش ناشی از آب‌شستگی موضعی، عمومی و تنگ‌شدگی عرض جریان است. فرآیندهای حرکت آب و حمل رسوب در رودخانه‌ها به‌خاطر تغییر و تحول در بستر و کناره‌ها، شکل‌های بسیار متنوعی را با توجه به لیتولوژی و توپوگرافی هر منطقه در پلان به وجود می‌آورند. بستر اغلب آبراهه‌ها و رودخانه‌ها علی‌رغم اندازه و مشخصات هندسی و هیدرولیکی متفاوتی که دارند به‌ندرت به‌صورت مسیرهای مستقیم هستند بلکه در طول مسیر خود دارای پیچ و قوس‌های فراوان می‌باشند. تعیین عمق فرسایش در محدوده پایه‌ها مستلزم آگاهی از نحوه جابه‌جایی مواد رسوبی بستر رودخانه‌ها است. پایه‌ها جریان عادی رودخانه را مختل می‌کند و تلاطم و اغتشاش حاصل از آن موجب فرسایش مواد رسوبی موجود در اطراف پایه می‌شود. چاله فرسایش ایجادشده در اطراف پایه، به شکل و مشخصات هندسی آن بستگی دارد. به‌علاوه نوع مواد تشکیل‌دهنده بستر رودخانه و هم‌چنین شرایط هیدرولیکی جریان مانند وقوع حالت سیلابی و عبور تلماسه‌ها در میزان عمق چاله فرسایش مؤثر

طراحی، محاسبه و احداث پایه‌های پل، از مهم‌ترین و حساس‌ترین مراحل یک پروژه پل‌سازی می‌باشند. به‌خصوص وقتی که این پل در محل عبور یک رودخانه واقع شده باشد. در این زمان، طراح باید برای انتخاب طول و تعداد دهانه‌ها و عمق حداقل پی پایه‌ها، اطلاعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی منطقه را در نظر گرفته و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. یکی از اصلی‌ترین مواردی که در این موضوع می‌توان به آن اشاره کرد، اطلاعات مربوط به فرسایش و رسوبگذاری بستر رودخانه است که در صورت در نظر نگرفتن آن باید شاهد عواقب خطرناکی از جمله تهدید پایداری پل و نهایتاً خرابی آن بود. که هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از این پل‌ها درست زمانی که بیش‌ترین نیاز به آن‌ها وجود دارد تخریب می‌گردند. یکی از مؤثرترین عوامل این تخریب‌ها آب‌شستگی موضعی اطراف پایه‌ها است. شکست پل‌ها به‌علت آب‌شستگی زیان‌های سنگین اقتصادی و جانی به دنبال دارد. تاکنون پژوهشگران متعددی مسأله آب‌شستگی را مورد مطالعه قرار داده‌اند، که به علل مشخص و تعدد زیاد عوامل حاکم بر پدیده، هنوز قادر به ارائه راه‌حل واحدی برای محاسبه عمق آب‌شستگی نشده‌اند. عواملی چون: شکل آبراهه، خصوصیات جریان، شکل پایه و زاویه استقرار آن

این میان، ۵۶ درصد از آن‌ها به علت وجود جریان با زاویه برخورد، یا آبراهه دارای خم و یا تلفیق این دو مورد حادث شده‌اند. هم‌چنین ۱۸ درصد از آب‌شستگی در اثر وجود دیواره‌های زاویه‌دار آبراهه به وجود آمده‌اند. ۲۶ درصد باقی‌مانده نیز در اثر فرسایش پایه و کوله پل در مسیر مستقیم مشاهده گردیده است (۱۵). کتل و مرو اریکسون (۱۹۹۸) یکی از دلایل مهم شکست پل‌ها در ایالات متحده و جهان، مربوط به آب‌شستگی می‌باشد (۱۳). پلازک و هانی (۱۹۹۵) برآوردها بیانگر آن است که ۶۰ درصد شکست پل‌ها در نتیجه آب‌شستگی و عوامل هیدرولیکی می‌باشد این شایع‌ترین علت شکست پل در بزرگراه‌های ایالات متحده است که در آن در طول سال‌های ۱۹۶۱ الی ۱۹۷۶، ۴۶ مورد از ۸۶ مورد شکست پل در نتیجه آب‌شستگی نزدیک پای پل بوده است (۱۹). بنابراین شناخت پدیده آب‌شستگی و به‌کار بردن تمهیدات لازم برای کاهش آب‌شستگی و کنترل آن بسیار ضروری می‌باشد. در کشور ما نیز، همه‌ساله پل‌های فراوانی در اثر این پدیده از بین می‌روند و خسارات جانی و مالی فراوانی به بار می‌آورند. از جمله مطالعاتی که در مورد سازه‌های حفاظتی برای کنترل و کاهش عمق آب‌شستگی اطراف پایه‌های پل صورت گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

مصباحی و شمسایی (۲۰۱۳) گستره پوشش سنگچین را که پهنه‌ای به شعاع سه الی چهار برابر قطر پایه‌پل باشد برای حفاظت آب‌شستگی پل و حداقل ضخامت پوشش سنگچین را سه برابر قطر متوسط سنگ در طراحی‌ها پیشنهاد دادند (۱۸). قاسمی‌فرد و همکاران (۲۰۱۳) اعلام نمودند که پایه‌های قربانی‌شونده برای کنترل آب‌شستگی موضعی پایه‌های مستطیلی پل عملکرد مناسبی داشتند (۲۰). نتایج مسجدی و غلامزاده محمودی (۲۰۱۱) نشان داد

است. از آنجایی‌که گسترش چاله آب‌شستگی پایداری سازه پل را به مخاطره می‌اندازد. پیش‌بینی میزان گودافتادگی و اتخاذ تدابیر لازم برای مهار آن از جمله اقدامات مهندسی در عرصه مهندسی رودخانه تلقی می‌شود. مسأله آب‌شستگی در اطراف پایه‌پل‌ها سال‌هاست که پژوهشگران در مورد آن کاوش دارند. به‌طوری‌که آب‌شستگی موضعی اطراف پایه‌پل را یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب آن می‌دانند. این مشکل در تمام دنیا وجود دارد و پتانسیل ایجاد عواقب غم‌انگیز و انسانی را داراست. در طول ۳۰ سال بیش از هزار پل از میان ۶۰۰,۰۰۰ پل موجود در ایالات متحده دچار تخریب و نقص شده‌اند. که در این میان ۶۰ درصد این خرابی‌ها ناشی از آب‌شستگی گزارش شده است. آب‌شستگی موضعی موجب تخریب ۱۷ پل در نیویورک و نیوانگلند در خلال سیلاب‌های بهار سال ۱۹۸۷ می‌باشد. بر اساس گزارش اداره راه فدرال امریکا از تخریب ۳۸۳ پل به دلیل سیلاب‌های مخرب سال ۱۹۷۳، ۲۵ درصد خرابی‌ها در اثر تخریب پایه و ۷۵ درصد در اثر تخریب کوله‌ها یا تکیه‌گاه‌های پل‌ها بود. سیلاب سال ۱۹۹۳ در می‌سی‌سی‌پی شمالی باعث تخریب ۲۳ پل با تخمین حدود ۱۵ میلیون دلار خسارت شد. در سال ۱۹۹۴ در سیلاب حاصل از طوفان آلبرتو در جرجیا بیش از ۵۰۰ پل دچار آب‌شستگی شدید شدند به‌گونه‌ای که ۷۳ عدد از آن‌ها تعمیر اساسی و یا تعویض شدند. حدود ۸۶ درصد از ۵۷۷,۰۰۰ پلی که در آمریکا ساخته شده‌اند بر روی آبراهه‌ها بنا شده‌اند. درحالی‌که بیش از ۲۶,۰۰۰ عدد از این پل‌ها در معرض آب‌شستگی شدید قرار دارند. در نهایت به‌طورکلی ۸۵,۰۰۰ پل در آمریکا با مسأله آب‌شستگی مواجه هستند (۶). لندرز (۱۹۹۲) در یک گزارش از بررسی آب‌شستگی پل‌های کشور آمریکا، ۲۲,۴۹۵ پل مورد مطالعه قرار گرفت که مشخص شد، ۳۳ درصد از آن‌ها با آب‌شستگی مواجه شده‌اند. در

اسروش و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تأثیر شکاف بر آب‌شستگی تکیه‌گاه‌های پل پرداختند، نتایج نشان داد وجود شکاف باعث کاهش آب‌شستگی می‌شود و همچنین با افزایش شکاف آب‌شستگی کاهش بیش‌تری داشته است. آن‌ها اعلام نمودند که این صفحات هم به‌عنوان پوشش محافظتی و یا تزئینی روی مواد جاذب اصلی صوت به‌کار می‌روند و هم می‌توانند باعث ایجاد تشدید فرکانسی برای جذب صوت و هم به‌عنوان تفکیک جریان و کاهش اغتشاش جریان هوا به‌کار برده شوند (۱۵). تمام مطالعاتی که در زمینه طوقه به‌عنوان سازه حفاظتی پایه‌های پل آئرودینامیکی انجام‌شده مربوط به طوقه غیرمشبک بوده و تاکنون مطالعه‌ای در مورد عملکرد طوقه‌های مشبک در کنترل آب‌شستگی پای پل صورت نگرفته است؛ بنابراین در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی تأثیر طوقه‌های مشبک در شکل‌ها متفاوت و بازشدگی‌های مختلف بر کنترل آب‌شستگی پرداخته خواهد شد. که این پژوهش در این زمینه کاملاً جدید و کاربردی است.

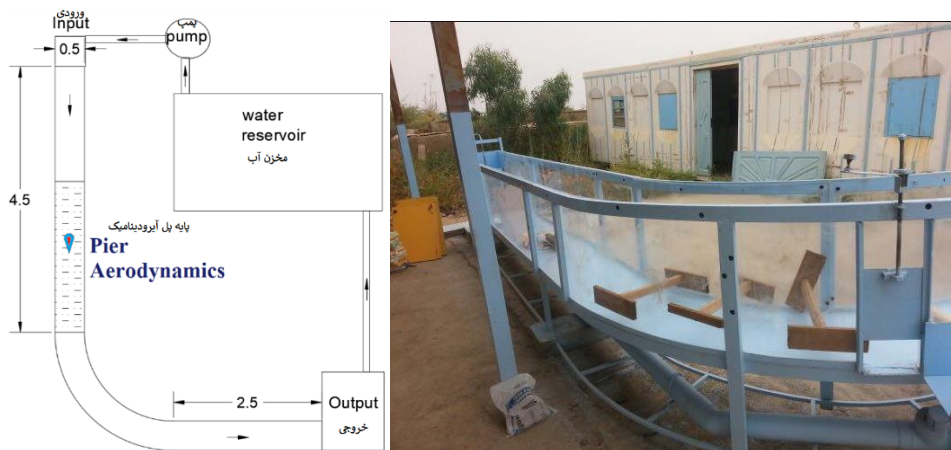
مواد و روش‌ها

مشخصات فلوم ساخته‌شده و نحوه ساخت آن: جهت بررسی آزمایشگاهی این پژوهش، فلومی در دانشگاه آزاد واحد اهواز با مشخصات زیر مورد استفاده قرار گرفت. کانال‌های ورودی و خروجی فلوم ساخته‌شده، روباز مستطیلی با جداره ورق پلکسی‌گلاس است، به‌طوری‌که طول کانال‌های مستقیم ورودی در ابتدای فلوم و خروجی در انتهای فلوم به‌ترتیب $\frac{4}{5}$ و $\frac{2}{5}$ متر است، عرض و ارتفاع فلوم نیز به‌ترتیب $\frac{7}{5}$ و $\frac{6}{5}$ متر بوده و بدنه فلوم در ارتفاع $\frac{7}{5}$ متری از سطح زمین قرار دارد. مسیر ورودی مستقیم (جهت ایجاد جریان یکنواخت و توسعه‌یافته)، کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت

که افزایش قطر طوقه باعث کاهش آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل واقع در قوس ۱۸۰ درجه می‌شود (۱۶). آزم و قمشی (۲۰۱۳) اثر شمع‌های حفاظتی را بر کاهش آب‌شستگی در پایه‌پل استوانه‌ای بررسی کردند و گزارش دادند که بهترین موقعیت قرارگیری شمع‌ها در فاصله تقریبی سه برابر قطر پایه‌پل می‌باشد (۲). این در حالی است که نتایج سینگ و همکاران (۱۹۹۵) نشان داد که شمع حفاظتی با قطر برابر با قطر پایه‌پل در فاصله 2D (قطر پایه‌پل) بالاتر از پایه، عملکرد بهتری در حفاظت دارد که حدود ۵۰ درصد آب‌شستگی در آن کاهش یافت (۲۴). عالم و همکاران (۲۰۱۲) کارگذاری طوق بر روی بستر باعث کاهش ۹۳ درصدی آب‌شستگی در اطراف تکیه‌گاه مستطیلی پل در کانال مرکب می‌شود و ضخامت زیاد طوق باعث افزایش آب‌شستگی می‌گردد (۱). (درگاهی، ۱۹۹۰) وجود طوق از تشکیل گرداب نعل اسبی جلوگیری نمی‌کند؛ اما اگر در محل مناسبی نسبت به تراز بستر قرار گیرد نقش مؤثری را در کاهش آب‌شستگی خواهد داشت (۵). زراتی و عزیزی (۲۰۰۱) گزارش دادند که هرچه طوقه پایین‌تر نصب شود، درصد کاهش آب‌شستگی بیش‌تر خواهد بود (۲۶). چپو (۱۹۹۲) در مطالعه‌ای بیان نمود که اگر قطر طوقه دو برابر قطر پایه‌پل باشد عمق آب‌شستگی به‌میزان ۲۰ درصد کاهش می‌یابد و کاربرد هم‌زمان طوقه و شکاف، جایگزین مناسبی برای سنگچین در حل مشکلات آب‌شستگی موضعی پایه‌های پل می‌باشد (۳). سینگ و همکاران (۲۰۰۱) عمق $D \cdot 1$ (D قطر پایه‌پل) در زیر بستر را بهترین محل نصب طوقه گزارش کردند (۲۳). شریعتی و همکاران (۲۰۱۱) اعلام نمودند که به‌کارگیری ترکیبی از طوقه و شکاف روی پایه، عمق آب‌شستگی را در حدود ۸۰ درصد کاهش داد (۲۲). ازجمله پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه صفحات مشبک می‌توان به مطالعات

ضخامت ۳ میلی‌متر و دیواره آن از جنس پلکسی‌گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر به طول ۲/۵ متر است، کف فلوم به صورت بستر ثابت و بدون شیب و در حد دقت اجرایی به صورت افقی ساخته شده است، (شکل ۱).

۳ میلی‌متر و دیواره‌ها از جنس پلکسی‌گلاس به ضخامت ۱۰ میلی‌متر و به طول ۴/۵ متر ساخته شده که هم اثر زبری جداره را کاهش می‌دهد و هم پدیده‌های هیدرولیکی در محفظه قابل‌رؤیت می‌باشند، مسیر خروجی نیز مستقیم، کف آن از جنس ورق فلزی به



شکل ۱- نمایی از فلوم و شماتیک آن.

Figure 1. An illustration of the flume and its schematic.

یک توری مشبک، بعد از سرریز ابتدایی استفاده شده است (شکل ۲). هم‌چنین برای اندازه‌گیری عمق از خط‌کش نصب‌شده در فلوم استفاده گردید.

بعد از مخزن فلوم، یک دریچه کشویی جهت تنظیم دبی ورودی به فلوم و یک سرریز مثلثی ۹۰ درجه برای اندازه‌گیری دبی ورودی در نظر گرفته شده است و برای جلوگیری از ورود امواج به کانال از



شکل ۲- سرریزهای ورودی و خروجی مثلثی با رأس ۹۰ درجه، در ابتدا و انتهای فلوم.

Figure 2. Input and output overflow of triangles with a 90 degree head, at the beginning and end of the flume.

ارتفاع مکش پمپ تقریباً ۲ متر و ارتفاع دهش آن حدود ۶ متر و حداکثر دبی قابل انتقال توسط پمپ ۶۰ لیتر در ثانیه است (شکل ۳).

برای چرخش آب در فلوم آزمایشگاهی با توجه به دبی مورد نظر از یک پمپ سانتریفیوژ به قدرت ۱۱ کیلووات، قطر لوله مکش و دهش ۶ اینچ استفاده شد.



شکل ۳- پمپ سانتریفیوژ.

Figure 3. Centrifuge pump.

طوقه غیرمشبک برای شاهد (شکل ۴) با طول متفاوت ساخته شد.

در این پژوهش به ارزیابی تأثیر طوقه‌های آنرویدینامیک مشبک بر روی آب‌شستگی پرداخته شده که به منظور تحقق این هدف ۳ طوقه مشبک (و یک



شکل ۴- طوقه و پایه پل آنرویدینامیک ساخته شده.

Figure 4. The crown and base of the aerodynamic bridge.

رسوبی با روش الک در شکل ۵ به تصویر کشیده شده است.

آنالیز ابعادی: در مطالعه پدیده‌ها در آزمایشگاه، روابط بین عوامل مؤثر بر آن پدیده، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در اینجا نقش مهم اعداد بدون بعد در تفسیر و ارائه نتایج آزمایشگاهی و برقراری روابط بین عوامل درگیر در شناخت پدیده مورد مطالعه، روشن می‌شود. پس از انجام آنالیز ابعادی در نهایت خواهیم داشت:

$$ds/D = (L/D, Z/D, V/Vc)$$

متغیرهای آزمایش شامل موارد زیر است:

۱. سه عمق کارگذاری (Z/D) (۰/۱، ۰/۵ و ۱)،
 ۲. قطر طوقه‌ها به قطر پایه‌های آئرویدینامیکی L/D (۶، ۸ و ۱۰)،
 ۳. پنج دبی (V/Vc) (۰/۵۴ و ۰/۶۵ و ۰/۷۶ و ۰/۸۶ و ۰/۹۵).
- در مجموع ۴۵ آزمایش با طوقه به علاوه ۵ آزمایش شاهد جمعاً ۵۰ آزمایش انجام شد که در جدول ۱ مشخصات آن آمده است. محل قرارگیری پایه و طوقه در قسمت مستقیم کانال است.

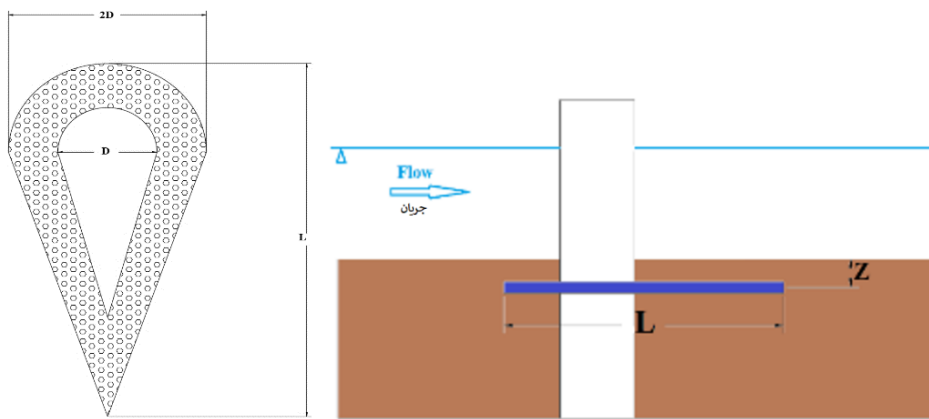
قطر قسمت دایره‌ای پایه پل ۵ سانتی‌متر و طول قسمت کشیده آن ۱۷ سانتی‌متر و ارتفاع آن به دلیل این‌که پایه پل مستغرق نگردد ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

رسوبات کف: در خصوص اندازه رسوبات معیارهای مختلفی ذکر گردیده، مثلاً طبق پژوهش‌های انجام‌گرفته توسط (Dongol, ۱۹۹۴) برای این‌که اندازه رسوبات تأثیری بر روی عمق آب‌شستگی ایجاد نکند و از تشکیل فرم بستر نیز ممانعت به عمل آید باید $\frac{La}{d_{50}} > 25$ لحاظ گردد که در این رابطه La طول تکیه‌گاه (بعد عمود بر جریان) و d_{50} قطر متوسط ذرات رسوبی است. هرچه دانه‌بندی ذرات یکنواخت‌تر گردد ابعاد آب‌شستگی هم بیش‌تر خواهد بود. برای برقراری شرط یکنواختی ذرات باید $\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} < 1.3$ باشد که در این رابطه σ_g بیانگر انحراف معیار رسوبات است (Melville, ۱۹۹۲). به توصیه (Raudkivi و همکاران، ۱۹۸۸) برای جلوگیری از تشکیل ریپل باید قطر متوسط ذرات از ۰/۷ میلی‌متر بیش‌تر باشد. بنابراین ذرات رسوبی از جنس ماسه طبیعی غیرچسبنده دارای قطر متوسط ۱/۳۷ میلی‌متر، انحراف معیار هندسی $\sigma_g = ۱/۱۳$ و چگالی ۲/۶۵ انتخاب گردیدند. نمودار دانه‌بندی ذرات

جدول ۱- متغیرهای آزمایش.

Table 1. Test variables.

عمق کارگذاری Depth of work	طول طوقه‌ها The length of the crowns	دبی discharge	آزمایش شاهد Control test	کل آزمایش‌ها Total experiments
(1 - 0.1)	(10 - 6)	(0.95 - 0.54)	5	50

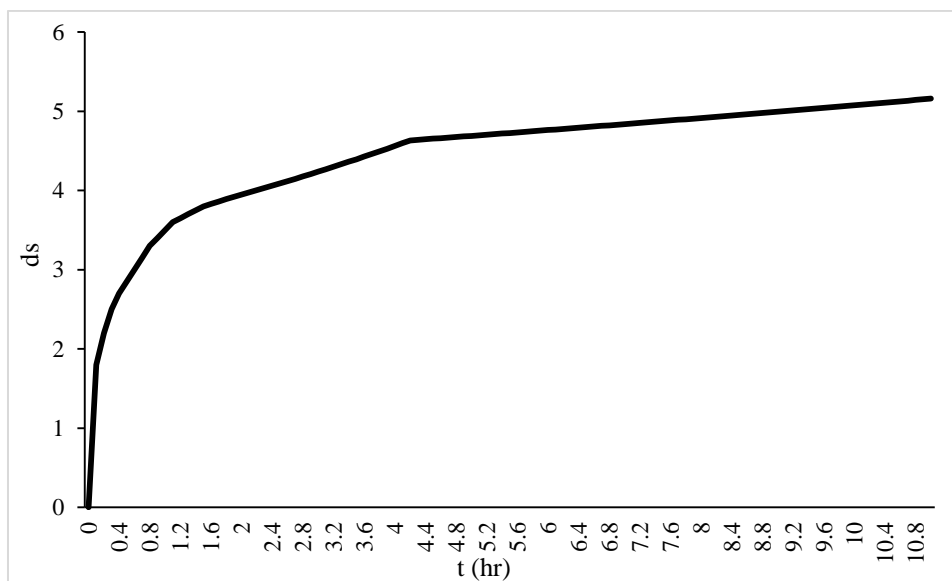


شکل ۵- شماتیک طوقه مشبک آئرو دینامیک.

Figure 5. Schematic diagram of the aerodynamic lattice.

می‌شود که تغییرات عمق آب‌شستگی در ابتدا زیاد بوده ولی با گذشت زمان رفته‌رفته کم می‌شود و به دلیل وقوع بخش عمده آب‌شستگی (۹۵ درصد) در بازه ۴ ساعت اولیه آزمایش، این زمان برای همه آزمایش‌ها یکسان در نظر گرفته شد. در نتیجه با توجه به معیارهای فوق و محاسبه سرعت بحرانی، با در نظر گرفتن عمق جریان برابر با ۱۶ سانتی‌متر و دبی ۹ لیتر بر ثانیه شرط $V/V_c = 0.9$ در آزمایش‌ها برقرار شد. سرعت بحرانی براساس شروع حرکت ذرات رسوب در شرایط مدل شاهد بدون هیچ سازه محافظتی انتخاب گردید.

ضخامت مصالح بستر: مل ویل و چپو (۱۹۹۹) حداکثر مقدار آب‌شستگی را برابر $2.4D$ بیان کرده‌اند که در این پژوهش این مقدار برابر ۱۲ سانتی‌متر است که برای اطمینان بیش‌تر ۲۰ سانتی‌متر انتخاب شد. مدت‌زمان انجام آزمایش: مدت‌زمان انجام آزمایش برابر با معیار اتما (۱۹۸۰) انتخاب شد، که عبارت است از مدت‌زمانی که تغییرات در عمق آب‌شستگی در یک بازه زمانی ۱ ساعته کم‌تر از یک میلی‌متر باشد. در شکل ۶، نمودار توسعه زمانی برای پایه شاهد (پایه استوانه‌ای) آورده شده است. با توجه به نمودار شکل ۸ مشاهده



شکل ۶- نمودار توسعه زمانی آب‌شستگی.

Figure 6. Scour timing development chart.

برای کالیبره کردن مدل، آزمایش‌ها با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و در حالت‌های مختلف ضریب زبری و مدل‌های آشفتگی انجام شد. جزئیات آزمایش‌های به شرح زیر است:
مقادیر ضریب زبری مانینگ (n): ۰/۰۲، ۰/۰۲۵، ۰/۰۳، ۰/۰۳۵ و ۰/۰۴

مدل‌های مهم و معمول آشفتگی که در این نرم‌افزار استفاده می‌شود شامل سه مدل آشفتگی:

۱. Laminar

۲. Prandtl Mixing Length Model

۳. K-Epsilon Model

می‌باشد. هم‌چنین سایر پارامترها شامل دبی ورودی برابر با ۱۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد.

ارتفاع سطح آب در فلوم برابر ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد.

سرعت جریان در فلوم برابر ۰/۲ متر بر ثانیه می‌باشد.

هر آزمایش با داده‌های دبی ورودی، ارتفاع آب در خروجی و یکی از مقادیر پارامترهای به‌دست‌آمده برای کالیبره کردن، اجرا شد. در هر آزمایش، از نتایج به‌دست‌آمده، مقدار سرعت جریان در نرم‌افزار محاسبه شد و پس از وارد کردن نتایج در نرم‌افزار اکسل، با داده مشاهده‌ای (۰/۲ متر بر ثانیه) مقایسه گردید و در هر آزمایش میزان خطا محاسبه شد.

در تمام آزمایش‌های انجام‌شده زمان شبیه‌سازی ۳۶۰۰ ثانیه بوده است. جزئیات آزمایش‌های انجام‌شده جهت کالیبره کردن مدل در جدول ۲ آمده است.

ابزار نقشه‌برداری از پروفیل آب‌شستگی: برای این منظور از یک متر لیزری با دقت ۱ میلی‌متری و دارای ۲ تراز لویبایی، که بر روی یک چارچوب فلزی که طول و عرض آن در فواصل ۵ سانتی‌متر نشانه‌گذاری شده‌اند و در ارتفاع تقریبی ۶۹/۵ سانتی‌متری از کف قرار گرفته بود، استفاده شد.

شبیه‌سازی با مدل ریاضی Flow-3D: از پرکاربردترین مدل ریاضی که برای مدل‌سازی پایه‌پل استفاده می‌شود Flow-3D است. نتایج به‌دست آمده از مطالعات انجام‌شده توسط Flow-3D بیش‌ترین تطابق را با نتایج حاصل از مدل‌های فیزیکی را داشته است که البته به‌خوبی با استانداردهای هیئت مهندسين ارتش آمریکا و دفتر احیاء اراضی آمریکا تطابق داشته است.

در این پژوهش، پس از انجام تنظیمات اولیه و مش‌بندی و تعیین شرایط مرزی نرم‌افزار اجرا گردید و بعد از کالیبره کردن نرم‌افزار به انجام اجراهای بعدی پرداخته شد. پس از مش‌بندی شرایط مرزی به شرح زیر مشخص گردید:

۱. مرز ورودی: Volume Flow Rate.

۲. مرز خروجی: Specified Pressure با استفاده از گزینه use fluid elevation در این قسمت،

۳. مرز کناره‌ها: wall (در حالت wall دیواره صلب می‌باشد)

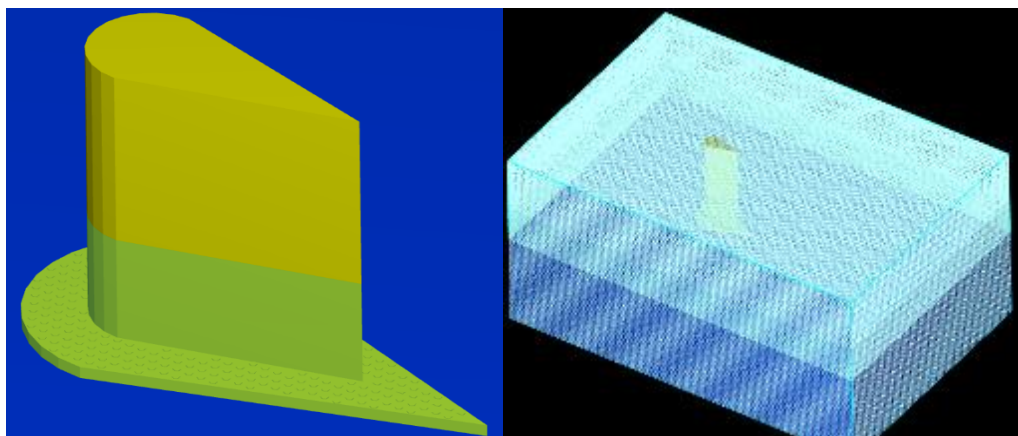
۴. مرز کف: wall

۵. مرز بالا: Specified Pressure با استفاده از گزینه use fluid fraction

جدول ۲- آزمایش‌های کالیبره.

Table 2. Calibrated Tests.

نام آزمایش Test name	مدل آشفتگی Turbulence model	مقدار ضریب زبری (n) Roughness coefficient value
Scenario1	Laminar	0.02
Scenario2	Prandtl Mixing Length Model	0.02
Scenario3	K-Epsilon Model	0.02
Scenario4	Laminar	0.025
Scenario5	Prandtl Mixing Length Model	0.025
Scenario6	K-Epsilon Model	0.025
Scenario7	Laminar	0.03
Scenario8	Prandtl Mixing Length Model	0.03
Scenario 9	K-Epsilon Model	0.03
Scenario 10	Laminar	0.035
Scenario 11	Prandtl Mixing Length Model	0.035
Scenario 12	K-Epsilon Model	0.035
Scenario 13	Laminar	0.04
Scenario 14	Prandtl Mixing Length Model	0.04
Scenario 15	K-Epsilon Model	0.04



شکل ۸- نمونه‌ای از ترسیم پایه پل آئرو دینامیک با طوقه مشبک در AutoCAD و مش بندی آن در مدل ریاضی Flow-3D.

Figure 8. An example of drawing an aerodynamic bridge with an AutoCAD tie crochet and meshing it in a Flow-3D math model.

نتایج و بحث

نتایج در این پژوهش شامل ارزیابی عدد فرود، تغییر طول طوقه‌های آئرو دینامیک و تغییر عمق کارگزاری طوقه‌ها بر میزان آب‌شستگی پایه پل آئرو دینامیک است که به این ترتیب نتایج در ۲ بخش تقسیم می‌شوند:

- ۱- اثر طول طوقه آئرو دینامیک بر میزان آب‌شستگی
- ۲- اثر تغییر دبی و سرعت جریان بر میزان آب‌شستگی

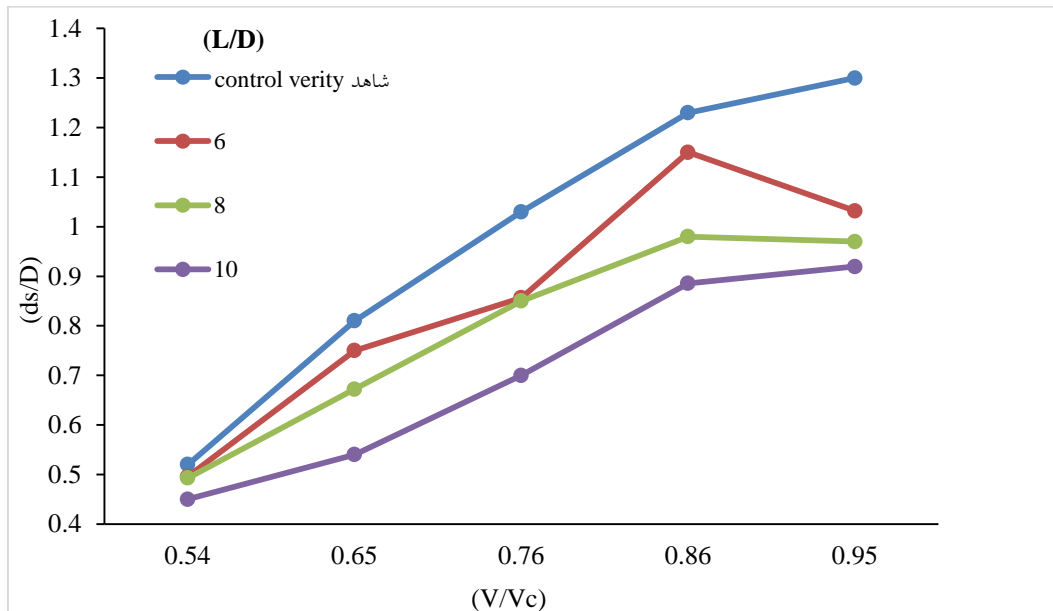


شکل ۹- تصاویری از آب‌شستگی.

Figure 9. Screenshots of scouring.

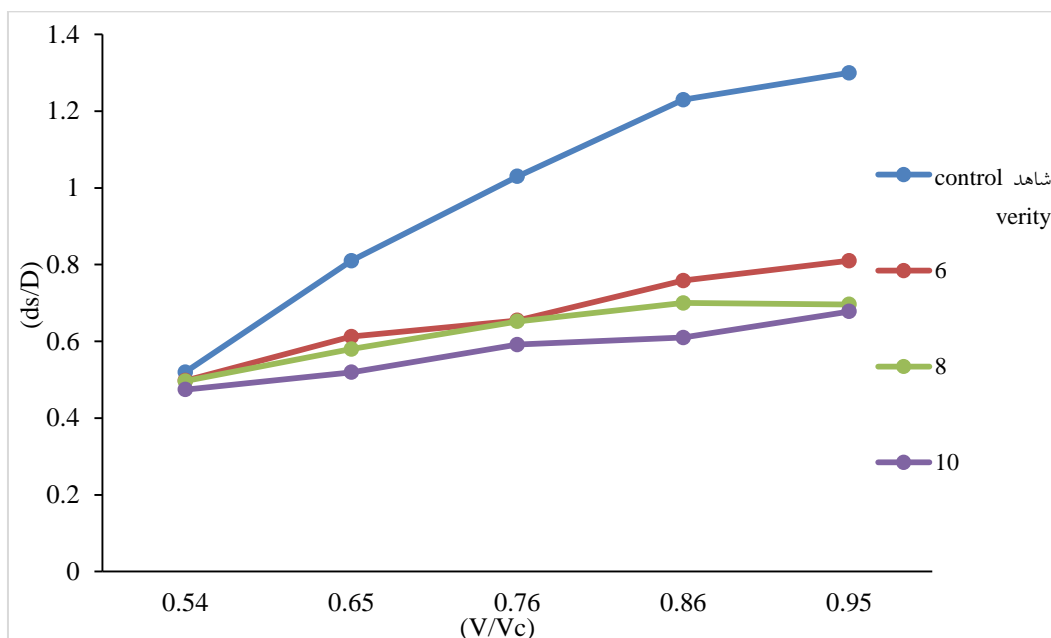
در شکل‌های ۱۰ تا ۱۶ نشان داده شد. در ادامه به بررسی تأثیر طول طوقه‌ها بر میزان آب‌شستگی پرداخته شده است.

بررسی اثر طول طوقه آئرو دینامیک بر میزان آب‌شستگی: با انجام آزمایش‌های، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل نتایج برداشت شد که در قالب نمودارهای

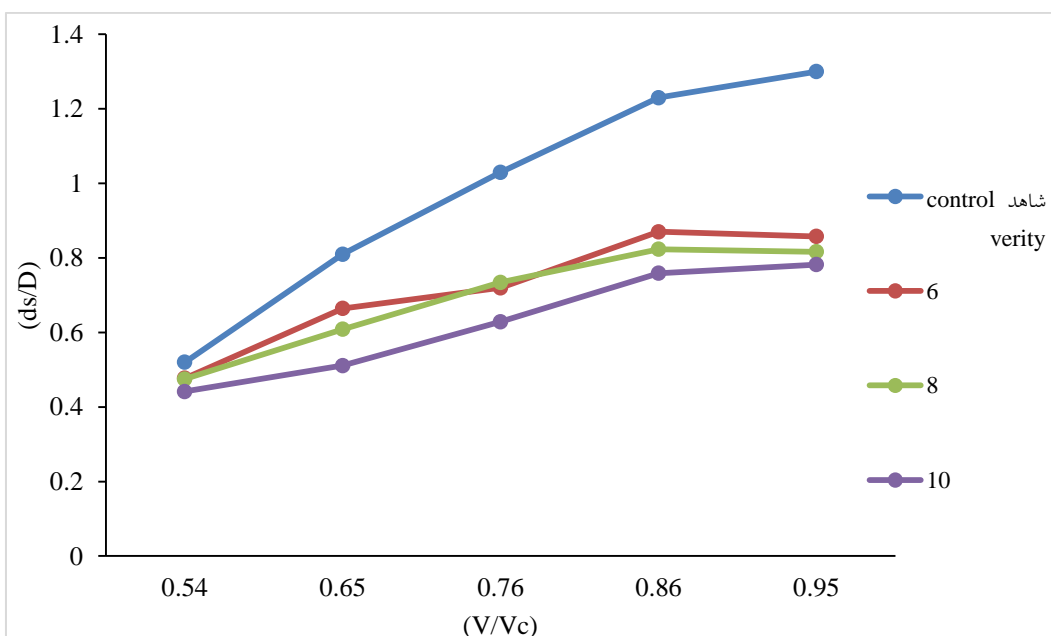


شکل ۱۰- نمودار تأثیر طول طوقه‌ها بر میزان آب‌شستگی در عمق کارگذاری (Z/D)=0.1.

Figure 10. Shows the effect of crown length on scour depth at work depth (Z / D) = 0.1.



شکل ۱۱- نمودار تأثیر طول طوقه‌ها بر میزان آب‌شستگی در عمق کارگذاری (Z/D)=0.5.
 Figure 11. The effect of crown length on scour depth at work depth (Z / D) = 0.5.



شکل ۱۲- نمودار تأثیر طول طوقه‌ها بر میزان آب‌شستگی در عمق کارگذاری (Z/D)=1.
 Figure 12. The effect of crown length on scour depth at work depth (Z / D) = 1.

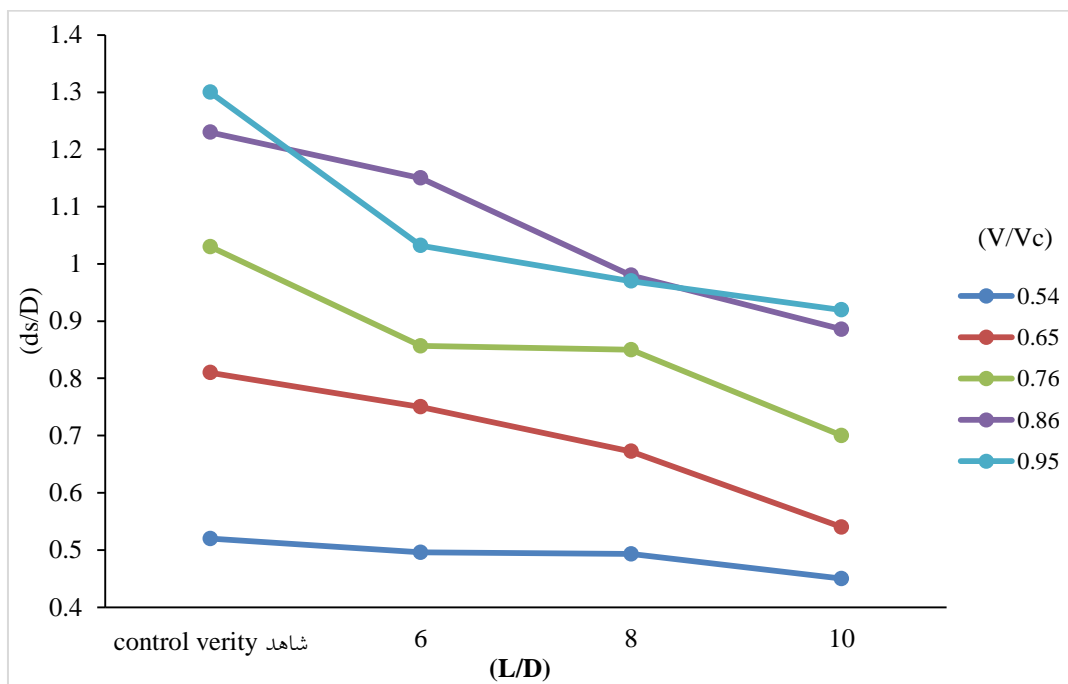
طول طوقه‌ها میزان آب‌شستگی کاهش بیشتری داشته است. با نصب طوقه در عمق نسبی (Z/D) ۰/۱ طوقه‌های مشبک به طول (L/D) ۶، ۸ و ۱۰ به ترتیب ۱۲/۴، ۱۸/۹ و ۲۸/۹ درصد کاهش آب‌شستگی نسبت

با توجه به نمودارهای شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ می‌توان به‌خوبی مشاهده کرد با نصب طوقه آئرو دینامیک مشبک بر روی پایه پل آئرو دینامیک میزان آب‌شستگی کاهش یافته است. از نتایج می‌توان فهمید با افزایش

هستیم. از نتایج به خوبی می توان استنباط کرد با افزایش طول طوقه آب شستگی کاهش پیدا کرده است، که علت آن انتقال ورتکس ها به خارج از اطراف پایه آئرویدینامیک می باشد.

❖ بررسی اثر تغییر دبی و سرعت جریان بر میزان آب شستگی: در این بخش به بررسی تغییر دبی و سرعت جریان بر میزان آب شستگی پرداخته شده است.

به پایه بدون طوقه را شاهد هستیم. با نصب طوقه در عمق نسبی (Z/D) ۰/۵ طوقه های مشبک به طول (L/D) ۶، ۸ و ۱۰ به ترتیب ۳۱/۸، ۳۶/۱ و ۴۱/۲ درصد کاهش آب شستگی نسبت به پایه بدون طوقه را شاهد هستیم. همچنین با نصب طوقه در عمق نسبی (Z/D) ۱ طوقه های مشبک به طول (L/D) ۶، ۸ و ۱۰ به ترتیب ۲۶/۶، ۲۹/۳ و ۳۶/۱ درصد کاهش آب شستگی نسبت به پایه بدون طوقه را شاهد

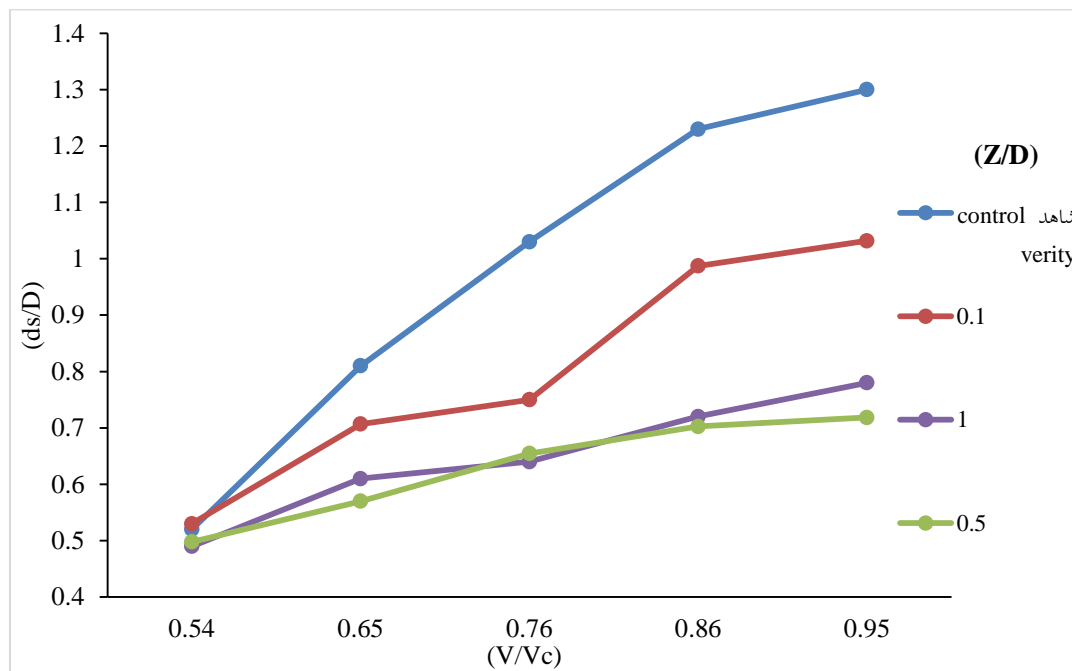


شکل ۱۳- نمودار تأثیر سرعت نسبی بر میزان آب شستگی.

Figure 13. Effect diagram of relative velocity on scour.

❖ بررسی اثر عمق کارگزاری طوقه آئرویدینامیک بر میزان آب شستگی: در این بخش به بررسی تأثیر عمق کارگزاری طوقه آئرویدینامیک بر میزان آب شستگی پرداخته شده است.

با توجه به نمودار شکل ۱۳ می توان به خوبی مشاهده کرد با افزایش سرعت نسبی (V/Vc) از ۰/۵۴ به ۰/۹۵ به طور متوسط باعث افزایش آب شستگی به میزان ۱۱۵/۵ درصد شده است.



شکل ۱۴- نمودار تأثیر عمق کارگذاری طوقه بر میزان آب‌شستگی.

Figure 14. Effect of crown depth on scour.

و باعث می‌شود با شروع کمی آب‌شستگی، گودی به طوقه رسیده و طوقه و چاله باعث جلوگیری از افزایش بیش‌تر آب‌شستگی می‌شوند.

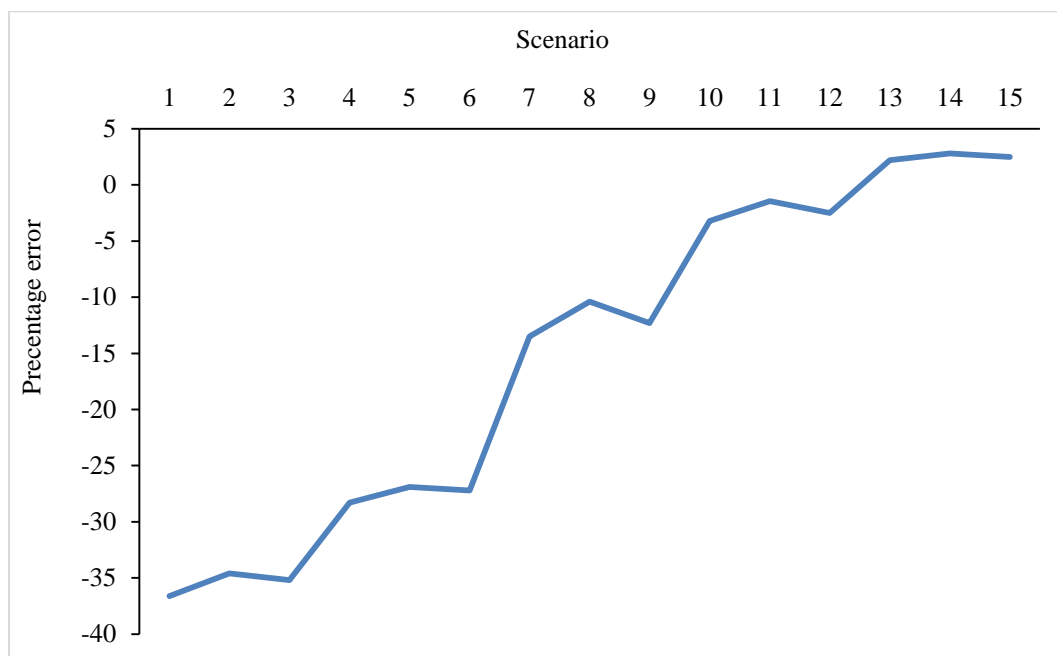
❖ نتایج شبیه‌سازی با مدل ریاضی Flow-3D و

مقایسه آن با مدل ریاضی: طبق نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های کالیبره کردن، کم‌ترین خطا در آزمایش‌های با استفاده از ضریب زبری مانینگ ۰/۰۳۵ و مدل آشفستگی Prandtl Mixing Length Mode به‌دست آمد. میزان خطا در این حالت ۱/۴۵٪ می‌باشد.

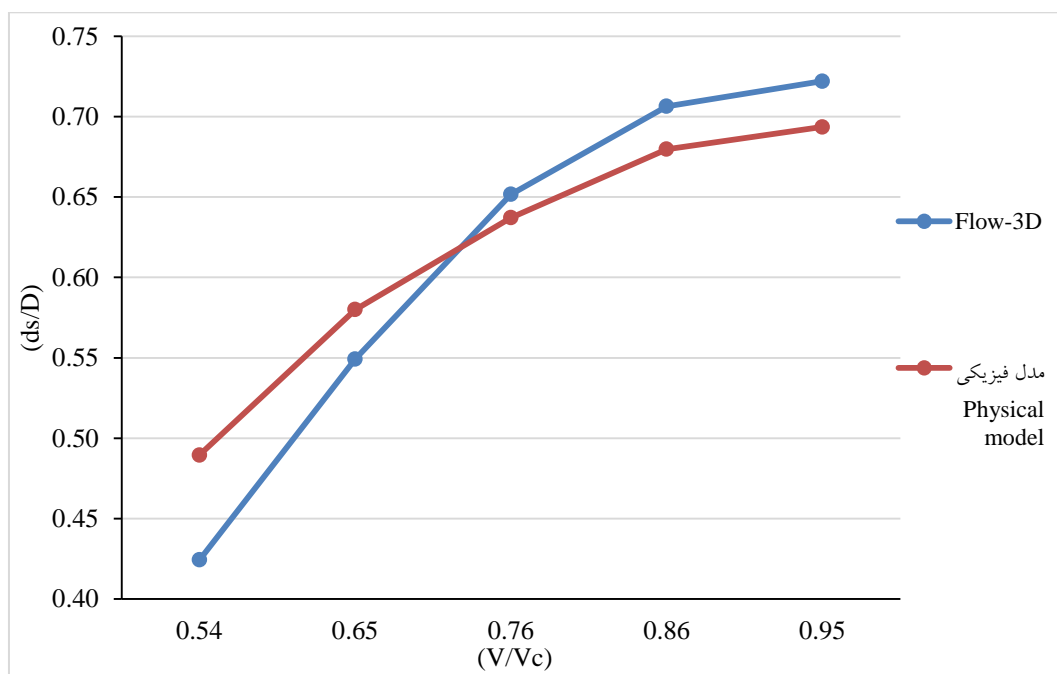
حال با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده در فرآیند کالیبره کردن، آزمایش‌های موردنظر را انجام داده می‌شود. اندازه مش‌بندی برای هر سه محور با صحیح و خطای فراوان و با در نظر گرفتن دقت و زمان شبیه‌سازی ۰/۵ میلی‌متر برای هر سه محور در نظر گرفته شد.

جزئیات آزمایش‌های انجام‌شده جهت کالیبره کردن مدل در شکل ۱۵ آمده است.

با توجه به نمودار شکل ۱۴ می‌توان به‌خوبی مشاهده کرد با افزایش عمق کارگذاری طوقه‌ها میزان آب‌شستگی کم‌تر شده است. با نصب طوقه در عمق نسبی (Z/D) ۰/۱، ۰/۵ و ۱ به‌ترتیب ۱/۸/۱، ۳۵/۷ و ۳۳/۷ درصد کاهش آب‌شستگی نسبت به پایه بدون طوقه را شاهد هستیم. هم‌چنین با افزایش عمق کارگذاری طوقه‌های آئرویدینامیک مشبک (Z/D) از ۰/۱ به ۰/۵ شاهد کاهش آب‌شستگی به‌میزان ۲۱/۵ درصد و هم‌چنین با افزایش عمق کارگذاری طوقه‌های آئرویدینامیک مشبک (Z/D) از ۰/۵ به ۱ شاهد افزایش آب‌شستگی به‌میزان ۳/۱ درصد هستیم. به‌این‌ترتیب می‌توان فهمید بهترین عمق کارگذاری طوقه به‌اندازه نصف قطر پایه‌پل است. علت این پدیده را می‌توان به‌دلیل این بیان کرد که در عمق نسبی ۰/۱ به‌دلیل سطحی بودن طوقه آب‌شستگی در زیر آن اتفاق می‌افتد و با طوقه در عمق نسبی ۱ عمق کارگذاری زیاد بوده که نتیجه مطلوب برای کاهش آب‌شستگی را ندارد. اما طوقه با عمق نسبی ۰/۵ به‌دلیل عمق مناسب



شکل ۱۵- نمودار نتایج آزمایش‌های کالیبراسیون.
 Figure 15. Chart of results of calibration tests.



شکل ۱۶- نمودار مقایسه نتایج شبیه‌سازی Flow-3D با مدل فیزیکی.
 Figure 16. Flow-3D simulation results comparison with physical model.

بدون طوقه را شاهد هستیم. با نصب طوقه در عمق نسبی (Z/D) ۰/۵ طوقه‌های مشبک به طول (L/D) ۶، ۸ و ۱۰ به ترتیب ۳۱/۸، ۳۶/۱ و ۴۱/۲ درصد کاهش آب‌شستگی نسبت به پایه بدون طوقه را شاهد هستیم. هم‌چنین با نصب طوقه در عمق نسبی (Z/D) برابر ۱ طوقه‌های مشبک به طول (L/D) برابر با مقادیر ۶، ۸ و ۱۰ به ترتیب ۲۶/۶، ۲۹/۳ و ۳۶/۱ درصد کاهش آب‌شستگی نسبت به پایه بدون طوقه را مشاهده می‌شود.

۲- با افزایش سرعت نسبی (V/Vc) از ۰/۵۴ به ۰/۹۵ به‌طور متوسط باعث افزایش آب‌شستگی به میزان ۱۱۵/۵ درصد شده است.

۳- شبیه‌سازی با مدل ریاضی Flow-3D نزدیک به مدل فیزیکی است و به‌طور متوسط تنها ۵/۴ درصد خطا دارد که قابل قبول است.

۴- با نصب طوقه در عمق نسبی (Z/D) ۰/۱، ۰/۵ و ۱ به ترتیب ۱۸/۱، ۳۵/۷ و ۳۳/۷ درصد کاهش آب‌شستگی نسبت به پایه بدون طوقه را شاهد هستیم. هم‌چنین با افزایش عمق کارگذاری طوقه‌های آئرو‌دینامیک مشبک (Z/D) از ۰/۱ به ۰/۵ شاهد کاهش آب‌شستگی به میزان ۲۱/۵ درصد و هم‌چنین با افزایش عمق کارگذاری طوقه‌های آئرو‌دینامیک مشبک (Z/D) از ۰/۵ به ۱ شاهد افزایش آب‌شستگی به میزان ۳/۱ درصد هستیم. به این ترتیب می‌توان فهمید بهترین عمق کارگذاری طوقه به اندازه نصف قطر پایه‌پل می‌باشد.

همان‌طور که در نمودار شکل ۱۶ نتایج شبیه‌سازی با Flow-3D نشان می‌دهد شبیه‌سازی با مدل ریاضی Flow-3D نزدیک به مدل فیزیکی است و خطا با استفاده از روش RMSE محاسبه شد و به‌طور متوسط تنها ۵/۴ درصد خطا دارد که قابل قبول است. هم‌چنین مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مدل فیزیکی نشان می‌دهد با افزایش سرعت نتایج شبیه‌سازی با مدل ریاضی Flow-3D انحراف کم‌تر با مدل فیزیکی پیدا می‌کند و به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود. تفاوت در روند منحنی و شیب بین نتایج مدل عددی و مدل آزمایشگاهی به دلیل خطای مدل ریاضی می‌باشد که غیرقابل تصحیح می‌باشد. در کل میزان خطا و تفاوت در شیب قابل قبول است. برای کم کردن حجم مطالب در مقاله از مقایسه باقی متغیرهای مدل فیزیکی با مدل ریاضی صرف نظر شده است.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش به بررسی تأثیر استفاده از طوقه‌های مشبک آئرو‌دینامیک بر روی پایه‌های پل آئرو‌دینامیک انجام شد که در زیر خلاصه نتایج آن آمده است:

۱- از نتایج می‌توان فهمید با افزایش طول طوقه‌ها میزان آب‌شستگی کاهش بیش‌تری داشته است. با نصب طوقه در عمق نسبی (Z/D) ۰/۱ طوقه‌های مشبک به طول (L/D) ۶، ۸ و ۱۰ به ترتیب ۱۲/۴، ۱۸/۹ و ۲۸/۹ درصد کاهش آب‌شستگی نسبت به پایه

منابع

1. Alem, Z., Qamshi, M., and Mohammadi, S. 2012. Application of collar to reduce scouring at a rectangular abutment of bridge in a composite channel, *Quar. J. Irrig. Water Engin.* 10: 29-41.
2. Azam, N., and Qomeishi, M. 2013. The effect of protective piles on reducing scouring at the pier of cylindrical bridges. *J. Water Soil Sci.* 33: 3. 123-134.
3. Chiew, Y.M. 1992. Scour protection at bridge Piers. *J. Hydr. Engin. ASCE.* 118: 9. 1260-1269.
4. Chiew, Y.M., and Melville, B.W. 1987. Local scour around bridge Piers. *J. Hydr. Res.* 25: 15-26.
5. Dargahi, B. 1990. Controlling mechanism of local scouring. *J. Hydr. Engin.* 116: 1197-1214.
6. Elnikhely, E.A. 2017. Minimizing scour around bridge pile using holes. *Ain Shams Eng. J.* 8: 499-506.
7. Esmaili Varaki, M., Jafari, M.H., and Musapour, S. 2012. Experimental study of the impact of foundation installation level on the maximum scouring of the tilted pier group. 9th International Congress of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. May 19-21.
8. Ettem, R. 1980. Scour at bridge piers., University of Auckland, School of Engineering, New Zealand. Report No. 216.
9. Hashemian, S.M., and Jabbari, S.M. 2012. Principles of lattice plates in audio applications, Second International Acoustic and Vibration Conference, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. (In Persian)
10. Hassanpour, N., Hosseinzadeh Delir, A., and Aronghi, H. 2013. Local scouring around the pier of cone-shaped bridge piers with a collar. *Tabriz Water Soil Sci. J.* 23: 3. 221-234.
11. Jalili, A. 2013. The effect of lattice collar on scouring at bridge piers, M.Sc. Thesis, Department of Water Structures, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (In Persian)
12. Karimae-Tabarestani, M., and Zarrati, A.R. 2012. Effect of collar on time development and extent of scour hole around cylindrical bridge piers. *Inter. J. Engin.* 25: 1. 11-16.
13. Kettle, P., and Eriksson, P. 1998. Bridge scour evaluation: Screening, analysis, and countermeasures. United States Department of Agriculture Forest Service Technology and Development Program.
14. Landers, M.N. 1992. Bridge scour data management. Proceedings of the Hydraulic Engineering, August 2-6, Maryland. Published by American Society of Civil Engineers.
15. Osroush, M., Hosseini, S.A., Kamanbedast, A.A. et al. 2019, The effects of height and vertical position of slot on the reduction of scour hole depth around bridge abutments, *Ain Shams Engin. J.* <https://doi.org/10.1016/j.asej.P651-659>.
16. Masjedi, A., and Gholamzadeh Mahmoudi, M. 2011. Experimental study of the effect of collar on scouring control around the cylindrical bridge pier at a 180° bend. *J. Agric. Engin. Natur. Resour. Water and Soil Science*, 38: 27-55.
17. Melville, B.W. 1997. Pier and abutment scour: Integrated approach. *J. Hydr. Engin. ASCE.* 132: 2. 125-136.
18. Mesbahi, M., and Shamsaei, A. 2013. Comparing the criteria for choosing the rust coating to protect the bridge piers, Congress of Civil Engineering and Sustainable Development, Khavaran Higher Education Institution, Mashhad, Iran. (In Persian)
19. Placzek, G., and Haeni, F.P. 1995. Surface-geophysical techniques used to detect existing and infilled scour holes near bridge piers: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4009, 44p.
20. Qasemifard, M., Haidarpour, M., and Sedagh, H. 2013. Local scouring control of rectangular bridges in the presence of the sacrificial sills, Congress of Civil Engineering and Sustainable Development, Khavaran Higher Education Institution, Mashhad, Iran. (In Persian)

21. Roshan, R. 2005. Vortex formation and depreciation in the basin of power plants using a physical model. Proceedings of the Modeling Workshop on Irrigation and Drainage. Tehran, Pp: 121-136. (In Persian)
22. Shariati, H., Khodashenas, S.R., and Esmaeili, K. 2011. Experimental study of simultaneous effect of slit and collar on local scouring at bridge piers. Ferdowsi Civil Engin. J. 23: 1. 85-96.
23. 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 Congress on Hydraulics of Rivers, Water Works and Machinery, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, China, Pp: 16-21.
24. Singh, K.K., Verma, D.V.S., and Tiwari, N.K. 1995. Scour protection at circular bridge piers. 6th International Symposium on River Sedimentation. New Delhi, India.
25. Tafarjnoruz, A., Gaudio, R., and Calomino, F. 2012. Evaluation of flow-altering countermeasures against bridge pier scour. J. Hydr. Engin. 138: 3. 297-305.
26. Zarati, A.R., and Azizi, M. 2001. Scouring control around the bridge pier. J. Fac. Engin. 35: 1. 21-33.
27. Zarrati, A.R., Gholami, H., and Mashahir, M.B. 2004. Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. J. Hydr. Res. IAHR. 42: 1. 97-103.



The study of Effect of Relative Diameter and depth of installation of Lattice Collar on Scouring around Airfoil Bridge Piers

A.R. Mohammadian¹, *A. Bordbar², A.R. Masjedi³, A.A. Kamanbedast²
and M. Heidarnejad²

¹Ph.D. Graduate, Dept. of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, ²Assistant Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, ³Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Received: 10.08.2018; Accepted: 07.16.2019

Abstract

Background and Objectives: One of the main reasons for the failure of bridges in the United States and around the world is scouring. The flow characteristics, the base shape and the angle of its deposition relative to the flow and characteristics of the sediments are all factors that interfere with the complexity of the scouring problem of bridges. It should be noted that the final scour depth created near the bridge base is equal to the total erosion depth due to local, general and narrowing of the flow width. Since the propagation of the scour hole threatens the sustainability of the bridge structure, predicting the amount of dirt and adopting the necessary measures for its containment are considered as common engineering measures in river engineering.

Materials and Methods: In this study, the effect of air foil lattice collars on aerodynamic bridge foundations was investigated. In order to investigate the research in this study, a flume was used at Azad University of Ahvaz with the following characteristics. The input and output channels of the flume are a rectangular weirs with a Plexiglas sheet, so that the length of the direct input channels at the beginning of the flume and the output at the end of the flume are 4.5 and 2.5 meters, respectively, the width and height of the flume are 0.5 and 0.6 meters and the body of the flume is at a height of 0.7 meters from the ground.

Results: By installing the collar at a relative depth of 0.1, the length of the collars of the scouring net was reduced compared to the collarless base. By installing the collar at a relative depth of 0.5, the lattice collars with relative lengths of 6, 8 and 10 were 35.2, 37.4 and 38.4 percent, respectively, to reduce scouring compared to the collarless base. Also, by installing the collar at relative depth $(Z/D)=1$ with a length (L/D) of 6, 8 and 10, collars were 27.7, 31.6 and 31.4 percent compared with a collarless bridge pier, respectively. By increasing relative velocity (V/V_c) from 0.54 to 0.95, on average, the scouring increased by 113.8%. By installing the collar at a relative depth (Z/D) of 0.1, 0.5 and 1, 16.6, 35.2 and 27.7 percent lower scouring were observed compared with the collarless base. Also, by increasing the depth of the lattice aerodynamic collars the scour reduction decreased by 22.3 percent.

Conclusion: It can be concluded that the best depth of the collar is about half the diameter of the base of the bridge. Also, simulation with the Flow-3D math model is close to the physical model and has an average of only 4.5% error, which is acceptable.

Keywords: Aerodynamics, Bridge, Flow-3D, Lattice collar, Physical model, Scour

* Corresponding Author; Email: a.bordbar@iau.ac.ir

Arch