نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۱، شماره ۲، سال ۱۳۹۸، صفحات ۲۵۷ تا ۲۶۵
DOI : 10.22060/ceej.2017.13352.5388

بررسی اثر موقعیت قرارگیری طوقه‌های مشبک بر عمق آبشستگی پایه پل دوکی شکل

زهرا طاهری[۱]، مهدی قمشی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران
۲-استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب ، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده: آبشستگی یک پدیده طبیعی است که ناشی از عمل فرسایشی میدان جریان در آبراهه‌های آبرفتی می‌باشد. آبشستگی موضعی ناشی از پایه‌های پل که از انواع آبشستگی می‌باشد یکی از دلایل شکست پل‌ها محسوب می‌شود. استفاده از طوقه یکی از راه‌های کاهش آبشستگی پیرامون پایه‌های پل است و مشبک کردن طوقه باعث سبک‌تر شدن آن می‌شود. موقعیت قرارگیری طوقه نقش مهمی در کاهش عمق آبشستگی پایه‌های پل دارد لذا در این تحقیق اثر موقعیت قرارگیری طوقه‌های مشبک در اطراف پایه پل دوکی مورد بررسی قرار گرفته‌است. آزمایش‌های صورت گرفته در این راستا در فلومی به طول ۶ متر، عرض ۷۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر که شیب آن نزدیک به صفر بود انجام شدند. در این تحقیق از طوقه ساده و طوقه‌های مشبک با ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد بازشدگی در چهار موقعیت شامل روی سطح بستر، 0/12B زیر سطح بستر (B: عرض پایه)، 0/5B و B بالای سطح بستر قرار داده شدند. نتایج نشان داد که تراز سطح بستر و زیر بستر بهترین موقعیت برای نصب طوقه‌ها بود. در سطح بستر طوقه ساده راندمان ۱۰۰ درصد و طوقه ۷۰ درصد مشبک راندمان ۹۲ درصد درکاهش آبشستگی داشت. در زیر بستر نیز عملکرد همه‌ی طوقه‌ها مانند هم بود و باعث کاهش ۸۸ درصد عمق آبشستگی شدند.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۵ شهریورماه ۱۳۹۶
بازنگری: ۲۵ آبان ماه ۱۳۹۶
پذیرش: ۲۹ آبان ماه ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۱۸ آذر ماه ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:
آبشستگی
پایه پل
موقعیت طوقه
طوقه مشبک
دوکی شکل(مستطیلی با گوشه‌های گرد شده).

۱- مقدمه

پدیده‌ی آب‌شستگی به فرسایش بستر رودخانه در اثر عبور جریان آب گویند. پل‌ها یکی از مهم‌ترین سازه‌هایی هستند که آب‌شستگی در اطراف پایه‌های آن باید مورد توجه قرار گیرد زیرا پایداری آن‌ها نقش مهمی در ایمنی عابرین اعم از پیاده و خودروها دارد به همین دلیل مطالعات زیادی به منظور یافتن روش‌هایی برای کاهش آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل انجام شده‌است. یکی از این راه‌ها استفاده از سازه‌ی طوقه است. طوقه صفحه‌ای تخت با ضخامت کم است که روی پایه نصب می‌شود. عملکرد طوقه به این گونه است که نقش محافظتی از رسوبات در جلوی جریان‌های پایین رونده دارد و ضمن جلوگیری از تماس مستقیم جریان‌های پایین رونده، قدرت گرداب‌های نعل اسبی را نیز کاهش می‌دهد. مطالعات زیادی بر روی عملکرد طوقه صورت گرفته‌است که در ادامه برخی از آن‌ها بیان شده‌اند. اتما (۱۹۸۰)[۱] نتیجه گرفت قرار دادن یک طوقه به اندازه دو برابر قطر پایه روی یک پایه استوانه‌ای در موقعیت سطح بستر باعث کاهش آبشستگی می‌شود.

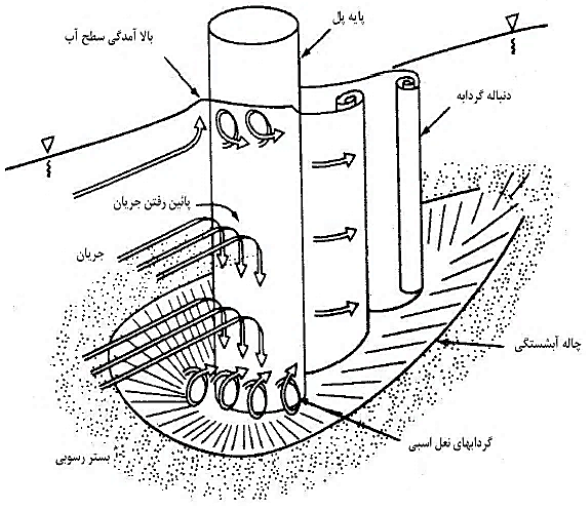
چیو (۱۹۹۲)[۲] هم‌چنین تأثیر طوقه‌های محافظ را در کاهش آبشستگی پایه‌های پل مورد بررسی قرار داد. او به این نتیجه رسید که طوق به اندازه دو برابر قطر پایه، عمق آبشستگی را به میزان ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. او اظهار داشت طراحی و کاربرد درست طوقه می‌توانمی‌تواند جایگزین مناسبی برای سنگ چین در حل مشکلات آبشستگی پایه‌های پل باشد. رادکیوی (۱۹۹۸)[۳] اظهار داشت در اثر جدایی جریان از کناره‌های پایه پل، گردابه هایی ایجاد می‌شوند که محور آن‌ها عمود بر بستر رودخانه است و به آن‌ها گرداب‌های برخاستگی می‌گویند. این گردابه‌ها همانند یک گردباد ذرات بستر را از هم جدا می‌کنند و در معرض جریان آب قرار می‌دهند که به انتقال ذرات از جلو و اطراف پایه به پایین دست کمک می‌کنند. حفر چاله آبشستگی توسط گرداب نعل‌اسبی آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا حجم آب درون چاله آبشستگی افزایش یافته و انرژی گرداب را مستهلک کند که در این حالت عمق آبشستگی به حالت تعال می‌رسد. شکل ۱ الگوی جریان و حفره آبشستگی موضعی اطراف پایه پل استوانه‌ای را نشان می‌دهد.

سینگ و همکاران (۲۰۰۱)[۴] نیز نشان دادند هرچه فاصله بین تراز بستر و تراز نصب پایه بیشتر شود حداکثر عمق آب‌شستگی افزایش می‌یابد.

1 Ettema (1980)

نویسنده عهده‌دار مکاتبات : ghomeshi@scu.ac.ir

2 Chiew (1992)
3 Raudkivi (1998)
4 Singh et al (2001)



شکل ۱. الگوی جریان و حفره آبشستگی اطراف پایه پل استوانه‌ای (رادکیوی ۱۹۹۸)

Flow pattern and scour hole around bridge pier

بهترین محل برای نصب طوقه در آزمایش‌های او ۰/۱D (D: قطر پایه) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوقه‌ای با دو برابر قطر پایه آبشستگی را به میزان ۹۱٪ کاهش داد. طوقه‌ها با ابعاد ۱/۵، ۲، ۲/۵ برابر قطر پایه در سطح بستر ۵۰، ۶۸ و ۱۰۰ درصد آبشستگی را در مقایسه با پایه بدون طوقه کاهش دادند. زراتی و همکاران (۲۰۰۴)[1] در آزمایش‌هایی که برای آبشستگی روی پایه مستطیلی با طوقه انجام دادند به این نتیجه رسیدند که عملکرد طوق با افزایش ابعاد و کاهش ارتفاع قرارگیری طوقه نسبت به سطح بستر بیشتر می‌شود. هم‌چنین عملکرد طوقه با افزایش زاویه پایه نسبت به جریان کمتر می‌گردد. مونکادا و همکاران (۲۰۰۹)[2] در مطالعات خود به بررسی عملکرد هم‌زمان طوقه و شکاف در کاهش آبشستگی پایه‌های پل پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد استفاده از طوقه‌ای با عرضی دو برابر قطر پایه می‌توانمی‌تواند آبشستگی اطراف پایه پل را ۵۵ تا ۹۶ درصد کاهش دهد. مشاهیر و همکاران (۲۰۱۰)[3] در مطالعات خود به طراحی گسترده سنگ چین در اطراف پایه پل مستطیلی در دو حالت محافظت شده توسط طوقه و بدون طوقه پرداختند. آن‌ها از سه پایه با نسبت ابعادی مختلف استفاده کردند که در زوایای متفاوت نسبت به راستای جریان قرار داشتند. آن‌ها اظهار داشتند که بدون تأثیر نسبت ابعادی پایه، استفاده از طوقه در تراز سطح بستر می‌توانمی‌تواند وسعت لایه سنگ چین در پایه پل در حالت بدون زاویه نسبت به راستای جریان را تا میزان ۳۵ درصد کاهش دهد ولی با افزایش زاویه قرارگیری پایه نسبت به راستای جریان، تأثیر طوقه بر لایه سنگچین کاهش می‌یابد. بلوچی و همکاران (۱۳۸۶) نیز آزمایش‌هایی را در حضور طوقه برای کاهش آبشستگی انجام دادند. آن‌ها از طوق هایی با دو و سه برابر قطر پایه و هم‌مرکز با پایه، و طوقی با سه برابر قطر پایه و نا هم مرکز با پایه استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود طوق باعث تاخیر در زمان تعادل و کاهش در عمق آبشستگی می‌شود. و طوقه‌هایی با دو و سه برابر قطر پایه روی تراز سطح بستر به ترتیب ۱۴/۵۸ و ۳۵ درصد کاهش در عمق آبشستگی داشتند. هم‌چنین طوق هایی با سه برابر قطر پایه و نامتقارن عمق آبشستگی تغییر چندانی نداشت اما زمان تعادل بیشتر از حالت‌های قبل شد. ثانی‌خانی و همکاران (۱۳۸۷) عملکرد طوقه‌های مربعی با ابعاد مختلف را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها به این صورت بود که حداقل عرض لازم برای طوقه به منظور کاهش آبشستگی باید دو برابر عرض پایه باشد و طوقه‌های نصب شده در زیر و سطح بستر عملکرد بهتری نسبت به طوقه‌های قرار گرفته در بالای سطح بستر داشتند. عالم (۱۳۹۱) به بررسی عملکرد طوقه‌های مشبک به منظور کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود از سه طوقه مشبک با بازشدگی ۲۰، ۳۳ و ۵۰ درصد و عرض دو برابر عرض تکیه گاه مورد آزمایش قرار دادند. آن‌ها طوقه‌ها را در سه موقعیت روی بستر، ۲ سانتی‌متر بالای بستر و ۴ سانتی‌متر بالای بستر قرار دادند. نتایج آن‌ها به این صورت بود که طوقه ۳۳ درصد مشبک بهترین عملکرد را داشت. جلیلی و قمشی (۱۳۹۲) عملکرد طوقه ساده و مشبک بر روی پایه استوانه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها در آزمایش‌های خود طوقه‌های مشبک با سه درصد بازشدگی ۱۵٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ را در فاصله‌ی ۰/۲۵B در اطراف پایه استوانه‌ای قرار دادند و آزمایش‌های خود را در اعداد فرود ۰/۱۹، ۰/۱۶ و ۰/۱۳ انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در عدد فرود ۰/۱۳ طوقه ۳۰٪ مشبک بالاترین راندمان را با ۹۴٪ کاهش در میزان آبشستگی نسبت به سایر طوقه‌های مشبک داشت و برای پایه استوانه‌ای طوقه مشبک با ۴۰ درصد بازشدگی بهترین راندمان را در اطراف پایه استوانه‌ای داشت. جلیلی و قمشی (۱۳۹۲) در مطالعات خود از طوقه مشبک به منظور کاهش آبشستگی پایه پل مکعبی استفاده کردند. آن‌ها از سه طوقه مشبک با بازشدگی ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد و اندازه سه برابر عرض پایه را مورد آزمایش قرار دادند. طبق نتایج آن‌ها طوقه ۳۰ درصد مشبک بالاترین راندمان را داشت.

با توجه به مطالعات انجام شده در خصوص حضور طوقه در اطراف پایه پل، مشخص شد طوقه تاثیر زیادی در کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های پل دارد. استفاده از طوقه مشبک در اطراف پایه پل به منظور سبک کردن سازه نسبت به طوقه ساده مورد توجه جلیلی و قمشی (۱۳۹۲) قرار گرفت، آن‌ها در مطالعات خود از طوقه مشبک به منظور کاهش آبشستگی اطراف پایه پل استفاده کردند. با توجه به نتایج مطلوبی که از کار گذاشتن طوقه مشبک در اطراف پایه پل مکعبی حاصل شد، لازم است تحقیقاتی بیشتری در زمینه استفاده از طوقه مشبک برای کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های پل انجام شود. یکی

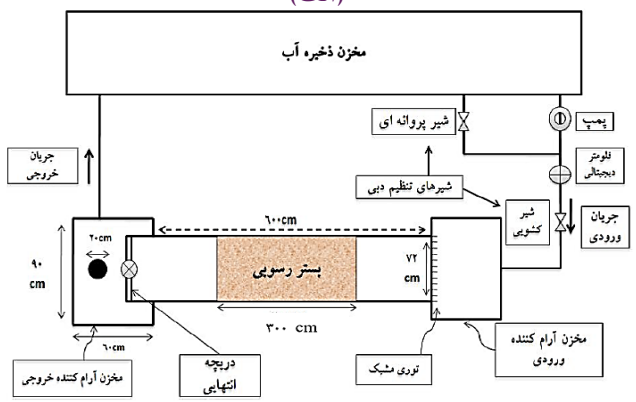
1 Zarrati et al (2004)
2 et al Moncada (2009)
3 Mashahiri et al (2010)

از عواملی که تاثیر زیادی بر روی عملکرد طوقه دارد موقعیت قرارگیری طوقه بر روی پایه است، لذا در این تحقیق به بررسی اثر موقعیت طوقه مشبک بر کاهش آبشستگی پایه پل دوکی شکل پرداخته شده‌است.

۲- مواد و روش‌ها

آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شدند. در شکل ۲ تصویری از کانال آزمایشگاهی و نمای شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی آن نشان داده شده‌است.

(الف)



(ب)

شکل ۲. الف) تصویر از کانال آزمایشگاهی
ب) نمای شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی
a) picture of the experimental flume b) Schematic view of laboratory equipment

کانال نشان داده شده در تصویر دارای طول ۶ متر، عرض ۷۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر بود و شیبی نزدیک به صفر داشت. جنس دیواره‌های این کانال از شیشه سیکوریت[1] با ضخامت ۱۰ میلی‌متر و اسکلت کانال فلزی می‌باشد. در ابتدای کانال یک محزن آرام کننده جریان قرار داشت تا از ورود تلاطم به داخل کانال جلوگیری کند. اندازه‌گیری دبی توسط یک فلومتر دیجیتالی انجام می‌شد. از یک دریچه‌ی کشویی که در انتهای کانال قرار داشت برای تنظیم عمق آب در کانال استفاده می‌شد.

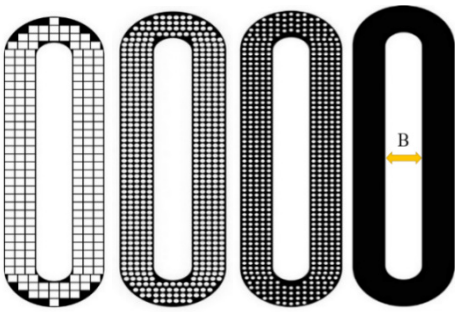
1 sikurite

قبل از ورود آب به کانال دو شیر وجود دارد که توسط آن‌ها دبی ورودی به کانال تنظیم می‌شود یکی شیر پروانه‌ای که میزان دبی ورودی از پمپ را تنظیم می‌کند و دیگری شیر کشویی که میزان ورود جریان به داخل کانال را تنظیم می‌کند. یک مخزن آرام کننده جریان نیز در انتهای فلوم قرار دارد تا جریان بعد از عبور از روی دریچه انتهایی وارد آن شود و توسط لوله‌هایی وارد مخزن ذخیره آب شود و به این ترتیب سیستم گردش آب کامل شود.

اولین قدم در مراحل انجام آزمایش‌ها تعیین ابعاد مدل و هم‌چنین تعیین پارامترهای موثر بر حداکثر عمق آبشستگی که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته شده‌است.

الف) ابعاد مدل

در انتخاب عرض مدل پایه، باید اثر جانبی عرض دیواره‌های فلوم بر روی آبشستگی پایه پل در نظر گرفته شود. طبق نتایج رادکیوی و اتما (۱۹۸۳)[2] نسبت عرض پایه به عرض کانال باید حداکثر ۰/۱۶ باشد. طبق توصیه‌های چیو و ملویل (۱۹۸۷)[3] قطر پایه حداکثر باید برابر ۱۰ درصد عرض فلوم باشد. در نتیجه پایه دوکی شکل با عرض ۲/۵ سانتی‌متر و طول ۲۲/۵ سانتی‌متر انتخاب شد. جنس دیواره‌های پایه، پلکسی گلاس و دماغه‌ی آن از جنس چوب است. طبق نتایج تاناکا و یانو (۱۹۶۷)، بلوچی و همکاران (۱۳۸۶) و دیگر محققان بهترین ابعاد برای طوقه، ۳ برابر عرض پایه پیشنهاد شد لذا از طوقه‌هایی با ابعاد ۶۷/۵×۷/۵ در آزمایش‌ها استفاده شد. طوقه‌ها از جنس پلکسی گلاس و با ضخامت ۳ میلی‌متر بودند. در آزمایش‌ها از ۴ نوع طوقه با بازشدگی ۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ درصد استفاده شد که تصاویری از طوقه‌های مورد استفاده را در شکل ۳ مشاهده می‌کنید. در شکل ۴ نیز تصویری از طوقه نصب شده روی پایه در آزمایش را مشاهده می‌کنید.



الف) ب) ج) د)

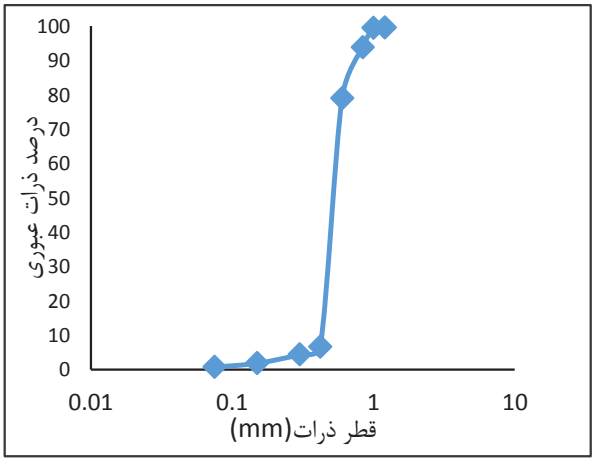
شکل ۳. نمایی از طوقه‌های مورد استفاده در آزمایش
الف) طوقه ساده، ب) طوقه ۳۰٪ مشبک،
ج) طوقه ۵۰٪ مشبک و د) طوقه ۷۰٪ مشبک
A view at the collars used in the experiment a) simple collar b) 30% netted collar c) 50% netted collar d) 70% netted collar

2 Raudkivi and Ettema (1983)
3 Chiew and Melville (1987)

شکل۴. نمایی از پایه و طوقه نصب شده روی آن
A view of the pier and collar placed on it

ب)رسوبات بستر

قطر متوسط ذرات رسوبی (d_{50})باید به گونه‌ای انتخاب شود که حداکثرعمق آبشستگی در اطراف پایه پل ایجاد شود (ملویل (۱۹۹۷)). در رابطه با این موضوع لی و استورم (2009) حداقل مقدار D / d_{50} (D: قطر پایه) را برابر ۲۵ اعلام کردند. برای از بین بردن اثر غیر یکنواختی ذرات برآبشستگی انحراف معیار هندسی ذرات طبق نظر چیو و ملویل باید از ۳ کمتر باشد. رسوبات مورد استفاده درآزمایش‌های این تحقیق دارای قطرمتوسط ۰/۵ میلی‌متروانحراف معیار ۱/۲ و نسبت $B / d_{50} = 50$ (B: عرض پایه) = ۵۰ است که در یک بازه‌ی سه متری به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از فلوم استفاده شدند. منحنی دانه‌بندی این رسوبات در شکل ۵ نشان داده شده‌است.



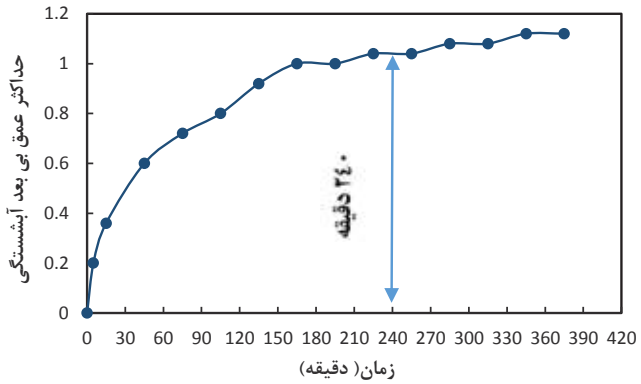
شکل ۵. منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی
Sediment particle gradient curve

ج)عمق و سرعت جریان

عمق و سرعت جریان نیزازپارامترهایی هستند که برعمق آبشستگی تأثیرگذار هستند. لذا در تعیین آن‌ها باید به این نکات توجه کرد. طبق نظر چیو (۱۹۹۵) و اتما (۱۹۸۰) برای جلوگیری از تأثیرات عمق جریان بر عمق آبشستگی، عمق جریان باید بیش از سه برابرعرض پایه باشد. طبق نظر ملویل و چیو (۱۹۹۹) برای تعیین عمق جریان حداکثرتنش برشی در شرایط آب زلال باید بررسی شود. هنگاهی که سرعت متوسط جریان در بازه‌ی $0.3V_c < V < V_c$ قرارداشته‌باشد آبشستگی در شرایط آب زلال رخ می‌دهد و اگر سرعت متوسط جریان بیش از سرعت بحرانی باشد، آبشستگی در حالت بسترزنده‌روی می‌دهد. آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش نیز در شرایط آب زلال رخ می‌دهند لذا برای تعیین سرعت آستانه حرکت آزمایش‌هایی بدون حضور پایه و در دبی‌های مختلف با تغییرعمق در حین آزمایش انجام شد و شرایطی که در آن ذرات شروع به حرکت می کنند ثبت شد و با متوسط گیری ازآن‌ها سرعت ۰/۲۳ به عنوان سرعت آستانه حرکت در نظرگرفته شد وآزمایش‌ها در شرایط عمق جریان ۱۳ سانتی‌متر، دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه، عدد فرود ۰/۱۹ و $V / V_c = 0.91$ انجام شدند.

د) مدت زمان آزمایش‌ها

آبشستگی در اطراف پایه‌های پل، پدیده‌ای است که با گذشت زمان توسعه پیدا می‌کند و سپس به تعادل می‌رسد. تخمین زمان تعادل آبشستگی پایه پل درآزمایش‌های آبشستگی بسیار اهمیت دارد لذا در این پژوهش یک آزمایش ۶ ساعته برای تعیین زمان تعادل انجام شد که روند تغییرات عمق نسبت به زمان را در شکل ۶ مشاهده می‌کنید. همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود تغییرات عمق آبشستگی در ابتدا زیاد است ولی با گذشت زمان رفته رفته کم می‌شود و زمان ۲۴۰ دقیقه به عنوان زمان تعادل در تمامی آزمایش‌ها انتخاب شد که در این زمان بیش از۹۰ درصد آبشستگی کل اتفاق افتاده است.



شکل ۶. منحنی توسعه زمانی حفره آبشستگی
Scour hole time development curve

در شروع هر آزمایش ابتدا سطح رسوبات را با اسفنج و متر لیزری تسطیح کرده و سپس دریچه‌ی کشویی که درانتهای مجرای کانال قرار داشت را به طور کامل بسته و آب با دبی کم وارد کانال شد تا از ایجاد فرسایش اولیه و ایجاد خطا در آزمایش‌ها جلوگیری شود. بعد از چند دقیقه که جریان آب حدود یک سانتی‌متر از سطح بستر را پوشاند دبی

را به آرامی زیاد کرده تا به دبی مورد نظر برسد سپس دریچه را به آرامی گشوده تا عمق آب نیز در عمق مورد نظر تنظیم شود. پس از برقراری جریان و گذشت مدت زمان ۴ ساعت پمپ را خاموش می‌شد و بعد از گذشت چند دقیقه که آب موجود در کانال زه‌کشی شد حداکثر عمق و توپوگرافی بستر توسط مترلیزری برداشت می‌شد.

۳- تحلیل ابعادی

پارامترهای زیادی در فرآیند آبشستگی دخالت دارند، با مشخص کردن آن‌ها و تجزیه و تحلیل می‌توان یک رابطه کلی بدست آورد که شامل پارامترهای بدون بعد باشد. عواملی که در آزمایش‌های این تحقیق تأثیر گذار هستند در رابطه ۱ نشان داده شده‌اند.

$$f(d_s.\ y.D_{50}.v.g.t.\rho.\rho_s.\vartheta.C_D.l.B.t_c.B_c.Z_c.l_c.\sigma.\alpha) = 0 \quad (۱)$$

که در این رابطه d_s : حداکثر عمق آبشستگی، y: عمق جریان، D_{50}: قطر متوسط رسوبات بستر، v: سرعت جریان، g: شتاب ثقل، t: زمان، ρ: چگالی سیال، ρ_s: چگالی رسوبات بستر، ϑ: لزوجت سینماتیکی سیال، C_D: ضریب شکل پایه، l: طول پایه، B: عرض پایه، t_c: ضخامت طوق، B_c: عرض طوق، Z_c: موقعیت قرارگیری طوقه، l_c: طول طوقه، σ: انحراف معیار ذرات رسوبی و α: درصد بازشدگی طوقه هستند. با استفاده از روش باکینگهام[1] و انتخاب پارامترهای ρ، v و y به عنوان پارامترهای تکراری پارامترهای بی بعد به صورت رابطه ۲ به‌دست می‌آیند.

$$f\left(\frac{Z_c}{y}.\ \frac{l}{y}.\frac{B}{y}.\ \frac{B_c}{y}.\ \frac{l_c}{y}.\ \frac{t_c}{y}.\ \frac{D_{50}}{y}.\ \frac{d_s}{y}.\ \frac{tv}{y}.\ \sigma.\ \alpha.\ C_D.\ Fr.\ Re.G_s\right) = 0 \quad (۲)$$

بعد از حذف پارامترهای ثابت در این تحقیق رابطه‌ی بدون بعد ۳ بدست می آید.

$$\frac{d_s}{B} = f\left(\frac{Z_c}{B}.\alpha\right) \quad (۳)$$

۴- نتایج و بحث

در این تحقیق آزمایش‌هایی به منظور بررسی تأثیر موقعیت قرارگیری طوقه مشبک در اطراف پایه پل دوکی انجام شد. برای رسیدن به اهداف این تحقیق از چهار نوع طوقه شامل طوقه ساده و سه طوقه مشبک با ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد بازشدگی استفاده شد. طوقه‌ها در چهار تراز ۰/۵B و B بالای سطح بستر، روی سطح بستر و ۰/۱۲B زیر سطح بستر قرار گرفتند و عملکرد آن‌ها در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و عدد فرود ۰/۱۹ بررسی شد. در ابتدا آزمایشی به منظور مشاهده تأثیر جریان‌های گردابی اطراف پایه پل و برداشت حداکثر عمق آب‌شستگی برای مقایسه با نتایج حاصل از آزمایش‌های دیگر انجام شد. درصد کاهش عمق آبشستگی برای طوقه ساده و طوقه‌های مشبک نسبت به آزمایش شاهد با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شده‌است و نتایج به دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده‌است.

$$R = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 \quad \text{درصد که} \quad (۴)$$

1 Bukingham

در این رابطه : حداکثر عمق آبشستگی در آزمایش‌های شاهد و : حداکثر عمق آبشستگی در حضور طوقه مشبک می‌باشد.

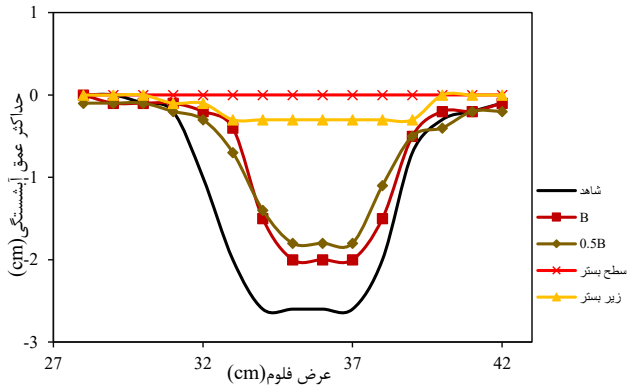
جدول۱. درصد کاهش عمق آبشستگی طوقه ساده و مشبک نسبت به آزمایش شاهد

Percent reduction in the scour depth of the sim - ple and netted collars compared to no collar case

موقعیت قرارگیری	درصد کاهش عمق آب‌شستگی R٪			
	طوقه ساده	طوقه ۳۰ درصد مشبک	طوقه ۵۰ درصد مشبک	طوقه ۷۰ درصد مشبک
۰/۱۲B زیر بستر	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸
سطح بستر	۱۰۰	۸۵	۶۵	۹۲
۰/۵B بالای بستر	۳۱	۱۹	۲۷	۲۷
B بالای بستر	۲۳	۱۵	۲۳	۱۵

طوقه ساده:

با نصب طوقه ساده در سطح بستر به دلیل عدم تشکیل گرداب‌های نعل‌اسبی در زیر طوقه به خوبی از رسوبات در برابر جریان محافظت کرد و طوقه ساده در این موقعیت عملکردی ۱۰۰ درصد در کاهش آبشستگی داشت. با قرار دادن طوقه در زیر بستر تنها رسوباتی که بر روی طوقه قرار داشتند شسته شدند زیرا این رسوبات خود جزئی از آبشستگی محسوب می‌شوند. در موقعیت زیر بستر راندمان طوقه ۸۸ درصد بود و حداکثر عمق آبشستگی در این حالت برابر ارتفاع نصب طوقه در زیر بستر بود. با نصب طوقه در ارتفاع‌های ۰/۵B و B بالای سطح بستر به دلیل قوی بودن جریان‌های گردابی و نعل‌اسبی که در زیر طوقه تشکیل شده بودند راندمان طوقه کمتر از دو موقعیت دیگر شد به نحوی که به ۳۱٪ و ۲۳٪ درصد کاهش یافت. نمای گرافیکی تاثیر ارتفاع نصب طوقه ساده بر توسعه حفره آب‌شستگی در شکل ۷ نشان داده شده‌است.



شکل ۷. تاثیر ارتفاع نصب طوقه ساده بر توسعه حفره آب‌شستگی

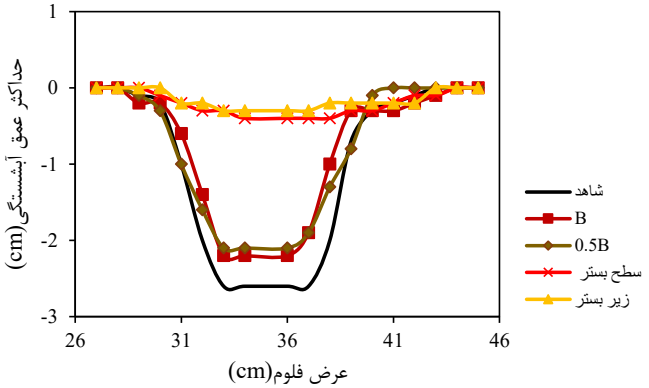
The effect of the installation hei ght of the sim - ple collar on latitudinal scouring development

طوقه ۳۰ درصد مشبک:

تأثیر مشبک شدن طوقه روی لایه مرزی همانند زبری است به این نحو که بازشدگی‌ها یا زبری‌ها باعث ایجاد آشفتگی در جریان لایه مرزی اطراف طوقه می‌شوند و مومنتوم جریان در نزدیکی جداره افزایش می‌یابد در نتیجه تمایل جریان برای جدایی از سطح طوقه کم می‌شود و از قدرت جریان گردابی کاسته شده و آبشستگی کاهش می‌یابد.

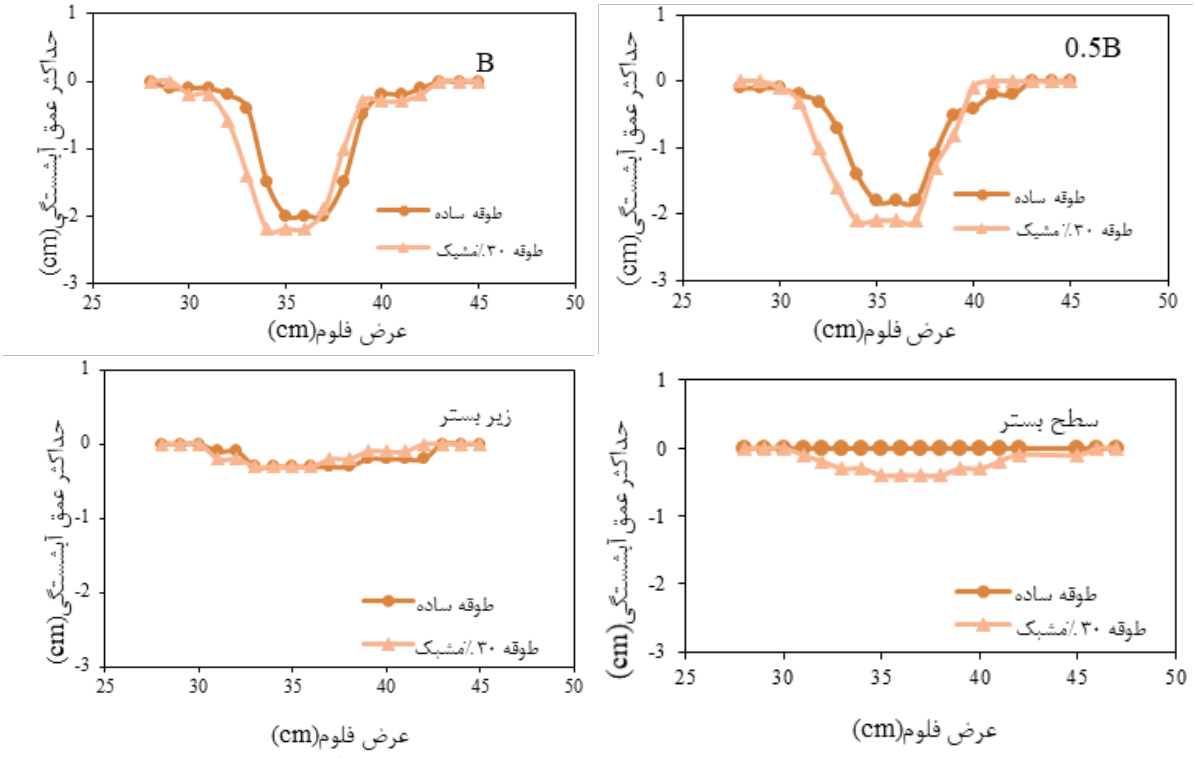
با نصب طوقه ۳۰٪ مشبک در سطح بستر باعث کاهش ۸۵ درصد عمق آبشستگی نسبت به آزمایش شاهد شد. در ارتفاع ۰/۱۲B زیر بستر نیز مانند طوقه ساده تنها قسمتی از رسوبات که روی طوقه قرار داشتند شسته شدند که خود جزئی از آبشستگی محسوب می‌شدند. با افزایش ارتفاع از سطح بستر تا ارتفاع B به دلیل شدت گرفتن جریان‌های گردابی و نعل‌اسبی حداکثر عمق آبشستگی افزایش پیدا کرد و این طوقه توانست در موقعیت‌های ۰/۵B و B بالای بستر به ترتیب ۱۹ و ۱۵ درصد آبشستگی را کاهش دهد تاثیر ارتفاع نصب طوقه ۳۰ درصد مشبک بر توسعه عرضی آب‌شستگی در شکل ۸ نشان داده شده‌است.

برای مقایسه عملکرد طوقه ۳۰ درصد مشبک نسبت به طوقه ساده در موقعیت‌های مختلف، توسعه‌ی عرضی آبشستگی آن‌ها در شکل ۹ نشان داده شده‌است. با توجه به آن طوقه ۳۰ درصد مشبک در زیر بستر همانند طوقه ساده عمل کرده و بازشدگی طوقه تأثیری بر عملکرد طوقه نداشته است. در سطح بستر بر خلاف طوقه ساده که عمق آبشستگی در جلوی پایه صفر بود به دلیل وجود ۳۰ درصد بازشدگی در سطح طوقه مقدار کمی آبشستگی مشاهده شد. در موقعیت‌های ۰/۵B و B بالای بستر میزان توسعه حفره‌ی آبشستگی تقریبا مشابه طوقه ساده بود و در واقع بیانگر این است که تأثیر این دو طوقه بر روی جریان‌های اطراف پایه همانند هم می‌باشد.



شکل ۸. تأثیر ارتفاع نصب طوقه ۳۰٪ مشبک بر توسعه عرضی حفره آبشستگی

The effect of the installation height of the 30٪ netted collar on latitudinal scouring development



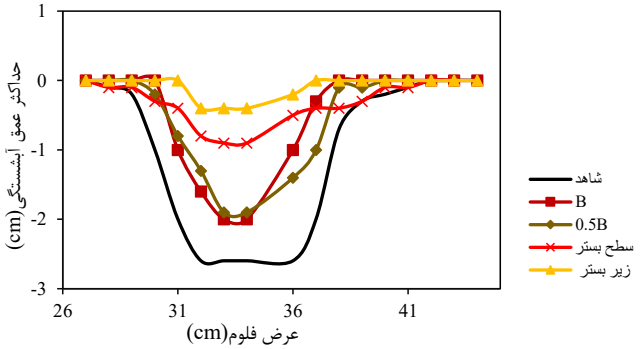
شکل ۹. تاثیر طوقه‌های ساده و ۳۰٪ مشبک بر توسعه‌ی حفره آب‌شستگی در موقعیت‌های مختلف

The effect of simple collar and ٪30 netted collar on the development of scouring in different positions

طوقه ۵۰ درصد مشبک:

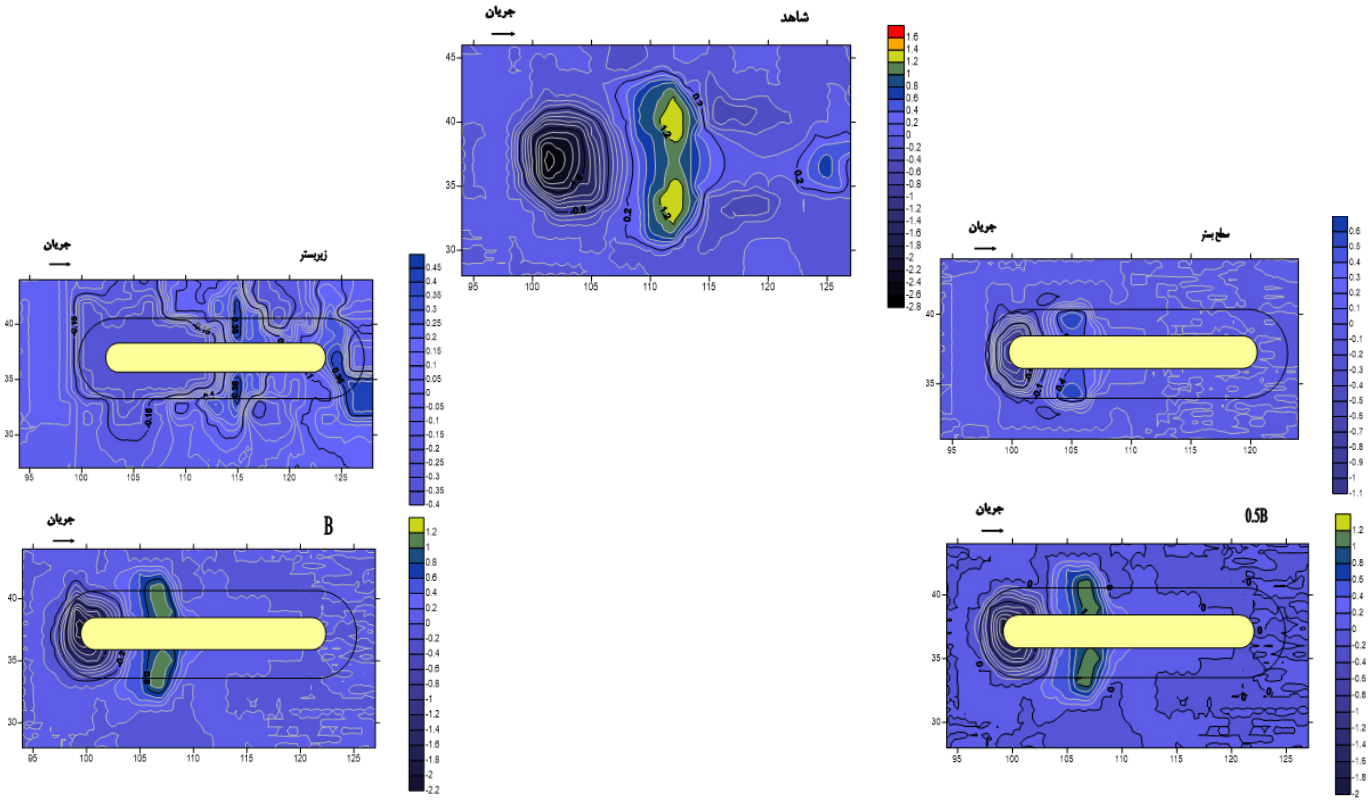
با نصب طوقه ۵۰٪ مشبک در سطح بستر باعث کاهش ۶۵ درصد عمق آبشستگی نسبت به آزمایش شاهد شد. در ارتفاع ۰/۱۲B زیر بستر نیز مانند طوقه ساده تنها قسمتی از رسوبات که روی طوقه قرار داشتند شسته شدند که خود جزئی از آبشستگی محسوب می‌شدند. با افزایش ارتفاع از سطح بستر تا ارتفاع B حداکثر عمق آبشستگی افزایش پیدا کرد. در ارتفاع‌های ۰/۵B و B از سطح بستر حداکثر عمق آبشستگی به ۲۷ و ۲۳ درصد کاهش یافت. در ارتفاع‌های ۰/۵B و B تفاوت حداکثر عمق آب‌شستگی ناچیز بود. تاثیر ارتفاع نصب طوقه ۵۰ درصد مشبک بر توسعه عرضی آب‌شستگی در شکل ۱۰ نشان داده شده‌است.

در شکل ۱۱ منحنی‌های تراز مربوط به قرارگیری طوقه ۵۰ درصد مشبک در موقعیت‌های مختلف، که با نرم‌افزار Surfer ترسیم شده‌اند و برای درک بهتر نحوه‌ی فرسایش و رسوب‌گذاری در موقعیت‌های مختلف نشان داده شده‌است. با شروع آبشستگی در جلوی پایه، رسوبات شسته شدند (به دلیل برخورد جریان‌های پایین رونده در جلوی پایه که مانند یک جت ریزشی عمل می‌کنند حداکثر عمق آبشستگی در جلوی پایه ایجاد شد) و سپس جریان‌های آب به همراه جریان‌های برخاستگی رسوبات شسته شده را به اطراف دیواره‌های پایه منتقل کردند. با گذشت زمان چاله آبشستگی ایجاد شده در جلوی پایه و تپه‌ی رسوبی اطراف دیواره‌های پایه توسعه پیدا کردند و به یک حالت تعادلی رسید و تشکیل حالتی قرینه در اطراف پایه دادند. با قرار دادن طوقه ۵۰ درصد مشبک در ارتفاع‌های ۰/۵B و B بالای بستر و روی سطح بستر باعث تضعیف جریان‌های نعل‌اسبی و گردابی اطراف پایه شد و عمق و حفره‌ی آبشستگی کاهش پیدا کرد و تپه‌ی رسوبی نیز به جلوی پایه نزدیک شد اما در موقعیت ۰/۱۲B زیر بستر الگوی آبشستگی نسبت به موقعیت‌های دیگر تغییر کرد و چاله‌ی آبشستگی در جلوی پایه تشکیل نشد و تنها رسوباتی که روی طوقه قرار داشتند شسته شدند که خود جزئی از آبشستگی محسوب می‌شوند. آبشستگی پیرامون پایه پل دوکی در آزمایش شاهد بدلیل نبود طوقه به عنوان محافظ از همه‌ی حالت‌ها بیشتر شد.



شکل ۱۰. تاثیر ارتفاع نصب طوقه ۵۰٪ مشبک بر توسعه عرضی آب‌شستگی

The effect of the installation height of the 50٪ net-ted collar on latitudinal scouring development

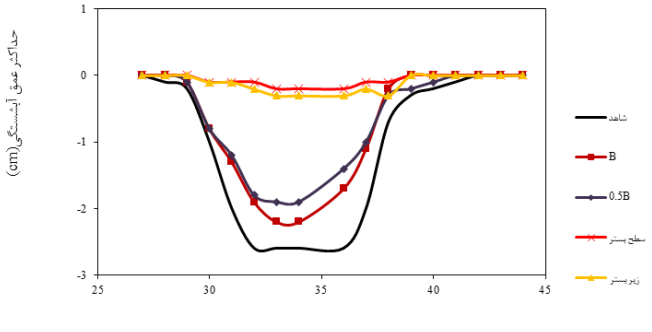


شکل ۱۱. منحنی‌های تراز طوقه ۵۰ درصد مشبک در موقعیت‌های مختلف

netted collar level curves in different positions ٪50

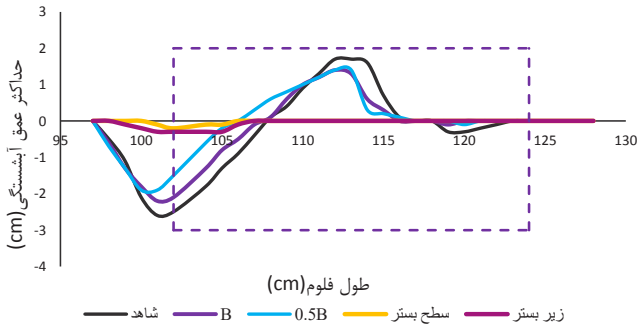
طوقه ۷۰ درصد مشبک:

آزمایش‌ها نشان دادند با نصب طوقه‌ای با ۷۰ درصد بازشدگی درسطح بستر به خوبی آب شستگی اطراف پایه پل را کاهش داده‌است به نحوی که باعث کاهش ۹۲ درصدی حداکثر عمق آبشستگی نسب به آزمایش بدون طوقه شد. با افزایش تراز نصب طوقه از سطح بستر به دلیل شدت گرفتن جریان‌های نعل‌اسبی و گردابه‌ای عمق آبشستگی افزایش پیدا کرد به‌طوری که در ارتفاع‌های ۰/۵B و B بالای بستر فقط ۲۷ و ۱۵ درصد عمق آبشستگی را کاهش داد. با قرار دادن طوقه ۷۰ درصد مشبک درموقعیت ۰/۱۲B زیر بستر نیز تنها قسمتی از رسوبات که روی طوقه قرار داشتند شسته شدند که خود جزئی از آبشستگی محسوب می‌شدند. تاثیر ارتفاع نصب طوقه ۷۰ درصد مشبک بر توسعه عرضی و طولی آب‌شستگی در شکل ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده‌است.



شکل ۱۲. تاثیر ارتفاع نصب طوقه ۷۰٪ مشبک بر توسعه عرضی آب‌شستگی

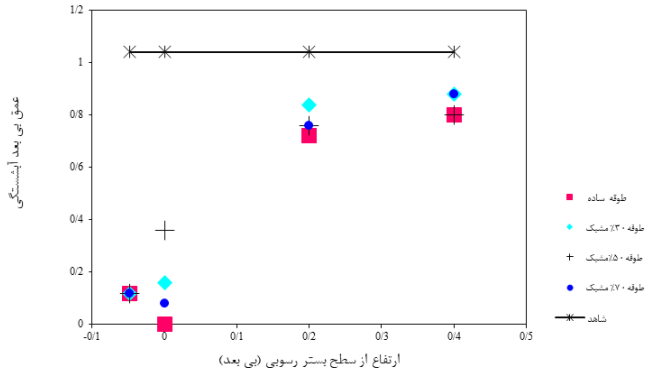
The effect of the installation height of the 70% netted collar on latitudinal scouring development



شکل ۱۳. تاثیر ارتفاع نصب طوقه ۷۰٪ مشبک بر توسعه طولی آب‌شستگی

The effect of 70% netted collar placed on longitudinal scouring development

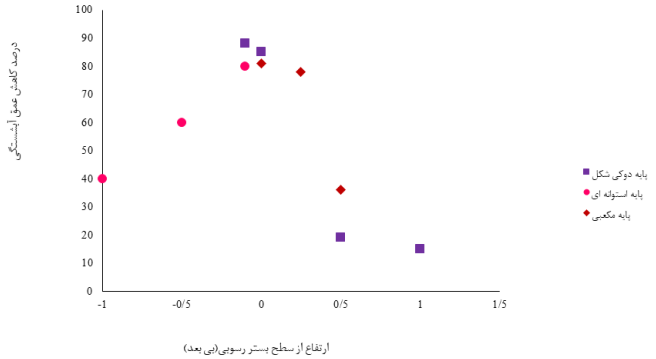
شکل ۱۴ تغییرات عمق بی‌بعد آب‌شستگی d_s / B را نسبت به ارتفاع از سطح بستر رسوبی Z_c / B برای کلیه‌ی طوقه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود در ارتفاع ۰/۱۲B زیر بستر عملکرد همه‌ی طوقه‌ها مانند هم بوده‌است و درصد بازشدگی تأثیری بر حداکثر عمق آبشستگی نداشت. در سطح بستر طوقه ساده و ۳۰، ۷۰ درصد مشبک عملکرد بسیار خوبی داشتند و تنها طوقه ۵۰ درصد مشبک نسبت به آن‌ها درسطح بستر حداکثر عمق بی بعد آبشستگی را افزایش داد. در موقعیت ۰/۵B و B بالای بستر حداکثر عمق آبشستگی طوقه ساده و طوقه‌های ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد مشبک به هم نزدیک بود و بازشدگی طوقه تا ۷۰ درصد تأثیری بر حداکثر عمق آبشستگی نداشت. حداکثر عمق آبشستگی طوقه‌های مشبک و ساده در سطح بستر و زیر بستر نسبت به موقعیت‌های بالای بستر پایین‌تر بود.



شکل ۱۴. تغییرات عمق بی بعد آب‌شستگی نسبت به ارتفاع از سطح بستر رسوبی

Change in dimensionless depth scour relative to the height of the sedimentary bed surface

به منظور مقایسه آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق با مطالعات دیگر محققین، مقایسه ای بین عملکرد طوقه ۳۰ درصد مشبک در موقعیت‌های مختلف در اطراف پایه دوکی با پایه مکعبی (جلیلی و قمشی، ۱۳۹۲) و پایه استوانه (همتی و همکاران، ۱۳۹۴) انجام شده‌است که نتایج آن در شکل ۱۵ نشان داده شده‌است. آزمایش‌های جلیلی و قمشی (۱۳۹۲) بر روی پایه مکعبی و در سه موقعیت سطح بستر، ۰/۲۵B بالای بستر و ۰/۵B بالای بستر (B: عرض پایه مکعبی) و آزمایش‌های همتی و همکاران (۱۳۹۴) بر روی پایه استوانه‌ای و در سه موقعیت ۰/۱D، ۰/۵D و D زیر سطح بستر (D: قطر پایه استوان‌های) بودند. با توجه به نمودار شکل ۱۵ در پایه‌های دوکی شکل، استوان‌های و مکعبی هر چه طوقه ۳۰ درصد مشبک، در فاصله کمتری نسبت به سطح بستر قرار بگیرد عملکرد بهتری خواهد داشت. در موقعیت سطح بستر عملکرد پایه دوکی شکل و مکعبی مانند هم بوده‌است و هم‌چنین در ۰/۱B زیر بستر نیز عملکرد پایه دوکی شکل و استوانه‌ای نزدیک به هم بوده‌است.



شکل ۱۵. مقایسه عملکرد پایه دوکی شکل با پایه استوآن‌های و مکعبی در موقعیت‌های مختلف
Comparison of oblong pier with cylindrical and cubic pier in different position

۵- نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی حاضر به بررسی اثر موقعیت قرارگیری طوقه‌های مشبک با سه درصد بازشدگی ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد و طوقه ساده در اطراف پایه پل دوکی پرداخته شده‌است. نتایج حاصله از این تحقیق به شرح زیر هستند:

۱) نصب طوقه مشبک تکنیک مناسبی جهت کاهش آبشستگی موضعی پیرامون پایه پل دوکی می‌باشد.

۲) هر چه تراز نصب طوقه مشبک نسبت به بستر کاهش یابد عملکرد طوقه مشبک افزایش می‌یابد.

۳) بالاترین راندمان در آزمایش‌ها به ترتیب مربوط به نصب طوقه ساده در سطح بستر با راندمان ۱۰۰ درصد، طوقه ۷۰ درصد در سطح بستر با راندمان ۹۲ درصد و سپس همه‌ی طوقه‌ها با راندمان ۸۸ درصد در زیر بستر بود در واقع با افزایش درصد بازشدگی طوقه تا ۷۰ درصد در تراز زیر بستر تأثیری در عملکرد طوقه مشاهده نشد.

۴) در طوقه‌های زیر بستر، مصالح روی طوقه به سرعت شسته شده که در حقیقت جزئی از آبشستگی محسوب می‌شوند و بنابراین در ترازهای زیر بستر باید ارتفاع نصب طوقه را کمتر در نظر گرفت. زیرا طوقه نمی‌تواند از رسوباتی که بر روی آن قرار دارند محافظت کند.

۵) عملکرد طوقه‌ها در ترازهای 0/5B و B بالای بستر نسبت به تراز سطح بستر و زیر بستر کاهش یافت اما در این موقعیت‌ها درصد بازشدگی طوقه تأثیر زیادی بر عملکرد طوقه‌ها نداشت.

در مجموع می‌توان گفت بهترین موقعیت نصب طوقه‌های مشبک در تراز سطح بستر و زیر بستر می‌باشد که در این موقعیت‌ها می‌توان از طوقه با درصد بازشدگی بالا استفاده نمود.

مراجع

[۱] م. بلوچي, م. چمني, م. بيرامي, بررسي اثر تغيير شكل طوق بر روند و ميزان آبشستگي موضعي, ششمين كنفرانس هيدروليك ايران, انجمن هيدروليك ايران, ۱۳۸۶.

[۲] ه.ث. خانی, ع.ح.ز. دلیر, د.ف. زاده, ا.ف. فرد, ا.ح. ناظمی, ف. سلماسی, كاربرد طوق هاي مستطيلي و دايره اي در كاهش آبشستگي پايه هاي پل, دانش كشاورزي, ۱۸(۴) (۱۳۸۷) ۱-۱۶.

[۳] ج. آمنه, ق. مهدی, مطالعه آزمایشگاهی بررسی تأثیر طوقه مشبک و ساده بر آبشستگی پایه پل استوانه ای, دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران, ۱۳۹۲.

[۴] آ. جلیلی, م. قمشی, اثر حضور طوقه مشبک بر عمق آبشستگی اطراف پایه پل مکعبی شکل, علوم و مهندسی آبیاری, ۳۹(۲) (۲۰۱۶) ۱۵-۲۵.

[۵] ز. عالم, تأثیر طوقه مشبک در کاهش آبشستگی تکیه گاه پل دانشگاه چمران, ۲۰۱۲.

[6] Y. Chiew, Scour Protection at Bridge Piers, Journal of Hydraulic Engineering Journal of Hydraulic Engineering, 118(9) (1992) 1260-1269.

[7] R. Ettema, Scour at bridge piers, Auckland, 1980.

[8] M.B. Mashahir, A.R. Zarrati, E. Mokallaf, Application of Riprap and Collar to Prevent Scouring around Rectangular Bridge Piers, J. Hydraul. Eng. Journal of Hydraulic Engineering, 136(3) (2010) 183-187.

[9] M.A.T. Moncada, J. Aguirre-Pe, J.C. Bolivar, E.J. Flores, Scour protection of circular bridge piers with collars and slots, J. Hydraul. Res. Journal of Hydraulic Research, 47(1) (2009) 119-126.

[10] A.J. Raudkivi, Loose boundary hydraulics, Balkema, Rotterdam; Brookfield, VT, 2002.

[11] C.P. Singh, B. Setia, D.V.S. Verma, Collar-Sleeve Combination as a Scour Protection Device around a Circular Pier, PROCEEDINGS OF THE CONGRESS- INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HYDRAULIC RESEARCH, D/2(Conf 29) (2001) 202-209.

[12] A.R. Zarrati, H. Gholami, M.B. Mashahir, Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers, Journal of Hydraulic Research, 42(1) (2004) 97-103.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

Z. Taheri, M. Ghomeshi, Experimental Study of the Effect of Netted Collar position on Scour Depth Around Oblong-Shape Bridge Pier ,*Amirkabir J. Civil Eng.*, 51(2)(2019)257-265.

DOI: 10.22060/ceej.2017.13352.5388