



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

زهرا طاهری<sup>۱</sup>، مهدی قمشی<sup>۲\*</sup>

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

### 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).

**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 گرفته است. آزمایش‌های صورت گرفته در این راستا در فلولمی 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 ۳، ۵۰، ۷۰ و درصد بازشدگی در چهار موقعیت شامل روی سطح بستر، ۱/۲B زیر سطح بستر (B: عرض پایه) ۵/۵B، و B بالای سطح بستر قرار داده شدند. نتایج نشان داد که تراز سطح بستر و زیربستر بهترین موقعیت برای نصب طوقه‌ها بود. در سطح بستر طوقه ساده راندمان ۱۰۰ درصد و طوقه ۷۰ درصد مشبک راندمان ۹۲ درصد در کاهش آبشستگی داشت. در زیربستر نیز عملکرد همه‌ی طوقه‌ها مانند هم بود و باعث کاهش ۸۸ درصد عمق آبشستگی شدند.

### 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 شده است. 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 گرفته است که در ادامه برخی از آن‌ها بیان شده‌اند. اتما (۱۹۸۰)<sup>۱</sup> 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)<sup>۲</sup> هم چنین تأثیر طوقه‌های محافظ را در کاهش آبشستگی پایه‌های پل مورد بررسی قرار داد. او به این نتیجه رسید که طوقه به اندازه دو برابر قطر پایه، عمق آبشستگی را به میزان ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. او اظهار داشت طراحی و کاربرد درست طوقه می‌تواند جایگزین مناسبی برای سنگ چین در حل مشکلات آبشستگی پایه‌های پل باشد. رادکیوی (۱۹۹۸)<sup>۳</sup> اظهار داشت در اثر جدایی جریان از کنارهای پایه پل، گردابه‌هایی 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 نعل اسبی 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 تعادل می‌رسد. شکل ۱ الگوی جریان و حفره آبشستگی موضعی اطراف پایه پل استوانه‌ای را نشان می‌دهد. سینگ و همکاران (۲۰۰۱)<sup>۴</sup> نیز نشان دادند هرچه فاصله بین تراز بستر و تراز نصب پایه بیشتر شود حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد.

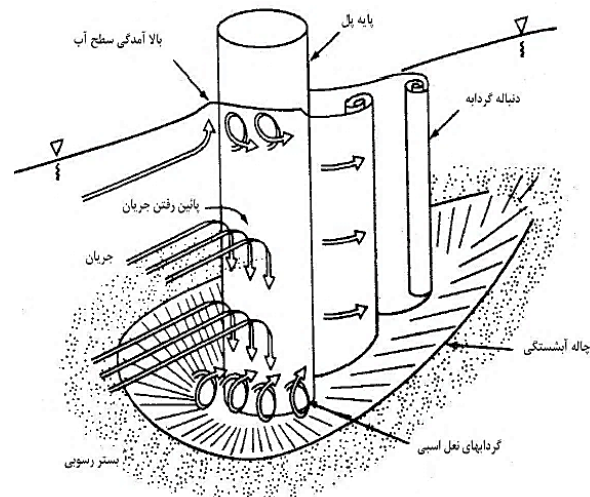
2 Chiew (1992)  
 3 Raudkivi (1998)  
 4 Singh et al (2001)

1 Ettema (1980)

نویسنده عهده دار مکاتبات: ghomeshi@scu.ac.ir

با دو و سه برابر قطر پایه و هم‌مرکز با پایه، و طوقی با سه برابر قطر پایه و نا هم‌مرکز 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 طوق‌هایی 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 تکیه‌گاه 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 ۵B/۲۰ در اطراف پایه استوانه‌ای قرار دادند و آزمایش‌های خود را در اعداد فرود ۱۹/۰، ۱۶/۰ و ۱۳/۰ انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در عدد فرود ۱۳/۰ 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



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

### Flow pattern and scour hole around bridge pier

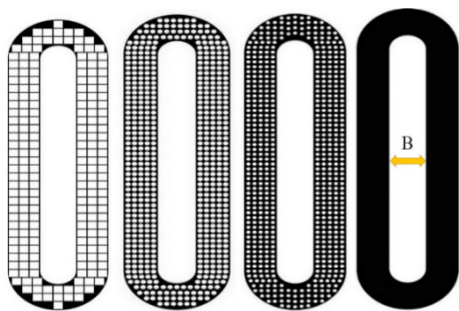
بهترین محل برای نصب طوقه در آزمایش‌های او ۱D/۰ (قطر پایه) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوقه‌ای با دو برابر قطر پایه آبشستگی را به میزان ۹۱٪ کاهش داد. طوقه‌ها با ابعاد ۱/۵، ۲، ۲/۵ برابر قطر پایه در سطح بستر ۵، ۶۸، ۱۰۰ درصد آبشستگی را در مقایسه با پایه بدون طوقه کاهش دادند. زراتی و همکاران (۲۰۰۴) در 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) 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 می‌تواند آبشستگی اطراف پایه پل را ۵۵ تا ۹۶ درصد کاهش دهد. مشاهیر و همکاران (۲۰۱۰) 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 تاثیر نسبت ابعادی پایه، استفاده از طوقه در تراز سطح بستر می‌تواند 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، تاثیر طوقه بر لایه سنگ‌چین کاهش می‌یابد. بلوچی و همکاران (۱۳۸۶) نیز آزمایش‌هایی را در حضور طوقه برای کاهش آبشستگی انجام دادند. آن‌ها از طوق‌هایی

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

قبل از ورود آب به کانال دوشیر وجود دارد که توسط آن هادی ورودی به کانال تنظیم می شود یکی شیر پروانه ای که میزان دبی ورودی از پمپ را تنظیم می کند و دیگری شیر کشویی که میزان ورود جریان به داخل کانال را تنظیم می کند. یک مخزن آرام کننده جریان نیز در انتهای فلوم قرار دارد تا جریان بعد از عبور از روی دریاچه انتهایی وارد آن شود و توسط لوله هایی وارد مخزن ذخیره آب شود و به این ترتیب سیستم گردش آب کامل شود. اولین قدم در مراحل انجام آزمایش ها تعیین ابعاد مدل و هم چنین تعیین پارامترهای موثر بر حداکثر عمق آبشستگی که در ادامه به توضیح آن ها پرداخته شده است.

### الف) ابعاد مدل

در انتخاب عرض مدل پایه، باید اثر جانبی عرض دیواره های فلوم بر روی آبشستگی پایه پل در نظر گرفته شود. طبق نتایج رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) نسبت عرض پایه به عرض کانال باید حداکثر ۱۶/۰ باشد. طبق توصیه های چيو و ملویل (۱۹۸۷) قطر پایه حداکثر باید برابر ۱۰ درصد عرض فلوم باشد. در نتیجه پایه دوکی شکل با عرض ۲/۵ سانتی متر و طول ۲۲/۵ سانتی متر انتخاب شد. جنس دیواره های پایه، پلکسی گلاس و دماغه ای 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 طوقه هایی با ابعاد ۶۷/۵ × ۷/۵ در آزمایش ها استفاده شد. طوقه ها از جنس پلکسی گلاس و با ضخامت ۳ میلی متر بودند. در آزمایش ها از ۴ نوع طوقه با بازشدگی ۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ درصد استفاده شد که تصاویری از طوقه های مورد استفاده را در شکل ۳ مشاهده می کنید. در شکل ۴ نیز تصویری از طوقه نصب شده روی پایه در آزمایش را مشاهده می کنید.



شکل ۳. نمایی از طوقه های 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)

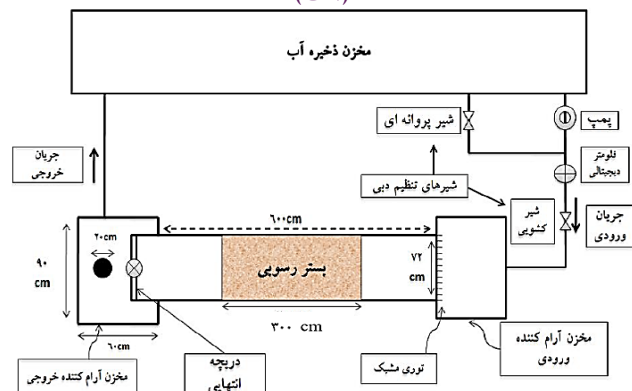
از عواملی که تاثیر زیادی بر روی عملکرد طوقه دارد موقعیت قرارگیری طوقه بر روی پایه است، لذا در این تحقیق به بررسی اثر موقعیت طوقه مشبک بر کاهش آبشستگی پایه پل دوکی شکل پرداخته شده است.

### ۲- مواد و روش ها

آزمایش های انجام شده در این پژوهش در آزمایشگاه مدل های 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 شده است.



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

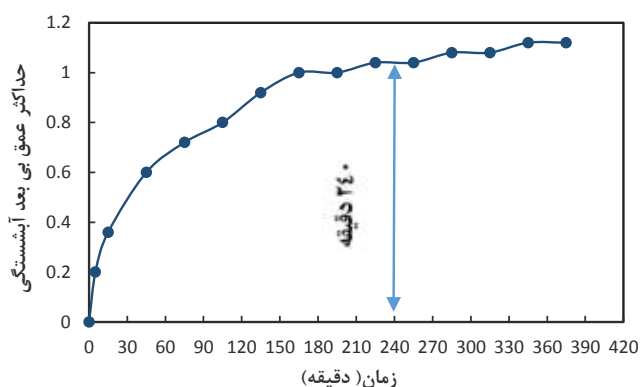
کانال نشان داده شده در تصویر دارای طول ۶ متر، عرض ۷۳ سانتی متر و ارتفاع ۶۰ سانتی متر بود و شبیه نزدیک به صفر داشت. جنس دیواره های این کانال از شیشه سیکوریت با ضخامت ۱۰ میلی متر و اسکلت کانال فلزی می باشد. در ابتدای کانال یک مخزن آرام کننده جریان قرار داشت تا از ورود تلاطم به داخل کانال جلوگیری کند. اندازه گیری دبی توسط یک فلومتر دیجیتالی انجام می شد. از یک دریاچه کشویی که در انتهای کانال قرار داشت برای تنظیم عمق آب در کانال استفاده می شد.

1 sikurite

نظر ملویل و چپو (۱۹۹۹) برای تعیین عمق جریان حداکثر تنش برشی در شرایط آب زلال باید بررسی شود. هنگامی که سرعت متوسط جریان در بازه  $0.3V_c < V < V_c$  قرار داشته باشد آبشستگی در شرایط آب زلال رخ می‌دهد و اگر سرعت متوسط جریان بیش از سرعت بحرانی باشد، آبشستگی در حالت بستر زنده روی 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 تغییر عمق در حین آزمایش انجام شد و شرایطی که در آن ذرات شروع به حرکت می‌کنند ثبت شد و با متوسط گیری از آن‌ها سرعت  $0.23$  به عنوان سرعت آستانه حرکت در نظر گرفته شد و آزمایش‌ها در شرایط عمق جریان  $V/V_c = 0.91$  و  $19\%$  عدد فرود، عدد لیتز برثانیه، عدد فرود  $0.19$  و  $V/V_c = 0.91$  انجام شدند.

#### د) مدت زمان آزمایش‌ها

آبشستگی در اطراف پایه‌های پیل، پدیده‌ای است که با گذشت زمان توسعه پیدا می‌کند و سپس به تعادل می‌رسد. تخمین زمان تعادل آبشستگی پایه پیل در آزمایش‌های 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 از ۹۰ درصد آبشستگی کل اتفاق افتاده است.



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

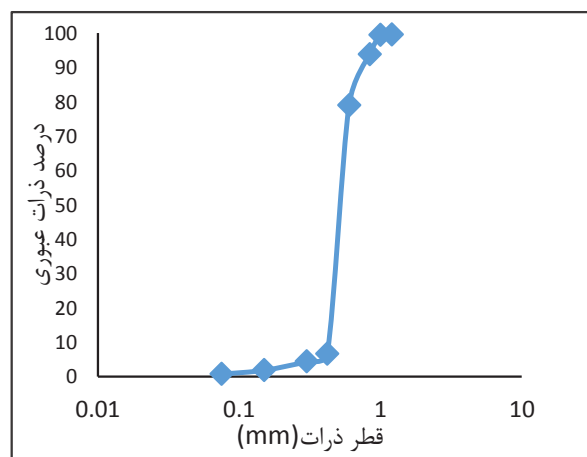
در شروع هر آزمایش ابتدا سطح رسوبات را با اسفنج و متر لیزری تسطیح کرده و سپس دریچه‌ی کشویی که در انتهای مجرای کانال قرار داشت را به طور کامل بسته و آب با دبی کم وارد کانال شد تا از ایجاد فرسایش اولیه و ایجاد خطا در آزمایش‌ها جلوگیری شود. بعد از چند دقیقه که جریان آب حدود یک سانتی متر از سطح بستر را پوشاند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



شکل ۴. 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 حداکثر عمق آبشستگی در اطراف پایه پیل ایجاد شود (ملویل (۱۹۹۷)). در رابطه با این موضوع لی و استورم (۲۰۰۹) حداقل مقدار  $D/d_{50}$  را برابر ۲۵ اعلام کردند. برای از بین بردن اثر غیر یکنواختی ذرات بر آبشستگی انحراف معیار هندسی ذرات طبق نظر چپو و ملویل باید از ۳ کمتر باشد. رسوبات مورد استفاده در آزمایش‌های این تحقیق دارای قطر متوسط  $0.5$  میلی‌متر و انحراف معیار  $1/2$  و نسبت  $B/d_{50} = 50$  (عرض پایه) است که در یک بازه‌ی سه متری به ارتفاع  $10$  سانتی متر از فوم استفاده شدند. منحنی دانه بندی این رسوبات در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. منحنی دانه بندی ذرات رسوبی  
Sediment particle gradient curve

#### ج) عمق و سرعت جریان

عمق و سرعت جریان نیز از پارامترهایی هستند که بر عمق آبشستگی تأثیرگذار هستند. لذا در تعیین آن‌ها باید به این نکات توجه کرد. طبق نظر چپو (۱۹۹۵) و اتما (۱۹۸۰) برای جلوگیری از تأثیرات عمق جریان بر عمق آبشستگی، عمق جریان باید بیش از سه برابر عرض پایه باشد. طبق

در این رابطه : حداکثر عمق آبشستگی در آزمایش های شاهد و : حداکثر عمق آبشستگی در حضور طوقه مشبک می باشد.

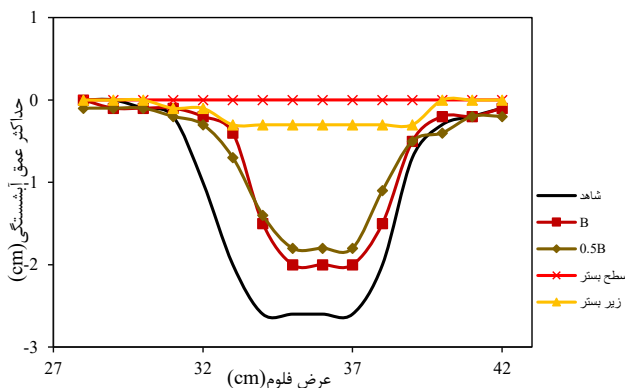
**جدول ۱. درصد کاهش عمق آبشستگی طوقه ساده و مشبک نسبت به آزمایش شاهد**

**Percent reduction in the scour depth of the simple and netted collars compared to no collar case**

درصد کاهش عمق آبشستگی R.٪				
موقعیت قرارگیری	طوقه ساده	طوقه ۳۰ درصد مشبک	طوقه ۵۰ درصد مشبک	طوقه ۷۰ درصد مشبک
B/۱۲٪ زیر بستر	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸
سطح بستر	۱۰۰	۸۵	۶۵	۹۲
B/۵٪ 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 گرداب های نعل اسبی 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 می شوند. 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 ارتفاع های B/۵ و B بالای سطح بستر به دلیل قوی بودن جریان های گردابی و نعل اسبی 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 شده است.



**شکل ۷. تاثیر ارتفاع نصب طوقه ساده بر توسعه حفره آبشستگی**  
**The effect of the installation height of the simple collar on latitudinal scouring development**

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 می شد و بعد از گذشت چند دقیقه که آب موجود در کانال زهکشی شد حداکثر عمق و توپوگرافی بستر توسط متر لیزری برداشت می شد.

**۳- تحلیل ابعادی**

پارامترهای زیادی در فرآیند آبشستگی دخالت دارند، با مشخص کردن آن ها و تجزیه و تحلیل می توان یک رابطه کلی بدست آورد که شامل پارامترهای بدون بعد باشد. عواملی که در آزمایش های این تحقیق تأثیر گذار هستند در رابطه ۱ نشان داده شده اند.

$$f(d_s, \gamma, D_{50}, v, g, t, \rho, \rho_s, \theta, C_D, l, B, t_c, B_c, Z_c, l_c, \sigma, \alpha) = 0 \quad (1)$$

که در این رابطه  $d_s$ : حداکثر عمق آبشستگی،  $\gamma$ : عمق جریان،  $D_{50}$ : قطر متوسط رسوبات بستر،  $v$ : سرعت جریان،  $\theta$ : شتاب ثقل،  $t$ : زمان،  $\rho$ : چگالی سیال،  $\rho_s$ : چگالی رسوبات بستر،  $\theta$ : 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،  $\sigma$ : انحراف معیار ذرات رسوبی و  $\alpha$ : درصد بازشدگی طوقه هستند. با استفاده از روش باکینگهام<sup>۱</sup> و انتخاب پارامترهای  $\rho, v$  و  $\gamma$  به عنوان پارامترهای تکراری پارامترهای بی بعد به صورت رابطه ۲ به دست می آیند.

$$f\left(\frac{Z_c}{y}, \frac{l}{y}, \frac{B}{y}, \frac{B_c}{y}, \frac{l_c}{y}, \frac{t_c}{y}, \frac{D_{50}}{y}, \frac{d_s}{y}, \frac{tv}{y}, \sigma, \alpha, C_D, Fr, Re, G_s\right) = 0 \quad (2)$$

بعد از حذف پارامترهای ثابت در این تحقیق رابطه بی بعدی بعد از حذف پارامترهای ثابت در این تحقیق رابطه بی بعدی بدست می آید.

$$\frac{d_s}{B} = f\left(\frac{Z_c}{B}, \alpha\right) \quad (3)$$

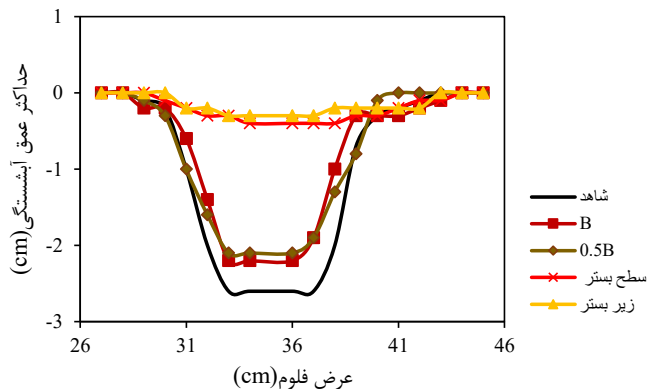
**۴- نتایج و بحث**

در این تحقیق آزمایش هایی 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. طوقه ها در چهار تراز B/۵ و B بالای سطح بستر، روی سطح بستر و B/۱۲٪ زیر سطح بستر قرار گرفتند و عملکرد آن ها در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و عدد فرود ۰/۱۹ بررسی شد. در ابتدا آزمایشی به منظور مشاهده تأثیر جریان های گردابی اطراف پایه پل و برداشت حداکثر عمق آبشستگی برای مقایسه با نتایج حاصل از آزمایش های دیگر انجام شد. درصد کاهش عمق آبشستگی برای طوقه ساده و طوقه های مشبک نسبت به آزمایش شاهد با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شده است و نتایج به دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است.

$$R = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 \quad (4)$$

1 Buckingham

همانند طوقه ساده عمل کرده و باززدگی 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 باززدگی در سطح طوقه مقدار کمی آبشستگی مشاهده شد. در موقعیت های ۵B و ۰/۵B بالای بستر میزان توسعه حفره ی آبشستگی تقریباً مشابه طوقه ساده بود و در واقع بیانگر این است که تأثیر این دو طوقه بر روی جریان های اطراف پایه همانند هم می باشد.



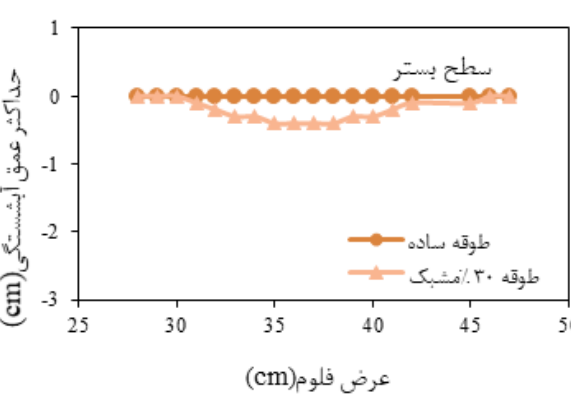
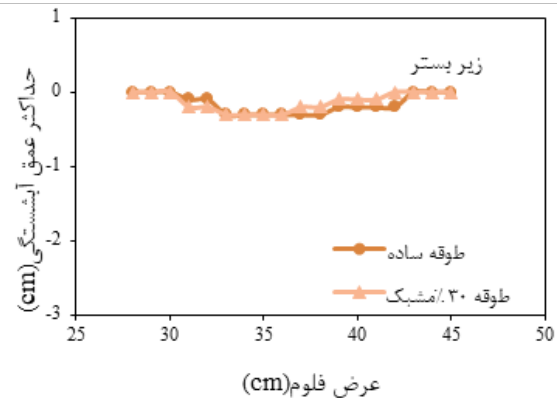
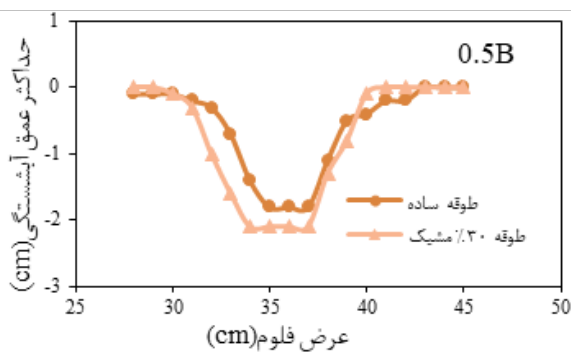
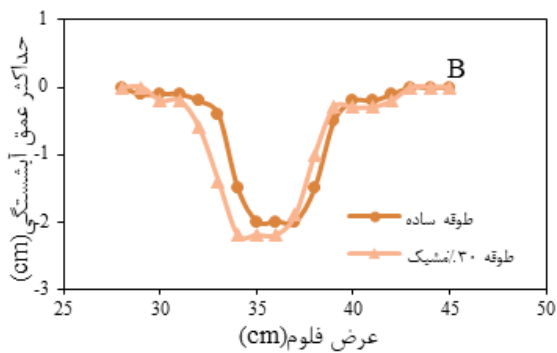
شکل ۸. تأثیر ارتفاع نصب طوقه ۳۰٪ مشبک بر توسعه عرضی حفره آبشستگی

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

**طوقه ۳۰ درصد مشبک:**  
تأثیر مشبک شدن طوقه روی لایه مرزی همانند زبری است به این نحو که باززدگی ها یا زبری ها باعث ایجاد آشفتنگی در جریان لایه مرزی اطراف طوقه می شوند و مومنوم جریان در نزدیکی جداره افزایش می یابد در نتیجه تمایل جریان برای جدایی از سطح طوقه کم می شود و از قدرت جریان گردابی کاسته شده و آبشستگی کاهش می یابد.

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

برای مقایسه عملکرد طوقه ۳۰ درصد مشبک نسبت به طوقه ساده در موقعیت های مختلف، توسعه ی عرضی آبشستگی آن ها در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به آن طوقه ۳۰ درصد مشبک در زیر بستر

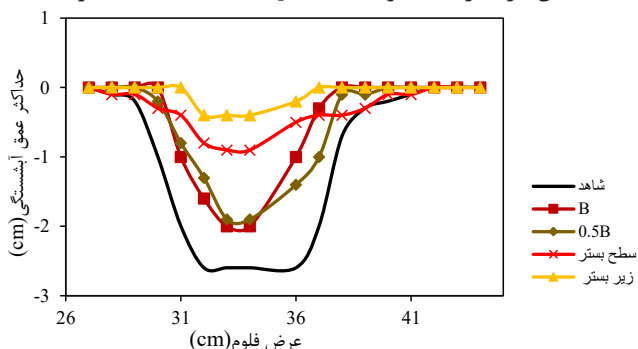


شکل ۹. تأثیر طوقه های ساده و ۳۰٪ مشبک بر توسعه ی حفره آبشستگی در موقعیت های مختلف

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

**طوقه ۵۰ درصد مشبک:**

و به یک حالت تعادلی رسید و تشکیل حالتی قرینه در اطراف پایه دادند. با قرار دادن طوقه ۵۰ درصد مشبک در ارتفاعهای ۵B و B بالای بسترو روی سطح بسترباعث تضعیف جریانهای نعل اسبی 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 ۵B/۱۲٪ زیربستر 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 حالت‌های بیشتر شد.

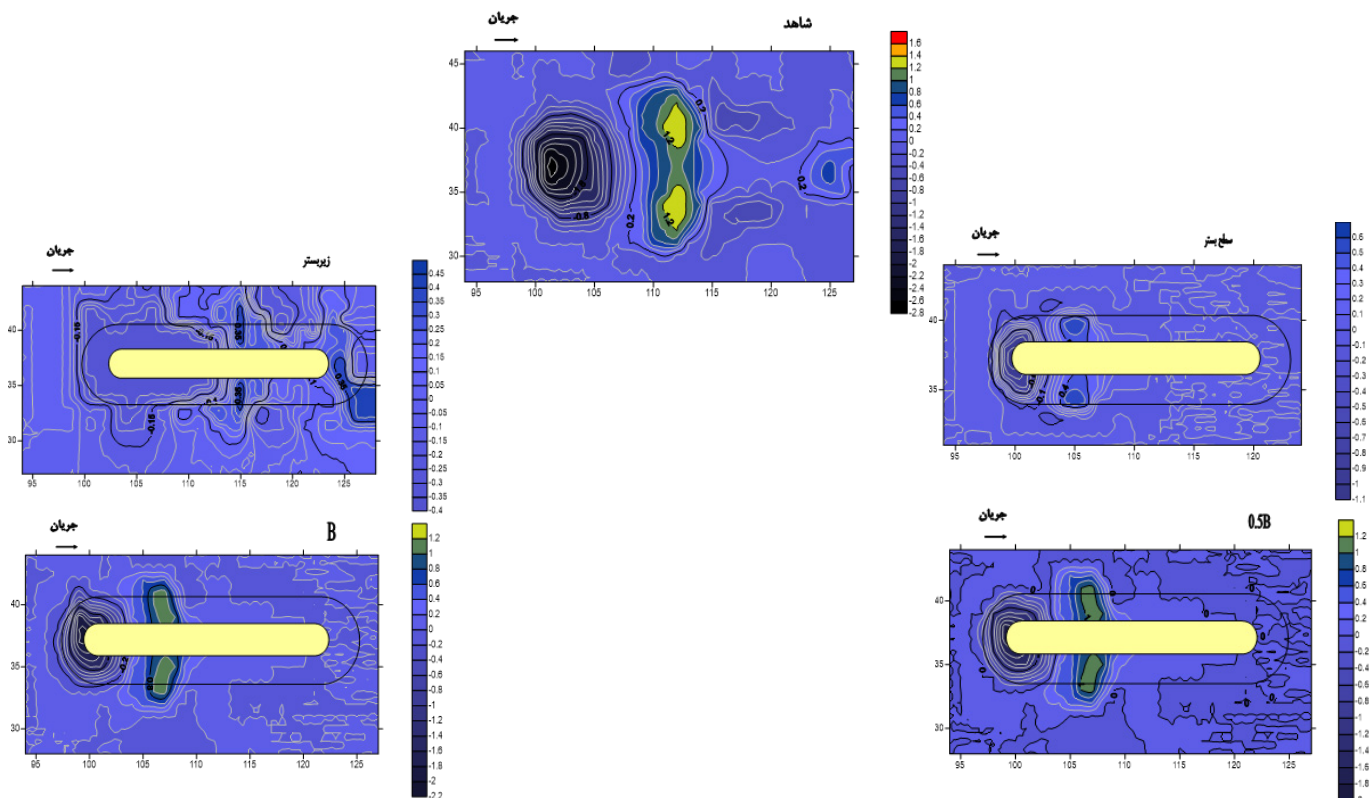


**شکل ۱۰. تاثیر ارتفاع نصب طوقه ۵۰٪ مشبک بر توسعه عرضی آبشستگی**

**The effect of the installation height of the 50% netted collar on latitudinal scouring development**

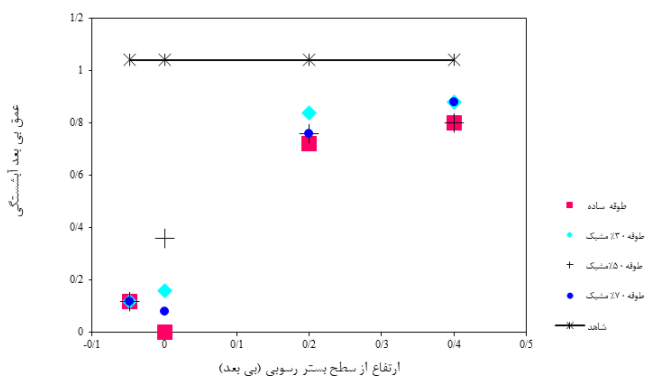
با نصب طوقه ۵۰٪ مشبک در سطح بسترباعث کاهش ۶۵ درصد عمق آبشستگی نسبت به آزمایش شاهد شد. در ارتفاع ۵B/۱۲٪ زیربستر نیز مانند طوقه ساده تنها قسمتی از رسوبات که روی طوقه قرار داشتند شسته شدند که خود جزئی از آبشستگی محسوب می‌شدند. با افزایش ارتفاع از سطح بسترتا ارتفاع B حداکثر عمق آبشستگی افزایش پیدا کرد. در ارتفاعهای ۵B و B از سطح بسترحداکثر عمق آبشستگی به ۲۷ و ۲۳ درصد کاهش یافت. در ارتفاعهای 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 شده است.

در شکل ۱۱ منحنی‌های تراز مربوط به قرارگیری طوقه ۵۰ درصد مشبک در موقعیت‌های مختلف، که با نرم افزار Surfer ترسیم شده‌اند و برای درک بهتر نحوه‌ی فرسایش و رسوبگذاری در موقعیت‌های مختلف نشان داده شده است. 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



**شکل ۱۱. منحنی‌های تراز طوقه ۵۰ درصد مشبک در موقعیت‌های مختلف netted collar level curves in different positions %50**

بستر عملکرد همه‌ی طوقه‌ها مانند هم بوده‌است و درصد بازشدگی تأثیری بر حداکثر عمق آبشستگی نداشت. در سطح بستر طوقه ساده و ۷۰،۳۰ درصد مشبک عملکرد بسیار خوبی داشتند و تنها طوقه ۵۰ درصد مشبک نسبت به آن‌ها در سطح بستر حداکثر عمق بی بعد آبشستگی را افزایش داد. در موقعیت  $B/5$  و 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.

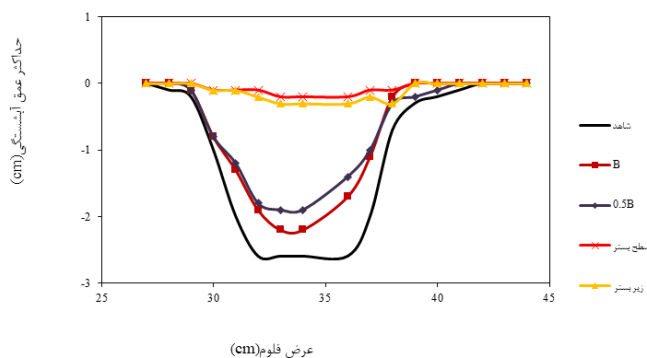


**شکل ۱۴. تغییرات عمق بی بعد آبشستگی نسبت به ارتفاع از سطح بستر رسوبی**  
**Change in dimensionless depth scour relative to the height of the sedimentary bed surface**

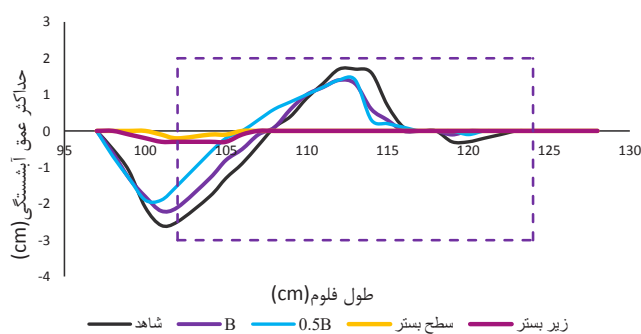
به منظور مقایسه آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق با مطالعات دیگر محققین، مقایسه‌ای بین عملکرد طوقه ۳۰ درصد مشبک در موقعیت‌های مختلف در اطراف پایه دوکی با پایه مکعبی (جلیلی و قمشی، ۱۳۹۲) و پایه استوانه (همتی و همکاران، ۱۳۹۴) انجام شده‌است که نتایج آن در شکل ۱۵ نشان داده شده‌است. آزمایش‌های جلیلی و قمشی (۱۳۹۲) بر روی پایه مکعبی و در سه موقعیت سطح بستر،  $B/2.5$  و بالای بستر و  $B/5$  و بالای بستر (عرض پایه مکعبی) و آزمایش‌های همتی و همکاران (۱۳۹۴) بر روی پایه استوانه‌ای و در سه موقعیت  $D/1$ ،  $D/5$  و  $D/10$  زیر سطح بستر (D: قطر پایه استوانه‌ای) بودند. با توجه به نمودار شکل ۱۵ در پایه‌های دوکی شکل، استوانه‌های 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  $B/1$  زیر بستر نیز عملکرد پایه دوکی شکل و استوانه‌ای نزدیک به هم بوده‌است.

**طوقه ۷۰ درصد مشبک:**

آزمایش‌ها نشان دادند با نصب طوقه‌ای با ۷۰ درصد بازشدگی در سطح بستر به خوبی آبشستگی اطراف پایه پل را کاهش داده‌است به نحوی که باعث کاهش ۹۲ درصدی حداکثر عمق آبشستگی نسبت 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 به طوری که در ارتفاع‌های  $B/5$  و بالای بستر فقط ۲۷ و ۱۵ درصد عمق آبشستگی را کاهش داد. با قرار دادن طوقه ۷۰ درصد مشبک در موقعیت  $B/12$  زیر بستر نیز تنها قسمتی از رسوبات که روی طوقه قرار داشتند شسته شدند که خود جزئی از آبشستگی محسوب می‌شدند. تأثیر ارتفاع نصب طوقه ۷۰ درصد مشبک بر توسعه عرضی و طولی آبشستگی در شکل ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده‌است.



**شکل ۱۲. تأثیر 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. تأثیر ارتفاع نصب طوقه ۷۰٪ مشبک بر توسعه طولی آبشستگی**  
**The effect of 70% netted collar placed on longitudinal scouring development**

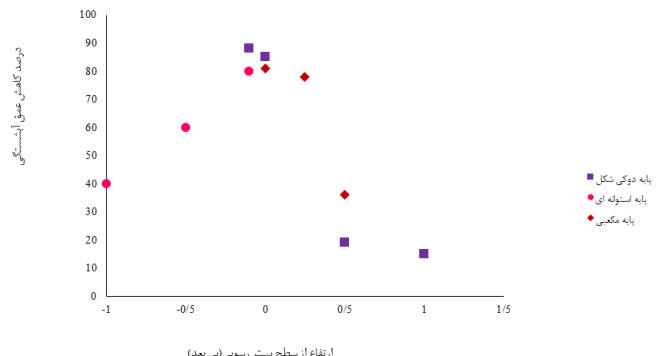
شکل ۱۴ تغییرات عمق بی بعد آبشستگی  $d_s / B$  را نسبت به ارتفاع از سطح بستر رسوبی  $Z_c / B$  برای کلیه‌ی طوقه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود در ارتفاع  $B/12$  زیر



در تراز سطح بسترو زیربسترو می باشد که در این موقعیت ها می توان از طوقه با درصد بازشدگی بالا استفاده نمود.

### مراجع

- [۱] م. بلوچی، م. چمنی، م. بیرامی، بررسی اثر تغییر شکل طوق بر روند و میزان آبشستگی موضعی، ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، انجمن هیدرولیک ایران، ۱۳۸۶.
- [۲] ه.ث. خانی، ع.ح.ز. دلیر، د.ف. زاده، ا.ف. فرد، ا.ح. ناظمی، ف. سلماسی، کاربرد طوق های مستطیلی و دایره ای در کاهش آبشستگی پایه های پل، دانش کشاورزی، 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.



شکل ۱۵. مقایسه عملکرد پایه دوقی شکل با پایه استوانه های و مکعبی در موقعیت های مختلف  
Comparison of oblong pier with cylindrical and cubic pier in different position

### ۵- نتیجه گیری

در مطالعه ای حاضر به بررسی اثر موقعیت قرارگیری طوقه های مشبک با سه درصد بازشدگی ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد و طوقه ساده در اطراف پایه پل دوقی پرداخته شده است. نتایج حاصله از این تحقیق به شرح زیر هستند:

- ۱) نصب طوقه مشبک تکنیک مناسبی جهت کاهش آبشستگی موضعی پیرامون پایه پل دوقی می باشد.
- ۲) هر چه تراز نصب طوقه مشبک نسبت به بسترو کاهش یابد عملکرد طوقه مشبک افزایش می یابد.
- ۳) بالاترین راندمان در آزمایش ها به ترتیب مربوط به نصب طوقه ساده در سطح بسترو با راندمان ۱۰۰ درصد، طوقه ۷۰ درصد در سطح بسترو با راندمان ۹۲ درصد و سپس همه ی طوقه ها با راندمان ۸۸ درصد در زیر بسترو بود در واقع با افزایش درصد بازشدگی طوقه تا ۷۰ درصد در تراز زیر بسترو تأثیری در عملکرد طوقه مشاهده نشد.
- ۴) در طوقه های زیر بسترو، مصالح روی طوقه به سرعت شسته شده که در حقیقت جزئی از آبشستگی محسوب می شوند و بنابراین در ترازهای زیر بسترو باید ارتفاع نصب طوقه را کمتر در نظر گرفت. زیرا طوقه نمی توانمی تواند از رسوباتی که بر روی آن قرار دارند محافظت کند.
- ۵) عملکرد طوقه ها در ترازهای 0/5B و بالای B بسترو نسبت به تراز سطح بسترو و زیر بسترو کاهش یافت اما در این موقعیت ها درصد بازشدگی طوقه تأثیر زیادی بر عملکرد طوقه ها نداشت.

در مجموع می توان گفت بهترین موقعیت نصب طوقه های مشبک

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