



ارزیابی و مقایسه عملکرد شکاف و طوقه در کاهش آبستگی در اطراف تکیه گاه های پل

مهدی اسروش^۱، سید عباس حسینی^۲، امیرعباس کمان بدست^۳

^۱ دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۳ گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۱۰-۱۱

بازنگری: ۱۳۹۷-۱۱-۲۲

پذیرش: ۱۳۹۷-۱۱-۲۰

ارائه آنلاین: ۱۳۹۷-۱۲-۲۲

کلمات کلیدی:

تکیه گاه پل

آبستگی موضعی

شکاف

طوقه

بستر فرسایش پذیر

خلاصه: تخریب پل ناشی از پدیده آبستگی موضعی در اطراف پایه ها یا تکیه گاه های آن یک پدیده رایج می باشد. به همین منظور می بایست با استفاده از روش هایی از تخریب این سازه ها جلوگیری کرد. از جمله ابزارهایی که بدین منظور می توان استفاده کرد، شکاف و طوقه می باشند. لذا در این پژوهش با انجام ۴۹ آزمایش به بررسی و مقایسه عملکرد این دو ابزار با رویکرد های جدید در اطراف تکیه گاه های پل با استفاده از مدل آزمایشگاهی در شرایط جریان های مختلف خواهیم پرداخت. نتایج نشان می دهد که مؤثرترین مدل شکاف علیرغم اینکه می تواند ابعاد و عمق چاله آبستگی را به میزان ۶۱ درصد کاهش دهد، ولیکن قادر به تعویق انداختن زمان شروع پدیده آبستگی و دور کردن چاله آبستگی از اطراف تکیه گاه نمی باشد. در صورتی که در مؤثرترین طوقه و بیشترین عدد فرود، زمان رسیدن چاله آبستگی به نقطه مبناء بعد از سپری شدن ۱۲۰ دقیقه از شروع آزمایش می باشد. در این مدل طوقه، ماکزیمم عمق چاله آبستگی به نقطه دورتری از تکیه گاه منتقل شده و درصد کاهش عمق چاله آبستگی در نقطه مبناء و بستر فرسایش پذیر به ترتیب ۹۶ و ۵۶ درصد می باشد.

۱- مقدمه

محققینی نظیر دانگل^۱ و ملویل^۲، احمد^۳ و راجاراتنام^۴ [۵] و دی^۵ و باربویا^۶ [۶] نشان می دهد که در اطراف تکیه گاه ها و پایه های پل فرآیند آبستگی مشابه می باشد. ولیکن اثرات لایه مرزی ناشی از دیواره کانال در بالادست تکیه گاه، باعث می گردد شرایط پیچیده تری در اطراف تکیه گاه پل در شرایط مشابه حاکم گردد [۷]. مطالعات انجام شده توسط ملویل بر روی آسیب ۱۰۸ پل که در فاصله سال های ۱۹۸۴-۱۹۶۰ در نیوزلند رخ داد، ۲۹ مورد رخ داده مربوط به آبستگی در اطراف تکیه گاه های پل بوده است [۸] بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، حفاظت از تکیه گاه های پل در مقابل آبستگی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می باشد. برای کنترل آبستگی در

چنانچه سازه هیدرولیکی نظیر پایه یا تکیه گاه پل در برابر جریان آب قرار بگیرد، الگوی جریان در نزدیک سازه تغییر کرده و باعث ایجاد پدیده آبستگی به صورت موضعی در پیرامون این سازه ها می گردد [۱] وقوع پدیده آبستگی در اطراف پایه ها و یا تکیه گاه های پل یکی از اصلی ترین دلایل تخریب پل ها محسوب می گردد. از مهم ترین عوامل آبستگی موضعی که باعث ایجاد حفره هایی در اطراف تکیه گاه های پل می باشند، جریان رو به پایین، جریان کمائی، گرداب نعل اسبی، گرداب ثانویه و گرداب برخاستگی محسوب می گردند [۲ و ۳] تحقیقات انجام شده در زمینه پدیده آبستگی، توسط

- 1 Dongol
- 2 Ahmed
- 3 Rajaratnam
- 4 Dey
- 5 Barbhuiya

* نویسنده عهده دار مکاتبات: abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir



اطراف تکیه گاه های پل، روش های مختلفی ارائه گردیده است که از جمله آن ها می توان به شکاف و طوقه اشاره کرد.

شکاف یک بازشدگی در عرض بدنه پایه پل یا تکیه گاه پل است که می تواند بخشی از جریان آب از درون آن عبور کند [۹]. این روش با منحرف کردن جریان های رو به پایین در قسمت بالادست تکیه گاه، به سمت پایین دست و جریان های کناری در اطراف تکیه گاه های پل می تواند از تنش های برشی در کف مسیر جریان و نواحی تنش های برشی بحرانی کاسته و قدرت گردابه های مخرب صورت گرفته در اطراف سازه کاهش پیدا می کنند [۱۰].

از سوی دیگر یکی از دیگر از راهکارهای کاهش عوامل فرسایش، استفاده از یک صفحه به نام طوقه می باشد که در اطراف تکیه گاه یا پایه های پل نصب می گردد. این صفحه محافظ به صورت یک سطح صاف و دارای ضخامت بسیار کم می باشد که با حفاظت تکیه گاه در مقابل جریان های رو به پایین و تضعیف گرداب های نعل اسبی در کاهش توسعه ی آبشستگی مؤثر می باشد [۱۱] در زمینه استفاده از شکاف و طوقه به منظور کاهش آبشستگی پژوهش هایی توسط محققین در طی سالیان صورت پذیرفته است.

چپو^۱ [۱۲] تأثیر شکاف پایه را در کاهش عمق آبشستگی موضعی اطراف یک پایه پل دایروی مورد بررسی قرار داد. نتایج وی نشان داد که با ایجاد یک شکاف به عرض ۰/۲۵ برابر قطر پایه پل و ارتفاع شکاف بیش از ۲ برابر قطر پایه، در حالت شکاف نزدیک بستر به میزان ۲۰ درصد و نزدیک به سطح آب تا ۵ درصد می تواند میزان عمق آبشستگی را کاهش دهد. کومار^۱ و همکاران [۱۰] با ایجاد شکاف هایی به عرض ۰/۲۵ قطر پایه و ارتفاع های مختلف در پایه های میانی به این نتیجه رسیدند که افزایش ارتفاع شکاف باعث کاهش عمق آبشستگی خواهد شد و چنانچه ارتفاع شکاف بیش از عمق جریان گردد تأثیر بیشتری در کاهش عمق آبشستگی دارد. کایاترک^۲ [۱۳] به بررسی تأثیر طوقه در کاهش آبشستگی اطراف تکیه گاه های پل پرداخت. نتایج نشان داد طوقه علاوه بر این که باعث می شود عمق آبشستگی کاهش پیدا کند، باعث کم شدن سرعت توسعه حفره آبشستگی در طول زمان نیز می گردد. علاوه بر این با افزایش سائز طوقه، آبشستگی کاهش می یابد و طوقه هایی که در پایین تراز بستر قرار می گیرند از کارایی بالاتری برخوردار هستند.

1 Kumar
2 Kayaturk

گریمالدی^۳ و همکاران [۹] تأثیر استفاده از شکاف را در کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه های پل بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در بهترین حالت که شکاف به اندازه $\frac{1}{3}$ برابر عمق آب، به زیر بستر نفوذ کرده بود، توانست تا ۳۰ درصد از عمق آبشستگی کم کند. نفرج نوروز^۴ و همکاران [۱۴] تأثیر استفاده از شکاف را در کاهش آبشستگی در اطراف پایه پل بررسی نمودند. نتایج نشان داد که شکافی که دارای بیشترین ارتفاع می باشد که از سطح آب شروع شده و تا زیر بستر رسوبی تا حد قابل قبولی نفوذ کرده است، می تواند به میزان ۳۵ درصد از عمق آبشستگی کم کند. همچنین همین محققین در پژوهشی دیگر الگوی جریان در اطراف پایه پل دارای شکاف را مورد بررسی قرار دارند [۱۵]. مراد پور^۵ و همکاران [۶] به بررسی اثر نصب طوقه در کاهش آبشستگی تکیه گاه های قائم نیم دایره ای پل پرداختند. نتایج پژوهش های آنان نشان داد که طوقه های مختلف بین ۶۳/۵ تا ۱۰۰ درصد می تواند باعث کاهش آبشستگی در اطراف تکیه گاه پل گردد و طوقه می تواند عمق آبشستگی را به نقطه دورتری از تکیه گاه انتقال دهد. عالم^۶ و همکاران [۱۷] به بررسی تأثیر طوقه در کاهش تکیه گاه پل مستطیلی شکل در کانال مرکب در موقعیت های روی بستر و بالای بستر پرداختند. نتایج نشان داد استفاده از طوقه های قرا گرفته بر روی بستر دارای عملکرد بهتری می باشند، به طوری که می توانند تا ۹۴ درصد از عمق آبشستگی را کم کند. عالم [۱۸] تأثیر طوقه مشبک در کاهش آبشستگی در اطراف تکیه گاه پل را بررسی نمود. نتایج نشان داد که طوقه مشبک نه تنها می تواند از عمق آبشستگی اطراف تکیه گاه پل کم کند، بلکه در بسیاری از موارد نسبت به طوقه معمولی دارای عملکرد بهتری است. کومکو^۷ و همکاران [۱۹] با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی به بررسی حفاظت از تکیه گاه ها با دیواره قائم در برابر آبشستگی به کمک طوقه پرداختند. نتایج نشان داد که طوقه هایی که زیر بستر می توانند بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد از میزان آبشستگی را کاهش دهند بدون اینکه اندازه رسوبات بستر تأثیری در میزان آبشستگی داشته باشد. از طرفی بیان کردند که با استفاده از طوقه ها با ابعاد بزرگتر موقعیت ماکزیمم نقطه چاله آبشستگی از نزدیک تکیه گاه، به پایین

3 - Grimaldi
4 - Tafarajnoruz
5 - Moradpour
6 - Alem
7 - Kumcu

آبشکن و در نهایت باعث کاهش عمق آبشستگی می شود. همانطور که ملاحظه می گردد تاکنون پژوهش هایی در خصوص راهکارهای کاهش آبشستگی موضعی در اطراف پایه ها و یا تکیه گاه های پل و یا سایر سازه های هیدرلیکی نظیر آبشکن با استفاده از شکاف یا طوقه صورت پذیرفته است. اما در این پژوهش با استفاده از مدل آزمایشگاهی به بررسی و مقایسه عملکرد و مکانیزم دو ابزار شکاف و طوقه در کاهش آبشستگی در اطراف تکیه گاه پل مستطیلی شکل با دیواره قائم پرداخته خواهد شد. در خصوص استفاده از شکاف پژوهش های صورت گرفته فقط در مورد پایه های پل و یا آبشکن بوده و عمدتاً شکاف ها در مرکز محور طولی پایه قرار گرفته اند، لذا در این تحقیق برای اولین بار علاوه بر بررسی ابعاد و موقعیت شکاف در تکیه گاه پل، تأثیر موقعیت شکاف نسبت به نوک دماغه تکیه گاه نیز بررسی خواهد شد. در بیشتر پژوهش های صورت پذیرفته در خصوص طوقه ها نیز، وجوه قرار گرفته در بالا دست و پایین دست تکیه گاه به صورت متقارن و دارای ابعاد یکسان می باشند. ولیکن در این پژوهش با حذف بخشی از طوقه در وجه پایین دست و تغییر در ابعاد طولی و عرضی، تأثیر وجود یا عدم وجود این وجه طوقه با ساخت مدل های مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مشخصات فلوم

آزمایشات این پژوهش در فلومی مستقیم به طول ۱۳ متر، عرض ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۶ متر واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز انجام گردید. برای مشاهده تغییرات بستر رسوبی در همسایگی تکیه گاه، دیواره های کانال از جنس پلکسی گلاس و دارای ضخامت ۱ سانتیمتر ساخته شده است. فلوم در قسمت ابتدایی و انتهایی دارای مخزن بوده و بعد از مخزن ابتدایی یک سرریز مثلثی ۹۰ درجه برای اندازه گیری دبی جریان تعبیه گردیده بود. عمق آب در فلوم توسط یک دریچه کشویی که در انتهای کانال قرار داشت تنظیم می گردید. آب از طریق پمپ از مخزن اصلی آزمایشگاه توسط یک پمپ با حداکثر دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه پمپاژ شده و سپس وارد فلوم می گردد. جریان آب پس از عبور از قسمت انتهایی فلوم به مخزن انتهایی می رسد و دوباره از طریق ۲ لوله ۴ اینچ به مخزن اصلی آزمایشگاه انتقال می یافت و دوباره جریان با پمپ ادامه پیدا می کرد.

دست منتقل می شود. همچنین آن ها فقط با تغییر در ابعاد عرضی طوقه، نشان دادند که افزایش عرض طوقه در قسمت پایین دست تکیه گاه در کاهش آبشستگی اطراف تکیه گاه پل نقش مؤثری ندارد. خزیمه نژاد^۱ و قمشی^۲ [۲۰] تأثیر استفاده از طوقه های زبر در کاهش آبشستگی در اطراف تکیه گاه های پل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که طوقه های زبر در صورتی که در بالای بستر قرار گیرند، نسبت به طوقه های صاف از عملکرد مناسبتری برخوردارند. اما در صورتی که طوقه زبر در زیر بستر یا روی بستر قرار بگیرند، عملکردشان نسبت به طوقه های صاف محسوس نمی باشد.

مهرزاد^۲ و حکیم زاده^۴ [۲۱] تأثیر استفاده از شکاف را در کاهش آبشستگی در اطراف پایه های پل مخروطی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که با استفاده از پایه پل مخروطی با شیب های جانبی ۷۸/۹۰ عمق آبشستگی را می توان تا ۳۲ درصد کاهش داد. و عمق آبشستگی در صورتی که از شکافی با عرض ۰/۴ قطر پایه و ارتفاعی برابر با قطر پایه در موقعیت میانه سطح آب تا بستر رسوبی استفاده گردد می توان عمق آبشستگی را تا ۵۵ درصد کاهش داد. حاجی کندی^۳ و گل نبی^۶ [۲۲] تأثیر استفاده از شکاف های مستقیم، Y شکل و T شکل را بر کاهش آبشستگی در اطراف پایه های پل بررسی کردند. نتایج نشان داد که در شکاف های Y شکل، کاهش بین زاویه سطوح شکاف در پایین دست جریان باعث کاهش عمق آبشستگی می گردد. از سوی دیگر نتایج نشان می دهد که شکاف های مستقیم نسبت به شکاف های Y شکل مؤثرتر و شکاف های Y شکل نسبت به شکاف های T شکل دارای کارایی بیشتری می باشند. خسروی نیا^۴ و همکاران [۲۳] به تأثیر استفاده از طوقه های دوزنقه ای شکل در کاهش آبشستگی در تکیه گاه های دیوار باله ای پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش عرض طوقه، نه تنها زمان شروع آبشستگی به تأخیر می افتد بلکه از عمق آبشستگی نیز کاسته می شود. ضمناً با افزایش عرض طوقه، در تکیه گاه های کوتاه تر، عملکرد بهتری در کنترل آبشستگی حاصل می شود. و در حالت های مختلف درصد کاهش عمق آبشستگی از ۹ تا ۳۷ درصد متغیر بود. منصوری^۵ و همکاران [۲۴] با ایجاد بریدگی در لبه ابتدایی آبشکن به بررسی تأثیر بریدگی در کنترل آبشستگی سری آبشکن در خم رودخانه با استفاده از مدل آزمایشگاهی پرداختند. نتایج نشان داد که بریدگی، باعث کاهش تنش برشی در بالادست

1 - Khozayemehzhad

2 - Mehrzad

3 - Hajikandi

4 - Khosravinia

5 - Mansuri

در آزمایشات مربوط به شکاف ابتدا ۵ مدل شکاف واقع شده در نوک دماغه تکیه گاه با ابعاد و موقعیت های مختلف نسبت به بستر بررسی و در این حالت شکافی که دارای عملکرد بهتری باشد "شکاف بهینه شده نسبت به بستر" نامیده شده و سپس عملکرد شکافی با همین مشخصات نسبت به نوک دماغه تکیه گاه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در جداول ۳ و ۲ به ترتیب مدل های مختلف تکیه گاه های

جدول ۱. مشخصات جریان ها
Table 1. Characteristics of flows

Q(lit/s)	y(cm)	V(m/s)	$\frac{V}{V_c}$	Fr	Re
۱۰	۷	۰/۳۰	۰/۹۱	۰/۳۶	۱۶۰۹۰
۸/۵	۷	۰/۲۶	۰/۷۹	۰/۳۱	۱۳۹۴۴
۷/۵	۷	۰/۲۳	۰/۶۹	۰/۲۸	۱۲۳۳۵

جدول ۲. مشخصات شکاف ها
Table 2. Characteristics of slots

Slot model	W_s	$\frac{X_s}{L_a}$	$\frac{Y_s}{y} *$	$\frac{H_s}{y} *$
مدل های مختلف نسبت به بستر				
S1	$0.25L_a$	۰	$0.5 \sim 1$	۰/۵
S2	$0.25L_a$	۰	$0.25 \sim 0.75$	۰/۵
S3	$0.25L_a$	۰	$0 \sim 0.5$	۰/۵
S4	$0.25L_a$	۰	$0 \sim 1$	۱
S5	$0.25L_a$	۰	$\frac{d_s}{y} \sim 1$	$1 + \frac{d_s}{y}$
حالت های مختلف نسبت به نوک دماغه تکیه گاه				
S'	$0.25L_a$	۰/۵	*	*
S''	$0.25L_a$	۱	*	*

* این پارامترها بعد از مشخص شدن شکاف بهینه نسبت به بستر تعیین می شوند

جدول ۳. مشخصات طوقه ها
Table 3. Characteristics of collars

آزمایش	نوع مدل	$\frac{L_c - L_a}{L_a} = \frac{B_{cv}}{L_a}$	$\frac{L_c}{L_a}$	$\frac{B_{ch}}{L_a}$
CP1	طوقه جزئی	۱	۱	۰/۲۵
CP2	طوقه جزئی	۰/۶	۱/۶	۰/۶
CP3	طوقه جزئی	۰/۶	۱/۶	۱/۲
CF1	طوقه کامل	۰/۶	۱/۶	۱/۵
CP4	طوقه جزئی	۱	۲	۰/۶
CP5	طوقه جزئی	۱	۲	۱/۲
CF2	طوقه کامل	۱	۲	۱/۵

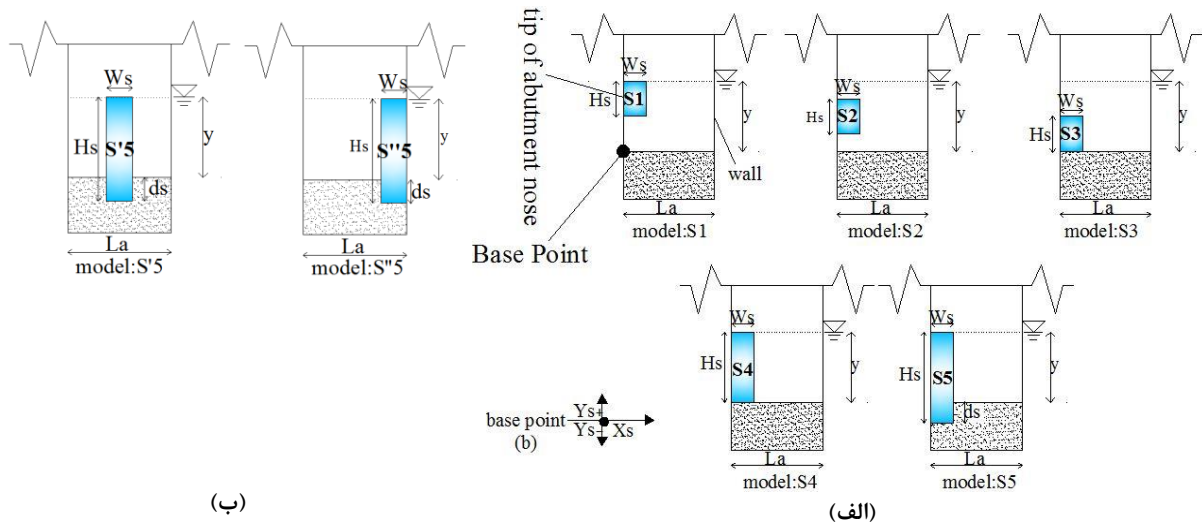
در فاصله ۶/۵ متر از ابتدای فلوم یک باکس فلزی به طول ۱/۲ متر، عرض ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۲۰ متر قرار گرفته است. این باکس از یک نمونه رسوب یکنواخت پر شده است به طوری که پس از پر شدن همسطح کف فلوم می گردد.

۲-۲- شرایط و نحوه انجام آزمایشات

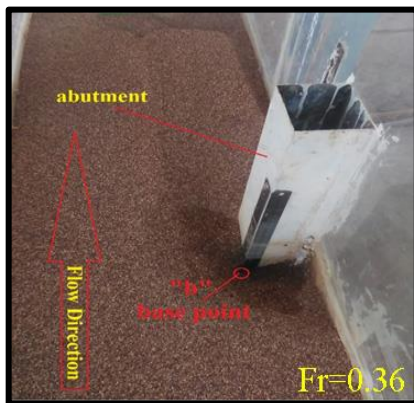
به منظور عدم تشکیل رپیل می بایست قطر متوسط ذرات رسوبی از $0.7mm$ بزرگتر باشد [۲۵] رسوباتی که دانه بندی یکنواخت دارند دارای عمق آبشستگی بیشتری می باشند. به منظور یکنواخت بودن ذرات رسوبی بستر می بایست رابطه $1.3 < \frac{d_{84}}{d_{16}} < 1.3$ برقرار باشد [۲۶] بیشترین میزان آبشستگی در تکیه گاه های دارای دیواره قائم ایجاد می شود [۴] چنانچه در تکیه گاه های پل $\frac{L_a}{d_{50}} > 25$ باشد، آبشستگی مستقل از اندازه ذرات رسوبی است [۲۷] لذا در این پژوهش ذرات رسوبی با قطر متوسط $1.37mm$ ، انحراف معیار هندسی $1/15$ و تکیه گاه پل با دیواره قائم از جنس گالوانیزه و ابعاد $9cm \times 9cm$ انتخاب گردید. به منظور برداشت و اندازه گیری توپوگرافی بستر از عمق سنج لیزری با دقت بسیار بالا، بر روی شبکه هایی با ابعاد $1cm \times 1cm$ استفاده می شود.

در تمام آزمایش های این پژوهش، شرایط جریان با عمق ثابت، زیر بحرانی ($Fr < 1$) و متلاطم ($Re > 2000$) برقرار بود. تمام آزمایشات در شرایط آب زلال که بیشترین عمق آبشستگی رخ خواهد داد انجام گرفت. لذا به منظور برقراری این شرط رابطه $1 < \frac{V}{V_c}$ می بایست برقرار باشد [۲۸]. به منظور تعیین سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی با استفاده از روش سرعت بحرانی، در شرایط بدون حضور تکیه گاه آزمایشاتی انجام گردید. در این روش یک سرعت بحرانی برای شرایطی که در آن فرسایش بستر شروع می شود تعریف می گردد و سرعت متوسط موجود با این سرعت مقایسه می گردد. آزمایشات این بخش نشان داد که با دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه و عمق ۷ سانتیمتر ذرات رسوبی بستر در آستانه حرکت قرار می گیرند. در این مرحله سرعت بحرانی 0.33 متر بر ثانیه حاصل گردید. لذا جریان های انتخاب شده در این پژوهش مطابق با جدول ۱ لحاظ می گردند.

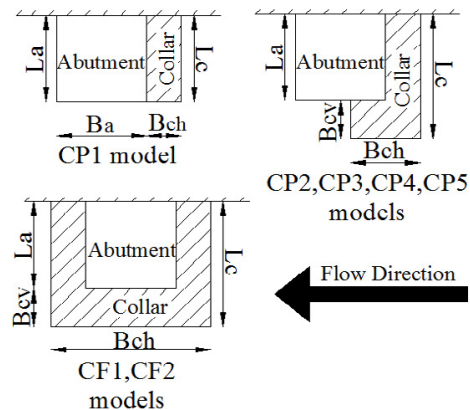
در آزمایش های مربوط به تکیه گاه های دارای طوقه تعداد ۷ مدل طوقه (۵ طوقه جزئی و ۲ طوقه کامل) در نظر گرفته شده که در تمامی آزمایشات، طوقه بر روی سطح بستر نظر گرفته شده است.



شکل ۱. تصاویر شماتیک از الف) مدل های شکاف نسبت به بستر رسوبی ب) مدل های شکاف نسبت به نوک دماغه تکیه گاه
Fig. 1. Schematic images of A) slot models relative to the sediment bed B) slot models relative to the tip of the abutment nose



شکل ۳. الگوی فرسایش و رسوب گذاری و نمایش نقطه مبنا
Fig. 3. Erosion and sedimentation pattern and display of base point



شکل ۲. تصاویر شماتیک از مدل های مختلف طوقه
Fig. 2. Schematic images of collar different models

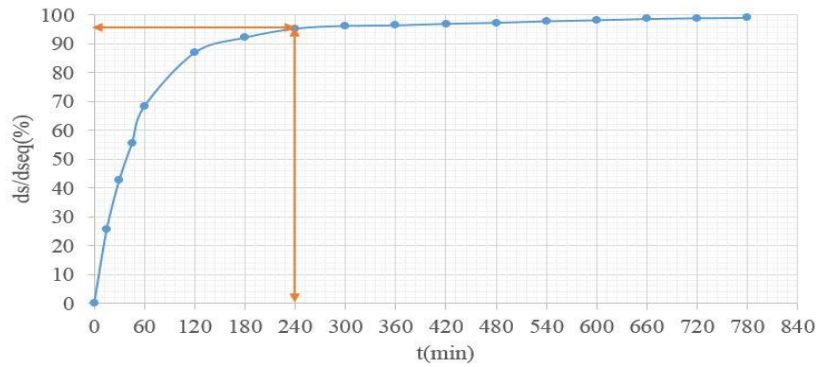
آزمایش (مجموعاً ۳ آزمایش) به مدت ۱۳ ساعت صورت می پذیرد. در این گروه از آزمایش ها تکیه گاه بدون حفاظ، شروع فرسایش تحت تأثیر جریان رو به پایین از گوشه بالادست تکیه گاه در همسایگی نوک دماغه تکیه گاه (نقطه b) بوده و به تدریج با زیاد شدن آبستگي و ایجاد شدن گردابه های نعل اسبی، ذرات بستر به سمت پایین دست و پشت تکیه گاه انتقال می یافتند. در تمام مراحل آزمایش، در نقطه b بیشترین عمق آبستگي رخ می دهد، این نقطه به عنوان نقطه مبنا انتخاب می گردد (شکل ۳). نتایج نشان می دهد که از ساعت دهم به بعد، میزان تغییر عمق آبستگي کمتر از ۱ mm می باشد. از طرفی بعد از گذشت ۴ ساعت در اعداد فرود ۰/۳۶، ۰/۳۱ و ۰/۲۸ عمق بدون بعد آبستگي $\left(\frac{d_s}{y}\right)$ به ترتیب ۱/۵۴، ۰/۹۲ و ۰/۷۰ و در

دارای شکاف و طوقه و در اشکال ۱ و ۲ به ترتیب تصاویر شماتیک از مدل های مختلف شکاف و طوقه نشان داده شده اند.

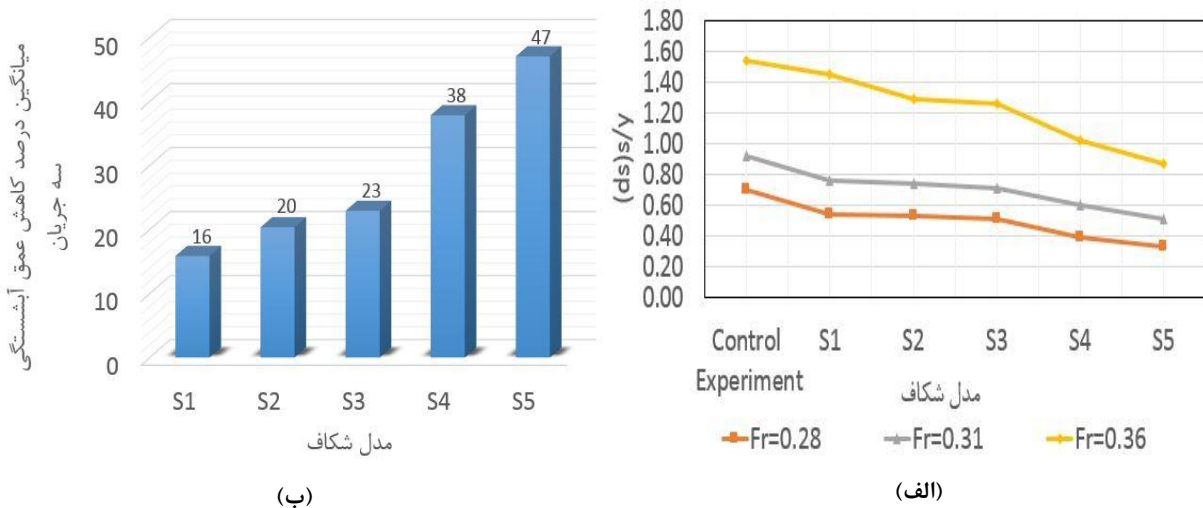
۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمایشات بدون حضور شکاف یا طوقه

بررسی منابع مختلف نشان می دهد که برای تعیین زمان تعادل آبستگي معیارهای مختلفی وجود دارد. در این پژوهش برای تعیین زمان تعادل از معیار کومار و همکاران [۱۰] استفاده گردید. آن ها زمانی را به عنوان زمان تعادل آبستگي تعریف کردند که بعد از گذشت ۳ ساعت، میزان تغییر عمق آبستگي از ۱ mm کمتر باشد. در این بخش از آزمایش ها برای هر عدد فرود جریان یک



شکل ۴. نمودار توسعه زمانی آبشستگی در آزمایشات کنترل
Fig. 4. Chart of scour time development in control experiments



شکل ۵. الف) عمق بدون بعد آبشستگی مدل های مختلف شکاف نسبت به بستر در اعداد فرود مختلف ب) میانگین درصد کاهش عمق آبشستگی سه جریان

Fig. 5. A) Scour dimensionless depth of different slot models relative to the bed at different Froude Numbers B) average percentage of scour depth reduction of three flows

۳-۲- نتایج آزمایشات تکیه گاه دارای شکاف

۳-۲-۱- بررسی موقعیت شکاف نسبت به بستر

در شکل ۵-الف عمق بدون بعد آبشستگی پنج مدل مختلف شکاف نسبت به بستر، در مقایسه با آزمایشات کنترل در جریان های مختلف و در شکل ۵-ب میانگین درصد کاهش عمق آبشستگی سه جریان برای این مدل شکاف ها به تصویر کشیده شده است.

همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، از بین ۳ مدل شکاف S1، S2 و S3 که دارای ارتفاع یکسان ولی در موقعیت های مختلف نسبت به بستر قرار گرفته اند، مدل شکاف S3 که به سطح

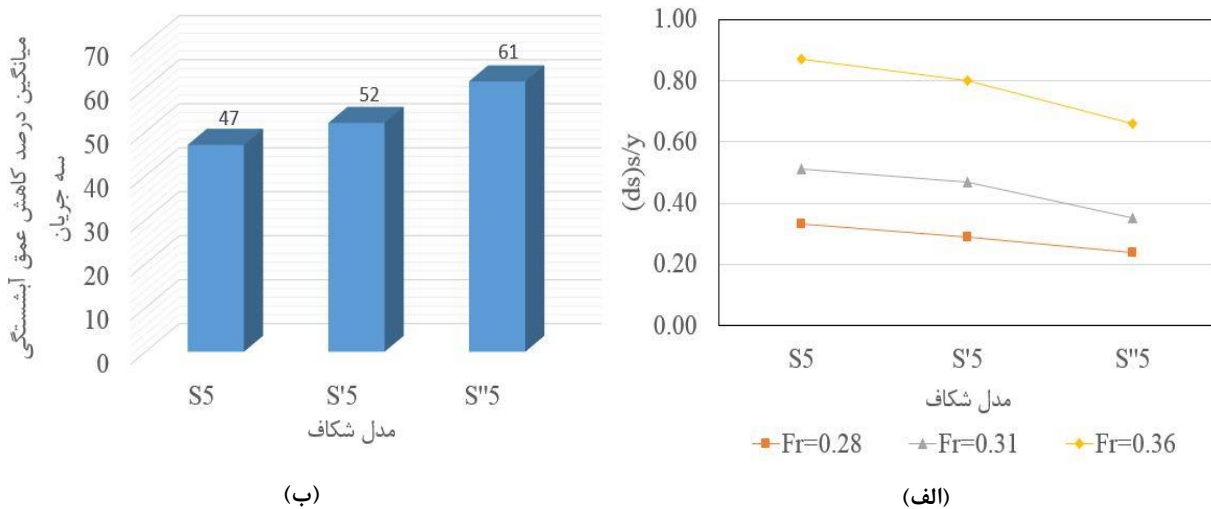
همین زمان به ترتیب ۹۵، ۹۷ و ۹۸ درصد از عمق تعادل آبشستگی صورت می پذیرد. لذا مدت زمان ۴ ساعت برای تمام آزمایش ها انتخاب گردید. شکل ۴ نمودار توسعه زمانی عمق تعادل آبشستگی را در عدد فرود ۰/۳۶ نشان می دهد. که در این نمودار محور افقی نشان دهنده زمان برحسب دقیقه و محور عمودی نشان دهنده عمق بدون بعد آبشستگی (نسبت عمق آبشستگی به عمق آبشستگی متعادل) بر حسب درصد می باشد. بعد تعیین مدت زمان آزمایش ها، مجدداً در مدت زمان ۲۴۰ دقیقه برای هر ۳ عدد فرود آزمایش ها تکرار و عمق و توپوگرافی بستر رسوبی برداشت می گردد.

باشد. که علت این رویداد را بدین صورت می توان بیان کرد که زمانی که ارتفاع شکاف از سطح جریان آب تا زیر بستر به اندازه عمق تعادل آبشستگی تکیه گاه در حالت بدون شکاف امتداد می یابد، وجود بخشی از شکاف در پایین بستر، باعث می شود که بعد از ایجاد حفره آبشستگی و برخورد جریان با این قسمت از تکیه گاه، جریان از شکاف عبور کرده و قدرت گردابه های حاصل شده در اطراف تکیه گاه را کم کند. این درحالی است که این مکانیزم در تکیه گاه هایی که دارای شکافی معادل عمق جریان و یا شکاف هایی که فقط در بالای بستر و دارای ارتفاعی معادل نصف جریان آب هستند وجود ندارد. لذا در این قسمت شکاف S۵ به عنوان شکاف بهینه نسبت به بستر معرفی می گردد. در حالت کلی مقایسه نتایج این بخش از پژوهش با محققینی نظیر [۹]، [۱۰]، [۱۲] و [۲۴] مؤید این موضوع است که استفاده از شکاف در تکیه گاه های پل همانند سایر سازه های هیدرولیکی (مانند پایه پل و یا آبشکن)، دارای تأثیر مثبتی در کاهش آبشستگی می باشد. همچنین مقایسه نتایج استفاده از شکاف در تکیه گاه های پل با محققینی که استفاده از شکاف را در اطراف پایه های پل مورد بررسی دارند، نشان می دهد در تکیه گاه های پل همانند پایه های پل موقعیت قرارگیری شکاف نسبت به بستر و ابعاد آن نقش مهمی در کاهش آبشستگی دارند. به طوری که هر چه ارتفاع شکاف بیشتر و به بستر نزدیک تر و یا به زیر بستر نفوذ کند، دارای تأثیر بیشتری در کاهش آبشستگی می باشد. اختلافی که از لحاظ عدد درصد کاهش آبشستگی بین پژوهش های مختلف و همچنین این پژوهش وجود دارد، مربوط به نوع دانه بندی ذرات رسوبی و شرایط مختلف جریان های استفاده شده در آزمایش ها می باشد.

۲-۲-۳- بررسی موقعیت شکاف نسبت به نوک دماغه تکیه گاه

همانطور که در بخش قبلی مشاهده گردید شکاف S۵ به عنوان شکاف بهینه نسبت به بستر معرفی گردید. لذا به منظور بررسی تأثیر موقعیت شکاف به نوک دماغه تکیه گاه شکاف بهینه S۵ مطابق با موقعیت های تعریف شده در جدول ۲ و یا شکل ۱-ب مورد بررسی قرار می گیرد. شکل ۶-الف عمق بدون بعد آبشستگی سه مدل مختلف شکاف نسبت به نوک دماغه تکیه گاه در جریان های مختلف و در شکل ۶-ب میانگین درصد کاهش عمق آبشستگی سه جریان برای این مدل شکاف ها را نشان می دهد.

بستر نزدیک تر می باشد در هر سه عدد فرود، دارای عمق آبشستگی کمتر و عملکرد مناسبتری می باشد. در این مدل شکاف میانگین درصد کاهش عمق آبشستگی هر سه عدد فرود نسبت به حالت بدون شکاف ۲۳ درصد می باشد. با توجه به مکانیزم الگوی جریان در پایه های پل دارای شکاف در منابع [۱۴] و [۱۵] می توان گفت در اطراف این مدل شکاف به دلیل این که بر روی بستر هستند با ایجاد جت جریان به صورت افقی جریان های رو به پایین و گرداب های نعل اسبی را که به عنوان عامل مهمی در فرسایش در اطراف تکیه گاه های پل محسوب می شوند را به نقطه دورتری از سازه انتقال داده و در نتیجه جریان مؤثر و گرادیان فشار کاهش و در نهایت باعث کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه گاه می شوند. در مدل های S۱ و S۲ که دارای ارتفاعی مشابه شکاف S۳ ولی در فاصله دورتری نسبت به بستر رسوبی قرار دارند، میزان کاهش عمق آبشستگی این مدل از تکیه گاه ها در مقایسه با حالت بدون شکاف به ترتیب ۱۶ و ۲۰ درصد می باشد که تأثیرشان در مقایسه با شکاف های نزدیک بستر کمتر است. ضمناً عمق آبشستگی مدل S۲ نسبت به مدل S۱ کمتر می باشد. در مورد شکاف S۴ که ارتفاع آن دو برابر حالت های ذکر شده است و ارتفاع آن ها از سطح بستر شروع شده و تا سطح آب ادامه پیدا می کند، میانگین درصد کاهش عمق آبشستگی هر سه عدد فرود ۳۸ درصد می باشد. در این مدل شکاف علاوه بر دلایل ذکر شده در فوق به عنوان دلایل اثرات شکاف های نزدیک بستر در کاهش آبشستگی، با اجازه عبور جریان نزدیک سطح آب اثری همانند جریان های کم عمق ایجاد می کنند که در این حالت، عمق جریان مؤثر و گرادیان فشار کاهش یافته و در نتیجه قدرت جریان های رو به پایین و گرداب نعل اسبی کاهش یافته که این امر باعث کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه گاه می گردد. از سوی دیگر در شکاف S۵ که دارای ارتفاعی برابر با عمق جریان به اضافه عمق تعادل آبشستگی در حالت بدون شکاف می باشد (یعنی شکاف تا زیر بستر رسوبی به اندازه عمق تعادل آبشستگی در حالت تکیه گاه بدون شکاف ادامه پیدا می کند) نسبت به چهار مدل شکاف قبلی دارای کمترین عمق آبشستگی بدون بعد و درصد کاهش عمق آبشستگی بیشتری می باشند. در این مدل شکاف میانگین درصد کاهش عمق آبشستگی هر سه جریان در مقایسه با مدل های تکیه گاه بدون شکاف ۴۷ درصد می باشد، که در مقایسه با سایر شکاف ها دارای عملکرد بهتری می



شکل ۶. الف) عمق بدون بعد آبستگی مدل های مختلف شکاف نسبت به نوک دماغه تکیه گاه در اعداد فرود مختلف (ب) میانگین درصد کاهش عمق آبستگی سه جریان

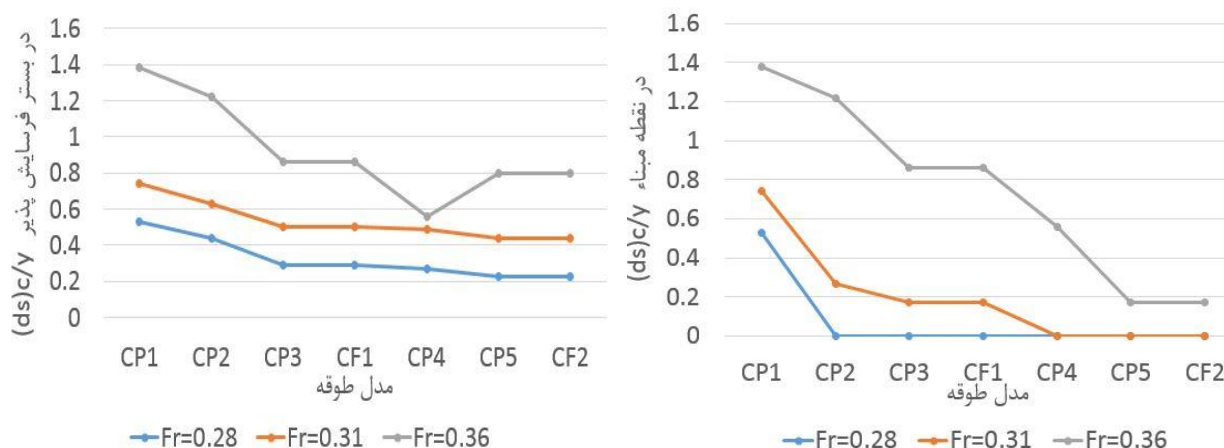
Fig. 6. A) Scour dimensionless depth of slot different models relative to the tip of the abutment nose at different Froude Numbers b) Average percentage of Scour depth reduction Scour of three flows

ابعاد طولی و عرضی طوقه های جزئی و کامل در پایین دست از میزان آبستگی در اطراف تکیه گاه کاسته شده و در نتیجه عملکرد طوقه افزایش پیدا کرده است. در حقیقت می توان گفت که بر اساس مکانیزم عملکرد ابزار حفاظتی طوقه که در منابع [۱۱] و [۱۵] وجود دارد، افزایش ابعاد این ابزار تأثیر بیشتری در کاهش قدرت جریان های رو به پایین و تضعیف گرداب های نعل اسبی دارد و در نتیجه میزان تغییرات در سطح بستر فرسایش پذیر را کم می کند. به طوری که این تغییر یا باعث کاهش عمق آبستگی در نقطه مبناء گردیده یا علاوه بر کاهش آبستگی در نقطه مبناء، ماکزیمم عمق چاله آبستگی را از اطراف تکیه گاه به نقطه دورتری انتقال داده است. به طوری که در طوقه CF^۱ در عدد فرود ۰/۳۶ ماکزیمم عمق آبستگی در نقطه مبناء رخ داده است و عمق بدون بعد آبستگی در این طوقه در نقطه مبناء ۰/۸۶ می باشد، در صورتی که با افزایش طول بی بعد طوقه به میزان $\frac{L_c}{L_a} = 2$ یعنی CF^۲ عمق بدون بعد آبستگی در نقطه مبناء ۰/۱۷ و مقدار عمق بدون بعد آبستگی در تمام بستر فرسایش پذیر ۰/۸ می باشد. علاوه بر این بررسی عمق بدون بعد آبستگی در هر سه عدد فرود یا میانگین درصد کاهش عمق آبستگی سه جریان افزایش عرض بی بعد طوقه (B_{ch} / L_a) از ۱/۵ به ۲ (یعنی تبدیل طوقه CP^۳ به CP^۵ و CF^۱ به CF^۲) نتوانسته اند افزایش عملکرد مثبتی در وضعیت چاله ایجاد شده در اطراف تکیه گاه و یا میدان

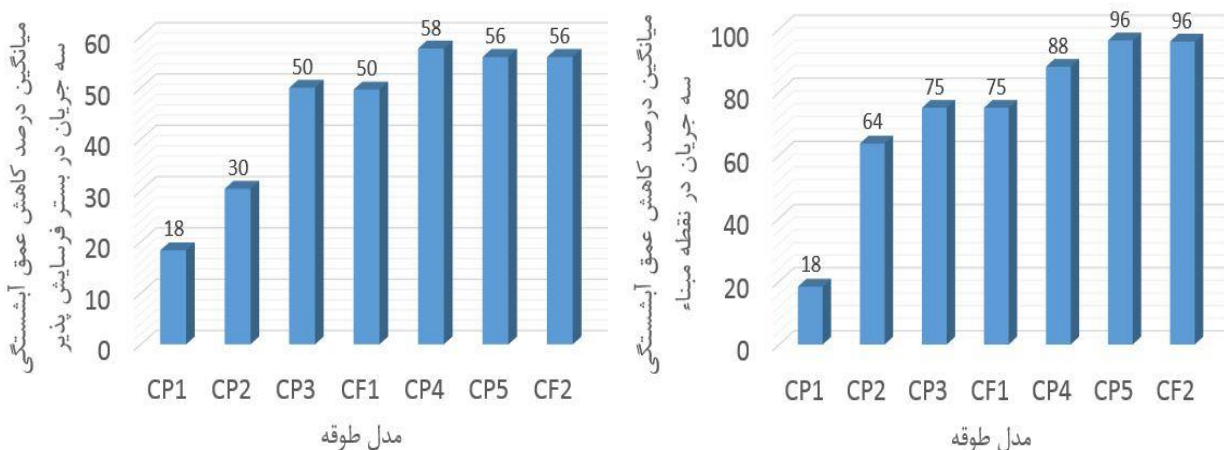
شکل ۶ نشان می دهد که در هر سه مدل شکاف S^۵، S'^۵ و S''^۵ عمق آبستگی در مدل S''^۵ دارای مقدار کمتر و در مدل S^۵ دارای مقدار بیشتری می باشد. این حالت در تمامی اعداد فرود صادق می باشد. میانگین درصد کاهش عمق آبستگی سه جریان، در این سه مدل شکاف به ترتیب ۴۷، ۵۲ و ۶۱ درصد می باشد. این موضوع نشان می دهد که در شکاف هایی که دارای ابعاد یکسان می باشند، هرچه شکاف نسبت به نوک دماغه تکیه گاه دورتر و به دیواره کانال نزدیک تر گردد با منحرف کردن جریان های کناری و جابجا کردن ذرات رسوبی که در قسمت پایین دست و نزدیک به دیواره کانال انباشته می گردند، دارای عملکرد بهتری خواهد بود.

۳-۳- نتایج آزمایشات تکیه گاه دارای طوقه

شکل ۷- الف) عمق بدون بعد آبستگی تکیه گاه مجهز به طوقه در جریان های مختلف و شکل ۷-ب) میانگین درصد کاهش عمق آبستگی سه جریان در تکیه گاه های مجهز به طوقه را نشان می دهد. لازم به ذکر است در این شکل در مواردی که عمق بدون بعد آبستگی یا درصد کاهش در نقطه مبناء و بستر فرسایش پذیر یکسان هستند بدین معنی می باشد که ماکزیمم عمق آبستگی در همان نقطه مبناء اتفاق افتاده است. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده در حالت کلی با افزایش



(الف)



(ب)

شکل ۷. الف) عمق بدون بعد آبشستگی مدل های مختلف طوقه در اعداد فرود مختلف (ب) میانگین درصد کاهش عمق آبشستگی سه جریان
 Fig. 7. A) Scour dimensionless depth of different collar models at different Froude Numbers B) average percentage of scour depth reduction of three flows

در کاهش آبشستگی در اطراف تکیه گاه پل دارد. همچنین با مقایسه نتایج آزمایش های این پژوهش و پژوهش [۱۸] که بیان کرده بوده افزایش عرض طوقه در قسمت پایین دست تکیه گاه نمی تواند نقش مثبتی در کاهش آبشستگی در اطراف تکیه گاه های پل داشته باشد همخوانی دارد.

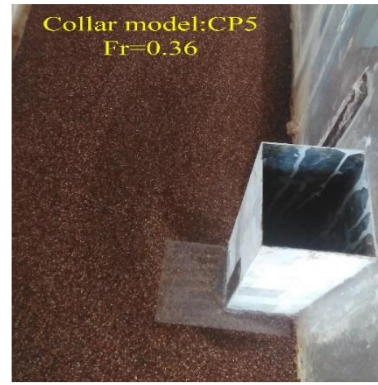
۳-۴- مقایسه عملکرد شکاف و طوقه

همانطور که در دو بخش قبلی ملاحظه گردید، طوقه کامل CF۱ نسبت به طوقه جزئی CP۵ دارای افزایش عملکرد مثبتی نداشته است. بنابراین در آزمایشات بخش طوقه، مدل CP۵ و در آزمایشات

رسوبی داشته باشد. بنابراین در طوقه های کامل، علیرغم افزایش ابعاد و سطح مقطع طوقه نسبت به طوقه های جزئی، وجهی از طوقه که در قسمت پایین دست تکیه گاه قرار می گیرد، می تواند فعالیت قسمتی از گرداب های برخاستگی که در این قسمت وجود دارند و تأثیر زیادی در تشکیل تپه های رسوبی دارند را کم کند. بنابراین افزایش ابعاد طوقه از وجهی از طوقه که در قسمت پشت تکیه گاه (پایین دست) قرار گرفته، توانایی بهبودسازی عملکرد مثبت نسبت به طوقه جزئی را ندارد. لذا طوقه CP۵ به عنوان بهینه ترین طوقه عمل می نماید. مقایسه نتایج این بخش از آزمایشات با پژوهش [۱۳] نشان از هم سو بودن نتایج دارد که افزایش طول طوقه نقش مهمی

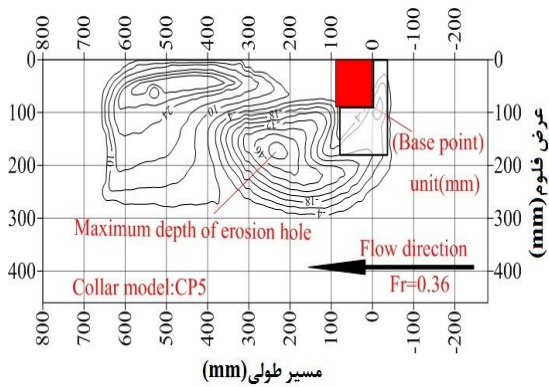


(الف)

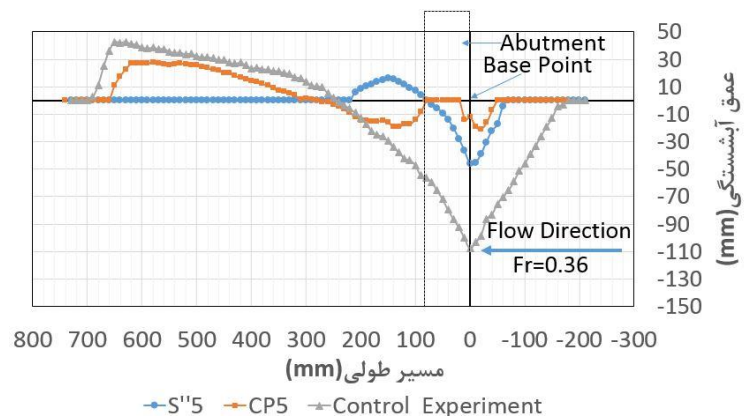


(ب)

شکل ۸. الگوی فرسایش و رسوبگذاری در پایان آزمایش در عدد فرود ۰/۳۶ (الف) تکیه گاه مجهز به شکاف S''5 (ب) تکیه گاه مجهز به طوقه CP5
 Fig. 8. Erosion and sedimentation pattern at the end of the test at Froud number 0.36 A) abutment with S''5 slot b) abutment with CP5 collar



(ب)

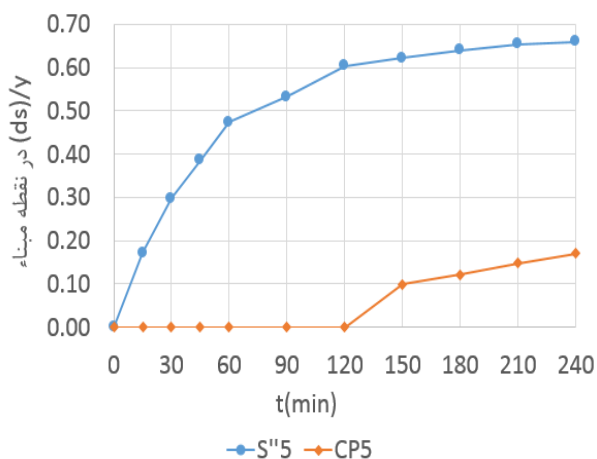


(الف)

شکل ۹. الف) پروفیل طولی بستر رسوبی مدل های S''5 و CP5 و آزمایش کنترل ب) توپوگرافی بستر رسوبی مدل CP5 در عدد فرود ۰/۳۶
 Fig. 9. A) Longitudinal profile of sediment bed of S''5 and CP5 models and control test B) Topography of sediment bed of model CP5 in Froud Number 0.36

در مدل تکیه گاه دارای شکاف همانند تکیه گاه بدون شکاف جریان در نزدیکی های سطح آب پس از برخورد به تکیه گاه پل به طرف پایین حرکت می کند و جریان پایین رونده ایجاد می گردد. در نزدیک به بستر رسوبی پس از برخورد به کف کانال به طرف مسیر جریان اصلی در کانال تغییر مسیر می دهد و باعث شکل گیری گرداب اولیه یا گرداب نعل اسبی می گردد. در مدل تکیه گاه S''5، مشابه آزمایشات کنترل از گوشه بالادست تکیه گاه فرسایش شروع خواهد شد و به صورت تدریجی بر عمق و ابعاد حفره آبشستگی

شکاف، مدل S''5 مؤثرترین عملکرد را دارند. لذا در این بخش به مقایسه عملکرد این دو مدل شکاف و طوقه خواهیم پرداخت. شکل ۸ تصاویری از الگوی فرسایش و رسوبگذاری در تکیه گاه های مجهز به شکاف و طوقه های ذکر شده را در عدد فرود ۰/۳۶ در پایان مدت زمان آزمایش نشان می دهد. همچنین شکل ۹-الف و ۹-ب به ترتیب تصاویر پروفیل طولی بستر رسوبی همین مدل ها به همراه آزمایش کنترل و توپوگرافی بستر رسوبی مدل CP5 را در عدد فرود ۰/۳۶ نشان می دهد.



شکل ۱۰. نمودار توسعه زمانی مدل S''5 و CP5

Fig. 10. Temporal development chart of 5''S and CP5 models

تمایل پیدا می کند. بررسی جدول ۴ و شکل ۹ نشان می دهد، حفره آبشستگی در اعداد فرود ۰/۲۸ و ۰/۳۱ به نقطه مبناء نمی تواند برسد و ماکزیمم عمق چاله آبشستگی در این اعداد فرود به ترتیب در فاصله ۱۸/۷۹ cm و ۲۳/۲۶ cm نسبت به نقطه مبناء در قسمت پایین دست قرار می گیرد. در عدد فرود ۰/۳۶ هر چند ماکزیمم عمق چاله آبشستگی در فاصله ۲۳/۴۱ cm دورتر نسبت به نقطه مبناء تشکیل می شود ولی در نهایت بعد از گذشت بیش از ۱۲۰ دقیقه از شروع آزمایش چاله آبشستگی به نقطه مبناء می رسد، به طوری که نسبت $(ds)_{max}/y$ در این عدد فرود در نقطه مبناء و در بستر فرسایش پذیر به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۸ می باشد. شکل ۹-الف نشان می دهد، هر چند هم شکاف و هم طوقه باعث می شوند که از ارتفاعات رسوبی نهشته در پایین دست کم شود، ولیکن تأثیر شکاف در کم کردن این ارتفاع بیشتر است. به طوری که در مدل شکاف S''5 و طوقه CP5 ماکزیمم ارتفاع تپه های رسوبی به ترتیب ۱۶/۲ mm و ۲۷/۴ mm

افزوده می گردد. همانطور که شکل ۹-الف و نتایج جدول ۴ نشان می دهد، ماکزیمم عمق آبشستگی در مدل تکیه گاه دارای شکاف در نقطه مبناء رخ می دهد. به طوری که در نقطه مبناء در سه عدد فرود ۰/۲۸، ۰/۳۱ و ۰/۳۶ مقدار $(ds)_{max}/y$ به ترتیب ۰/۶۶، ۰/۳۵ و ۰/۲۴ می باشد. از این رویداد می توان بدین صورت استنباط کرد که فرم کلی توپوگرافی بستر شکل گرفته ناشی از آبشستگی در اطراف تکیه گاه های پل دارای شکاف همانند حالت بدون شکاف می باشد. ولی با توجه به عبور بخشی از جریان از درون شکاف قدرت جریان های مؤثر و گرادیان فشار کاهش یافته که همین امر باعث می گردد عمق و ابعاد حفره فرسایشی در اطراف تکیه گاه در شرایط مدل های مختلف شکاف و جریان، تغییرات چشمگیری را در پی داشته باشد.

در زمانی که از طوقه CP5 به عنوان ابزار حفاظتی در اطراف تکیه گاه پل استفاده می شود، بر خلاف تکیه گاه فاقد ابزار حفاظتی و تکیه گاه دارای شکاف، اولین نشانه هایی از آبشستگی در پایین دست طوقه توسط جریان گردابی مشاهده می گردد. این گردابه ها به صورت تدریجی باعث جابجایی رسوبات قسمت انتهایی طوقه شده و آن ها را به سمت پایین دست انتقال می دهند. که این جابجایی رسوبات باعث گود شدن بستر و ایجاد یک حفره سطحی در این ناحیه می گردد. پس از ایجاد گودال در قسمت پایین دست طوقه، ذرات رسوبی از لبه های کناری طوقه جدا و توسط جریان به سمت پایین دست منتقل می گردیدند. که این باعث ایجاد شیارهایی در لبه های طوقه و گسترش آن ها در اطراف طوقه می شود. با توسعه این شیارها و نفوذ جریان به زیر طوقه، رسوبات زیر طوقه به صورت تدریجی شسته گردیده و به سمت پایین دست انتقال پیدا می کنند. بدین ترتیب زیر طوقه خالی می گردد. انتقال ذرات رسوبی در زیر طوقه به گونه ای صورت می پذیرد که آبشستگی به طرف گوشه بالادست تکیه گاه

جدول ۴. عمق بدون بعد آبشستگی به همراه موقعیت ماکزیمم قرارگیری عمق چاله آبشستگی برای شکاف S''5 و طوقه CP5

Table 4. Scour dimensionless depth with maximum position of scour hole depth for 5''s slot and CP5 collar

		Fr=۰/۲۸	Fr=۰/۳۱	Fr=۰/۳۶
مدل		$(ds)_{max}/y$		
شکاف S''5 در مبناء		۰/۲۴	۰/۳۵	۰/۶۶
طوقه CP5	در مبناء	۰	۰	۰/۱۷
	در بستر فرسایش پذیر	۰/۲۳	۰/۴۴	۰/۸
	موقعیت قرارگیری ماکزیمم عمق چاله فرسایشی (cm)	r=۱۸/۷۹	r=۲۳/۲۶	r=۲۳/۴۱

وجود وجه پایین دستی طولی طوقه که در قسمت پشت تکیه گاه قرار می گیرد، نمی تواند به عملکرد مثبت طوقه اضافه کند، به طوری که عملکرد دو طوقه CP^3 و CF^1 و همچنین طوقه ها ی CP^5 و CF^2 مشابه هم می باشند. لذا با توجه به اینکه این طوقه CP^5 دارای سطح مقطع کمتری نسبت به طوقه CF^2 می باشد طوقه CP^5 به عنوان طوقه بهینه معرفی می گردد. این مدل طوقه در میانگین سه جریان در نقطه مبناء و بستر فرسایش پذیر به ترتیب ۹۶ و ۵۶ درصد از عمق آبخستگی کسر می کند.

- در مدل های آزمایشگاهی دارای شکاف، الگوی فرسایش و رسوب گذاری در حالت کلی مشابه حالت آزمایشات شاهد می باشد. یعنی لحظه شروع تشکیل چاله آبخستگی و محل ماکزیمم عمق آبخستگی در نقطه مبناء می باشد.

- هر چند که در مدل های شکاف با توجه به میزان عدد فرود، ابعاد و موقعیت قرارگیری شکاف عمق و ابعاد چاله آبخستگی نسبت به آزمایشات کنترل دارای مقدار کمتری می باشند، ولیکن حتی مؤثرترین شکاف یعنی مدل S^5 توانایی دور کردن چاله آبخستگی را از اطراف تکیه گاه ندارد.

- بر خلاف مدل شکاف که شروع آبخستگی در اطراف تکیه گاه و نقطه مبناء می باشد، طوقه می تواند نقش مهمی در به تعویق انداختن زمان رسیدن حداکثر عمق آبخستگی به نقطه مبناء، دور کردن چاله آبخستگی به نقطه ای دورتر از تکیه گاه و کم کردن توسعه آبخستگی را داشته باشد. به طوری که در مؤثرترین مدل طوقه در عدد فرود $0/36$ بعد از گذشت ۱۲۰ دقیقه طوقه به نقطه مبناء می رسد. زمانی که یک سیلاب اتفاق می افتد، مدت زمان سیلاب کمتر از زمان تعادل عمق آبخستگی می باشد، بنابراین این موضوع یکی از مزایای طوقه به عنوان ابزار تقلیل کننده فرسایش در اطراف تکیه گاه های پل محسوب می گردد. لذا با توجه این موارد می توان بیان کرد که طوقه دارای عملکرد بهتری نسبت به شکاف دارد.

علائم انگلیسی

B_{ch} عرض طوقه
 B_{cv} طول طوقه در پایین دست
 d_s عمق آبخستگی در تکیه بدون شکاف یا طوقه
 $(d_s)_c$ عمق آبخستگی در تکیه گاه مجهز به طوقه

می باشند. کم شدن ارتفاعات تپه های رسوبی می تواند به عنوان یک عملکرد مثبت در کاهش آبخستگی محسوب گردد. چرا که وجود وجود تپه های رسوبی با ارتفاع بالا خود می تواند همانند یک مانع در برابر جریان آب عمل کرده و عمق آبخستگی را افزایش دهند. شکل ۱۰ نمودار مقایسه توسعه زمانی عمق آبخستگی را برای مدل شکاف S^5 و طوقه CP^5 در نقطه مبناء در مدت زمان ۴ ساعت را نشان می دهد.

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می گردد، در تکیه گاه دارای شکاف S^5 آبخستگی در همان لحظات شروع آزمایش در نقطه مبناء صورت می پذیرد. در مدل تکیه گاه مجهز به شکاف مذکور در زمان های اولیه آزمایش میزان افزایش آبخستگی در نقطه مبناء زیاد بوده و با گذشت زمان از سرعت زیاد شدن کم می شود. به طوری که در ۱۲۰ دقیقه اول نسبت $(ds)_{max} / y$ ، معادل با $0/6$ و بعد از گذشت ۲۴۰ دقیقه این نسبت برابر $0/66$ می گردد. در حالی که در تکیه گاه مجهز به طوقه CP^5 از لحظه شروع آزمایشات تا زمان رسیدن به ۱۲۰ دقیقه آبخستگی به نقطه مبناء نمی رسد و بعد از گذشت ۲۴۰ دقیقه، نسبت $(ds)_{max} / y$ ، $0/17$ می گردد. بنابراین می توان گفت طوقه باعث می شود زمان وقوع آبخستگی در اطراف تکیه گاه را به تأخیر بيفتد، در صورتی که شکاف توانایی به تأخیر انداختن زمان شروع آبخستگی را ندارد.

۴- نتیجه گیری

- در این پژوهش عملکرد طوقه و شکاف با ساخت مدل های مختلف آزمایشگاهی به منظور کاهش آبخستگی در اطراف تکیه گاه های پل مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که:
- مدل شکاف هایی که به سطح بستر نزدیک تر، دارای ارتفاعی بیشتر و به جداره کانال نزدیک تر هستند، عملکرد مؤثرتری در کاهش ابعاد و عمق چاله آبخستگی دارند. در این حالت مؤثرترین شکاف، مدل S^5 می باشد که می تواند عمق آبخستگی را در میانگین سه جریان مورد آزمایش به مقدار ۶۱ درصد کم کند.

- هر چند افزایش ابعاد طولی و عرضی طوقه ها با توجه به کاهش قدرت جریان روبه پایین و گرداب های نعل اسبی، باعث کاهش میزان آبخستگی در اطراف تکیه گاه می گردد. ولیکن در حالتی که

8. Melville, B. W. (1992). Local scour at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(4), 615-631.
9. Grimaldi, C., Gaudio, R., Calomino, F., & Cardoso, A. H. (2009). Countermeasures against local scouring at bridge piers: slot and combined system of slot and bed sill. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(5), 425-431.
10. Kumar, V., Raju, K. G. R., & Vittal, N. (1999). Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(12), 1302-1305.
11. Dargahi, B. (1990). Controlling mechanism of local scouring. *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(10), 1197-1214.
12. Chiew, Y. M. (1992). Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(9), 1260-1269.
13. Kayaturk, S. Y. (2005). Scour and scour protection at bridge abutments (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University (METU), Ankara, Turkey).
14. Tafarjnoruz, A., Gaudio, R., & Calomino, F. (2012). Evaluation of flow-altering countermeasures against bridge pier scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(3), 297-305.
15. Tafarjnoruz, A., Gaudio, R., & Calomino, F. (2012). Effects of a slotted bridge pier on the approach flow. *Proceedings of XXXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA 2012*, 1-10.
16. Moradpour, M., Farsadizadeh, D., & Hoseinzadeh dalir, A. (2013). Study of collar effect on scour reduction around vertical semicircular bridge abutments. *Journal of Iranian Water Research(IWRJ)*, 6(11), 15-26. (In Persian).
17. Alem, Z., Ghomeshi, M., Mohammadi, S. (2013). The application of collar on the scour reduction at bridge rectangular abutment in composit channel. *Irrigation and Water Engineering*, 3(2), 29-41. (In Persian).
18. Alem, Z. (2013). Effect of netted collar on the scour of bridge abutment. MSc Thesis, Shahid Chamran University. (In Persian).
19. Kumcu, S. Y., Kokpinar, M. A., & Gogus, M. (2014). Scour protection around vertical-wall bridge abutments with collars. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(6),
- عمق آبشستگی متعادل $(d_s)_{eq}$
- عمق آبشستگی در تکیه گاه مجهز به شکاف $(d_s)_s$
- قطر متوسط ذرات رسوبی d_{50}
- عدد فرود Fr
- ارتفاع شکاف Hs
- طول تکیه گاه La
- عدد رینولدز Re
- دبی Q
- سرعت جریان V
- سرعت بحرانی جریان Vc
- عرض شکاف Ws
- موقعیت شکاف نسبت به نوک دماغه تکیه گاه پل Xs
- عمق جریان y
- موقعیت شکاف نسبت بستر رسوبی Ys
- علائم یونانی
- σ_g انحراف معیار هندسی ذرات رسوبی

۵- فهرست منابع

1. Sumer, B. M., & Fredsøe, J. (2002). The mechanics of scour in the marine environment, *Adv. Ser. Ocean Eng*, 17.
2. Barbhuiya, A. K., & Dey, S. (2004). Local scour at abutments: A review. *Sadhana*, 29(5), 449-476.
3. Kwan, T.F. and Melville, B.W. (1994). Local scour and flow measurements at bridge abutments. *J. Hyd. Res., ASCE*, 32(5): 661-673.
4. Dongol, D. M. S., & Melville, B. W. (1994). Local scour at bridge abutments. Department of Civil Engineering, University of Auckland.
5. Ahmed, F., & Rajaratnam, N. (2000). Observations on flow around bridge abutment. *Journal of Engineering Mechanics*, 126(1), 51-59.
6. Dey, S., & Barbhuiya, A. K. (2006). Velocity and turbulence in a scour hole at a vertical-wall abutment. *Flow Measurement and Instrumentation*, 17(1), 13-21.
7. Kothyari, U. C., & Ranga Raju, K. G. (2001). Scour around spur dikes and bridge abutments. *Journal of hydraulic research*, 39(4), 367-374.

- as a scour countermeasure around wing-wall abutments. *Water Science and Engineering*, 11(1), 53-60.
24. Mansuri, B., Hosseinzadeh Dalir, A., Farsadzadeh, D. (2016). Experimental Study of Shape of Spur Dikes in Series to Control Scour in River Bends. *Water and Soil Science*, 26(1-1), 69-81. (In Persian).
25. Breusers, H. N. C., & Raudkivi, A. J. (1991). *Scouring Hydraulic Structures Design Manual*. Balkerna, Rotterdam, 2.
26. Chiew, Y. M., & Melville, B. W. (1987). Local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, 25(1), 15-26.
27. Melville, B. W., and Coleman, SE. (2000). *Bridge Scour*. 5th edn, Colorado: Water Resources Publishing, 550p.
28. Melville, B. W., & Chiew, Y. M. (1999). Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(1), 59-65.
- 1884-1895.
20. Khozaymehnezhad, H., Ghomeshi, M. (2016). Experimental Investigation of Collar Performance with Rough Surface on Local Scour Reduction around Bridge Abutment with Rectangular Section. *Water and Soil Science*, 26(1-1), 213-223. (In Persian).
21. Mehrzad, R., & Hakimzadeh, H. (2017). Experimental Investigation of the Effects of Slotted Cone-Shaped Piers on Scour Reduction Due to Steady Flows. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 27(03), 318-325.
22. Hajikandi, H., & Golnabi, M. (2017, June). Y-shaped and T-shaped slots in river bridge piers as scour countermeasures. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (pp. 1-11). Thomas Telford Ltd.
23. Khosravinia, P., Malekpour, A., Hosseinzadehdalir, A., & Farsadzadeh, D. (2018). Effect of trapezoidal collars

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Osroush, S.A. Hosseini, A.A. Kamanbedast, *Evaluation and Comparison of the Slots and Collars Performance in Reducing Scouring around Bridge Abutments, Amirkabir J. Civil Eng., 52(7) (2020) 1637-1650.*

DOI: [10.22060/ceej.2019.15565.5953](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15565.5953)

