

بررسی آزمایشگاهی کاهش عمق آبخستگی اطراف تکیه گاه های پل با استفاده از پره های هدایت کننده جریان

غلامحسین اسدی^۱، محسن سلیمانی بابرصاد^۲

۱- گروه مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲- گروه مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۱۸

چکیده

از جمله مباحث بسیار پیچیده و مهم در مهندسی رودخانه مبحث فرسایش است. این موضوع از زمان گذشته تا کنون نظر بسیاری از محققین در زمینه هیدرولیک رودخانه را به خود جلب کرده است. آبخستگی به فرم های مختلف پایداری سازه های هیدرولیکی را مورد تهدید و فرسایش قرار می دهد. یکی از روش های غیر مستقیم کاهش آبخستگی نصب پره هدایت کننده جریان در اطراف پایه است. پره های هدایت کننده جریان عبارتند از صفحاتی نازک که در یک ارتفاع مشخص از تکیه گاه پل نصب شده و به این ترتیب مانع از تماس مستقیم جریان پایین رونده در جلوی تکیه گاه پل با بستر رودخانه می گردد و فعالیت گرداب های نعل اسبی را تضعیف می کند همچنین در تکیه گاه های دارای پره هدایت کننده جریان سرعت آبخستگی کاهش یافته و یا به عبارت دیگر زمان شروع آبخستگی به تأخیر می افتد. در این تحقیق با مدل سازی آزمایشگاهی به بررسی پره های هدایت کننده جریان بر میزان آبخستگی تکیه گاه پل پرداخته شده است. نتایج نشان داد که در حالت کلی با در نظر گرفتن اثر بُعد پره ها و تعداد آنها به ترتیب حالت، پنج پره با بعد ۹ میلی متر، سه پره با بعد ۹ میلی متر و ۷ پره با بعد ۹ میلی متر عمق آبخستگی را نسبت به حالت ماکزیمم کاهش داده اند با توجه به نتایج می توان گفت پره های هدایت کننده جریان با تاثیر بر روی خطوط جریان، می تواند ابزار مناسبی جهت کاهش عمق آبخستگی در تکیه های پل باشد.

واژه های کلیدی: آبخستگی، تکیه گاه پل، پره های هدایت کننده جریان، مدل آزمایشگاهی

مقدمه

است. بر طبق مطالعات ملویل (۱۹۹۲)، از ۱۱۶ شکست پل که در فاصله سال های ۱۹۱۱ تا ۱۹۶۱ در نیوزیلند رخ داد، ۲۹ مورد آن مربوط به آبخستگی تکیه گاه پل بوده است. ملویل همچنین خاطر نشان می سازد که ۶۱ درصد هزینه ها روی شکست پل در نیوزیلند، ناشی از آبخستگی تکیه گاه پل بوده است. در داخل کشور هم مطابق گزارش سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای در سال ۱۳۹۱ میزان ۳۶ درصد خرابی پل های کشور ناشی از آبخستگی پایه های میانی و کناری آن می باشد. الگوی جریان و فرآیند آبخستگی اطراف

هرساله با وقوع سیلاب در رودخانه ها تعداد زیادی از پل ها درست زمانی که بیشترین نیاز به آنها وجود دارد، تخریب می گردند. یکی از موثرترین عوامل این تخریب ها، آبخستگی در محل پایه و تکیه گاه می باشد. تخریب پل ها به علت آبخستگی، زیان های سنگین اقتصادی و جانی را به دنبال دارد. مطالعات انجام شده بر روی شکست ۳۶۳ پل در ایالات متحده نشان می دهد که در ۲۹ درصد آن ها تخریب پایه و در ۶۲ درصد تخریب تکیه گاه، علت شکست پل بوده

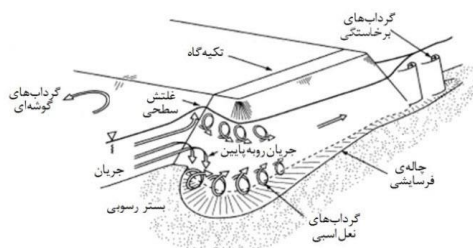
می شود که دلیل اصلی آبستگي در تکیه گاه پل ها است؛ دیدن الگوی جریان اطراف تکیه گاه با استفاده از تکنیک های متعددی توسط بسیاری از محققان از جمله (لیو ۱۹۱۱) و (جیل ۱۹۶۱) انجام شده است. در شکل (۱) فرآیند جریان و الگوی آبستگي پیرامون تکیه گاه پل نشان داده شده است.

مواد و روش ها

الگوی جریان و مکانیسم آبستگي

با توجه به شکل (۱) پس از برخورد جریان به دماغه تکیه گاه پل، بر روی پایه با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می شود فشار بیشتری نیز در ترازهای بالاتر بر روی پایه ایجاد می شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی پایه از بالا به پایین به وجود می آید که خود باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در جلو پایه می شود. جریان رو به پایین همانند یک جت عمودی عمل کرده و پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می شود [۴]

تکیه گاه پل یک پدیده پیچیده است که از اثر متقابل جریان آشفته سه بعدی در میدان اطراف تکیه گاه ناشی می شود و فرسایش رسوبات بستر را به دنبال دارد. تحقیقات در زمینه فرآیند آبستگي در تکیه گاه پل ها توسط (وانگ ۱۹۶۲)، (کانداسمی ۱۹۶۹)، (دانگل ۱۹۹۱) و بسیاری دیگر نشان داده است که فرآیند آبستگي در تکیه گاه پل ها بسیار شبیه به فرآیند آبستگي در پایه های پل ها است، با این تفاوت که لایه های مرزی ناشی از دیواره کانال، وضعیت پیچیده تری را در جریان اطراف سازه نسبت به پایه های پل ایجاد می کند. علاوه بر این، آزمایش های محققین مختلف، نشان داد که عمق آبستگي در تکیه گاه ها کمتر از معادل آن در پایه های پل است که به دلیل اثرات لایه های مرزی غالب شده ی ناشی از دیواره کانال است (کودیاری و رانگاراچو) جریان پایین رونده و گرداب اصلی در گوشه ی بالادست تکیه گاه پل، همراه با گرداب ثانویه و گرداب برخاستگی در قسمت میانی و گوشه انتهایی تکیه گاه پل، باعث ایجاد فعل و انفعال پیچیده ای بین سیال و مواد بستر



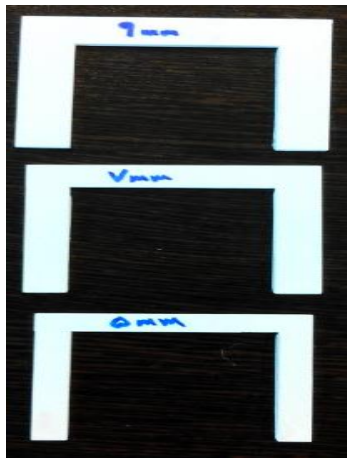
شکل ۱- الگوی جریان و حفره آبستگي اطراف تکیه گاه پل

باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می شوند [۵]. در اثر جدایی جریان در کناره های پایه نیز گرداب هایی تشکیل می شوند که محور آن ها عمود بر بستر رودخانه می باشد و به آنها گرداب های برخاستگی می گویند. این گرداب ها همانند گرداب ذرات بستر را جدا کرده و در معرض جریان قرار می دهند و به انتقال ذرات از جلو و اطراف پایه به سمت پایین دست کمک

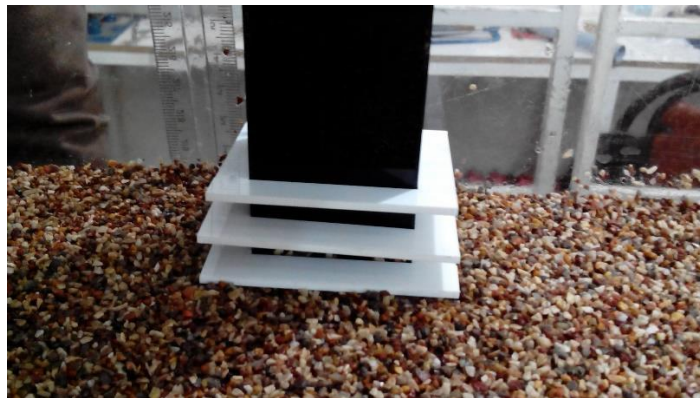
مقداری از این جریان که به سمت بالا بازگشت می کند، در برخورد به جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدداً به پایه برخورد می کند. این چرخش جریان و بازگشت آن در داخل حفره کنده شده، گردابی تشکیل می دهد که به تدریج در دو طرف پایه، امتداد یافته و شکلی شبیه نعل اسب پدید می آورد که به آن گرداب نعل اسبی می گویند. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آبستگي،

کاربرد پره‌های هدایت‌کننده جریان جهت کاهش آبستگي تکیه‌گاه پل

کارایی پره به شکل و اندازه و محل قرارگیری آن بر روی تکیه‌گاه بستگی دارد. موقعی که پره هدایت‌کننده برای محافظت از تکیه‌گاه بر روی تکیه‌گاه نصب می‌شود جریان رو به پایین در حین برخورد با پره‌ها از بستر منحرف شده و جلوی آبستگي گرفته می‌شود [۲].



شکل ۳- پره‌های استفاده شده در مدل آزمایشگاهی



شکل ۲- نحوه قرارگیری پره‌های استفاده شده در مدل آزمایشگاهی

می‌کنند. گرداب‌های دیگری نیز در جلوی پایه شکل می‌گیرند که به آنها گرداب موج کمانی یا سطحی گفته می‌شود که در جریانات کم عمق دارای اهمیت می‌باشند. حفر گودال آبستگي توسط گرداب نعل اسبی آنقدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبستگي زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. در این حالت عمق آبستگي به حالت تعادل می‌رسد [۴]. گرداب‌های نعل اسبی، برخاستگی و سطحی (موج کمانی) در شکل (۱) نشان داده شده است.

او اظهار داشت که طراحی و کاربرد درست طوق می‌تواند جایگزین مناسبی برای سنگچین در حل مشکلات آبستگي موضعی پایه‌های پل باشد. (کومار و همکاران، ۱۹۹۹) با انجام آزمایشهایی تأثیر طوقه را بر کاهش آبستگي بررسی کردند. ایشان از پایه‌هایی استوانه‌شکل با قطر ۱۱ و ۱۱۲ میلی‌متر و پنج اندازه مختلف با شکل دایره‌ای برای کاهش آبستگي استفاده کردند. مطالعات نشان داد که هرچه طوقه بزرگتر باشد تأثیر بیشتری بر کاهش خسارت آبستگي خواهد داشت.

کومار و همکاران (۱۹۹۹) تأثیر صفحات با ابعاد مختلف در کاهش آبستگي پایه‌های پل استوانه‌ای شکل را مورد بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از تحلیل و نتایج حاصل از آزمایشات، معادله‌ای برای

محققین مختلفی عملکرد سازه‌ها در کاهش آبستگي اطراف پایه‌های پل را مورد بررسی قرار داده‌اند که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. چیوو (۱۹۹۲) تأثیر صفحات محافظ را در کاهش آبستگي پایه پل مورد آزمایش قرار داد و با استفاده از سازه به اندازه دو برابر قطر پایه عمق آبستگي به میزان ۲۰٪ کاهش یافت. همچنین او اظهار داشت که طراحی و کاربرد درست سازه می‌تواند جایگزین مناسبی برای سنگچین در حل مشکلات آبستگي پایه‌های پل باشد [۲].

(چیوو ۱۹۹۲) تأثیر طوقه‌های محافظ را در کاهش آبستگي پایه‌ی پل مورد آزمایش قرار داد و با استفاده از طوقه به اندازه دو برابر قطر پایه، عمق آبستگي به میزان ۲۲ درصد کاهش یافت. همچنین

بر روی یک پایه مستطیلی بیشتر از دو پایه در دو امتداد می باشد [۱].

معرفی مدل و آزمایش

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده صنعت آب و برق خوزستان انجام شد. کانال فلوم آزمایشگاهی دارای طول ۷/۵ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر با جنس دیواره پلکسی گلاس است. اندازه‌گیری دبی و تنظیم عمق توسط یک سرریز لبه تیز مستطیلی در پایین دست فلوم کانال انجام شد. برای تأمین آب از سه مخزن زمینی به ابعاد $1 \times 1 \times 1/5$ متر (طول، عرض و ارتفاع) که با استفاده از آب لوله‌کشی شهری تغذیه می‌شد تأمین گردید. انتقال آب از مخزن اصلی آزمایشگاه به کانال در یک مدار بسته توسط پمپ سانترفیوژ متر انجام گرفت.

تأیین ماکزیمم عمق آبستگي در اطراف پایه استوانه‌ای شکل که توسط صفحات محافظت شده است ارائه دادند [۷].

سینگ و همکاران (۲۰۰۱) عملکرد سازه‌ها را در کاهش آبستگي مورد مطالعه قرار دادند نتایج آزمایشات حاکی از آن بود که چنانچه فاصله بین تراز بستر و تراز نصب سازه افزایش یابد. ماکزیمم عمق آبستگي افزایش می‌یابد [۸].

زراتی و همکاران (۲۰۰۶) نیز عملکرد صفحات مستقل و پیوسته همراه با سنگ چینی را در گروه پایه‌های پل بررسی کردند. نتایج نشان داد که ترکیبی از یک صفحه پیوسته و سنگ چین منجر به کاهش عمق آبستگي ۵۰ و ۶۰ درصد به ترتیب در جلو و پشت پایه می‌شود. همچنین عملکرد صفحات مستقل بر روی هر پایه بهتر از عملکرد یک صفحه پیوسته بر روی دو پایه بود. آنها مشاهده کردند که کارایی صفحه

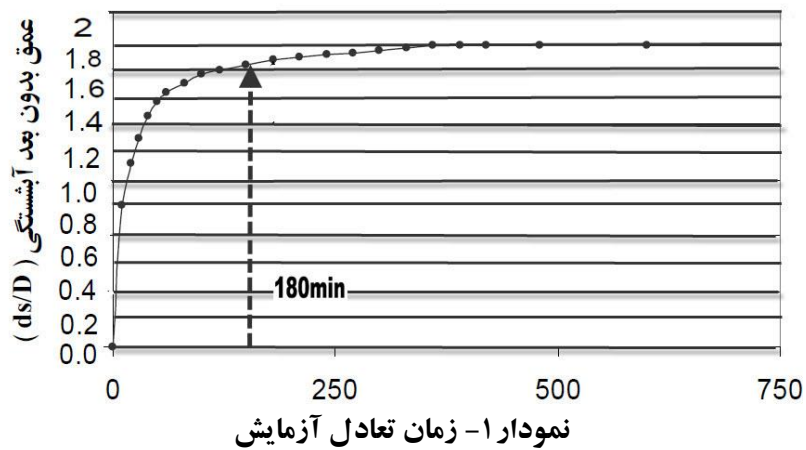


شکل ۴- شمایی از فلوم آزمایشگاهی

زمان تعادل

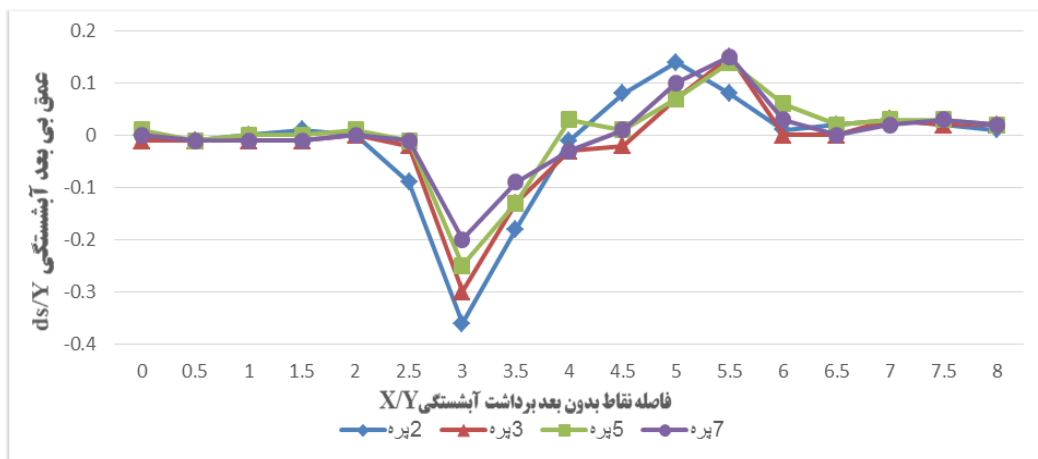
به منظور دستیابی به ماکزیمم عمق آبستگي، کلیه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال انجام شد. زمان تعادل آزمایش‌ها توسط یک آزمایش طولانی به مدت ۵ ساعت روی پایه پل بدون سازه انجام شد. با توجه به نمودار (۱) مشاهده شد که در ۳ ساعت اول تقریباً ۹۸٪ آبستگي رخ می‌دهد بنابراین در کلیه آزمایش‌ها زمان تعادل ۳ ساعت در نظر گرفته شد.

به منظور حذف تأثیر اندازه ذرات رسوبی بستر بر روی عمق آبستگي باید قطر پایه بزرگتر از ۵۰ برابر اندازه متوسط ذرات باشد [۴]. بنابراین از ذرات ماسه‌ای غیر چسبنده به اندازه متوسط $0/92$ میلی‌متر استفاده شد. جنس سازه‌ها ورق‌های دماغه از جنس پلکسی به ضخامت ۱ میلی‌متر که به شکل مثلثی و گرد ساخته شده انتخاب شد.

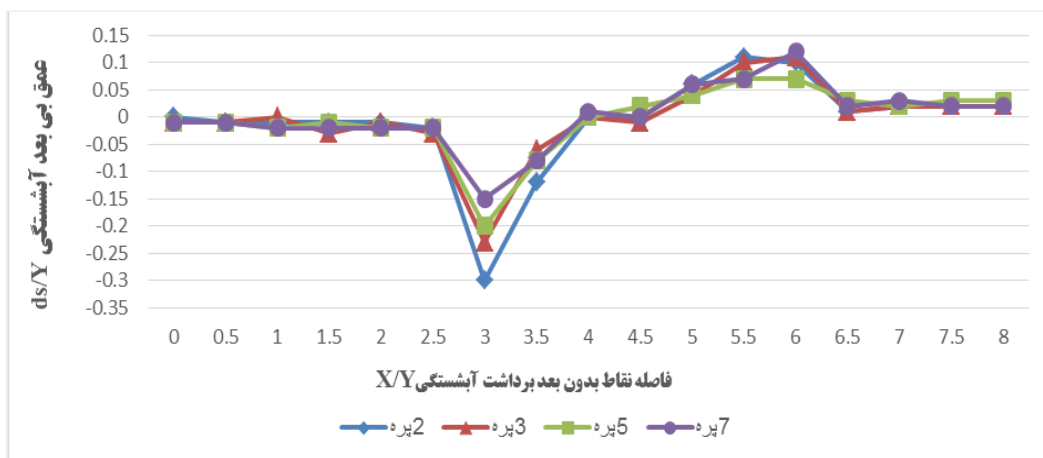


۹ و ۷ و ۵ میلی متر با تعداد پره به ترتیب ۲، ۳، ۵، ۷ مورد آزمایش قرار گرفت.

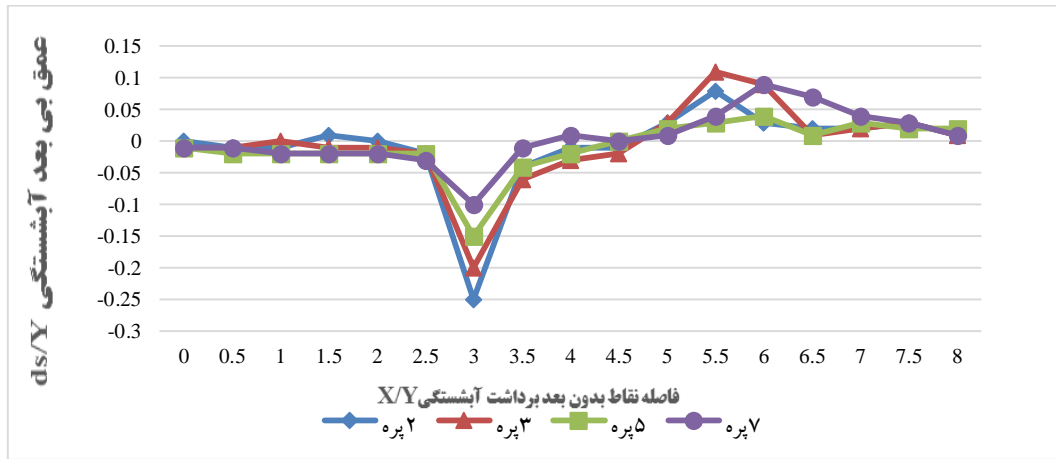
بحث و نتیجه گیری
تعداد ۱۳ آزمایش در دبی آستانه حرکت (۲۸ مترمکعب بر ساعت) انجام شد که از پره‌هایی با بعد



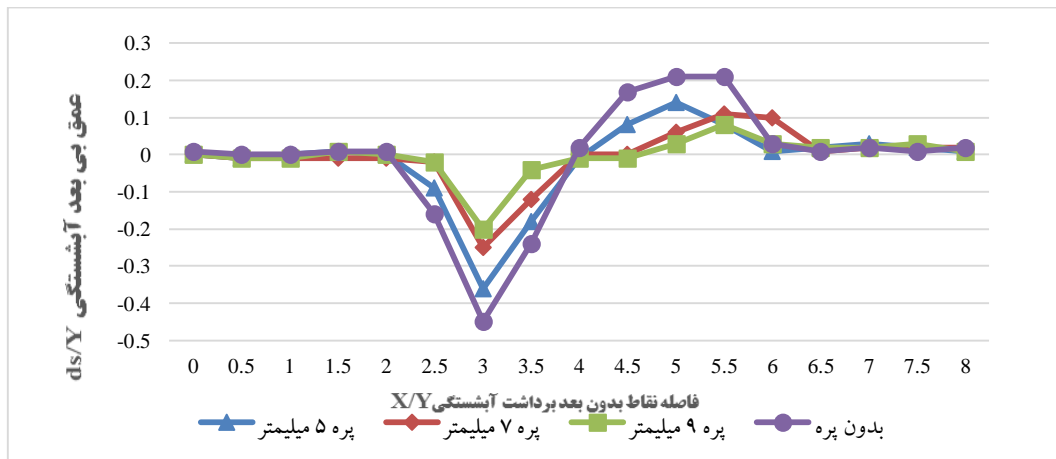
نمودار ۲- تغییرات $\frac{D_s}{Y}$ به ازای $\frac{X}{Y}$ برای پره ۵ میلی متر



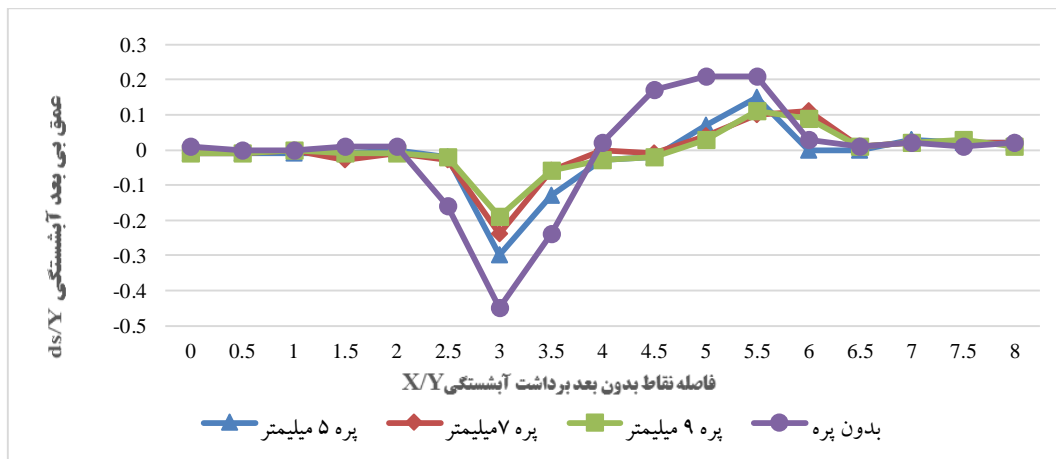
نمودار ۳- تغییرات $\frac{D_s}{Y}$ به ازای $\frac{X}{Y}$ برای پره ۷ میلی متر



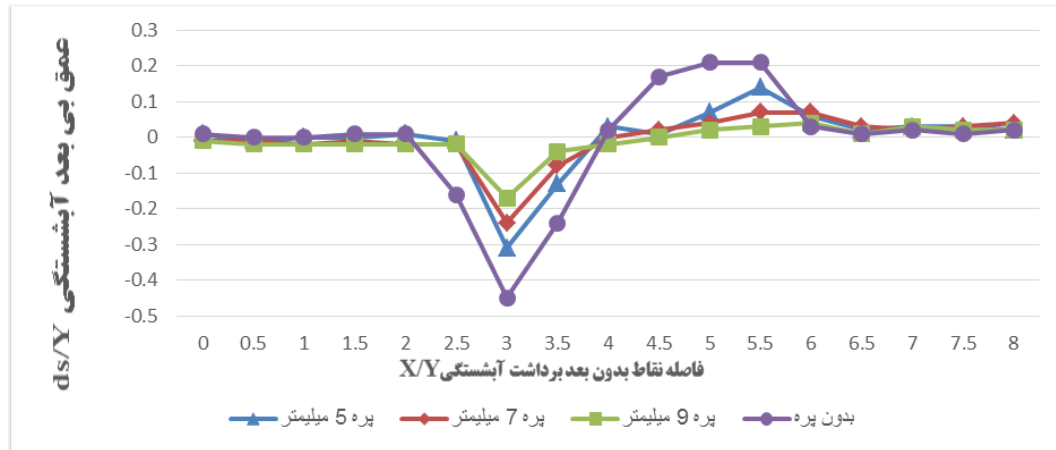
نمودار ۴- تغییرات $\frac{D_s}{Y}$ به ازای $\frac{X}{Y}$ برای پرده ۹ میلی‌متر



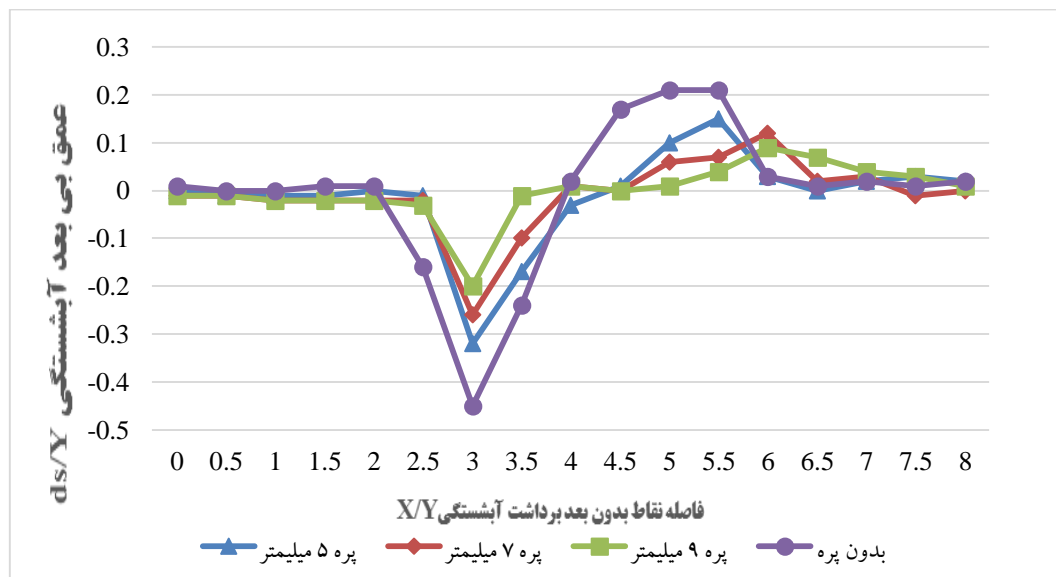
نمودار ۵- مقایسه تغییرات $\frac{D_s}{Y}$ به ازای $\frac{X}{Y}$ پایه شاهد با پایه دو پرده برای ضخامت‌های ۹ و ۷٫۵ میلی‌متر



نمودار ۶- مقایسه تغییرات $\frac{D_s}{Y}$ به ازای $\frac{X}{Y}$ پایه شاهد با پایه سه پرده برای ضخامت‌های ۹ و ۷٫۵ میلی‌متر



نمودار ۷- مقایسه تغییرات $\frac{D_s}{Y}$ به ازای $\frac{X}{Y}$ پایه شاهد با پایه پنج پره برای ضخامت‌های ۷،۵ و ۹ میلی‌متر



نمودار ۸- مقایسه تغییرات $\frac{D_s}{Y}$ به ازای $\frac{X}{Y}$ پایه شاهد با پایه هفت پره برای ضخامت‌های ۷،۵ و ۹ میلی‌متر

نسبت به باقی حالات عمق آبشستگی را بیشتر کاهش داده است.

در حالت کلی با در نظر گرفتن اثر بُعد پره‌ها و تعداد آنها به ترتیب حالت، هفت پره با بعد ۹ میلی‌متر، پنج پره با بعد ۹ میلی‌متر و ۳ پره با بعد ۹ میلی‌متر عمق آبشستگی را نسبت به حالت ماکزیمم (آزمایش شاهد) کاهش داده‌اند.

نتایج نشان داد که پره‌ها با بعد پنج، هفت و نه میلی‌متر به ترتیب ۵۵٪، ۶۷٪ و ۷۷٪ عمق آبشستگی را کاهش داده‌اند.

مطابق نمودارهای فصل چهارم از بین حالت پره‌های هدایت کننده جریان جهت کاهش عمق آبشستگی بین حالات (۳، ۵، ۷، ۹، ۲) پره حالت هفت پره عمق آبشستگی را نسبت به حالت دیگر بیشتر کاهش داده است.

نتایج نشان داد که با افزایش تعداد پره‌های هدایت کننده جریان عمق آبشستگی کاهش یافته است.

از بین حالات بُعد پره، پره ۹ میلی‌متر عملکرد بهتری داشته و در هنگام قرارگیری بر روی تکیه‌گاه

منابع

1. Zarrati, A.R., Nazariah, M. and Mashahir, M.B. (2006) Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 132(2), 154-162.
2. Chiew, Y. M. (1992) Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 118(9), 1260- 1269.
3. Johnson, P.G. and Niezgod, S.L. (2004) Risk-based method for selecting bridge pier scour countermeasures. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 130(2), 121-128.
4. Raudkivi, A.J. (1998) *Loose boundary hydraulics*. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
5. Breusers, H. N. C., Nicollet, G. and Shen, H. W. (1997) Local scour around cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Research*, 15 (3), 211-252.
6. Alabi, P. D. (2006) Time development of local scour at bridge pier fitted with a collar. MS thesis, University of Saskatchewan, Canada.
7. Kumar, V., Ranga Raju, K. G. and Vittal, N. (1999) Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 125(12), 1302-1305.
8. Singh, C.P., Setia, B. and Verma, D.V.S. (2001) Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. *Proceedings of Theme D, 29th Congress on Hydraulics of Rivers, Water Works and Machinery*, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, China. September 16-21, 202-209.