

Experimental Investigation of the Collar and Vanes on Reduction the Scour Depth of Cylindrical Piers

EBRAHIM NOHANI^{1*}, SAMAN EBRAHIMI²

1. Assistant professor ,Department of Hydraulic Structures, Young Researchers and Elite Club, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran
2. Graduate Student, Civil Engineering Department, Hydraulic Structures, Islamic Azad University, Dezful Branch, Iran.
(Received: May. 15, 2018- Revised: Aug. 11, 2018- Accepted: Aug. 14, 2018)

ABSTRACT

Scouring threaten the stability of hydraulic structures in various forms. One way to indirectly reduce scouring is to put collars and vanes. Collar is a thin plate at a certain height from the base of the bridge which prevents direct contact of down flow in front of the pier with the river bed and undermines the activity of horseshoe whirlpool. Also, in the scouring foundations, the speed of scouring reduces or in other words, the time of scouring is delayed. In this study, using experimental modeling, the researcher investigated the effects of combined collar and vanes on the reduction of scouring depth on cylindrical pier. According to the results of the experiment, the highest scour depth reduction for the Froude number of 0.246 and the pier in the vicinity of the collar of twice the pier diameter and six submerged plates for each tripod occurred respectively (55%, 96%, 98%). Also, the results showed that submerged plates with impact on stream lines and collars with protection of the pier against downstream vortices and Horseshoe vortices are suitable tools for reducing scour depth in Cylindrical bridge pier group.

Keywords: Scouring, Cylindrical pier, Collar, Vanes, Experimental, Model

بررسی آزمایشگاهی تأثیر توام طوق و صفحات مستغرق بر میزان کاهش عمق آبشستگی گروه پایه‌های پل - استوانه‌ای شکل

ابراهیم نوحانی^{۱*}، سامان ابراهیمی^۲

۱. استادیار، گروه عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دزفول، ایران.

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دزفول، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۵/۲۳)

چکیده

آبشستگی به فرم‌های مختلف پایداری سازه‌های هیدرولیکی را مورد تهدید و فرسایش قرار می‌دهد. یکی از روش‌های غیرمستقیم کاهش آبشستگی نصب طوق و صفحات مستغرق است. طوق عبارتست از صفحه‌ای نازک که در یک ارتفاع مشخص از پایه پل نصب شده و به این وسیله مانع از تماس مستقیم جریان پایین رونده در جلوی پایه پل با بستر رودخانه می‌گردد و فعالیت گرداب‌های نعل اسبی را تضعیف می‌کند همچنین در پایه‌های طوق دار سرعت آبشستگی کاهش یافته و یا به عبارت دیگر زمان شروع آبشستگی به تأخیر می‌افتد. در این تحقیق با مدل سازی آزمایشگاهی به بررسی تأثیر توام طوق و صفحات مستغرق بر میزان کاهش عمق آبشستگی پایه‌های استوانه‌ای پرداخته شده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش بیشترین کاهش عمق آبشستگی برای فرود ۰/۲۴۶ و پایه در مجاورت طوق دو برابر قطر پایه و شش صفحه مستغرق برای هر سه پایه به ترتیب (۵۵٪، ۹۶٪، ۹۸٪) اتفاق افتاده است. همچنین نتایج نشان داد که صفحات مستغرق با تأثیر بر روی خطوط جریان و طوق با محافظت از پایه در مقابل گرداب‌های پایین رونده و گرداب‌های نعل اسبی، ابزار مناسبی جهت کاهش عمق آبشستگی در پایه‌های استوانه‌ای باشد.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، پایه استوانه‌ای، طوق، صفحات مستغرق، مدل آزمایشگاهی.

مقدمه

رودخانه ضمن حفر بستر ذرات رسوبی را به اطراف پراکنده کند (Nohani and Heydarnejad, 2014). بخشی از جریان رو به پایین که به سمت بالا بازگشت می‌کند، در برخورد به جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدداً به پایه برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت آن در داخل حفره کنده شده، گردابی تشکیل می‌دهد که به تدریج در دو طرف پایه، امتداد یافته و شکل شبیه نعل اسب پدید می‌آورد که به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آبشستگی، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند (Breusers *et al.* 1997). شکل (۱) نمونه‌ای از جریان آشفته و گرداب‌هایی را که باعث آبشستگی موضعی و حفره می‌گردند را نشان می‌دهد. در هنگام آبشستگی بخش سازه‌ای پل تخریب شده و برای مرمت و بازسازی آن علاوه بر هزینه‌های هنگفت، مدت زمان بالای عملیات نیز باعث بروز مشکلات جدی در بازیابی مسیر خواهد شد (شکل ۲).

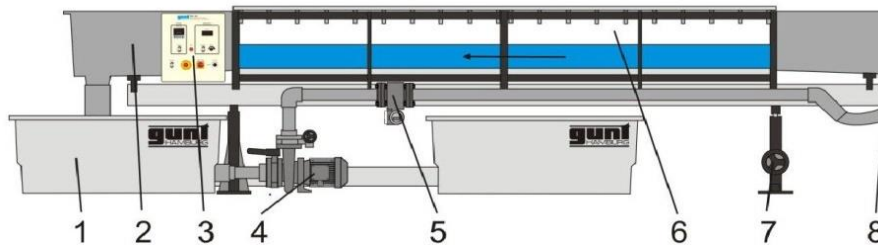
تخریب پل‌ها به علت آبشستگی، زیان‌های سنگین اقتصادی و جانی را به دنبال دارد. تاکنون محققین متعددی مساله آبشستگی را مورد مطالعه قرار داده‌اند، که به علت پیچیدگی و تعدد عوامل حاکم بر پدیده، هنوز موفق به ارائه راه حل واحدی برای محاسبه عمق آبشستگی نشده‌اند؛ عواملی چون شکل آبراهه، خصوصیات جریان، شکل پایه و تکیه‌گاه و زاویه استقرار آن‌ها نسبت به جریان و خصوصیات رسوبات؛ همگی از عواملی می‌باشند که در پیچیدگی مساله آبشستگی اهمیت دارند. مکانیزم آبشستگی بدین صورت است که پس از برخورد جریان به پایه پل، با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود فشار بیشتری نیز در ترازهای بالاتر بر روی پایه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی پایه از بالا به پایین به وجود می‌آید که خود باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در جلو پایه می‌شود. جریان رو به پایین همانند یک جت عمودی عمل کرده و پس از برخورد به بستر

Shojaee et al. (2012) به بررسی تأثیر توأم صفحات مستغرق و طوق در کاهش عمق آبشستگی پایه های استوانه‌ای شکل پل‌ها پرداختند. آزمایش‌ها ایشان با طوقی به قطر سه برابر قطر پایه همتراز بستر و صفحاتی با طول یک و نیم برابر قطر پایه و ارتفاع روی بستر صفر انجام شد. نتایج آنها نشان داد که بیشترین میزان کاهش در عمق حفره آبشستگی با کاربرد توأم طوق و چهار عدد صفحه به مقدار ۶۱ درصد می‌باشد. Emamgholizadeh and Nohani (2017) به بررسی عملکرد استقرار صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی موضعی اطراف تکیه‌گاه پل با دماغه گرد بصورت آزمایشگاهی پرداختند. ایشان از صفحات با طول ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۳/۳۳ سانتی‌متر و با زاویه قراگیری ۲۰ درجه نسبت به جریان در جلوی تکیه‌گاه پل استفاده کردند. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد صفحات مستغرق در حالت آرایش دو ردیفه موازی بوده که باعث کاهش ۷۱/۷۴ درصدی عمق آبشستگی شد. Parchami et al. (2017) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل صفحات مستغرق بر آبشستگی پایه پل پرداختند. ایشان از صفحاتی با طول برابر قطر پایه و ارتفاع روی بستر صفر استفاده کردند و نتایج آنها نشان داد که بیشترین مقدار کاهش عمق آبشستگی نسبت به پایه بدون محافظ مربوط به حالت صفحات تخت با آرایش نوک تیز می‌باشد و صفحات محدب نسبت به صفحات تخت قرار گرفته با زاویه حمله ۲۰ درجه و صفحات مقعر عملکرد بهتری داشته اند. لذا در تحقیق حاضر کاهش آبشستگی اطراف گروه پایه با بکارگیری طوق و صفحه مستغرق بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر توأم طوق و صفحات مستغرق بر میزان کاهش عمق آبشستگی پایه‌های استوانه‌ای، یک مدل فیزیکی تهیه شد. این مدل در یک فلوم با ابعادی به طول ۷/۵ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر که اسکلت سازه فلوم، فلزی با شیب متغییر وبدنه شیشه ای (به منظور مشاهده شرایط هیدرولیکی تشکیل شده) ساخته شد که نمای کلی آن در شکل (۴) نشان داده شده است. رسوبات بستر به ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر از کف فلوم در نظر گرفته شد و ارتفاع آب روی رسوبات بستر با توجه به دبی آستانه حرکت (۱۲ لیتر بر ثانیه در این تحقیق) ۱۰ سانتی‌متر منظور گردید.

Kumar et al. (1999) برای کاهش عمق آبشستگی از پنج اندازه مختلف طوقه با قطر ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۴ برابر قطر پایه در اطراف پایه استوانه ای استفاده کردند و مشاهده شد که طوقه های کوچک باعث بوجود آمدن چاله های بزرگ در وجه بالادست پایه می‌شوند. Singh et al. (2001) گزارش کردند که طوقه هایی با قطرهای ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر قطر پایه بر روی بستر کانال به میزان ۵۰٪، ۶۸٪ و ۱۰۰٪ نسبت به پایه بدون محافظ باعث کاهش آبشستگی می‌شوند. بررسی منابع انجام شده نشان می‌دهد که تا به حال تحقیق آزمایشگاهی در زمینه عملکرد توأم طوق و صفحات مستغرق بر کاهش آبشستگی گروه پای‌های استوانه‌ای انجام نشده است که در این تحقیق برای نخستین بار مورد بررسی قرار گرفت. زراتی و همکاران آزمایشات متعددی را بر روی کاربرد طوق در مهار آبشستگی در پایه‌های مستطیلی زاویه‌دار انجام دادند (Zarrati et al. 2004). نتایج آزمایشات حاکی از آن بود که طوق‌های بزرگتر در ارتفاعات پایین‌تر موثرتر بوده و کارایی طوق‌ها با افزایش زاویه‌ی پایه نسبت به جریان کاهش می‌یابد. مشاهیر و همکاران به این نتیجه رسیدند که طوق با ابعاد سه برابر پایه مستطیلی بر روی بستر بهترین کارایی (کاهش عمق آبشستگی حدود ۶۰ درصد) را دارد (Mashahir et al. 2004). Samimi et al. (2005) اثر شکل متفاوت صفحات را بر روی آبشستگی پل‌ها بررسی کردند. آنها عملکرد صفحات مستغرق را که نیمه اول آنها با جریان زاویه‌ی ۱۰ درجه و نیمه‌ی دوم آنها با جریان زاویه‌ی ۳۰ درجه می‌سازد را در کاهش آبشستگی پایه ی پل‌ها بررسی کردند. Ghorbani and Kells. (2008) تأثیر صفحات مستغرق منفرد و دوگانه را در کاهش آبشستگی پایه های پل از طریق مطالعه‌ی آزمایشگاهی بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که استفاده از دو صفحه‌ی مستغرق نسبت به یک صفحه در کاهش عمق آبشستگی موثرتر است. Hosseini et al. (2009) به بررسی آزمایشگاهی نقش کنترلی صفحات مستغرق و طوق در کاهش آبشستگی پایه‌های مستطیلی پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش زاویه‌ی پایه با جهت جریان از تأثیر صفحات مستغرق، طوق و صفحات مستغرق همراه با طوق در کنترل آبشستگی کاسته می‌شود و همچنین حداکثر کاهش آبشستگی در آزمایشات با صفحات مستغرق و طوق برای پایه‌ی ۵، ۱۰ و ۱۰ درجه به ترتیب برابر ۶۲/۶۹، ۴/۴۹ و ۷/۷۸ درصد می‌باشد.



شکل ۴. پلان کلی اجزای تشکیل دهنده فلوم آزمایشگاهی

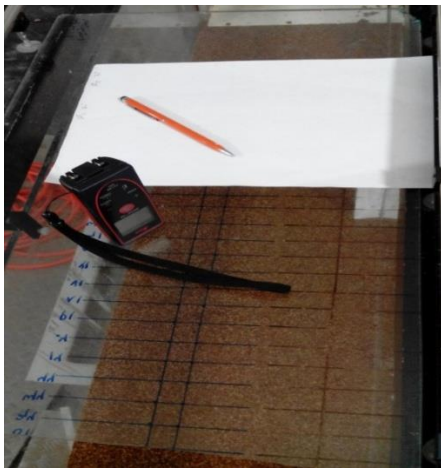
۵). در این آزمایش‌ها فاصله متر لیزری تا بستر کانال بطور متوسط ۵۰ سانتیمتر می‌باشد. زمان تعادل نقش مهمی در نتایج بدست آمده از یک آزمایش آبشستگی ایفا می‌کند. این زمان با توجه به اینکه بایستی شرایط تعادلی حاصل گردد، طولانی است و زمان انجام آزمایش‌ها طویل مدت است. بسیاری از محققین حداکثر زمان آزمایش‌ها انجام شده را ۲ ساعت در نظر گرفته‌اند، و بیان کرده‌اند که میزان افزایش در عمق حفره آبشستگی عمدتاً بعد از ۲ ساعت ناچیز است (Bozkus and Sheppard *et al.* (2004). (Yildiz, 2004). زمانی متوقف کردند که عمق آبشستگی بیشتر از ۵ درصد قطر پایه طی یک دوره ۲۴ ساعته نباشد. معیار زمان تعادل در این تحقیق حاضر، معیاری است که (Kumar *et al.* (1999) در تحقیقات خود در نظر گرفتند و آن مدت زمانی است که تغییرات عمق آب شستگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی‌متر نباشد. بدین منظور یک آزمایش تعادل در بحرانی‌ترین شرایط (دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه) و پایه استوانه‌ای بدون طوق و صفحه مستغرق به مدت ۳/۵ ساعت انجام شد. در پایان با رسم اعماق نسبی آبشستگی در مقابل زمان شکل (۶) حاصل گردید. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که در مدت ۱۲۰ دقیقه اول ۹۵٪ آبشستگی رخ می‌دهد. لذا در کلیه آزمایش‌ها، زمان آزمایش ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

به منظور بررسی صفحات مستغرق و طوق در کنترل آبشستگی گروه پایه‌های پل، تعداد ۲۸ آزمایش طبق سناریوهای جدول (۱) انجام شد. متغیرهای آزمایش شامل سه دبی (۸، ۱۰ و ۱۲ لیتر بر ثانیه) سه قطر مختلف طوق ($W = b$, $W = 0.5b$) و سه حالت صفحه ($W = 2b$) که b عرض پایه پل می‌باشد) و سه حالت صفحه مستغرق (۲، ۴ و ۶ صفحه مستغرق) می‌باشد. فواصل قرار گیری پایه‌ها از یکدیگر بگونه‌ای تعیین گردید که جهت قرار گیری طوق‌ها تداخلی پیش نیاید در نتیجه فواصل بین پایه‌های پل ۲۵ سانتی‌متر ($5b$) تعیین شد همچنین فاصله بین صفحات مستغرق ۵ سانتی‌متر (b) از یکدیگر و بصورت متوالی انتخاب شد.

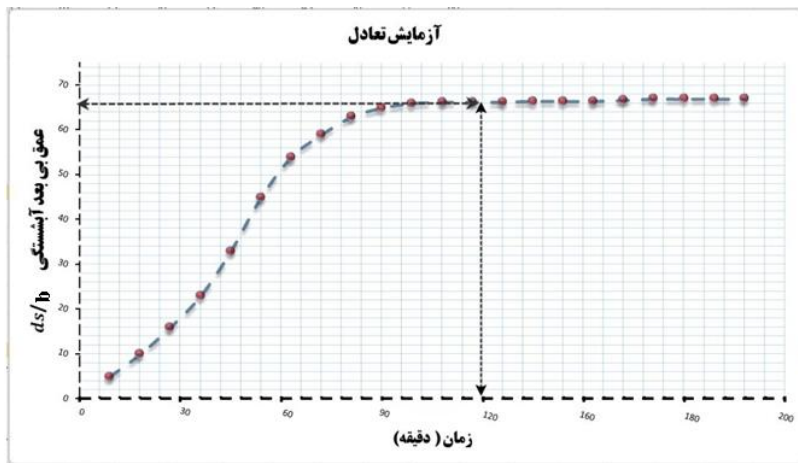
در شکل فوق؛ ۱- مخزن خروجی فلوم، ۲- کانال خروجی انتهای فلوم، ۳- کلیدهای روشن و خاموش پمپ، ۴- پمپ، ۵- دستگاه اندازه گیری دبی، ۶- کانال مستطیلی روباز شیشه‌ای، ۷- شیر تنظیم دبی، ۸- حوضچه آرام کننده ابتدای فلوم می‌باشند. برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی، طبق توصیه‌های (Chiew and Melville (1987) قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد. لذا جهت مدل کردن پایه پل از لوله PVC به قطر ۵۰ میلی‌متر به صورت استوانه‌ای استفاده شد. در وسط فلوم و در محدوده‌ای به طول ۱/۶ متر و به ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر از رسوبات با دانه بندی یکنواخت و غیر چسبنده پر گردید و برای محدود کردن رسوبات و جلوگیری از جابه‌جایی آنها دو عدد باکس از جنس PVC به ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر (هم ارتفاع با بستر رسوبی) ساخته شده و به وسیله چسب در محل‌های خود ثابت شد. برای جلوگیری از تشکیل ریبیل قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگتر باشد (Raudkivi and Ettema, 1983). همچنین برای حذف اثر رسوبات روی عمق آبشستگی نسبت قطر پایه به متوسط قطر ذرات باید کمتر از ۵۰ باشد. در همین راستا (Raudkivi and Ettema (1983) این نسبت را ۳۰-۲۵ پیشنهاد کرده‌اند. با توجه به این موارد از یک لایه ماسه طبیعی رودخانه‌ای با قطر متوسط معادل ۰/۹ میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل ۱/۱ و ضریب یکنواختی ۱/۲۵ انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۱۴ سانتی‌متر برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی ذرات رسوبی ($u < u_c$) باشد (Oliveto and Hager, 2002). در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت متوسط جریان (u) به سرعت بحرانی (u_c) ۰/۹۳ انتخاب شد. به منظور برداشت نقاط از یک دستگاه متر لیزری مدل Leica DISTO D210 ساخت کشور مجارستان با دقت ± 1 میلی‌متر در طول ۸۰ متر، استفاده شد (شکل شماره

فلوم، عمق جریان روی ۱۰ سانتی‌متر تنظیم گردید. پس از تنظیم دقیق تراز سطح آب، هر آزمایش به مدت ۱۲۰ دقیقه در حال انجام باقی مانده و پس از این زمان، پمپ آب خاموش و آب فلوم تخلیه گردید. برداشت مقادیر چاله آبشستگی توسط متر لیزری و شیشه شبکه بندی مدرج انجام گردید. شکل (۷) نمونه‌ای از نحوه قرارگیری پایه‌های پل، طوق و صفحات مستغرق در یکی از آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

صفحات مستغرق دارای ابعاد ۱۰×۲۰ سانتی‌مترمربع و زاویه قرارگیری آنها ۴۵ درجه در نظر گرفته شد. قبل از انجام هر آزمایش رسوبات در طول فلوم و اطراف پایه‌های پل پهن شد و سپس طوق در اطراف پایه و صفحات مستغرق در جلوی پایه اول قرار گرفت. پس از صاف کردن سطح رسوبات، درجه انتهایی را کاملاً بسته و شیر فلکه به مقدار کم باز گردید تا بدون آنکه رسوبات کوچکترین حرکتی داشته باشند، کانال از آب پر شود. سپس با تنظیم دبی مورد نظر و با استفاده از دریچه لولایی پایاب



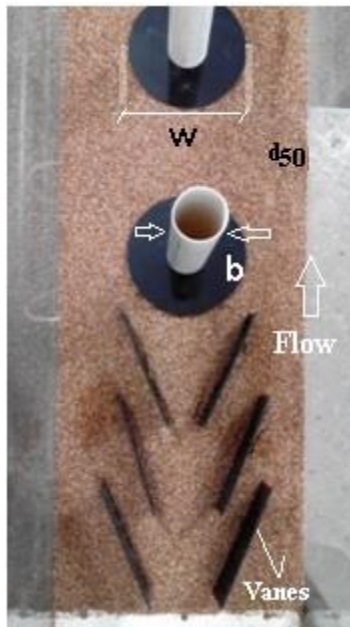
شکل ۵. متر لیزری و صفحه مدرج



شکل ۶. منحنی توسعه زمانی آبشستگی

جدول ۱. سناریوهای آزمایش‌ها

تعداد آزمایش	ارتفاع آب (cm)	دبی (Lit/s)	قطر طوق (cm)	تعداد صفحات مستغرق
۱	۱۰	۱۲	بدون طوق (شاهد)	بدون صفحه (شاهد)
۹	۱۰	۱۲	۲/۵	۶-۴-۲
۹	۱۰	۱۰	۲/۵	۶-۴-۲
۹	۱۰	۸	۲/۵	۶-۴-۲



شکل ۷. نحوه قرارگیری پایه‌های پل، طوق و صفحات مستغرق در آزمایش‌ها

تحقیق بر اساس پارامترهای بی بعد معادله ۳ تفسیر و رسم گردید که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی آزمایشگاهی تأثیر توأم طوق و صفحات مستغرق بر میزان آبشستگی پایه‌های پل

به منظور مقایسه مکانیزم آبشستگی در گروه پایه‌ها بدون حضور طوق و صفحات مستغرق و همچنین با حضور آن‌ها، ابتدا آزمایشی شاهد بدون نصب سازه‌های حفاظتی انجام شد. سپس سناریوهای مختلف طبق جدول (۱) مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. به منظور نمایش آبشستگی موضعی در اطراف گروه پایه‌های پل و وضعیت پروفیل عرضی، شکل (۸) ارائه شده است. همانطور که در شکل نیز مشخص است، کاهش قطر طوق در اطراف پایه‌های پل و کاهش تعداد صفحات مستغرق باعث افزایش چاله آبشستگی در مقطع طولی و عرضی گروه پایه‌های پل شده است. نمونه‌ای از حالات پروفیل‌های طولی (از محور مرکزی فلوم)، عمق نسبی آبشستگی برای کلیه آزمایش‌ها رسم شد که بطور نمونه برای عدد فرود ۰/۲۹۰ و کارگزاری سه ردیف دوتایی صفحه مستغرق و طوق‌های با قطر مختلف در شکل (۸) نشان داده شد. با توجه به این شکل، در تمام مدت آزمایش عمق نسبی آبشستگی در پایه دوم، کمتر از پایه اول و در پایه سوم کمتر از پایه‌های اول و دوم می‌باشد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که پایه پل اول بعنوان محافظ برای پایه دوم و همچنین پایه دوم به عنوان محافظ برای پایه سوم در تمام مدت زمان آزمایش

در این پژوهش، ابتدا پارامترهای موثر بر پدیده آبشستگی موضعی استخراج گردید و سپس طبق روش باکیگنهام بی‌بعد سازی صورت گرفت. پارامترهای دخیل در این تحقیق به شرح زیر (رابطه ۱) می‌باشند.

$$f(d_s, d_{50}, W, \gamma, u_c, u, g, \rho, \mu, b, N) = 0 \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این رابطه: d_s عمق آبشستگی، d_{50} قطر متوسط ذرات رسوب، W قطر طوق، γ عمق جریان، u_c سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر، u سرعت جریان، g شتاب ثقل، ρ جرم مخصوص سیال، μ لزجت سینماتیکی، b قطر پایه پل و N تعداد صفحات مستغرق می‌باشند. یکی از خصوصیات سیال μ ، خصوصیات جریان u ، و متغیری از طول b ، به عنوان متغیرهای تکراری انتخاب شد و با داشتن ۱۱ پارامتر متغیر، ۸ پارامتر بدون بعد ($11-3=8$) ایجاد می‌گردد که عبارتند از:

$$\left(Re, Fr, \frac{u_c}{u}, \frac{d_{50}}{b}, \frac{\gamma}{b}, \frac{W}{b}, N \right) = \frac{d_s}{b} \quad (\text{رابطه ۲})$$

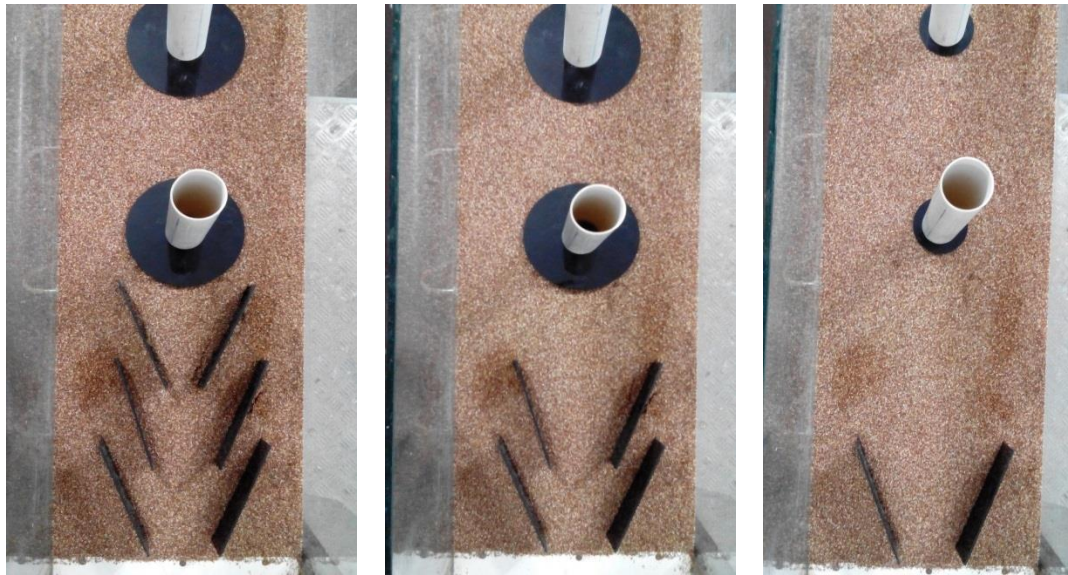
در رابطه فوق، Fr عدد فرود جریان و Re عدد رینولدز می‌باشند. با توجه به معادله بدست آمده در رابطه (۲)، عدد رینولدز Re به علت آشفته بودن جریان، و نسبت‌های عمق نسبی ($\frac{\gamma}{b}$)، قطر نسبی ذرات بستر ($\frac{d_{50}}{b}$) و سرعت آستانه نسبی ذرات بستر به سرعت جریان ($\frac{u_c}{u}$) به علت ثابت بودن در کلیه آزمایش‌ها حذف گردید و تنها چهار پارامتر بی‌بعد موثر جهت بررسی عمق آبشستگی مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً معادله (۲) به شکل معادله (۳) خلاصه می‌گردد:

$$\left(Fr, \frac{W}{b}, N \right) = \frac{d_s}{b} \quad (\text{رابطه ۳})$$

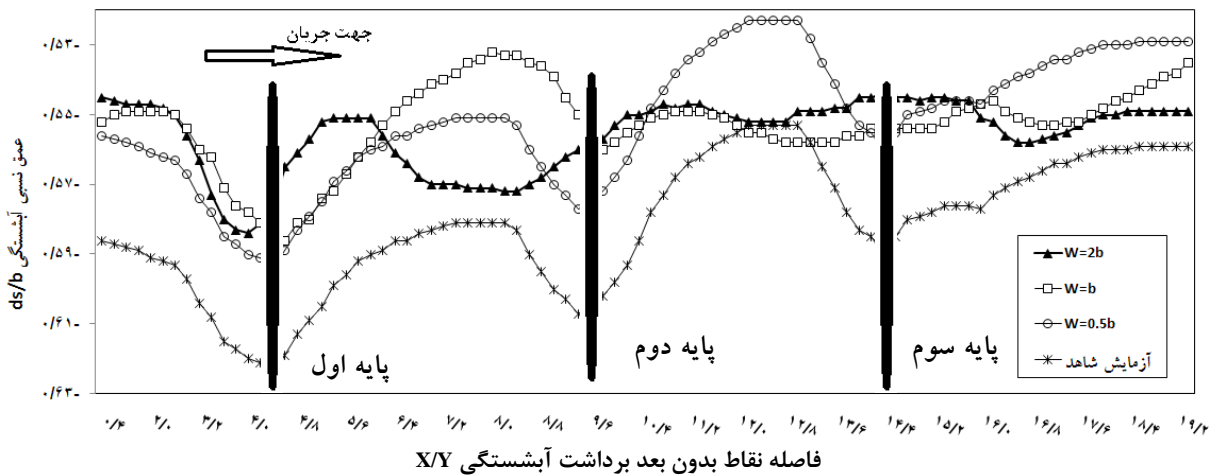
با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز ابعادی، کلیه نتایج

چشمگیری داشته است. صفحات مستغرق نقش زیادی در کاهش عمق آبستگي پایه اول و محافظت از آن داشته است و تاثیر آن توام با طوق بيشتري عملکرد را برای محافظت از پایه اول بازی می‌کند و اگرچه در کاهش میزان آبستگي پایه‌های دوم و سوم تاثیرگذار هستند اما میزان تاثیر آن از پایه اول نسبت به پایه دوم و سوم کاهش می‌یابد و در پایه‌های دوم و سوم طوق‌ها و آرایش پایه‌ها نقش مهمی در کاهش عمق نسبی آبستگي داشته‌اند.

نقش ایفا می‌کند و باعث کاهش قدرت جریان‌های گرداب‌های در اطراف پایه بعدی می‌شود. همچنین با توجه به شکل (۹) در حالتیکه از طوق و صفحات مستغرق استفاده شده است، عمق نسبی آبستگي به شدت نسبت به آزمایش شاهد کاهش داشته است و در این کاهش، اثر طوق بزرگ‌تر بیشتر از طوق کوچک می‌باشد. طوق‌ها با عملکرد مناسب، گرداب‌های باقی مانده را با توجه به ابعاد در حد توان مستهلک کرده و مانع از حفر هر چه بیشتر چاله آبستگي می‌گردد همچنین با افزایش قطر طوق میزان حفاظت در پایه دوم و سوم نسبت به پایه اول افزایش



شکل ۸. نمونه آزمایش‌های انجام گرفته



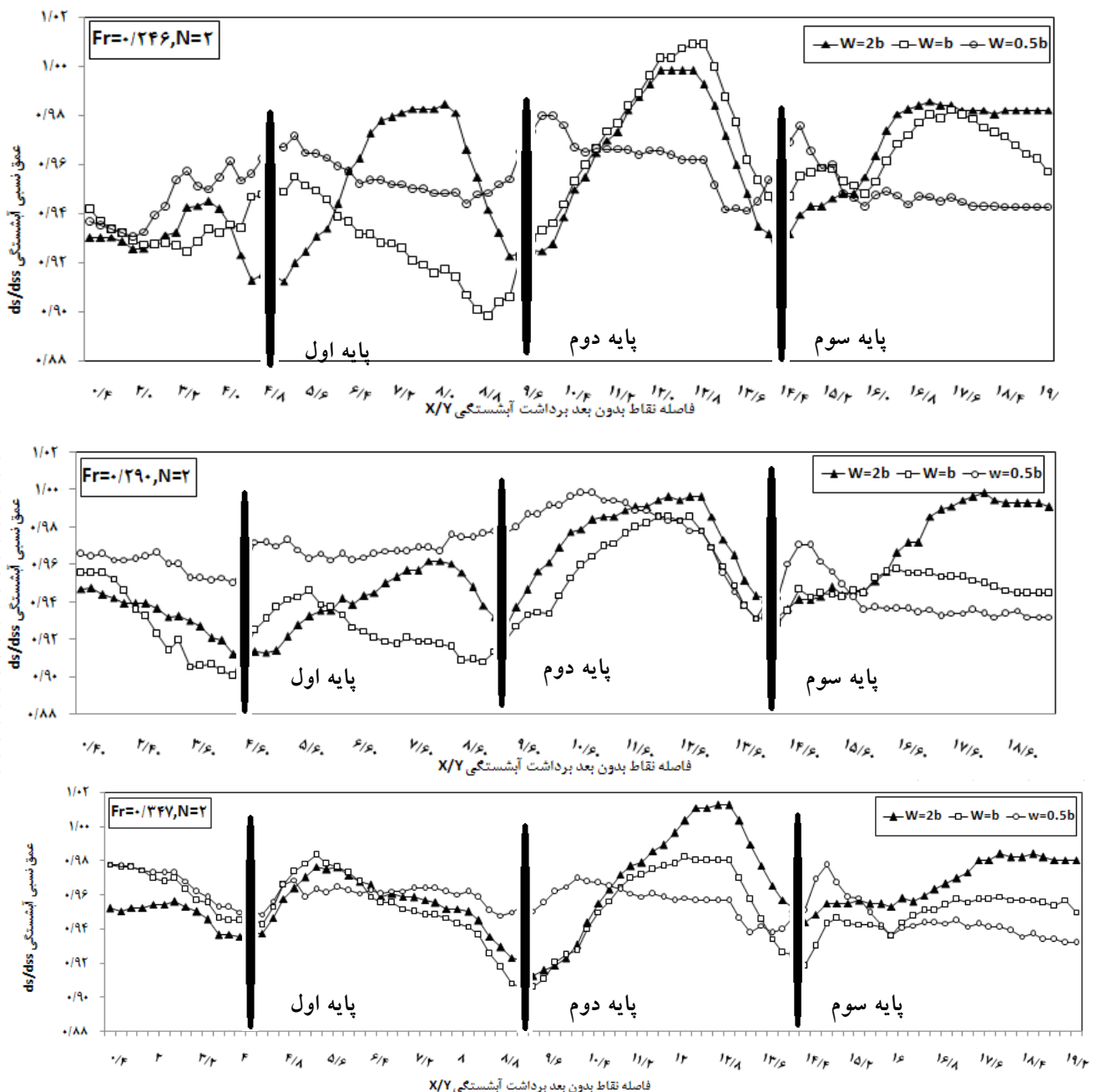
شکل ۹. پروفیل طولی عمق نسبی آبستگي اطراف گروه پایه پل با کارگزاری سه ردیف دوتایی صفحه مستغرق ($N = 6$) و طوق‌های مختلف

مستغرق و طوق‌های مختلف و اعداد فرود مختلف ترسیم شد (شکل شماره ۱۰).
با توجه به شکل (۱۰) پس از عبور جریان و برخورد به گروه

در ادامه نمودارهای بی بعد پروفیل طولی بر حسب عمق نسبی (عمق آبستگي هر سناریو در هر نقطه (ds) به عمق آبستگي در آزمایش شاهد (ds_s)) برای حالتیکه از دو صفحه

که بیشترین عمق آبستگی (در آزمایش شاهد) به ترتیب در اطراف پایه اول، دوم و سوم اتفاق می افتد و با توجه به اینکه پایه اول برای پایه دوم و پایه دوم برای پایه سوم نقش حفاظ (به اصلاح پایه قربانی شونده) را ایفا میکند در سناریوهایی که از روش های کنترل آبستگی استفاده شد، تاثیر بر کنترل آبستگی بسیار بیشتر بوده که در جدول (۲) به تفکیک برای تمامی سناریوها محاسبه شده است. با افزایش عدد فرود جریان عمق نسبی آبستگی در جلوی پایه و ارتفاع پشته های رسوبی در پشت پایه بیشتر شده که علت اصلی آن افزایش چشمگیر قدرت جریان های گردابه ای و جریان های رو به پایین می باشد.

پایه های پل که توسط صفحات مستغرق و طوق محافظ می شوند، عمق نسبی آبستگی به شدت کاهش داشته و نقش طوق و صفحات مستغرق در این کنترل، بسیار موثر بوده است. با توجه به اینکه محور قائم عمق آبستگی در هر آزمایش نسبت به عمق آبستگی در آزمایش شاهد می باشد، با افزایش فاصله نقاط از عدد یک نشان از بیشتر بودن تاثیر طوق و صفحات بر کاهش آبستگی می باشد ولی با توجه به اینکه پشته های رسوبی در پشت پایه پل تشکیل می شود این عدد از یک نیز بیشتر هم شده است که امری طبیعی است. نتیجه دیگر اینکه تاثیر طوق و صفحات مستغرق در پایه اول و دوم بیشتر از پایه سوم می باشد که علت اصلی این است



شکل ۱۰. پروفیل طولی بر حسب عمق نسبی آبستگی در آزمایش شاهد با متغیرهای طوق و اعداد فرود مختلف

پایه های پیل در کلیه آزمایش‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین درصد کاهش عمق آبستنگی در هر آزمایش و برای هر یکی از پایه‌های پیل به تفکیک محاسبه شد.

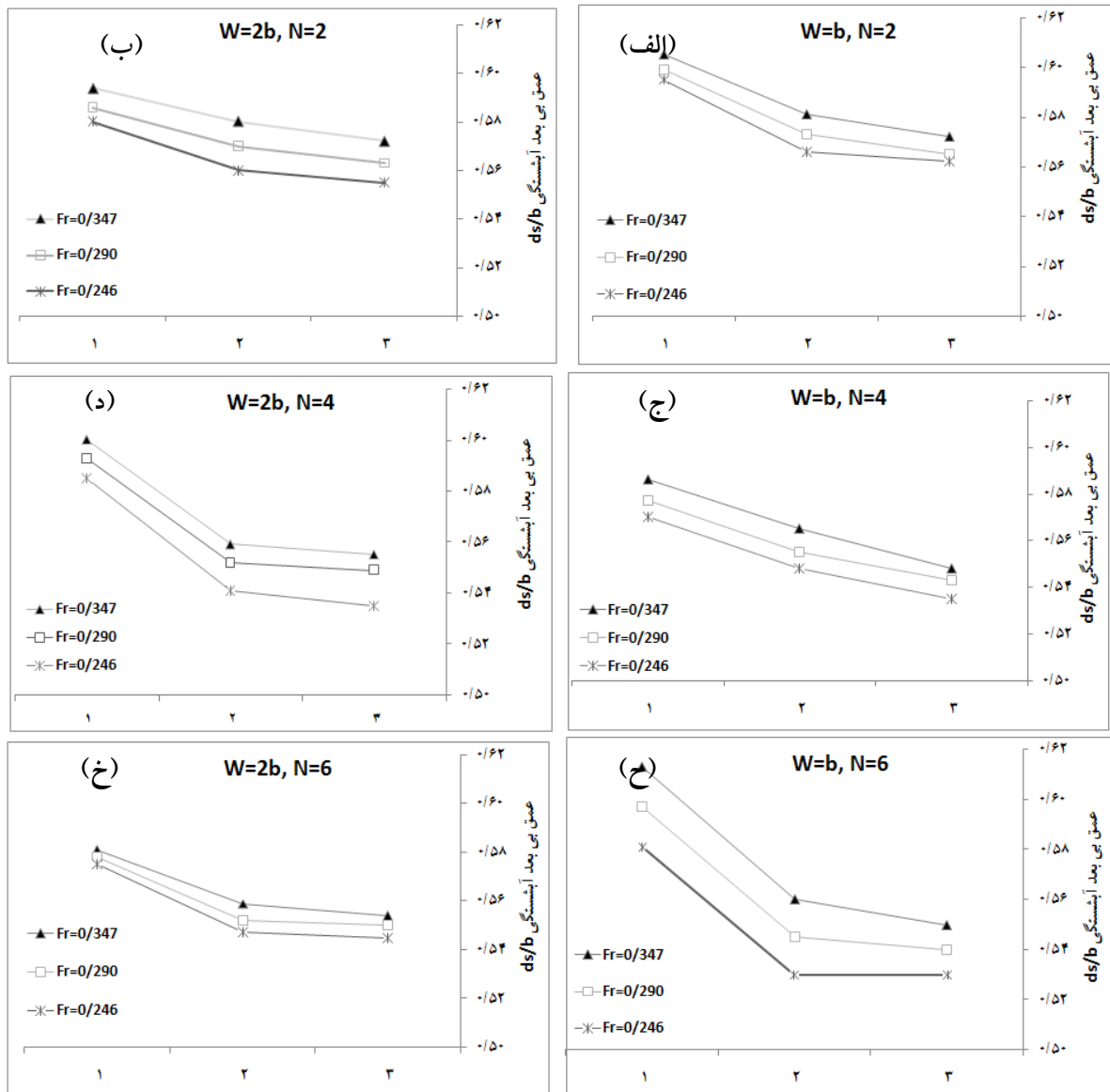
به منظور بررسی بیشتر در خصوص روند آبستنگی و تاثیر روش های طوق و صفحات مستغرق بر کنترل آبستنگی اطراف گروه پایه های پیل، حداکثر عمق آبستنگی در اطراف هر یک از

جدول ۲. عمق‌های آبستنگی و درصد کاهش آبستنگی در سناریوهای مختلف آزمایش‌ها

سناریوی آزمایش	F_T	$Q(L/s)$	$d_{s1}(cm)$	$d_{s2}(cm)$	$d_{s3}(cm)$	$S_1(\%)$	$S_2(\%)$	$S_3(\%)$
$W = 0.5b, N = 2$	۰/۲۴۶	۸	۵/۲	۴	۲/۶	۴۵/۳	۵۱/۸	۶۲/۹
$W = 0.5b, N = 2$	۰/۲۹۰	۱۰	۵/۶	۴/۴	۳	۴۱/۱	۴۷/۰	۵۷/۱
$W = 0.5b, N = 2$	۰/۳۴۷	۱۲	۶/۲	۵	۴/۵	۳۴/۷	۳۹/۸	۳۵/۷
$W = 0.5b, N = 4$	۰/۲۴۶	۸	۲/۷	۱/۵	۱/۳	۷۱/۶	۸۱/۹	۸۱/۴
$W = 0.5b, N = 4$	۰/۲۹۰	۱۰	۳/۴	۲/۲	۱/۹	۶۴/۲	۷۳/۵	۷۲/۹
$W = 0.5b, N = 4$	۰/۳۴۷	۱۲	۴/۳	۳/۱	۳	۵۴/۷	۶۲/۷	۵۷/۱
$W = 0.5b, N = 6$	۰/۲۴۶	۸	۲/۵	۱/۳	۱	۷۳/۷	۸۴/۳	۸۵/۷
$W = 0.5b, N = 6$	۰/۲۹۰	۱۰	۳	۱/۸	۱/۱	۶۸/۴	۷۸/۳	۸۴/۳
$W = 0.5b, N = 6$	۰/۳۴۷	۱۲	۳/۵۷	۲/۳	۱/۵	۶۲/۴	۷۲/۳	۷۸/۶
$W = b, N = 2$	۰/۲۴۶	۸	۴/۷	۳/۵	۲/۳	۵۰/۵	۵۷/۸	۶۷/۱
$W = b, N = 2$	۰/۲۹۰	۱۰	۵/۳	۴/۱	۳	۴۴/۲	۵۰/۶	۵۷/۱
$W = b, N = 2$	۰/۳۴۷	۱۲	۵/۴	۴/۲	۳/۵	۴۳/۲	۴۹/۴	۵۰
$W = b, N = 4$	۰/۲۴۶	۸	۲/۵	۱/۳	۱	۷۳/۷	۸۴/۳	۸۵/۷
$W = b, N = 4$	۰/۲۹۰	۱۰	۳	۱/۸	۱/۲	۶۸/۴	۷۸/۳	۸۲/۹
$W = b, N = 4$	۰/۳۴۷	۱۲	۳/۹	۲/۷	۱/۵	۵۸/۹	۶۷/۵	۷۸/۶
$W = b, N = 6$	۰/۲۴۶	۸	۲/۳	۱/۱	۰/۹۵	۷۵/۸	۸۶/۷	۸۶/۴
$W = b, N = 6$	۰/۲۹۰	۱۰	۲/۵۸	۱/۳	۱	۷۲/۸	۸۴/۳	۸۵/۷
$W = b, N = 6$	۰/۳۴۷	۱۲	۲/۹	۱/۷	۱/۱	۶۹/۵	۷۹/۵	۸۴/۳
$W = 2b, N = 2$	۰/۲۴۶	۸	۲	۰/۸	۰/۲	۷۸/۹	۹۰/۴	۹۷/۱
$W = 2b, N = 2$	۰/۲۹۰	۱۰	۲/۵	۱/۳	۰/۵	۷۳/۷	۸۴/۳	۹۲/۹
$W = 2b, N = 2$	۰/۳۴۷	۱۲	۳	۱/۷	۰/۶	۶۸/۴	۷۹/۵	۹۱/۴
$W = 2b, N = 4$	۰/۲۴۶	۸	۱/۷	۰/۵	۰/۲	۸۲/۱	۹۴/۰	۹۷/۱
$W = 2b, N = 4$	۰/۲۹۰	۱۰	۱/۹	۰/۷	۰/۲	۸۰/۰	۹۱/۶	۹۷/۱
$W = 2b, N = 4$	۰/۳۴۷	۱۲	۲	۰/۸	۰/۳۵	۷۸/۹	۹۰/۴	۹۵
$W = 2b, N = 6$	۰/۲۴۶	۸	۰/۵	۰/۲۶	۰/۲	۹۴/۷	۹۶/۹	۹۷/۱
$W = 2b, N = 6$	۰/۲۹۰	۱۰	۰/۷	۰/۴	۰/۲	۹۲/۶	۹۵/۲	۹۷/۱
$W = 2b, N = 6$	۰/۳۴۷	۱۲	۰/۸۵	۰/۶	۰/۳۶	۹۱/۱	۹۲/۸	۹۴/۹
آزمایش شاهد	۰/۳۴۷	۱۲	۹/۵	۸/۳	۷			

مجاورت طوق و صفحات مستغرق مختلف در اعداد فرود مختلف رسم گردید (شکل ۱۰). همانطور که مشاهده می شود در یک وضعیت یکسان از طوق و صفحه مستغرق، روند کاهش عمق نسبی آبستگی از پایه اول شروع شده و در پایه سوم به کمترین میزان خود می رسد همچنین عمق نسبی آبستگی با افزایش عدد فرود در وضعیت یکسان قطر طوق و تعداد صفحات مستغرق افزایش یافته است.

در جدول فوق W قطر طوق، N تعداد صفحات مستغرق، F_r عدد فرود جریان، Q دبی جریان، d_{s1} ، d_{s2} ، d_{s3} به ترتیب حداکثر عمق آبستگی در اطراف پایه اول، دوم و سوم و S_1 ، S_2 ، S_3 به ترتیب حداکثر درصد کاهش عمق آبستگی در اطراف پایه اول، دوم و سوم می باشد. در ادامه شکل های مقایسه ای روند کاهش عمق نسبی آبستگی در گروه پایه ها بین پایه اول (شماره ۱)، دوم (شماره ۲) و سوم (شماره ۳) در



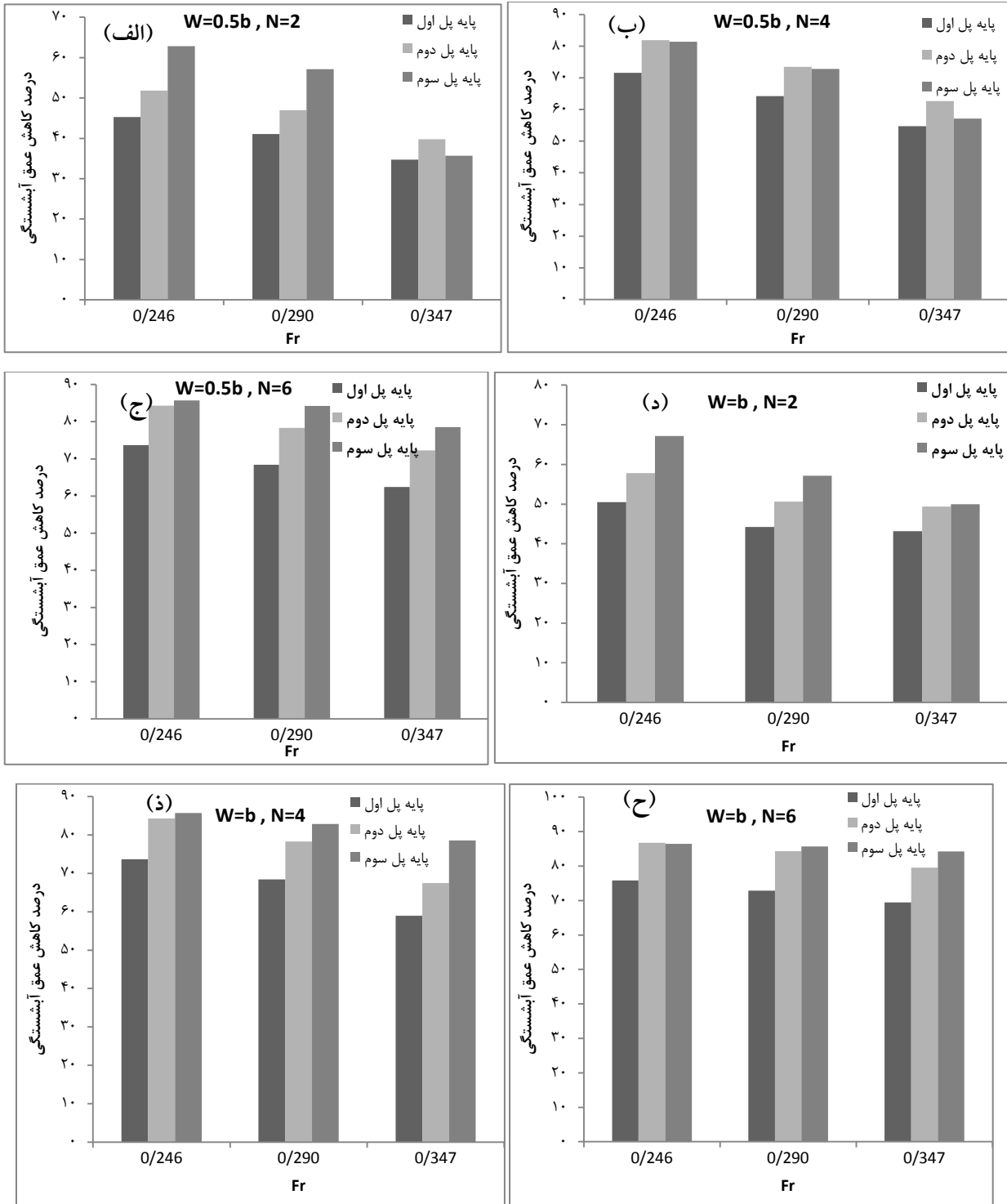
شکل ۱۱. مقایسه تغییرات آبستگی نسبی در گروه پایه های پل نسبت به تغییر عدد فرود و قرارگیری طوق و صفحات مستغرق در حالات مختلف؛ الف) قطر طوق برابر قطر پایه و ۲ صفحه مستغرق، ب) قطر طوق ۲ برابر قطر پایه و ۲ صفحه مستغرق، ج) قطر طوق برابر قطر پایه و ۴ صفحه مستغرق، د) قطر طوق ۲ برابر قطر پایه و ۴ صفحه مستغرق، ح) قطر طوق برابر قطر پایه و ۶ صفحه مستغرق، خ) قطر طوق ۲ برابر قطر پایه و ۶ صفحه مستغرق

در مجاورت طوق دو برابر قطر پایه ($W=2b$) و شش صفحه مستغرق ($N=6$) برای هر سه پایه به ترتیب (۰/۶۵، ۰/۹۶، ۰/۹۸) اتفاق افتاده است. و بعد از آن برای فرود ۰/۲۹۰ در مجاورت طوق دو برابر عرض پایه ($W=2b$) و شش صفحه مستغرق ($N=6$)

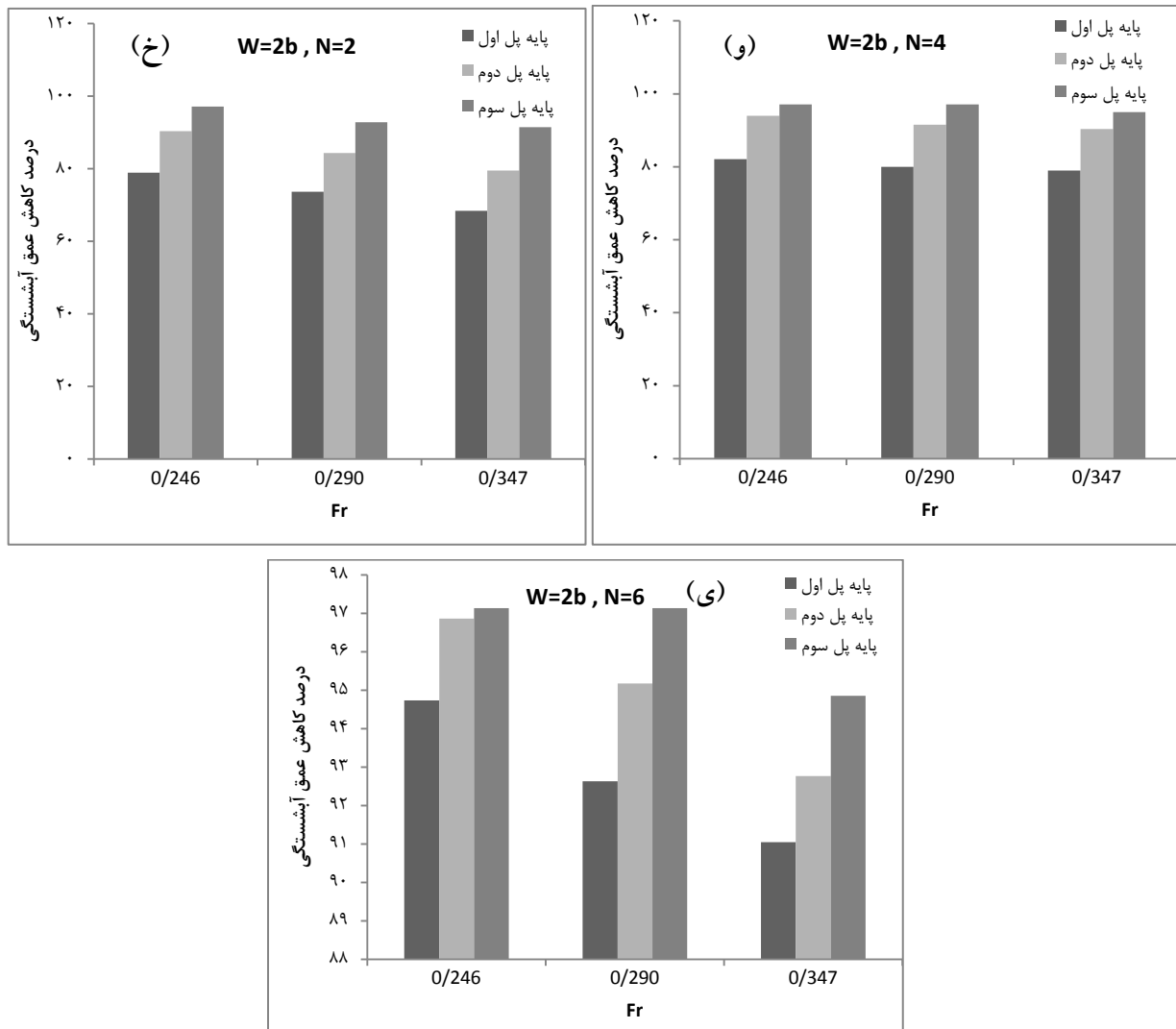
مطابق شکل (۱۱) روند آبستگی از پایه اول به پایه سوم کاهش داشته که علت اصلی حفاظ بودن پایه اول برای دوم و سوم و همچنین حفاظ بودن پایه دوم برای پایه سوم می باشد. بیشترین کاهش عمق نسبی آبستگی برای عدد فرود ۰/۲۴۶ و

ادامه به منظور بررسی دقیق تر تاثیر طوق و صفحات مستغرق بر کاهش عمق آبشستگی نسبت به آزمایش شاهد نمودارهای ستونی برای کلیه آزمایش ها رسم شد (شکل ۱۲).

برای هر سه پایه به ترتیب (۰/۵۱، ۰/۹۰، ۰/۹۵) و بعد از آن برای فرود ۰/۳۴۷ در مجاورت طوق دو برابر عرض پایه ($W=2b$) و شش صفحه مستغرق ($N=6$) برای هر سه پایه به ترتیب (۰/۴۹، ۰/۸۳، ۰/۹۳) کاهش عمق نسبی آبشستگی اتفاق افتاده است.



شکل ۱۲. درصد کاهش عمق آبشستگی در گروه پایه های پل نسبت به تغییر عدد فرود و قرارگیری طوق و صفحات مستغرق در حالات مختلف



شکل ۱۲. ادامه درصد کاهش عمق آبنشستگی در گروه پایه های پل نسبت به تغییر عدد فرود و قرارگیری طوق و صفحات مستغرق در حالات مختلف

می تواند ابزار مناسبی در جهت کاهش عمق آبنشستگی پایه های پل باشد.

نتیجه گیری نهایی

یکی از روش های غیرمستقیم کاهش آبنشستگی نصب طوق و صفحات مستغرق است. در این تحقیق با مدل سازی آزمایشگاهی به بررسی تاثیر توام طوق و صفحات مستغرق بر میزان کاهش عمق آبنشستگی پایه های استوانه ای با انجام ۲۸ آزمایش پرداخته شده است. در کلیه آزمایش ها زمان تعادل ۱۲۰ دقیقه لحاظ شد. به منظور بررسی پدیده آبنشستگی فواصل یکسان در تمامی آزمایش ها بهره گرفته شد.

در کلیه آزمایش ها با افزایش تعداد صفحات مستغرق عملکرد بهتری در کاهش عمق آبنشستگی در جلوی گروه پایه های پل حاصل شد. همچنین با ثابت بودن تعداد صفحات

با توجه به شکل (۱۲) در حالت ثابت بودن قطر طوق در اطراف پایه گروه پایه های پل (حالت الف، ب و ج) با افزایش تعداد صفحات مستغرق درصد کاهش آبنشستگی به شدت افزایش پیدا کرده است. در کلیه حالات شکل (۱۲) افزایش عدد فرود جریان باعث کاهش تاثیر کارگذاری طوق و صفحات مستغرق بر کاهش آبنشستگی شده است همچنین با افزایش قطر طوق در اطراف پایه پل تاثیر تعداد صفحات مستغرق بر کاهش عمق آبنشستگی کمتر بوده است. با توجه به مشاهدات می توان نتیجه گرفت که صفحات مستغرق با تاثیر بر روی خطوط جریان و طوق با محافظت از پایه در مقابل گرداب های پایین رونده و گرداب های نعل اسبی، می تواند ابزار مناسبی جهت کاهش عمق آبنشستگی در پایه های استوانه ای باشد. نتایج نشان داد که تمام آزمایش ها در دبی های مختلف در مجاورت طوق و صفحات مستغرق عمق آبنشستگی را نسبت به حالت شاهد کاهش داده اند و این امر بیانگر آنست استفاده توام طوق و صفحات مستغرق

آبشستگی برای فرود ۰/۲۴۶ و حالت قطر طوق دو برابر قطر پایه و شش صفحه مستغرق برای هر سه پایه به ترتیب (۵۵٪، ۹۶٪، ۹۸٪) اتفاق افتاده است. همچنین با افزایش قطر طوق و تعداد صفحات مستغرق برای یک دبی ثابت عمق آبشستگی کاهش یافت. با توجه به مشاهدات می توان نتیجه گرفت که صفحات مستغرق با تاثیر بر روی خطوط جریان و طوق با محافظت از پایه در مقابل گرداب‌های پایین رونده و گرداب‌های نعل اسبی، ابزار مناسبی جهت کاهش عمق آبشستگی در پایه‌های استوانه‌ای باشد.

مستغرق، با افزایش عدد فرود جریان عمق آبشستگی در اطراف پایه‌های پل بیشتر شد.

با بررسی روند آبشستگی در گروه پایه‌های پل استوانه‌ای، بیشترین آبشستگی در کلیه آرمایش‌ها مربوط به پایله اول به علت قربانی بودن و سپس پایله دوم و سوم می‌باشد. در واقع پایه‌های پل بعدی در مسیر جریان به علت خاصیت حفاظ بودن پایه پل قبلی و کاهش قدرت جریان‌های گردابه‌ای، کمتر در معرض فرسایش قرار گرفته‌اند.

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش بیشترین کاهش عمق

REFERENCES

- Barani, Gh., Khanjani, M.J. and Ahmadali, J. (2007) determining the dimensions and optimum arrangement of submerged plates in the mouths of intakes uses the possible approaches, *Numerical Methods in Engineering*, 20 (2), 207-215. (In Farsi)
- Bozkus, Z., and Yildiz, O. (2004). Effects of inclination of bridge piers on scouring depth. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(8), 827-832.
- Breusers, H. N. C., Nicollet, G., and Shen, H. W. (1977). Local scour around cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Research*, 15(3), 211-252.
- Chiew, Y M, and B W Melville. 1987. "Local Scour around Bridge Piers." *Journal of Hydraulic Research* 25 (1). Taylor & Francis: 15-26.
- Emamgholizadeh, S. and Nohani, E. (2017) Application of submerged blades to reduce the scouring of the collar of the bridge with a round neck, *Journal of Engineering Research of Irrigation and Drainage Structures*, 18 (68), 113-128. (In Farsi)
- Ghorbani, B., and Kells, J. A. (2008). Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier. *Journal of Hydraulic Research*, 46(5), 610-619.
- Hosseini, H., Hosseinzadeh, A. D., Farsadzadeh, D. and Arongi, H. (2009) Control of scouring around the rectangular bases with the use of submerged panels, *The 9th Iranian Hydraulic Conference Aban Moon*, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Kumar, V., Raju, K. G. R., and Vittal, N. (1999). Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(12), 1302-1305.
- Mashahir, M. B., Zarrati, A. R., and Rezayi, M. J. (2004). Time development of scouring around a bridge pier protected by collar. In *Proceedings 2nd International Conference on Scour and Erosion (ICSE-2). November 14.-17., 2004, Singapore*.
- Nohani, E., Bejestan, M. S., Masjedi, A., and Kashkuli, H. A. (2012). Riprap Stability in the Vicinity of a Bridge Pier Fitted with a Collar in the Rivers Bend. *World Applied Sciences Journal*, 20(3), 354-358.
- Nohani, E., and Heidarnejad, M. (2014). Experimental Investigation of the Effect of Flow Angle of Attack on the Rate of Scour around the Slotted Bridge Pier at Different Levels of River, 2(Xii), 276-282.
- Odgaard, A. J., and Wang, Y. (1991). Sediment management with submerged vanes. I: Theory. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(3), 267.
- Oliveto, G., and Hager, W. H. (2002). Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(9), 811-820.
- Parchami, L., Asghari Pari, S., Shafai Bajestan, M. (2017). Experimental Investigation of Submerged Vanes Shape Effect on Bridge Pier Scouring. *Water and Soil Science*, 27(1), 29-41. (In Farsi)
- Raudkivi, A. J., and Ettema, R. (1983). Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3), 338-350.
- Samimi, B., Barany, T., Khanli, M. and Khanjani, M. (2005) Laboratory study of the effects of submerged plates on bridges pier scouring, *National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz*. (In Farsi)
- Sheppard, D. M., Odeh, M., and Glasser, T. (2004). Large scale clear-water local pier scour experiments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(10), 957-963.
- Singh, C. P., Setia, B., and Verma, D. V. S. (2001). Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. In *PROCEEDINGS OF THE CONGRESS-INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HYDRAULIC RESEARCH* (pp. 202-209).
- Shojaee, P., Farsadzadeh, D., Hoseinzadeh Dalir, A., Salmasi, F., Ghorbani, M. (2012). Application of Submerged Vanes at Cylindrical Bridge Pier as a Scour Countermeasure. *Water and Soil Science*, 22(1), 91-109. (In Farsi)
- Zarrati, A. R., Gholami, H., and Mashahir, M. B. (2004). Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, 42(1), 97-103.