

Laboratory Study of the Effect of Sill, Submerged Vanes and Groyne on Scour Depth around the Piers Group

MAHDI MAJEDI ASL^{1*}, RASOUL DANESHFARAZ¹, ALI SALEHI¹ EHSAN AMINVASH¹

1. Department of Civil engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

(Received: Jan. 20, 21- Revised: Feb. 19, 2021- Accepted: Feb. 22, 2021)

ABSTRACT

In this research, the effect of submerged vanes height with quasi-triangular arrangement and groyne with fixed height and foundation at two different heights on the scour of the base group of stairs has been investigated. In this paper, 29 experiments with the same laboratory conditions have been studied in a rectangular canal with dimension of 13 m in length, 1.2 m in width, 0.8 m in depth and with zero longitudinal slope. The maximum increase of scour depth due to the installation of groyne is 89.1% and with the installation of submerged vanes, the maximum reduction of scour depth with a height of 0.44 D (D is pier diameter) is equal to 79.3% compared to the control. The performance of 1D-height groyne was better than the 0.44D-height submerged vanes, as in the first base at Froude number of 0.25, the amount of scour depth reduction was 88%. The longitudinal dimension of scouring has been increased 72.7% by installing a sill at Froude number of 0.15. The installation of submerged vanes and the abutment have reduced the longitudinal dimension, as the reduction amount of abutment longitudinal dimension with 1D-height at Froude number of 0.25 was equal to 54.2.

Keywords: Scour, Submerged Vanes, Groyne, Piers Group.

بررسی آزمایشگاهی تاثیر آبشکن، صفحات مستغرق و آبپایه بر عمق آبشستگی در اطراف گروه پایه‌ها

مهدي ماجدی اصل^{*}، رسول دانشفراز^۱، علی صالحی^۱، احسان امین‌نوش^۱

۱. گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/۴)

چکیده

در این تحقیق اثر ارتفاع صفحات مستغرق با آرایش شبه مثلثی و آبشکن‌ها با ارتفاع ثابت و آبپایه در دو ارتفاع متمایز بر روی آبشستگی گروه پایه پل‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق تعداد ۲۹ آزمایش با شرایط آزمایشگاهی یکسان در یک کانال مستطیلی به طول ۱۳ m، عرض ۱/۲ m و عمق ۰/۸ m، با شیب طولی صفر مورد بررسی قرار گرفته است. حداکثر مقدار افزایش عمق آبشستگی ناشی از نصب آبشکنها ۸۹/۱ درصد و با نصب صفحات مستغرق، حداکثر کاهش عمق آبشستگی، با ارتفاع $0/44D$ (D قطر پایه) برابر با $79/3$ درصد نسبت به شاهد می‌باشد. نصب آبپایه با ارتفاع D نسبت به صفحات مستغرق با ارتفاع $0/44D$ عملکرد بهتری داشته است به طوری که در پایه اول در عدد فرود $0/25$ ، مقدار کاهش عمق آبشستگی ۸۸ درصد بدست آمد. بعد طولی آبشستگی با نصب آبشکن در عدد فرود $0/15$ به میزان $72/7$ درصد افزایش یافته است و نصب صفحات مستغرق و آبپایه بعد طولی را کاهش داده‌اند به طوری که مقدار کاهش بعد طولی آبپایه با ارتفاع D در عدد فرود $0/25$ برابر $54/2$ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، صفحات مستغرق، آبشکن، گروه پایه‌پل.

مقدمه

بستر زنده تقسیم بندی می‌شود (Ghomeshi and Jaleli, 2016). Bahrami & Ghomeshi, (2018) بیان کردند که مکانیسم آبشستگی در گروه‌پایه‌ها متفاوت و پیچیده‌تر از تک‌پایه‌ها است. در این حالت علاوه بر پارامترهای موثر بر آبشستگی موضعی، عوامل دیگری مانند عامل تقویت‌کننده گرداب‌های جاری و به هم فشردگی گرداب‌های نعل‌اسبی و فاصله پایه‌ها نسبت به هم موثر می‌باشند.

(Tafarjnoruz *et al.* و Amini & Iqbalaadeh (2012) اثر نحوه آرایش گروه شمع‌ها بر عمق آبشستگی در پایه‌های پل را بررسی کردند و متوجه شدند که چیدمان گروه شمع‌ها در عمق آبشستگی پایه پل تاثیر قابل ملاحظه‌ای داشته و باعث توسعه عمق آبشستگی پشت پایه می‌گردد. به طوری که بیشترین عمق آبشستگی در بالادست گروه‌پایه‌ها و در اطراف ردیف اول اتفاق می‌افتد.

استفاده از صفحات مستغرق در اوایل دهه هشتاد میلادی توسط ادگار و کندی (Odgaard and Wang 1991) در انستیتوی دانشگاه آیووا به منظور حفاظت سواحل خارجی پیچ رودخانه بررسی گردید. Lauchlan (1999) بیان کرد که صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی پایه پل استوانه‌ای در هر دو حالت جریان آب زلال و بستر زنده موثر است و ایشان از دو سری

آبشستگی پایه‌های پل از مباحث مهم در مهندسی رودخانه به-شمار می‌رود. در اثر آبشستگی، حفره‌ای در اطراف پایه پل ایجاد می‌گردد و پایداری آنرا تضعیف می‌کند و ممکن است در اثر یک سیل تخریب گردد. برخورد جریان آب به پایه پل و جدائی آن از عوامل اصلی آبشستگی موضعی در اطراف پایه پل به حساب می‌آیند. Nazariha (1996) نشان داد زاویه برخورد جریان در گروه-پایه پل میزان عمق آبشستگی را تا ۷۰ درصد کاهش می‌دهد. Zarati *et al.* (2004) نشان دادند که با نصب طوق بر روی پایه-های مستطیلی با پهنای نصف عرض پایه در ۱۰ درصد عمق آب زیر بستر، تا ۴۰ درصد از میزان آبشستگی را می‌کاهد. در اثر برخورد آب به پایه پل به علت کاهش فشار از سطح آزاد جریان به سمت بستر، جریان‌های رو به پایین ایجاد می‌گردد و این جریان‌های رو به پایین پس از برخورد به بستر، با جریان اصلی برخورد کرده و گرداب نعل‌اسبی را بوجود می‌آورد. گرداب‌های نعل‌اسبی عمدتاً در جلو پایه پل ایجاد شده و جدایی جریان از پایه پل، باعث ایجاد گرداب برخاستگی در پشت پایه می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که گرداب‌های نعل‌اسبی و برخاستگی نقش عمده‌ای در ایجاد حفره آبشستگی اطراف پایه پل دارند. آبشستگی موضعی به دو حالت آبشستگی آب زلال و آبشستگی

دادند که میزان آبشستگی با افزایش فاصله آبشکن محافظ از تکیه‌گاه پل، افزایش می‌یابد و با افزایش طول آبشکن، میزان آبشستگی کاهش پیدا می‌کند.

آبپایه از سازه‌هایی است که در پایین‌دست پایه‌های پل جهت کاهش عمق آبشستگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. Chiew and lim (2000) بیان کردند که آبپایه‌های محافظ به عنوان روش مقابله با آبشستگی پایه پل، موثر است و آزمایش‌ها تحت آب زلال و بستر متحرک انجام شد و نتایج نشان داد که ماکزیمم راندمان آبپایه در کاهش عمق آبشستگی تحت شرایط آب زلال و شرایط بهینه تقریباً ۵۰ درصد است. Grimaldi et al. (2009) اثرات تغییر فاصله بین پایه و آبپایه را بررسی کردند که نتایج نشان داد که چنانچه آبپایه در فاصله کمی از پایه قرار گیرد عمق، سطح و حجم آبشستگی را کاهش می‌دهد و با کاهش فاصله بین این دو سازه اثر آبپایه در کاهش عمق آبشستگی بیشتر می‌شود. Shahsavari et al. (2019) به مطالعه تاثیر قطر و رقوم کارگذاری طوق نیم‌دایره‌ای بر میزان عمق آبشستگی و الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه پل پرداختند. نتایج نشان داد که وجود طوق علاوه بر کاهش عمق آبشستگی موجب تاخیر در روند آبشستگی نیز می‌گردد.

اثر عواملی چون زبری، طوق، سنگچین کردن بستر، دور پیچ کردن پایه و غیره بر عمق آبشستگی بررسی شده است ولی اثر همزمان آبشکن، آبپایه و صفحات مستغرق تاکنون بر روی گروه‌پایه پل مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا هدف تحقیق حاضر بررسی تاثیر همزمان سازه‌های آبشکن، آبپایه و صفحات مستغرق بر روی آبشستگی گروه‌پایه‌ها می‌باشد. بنابراین با نصب آبشکن‌ها در بالادست گروه پایه‌ها و بکارگیری صفحات مستغرق به صورت دوپل متقارن در مسیر جریان با آرایش شبه مثلثی و نصب آبپایه در پایین‌دست گروه‌پایه‌های پل برای مقادیر اعداد فرود مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی آبشستگی گروه‌پایه‌های پل، در تحقیق حاضر ۲۹ آزمایش با شرایط آزمایشگاهی یکسان در کانالی با مقطع مستطیلی به طول ۱۳ متر، عرض ۱/۲ متر و عمق ۰/۸ متر، انجام شد. شیب کف کانال توسط یک جک قابل تغییر بوده که در این تحقیق شیب برای تمام آزمایش‌ها در عدد صفر تنظیم شد. آب مورد نیاز برای آزمایشات در کانال مربوطه، به صورت چرخه‌ای توسط پمپی با قدرت پمپاژ ۷ تا ۵۲ لیتر بر ثانیه تامین گردید (شکل ۱). در تمام آزمایش‌ها عمق جریان و عمق آبشستگی (D_s) با استفاده از دستگاه عمق سنج با دقت ± 0.1 میلی‌متر اندازه‌گیری

صفحات مستغرق استفاده کرد و آزمایشات را برای سه زاویه ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجه انجام داد و نتیجه گرفت با افزایش زاویه صفحات مستغرق عملکرد آنها افزایش می‌یابد. Johnson et al. (2001) تاثیر صفحات مستغرق را در جلوگیری از آبشستگی پایه‌های کناری پل‌ها از طریق مدل آزمایشگاهی بررسی کرده و آنها مشاهده کرده‌اند که این صفحات سرعت جریان و تنش برشی در ساحل را کاهش داده و سرعت جریان در مرکز کانال را افزایش می‌دهند. Behbahan, (2006) با استفاده از صفحاتی با زاویه مشخص بین ۱۰ تا ۳۰ درجه نسبت به امتداد جریان در ردیف‌های چندتایی و با آرایش خاص برای اصلاح شکل جریان نزدیک بستر، عمق آبشستگی پایه پل استوانه‌ای را کاهش دادند. Ghorbani and kellz (2008) تاثیر صفحات مستغرق منفرد و دوپل را در کاهش آبشستگی پایه‌های پل از طریق مطالعه‌ی آزمایشگاهی بررسی کرده و نتیجه گرفتند که استفاده از دو صفحه مستغرق نسبت به یک صفحه در کاهش عمق آبشستگی موثرتر است. Dabardani et al. (2010) در تحقیقات خود، صفحات مستغرق با طول‌های متفاوت را به کار بردند به طوری که طول این صفحات مضربی از قطر پایه بود، نتایج حاصل نشان داد که کاربرد صفحات مستغرق با طول ۰/۵ برابر قطر پایه بهترین نتیجه را در کاهش عمق آبشستگی دارد. Hosseini et al. (2011) بیان کردند که تعداد صفحات مستغرق، فواصل صفحات در جهت جریان، فواصل صفحات در جهت عمود بر جریان و تغییر زوایای صفحات بر عمق آبشستگی موثر است و به این نتیجه رسیدند که افزایش تعداد صفحات به ۶ عدد، عملکرد بهتری در کنترل آبشستگی نشان می‌دهد و همچنین تغییر در زوایا بهبود عملکرد آنها را نشان می‌دهد و نتیجه ۵۱ درصدی کاهش عمق آبشستگی را ارائه دادند. Hosseinzadeh dalir et al. (2011) بیان کردند که صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی موثر است و در تحقیقات خود از صفحات مستغرق، طوق و پایه با قطر ۶ سانتی‌متر در کانالی به طول ۸ متر و عرض ۸۰ سانتی‌متر و در شرایط آب زلال استفاده کردند و با کاربرد چهار صفحه، میزان کاهش آبشستگی به ۶۱ درصد رسید.

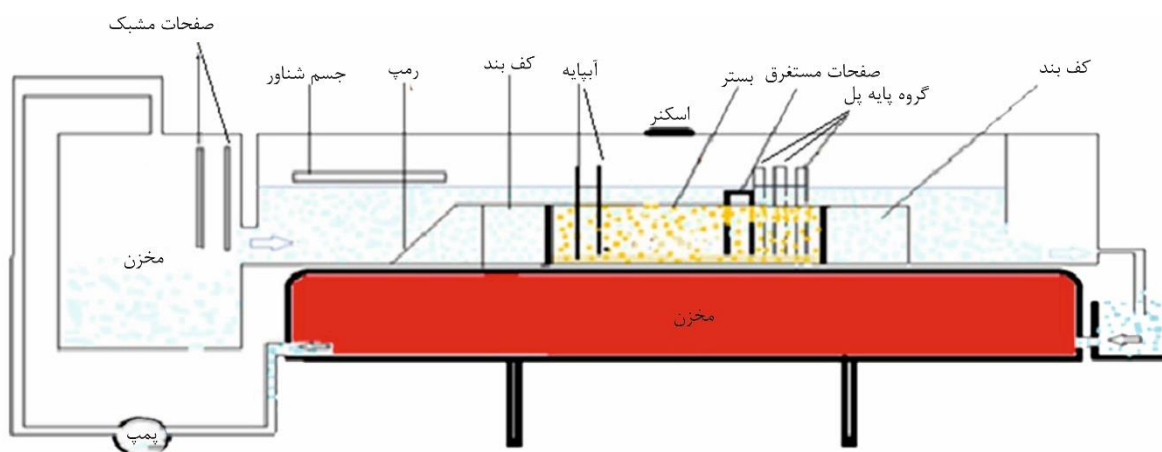
آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که برای هدایت جریان و کنترل سیلاب و بعضاً برقراری عمق لازم برای اهداف کشتیرانی یا با هدف انحراف جریان از ساحل فرسایش‌پذیر رودخانه احداث می‌گردند. Saadatnya et al. (2010) نشان دادند که آبشکن بر کاهش عمق و حجم آبشستگی اطراف دماغه پل در یک کانال مرکب و مستقیم، اثر گذار است و قادر به کاهش ۹۵ درصدی عمق آبشستگی می‌باشد. Basirat et al. (2009) تاثیر آبشکن بر میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل در کانال مستقیم را بررسی نموده و نشان

بخش مختلف اجرا شد که عبارتند از الف) حالت شاهد (فقط سه پایه) ب) حالت سه پایه و آبشکن‌ها ج) سه پایه، آبشکن‌ها و صفحات مستغرق د) سه پایه، آبشکن‌ها و آبپایه. پروفیل بستر در هر چهار حالت ذکر شده بعد از اتمام آزمایش‌ها و پس از زهکشی و خشک شدن مواد بستری، توسط اسکنر سه بعدی برداشت گردید.

در این تحقیق گروه پایه‌ها شامل سه پایه استوانه‌ای و هریک به قطر $D=9\text{ cm}$ (نسبتی از عرض کانال) و در راستای جریان و در وسط کانال و در یک امتداد قرار گرفته‌اند. فاصله گروه پایه از پایین دست بستر متحرک $(9/4D)$ و فاصله مرکز به مرکز پایه‌ها $(2/33D)$ و طول هر آبشکن غیرمستغرق $(2/22D)$ ، و ارتفاع آبشکن از تراز بستر $(2/78D)$ ، ضخامت آبشکن $(0/11D)$ ، فاصله آبشکن‌ها از بالادست بستر متحرک $(6/67D)$ و فاصله مرکز به مرکز آنها $(5/55D)$ می‌باشد.

شد. دبی‌های مورد نظر توسط دستگاه دبی‌سنج آلتراسونیک با دقت $0/1$ لیتر بر ثانیه قرائت شد.

تلاطم جریان پس از پمپ ابتدا توسط یک منبع آرام‌کننده در ابتدای کانال و سپس با عبور از دو صفحه مشبک کاهش یافت و در ادامه از یک جسم شناور برای کاهش تلاطم سطح آب استفاده گردید و برای آرام کردن جریان و کاهش افت انرژی هنگام ورود جریان، بر روی کف بند از رمپ استفاده شد و دو کف کاذب شیشه‌ای در بالادست و پایین دست کانال به فاصله $4/25$ متر از هم و به ارتفاع 22 سانتی‌متر نصب گردید. بستر متحرک ماسه‌ای در بین دو کف بند ایجاد شد و در انتهای کانال از یک دریچه جهت کنترل عمق جریان استفاده شد و پس از عبور آب از دریچه وارد مخزن شده و توسط پمپ، جریان چرخشی تکرار می‌شود. فلوم آزمایشگاهی در شکل (۱) و نصب صفحات مستغرق به صورت شبه‌مثلی در شکل (۲) ارائه شده است. آزمایش‌ها در 4



شکل ۱- شماتیک کانال آزمایشگاهی و تجهیزات مربوطه



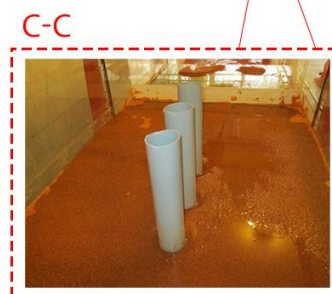
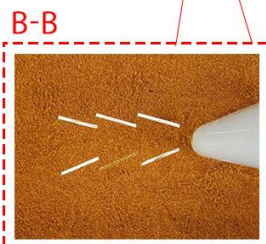
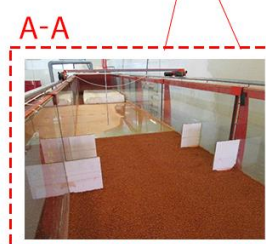
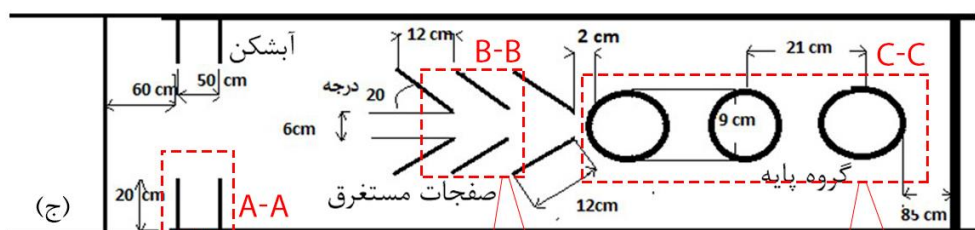
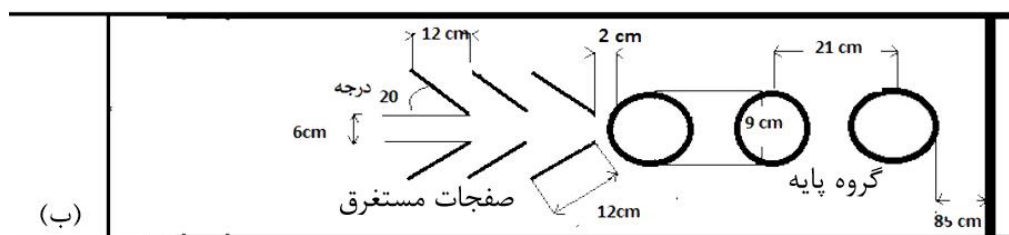
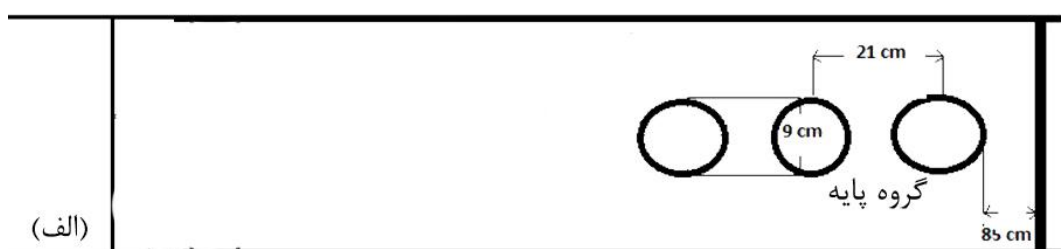
شکل ۲- فلوم آزمایشگاهی در تحقیق حاضر و مدل آزمایشگاهی با حضور صفحات مستغرق

و فاصله مرکز به مرکز آنها در راستای جریان $L_x=1/33D$ و در امتداد قائم نیز $1/33D$ و زاویه هر یک از صفحات مستغرق با راستای جریان 20 درجه در جهت پادمثلثاتی می‌باشد. آرایش

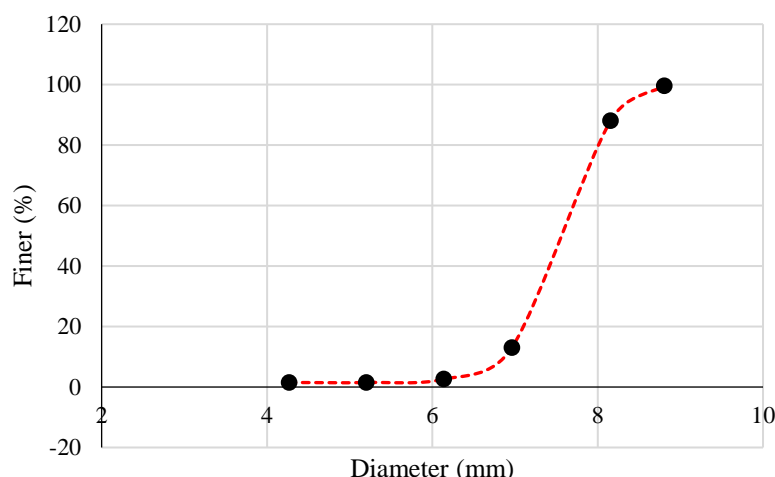
صفحات مستغرق به صورت دویل و هریک به طول $L=1/33D$ در سه ارتفاع صفر، $H=0/44D$ و $H=0/66D$ استفاده شده است و فاصله صفحات مستغرق از پایه اول $a=0/22D$

بستر رسوبی در تحقیق حاضر عبارتند از: ضریب یکنواختی $(C_u=1/68)$ ، انحراف استاندارد ذرات $d_{85}=1/23$ ، تنش بحرانی $(0/038)$ و پارامتر شیلدز $(\tau^*=0/1329)$. منحنی دانه‌بندی رسوبات بستر متحرک در شکل (۴) ترسیم شده است. در این تحقیق صفحات مستغرق با ارتفاع صفر سانتی‌متر (V_0) ، با ارتفاع ۴ سانتی‌متر (V_4) ، با ارتفاع ۶ سانتی‌متر (V_6) ، با ارتفاع ۹ سانتی‌متر (V_9) و با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر (V_{12}) ، حالت شاهد با نماد (RS) و آبشکن‌ها با نماد (E) نام‌گذاری شده‌اند.

قرارگیری گروه پایه، صفحات مستغرق و آبشکن‌ها به صورت پلان در شکل (۳) ارائه شده است. در این تحقیق منظور از بعد طولی بیشترین فاصله به موازات راستای جریان از ابتدای حفره تا انتهای حفره آبشستگی می‌باشد و با نماد x نشان داده شده است. برای از بین بردن تاثیر دیواره کانال بر آبشستگی موضعی باید نسبت فاصله مرکز پایه تا دیواره کانال به قطر پایه، بزرگتر از $6/25$ باشد (Raudkivi and Ettema, 1983) و این نسبت در این تحقیق برابر $13/4$ می‌باشد. برای جلوگیری از تشکیل رپل، قطر متوسط ذرات بستر نباید کمتر از $0/7mm$ باشد که در این آزمایشات بستر با قطر متوسط ذرات رسوبی $(d_s=1/8 mm)$ می‌باشد. پارامترهای



شکل ۳- پلان بستر متحرک: (الف) حالت شاهد (ب) سه پایه و صفحات مستغرق (ج) سه پایه، صفحات مستغرق و آبشکن‌ها



شکل ۴- منحنی دانه‌بندی رسوبات بستر

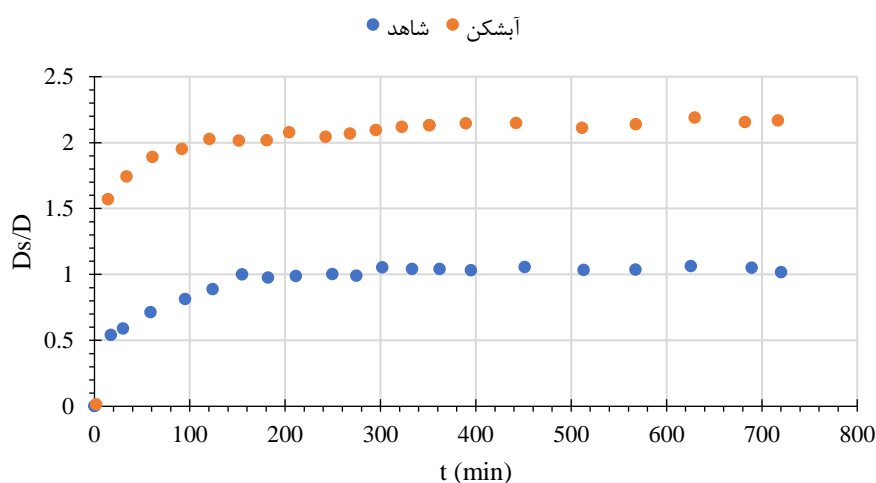
در بستر شود و سپس به آرامی دبی به حد مورد نظر افزایش یافته و عدد فرود و عمق مورد نظر، با باز کردن دریچه انتهای کانال تنظیم می‌گردد. اندازه‌گیریهای عمق ماکزیمم آبشستگی در طول آزمایش ابتدا با دو فاصله زمانی ۱۵ دقیقه از شروع آزمایش و سپس هر نیم ساعت یکبار برداشت گردید. در مواقعی که میزان تغییرات عمق آبشستگی در مدت نیم ساعت، به کمتر از ۱ میلی-متر برسد، آبشستگی به تعادل رسیده و آزمایش به اتمام می‌رسید. یکی از آزمایش‌ها به مدت ۱۲ ساعت اجرا گردید و مشاهده شد که در مدت ۴ ساعت اولیه، ۹۰ درصد از آبشستگی انجام شده است و لذا بقیه آزمایش‌ها در طی مدت زمان ۴ ساعت، برداشت شده است (شکل ۵).

تمامی مدل‌های آزمایشگاهی بررسی شده و شرایط هیدرولیکی حاکم بر جریان در جدول (۱) آورده شده است برای محاسبه سرعت بحرانی در جدول فوق از روابط زیر استفاده شده است. v_c ، v_{*c} به ترتیب سرعت برشی بحرانی و سرعت بحرانی می‌باشد)

$$v_c = 5.75 v_{*c} \times \log 5.53 \frac{y}{d_{50}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$v_{*c} = 0.0115 + 0.125 d_{50}^{0.25} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در ابتدای هر آزمایش، بستر ماسه‌ای به آرامی اشباع شده بدین صورت که ابتدا دریچه انتهایی بسته و پمپ روشن شده و آب با دبی بسیار کم در بستر جریان پیدا کرده تا مانع از ناهمواری



شکل ۵- توسعه زمانی حفره آبشستگی در عدد فرود ۰/۱۵ برای شاهد و آبشکن‌ها با گذشت ۱۲ ساعت (آزمایش ۶و)

علائم اختصاری بکار رفته در جدول (۱) عبارتند از:

RS: حالت شاهد	ERS: حالت شاهد + آبشکن	ERSV ₀ : حالت شاهد + آبشکن + صفحات مستغرق با ارتفاع صفر سانتی‌متر
ERSV ₄ : حالت شاهد + آبشکن + صفحات مستغرق با ارتفاع ۴ سانتی‌متر	ERSV ₆ : حالت شاهد + آبشکن + صفحات مستغرق با ارتفاع ۶ سانتی‌متر	ERSV ₉ : حالت شاهد + آبشکن + آبپایه با ارتفاع ۹ سانتی‌متر
ERSS ₁ : حالت شاهد + آبشکن + آبپایه با ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر	ERSS ₂ : حالت شاهد + آبشکن + آبپایه با ارتفاع ۹ سانتی‌متر	

جدول ۱- آزمایشات انجام گرفته و شرایط هیدرولیکی آنها

آزمایش	علامت	Q (Lit/s)	Fr	y (m)	v (m/s)	v _c (m/s)	v/v _c
۱	RS	۱۵	۰/۱۵	۰/۰۸۹	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۵۶
۲	RS	۲۵	۰/۲	۰/۱۰۳	۰/۲	۰/۲۵	۰/۸
۳	RS	۳۰	۰/۱۵	۰/۱۴۱	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۶۷
۴	RS	۴۵	۰/۲۵	۰/۱۳۱	۰/۲۹	۰/۲۶	۱/۰۹
۵	RS	۴۵	۰/۶	۰/۰۷۳	۰/۵۱	۰/۲۴	۲/۱۱
۶	ERS	۱۵	۰/۱۵	۰/۰۸۹	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۶۴
۷	ERS	۲۵	۰/۲	۰/۱۰۳	۰/۳	۰/۳۴	۰/۸۹
۸	ERS	۳۰	۰/۱۵	۰/۱۴۱	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۷۶
۹	ERS	۴۵	۰/۲۵	۰/۱۳۱	۰/۴۳	۰/۳۵	۱/۲۳
۱۰	ERS	۴۵	۰/۶	۰/۰۷۳	۰/۷۷	۰/۳۲	۲/۴۱
۱۱	ERSV ₀	۱۵	۰/۱۵	۰/۰۸۹	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۶۴
۱۲	ERSV ₀	۲۵	۰/۲	۰/۱۰۳	۰/۳	۰/۳۴	۰/۸۹
۱۳	ERSV ₀	۳۰	۰/۱۵	۰/۱۴۱	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۷۶
۱۴	ERSV ₀	۴۵	۰/۲۵	۰/۱۳۱	۰/۴۳	۰/۳۵	۱/۲۳
۱۵	ERSV ₀	۴۵	۰/۶	۰/۰۷۳	۰/۷۷	۰/۳۲	۲/۴۱
۱۶	ERSV ₄	۱۵	۰/۱۵	۰/۰۸۹	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۶۴
۱۷	ERSV ₄	۲۵	۰/۲	۰/۱۰۳	۰/۳	۰/۳۴	۰/۸۹
۱۸	ERSV ₄	۳۰	۰/۱۵	۰/۱۴۱	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۷۶
۱۹	ERSV ₄	۴۵	۰/۲۵	۰/۱۳۱	۰/۴۳	۰/۳۵	۱/۲۳
۲۰	ERSV ₄	۴۵	۰/۶	۰/۰۷۳	۰/۷۷	۰/۳۲	۲/۴۱
۲۱	ERSV ₆	۱۵	۰/۱۵	۰/۰۸۹	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۶۴
۲۲	ERSV ₆	۲۵	۰/۲	۰/۱۰۳	۰/۳	۰/۳۴	۰/۸۹
۲۳	ERSV ₆	۳۰	۰/۱۵	۰/۱۴۱	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۷۶
۲۴	ERSV ₆	۴۵	۰/۲۵	۰/۱۳۱	۰/۴۳	۰/۳۵	۱/۲۳
۲۵	ERSV ₆	۴۵	۰/۶	۰/۰۷۳	۰/۷۷	۰/۳۲	۲/۴۱
۲۶	ERSS ₁	۱۵	۰/۱۵	۰/۰۹۵	۰/۲	۰/۳۱۷	۰/۶
۲۷	ERSS ₁	۴۵	۰/۲۵	۰/۱۴۳	۰/۱۳	۰/۳۳	۰/۴
۲۸	ERSS ₂	۱۵	۰/۱۵	۰/۰۹۵	۰/۲	۰/۳۱۷	۰/۶
۲۹	ERSS ₂	۴۵	۰/۲۵	۰/۱۴۳	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۴

آنالیز ابعادی

پارامترهای مؤثر بر میزان آبشستگی، عبارتند از عمق آبشستگی (D_s)، عمق جریان (y)، عرض کانال (B)، قطر پایه پیل (D)، قطر متوسط رسوبات بستر (d_{50})، فاصله مرکز به مرکز پایه‌ها (S)، ارتفاع صفحات آبپایه (H_s)، سرعت جریان (V)، شتاب ثقل (g)، جرم واحد حجم آب (ρ)، چگالی ذرات رسوبی (ρ_s)، لزجت سینماتیکی سیال (ν)، مدت زمان آبشستگی (t)، زاویه صفحات مستغرق نسبت به جریان (θ)، ضریب زاویه برخورد آب به سطح پایه (k_p)، تعداد پایه‌ها در هر گروه (m)، ارتفاع صفحات مستغرق (H_v)، ضریب شکل پایه (C_d)، انحراف معیار ذرات رسوبی (σ)، ارتفاع صفحات آبشکن (H_e)، که ارتباط زیر بین پارامترهای فوق برقرار می‌باشد.

(رابطه ۳)

$$f1(D_s, y, B, D, d_{50}, V, g, \rho, \rho_s, \nu, t, \theta, k_p, S, H_s, H_e, m, H_v, C_d, \delta) = 0$$

آنالیز ابعادی تحقیق حاضر، با استفاده روش پی-باکینگهام انجام گرفته است که در آن با در نظر گرفتن پارامترهای ρ ، y و

ν بعنوان پارامترهای تکراری، پارامترهای بدون بعد مستقل بصورت رابطه زیر ارائه می‌شود:

(رابطه ۴)

$$f2(Fr, Re, \frac{B}{y}, \frac{S}{y}, \frac{D_s}{y}, \frac{D_{50}}{y}, \frac{m}{y}, \frac{H_v}{y}, \frac{H_e}{y}, \frac{H_s}{y}, \nu, \theta, k_p, C_d, \delta, t) = 0$$

جهت معنی‌دار کردن پارامترها، با تقسیم برخی از پارامترها

بر همدیگر، پارامترهای بدون مستقل بصورت رابطه زیر ارائه می‌گردد:

(رابطه ۵)

$$\frac{d_s}{D} = f2(Fr, Re, \frac{B}{D}, \frac{S}{D}, \frac{D_{50}}{D}, \frac{m}{D}, \frac{H_v}{D}, \frac{H_e}{D}, \frac{H_s}{D}, \nu, \theta, k_p, C_d, \delta, t)$$

برای حذف پارامتر زمان از آزمایش‌های صورت پذیرفته و انجام آنها در شرایط جریان پایدار، زمان تمامی آزمایش‌ها ثابت و برابر زمان تعادل بستر (۲۴۰ دقیقه) در نظر گرفته شد، به همین دلیل پارامتر زمان از آزمایش‌ها حذف گردید. همچنین برای انجام آزمایش‌ها، از پایه‌هایی با مقطع دایره‌ای و از جنس PVC استفاده شد. با توجه به اینکه عدد رینولدز در محدوده‌ی انجام آزمایش‌های

و در پایه دوم نتایج نسبت به پایه اول متفاوت می‌باشد و بیشترین و کمترین مقدار افزایش عمق آبشستگی مربوط به اعداد فرود ۰/۲ و ۰/۶ بوده که بترتیب مقادیر ۸۹/۱ و ۲/۱ درصد می‌باشند و در پایه سوم بیشترین و کمترین مقدار افزایش عمق آبشستگی مربوط به اعداد فرود ۰/۲۵ و ۰/۶ بوده که بترتیب مقادیر ۲۸/۳ و ۲/۳ درصد را نشان می‌دهد. در فرود ۰/۶ با عمق جریان ۰/۰۷۳ متر، افزایش عمق آبشستگی نسبت به اعداد فرود دیگر، مقدار کمتری را نشان می‌دهد که دلیل آن نسبت به دیگر آزمایشات با توجه به جدول (۱)، ناشی از بزرگ بودن نسبت سرعت به سرعت بحرانی از عدد یک می‌باشد که در این حالت، بستر رسوبی، متحرک می‌باشد و ذرات رسوبی از بالادست حرکت کرده و در جلو پایه‌ها انباشته شده و تغییرات عمق آبشستگی را کمتر نشان می‌دهد. با دقت در اعداد جدول (۲) مشاهده می‌شود که نصب آبشکن‌ها باعث افزایش عمق آبشستگی شده است که دلیل آن افزایش سرعت جریان به علت کاهش مقطع عرضی کانال است. افزایش سرعت جریان، گرادیان منفی را افزایش داده و عامل‌های گرداب‌های نعل‌اسبی و برخاستگی را تقویت می‌کند. عمق آبشستگی در پایه سوم نیز کمتر از پایه اول بوده که علت آن اینست که پایه اول به عنوان پایه نهبان پایه‌های دیگر عمل می‌کند.

جدول ۲- افزایش عمق آبشستگی با نصب آبشکن نسبت به شاهد (برحسب درصد)

پایه	عدد فرود		
	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵
۱	۴/۳	۴۵/۵	۵۱/۲
۲	۵/۵	۸۹/۱	۴۸/۸
۳	۴/۵	۱۸/۲	۲۸/۳

برای کاهش یا حذف اثر افزایش عمق آبشستگی ناشی از نصب آبشکن‌ها، از صفحات مستغرق (نصب در بالادست پایه پل-ها) با ارتفاع‌های صفر و ۰/۴۴D، ۰/۶۶D نسبت به سطح بستر و با آرایش شبه مثلثی استفاده شده است.

تغییرات عمق آبشستگی در پایه اول، دوم و سوم در جدول (۳) آورده شده است. بطوریکه مشخص است در تمامی اعداد فرود، بیشترین کاهش عمق آبشستگی در پایه اول مشاهده شده است. صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D بیشترین کاهش عمق آبشستگی در مقایسه با ارتفاع صفر و ۰/۶۶D را داشته است. به عنوان نمونه در حالت نصب آبشکن‌ها مقدار افزایش عمق آبشستگی نسبت به حالت شاهد (فقط گروه پایه) در پایه اول در عدد فرود ۰/۱۵ برابر ۴/۳ درصد می‌باشد و با نصب صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D همزمان با نصب آبشکن‌ها، عمق

صورت پذیرفته بیشتر از ۲۰۰۰ می‌باشد زیرا کانال روباز می‌باشد. بنابراین جریان در محدوده آشفته بوده و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد (Daneshfaraz et al., 2020). از طرفی پایه‌های بکار رفته در آزمایش استوانه‌ای شکل می‌باشند، لذا اثر ضریب زاویه‌ی برخورد سیال سطح پایه (k_p) ، صرف نظر شد (Larson and touch, 1956). همچنین متغیر انحراف معیار هندسی ذرات رسوب (σ) ، چگالی نسبی ذرات رسوبی $(G_s = \rho_s / \rho)$ ، مقداری ثابت داشته و حذف شدند. متغیرهای عرض کانال (B)، قطر پایه‌ها (D)، زاویه صفحات مستغرق نسبت به جریان (θ) ، قطر متوسط رسوبات بستر (d_{50}) ، فاصله مرکز به مرکز پایه‌ها در هر گروه پایه (S) ثابت بودند، بنابراین نسبت‌های B/D_p ، D_{50}/D_p ، S/D_p و H_e از رابطه کنار گذاشته شدند. در نهایت نیز با توجه به ثابت بودن تعداد پایه در هر گروه پایه (m)، رابطه‌ی بدون بعد به صورت زیر قابل ارائه می‌باشد:

$$\frac{d_s}{D} = f3(Fr, \frac{H_v}{D}, \frac{H_s}{D}) \quad (\text{رابطه ۵})$$

نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های این تحقیق در دو بخش الف- ماکزیمم عمق آبشستگی ب- پروفیل طولی آبشستگی گروه پایه پل ارائه شده است که در هر بخش تاثیر آبشکن‌ها با نصب صفحات مستغرق و همچنین تاثیر آبشکن و نصب آبپایه در اعداد فرود متمایز مورد تحلیل قرار گرفته است.

الف: بررسی ماکزیمم عمق آبشستگی گروه پایه پل

الف-۱- تاثیر صفحات مستغرق و آبشکن‌ها بر عمق

آبشستگی

در این بخش ابتدا با نصب گروه پایه پل، در اعداد فرود متمایز میزان عمق آبشستگی اندازه‌گیری شده (به عنوان شاهد) و سپس آبشکن‌ها در بالادست گروه پایه پل نصب شده و میزان عمق آبشستگی مجدداً اندازه‌گیری شده و با حالت شاهد مقایسه شده است. همچنین در ادامه جهت بررسی و مقایسه تاثیر صفحات مستغرق بر روی آبشستگی، سه ارتفاع از این صفحات با همان شرایط قبلی مورد آزمایش قرار گرفته و با شرایط قبلی مورد مقایسه قرار گرفت.

در جدول (۲) تغییرات عمق آبشستگی ماکزیمم جلو گروه- پایه پل را زمانی که فقط آبشکن‌ها در بالادست (با هدف انحراف جریان) در بستر نصب شده‌اند نسبت به حالت شاهد (فقط گروه- پایه) و در اعداد فرود مختلف آورده شده است. بیشترین و کمترین مقدار افزایش عمق آبشستگی در پایه اول مربوط به اعداد فرود ۰/۲۵ و ۰/۱۵ بوده که بترتیب مقادیر ۵۱/۲ و ۴/۳ درصد می‌باشد

برای پایه دوم و سوم نیز صفحات مستغرق با ارتفاع $0.44D$ نسبت به سایر صفحات عملکرد بهتری نشان می‌دهد. میزان کاهش عمق آبشستگی پایه سوم کمتر از پایه اول می‌باشد که دلیل آن این است که پایه اول به عنوان پایه نگهدارنده عمل کرده و نقش محافظ را ایفا می‌کند زیرا سرعت جریان آب به علت پایه اول و دوم کاهش یافته است.

با توجه به نتایج بالا، نصب آبشکن‌ها باعث افزایش عمق آبشستگی شده‌اند و دلیل آن کاهش عرض کانال و افزایش سرعت جریان آب هنگام برخورد به پایه‌ها بوده است که این امر باعث تقویت گرداب‌های نعل‌اسبی و جریان‌های برخاستگی می‌باشد و با نصب صفحات مستغرق در حضور آبشکن‌ها عمق آبشستگی کاهش یافته است و نشان از تضعیف اثرات بیان شده و باعث کاهش فشارهای منفی در دو طرف صفحات مستغرق شده است که صفحات مستغرق با ارتفاع $0.44D$ عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد (حدود ۵۰ درصد)

آبشستگی به میزان ۵۰ درصد کاهش داشته است، یعنی نصب صفحات مستغرق با ارتفاع $0.44D$ ، علاوه بر حذف اثر آبشکن، مقدار آبشستگی حالت شاهد را نیز کاهش داده است و میزان کاهش عمق آبشستگی صفحات با ارتفاع صفر و $0.66D$ بترتیب $47/8$ و $34/7$ درصد می‌باشد. لذا در این حالت نصب صفحات مستغرق اثر مطلوبی در کاهش عمق آبشستگی داشته و با توجه به جداول (۲) و (۳) مشاهده می‌شود که صفحات مستغرق اثر افزایشی عمق آبشستگی ناشی از نصب آبشکن‌ها در بالادست پایه‌ها را کاهش داده‌اند که دلیل آن ایجاد جریان‌های چرخشی در امتداد جریان اصلی می‌باشد که این جریان‌ها باعث تضعیف اثر جریان‌های برخاستگی و نعل‌اسبی بوجود آمده از آبشکن‌ها می‌باشند. نصب صفحات مستغرق در مسیر جریان آب، فشارهای منفی که ناشی از برخورد جریان آب به پایه می‌باشد را کاهش می‌دهد و لذا عمق آبشستگی کمتر می‌شود (Behbahan, 2006; Dabardani et al. (2010).

جدول ۳- کاهش عمق آبشستگی با نصب صفحات مستغرق در پایه‌ها نسبت به حالت شاهد (بر حسب درصد)

پایه	صفحات مسغرق	عدد فرود		
		0.15	0.2	0.25
اول	V_0	$47/8$	$20/9$	$34/6$
	V_4	50	58	$49/2$
	V_6	$34/7$	$57/2$	$41/4$
دوم	V_0	5	$4/7$	$19/3$
	V_4	50	$73/9$	47
	V_6	$47/5$	$64/1$	$27/7$
سوم	V_0	$4/3$	$12/3$	$10/4$
	V_4	$21/4$	$18/8$	$25/5$
	V_6	$12/8$	$14/1$	$15/9$

آبشستگی بترتیب $71/7$ و 88 درصد می‌باشد که دلیل آن افزایش عمق جریان و کاهش گرادیان منفی و کاهش سرعت و تنش برشی جریان و دلایل ارائه شده در بخش‌های قبلی می‌باشد.

ب: بررسی پروفیل طولی آبشستگی گروه پایه پل

ب-۱- تاثیر آبشکن و صفحات مستغرق

میزان تغییر بعد طولی آبشستگی (در راستای جریان) پس از اتمام آزمایش‌ها در اعداد فرود 0.15 و 0.25 در جدول (۵) آورده شده است که در عدد فرود 0.15 بعد طولی پایه اول با نصب آبشکن نسبت به حالت شاهد، $72/7$ درصد افزایش یافته است و با نصب صفحات مستغرق میزان کاهش بعد طولی صفحات مستغرق با ارتفاع‌های صفر، $0.44D$ و $0.66D$ نسبت به آبشکن‌ها به ترتیب $5/3$ ، $15/6$ و $13/2$ درصد بوده است و صفحات مستغرق با ارتفاع $0.44D$ عملکرد بهتری در کاهش بعد طولی در پایه اول داشته

الف-۲- تاثیر آبشکن‌ها و آبپایه بر عمق آبشستگی

در این بخش از تحقیق تاثیر آبشکن و آبپایه بر آبشستگی گروه پایه پل بررسی شده و نتایج آن با نتایج صفحات مستغرق و آبشکن مورد مقایسه قرار گرفته است.

نتایج اثر نصب آبشکن بر افزایش عمق آبشستگی نسبت به حالت شاهد در جدول (۲) و برای کاهش یا حذف عمق آبشستگی ناشی از نصب آبشکن، با استفاده از صفحات مستغرق در جدول (۳) آورده شده است. جدول (۴) تغییرات ماکزیمم عمق آبشستگی در پایه اول با نصب آبپایه با دو ارتفاع $0.5D$ ، D برای اعداد فرود 0.15 و 0.25 را نشان می‌دهد و بطوریکه مشخص است نصب صفحات مستغرق و آبپایه‌ها، باعث کاهش عمق آبشستگی شده‌اند. اما آبپایه به ارتفاع D که با S_2 نمایش داده شده است دارای بیشترین کاهش عمق آبشستگی نسبت به V_4 و S_1 می‌باشد و در اعداد فرود 0.15 و 0.25 مقادیر کاهش عمق

ارتفاع ۰/۴۴D در پایه اول و دوم و صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۶۶D در پایه سوم عملکرد بهتری داشته‌اند. در عدد فرود ۰/۲۵ بعد طولی پایه اول با نصب آبشکن، ۲۸/۳ درصد نسبت به حالت شاهد افزایش یافته است و با نصب صفحات مستغرق میزان تغییر بعد طولی صفحات مستغرق با ارتفاع‌های صفر، ۰/۴۴D و ۰/۶۶D به ترتیب ۲۸/۸، ۳۳/۹- و ۲۸/۸- درصد نسبت به آبشکن‌ها می‌باشد و صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D عملکرد بهتری در کاهش بعد طولی در پایه اول داشته است و صفحات مستغرق با ارتفاع صفر، باعث افزایش در بعد طولی شده است. اعداد منفی نشان‌دهنده کاهش و اعداد مثبت نشان‌دهنده افزایش می‌باشند.

است و بعد طولی پایه دوم نیز با قرارگیری آبشکن به میزان ۶/۶ درصد افزایش نشان می‌دهد که جهت کاهش، از صفحات مستغرق با ارتفاع‌های صفر، ۰/۴۴D و ۰/۶۶D استفاده شده است و کاهش بعد طولی به ترتیب ۱۲/۵، ۱۵/۲ و ۶/۲۵ درصد را نشان داده است و عملکرد صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D و ۰/۶۶D بهتر است و بعد طولی پایه سوم نیز با وجود آبشکن به میزان ۶/۲۵ درصد افزایش یافته است که با نصب صفحات مستغرق با ارتفاع‌های صفر، ۰/۴۴D و ۰/۶۶D، کاهش بعد طولی به ترتیب ۱۷/۶، ۲۹/۴ و ۳۲/۴ درصد می‌باشد که عملکرد صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۶۶D بهتر بوده است. بطور کلی صفحات مستغرق با

جدول ۴- کاهش عمق آبشستگی ناشی از نصب آبپایه و صفحات مستغرق در پایه-ها (برحسب درصد)

پایه	صفحات مسغرق	عدد فرود
اول	V ₄	۰/۱۵
	S ₂	۴۹/۲
	S ₁	۸۸
دوم	V ₄	۵۰
	S ₂	۶۹
	S ₁	۸۱
سوم	V ₄	۲۱/۴
	S ₂	۶۵
	S ₁	۷۰/۵

جدول ۵- تغییرات بعد طولی با نصب آبشکن‌ها و صفحات مستغرق در فرود ۰/۱۵ و ۰/۲۵ (برحسب درصد)

عدد فرود	پایه	صفحات مستغرق و آبشکن		
		V ₆	V ₄	V ₀
۰/۱۵	۱	۷۲/۷	-۵/۳	-۱۳/۲
	۲	۶/۶	-۱۲/۵	-۶/۲۵
	۳	۶/۲	-۱۷/۶	-۳۲/۴
۰/۲۵	۱	۲۸/۳	۲۸/۸	-۲۸/۶
	۲	۳۰/۸	۲۹/۹	-۲۹/۴
	۳	۳/۵	۱۳/۸	۳/۴

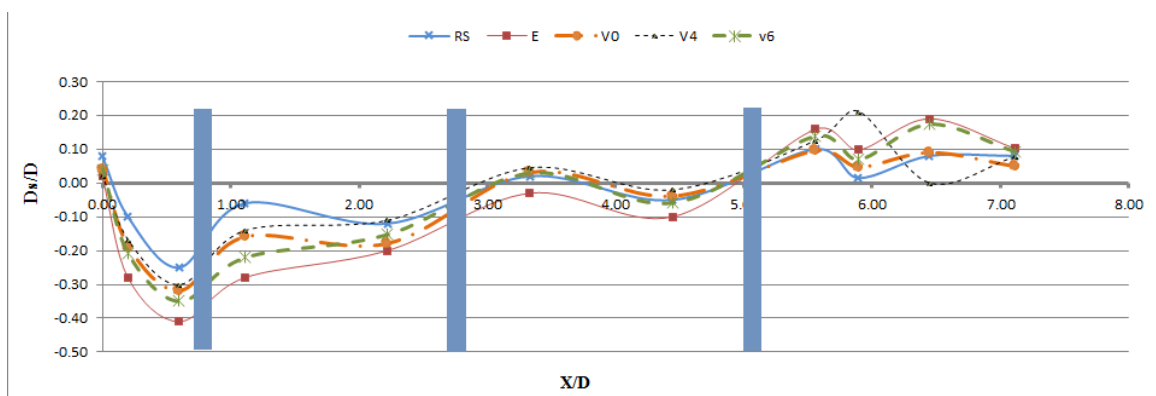
مستغرق در کاهش عمق آبشستگی داشته است. به علت تجمع رسوبات کنده شده از جلوی پایه اول و جابجایی مقداری از رسوبات به پشت پایه، میزان عمق آبشستگی در کلیه حالت‌ها در پشت پایه اول کمتر می‌باشد و فاصله طولی تغییرات روی محور افقی از صفر الی ۲ می‌باشد. در پایه دوم که فاصله طولی آن از ۲ الی ۴ می‌باشد، عمق آبشستگی کمتر می‌باشد که علت آن محافظ بودن پایه اول می‌باشد و تجمع رسوب در پشت پایه دوم به دلیل حرکت رسوبات کنده شده از بالادست و جابجایی آن به پشت پایه دوم می‌باشد. در پایه سوم که فاصله طولی تغییرات از ۴ الی ۷ می‌باشد میزان افزایش عمق آبشستگی به علت کاهش سرعت آب در هنگام

شکل (۶) نمودار پروفیل طولی در حالت‌های شاهد، نصب آبشکن‌ها و نصب صفحات مستغرق در عدد فرود ۰/۱۵ را نشان داده است. منحنی پروفیل طولی در حالت نصب آبشکن‌ها نسبت به شاهد در جلوی پایه اول میزان وسعت آبشستگی بیشتری را نشان می‌دهد و با توجه به موقعیت مکانی، پایین‌تر از نمودار شاهد است (نمودار قرمز رنگ آبشکن و نمودار آبی، شاهد است). با نصب صفحات مستغرق با ارتفاع‌های صفر، ۰/۴۴D و ۰/۶۶D میزان وسعت آبشستگی کمتر شده است و منحنی آن‌ها در موقعیت مکانی بالاتری نسبت به حالت آبشکن می‌باشند و صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D عملکرد بهتری نسبت به دیگر صفحات

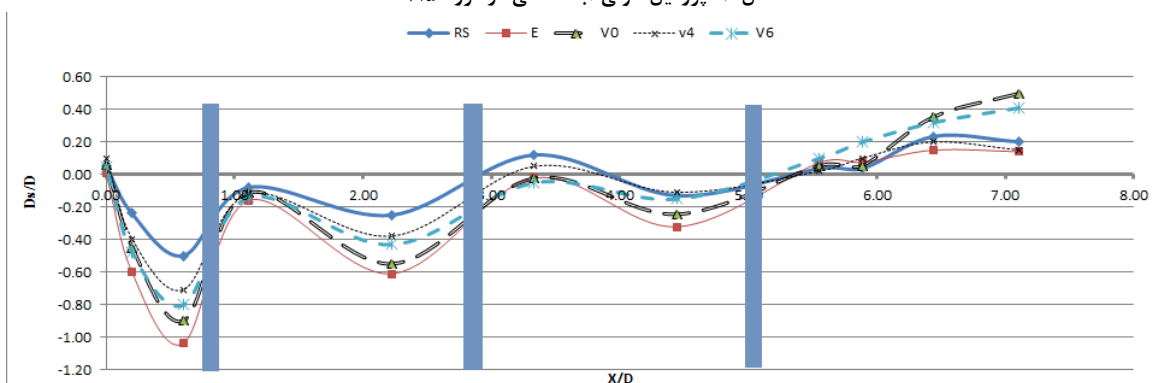
این حالت میزان افزایش آبشستگی ناشی از نصب آبشکن‌ها در تمامی فاصله‌های طولی جلو پایه‌های اول، دوم و سوم، بیشتر است. روند کاهش عمق آبشستگی ناشی از صفحات مستغرق در جلو پایه‌ها و انباشت رسوب در پایه اول و دوم مشابه فرود ۰/۱۵ می‌باشد و عملکرد صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D بهتر می‌باشد.

برخورد به پایه‌های اول و دوم (پایه‌های نگهبان) کمتر از پایه‌های اول و دوم می‌باشد و تجمع رسوبات در پشت پایه سوم نیز بیشتر از پایه‌های جلویی است.

شکل (۷) نمودار پروفیل طولی در عدد فرود ۰/۲۵ در حالت‌های شاهد، نصب آبشکن‌ها و نصب صفحات مستغرق را نشان می‌دهد. منحنی پروفیل طولی در حالت نصب آبشکن میزان تغییرات بیشتری نسبت به عدد فرود ۰/۱۵ نشان می‌دهد و در



شکل ۶- پروفیل طولی آبشستگی در فرود ۰/۱۵



شکل ۷- پروفیل طولی آبشستگی در فرود ۰/۲۵

بهتر است. بعد طولی پایه سوم نیز با ایجاد آبشکن به میزان ۶/۲ درصد افزایش می‌یابد و تغییرات بعد طولی با نصب صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D و آبپایه در دو ارتفاع D و 0.5D به ترتیب ۹-، ۱۹- و ۰ درصد می‌باشد و عملکرد آبپایه با ارتفاع D بهتر است و در عدد فرود ۰/۲۵ مقدار افزایش بعد طولی پایه اول با نصب آبشکن‌ها، ۲۸/۳ درصد می‌باشد و میزان تغییر بعد طولی با نصب صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D، ۳۳/۹- و آبپایه در ارتفاع‌های D و ۰/۵D بترتیب ۵۴/۲- و ۵ درصد می‌باشد که آبپایه با ارتفاع D عملکرد بهتری در کاهش بعد طولی در پایه اول داشته است و برای پایه‌های بعدی با توجه به جدول (۶) قابل مشاهده است که عملکرد آبپایه با ارتفاع D بهتر از صفحات با ارتفاع ۰/۴۴D است. اعداد منفی نشان‌دهنده کاهش و اعداد مثبت نشان‌دهنده افزایش می‌باشند. جدول ۷ تغییرات حجم حفره

ب- ۲- تاثیر آبشکن، صفحات مستغرق و آبپایه

جدول (۶) میزان تغییر بعد طولی در اعداد فرود ۰/۱۵ و ۰/۲۵ را در حالت‌های نصب آبشکن‌ها، آبپایه و صفحات مستغرق به ارتفاع ۰/۴۴D را نشان می‌دهد و در عدد فرود ۰/۱۵ بعد طولی پایه اول با قرارگیری آبشکن ۷۲/۷ درصد افزایش یافته است و میزان بعد طولی با نصب صفحات مستغرق با ۰/۴۴D، ۱۵/۶- درصد و با نصب آبپایه در ارتفاع‌های D و ۰/۵D بترتیب ۲۰/۶- و ۲/۹- درصد کاهش یافته است و آبپایه به ارتفاع D عملکرد بهتری در کاهش بعد طولی در پایه اول داشته است. بعد طولی پایه دوم نیز با قرارگیری آبشکن به میزان ۳/۳ درصد افزایش نشان می‌دهد و کاهش بعد طولی با نصب صفحات مستغرق نسبت به آبشکن ۱۲/۵ درصد و نصب آبپایه در دو ارتفاع D و ۰/۵D بترتیب برابر ۱۹/۴ و ۳/۲ درصد را نشان می‌دهد و عملکرد آبپایه با ارتفاع D

نصب آبشکن‌ها، صفحات مستغرق با ارتفاع $0/44D$ و آبپایه را در عدد فرود $0/25$ نشان می‌دهد. با نصب آبشکن‌ها میزان عمق آبشستگی گروه‌پایه‌ها بیشتر از عدد فرود $0/15$ می‌باشد و علت آن افزایش عدد فرود و سرعت جریان و تاثیر آن‌ها بر میزان عمق آبشستگی می‌باشد. روند افزایش و کاهش در فواصل طولی تقریباً مشابه عدد فرود $0/15$ می‌باشد در این حالت نیز آبپایه با ارتفاع D عملکرد بهتری نسبت به دیگر سازه‌ها دارد.

جدول ۶- تغییرات بعد طولی با نصب آبپایه و آبشکن و صفحات مستغرق (برحسب درصد)

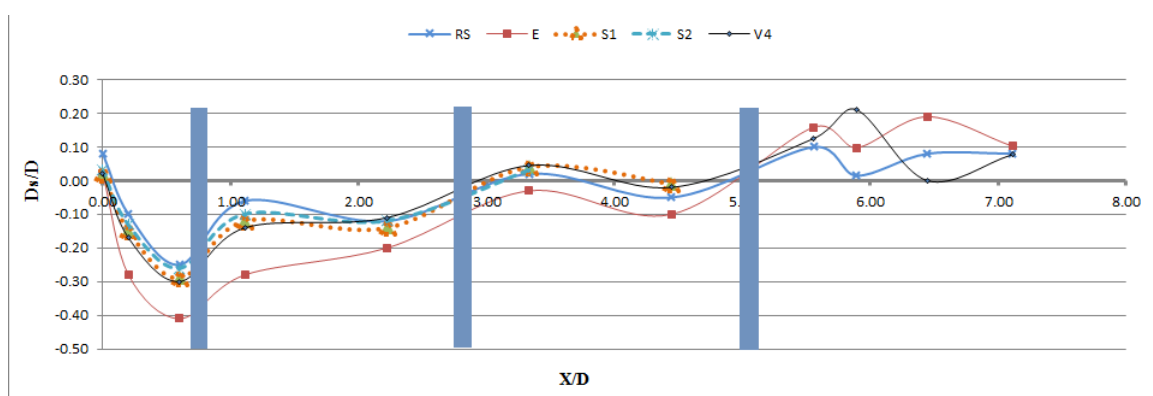
عدد فرود	پایه	صفحات مستغرق و آبشکن			
		V_4	S_2	S_1	E
0/15	۱	-۱۵/۶	-۲۰/۶	-۲/۹	۷۲/۷
	۲	-۱۲/۵	-۱۲/۵	-۳/۲	۳/۳
	۳	-۹	-۹	۰	۶/۲
0/25	۱	-۳۳/۹	-۵۴/۲	۵	۲۸/۳
	۲	-۲۰/۶	-۵۳/۳	۵/۶	۳۰/۸

جدول ۷- تغییرات حجم حفره آبشستگی با نصب آبپایه و آبشکن و صفحات مستغرق (برحسب درصد)

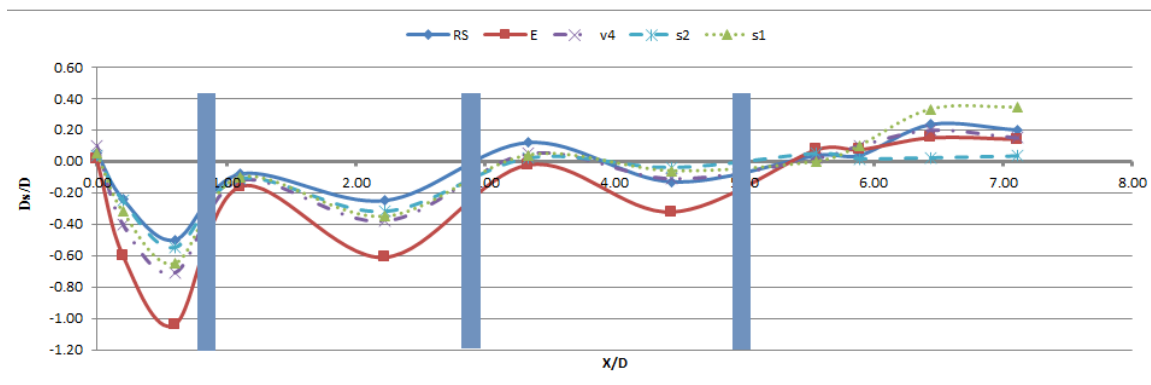
عدد فرود	پایه	صفحات مستغرق و آبشکن			
		V_4	S_2	S_1	E
0/15	۱	-۲/۸	-۷/۱	-۰/۶	۵/۳
	۲	-۱/۸	-۶/۲	-۰/۱۲	۰/۲
	۳	-۰/۴	-۵/۵	۰	۰/۲
0/25	۱	۱۳/۳	-۶۰/۵	۰/۳۴	۹/۶
	۲	-۶/۴	-۴۷/۵	۰/۶	۱۵/۳
	۳	۰/۶	-۶/۲	۰/۵	۰/۸

آبشستگی را نشان می‌دهد که آبپایه با ارتفاع D نسبت به صفحات مستغرق با ارتفاع $0/44D$ و آبپایه با ارتفاع $0/5D$ از کارایی بهتری برخوردار است. با مقایسه شکل‌های (۶ و ۷) می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش عدد فرود میزان عمق آبشستگی نسبی افزایش می‌یابد که علت آن هم افزایش سرعت برخورد جریان با گروه پایه و جریان چرخشی است که در هنگام برخورد جریان با اولین پایه پیل ایجاد می‌گردد.

شکل (۸) پروفیل طولی گروه‌پایه را در حالت‌های شاهد، نصب آبشکن‌ها، صفحات مستغرق با ارتفاع $0/44D$ و آبپایه را در دو ارتفاع $0/5D$ و D در عدد فرود $0/15$ نشان می‌دهد. با نصب آبشکن‌ها در مقایسه با حالت شاهد میزان آبشستگی بیشتر شده است و منحنی پروفیل طولی در فاصله طولی ۰ الی ۲، از لحاظ مکانی در سطح پایین‌تری می‌باشد. میزان عمق آبشستگی جلو پایه از عقب پایه بیشتر است که علت آن تجمع رسوبات کنده شده از جلو پایه و جابجایی به پشت پایه می‌باشد. صفحات مستغرق و آبپایه باعث کاهش عمق آبشستگی در جلو و عقب پایه شده‌اند و آبپایه با ارتفاع D عملکرد بهتری نسبت به آبپایه با ارتفاع $0/5D$ و صفحات مستغرق با ارتفاع $0/44D$ داشته است. علت کاهش عمق آبشستگی، افزایش عمق جریان و کاهش سرعت جریان و تضعیف جریان‌های نعل‌اسبی و برخاستگی می‌باشد. در فاصله طولی ۲ الی ۴ میزان عمق آبشستگی برای آبپایه با ارتفاع $0/5D$ و D و صفحات مستغرق با ارتفاع $0/44D$ کمتر می‌باشد. شکل (۹) پروفیل طولی گروه‌پایه‌ها را در حالت‌های شاهد،



شکل ۸- پروفیل طولی آبشستگی در فرود $0/15$ در حالت شاهد + آبشکن + صفحات مستغرق + آبپایه



شکل ۹- پروفیل طولی آبشستگی در فرود ۰/۲۵ در حالت شاهد + آبشکن + صفحات مستغرق + آبپایه



شکل ۱۰- تصاویر شرایط آبشستگی پس از اتمام آزمایش (عدد فرود ۰,۲۵)

ارتفاع ۰/۴۴D و آبپایه‌ها، آبپایه با ارتفاع D عملکرد بهتری داشته است که پایه اول در عدد فرود ۰/۲۵، مقدار کاهش ۸۸ درصدی داشته است. با نصب آبشکن بعد طولی حفره آبشستگی افزایش یافته است و بیشترین مقدار آن در عدد فرود ۰/۱۵ برابر ۷۲/۷ می‌باشد که با نصب صفحات مستغرق بعد طولی کاهش یافته است و صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D عملکرد بهتری داشته‌اند و بیشترین مقدار کاهش در عدد فرود ۰/۲۵ برابر ۳۳/۹ می‌باشد و نصب آبپایه کاهش بیشتر بعد طولی در مقایسه با صفحات مستغرق داشته است و بیشترین مقدار کاهش در عدد فرود ۰/۲۵ برابر ۵۴/۲ می‌باشد. بنا به عملی و ساده بودن اجرای سازه آبپایه در پایین‌دست گروه پایه پل پیشنهاد می‌گردد که در پایین‌دست گروه پایه‌ها از آبپایه با ارتفاع D (قطر پایه) استفاده گردد تا آبشستگی پایه پل‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یابد و در صورت زیاد بودن ارتفاع آبپایه و عدم کنترل خسارت‌های آبشستگی در پایین‌دست آن، نصب صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D در بالادست پایه‌ها به عنوان گزینه دوم توصیه می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

با مقایسه شکل‌های (۶، ۷، ۸ و ۹) می‌توان نتیجه گرفت که با نصب آبپایه‌ها در برابر گروه پایه‌ها میزان عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. در شکل (۱۰) پروفیل طولی آبشستگی و عمق آبشستگی در شرایط نصب صفحات مستغرق و پس از اتمام آزمایش نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر بررسی اثر صفحات مستغرق با آرایش شبه مثلثی در سه ارتفاع صفر، ۰/۴۴D و ۰/۶۷D و آبشکن‌ها و آبپایه در دو ارتفاع ۰/۵D و D بر عمق آبشستگی گروه پایه‌ها بررسی شده است. آبشکن‌ها باعث افزایش عمق آبشستگی در اعداد فرود ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۶ شده‌اند و بیشترین مقدار افزایش در پایه‌های اول، دوم و سوم بترتیب ۵۱/۲، ۸۹/۱ و ۲۸/۳ درصد می‌باشد که جهت کاهش یا حذف این افزایش از صفحات مستغرق و آبپایه استفاده شده و صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D عملکرد بهتری نسبت به سایر صفحات مستغرق دارد و مقدار کاهش ناشی از نصب صفحات مستغرق با ارتفاع ۰/۴۴D در پایه اول، دوم و سوم بترتیب ۵۸، ۷۳/۹ و ۳۲ درصد می‌باشد. در مقایسه صفحات مستغرق با

REFERENCES

- Amini, A.S., & Iqbalaadeh, A. (2012). *Experimental Investigation of the Effect of Candle Group Arrangement on Depth of Scour at Bridge Stands*. Iranian Journal of Water Research. Vol. 6, No. 11, pp. 95 to 103 (In Farai).
- Bahrami, N., & Ghomeshi, M. (2018). *The effect of lattice crown on the maximum depth of local cascading of the bridge cube group*. Amirkabir Civil Engineering Journal, 2018, pp. 655 to 664(In Farai).
- Basirat, S., Sanei, M., & Saghravani, F.(2009). *Reducing the Scouring of Bridge support using the protective eppi*.The 8th International Conference on Civil Engineering. Shiraz University, May 2009. (In Farai).
- Chiew, Y. M., & lim F. H., (2000). Failure behavior of riprap layer at bridge piers under live-bed conditions. Hyd. Eng. ASCE. 1:43-55.
- Dabardani, A., Sanei, M., & B, Sh.The victim. (2010). Investigation of the effect of applying two gate submerged plates of different lengths in reducing local scour of bridge base using time chart.Ninth Hydraulic Conference. Tarbiat Modarres University. (In Farai).
- Daneshfaraz, R., Aminvash, E., Esmaeli, R., Sadeghfam, S., Abraham, J. (2020). *Experimental and numerical investigation of energy dissipation of supercritical flow in sudden contractions*. Jouranal of grounwater science and engineering. 8(4): 396-406.
- Johnson, P.A., Hey, R. D., Tessier, M., & Rosgen, D. L. (2001). *Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments*. J. Hydr. Eng. ASCE. 127(9):772-778.
- Hosseinzadeh dalir, A., Forsadizadeh, D., & Shojaee, P. (2011). *The Effect of Submerged Plates and Loops on Reduction of Depth Depth of Cylindrical Bridges Shape*.Journal of Agricultural Science and Technology. Fifteenth Year, No. 57, Autumn 90, (In Farai).
- Hosseini, H., Hosseinzadeh Dalir, A., Farsadizadeh, d., Arawaghi, H., & Ghorbani, M. (2011). *Application of submerged plates in scour control around rectangular bridge base with rounded nose*. Journal of Civil Engineering and Surveying, No. 45, Volume 45, September 2011, Tabriz University (In Farai).
- Ghorbani, B., & kells, J.A. (2008). *Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier*. J. Hydr. Res. (1):1-10 -1269.
- Ghomeshi, M., & Jalili, A. (2016). *Influence of Netted collar on scour depth around of cubic bridge pier*. Abiari Science and Engineering Journal. Thirty-ninth year. No. 2
- Grimaldi, C. R., Gaudio, F., Calomino, & H. Cardoso. (2009). *Control of scour at bridge piers by a downstream sill*. J. Hydraul.Eng., ASCE. 1:13-21.
- Lauchlan, C. S. (1999). *Pier Scour countermeasures*. Ph. D thesis, University of Auckland, New Zealand.pp. 299-316. Ghorbani, B. and Kells, J. A. 2008. Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier. Hyd. Res. 5: 610-619.
- Nazariha, M. (1996). Design relationships for maximum local scour depth for bridge pier groups. PhD. Thesis, University of Ottawa, Canada.
- Odgaard, J., & Wang. (1991). *Sediment management with submerged vanes*. I: Theory. J. of hydraulic Eng. 117(3): 267-283
- Saadatnya, M. Khodasshenas, S. Esmaeili, K. (2010). *Experimental analysis of gutter performance on reducing depth and volume of scour around bridge nose*. Fifth National Congress of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. 14 to 16 May.
- Behbahan, T. (2006). *Laboratory investigation of submerged vane shapes effect on river banks protection*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12), 1402-1407.
- Shahsavari, H., Moradi, S., Khodashenas, S. (2019). *Influence of Semicircular Collar Diameter and Its Alignment on Scour Depth and Flow Pattern around Bridge Abutment*, Iranian journal of soil and water research, 55(1): 77-91.
- Tafarojnoruz, A., Gaudio, R., Dey, S, (2010). *flow-altering countermeasures against scour at bridge piersa review*" Journal,of Hydraulic Research V.48.4Septemer 2014.
- Zarrati, A. R, H., Gholami & Azizi, M. (2004). *Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers*. J. Hydraul. Res. 42(1):97-103.