

# بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش قرارگیری صفحات مستغرق تخت، انحنادار و زاویه‌دار در کاهش آبشستگی پایه پل

لیلا پرچمی<sup>۱</sup>، سید امین اصغری پری<sup>۲\*</sup> و محمود شفاعی بجهستان<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان.

۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان. asghari\_amin@bkatu.ac.ir

۳- استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۶

## چکیده

یکی از روش‌های حفاظت از پایه‌های پل در برابر آبشستگی استفاده از صفحات مستغرق می‌باشد. این صفحات با تغییر در رژیم حرکت بار بستر این امکان را فراهم می‌سازند تا محل رسوب گذاری و فرسایش قابل کنترل باشد. در این تحقیق، با استفاده از مدل فیزیکی، تأثیر استفاده از صفحات مستغرق با شکل‌های مختلف تخت، انحنادار و زاویه‌دار در تعداد (دو و شش صفحه) و آرایش‌های قرارگیری متفاوت (قرار گرفته با فاصله D و نیز قرار گرفته کنار پایه به صورت متقارن نسبت به خط جریان) در کنترل آبشستگی موضعی پایه استوانه‌ای تحت زاویه حمله ۲۰ درجه مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور پایه استوانه‌ای پل به قطر ۲/۵۴ سانتی‌متر در کانال مستطیلی آزمایشگاه به طول ۱۰ متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر در شرایط آب زلال با  $u_* / u_{*c} = 0.92$  مدل‌سازی شد. در این آزمایش‌ها از صفحاتی با طول برابر قطر پایه و ارتفاع روی بستر صفر استفاده شده است. براساس نتایج این تحقیق در شرایط کاربرد شش صفحه مستغرق با حالت‌های مختلف قرارگیری آن‌ها، کاهش عمق آبشستگی تا ۹۳ درصد حاصل شد. بیشترین مقدار کاهش عمق آبشستگی نسبت به پایه بدون محافظ مربوط به صفحات انحنادار چیده شده در اطراف پایه بود.

کلید واژه‌ها: پایه پل، آبشستگی، سری صفحات مستغرق، شکل صفحات.

## Experimental Investigation of Flat, Curved and Angled Submerged Vane's Placement Effect on Bridge Pier Scouring

L. Parchami<sup>1</sup>, S. A. Asghari Pari<sup>2\*</sup> and M. Shafaei Bajestan<sup>3</sup>

1- M.Sc. Student of River Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan.

2\*-Corresponding Author, Assistant Professor of Civil Engineering Department, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan.

3 - Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 7 November 2015

Accepted: 2 April 2016

## Abstract

One of the methods for a local scour countermeasure at bridge piers is the use of submerged vanes. Vanes change the regime of bed load movement that led to control place of deposition and erosion. In this paper the effects of submerged vanes with different forms flat, curved and angled in number (2 and 6) and various configurations (the distance D and located on the pier symmetrically with respect to the flow line) on reducing local scour around cylindrical pier with angle of 20° was performed to investigate. Experiments were conducted in a 10 m long and 0.3 m wide flume and a cylindrical pier of 2.54 cm diameter. Clear-water scour tests with  $u_* / u_{*c} = 0.92$  were performed. The length of the vanes was equal the pier width and was installed on the bed.

Results showed that reduction of scour with different arrays of six vanes was 93%. The highest reduction in scour depth was achieved for curved vanes are placed around the pier.

**Keywords:** Bridge pier, Scour, Submerged vanes, Vanes shape.

مناسب صفحه برای عملکرد بهتر در جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در خم رودخانه‌های آبرفتی انجام شده است. در خصوص استفاده از صفحات مستغرق در کاهش آبستگي اطراف پایه پل ها نیز تحقیقات متعددی انجام گردیده است. مکانیزم اثر گذاری این صفحات در کاهش آبستگي اطراف پایه‌های پل، با شرایط ایجاد شده توسط این صفحات در حفاظت از سواحل و دهانه های آبگیر متفاوت بوده و این صفحات بیشتر نقش هدایت رسوبات به سمت پایه پل و تجمع رسوبات در جلوی پایه را ایفا می‌کنند. در این خصوص قربانی و کلز<sup>(۲۰۰۸)</sup> تأثیر صفحات مستغرق منفرد و دابل را در کاهش آبستگي پایه‌های پل از طریق مطالعه آزمایشگاهی بررسی کردند، آنها نتیجه گرفتند که استفاده از دو صفحه مستغرق نسبت به یک صفحه در کاهش عمق آبستگي مؤثرتر است. آنها بیان نمودند که در حالت استفاده از دو صفحه مستغرق، بیشترین کاهش در عمق آبستگي در موقعیت ۳۰ درجه نسبت به مرکز پایه و به میزان ۸۷/۷ درصد و در حالت استفاده از یک صفحه مستغرق بیشترین کاهش در عمق آبستگي در زاویه ۸/۵ درجه و ارتفاع صفر و به میزان ۱۷/۳ درصد اتفاق افتاده است. رضابوریان و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی تأثیر استفاده از شش پره مستغرق قرار گرفته روی پایه به صورت متقارن نسبت به خط جریان در موقعیت‌های مختلف در کنترل آبستگي موضعی پایه استوانه‌ای تحت زوایای حمله متفاوت در شرایط آب زلال پرداختند. نتایج نشان داد زاویه حمله ۹۰ درجه در موقعیت قرارگیری متقارن سری پره های مستغرق، با زوایای ۰، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به مرکز پایه، دارای بالاترین درصد کاهش آبستگي می‌باشد و نیز نتایج حاکی از آن بود که زاویه حمله ۲۰ درجه اگرچه درصد کاهش آبستگي کمتری را نشان داده، اما در همه موقعیت‌های قرارگیری دارای عملکرد مطلوبی می‌باشد. شجاعی و همکاران (۱۳۹۱) آزمایش‌های مختلفی روی سری صفحات مستغرق با زوایای حمله و ارتفاع‌های مختلف قرارگیری انجام دادند. آزمایش‌های آنها با دو نسبت طول صفحات به ارتفاع روی بستر ( $L/H=3$  و ۲) و همچنین هم‌تراز بستر ( $H=0$ ) انجام گردید. براساس نتایج آنها، در شرایط کاربرد شش صفحه مستغرق با زاویه حمله ۳۰ درجه، با کاهش ارتفاع روی بستر صفحات مستغرق تا نسبت  $L/H=3$ ، عملکرد صفحات در کاهش عمق آبستگي در جلوی پایه افزایش می‌یابد. در شرایط کاربرد دو صفحه مستغرق با زاویه حمله ۳۰ درجه نیز، صفحاتی که هم‌تراز بستر بودند عملکرد بهتری در کاهش آبستگي دارند. همچنین تغییر زوایا در هر ردیف از صفحات مستغرق به بهبود عملکرد آنها در کاهش آبستگي منجر شد.

#### مقدمه

وجود پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های جانبی پل در عرض رودخانه باعث کاهش عرض عبوری جریان، برخورد جریان به پایه و انحراف خطوط جریان اطراف پایه به کف بستر و در نتیجه ایجاد آبستگي موضعی پایه پل‌ها می‌شوند. افزایش مقاومت مواد بستر و کاهش قدرت فرسایش جریان اطراف پایه، دو روشی هستند که برای کنترل و کاهش آبستگي موضعی استفاده می‌شوند. از جمله روش‌هایی که برای تغییر الگوی جریان و کاهش شدت گرداب‌های ایجاد شده در اطراف پایه به کار می‌رود استفاده از صفحات مستغرق<sup>۱</sup> می‌باشد.

#### صفحات مستغرق در مهندسی رودخانه

برخی از مهمترین کاربردها صفحات مستغرق در مهندسی رودخانه حفاظت از ساحل خارجی رودخانه‌ها، حفاظت از دهانه آبگیرها، جلوگیری از آبستگي پایه پل‌ها و افزایش عمر مفید سدها می‌باشد. در چند دهه اخیر پژوهش‌های بسیاری توسط محققان مختلف از جمله (ادگارد و کندی<sup>۲</sup>، ۱۹۸۳) در طراحی سیستم صفحات مستغرق به منظور کاهش فرسایش کناره در انحنای رودخانه، (ونگ و ادگارد<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶) در کاربرد توصیه‌های طراحی ارائه شده توسط ادگارد برای سیستم صفحات، به صورت میدانی در جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیر جانبی، (نیل و ایوانس<sup>۴</sup>، ۱۹۹۷) در کاربرد ترکیب صفحات با سازه‌های دیگر به منظور جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم، (برکدال و همکاران<sup>۵</sup>، ۱۹۹۹) در طراحی آرایش مناسب صفحات برای جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم با بستر آبرفتی، (مریلیوس و سینها، ۱۹۹۸ و مریلیوس و سینها<sup>۶</sup>، ۲۰۰۰) در تعیین زاویه بهینه برخورد جریان با صفحه و بررسی الگوی جریان حول یک صفحه در مسیر مستقیم با بستر متحرک به صورت عددی و آزمایشگاهی، (وایزن و تانزند<sup>۷</sup>، ۲۰۰۲) در تعیین ابعاد و آرایش بهینه صفحه‌ها در قوس ۹۰ درجه به منظور جلوگیری از فرسایش کناره خارجی قوس، (سون کیت و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۵) در بررسی الگوی جریان حول یک صفحه طویل در رودخانه‌های عریض با بستر متحرک و (گوپتا و شارما<sup>۹</sup>، ۲۰۰۷) در طراحی شکل هندسی

- 1- Submerged vanes
- 2- Odgaard and Kennedy
- 3- Wang and Odgaard
- 4- Neill and Evans
- 5- Barkdoll *et al.*
- 6- Marelius and Sinha
- 7- Voisin and Townsend
- 8- Soon Keat *et al.*
- 9- Gupta and Sharma

بیشترین درصد آبستگي مربوط به حالت شش صفحه مستغرق با نسبت طول به ارتفاع روی بستر ( $L/H=3$ ) و زوایای قرارگیری ۲۰، ۳۰ و ۳۵ درجه می‌باشد. تفرج نوروز و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) به بررسی شش روش مؤثر در کاهش آبستگي پایه پل شامل صفحات مستغرق، آستانه بستر، شمع محافظ جانبی، طوق، کابل و شکاف پایه پرداختند. آن‌ها در آزمایش‌های خود بهترین تنظیمات ارائه شده در آزمایش‌های انجام شده توسط محققان دیگر را مورد بررسی قرار دادند. در خصوص صفحات مستغرق نتایج کار قربانی و کلز را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که درصد کاهش آبستگي در صفحات مستغرق بسیار کمتر از موارد اعلام شده توسط این دو محقق می‌باشد و دلیل این تفاوت را در مدت زمان بسیار کوتاه آزمایش و همچنین اثر عمق بسیار کم ( $h/b << 1$ ) در نظر گرفته شده در آزمایش‌ها قربانی و کلز عنوان نمودند.

در این مطالعه تأثیر آرایش قرارگیری صفحات مستغرق تخت، انحنادار و زاویه‌دار در کاهش آبستگي پایه پل در کاهش عمق آبستگي مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

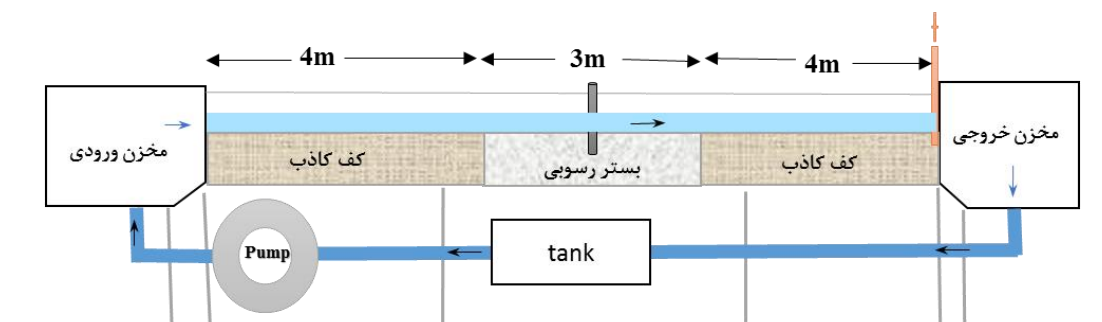
آزمایش‌ها در یک فلوم آزمایشگاهی با طول ۱۰ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۴۵ واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان انجام گرفت. فلوم دارای کف فلزی و دیواره‌های شیشه‌ای است و امکان تغییر شیب کف آن به کمک چهار جک و الکتروموتور که به صورت دیجیتالی عمل می‌کند وجود دارد. کانال در قسمت ابتدایی و انتهایی دارای مخزن است. جریان مورد نیاز با استفاده از یک پمپ ظرفیت اسمی ۲۴ لیتر بر ثانیه از مخزن اصلی به کانال منتقل می‌شود و توسط یک دریچه کشویی در انتهای کانال عمق آب در کانال تنظیم می‌شود. کانال آزمایشگاهی به دو قسمت بستر متحرک و بستر ثابت (کف کاذب) تقسیم شد. بستر متحرک از فاصله ۴ متری از ابتدای کانال شروع شده و دارای طول ۳ متر است که ارتفاع رسوبات در این قسمت ۱۵ سانتی‌متر بوده و توسط رسوبات غیر چسبنده پر شده است. قسمت ابتدای کانال تا ابتدای بستر متحرک و انتهای بستر متحرک تا انتهای کانال را کف کاذب تشکیل می‌دهد که از صفحه‌های گالوانیزه تشکیل شده‌اند. ارتفاع کف کاذب نیز ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. شیب بستر فلوم صفر و از یک ماله دستی قبل از هر مرحله از آزمایش برای مسطح کردن سطح مصالح بستر استفاده گردید و از تراز بودن سطح توسط متر لیزری اطمینان حاصل شد. به منظور حذف تلاطم جریان ورودی و یکنواخت کردن جریان، از یک صفحه‌ی مشبک آرام کننده استفاده شده است. آب پس از یک آرامش نسبی به داخل کانال جریان می‌یابد و پس از طی طول ۱۰ متری کانال و عبور از دریچه انتهایی وارد حوضچه‌ها می‌شود. کنترل دبی با شیر کنارگذر انجام گرفته و

اندازه‌گیری توسط دبی‌سنج الکترومغناطیس صورت پذیرفت. آزمایش‌ها بر اساس آبستگي آب زلال با  $u^*/u_*^c = 0.92$  (نسبت سرعت برشی بستر به سرعت برشی آستانه حرکت ذره رسوب) انجام شد تا حداکثر عمق آبستگي رخ دهد. زیرا براساس تجربه محققین در شرایط آبستگي آب زلال، حداکثر عمق آبستگي در حالت  $1-0.9$  رخ می‌دهد (چیو<sup>۲</sup>، ۱۹۸۴). برای از بین بردن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبستگي موضعی، طبق نظر چیو و ملویل<sup>۳</sup> (۱۹۸۷) قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد ( $B/b \geq 10$ ) و بر اساس نظر رادکوی و واتما<sup>۴</sup> (۱۹۸۳) نسبت عرض کانال به قطر پایه باید بزرگ‌تر از  $6/25$  باشد، با توجه به این نکات مدل پایه از یک لوله استوانه‌ای شکل فولادی به قطر  $2/54$  سانتی‌متر استفاده شد. جهت ثابت ماندن پایه، مدل پایه بر روی یک صفحه افقی چوبی متصل گردید و در فاصله  $1/5$  متری از ابتدای محدوده ۳ متری رسوبات قرار داده شد. با توجه به پیشنهاد تفرج نوروز و همکاران<sup>(۲۰۱۰)</sup> چنانچه نسبت عرض پایه به قطر متوسط ذرات ( $b/d_{50}$ ) در محدوده ۲۵ تا ۱۳۰ باشد، عمق آبستگي متعادل تحت تأثیر اندازه ذرات رسوبی قرار نمی‌گیرد. لذا با توجه به قطر انتخاب شده برای پایه و نیز جهت جلوگیری از تشکیل ریپل در بستر  $d_{50}$  ذرات رسوبی بایستی از  $0.7$  میلی‌متر بزرگ‌تر باشد بنابر این  $d_{50}$  ذرات رسوبی برابر  $0.8$  میلی‌متر انتخاب گردید تا حداکثر مقدار آبستگي به دست آید و هم از ایجاد پشته‌های کوچک جلوگیری شود. با توجه به اینکه غیر یکنواختی رسوبات باعث کاهش آبستگي موضعی می‌شود، لذا در صورتی که انحراف معیار هندسی ذرات کمتر از  $1/3$  باشد، شرط یکنواختی ذرات برقرار می‌شود و اثر غیریکنواختی رسوبات بر آبستگي موضعی از بین می‌رود (شفاعی بجستان، ۱۳۷۳). با توجه به دانه‌بندی رسوبات انحراف معیار هندسی ذرات برابر  $1/23$  می‌باشد. چگالی نسبی ذرات رسوبی بستر برابر  $2/64$  بود. شکل (۱) نمایی از فلوم آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. صفحات مستغرق، از ورقه‌های گالوانیزه به ضخامت یک میلی‌متر ساخته شد. طول این صفحات برابر  $2/54$  سانتی‌متر (برابر قطر پایه) می‌باشد. در شکل (۲)، صفحات مورد استفاده در آزمایش‌ها نشان داده شده است.

$$\%R = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه فوق،  $d_1$  حداکثر عمق آبستگي در آزمایش شاهد و  $d_2$  حداکثر عمق آبستگي در حضور صفحات مستغرق می‌باشد.

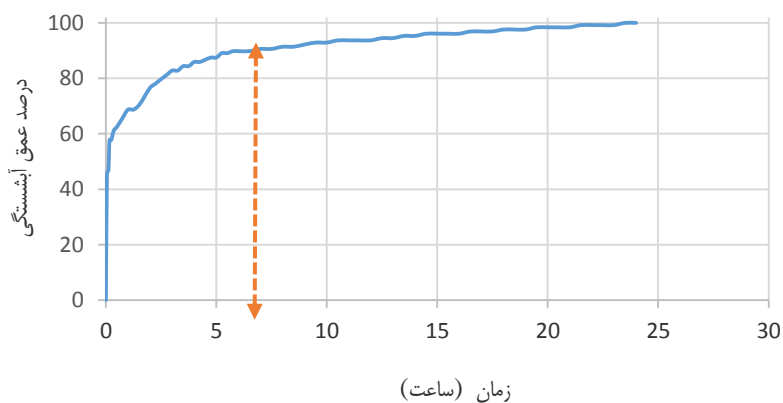
پرجمی و همکاران: بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش قرارگیری صفحات ...



شکل ۱- نمای شماتیک از فلوم آزمایشگاهی



شکل ۲- صفحات مورد استفاده در آزمایش‌ها



شکل ۳- نمودار تعیین زمان تعادل بر اثر آبستگی

(۳) نمودار توسعه زمانی حفره آبستگی پایه بدون حفاظت را در مدت زمان ۲۴ ساعت نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، سرعت آبستگی در ابتدای آزمایش بسیار زیاد است به طوری که پس از یک ساعت از شروع آزمایش (چهار درصد مدت زمان آزمایش)، ۶۸ درصد از کل آبستگی ایجاد شد. اما با گذشت زمان تغییرات عمق حفره آبستگی کاهش می‌یابد. مطابق شکل (۳) حدود ۹۱ درصد عمق تعادل آبستگی در مدت زمان هفت ساعت اتفاق می‌افتد. بدین ترتیب مدت زمان آزمایش‌ها هفت ساعت در نظر گرفته شد. در کلیه آزمایش‌ها، پس از اتمام

برای محاسبه زمان تعادل، بنا به توصیه تفرج نوروز و همکاران (۲۰۱۰) از معیار گریمالدی<sup>۱۵</sup> (۲۰۰۵)، که یکی از معیارهای آن برابر با مدت زمانی است که میزان آبستگی در طی مدت ۲۴ ساعت، کمتر یا مساوی ۵٪ قطر پایه تقسیم بر سه باشد ( $\Delta d_{s,24} = 0.05b/3$ ) استفاده گردید. برای تعیین زمان تعادل مطابق با معیار ذکر شده یک آزمایش ۲۴ ساعته انجام گرفت و عمق آبستگی در زمان‌های مختلف ثبت گردید. شکل

درون چاله آبستنگی حرکت می کردند و به پایین دست انتقال نمی یافتند. سرعت گسترش آبستنگی در لحظات اول زیاد بود و پس از مدتی به آرامی ادامه یافت. در شکل ۴ تراز حفره آبستنگی موضعی در اطراف پایه در آزمایش شاهد مشاهده می شود.

**آزمایش های پایه با صفحات مستغرق**

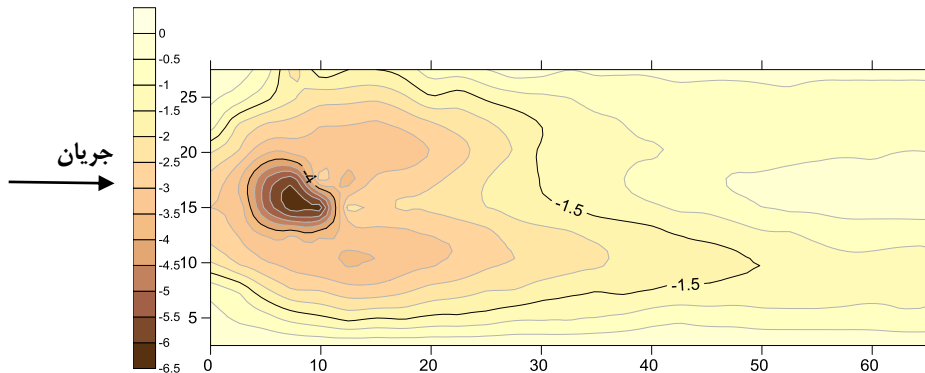
در جدول (۱) فهرست آزمایش ها و عملکرد آن ها در کاهش عمق آبستنگی نشان داده شده است. تعداد صفحات، ارتفاع قرارگیری صفحات در بستر، زاویه صفحات با جهت جریان و موقعیت قرارگیری صفحات نسبت به پایه در آزمایش های انجام گرفته با دو صفحه مستغرق بر اساس مطالعات محققین قبلی (قربانی و کلز، ۲۰۰۸، تفرج نوروز و همکاران، ۲۰۱۲)، همچنین در آزمایش های مربوط به سری صفحات علاوه بر پارامترهای ذکر شده، آرایش قرارگیری آن ها براساس تحقیقات رضاپوریان و همکاران (۱۳۸۸) در محدوده کارایی مؤثر صفحات مستغرق در نظر گرفته شد.

زمان آزمایش، دریچه ورودی و خروجی فلوم بسته شده و آب درون فلوم به آرامی با زهکش های تعبیه شده در کف فلوم تخلیه گردید، سپس توپوگرافی بستر رسوبی به صورت یک شبکه ۲/۵×۲/۵ سانتی متری با استفاده از متر لیزری با عنوان تجاری Leica Disto (X310) با دقت یک میلی متر برداشت و ترسیم شده است.

**نتایج و بحث**

**آزمایش پایه بدون حفاظت**

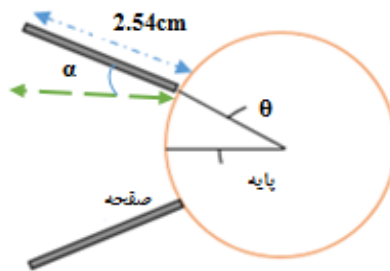
ابتدا آزمایش بدون صفحات مستغرق (آزمایش شاهد) انجام شد. در این آزمایش، آبستنگی از همان لحظات ابتدایی با تشکیل گرداب نعل اسبی آغاز شده و به سرعت ادامه می یافت. در این حالت آبستنگی از جلوی پایه و به صورت متقارن نسبت به محور پایه شروع شد و مواد رسوبی از جلو و اطراف پایه شسته و به صورت پشته در پشت پایه جمع شدند. این پشته ها به تدریج به طرف پایین دست انتقال یافت. پس از توسعه حفره آبستنگی و مستهلک شدن گرداب های نعل اسبی درون حفره، رسوبات تنها

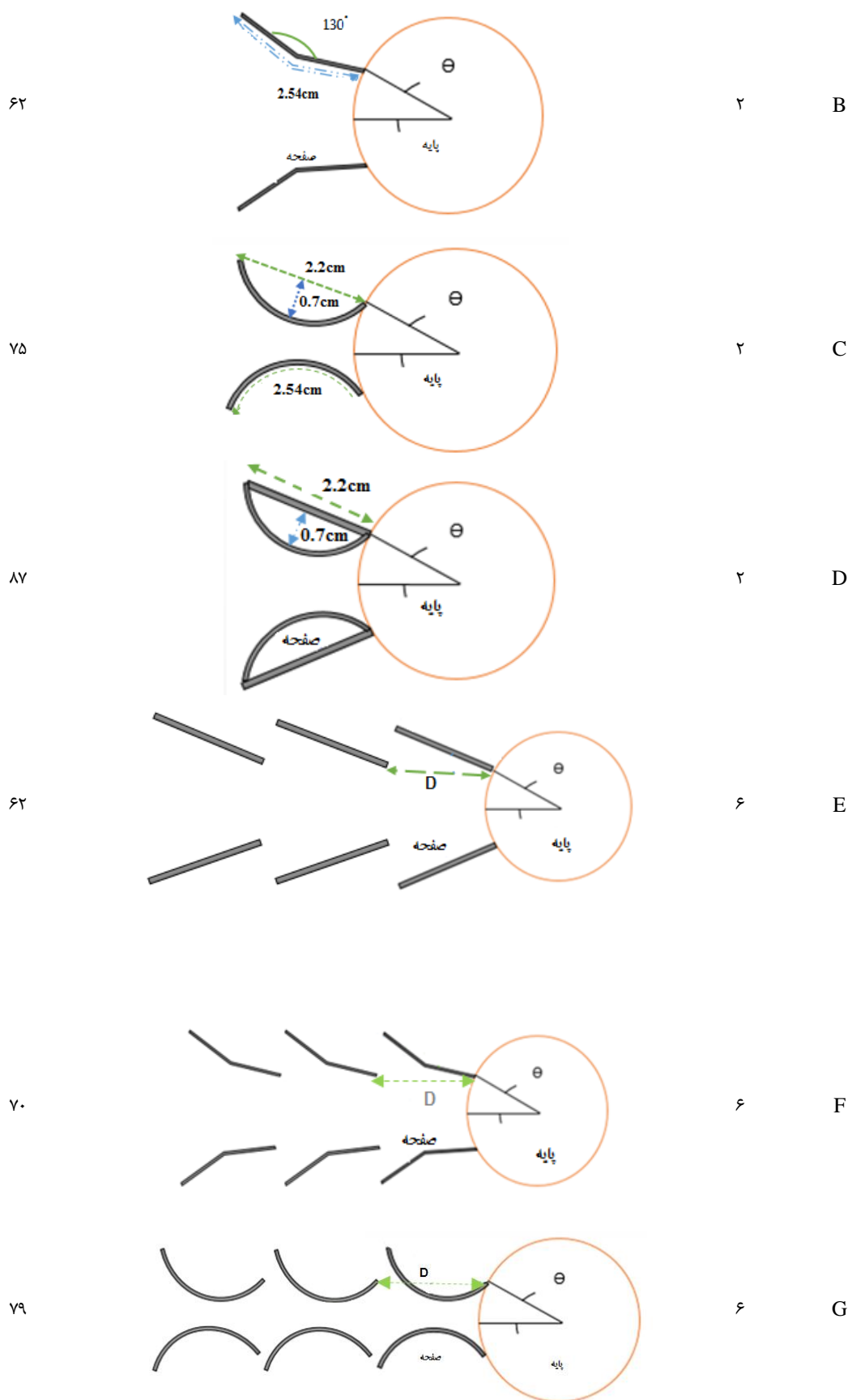


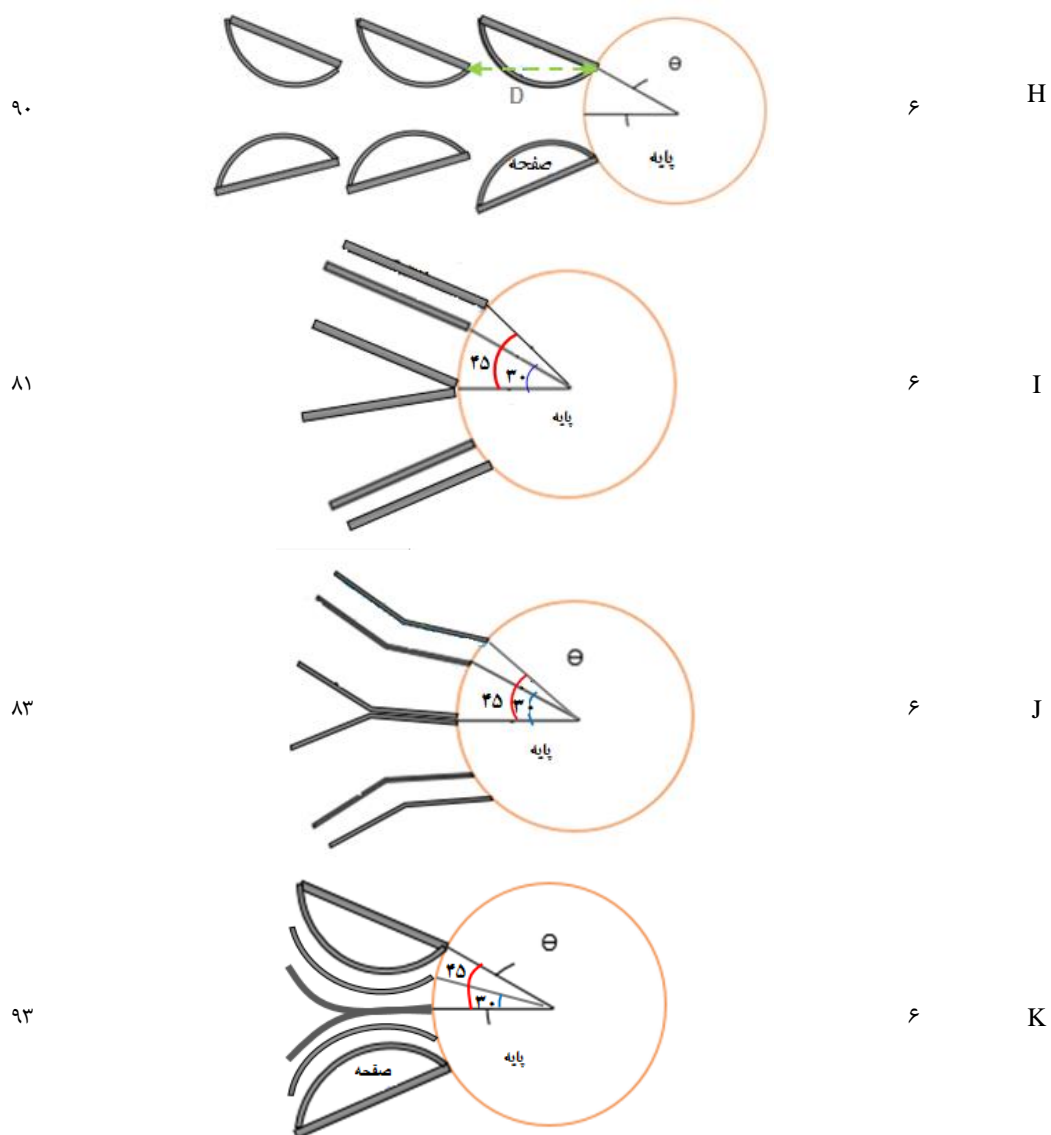
شکل ۴- تراز حفره آبستنگی موضعی در اطراف پایه در آزمایش شاهد

**جدول ۱- فهرست آزمایش ها و عملکرد آن ها در کاهش عمق آبستنگی**

مدل	تعداد صفحات	نحوه قرارگیری	درصد کاهش آبستنگی (نسبت به حالت بدون محافظ)
-----	-------------	---------------	---







خود ثابت می ماند. با این تفاوت که وجود صفحات در جلوی پایه نوعی حفاظت برای رسوبات در مقابل گرداب نعل اسبی ایجاد می کند. بنابراین مکانیزم کاهش عمق حفره آبستگي در شرایط هم ترازى صفحات با رسوبات بستر، اختلال در روند تولید گرداب نعل اسبی به علت وجود صفحات است، زیرا جریان چرخشی گرداب نعل اسبی، در درون حفره آبستگي، با صفحات برخورد می کند. همچنین در کاربرد صفحات مستغرق جلوی پایه پل، صفحات نقش انحراف دهنده رسوبات را نیز دارند. در این حالت برای جلوگیری از تشدید آبستگي در جلو صفحه، بایستی سطح بالای صفحات هم سطح رسوبات بستر قرار گیرد تا جریان پایین رونده در جلوی صفحات ایجاد نشود. با این حال پس از گذشت مدت کوتاهی از شروع آزمایش (کمتر از یک دقیقه) به دلیل آبستگي ناشی از جریان پایین رونده ایجاد شده روی پایه پل، صفحات از بستر بیرون می زنند، بنابراین بیرون زدگی صفحات در

در ادامه، نتایج مربوط به جدول (۱) در سه بخش آزمایش های پایه با دو صفحه مستغرق، آزمایش های پایه با سری صفحات مستغرق با فاصله D و آزمایش های پایه با سری صفحات مستغرق چیده شده در کنار پایه مورد بررسی قرار می گیرد.

#### الف- آزمایش های پایه با دو صفحه مستغرق

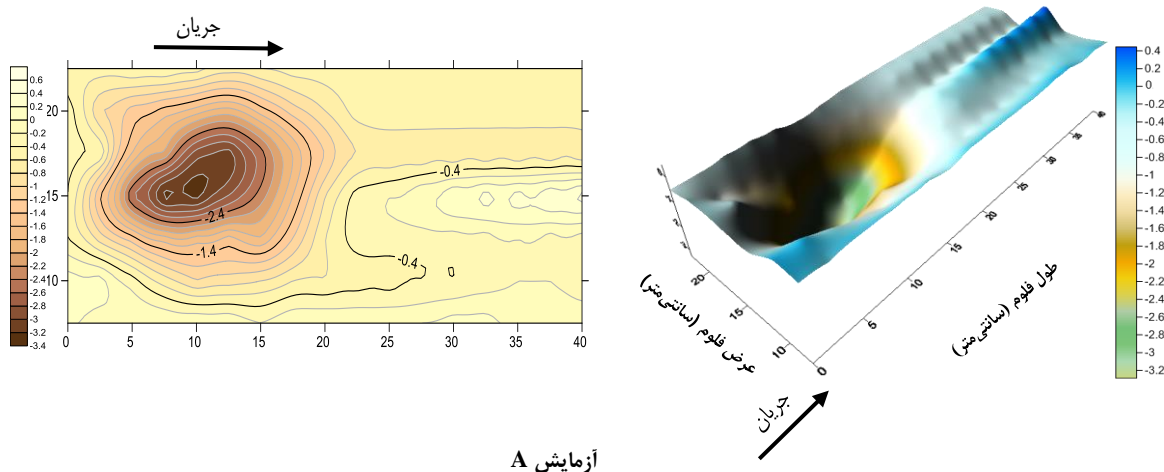
در این بخش از آزمایش ها تعداد صفحات مستغرق دو عدد، زاویه برخورد با جریان ۲۰ درجه، موقعیت قرارگیری صفحات نسبت به پایه ۳۰ درجه و سطح بالای صفحات هم سطح رسوبات بستر قرار دارد به طوری که صفحات در زیر رسوبات و هم سطح بستر مدفون می باشند. در این شرایط، روند شروع آبستگي همانند پایه بدون صفحه است. زیرا با وجود صفحات با ارتفاع روی بستر صفر، جریان عمومی آب بدون حضور مانعی روی سطح رسوبات حرکت کرده و ذرات بستر در بالادست در جای

**ب) آزمایش‌های پایه با سری صفحات مستغرق با فاصله D**

در این سری از آزمایش‌ها شش صفحه مستغرق با فواصلی به اندازه قطر پایه (D) از یکدیگر، با زاویه برخورد با جریان ۲۰ درجه، موقعیت قرارگیری صفحات نسبت به پایه ۳۰ درجه و ارتفاع صفر از سطح بستر قرار گرفتند. شکل (۶) نحوه قرارگیری صفحات را نشان می‌دهد.

به دلیل مدفون بودن صفحات در بستر، در شروع آزمایش ذرات بستر بالادست پایه پل، در جای خود ثابت می‌مانند و حفره آبشستگی جلو پایه مشابه با آنچه در صفحات دوتایی ذکر گردید ایجاد می‌گردد. با گذشت زمان و بدلیل توسعه حفره آبشستگی به بالادست پایه، علاوه بر صفحات ردیف سوم (صفحات چسبیده به پایه)، صفحات ردیف اول و دوم نیز به میزان اندکی از بستر بیرون آمده و در فرآیند آبشستگی مشارکت خواهند نمود. در مقایسه عملکرد صفحات در این بخش از آزمایش‌ها با صفحات دوگانه مشاهده می‌شود که افزایش تعداد صفحات انحادار تأثیر بسیار زیادی در کاهش عمق آبشستگی نداشته است. به طوری که در صفحات محدب و تخت-محدب به ترتیب چهار و سه درصد کاهش عمق آبشستگی نسبت به صفحات دوگانه اتفاق افتاده است. همچنین مشاهده می‌گردد که این اختلاف در کاهش عمق آبشستگی میان صفحات دوتایی و شش تایی، در صفحات تخت و زاویه دار به ترتیب ۱۴ و ۸ درصد بوده است. که این افزایش عملکرد بدلیل افزایش آبشستگی در اطراف صفحات تخت و زاویه دار نسبت به حالت محدب و محدب تخت و نقش صفحات ردیف اول و دوم در هدایت رسوبات به سمت گودال آبشستگی می‌باشد. در شکل (۷) نمای سه بعدی توپوگرافی و نمودار خطوط تراز پیرامون پایه پل در آزمایش E نشان داده شده است.

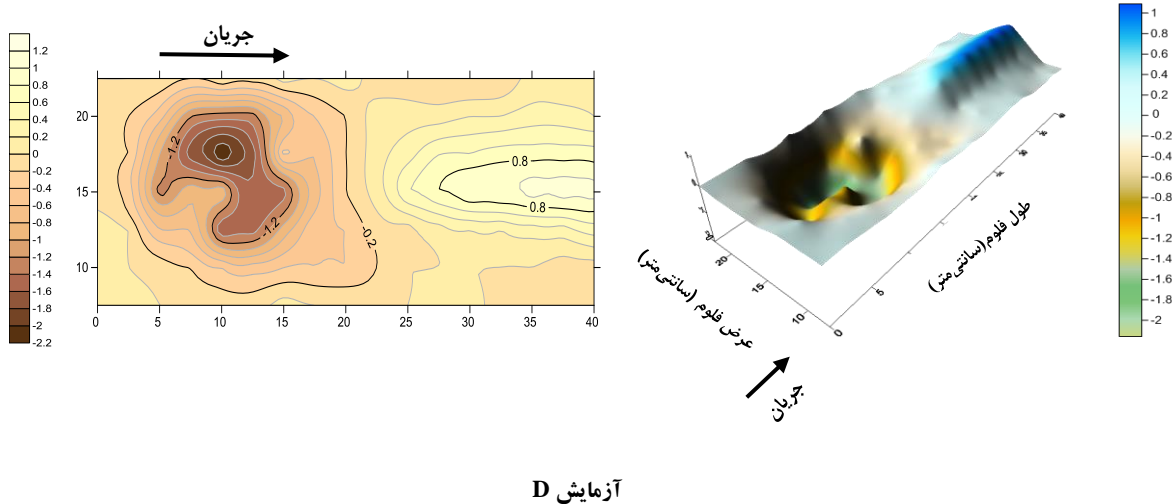
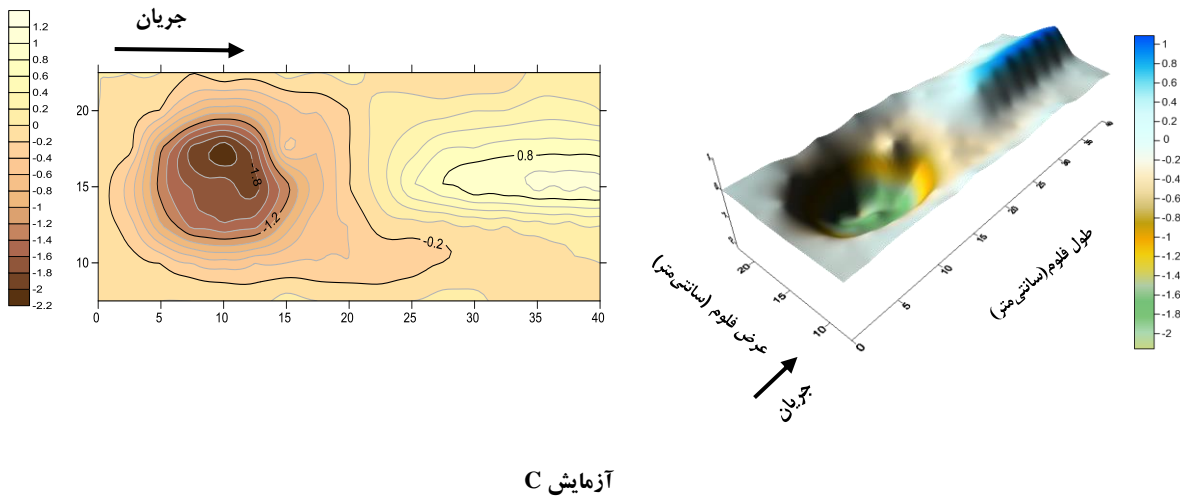
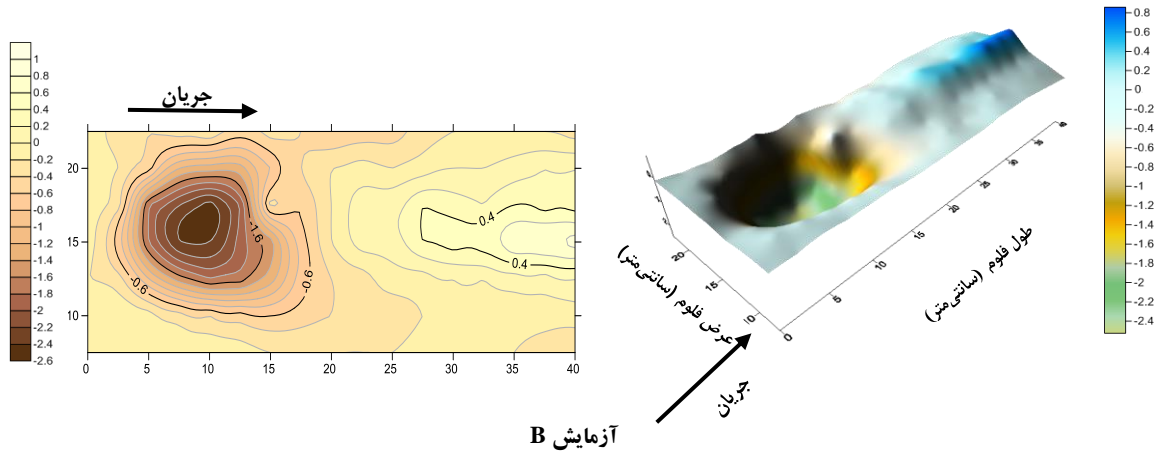
گودال آبشستگی و ارتفاع ایجاد شده نسبت به بستر، باعث به وجود آمدن اختلاف فشار در طرفین صفحات می‌گردد. این اختلاف فشار باعث جابجایی ذرات بستر از طرفین صفحه می‌شود. در این زمان شکل صفحات تأثیرگذار خواهد بود. به نحوی که در صفحات انحادار، شکل آیرودینامیکی صفحات، جداسازی خطوط جریان را به میزان زیادی کاهش می‌دهد و همین امر باعث کاهش اختلاف فشار در طرفین صفحات می‌گردد. در نتیجه جابجایی ذرات از طرفین صفحه به میزان زیادی کمتر شده که باعث کاهش عمق حفره آبشستگی می‌شود. شکل ۵ نمای سه بعدی توپوگرافی و نمودار خطوط تراز پیرامون پایه پل در آزمایش -۵ های انجام گرفته با دو صفحه مستغرق را نشان می‌دهند. علاوه بر گودال آبشستگی بخش رسوب‌گذاری نیز در این شکل‌ها دیده می‌شود. همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است گودال آبشستگی در آزمایش‌های B، C و D نسبت به آزمایش A، علاوه بر عمق در محدوده عرضی و طولی نیز کوچک‌تر شده است. دلیل این امر شکل تخت صفحات در آزمایش A می‌باشد که باعث جداسازی بیشتر خطوط جریان می‌شود. صفحات محدب نسبت به صفحات تخت، ۲۷ درصد عمق آبشستگی را کاهش دادند. در آزمایش D با اضافه کردن یک صفحه تخت به ناحیه پشت صفحه محدب، اختلاف فشار جلو و پشت صفحه نسبت به صفحه محدب باز هم کاهش یافته و آبشستگی ۱۲ درصد کم گردیده است. درصد کاهش عمق آبشستگی در صفحات تخت-محدب نسبت به صفحات تخت ۳۹ درصد می‌باشد. مقایسه صفحات تخت، انحادار و زاویه دار در این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که صفحات انحادار عملکرد بهتری را داشته است.



آزمایش A

شکل ۵- نمای سه بعدی توپوگرافی و نمودار خطوط تراز پیرامون پایه در آزمایش‌های A، B، C و D



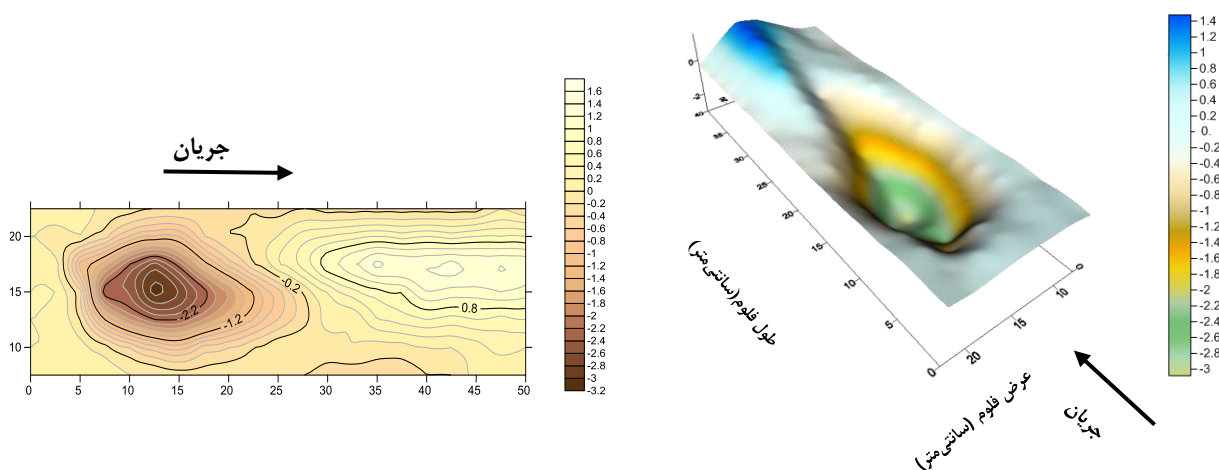


ادامه شکل ۵- نمای سه بعدی توپوگرافی و نمودار خطوط تراز پیرامون پایه در آزمایش های A، B، C و D

پرجمی و همکاران: بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش قرارگیری صفحات...



شکل ۶- نحوه قرارگیری سری صفحات محدب و محدب-تخت

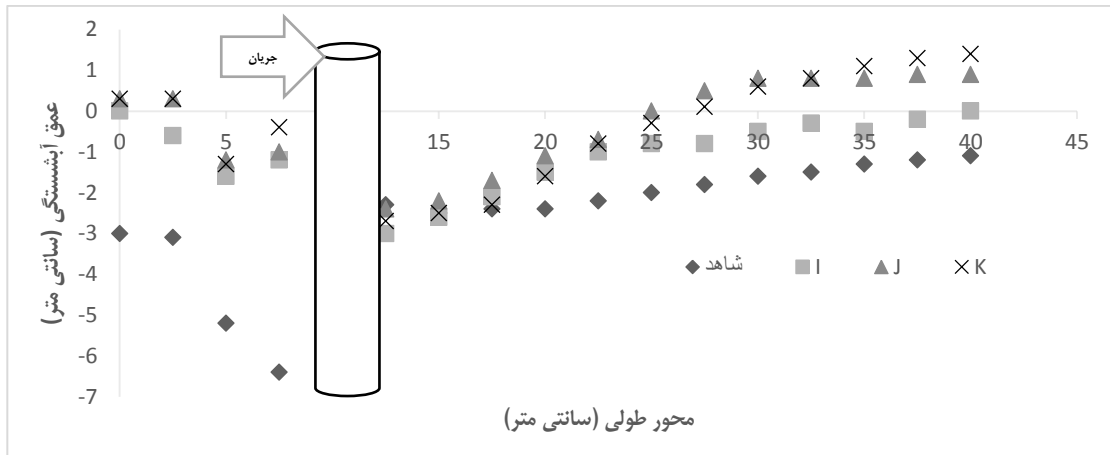


شکل ۷- نمای سه بعدی توپوگرافی و نمودار خطوط تراز پیرامون پایه پل در آزمایش E

می‌شود جداشدگی خطوط جریان کمتر شود. با قرار دادن صفحه تخت-محدب در موقعیت ۴۵ درجه نسبت به پایه، مقدار گردابه‌های تشکیل شده در پشت صفحه به میزان زیادی کاهش می‌یابد، بنابراین آبشستگی به مقدار قابل توجهی کم می‌گردد. در صفحات انحنادار نسبت به صفحات تخت ۱۲ درصد کاهش عمق آبشستگی اتفاق افتاده است، در حالیکه این میزان در صفحات زاویه‌دار فقط دو درصد بوده است. شکل (۸) پروفیل طولی گودال آبشستگی و بخش رسوب‌گذاری را در آزمایش‌های I، J و K نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود در ناحیه جلو پایه عمق آبشستگی به ترتیب در صفحات انحنادار، زاویه‌دار و تخت بیشترین کاهش را داشته است.

**ج) آزمایش‌های پایه با سری صفحات مستغرق چیده شده در کنار پایه**

در انجام این سری از آزمایش‌ها تعداد شش صفحه به طور متقارن نسبت به خط جریان روی پایه و با ارتفاع صفر از سطح بستر، در سه موقعیت ۰، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به پایه و در زاویه برخورد با جریان ۲۰ درجه (نسبت به خط جریان) چیده شده است. در این آزمایش‌ها به دلیل نحوه قرارگیری صفحات در اطراف پایه قدرت جریان پایین‌رونده و گرداب نعل‌اسبی به مقدار زیادی کم شده و میزان آبشستگی کاهش می‌یابد. همچنین در مقایسه صفحات تخت، زاویه‌دار و انحنادار، صفحات انحنادار عملکرد بهتری دارند، زیرا شکل آیرودینامیکی صفحه باعث



شکل ۸- پروفیل طولی بستر در محور پایه

تخت، زاویه دار و تخت در دو حالت دو تایی و شش تایی استفاده گردید و نتایج زیر حاصل گردید:

- ایجاد انحنای در صفحات در کاهش عمق آبستگي مؤثر می-باشد.
- افزایش تعداد صفحات باعث کاهش عمق آبستگي می-شود.
- در مقایسه عملکرد، سری صفحات چیده شده در کنار پایه نسبت به حالت سری صفحات قرار گرفته به فاصله  $D$ ، عملکرد بهتری در کاهش آبستگي پایه پل دارند.
- در مقایسه صفحات تخت، انحنادار و زاویه دار در حالت سری صفحات چیده شده در کنار پایه، صفحات انحنادار در کاهش عمق آبستگي نسبت به صفحات تخت و زاویه دار مؤثرتر می-باشند.
- بهترین عملکرد در آزمایش‌ها مربوط به مدل صفحات انحنادار چیده شده در جلو پایه می-باشد که عمق آبستگي را تا ۹۳ درصد کاهش داد.
- در ارتباط با مسائل کاربردی از روی نتایج این تحقیق می-توان به طراحی و ساخت صفحات انحنادار که به صورت چیده شده در اطراف پایه قرار می-گیرند اقدام نمود که با توجه به پیش ساخته بودن این صفحات نیاز به صرف هزینه قابل توجه ندارد.

### تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت های مالی دفتر پژوهش های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان انجام گردیده است و بدین وسیله از آن ها تشکر و قدردانی می گردد.

مقایسه نتیجه تحقیق حاضر با نتایج قربانی و کلز (۲۰۰۸) در آزمایش کاربرد دو صفحه تخت، مقدار کاهش آبستگي در تحقیق قربانی و کلز (۲۰۰۸) را ۳۹ درصد بیشتر از مطالعه حاضر نشان داد که علت آن می-تواند متفاوت بودن شرایط آزمایش در برخی پارامترها باشد. به طور مثال مقدار پارامتر  $b/d_{50}$  در تحقیقات قربانی و کلز برابر ۲۰۰ است که این مقدار بسیار بیشتر از محدوده معیار تفرج نوروز (۲۰۱۰) ( $130 < b/d_{50} < 25$ ) می-باشد. همچنین مقدار  $h/b$  بسیار کمتر از  $2/5$  می-باشد که این مقدار در تحقیق حاضر  $4/33$  در نظر گرفته شد. مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج شجاعی و همکاران (۱۳۹۱) در بخش سری صفحات قرار گرفته با فاصله  $D$ ، روند یکسانی را به ازای افزایش تعداد صفحات نشان داد. در آزمایش های شجاعی و همکاران (۱۳۹۱) میزان درصد کاهش آبستگي بیشتر بود که دلیل آن می-تواند زاویه حمله بزرگتر و همچنین ارتفاع قرارگیری بیشتر صفحات نسبت به آزمایش های این تحقیق باشد. همچنین در بخش سری صفحات چیده شده در کنار پایه نتایج این تحقیق با نتایج رضاپوریان و همکاران (۱۳۸۸) هم خوانی دارد. به طوری که بهترین عملکرد مربوط به صفحات چیده شده در کنار پایه با موقعیت های قرارگیری ۰، ۳۰ و ۴۵ درجه بوده است.

### نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی تأثیر شکل و آرایش صفحات مستغرق در کاهش آبستگي اطراف پایه پل پرداخته شد و از صفحات با طول معادل قطر پایه و با شکل محدب، محدب -

### منابع

- ۱- رضاپوریان، س.، صمدی بروجنی، ح. و قربانی، ب.، ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی تعیین موقعیت مناسب سری پره های مستغرق در کنترل آبستگي پای پل ها. هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران.

- ۲- شجاعی، پ.، فرسادی‌زاده، د.، حسین‌زاده دلیر، ع.، سلماسی، ف. و قربانی، م.، ۱۳۹۱. کاربرد صفحات مستغرق در کاهش آبستگي پایه استوانه‌ای پل‌ها. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۱): ۹۱-۱۰۷.
- ۳- شفاعی بجستان، م. ۱۳۷۳. هیدرولیک رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- 4- Barkdoll, D., Ettema, R., and A.J. Odgaard. 1999. Sediment control at lateral diversions: limits and enhancement to vane use. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(8):132-136.
- 5- Chiew, Y.M. 1984. Local scour at bridge piers. University of Auckland, School of Engineering, New Zealand, Report No.355.
- 6- Chiew, Y.M. and B.W. Melville. 1987. Local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, ASCE, 25(1):15-26.
- 7- Ghorbani, B. and J. A. Kells. 2008. Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier *Journal of Hydraulic Research*, 46 (4):610-619.
- 8- Grimaldi, C. 2005. Non-conventional countermeasures against local scouring at bridge piers, *Dissertazione per il conseguimento di Ricerca in Idraulica per l'Ambiente e il Territorio. Dipartimento di Difesa del Suolo "V. Marone", Università della Calabria.*
- 9- Gupta, P. and N. Sharma. 2007. Performance evaluation of tapered vane. *Journal of Hydraulic Research*, 45(4): 472-477.
- 10- Marelius, F. and K. Sinha. 1998. Experimental investigation of flow past submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(5): 542-546.
- 11- Marelius, F. and K. Sinha. 2000. Analysis of flow past submerged vanes. *Hydraulic*, 38(1): 65-71.
- 12- Neill, R. and J. Evans, 1997. Sediment control at water intakes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(7):670-671.
- 13- Odgaard, A.J. and J.F. Kennedy. 1983. River-bend bank protection by submerged vanes *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(8): 1161-1173.
- 14- Raudkivi, A. and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3): 338-350.
- 15- Soon-Keat, T., Guoliang, Y., Siow-Yong, L. and Muk-Chen. 2005. Flow structure and sediment motion around submerged vanes in open channel. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 131(3):132-136.
- 16- Tafarjnoruz, A., Gaudio, R. and F. Calomino. 2012. Evaluation of flow-altering countermeasures against bridge pier scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(3):297-305.
- 17- Tafarjnoruz, A., Gaudio, R., Grimaldi, C. and F. Calomino. 2010. Required conditions to achieve the maximum local scour depth at a circular pier. *Proc., XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Farina, Palermo, Italy.*
- 18- Voisin, A., and R. D. Townsend. 2002. Model testing of submerged vanes in strongly curved narrow channel bends. *Journal of Civil Engineering*. 29(1):37-59.
- 19- Wang, Y. and A.J. Odgaard. 1996. Sediment control at water intakes. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 122(6): 353- 356.