

## تأثیر زاویه برخورد جریان و ارتفاع قرارگیری صفحه مستغرق محدب-تخت بر کاهش آبستگي پایه پل

لیلا پرچمی<sup>1</sup>، سید امین اصغری پری<sup>2\*</sup>، محمود شفاعی بجمستان<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 1395/3/23 تاریخ پذیرش: 1395/7/28

### چکیده

یکی از روش‌های کاهش آبستگي موضعی در اطراف پایه پل‌ها استفاده از صفحات مستغرق است. این صفحات با تغییر در رژیم حرکت بار بستر این امکان را فراهم می‌سازند تا محل رسوب‌گذاری و فرسایش قابل کنترل باشد. عملکرد صفحات مستغرق در کاهش آبستگي پایه پل و حرکت رسوب از اطراف صفحات، که به علت ایجاد جریان رو به پایین در جلوی آن‌ها به وجود می‌آید، تحت تأثیر نحوه قرارگیری صفحات می‌باشد. در این تحقیق، با استفاده از مدل فیزیکی، صفحه محدب-تخت در ارتفاع‌های مختلف روی بستر و زوایای مختلف با جهت جریان مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور پایه استوانه‌ای پل به قطر 2/54 سانتی‌متر در کانال مستطیلی آزمایشگاه به طول 10 متر و عرض 30 سانتی‌متر در شرایط آب زلال با  $u/u_c=0.92$  مدل‌سازی شد. در این آزمایش‌ها از صفحاتی با طول انحنای برابر قطر پایه استفاده شده است. بیش‌ترین مقدار کاهش عمق آبستگي نسبت به پایه بدون محافظ مربوط به زاویه برخورد  $20^\circ$  و ارتفاع روی بستر صفر برابر 87/5 درصد می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آبستگي، ارتفاع، پایه پل، زاویه حمله، صفحات مستغرق

### مقدمه

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 شکلی شبیه نعل اسب پدید می‌آورد که به آن گرداب نعل‌اسبی می‌گویند. تشکیل گرداب نعل‌اسبی در داخل حفره آبستگي، 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). در اثر جدایی جریان در کناره‌های پایه نیز گرداب‌هایی تشکیل می‌شوند که محور آن‌ها عمود بر بستر رودخانه می‌باشد و به آن‌ها گرداب برخاستگی می‌گویند. این گرداب‌ها همانند گردباد ذرات بستر را جدا کرده و در معرض جریان قرار می‌دهند و به انتقال ذرات از جلو و اطراف پایه به سمت پایین دست کمک می‌کنند. گرداب‌های دیگری نیز در جلوی پایه شکل می‌گیرند که به آن‌ها گرداب موج‌کمانی یا سطحی گفته می‌شود که در جریان‌ات کم‌عمق دارای اهمیت می‌باشند. حفر گودال آبستگي توسط گرداب نعل‌اسبی آنقدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبستگي زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. در این حالت عمق آبستگي به حالت تعادل می‌رسد (Raudkivi., 1998). به‌طور کلی روش‌های کاهش آبستگي به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول روش‌هایی هستند که به منظور تقویت بستر و بالابردن مقاومت آن در برابر تنش برشی ناشی از

وقوع آبستگي در اطراف پایه‌های پل یکی از عمده‌ترین دلایل تخریب پل‌ها می‌باشد. بنابراین حفاظت از پل‌ها در برابر آبستگي ضروری است. برای مهار آبستگي لازم است تا ابتدا مکانیزم آبستگي مورد بررسی قرار گیرد. پس از برخورد جریان به دماغه پل، بر روی پایه با توجه به این که 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 روبه-پایین در جلو پایه می‌شود. جریان رو به پایین همانند یک جت عمودی عمل کرده و پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود (Raudkivi., 1998). مقداری از این جریان که به سمت بالا بازگشت می‌کند، در برخورد به جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدد به پایه

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی رودخانه، دانشکده مهندسی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء، بهبهان  
2- استادیار، دانشکده مهندسی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء، بهبهان  
3- استاد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز  
(\* - نویسنده مسئول: Email: asghari\_amin@bkatu.ac.ir

( $L/H=2.0$ )، صفحاتی که هم‌تراز بستر بودند عملکرد بهتری در کاهش آبشستگی دارند. هم‌چنین تغییر زوایا در هر ردیف از صفحات مستغرق به بهبود عملکرد آن‌ها در کاهش آبشستگی منجر شد. بیش‌ترین درصد آبشستگی مربوط به حالت 6 صفحه مستغرق با نسبت طول به ارتفاع روی بستر ( $L/H=3$ ) و زوایای قرارگیری 20، 30 و 35 درجه می‌باشد. دبرانی و همکاران (1388) اثر سه زاویه قرارگیری (10، 20 و 30 درجه) در پنج طول از صفحات و در موقعیت 45 درجه نسبت به راس پایه را بررسی کردند، نتایج حاصل نشان داد که در برخی از طول‌ها زاویه 20 درجه و در برخی دیگر زاویه 30 درجه بیش‌ترین کاهش را داشته است و نمی‌توان اظهار نظر کلی در مورد زاویه قرارگیری صفحات در بهبود نتیجه مورد نظر، انجام داد و در هر مورد باید با انجام آزمایش‌ها، بهترین زاویه حمله انتخاب شود. صفحاتی که تا کنون در بحث آبشستگی موضعی پایه پل مورد آزمایش قرار گرفته اند، صفحات تخت مستطیلی ساده بوده‌اند. در این مطالعه عملکرد شکل متفاوتی از صفحه مستغرق یعنی شکل محذب-تخت با صفحه مستطیلی ساده مقایسه گردید و از آن‌جایی که صفحه محذب-تخت نتایج بهتری را نشان داد در زوایای حمله متفاوت و ارتفاع قرارگیری مختلف نسبت به بستر در کاهش عمق آبشستگی مورد بررسی قرار گرفت.

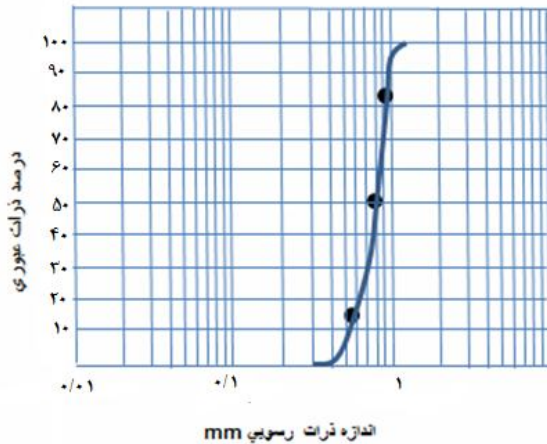
### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک فلوم (کانال) آزمایشگاهی با طول 10 متر، عرض 0/3 متر و ارتفاع 0/45 واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا بهبهان انجام گرفت. فلوم دارای کف فلزی و دیواره‌های شیشه‌ای بود و امکان تغییر شیب کف آن به کمک چهار جک و الکتروموتور که به صورت دیجیتالی عمل می‌کند وجود داشت. کانال در قسمت ابتدایی و انتهایی دارای مخزن بود. جریان مورد نیاز با استفاده از یک پمپ با قدرت 22kw از مخزن اصلی به کانال منتقل شد و توسط یک دریچه کشویی در انتهای کانال عمق آب در کانال تنظیم شد. کانال آزمایشگاهی به دو قسمت بستر متحرک و بستر ثابت (کف کاذب) تقسیم شد. بستر متحرک از فاصله 4 متری از ابتدای کانال شروع شد و دارای طول 3 متر بود که ارتفاع رسوبات در این قسمت 15 سانتی‌متر بود و توسط رسوبات غیرچسبنده پر شده بود. قسمت ابتدای کانال تا ابتدای بستر متحرک و انتهای بستر متحرک تا انتهای کانال را کف کاذب تشکیل می‌داد که از صفحه‌های گالوانیزه تشکیل شده بود. ارتفاع کف کاذب نیز 15 سانتی‌متر بود. 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 صفحه مشبک

جریان استفاده می‌شوند مانند احداث سنگ‌چین. اما گروه دوم روش‌هایی هستند که به منظور تغییر الگوی جریان و کاهش شدت گرداب‌های ایجاد شده در اطراف پایه به کار می‌روند مانند ایجاد شیار در پایه و نصب طوق در اطراف پایه و هم‌چنین استفاده از صفحات مستغرق<sup>1</sup>. صفحات مستغرق با ایجاد جریان گردابه‌ای باعث تغییر در رژیم حرکت بار بستر و در نتیجه تغییر محل رسوب‌گذاری و فرسایش می‌شوند. این صفحات در مقطع عرضی کانال طراحی و با زاویه کوچکی نسبت به جهت جریان به صورت عمود در بستر نصب می‌شوند. جریان چرخشی ناشی از تغییرات فشار عمودی در دو طرف سطح صفحه است. ترکیب چرخش ایجاد شده با سرعت در جهت جریان، سبب ایجاد یک حرکت مارپیچی در پایین دست صفحات می‌شود. این حرکت مارپیچی یک تنش برشی عرضی به بستر رودخانه القا می‌کند که باعث انتقال رسوب در جهت عرضی می‌شود (Odgaard and Wang., 1991). صفحات مستغرق اولین بار در اوایل سال 1930 در هند و پاکستان به نام صفحات کینگ<sup>2</sup> مورد استفاده قرار گرفت. قربانی و کلز در آخرین تحقیقات انجام شده در مورد تأثیر پره‌ها در کاهش آبشستگی موضعی در کنار پایه استوانه‌ای، یک گروه آزمایش روی پره منفرد و دوگانه در زوایای حمله متفاوت و ارتفاعات متفاوت پره انجام دادند. آن‌ها از یک بستر یکنواخت شنی با ضخامت 160 میلی‌متر استفاده کردند. سه ارتفاع مختلف پره عبارت بود از: نوع اول 160 میلی‌متر، نوع دوم  $0.25D + 160$  میلی‌متر و نوع سوم  $0.5D + 160$  میلی‌متر (مینا کف فلوم و  $D$  قطر پایه است). طول هر سه نوع پره معادل قطر پایه انتخاب شد. در حالت استفاده از دو صفحه مستغرق بیش‌ترین کاهش در عمق آبشستگی در موقعیت 30 درجه نسبت به مرکز پایه با زاویه حمله 18/5 درجه و ارتفاع صفر پره از بستر به میزان 87/7 درصد اتفاق افتاد و در حالت استفاده از یک صفحه مستغرق بیش‌ترین کاهش در عمق آبشستگی در زاویه 8/5 درجه و ارتفاع صفر و به میزان 17/3 درصد اتفاق افتاد (Ghorbani and Kells., 2008). شجاعی و همکاران (1391) آزمایش‌های مختلفی بر روی سری صفحات مستغرق با زوایای حمله و ارتفاع‌های مختلف قرارگیری انجام دادند. آزمایش‌ها با دو نسبت طول به ارتفاع روی بستر ( $L/H=3.2$ ) و هم‌چنین هم‌تراز بستر ( $H=0$ ) انجام شد. براساس نتایج این تحقیق در شرایط کاربرد 6 صفحه مستغرق با زاویه حمله 30 درجه و ارتفاع قرارگیری با دو نسبت طول به ارتفاع روی بستر ( $L/H=3.2$ )، با کاهش ارتفاع روی بستر صفحات مستغرق تا نسبت  $L/H=3$ ، عملکرد آن‌ها در کاهش عمق آبشستگی در جلوی پایه افزایش یافت. در شرایط کاربرد دو صفحه مستغرق با زاویه حمله 30 درجه و ارتفاع قرارگیری با دو نسبت طول به ارتفاع روی بستر

1- Submerged vanes  
2- King's vanes

استفاده شود. برای بررسی یکنواختی رسوبات از رابطه  $\sigma_g = (d_{84} / d_{16})^{1/2}$  استفاده گردید که در آن  $\sigma_g$  انحراف معیار هندسی ذرات است که برابر 1/3 می‌باشد. چگالی نسبی ذرات رسوبی بستر برابر 2/64 بود. در شکل 1 منحنی دانه‌بندی مربوط به رسوبات استفاده شده در این تحقیق نشان داده شده است.



شکل 1- منحنی دانه بندی ذرات رسوبی

مدل صفحات مستغرق، از ورقه‌های گالوانیزه به ضخامت 1 میلی‌متر ساخته شد. طول این صفحات برابر 2/54 سانتی‌متر (برابر قطر پایه) بود. تعداد صفحات در هر آزمایش دو عدد و موقعیت قرارگیری صفحات نسبت به پایه  $30^\circ$  بود (مشابه شرایط آزمایش‌های قربانی و کلز (2008) و تفرج نوروز (2012)). در تمام آزمایش‌ها عمق جریان 11 سانتی‌متر و دبی 10/5 لیتر بر ثانیه بود. شکل 2 نمایی از فلوم آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. جهت محاسبه زمان تعادل، با لحاظ نمودن معیار سوم گریمالدی که برابر با مدت زمانی است که میزان آبستنگی در طی مدت 24 ساعت، کم‌تر یا مساوی 5% قطر پایه تقسیم بر 3 باشد  $\Delta d_{s,24} = 0.05b/3$  بنا به توصیه تفرج نوروز و همکاران (2010) استفاده گردید (Grimaldi., 2005). جهت تعیین زمان تعادل مطابق با معیار ذکر شده یک آزمایش 24 ساعته انجام گرفت و عمق آبستنگی در زمان‌های مختلف ثبت گردید. شکل 3-الف نمودار توسعه زمانی حفره آبستنگی پایه بدون حفاظت را در مدت زمان 24 ساعت نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، سرعت آبستنگی در ابتدای آزمایش بسیار زیاد است به طوری که پس از 1 ساعت از شروع آزمایش (4 درصد مدت زمان آزمایش)، 68 درصد از کل آبستنگی ایجاد شد. اما با گذشت زمان تغییرات عمق حفره آبستنگی کاهش یافت. مطابق شکل 3-الف حدود 91 درصد عمق تعادل آبستنگی در مدت زمان 7 ساعت اتفاق می‌افتد. بدین ترتیب مدت زمان آزمایش‌ها 7 ساعت در نظر گرفته شد. در کلیه آزمایش‌ها، پس از اتمام زمان آزمایش، دریاچه

آرام کننده استفاده شد. آب پس از یک آرامش نسبی به داخل کانال جریان یافت و پس از طی طول 10 متری کانال و عبور از دریاچه انتهایی وارد حوضچه‌ها شد. کنترل دبی با شیر کنارگذر انجام گرفت و اندازه‌گیری توسط دبی‌سنج الکترومغناطیس صورت پذیرفت. در تمامی آزمایش‌های تحقیق حاضر، عمق جریان ثابت فرض شد (برابر با 11 سانتی‌متر که تنظیم آن از طریق دریاچه کشویی انتهایی فلوم صورت گرفت). به عبارتی سطح مقطع جریان (عمق  $\times$  جریان عرض فلوم = مقدار ثابتی است. دبی جریان (Q) نیز 10/5 لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. با استفاده از معادلات Melville (1997) و Melville و Sutherland (1988)، نسبت سرعت به سرعت بحرانی  $(u/u_c)$  به صورت روابط 1 و 2 محاسبه گردید.

$$u_{*c} = 0.0115 + 0.0125(d_{50})^{.4} \quad (1)$$

$$d_{50} = 0.8 \rightarrow u_{*c} = 0.02$$

$$u_c = 5.75 u_{*c} \log 5.53 y / d_{50} \quad (2)$$

$$y = 11 \text{ cm} \rightarrow u_c = 0.345 \text{ m/s}$$

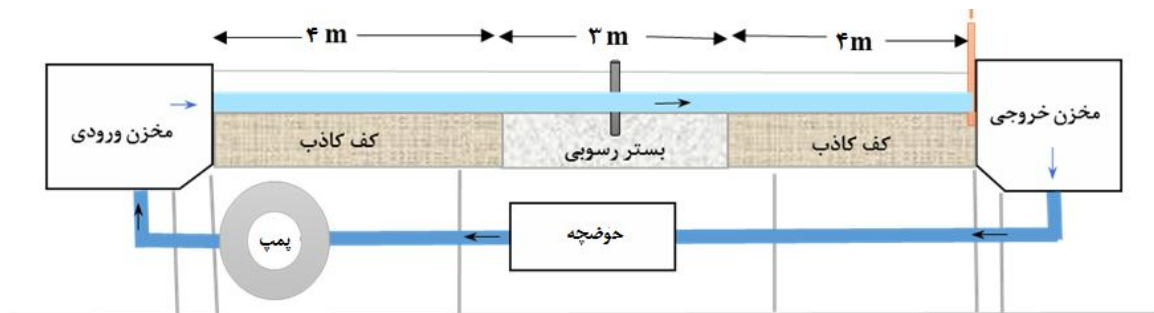
$$Q = 10.5 \text{ l/s} \rightarrow u = 0.318 \text{ m/s}$$

$$u/u_c = 0.92 \rightarrow \text{ok}$$

آزمایش‌ها براساس آبستنگی آب زلال با  $u/u_c = 0/92$  (نسبت سرعت برشی بستر به سرعت برشی آستانه حرکت ذره رسوب) انجام شد تا حداکثر عمق آبستنگی رخ دهد. برای از بین بردن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبستنگی موضعی، طبق نظر چپو و ملویل قطر پایه نباید از 10 درصد عرض کانال بیش‌تر باشد ( $B/b \geq 10$ ) و براساس نظر رادکیوی و اما 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 (Chiew and Melville., 1987)، (and Ettema., 1983 Raudkivi)، جهت ثابت ماندن پایه، مدل پایه بر روی یک صفحه افقی چوبی متصل گردید و در فاصله 1/5 متری از ابتدای محدوده 3 متری رسوبات قرار داده شد. با توجه به پیشنهاد تفرج نوروز و همکاران چنانچه نسبت عرض پایه به قطر متوسط ذرات  $(b/d_{50})$  در محدوده 25 تا 130 باشد، عمق آبستنگی متعادل تحت تأثیر اندازه ذرات رسوبی قرار نمی‌گیرد (Tafarjoruz et al., 2010). بنابراین 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 آبستنگی به دست آید و هم از ایجاد پشته‌های کوچک جلوگیری شود.  $b = 25.4 \text{ mm}$ ,  $d_{50} = 0.8 \text{ mm}$   $b/d_{50} = 31.7$  با توجه به این که غیر یکنواختی ذرات رسوبی باعث کاهش عمق آبستنگی می‌شود، لذا سعی گردید از رسوبات یکنواخت در آزمایش‌ها

بستر رسوبی به صورت یک شبکه  $2/5 \times 2/5$  سانتی متری با استفاده از متر لیزری با دقت یک میلی متر برداشت و ترسیم شد.

ورودی و خروجی فلوم بسته شده و آب درون فلوم به آرامی با زهکش‌های تعبیه شده در کف فلوم تخلیه گردید، سپس توپوگرافی



شکل 2- نمای شماتیک از فلوم آزمایشگاهی

نعل اسبی آغاز شده و به سرعت ادامه یافت. در این حالت آبشستگی 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 پشته‌ها به تدریج به طرف پایین دست انتقال یافت. پس از توسعه حفره آبشستگی و مستهلک شدن گرداب‌های نعل اسبی درون حفره، رسوبات تنها درون چاله آبشستگی حرکت می‌کردند و به پایین دست انتقال نمی‌یافتند. سرعت گسترش آبشستگی در لحظات اول زیاد بود و پس از مدتی به آرامی ادامه یافت. در شکل 3-ب طرح سه بعدی تراز حفره آبشستگی موضعی در اطراف پایه در آزمایش شاهد مشاهده شد.

### ب- آزمایش‌های پایه با صفحات مستغرق

شکل 4 نحوه قرارگیری صفحات و پارامترهای مربوطه و جدول 1 فهرست آزمایش‌ها و عملکرد آن‌ها را نشان می‌دهد. در ابتدا صفحه تخت و صفحه تخت-محدب را با یکدیگر مقایسه می‌نماییم. آزمایش A و آزمایش C در شرایط یکسان انجام شد. در صفحات تخت-محدب، شکل آبرودینامیکی صفحات، جداشدگی خطوط جریان را به میزان زیادی کاهش می‌دهد و همین امر باعث کاهش اختلاف فشار در طرفین صفحات می‌گردد. در نتیجه جابه‌جایی ذرات از طرفین صفحه به میزان زیادی کم‌تر شد که باعث کاهش عمق حفره آبشستگی شد. در شکل 5 توپوگرافی ایجاد شده در بستر رسوبی در پایان آزمایش‌های شاهد، A و C نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل قابل مشاهده است در آزمایش A گودال آبشستگی از لحاظ عرضی تغییر چندانی نداشته است. دلیل این امر شکل تخت صفحات در آزمایش A می‌باشد که باعث جداشدگی بیش‌تر خطوط جریان می‌شود. ولی در آزمایش C آبشستگی در تمامی جهات (طولی، عرضی و عمق حفره) کاهش چشم‌گیری می‌یابد. صفحات تخت-محدب نسبت به صفحات تخت، حدود 39 درصد عمق آبشستگی را کاهش دادند.

### تحلیل ابعادی

بنابر هدف این مطالعه، متغیرهای موثر بر میزان آبشستگی عبارتند از: عمق آبشستگی ( $d_s$ )، عمق جریان ( $y$ )، سرعت جریان ( $v$ )، شتاب ثقل ( $g$ )، دانسیته سیال ( $\rho$ )، لزجت سینماتیکی سیال ( $\nu$ )، پارامتر شکل صفحه ( $\beta$ )، قطر متوسط ذرات رسوبی ( $d_{50}$ )، دانسیته رسوبات بستر ( $\rho_s$ )، قطر پایه پل ( $D$ )، انحراف معیار هندسی توزیع ذرات بستر ( $\sigma_g$ )، تراز قرارگیری صفحه از بستر ( $Z_v$ )، آرایش صفحات ( $A$ )، زاویه برخورد با جریان ( $t$ )، زمان ( $t$ ). در نتیجه رابطه 3 بین متغیرها وجود خواهد داشت:

$$f_1(d_s, \rho, y, v, g, \rho_s, d_{50}, \alpha, \beta, \sigma_g, \nu, t, D, Z_v, A) = 0 \quad (3)$$

با به کارگیری تئوری باکینگهام در تحلیل ابعادی، رابطه 3 را می‌توان به صورت تابع بدون بعد در رابطه 4 نوشت:

$$f_2\left(\frac{d_s}{y}, \frac{d}{y}, \frac{d_{50}}{y}, \frac{Z_v}{y}, \frac{V}{g^{1/2} y^{1/2}}, \frac{v}{g^{1/2} y^{3/2}}, \frac{g^{1/2} t}{y^{1/2}}, \frac{\rho_s}{\rho}\right) \quad (4)$$

$$\alpha, \beta, \sigma_g, \theta, A) = 0$$

با ترکیب برخی از پارامترها و نیز با توجه به ثابت بودن متغیرهای  $\rho$ ،  $\sigma$ ،  $\rho_s$ ،  $d_{50}$  ذرات رسوبی در تمام آزمایش‌ها، رابطه بدون بعد به صورت رابطه 5 قابل ذکر می‌باشد:

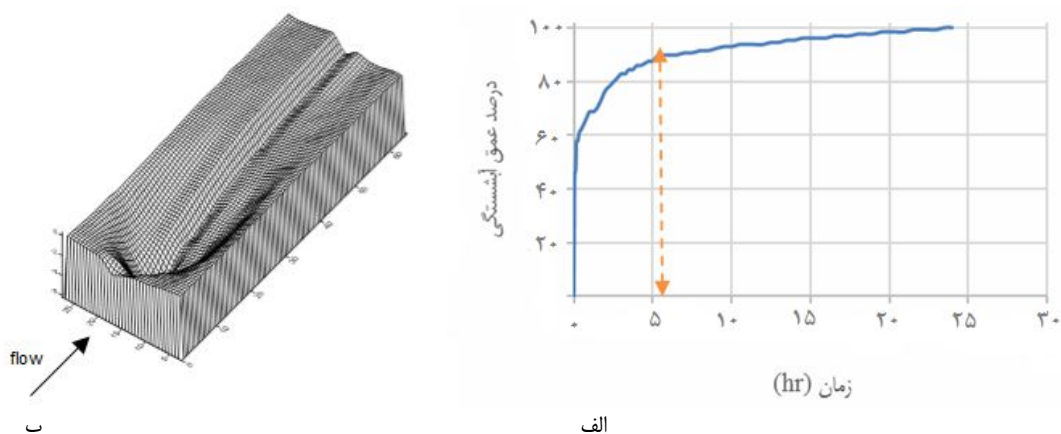
$$\frac{d_s}{D} = f(\text{Re}, \text{Fr}, \alpha, \beta, A, \frac{Z_v}{D}) \quad (5)$$

لازم به توضیح است که در تمامی آزمایش‌ها عدد رینولدز برابر 35000 می‌باشد که در محدوده جریان متلاطم قرار دارد. مقدار عدد فرود نیز در تمامی آزمایش‌ها برابر 0/28 می‌باشد.

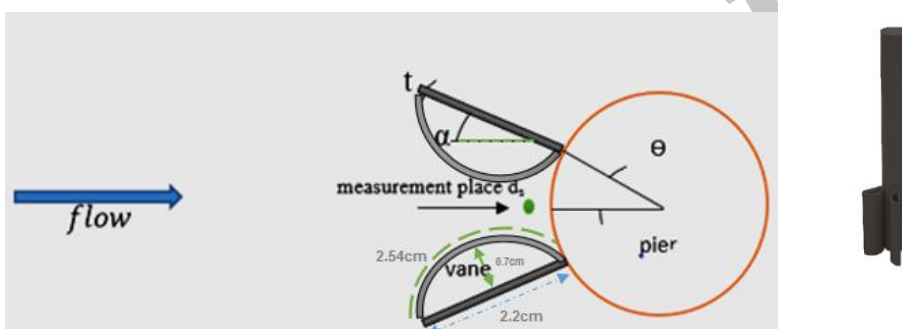
### نتایج و بحث

#### الف- آزمایش پایه بدون حفاظت

ابتدا آزمایش بدون صفحات مستغرق (آزمایش شاهد) انجام شد. در این آزمایش، آبشستگی از همان لحظات ابتدایی با تشکیل گرداب



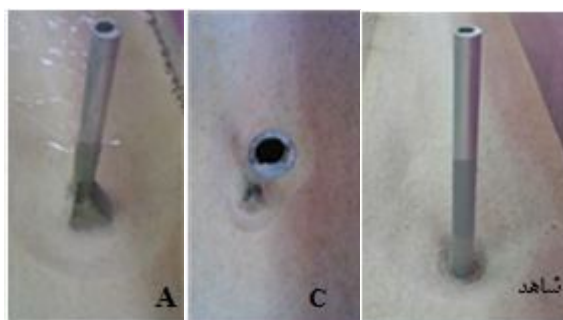
شکل 3- نمودار توسعه زمانی (الف) و طرح سه بعدی تراز حفره آبستتگی (ب) در آزمایش بدون حفاظت



شکل 4- نحوه قرارگیری صفحات و پارامترهای مربوطه

جدول 1- فهرست آزمایش‌ها و عملکرد آن‌ها در کاهش عمق آبستتگی

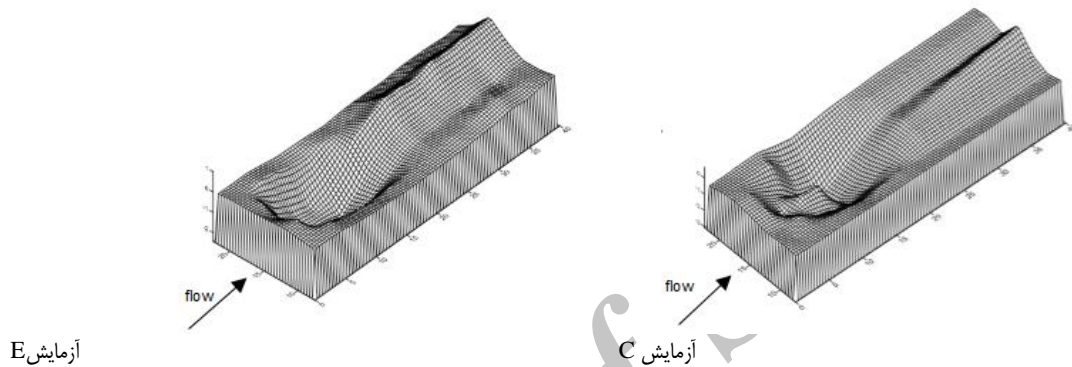
نام آزمایش	مدل	$\alpha$	$\Theta$	H	درصد کاهش آبستتگی نسبت به حالت بدون محافظ
A	تخت	20	30	0	48
B	تخت-محدب	10	30	0	71/8
C	تخت-محدب	20	30	0	87/5
D	تخت-محدب	30	30	0	73/4
E	تخت-محدب	45	30	0	65/6
F	تخت-محدب	20	30	D/2	46/8
G	تخت-محدب	20	30	D/4	72
H	تخت-محدب	20	30	-D/2	62/5



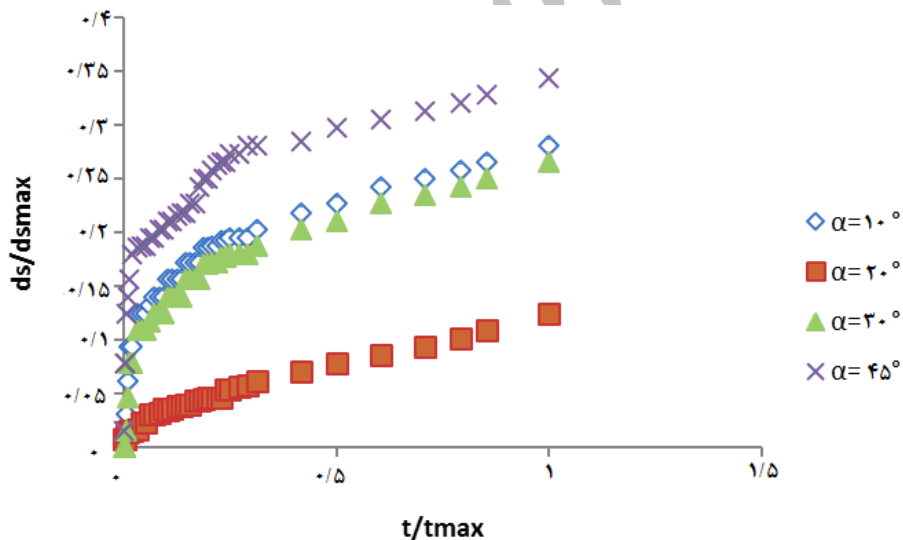
شکل 5- توپوگرافی ایجاد شده در بستر رسوبی در پایان آزمایش‌های شاهد، A و C

آبستگی در اطراف پایه در آزمایش C و E نشان داده شد، همان طور که مشاهده می شود حفره آبستگی در آزمایش E که زاویه بیش تر است بزرگ تر می باشد. در شکل 7 نیز نمودار بی بعد توسعه زمانی آبستگی در زوایای حمله 10، 20، 30 و 45 درجه را نشان می دهد. این نمودارها برای مدت زمان 7 ساعت که حدود 91% عمق تعادل آبستگی رخ می دهد ارائه شده اند. با توجه به نتایج آزمایش ها زاویه 20 درجه بهترین زاویه است.

**ج- تأثیر زاویه صفحه مستغرق با جهت جریان ( $\alpha$ )**  
با افزایش زاویه قرارگیری صفحه مستغرق نسبت به جهت جریان، ناحیه عرضی بیش تری تحت تأثیر صفحه مستغرق قرار گرفته و صفحه در معرض نیروی رانشی (درگ) قوی تری قرار می گیرد، به عبارت دیگر مقاومت در مقابل جریان افزایش می یابد و در نهایت رسوبات بیش تری از اطراف صفحه جابه جا می شوند و در نتیجه عمق آبستگی بیش تر می شود. شکل 6 طرح سه بعدی تراز حفره



شکل 6- طرح سه بعدی تراز حفره آبستگی موضعی در اطراف پایه در آزمایش های C و E



شکل 7- نمودار بی بعد توسعه زمانی آبستگی در زوایای حمله 10، 20، 30 و 45 درجه

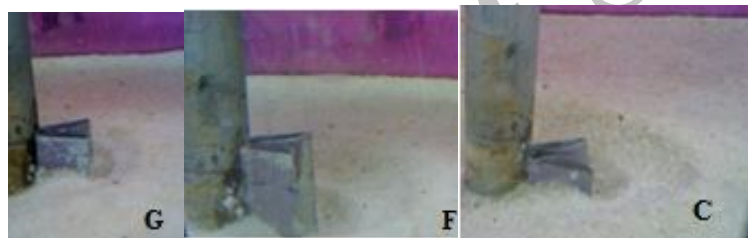
مستغرق، جریان بیش تری با آن برخورد کرده و در نتیجه قدرت جریان روبه پایین ایجاد شده بیش تر است و توانایی بیش تری برای ایجاد حفره آبستگی در جلوی صفحه مستغرق دارد. بنابراین آبستگی زیادی در اطراف صفحات مستغرق در جلوی پایه ایجاد می شود که باعث کاهش عملکرد صفحه مستغرق در کاهش آبستگی جلوی پایه می شود. از طرفی با مدفون نمودن صفحات در

**د- تأثیر ارتفاع روی بستر صفحه مستغرق (H)**  
صفحات مستغرق با داشتن ارتفاع از سطح بستر به صورت یک مانع در برابر جریان قرار می گیرند، پس از برخورد جریان عمومی آب به آن ها، به علت ایجاد فشار دینامیک، جریان رو به پایین در جلوی آن ها شکل می گیرد. این جریان باعث ایجاد حفره آبستگی در جلوی صفحات مستغرق می شود. با افزایش ارتفاع روی بستر صفحه

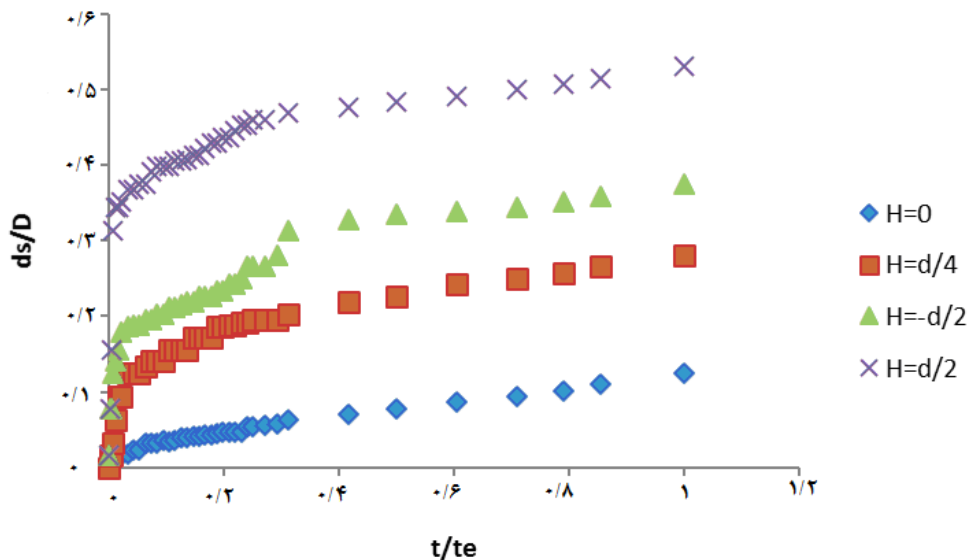
بخش رسوب‌گذاری را در آزمایش‌های مربوط به ارتفاع‌های قرارگیری مختلف نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از این تحقیق در زمینه زاویه با جهت جریان و ارتفاع قرارگیری صفحات تخت-محدب با نتایج قربانی و کلز (2008) هم-خوانی دارد. به طوری که بهترین عملکرد مربوط به صفحات با زاویه 20 درجه با جهت جریان و ارتفاع قرارگیری صفر از بستر می‌باشد. مقایسه نتیجه تحقیق حاضر با نتایج قربانی و کلز (2008) در آزمایش کاربرد دو صفحه تخت، مقدار کاهش آبستگي در آزمایش قربانی و کلز (2008) را 39/7 درصد بیش‌تر از مطالعه حاضر نشان داد که علت آن می‌تواند متفاوت بودن شرایط آزمایش در برخی پارامترها باشد. به‌طور مثال مقدار پارامتر  $b/d_{50}$  در تحقیقات قربانی و کلز (2008) برابر 200 است که این مقدار بسیار بیش‌تر از محدوده معیار تفرج‌نوروز و همکاران ( $130 < b/d_{50} < 25$ ) می‌باشد. هم‌چنین مقدار  $h/b$  بسیار کم-تر از 2/5 می‌باشد که این مقدار در تحقیق حاضر 4/33 در نظر گرفته شد.

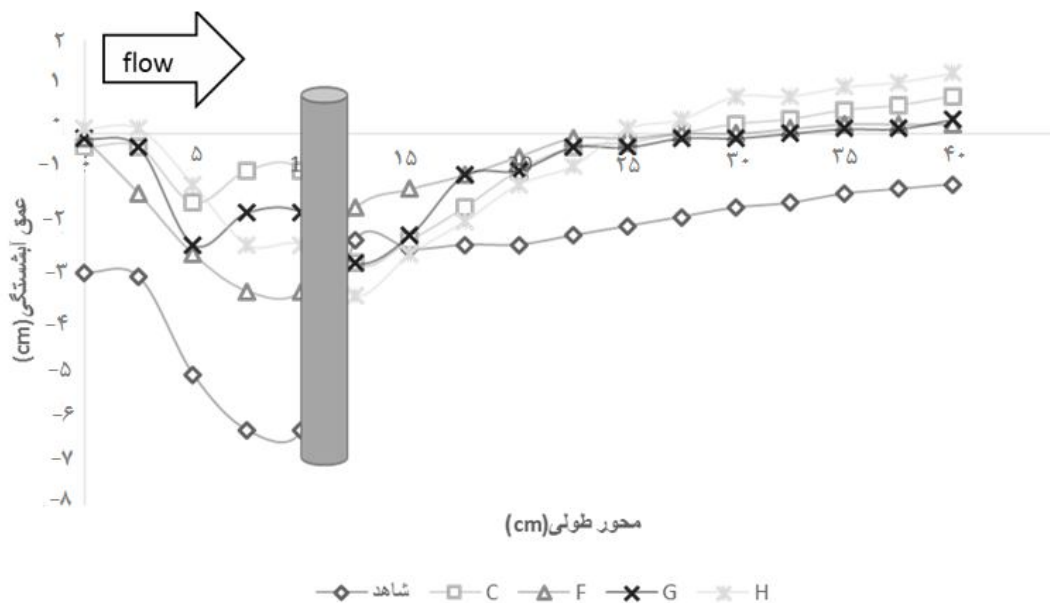
عمقی پایین‌تر از تراز بستر باعث می‌شود روند شروع آبستگي همانند پایه بدون صفحه باشد. زیرا جریان عمومی آب بدون حضور مانعی روی سطح رسوبات حرکت کرده ولی پس از رسیدن به صفحات از قدرت گرداب نعل‌اسبی کاسته می‌شود. بنابراین مکانیزم کاهش عمق حفره آبستگي در شرایط هم‌ترازی صفحات با رسوبات بستر، اختلال در روند تولید گرداب نعل‌اسبی به علت وجود صفحات است، زیرا جریان چرخشی گرداب نعل‌اسبی، در درون حفره آبستگي، با صفحات برخورد می‌کند. 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 هم‌سطح رسوبات بستر قرار گیرد تا جریان پایین‌رونده در جلوی صفحات ایجاد نشود. در شکل 8 مشاهده می‌شود که عمق حفره ایجاد شده در ارتفاع  $D/2$  به مراتب بیش‌تر از عمق آبستگي در حالت  $D/4$  و ارتفاع روی بستر صفر می‌باشد. شکل 9 نمودار بی‌بعد توسعه زمانی آبستگي در آزمایش‌های  $C$ ،  $F$ ،  $G$  و  $H$  را نشان می‌دهد. شکل 10 نیز پروفیل طولی گودال آبستگي و



شکل 8- توپوگرافی ایجاد شده در بستر رسوبی در پایان آزمایش‌های  $C$ ،  $F$  و  $G$



شکل 9- نمودار بی‌بعد توسعه زمانی آبستگي در ارتفاع‌های  $0$ ،  $D/4$ ،  $D/2$  و  $D/2$



شکل 10- پروفیل طولی بستر در محور پایه در آزمایش‌های شاهد، C، F، G و H

New Zealand. Report No.355.

Chiew, Y.M., Melville, B.W. 1987. Local Scour around Bridge Piers. Journal of Hydraulic Research. ASCE. 25.1:15-26.

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.

Grimaldi, C. 2005. Non-conventional countermeasures against local scouring at bridge piers. Ph.D. thesis, Hydraulic Engineering for Environment and Territory, University of Calabria, Cosenza, Italy.

Lauchlan, C.S. 1999. Pier scour countermeasures. PhD Thesis, University of Auckland, New Zealand.

Odgaard, A.J and Wang, Y. 1987. Scour prevention at bridge piers. Pp: 523-527. Proceeding of National Conference on Hydraulic Engineering, ASCE, Aug. 3-7, Williamsburg, Virginia, USA.

Odgaard, A.J and Wang, Y. 1991. Sediment management with submerged vanes I: Theory. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 117.3:267-283.

Odgaard, A.J and Wang, Y. 1991. Sediment management with submerged vanes I: Theory. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 117.3:267-283.

Raudkivi, A.J. 1998. Loose boundary hydraulics. A.A. Balkema. Rotterdam, Press the Netherlands.

Raudkivi, A and Ettema, R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. Journal of Hydraulic Engineering. 109. 3: 338-350.

Tafarojnoruz, A., Aff. M. ASCE, Gaudio, R and

### نتیجه‌گیری

با توجه به عملکرد بهتر صفحات با شکل تخت-محدب نسبت به صفحات تخت، اگرچه آب شستگی موضعی ایجاد شده در اطراف پایه با حضور صفحات مستغرق تخت-محدب در کلیه موقعیت‌های قرارگیری با چهار زاویه حمله متفاوت (10، 20، 30 و 45 درجه) و نیز چهار ارتفاع قرارگیری نسبت به بستر (0، D/2، D/4 و -D/2)، نشان از کاهش میزان آب شستگی در اطراف پایه دارد، اما این عملکرد مثبت در همه حالات یکسان نمی‌باشد. نتیجه آزمایش‌ها نشان داد که بهترین عملکرد در آزمایش‌های مربوط به صفحات با ارتفاع صفر در روی بستر و زاویه‌ی 20 درجه با امتداد جریان بود.

### منابع

دبرانی، ا.، قربانی، ب.، صانعی، م. و صمدی، ح. 1388. اثر زاویه قرارگیری صفحات دوگانه در کاهش آبشستگی پایه پل در موقعیت 45 درجه، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران.

شجاعی، پ.، فرسادی‌زاده، د.، حسین‌زاده دلیر، ع.، سلماسی، ف. و قربانی، م. 1391. کاربرد صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی پایه استوانه‌ای پل‌ها. نشریه دانش آب و خاک. 22: 17-25

Breusers, H.N.C., Nicollet, G and Shen, H.W. 1997. Local scour around cylindrical piers. Journal of Hydraulic Research. 15.3: 211-252.

Chiew, Y.M., 1984. Local scour at bridge piers. University of Auckland, School of Engineering,



the maximum local scour depth at a circular pier. Proceeding. XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Farina, Palermo, Italy.

Calomino,F. 2012 Evaluation of Flow-Altering Countermeasures against Bridge Pier Scour. Journal of Hydraulic Engineering. 138:297-305.

Tafarjnoruz,A., Gaudio,R., Grimaldi,C and Calomino,F. 2010b. Required conditions to achieve

Archive of SID

## The Effect of Convex-flat Submerged Vane Angles of Attack and Height on Bridge Pier Scouring

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

Received: Jun.12, 2016

Accepted: Oct.19, 2016

### Abstract

One of the methods to decrease scour around the 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. The function of vanes to reduce scour around the bridge piers and sediment movement in the region of vanes due to down flow in front of them are affected by arrays of the vanes. In the present study, physical hydraulic model testing was performed to investigate various angles of attack and Height of convex-flat vanes. Experiments were conducted in a 10m long and 0.3m 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. The highest reduction in scour depth was achieved an angle of  $20^\circ$  for a vane height equal to 0 cm.

**Keywords:** Angles of Attack, Bridge pier, Height, Scouring, Submerged vanes

Archive of SID

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

2- Assistant Professor of Civil Engineering Department, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan

3- Professor, Faculty of Water Sci. Engin., Shahid Chamran University, Ahvaz

(\*- Corresponding Author Email: asghari\_amin@bkatu.ac.ir)