

## تأثیر توأم صفحات مستغرق و طوق در کاهش عمق آبسترنگی پایه‌های استوانه‌ای شکل پل‌ها

پریا شجاعی<sup>\*</sup> ، داود فرسادی زاده و علی حسین زاده دلیر<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۰/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۲۴)

### چکیده

صفحات مستغرق سازه‌های هدایت جریان با نسبت طول به ارتفاع کمی هستند که به صورت عمودی با زاویه‌ای نسبت به جهت جریان در بستر رودخانه نصب می‌شوند. این صفحات با ایجاد چرخش ثانویه در جریان باعث اصلاح الگوی جریان نزدیک بستر و توزیع مجدد جریان و انتقال رسوب در عرض کanal می‌شوند. طوق صفحه‌ای تخت با ضخامت کم است که در تراز بستر یا نزدیک آن روی پایه به صورت عمود بر آن نصب می‌شود و با ممانعت از برخورد جریان رو به پایین در جلوی پایه به ذرات بستر، باعث کاهش آبسترنگی می‌شود. در این تحقیق به منظور کاهش آبسترنگی پایه پل، از صفحات مستغرق و کاربرد توأم صفحات مستغرق و طوق استفاده گردید. بدین منظور پایه استوانه‌ای به قطر ۶ سانتی‌متر در کanalی به طول ۸ متر و عرض ۸۰ سانتی‌متر در شرایط آب زلال با  $u_{*c} = 0.9 / u_{*}$  مدل‌سازی شد. آزمایشات با طبقی به قطر سه برابر قطر پایه همتراز بستر و صفحاتی با طول یک و نیم برابر قطر پایه و ارتفاع روی بستر صفر انجام شد. پیشترین میزان کاهش در عمق حفره آبسترنگی با کاربرد توأم طوق و چهار عدد صفحه به مقدار ۶۱ درصد حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: آبسترنگی، انتقال رسوب، پایه پل، تنفس برخی، صفحات مستغرق، طوق

۱. به ترتیب کارشناس ارشد، استادیار و دانشیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز  
\* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: paryshoja@yahoo.com

## مقدمه

رسوبات از قسمت مکشی صفحه برداشته شده و در قسمت فشاری صفحه تهشین می‌شوند. لذا با نصب ردیف صفحات در بستر رودخانه می‌توان رسوبات را روی سطح بزرگتری توزیع کرد (۱۴).

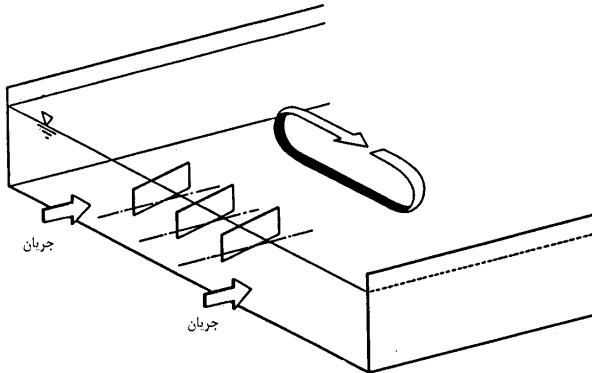
صفحات مستغرق اولین بار در اوایل سال ۱۹۳۰ در هند و پاکستان به نام صفحات کینگ (King's Vane) مورد استفاده قرار گرفتند. یکی از محققین به بررسی عملکرد صفحات مستغرق و غیر مستغرق پرداخت و به این نتیجه رسید که تنها صفحات مستغرق در عمل مفید واقع می‌شوند (۹). ادگارد و وانگ تعدادی آزمایش برای کاهش آبستتگی موضعی پایه پل با استفاده از صفحات مستغرق انجام دادند. همچنین آنها در آزمایش‌های محدودی از ترکیب صفحات مستغرق، صفحات مدفن و طوق جهت کاهش آبستتگی پایه پل تحت شرایط بستر زنده استفاده کردند. بیشترین کاهش در میزان آبستتگی در حالت کاربرد توأم صفحات مستغرق و طوق به میزان ۶۴ درصد حاصل شد (۱۳). لاچلان به بررسی اثر صفحات مستغرق در کاهش آبستتگی پایه پل در هر دو حالت جریان آب زلال و بستر زنده پرداخت و از دو سری صفحات مستغرق متفاوت استفاده کرد. صفحه مستغرق نوع I دارای نسبت H/L (نسبت طول صفحه در امتداد جریان به ارتفاع آن) کمتر از ۱ بود و صفحه مستغرق نوع II همانند صفحات مستغرق آیوا دارای نسبت H/L بزرگ‌تر از یک بودند (۹). صمیمی بهبهان و همکاران 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 آبستتگی پایه پل استوانه‌ای را کاهش دادند (۳). قربانی و کریمی به بررسی استفاده از یک صفحه مستغرق با طولی برابر قطر پایه پل دایره‌ای در جلوی پایه و همچنین به بررسی استفاده از دو صفحه مستغرق در بالادست پایه در حالت چسبیده به پایه پرداختند (۷).

طوق (Collar) نقش یک سپر محافظ را در مقابل حرکت ذرات رسوب در اثر جریان رو به پایین دارد. تاکنون

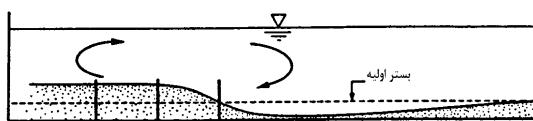
با توجه به عوارض طبیعی زمین استفاده از پل‌ها در مسیر راه‌ها اجتناب ناپذیر است. وجود پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های جانبی پل در عرض رودخانه باعث کاهش عرض عبوری جریان، برخورد جریان به پایه و انحراف خطوط جریان اطراف پایه به کف بستر و در نتیجه ایجاد آبستتگی موضعی پایه پل‌ها می‌شوند. سالیانه بسیاری از پل‌ها بر اثر پدیده آبستتگی و لغزش پایه‌ها در موقع سیلابی که شریان‌های ارتباطی به مناطق سیل‌زده هستند تخریب می‌شوند و دسترسی و امدادرسانی به مناطق سیل‌زده با مشکلات مواجه می‌شود که بیانگر اهمیت بررسی این پدیده است. افزایش مقاومت مواد بستر و کاهش قدرت فرسایش جریان اطراف پایه، دو روشهای هستند که برای کنترل و کاهش آبستتگی موضعی استفاده می‌شوند.

صفحات مستغرق (Submerged vanes) 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 کanal 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 (۱۴) (شکل ۱).

صفحات مستغرق اساساً برای حفاظت ساحل رودخانه‌ها، عمیق کردن کanal‌ها و جلوگیری از رسوب‌گذاری در دهانه آبگیرها به کار می‌روند. همچنین این صفحات در تغییر توزیع سرعت و عمق در پیچ رودخانه‌ها مؤثرند (۱). وقتی که یک صفحه مستغرق در بستر رودخانه با زاویه کوچکی نسبت به امتداد جریان نصب شود، به علت اختلاف فشار موجود در دو طرف صفحه، گرداب و گردش القایی در اطراف صفحه به وجود می‌آید. در نتیجه این گرداب، در پایین دست صفحات



شکل ۱-الف. طرح شماتیک وضعیت جریان در نتیجه چرخش ایجاد شده توسط صفحات مستغرق (۱۴).



شکل ۱-ب. طرح شماتیک تغییرات ناشی از صفحات مستغرق در پروفیل بستر (۱۴).

می‌توان دبی جریان را اندازه‌گیری کرد. آزمایش‌ها بر اساس آبشنستگی آب زلال با  $u_{*c} = 0.9 / u_{*}$  انجام شد تا حداکثر عمق آبشنستگی رخ دهد. برای مدل پایه، از یک لوله استوانه‌ای شکل فولادی به قطر ۶ سانتی‌متر استفاده شد. مدل ۱/۸ پایه بر روی یک صفحه افقی متصل گردید و در فاصله ۱/۸ متری از ابتدای محدوده ۳ متری رسوبات قرار داده شد. اندازه متوسط ذرات رسوب (۵<sub>۵۰</sub>) برابر ۰/۴۳ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی (۵<sub>۵</sub>) برابر ۱/۵ تعیین شد. چگالی نسبی ذرات رسوبی بستر برابر ۲/۶۴ بود. طبق مطالعات شفاعی بجستان (۱۳۷۸)، اگر  $1/5 < d_{50} < 5$  باشد مصالح بستر یکنواخت و برای  $2 \leq d_{50} \leq 5$  رسوبات غیر یکنواخت می‌باشند (۲). فرم بستر ریپل در رسوبات غیر چسبنده با اندازه متوسط ۰/۰۵ تا ۰/۷ میلی‌متر تشکیل می‌شود. در حالی که برای رسوبات با اندازه  $d_{50} \geq 0/7 \text{ mm}$ ، ریپل ایجاد نمی‌شود. برای رسوبات با  $d_{50} < 0/7 \text{ mm}$ ، ریپل‌ها در سرعت‌های جریان بیشتر از  $6Vc$  تشكیل می‌شوند و باعث کاهش عمق حفره آبشنستگی می‌شوند. برای رفع این مشکل، انحراف معیار هندسی ذرات بستر باید در محدوده  $1/3$  تا  $1/5$  باشد. در این محدوده از انحراف معیار، ذرات درشت‌تر سطح بستر

مطالعات زیادی در زمینه کاربرد طوق به منظور کاهش آبشنستگی پایه پل‌ها انجام شده است (۱۸، ۱۶، ۸، ۵). برخی از نتایج این مطالعات عبارت‌اند از: با افزایش قطر طوق عمق آبشنستگی کاهش بیشتری نشان می‌دهد. هر چه تراز نصب طوق نسبت به بستر پایین‌تر باشد، درصد کاهش آبشنستگی افزایش می‌یابد. کارایی طوق‌ها با افزایش زاویه پایه مستطیلی نسبت به جریان کاهش می‌یابد. نصب طوق در گروه پایه‌ها نسبت به پایه منفرد مؤثرتر است.

در زمینه کاربرد تواأم طوق و صفحات مستغرق تحقیقی در ایران انجام نگرفته است. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر تواأم صفحات مستغرق و طوق جهت حفاظت پایه پل در مقابل آبشنستگی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز که مجهر به یک کanal مستطیلی فلزی-شیشه‌ای به طول ۸ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بود، انجام شد. کanal مجهر به یک مخزن انتهایی است که با استفاده از سرریز مستطیلی نصب شده در آن،

میلی متر باشد، تعریف کردند(۱۶). بر این اساس آزمایش پایه تنها برای رسیدن به معیار تعادل ۳۶ ساعت ادامه یافت. آزمایش کاربرد صفحات مستغرق در جلوی پایه برای رسیدن به معیار مذکور ۴۶ ساعت ادامه یافت. مشاهدات نشان داد که ۹۰٪ عمق تعادل آبستگی پس از ۲۴ ساعت رخ می‌دهد. در شرایط کاربرد طوق و هم‌چنین کاربرد توأم صفحات مستغرق و طوق برای رسیدن به معیار زمان تعادل، آزمایش ۴۳ ساعت به طول انجامید.

## نتایج و بحث

### ۱- آزمایش پایه بدون حفاظت

شکل ۳ نمودار توسعه زمانی حفره آبستگی پایه بدون حفاظت (آزمایش A) تا زمان رسیدن به تعادل (۳۶ ساعت) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، سرعت آبستگی در ابتدای آزمایش بسیار زیاد است به طوری که پس از ۱ ساعت از شروع آزمایش (۳ درصد زمان تعادل)، ۶۴ درصد از کل آبستگی ایجاد شد. اما با گذشت زمان تغییرات عمق حفره آبستگی کاهش می‌یابد.

معادله برآشش شده به نمودار شکل ۳ به صورت زیر است.

$$ds = a \left[ 1 - \frac{1}{(1+abt)} \right] + c \left[ 1 - \frac{1}{(1+cdt)} \right] \quad [1]$$

در این رابطه زمان بر حسب ساعت می‌باشد. ضرایب ثابت رابطه بالا عبارت از  $a=0/016$ ،  $b=1/15$ ،  $c=5/79$ ،  $d=0/037$  است. این رابطه به فرم معادلات عمق آبستگی نسبت به زمان است (۱۵). انحراف معیار و ضریب همبستگی (R) این معادله به ترتیب برابر  $0/06$  و  $0/999$  است.

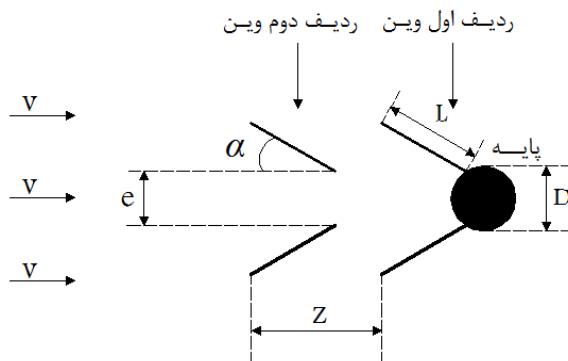
### ۲- آزمایش‌های پایه با صفحات

فهرست آزمایش‌ها و عملکرد آنها در جدول ۱ قابل مشاهده است. پارامترهای متغیر جدول ۱ همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود عبارت از:  $n$  تعداد صفحات،  $\alpha$  زاویه

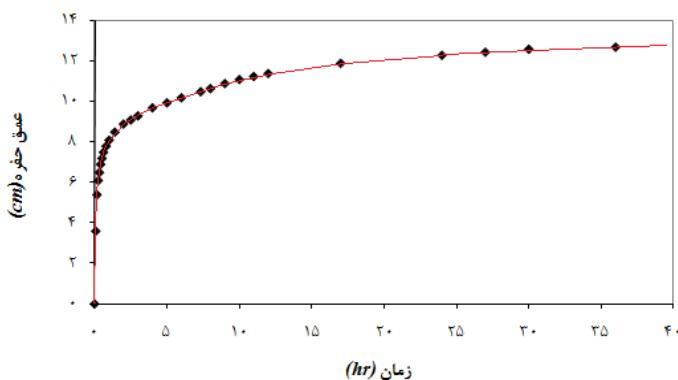
را پوشانده و لایه مسلح ایجاد می‌شود، ولی این ذرات به قدر کافی بزرگ نیستند تا حفره آبستگی را بپوشانند زیرا شدت آشفتگی جریان در این ناحیه زیاد است. بنابراین در این حالت آبستگی آب زلال همانند شرایط مربوط به ذراتی که ایجاد ریپل نمی‌کنند، رخ می‌دهد (۴).

مدل صفحات مستغرق، از ورقه‌های گالوانیزه به ضخامت ۱ میلی‌متر به شکل مربع مستطیل ساخته شد. این صفحات با طولی (L) برابر ۹ سانتی‌متر ( $1/5$ ) برابر قطر پایه با ارتفاع روی بستر صفر تحت آزمایش قرار گرفتند. زاویه صفحات با جهت جریان ( $\alpha$ ) برابر  $20^\circ$  درجه که بر اساس مطالعات برخی از محققین در محدوده کارایی مؤثر صفحات مستغرق می‌باشد، در نظر گرفته شد (۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۷). تعداد (n) ۲ و ۴ عدد صفحه مورد آزمایش قرار گرفت. پارامترهای متغیر و نحوه قرارگیری صفحات نسبت به پایه در شکل ۲ آمده است. در این شکل  $\alpha$  زاویه قرارگیری صفحات نسبت به جهت جریان،  $z$  فاصله صفحات در راستای جریان،  $e$  فاصله صفحات عمود بر جهت جریان و D قطر پایه می‌باشد. برای مدل طوق، از ورقه گالوانیزه به ضخامت ۲ میلی‌متر به شکل دایره‌ای به قطر ۱۸ سانتی‌متر (۳ برابر قطر پایه) استفاده شد. ارتفاع نصب طوق در تراز بستر در نظر گرفته شد.

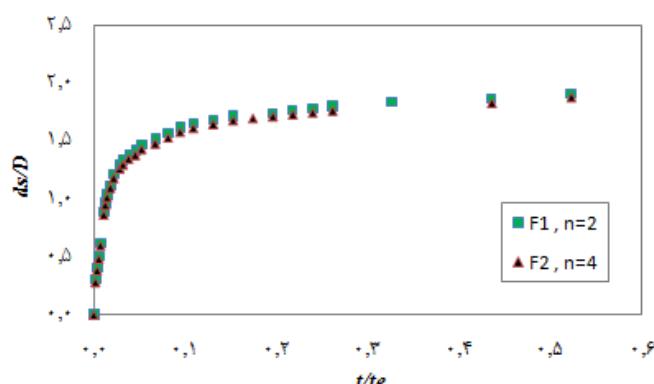
در همه آزمایش‌ها، عمق جریان  $14/7$  سانتی‌متر و دبی  $0/03$  متر مکعب بر ثانیه، عدد رینولدز برابر  $10^5 \times 10^6$  و عدد فرود برابر  $0/21$  بود. عدد رینولدز برشی برابر  $6/79$  و بستر در شرایط بینابینی قرار داشت. عمق و سرعت آب در کanal با استفاده از سطح سنج با دقت  $0/1$  میلی‌متر و میکروپروپیلر با دقت  $1/0$  سانتی‌متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. عمق حفره آبستگی از روی نوار میلی‌متری چسبانده شده روی پایه خوانده شد. معیار زمان تعادل ( $t_e$ ) در این تحقیق، معیار ویتل و همکاران می‌باشد (۱۶). این محققین زمان تعادل آبستگی را به صورت مدت زمانی که تغییرات در عمق آبستگی در یک بازه زمانی ۶ ساعته کمتر از ۱



شکل ۲. نحوه قرارگیری صفحات و پارامترهای مربوطه.



شکل ۳. نمودار توسعه زمانی آبشتستگی پایه بدون حفاظت.

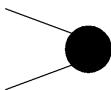
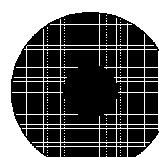
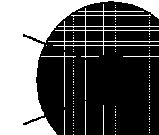
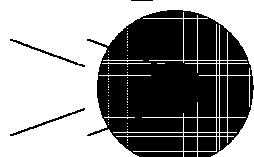


شکل ۴. نمودار بی بعد توسعه زمانی آبشتستگی با تغییر تعداد صفحات.

قرارگیری صفحات نسبت به جهت جریان،  $z$  فاصله صفحات در راستای جریان و  $e$  فاصله صفحات عمود بر جهت جریان است. در آزمایش های کاربرد صفحات در جلوی پایه (آزمایش F1 و

$F_2$ )، سطح بالای صفحات هم سطح رسوبات بستر قرار دارد به طوری که صفحات در زیر رسوبات و هم سطح بستر مدافون شدن. در این شرایط، روند شروع آبشتستگی همانند پایه بدون

جدول ۱. فهرست آزمایشات و عملکرد آنها در کاهش عمق آبستگی

کاهش آبستگی	$e$	$z$	$\alpha$	$n$	نحوه قرارگیری	مدل
٪/۸	۴/۵	-	۲۰°	۲		$F_1$
٪/۲	۴/۵	۹	۲۰°	۴		$F_2$
٪/۳۵	-	-	-	۰		$G_0$
٪/۵۹	۴/۵	-	۲۰°	۲		$G_1$
٪/۶۱	۵	۹	۲۰°	۴		$G_2$

- فواصل برحسب سانتی متر می باشند. پارامترهای متغیر جدول ۱ در شکل ۲ دیده می شود.

صفحات از ۲ به ۴ عدد، عملکرد آنها در کاهش عمق آبستگی جلوی پایه افزایش یافت زیرا صفحات مدفون ردیف دوم نیز باعث اختلال در روند ایجاد گرداپ نعل اسیب شده و در نتیجه مانع از بلند شدن ذرات رسوب از درون حفره آبستگی می شوند. شکل ۴ نمودار بی بعد توسعه زمانی آزمایش  $F_1$  و  $F_2$  را نشان می دهد. این نمودارها برای مدت زمان ۲۴ ساعت که ۹۰٪ عمق تعادل آبستگی رخ می دهد ارائه شده اند.

معادلات برآش شده به نمودارهای شکل ۴ در زیر آورده شده است. در این روابط زمان بر حسب ساعت می باشد.

آزمایش  $F_1$  :

$$ds/D = a \left[ 1 - \frac{1}{(1+abt)} \right] + c \left[ 1 - \frac{1}{(1+cdt)} \right] \quad [2]$$

ضرایب ثابت این رابطه عبارت از:  $a = 0.047$  ،  $b = 1/07$  ،  $c = 0.46$  ،  $d = 0.047$  هستند.

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 خود ثابت مانده و حفره آبستگی جلو پایه همانند آبستگی پایه بدون صفحه توسعه می یابد. با این تفاوت که وجود صفحات در جلوی پایه نوعی حفاظت برای رسوبات در مقابل گرداپ نعل اسیب ایجاد کرده ولی این حفاظت به علت افزایش فشار دینامیک در جلوی پایه با وجود صفحات چسبیده به پایه، به میزان چشمگیری نمی باشد. بنابراین مکانیزم کاهش عمق حفره آبستگی در شرایط همترازی صفحات با رسوبات بستر، اختلال در روند تولید گرداپ نعل اسیب به علت وجود صفحات است زیرا جریان چرخشی گرداپ نعل اسیب درون حفره آبستگی، با صفحات برخورد می کند. با افزایش تعداد

می شد. این حفره ها (شیارها) با گذشت زمان به سمت بالادست حرکت کرده و پس از ۲۵ دقیقه به لبه طوق در جلوی پایه رسیدند. گسترش شیارها همچنان ادامه یافت تا این که شیارها پس از ۶۵ دقیقه با خارج کردن ذرات رسوب زیر طوق در جلوی پایه به هم رسیدند و اولین نشانه های آبستنگی در روی پایه دیده شد. پس از ایجاد حفره آبستنگی در جلوی پایه، دو شیار نسبتاً عمیق در دو طرف پایه زیر طوق شکل گرفته و رسوبات به راحتی از زیر طوق خارج شده و به سمت پایین دست حرکت کرده و عمق آبستنگی با سرعت زیادی افزایش یافت. به طوری که پس از گذشت ۴ ساعت و ۴ دقیقه (۹ درصد زمان تعادل) ۷۷ درصد عمق تعادل آبستنگی رخ داد. پس از این زمان، توسعه حفره آبستنگی با سرعت بسیار کمی ادامه یافت (شکل ۵). معادله برآنش شده به نمودار شکل ۵ به صورت زیر است.

آزمایش  $G_0$  :

$$ds/D = a(b - e^{-ct}) \quad [4]$$

در این رابطه زمان بر حسب دقیقه می باشد. ضرایب ثابت این رابطه عبارت از :  $a=0.004$  ،  $b=0.088$  ،  $c=0.005$  است. انحراف معیار و ضریب همبستگی (R) این معادله به ترتیب برابر  $0.12$  و  $0.979$  می باشد.

#### ۴- آزمایش های پایه با طوق و صفحات

رونده شروع آبستنگی در آزمایش های کاربرد توأم صفحات و طوق همانند آزمایش پایه با طوق است. اولین حرکت ذرات رسوب در لبه طوق در پشت پایه تحت تأثیر گرداب برخاستگی مشاهده شد که منجر به تشکیل دو حفره متقارن در دو سمت پایین دست طوق گشت. این دو حفره (شیار) با گذشت زمان به سمت بالادست در زیر طوق پیشروی کرده و به حجم پشتنه ایجاد شده در انتهای حفره ها در پایین دست می افزایند. دو شیار پس از ۲۰ دقیقه از شروع آزمایش، با خارج شدن ذرات رسوب زیر طوق به صفحات رسیدند. برخورد شیارها به صفحه، موجب عدم پیشروی آنها به بالادست و جلوی پایه شده و

آزمایش ۲ :  $F_2$

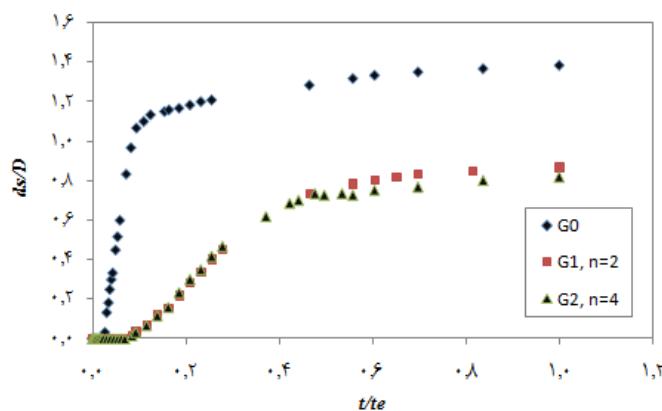
$$ds/D = a \left[ 1 - \frac{1}{(1+abt)} \right] + c \left[ 1 - \frac{1}{(1+cdt)} \right] \quad [3]$$

ضرایب ثابت این رابطه عبارت از :  $c=1/73$  ،  $d=1/09$  ،  $b=0/029$  ،  $a=0/059$  است. انحراف معیار و ضریب همبستگی (R) هر دو این معادلات به ترتیب برابر  $0.03$  و  $0.999$  می باشد.

مقایسه نتایج لاچلان (۹) با نتایج به دست آمده در این تحقیق، روند یکسانی را به ازای افزایش تعداد صفحات نشان داد. مقایسه نتایج در سایر زمینه ها به علت متفاوت بودن پارامترهای متغیر در این تحقیق با مطالعات لاچلان امکان پذیر نیست. هم چنین امکان مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج صمیمی بهبهان و همکاران (۳) و نتایج قربانی و کریمی (۷) به ترتیب به علت متفاوت بودن آرایش صفحات و متفاوت بودن پارامترهای متغیر وجود ندارد. کاهش عمق حفره آبستنگی در آزمایش قربانی و کریمی (۷) در حالت دو صفحه چسبیده به پایه با ارتفاع روی بستر صفر به میزان  $87/7$  درصد در مدت زمان ۷ ساعت است. این عمق آبستنگی قبل از رسیدن به شرایط تعادل که حداقل عمق آبستنگی رخ می دهد اندازه گیری شده است که قابل مقایسه با نتایج تحقیق حاضر با زمان تعادل ۴۶ ساعت نمی باشد.

#### ۳- آزمایش پایه با طوق

برای مقایسه عملکرد توأم صفحات و طوق، ابتدا آزمایشی با طوق تنها همتراز بستر انجام گرفت (آزمایش  $G_0$ ). در این حالت روند آبستنگی از همان ابتدا با آزمایش پایه بدون حفاظت متفاوت بود. اولین نشانه های آبستنگی تحت تأثیر گرداب برخاستگی در پشت پایه به صورت ایجاد دو حفره متقارن نسبت به محور طولی کanal در لبه های طوق، آغاز شد. در حالی که رسوبات در جلوی پایه، بدون هیچ گونه حرکتی در جای خود ثابت بودند. با گذشت زمان دو حفره ایجاد شده در دو طرف لبه طوق در پشت پایه بزرگ تر شده و به دنبال آن حجم پشتنه های شکل گرفته در انتهای حفره ها هم افزوده



شکل ۵. نمودار بی بعد توسعه زمانی آبشنستگی پایه با کاربرد توأم طوق و وین.

شکل ۵ نمودار بی بعد توسعه زمانی آبشنستگی با کاربرد توأم صفحات و طوق را برای مدت ۴۳ ساعت که زمان تعادل آزمایش‌های طوق و صفحه می‌باشد نشان می‌دهد.

در حالت کاربرد طوق و چهار عدد صفحه مدفون در آزمایش  $G_2$ ، پس از گذشت ۱۹ ساعت، حفره آبشنستگی جلوی طوق با پیشروی به سمت بالادست تحت تأثیر صفحات ردیف دوم قرار گرفته و روند توسعه کمتری نسبت به آزمایش طوق و ۲ عدد صفحه نشان می‌دهد که این روند تا رسیدن به تعادل ادامه می‌یابد (شکل ۵). در حقیقت نحوه قرارگیری دو صفحه ردیف دوم نوعی حفاظت در مقابل آبشنستگی را برای رسوبات ایجاد کرده و مانع از حرکت رسوبات در این ناحیه می‌شود (شکل ۸). در این تحقیق آزمایش  $G_2$  با ۶۱٪ کاهش عمق آبشنستگی، بالاترین عملکرد در کاهش میزان آبشنستگی با کاربرد توأم صفحات و طوق را داشت (جدول ۱).

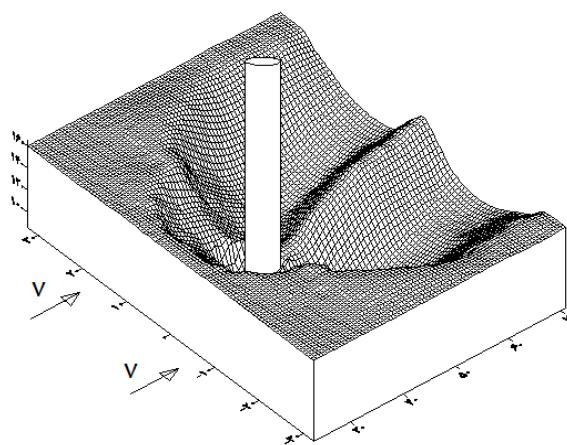
معادلات برآش شده به نمودار آزمایش‌های  $G_1$  و  $G_2$  در زیر آورده شده است. در این معادلات زمان بر حسب ساعت است.

آزمایش  $G_1$  :

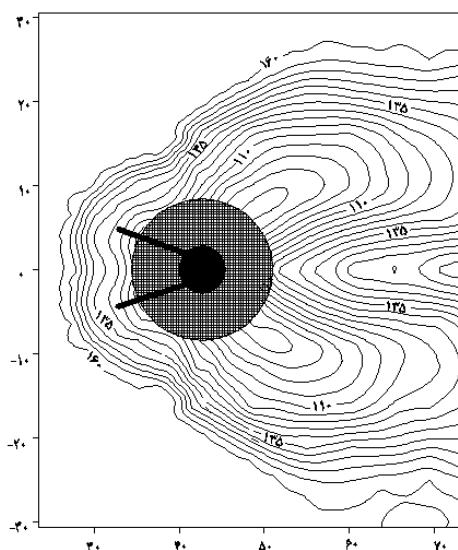
$$ds/D = a \ln(t+1) + b(\ln(t+1))^2 \quad [5]$$

ضرایب ثابت این رابطه عبارت از :  $a = -0/111$  ،  $b = 0/102$  است. انحراف معیار و ضریب همبستگی ( $R$ ) این معادله به ترتیب برابر ۰/۰۵ و ۰/۹۸۶ می‌باشد.

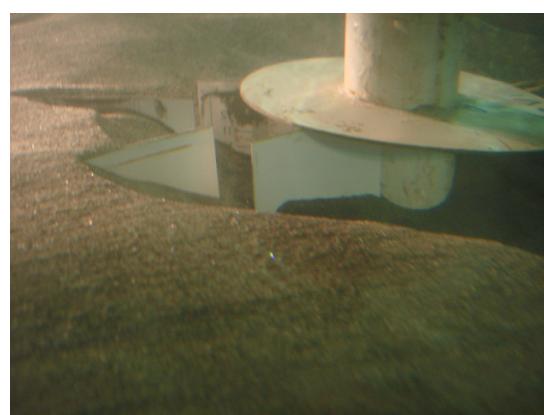
ایجاد حفره آبشنستگی را به تأخیر انداخت. پس از گذشت ۳۰ دقیقه شیارها توانستند تا ابتدای صفحه در بالادست پیشروی کرده و با خارج کردن ذرات رسوب ابتدای صفحه و کناره طوق، پس از ۴۵ دقیقه به لبه طوق در جلوی پایه رسیدند. ایجاد حفره با سرعت بسیار کمی در زیر طوق ادامه یافت تا این‌که پس از گذشت ۳ ساعت و ۴۰ دقیقه حفره آبشنستگی در روی پایه ایجاد شد. عامل اصلی تأخیر زمانی تشکیل حفره در جلوی پایه وجود صفحات چسبیده به پایه در مسیر حرکت حفره از پشت پایه به سمت بالادست است. صفحات مانع از رسیدن شیار آبشنستگی به جلوی پایه می‌شوند. در حالت استفاده از طوق تنها، آبشنستگی در نتیجه گرداب برخاستگی از پایین دست پایه شروع شده و به بالادست پیشروی می‌کند ولی در شرایط استفاده از طوق و صفحه، گرداب برخاستگی سهم کمتری در تشکیل حفره آبشنستگی جلوی پایه دارد زیرا صفحات مانع از رسیدن حفره حاصله از گرداب برخاستگی به جلوی پایه می‌شوند. بنابراین در کاربرد توأم طوق و صفحات، ذرات رسوب جلوی پایه توسط طوق از گرداب نعل اسپی و توسط صفحه مدفون از گرداب برخاستگی محافظت می‌شوند. شکل ۶ توپوگرافی حفره آبشنستگی آزمایش کاربرد طوق و دو عدد صفحه (آزمایش  $G_1$ ) و شکل ۷ خطوط میزان دو بعدی آن را نشان می‌دهد. ارقام محور  $x$  و  $y$  بر حسب سانتی‌متر و محور  $z$  بر حسب میلی‌متر است. سطح بستر در تراز ۹/۱۶۴ قرار دارد.



شکل ۶. توپوگرافی حفره آبستنگی آزمایش  $G_1$



شکل ۷. خطوط میزان دو بعدی حفره آبستنگی آزمایش  $G_1$



شکل ۸. حفره آبستنگی پس از ۲۴ ساعت در آزمایش  $G_2$

آزمایش  $G_2$ 

$$ds/D = a \ln(t+1) + b(\ln(t+1))^2 \quad [6]$$

ضرایب ثابت این رابطه عبارت از :  $a = -0.087$  ،  $b = 0.094$  است. انحراف معیار و ضریب همبستگی ( $R$ ) این معادله به ترتیب برابر  $0.07$  و  $0.978$  می باشد.

مقایسه نتایج آزمایش‌های حاضر با نتایج ادگارد و وانگ (۱۳) در آزمایش مشترک کاربرد دو صفحه مدفعون و طوق، مقدار کاهش آبستگی آزمایش ادگارد و وانگ را  $5$  درصد بیشتر از مطالعه حاضر نشان داد که علت آن می‌تواند متفاوت بودن شرایط آزمایش از لحظه  $u^*$  /  $u$  (سرعت برشی جریان نسبت به سرعت برشی آستانه حرکت ذرات بستر) باشد. در آزمایش‌های ادگارد و وانگ نیز همانند تحقیق حاضر بهبود عملکرد کاربرد توازن صفحات و طوق نسبت به کاربرد صفحات تنها مشاهده گردید.

### نتیجه‌گیری

- در آزمایش‌های پایه با صفحات مستغرق در مقایسه با پایه

### منابع مورد استفاده

1. بارانی، غ. و م. ج. خانجانی. ۱۳۸۰. محاسبه ابعاد و آرایش بهینه صفحات مستغرق در دهانه‌های آبگیر با روش جهات امکان‌پذیر. نشریه استقلال دانشگاه صنعتی اصفهان ۲۰(۲):۲۰۷-۲۱۶.
2. شفاعی بجستان، م. ۱۳۷۸. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
3. صمیمی بهبهان، ت.، غ. ع. بارانی، م. رحیم خانی و م. ج. خانجانی. ۱۳۸۵. بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مستغرق بر آبستگی پایه پل‌ها. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۴ الی ۱۲ اردیبهشت، دانشگاه شهید چمران اهواز.
4. Breusers, N.H.C and A. J. Raudkivi. 1991. Scouring. Hydraulic Structures Design Manual. Balkema Pub., Rotterdam, Nethrlands.
5. Dargahi, B. 1987. Flow field and local scouring around a cylinder pier. Bulletin No.137, Hydraulic Labtoraory, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
6. Ettema, R. 1980. Scour at bridge piers. Report No.216, University of Auckland, School of Engineering, New Zealand.
7. Ghorbani, B. and A. Karimi. 2007. A comparison of single and double submerged vanes effect on the scour occurring at a cylindrical pier. Pp. 260-276. Proc.of 6th Conf. of hydraul., Sep. 4-6, Shahrekord, Iran.
8. Kumar, V., K. Ranga Raju and N. Vittal. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. J. Hydraul. Eng. ASCE 125(12):1302-1305.
9. Lauchlan, C.S. 1999. Pier scour countermeasures. PhD Thesis, University of Auckland, New Zealand.
10. Marelius, F. and S.K. Sinha .1998. Experimental investigation of flow past submerged vanes. J. Hydraul. Eng.

- ASCE 124(5): 542-545.
- 11. Masjedi, A; M. Shafaei Bejestan and A. Esfandi. 2010. Reduction of local scour at a bridge pier fitted with a collar in a 180 degree flume bend (case study: oblong pier). *J. Hydraul. Eng. ASCE* 22(5):669-673.
  - 12. Odgaard, A. J. and A. Spoljaric. 1986. Sediment control by submerged vanes. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 112(3): 1164-1181.
  - 13. Odgaard, A. J. and Y. Wang .1987. Scour prevention at bridge piers. Pp. 523-527. Proc. of National Conference on Hydraulic Engineering, ASCE, Aug. 3-7, Williamsburg, Virginia, USA.
  - 14. Odgaard, A. J. and Y. Wang .1991. Sediment management with submerged vanes. I: theory, *J. Hydraul. Eng. ASCE* 117(3): 267-283.
  - 15. Sheppard, D. M., M. Odeh and T. Glasser. 2004. Large scale clear water local scour experiments. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 130(10): 957-963.
  - 16. Vittal, N., V.C.Kothyari and M. Haghigat. 1994. Clear-water scour around bridge pier group. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 120(11):1309-1318.
  - 17. Wang, Y., A. J. Odgaard and B.W.Melville. 1996. Sediment control at water intakes, *J. Hydraul. Eng. ASCE* 122(6): 353-359.
  - 18. Zarrati, A. R., H. Gholami and M. Azizi. 2004. Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. *J. Hydraul. Res.* 42(1) :97- 103.