

کنترل آبشستگی با استفاده از صفحه مستغرق در زیر لوله‌های مستغرق با فاصله‌های مختلف از بستر تحت جریان یک‌سویه

پریا هدایت بهرامی^{1*}، علی حسین زاده دلیر²، داود فرسادی زاده²

تاریخ دریافت: 94/03/27 تاریخ پذیرش: 94/12/15

¹- دانشجوی کارشناس ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

²- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: P.hedayatbahrami@gmail.com

چکیده

آبشستگی در زیر لوله‌های انتقال آب و سایر سیال‌ها که در بستر دریاها و رودخانه‌ها قرار می‌گیرند رخ داده و به دنبال آن حفره آبشستگی به وجود می‌آید. وقوع حفره آبشستگی در زیر لوله‌ها منجر به ناپایداری، خمش و حتی شکستگی لوله می‌شود، شکسته شدن لوله سبب می‌شود که سیال درون آن وارد آب دریا و رودخانه شود و علاوه بر آلودگی آب دریا باعث خسارات جبران‌ناپذیری بر روی زندگی انسان‌ها و آبزیان می‌شود. در این مقاله نتایج تحقیق آزمایشگاهی بر روی تأثیر قرارگیری صفحه مستغرق در کاهش بیشینه عمق آبشستگی در زیر لوله‌های مستغرق ارائه شده است. آزمایش‌ها در دو حالت (1) آبشستگی زیر لوله بدون صفحه مستغرق (2) آبشستگی زیر لوله همراه صفحه مستغرق انجام شده است. نتایج نشان داد که وقتی صفحه مستغرق در پایین دست لوله قرار می‌گیرد آبشستگی در جلوی لوله به طور میانگین کاهشی حدود 70 درصد داشت. همچنین با ایجاد فاصله عمودی بین لوله و بستر برای دو حالت بدون استفاده از صفحه مستغرق و با استفاده از صفحه مستغرق مشاهده شد که با افزایش فاصله لوله از بستر آبشستگی زیر لوله‌ها کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، جریان یک‌سویه، حفره آبشستگی، صفحه مستغرق، لوله مستغرق

Scour Control under Submerged Pipelines with Different Gaps under Unidirectional Flow Using Submerged Plate

P Hedayat Bahrami^{1*}, A Hoseinzadeh Dalir², D Farsadizadeh²

Received: 17 June 2015

Accepted: 05 March 2016

¹- M.Sc. Student, Water Eng. Depart, College of Agriculture, Tabriz University, Iran

²- Prof., Water Eng. Depart, College of Agriculture, Tabriz University, Iran

*Corresponding Author, Email: P.hedayatbahrami@gmail.com

Abstract

Scour under the pipelines laying on the sea and river beds occurs and as a result the scour hole develops. Occurrence of scour hole under the pipelines leads to instability, bending and even failure of the pipeline. This causes fluid inside the pipeline spread into the sea and river and in addition to water pollution endangers the human and marine life. In this paper, the results of laboratory research on the effects of placing submerged plate to reduce the maximum scour depth under submerged pipelines are presented. Experiments were conducted in two modes: 1) scour under pipelines without submerged plate, 2) scour under pipelines with submerged plate. The results showed that when a submerged plate was placed in the downstream of the pipeline, scour in the front of the pipelines was reduced about 70 percent. By using the submerged plate and creating gap between the pipeline and bed better results can be achieved to reduce scour under the pipeline.

Keywords: Scour, Scour hole, Submerged pipe, Submerged plate, Unidirectional flow

مقدمه

آبشستگی ایجادشده توسط جریان یکسویه که حداکثر عمق آبشستگی آن نیز در پایین دست محور لوله قرار دارد بسیار نامتقارن است. با این حال، در طبیعت بسته به جهت گیری خط لوله، جریان معکوس جذر و مدی با برگشت رسوبات شسته شده، می توان حفره آبشستگی عریض (بزرگتر از قطر لوله) و نسبتاً متقارن را مشاهده کرد (هالسبرگن 1982). وقتی که خط لوله به داخل حفره فرو می رود فرسایش در زیر لوله تشدید شده و عمق حفره باز هم بیشتر می شود و این روند تا جایی ادامه پیدا می کند که بالاترین قسمت لوله هم تراز بستر می شود از این لحظه به بعد تحت شرایط جریان جزر و مدی امکان دارد که خط لوله به طور خودبه خود دفن گردد (حسین زاده دلیر 1996).

بنابراین طراحی خطوط لوله اهمیت ویژه ای پیدا می کند و همچنین طراحی مطمئن و اقتصادی لوله ها که در مسیر جریان قرار می گیرند مستلزم تخمین مناسبی

با پیشرفت علم، جوامع بشری برای عبور آب و سایر سیال ها از بستر دریاها و رودخانه ها از لوله های انتقال استفاده می کنند. لوله های انتقال چون در معرض جریان یکسویه و جذر و مدی قرار می گیرند، الگوی جریان را در اطراف خود تغییر می دهند. عوامل محیطی زیادی در تغییر الگوی جریان اطراف خطوط لوله دخیل هستند که باعث افزایش آشفستگی در اطراف لوله شده و حفره آبشستگی در زیر لوله را ایجاد می کنند. یکی از مهم ترین عوامل آسیب و خرابی لوله ها وقوع آبشستگی موضعی است. آبشستگی موضعی باعث جدایی خط لوله از بستر شده در نتیجه فضای خالی نسبتاً بزرگی بین بستر و خط لوله به وجود می آید. در این حالت دهانه آزاد خط لوله به مرور گسترش یافته که ممکن است بارهای نوسانی ناشی از گردابه ها باعث خستگی و در نهایت گسیختگی آن گردند (چیوو 1991). حفره ای

روی بستر هست. مونکادا و آگوئیر (1999) موفق به ارائه دو رابطه ساده ولی با دقت نسبتاً کم جهت تعیین عمق آبشستگی نهایی در زیر لوله واقع در یک کانال آزمایشگاهی شدند. همچنین آن‌ها متوجه شدند که تأثیر عدد رینولدز روی آبشستگی بسیار ناچیز هست. دو رابطه به دست آمده عبارت‌اند از:

$$\frac{S}{D} = 0.9 \tanh(1.45Fr) + 0.55 \quad [3]$$

$$\frac{S}{D} = 2Fr^* \sec h \left(1.7 \frac{e}{D} \right) \quad [4]$$

که در آن‌ها S عمق آبشستگی D قطر لوله و کمیت e نشان‌دهنده فاصله اولیه بین لوله و بستر هست. قدسیان (2000) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مونکادا و آگوئیر (1999) معادله 5 را جهت تعیین عمق نهایی آبشستگی در زیر لوله با درصد خطای میانگین 10/95 به دست آورد:

$$\frac{S}{D} = 1.563 Fr^{0.599} \quad [5]$$

ابراهیم و نالوری (1986) بر اساس آزمایش‌های گسترده‌ای که روی آبشستگی موضعی در اطراف خطوط لوله در دانشگاه نیوکاسل انجام شده بودند دو فرمول 6 و 7 را ارائه نمودند:

$$\frac{S}{D} = 4.706 \left(\frac{V}{V_c} \right)^{0.89} \left(\frac{V}{\sqrt{g y_0}} \right)^{1.43} + 0.06 \quad [6]$$

$$\frac{S}{D} = 0.084 \left(\frac{V}{V_c} \right)^{0.3} \left(\frac{V}{\sqrt{g y_0}} \right)^{0.16} + 0.06 \quad [7]$$

که در آن‌ها S عمق آبشستگی، D قطر لوله، V سرعت متوسط جریان نزدیک شونده، V_c سرعت بحرانی جریان جهت حرکت رسوب، g شتاب ثقل و y_0 عمق جریان هست. رابطه‌های 6 و 7 به ترتیب برای محاسبه آبشستگی در شرایط آب زلال و بستر زنده بکار می‌روند (چیو 1991). نقص مهم رابطه‌های 6 و 7

از حداکثر عمق آبشستگی زیر لوله است. اگر طول دهانه آزاد ایجاد شده به اندازه کافی بزرگ باشد ممکن است لوله تحت بارهای نوسانی شدید ناشی از گردابه فکنی قرار گیرد و باعث خستگی و در نهایت گسیختگی و خرابی سازه‌ای در آن گردد. بنابراین بررسی نحوه شکل‌گیری و گسترش حفره آبشستگی و عمق آن و عوامل مؤثر در آبشستگی و نیز نحوه جلوگیری از وقوع و گسترش آبشستگی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برای طراحان برخوردار است. کیجلدسن و همکاران (1973) تحقیقی را درباره آبشستگی ایجاد شده در اطراف خطوط لوله ناشی از جریان یک‌سویه¹ انجام و رابطه تجربی 1 برای محاسبه عمق آبشستگی در زیر خطوط لوله ارائه دادند:

$$S = 0.972 \left(\frac{V^2}{2g} \right)^{0.2} D^{0.8} \quad [1]$$

که در آن S عمق آبشستگی، D قطر لوله و V سرعت جریان می‌باشند.

رابطه 1 برای شرایطی است که خط لوله به صورت افقی و بدون فاصله روی بستر قرار گرفته باشد و می‌توان مشاهده کرد که عمق آبشستگی فقط به سرعت جریان و قطر لوله بستگی دارد و اثر عمق جریان و اندازه دانه مواد رسوبی منظور نشده است بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که شرط بستر زنده در این آزمایش‌ها حاکم بوده است پس عمق آبشستگی محاسبه شده با رابطه 1 کوچکتر از حالتی خواهد بود که شرایط آب زلال بر آن حاکم است.

نتیجه‌ای که از رابطه 1 به دست می‌آید این است که عمق بی‌بعد آبشستگی (S/D) متناسب است با $q^{0.2}$:

$$\frac{S}{D} = 0.972 q^{0.2} \quad \text{For } q \geq q_{cr} \quad [2]$$

که q پارامتر پایداری (شیلدنز) و q_{cr} مقدار بحرانی پارامتر پایداری برای شروع حرکت رسوب بر

طوری تنظیم می‌شود که شرایط استغراق برقرار شود. مقدار عمق جریان به وسیله عمق سنج با دقت 0/1 میلی‌متر که در بالای فلوم نصب می‌شود قرائت گردید. همچنین از کف کاذب به ارتفاع 13 سانتی‌متر در ابتدا و انتهای فلوم استفاده شد. برای ایجاد جریان یکنواخت در قسمت ابتدایی کف کاذب با استفاده از ذرات ماسه پوشانده شد تا جریان یکنواخت در ابتدای بستر شنی ایجاد شود. برای حذف تأثیر غیریکنواختی رسوبات بر آبشستگی موضعی، انحراف معیار هندسی ذرات برای رسوبات با دانه‌بندی یکنواخت حدود 1/4 در نظر گرفته شد (چیو 1991). در شکل 1 نمایی از فلوم آزمایشگاهی دیده می‌شود.



شکل 1- تصویر فلوم آزمایشگاهی مورداستفاده.

آزمایش‌ها در دو سری انجام شدند: در سری اول آزمایش‌ها با زاویه برخورد 90 درجه بدون صفحه مستغرق که در 6 سری (بر اساس فاصله لوله از بستر) $\frac{\partial \zeta}{\partial x} = -\frac{D}{4}, -\frac{D}{2}, 0, \frac{D}{4}, \frac{D}{2}, D$ انجام شد. در سری دوم، آزمایش‌ها با زاویه برخورد 90 درجه با صفحه‌های مستغرق در 2 سری بر اساس فاصله صفحه مستغرق از لوله در $L=0$ و $L=2D$ و هر کدام در 6 سری (بر اساس فاصله لوله از بستر) $\frac{\partial \zeta}{\partial x} = -\frac{D}{4}, -\frac{D}{2}, 0, \frac{D}{4}, \frac{D}{2}, D$ انجام شد.

در انجام آزمایش‌ها از یک لوله با قطر ثابت 30 میلی‌متر استفاده شد و همچنین قطر ذرات رسوب و شدت جریان در این آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد در حالت همراه با صفحه مستغرق از یک صفحه

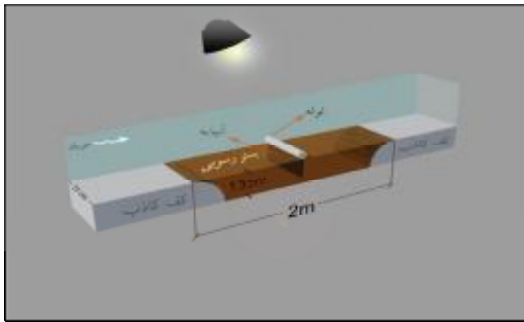
این است که برای سرعت جریان صفر، عمق آبشستگی صفر نیست. از اهداف اصلی کنترل‌کننده‌های آبشستگی کاهش عمق حفره آبشستگی هست. روش‌های بسیار زیادی جهت کاهش آبشستگی موضعی نظیر استفاده از سنگ‌چین، تشک‌های محافظ سیمانی، پوشش‌های گیاهی مصنوعی، طوق و... انجام شده است (لاچلان و ملویل 2001). چیوو و لیم (2003) یک آب‌پایه را در مقابل جریان در بالادست پایه پل قرار دادند تا تأثیر آن را بر روی محافظت از پایه در مقابل جریان ورودی بررسی کنند.

گریمالدی و همکاران (2009) نیز تقریباً همین کار را انجام دادند اما هدف آن‌ها استفاده متفاوتی از آب‌پایه بستر بوده که مهم‌ترین آن کاهش عمق حفره آبشستگی در اطراف پایه پل بود. روش کار آن‌ها به این صورت بود که آب‌پایه را در پایین‌دست پل در کل عرض کانال قرار دادند و از آن برای کاهش شیب، سرعت و فرسایش پروفیل بستر استفاده کردند و تأثیر آب‌پایه را بر اساس طول‌های مختلف L (فاصله بین پایه پل و آب‌پایه) بررسی کردند.

هدف از این تحقیق فهم بهتر اثر جریان بر آبشستگی بستر زیر لوله و بررسی روش‌های کاهش این آبشستگی برای جلوگیری از پیامدهای منفی آبشستگی از قبیل شکستن و ترک خوردن لوله هست.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در فلوم مستطیلی فلزی - شیشه‌ای آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز به طول 10 متر، عرض 25 سانتی‌متر و ارتفاع 40 سانتی‌متر انجام شد. جریان ورودی فلوم به وسیله پمپاژ از مخزن زیرزمینی آزمایشگاه تأمین می‌شود. اندازه‌گیری دبی جریان توسط یک سرریز لبه تیز مثلثی قرار گرفته در انتهای فلوم که واسنجی گردیده و دارای رابطه دبی - اشل مشخصی است، انجام می‌شود. عمق پایاب توسط یک دریچه قابل تنظیم در پایین‌دست



شکل 2- طرح شماتیک از نحوه قرارگیری لوله و صفحه مستغرق روی بستر رسوبی.

مستغرق به ضخامت 5 میلی‌متر، به‌طول 25 سانتی‌متر (عرض فلوم) و ارتفاع 13 سانتی‌متر (عمق بستر ماسه‌ای) که در فاصله صفر و 2D از مرکز لوله (D قطر لوله) قرار گرفت، استفاده شد. در شکل 2 طرحی شماتیک از نحوه قرارگیری لوله و صفحه مستغرق روی بستر رسوبی رسم گردیده است. در جدول 1 شرایط جریان و پارامترهای مؤثر در آزمایش‌ها نشان داده شده است.

جدول 1- شرایط جریان و پارامترهای مؤثر در آزمایش‌ها.

| $d_{50}(\text{mm})$ | $Q (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$ | $y(\text{m})$ | $V_C (\text{m s}^{-1})$ | V/V_C | Fr | D(mm) | submerged plate | Gap |
|-----------------------|--------------------------------|---------------|-------------------------|---------|------|-------|-----------------|------|
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 0 | صفر |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 0 | D/4 |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 0 | D/2 |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 0 | D |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 0 | -D/4 |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 0 | -D/2 |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 2D | صفر |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 2D | D/4 |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 2D | D/2 |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 2D | D |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 2D | -D/4 |
| $1/14 \times 10^{-4}$ | 0/01408 | 0/16 | 0/392 | 0/89 | 0/28 | 30 | 2D | -D/2 |

آبشستگی آب زلال برقرار گردد. سرعت بحرانی ورودی U_c توسط رابطه لگاریتمی 8 به‌دست می‌آید (دی و سینگ 2008).

$$\frac{U_c}{u_{*c}} = 5.75 \log(5.53h/d) \quad [8]$$

که در این معادله u_{*c} سرعت برشی بحرانی ذرات هست که از دیگرام شیلدز به‌دست می‌آید، d اندازه

برای آبیگری اولیه فلوم، جریان به‌آرامی برقرار می‌شد تا مانع از به هم خوردن بستر و تشکیل رپیل در سطح بستر نشود. پروفیل آبشستگی در محور مرکزی فلوم در فواصل منظم بر روی یک صفحه شفاف که در قسمت خروجی دیواره شیشه‌ای نصب شده ترسیم شد. در این آزمایش‌ها سرعت متوسط جریان ورودی (U) تقریباً 0/9 سرعت بحرانی (U_c) تنظیم شد تا شرایط

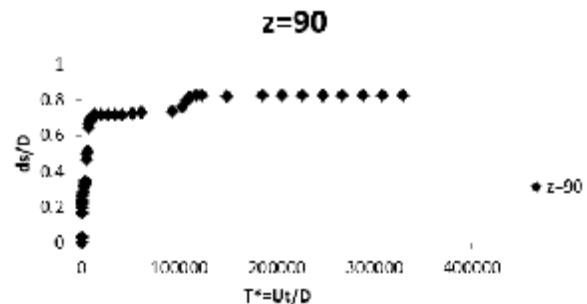
پس از هر آزمایش برای اندازه‌گیری میزان آبشستگی از عمق‌سنج با دقت ± 0.1 میلی‌متر که در عرض و طول فلوم به راحتی حرکت می‌کرد استفاده شد.

نتایج و بحث

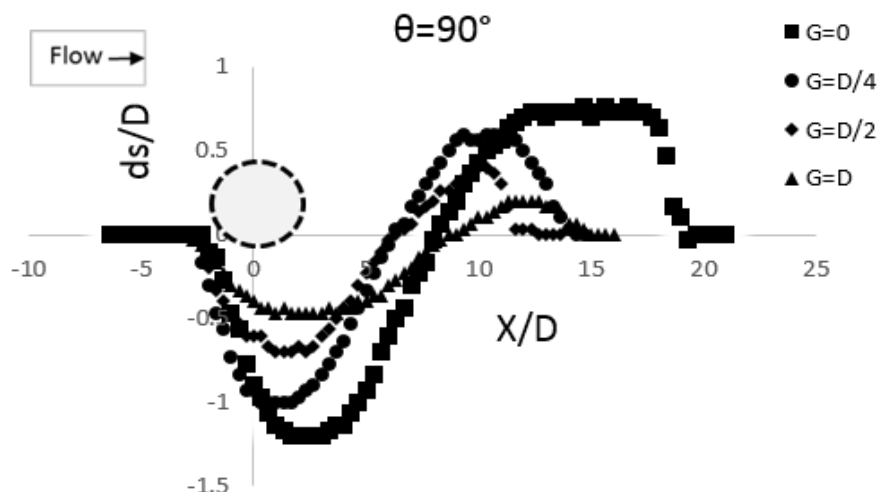
حالت لوله بدون صفحه مستغرق

در شکل 4 بیشینه عمق آبشستگی نسبت به قطر لوله در حالت‌های مختلف فاصله از بستر ارائه شده است. شکل 4 نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از بستر عمق گودال آبشستگی نیز کاهش می‌یابد. در شکل 5 تصاویری از آبشستگی زیر لوله‌های به قطر 30 میلی‌متر در فاصله‌های مختلف از بستر در ابتدا (شکل سمت چپ) و انتهای (شکل سمت راست) آزمایش مشاهده می‌شود. همچنین با توجه به روند آزمایش‌ها و شکل‌های 4 و 5 مشاهده شد که اصولاً هر چقدر فاصله بین لوله و بستر افزایش پیدا کند آبشستگی زیر لوله کمتر خواهد شد، علت این امر این است هر چقدر فاصله کمتر باشد شدت جریان عبوری بیشتر هست و تنش برشی نیز افزایش خواهد یافت با افزایش فاصله بین لوله و بستر تنش برشی نیز کاهش می‌یابد کاهش تنش برشی با کاهش عمق آبشستگی همراه است.

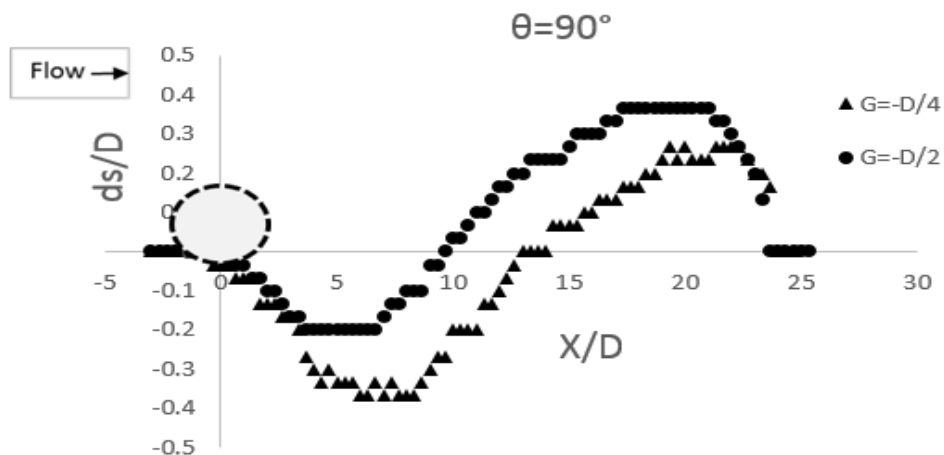
متوسط ذرات رسوب و h عمق آب است. برای تعیین زمان لازم آزمایش از روش تجربی استفاده شد. بدین منظور یک آزمایش طولانی (حدود 8 ساعت) با لوله به قطر ثابت و با زاویه برخورد 90 درجه بدون صفحه مستغرق انجام شد و منحنی تغییرات نسبی ماکزیم عمق آبشستگی نسبت به زمان نسبی (T^*) رسم گردید (شکل 3). معیار زمان تعادل در این تحقیق، مدت‌زمانی است که تغییرات عمق آبشستگی در 3 ساعت متوالی بیش از یک میلی‌متر نباشد (کومار و همکاران، 1999). همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد بعد از حدود 2 ساعت $T^* = 50000$ ، افزایش قابل‌توجهی در عمق آبشستگی مشاهده نمی‌شود و آبشستگی به تعادل می‌رسد. با توجه به شکل 3 چون 90% آبشستگی در 2 ساعت اول انجام می‌شود پس زمان لازم برای انجام هر آزمایش حدوداً 2 ساعت در نظر گرفته شد.



شکل 3- نمودار توسعه زمانی حفره برای لوله با زاویه برخورد 90 درجه بدون صفحه مستغرق.



شکل 4- پروفیل آبشستگی محور مرکزی فلوم در حالت بدون صفحه مستغرق.



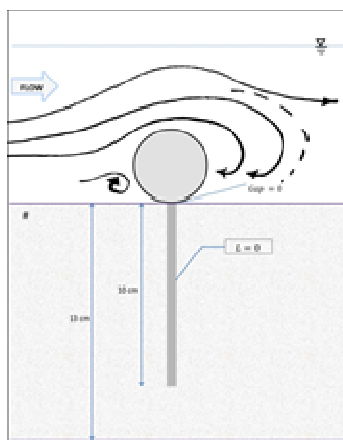
شکل 5- پروفیل آبشستگی محور مرکزی فلوم با فاصله معکوس از بستر.

آبشستگی در همه حالت‌ها در یک‌زمان اتفاق افتاد. همچنین مشاهده شد که شیب گودال آبشستگی در پایین‌دست گودال بسیار ملایم‌تر از شیب گودال در بالادست آن است. علت این امر را می‌توان به مکانیسم فرسایش گردابی ربط داد. گردابه‌های ایجادشده در پایین‌دست لوله بستر را جاروب می‌کنند و سبب فرسایش بستر در پایین‌دست لوله نسبت به بالادست آن می‌شود و در نتیجه شیب گودال آبشستگی در پایین‌دست لوله ملایم‌تر و در بالادست تیزتر خواهد بود.

اما در مورد لوله‌ها با فاصله معکوس از بستر $(-\frac{D}{2}$ و $-\frac{D}{4})$ می‌توان گفت که با افزایش فاصله معکوس از بستر بیشینه عمق آبشستگی کاهش می‌یابد به این دلیل با فاصله معکوس از بستر طول بیشتری از لوله زیر خاک هست و نزدیک‌تر به دفن کامل لوله هست یعنی اینکه مانع کمتری در مسیر جریان آب قرار می‌گیرد و شدت گردابه‌های برخاستگی کمتر می‌شود و همچنین بیشینه تپه آبشستگی افزایش می‌یابد در حالت کلی ماکزیم عمق آبشستگی در حالت لوله مماس بر بستر ($G=0$) مشاهده شد (شکل 6).

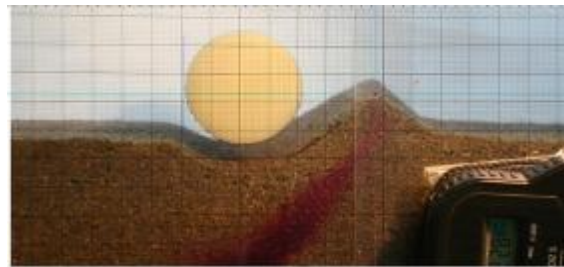
همچنین با افزایش فاصله لوله از بستر بیشینه عمق آبشستگی کاهش می‌یابد وقتی بیشینه عمق آبشستگی کاهش یابد طبیعتاً حجم حفره کاهش پیدا کرده و خط الرأس تپه تشکیل‌شده در پایین‌دست لوله نیز کاهش می‌یابد. چون با ایجاد فاصله بین لوله و بستر گردابیان فشار بین بالادست و پایین‌دست لوله کاهش می‌یابد. به این ترتیب جت آب به راحتی از فاصله ایجادشده بین لوله و بستر عبور کرده و در این حالت فرسایش تونلی کمتر می‌شود. بعد از شروع آزمایش تا حدود 20 دقیقه تغییرات چندانی در پایین‌دست لوله مشاهده نشد. بعد از این مدت گردابه فکنی‌ها در پایین‌دست لوله موجب عمیق شدن حفره آبشستگی می‌شوند. قابل ذکر است هر چه فاصله لوله از بستر بیشتر باشد مدت زمانی که بعد از شروع آزمایش طول می‌کشد برای این‌که تغییراتی در پایین‌دست لوله مشاهده شود، بیشتر می‌شود. با نزدیک شدن به زمان تعادل (2 ساعت) بیشینه عمق حفره آبشستگی حاصل شد و تپه‌ای در پایین‌دست ایجاد شد. با گذشت زمان نسبتاً طولانی از ارتفاع قلّه این تپه کاسته شد و مقطع آن هموارتر گشت. از مشاهدات دیگر در این آزمایش می‌توان به این مورد اشاره کرد که اگرچه سرعت توسعه آبشستگی با فاصله لوله از بستر رابطه معکوس دارد یعنی هر چه فاصله بیشتر شود، سرعت توسعه آبشستگی کمتر می‌شود، اما عمق تعادلی

پایین دست لوله و پدیده رگاب به وقوع می پیوست توسط صفحه مستغرق حذف گردید. صفحه مستغرق مانعی برای انتشار گرداب‌های برخاستگی هست و فرسایش منطقه برخاستگی را کنترل می نماید. از آنجاکه مکانیسم آبشستگی زیر لوله ناشی از عملکرد گرداب‌های ایجاد شده در بالادست لوله²، شکل‌گیری جریان‌های گردابی برخاستگی در پایین دست لوله³ و همچنین افزایش سرعت در زیر لوله⁴ هست، با به کار بردن صفحه مستغرق مشاهده شد که فرسایش ناشی از افزایش سرعت در زیر لوله به خوبی کنترل شده است. طرح شماتیک نحوه عملکرد گرداب‌ها در این حالت ($L=0$) و در ابتدای آزمایش در شکل 8 نشان داده شده است. با مقایسه شکل‌های 10 و 11 با حالت بدون صفحه مستغرق عمق گودال آبشستگی به طور میانگین کاهشی برابر 69/01 درصد داشته است.



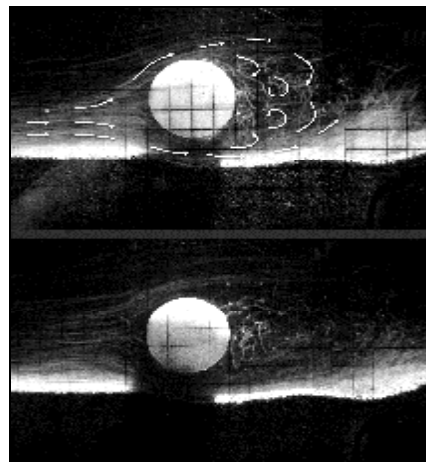
شکل 8- طرح شماتیک عملکرد گرداب‌ها در ابتدای آزمایش- های حالت $L=0$.

در پایان آزمایش طولانی مدت در حالت همراه با صفحه مستغرق چون وجود صفحه مستغرق در حالت $L=0$ باعث کاهش فرسایش تونلی می شد (به علت حذف شکاف بین لوله و بستر) بنابراین تنها گردابه فکنی‌ها که از روی لوله ایجاد می شدند موجب جابه‌جایی ذرات



شکل 6- تصاویر پروفیل آبشستگی به ازای $G=0$.

به منظور دید بهتر نسبت به خطوط جریان و گردابه فکنی‌های ایجاد شده در اطراف لوله در برخی آزمایش‌ها، ذرات پلی استرن در بالادست لوله و نزدیک به بستر، به صورت یکجا تزریق و بلافاصله از جریان عکس برداری شد. در شکل 7 جت عبوری از زیر لوله، جدایی جریان درست در بالادست لوله و گردابه فکنی‌ها در پایین دست آن به خوبی قابل مشاهده هست.



شکل 7- بررسی جریان و گردابه‌ها با تزریق پلی استرن

$$Gap = D/4$$

حالت لوله همراه با صفحه مستغرق

صفحه مستغرق در پایین دست لوله و در فاصله $L=0$ قرار داده شد در این حالت لوله کاملاً بر روی صفحه مستغرق قرار گرفت و اجازه عبور جریان از زیر لوله داده نشد و جریان به راحتی از روی لوله عبور می کرد. بنابراین در این حالت ($L=0$)، مرحله شروع آبشستگی که بر اثر اختلاف فشار در بالادست و

² Luff erosion

³ Lee erosion

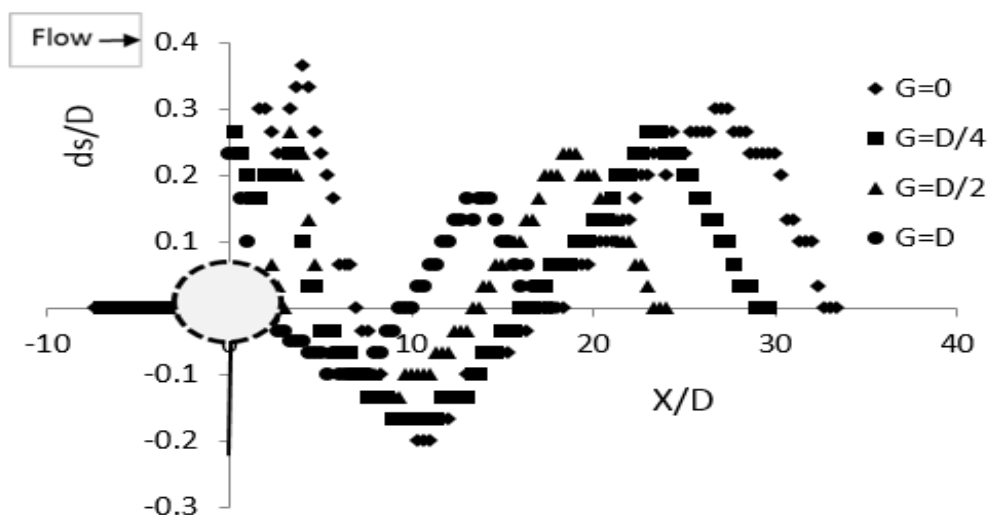
⁴ Tunnel erosion

و گردابه فکنی‌های قسمت پشت لوله، موجب دفن نیمه لوله شد (شکل 9). که این روش را می‌توان به‌عنوان روشی جهت ایجاد محافظ جانبی برای لوله‌های تحت اثر جریان تک‌سویه پیشنهاد کرد.

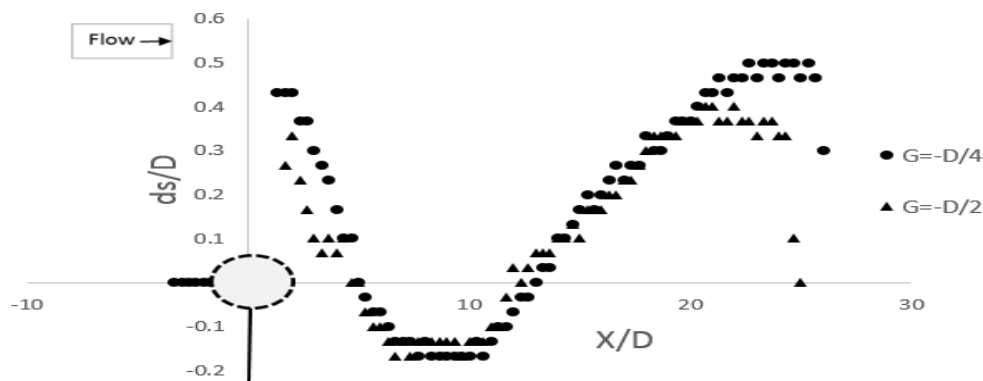
بستر می‌شدند. با حذف فرسایش تونلی انتظار می‌رفت که ماکزیمم عمق آبشستگی در زیر لوله و میزان حفره آبشستگی کاهش یابد. بعد از تمام شدن آزمایش گردابه‌های منتشرشده در قسمت جلو لوله، حفره و تپه آبشستگی با عمق و ارتفاع کوچکی را ایجاد کرده بودند



شکل 9- تصویر پروفیل آبشستگی در پایان آزمایش طولانی‌مدت در حالت همراه با صفحه مستغرق نما از جلو ($L=0$, $G=0$).



شکل 10- پروفیل آبشستگی محور مرکزی فلوم با صفحه مستغرق ($L=0$).

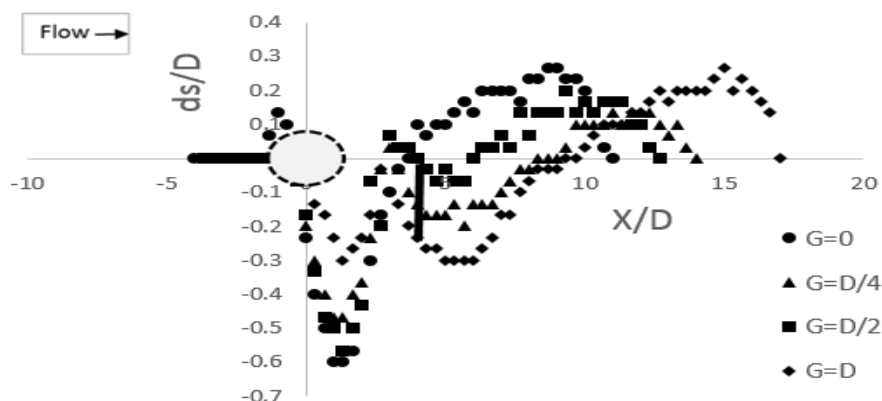


شکل 11- پروفیل آبشستگی محور مرکزی فلوم با صفحه مستغرق ($L=0$) با فاصله معکوس از بستر.

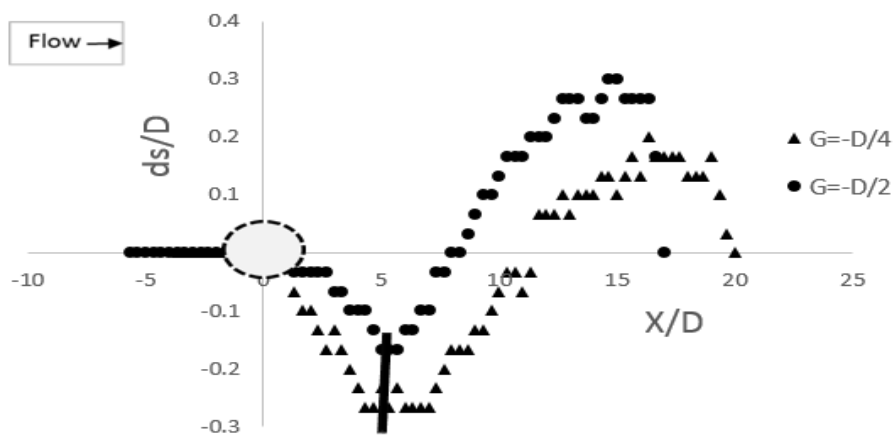
نداشته، بنابراین در این حالت گردابه‌ها ضعیف عمل کرده و حفره آبشستگی کوچکی را ایجاد می‌کنند. همچنین با توجه به این‌که در این حالت صفحه مستغرق با اندازه $2D$ به سمت پایین دست لوله حرکت کرده بود، برخی گردابه‌ها با برخورد به صفحه مستغرق مسیرشان منحرف شده و همین امر مانع فرسایش پایین دست لوله توسط این گردابه‌ها شد. چون با برخورد گردابه‌های برخاستگی به صفحه مستغرق جریان‌ها به سمت لوله بازگشتند و ذرات را به سمت لوله جابه‌جا نمودند، که این عمل موجب کاهش عمق حفره آبشستگی و کاهش بیشینه عمق آبشستگی گردید. این نتیجه را می‌توان در نمودارهای شکل 12 و 13 مشاهده کرد.

حالت لوله همراه با صفحه مستغرق با فاصله $L=2D$ از مرکز لوله

در این حالت می‌توان شاهد کاهش قابل توجه حفره آبشستگی در پایین دست لوله به طور میانگین به اندازه $36/95$ درصد در مقایسه با حالت بدون صفحه مستغرق بود. در حالت $L=2D$ فرآیند آبشستگی با ایجاد شکاف بین لوله و بستر شروع گردید. اما در این حالت پرتاپ ماسه از زیر لوله مشاهده نشد و فرآیند توسعه شکاف در زیر لوله به آرامی و بدون این‌که ذرات ماسه و آب از زیر لوله به سمت پایین پاشیده شوند، انجام شد. چون صفحه مستغرق در این حالت نزدیک به محور مرکزی لوله است، جریان‌های عبوری از زیر لوله بلافاصله به صفحه مستغرق برخورد می‌کنند. در این صورت گردابه‌ها توانایی رد کردن ذرات رسوبی را از زیر لوله



شکل 12- پروفیل آبشستگی محور مرکزی فلوم با صفحه مستغرق ($L=2D$).



شکل 13- پروفیل آبشستگی محور مرکزی فلوم با صفحه مستغرق ($L=2D$) با فاصله معکوس از بستر.

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش فاصله لوله از بستر ماکزیمم عمق آبشستگی ناشی از گردابه‌های برخاستگی کاهش می‌یابد علت این امر این است که با افزایش فاصله لوله از بستر گردابه‌های شکل‌گرفته از بالا و پایین لوله عبور می‌کنند و گردابه‌های شکل‌گرفته کوچک‌تر گشته و با قدرت کمتری به بستر برخورد می‌کنند، اما در حالت مماس بر بستر گردابه‌ها بیشتر از بالای لوله عبور کرده که قابلیت انتقال رسوبات بیشتری را خواهند داشت فلذا عمق گودال آبشستگی ناشی از گردابه‌های برخاستگی در این حالت عمیق‌تر خواهد بود.

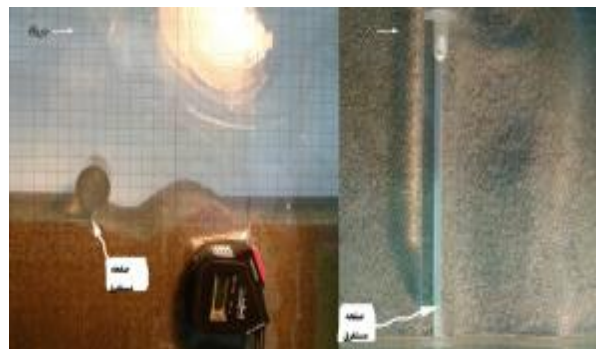
با استفاده از صفحه مستغرق بیشینه عمق گودال آبشستگی کاهش پیدا کرده و به سمت بالادست حرکت می‌کند.

برآمدگی ایجاد شده در پایین دست لوله با بکار بردن صفحه مستغرق به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد که دلیل آن کاهش آبشستگی زیر لوله هست.

با ایجاد فاصله بین لوله و بستر می‌توان میزان آبشستگی و عمق حفره آبشستگی را کاهش داد که این روش با اضافه شدن صفحه مستغرق نتیجه بهتری خواهد داد.

صفحه مستغرق مانعی برای انتشار گرداب‌های برخاستگی است و فرسایش منطقه برخاستگی را کنترل

با توجه به نمودارها می‌توان گفت عمق آبشستگی به هنگام استفاده از صفحه مستغرق کاهش یافته و مقدار بیشینه آن به سمت بالادست حرکت کرده است درحالی‌که در حالت بدون صفحه مستغرق و $L=0$ عمق حداکثر در سمت پایین دست لوله (کمی از مرکز لوله به سمت پایین دست) قرار داشت. در شکل سمت چپ مشاهده می‌شود که اگر اثر ناشی از دیواره‌های فلوم نادیده گرفته شود می‌توان کاهش محسوس در آبشستگی در زیر لوله و کوچک شدن برآمدگی ناشی از آبشستگی را در پایین دست لوله مشاهده کرد، اما با در نظر گرفتن اینکه بیشینه عمق در اثر صفحه مستغرق به بالادست کشیده شده، این مسئله می‌تواند مشکل‌ساز باشد (شکل 14).



شکل 14- تصاویر پروفیل آبشستگی در حالت همراه با صفحات مستغرق.

افزایش فاصله از بستر ارتفاع تپه ماسه‌ای به اندازه حدوداً 2 سانتی‌متر کاهش می‌یابد. در حالت فاصله معکوس هم گردابه‌های برخاستگی عامل اصلی به وجود آمدن گودال آبشستگی است.

می‌نماید. با برخورد این گرداب‌ها به صفحه مستغرق جریان به سمت لوله باز می‌گردد و ذرات را به سمت لوله جابه‌جا می‌نماید و این عامل موجب کاهش گودال آبشستگی و کاهش بیشینه عمق آبشستگی می‌شود. هرچقدر فاصله معکوس از بستر افزایش یابد عمق آبشستگی به مقدار 1 سانتی‌متر کاهش می‌یابد. اما با

منابع مورد استفاده

- Chiew Y M, 1991. Prediction of maximum scour depth at submarine pipelines. *J. Hydr. Eng, ASCE* 117(4): 452–466.
- Chiew Y and Lim S, 2003. Protection of bridge piers using a sacrificial sill. *Water & Maritime Engineering Journal, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Thomas Telford Journals, London* 156(1): 53-62, Paper 12722, March.
- Day S and Singh N P, 2008. Clear-Water Scour below Underwater Pipelines under Steady Flow. *J. Hydr. Eng, ASCE* 134(5): 588-600.
- Godsian M, 2000. Discussion of scour below pipeline in river crossing. By A. T. Moncada M, and Aguirre-pe. *J. Hydr. Eng, ASCE* 135(1): 13-21.
- Grimaldi C, Gaudio R, Calomino, F and Cardoso AH, 2009. Control of Scour at Bridge Piers by a Downstream Bed Sill. *J. Hydr. Eng, ASCE* 135(1): 13-21.
- Hosseinzadeh Dalir A, 1996. An Experimental and Theoretical Study of the Mechanics of Self-Burial of Seabed Oil and Gas Pipelines. A Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of London. Dept., of Civil and Environmental Engineering, University College London, England.
- Hulasbergen C H, 1982. Spoilers for simulated self-burial of submarine pipeline. Paper OTC 5339. Offshore Technology Conference, Huston. 441-443.
- Ibrahim A and Nalluri C. 1986. Scour prediction around marine pipelines. Proc., 5th Int. Symp. On offshore Mechanics and Arctic Engineering, 679–684.
- Kjeldsen S P, Gjorsvik O, Bringaker K G and Jacobsen J, 1973. Local scour near offshore pipelines. Proc., 2nd Int Conf on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Univ. of Iceland 308–331.
- Kumar V R, Ranga-Raju K G and Vital N, 1999. Reduction of Local scour around bridge piers using slots and collars. *J. Hydr. Eng, ASCE* 125(12): 1302-1305.
- Lauchlan G S and Melville B W, 2001. Riprap protection at bridge piers. *J. Hydr. Eng, ASCE* 127(5): 412-418.
- Moncada M A T and Aguirre-Pe J, 1999. Scour below pipeline in river crossing. *J. Hydr. Eng, ASCE* 125(9): 953–958.