



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
 10-8 آذر ماه (تهران)



کنترل آبشستگی در زیر لوله های مستغرق تحت جریان یک سویه با استفاده از آبیایه

شیرا کبیری ، دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه تبریز ، kabiri_sh@yahoo.com ،
 علی حسین زاده دلیر ، دانشیار ، دانشگاه تبریز ، ahdalir@tabrizu.ac.ir

کلید واژه: آبشستگی، آبیایه، لوله مستغرق، جریان یک سویه، حفره آبشستگی.

چکیده

لوله های انتقال آب و سایر سیال ها که در بستر دریاها و رودخانه ها قرار می گیرند الگوی جریان را در اطراف خود تغییر می دهند. این تغییرات باعث افزایش آشفستگی در اطراف لوله شده و حفره ی آبشستگی در زیر لوله را ایجاد می کنند. آبشستگی در زیر لوله می تواند منجر به شکستن لوله و در نهایت موجب خسارات اقتصادی و زیست محیطی شدیدی شود. در این مقاله نتایج تحقیق آزمایشگاهی بر روی تأثیر قرارگیری آبیایه¹ در کاهش حداکثر عمق آبشستگی در زیر لوله های مستغرق ارائه شده است. آزمایش ها در دو حالت (1) آبشستگی زیر لوله بدون آبیایه (2) آبشستگی زیر لوله همراه آبیایه انجام شده است. در حالت همراه آبیایه، لوله در دو موقعیت روی بستر و در فاصله ی D/4 از بستر (D قطر لوله)، قرار داده شد. در انجام آزمایش ها از سه لوله با قطر های 20، 30 و 40 میلی متر استفاده و در حالت همراه با آبیایه از یک آبیایه به ضخامت 5mm، به طول 25cm (عرض فلوم) و ارتفاع 13cm (عمق بستر ماسه ای) که در فاصله ی D/2 از مرکز لوله قرار گرفت، استفاده شد. وقتی آبیایه در پایین دست لوله قرار می گیرد آبشستگی در جلوی لوله تا حدودی ناچیز می شود. با ایجاد فاصله بین لوله و بستر و استفاده از آبیایه، در مورد کاهش آبشستگی زیر لوله نتایج بهتری را می توان به دست آورد.

1- مقدمه

خطوط لوله انتقال آب، نفت، گاز و ... اگر در مسیر خود از رودخانه ها و بستر دریا ها عبور کنند، در طراحی آن ها باید دقت فراوانی بکار برده شود. چون گسیختگی آن ها پیامدهای اقتصادی و بعضاً زیست محیطی زیادی به دنبال خواهد داشت. بررسی های دقیق انجام شده روی خطوط لوله در حال بهره برداری نشان می دهند که آبشستگی موضعی ایجاد شده در مجاورت لوله می تواند باعث تخریب آن شود. 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 [1]. 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 خود به خود دفن گردد [2]. کیجلدسن و همکاران در سال 1973 تحقیقی در زمینه آبشستگی ایجاد شده در اطراف خطوط لوله ناشی از جریان یک سویه² انجام دادند و رابطه تجربی (1) را برای محاسبه عمق آبشستگی در زیر خطوط لوله ارائه کردند [3]:

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

که در آن S عمق آبستگي، D قطر لوله و V سرعت جريان می باشند. رابطه (1) برای حالتی ارائه شده که خط لوله بر روی بستر افقی قرار گرفته است. در رابطه فوق اثر عمق جريان و اندازه دانه مواد رسوبي منظور نشده است. بنابراین می توان نتیجه گیری نمود که شرط بستر زنده در این آزمایش ها حاکم بوده است. در حالت بدون بعد رابطه (1) به صورت زیر در می آید:

$$\frac{S}{D} = 0.972\theta^{0.2} \quad \text{for } \theta > \theta_{cr} \quad (2)$$

که θ پارامتر پایداری (شیلدز) و θ_{cr} مقدار بحرانی پارامتر پایداری برای شروع حرکت رسوب بر روی بستر می باشد. بر اساس آزمایش های گسترده ای که روی آبستگي موضعی در اطراف خطوط لوله در دانشگاه نیوکاسل انجام گردیده دو فرمول (3) و (4) ارائه شده است [4]:

$$\frac{S}{D} = 4.706 \left(\frac{V}{V_c}\right)^{0.89} \left(\frac{V}{\sqrt{gY_0}}\right)^{1.43} + 0.06 \quad (3)$$

$$\frac{S}{D} = 0.084 \left(\frac{V}{V_c}\right)^{-0.3} \left(\frac{V}{\sqrt{gY_0}}\right)^{-0.16} + 0.06 \quad (4)$$

که در آنها S عمق آبستگي، D قطر لوله، V سرعت متوسط دست نخورده ی جريان، V_c سرعت بحرانی جريان جهت حرکت رسوب، g شتاب ثقل و Y_0 عمق جريان می باشد. روابط (3) و (4) به ترتیب برای محاسبه آبستگي در شرایط آب زلال و بستر زنده به کار می روند. اشکال عمده رابطه ی (3) و (4) این است که برای سرعت جريان صفر، عمق آبستگي صفر نیست. دی و همکاران در سال 2008 با کمک نتایج آزمایشگاهی به تشریح تأثیر پارامترهای مختلف بر روی عمق آبستگي پرداختند، بطوریکه مشخص شد با افزایش عمق جريان ورودی (h) عمق آبستگي (ds) افزایش می یابد و برای $h/b > 5$ ، ds/b مستقل از h/b می شود و در عمق آبستگي تأثیر ندارد (b قطر یا عرض لوله می باشد) [5]. مونکادا و آگوئیر در سال 1999 در تحقیقی موفق به ارائه ی دو رابطه ی ساده ولی با دقت نسبتاً کم جهت تعیین عمق آبستگي نهایی در زیر لوله واقع در یک فلوم آزمایشگاهی شدند و به این نتیجه رسیدند که تأثیر عدد رینولدز روی آبستگي بسیار ناچیز و اندک می باشد. دو رابطه ی بدست آمده عبارتند از [6]:

$$\frac{S}{D} = 0.9 \tan h(1.4Fr) + 0.55 \quad (5)$$

$$\frac{S}{D} = 2Fr^* \operatorname{sech}\left(1.7 \frac{e}{D}\right) \quad (6)$$

که در آنها S عمق آبستگي D قطر لوله و کمیت e نشان دهنده ی فاصله اولیه بین لوله و بستر می باشد. از اهداف اصلی کنترل کننده های آبستگي کاهش عمق حفره آبستگي می باشد. روش های بسیار زیادی جهت کاهش آبستگي موضعی نظیر استفاده از سنگ چین، تشک های محافظ سیمانی، پوشش های گیاهی مصنوعی، طوق و... انجام شده است [7]. مطالعاتی نیز در زمینه استفاده از آبپایه ها به منظور پایداری بستر رودخانه های شیب دار انجام داده اند [8] و برخی از آبپایه جهت کنترل آبستگي در پایه پل ها استفاده کردند [9]. آن ها آبپایه را در پایین دست پایه و در فواصل مختلف از پایه کار گذاشته و آزمایش ها را مورد مطالعه قرار دادند. در تحقیق حاضر با استفاده از این روش، از آبپایه به منظور کاهش عمق آبستگي در زیر خطوط لوله استفاده گردیده است.

2- مواد و روش ها

آزمایش ها در فلوم مستطیلی فلزی- شیشه ای به طول 10 متر، عرض 25 سانتی متر و ارتفاع 50 سانتی متر انجام شد. جريان آب به وسیله یک الکتروموتور به قدرت 100 اسب بخار و حداکثر پمپاژ 60 لیتر بر ثانیه از مخزن اصلی وارد فلوم می شود و عمق پایاب توسط یک دریچه قابل تنظیم در پایین دست طوری تنظیم می شود که شرایط استغراق برقرار شود. مقدار عمق جريان به وسیله عمق سنج با دقت 0/1 میلی متر که در بالای فلوم نصب می شود قرائت گردید. ابتدا و انتهای فلوم با استفاده از کف کاذب تا ارتفاع 13 سانتی متر بالا آورده شده و روی کف کاذب ابتدایی کف کاذب با استفاده از ذرات ماسه پوشانده شد تا جريان یکنواخت در ابتدای بستر شنی ایجاد شود. برای حذف تاثیر غیر

یکنواختی رسوبات بر آبشستگی موضعی، انحراف معیار هندسی ذرات برای رسوبات با دانه بندی یکنواخت حدود 1/4 در نظر گرفته شد [11]. در ابتدای هر آزمایش برای جلوگیری از آبشستگی ناخواسته در سطح بستر، فلوم از انتهای پایین دست از آب پر و بعد از رسیدن به عمق قابل قبول جریان را ساکن نگه داشته و لوله در نقطه ی مورد نظر (در 80 سانتی متری از ابتدای بستر) قرار داده شد. برای آبیگری اولیه ی فلوم، جریان به آرامی برقرار می شد تا مانع از بهم خوردن بستر و تشکیل ریبیل در سطح بستر شود. پروفیل آبشستگی در فواصل منظم بر روی یک صفحه ی شفاف با مش بندی های (1x1) میلی متر که در قسمت خروجی دیواره ی شیشه ای نصب شده ترسیم شد. در این آزمایش ها سرعت متوسط جریان ورودی (U) تقریباً بین 0/8 تا 0/9 سرعت بحرانی (U_c) تنظیم شد تا شرایط آبشستگی آب زلال برقرار گردد. سرعت بحرانی ورودی U_c توسط رابطه نیمه لگاریتمی (7) بدست می آید [5].

$$U_c/u_{*c} = 5.75 \log(5.53h/d) \quad (7)$$

که در این معادله U_{*c} سرعت برشی بحرانی ذرات می باشد که از دیگرام شیلدز به دست می آید و d اندازه ی میانه ذرات رسوب می باشد. قطر ذرات رسوب و شدت جریان در این آزمایش ها ثابت در نظر گرفته شد. در انجام آزمایش ها سه لوله از جنس پلی اتیلن نسوز با مقطع دایره ای با قطر های 20، 30 و 40 میلی متر بکار برده شد. در حالت همراه با آبپایه از یک آبپایه به ضخامت 5mm، به طول 25cm (عرض فلوم) و ارتفاع 10cm که در فاصله ی D/2 از لوله (D قطر لوله) قرار گرفت، استفاده شد و در این حالت لوله در دو موقعیت روی بستر و در فاصله ی D/4 از بستر، قرار داده شد (جدول 1).

جدول 1) شرایط جریان در آزمایش های انجام شده

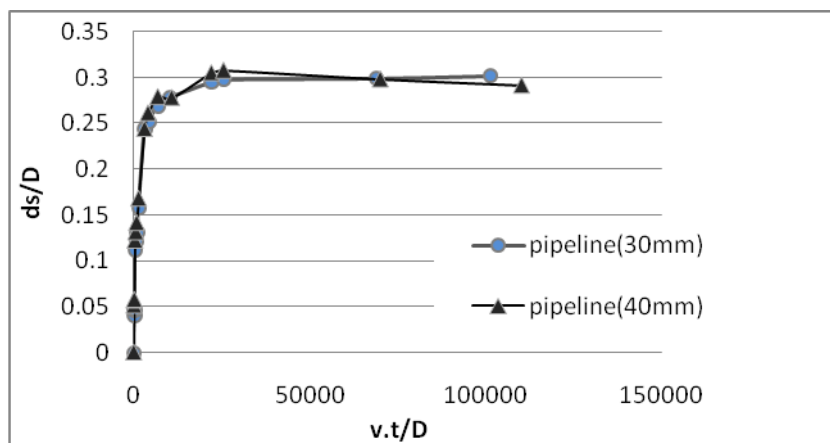
d ₅₀ (mm)	Q(m ³ /s)	y(m)	V _c (m/s)	y/D	V/V _c	F _r	D(mm)	Bed Sill	Gap
0/5	0/0078	0/165	0/2156	8/25	0/88	0/15	20	-	0
0/5	0/0078	0/165	0/2156	5/5	0/88	0/15	30	-	0
0/5	0/0078	0/165	0/2156	4/125	0/88	0/15	40	-	0
0/5	0/0078	0/165	0/2156	8/25	0/88	0/15	20	D/2	0
0/5	0/0078	0/165	0/2156	5/5	0/88	0/15	30	D/2	0
0/5	0/0078	0/165	0/2156	4/125	0/88	0/15	40	D/2	0
0/5	0/0078	0/165	0/2156	8/25	0/88	0/15	20	D/2	D/4
0/5	0/0078	0/165	0/2156	5/5	0/88	0/15	30	D/2	D/4
0/5	0/0078	0/165	0/2156	4/125	0/88	0/15	40	D/2	D/4

در این تحقیق مدت زمانی که تغییرات عمق آبشستگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی متر نباشد به عنوان معیار زمان تعادل در نظر گرفته شد [11]. با توجه به اینکه تغییرات عمق آبشستگی را نمی توان با استفاده از اعداد فرود متغییر پیش بینی کرد به همین علت در طول آزمایشات فقط از یک عدد فرود (F_r=0/15) استفاده شده است [9]. پس از هر آزمایش برای اندازه گیری میزان آبشستگی به کمک یک عمق-سنج که در عرض و طول فلوم به راحتی حرکت می کرد استفاده شد.

3- نتایج و بحث

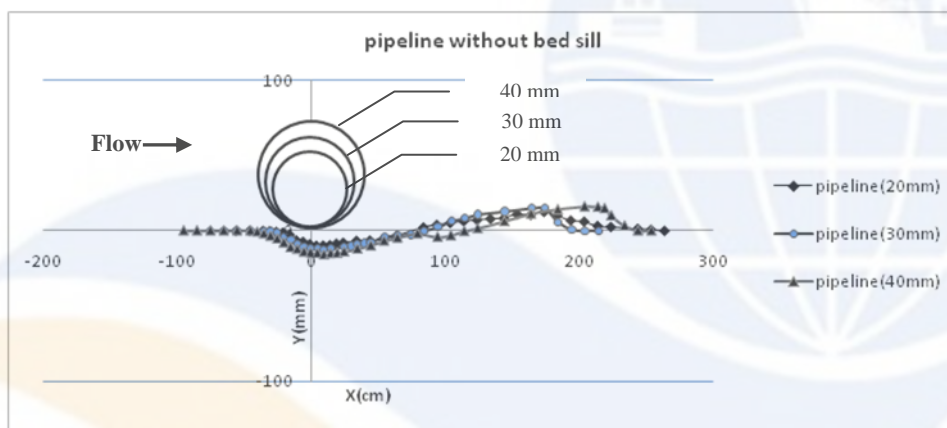
1-3 - حالت لوله بدون آبپایه

آزمایشات شاهد با مدت زمان طولانی برای هر دو لوله با قطرهای 30 و 40 میلی متر صورت گرفت. نتایج مربوط به عمق نسبی آبشستگی برای هر دو لوله در شکل 1 نشان داده شده است. نسبت $\frac{d_s}{D}$ برای لوله های 30 و 40 میلی متری در 20 ساعت به مقدار عددی 0/3 و 0/29 رسیدند.



شکل 1) منحنی بی بعد عمق آبستگي

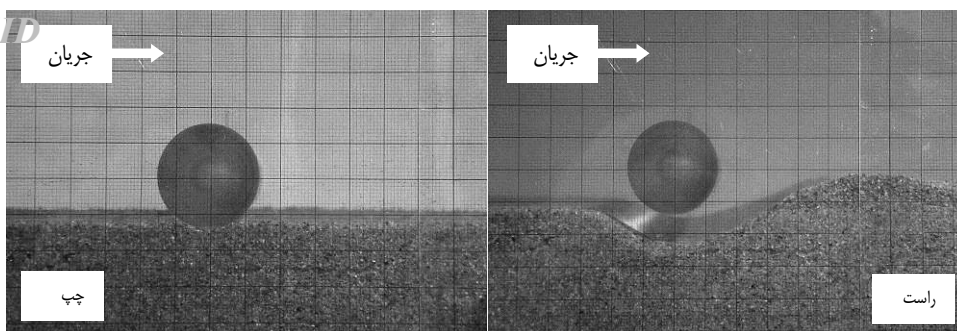
بعد از اتمام آزمایش، پروفیل آبستگي در محور مرکزی فلوم برداشت شد که در شکل 2 می توان حداکثر عمق آبستگي در زیر لوله های 20، 30 و 40 میلی متری را مشاهده کرد. شکل 2 نشان می دهد که با افزایش قطر لوله عمق گودال آبستگي نیز افزایش می یابد اما نسبت $\frac{d_s}{D}$ کاهش پیدا کرده و ریپل تشکیل شده در پایین دست لوله بیشتر گسترش یافته است. در شکل 3 تصاویری از آبستگي زیر لوله های به قطر 20، 30 و 40 میلی متر در ابتدا (شکل سمت چپ) و انتهای (شکل سمت راست) آزمایش مشاهده می شود.



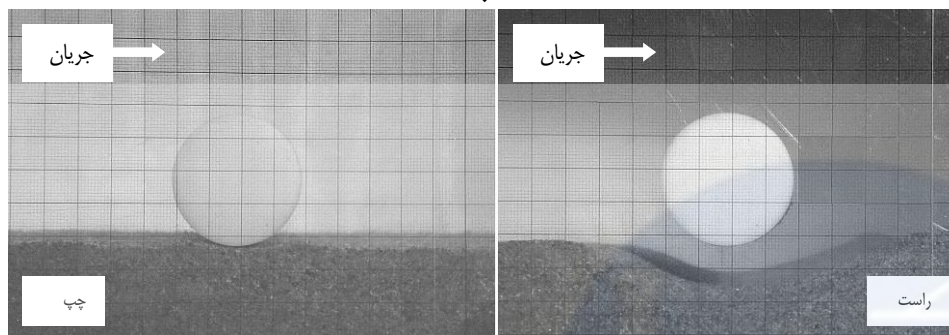
شکل 2) پروفیل آبستگي محور مرکزی فلوم در حالت بدون آبپایه



الف



ب

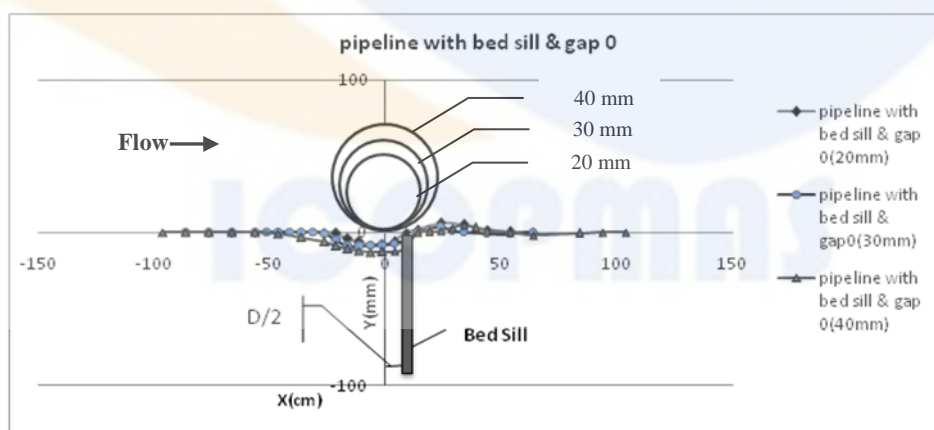


ج

شکل 3) تصاویر پروفیل آبشستگی (الف و ب و ج به ترتیب قطر 20 و 30 و 40 میلی متر)

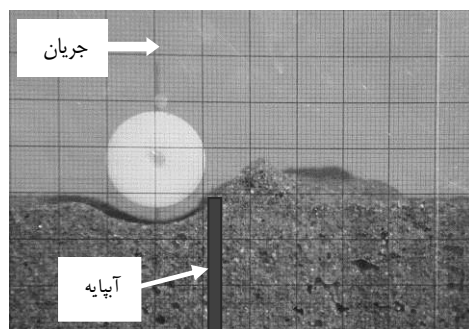
2-3 - حالت لوله همراه آبپایه بدون فاصله از بستر

آبپایه در پایین دست لوله و در فاصله ی $D/2$ از مرکز قرار داده شد. شکل 4 عمق آبشستگی در زیر لوله به هنگام استفاده از آبپایه در حالتی که لوله بر روی بستر قرار دارد را نشان می دهد. از آن جا که مکانیسم آبشستگی زیر لوله ناشی از عملکرد گرداب های ایجاد شده در بالا دست لوله (Luff Erosion)، شکل گیری جریان های گردابی برخاستگی در پایین دست لوله (Lee Erosion) و هم چنین افزایش سرعت در زیر لوله (Tunnel Erosion) می باشد، با به کار بردن آبپایه مشاهده شد که فرسایش ناشی از افزایش سرعت در زیر لوله به خوبی کنترل شده است.

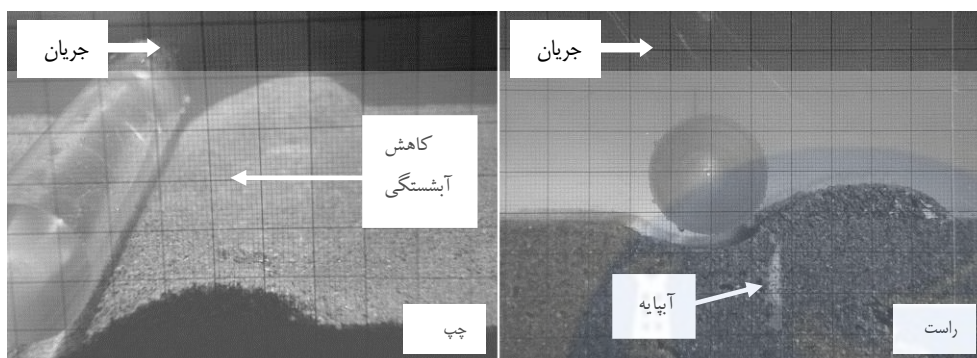


شکل 4) پروفیل آبشستگی محور مرکزی فلوم در حالت همراه آبپایه (لوله روی بستر)

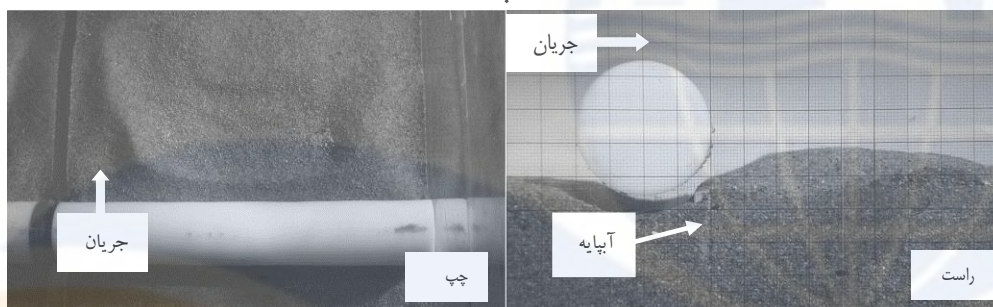
شکل 5 تصاویری از آبشستگی زیر لوله در حالت استفاده از آبپایه در فاصله ی $D/2$ برای قطرهای 20، 30 و 40 میلی متر را نشان می دهد. در این حالت لوله بر روی بستر قرار دارد (gap=0). همان طور که در تصاویر شکل 5 مشاهده می شود، عمق آبشستگی به هنگام استفاده از آبپایه کاهش یافته و مقدار حداکثر آن به سمت بالادست حرکت کرده است در حالیکه در حالت بدون آبپایه عمق حداکثر در سمت پایین دست لوله (کمی از مرکز لوله به سمت پایین دست) قرار داشت. در شکل ب سمت چپ مشاهده می شود که اگر اثر ناشی از دیواره های فلوم صرف نظر شود می توان 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 حداکثر عمق در اثر آبپایه به بالادست کشیده شده، این مسأله می تواند مشکل ساز باشد.



الف



ب

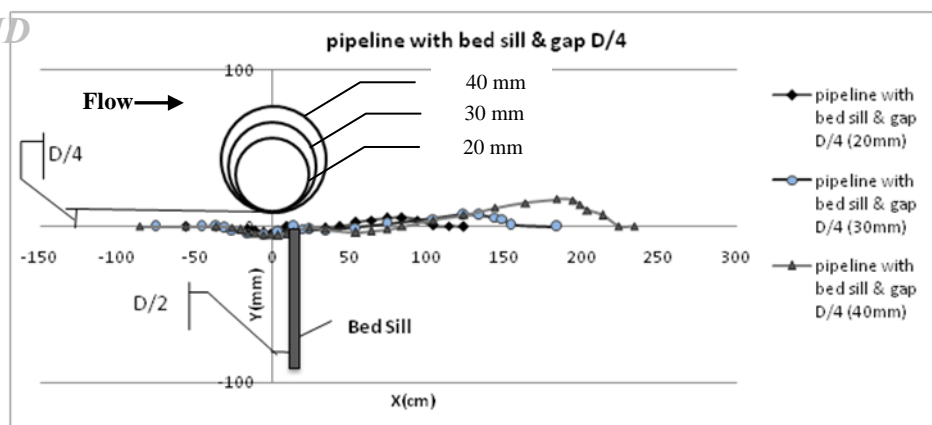


ج

شکل 5) تصاویر پروفیل آبشستگی در حالت همراه با آبپایه (الف و ب و ج به ترتیب قطر 20 و 30 و 40 میلی متر)

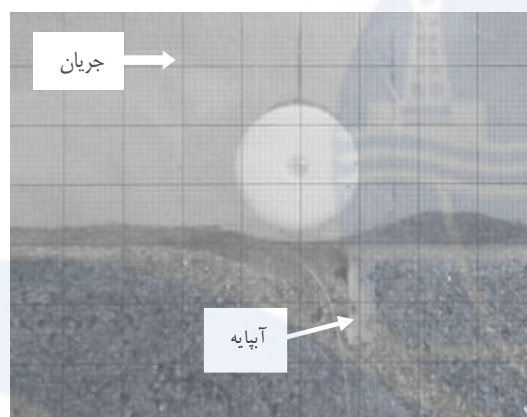
3-3 - حالت لوله همراه آبپایه با فاصله $D/4$ از بستر

در این حالت نیز آبپایه در پایین دست لوله و در فاصله $D/2$ از مرکز قرار داده شد با این تفاوت که لوله در این حالت در فاصله $D/4$ از سطح بستر قرار داده شد. در این حالت نیز به علت فاصله ایجاد شده بین لوله و بستر سرعت جریان و در نتیجه فرسایش در زیر لوله کاهش می‌یابد همچنین وجود آبپایه به این کاهش کمک کرده و در نتیجه می‌توان کاهش قابل توجهی را در آبشستگی و عمق حفره آبشستگی در زیر لوله مشاهده کرد. با مقایسه با حالت آبپایه و لوله روی بستر می‌توان بیان کرد که با ایجاد فاصله بین لوله و بستر می‌توان از آبشستگی در زیر لوله تا حد زیادی کاست که این نتیجه را می‌توان در نمودار شکل 6 مشاهده کرد.

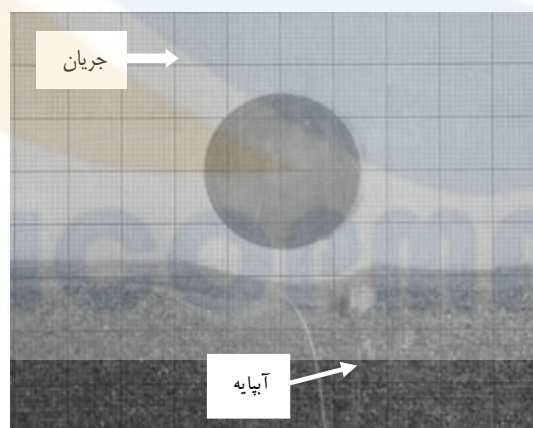


شکل 6) پروفیل آبشستگی محور مرکزی فلوم در حالت همراه آبپایه (لوله در فاصله $D/4$ از بستر)

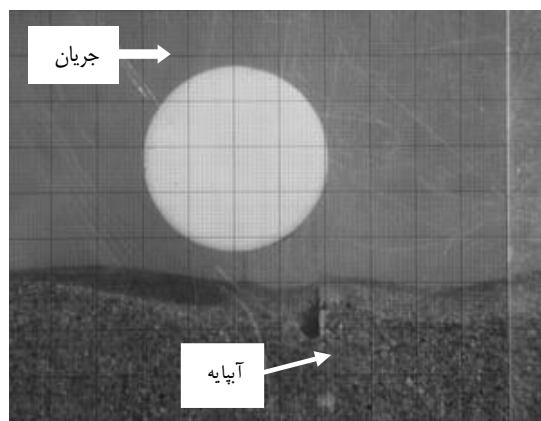
در تصاویر شکل 7 می توان حالت آبپایه با لوله بدون فاصله از بستر (شکل 5) را با حالت آبپایه با لوله فاصله دار از بستر را مقایسه نمود. همان طور که در تصاویر نیز مشاهده می شود با ایجاد فاصله بین لوله و بستر ($gap = D/4$) میزان حداکثر عمق آبشستگی به طور قابل توجهی کاهش می یابد.



الف



ب



ج

شکل 7) تصاویر پروفیل آبخستگی در حالت همراه با آبپایه (لوله در فاصله ی $D/4$ از بستر)
(الف و ب و ج به ترتیب قطر 20 و 30 و 40 میلی متر)

4- نتیجه گیری

- ✓ هر چه قطر لوله بزرگتر باشد، زمان به تعادل رسیدن عمق آبخستگی بیشتر خواهد بود.
- ✓ با استفاده از آبپایه حداکثر عمق گودال آبخستگی کاهش پیدا کرده و به سمت بالادست حرکت می کند.
- ✓ برآمدگی ایجاد شده در پایین دست لوله با بکار بردن آبپایه به میزان قابل توجهی کاهش می یابد که دلیل آن کاهش آبخستگی زیر لوله می باشد.
- ✓ با ایجاد فاصله بین لوله و بستر ($gap = D/4$) می توان میزان آبخستگی و عمق حفرة ی آبخستگی را کاهش داد که این روش با اضافه شدن آبپایه نتیجه ی بهتری خواهد داد.
- ✓ آبپایه مانعی برای انتشار گرداب های برخاستگی می باشد و فرسایش منطقه برخاستگی را کنترل می نماید. با برخورد این گرداب ها به آبپایه جریان به سمت لوله باز می گردد و ذرات را به سمت لوله جا به جا می نماید و این عامل موجب کاهش گودال آبخستگی و کاهش حداکثر عمق آبخستگی می شود.

مراجع

- [1]- Chiew, Y. M. 1991. Prediction of maximum scour depth at submarine pipelines. J. Hydr. Eng., 117(4) : 452–466.
- [2]- 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.
- [3]- 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.
- [4]- Ibrahim, A., and Nalluri, C. 1986. Scour prediction around marine pipelines. Proc., 5th Int. Symp. on offshore Mechanics and Arctic Engineering, 679–684.
- [5]- Day, S., and P. Singh, N. 2008. Clear-Water Scour below Underwater Pipelines under Steady Flow. J. Hydr. Eng., 134(5) : 588-600.
- [6]- Moncada-M, A. T. and Aguirre-Pe, J. 1999. Scour below pipeline in river crossing. Hydr. Eng., ASCE, 125(9) : 953–958.
- [7]- Lauchlan, G. S., and Melville, B. W. (2001). "Riprap protection at bridge piers." ASCE, J. Hyd. Eng. 127(5): 412-418.
- [8]- Tregnaghi, M., Marion, A., and Gaudio, R. (2007). "Affinity and similarity of local scour holes at bed sills." Water Resour. Res., 43(11), W11417.
- [9]- Grimaldi, C., Gaudio, R., Calomino, F., and Cardoso, A. H. 2009. Control of scour at bridge piers by a downstream bed sill. J. Hydr. Eng., ASCE, 135(1) : 13-21.
- [10]- Day, S., and Raikar, R. V. 2007. Clear-Water Scour below Underwater Pipelines under Steady Flow. J. Hydr. Eng., 134(5) : 588-600.
- [11]- Raudkivi, A. J., and Ettema, R. (1983). "Clear-Water scour at cylindrical piers." J. Hydr. Eng., 109(3), 338-350.
- [12]- Day, S., and Raikar, R. V. 2007. Clear-Water Scour below Underwater Pipelines under Steady Flow. J. Hydr. Eng., 134(5) : 588-600.