



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و سوم، شماره ششم، ۱۳۹۵  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## بررسی تأثیر پیگیکلاین بر آبشستگی موضعی زیر خطوط لوله افقی

\*سبحان مرادی<sup>۱</sup>، کاظم اسماعیلی<sup>۲</sup>، محمدرضا اکبرزاده<sup>۳</sup> و سعیدرضا خدائیان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد، <sup>۲</sup>دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد،

<sup>۳</sup>استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، <sup>۴</sup>استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** عبور خطوط لوله انتقال آب-فاضلاب و یا مواد سوختی، روی بستر فرسایشی دریا و رودخانه سبب به وجود آمدن اندرکنشی بین لوله و بستر فرسایشی می‌شود و تغییراتی را در هیدرودینامیک جریان اطراف لوله به وجود می‌آورد. در نتیجه، آبشستگی موضعی ایجاد شده زیرخط لوله، سبب ناپایداری، خمش و حتی شکست لوله می‌شود. برای محافظت از این خطوط لوله در برابر خطرهای احتمالی، لازم است شناخت درستی از مقدار و نحوه آبشستگی اطراف لوله پیدا کرد.

**مواد و روش‌ها:** پژوهش حاضر، به بررسی آبشستگی زیر خط لوله افقی در فلوم آزمایشگاهی با سه قطر لوله مختلف (۲، ۳/۲، ۳/۸ سانتی‌متر)، واقع بر بستر فرسایشی با دو اندازه متوسط رسوب (۰/۳، ۱/۱۸ میلی‌متر) و سه شکل مقطع متفاوت از پیگیکلاین (تیغه، دایره، مثلث)، تحت جریان یکنواخت، ماندگار و با برقراری ( $V/V_c \approx 0/9$ ) شرایط آب زلال، انجام شده است. در ابتدا به روش پای-باکینگهام تمامی پارامترهای بعددار تأثیرگذار بر ابعاد آبشستگی موضعی زیر خطوط لوله را تحلیل ابعادی نمودیم. سپس در آزمایش‌های مختلف، تأثیر پارامترهای بدون بعد مهم‌تر، شامل؛ قطر لوله، عدد فرود جریان، عمق جریان، اندازه متوسط دانه‌های رسوبی بستر، و شکل پیگیکلاین، که با آنالیز ابعادی مشخص شده‌اند را بر حداکثر عمق آبشستگی بررسی کردیم.

**یافته‌ها:** نتایج آزمایشگاهی بیانگر آن است که مساحت سطح مانع در مسیر جریان در مقدار آبشستگی نهایی مؤثر است و با افزایش قطر لوله، عمق حداکثر آبشستگی و همچنین زمان رسیدن به تعادل نهایی آبشستگی، افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد، با افزایش عدد فرود و با ثابت بودن قطر لوله و دانه‌بندی ذرات بستر حداکثر عمق آبشستگی در عدد فرود ۰/۳ اتفاق می‌افتد. استنباط کلی از مجموعه نتایج به دست آمده بیانگر آن است؛ تأثیر عمق جریان در مقادیر  $y_n/D$  کم‌تر از ۳/۵ تقریباً بر میزان حداکثر عمق آبشستگی، ناچیز است. به عبارت دیگر در مقادیر کم این نسبت، می‌توان عمق آبشستگی را مستقل از عمق جریان دانست. از سوی دیگر مشاهده می‌شود با تغییر اندازه متوسط دانه‌های رسوبی بستر، تغییر چندانی در حداکثر عمق آبشستگی ایجاد نمی‌شود. ولی به دلیل اینکه دانه‌بندی رسوبات با اندازه متوسط ۱/۱۸ میلی‌متر، دارای انحراف معیار کوچک‌تر از ۱/۴ (یکنواختی بالا) بودند، انحراف معیار نقش به‌سزایی در ایجاد

\* مسئول مکاتبه: [moradi.sobhan@fum.um.ac.ir](mailto:moradi.sobhan@fum.um.ac.ir)

مقدار و محل تشکیل حداکثر عمق آبستنگی داشته است و شکل نیمرخ آبستنگی را به صورت چشمگیری تغییر داده است. با به کارگیری شکل‌های متفاوتی از مقطع پیگیبک‌لاین در شرایط ارتفاعی برابر، نتایج طول گودال آبستنگی به طور تقریبی برای همه شکل مقطع‌های پیگیبک‌لاین برابر است و در نتیجه فقط به ارتفاع جسم انسدادکننده جریان بستگی دارد و به شکل آن بستگی ندارد. اما مشاهده عینی نشان داد که طول موج رسوبی پیشرو و عمق آبستنگی تحت تأثیر شکل پیگیبک‌لاین می‌باشند و برای حالت پیگیبک‌لاین تیغه‌ای (باله) ۲/۴۲، پیگیبک‌لاین مثلثی ۲/۲۵ و برای پیگیبک‌لاین دایره‌ای نصب شده روی لوله اصلی ۱/۹ برابر بیش‌تر از حالتی است که لوله به صورت منفرد روی بستر رسوبی نصب شده باشد. اختلاف عمق حداکثر آبستنگی بین پیگیبک‌لاین تیغه‌ای و مثلثی، کم و در مقایسه با پیگیبک‌لاین لوله‌ای زیاد است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که تغییر در شکل پیگیبک‌لاین نصب شده روی لوله اصلی بر مشخصات الگوی آبستنگی زیر خط لوله افقی تأثیرگذار است. پیگیبک‌لاین مثلثی برای افزایش مقدار عمق حداکثر آبستنگی و همچنین عبور کابل‌های برق و تلفن و حتی آب-فاضلاب به همراه لوله اصلی، گزینه بهتری برای جایگزینی با باله (اسپویلر) به کار برده شده در حال حاضر می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آبستنگی موضعی، Piggyback line، حداکثر عمق آبستنگی، خطوط انتقال لوله

#### مقدمه

به منظور کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، استفاده روزافزون از خطوط لوله در بستر رودخانه‌ها و دریاها برای انتقال آب-فاضلاب و مواد سوختی استخراج شده در اعماق دریاها به پالایشگاه‌های ساحلی افزایش چشم‌گیری داشته است. در صورت بروز مشکل برای این خطوط لوله، علاوه بر خسارات اقتصادی فراوان ناشی از شکستن لوله، لطمه‌های زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری را به وجود می‌آورد. جهت حفاظت از تخریب و شکستگی احتمالی این خطوط لوله در اثر نیروهای هیدرودینامیکی امواج جریان و یا فعالیت‌های انسانی لازم است ابتدا به شرایط فرسایش‌پذیری بستر توجه شود و از این دیدگاه حداکثر عمق آبستنگی در زیر خطوط لوله را تخمین زد و در نتیجه موقعیت قرارگیری لوله ارزیابی گردد. بنابر اهمیت موضوع، تاکنون مطالعه‌های زیادی در مورد آبستنگی اطراف خطوط لوله در کاربردهای مختلف صورت گرفته است و یافتن عوامل تأثیرگذار بر شکل آبستنگی و

مقدار شتاب پیشروی آن امری مهم به حساب می‌آید. نتایج پژوهش‌های انجام شده، بیانگر آن است که جهت حفاظت از خطوط لوله می‌توان، از توان آب در آبستنگی رسوبات زیر لوله برای دفن کردن خط لوله مستغرق در آب استفاده شود.

کجلدسن و همکاران (۱۹۷۳)، بایکر و لیووستاین (۱۹۸۴) و ابراهیم و نلوری (۱۹۸۶) آبستنگی موضعی اطراف خطوط لوله را تحت تأثیر جریان یک‌بعدی، آب زلال و بستر فعال مورد بررسی قرار دادند و با بیان معادلاتی، عمق آبستنگی روی بستر فعال را به سرعت، عمق جریان، قطر لوله و اندازه ذرات بستر وابسته دانستند (۱۱، ۲، ۱۰). مازا (۱۹۸۷) بیان داشت که عمق حفره آبستنگی در پایین‌دست خط لوله، تابعی از عدد فرود  $Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$  و نسبت  $\frac{e}{D}$  است (۱۳). هولسبرگن (۱۹۸۶) و چپو (۱۹۹۲)، با نصب باله روی لوله ثابت کردند، باله می‌تواند با افزایش سطح مانع در مسیر جریان و هدایت جریان به سمت بستر رسوبی، ابعاد حفره آبستنگی را تحت تأثیر خود

از نتایج آزمایشگاهی نشان دادند که عدد فرود جریان و ارتفاع باله اثرات مؤثری در عمق آبستگي زیر خطوط لوله افقی دارند. سپس فرمول‌هایی جهت پیش‌بینی عمق آبستگي بر اساس مشخصات سرعت جریان در زیر خط لوله در دو حالت با و بدون باله پیشنهاد دادند (۱۹).

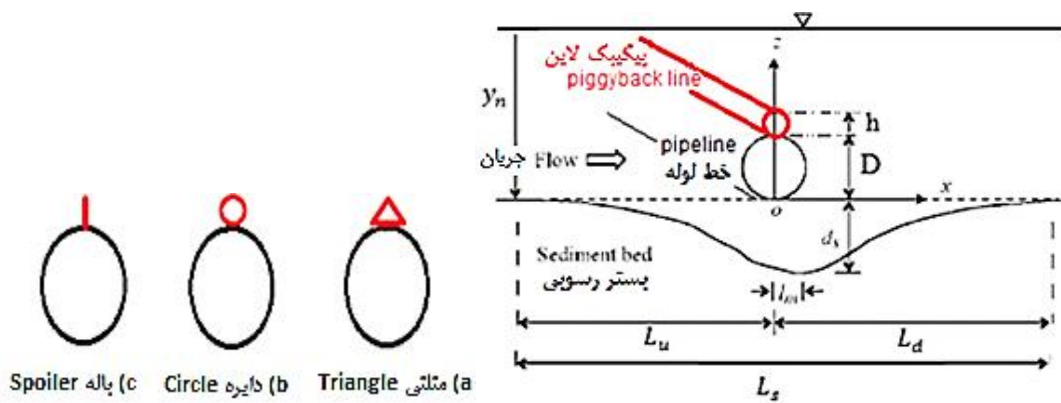
در گذشته پژوهش‌های گسترده‌ای روی باله تیغه‌ای انجام شده و روابط زیادی برای حداکثر عمق آبستگي زیر لوله بیان شده است. با توجه به این‌که پیگیبک‌لاین<sup>۱</sup> مورد استفاده در این پژوهش، شکل و ساختار متفاوت نسبت به باله (اسپویلر) به کار برده شده در پژوهش‌های قبلی دارد. ممکن است شرایط آبستگي اطراف لوله را تحت‌تأثیر قرار دهد. بنابراین تعیین شکل مقطع سازه جدید روی لوله اصلی لازم است مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی مشخصه‌های گودال آبستگي، در حالتی که پیگیبک‌لاین روی لوله اصلی نصب شده، پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

**آنالیز ابعادی:** هدف از آنالیز ابعادی شناخت پارامترهای بعددار تأثیرگذار بر مدل آزمایش و به دست آوردن نسبت‌های بی‌بعد و بیان ارتباط بین این نسبت‌ها می‌باشد. بدین منظور از روش پای-باکینگهام<sup>۲</sup> استفاده شده است. در شرایط جریان یکنواخت، آرام و بستر فرسایش‌پذیر، متغیرهای تأثیرگذار بر عمق گودال آبستگي زیر خطوط لوله افقی به صورت رابطه ۱ می‌باشد.

قرار دهد و عمق چاله آبستگي را افزایش، زمان رسیدن به تعادل آبستگي را کاهش دهد (۸، ۵). مائو (۱۹۸۶) عمق آبستگي زیر خط لوله را به صورت تابعی از عدد فرود جریان و فاصله بدون‌بعد بین لوله و بستر دست‌نخورده بیان کرد (۱۲). هولسبرگن و بایکر (۱۹۸۹) زمان به تعادل رسیدن آبستگي اطراف خطوط لوله منفرد (بدون باله) را طولانی دانستند و با نصب باله روی خطوط لوله واقع بر بستر رسوبی، سبب سرعت بخشیدن به روند خود دفنی لوله و افزایش عمق حداکثر آبستگي زیر خط لوله تا دو تا سه برابر قطر خود شدند (۹). سامر و فردسو (۱۹۹۰) عمق حفره آبستگي زیر خط لوله ساده را همواره کم‌تر از قطر لوله گزارش کردند (۱۶). چپو (۱۹۹۰) نشان داد که اگر نسبت عمق جریان به قطر لوله بیش از ۳/۵ باشد، آبستگي موضعی زیر خطوط لوله روی بستر فعال دریا تحت‌تأثیر عمق آب اتفاق نمی‌افتد و همچنین حداکثر عمق آبستگي را وقتی دانست که تنش برشی فعال با تنش برشی بحرانی برای کشیده شدن روی بستر رسوبات برابر باشد (۴). هانسن و همکاران (۱۹۹۱) نحوه توسعه چاله آبستگي زیر خط لوله را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که اگر لوله در ابتدا کمی زیر بستر قرار داده شود، توسعه چاله آبستگي را آهسته‌تر می‌کند و بر حسب مقدار جاگذاری لوله زیر بستر، ممکن است توسعه چاله آبستگي متوقف شود (۶). الکس و مونکادا (۱۹۹۹) عمق آبستگي نهایی با افزایش عمق جریان  $y_n$  در آب‌های کم عمق افزایش می‌یابد و برای  $(y_n/D \geq 5)$  تأثیری بر روی عمق آبستگي ندارد (۱۵). چنگ و چاو (۲۰۰۳) و ژاو و وانگ (۲۰۰۹)؛ با شبیه‌سازی ناحیه جریان اطراف خط لوله همراه با باله نصب شده روی آن، دریافتند که نیروی دراگ بالابرنده و تنش برشی در بستر و عمق آبستگي با وجود باله افزایش می‌یابد (۳، ۲۱). یانگ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده

1- Piggyback line  
2- Pi-Bukingham



شکل ۱- پارامترهای مؤثر بر آبستگي موضعی.

شکل ۲- (a) مثلثی، (b) دایره، (c) باله Spoiler.

Figure 2. a) and b) Different forms Piggyback line, c) spoiler.

Figure 1. Local scour influence parameters.

از آن‌جا که جریان در حالت یکنواخت تنظیم شده است و شیب کف فلوم، ثابت می‌باشد؛ تأثیر  $S_f$  را نادیده می‌گیریم.

مونکادا و آگویر (۱۹۹۹) و سامر و فردسو (۲۰۰۲) ثابت کردند که عدد بدون بعد رینولدز با مقداری بین  $2.6 \times 10^4 - 4 \times 10^3$  در فرآیند آبستگي برای لوله صاف مورد استفاده در این مطالعه، اثر ضعیفی دارد و قابل چشم‌پوشی است (۱۵)، در اینجا حداقل عدد رینولدز برابر است با  $1.1 \times 10^4$  در نهایت معادله ابعادی به صورت زیر حاصل می‌شود.

$$\frac{d_s}{D}, \frac{L_s}{D} = F\left(\frac{y_n}{D}, \frac{d_{50}}{D}, S_g, Fr, \tau_*, F_S\right) \quad (4)$$

تجهیزات آزمایشگاهی: آزمایش‌های این پژوهش در فلوم مستطیلی با اسکلت فلزی و دیواره از جنس پرسپکس به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۵ متر، در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد، انجام شده است (شکل ۳).

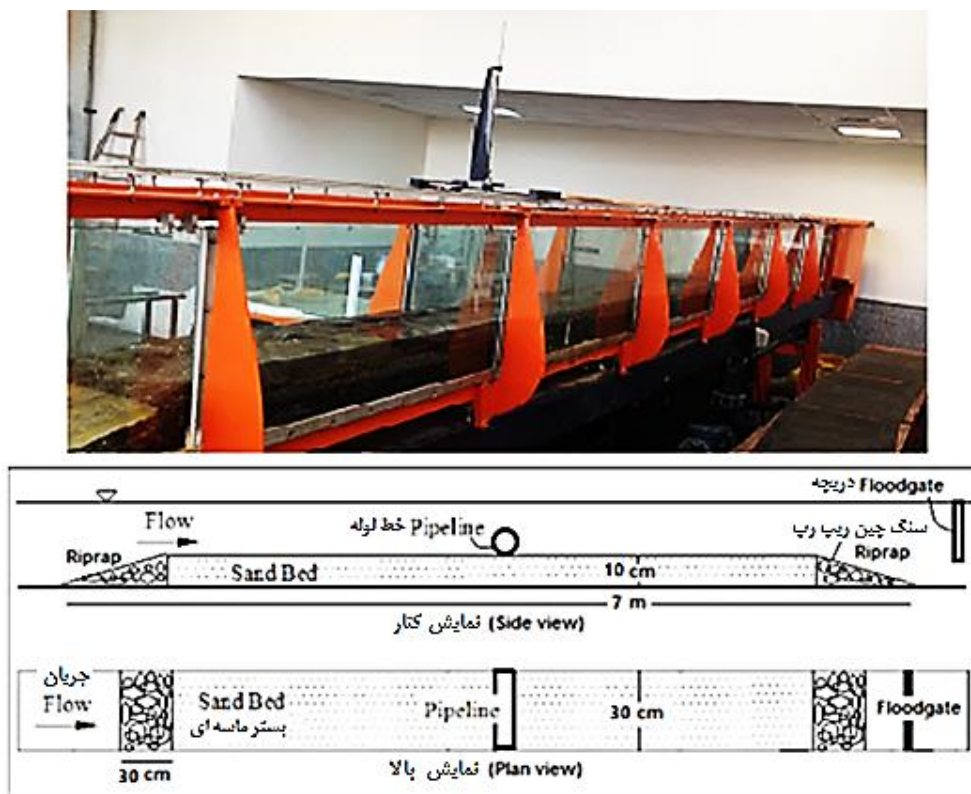
$$f(d_s, L_s, V, D, h, g, y_n, \rho_w, \rho_s, \mu, S_f, d_{50}, F_S) = 0 \quad (1)$$

در شکل ۱،  $L_m$  فاصله مبدا مختصات تا نقطه حداکثر آبستگي،  $L_u$  و  $L_d$  به ترتیب طول آبستگي بالادست و پایین دست لوله،  $L_s$  طول آبستگي نهایی،  $d_s$  عمق گودال آبستگي،  $V$  سرعت متوسط جریان،  $D$  قطر لوله،  $y_n$  عمق نرمال جریان،  $\rho_s$  و  $\rho_w$  به ترتیب چگالی آب و رسوبات (چگالی نسبی  $S_g = \frac{\rho_s}{\rho_w}$ )،  $\mu$  لزجت دینامیکی آب،  $S_f$  شیب خط انرژی،  $h$  ارتفاع پیگیبک لاین،  $d_{50}$  قطر متوسط ذرات رسوبی بستر،  $F_S$  فاکتور شکل پیگیبک لاین (شکل ۲)،  $g$  شتاب گرانش، می‌باشند.

$$\frac{d_s}{D} = F\left(\frac{L_s}{D}, \frac{y_n}{D}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{h}{D}, S_g, Fr, S_f, \tau_*, Re, F_S\right) \quad (2)$$

$$\frac{L_s}{D} = F\left(\frac{d_s}{D}, \frac{y_n}{D}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{h}{D}, S_g, Fr, S_f, \tau_*, Re, F_S\right) \quad (3)$$

در این روابط عدد فرود  $Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y_n}}$  عدد رینولدز  $Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$  تنش برشی (پارامتر شیلدز)  $\tau_* = \frac{y_n \cdot S_f}{[(\rho_s - \rho_w) / \rho_w] \cdot d_{50}}$  می‌باشند.



شکل ۳- فلوم آزمایشگاهی.

Figure 3. Experimental flow.

۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۱ متر تنظیم شد و لوله روی آن به دیواره فلوم نصب شده است. برای ایجاد شرایط جریان یکنواخت و همچنین کنترل سطح آب جهت مستغرق شدن لوله و برقراری ( $y_n/D \geq 3/5$ ) برای هر لوله به قطر  $D$ ، از دریچه‌ای کشویی نصب شده در پایین دست کانال استفاده شده است.

تعیین آستانه حرکت ذرات: حسینی و همکاران (۲۰۰۴)؛ با توجه به نمودار تغییرات عمق آبستگي نسبی  $\frac{ds}{D}$  نسبت به پارامتر شیلدز  $\theta$  دریافتند که در شرایط بستر فعال، تأثیر پارامتر پایداری شیلدز روی عمق آبستگي ناچیز است، اما در شرایط آب زلال تأثیر پارامتر شیلدز روی عمق آبستگي چشمگیر بوده و باید در نظر گرفته شود (۷).

روش‌های معمول برای قضاوت آستانه حرکت رسوب، توسط یانگ (۱۹۹۶) پیشنهاد شده است که

جریان ورودی به کانال همواره با تلاطم همراه بوده که جهت آرام کردن آن از توری مشبک در ابتدای فلوم استفاده شده است. حداکثر دبی جریان در فلوم ۳۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد که به صورت حجمی، به وسیله مخزنی با ظرفیت ۵۰۰ لیتر و در سه تکرار، اندازه‌گیری شده است. مهم‌ترین بخش کارهای آزمایشگاهی انجام دقیق آزمایش‌ها و ثبت مشاهده و نتایج عینی می‌باشد. به همین منظور، اندازه‌گیری عمق جریان و نیمرخ آبستگي به کمک عمق‌سنج با دقت  $\pm 0.1$  میلی‌متر انجام شده است. لوله‌های به کار رفته در این پژوهش با مقطع دایره‌ای، از جنس پولیکا (P.V.C) و با قطر خارجی ۲، ۳/۲ و ۳/۸ سانتی‌متر انتخاب شده و در فاصله ۵ متری از ابتدای کانال نصب شده‌اند. پیگیبک‌لاین‌های نصب شده روی لوله اصلی، با ارتفاع برابر و شکل مقطع‌های متفاوت به کار برده شده است. بستر رسوبی به طول ۷ متر، عرض

روش سرعت بحرانی: یکی دیگر از شرایط مورد نیاز برای برقراری آبستگي در آب زلال، تنظيم تقريبي  $(V/V_c \approx 0.9)$  مي‌باشد. سرعت بحراني  $V_c$  با رابطه نيمه لگاريتمي لاجلان و ملویل (۱۹۹۷) محاسبه مي‌شود (۱۴).

$$\frac{V_c}{V_{*c}} = 5.75 \log(5.53 \frac{y_n}{d_{50}}) \quad (۸)$$

که در آن،  $V$  سرعت متوسط جريان،  $V_c$  سرعت بحراني و  $V_{*c}$  سرعت برشي بحراني ذرات بوده که از دياگرام شيلدز و يا با فرمول لاجلان و ملویل به صورت زير برآورد مي‌شود:

$$V_{*c} = 0.0115 + 0.0125 d_{50}^{1.4} \quad (۹)$$

تشخيص آستانه حرکت براساس مشاهده عيني، روش نسبتاً مناسب است که مورد توجه بسياري از پژوهشگران مي‌باشد. از آنجا که دست‌يابي به يك دانه‌بندی کاملاً يکنواخت امري مشکل مي‌باشد بنابراین برآورد آستانه حرکت به هر روشی دارای خطا خواهد بود. مشخصات ذرات در جدول ۱ آورده شده است.

شامل تنش برشي بحراني، سرعت بحراني مي‌باشند (۲۰).

روش تنش بحراني: که در آن مقايسه‌ای بين تنش وارد از طرف جريان بر بستر و تنش بحراني بستر صورت مي‌گيرد.

$$\theta = \frac{V_*^2}{g(S_G - 1)d_{50}} \quad (۵)$$

$$\theta_{cr} = \frac{0.24}{d_*} + 0.055[1 - \exp(-0.02 d_*)] \quad (۶)$$

$$d_* = d_{50} \left[ \frac{(\rho_s - \rho_w)g}{\rho_w V^2} \right]^{1/3} \quad (۷)$$

که در آن‌ها،  $\theta$  پارامتر بدون بعد شيلدز، پارامتر  $\theta_{cr}$  شيلدز بحراني،  $V_*$  سرعت برشي بستر،  $S_G$  چگالي نسبي دانه‌های رسوب بستر،  $d_*$  قطر بدون بعد دانه‌های رسوبي بستر هستند.

با توجه به رابطه ۵ وقتی مشخصه‌های مواد رسوبي بستر تغيير نکند، تغييرات پارامتر پايداري بستر (پارامتر شيلدز) وابسته به تغييرات سرعت اصطکاکي نزديک بستر و به پيروي از آن سرعت جريان در کانال مي‌باشد.

جدول ۱- مشخصات رسوبات مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Characteristics of Sediments Used in the Experiments.

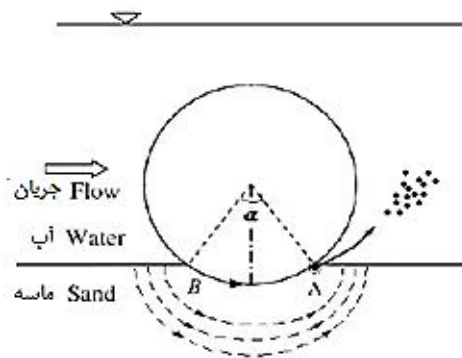
مواد بستر Bed Material	اندازه رسوبات Sediment Sizes (mm)							وزن مخصوص Specific Gravity	یکنواختی Uniformity		
	D10	D16	D30	D50	D60	D84	D90		ضریب یکنواختی	انحراف معیار	ضریب خمیدگی
									Uniformity Coefficient	Standard deviation	Coefficient of curvature
								Cu	σg	Cc	
1	0.12	0.17	0.23	0.3	0.39	0.56	1.33	2.65	3.25	1.81	1.13
2	0.61	0.86	1.04	1.18	1.25	1.39	1.54	2.65	2.04	1.2	1.14

میلی‌متر و ماسه درشت‌دانه‌تر با قطر متوسط ۱/۱۸ میلی‌متر.

در این آزمایش، برای بستر فرسایشی و غیرچسبنده، دو دانه‌بندی مختلف در نظر گرفته شده است. ماسه ریزدانه (ماسه بادی) با قطر متوسط ۰/۳

کانال شود. زمانی که سطح آب داخل کانال به مقدار مورد نیاز جهت انجام آزمایش رسید، پمپ را برای چند لحظه خاموش کرده و برای نصب لوله انتخابی به دیواره کانال، اقدام می‌کنیم. عمق جریان بر حسب دبی مورد نظر،  $(y_n/D \geq 3/5)$  و برقراری شرایط آب زلال  $(V/V_c \approx 0.9)$  توسط دریچه تنظیم می‌شود، تا ذرات بستر در آستانه حرکت باشند.

نحوه انجام آزمایش: برای شروع انجام آزمایش، بستر کانال را به طول ۳ متر، رسوب ریخته و به روش ماله‌کشی به صورت کاملاً افقی (در جهت طولی و عرضی فلوم) تنظیم می‌کنیم. جهت جلوگیری از آب‌بردگی و برهم خوردن رسوبات بستر، در ابتدا و انتهای بستر رسوبی مسطح شده، از ریپرپ درشت‌دانه با شیب ۳:۱ استفاده شده است. دریچه پایین‌دست کانال را بسته و پمپ را روشن می‌کنیم تا آب به تدریج وارد



شکل ۴- مکانیسم شکل‌گیری پدیده رگاب (لوله آبستگی).

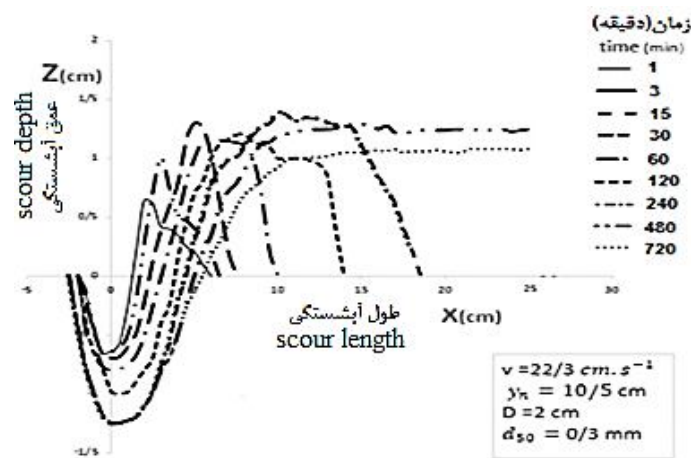
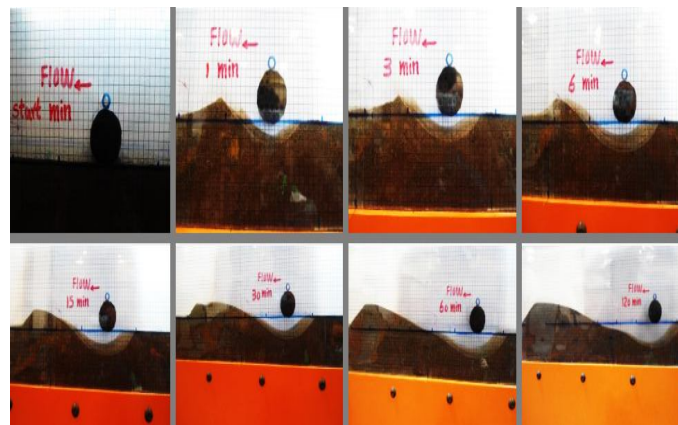
Figure 4. The mechanism of the formation of the phenomenon of piping (pipe scour).

پایین‌دست لوله، تغییرات عمق حداکثر آبستگی زیر لوله بسیار کم شده و فرسایش، در جهت افزایش طول آبستگی رخنمود می‌نماید. بعد از افزایش عمق و سپس طول گودال آبستگی، نوبت به افزایش سرعت پیشروی موج رسوبی در پایین‌دست گودال آبستگی می‌رسد. که این خود به سبب افزایش تنش برشی و سرعت جریان روی پشته رسوبی می‌باشد. در نهایت سرعت پیشروی موج رسوبی، در پایین دست گودال آبستگی بسیار سریع‌تر از سرعت فرسایش طولی این گودال می‌باشد. به طوری که ۶۵-۷۰ درصد عمق آبستگی، بعد از یک ساعت رخ می‌دهد و پس از ۶ ساعت مدل به عمق تعادلی خود نزدیک شده که در این زمان ۸۷ درصد عمق آبستگی نهایی رخ خواهد داد (شکل ۵).

با شروع آزمایش، خطوط جریان به سبب انسداد ایجاد شده توسط لوله و به دلیل اختلاف فشاری که بین دو نقطه A و B رخ داده (شکل ۴)، به زیر خط لوله تغییر مسیر می‌دهند. دانه‌های رسوبی به صورت مخلوطی از آب- رسوب از زیر لوله (نقطه A) خارج می‌شود (پدیده رگاب یا لوله آبستگی). پس از مدت زمان کوتاهی حفره آبستگی بزرگ‌تر شده و حجم بیش‌تری از رسوبات زیر لوله را به بیرون پرتاب می‌کند و حجمی از تپه ماسه که هم حجم گودال آبستگی است را در پایین‌دست لوله به وجود می‌آورد.

### نتایج و بحث

مشاهده عینی نشان می‌دهد، که بعد از دو ساعت اولیه آزمایش، به دلیل گردابه‌های بزرگ‌تر و بیش‌تر در

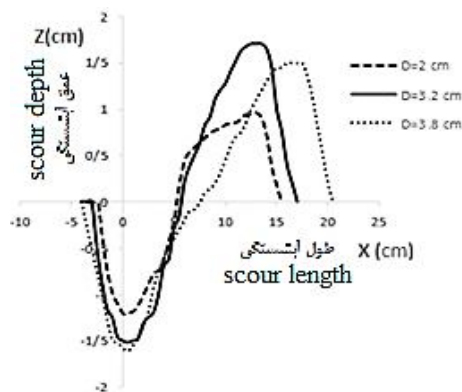


شکل ۵- تغییرات زمانی نیمرخ آبستگي.

Figure 5. Time variation scour profiles.

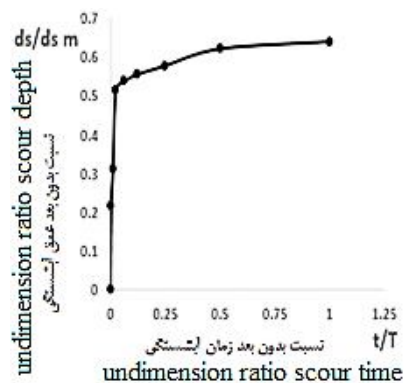
به صورت بی‌بعد نشان می‌دهد. در این پژوهش، آزمایش‌های آبستگي برای درصدی از زمان تعادل کل (۴ ساعت) تکرار شده است.

برای به دست آوردن زمان تعادل آبستگي، آزمایش شاهد، در مدت ۱۲ ساعت انجام گرفته است (شکل ۶). همان‌طور که مشاهده می‌شود، این نمودار ثابت شدن تغییرات عمق آبستگي نسبت به زمان را



شکل ۷- تغییرات نیمرخ آبستگي با قطر لوله مختلف.

Figure 7. Variation scour profile for different circle diameter.



شکل ۶- تغییرات زمانی تعادل آبستگي.

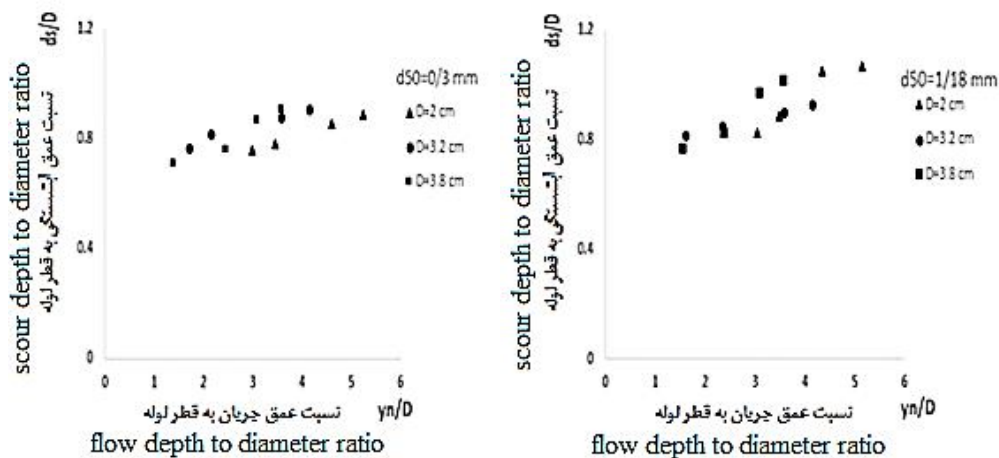
Figure 6. Time variation scour balance.



بستگی به توانایی فرسایش گردابه‌های برخاستگی اطراف لوله دارد. نحوه توسعه گودال آبشستگی نشان می‌دهد که عمق گودال آبشستگی در کم‌تر از دو ساعت به حداکثر مقدار خود نزدیک می‌شود. در حالی که نیمرخ گودال آبشستگی، برای رسیدن به تعادل طولی، نیاز به گذشت زمان چندین ساعته دارد. با کمی دقت در (شکل ۵) می‌توان دریافت که طول گودال آبشستگی در پایین‌دست لوله چندین برابر طول گودال آبشستگی در بالادست آن است، پس مقدار حجم رسوبات آبشسته در پایین‌دست لوله بیش‌تر از بالادست آن می‌باشد. شیب گودال آبشستگی در پایین‌دست به مراتب ملایم‌تر از شیب گودال در بالادست لوله می‌باشد. علت شکل‌گیری طول و شیب متغییر در بالادست و پایین‌دست لوله را می‌توان به (مکانیسم فرسایش گردابی) طول گردابه‌های چرخشی بزرگ‌تر در پایین‌دست نسبت به بالادست لوله نسبت داد.

آزمایش‌ها در قطرهای مختلف لوله، شکل‌های متفاوت پیگیکلاین و با برقراری شرط  $(V/V_c \approx 0.9)$  که در عمق‌های مختلف آب در بازه ۱۵-۵/۵ سانتی‌متر قرار دارند، انجام شده است (شکل ۸).

با توجه به نیمرخ‌های آبشستگی شکل گرفته (شکل ۷) برای هر ۳ قطر لوله، مشخص شده که قطر لوله یکی از پارامترهای اساسی و تعیین‌کننده روی مشخصات نیمرخ آبشستگی بستر فرسایشی می‌باشد. افزایش قطر لوله سبب انسداد و فشردگی بیش‌تر در مسیر خطوط جریان می‌شود، سرعت و طول جریان‌های چرخشی عبوری از زیر لوله را بزرگ‌تر و در نهایت حجم رسوبات فرسایش‌یافته از زیر لوله را افزایش می‌دهد. همان‌ور که در شکل ۷ نشان داده شده است، با افزایش قطر لوله، مشخصه‌های نیمرخ بستر مربوط به حالت تعادل فرآیند آبشستگی تغییر یافته و پارامترهایی از قبیل بیشترین عمق آبشستگی، طول گودال آبکند در بالادست و پایین‌دست افزایش می‌یابند. در طی انجام آزمایش، مقیاس زمان در بررسی فرآیند شکل‌گیری نیمرخ آبشستگی زیر لوله، پارامتر مهمی به حساب می‌آید. با افزایش قطر لوله، مدت زمان بیش‌تری برای رسیدن به حالت تعادل آبشستگی نیاز است. به دلیل تأثیر فرسایش تونلی که در آغاز فرآیند آبشستگی شکل می‌گیرد، تغییرات نیمرخ گودال آبشستگی در جهت قائم، بسیار سریع‌تر از تغییرات آن در جهت پیشروی طول گودال آبکند است. سرعت پیشروی طولی گودال آبشستگی نیز



شکل ۸- تغییرات  $\frac{d_s}{D}$  با  $\frac{y_n}{D}$  برای  $D$  و  $d_{50}$  متفاوت.

Figure 8. Variation  $\frac{d_s}{D}$  versus  $\frac{y_n}{D}$  for different  $D$  and  $d_{50}$ .

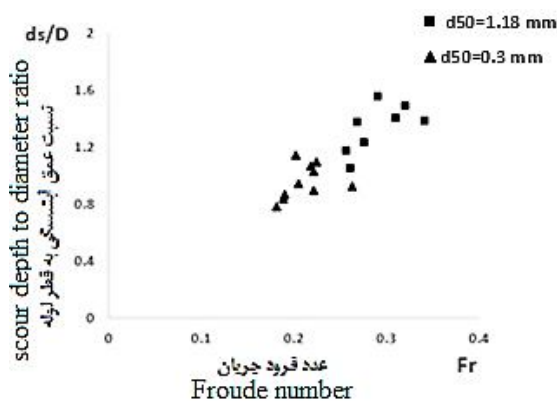
فرمول پیشنهادی دانشگاه دلف:

$$d_s = 0.929 \left(\frac{V^2}{2g}\right)^{0.26} \cdot D^{0.78} \cdot d_{50}^{-0.04} \quad (10)$$

فرمول کجلدسن:

$$d_s = 0.972 \left(\frac{V^2}{2g}\right)^{0.2} \cdot D^{0.8} \quad (11)$$

در روابط تجربی ارائه شده، می‌توان دریافت که با افزایش سرعت جریان بیشینه عمق آبستگی نیز افزایش می‌یابد و مقادیر بیش‌ترین عمق آبستگی برآوردشده با فرمول‌ها اختلاف کمی با نتایج آزمایشگاهی دارد.



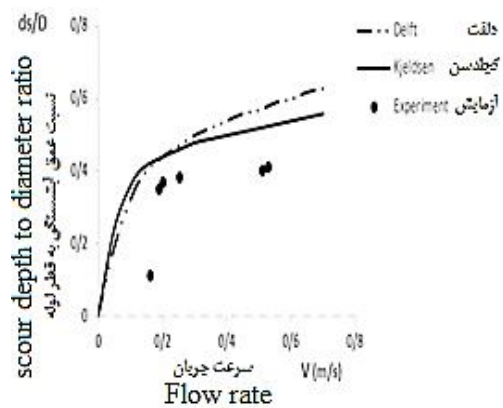
شکل ۱۰- تغییرات  $\frac{d_s}{D}$  با  $Fr$  برای  $d_{50}$  متفاوت.

Figure 10. Variation  $\frac{d_s}{D}$  versus  $Fr$  for different  $d_{50}$ .

تا مقدار  $0.3$  عمق آبستگی افزایش یافته و به مقدار حداکثری خود در بازه زمانی مشخص شده، رسیده است ولی از عدد فرود  $0.3$  به بعد این افزایش متوقف شده و سپس کاهش در مقدار  $\frac{d_s}{D}$  را نشان می‌دهد.

برای  $\frac{y_n}{D}$  های کوچک، با افزایش عمق جریان، تغییرات  $\frac{d_s}{D}$  وابسته عمق جریان می‌باشد و تغییرات زیادی در مقدار عمق آبستگی مشاهده می‌شود. ولی برای  $(y_n/D \geq 3/5)$  تغییرات عمق آبستگی، مستقل از عمق جریان می‌شود و تأثیر کمی روی هم دارند. و عمق آبستگی حاصل شده در این شرایط قابل قبول‌تر می‌باشد.

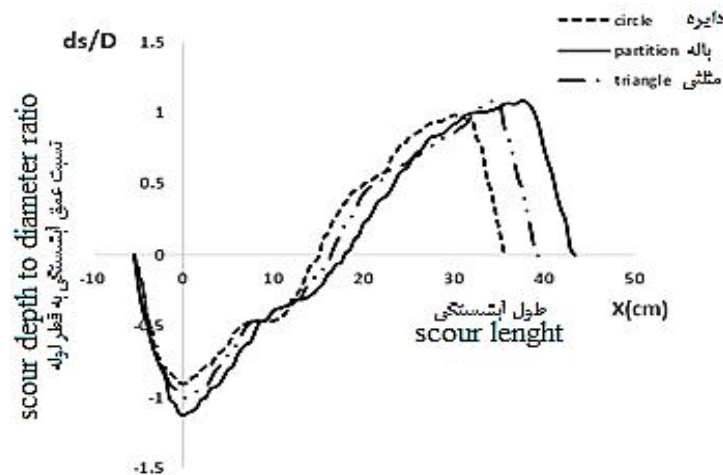
در این بخش مقایسه‌ای بین نتایج آزمایشگاهی و فرمول‌های تجربی ارائه شده توسط پژوهشگران پیشین انجام شده است (شکل ۹). این فرمول‌ها عبارتند از (۱۸):



شکل ۹- تغییرات  $\frac{d_s}{D}$  با  $v$ .

Figure 9. Variation  $\frac{d_s}{D}$  versus  $v$ .

داده‌های آزمایشگاهی را در غالب نمودار عمق آبستگی تعادلی بدون بعد  $\frac{d_s}{D}$  در مقابل عدد فرود جریان  $Fr$  برای دو دانه‌بندی و با رعایت تمام شرایط جریان یکنواخت و آب زلال، رسم کرده و مطابق (شکل ۱۰) نشان داده که با افزایش عدد فرود جریان



شکل ۱۱- تأثیر شکل مقطع پیگیکلاین روی نیمرخ آبشستگی.

Figure 11. Effect cross-sectional shape Piggyback line on the scour profiles.

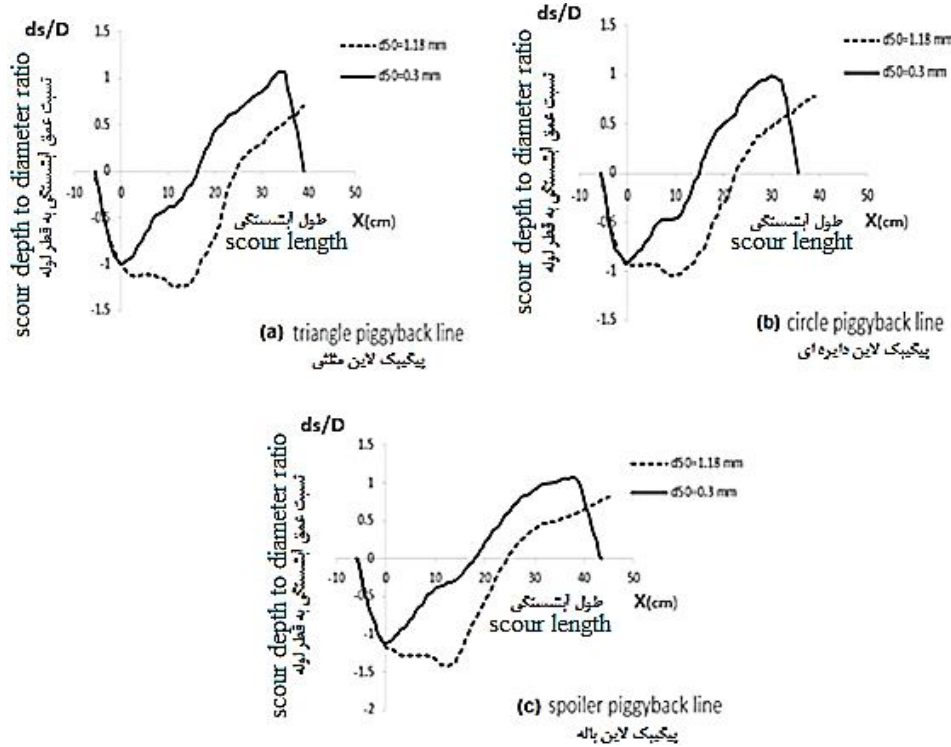
بستر، عمق حداکثر آبشستگی، با تغییرات اندازه متوسط رسوبات بستر با اختلاف کمی تغییر کرده و نتیجه شده است که عمق حداکثر آبشستگی زیر خطوط لوله افقی، بستگی چندانی به اندازه متوسط دانه‌های رسوبی بستر ندارد. عطایان و یاسی (۲۰۱۲) گزارش کردند که ضریب یکنواختی و انحراف معیار مواد رسوبی، تأثیر زیادی بر عمق، آبشستگی اطراف لوله می‌گذارد. بدین صورت که هرچه مواد رسوبی بستر غیریکنواخت‌تر باشد، به‌علت قفل‌شدگی ذرات و تشکیل لایه‌های محافظ در حفره آبشستگی، مقاومت بستر در برابر نیروهای هیدرودینامیکی جریان افزایش یافته و عمق حداکثر آبشستگی کاهش می‌یابد (۱). در این پژوهش دانه‌بندی ۱/۱۸ میلی‌متر با انحراف معیار کوچک‌تر از ۱/۴ به‌عنوان دانه‌بندی تقریباً یکنواخت محسوب می‌شود. همان‌طوری‌که در نیمرخ‌های رسم شده مشخص است، تأثیر دانه‌بندی یکنواخت و پارامترهای مورد اندازه‌گیری در آزمایش‌های حاضر، نظیر: عمق آبشستگی، طول گودال آبشستگی و طول موج رسوبی منتقل شده به پایین‌دست لوله را به‌طور چشم‌گیری افزایش داده است. عمق آبشستگی تحت تأثیر شکل پیگیکلاین می‌باشد و برای حالت

با نصب پیگیکلاین بر روی لوله، عامل مساحت مقطع لوله که عمود بر جریان است و سبب انسداد در مسیر مستقیم جریان می‌شود، بزرگ‌تر شده و در نتیجه گرادیان فشار بین نقاط A و B که در (شکل ۴) نشان داده شده، افزایش می‌یابد (افزایش عامل موثر بر پدیده رگاب) و به سبب آن خطوط جریان بیش‌تری از مسیر مستقیم خود منحرف می‌شوند و گردابه‌های بالادست و پایین‌دست لوله با طول بزرگ‌تر و قدرتی بیش‌تر سعی در خالی کردن بستر زیر لوله می‌نمایند. نتایج نیمرخ آبشستگی برداشت‌شده از بستر پس از به تعادل رسیدن عمق گودال آبشستگی بیانگر آن است که؛ ابعاد آبشستگی با قرار دادن پیگیکلاین روی لوله اصلی افزایش یافت. با کمی دقت در (شکل ۱۱) می‌توان دریافت که مشخصه‌های ابعادی گودال آبشستگی به شکل پیگیکلاین نصب شده روی آن بستگی دارد. به‌طوری‌که برای پیگیکلاین تیغه‌ای بیش‌ترین مقدار را برای عمق و طول گودال آبشستگی داریم و همچنین کم‌ترین را پیگیکلاین لوله‌ای به خود اختصاص می‌دهد.

بررسی‌های انجام شده در (شکل ۱۲) نشان می‌دهد که در شرایط آستانه حرکت مواد رسوبی

که لوله به صورت منفرد روی بستر رسوبی نصب شده باشد.

پیگیکلاین‌های تیغه‌ای (باله) ۲/۴۲، پیگیکلاین مثلثی ۲/۲۵ و برای پیگیکلاین دایره‌ای نصب شده روی لوله اصلی ۱/۹ برابر بیشتر از حالتی است



شکل ۱۲- تأثیر  $d_{50}$  بر نیمرخ آبهستگی در حالت اتصال اشکال متفاوت از مقطع پیگیکلاین.

Figure 12. Effect  $d_{50}$  on scour profiles in the different forms of cross-connection Piggyback line.

جدول ۲- تغییرات حجم گودال آبهستگی.

Table 2. Scour hole volume variation.

حجم آبهستگی Scour Hole Volume (cm <sup>3</sup> )	اصلی شکل پیگیکلاین Piggyback Line Shape	قطر لوله D (cm)	شماره آزمایش Experimental Number
287	.....	2	1
391	.....	3.2	2
456	.....	3.8	3
1290	باله Spoiler	3.2	4
1230	مثلثی Triangle	3.2	5
1080	دایره‌ای Circle	3.2	6

۵. در مقادیر  $(y_n/D \geq 3/5)$  تأثیر تغییرات عمق آب بر میزان حداکثر عمق آبشستگی کم شده و به تدریج از بین می‌رود.

۶. پیگیکلاین نصب شده روی لوله اصلی، خصوصیات هیدرولیکی جریان اطراف لوله را تغییر داده و در نتیجه طول و عمق آبشستگی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. مشاهده عینی نشان داده است که با به‌کارگیری شکل‌های متفاوتی از مقطع پیگیکلاین در شرایط ارتفاعی برابر، طول گودال آبشستگی به‌طور تقریبی برای همه شکل مقطع‌های پیگیکلاین برابر است و در نتیجه فقط به ارتفاع جسم انسدادکننده جریان بستگی دارد و به شکل آن بستگی ندارد. اما طول موج رسوبی پیشرو و عمق آبشستگی تحت تأثیر شکل پیگیکلاین نصب شده روی لوله می‌باشد. در حالت‌های مختلف شکل پیگیکلاین، تیغه‌ای (باله)، مثلثی و دایره‌ای به ترتیب  $2/42$ ،  $2/25$  و  $1/9$  برابر بیش‌تر از حالت لوله منفرد است. تفاوت عمق حداکثر آبشستگی بین مدل تیغه‌ای و مثلثی، کم و در مدل دایره‌ای تفاوت بیش‌تری را نشان می‌دهد. پس نتیجه‌گیری شد که، مدل مثلثی برای افزایش مقدار عمق حداکثر آبشستگی نسبت به مدل باله (اسپولر) ارجح می‌باشد.

۷. نصب پیگیکلاین روی لوله، حجم آبشستگی را  $3-4$  برابر لوله ساده افزایش داده است. به‌طوری‌که پیگیکلاین با شکل مقطع تیغه‌ای (باله)، بیش‌ترین حجم آبشستگی را به‌وجود می‌آورد. مقدار حجم گودال آبشستگی پیگیکلاین‌های باله‌ای و مثلثی بسیار نزدیک بهم می‌باشد. کم‌ترین حجم آبشستگی مربوط به حالتی است که پیگیکلاین با مقطع دایره‌ای، روی لوله اصلی نصب شده باشد.

با استفاده از نرم‌افزار surfer تغییرات حجم گودال آبشستگی برای لوله ساده و لوله همراه با پیگیکلاین نصب‌شده روی آن، با شکل‌های مختلف به‌دست آمد (جدول ۲). با نصب پیگیکلاین روی لوله اصلی حجم آبشستگی  $3-4$  برابر لوله ساده می‌باشد. به‌طوری‌که پیگیکلاین با شکل مقطع تیغه‌ای (باله)، بیش‌ترین حجم آبشستگی را به‌وجود می‌آورد. مقدار حجم گودال آبشستگی پیگیکلاین‌های باله‌ای و مثلثی بسیار نزدیک بهم می‌باشد. کم‌ترین حجم آبشستگی مربوط به حالتی است که پیگیکلاین با مقطع دایره‌ای، روی لوله اصلی نصب شده باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش به بررسی اثر هندسه پیگیکلاین نصب‌شده روی لوله اصلی پرداخته است. در این راستا به کمک تحلیل ابعادی و روش پای-باکینگهام عوامل مؤثر بر این موضوع مورد توجه قرار گرفت. نتایج کلی به‌صورت زیر خلاصه شده است.

۱. افزایش قطر لوله موجب کاهش حداکثر عمق بدون‌بعد گودال آبشستگی  $\frac{ds}{D}$  می‌گردد. بنابراین در مورد لوله‌های قطور، لوله در بستر دفن نمی‌شود و یا در زمان طولانی مقدار کمی در بستر فرو می‌رود.
۲. هر دو پارامتر بدون‌بعد  $\frac{Ls}{D}$  و  $\frac{ds}{D}$  با افزایش عدد فرود جریان، افزایش می‌یابند. به‌عبارتی با کاهش عمق آب، عمق آبشستگی، افزایش می‌یابد.
۳. گودال آبشستگی دارای شیبی تند در بالادست و شیبی ملایم در پایین‌دست می‌باشد.
۴. قطر ذرات بستر در میزان آبشستگی تأثیر زیادی ندارد، ولی انحراف معیار مواد رسوبی تأثیر زیادی بر میزان و محل تشکیل حداکثر عمق و شکل آبشستگی زیر خطوط لوله دارد.

### منابع

1. Ataeiyan, A., and Yasi, M. 2012. Estimate the maximum depth of scour around a pipeline crossing the river. 11<sup>th</sup> conference of Hydraulic of Iran.
2. Bijker, E.W., and Leeuwestein, W. 1984. Interaction between pipelines and the seabed under influence of waves and currents. Seabed Mechanics, IUTAM Conference, Graham and Trotman, Pp: 235-242.
3. Cheng, L., and Chew, W.L. 2003. Modeling of flow around a near-bed pipeline with a spoiler. Ocean Engineering. 30: 1595-1611.
4. Chiew, Y.M. 1990. Mechanics of local scour around submarine pipelines. J. Hydr. Engin. ASCE. 116: 4. 515-529.
5. Chiew, Y.M. 1992. Effect of spoilers on scour at submarine pipelines. J. Hydr. Engin. ASCE. 118: 9. 1311-1317.
6. Hansen, E.A., Fredsøe, J., and Sumer, B.M. 1991. Time-development of scour induced free spans of pipelines. Proc. 10<sup>th</sup> Int. Symp. On Offshore Mech. Arctic Eng. ASME. 5: 25-32.
7. Hosseini, D., Hakimzadeh, H., and Ghiassi, R. 2004. Scour below submarine pipeline due to currents. ICSE. 53-PIP-A1073, Singapore, Nov.
8. Hulsbergen, C.H. 1986. Spoilers for stimulated burial of submarine pipelines. Proc., 18<sup>th</sup> Offshore Technol. Conf. OTC. 5339: 441-444.
9. Hulsbergen, C.H., and Bijker, R. 1989. Effect of spoilers on submarine pipeline stability. OTC 6154: 337-350.
10. Ibrahim, A., and Nalluri, C. 1986. Scour prediction around marine pipelines. Proc., 5th Int. Symp. on offshore Mechanics and Arctic Engineering, ASME, New York. Pp: 679-684.
11. Kjeldsen, S.P., Gjørsvik, O., Bringaker, K.G., and Jacobsen, J. 1973. Local scour near offshore pipelines. in: Proc., 2nd Int. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Univ. of Iceland, Pp: 308-331.
12. Mao, Y. 1986. The interaction between a pipeline and an erodible bed. Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
13. Maza, J.A. 1987. Introduction to river engineering. Advanced Course on Water Resources Management, University Italiana per Stranieri, Perugia, Italy.
14. Melville, B.W. 1997. Pier and Abutment Scour: Integrated Approach J. Hydr. Engin. ASCE. 123: 2. 125-136.
15. Moncada-M, A.T., and Aguirre-Pe, J. 1999. Scour below pipeline in river crossings. J. Hydr. Eng. 125: 9. 953-958.
16. Sumer, B.M., and Fredsøe, J. 1990. Scour below pipelines in waves. J. Water w. Port, Coast. Ocean Eng. ASCE. 116: 3. 307-323.
17. Sumer, B.M., and Fredsoe, J. 2002. The mechanics of scour in the marine environment. Advanced series on ocean engineering, vol. 17. World Scientific.
18. Sumer, B.M. 2004. Physical and mathematical modelling of scour, Proc, 2<sup>th</sup> ICSE, Singapore.
19. Yang, L., Guo, Y., Shi, B., Kuang, C., Xu, W., and Cao, S. 2012. Study of Scour around Submarine Pipeline with a Rubber Plate or Rigid Spoiler in Wave Conditions. J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng. 138: 6. 484-490.
20. Yang, Z.D. 1996. Sediment transport: Theory and Practice. New York, The Mc Graw-Hill Companies.
21. Zhao, J.P., and Wang, X.C. 2009. CFD Numerical simulation of the submarine pipeline with a spoiler. J. Offshore Mech. Arct. Eng. 131: 3. 036011-036015.



## The effect of Piggyback line on local scour below horizontal pipe lines

\*S. Moradi<sup>1</sup>, K. Esmaili<sup>2</sup>, M.R. Akbarzadeh<sup>3</sup> and S.R. Khodashenas<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student of Water Structures, Ferdowsi University of Mashhad, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, <sup>4</sup>Professor, Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 12/26/2015; Accepted: 09/06/2016

### Abstract

**Background and Objectives:** Waste water or fuel pipelines transmission from the erosion bed of sea and river causes an interaction between water and erosion bed which results in some changes in hydrodynamic flow around the tube which caused some scour under the pipeline. As a result, it may lead to instability, bending and even breaking the pipe. To protect the pipelines in counter with potential risks, understanding of amount and scouring pattern around the pipe is necessary.

**Materials and Methods:** The present study has investigated the scour below the horizontal pipeline in a laboratory flume with three different pipe diameters (2, 3.2, 3.8 cm), located on the erosion bed with two medium-size of sediment (0.3, 1.18 mm) and three different shape of Piggyback line (blade, circle, triangle), under the steady, resistant and a unidirectional in lucid water conditions ( $V/V_C \approx 0.9$ ). First of all, using Pi-Bukingham method all the dimensional parameters affecting on local scour under the pipeline analyzed. Then by various experiments some important and dimensionless parameters such as diameter of the pipe, Froude number of flow, depth of flow, average grain size of the sediment of bed and the shape of Piggyback line have been surveyed on maximum depth scour. Results demonstrated that the surface area of barrier opposite of flow effects on final mount of scour and it increases by accretion of pipe diameter, depth of maximum scour and consuming time up to balanced final sour.

**Results:** According to Experimental results, the surface area of the barrier affects the flow path in the final scour and by increasing diameter of the pipe, a maximum depth of scour and time reaching to the final balance of scour increase. In this research, by increasing in Froude number in a constant diameter of pipe and soil grading size, maximum depth of scour obtained in Froude number of 3.0. The depth of flow effects on depth of scour at  $y_n/D \leq 3.5$  was almost negligible. In this regard, in small amount of this ratio, depth of scour is independent of depth of flow. On the other hand, average grain size of the sediment doesn't have a considerable impact on maximum depth of scour. But, because the standard deviation of grain size of the sediment with an average size in 1.18 mm, was less than 1.4 (high uniformity), it can be concluded that the standard deviation has a significant effect in amount and location of maximum scour depth and can change the scour profiles significantly. By using different forms of Piggyback line in equal height, length of hole scour became equal approximately and it just depended on length of obstacle opposite of flow. The observation showed that the wave length of the leading sediment and scour is affected by Piggyback line. It was in blade Piggyback line form 2.42, triangle Piggyback line form 2.25 and circle Piggyback line form established on main pipe 1.19 times more than single pipe on the detrital bed. Different depth in maximum sour between blade and triangle Piggyback line was less but in accordance with circle ones it was more.

**Conclusion:** Our results demonstrate that any change in stabilized Piggyback line on main pipe can affect scour pattern of under horizontal pipe line. To increase in the maximum depth of scour and transmission of electricity, telephone cables and water-sewer duct along the main pipe, triangle Piggyback line is the better option to replace the spoilers which have been used these days.

**Keywords:** Local scour, Piggyback line, Maximum depth of scour, Transmission pipe line

---

\* Corresponding Author; Email: moradi.sobhan@fum.um.ac.ir

