علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤١، شماره‌ی٤، زمستان ٩٧، ص. ١٨٧-١٧٣

بررسی توسعه زمانی آبشستگی اطراف خطوط لوله با بهینه‌یابی موقعیت نصب پیگیبک‌لاین

سبحان مرادی[١]، کاظم اسماعیلی[٢*] و سعیدرضا خداشناس[٣]

١- دانشجوی دکترا، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی آب– سازه‌های آبی.
٢*- نویسنده مسئول، دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب Esmaili@um.ac.ir
٣- استاد دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب.

دریافت: ٩٥/٥/١٣ بازنگری: ٩۶/٢/١٩ پذیرش: ٩۶/٢/٢٣

چکیده

حفاظت از خطوط لوله انتقال آب- فاضلاب و یا مواد سوختی، روی بستر فرسایشی دریا و رودخانه‌ها در برابر عواملی چون خمش، لغزش و حتی شکستگی از مسائل مهم و پرهزینه در مهندسی دریا بحساب می‌آید. مشاهدات عینی نشان داد، خطوط لوله که بر بستر فرسایشی دریا و رودخانه‌ها قرار گرفته، در اثر آبشستگی موضعی ایجاد شده، دچار دفن طبیعی (خود دفنی لوله) در بستر رسوبی می‌شود. اما در شرایط طبیعی فرآیند دفن با سرعت کمی اتفاق می‌افتد. از اینرو با نصب زائده‌ای روی خطوط لوله، سعی در افزایش سطح مقطع عمود بر جریان (ایجاد تغییرات الگوی جریان در اطراف خط لوله) و نهایتاً وقوع فرسایش در سرعت‌های محیطی کمتر و با شدت بیشتر می‌باشد. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که نصب باله در بالای خط لوله، سبب افزایش مقدار فرسایش در اطراف لوله می‌شود. کاربرد پیگیبک‌لاین(Piggyback line) نصب شده با شکل مقطع و زوایای متفاوت، روی خطوط لوله اصلی می‌تواند تفاوت عمده‌ای با تحقیقات انجام شده قبلی داشته باشد. در پژوهش حاضر، به روش پای-باکینگهام(Pi-Bukingham) تمامی متغیرهای تأثیرگذار بر ابعاد آبشستگی موضعی زیر خطوط لوله، تحلیل ابعادی شده است. و تأثیر پارامترهای بدون بعد بدست آمده مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نتایج آزمایشگاهی حاکی از آن است که، آبشستگی لوله به همراه پیگبیک‌لاین تا ٢ برابر نسبت به لوله ساده افزایش یافته است. پیگیبک‌لاین با شکل مقطع مثلثی، برای افزایش مقدار عمق حداکثر آبشستگی در زاویه نصب منفی ١٣٥ درجه، دارای بهترین عملکرد بوده است. و در بستر ریزدانه بطور میانگین تا ٤ برابر و در بستر درشت‌دانه بطور میانگین تا ٦ برابر عمق آبشستگی را نسبت به حالت لوله ساده افزایش می‌دهد.

کلید واژه‌ها: فرسایش تونلی، آبشستگی، پیگیبک‌لاین، خط لوله.

مقدمه

کاربرد خطوط لوله به جهت انتقال آب–فاضلاب، نفت و مشتقات آن، روی بستر فرسایشی رودخانه‌ها و دریاها، موجب بروز آبشستگی موضعی، در بستر اطراف خط لوله می‌شود. آبشستگی ایجاد شده موجب ناپایداری خط لوله در محل استقرار خود شده و در نهایت سبب ایجاد درز و ترک و حتی شکستن خط لوله را به همراه دارد. در صورت بروز مشکل برای این خطوط لوله، علاوه بر خسارات اقتصادی فراوان ناشی از شکستن لوله، لطمه‌های زیست محیطی 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، با پوشش بتنی پوشیده یا در عمق مناسبی از بستر با حفر ترانشه دفن شوند. مدفون سازی خط لوله انتقال هزینه قابل توجهی را به دنبال خواهد داشت. خطوط لوله که بر بستر فرسایشی دریا و رودخانه‌ها قرار گرفته، قابلیت آن را دارا می‌باشد که به علت آبشستگی موضعی،دچار خود دفنی طبیعی شود. اما در شرایط طبیعی فرآیند خوددفنی با سرعت کمی اتفاق می‌افتد. از اینرو با نصب اسپویلر روی خطوط لوله، سعی در کاهش هزینه حفاظت و دفن لوله با سرعت بیشتر از حفر مکانیکی ترانشه می‌باشد.نصب اسپویلر و پیگیبک‌لاین روی خطوط لوله انتقال، در مقایسه با یک لوله ساده سبب تغییرات الگوی جریان در اطراف خط لوله و نهایتاً وقوع فرسایش در سرعت‌های محیطی کمتر و با شدت بیشتر و در نتیجه خوددفنی سریعتر خطوط لوله می‌گردد. از اینرو لازم است، ابتدا به شرایط فرسایش‌پذیری بستر توجه شود و از این دیدگاه حداکثر عمق آبشستگی زیر خطوط لوله را تخمین زد. بنابر اهمیت موضوع،تعیین ابعاد چاله آبشستگی زیر خطوط لوله و بررسی عوامل شتاب دهنده و موثر بر آن امری مهم در مهندسی دریا بحساب می‌آید. تاکنون مطالعات زیادی در مورد آبشستگی اطراف خطوط لوله صورت گرفته است.

Kjeldsen et al. (1973)، Bijker و Leeuwestein (1984) و Ibrahim و Nalluri (1986) آبشستگی موضعی اطراف خطوط لوله را تحت تأثیر جریان یک سویه، آب زلال و بستر فعال مورد بررسی قرار دادند و با بیان معادلاتی، عمق آبشستگی روی بستر فعال را به سرعت، عمق جریان، قطر لوله واندازه ذرات بستر وابسته دانستند. Maza (1987) بیان داشت که عمق حفره آبشستگی در پایین‌دست خط لوله، تابعی از عدد فرود $Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$ و نسبت $\frac{e}{D}$ و $\frac{d_S}{D}$ است. Hulsbergen (1986) و Chiew (1992)، 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 آبشستگی را تحت تأثیر خود قرار دهد و عمق چاله آبشستگی را افزایش، زمان رسیدن به تعادل آبشستگی را کاهش دهد. Mao (1986) عمق آبشستگی زیر خط لوله را به صورت تابعی از عدد فرود جریان و فاصله بدون‌بُعد بین لوله و بستر دست نخورده بیان کرد. Hulsbergen و Bijker (1989) زمان به تعادل رسیدن آبشستگی 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 آبشستگی زیر خط لوله تا دو تا سه برابر قطر خود شدند. Sumer و Fredsøe (1990) عمق حفره آبشستگی زیر خط لوله ساده را همواره کمتر از قطر لوله گزارش کردند.

$$\frac{d_s}{D} = 0.6 \pm 0.1 \qquad (۱)$$

که در آن ds عمق آبشستگی و D قطر لوله است.

Chiew (1990) نشان داد که اگر نسبت عمق جریان به قطر لوله بیش از ۳/۵ باشد، آبشستگی موضعی زیر خطوط لوله روی بستر فعال دریا تحت تأثیر عمق آب اتفاق نمی‌افتد و همچنین حداکثر عمق آبشستگی را وقتی دانست که تنش برشی فعال با تنش برشی بحرانی برای کشیده شدن روی بستر رسوبات برابر باشد. Hansen et al. (1991) نحوه توسعه چاله آبشستگی زیر خط لوله را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که اگر لوله در ابتدا کمی زیر بستر قرار داده شود، توسعه چاله آبشستگی را آهسته‌تر می‌کند و بر حسب مقدار جاگذاری لوله زیر بستر، ممکن است توسعه چاله آبشستگی متوقف شود. Moncada-M و Aguirre-Pe (1999) عمق آبشستگی نهایی با افزایش عمق جریان y_n در آبهای کم عمق افزایش می‌یابد و برای ($y_n/D \geq 5$) تأثیری بر روی عمق آبشستگی ندارد. Cheng و Chew (2003) و Zhao و Wang (2008) با شبیه سازی ناحیه جریان اطراف خط لوله همراه با باله نصب شده روی آن، دریافتند که نیروی دراگ بالابرنده و تنش برشی در بستر و عمق آبشستگی با وجود باله افزایش می‌یابد. Zhao et al. (2009) با شبیه سازی فرآیند آبشستگی و خود دفنی خط لوله زیر دریایی با نرم افزار Fluent در حالت لوله ساده و با نصب باله روی این لوله‌ها دریافتند که عمق و سرعت جریان از عوامل تأثیرگذار بر تنش برشی بستر است و ارتفاع باله تأثیری روی تنش برشی بستر ندارد. Dey و Singh (2008) نیز با بررسی فاکتورهای زیادی که روی عمق تعادلی آبشستگی اطراف خط لوله تأثیر می‌گذارند، بیان کردند که عمق آبشستگی با افزایش عمق جریان افزایش می‌یابد ولی تا زمانی که نسبت عمق جریان به قطر لوله به ۵ برسد. Yang et al. (2012) با استفاده از نتایج آزمایشگاهی نشان دادند که عدد فرود جریان و ارتفاع باله اثرات موثری در عمق آبشستگی زیر خطوط لوله افقی دارند. سپس فرمول‌هایی جهت پیش‌بینی عمق آبشستگی براساس مشخصات سرعت جریان در زیر خط لوله در دو حالت با و بدون باله پیشنهاد دادند. Shan et al. (2015) با بررسی عددی خوددفنی لوله به همراه باله نصب شده روی آن و در حالت جابجایی، به کمک نرم افزار Fluent دریافتند که افزایش عدد فرود در نزدیک بستر به افزایش سرعت دفن لوله کمک می‌کند.

تاکنون مطالعات آزمایشگاهی یا عددی صورت گرفته در مورد آبشستگی اطراف لوله‌های افقی، مربوط به لوله در حالت ساده و به همراه باله تیغه‌ای (اسپویلر) نصب شده روی آن بوده است. اما بررسی آبشستگی اطراف لوله به همراه پیگیبک‌لاین تاکنون صورت نگرفته است. با توجه به اینکه پیگیبک‌لاین مورد استفاده در این پژوهش، شکل و ساختار متفاوت نسبت به باله بکار برده شده در پژوهش‌های قبلی دارد. ممکن است شرایط آبشستگی اطراف لوله را تحت تأثیر قرار دهد. لذا تعیین شکل مقطع و زوایه نصب بهینه سازه جدید روی لوله اصلی لازم است مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی تأثیر پیگیبک‌لاین نصب شده روی لوله اصلی بر مشخصه‌های گودال آبشستگی، پرداخته شده است. همچنین بررسی‌های بیشتر برای جایگزینی با باله، و کارایی دو منظوره پیگیبک‌لاین؛ (افزایش آبشستگی موضعی و عبور کابل‌های برق و تلفن و حتی آب–فاضلاب) به همراه لوله اصلی مد نظر بوده است.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

هدف از آنالیز ابعادی شناخت پارامترهای بعددار تأثیر گذار روی مدل آزمایش و بدست آوردن نسبت‌های بی‌بُعد و بیان ارتباط بین این نسبت‌ها می‌باشد. بدین منظور از روش پای- باکینگهام استفاده شده است. متغییرهای تأثیرگذار بر عمق و طول گودال آبشستگی زیر خط لوله افقی به صورت رابطه (۲) و(۳) می‌باشد.

$$d_S = f(L_S, V, D, h, g, y_n, \rho_w, \rho_s, \mu, S_f, d_{50}, F_S, \alpha) \qquad (۲)$$

$$L_S = f(d_S, V, D, h, g, y_n, \rho_w, \rho_s, \mu, S_f, d_{50}, F_S, \alpha) \qquad (۳)$$

در اینجا طول آبشستگی نهایی، d_s عمق گودال آبشستگی، V سرعت متوسط جریان، D قطر لوله، y_n عمق جریان، ρ_w و ρ_s به ترتیب چگالی آب و رسوبات(چگالی نسبی $S_g = \frac{\rho_s}{\rho_w}$)، μ لزجت دینامیکی آب، S_f شیب خط انرژی، h ارتفاع پیگیبک‌لاین، d_{50} قطر متوسط ذرات رسوبی، F_S فاکتور شکل پیگیبک‌لاین، α زاویه نصب پیگیبک‌لاین با محور عمودی، g شتاب گرانش، می‌باشند، (شکل ۱) و رابطه(۲ و ۳).

$$\frac{d_S}{D}, \frac{L_S}{D} = F\left(\frac{y_n}{D}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{h}{D}, S_g, Fr, S_f, \tau_*, Re, F_S, \alpha\right) \qquad (۴)$$

در رابطه (۴) عدد فرود $Fr=\frac{V}{\sqrt{g.y_n}}$، عدد رینولدز $\mathrm{Re}=\frac{\rho.V.D}{\mu}$، تنش برشی(پارامتر شیلدز) $\tau_*=\frac{y_n.S_f}{[(\rho_s-\rho_w)/\rho_w].d_{50}}$می‌باشند.

از آنجا که جریان در حالت یکنواخت تنظیم شده است و شیب کف فلوم، ثابت می‌باشد، تأثیر S_f نادیده گرفته می‌شود.

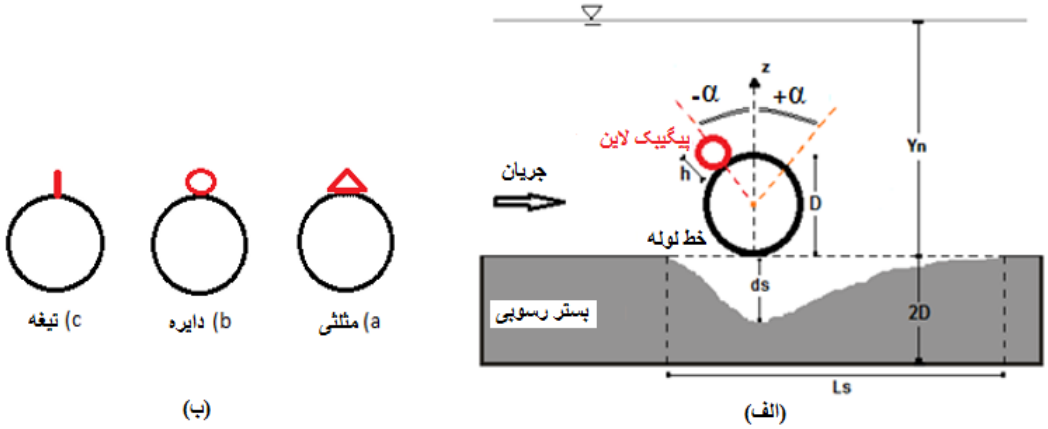
Moncada-M و Aguirre-Pe (1999) و Sumer و Fredsoe (2002) ثابت کردند که عدد رینولدز با مقداری بین $4*10^3-2.6*10^4$ در فرآیند آبشستگی برای لوله صاف مورد استفاده در این مطالعه، اثر ضعیفی دارد و قابل چشم پوشی است. در اینجا حداکثر عدد رینولدز برابر است با $1.1*10^4$ و در نهایت معادله ابعادی به صورت زیر حاصل می‌شود.

$$\frac{d_s}{D}.\frac{L_s}{D}=F\left(\frac{y_n}{D}.\frac{d_{50}}{D}.S_g.Fr.\tau_*.F_S.\alpha\right) \qquad (۵)$$

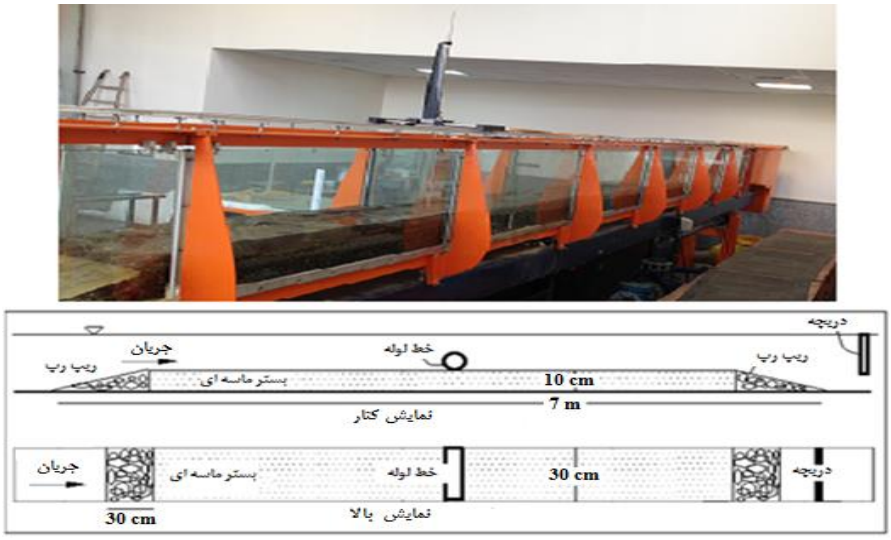
تجهیزات آزمایشگاهی:

آزمایش‌های این پژوهش در فلوم مستطیلی با اسکلت فلزی و دیواره از جنس شیشه به طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر، در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد، انجام شده است، (شکل۲).

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 حدوداً ۳۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد که از طریق سیستم دبی سنج الکترونیکی با دقت ۰/۵± لیتر بر ثانیه قابل اندازه‌گیری است.



شکل ۱-(الف) پارامترهای موثر برآبشستگی موضعی. (ب)شکل مقطع متفاوت پیگیبک لاین



شکل۲- فلوم آزمایشگاهی

مهمترین بخش کارهای آزمایشگاهی انجام دقیق آزمایش‌ها و ثبت مشاهده و نتایج عینی می‌باشد. به همین منظور، اندازه‌گیری عمق جریان و نیم‌رخ آبشستگی به کمک عمق‌سنج با دقت ±۰/۱ میلی‌مترانجام 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 شکل مقطع‌های متفاوت و با زوایای نصب ۰، ۴۵، ۹۰، ۱۳۵و ۱۸۰ درجه، مورد بررسی قرار گرفته است. بستر رسوبی به طول ۷ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۱ متر تنظیم شد و لوله‌ها روی آن به دیواره فلوم نصب شده است. برای کنترل سطح آب جهت مستغرق شدن لوله و برقراری ($y_n/D \geq ۳/۵$) برای هر لوله به قطرD، از دریچه‌ای خوابان نصب شده در پایین‌دست کانال استفاده شده است.

روشی معمول برای قضاوت آستانه حرکت رسوب،توسط Yang (1996) پیشنهاد شده است:

روش سرعت بحرانی: یکی از شرایط مورد نیاز برای برقراری آبشستگی در آب زلال، تنظیم تقریبی ($V/V_c \approx ۰/۹$) می‌باشد.سرعت بحرانی V_c با رابطه نیمه لگاریتمی Melville (1997) محاسبه می‌شود.

$$\frac{V_c}{V_{*c}} = 5.75\log(5.53\frac{y_n}{d_{50}}) \qquad (۶)$$

در اینجا؛ V سرعت متوسط جریان، V_c سرعت بحرانی و V_{*c} سرعت برشی بحرانی ذرات بوده که از دیاگرام شیلدز و یا با فرمول Melville بصورت زیر برآورد می‌شود:

$$V_{*c} = 0.0115 + 0.0125\, d_{50}^{1.4} \quad => \quad 0.1mm < d_{50} < 1mm \qquad (۷)$$

$$V_{*c} = 0.0305 d_{50}^{0.5} - 0.0065\, d_{50}^{-1} \quad => \quad 1mm < d_{50} < 100mm \qquad (۸)$$

تشخیص آستانه حرکت براساس مشاهده عینی، روش نسبتا مناسب است که مورد توجه بسیاری از پژوهشگران می‌باشد. از آنجا که دست‌یابی به یک دانه‌بندی کاملاً یکنواخت امری مشکل می‌باشد لذا برآورد آستانه حرکت به هر روشی دارای خطا خواهد بود. مشخصات ذرات در جدول (۱) آورده شده است.

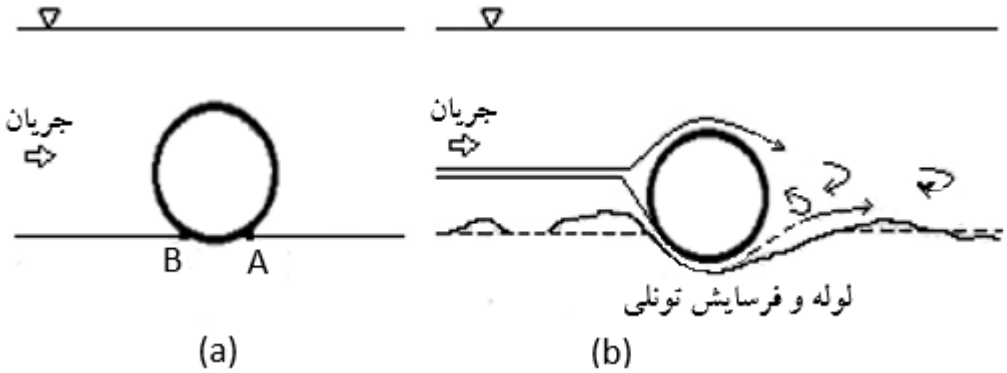
دراین آزمایش، برای بستر فرسایشی و غیرچسبنده، دو دانه‌بندی مختلف در نظر گرفته شده است. ماسه ریزدانه با قطر متوسط ۰/۳ میلی‌متر و ماسه درشت دانه‌تر با قطر متوسط ۱/۱۸ میلی‌متر. آزمایش شاهدی به‌وسیله یک لوله ساده انجام شده است که به‌عنوان مبنایی برای مقایسه آزمایش‌های انجام شده، با نصب پیگیبک‌لاین بحساب می‌آید.

نحوه انجام آزمایش

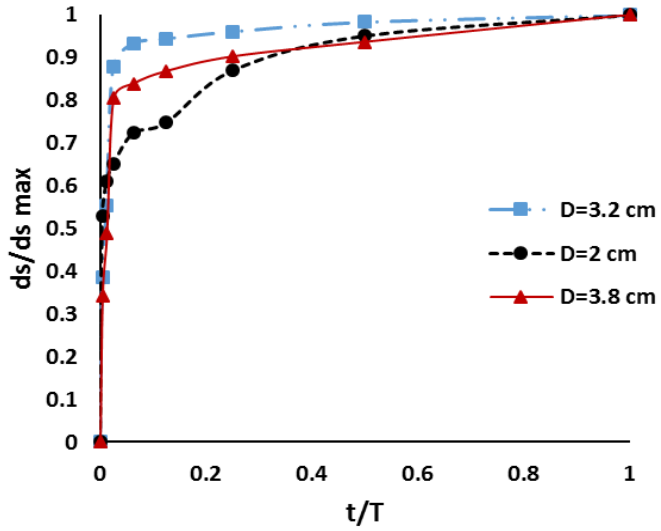
برای شروع انجام آزمایش، بستر کانال را به طول ۷ متر، رسوب ریخته و به روش ماله‌کشی به صورت کاملا افقی (در جهت طولی و عرضی فلوم) تنظیم می‌شود. جهت جلوگیری از آب بردگی و برهم خوردن رسوبات بستر، در ابتدا و انتهای بستر رسوبی مسطح شده، از ریپ‌رپ درشت‌دانه با شیب ۱:۳(۳ در جهت افق:۱ در جهت قائم) استفاده شده است. دریچه پایین‌دست کانال را بسته و پمپ را روشن کرده تا آب بتدریج وارد کانال شود. زمانی که سطح آب داخل کانال به مقدار مورد نیاز برای انجام آزمایش رسید، پمپ را برای چند لحظه خاموش کرده و برای نصب لوله انتخابی به دیواره کانال، اقدام می‌کنیم. عمق جریان برحسب دبی مورد نظر، ($y_n/D \geq ۳/۵$) و برقراری شرایط آب زلال ($V/V_c \approx ۰/۹$) توسط دریچه تنظیم می‌شود. 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، (شکل۳) به زیر خط لوله تغییر مسیر می‌دهند. دانه‌های رسوبی بصورت مخلوطی از آب–رسوب از زیر لوله (نقطه A) خارج می‌شود (پدیده رگاب یا لوله آبشستگی) Sumer (2004) پس از مدت زمان کوتاهی حفره آبشستگی بزرگتر شده و حجم بیشتری از رسوبات زیر لوله را به بیرون پرتاب می‌کند و حجمی از تپه‌ی ماسه که هم حجم گودال آبشستگی است را در پایین‌دست لوله بوجود می‌آورد.

جدول۱-مشخصات رسوبات مورد استفاده در آزمایش

مواد بستر	اندازه رسوبات							وزن مخصوص	یکنواختی		
	D90	D84	D60	D50	D30	D16	D10		ضریب یکنواختی Cc	انحراف معیار δ_g	ضریب خمیدگی Cu
۱	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۳	۰/۳۹	۰/۵۶	۱/۳۳	۲/۶۵	۳/۲۵	۱/۸۱	۱/۱۳
۲	۰/۶۱	۰/۸۶	۱/۰۴	۱/۱۸	۱/۲۵	۱/۳۹	۱/۵۴	۲/۶۵	۲/۰۴	۱/۲	۱/۱۴



شکل۳- مکانیسم شکل‌گیری پدیده رگاب (لوله آبشستگی)

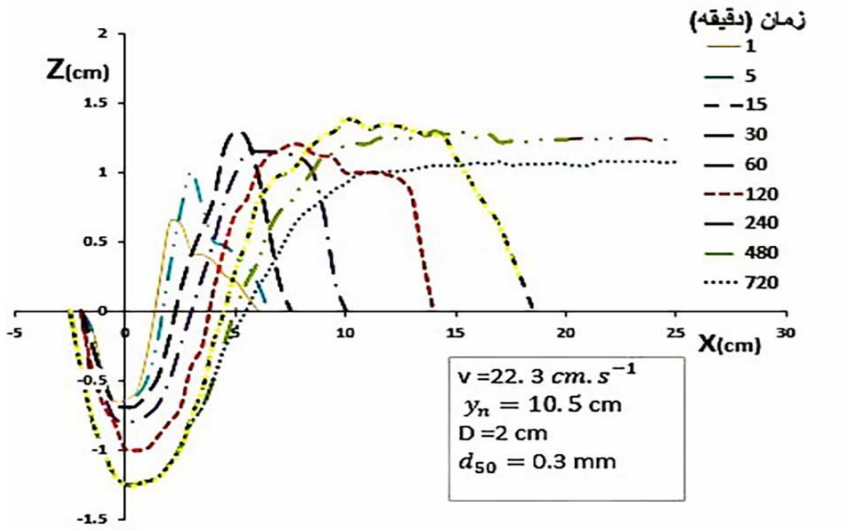


شکل٤- تغییرات زمانی تعادل آبشستگی

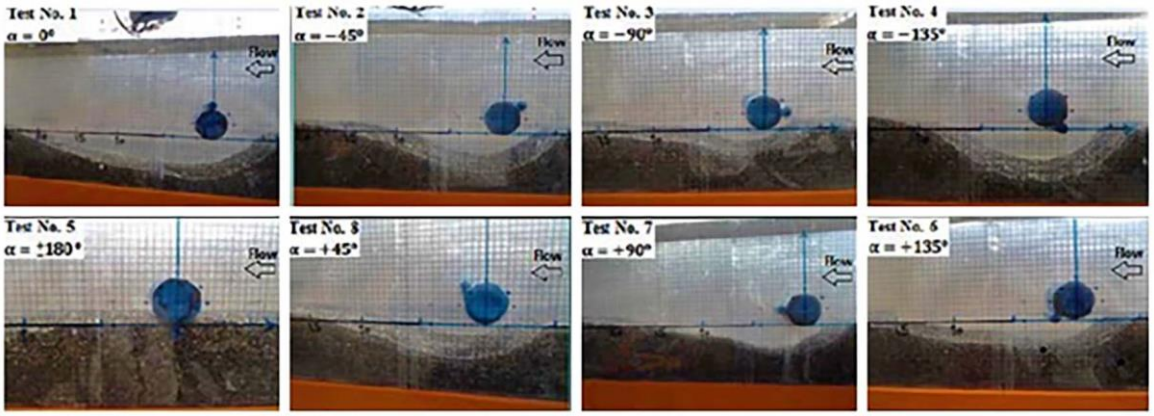
نتایج و بحث

برای بدست آوردن زمان تعادل آبشستگی، آزمایش شاهد، در مدت ۱۲ ساعت انجام گرفته است، (شکل۴). همانطور که مشاهده می‌شود، این نمودار ثابت شدن تغییرات عمق آبشستگی نسبت به زمان را بصورت بی‌بُعد نشان می‌دهد.

مشاهدات عینی نشان داد که پس از گذشت دو ساعت از شروع فرآیند آبشستگی،تغییرات عمق حداکثر آبشستگی زیر لوله بسیار کم شده و فرسایش در جهت افزایش طول گودال آبشستگی رخنمود می‌نماید. که این خود به دلیل شکل‌گیری گردابه‌های بزرگتر و بیشتر در پایین‌دست لوله می‌باشد. بعد از افزایش عمق و سپس طول گودال آبشستگی، به سبب افزایش تنش برشی و سرعت جریان روی پشته رسوبی، نوبت به افزایش سرعت پیشروی موج رسوبی در پایین‌دست گودال آبشستگی می‌رسد، شکل (۵ و ۶). در نهایت سرعت پیشروی موج رسوبی، در پایین‌دست گودال آبشستگی بسیار سریع‌تر از سرعت فرسایش طولی این گودال می‌باشد. بطوری که ۶۵-۷۰ درصد عمق آبشستگی، 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 آبشستگی نهایی رخ داده است. از این رو تمام آزمایشات در مدت زمان ۶ ساعت انجام شد.



شکل۵- تغییرات زمانی نیم‌رخ آبشستگی



شکل٦- نیم‌رخ حفره آبشستگی در حالات متفاوت از زوایای نصب پیگیبک‌لاین با مقطع دایره‌ای

با توجه به نیم‌رخ‌های آبشستگی شکل گرفته، شکل (۷) برای هر۳ قطر لوله، مشخص شده که قطر لوله یکی از پارامترهای اساسی و تعیین کننده روی مشخصات نیم‌رخ آبشستگی بستر فرسایشی می‌باشد. Sumer و Fredsoe (1992) نیز رابطه خطی بین عمق آبشستگی و قطر لوله را ارائه نمودند. افزایش قطر لوله نیز مانند پیگیبک‌لاین، 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 فرسایش یافته از زیر لوله را افزایش می‌دهد، (شکل۸). با مقایسه نیم‌رخ‌های آبشستگی، شکل (۷و۸) می‌توان نتیجه گرفت که شکل مقطع پیگیبک‌لاین بر مشخصه‌های ابعادی حفره آبشستگی تأثیر چشم‌گیری دارد. بطوری که در باله (اسپویلر) بیشترین مقدار عمق و طول گودال آبشستگی (۲/۴۲ برابر)، پیگیبک‌لاین مثلثی (۲/۲۵ برابر) و همچنین کمینه این مقادیر را پیگیبک‌لاین لوله‌ای (۱/۹ برابر) بیشتر از حالت لوله ساده روی بستر فرسایشی به خود اختصاص می‌دهند. همچنین تأثیر پیگیبک‌لاین بیشتر از تأثیر افزایش قطر لوله بر نیم‌رخ آبشستگی مشاهده شده است.

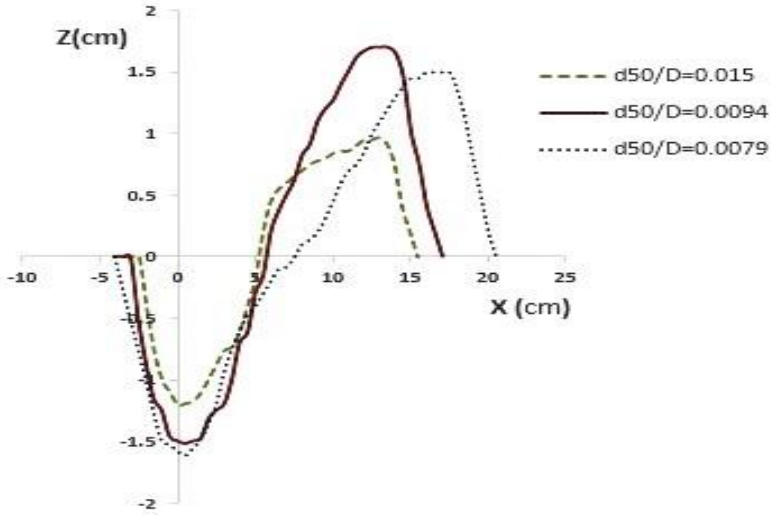
با کمی دقت در شکل (۸) می‌توان دریافت که شیب گودال آبشستگی در پایین‌دست به مراتب ملایم‌تر از شیب گودال در بالادست لوله می‌باشد. علت شکل‌گیری طول و شیب متغییر در بالادست و پایین‌دست لوله را می‌توان به (مکانیسم فرسایش گردابی) طول گردابه‌های چرخشی بزرگتر در پایین‌دست نسبت به بالادست لوله نسبت داد.

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

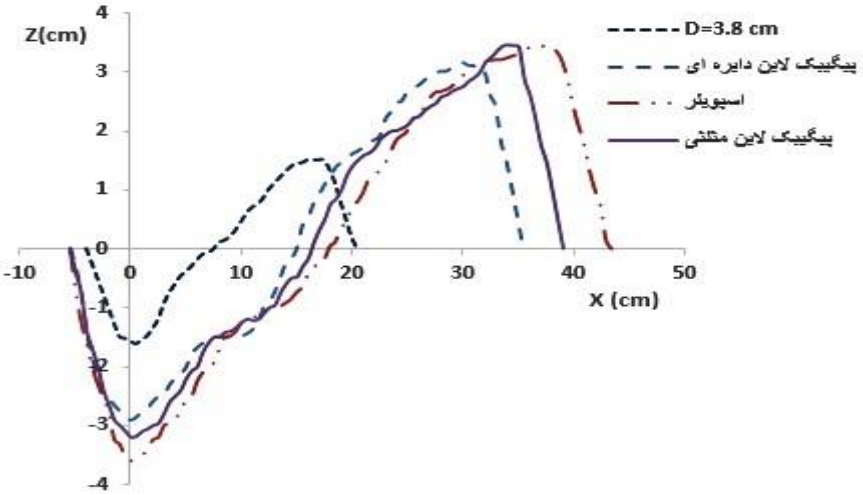
(۹) دانشگاه دلف $d_s = 0.929(\frac{V^2}{2g})^{0.26}.D^{0.78}.{d_{50}}^{-0.04}$

(۱۰) فرمول کجلدسن $d_s = 0.972(\frac{V^2}{2g})^{0.2}.D^{0.8}$

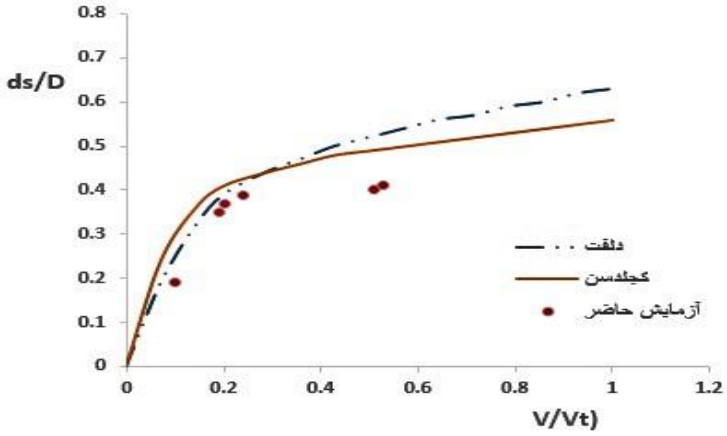
در روابط تجربی ارئه شده، می‌توان دریافت که با افزایش سرعت جریان بیشینه عمق آبشستگی نیز افزایش می‌یابد، و مقادیر بیشترین عمق آبشستگی برآورد شده با فرمول‌ها، اختلاف کمی با نتایج آزمایشگاهی دارد.



شکل۷- تأثیر قطر لوله بر نیم‌رخ آبشستگی



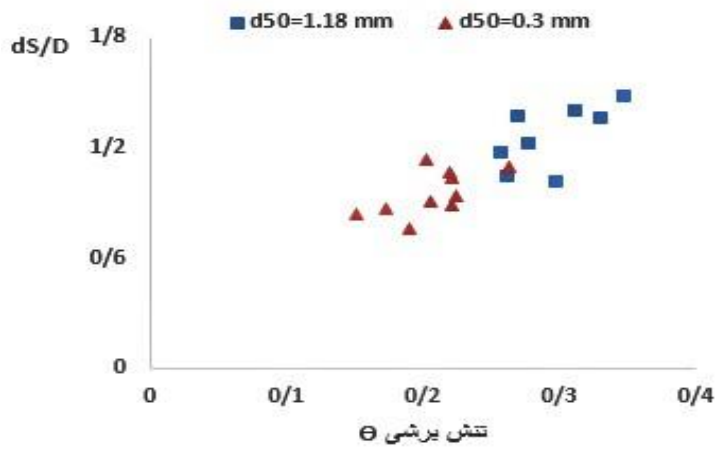
شکل۸- تأثیر شکل مقطع پیگیبک‌لاین روی نیم‌رخ آبشستگی



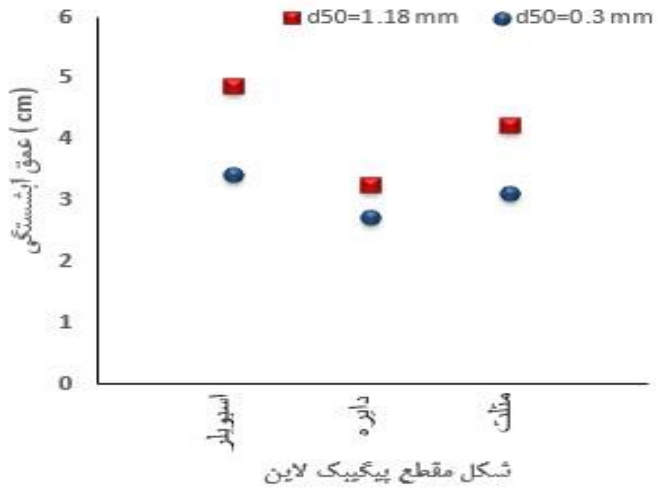
شکل۹- تغییرات $\frac{d_s}{D}$ با $\frac{V}{V_t}$

داده‌های آزمایشگاهی در غالب نمودارها عمق آبشستگی تعادلی بدون‌بُعد $\frac{dS}{D}$ در مقابل تنش برشی کف برای دو دانه‌بندی، و با رعایت تمام شرایط جریان یکنواخت و آب زلال، رسم شده است، (شکل۱۰). افزایش تنش برشی در درشت‌دانه تأثیر بیشتری روی عمق آبشستگی نسبت به ریزدانه داشته است. به دلیل اینکه دانه‌بندی ۱/۱۸ میلی‌متری تقریبا یکنواخت بوده است و قفل‌شدگی بین ذراتِ کمتری نسبت به ریزدانه دارد، تنش برشی و گرادیان فشار ایجاد شده در اطراف لوله، دارای پتانسیل بیشتری برای ایجاد فرسایش می‌باشند.

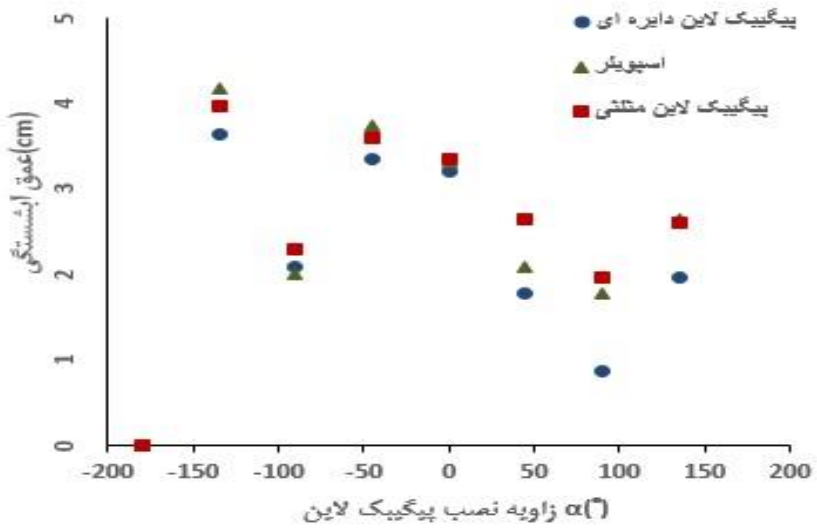
بررسی‌های انجام شده در شکل (۱۱) نشان می‌دهد که در شرایط آستانه حرکت مواد رسوبی بستر، حداکثر عمق آبشستگی، با تغییرات اندازه متوسط رسوبات بستر با اختلاف کمی تغییر کرده است و مقدارحداکثر عمق آبشستگی زیر خطوط لوله افقی، با افزایش مقدار متوسط قطر دانه رسوب افزایش می‌یابد. Ataeiyan و Yasi (2012) گزارش کردند که ضریب یکنواختی و انحراف معیار مواد رسوبی، تأثیر زیادی بر عمق آبشستگی اطراف لوله می‌گذارد. بدین صورت که هر چه مواد رسوبی بستر غیریکنواخت‌تر باشد، به علت قفل شدگی ذرات و تشکیل لایه‌های محافظ در حفره آبشستگی، مقاومت بستر در برابر نیروهای هیدرودینامیکی جریان افزایش یافته و عمق حداکثر آبشستگی کاهش می‌یابد. در این پژوهش دانه‌بندی ۱/۱۸ میلی‌متر با انحراف معیار کوچکتر از ۱/۴ بعنوان دانه‌بندی تقریبا یکنواخت محسوب می‌شود. مطابق شکل (۱۱)، آبشستگی بستر با رسوبات درشت‌دانه به علت وزن بیشتر نسبت به ریزدانه، نیاز به گرادیان فشار بیشتری می‌باشد که پیگیبک‌لاین مثلثی بسیار نزدیک به اسپویلر می‌تواند عمل افزایش گرادیان فشار را در دو طرف لوله ایجاد کند و پارامترهای مورد اندازه‌گیری در این پژوهش نظیر: عمق آبشستگی، طول گودال آبشستگی و طول موج رسوبی منتقل شده به پایین‌دست لوله را افزایش داده است.



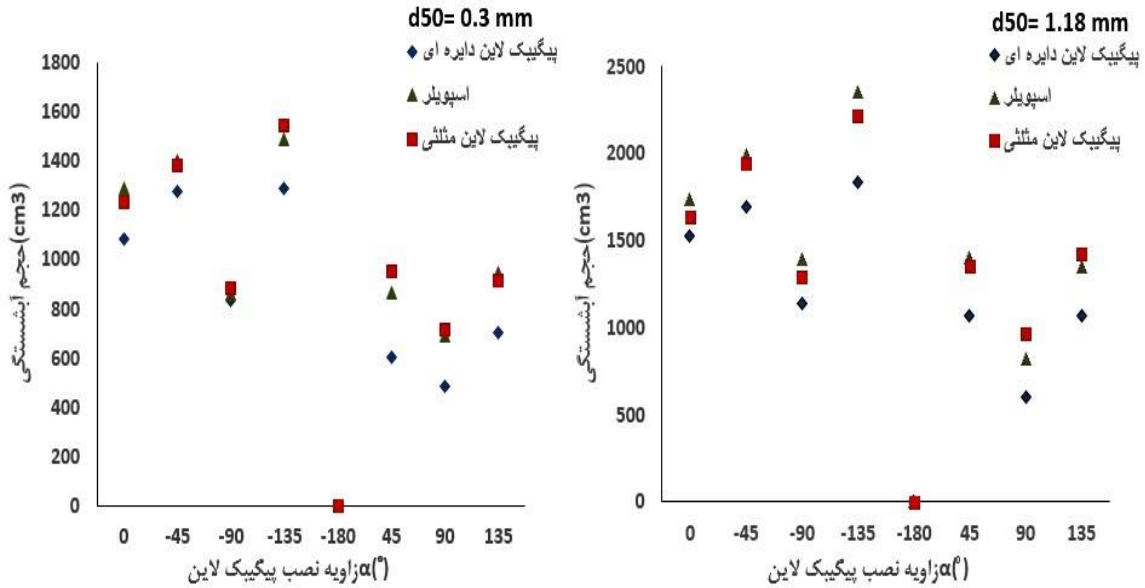
شکل۱۰- تأثیر Θبر$\frac{d_s}{D}$ با d_{50} متفاوت



شکل۱۱- تأثیر شکل مقطع پیگیبک‌لاین بر عمق آبشستگی در d_{50} درمتفاوت



شکل۱۲- تأثیر زاویه نصب پیگیبک لاین بر عمق آبشستگی در اشکال متفاوت مقطع پیگیبک لاین



شکل۱۳- تأثیر زاویه نصب پیگیبک لاین بر حجم گودال آبشستگی در اشکال متفاوت مقطع پیگیبک لاین

عمق حداکثری آبشستگی در زوایای منفی پیگیبک‌لاین اتفاق افتاده است، (شکل۱۲). که بیانگر تأثیر انسداد بیشتر مسیر و افزایش نرخ گرادیان فشار و نیروی تراوش می‌باشد. از بین زوایای منفی، بیشترین مقدار عمق آبشستگی، برای هر سه شکل مقطع متفاوت پیگیبک‌لاین، در زاویه ۱۳۵- درجه، مشاهده شده است. که برای پیگیبک‌لاین مثلثی و اسپویلر بسیار به هم نزدیک می‌باشد. علت این امر آن است که در حالت زاویه نصب منفی برای پیگیبک‌لاین، فرآیند آبشستگی به علت گردابه‌های بالادست و پایین‌دست به سرعت شکل گرفته و فرآیند فرسایش آغاز می‌شود. اما وجود پیگیبک‌لاین باعث ایجاد انسداد شده و مدت زمان تشکیل فرآیند گردابه‌ها و توسعه آنها و ایجاد اختلاف فشار با تأخیر صورت می‌گیرد.

تغییرات حجم گودال آبشستگی برای لوله به همراه پیگیبک‌لاین نصب شده روی آن، نشان می‌دهد که، نصب پیگیبک‌لاین روی لوله، حجم آبشستگی را بطور میانگین در ریزدانه تا ۴ برابر و در درشت‌دانه تا ۶ برابر لوله ساده افزایش داده است. بطوری که اسپویلر بیشترین حجم آبشستگی را بوجود می‌آورد. مقدار حجم گودال آبشستگی پیگیبک‌لاین مثلثی و اسپویلر بسیار نزدیک بهم می‌باشد، و کمترین حجم آبشستگی مربوط به حالتی است که پیگیبک‌لاین با مقطع دایره‌ای، روی لوله اصلی نصب شده باشد. در زاویه ۱۳۵- حجم حفره آبشستگی بزرگتری نسبت به بقیه زوایا، ایجاد شده است که این خود به سبب تنگ‌شدگی و هدایت بیشتر نیروهای جریان رو به پایین در زیر لوله می‌باشد. هنگامی که زاویه ۹۰+ و ۱۳۵+ باشد، تغییرات

افزایشی روی طول چاله آبشستگی بسیار بیشتر از تغییرات عمق حداکثری آبشستگی می‌باشد، (شکل۱۳).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با نصب زائده (اسپویلر و یا پیگیبک‌لاین) روی خطوط لوله به جهت کمک به طبیعت در راستای افزایش، سرعت و مقدار توان آبشستگی و در نهایت دفن خط لوله در بستر فرسایش‌پذیر، سعی در کاهش هزینه حفاظت از خطوط لوله نسبت به روش‌های موجود می‌باشد. از اینرو بررسی شکل مقطع و زاویه بهینه نصب پیگیبک‌لاین که بیشترین عمق آبشستگی را بوجود آورد تا لوله به نسبت بیشتری در بستر دفن شود، حائز اهمیت است.

✓ عمق حداکثری و زمان تعادل حفره آبشستگی با افزایش قطر لوله، بطور خطی افزایش می‌یابد. بنابراین در مورد لوله‌های قطور، نیاز به پیگیبک‌لاین، برای تسریع در روند آبشستگی، بیشتر احساس می‌شود.

✓ قطر ذرات بستر در مقدار حداکثر عمق آبشستگی تأثیر زیادی ندارد، ولی حجم و شکل حفره آبشستگی وابسته به تغییرات اندازه متوسط دانه رسوبی می‌باشد.

✓ عمق آبشستگی تحت تأثیر شکل پیگیبک‌لاین نصب شده روی لوله می‌باشد. چنانکه در حالت‌های مختلف شکل پیگیبک‌لاین، تیغه‌ای (باله)، مثلثی و دایره‌ای به‌ترتیب ۲/۴۲، ۲/۲۵ و ۱/۹ برابر بیشتر از حالت لوله ساده است.

✓ حداکثر عمق آبشستگی زیر خطوط لوله به همراه پیگیبک‌لاین، در زوایای نصب، در بازه ۴۵-۰ و ۱۳۵- بیشترین مقدار را خواهد داشت. حداکثر عمق آبشستگی در زاویه اتصال ۱۳۵- و صفر درجه، بسیار نزدیک به هم و تقریبا ۲ برابر حداکثر عمق آبشستگی زیر یک لوله ساده می‌باشد. با این تفاوت که طول گودال آبشستگی در حالت زاویه اتصال ۱۳۵- ، ثلث مقدار مشابه برای زاویه اتصال صفر درجه می‌باشد.

✓ نصب پیگیبک‌لاین روی لوله، حجم آبشستگی را بطور میانگین در ریزدانه تا ۴ برابر و در درشت‌دانه تا ۶ برابر لوله ساده افزایش داده است.

منابع

1- Ataeiyan, A. and Yasi, M., 2012. Estimate the maximum depth of scour around a pipeline crossing the river. *11th Conference of Hydraulic of iran. (In Persian).*

2- Bijker, E.W. and Leeuwestein, W., 1984. Interaction between pipelines and the seabed under the influence of waves and currents. *In Seabed Mechanics* (pp. 235-242). *Springer, Dordrecht.*

3- Cheng, L. and Chew, L.W., 2003. Modelling of flow around a near-bed pipeline with a spoiler. *Ocean Engineering*, 30(13), pp.1595-1611.

4- Chiew, Y.M., 1990. Mechanics of local scour around submarine pipelines. *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(4), pp.515-529.

5- Chiew, Y.M., 1992. Effect of spoilers on scour at submarine pipelines. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(9), pp.1311-1317.

6- Dey, S. and Singh, N.P., 2008. Clear-water scour below underwater pipelines under steady flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(5), pp.588-600.

7- Hansen, E.A., Staub, C., Fredsøe, J. and Sumer, B.M., 1991. Time-development of scour induced free spans of pipelines. *In Proceedings, 10th Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Pipeline Technology*. Vol. 5, pp. 25-31.

8- Hulsbergen, C.H., 1986, January. Spoilers for stimulated self-burial of submarine pipelines. *In Offshore technology Conference. Offshore Technology Conference.*

9- Hulsbergen, C.H. and Bijker, R., 1989, January. Effect of spoilers on submarine pipeline stability. *In Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference.*

10- Ibrahim, A. and Nalluri, C., 1986. Scour prediction around marine pipelines. *In Proc., 5th International Symp. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, American Society of Mechanical Engineers*, pp. 679-684.

11- Kjeldsen, S.P., Gjorsvik, O., Bringaker, K.G. and Jacobsen, J., 1973, August. Local scour near offshore pipelines. *In Paper available only as part of the complete Proceedings of the Second International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions (POAC), August* 27-30, 1973..

12- Ye, M., 1986. The interaction between a pipeline and an erodible bed. *Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, Technical University of Denmark.*

13- Alvarez, M. and Antonio, J., 1989. Introduction to river engineering. *In Introduction to River Engineering. Universitá Italiana per Stranieri.*

14- Melville, B.W., 1997. Pier and abutment scour: *integrated approach. Journal of Hydraulic Engineering*, 123(2), pp.125-136.

15- Moncada-M, A.T. and Aguirre-Pe, J., 1999. Scour below pipeline in river crossings. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(9), pp.953-958.

16- Dandan, S.H.A.N., Yanyan, L.I.U. and Yang, L.I., 2015. Numerical Simulation of Submarine Pipeline Self-Buried on Sediment Seabed. *Advances in Petroleum Exploration and Development*, 10(1), pp.44-50.

17- Sumer, B.M. and Fredsøe, J., 1990. Scour below pipelines in waves. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 116(3), pp.307-323.

18- Sumer, B.M. and Fredsøe, J., 1993. A review of wave/current-induced scour around pipelines. *In Coastal Engineering* 1992. pp. 2839-2852.

19- Sumer, B.M. and Fredsøe, J., 2002. The mechanics of scour in the marine environment, Adv. *Ser. Ocean Eng*, 17.

20- Sumer, B.M., 2004, November. Physical and mathematical modelling of scour. *In Proc., 2nd Int. Conference on Scour and Erosion*, Vol. 1, pp. 29-46.

21- 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. *Journal of waterway, port, coastal, and Ocean Engineering*, 138(6), pp.484-490.

22- Yang, C.T., 1996. Sediment transport: *Theory and Practice.*

23- Zhao, J. and Wang, X., 2008. CFD Numerical Simulation of the Submarine Pipeline With Spoiler. *In ASME 2008 Pressure Vessels and Piping Conference* (pp. 21-27). *American Society of Mechanical Engineers.*

24- Zhao, X.Z., Sun, Z.C. and Liang, S.X., 2009. A numerical study of the transformation of water waves generated in a wave flume. *Fluid Dynamics Research*, 41(3), p.035510.

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE) **Vol. 41, No. 4, Winter 2019, p. 173-187**

EXTENDED ABSTRACT

Evaluation of the Time Development of Scour Around Pipelines With Optimization the Mounting Position of Piggyback-Line

S. Moradi[1], K. Esmaili[2*] and S. Khodashenas[3]

1- Ph.D. Student, Ferdowsi University of Mashhad, Agriculture Collage, Water Structure Engineering Faculty.

2*- Corresponding Author, Associate Professor,Ferdowsi University of Mashhad, Agriculture Collage, Water Engineering Faculty. *(Esmaili@um.ac.ir).*

3- Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Agriculture Collage, Water Engineering Faculty.

Received:3 August 2016 Revised:9 May 2017 Accepted: 13 May 2017

Keywords: Tunnel erosion, Scour, Piggyback-line, Pipeline.

Introduction

Protection of water pipelines - wastewater or fuel materials - on the bed of erosion of the sea and rivers against such factors as bending, slipping and even fracture are important and costly issues in ocean engineering. In order to protect the potential destruction and fracture of these pipelines due to hydrodynamic forces of flow-waves or human activities. It is necessary to be covered with a concrete-coat or buried at an appropriate depth of bed with trenching.Objective observations showed that the pipelines that are located on the erosion bed of the sea and the rivers have the potential to produce a natural burial (self-burial pipe) in a bed of sediment, due to localized scouring.But in natural conditions, the burial process takes place with little speed. Therefore, by installing the spoiler on the pipelines, it is attempting to increase the Perpendicular cross-section of the flow (making changes in the pattern of flow around the pipeline) and, finally, the occurrence of erosion and self-burial inlower environmental velocities, but more intense. Therefore, it is necessary to first investigate the factors affecting for erosion sediment bed and estimate the dimensions of scour hole under pipelines, to study the accelerating factors and its effects on ocean engineering.

Themost of researchers considered the local scouring around the pipelines relatede to be rapid, the depth of the flow, the pipe diameter and the particle size of the bed. Moncada-M and Aguirre-Pe (1999) describe that, the scour depth below the pipeline as a function of the flow loss number and the dimensionless distance between the pipe and the intact bed. Cheng and Chew (2003) and Zhao and Wang (2009), by simulating the flow area around the pipeline with the mounted fin on it, found that the lifting force and shear stress in the bed and the scour depth increased with the fin. (2012), by using laboratory results, showed that the flow loss number and the height of the fin had a significant effect on the depth of scouring under the horizontal pipelines. Shan et al. (2015) with numerical evaluation of self-burial of tube with the fin mounted on it, and in displacement mode, with Fluent software, found that increasing the flow loss number in near of the bed would help to increase the burial speed of the tube.

recently studies showed that the mounting of the fins on the pipeline lead to increasing the amount of erosion around the tube. The application of mounted Piggyback line with cross sectional and different angles on the main pipelines can be a major difference with previous research.

Methodology

Dimensional analysis

In the present study, by providing effective variables on the dimension of the scour hole under the pipelines, we have been subjected to a dimensional analysis using the Pi-Bukingham method and by obtaining the dimensionless ratios and expressing the relationship between these ratio, the effect of these parameters on the dimensions of the scouring pit below the horizontal pipeline has been analysed.

$$d_S = f(L_S.V.D.h.g.y_n.\rho_w.\rho_s.\mu.S_f.d_{50}.F_S.\alpha) \quad (1)$$

Finally, the dimensional equation is obtained as follows:

$$\frac{d_S}{D}.\frac{L_S}{D} = F(\frac{y_n}{D}.\frac{d_{50}}{D}.S_g.Fr.\tau_*.F_S.\alpha) \quad (2)$$

In here, L_s the final scour length, d_s the depth of the scouring hole, V the average flow velocity, D the diameter of the pipe, y_n the flow depth, ρ_w andρ_s, respectively, the density of water and sediments (relative density $S_g = \frac{\rho_s}{\rho_w}$), the dynamic water viscosity , S_fLine of energy slope, h Piggyback line height, d_{50}Diameter of average particle size, F_SLiner shape factor, α Piggyback line of angular installation with vertical axis, g Gravitation and Froude number $\frac{V}{\sqrt{g.y_n}} = Fr$.

laboratory equipment

The experiments of this project were carried out in a rectangular flume with a length of 10 meters, a width of 30 cm and a height of 50 cm, in a laboratory of hydraulic models of the Water Engineering Department of Ferdowsi University of Mashhad. The maximum flow rate in flume is about 30 liters per second, which can be measured through an electromagnetic flowmeter system with a precision of ± 0.5 L / s. The tested tubes are made of PVC, with an outer diameter of 2, 3.2 and 3.8 cm, and the tees of lines installed on these tubes with three different cross-sections (blades, circles, Triangle) and with angles of installation in two positive and negative states of 0, 45, 90, 135 and 180 degrees. erosian and non-adherent bed, two aggregates, fine grain sand with a diameter of 0.3 mm and coarse-grained sand with a mean diameter of 1.18 mm.

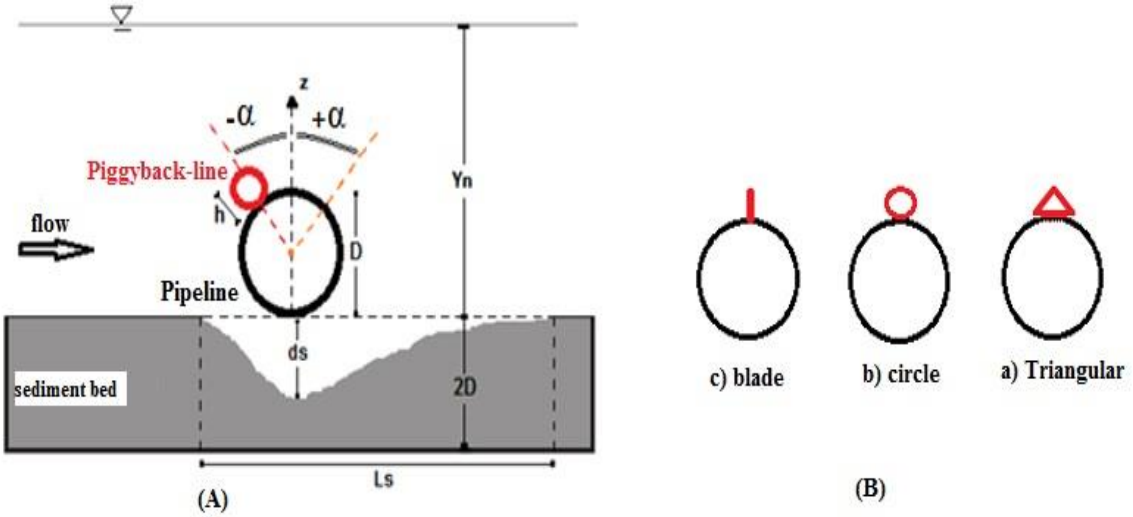


Fig 1- (a) Effective Parameters for Local scour. (B) different shape of the Piggyback line.

Results and Discusspn

According to formed the scouring half shapes for each of the 3 pipe diameters, it was found that increasing the diameter of the pipe causes more obstruction and compression in the direction of stream line, the velocity and length of theeddies flowbelow the tube are larger and finally, the volume of eroded sediments below the pipe have been increased. By comparing the scouring profile, it can be concluded that the scour depth is affected by the shape of the piggyback line installed on the pipe. As in different shape of piggy back lines cross-section, blade, triangular and circular are 2.42, 2.25 and 1.9 times more than simple tube mode, respectively.

In the conditions of the threshold of motion of sediment materials, the maximum scour depth, with variations in the average size of substrate sediments has changed slightly, and the maximum scour depth below the horizontal pipelines increases with an increase in the average amount of sediment grain diameter.

The maximum scour depth below the pipelines along with the piggyback line, at installation angles, will be in the range of 45-0 and 135-maximum. Which indicates the effect of increasing the directional obstruction and increasing the rate of pressure gradient and leakage force. From the negative angles, the greatest amount of scour depth was observed for all three different shapes of the piggyback line, at-135 degrees. Which is very close to the triangular and Spoiler piggyback line. The reason for this is that in the negative angle for the piggyback line, the scouring process is rapidly formed due to upstream and downstream vortices, and the process of erosion begins. However, the presence of piggyback line causes obstruction and the duration of vortex formation and development, and delayed pressure differences.

The installation of piggyback line on the tube increased the scour depth by an average of 4 times in fine grained material and increased to 6 times the coarse grain. In the angle of 135, the size of the scour hole is larger than the rest of the angles, and at the angles of 90+ and 135+, the incremental changes in the length of the scouring hole are much greater than the maximum scour depth variation.

Conclusions

Laboratory results indicate that the natural self-bursting process of tubular pipes requires more time, and as a consequence of the installation of the piggyback line, it is more likely to accelerate the process of scouring. Also, the effect of the piggyback line is greater than the effect of increasing pipe diameter on the scouring half-life. The scouring of the tube with the piggyback linehas increased up to 2 times as much as the simple tube. Linear triangular with triangular cross-sectional shape has the best performance to increase the maximum depth of scour at a negative angle of 135 degrees. Therefore, the replacement of the triangular piggyback linewith Spoiler has been considered for the dual purpose of the piggyback line (increasing the local scouring and the transmission of electric cables and telephones, and even the wastewater along with the main pipe).

References

25- Cheng, L. and Chew, W.L., 2003. Modeling of flow around a near-bed pipeline with a spoiler. *Ocean Eng.* 30.1595–1611.

26- Moncada-M, A.T. and Aguirre-Pe, J., 1999. Scour below pipeline inriver crossings. *J. Hydraul. Eng.*125:9.953–958.

27- Shan D, Liu Y, LI Y., 2015. Numerical Simulation of Submarine Pipeline Self-Buried on Sediment Seabed. *Advances in Petroleum Exploration and Development,.Vol*. 10, No. 1.

28- 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.

29- Zhao, JP. and Wang, XC., 2009. CFD Numerical simulation of the submarine pipeline with a spoiler. *J. Offshore Mech. Arct. Eng* 131:3.03601.1–03601.5.