

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

## تأثیر زاویه و عمق کارگذاری لوله مدفون و نیمه مدفون بر میزان آبشستگی و رسوبگذاری اطراف لوله در قوس ۹۰ درجه ملایم با استفاده از مدل آزمایشگاهی

رضوان ولی زاده<sup>۱</sup>، علی آرمان<sup>۲\*</sup>، رسول قبادیان<sup>۳</sup>

۱ - دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی

۲\* - استادیار و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی

### چکیده

در پروژه‌های خطوط انتقال سیال، گذر لوله به صورت مدفون و نیمه مدفون از قوس‌های رودخانه‌ای گریزناپذیر است. این امر الگوی آبشستگی و رسوبگذاری مرسوم در قوس رودخانه را تغییر می‌دهد. الگوی آبشستگی اطراف خط لوله، نسبت به حالتی که خط لوله نهر مستقیم را قطع می‌کند، متفاوت است. نظر به گسترش خطوط انتقال در سال‌های اخیر، در این پژوهش تأثیر زاویه جانمایی خط لوله در قوس ۹۰ درجه ملایم و عمق جانمایی خط لوله به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. آزمایش‌های این تحقیق در سه عدد فرود ۰/۳۲، ۰/۲۹ و ۰/۲۶ سه زاویه متفاوت ۹۰، ۶۷/۵ و ۴۵ درجه از قوس ملایم، دو حالت جانمایی لوله به صورت دافع و جاذب نسبت به جهت جریان و همچنین یک عمق نیمه مدفون و دو عمق مدفون به انجام رسید. نتایج بررسی‌ها نشان داد در حالت جانمایی به صورت دافع با افزایش زاویه نسبت به قوس، آبشستگی زیر و اطراف لوله افزایش می‌یابد. این روند برای آبشستگی اطراف لوله برای جانمایی لوله به صورت جاذب برعکس است اما برای آبشستگی زیر لوله مانند حالت قبل بود. با کاهش عدد فرود، میزان آبشستگی اطراف و زیر لوله کاهش می‌یابد، به طوری که در برخی سناریوها آبشستگی زیر لوله مشاهده نشد. این روند در افزایش عمق جانمایی لوله نیز مشاهده شد.

### واژه‌های کلیدی

آبشستگی، جانمایی لوله، رسوبگذاری، قوس ۹۰ درجه ملایم، لوله مدفون و نیمه مدفون

### مقدمه

به دلیل اهمیت موضوع در صنعت انتقال سیال، نحوه گذر خطوط لوله در عرض و بستر رودخانه‌ها بویژه در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در عمل، گذر خطوط لوله از رودخانه‌های مماندیری و قوس رودخانه‌ای گریزناپذیر است. مشخصه اصلی جریان در قوس رودخانه‌ها، وجود جریان ثانویه و ایجاد جریان حلزونی در اثر برخورد جریان ثانویه با بردار سرعت متوسط است که باعث می‌شود بردارهای سرعت در سطح آب به طرف قوس خارجی و در کف به طرف قوس داخلی تمایل داشته باشند (Rosgen, 2006؛ Tamoradi & Ahadiyan, 2022؛ Prandtl, 1952). این امر سبب افزایش آبشستگی در قوس خارجی می‌شود. فرسایش در کرانه بیرونی پیچ‌ها باعث مهاجرت جانبی رودخانه‌ها و تخریب زمین‌های کشاورزی، جاده‌ها و تأسیسات مجاور رودخانه‌ها می‌شود (Konsoer, 2016؛ Julien, 2002؛ Bahrami et al., 2022؛ rzedwojski, 1990؛ Struiksma, 1985). شناسایی پارامترهای مؤثر بر آبشستگی امری مهم در کاهش میزان

کارگذاری لوله بر تغییرات زمانی پارامترهای آبستنگی و رسوب گذاری اطراف خطوط لوله متقاطع با رودخانه نشان دادند که بالاترین میزان آبستنگی برای لوله ای اتفاق می افتد که در عمق کارگذاری یک چهارم قطر لوله بالای بستر قرار دارد. پرچمی و همکاران (Parchami, et al 2017) در مطالعه ای تاثیر شکل صفحات مستغرق را بر آبستنگی پایه پل بررسی کردند و نشان دادند بیشترین مقدار کاهش عمق آبستنگی نسبت به پایه بدون محافظ مربوط به حالت صفحات تخت با آرایش نوک تیز است و صفحات محدب، نسبت به صفحات تخت قرار گرفته با زاویه حمله ۲۰ درجه و صفحات مقعر، عملکرد بهتری دارند. خادمی و شفافی بجنستان (Khademi, & Shafaie Bajestan, 2014) با بررسی اثر تعداد، موقعیت و زاویه صفحات مستغرق در محل تکیه گاه پل بر عمق آبستنگی شان دادند که صفحه مستغرق باعث کاهش عمق آبستنگی در محل تکیه گاه تا ۸۹ درصد می شود. نتایج پژوهش آنان همچنین مشخص کرد که صفحه متصل به گوشه بالادست تکیه گاه با زاویه ۴۰ درجه بیشترین تأثیر را دارد، همچنین نصب صفحه به طور مؤثری سبب دور شدن حفره آبستنگی از پای تکیه گاه می شود. عطائیان و یاسی (Ataian & Yasi, 2011) در مطالعه ای آزمایشگاهی برای برآورد میزان آبستنگی موضعی زیر خط لوله ای در تقاطع با رودخانه که در آن آبستنگی در اعماق کارگذاری مختلف لوله بررسی شد نشان دادند که در عمق کارگذاری به اندازه یک چهارم قطر لوله بالای بستر، بیشترین مقدار عمق آبستنگی مشاهده شده است. پیچیدگی موضوع زمانی شروع می شود که یک سازه متقاطع مانند خطوط لوله الگوی جریان و رسوب در قوس را دچار دستخوردگی کند. تحقیقات نسبتاً متنوعی در خصوص آبستنگی اطراف خطوط لوله صورت گرفته و نتایج ارزشمندی نیز ارائه شده است، اما تحقیقی سیستماتیک روی تاثیر متقابل زاویه عبور خط لوله از قوس رودخانه ای بر الگوی آبستنگی اطراف خط لوله و قوس صورت نگرفته است. در این تحقیق، آبستنگی موضعی لوله مدفون و نیمه مدفون در قوس ۹۰ درجه ملایم تحت

تخریب خطوط لوله مدفون است که تا کنون تحقیقات متعددی در این باره شده است.

لی و ما (Li & Ma 2022) عوامل موثر بر آبستنگی موضعی ناشی از خط لوله مدفون و غیر مدفون را قطر لوله، فاصله لوله غیرمدفون تا بستر، عمق کارگذاری لوله غیرمدفون و عدد فرود دانسته اند. در پژوهشی نشان داده شد که قرار گرفتن خط لوله به صورت مدفون و نیمه مدفون در بستر رسوبی، سبب افزایش عمق آبستنگی حول خط لوله خواهد شد. ارتفاع جانمایی و انحنای خط لوله پارامترهایی کلیدی برای تجزیه و تحلیل میدان جریان و آبستنگی در اطراف خطوط لوله نیمه مدفون هستند. افزایش ارتفاع جانمایی لوله نسبت به بستر رسوبی سبب افزایش سرعت جریان روی لوله و افزایش سلول چرخشی و در نتیجه افزایش آبستنگی در پایین دست لوله می شود (Li & Ma, 2022). برابر پژوهش های لیو و همکاران Liu (et al, 2020)، آبستنگی ناشی از خط لوله در پایین دست لوله اتفاق می افتد. در پژوهشی دیگر، با بررسی آبستنگی بین دو خط لوله موازی مشاهده شد در شرایطی که دو خط لوله به موازات هم در نظر گرفته شود، الگوی آبستنگی نسبت به حالتی که یک خط لوله در بستر رودخانه باشد متفاوت است و آبستنگی بین دو خط لوله بیشتر از آبستنگی در پایین دست لوله است (Zhai et al, 2022). مداح و همکاران (Maddah et al 2022) آبستنگی اطراف مجموعه خطوط لوله با قطرهای مختلف را بصورت آزمایشگاهی مور بررسی کردند و نشان دادند هنگامی که دو لوله با قطر یکسان بدون فاصله در کنار یکدیگر قرار گیرند مانند یک جسم به هم پیوسته عمل می کنند و حداکثر عمق آبستنگی بین دو لوله ایجاد می شود. وقتی دو لوله قطرهای متفاوتی داشته باشند، بیشترین عمق آبستنگی در نزدیکی لوله با قطر بزرگ تر تشکیل می شود. عمق آبستنگی در زیر دو لوله با قطرهای مختلف در هنگام قرار دادن لوله با قطر بزرگ تر در بالادست کمتر است که نشان می دهد لوله ها به ترتیب نزولی (از نظر قطر) قرار گرفته اند. بیژنوند و همکاران (Bijanvand, et al 2021) با بررسی اثر عمق

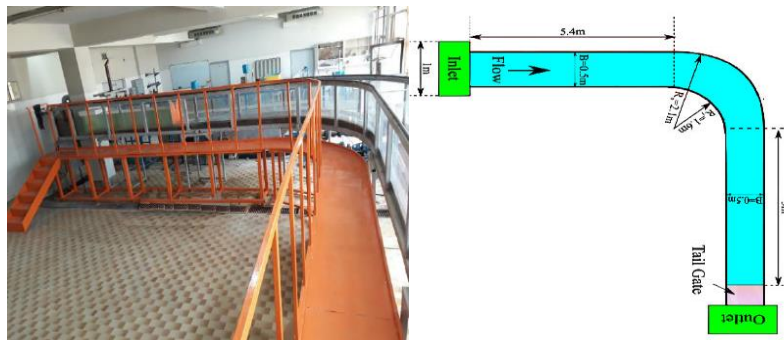
آزمایشگاه هیدرولیک و مدل های فیزیکی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه رازی است. همان گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، در این فلوم قوسی شکل طول بازه بالادست ۵/۴ متر، طول بازه پایین دست ۴/۵ متر، شعاع داخلی ۱/۶ متر، شعاع خارجی ۲/۱ متر، ارتفاع ۰/۶ متر و پهنای کف ۰/۵ متر است. در کانال مورد نظر مقدار RC/B (نسبت شعاع متوسط قوس به عرض کانال) ۳/۸ به دست آمده است، از این رو می توان نتیجه گرفت که این قوس از نوع قوس ملایم است.

سناریوهای مختلف بررسی شده است. نتایج این پژوهش می تواند به عملکرد رودخانه ها و اتاثر متقابل آنها با سازه های درون رودخانه مانند خطوط لوله مدفون و نیمه مدفون، پیش بینی میزان آبستگي حول آنها و استفاده از نتایج آن در طراحی و جانمایی این خطوط لوله کمک کند.

### روش تحقیق

#### مدل آزمایشگاهی

مدل آزمایشگاهی که سناریوهای این تحقیق بر آن بنا شده است، شامل یک کانال قوسی شکل در



شکل ۱- شمای فلوم آزمایشگاهی

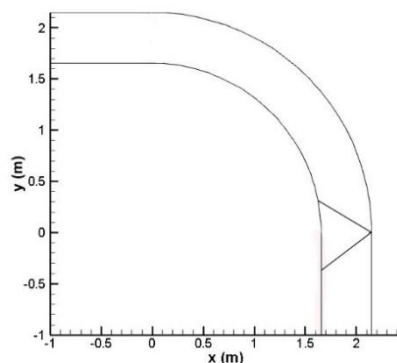
Figure 1- Diagram of laboratory flume

برداشت عمق جریان، از پوینت گیج مجهز به متر لیزری با دقت  $\pm 1$  میلی متر استفاده گردید. سناریوهای آزمایشگاهی تحقیق حاضر عبارتند از: سه زاویه قرار گیری لوله (۹۰، ۶۷/۵ و ۴۵ درجه) در قوس ملایم، سه عدد فرود جریان (۰/۳۲، ۰/۲۹ و ۰/۲۶)، دو نحوه جانمایی لوله (دافع و جاذب)، یک عمق جانمایی لوله به نسبت جانمایی به قطر لوله به میزان ۰/۵ و دو عمق مدفون به نسبت جانمایی به قطر لوله به میزان ۰/۵ و ۱. سناریوهای پژوهش حاضر در شرایط آب زلال اجرا شده اند. شکل (۲) نمای شماتیک نحوه قرار گیری خط لوله نسبت به جهت جریان در زاویه ۹۰ درجه در قوس ملایم را نشان می دهد. این نما برای زاوی های ۶۷/۵ و ۴۵ درجه نیز اجرا

به منظور برداشت پروفیل های آبستگي و رسوب گذاری، از دستگاه اسکنر سه بعدی استفاده شد. این اسکنر سه بعدی شامل یک دوربین Kinect، کابل های رابط دوربین به رایانه و برنامه های مخصوص برای پردازش تصویر است. این دوربین با دقت یک میلی متر می تواند توپوگرافی و جسم سه بعدی را اسکن کند. در آزمایش های این تحقیق برای اندازه گیری دبی از دبی سنج اولتراسونیک مدل Digi Sonic E+ استفاده شد. در این نوع دبی سنج، دو سنسور زمان سنج صوت در فاصله ای از هم روی لوله نصب می شوند که بر مبنای مقایسه زمان عبور پالس های امواج در جهت جریان و خلاف جهت آن با محاسبه اختلاف فاصله زمانی، مقدار دبی جریان با دقت  $\pm 1\%$  محاسبه می شود. به منظور

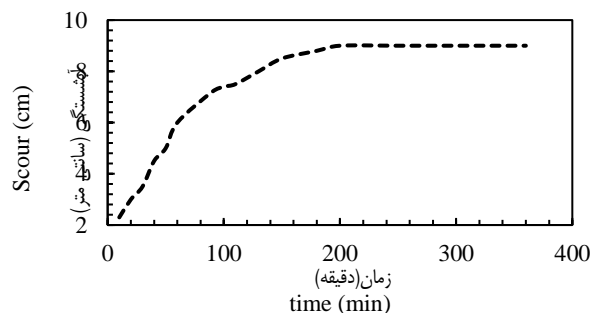
آزمایش طولانی مدت منحنی تعادل رسوب بستر و مدت زمان اجرای هر آزمایش به دست آمد. شکل (۳) بیانگر نمونه منحنی تعادل رسوب در محل ۲۰ سانتی متری پایین دست در شرایط بدون حضور لوله است که بیشترین مقدار آبشستگی را دارد.

گردیده است. روند پژوهش بدین صورت است که بعد از یافتن پارامترهای مؤثر بر پدیده آبشستگی، ابتدا فلوام آزمایشگاهی از لحاظ فیزیکی بررسی و برای اجرای سناریوهای شبیه سازی آماده گردید. پس از آماده سازی فلوام آزمایشگاهی و استقرار رسوب های بستر، با اجرای یک



شکل ۲- نمای شماتیک نحوه قرارگیری لوله نسبت به جهت جریان و قوس

Figure 2- Schematic view of the placement of the pipe in relation to the direction of flow and arc



شکل ۳- منحنی تعادل رسوب (Fr=0.32, d50=0.85mm)

Figure 3- Sediment equilibrium curve (Fr=0.32, d50=0.85mm)

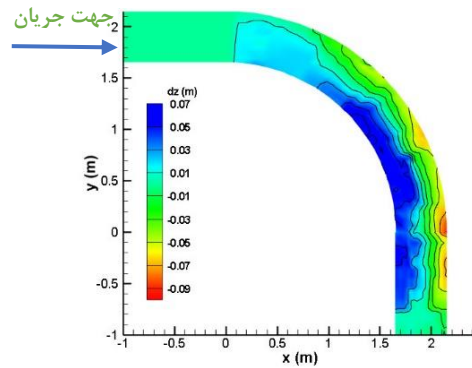
فرود ۰/۲۶ به ۸ ساعت افزایش یافت. بعد از اتمام هر آزمایش و خروج زهاب، الگوی آبشستگی بستر به کمک اسکنر سه بعدی استخراج و نمودارهای مورد نظر رسم و تحلیل گردید.

#### صحت سنجی مدل فیزیکی

به منظور بررسی عملکرد صحیح مدل فیزیکی و اعتماد به نتایج آن، یک آزمایش بدون حضور لوله مدفون در قوس اجرا شد. در این آزمایش عدد فرود جریان برابر با ۰/۳۲ و رسوب ها با دانه بندی یکنواخت و قطر ۰/۸۵ میلی متر، به

همان طور که در نمودار بالا مشاهده می شود، از زمان ۲۰۰ دقیقه به بعد، میزان آبشستگی ثابت است. پس می توان گفت بعد از ۴ ساعت تغییرات محسوس در بستر رخ نخواهد داد و جابه جایی رسوب مشاهده نمی شود. اما به منظور افزایش دقت، زمان آزمایش های شبیه سازی ۶ ساعت در نظر گرفته شد. لازم است گفته شود آزمایش تعادل رسوب برای دو عدد فرود ۰/۲۶ و ۰/۲۹ نیز اجرا و مشاهده شد با کاهش عدد فرود، زمان آزمایش افزایش می یابد، زمان آزمایش به ازای عدد فرود ۰/۲۹، به ۷ ساعت و به ازای عدد

ضخامت ۱۵ سانتی متر در بستر فلوم قرار داده شد. پس از اجرای آزمایش به مدت ۶ ساعت و کسب اطمینان از حرکت نکردن بار بستر، پمپ خاموش و بعد از زهکشی کامل



شکل ۴- تغییرات بستر در حالت بدون جانمایی لوله به ازای عدد فرود ۰/۳۲

Figure 4- Bed changes in the case without pipe placement for Froude number 0.32

لوله (D)، زاویه محل نصب لوله در طول قوس ( $\theta$ )، زاویه قرارگیری لوله نسبت به جهت جریان ( $\alpha$ )، تغییرات بستر زیر لوله (Y)، عرض مجرا (B)، فاصله عرضی مقاطع (b)، شیب طولی مجرا ( $S_0$ )، اندازه متوسط ذرات رسوبی ( $d_{50}$ )، حداکثر عمق حفرة آبشستگی ( $d_{smax}$ )، سرعت متوسط جریان بالادست (U)، عمق جریان در بالادست (y)، جرم واحد حجم سیال ( $\rho$ )، لزوجت دینامیکی سیال ( $\mu$ )، شتاب ثقل (g)، عمق جانمایی لوله (h).

با احتساب تمام این پارامترها و تحلیل ابعادی به روش  $\pi$  باکینگهام و در نظر گرفتن  $\rho$ ، U و B به عنوان متغیرهای تکرارشونده، معادله کلی پارامترهای بدون بعد به صورت زیر به دست می آید.

$$\frac{d_{smax}}{B} = \psi_1 \left( \frac{b}{B}, S_0, \frac{d_{50}}{B}, \theta, \alpha, Fr, Re, \frac{D}{B}, \frac{h}{B}, \frac{y}{B} \right) \quad (1)$$

$$\psi_2 \left( \frac{b}{B}, S_0, \frac{d_{50}}{B}, \theta, \alpha, Fr, Re, \frac{D}{B}, \frac{h}{B}, \frac{y}{B} \right) \quad (2)$$

با توجه به ثابت بودن عرض کانال، شیب کانال، قطر لوله، حصول اطمینان از رژیم جریان آشفته که حدود ۲۵۶۴۰ محاسبه گردید و ثابت بودن قطر مواد رسوبی بستر، گروه های بدون بعد به صورت زیر کاهش می یابند:

همانگونه که انتظار می رفت و در شکل (۴) نیز مشاهده می شود، در جدار خارجی قوس آبشستگی رخ داده است و در جدار داخلی قوس رسوبگذاری وجود جریان حلزونی در قوس باعث شده است تا در مجاورت دیواره خارجی قوس، چاله های متناوب فرسایشی به وضوح دیده شوند. علاوه بر این، بیشترین مقدار فرسایش در محدوده انتهایی و بعد از قوس رخ داده است که در این خصوص با تحقیقات کاتورانی و همکاران (Katourany et al, 2022) و آرمان و همکاران (Arman et al, 2017) همخوانی دارد. بنابراین، مدل فیزیکی به درستی الگوی آبشستگی و رسوب گذاری را در قوس ملایم ۹۰ درجه شبیه سازی کرده است و برای ادامه آزمایش ها می توان به نتایج آن اعتماد داشت.

#### آنالیز ابعادی

در این تحقیق، در اولین گام ضمن مشخص شدن متغیرهای مؤثر بر الگوی آبشستگی و جریان، با استفاده از تئوری  $\pi$  باکینگهام، پارامترهای بدون بعد تعیین گردید. پارامترهای مؤثر بر تغییرات بستر حول لوله مدفون و نیمه مدفون از این قرارند: قطر

نتایج و بحث

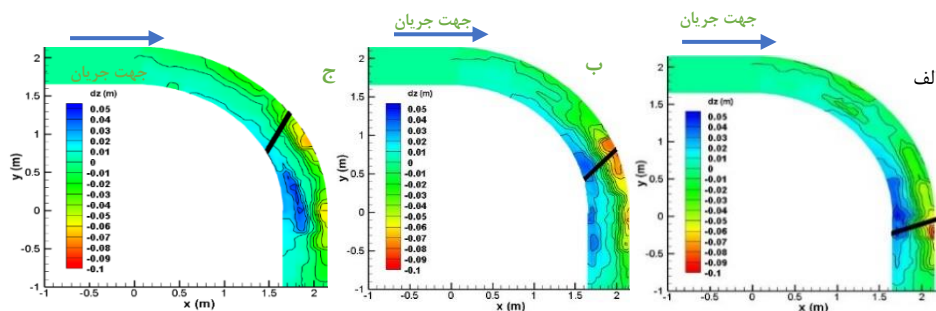
$$\frac{d_{smax}}{B} = \psi_1 \left( \frac{b}{B} \cdot \frac{h}{B} \cdot \theta \cdot \alpha \cdot Fr \right) \quad (3)$$

تاثیر زاویه قرارگیری لوله دافع نسبت به قوس ملایم  $(\theta)$  بر الگوی آبشستگی

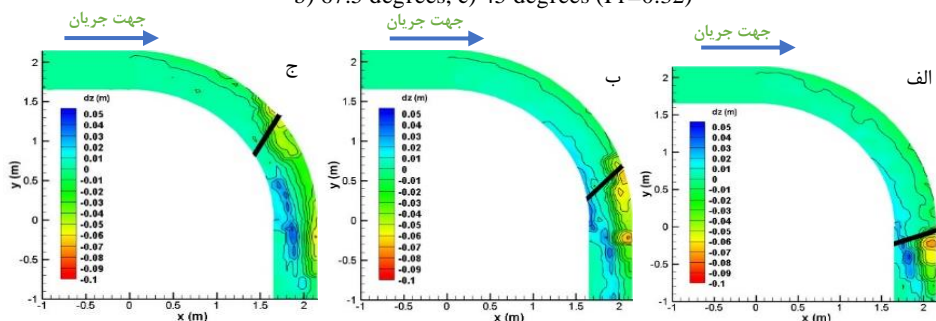
$$\frac{Y}{B} = \psi_2 \left( \frac{b}{B} \cdot \frac{h}{B} \cdot \theta \cdot \alpha \cdot Fr \right) \quad (4)$$

به منظور بررسی تاثیر زاویه جانمایی لوله دافع نسبت به محل قوس بر الگوی آبشستگی، سه زاویه جانمایی ۹۰، ۶۷/۵، ۴۵ درجه اجرا گردید. شکل های (۵)، (۶) و (۷) به ترتیب جانمایی لوله را در حالت های مختلف به ازای اعداد فرود متفاوت نشان می دهند.

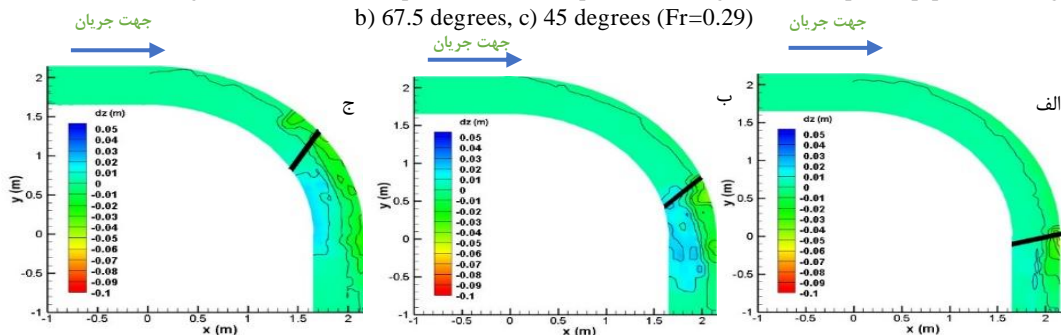
در این رابطه،  $Fr = \frac{U}{\sqrt{gy}}$  و  $Re = \frac{\rho Uy}{\mu}$  است. لازم به ذکر است که با توجه به در نظر گرفتن پارامتر B به عنوان متغیر تکرار شونده، در رابطه عدد رینولدز، با ضرب دو گروه بدون بعد  $\frac{\rho UB}{\mu}$  و  $\frac{y}{B}$  مقدار عدد رینولدز با رابطه ذکر شده قابل محاسبه است. به طریق مشابه عدد فرود نیز محاسبه گردیده است.



شکل ۵- الگوی آبشستگی و رسوبگذاری نهایی برای سه زاویه جانمایی لوله دافع (الف: ۹۰ درجه، ب: ۶۷/۵ درجه، ج: ۴۵ درجه  $(Fr=0.32)$ )  
Figure 5- Final scouring and sedimentation pattern for three placement angles of the repeller pipe: a) 90 degrees, b) 67.5 degrees, c) 45 degrees ( $Fr=0.32$ )



شکل ۶- الگوی آبشستگی و رسوبگذاری نهایی برای سه زاویه جانمایی لوله دافع (الف: ۹۰ درجه، ب: ۶۷/۵ درجه، ج: ۴۵ درجه  $(Fr=0.29)$ )  
Figure 6- Final scouring and sedimentation pattern for three placement angles of the repeller pipe: a) 90 degrees, b) 67.5 degrees, c) 45 degrees ( $Fr=0.29$ )

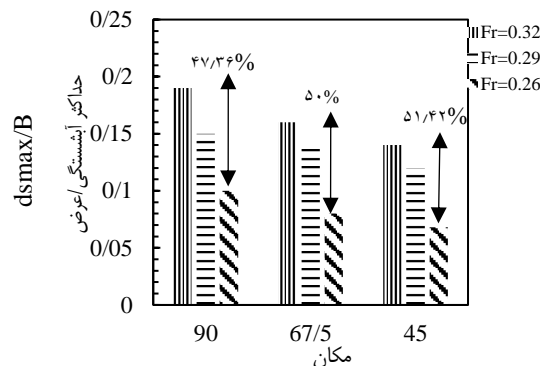


شکل ۷- الگوی آبشستگی و رسوبگذاری نهایی برای سه زاویه جانمایی لوله دافع (الف: ۹۰ درجه، ب: ۶۷/۵ درجه، ج: ۴۵ درجه  $(Fr=0.26)$ )  
Figure 7- Final scouring and sedimentation pattern for three placement angles of the repeller pipe: a) 90 degrees, b) 67.5 degrees, c) 45 degrees ( $Fr=0.26$ )



۹۰ درجه و ۴۵ درجه به وقوع پیوسته است. علاوه بر این، با مقایسه شکل های ۵ تا ۷ و به طور دقیق تر در شکل (۸) که نمودار حداکثر عمق حفرة آبشستگی در حالت جانمایی لوله دافع نسبت به محل قوس در اعداد فرود متفاوت است، مشخص می شود با کاهش عدد فرود از ۰/۳۲ تا ۰/۲۶ مقدار حداکثر عمق آبشستگی بدون بعد در پایین دست خط لوله و در مجاورت دیواره خارجی قوس کاهش یافته است. این مقدار کاهش برای جانمایی در زاویه ۹۰ درجه از ۰/۱۹ تا ۰/۱، برای زاویه ۶۷/۵ درجه از ۰/۱۶ به ۰/۰۸ و برای زاویه ۴۵ درجه از ۰/۱۴ به ۰/۰۶۸ است. به عبارتی، با کاهش عدد فرود از ۰/۳۲ به ۰/۲۶، مقدار آبشستگی حداکثر بدون بعد پایین دست خط لوله با جانمایی در زاویه ۹۰ درجه، ۶۷/۵ درجه و ۴۵ درجه به ترتیب ۴۷، ۵۰ و ۵۲ درصد کاهش یافته است.

مقایسه شکل های ۴ و ۵ نشان می دهد با وجود لوله نیمه مدفون و صرف نظر از جانمایی آن، مقدار آبشستگی مجاور دیواره خارجی قوس قبل از لوله، در مقایسه با حالت بدون لوله، کمتر شده است. از طرفی، مقدار آبشستگی بعد از لوله به شدت بستگی به جانمایی لوله دارد. به طوری که در جانمایی در زاویه ۹۰ درجه، بیشترین مقدار آبشستگی از حالت بدون عبور لوله بیشتر است. به بیان دیگر، وجود لوله میزان آبشستگی پس از آن را تشدید کرده است. علت این امر افزایش اغتشاش های سرعت به دلیل برخورد جریان با جسم صلب و تشدید جریان چرخشی است که مجموع این عوامل سبب تشدید میزان آبشستگی موضعی شده است. کمترین مقدار آبشستگی در زاویه ۴۵ درجه رخ داده است. در زاویه ۶۷/۵ درجه، از هر دو نقطه نظر آبشستگی و رسوبگذاری حالت بینابین لوله با جانمایی زاویه های



شکل ۸- نمودار حداکثر عمق حفرة آبشستگی در حالت جانمایی لوله دافع نسبت به محل قوس در اعداد فرود متفاوت

Figure 8- Diagram of the maximum depth of the scour hole in the position of the repeller pipe relative to the location of the arch in different Froude numbers

ثانویه بر جدار خارجی قوس کمتر بوده است؛ در نتیجه، قدرت جریان نسبت به مقاومت بستر نیز کمتر بوده است.

تاثیر متقابل قوس رودخانه با سازه های درون آن، مانند خطوط لوله مدفون و نیمه مدفون، نه تنها می تواند آبشستگی موضعی اطراف سازه را تحت

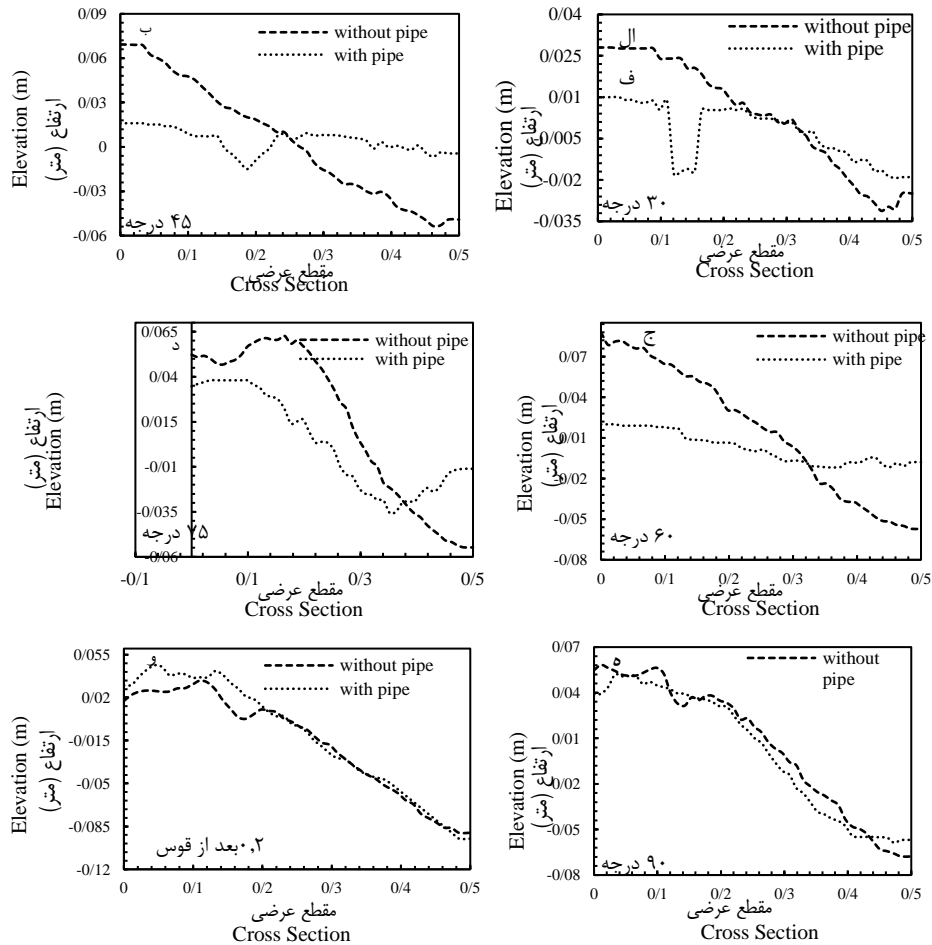
همان گونه که در بالا نیز اشاره شد، در بین سه زاویه جانمایی ۹۰ درجه، ۶۷/۵ درجه و ۴۵ درجه، جانمایی در زاویه ۹۰ درجه باعث شده است تا میزان آبشستگی افزایش یابد و با کاهش زاویه جانمایی، میزان آبشستگی کاهش یافته است. علت این امر آن است که با کاهش زاویه جانمایی لوله، تاثیر جریان



در مقابل فاصله بدون بعد از دیواره داخلی قوس ترسیم گردید. در شکل (۹) نتایج برای عدد فرود  $0.32/0.32$  ارائه شده است.

شکل (۹) بیانگر تغییرات بستر در زاویه های مختلف قوس در حالت جانمایی لوله به صورت دافع و در زاویه  $90^\circ$  درجه است.

تاثیر قرار دهد بلکه الگوی جریان و رسوب نیز دستخوش تغییرات خواهد شد. به منظور بررسی دقیق تر تاثیر خط لوله دافع با زاویه جانمایی های مختلف بر الگوی فرسایش و رسوبگذاری در طول قوس، در مقاطع عرضی مختلف در طول قوس و همچنین یک مقطع بعد از قوس ( $20$  سانتی متری پس از قوس)، عمق بدون بعد فرسایش و رسوبگذاری



شکل ۹- تغییرات بستر در زاوی های مختلف قوس در حالت جانمایی لوله دافع در زاویه  $90^\circ$  درجه: الف)  $30^\circ$  درجه، ب)  $45^\circ$  درجه، ج)  $60^\circ$  درجه، د)  $75^\circ$  درجه، ه)  $90^\circ$  درجه، و)  $90^\circ+0.2$  درجه

Figure 9- Bed changes at different angles of the arc in the position of the repeller pipe at an angle of  $90^\circ$  degrees: a)  $30^\circ$  degrees, b)  $45^\circ$  degrees, c)  $60^\circ$  degrees, d)  $75^\circ$  degrees, e)  $90^\circ$  degrees, f)  $90^\circ+0.2$  degrees

تثبیت کننده بستر عمل کرده است. درصد تغییر مقدار آبشستگی و رسوبگذاری در مقاطع مختلف در طول قوس در جدول (۱) ارائه شده است.

در نمودارهای بالا مشاهده می شود که در بالادست لوله، به جز در زاوی های  $30^\circ$  تا  $50^\circ$  درجه، تغییرات بستر نسبت به حالت بدون جانمایی لوله کمتر شده است و لوله در بستر مانند یک سازه

جدول ۱- درصد تغییرات مقدار حداکثر آبخستگی و رسوبگذاری در مقاطع عرضی مختلف برای سه زاویه جانمایی لوله دافع، در مقایسه با حالت بدون خط لوله مقطع عرضی

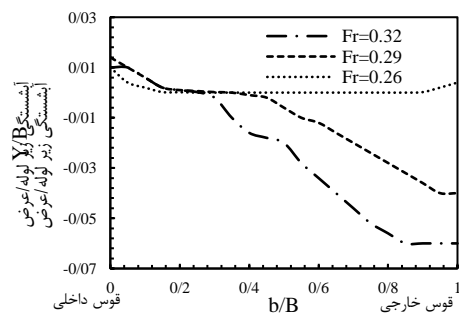
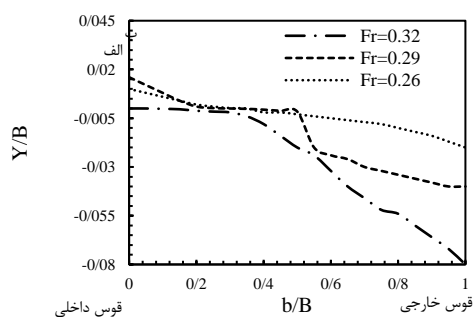
Table 1- The percentage of changes in the maximum amount of scouring and sedimentation in different cross-sections for three placement angles of the repeller pipe compared to the condition without the cross-section pipeline

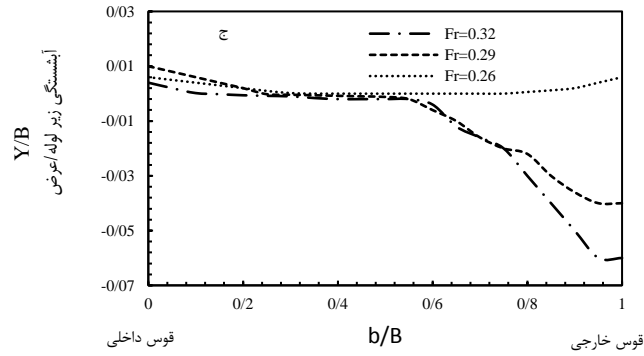
درصد تغییرمقدار رسوبگذاری			درصد تغییرمقدار آبخستگی			مقطع عرضی
۴۵ درجه	۶۷/۵ درجه	۹۰ درجه	۴۵ درجه	۶۷/۵ درجه	۹۰ درجه	
-۶۰	-۶۰	-۶۴/۲۸	-۲۹/۳	-۶۶/۶۷	-۲۴	۳۰
-۸۱/۱۵	-۷۳/۹۱	-۷۶/۹۱	-۶۶	-۶۰	-۹۱/۸۳	۴۵
-۸۷/۱۶	-۷۲/۴۱	-۷۷	+۵	-۱۹/۲۹	-۸۷/۹۶	۶۰
-۲۹	-۴۶/۷۷	-۲۴/۶۱	-۳۵/۱۵	+۳۴/۲۱	-۷۹/۶۲	۷۵
-۳۶/۲	-۳۶/۲	-۲۷/۷۷	-۳	-۳	-۱۶/۴۱	۹۰
-۳	-۱۵/۱۵	+۴۳/۳۳	-۴۴/۴۴	-۳۳/۳۳	+۵	بعد از قوس

• نشانه + یعنی افزایش و نشانه - یعنی کاهش نسبت به حالت مبنا ( بدون عبور خط لوله)

با توجه به اینکه آبخستگی زیر لوله از عوامل مخرب در موضوع مورد بررسی است، در ادامه به تحلیل میزان آبخستگی زیر لوله در هر یک از سناریوهای مورد بحث پرداخته شده است. مقایسه‌ها ابتدا مربوط به عمق نیمه مدفون با نسبت عمق جانمایی به عرض کانال به میزان ۰/۰۳ است. شکل ۱۰ بیانگر نمودار تغییرات بستر زیر لوله در حالت جانمایی لوله دافع در زاویه‌های مختلف در اعداد مختلف فرود است.

به‌طور کلی، جانمایی لوله میزان آبخستگی بعد از آن را نسبت به حالت بدون آن تشدید می‌کند. طبق جدول (۱)، بعد از لوله مشاهده می‌شود که مقدار آبخستگی نسبت به حالت مبنا افزایش یافته است. اما در فاصله‌های دورتر از لوله، میزان آبخستگی به دلیل وجود این سازه کاهش یافته است. در تمام سناریوها، به‌جز جانمایی لوله در زاویه ۹۰ درجه، میزان رسوبگذاری نسبت به حالت شاهد کاهش یافته است.





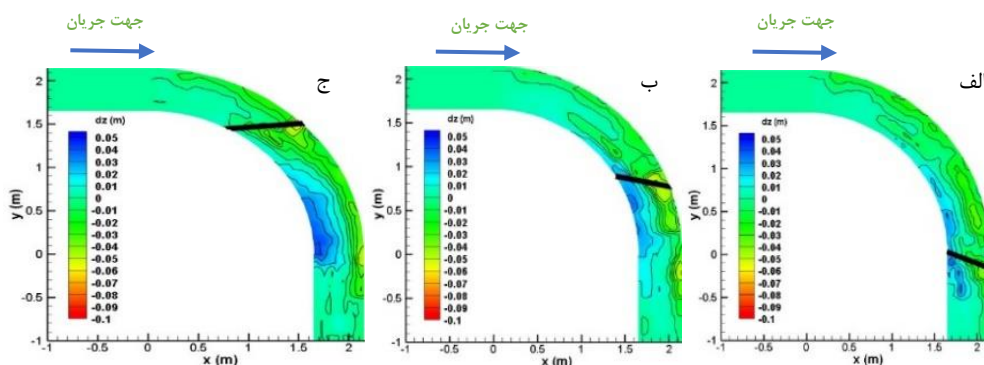
شکل ۱۰- نمودار تغییرات بستریز لوله در حالت جانمایی لوله دافع: الف) ۹۰ درجه، ب) ۶۷/۵ درجه، ج) ۴۵ درجه  
Figure 10- Diagram of changes in the bed under the pipe in the position of the repeller pipe: a) 90 degrees, b) 67.5 degrees, c) 45 degrees

روند آبشستگی زیر لوله در حالت جانمایی لوله در زاویه ۴۵ درجه و زاویه ۶۷/۵ درجه مانند هم مشاهده می شود.

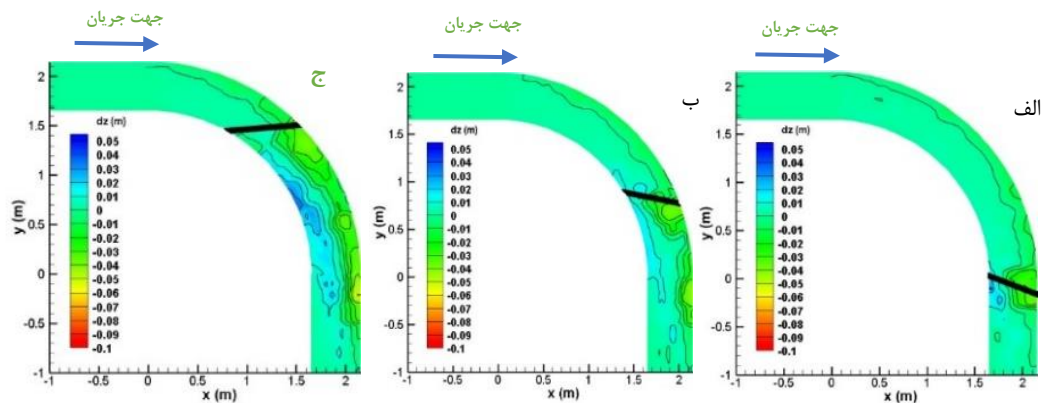
تاثیر زاویه قرارگیری لوله جاذب نسبت به قوس ملایم ( $\theta$ ) بر الگوی آبشستگی

به منظور بررسی تاثیر زاویه جانمایی لوله جاذب نسبت به محل قوس بر الگوی آبشستگی، سه زاویه جانمایی ۹۰، ۶۷/۵، ۴۵ = 45.67.5.90 درجه قرار داده شد. شکل های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به ترتیب نمایانگر جانمایی لوله در حالت های مختلف به ازای اعداد فرود متفاوت هستند.

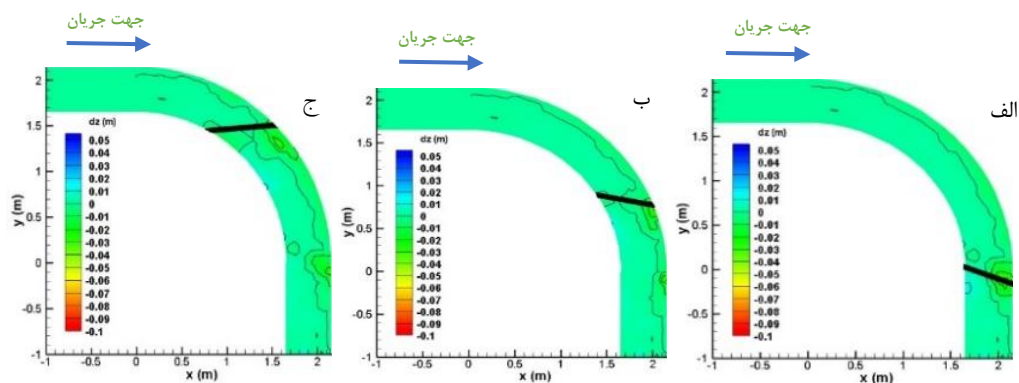
در نمودارهای بالا، اعداد مثبت بیانگر رسوبگذاری بالای لوله و اعداد منفی بیانگر آبشستگی زیر لوله هستند. در این نمودار ها مشاهده می شود با افزایش عدد فرود، میزان رسوبگذاری روی لوله در جدار قوس داخلی افزایش و با فاصله گرفتن از قوس داخلی و نزدیک شدن به قوس خارجی این مقدار کاهش یافته است. در حالت جانمایی لوله در زاویه ۹۰ درجه، نسبت آبشستگی زیر لوله به ازای عدد فرود ۰/۳۲ به ۰/۲۹ و ۰/۲۹ به ۰/۲۶ برابر ۲ بوده است. در حالت جانمایی لوله در زاویه ۶۷/۵ درجه، آبشستگی زیر لوله به ازای عدد فرود ۰/۳۲ به ۰/۲۹ به میزان ۳۳/۳۳ درصد کاهش یافته است و به ازای عدد فرود ۰/۲۶ آبشستگی زیر لوله مشاهده نمی شود.



شکل ۱۱- الگوی آبشستگی و رسوبگذاری نهایی برای سه زاویه جانمایی لوله جاذب: الف) ۹۰ درجه، ب) ۶۷/۵ درجه، ج) ۴۵ درجه ( $Fr=0.32$ )  
Figure 11- The pattern of scouring and final deposition for three placement angles of the absorber tube: a) 90 degrees, b) 67.5 degrees, c) 45 degrees ( $Fr=0.32$ )



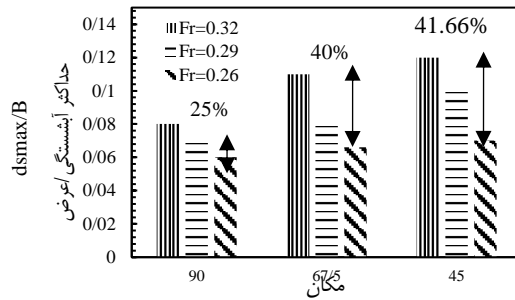
شکل ۱۲- الگوی آبشستگی و رسوبگذاری نهایی برای سه زاویه جانمایی لوله جاذب (الف: ۹۰ درجه ، ب) ۶۷/۵ درجه ، ج) ۴۵ درجه ( $Fr=0.29$ )  
 Figure 12- The pattern of scouring and final deposition for three placement angles of the absorber tube: a) 90 degrees, b) 67.5 degrees, c) 45 degrees ( $Fr=0.29$ )



شکل ۱۳- الگوی آبشستگی و رسوبگذاری نهایی برای سه زاویه جانمایی لوله جاذب (الف: ۹۰ درجه ، ب) ۶۷/۵ درجه ، ج) ۴۵ درجه ( $Fr=0.26$ )  
 Figure 13- The pattern of scouring and final deposition for three placement angles of the absorber tube: a) 90 degrees, b) 67.5 degrees, c) 45 degrees ( $Fr=0.26$ )

در مجاورت دیواره خارجی قوس کاهش یافته است. این مقدار کاهش برای جانمایی در زاویه ۹۰ درجه از ۰/۰۸ تا ۰/۰۶ ، برای زاویه ۶۷/۵ درجه از ۰/۱۱ به ۰/۰۶۶ و برای زاویه ۴۵ درجه از ۰/۱۲ به ۰/۰۷ است. به عبارتی، با کاهش ۱۸/۷۵ درصد در عدد فرود جریان مقدار آبشستگی حداکثر بدون بعد پایین دست خط لوله با جانمایی در زاویه ۹۰ درجه، ۶۷/۵ درجه و ۴۵ درجه به ترتیب ۲۵، ۴۰ و ۴۲ درصد کاهش یافته است.

در این حالت، با فاصله گرفتن از انتهای قوس و کاهش زاویه جانمایی لوله میزان آبشستگی افزایش یافته است. کمترین مقدار آبشستگی در زاویه ۹۰ درجه دیده می شود. علت این امر خلاف جهت بودن جریان با نحوه قرار گیری لوله است که سبب تاثیر بیشتر جریان ثانویه بر الگوی آبشستگی در زاویه های نزدیک به ابتدای قوس می شود. علاوه بر این، با مقایسه شکل های ۱۲ تا ۱۴ مشخص می شود با کاهش عدد فرود از ۰/۳۲ تا ۰/۲۶ مقدار حداکثر عمق آبشستگی بدون بعد در پایین دست خط لوله و



شکل ۱۴- نمودار حداکثر عمق حفرة آبشستگی در حالت جانمایی لوله جاذب نسبت به محل قوس در اعداد فرود متفاوت

Figure 14- The diagram of the maximum depth of the scour hole in the position of the absorber tube relative to the location of the arch in different Froud numbers

همان‌گونه که در بالا نیز اشاره شد، در بین سه زاویه جانمایی ۹۰ درجه، ۶۷/۵ درجه و ۴۵ درجه، جانمایی در زاویه ۴۵ درجه باعث شده است تا میزان آبشستگی بیشتر باشد؛ با افزایش زاویه جانمایی، میزان آبشستگی کاهش یافته است. مانند حالت قبل، به منظور بررسی دقیق‌تر تاثیر خط لوله جاذب

با زاویه جانمایی‌های مختلف بر الگوی فرسایش و رسوبگذاری در طول قوس، در مقاطع عرضی مختلف در طول قوس و یک مقطع بعد از قوس عمق بدون بعد فرسایش و رسوبگذاری در مقابل فاصله بدون بعد از دیواره داخلی قوس محاسبه شد. نتایج برای عدد فرود ۰/۳۲ در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- درصد تغییرات مقدار حداکثر آبشستگی و رسوبگذاری در مقاطع عرضی مختلف برای سه زاویه جانمایی لوله جاذب در مقایسه با حالت بدون خط لوله مقطع عرضی

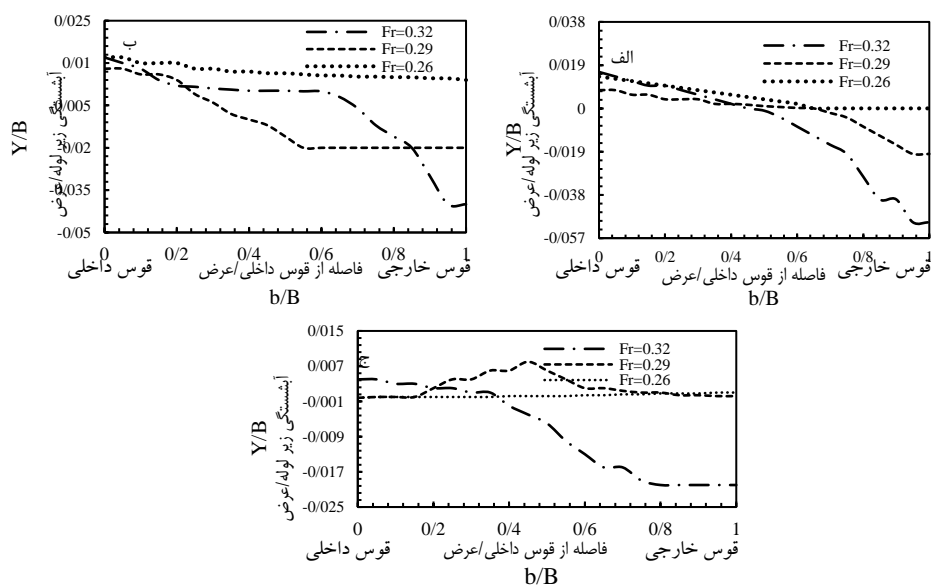
Table 2- The percentage of changes in the amount of maximum scouring and sedimentation in different cross-sections for three placement angles of the absorber pipe compared to the case without the cross-section pipeline

مقطع عرضی	درصد تغییر مقدار رسوبگذاری			درصد تغییر مقدار آبشستگی	
	۹۰ درجه	۶۷/۵ درجه	۴۵ درجه	۹۰ درجه	۶۷/۵ درجه
۳۰	-۷۵	-۶۴/۳	-۸۲/۱۴	-۱۹/۳۵	-۳۵/۴۸
۴۵	-۸۵/۵	-۷۶/۴۸	-۸۸/۴۵	-۱۱/۶۶	-۶۶
۶۰	-۷۵/۸۶	-۶۲/۵	-۸۵	-۵۷/۸۹	-۵۷/۱۹
۷۵	-۴۳/۵۴	-۵۲/۳۸	-۵۹/۶۱	-۳۳/۳۳	-۳۱/۴۸
۹۰	-۲۷/۵۸	-۵۸/۵۶	-۴۸/۱۴	-۲۵/۳۷	-۴۹/۲۵
بعد از قوس	-۶۶/۶۷	-۵۱/۵۸	+۱۵	-۶۶/۶۷	-۴۲/۲۲

• نشانه + یعنی افزایش و نشانه - یعنی کاهش نسبت به حالت مبنا ( بدون عبور خط لوله)

در جدول ۲ مشاهده می‌شود که جانمایی لوله تاثیر مثبت در تثبیت بستر داشته است و نیز تغییرات آبشستگی و رسوبگذاری بیشتر از حالت دافع بوده است. علت این امر کاهش میزان آبشستگی و رسوبگذاری نسبت به حالت دافع است. علاوه بر موارد فوق، در مقطع عرضی در زاویه ۴۵ درجه به دلیل جانمایی لوله در همان محل، میزان آبشستگی تشدید و افزایش یافته است.

شکل ۱۵ بیانگر نمودار تغییرات بستر زیر لوله در حالت جانمایی لوله جاذب در زوای مختلف در اعداد مختلف فرود است.



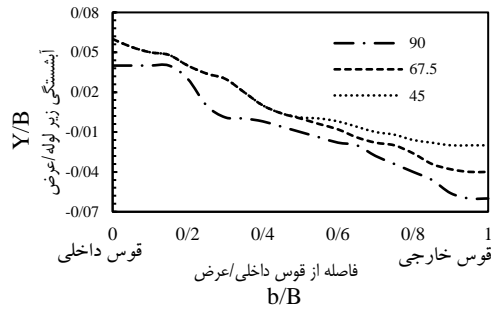
شکل ۱۵- نمودار تغییرات بستر زیر لوله در حالت جانمایی لوله جاذب: الف) ۹۰ درجه، ب) ۶۷/۵ درجه، ج) ۴۵ درجه  
 Figure 15- Diagram of changes in the bed under the pipe in the position of the attracting pipe: a) 90 degrees, b) 67.5 degrees, c) 45 degrees

#### تأثیر عمق جانمایی لوله بر الگوی آبشستگی

در پژوهش حاضر از یک عمق نیمه مدفون و دو عمق مدفون با دو نسبت عمق جانمایی به عرض کانال به میزان ۰/۰۳ و ۰/۰۶ به منظور بررسی تأثیر عمق قرارگیری لوله بر الگوی آبشستگی به ازای سناریوهای شبیه سازی استفاده شد. نتایج مربوط به جانمایی لوله به صورت نیمه مدفون با نسبت عمق جانمایی به عرض کانال به میزان ۰/۰۳ ارائه گردید. در دو حالت مدفون تنها در نسبت ۰/۰۳، حالت قرار گیری دافع نسبت به جهت جریان، عدد فرود ۰/۳۲ و در زاویه های ۹۰، ۶۷/۵ و ۴۰ آبشستگی زیر لوله مشاهده شد و در بقیه سناریوهای مورد بررسی، آبشستگی زیر لوله مشاهده نشد.

شکل ۱۶ بیانگر تغییرات بستر زیر لوله در حالت دافع به ازای زاویه های مختلف نسبت به قوس در حالت مدفون با نسبت عمق جانمایی به عرض کانال به میزان ۰/۰۳ و عدد فرود ۰/۳۲ است.

در نمودارهای بالا مشاهده می شود میزان آبشستگی زیر لوله در حالتی که لوله به صورت جاذب نسبت به جهت جریان قرار گرفته است، با افزایش زاویه جانمایی لوله نسبت به قوس کاهش می یابد به طوری که بیشترین میزان آبشستگی در زاویه ۴۵ درجه به ازای عدد فرود ۰/۳۲ به دست آمده است. با کاهش عدد فرود، مقدار کمی آبشستگی در قوس داخلی نیز ایجاد شده است که در برابر آبشستگی نسبت به قوس خارجی قابل چشمپوشی است. از نمودارهای بالا می توان نتیجه گرفت به ازای عدد فرود ۰/۲۶ در زاویه های ۶۷/۵ و ۴۵ درجه آبشستگی زیر لوله اتفاق نیفتاده است. در حالت کلی، در زاویه ۹۰ درجه میزان آبشستگی زیر لوله به ازای عدد فرود ۰/۳۲ نسبت به ۰/۲۹، دو و نیم برابر بوده است. در زاویه ۶۷/۵ درجه نیز میزان آبشستگی زیر لوله به ازای عدد فرود ۰/۳۲ نسبت به ۰/۲۹، دو برابر بوده است.

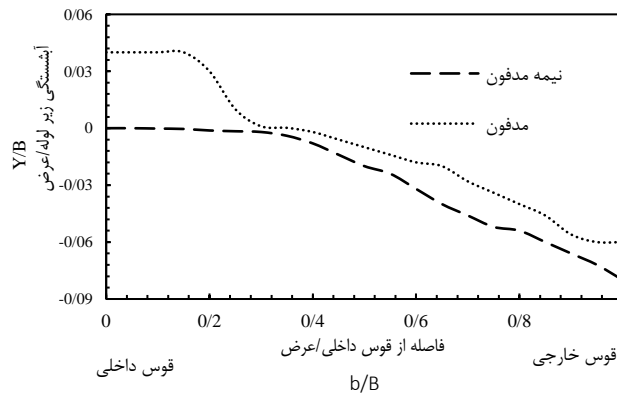


شکل ۱۶- تغییرات بستر زیر لوله در حالت دافع به ازای زاویه های مختلف نسبت به قوس در ارتفاع جانمایی به نسبت ۰/۳ با عرض کانال و عدد فرود ۰/۳۲

Figure 16- Changes of the bed under the pipe in the repulsive state for different angles with respect to the arc at the placement height in proportion to 0.03 with the width of the channel and Froude number 0.32

زاویه ۹۰ درجه، با ۷۵ درصد و زاویه ۴۵ درجه، نسبت به زاویه ۶۷/۵ درجه، با ۵۰ درصد کاهش آبشستگی روبه روست. با توجه به روند نتایج، در این سناریو نیز در زاویه کمتر از ۴۵ درجه میزان احتمال خطر کم و آبشستگی زیر لوله حداقل مقدار خود، یا نزدیک به صفر، است. شکل ۱۷ بیانگر نمودار تاثیر عمق بر میزان آبشستگی زیر لوله در حالت مدفون و نیمه مدفون به ازای بحرانی ترین حالت است.

در شکل ۱۶ مشاهده می شود که میزان رسوبگذاری روی لوله در زاویه ۹۰ درجه، نسبت به دو زاویه دیگر، کمتر است. علت آن بیشتر بودن قدرت جریان در جابه جایی رسوبها و هدایت آن به سمت پایین دست است. در زاویه ۹۰ درجه، طول بیشتری از لوله در معرض آبشستگی زیر لوله قرار گرفته است. علاوه بر این، مانند حالت نیمه مدفون، میزان آبشستگی در زاویه ۹۰ درجه نسبت به زاویه های دیگر بیشتر است. زاویه ۶۷/۵ درجه، نسبت به



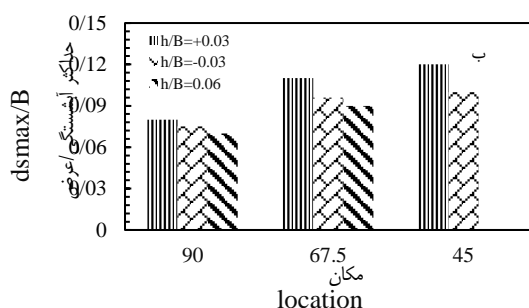
شکل ۱۷- نمودار تاثیر عمق بر میزان آبشستگی زیر لوله در حالت مدفون و نیمه مدفون به ازای بحرانی ترین حالت

Figure 17- The diagram of the effect of depth on the scouring rate under the pipe in the buried and semi-buried state according to the most critical state

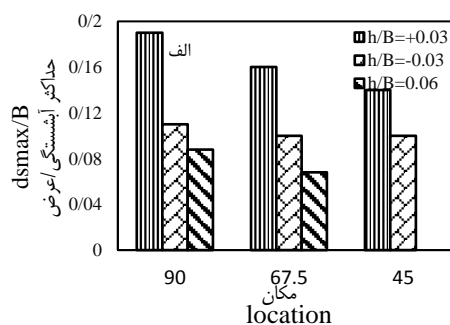
سناریو با لوله های مدفون به دلیل اینکه تمام لوله صلب در تمام با جریان نبوده است و لوله به طور کامل نمایان نشده است، سرعت برخورد جریان و جریان چرخشی نسبت به حالتی که لوله به صورت

در نمودارهای شکل ۱۷ مشاهده می شود که میزان آبشستگی زیر لوله در حالت مدفون کمتر است تا در حالت نیمه مدفون. در حالت مدفون، میزان آبشستگی ۲۵ درصد کاهش یافته است. در

شکل ۱۸ بیانگر نمودار حداکثر میزان آبشستگی موضعی بعد از لوله نسبت به محل وقوع آن در عمق-های مختلف به ازای عدد فرود ۰/۳۲ و حالت جانمایی لوله در جهت‌های مختلف بر مسیر جریان و زاویه‌های قرارگیری مختلف نسبت به قوس ملایم است. با توجه به اینکه به ازای اعداد فرود ۰/۲۹ و ۰/۲۶ در حالت جانمایی لوله به صورت مدفون، در برخی سناریو ها لوله نمایان نشد، در این مقاله تنها نتایج مربوط به عدد فرود ۰/۳۲ ارائه شده است.



مدفون قرار دارد کمتر بوده است. به علاوه، در حالتی که لوله به صورت مدفون قرار می گیرد، اختلاف فشار بالادست و پایین دست لوله نسبت به حالت نیمه مدفون کمتر بوده است و تاثیر جریان چرخشی و حلزونی در این حالت کمتر است. با توجه به توضیحات بالا، بحرانی ترین حالت همان حالت نیمه مدفون است. برای جلوگیری از مخاطره‌های مربوط به آبشستگی زیر لوله می توان لوله را در عمق‌های بزرگتر یا مساوی قطر لوله حفر کرد. در این حالت آبشستگی زیر لوله رخ نخواهد داد.



شکل ۱۸- نمودار حداکثر میزان آبشستگی موضعی نسبت به محل وقوع آن در عمق‌های مختلف: الف) دافع، ب) جاذب

Figure 18- Diagram of the maximum amount of local scour in relation to its location at different depths: a) repeller, b) attracting

نیمه مدفون به مدفون با نسبت عمق ۰/۰۳ به مقدار ۶۰ درصد، و از عمق مدفون با نسبت ۰/۰۳ به عمق مدفون با نسبت ۰/۰۶ به مقدار ۴۷ درصد کاهش یافته است. آبشستگی موضعی بعد از لوله در حالت جانمایی لوله در زاویه ۴۵ درجه از حالت نیمه مدفون به مدفون با عمق با نسبت ۰/۰۳ به مقدار ۱۰ درصد و در عمق با نسبت ۰/۰۶ در این سناریو لوله نمایان نشده است. به طریق مشابه، آبشستگی موضعی بعد از لوله در حالت جانمایی لوله در زاویه ۹۰ درجه از قوس حالت جاذب نسبت به جهت جریان آبشستگی موضعی از حالت نیمه مدفون به مدفون با عمق با نسبت ۰/۰۳ به مقدار ۶/۲۵ درصد و عمق مدفون با نسبت ۰/۰۳ به عمق مدفون با نسبت ۰/۰۶ نیز ۶/۲۵ درصد بوده است. آبشستگی موضعی

در نمودارهای بالا دیده می شود که با کاهش عمق جانمایی لوله، میزان آبشستگی موضعی کاهش یافته است. اما در حالت کلی، روند آبشستگی در عمق‌های مختلف نیز مانند روند آبشستگی در حالت نیمه مدفون است.

با توجه به داده های به دست آمده، آبشستگی موضعی بعد از لوله در حالت جانمایی لوله در زاویه ۹۰ درجه از قوس حالت دافع نسبت به جهت جریان آبشستگی موضعی از حالت نیمه مدفون به مدفون با نسبت عمق جانمایی به عرض کانال به میزان ۰/۰۳ به مقدار ۷۲ درصد، و از عمق مدفون با نسبت ۰/۰۳ به عمق مدفون با نسبت ۰/۰۶ به مقدار ۲۵ درصد کاهش یافته است. آبشستگی موضعی بعد از لوله در حالت جانمایی لوله در زاویه ۶۷/۵ درجه از حالت



۴۵ درجه از حالت نیمه مدفون به مدفون با عمق با نسبت ۰/۰۳ به مقدار ۲۰ درصد و در عمق با نسبت ۰/۰۶ در این سناریو لوله نمایان نشده است. شکل ۱۹ نمایانگر آبشستگی زیر لوله در دو حالت جانمایی دافع و جاذب به ازای بیشترین مقدار است.

بعد از لوله در حالت جانمایی لوله در زاویه ۶۷/۵ درجه از حالت نیمه مدفون به مدفون با عمق با نسبت ۰/۰۳ به مقدار ۱۴/۵۸ درصد و از عمق مدفون با نسبت ۰/۰۳ به عمق مدفون با نسبت ۰/۰۶ به مقدار ۶/۶۷ درصد کاهش یافته است. آبشستگی موضعی بعد از لوله در حالت جانمایی لوله در زاویه



شکل ۱۹- حداکثر میزان آبشستگی موضعی زیر لوله: الف) دافع، ب) جاذب

Figure 19- The maximum amount of local scour under the pipe: a) repeller, b) attracting

مختلف، سه زاویه متفاوت ۹۰، ۶۷/۵ و ۴۵ درجه از قوس ملایم، دو حالت جانمایی لوله به صورت دافع و جاذب نسبت به جهت جریان و همچنین یک عمق نیمه مدفون و دو عمق مدفون به انجام رسید. نتایج نشان داد که با جانمایی لوله در حالت دافع، میزان آبشستگی بعد از لوله و زیر لوله نسبت به حالت جاذب افزایش یافته است. با توجه به زاویه های جانمایی، مشاهده شد که در حالت دافع با افزایش زاویه جانمایی لوله در قوس، میزان آبشستگی بعد و زیر لوله افزایش یافته است. اما در حالت جاذب مشاهده شد که با نزدیک شدن به ابتدای قوس و کاهش زاویه جانمایی لوله، به دلیل همسو نبودن جهت جریان با جهت لوله، میزان آبشستگی بعد از لوله کاهش یافته است، اما روند آبشستگی زیر لوله مانند حالت دافع مشاهده شد. با کاهش عدد فرود جریان، قدرت جریان نسبت به مقاومت بستر کاهش یافته است، در نتیجه میزان آبشستگی نیز روند کاهشی داشته است. با افزایش عمق جانمایی لوله، مشاهده شد که تاثیر لوله بر آبشستگی موضعی کم شده است؛ حتی در برخی سناریوهای شبیه سازی، جانمایی لوله مدفون در عمق های

در شکل های بالا مشاهده می شود که قبل و بعد از لوله رسوبگذاری رخ داده که میزان رسوبگذاری بعد از لوله بیشتر از میزان رسوبگذاری قبل از لوله است و رسوبها همراه جریان به پایین دست هدایت شده اند. در حالت الف در بحرانی ترین حالت یعنی زاویه ۹۰ درجه مقدار آبشستگی ۴ سانتی متر محاسبه شد. با نزدیک شدن به قوس داخلی، از میزان آبشستگی زیر لوله کم شده است و در قوس داخلی، قبل از لوله و بعد از لوله، رسوبگذاری مشاهده شده است. در حالت ب در بحرانی ترین حالت یعنی زاویه ۴۵ درجه و جانمایی لوله به صورت جاذب، آبشستگی زیر لوله برابر با ۲/۵ سانتی متر محاسبه شد و این آبشستگی تا فاصله ۲۰ سانتی متری از قوس داخلی ادامه دارد و مانند حالت قبل، قبل و بعد از لوله رسوبگذاری رخ داده است.

### نتیجه گیری

در این پژوهش تاثیر جانمایی لوله در زاویه های مختلف در قوس ملایم و عمق های مختلف و اعداد فرود متفاوت بررسی گردید. بدین منظور آزمایشها در سه عدد فرود

با نسبت ارتفاع جانمایی به عرض کانال به میزان ۰/۰۶ کمتر از ۴۵ درجه میزان تاثیر آبشستگی موضعی ناشی از تاثیر بر آبشستگی موضعی نداشته است. می توان نتیجه گرفت که در عمق های بیشتر از این نسبت و در زاوی های لوله مدفون و نیمه مدفون حداقل بوده است و در نتیجه کمترین خسارات را به همراه دارد.

## سپاسگزاری

از مسئولان محترم گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه رازی که امکانات آزمایشگاهی را به منظور گردآوری پژوهش حاضر فراهم کردند تقدیر و تشکر می گردد.

## مراجع

- Arman, A., Zahiri, J., Fatahi, P., & Ghanbari, S. (2017). Comparison and Simulation of Flow Pattern in a 90 Degree Mild Bend Using CCHE2D and SRH-2D Models. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 47.1(86), 11-19. (In Persian). [https://ceej.tabrizu.ac.ir/article\\_6225.html](https://ceej.tabrizu.ac.ir/article_6225.html)
- Ataian, A., & Yasi, M. (2011), Estimating the depth of localized scour under a pipeline at the intersection with the river. Master's thesis, Faculty of Agriculture, Urmia University. (In Persian).
- Bahrami Yarahmadi, M., Shafai Bajestan, M., & Pagliara, S. (2020). An experimental study on the secondary flows and bed shear stress at a 90- degree mild bend with and without triangular vanes. *Journal of Hydro-environment Research* 33, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jher.2020.10.001>
- Bijanvand, S., Kashefipour, S. M., & bahrami yarahmadi, M. (2021). Study on the Effect of Pipe Installation Depth on Temporal Changes of Scouring and Sedimentation Parameters Around the River Crossing Pipelines. *Journal of Hydraulics*, 16(3), 41-53. (In Persian). <https://doi.org/10.30482/jhyd.2021.277909.1514>
- DHI (1992) Hydraulic Manual of Mike 11 Mode, a microcomputer based modelling system for rivers and channels. Danish Hydraulic Institute (DHI), Denmark. <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-11>
- Julien, P.Y., (2002). River Mechanics. Cambridge University Press. [http://assets.cambridge.org/052156/2848/frontmatter/0521562848\\_frontmatter.pdf](http://assets.cambridge.org/052156/2848/frontmatter/0521562848_frontmatter.pdf)
- Katourany, S.S., Ghobadian, R., Ghodsian, M., 2022. Laboratory Study of Pier Location on Scouring Around Bridge Pier in 90-Degree Mild Bend. *Irrigation and Water Engineering*, 12(4), 1-20. (In Persian). <https://doi.org/10.22125/iwe.2022.150679>
- Khademi, K., & Shafai Bajestan, M. (2014). Considering the effects of number, location and angle of submerged vane on bridge abutment scour. *Iranian Water Researches Journal*, 8(2), 145-153. (In Persian) [http://iwrij.sku.ac.ir/article\\_11014.html?lang=en](http://iwrij.sku.ac.ir/article_11014.html?lang=en)
- Li, M., & Ma, H. (2022). Scouring mechanism of suspended and partially-buried pipelines under steady flow. *Coastal Engineering*, 177, 104201. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104201>
- Liu, X., Zhang, H., Zheng, J., Guo, L., Jia, Y., Bian, C., Li, M., Ma, & L., Zhang, S. (2020). Critical role of wave-seabed interactions in the extensive erosion of yellow river estuarine sediments. *Mar. Geol.* 426, 106208. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106208>
- Maddah, S., Kolahdouzan, F., Khabari, M., & Afzalimehr, H., & Singh, V. (2022). Experimental Study of Scouring in Groups of Pipelines with Different Diameters. *American Journal of Fluid Dynamics*. 12. 131-140. <http://dx.doi.org/10.5923/j.ajfd.20221202.01>
- Parchami, L., Asghari Pari, S., Shafai Bajestan, M. (2017). Experimental Investigation of Submerged Vanes Shape Effect on Bridge Pier Scouring. *Water and Soil Science*, 27(1), 29-41. (In Persian) [https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article\\_6203.html](https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_6203.html)
- Prandtl, L. (1952). Essentials of fluid dynamics. Hofner publishing company, New York. [https://www.academia.edu/27116134/Prandtls\\_Essentials\\_of\\_Fluid\\_Mechanics\\_Herbert\\_Oertel](https://www.academia.edu/27116134/Prandtls_Essentials_of_Fluid_Mechanics_Herbert_Oertel)

Przedwojski, B., (1995). Bed topography and local scour in rivers with banks protected by groynes. J. Hydraul. Res. 33 (2), 257–273. <https://doi.org/10.1080/00221689509498674>

Rosgen, D.L., (2006). The Cross-Vane, W-weir, and J-hook Structures: Description, Design and Application for Stream Stabilization and River Restoration. Wildland Hydrology, Colorado. [https://doi.org/10.1061/40581\(2001\)72](https://doi.org/10.1061/40581(2001)72)

Struiksma, N., Olesen, K.W., Flokstra, C., De Vriend, H., (1985). Bed deformation in curved alluvial channels. J. Hydraul. Res. 23 (1), 57–79. <https://doi.org/10.1080/00221688509499377>

Tamoradi, S, & Ahadiyan, J. (2022). The Effect of Injection Discharge to Reduce the Bend Scour Using Water Injection Technique. Water Resources, 49(3), 422–428. <https://doi.org/10.1134/S0097807822030150>

ai, Y., Zhang, J., Guo, Y., Tang, Z., & Zhang, T. (2022). Study of wave-induced seabed response around twin pipelines in sandy seabed through laboratory experiments and numerical simulations, Ocean Engineering, 244, 2022,110344. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110344>

## Original Research

## Extended Abstract

## The Effect of the Angle and Depth of the Buried and Semi-Buried Pipe on the Amount of Scouring and Sedimentation Around the Pipe in a 90-Degree Mild Bend Using a Laboratory Model

Rezvan Valizadeh <sup>a</sup>, Ali Arman <sup>b\*</sup>, Rasoul Ghobadian <sup>c</sup>

<sup>\*</sup> Assistant Professor, Department of Agriculture, Razi University

### Introduction

Due to the importance of the topic in the fluid transfer industry, the way of pipelines across the width and bed of the rivers has been considered especially in recent decades. In practice, the passage of pipelines through meandering rivers and river bends is unavoidable. In this research, local scouring of buried and semi-buried pipe in 90-degree mild bend under different scenarios was investigated. The results of this research can help the functioning of rivers and their interaction with structures in the river such as buried and semi-buried pipelines, predicting the amount of water washing around them and using its results in the design and placement of these pipelines.

### Methodology

The laboratory model on which the scenarios of this research are based includes an arc-shaped channel located in the hydraulic laboratory and physical models of the water science and engineering department of Razi University. In this arc-shaped flume, the length of the upstream span is 5.4 meters, the length of the downstream span is 4.5 meters, the inner radius is 1.6 meters, the outer radius is 2.1 meters, the height is 0.6 meters, and the floor width is 0.5 meters. In order to check the correct functioning of the physical model and to trust its results, an experiment was conducted without the presence of the pipe buried in the bend. In this experiment, the flow descent number equal to 0.32 and sediments with a uniform grain and a diameter of 0.85 mm and a thickness of 15 cm were placed in the flume bed. After conducting the test for 6 hours and not observing the movement of the bed load, the pump was finally turned off and after the complete drainage of the flume, the bed profile was measured.

### Results and Discussion

The effect of the placement angle of the repeller pipe relative to the mild arc ( $\theta$ ) on the scouring pattern

The results showed that by placing the pipe in the repulsive state, the amount of scour after the pipe and under the pipe has increased compared to the attracting state. According to the placement angles, it was observed that in repulsive mode, with the increase of the placement angle of the pipe in the bend, the amount of scouring after and under the pipe has increased.

The effect of the placement angle of the attracting pipe relative to the mild arc ( $\theta$ ) on the scouring pattern

In the absorbant state, it was observed that by approaching the beginning of the arc and reducing the placement angle of the pipe due to the non-alignment of the flow direction with the pipe direction, the amount of scour after the pipe decreased, but the process of scouring under the pipe was observed as in the repulsive state.

The effect of pipe placement depth on scouring pattern

By increasing the depth of pipe placement, it was observed that the effect of the pipe on local erosion has decreased; Even in some simulation scenarios, the placement of the pipe in the depths with the ratio of the placement height to width of the channel of 0.06 buried pipe has no effect on the local erosion. It can be concluded that at depths equal to or greater than The ratio of placement depth to channel width is 0.06, the effect of local scouring caused by the buried and semi-buried pipe is minimal, and as a result, it causes the least damages.

### **Conclusions**

The results showed that by placing the pipe in the repulsive state, the amount of scour after the pipe and under the pipe has increased compared to the attracting state. According to the placement angles, it was observed that in repulsive mode, with the increase of the placement angle of the pipe in the arch, the amount of scouring after and under the pipe has increased. However, in the absorbant state, it was observed that by approaching the beginning of the arc and reducing the placement angle of the pipe due to the non-alignment of the flow direction with the direction of the pipe, the amount of scouring after the pipe decreased, but the process of scouring under the pipe was observed as in the repulsive state.

### **Acknowledgement**

Hereby, the respected officials of the water science and engineering department of Razi University are appreciated and thanked for the efficiency of the laboratory facilities in order to compile the present research.

**Keywords:** 90-degree mild bend, pipe placement, scouring, buried and semi-buried pipe, sedimentation