# بررسی عددی و تجربی پدیده جدایش جریان در اطراف خطوط لوله نیمه مدفون تحت جریانهای دائمی

شروین عمرانی ' ، حبیب حکیم زاده '

۱– کارشناس ارشد سازههای دریایی، دانشگاه صنعتی سهند ۲– دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند

#### چکیدہ

در این مقاله به منظور کمک به فهم بهتر اندرکنش لوله – جریان، تغییرات به وجود آمده در الگوی جریان اطراف خطوط لوله به ازای نسبت های متفاوت عمق دفن شدگی به قطر لوله به صورت عددی و تجربی در حالت جریان دایمی مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش مدل سازی فیزیکی، آزمایش ها در کانال آزمایشگاهی به طول: ۱۰ متر، عرض ۱۳/۰ متر و عمق ۱/۰ متر و با استفاده از لوله پولیکا (P.V.C) به قطر ۲/۳۵ سانتی متر (به ازای نسبت های متفاوت عق دفن شدگی به قطر لوله) انجام گرفته است. جهت مشاه ده الگوی جریان از ذرات پلی استایرن که دارای قطر ۱/۰ میلی متر وچگالی نسبی لوله) انجام گرفته است. جهت مشاه ده الگوی جریان از ذرات پلی استایرن که دارای قطر ۱/۰ میلی متر وچگالی نسبی بوسیله دوربین دیجیتالی فیلم برداری صورت گرفته است. در بخش شبیه سازی عددی نیز، میدان جریان با استفاده از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی "FLUENT" تحلیل شده است. نرم افزار مذکور معادلات حاکم بر جریان را با به کارگیری روش حجم محدود گسسته سازی می نماید. ایجاد هندسه و شبکه بندی مدل نیز به وسیله پیش پردازنده "GAMBIT" مورت گرفته است.

## Numerical and Empirical Investigation of Flow Separation Phenomenon around Semi-buried Pipelines due to Steady Currents

S.Omrani<sup>1</sup>, H. Hakimzadeh<sup>2</sup>

1- M.Sc. in Marine Structures, Sahand University of Technology

2- Associate Professor, Faculty of Civil Eng., Sahand University of Technology

#### Abstract

In this paper, in order to understand the flow-pipe interaction more clearly, the variations on flow pattern around semi-buried pipelines due to steady current have physically and numerically been investigated. In physical modeling section, the experiments have been carried out in a flume with 10 meter length, 0.3 meter width and 0.5 meter depth using a P.V.C pipe with 6.35 cm in diameter (for different burial depth-diameter ratios). To visualize the flow patterns, the polystyrene particles with 0.4 mm in diameter and 1.05gr/cm<sup>3</sup> in density have been used. In order to understand the phenomenon as well as possible, the whole processes of tests have been recorded using a digital camera. For the numerical simulation section, the flow field has been analyzed using a computational fluid dynamics software "FLUENT". For the software, the

governing equations are descretized using the finite volume method. Geometry and mesh production have been done using a pre-processor software called "GAMBIT". **Keywords:** Flow Pattern, Pipelines, Numerical Simulation, Finite Volume Method, Physical Model

و تجربی مورد مطالعه قرار داد [۶]. وی بصورت تجربی برای  $10^4 ext{ Re} = 0.6 \times 10^4$  طول ناحیه جدایی در بالادست استوانه را برابر 1D وطول ناحیه جدایی اولیه در پایین دست استوانه را برابر BD برآورد نمود. همچنین برای  $Re = 10 \times 10^4$  نیز بصورت تجربی طول نواحی جدایی اولیه در بالادست و پایین دست استوانه به ترتيب برابر با 1.5D و 10D بدست آورد. همچنين وي  $Re = 1.5 \times 10^4$  در یک فرآیند شبیه سازی عددی در طول ناحیه جدایی در بالادست استوانه را برابر با 0.77D و در پایین دست برابر با 7D پیشبینی نمود. در سال ۲۰۰۵ لیانگ و چنگ کارایی مدل های آشفتگی مختلف را برای شبیهسازی جریان و آبشستگی اطراف لولهای که به اندازه ۰/۳۷ برابر قطر خود بالای بستر صلب قرار گرفته بود، بررسی نمودند [۷ و ۸]. آنها دریافتند که مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  برای کاربردهای مهندسی قابل اعتمادتر میباشد. در رابطه با آبشستگی مربوط به خطوط لوله و پایههای استوانهای نیز میتوان به ترتیب به بررسیهای عددی و تجربی انجام گرفته توسط لی و چنگ [۹] و اتما و همکاران [۱۰] اشاره نمود. سرانجام در مورد پیشبینی عمق آبشستگی اطراف خطوط لوله دریا میتوان به بررسیهای تجربی موسوی و همکاران [۱۱] اشاره کرد. همچنین ممکن است به مرور زمان بخشی از خطوط لولهای که در بستر دریا قرار می گیرد در اثر تغییر در نیمرخ بستر، در خاک مدفون شده و بالطبع الگوی جریان در اطراف آنها و طول نواحی جدایی در بالادست و پایین دست خطوط لوله دستخوش تغییر گردد، از اینرو در تحقیق حاضر به بررسی پدیده جدایش جریان به ازای مقادیر دفن شدگی مختلف يرداخته شده است.

### ۲- مدل سازی آزمایشگاهی

به طور عموم هدف از انجام آزمایشات بر روی مدل فیزیکی، یافتن طول نواحی جدایی در بالادست و پایین ۱– مقدمه

همواره در طراحی خط لوله این نکته را نباید از نظر دور داشت که گسیختگی آنها میتواند پیامدهای اقتصادی و زیست محیطی خطرناکی را به همراه داشته باشد. به طور کلی هنگامی که سازهای در محیط دریا قرار می گیرد، حضور سازه موجب تغییر الگوی جریان در فاصله نزدیکی از سازه شده که یک یا چند مورد از پدیده هایی نظیر انقباض جریان، شکل گیری گردابههای نعل اسبی در جلو سازه، شکل گیری گردابههای چرخکی (با یا بدون گردابه فکنی) در پشت سازه و نیز تولید آشفتگی را به همراه خواهد داشت [۱]. این تغییرات می تواند منجر به خستگی سازه و یا آبشستگی در اطراف آن گردد و نهایتا پایداری سازه را تهديد نمايد [۲] . با توجه به اينكه جريان يك سويه دایمی در مقایسه با جریان رفت و برگشتی ناشی از موج میتواند تهدید جدی تری برای پایداری سازه باشد [۳] و همینطور به دلیل آنکه در مناطق فراساحلی، عملا موج بستر دریا را حس نمی کند و از سوی دیگر به علت همراه شدن بسیاری از رودخانههای طویل کشور با شبکههای وسیع انتقال نفت خام، گاز طبیعی، آب و فاضلاب، لزوم مطالعه الكوى جريان اطراف خطوط لوله در حالت جریان دایمی محسوس بوده و از اهمیت ویژه ای برخوردار خواهد بود. تحقیقاتی نیز در ارتباط با الگوهای جریان اطراف خطوط لوله دریایی و یا استوانههای دایرهای انجام شده است. بیرمن و زددراوکویچ در سال ۱۹۷۸ برای خط لوله واقع بر بستری که در معرض جریان قرار داشت، سه ناحیه جدایی، یکی در بالادست لوله و دو تا در پایین دست آن مشاهده نمودند [۴] . سامر و فردسو در سال ۱۹۹۷ مرجع کاملی را در ارتباط با رژیمهای جریان اطراف یک استوانه دایرهای تحت جریان دائمی به ازای اعداد رینولدز مختلف ارائه نمودند [۵]. برارز در سال ۱۹۹۹ جریان و آبشستگی را برای خطوط لوله بصورت عددی

دست خطوط لوله به ازای نسبتهای متفاوت عمق دفنشدگی به قطر لوله (G/D) مورد نظر بوده است. به همین منظور، یک سری آزمایش در آزمایشگاه هیدرولیک و مکانیک سیالات دانشگاه صنعتی سهند ترتیب داده شد. در ساخت مدل فیزیکی سعی شده است پارامترهایی که بطور غیر مستقیم الگوی جریان را تحت تاثیر قرار میدهند، حذف شوند که از جمله آنها میتوان به تاثیر مرزهای ورودی و خروجی اشاره نمود. هنگام طراحی و ساخت مدل آزمایشگاهی و کاربرد آن نکات ذیل مد نظر بوده اند:

۱- الگوی جریان در اطراف خطوط لوله بصورت دو
بعدی (در جهت های قائم و طولی کانال) مورد بررسی
قرار گرفته و از تغییرات در عرض در مقایسه با دو
جهت دیگر صرف نظر شده است.

۲- جهت ایجاد نسبت های متفاوت عمق دفن شدگی به قطر لوله (G/D های متفاوت)، لوله متناسب با عمق های دفن شدگی مختلف برش زده شده و بر روی کف صاف هیدرولیکی کانال ثابت شده است.

۳- هنگام پر کردن کانال به منظور کمینه نمودن حالت جریان متغیر تدریجی که با عمق کم و سرعت زیاد در کانال بوجود آمده و سبب ایجاد خطا در مشاهدات آزمایشگاهی می گردد، ابتدا حجم کانال تا عمق مورد نظر پر شده و سپس جریان دائمی در کانال برقرار گردیده است.

## ۲-۱- مشخصات کانال آزمایشگاهی

در این تحقیق، آزمایش ها در کانال آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر، عرض ۲/۰متر و عمق ۰/۵ متر (شکل ۱) و با استفاده از لوله پولیکا (P.V.C) به قطر ۶/۳۵۵ سانتی متر (به ازای نسبت های متفاوت عمق دفن شدگی به قطر لوله) و در شرایط جریان دایمی انجام شده است. مهمترین بخش کارهای آزمایشگاهی انجام دقیق آزمایشها و ثبت مشاهدات و نتایج می باشد. به همین منظور یک مقیاس با دقتی در حد میلی متر در پشت دیواره جانبی کانال و در زیر

خط لوله نصب گردیده است به طوری که محور x در امتداد طولی کانال باشد.

دبی کانال از صفر تا ۳۰ لیتر بر ثانیه قابل تنظیم می باشد و این مهم بوسیله یک شیر متصل به لوله ای که آب از طریق آن از مخزن به کانال پمپ می شود، انجام می گردد. دیوارههای قائم کانال از جنس پلکسی گلاس و کف آن پلاستیک فشرده میباشد. جریان آب توسط پمپی از مخزن به داخل کانال پمپاژ می گردد. در سرعتهای بالا بدلیل ضربههای جریان خروجی از پمپ به قسمت ورودی کانال، سطح جریان در داخل کانال موجدار می شود که به منظور جلوگیری از این پدیده شبکهای طوری شکل در ورودی کانال تعبیه گردیده است به گونهای که آشفتگیها و نوسانهای موجود در سطح جریان ورودی حذف و باعث یکنواخت شدن سرعت و شکل جریان می گردد. همچنین در قسمت پشت مرز خروجی کانال، صفحه فلزی به منظور تنظیم عمق آب تعبيه شده است. اين صفحه به اهرمي چسبیده به دیواره کانال متصل بوده و با چرخاندن این اهرم، صفحه مذکور، ضمن چرخش در محدوده زوایای صفر تا ۹۰ درجه نسبت به کف کانال عمق آب را تا نقطه مورد نظر تنظیم مینماید. به منظور کمینه نمودن تاثیر مرزهای ورودی و خروجی کانال، لوله دقیقا در وسط کانال و در فواصل ۵ متر نسبت به مرزهای ورودی و خروجی قرار داده شده است. جهت مشاهده الگوی جریان از ذرات پلی استایرن که دارای قطر ۴/۰ میلی متر و چگالی برابر <sup>3</sup> ۱/۰۵ gr/cm میباشند، استفاده شده است.



شکل ۱ - کانال آزمایشگاهی

۶٧

۲-۲- روش انجام آزمایشها و مشخصات مدلهای مورد آزمایش

همانگونه که پیش از این بیان گردید یکی از اهداف از انجام آزمایشات بر روی مدل فیزیکی، برآورد طول نواحی جدایی در بالادست و پایین دست خطوط لوله به ازای نسبتهای متفاوت عمق دفن شدگی به قطر لوله (G/D) بوده است.

روش انجام آزمایشهای این پژوهش در حالت عمومی به صورت زیر بوده است: ابتدا جهت ایجاد نسبتهای متفاوت عق دفن شدگی به قطر لوله (G/D های متفاوت) لوله پولیکا (P.V.C) در ارتفاعهای متفاوت برش زده میشود و بر روی کف صاف هیدرولیکی کانال ثابت می گردد. به منظور ممانعت از حرکت جانبی لوله، دو انتهای لوله به وسیله خمیر پلاستیک به دیوارههای جانبی کانال چسبیده میشود.

یس از آنکه لوله به دیوارههای کانال ثابت شد، یمپ روشن شده و دبی بوسیله شیر متصل به لوله ای که آب از طریق آن از مخزن به کانال پمپ می شود، به مقدار مورد نظر (۱۸ l/s) رسانده می شود. بلافاصله پس از آن بوسیله صفحه فلزی که به منظور تنظیم عمق آب در قسمت پشت مرز خروجی کانال تعبیه شده است، عمق آب به ۳۰cm رسانده می شود. پس از گذشت زمان اندکی که نوسانات دبی به صفر رسید، عمق آب ثابت شده، جریان دایمی در کانال تثبیت شده و آزمایش اصلی آغاز میشود. اکنون ذرات پلی استایرن که جهت پی بردن به فیزیک پدیده و نیز ممانعت از تداخل در مسیر یمیاژ جریان در داخل محفظهای مهار شده اند از فاصله مناسبی در بالادست جریان بر روی سطح رها می شوند. همچنین برای ثبت مشاهدات آزمایـ شگاهی از كليه مراحل انجام آزمايش بوسيك دوربين دیجیتالی فیلمبرداری صورت می گیرد و طول نواحی جدایی در بالادست و پایین دست خط وط لوله به ازای نسبتهای متفاوت عمق دفن شدگی به قطر لوله (G/D) اندازه گیری می گردد (شکل ۲).











G/D = 0.35



G/D= 0. 5



در این آزمایشات عدد رینولدز مطابق رابطه ذیل تعریف می شود:

$$\operatorname{Re} = U(D-G)/\nu \tag{1}$$

D مر آن U سرعت متوسط جریان آب در کانال، D قطر لوله، G عمق دفـنشـدگی و  $\upsilon$  ویسکوزیته سینماتیکی آب میباشد که برای آب در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد برابر  $m^2/s$   $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s در نظر گرفته شده است.

## ۲-۳- نتایج مدلسازی فیزیکی

در آزمایشهای انجام شده ذرات پلی استایرن رها شده در مسیر پمپاژ جریان در فواصل مشخصی از بالادست و پایین دست خط لوله دچار پیچش میشوند. این پیچشها معرف نواحی جدایی در بالادست و پایین دست خط لوله میباشد. به طور کلی سه ناحیه جدایی، دو مورد در پایین دست و یکی نیز در بالا دست قابل مشاهده بودند. نتایج آزمایشهای انجام شده به ازای نسبتهای متفاوت عمق دفنشدگی به قطر لوله در جدول ۱ آمده است.

همانگونه که از روی نتایج جدول ۱ مشاهده می شود با افزایش نسبت عمق دفن شدگی به قطر لوله، طول نواحی جدایی در بالا دست و پائین دست خطوط لوله کاهش می یابد. همچنین با افزایش عمق دفن شدگی، نرخ کاهش طول جدایی نیز در ناحیه پایین دست قابل ملاحظه بوده به گونه ای که با افزایش عمق دفن شدگی تا نصف قطر لوله، طول ناحیه جدایی در پایین دست به کمتر از نصف مقدار اولیه کاهش می یابد.

## ۳- شبیه سازی عددی

جهت شبیهسازی عددی ۳۵ برابر قطر لوله به عنوان ناحیه محاسباتی انتخاب شده است. فاصله لوله از مرز بالادست معادل ۱۰ برابر قطر آن و از مرز پایین دست ۲۵ برابر آن می باشد. عمق آب برابر با ۳۰ سانتی متر، قطر لوله ۶/۳۵ سانتی متر و سرعت متوسط جریان در کانال برابر با ۲۰ سانتی متر بر ثانیه می باشد. شکل ۳ بخشی از محیط محاسباتی مورد نظر را نمایش میدهد که در آن D قطر لوله، G عمق دفن شدگی و U سرعت جریان دائمی در کانال آزمایشگاهی است.



شکل ۳ - طرح شماتیک محیط محاسباتی

جزئیات شبکهبندی ناحیه محاسباتی در ادامه آورده شده است. شبکهبندی اولیه مدل بوسیله نرم افزار پیش پردازنده GAMBIT صورت گرفته و پس از ورود به نرم افزار FLUENT تکمیل گردیده است. شبکههای بکار رفته در مدل از نوع مثلثی بی ساختار می باشند. در نواحی که نیاز به اطلاعات بیشتری از الگوی جریان می باشد، شبکهها ریزتر انتخاب شدهاند. همانگونه که در شکل ۴ ملاحظه می گردد شبکهها در ناحیه ای به فاصله 0.5D از خط لوله و همینطور 0.1D از کف کانال ریزتر هستند. شبکهبندی سایر مدل ها نیز از الگوی مذکور پیروی می نماید.

G/D	$\operatorname{Re} = U(D-G)/v$	طول ناحیه جدایی در بالادست	طول ناحیه جدایی اولیه در پایین دست	طول ناحیه جدایی ثانویه در پایین دست
0	12700	0.9D	7.1D	0.7D
0.15	10800	0.75D	5.7D	0.5D
0.35	8300	0.5D	4.6D	-
0.5	6350	0.1D	3.1D	-

جدول ۱ - طول نواحی جدایی به ازاء نسبتـهای متفاوت عمق دفـنشـدگی به قطر لوله

۶٩



شکل ۴ - جزییات شبکه بندی لوله واقع بر کف

۲-۱- شرایط مرزی مدل

شرایط مرزی تعیینکننده ویژگیهای جریان در مرزها، با توجه به فیزیک مساله میباشد. شرایط مرزی اجزای بسیار مهم و تعیینکنندهای در نرمافزار شبیهساز FLUENT میباشد.

#### ۳-۱-۱- شرط مرزی سرعت ورودی

از این شرط در مرز ورودی کانال استفاده می شود. در این قسمت باید اطلاعات مربوط به سرعت جریان ورودی در کانال و نیز پارامترهای آشفتگی اعمال گردند. مشخصههای آشفتگی با استفاده از روش شدت و مقیاس طول تعریف شدهاند. شدت آشفتگی، I به صورت نسبتی از سرعت نوسانی  $u_{ave}$  به صورت نسبتی از سرعت می شود. در صورتی که جریان متوسط یافته باشد می توان از رابطه تجربی ذیل مقدار آن را برآورد نمود.

$$I = \frac{u'}{u_{ave}} \cong 0.16 \left( \text{Re}_{D_H} \right)^{-0.125}$$
(7)

بر همین اساس مقادیر شدت آشفتگی خطوط لوله به ازای عمقهای مختلف دفن شدگی و بر پایه عدد رینولدز مربوطه در محدوده ۴/۹٪ تا ۵/۳۵٪ می باشند.

مقیاس طول آشفتگی، یک کمیت فیزیکی است که به اندازه بزرگی گردابههایی که نقل و انتقال انرژی را در جریان آشفته بر عهده دارند، مربوط میشود. در جریان کاملا توسعه یافته در یک کانال، طول آشفتگی *ا* با رابطه ای به ابعاد کانال محدود میشود و از آنجائی که گردابه ها و چرخکهای آشفتگی نمیتوانند بزرگتر از ابعاد کانال باشند، رابطه فیزیکی بین *I* و ابعاد فیزیکی کانال وجود دارد:

$$l = 0.07L \tag{(7)}$$

که L بعد مناسبی از کانال میباشد. در کانالهای با مقاطع غیر دایروی میتوان قطر هیدرولیکی را برای این پارامتر در نظر گرفت. مقدار مقیاس طول آشفتگی برای مدلهای مذکور با توجه به ابعاد کانال برابر با ۰/۰۲۱ میباشد.

۳-۱-۳- شرط مرزی دیوار

شرط مرزی دیوار برای محدود کردن نواحی سیال با مرز جامد به کار میرود. در این تحقیق دیوارههای کف کانال، لوله و الحاقات آن (در صورت وجود) به عنوان دیوار تعریف شده و شرط مرزی عدم لغزش نیز برای آنها لحاظ گشته است. مقادیر زبری نیز در این قسمت تعریف می گردد.

۳-۱-۴- شرط مرزی متقارن

از این شرط هنگامی استفاده می شود که هندسه فیزیکی و الگوی مورد نظر از تحلیل در مورد جریان سیال دارای تقارن آینهای باشد. همچنین می توان از این شرط در مدل سازی دیواره های لغزان در جریانهای لزج استفاده نمود. این قسمت رفتار جریان در صفحه تقارن را بیان می کند. لازم به ذکر است که در مرزهای متقارن هیچ گونه شرط مرزی دیگری نباید تعریف نمود.

در این تحقیق سطح آزاد آب به عنوان مرز متقارن تعریف شده است. این بدان معناست که از نوسانات آن صرف نظر شده است. البته این فرض اندکی خطا ایجاد می کند اما با توجه به نسبت قطر لوله به عمق آب، خطای حاصله به ویژه در حالت دفن شدگی قابل اغماض می باشد.

۲-۳- روش حل

در این بررسی از روش حل تفکیکی و خطیسازی ضمنی جهت حل معادلات استفاده شده است و روشهای به کار رفته جهت مجزا سازی به شرح جدول ۲ میباشند. فاکتورهای زیر تخفیف برابر اعداد پیش فرض نرمافزار انتخاب شده است که مطابق با مقادیر جدول ۳ است.

جدول ۲ – روشهای مجزا سازی

	Discretization Method
Pressure	Body Force Weighted
Pressure-Velocity	Simple
Coupling	
Momentum	Second Order
	Upwind
Turbulence Kinetic	Second Order
Energy	Upwind

جدول ۳ - فاکتورهای زیر تخفیف

	Under- Relaxation Factor
Pressure	0.3
Density	1
Momentum	0.7
Turbulence Kinetic Energy	0.8
Turbulence Dissipation Rate	0.8

مدل آشفتگی مورد استفاده در این تحقیق، مدل دو معادله ای k- $\epsilon$  – RNG میباشد. این مدل قادر به توصیف دقیق تنشهای رینولدز میباشد. ترم کرنش در معادله نرخ هدر رفت RNG سبب می گردد تا

برآوردهای مناسبتر و گستردهتری از جریانهای سیال با کرنش و انحناء مرز بالا داشته باشیم.

۳-۳- نتایج شبیه سازی عددی

شکل ۵ نتایج شبیهسازی بدست آمده از مدل عددی را برای خطوط جریان اطراف یک خط لوله به ازای نسبت دفن شدگیهای مختلف نشان می دهد. با توجه به نتایج حاصله می توان در مرحله نخست مشاهده نمود که با افزایش عمق دفن شدگی طول ناحیه جدایی در پایین دست لوله کاهش می یابد. همچنین ملاحظه می گردد که با افزایش عمق دفن شدگی چرخابهای ثانوی در قسمتهای بالادست و پایین دست خط لوله بتدریج از بین رفته است، ثانوی در قسمتهای بالادست و پایین دست خط لوله بطور کامل مشهود بوده ولی در حالت دفن شدگی پنجاه درصد، اندازه آنها به حداقل مقدار خود رسیده و تقریباً

همچنین شکل ۶ نتایج شبیه سازی بدست آمده از مدل عددی را برای نیمرخ سرعت جریان در اطراف یک خط لوله به ازای نسبت دفن شدگی های مختلف نشان می دهد. با مراجعه به نتایج حاصله می توان دریافت که با افزایش عمق دفن شدگی میدان سرعت جریان در اطراف خط لوله به طور محسوسی کاهش می یابد و به دنبال آن حدکثر مقدار سرعت در اطراف آن نیز (که یکی از عوامل مهم آبشستگی به شمار می آید) کاهش پیدا می کند.

از روی شکل های ۵ و ۶ ملاحظه می گردد که با افزایش نسبت عمق دفن شدگی به قطر لوله مقدار طول نواحی جدایی در بالادست و پایین دست خط لوله و همینطور مقدار سرعت های بیشینه مثبت در بالای لوله و نیز سرعت بیشینه منفی در محل تشکیل گردابه ها کاهش می یابند.

همچنین شکل ۷ مقایسهای میان نیمرخ های سرعت جریان را در موقعیتهای قبال از خط لوله ( x = -0.1m )، روی خط لوله ( x = 0 ) و پس از خط لوله ( x = 0.25m ) برای دو حالت 0 = 0 و G/D = 0.5 به عنوان نمونه نمایش میدهند.

نشریه مهنــدسـی دریــا







۷۳

همانگونه که در شکل ۷ ملاحظه می شود سرعت جریان روی لوله صفر است، با اندک فاصله ای از لوله سرعت به مقدار بیشینه رسیده و پس از آن دچار کاهش می شود و در ادامه نیز مقدار ثابتی را داراست. سرعت جریان پیش از لوله نیز بر روی مرز بستر صفر است و با دور شدن از آن این مقدار افزایش می یابد. نرخ این افزایش ابتدا سریع بوده و با دور شدن از بستر کاهش افزایش ابتدا سرعت صفر می باشد و در فاصله نزدیکی از مرز دیوار سرعت صفر می باشد و در فاصله نزدیکی از آن سرعت منفی شده است (در حالت 5.0=G/D در فاصله مذکور سرعت منفی نمی باشد) و با افزایش فاصله از بستر این مقدار مثبت می گردد.

۳-۴- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی در این قسمت جهت صحت سنجی نتایج مدل عددی، مقایسه ای میان کار تجربی و شبیهسازی عددی مطابق جدول زیر انجام شده است.

از بررسی نتایج جدول ۴ ملاحظه می گردد که مدل عددی طول نواحی جدایی در بالادست و پایین دست خط لوله را بسیار مطلوب برآورد مینماید. به طوریکه مقدار بیشینه اختلاف در برآورد طول ناحیه جدایی اولیه در پایین دست خط لوله کمتر از ۱۸٪ بوده و به ازای عمق دفنشدگی به قطر لوله در محدوده ۰۳٪ تا ازای عمق دفنشدگی به قطر لوله در محدوده ۰۳٪ تا مد/ این اختلاف به کمتر از ۵٪ میرسد. همینطور در برآورد طول نواحی جدایی در بالادست اختلاف میان مدلهای عددی و آزمایشگاهی در محدوده صفر تا ۲۰٪ میباشد و تنها در یک مورد عمق دفنشدگی ۱۰۳۰ مقدار طول جدایی تجربی در بالادست لوله دو برابر مقدار طول جدایی تجربی در بالادست این امر ممکن ناشی از خطای اندازه گیری این طول در آزمایشگاه

قطر لوله	فىنشىدگى بە	ی متفاوت عمق د	مدایی به ازاء نسبتـها <sup>.</sup>	در بر أورد طول نواحی .	عددی و آزمایشگاهی	جدول ۴- مقايسه نتايج
----------	-------------	----------------	------------------------------------	------------------------	-------------------	----------------------

		I		1	1
		$\operatorname{Re} = U(D - G)/v$	طول ناحیه جدایی	طول ناحيه	طول ناحيه
	G/D		در بالادست	جدایی اولیه در	جدایی ثانویه در
				پايين دست	پايين دست
Ŧ	0	12700	0.9D	7.1D	0.7D
Ex Res	0.15	10800	0.75D	5.7D	0.5D
ult	0.35	8300	0.5D	4.6D	-
×.	0.5	6350	0.1D	3.1D	I
I	0	12700	1D	7.95D	0.8D
Nu	0.15	10800	0.6D	6.7D	0.3D
ult	0.35	8300	0.25D	4.55D	-
Š.	0.5	6350	0.1D	2.9D	-
C	0	12700	11.1%	12.0%	14.3%
omp ey es res	0.15	10800	20.0%	17.5%	40.0%
orise vee vee um um	0.35	8300	50.0%	1.1%	-
	0.5	6350	0.0%	6.5%	-

۔ *نشر*یه مہ*نــدس*ـی د*ریــا* 

Plane Boundary, Journal of Fluid Mechanics. No. 89, pp 33-48.

5- Sumer, B.M and Fredsoe., 1997, Hydrodynamics around Cylindrical Structures, World scientific, Vol.12, pp 1-121.

6- Brors, B. 1999, Numerical Modeling of Flow and Scour at Pipelines. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 125, No. 5, pp 511-525.

7- Liang, D. and Cheng, L. 2005, Numerical Modeling of Flow and Scour below a Pipeline in Currents, Part I. Flow Simulation, Journal of Coastal Engineering, Volume. 52, pp 25-42.

8- Liang, D., Cheng, L. and Li, F. 2005, Numerical Modeling of Flow and Scour below a Pipeline in Currents, Part II. Scour Simulation, Journal of Coastal Engineering, Volume. 52, pp 43-62.

9- Li, F. and Cheng, L. 2001, Prediction of Lee-wake Scouring of Pipelines in Currents. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 127, No. 2, pp 106-112.

10- Ettema, R., Kirkill, G. and Muste, M. 2006, Similitude of Large-Scale Turbulence in Experiments on Local Scour at Cylinders. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 132, No. 1, pp 33-40.

۱۱- موسوی، میرعماد، یگانه بختیاری، عباس و انشایی، نسترن. ۱۳۸۵، پیش بینی عمق آب شستگی اطراف لولههای زیر دریایی تحت اثر جریان، مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران. ۴- نتیجهگیری

در این بررسی جهت مطالعه الگوی جریان اطراف خطوط لوله از دو روش مدلسازی فیزیکی در آزمایشگاه و شبیهسازی عددی بهره گرفته شده است. بر اساس مطالب ارائه شده در بخشهای گذشته نتایج به دست آمده می تواند به صورت زیر جمع بندی شود:

۱- با افزایش نسبت عمق دفنشدگی به قطر لوله مقدار طول نواحی جدایی در بالادست و پایین دست خط لوله کاهش مییابد. با افزایش عمق دفنشدگی، نرخ کاهش طول جدایی نیز در ناحیه پایین دست قابل ملاحظه بوده به گونهای که با افزایش عمق دفنشدگی تا نصف قطر لوله، طول ناحیه جدایی در پایین دست به کمتر از نصف مقدار اولیه کاهش مییابد.

۲- با افزایش نسبت عمق دفنشدگی به قطر لوله از مقدار سرعتهای بیشینه مثبت در بالای لوله و نیز سرعت بیشینه منفی در محل تشکیل گردابهها کاسته میشود. در نتیجه تنش برشی بیشینه نیز با افزایش نسبت عمق دفنشدگی به قطر لوله کاهش مییابد. این نسبت معنی است که با افزایش عمق دفنشدگی، بدان معنی است که با افزایش عمق دفنشدگی، خواهد یافت.

۳- شبیه سازی عددی به کمک نرم افزار محاسباتی "Fluent" با استفاده از مدل آشفتگی دو معادله ای k-٤ قابلیت مناسبی را در بر آورد طول نواحی جدایی در بالادست و پایین دست خطوط لوله نیمه مدفون نشان می دهد.

#### ۵- مراجع

1- Sumer, B.M., 2004, Physical & Mathematical Modeling of Scour, Proc., 2th ICSE, Singapore.

2- Sumer, B.M and Fredsoe., 1999, Scour around Marine Structures, Journal of coastal & ocean Engineering. No.4, pp 200-245.

3- Chiew, Y.M., 1991, Prediction of Maximum Scour at Submarine Pipelines, Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 117, No.4, pp 452-466.

4- Bearman, P and Zdravkovich, M., 1978, Flow around a Circular Cylinder near a