







موسسه آموزش عالی انرژی  
دانشکده فنی و مهندسی  
پایان نامه دوره کارشناسی ارشد  
مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی

**عنوان:**

**بررسی راهکارهای عملی بهینه سازی حرکت  
پیگ در لوله حاوی سیال به منظور عدم توقف  
آن در سه راهی قبل از ورود به تله دریافت**

**استاد راهنما:**

**دکتر احمد قریب گرگانی – دکتر حسین تمیم**

**استاد مشاور:**

**دکتر حیدر مداح**

**پژوهشگر:**

**فاضل قمری**

**زمستان ۱۳۹۶**

باسمه تعالی



این فرم باید توسط دانشجو تایپ شده به تعداد خواسته شده، در روز دفاع تحویل داده شود.

### صور تجلسه دفاع

تاریخ صور تجلسه گروه آموزشی	
شماره دانشجویی	
کد دفاع	
تاریخ صور تجلسه شورای پژوهشی	

فاضل قمری		با تأییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم/ آقای	
در رشته:	مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی	تحت عنوان:	
با حضور استاد راهنما، استاد(استادان) مشاور و هیأت داوران در مؤسسه آموزش عالی انرژی ساوه در تاریخ تشکیل گردید.			
در این جلسه، پایان نامه: □ با موفقیت مورد دفاع قرار گرفت □ نیازمند اصلاحات است □ مردود اعلام گردید.			
نامبرده نمرة	با امتیاز	( بدون احتساب نمرة مقاله ) دریافت نمود.	

نام و نام خانوادگی استاد راهنما	دکتر احمد قریب گرکانی	محل امضا
	دکتر حسین تمیم	محل امضا
نام و نام خانوادگی استادمشاور	دکتر حیدر مداح	محل امضاء
هیأت داوران:		
۱-	محل امضاء ۱	محل امضاء ۲
۲-		
مدیر گروه یا رئیس تحصیلات تکمیلی واحد:	معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی انرژی ساوه	
نام و نام خانوادگی دکتر یوسف یاسی	محل امضاء	

\*\*\*\*\* ( اطلاعات این قسمت حتما توسط کارشناس پژوهشی تکمیل گردد ) \*\*\*\*\*

نمره حاصل از ارزشیابی مقاله/ مقالات دانشجو برابر ضوابط ( از سقف ۲ نمره ) ..... محاسبه و نمره نهایی پایان نامه ( مجموع نمره دفاع و مقاله ) به عدد ..... به حروف ..... با درجه ..... به تصویب رسید. / موارد اصلاحیه جهت اجرا به اطلاع دانشجو رسید.

تأیید معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه

تأیید کارشناس حوزه پژوهشی

آموزش عالی انرژی ساوه



## حوزه معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی موسسه آموزش عالی انرژی

### تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب **فاضل قمری** دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته مکانیک که در تاریخ  
پایان نامه خو با عنوان **بررسی راهکارهای عملی بهینه سازی حرکت پیگ در لوله حاوی**  
**سیال به منظور عدم توقف آن در سه راهی قبل از ورود به تله دریافت** ( با کسب نمره و درجه  
دفاع نموده ام بدین وسیله اعتراف می کنم :

(۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران  
(اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ....) استفاده کرده ام، مطابق ضوابط موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر  
مشخصات آن را در فهرست منابع ذکر و درج نموده ام.  
(۲) این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و  
مؤسسات آموزش عالی داخلی و خارجی ارائه نشده است.

ضمناً متعهد می شوم:

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ مقاله، کتاب، ثبت اختراع و  
... از این پایان نامه را داشته باشم، از استاد محترم راهنما و گروه آموزشی مربوطه مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

(۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و موسسه آموزش عالی  
انرژی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام، هیچگونه  
ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی: **فاضل قمری**

تاریخ و امضاء:

سپاس و قدردانی

اکنون که با استعانت از درگاه احدیت، تحقیق و مکارش این پایان نامه به اتمام رسیده؛ بر خود می دانم که به رسم ادب از زحمات جناب آقایان دکتر احمد قریب کرکانی، دکتر یوسف یاسی، دکتر حسین تیمم و دکتر حیدر مداح که در کمال سعه صدر و با حسن خلق و فروتنی، از پیچ لطف در این عرصه بر بنده دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی و مشاوره این رساله را بر عهده گرفتند؛ صمیمانه تشکر کنم.

تقدیم به...

✓ همسر عزیزم که در خلق این اثر یار و یاورم بود و با فراهم کردن محیطی همراه با آرامش، کمک بزرگی در

این مهم ایفا نمود.

✓ اساتید بزرگوارم دکتر احمد قریب کرکانی، دکتر یوسف یاسی، دکتر حسین تیمم و دکتر حیدر مداح که

بایادآوری نکات لازم در هرچه پربارتر شدن این پایان نامه نقشی برجسته داشتند.

✓ همه دانشجویان عاشق علم و دانش و عرصه نفت و گاز.

## چکیده

پیگ رانی ضامن دوام و افزایش بازده و طول عمر خطوط لوله ، تأمین کننده ایمنی جوامع و صنایع همجوار و حافظ محیط زیست در این زنجیره انتقال متناسب با نوع فرآورده ارسالی به طور دوره ای همراه با زمان بندی می باشد.

((گیر کردن پیگ)) متأسفانه برخلاف مزایای مورد اشاره، چالشی عمده و مؤلفه توقف کامل جریان و نیز منشاء سربار کردن هزینه های زیاد و غیر قابل قبول به مجموعه است و با دستیابی به نتایج عملیاتی و علمی، احتمال وقوع آن به صفر می رسد.

در این پژوهش اطلاعات میدانی حادثه گیر کردن پیگ پس از جمع آوری در نرم افزار انسیس فلوینت مورد واکاوی قرار گرفت و در ادامه خروجی نرم افزار با شرایط حاکم بر اساس اصل ((حفظ مراحل استاندارد پیگ رانی)) در چارچوب مکانیکال همپوشانی شد و در نهایت برآیندهای واپسین منجر به ارایه نوآوری هایی به طور کامل مکانیکال و نیز دستیابی به سرعت و دبی بهینه گردید.

خروجی نرم افزار طی سه مرحله مورد بررسی قرار گرفت و شرایط ده درصدی باز بودن شیر سمت منی فولد به عنوان راهکار نخست معرفی شد. سپس با طرح صد درصد مکانیکی ((مسیر جایگزین)) با هدف حفظ شرایط استاندارد پیگ رانی و تقسیم نیرو در پشت کاپ جلویی پیگ، معادل سازی گردید. در پایان با توجه به دبی و سرعت واقعی در شرایط قبل و لحظه گیر کردن آن، راه حلی محاسباتی برای دبی و سرعت بهینه پیشنهاد شد.

کاربست لوله های هدایت کننده خط جریان در سیلندر پیگ می تواند به عنوان راهکاری برای تقویت نیروی رانش در پشت کاپ جلویی و رفع توقف بررسی گردد.

کاربست لایه پوششی نانو در سطحی از کاپ که با دیواره در تماس است می تواند پدیده سایش را در این فصل مشترک به طور قابل ملاحظه ای کاهش داده و از توقف پیگ در اثر وقوع اصطکاک سایشی جلوگیری نماید.

## واژه های کلیدی:

پیگ رانی، سه راهه، دینامیک حرکت پیگ، گیر کردن پیگ، سیال، دریافت کننده، ارسال کننده



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه.....	۱
<b>فصل اول : کلیات</b>	
۱-۱ بیان مسأله .....	۵
۱-۱-۱ آشنایی با محل وقوع حادثه .....	۵
۱-۱-۲ ابعاد پیگ در زمان وقوع حادثه و در حالت نرمال (بدون سایش کاپ) .....	۵
۱-۱-۳ حالت کلی تله ورودی .....	۷
۱-۱-۴ ابعاد واقعی تله ورودی .....	۸
۱-۱-۵ فرایند پیگرانی در حالت کلی .....	۹
۱-۱-۵-۱ فرایند ارسال .....	۹
۱-۱-۵-۲ فرایند دریافت .....	۹
۱-۱-۶ فرایند های مختلف دریافت پیگ در فشار شکن (محل وقوع حادثه) .....	۱۰
۱-۱-۷ آشنایی با نرم افزار تحلیل انسیس فلوئنت .....	۱۱
۱-۱-۸ مقدار فشار ورودی و خروجی و دبی در لحظه وقوع حادثه .....	۱۴
۲-۱ فرایند پیگرانی .....	۱۵
۲-۱-۱ مزایا .....	۱۵
۲-۲-۱ نکات پیگرانی .....	۱۵
۲-۲-۳ اهداف اصلی پیگرانی .....	۱۵
۲-۲-۴ نکات طراحی تله های ارسال و دریافت .....	۱۵
۲-۲-۵ روابط مربوط به اتصالات تله های اسکریپر (گیرنده و فرستنده) .....	۱۷
۲-۲-۵-۱ گیرنده .....	۱۷
۲-۲-۵-۲ فرستنده .....	۱۷
۲-۲-۵-۳ تله گیرنده .....	۱۷
۲-۲-۵-۴ تله فرستنده .....	۱۷
۲-۲-۶ نمونه لوله کشی یک منی فولد با تله دریافت و ارسال .....	۱۸
۲-۲-۷ تحقیق .....	۱۸
۲-۲-۷-۱ بیان مسأله .....	۱۸

۱۸	..... تاریخچه ای از موضوع تحقیق ۲-۷-۲-۱
۱۸	..... تعریف موضوع تحقیق ۳-۷-۲-۱
۱۹	..... بررسی مکانیکال و تحلیل نرم افزاری حادثه همراه با بهینه سازی نتایج ۸-۲-۱
۱۹	..... روش انجام تحقیق ۱-۸-۲-۱
۱۹	..... نوآوری، اهمیت و ارزش تحقیق ۲-۸-۲-۱
۱۹	..... تعریف واژه ها ۹-۲-۱
۱۹	..... پیگ ۱-۹-۲-۱
۱۹	..... پیگ جداسازی ۲-۹-۲-۱
۱۹	..... پیگ تمیزکاری ۳-۹-۲-۱
۲۰	..... تله ۴-۹-۲-۱
۲۰	..... دریافت کننده ۵-۹-۲-۱
۲۰	..... ارسال کننده ۶-۹-۲-۱

## فصل دوم : آشنایی با پیگ و پیگ رانی

۲۲	..... آشنایی با پیگ ۱-۲
۲۲	..... تعریف ۱-۱-۲
۲۲	..... سازوکار ۲-۱-۲
۲۲	..... ساختار ۳-۱-۲
۲۳	..... مزایای بدنه ۱-۳-۱-۲
۲۳	..... طبقه بندی ۴-۱-۲
۲۳	..... براساس ساختمان ۱-۴-۱-۲
۲۴	..... براساس عملکرد ۲-۴-۱-۲
۲۴	..... ۱-۲-۴-۱-۲ پیگ های مطلوب (عمومی)
۲۴	..... ا. پیگ های تمیز کننده (خراشنده ها)
۲۵	..... ب. پیگ های آب بندی (جداکننده یا لوله پاک کن)
۲۶	..... ۲-۲-۴-۱-۲ پیگ های بازبین یا هوشمند
۲۶	..... ۳-۲-۴-۱-۲ پیگ های خاص یا استثنایی
۲۶	..... ۴-۲-۴-۱-۲ پیگ های نشت یاب
۲۶	..... ۵-۲-۴-۱-۲ پیگ های دیگر

۲۶	۳-۴-۱-۲ براساس سیر تکاملی .....
۲۶	۱-۳-۴-۱-۲ از نگاه تولید .....
۲۶	ا.نسل اول .....
۲۷	ب.نسل دوم .....
۲۷	ج.نسل سوم .....
۲۷	د.نسل چهارم (هوشمند).....
۲۷	۲-۳-۴-۱-۲ از نگاه کلی .....
۲۷	ا.به لحاظ جهت حرکت .....
۲۷	ب.به لحاظ مکانیک حرکت(با حرکت آرام خزیدن) .....
۲۷	۴-۴-۱-۲ تناسب پیگ با نوع ماده جابجا شده .....
۲۸	۵-۴-۱-۲ مزایا .....
۲۸	۶-۴-۱-۲ کاربرد .....
۲۸	۷-۴-۱-۲ قابلیت های هم زمان پیگ های چند منظوره بجای پیگ های هوشمند .....
۲۸	۸-۴-۱-۲ شرائط عبور پیگ از لوله ای با قطر کم .....
۲۸	۲-۲ پیگرانی .....
۲۹	۱-۲-۲ تعریف .....
۲۹	۲-۲-۲ سازوکار .....
۲۹	۳-۲-۲ اهداف .....
۳۰	۴-۲-۲ نتایج عدم انجام پیگرانی (عدم پشتیبانی و حمایت خط لوله) .....
۳۰	۵-۲-۲ نتایج تکرار زیاد فرایند پیگرانی .....
۳۰	۶-۲-۲ عدم توانایی انجام فرایند پیگرانی .....
۳۰	۷-۲-۲ تحلیل کاهش راندمان جریان نفت خام به دلیل فرایند پیگرانی .....
۳۱	۸-۲-۲ نکات منی فولد پیگرانی .....
۳۱	۹-۲-۲ ایده (تله بلندتر با قطر لوله کمتر) .....
۳۱	۱۰-۲-۲ فاصله مناسب برای ارسال و دریافت پیگ .....
۳۱	۱۱-۲-۲ مقررات ایمنی در فرایند پیگرانی .....
۳۱	۱۱-۲-۲ منابع اصلی خطر .....
۳۲	۲-۱۱-۲ خاموش کننده .....

۳۲ ..... ۳-۱۱-۲-۲ طبقه بندی نواحی خطرناک

## فصل سوم: مباحث تخصصی پیگردانی

۳۴ ..... ۱-۳-۱-۱ دینامیک حرکت پیگ

۳۴ ..... ۱-۱-۳ تحلیل سازوکار حرکت پیگ

۳۵ ..... ۳-۱-۲ آیا حرکت پیگ وابسته به فشار است؟

۳۶ ..... ۳-۱-۳ سرعت پیگ

۳۶ ..... ۱-۳-۱-۳ دلایل اهمیت کنترل سرعت

۳۶ ..... ۲-۳-۱-۳ روش کنترل سرعت

۳۶ ..... ۴-۱-۳ نیروی رانش

۳۷ ..... ۵-۱-۳ محاسبه زمان پیمودن مسافت بین دو پیگ سیگنال به وسیله پیگ

۳۸ ..... ۶-۱-۳ محاسبه مدت زمان پیمودن مسافت بین دو مرکز به وسیله پیگ

۳۸ ..... ۷-۱-۳ بررسی حرکت پیگ در شعاع  $5D$  و  $7D$

۳۹ ..... ۸-۱-۳ مدل سازی پیگردانی

۴۰ ..... ۱-۸-۱-۳ سرعت

۴۰ ..... ۲-۸-۱-۳ نیروی دیواره

۴۲ ..... ۲-۳-۲-۱ جستاری بر مفاهیم مکانیک سیالات با رویکرد افت فشار

۴۲ ..... ۱-۲-۳ عوامل تأثیر گذار بر رژیم سیال

۴۳ ..... ۲-۲-۳ فشار

۴۳ ..... ۱-۲-۲-۳ تعریف فشار و هد خط لوله (شیب گرا دیان هیدرولیکی)

۴۴ ..... ۲-۲-۲-۳ انواع فشار

۴۴ ..... ۳-۲-۲-۳ رابطه بین فشار، دبی و سرعت

۴۵ ..... ۴-۲-۲-۳ دلیل نصب شیر کنترل در فشار شکن

۴۵ ..... ۵-۲-۲-۳ افت فشار در لوله ها

۴۵ ..... ۱-۵-۲-۲-۳ مفاهیم

۴۶ ..... ۲-۵-۲-۲-۳ روش های محاسبه ضریب اصطکاک و افت فشار

۴۷ ..... ۶-۲-۲-۳ افت فشار ناشی از شیرهای کشویی، تویی و اتصالات فرایند پیگردانی ....

۴۷ ..... ۱-۶-۲-۲-۳ مفاهیم

۴۸ ..... ۲-۶-۲-۲-۳ آشنایی با شیر کشویی (دروازه ای)

۴۹	..... آشنایی با شیرتویی ۳-۶-۲-۲-۳
۵۰	..... محاسبه افت فشار ناشی از شیرهای کشویی و تویی ۴-۶-۲-۲-۳
۵۱	..... محاسبه افت فشار ناشی از اتصالات ۵-۶-۲-۲-۳

## فصل چهارم : نتایج

۵۵	..... ۴-۱ بررسی علل زمانی و مکانی توقف پیگ و راهکارها
۵۵	..... ۴-۱-۱ حالت اول توقف در محل نامعلوم
۵۶	..... ۴-۱-۲ حالت دوم توقف حین فرایند
۵۶	..... ۴-۱-۲-۱ دلیل اول : عدم سیالیت کافی در لوله
۵۷	..... ۴-۱-۲-۲ دلیل دوم : عدم آب بندی پیگ و مسائل جدار داخلی لوله
۵۸	..... ۴-۱-۲-۳ دلیل سوم: انباشتگی رسوبات و مواد (عامل کاهش شدید نیروی محرکه رانش)
۵۹	..... ۴-۲ بررسی علل مکانیکال توقف پیگ و راهکارها
۶۶	..... ۴-۳ نتایج بررسی نرم افزاری راهکار مکانیکال اندازه بازبودن شیرمنی فولد برای رفع توقف
۶۷	..... ۴-۳-۱ کانتورهای فشار
۶۹	..... ۴-۳-۲ کانتورهای سرعت
۷۱	..... ۴-۳-۳ سهم هر کدام از فرآورده ها ( کسر حجمی) در سه حالت
۷۳	..... ۴-۳-۴ دبی عبوری (خروجی)
۷۶	..... ۴-۴ $h_f$ اتصالات پیگرانی و افت فشار مایع در جریان آشفته ( $\Delta P_{..}$ )
۷۷	..... ۴-۵ پیشنهاد مسیر جایگزین برای رفع توقف پیگ در سه راهه
۷۹	..... ۴-۶ بهینه سازی سرعت و دبی
۷۹	..... ۴-۶-۱ سرعت بهینه
۸۰	..... ۴-۶-۲ دبی بهینه
۸۰	..... ۴-۷ راهکارهای پیشنهادی برای حذف عوامل توقف

## فصل پنجم : پیشنهادات و دستاوردها

۸۲	..... ۵-۱ پیشنهادات برای دریافت بی اشکال پیگ در تله
۸۳	..... ۵-۲ دستاوردها

## فهرست منابع ۸۴

### پیوست ها

۸۸	..... پیوست الف
----	-----------------

۸۹	..... پیوست ب
۹۱	..... پیوست ج
۹۳	..... پیوست د
۹۵	..... پیوست ذ
۹۶	..... پیوست ر
۱۰۳	..... پیوست ز
۱۰۴	..... چکیده انگلیسی

## فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱ رابطه قطر لوله با نیروی رانش پیگ .....	۳۷
جدول ۳-۲ زمان پیمودن مسافت بین دو پیگ سیگنال به وسیله پیگ .....	۳۷
جدول ۳-۳ مدت زمان پیمودن مسافت بین دو مرکز .....	۳۸
جدول ۳-۴ زبری متوسط لوله های تجاری .....	۵۲
جدول ۴-۱ کمینه و بیشینه افت فشار در سه حالت .....	۶۹
جدول ۴-۲ مقدار فشار در محل برخورد لبه ها با کاپ های عقب و جلو در زمان توقف .....	۶۹
جدول ۴-۳ کمینه و بیشینه سرعت در سه حالت .....	۷۱
جدول ۴-۴ مقدار سرعت در محل برخورد لبه ها با کاپ های عقب و جلو در زمان توقف ...	۷۱
جدول ۴-۵ مقدار کسر حجمی در محل برخورد لبه ها با کاپ های عقب و جلو در زمان توقف ...	۷۲
جدول ۴-۶ دبی عبوری (خروجی) شیر سمت منی فولد در زمان توقف .....	۷۴
جدول ۴-۷ $h_f$ در حالت آشفته ، طول معادل ، $\frac{L}{D}$ و ضریب مقاومت $k$ .....	۷۶
جدول ۴-۸ افت فشار در هر صد فوت ( $\Delta P_{1..}$ ) در حالت جریان آشفته .....	۷۶
جدول ۴-۹ سرعت متناظر با دبی (محاسباتی) در شرائط مختلف بهره برداری .....	۷۹
جدول ب-۱- خصوصیات پلی اورتان ها .....	۸۹
جدول ذ-۱- روابط افت فشار کاربردی در خطوط لوله و مشتقات آن .....	۹۵
جدول ر-۱ طول معادل اتصالات ( $D$ = قطر داخلی ) .....	۱۰۰

## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ نمایی از محل وقوع حادثه .....	۵
شکل ۱-۲ ابعاد پیگ گیر کرده در سواره قبل از تله ورودی .....	۶
شکل ۱-۳ ابعاد واقعی پیگ بر اساس مستندات شرکت SAYAI (شرکت تولید پیگ) .....	۶
شکل ۱-۴ ابعاد واقعی پیگ بر اساس مستندات شرکت SAYAI (شرکت تولید پیگ) .....	۶
شکل ۱-۵ حالت کلی تله ورودی .....	۷
شکل ۱-۶ ابعاد واقعی تله ورودی .....	۸
شکل ۱-۷ فرایند ارسال .....	۹
شکل ۱-۸ فرایند دریافت .....	۱۰
شکل ۱-۹ جریان عادی سیال در تله (نارنجی) و تله آماده برای دریافت پیگ (آبی) .....	۱۱
شکل ۱-۱۰ لحظه گیر کردن پیگ در سواره (سبز) و رفع توقف آن (قرمز) .....	۱۱
شکل ۱-۱۱ تله ارسال .....	۱۶
شکل ۱-۱۲ تله دریافت .....	۱۶
شکل ۱-۱۳ طراحی مسیر های دریافت و ارسال .....	۱۷
شکل ۱-۱۴ نمونه لوله کشی یک منی فولد با تله دریافت و ارسال .....	۱۸
شکل ۲-۱ پیگ های عمومی .....	۲۴
شکل ۲-۲ پیگ های تمیز کننده (پاکسازی) .....	۲۴
شکل ۲-۳ پیگ های جدا کننده (لوله پاک کن) .....	۲۵
شکل ۲-۴ پیگ هوشمند .....	۲۶
شکل ۲-۵ پیگ نشت یاب .....	۲۶
شکل ۲-۶ تعیین نواحی خطر در پیگ گیر و پیگران بر اساس استاندارد API ۵۰۵ .....	۳۲
شکل ۳-۱ حرکت پیگ در لوله .....	۳۴
شکل ۳-۲ نیروهای تأثیر گذار بر حرکت پیگ .....	۳۵
شکل ۳-۳ تغییرات نشت بندها در نرم افزار سالدورک برای شعاع های ۷ D و ۵ D .....	۳۸
شکل ۳-۴ شبیه سازی حرکت پیگ در نرم افزار سالدورک برای شعاع ۷ D و ۵ D .....	۳۸
شکل ۳-۵ نیروهای وارد بر پیگ .....	۳۹
شکل ۳-۶ پیگ کنار گذر دو طرفه .....	۳۹



- شکل ۷-۳ آب‌بند آب بندی ..... ۴۰
- شکل ۸-۳ تأثیر طول تماس و زاویه  $\beta$  بر لبه آب‌بند آب بند ..... ۴۰
- شکل ۹-۳ عوامل وارد بر سطح آب‌بند آب بند ..... ۴۱
- شکل ۱۰-۳ تأثیر جاذبه بر حرکت سیال در حالت نیمه پر و پر ..... ۴۴
- شکل ۱۱-۳ شرائط حاکم بر تنگنا ..... ۴۴
- شکل ۱۲-۳ شرائط شیروخروجی آن به لحاظ سرعت و فشار ..... ۴۵
- شکل ۱۳-۳ طرح کلی تعیین نقاط کم فشار در شیر کنترل ..... ۴۵
- شکل ۱۴-۳ Conduit Gate valve ..... ۴۹
- شکل ۱۵-۳ شیرکشویی با ساقه های بالارونده و ثابت ..... ۴۹
- شکل ۱۶-۳ Full Bore Ball Valve ..... ۵۰
- شکل ۱۷-۳ تفاوت ساختار داخلی شیرهای کشویی و تویی ..... ۵۰
- شکل ۱۸-۳ کاهنده ناگهانی و تدریجی ..... ۵۱
- شکل ۱۹-۳ افزاینده ناگهانی و تدریجی ..... ۵۱
- شکل ۲۰-۳ سه راهه ..... ۵۳
- شکل ۲۱-۳ تغییرات شکل پروفایل جریان در برخی ادوات مکانیکی ..... ۵۳
- شکل ۱-۴ توقف پیگ استاندارد ، انسداد و گلابی شکل شدن منطقه نفوذ ..... ۵۹
- شکل ۲-۴ توقف پیگ در کاهنده ها ..... ۵۹
- شکل ۳-۴ کوچک گرفتن شعاع کم خم (به طور اشتباه) برای پیگ های بزرگتر ..... ۵۹
- شکل ۴-۴ توقف پیگ در لوله ..... ۶۰
- شکل ۵-۴ پدیده چسبیدن پیگ ها به یکدیگر ..... ۶۰
- شکل ۶-۴ شکستن یک پیگ به وسیله پیگ دیگر ..... ۶۰
- شکل ۷-۴ پدیده شکست پیگ با اصطکاک بالا ..... ۶۰
- شکل ۸-۴ سرعت کم جریان کنارگذروافزایش سطح آسیب دیدگی پیگ ..... ۶۱
- شکل ۹-۴ ذخیره شدن موم در جلوی پیگ ..... ۶۱
- شکل ۱۰-۴ توقف پیگ به دلیل فرایند نادرست ..... ۶۱
- شکل ۱۱-۴ عدم جریان سیال و توقف پیگ استاندارد ..... ۶۱
- شکل ۱۲-۴ ازدست دادن رانش یک پیگ ..... ۶۲
- شکل ۱۳-۴ معکوس شدن پیگ ها ..... ۶۲

- شکل ۴-۱۴ توقف پیگ به خاطر بالا رفتن احتمال خطر کنارگذر ..... ۶۲
- شکل ۴-۱۵ کار کرد نادرست تمام آب بند ها و توقف پیگ ..... ۶۲
- شکل ۴-۱۶ توقف پیگ به دلیل چفت و بست نامناسب آب بندها ..... ۶۳
- شکل ۴-۱۷ فشار ناشی از یک بار نامتعادل جانبی و تأثیر آن بر خم شدگی پیگ ..... ۶۳
- شکل ۴-۱۸ تأثیرنشتی گاز اطراف پیگ با مدول دوتایی ..... ۶۳
- شکل ۴-۱۹ متلاشی شدن بدنه پیگ به دلیل وجود حفره زانویی ..... ۶۴
- شکل ۴-۲۰ آسیب پیگ در اثر نفوذ گاز طی قرائند هیدروتست ..... ۶۵
- شکل ۴-۲۱ کانتور فشار در حالتی که شیر منی فولد Full Close است ..... ۶۷
- شکل ۴-۲۲ کانتور فشار در حالتی که شیر منی فولد Open ۱۰٪ است ..... ۶۸
- شکل ۴-۲۳ کانتور فشار در حالتی که شیر منی فولد Full Open است ..... ۶۸
- شکل ۴-۲۴ کانتور سرعت در حالتی که شیر منی فولد Full Close است ..... ۷۰
- شکل ۴-۲۵ کانتور سرعت در حالتی که شیر منی فولد Open ۱۰٪ است ..... ۷۰
- شکل ۴-۲۶ کانتور سرعت در حالتی که شیر منی فولد Full Open است ..... ۷۱
- شکل ۴-۲۷ کانتور اندازه کسر حجمی در حالتی که شیر منی فولد Full Close است ..... ۷۲
- شکل ۴-۲۸ کانتور اندازه کسر حجمی در حالتی که شیر منی فولد Open ۱۰٪ است ..... ۷۳
- شکل ۴-۲۹ کانتور اندازه کسر حجمی در حالتی که شیر منی فولد Full Open است ..... ۷۳
- شکل ۴-۳۰ محل دقیق مسیر جایگزین ..... ۷۸
- شکل ۵-۱ میله های استحفاظی ..... ۸۲
- شکل ب ۱- حلقه زنجیره اورتان در پلی اورتان ..... ۸۹
- شکل ب ۲- ساختار پلی اورتان ..... ۹۰
- شکل ج ۱- نیروهای خارجی و فشاری ایجاد شده به طور لحظه ای ..... ۹۱
- شکل ج ۲- شعاع ها و ضخامت کاپ ..... ۹۱
- شکل ج ۳- مومنتوم فشردگی در جهت  $\mu$  یا  $M_{\mu}$  ..... ۹۲
- شکل ر ۱- یافتن زاویه  $\theta$  برای کاهنده ..... ۹۶
- شکل ر ۲- مشخصات زانوی ۱۲ اینچ ..... ۹۷

## فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
نمودار ۱-۱ فرایند ارسال پیگ طبق شکل (۷-۱) .....	۹
نمودار ۲-۱ فرایند دریافت پیگ طبق شکل (۸-۱) .....	۹
نمودار ۳-۱ فرایند مختلف دریافت پیگ .....	۱۰
نمودار ۴-۱ مقدار فشار ورودی و خروجی و دبی در لحظه وقوع حادثه .....	۱۴
نمودار ۱-۲ دسته بندی پیگ ها بر اساس ساختمان .....	۲۳
نمودار ۲-۲ سازوکار کاهش راندمان جریان نفت خام به خاطر انجام فرایند پیگ رانی .....	۳۰
نمودار ۱-۳ تأثیرات ضریب اصطکاک .....	۴۲
نمودار ۲-۳ رابطه بین دبی، فشار، $\rho$ ، دما و ضریب اصطکاک .....	۴۴
نمودار ۳-۳ روابط جریان لایه ای .....	۴۶
نمودار ۴-۳ رابطه جریان آشفته با ضریب اصطکاک .....	۴۶
نمودار ۵-۳ افت هد ضریب $K$ برای یک کاهنده .....	۵۱
نمودار ۶-۳ ضریب افت جریان در زانویی $90^\circ$ آن ها .....	۵۲
نمودار ۱-۴ توقف پیگ در محل نامعلوم .....	۵۵
نمودار ۲-۴ توقف پیگ به دلیل عدم سیالیت کافی در لوله .....	۵۶
نمودار ۳-۴ توقف پیگ به دلیل عدم آب بندی پیگ و مسائل دیواره داخلی لوله .....	۵۷
نمودار ۴-۴ توقف پیگ به دلیل انباشتگی رسوبات و مواد .....	۵۸
نمودار ۵-۴ بررسی مقدار افت فشار در سه حالت .....	۶۹
نمودار ۶-۴ مقدار سهم هر کدام از فرآورده ها (کسر حجمی) .....	۷۲
نمودار ۷-۴ اندازه دبی عبوری (خروجی) در حالتی که شیر سمت منی فولد Full Close است .....	۷۴
نمودار ۸-۴ مقدار دبی عبوری (خروجی) در حالتی که شیر سمت منی فولد Open ۱۰٪ است ....	۷۵
نمودار ۹-۴ مقدار دبی عبوری (خروجی) در حالتی که شیر سمت منی فولد Full Open است ..	۷۵
نمودار ۱۰-۴ تغییرات سرعت حرکت پیگ، بر اساس مقدار دبی (منتج از محاسبات دستی) ...	۸۰
نمودار ۱۱-۴ تغییرات سرعت حرکت پیگ، طبق $\Delta P$ دوطرف آن (منتج از حل CFD) .....	۸۰
نمودار د-۱ نمودار مودی و ضریب اصطکاک فانینگ .....	۹۳
نمودار د-۲ نمودار مودی و ضریب اصطکاک دارسی .....	۹۴
نمودار ر-۱ طول های معادل $L$ ، نسبت $L/D$ و ضریب مقاومت $K$ .....	۹۹

نمودار ر-۲ زبری نسبی و ضریب اصطکاک لوله در جریان به طور کامل آشفته ..... ۱۰۱

نمودار ر-۳ افت فشار در خط لوله برای مایعات در جریان آشفته ..... ۱۰۲

## فهرست علائم و اختصارات

عنوان	علامت	واحد
فاصله عمودی خم نسبت به راستای لوله در راستای لوله در زیر زمین	V	$ft$
فاصله عمودی اتصال تله گیرنده	VR	$ft$
شعاع خم	R	$ft$
زاویه تله	$\beta$	Degre
طول مماسی تله	T	$ft$
طول افقی لوله تا اتصال تله گیرنده	HR	$ft$
طول افقی اتصال تله گیرنده	H	$ft$
طول خط لوله تا اتصال تله گیرنده	LR	$ft$
طول لوله خمیده تا قبل از اتصال تله گیرنده و بعد از اتصال تله فرستنده	L	$ft$
فاصله عمودی اتصال تله فرستنده	VL	$ft$
طول افقی لوله تا اتصال تله فرستنده	HL	$ft$
طول خط لوله تا اتصال تله فرستنده	LL	$ft$
فاصله عمودی انتهای لوله اتصال تله گیرنده تا راستای لوله در زیر زمین	VRT	$ft$
طول لوله تله گیرنده	LRT	$ft$
فاصله افقی انتهای لوله اتصال تله گیرنده تا تله	HRT	$ft$
فاصله عمودی انتهای لوله اتصال تله فرستنده تا راستای لوله در زیر زمین	VLT	$ft$
طول لوله تله فرستنده	LLT	$ft$
فاصله افقی انتهای لوله اتصال تله فرستنده تا تله	HLT	$ft$
جریان (دبی)	$Q$	$\frac{million\ ft^3}{day}$ یا $BP$ $\frac{D}{m^3}$ $\frac{hr}{hr}$
دما	$t$	$^{\circ}f$
فشار	$P$	$\frac{lb}{in^2}$ (PSI)
قطر داخلی لوله	$d$	$in$
جرم پیگ	$M$	kg
شتاب پیگ	$a$	$\frac{ft}{s^2}$
تفاوت بین فشار در پیگ	$\Delta P$	psig
مساحت پیگ	$A$	$ft^2$
ضریب اصطکاک چسبندگی	$B$	-

عنوان	علامت	واحد
سرعت پیگ	$S$	$m/s$ یا $ft/s$
نیروی فشاری ناشی از اختلاف فشار بر بدنه پیگ	$F_g$	$lb_f$
فشار	$P$	$\frac{lb}{in^2}$ (PSI) یا $\frac{lb}{ft^2}$ $(P_a) \frac{N}{m^2}$
انرژی سینماتیک سیال	$\frac{V^2}{2g}$	$M$
ضریب افت هد در انرژی سینماتیک سیال	$k$	-
ضریب اصطکاک	$f$	-
زبری نسبی	$\frac{\varepsilon}{D}$	-
زبری مطلق	$\varepsilon$	$mm$
افت هد	$h_f$	$ft$
ارتفاع افت فشار	$h_L$	$ft$
افت فشار در واحد	$P_G$	$\frac{kg}{m^2}$
فشار	$P$	Bar
افت در فشار واحد بار به ازای یکصد متر طول لوله	$\Delta P_{100}$	$\frac{kpa}{100m}$
ضریب افت فشار یا مقاومت (از سازنده شیر دریافت می شود)	$K$	-
دبی عبور مایع یا فلو	$Q$	$\frac{m^3}{hr}$ یا $\frac{ft^3}{hr}$ یا $\frac{gallon}{min}$
سطح ظاهری شیر	$A$	$in^2$
دانسیته	$\rho$	$(\frac{lb}{ft^3})$ یا $(\frac{kg}{m^3})$
قطر لوله	$d$	$in$
ثابت گرانش	$g$	$\frac{9.81}{s^2} \frac{kgm}{force}$ یا $\frac{32.17}{s^2} \frac{lbft}{lb_f}$
زمان تلاقی پیگ	$T$	$hr$
حجم	$V$	$m^3$

## مقدمه

## مقدمه

با عنایت به چشم انداز پیام نوروزی سال ۱۳۹۶ مقام عظمای ولایت یعنی تحقق اقتصاد مقاومتی و نیز تأکید مدیریت محترم خطوط لوله و مخابرات نفت ایران بر اجرای برنامه ها به صورت پیشگیرانه<sup>۱</sup> بعنوان یک فرصت سرمایه گذاری نه هزینه، نویسنده تصمیم به نگارش این پژوهش بر اساس این برنامه ها نمود.

با توجه به نگاه ویژه آن مدیریت محترم به موضوع (حفظ سرمایه های اصلی شرکت) یعنی کارکنان؛ می توان دستیابی به این نگرش را منوط به کاربست ابزار مناسب و شکوفایی روحیه تحقیق و پژوهش با رویکرد عملیاتی ایده های نو و ایمن (هر چند کوچک و کم هزینه) نمود و نیز شرکت انتقال مؤثر، مستمر و قابل اطمینان یک یا چند محصول از طریق خط لوله به شرط فراهم بودن شرائط اقتصادی مطلوب در مقایسه با دیگر روش ها مانند انتقال از طریق تانکروبالاخره صرفه جوئی و کاهش قیمت تمام شده تولید را سر لوحه کار خود قرار داده است .

دستیابی به یک فرایند مطابق اصل PM همراه با رعایت همه نکات ایمنی تنها با اصلاح عملیات، بازسازی تجهیزات مرتبط و نگاه ویژه به راهکارهای جایگزین همراه با سرعت عمل بهره بردار در انتخاب بهترین روش در مدیریت شرائط بحرانی امکان پذیر است.

تضمین دوام، افزایش بازده و طول عمر خطوط لوله، تأمین ایمنی جوامع و صنایع همجوار و حفظ محیط زیست در این زنجیره انتقال متناسب با نوع فرآورده ارسالی به طور دوره ای همراه با زمان بندی از مزایای فرایند پیگرانی است .

موضوع گیرکردن پیگ متأسفانه برخلاف مزایای بالا یک چالش عمده، مؤلفه توقف کامل جریان بوده و نیز منشاء سربارکردن هزینه های زیاد و غیرقابل قبول به مجموعه است و با دستیابی به نتایج علمی و عملیاتی، احتمال وقوع آن به صفر می رسد.

بیش از نیم قرن، اجزاء پیگ ها با بدنه فولادی مجهز به کاپ<sup>۲</sup> و آب بندها<sup>۳</sup> از جنس لاستیک، چرم و پلی اورتان<sup>۴</sup> به کار می رفت. تا سال ۱۹۶۰ تمیز کاری خطوط لوله نفت و گاز با محدودیت فراوان

---

<sup>۱</sup> Preventing Method

<sup>۲</sup> Cups

<sup>۳</sup> Discs

<sup>۴</sup> Polyurethane



همراه بوده است که با گذر از این زمان یک نوع پیگ اسفنجی گلوله‌ای از جنس اسفنج (پلی اورتان) به نام پلی پیگ<sup>۱</sup> معرفی و به خدمت گرفته شد و اگر چه صنایع نفت و گاز بزرگترین مصرف کننده آن هستند؛ ولی بیشتر صنایع جدید از جمله آب و فاضلاب شهری، فرایند تولید، پتروشیمی، معدن و... استفاده کنندگان آن هستند. بدین ترتیب در انتقال سیالات از طریق خطوط لوله [ضمن جلوگیری از مصرف انرژی اضافی] بر جریان سیال افزوده شده و در پایان فشارپمپ، کاهش یافته و علاوه بر تولید محصولی تمیزتر، از هدررفت آن نیز ممانعت می‌شود.

اولین تحقیقات در زمینه پیگ‌رانی و یافتن معادلات حرکت مربوط به آن را رامک دونالد و بیکر<sup>۲</sup> در سال ۱۹۶۴ انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که انجام این فرایند در لوله افزایش ۷۰-۳۰ درصدی کارایی انتقال سیال را موجب می‌شود. در ادامه آزدو<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۱۹۹۶ حرکت مکانیکی پیگ را در خطوط لوله افقی با فرض پایا بودن و سیال تک فاز تراکم ناپذیر بررسی کردند.

نیکله<sup>۴</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۱ به بررسی و شبیه سازی حرکت پیگ دارای جریان کنار گذر داخل لوله های گاز و مایع مستقیم پرداختند. و در همین سال نگوین<sup>۵</sup> و همکاران به بررسی و تحلیل دینامیکی حرکت پیگ داخل لوله های گاز مستقیم افقی اقدام نمودند. شش سال بعد شبیه سازی عددی حرکت پیگ با جریان کنار گذر در خطوط لوله گاز را حسینعلی پور و همکاران ارائه نمودند و در سال ۲۰۰۹ علاوه بر این که اسماعیل پورو همکاران مدل سازی ریاضی و شبیه سازی پیگ‌رانی را در این نوع خطوط انجام دادند؛ برای اولین بار مدل سازی دینامیکی پیگ‌های کوچک در خط لوله فضایی به وسیله سعید بخش و همکاران بررسی شد.

در سال ۲۰۱۳ رضا کاوه و همکاران با شبیه سازی جریان سیال اطراف پیگ متحرک در لوله دریافتند که ابتدا نیروی وارد بر پیگ از اطراف سیال زیاد بوده و با گذشت زمان رو به کاهش می‌گذارد. در این حالت شتاب پیگ به سمت صفر میل نموده و سرعت پیگ ثابت می‌ماند. با جلو رفتن پیگ، به علت کاهش شتاب آن، تغییرات سرعت و فشار در طول لوله افت کرده و شرائط جریان به سمت حالت دائم پیش می‌رود. بیشترین تأثیر وجود پیگ بر روی سرعت جریان خروجی خود است و در فواصل دورتر از آن تغییرات سرعت کمتر هستند. (۱)

<sup>۱</sup> Polly pig

<sup>۲</sup> McDonald and Baker

<sup>۳</sup> Azevedo

<sup>۴</sup> Nieckele

<sup>۵</sup> Nguyen

## فصل اول

### کلیات

## ۱-۱ بیان مسأله

### ۱-۱-۱ آشنایی با محل وقوع حادثه

مبداء خط لوله ۲۶ اینچی مرکز انتقال نفت خام شهرستان اهواز بوده و پس از طی مسافت ۷۵۰ کیلومتری به شهرستان ری منتهی می‌شود. در ساعت ۲۰:۳۰ هشتم آبان ماه سال ۱۳۸۴ با راه اندازی یک خط جدید با همین قطر؛ به جای خط قدیم، مواد انتقالی از مرکز انتقال نفت پائین دستی در مدت زمان تقریبی ۳۴ ساعت به محل وقوع حادثه رسید.

این فشار شکن زیر نظر یکی از مناطق دوازده گانه شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران است که پس از تقلیل فشار نفت خام دریافتی از مرکز انتقال نفت پائین دستی به وسیله شیر کنترل آن را به تأسیسات بالا دستی انتقال می‌دهد.

طبق محاسبات ریاضی حجم یک کیلو متر از لوله ای به قطر ۲۶ اینچ ۳۲۳ لیتر است. (پیوست الف) ظرفیت و طول این خط لوله (به طور تقریبی) حد فاصل مرکز انتقال نفت پائین دستی و محل وقوع حادثه به ترتیب ۴۵۱۴۴ متر مکعب و ۱۴۸ کیلومتر می‌باشد.



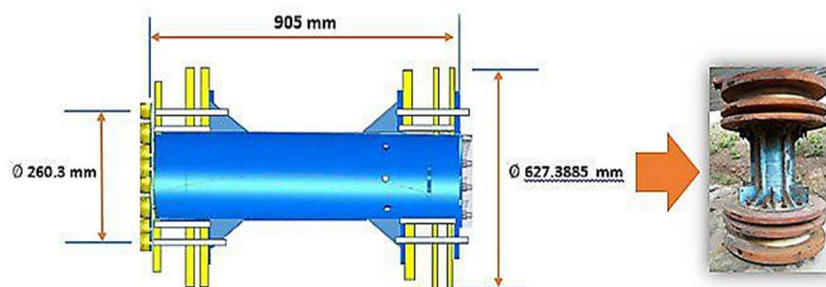
شکل (۱-۱) نمایی از محل وقوع حادثه (۲)

### ۱-۱-۲ ابعاد پیگ در زمان وقوع حادثه و در حالت نرمال (بدون سایش کاپ)

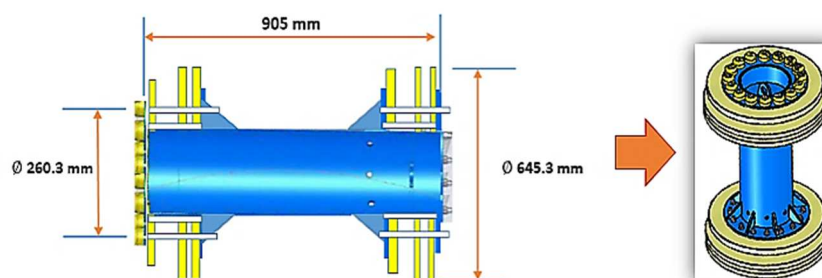
پیگ مورد استفاده در فرایند پیگ رانی (تمیز کاری دیواره داخلی و جداسازی محصولات) از نوع BI-DI<sup>۱</sup> با قابلیت حرکت دو طرفه روی خط لوله است. (۳)

با توجه به شکل های (۲-۱) و (۳-۱) تفاوت ابعادی در قطر کاپ به ترتیب نشان دهنده وقوع پدیده سایش و عدم ساییدگی در آن می‌باشد که ابعاد شکل (۳-۱) اندازه های واقعی ارائه شده به وسیله شرکت سازنده (شرکت ساوای) طبق شکل (۴-۱) است.

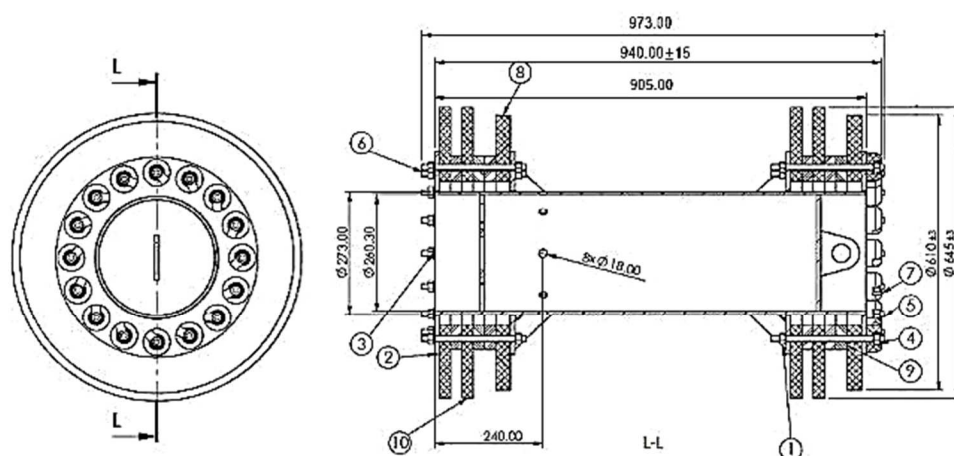
<sup>۱</sup> Bi-Directional



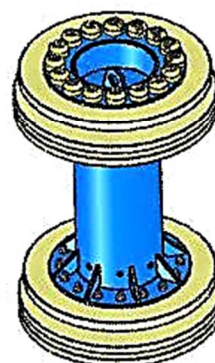
شکل (۲-۱) ابعاد پیگ گیر کرده در سه راهه قبل از تله ورودی (نویسنده)



شکل (۳-۱) ابعاد واقعی پیگ بر اساس مستندات شرکت SAYAI (شرکت تولید پیگ)



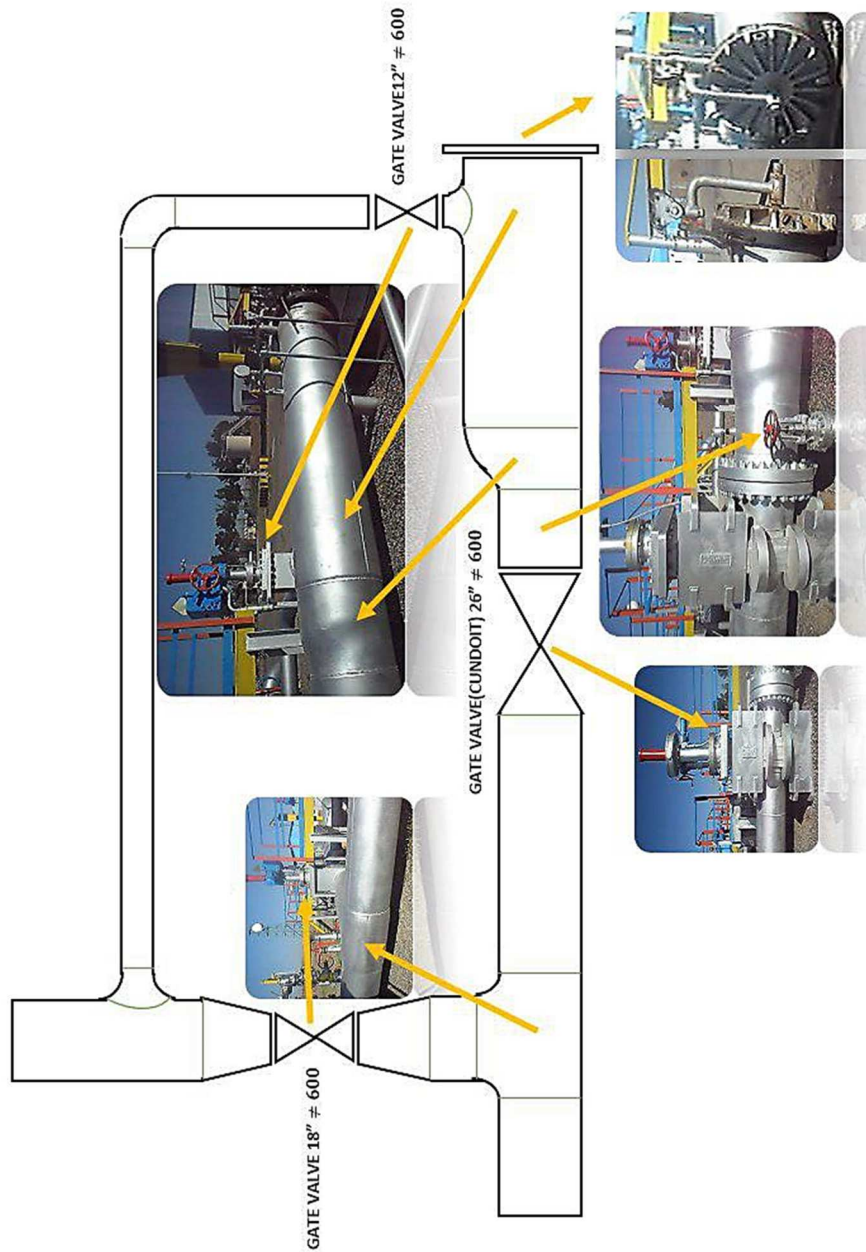
BOM Table			
ITEM NO.	Title	Material	QTY.
1		Carbon Steel	1
2		Carbon Steel	2
3			64
4	Nut M12	Carbon Steel	64
5		Carbon Steel	16
6		Carbon Steel	16
7	Bumper	PU 85 Shore A	16
8			2
9			6
10			4



SR 26"(Bi - Di)

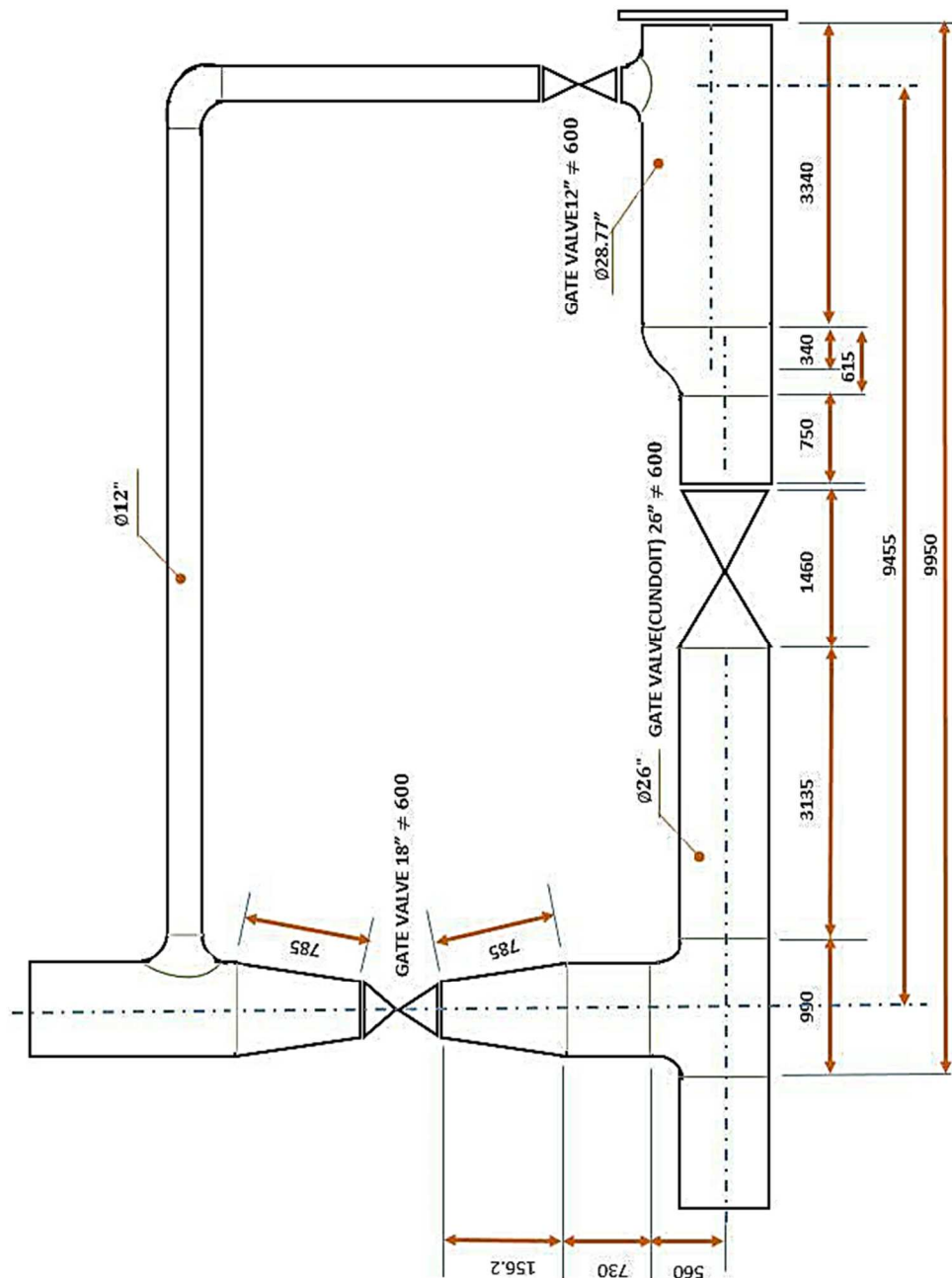
شکل (۴-۱) ابعاد واقعی پیگ بر اساس مستندات شرکت SAYAI (شرکت تولید پیگ)

## ۳-۱-۱ حالت کلی تله ورودی



شکل (۵-۱) حالت کلی تله ورودی (نویسنده)

# ۴-۱-۱ ابعاد واقعی تله ورودی



شکل ( ۶-۱ ) ابعاد واقعی تله ورودی (نویسنده)

## ۵-۱-۱ فرایند پیگرانی حالت کلی

### ۱-۵-۱-۱ فرایند ارسال

مرحله یکم ( قراردادن پیگ پس از انداختن فشار تله ارسال و هدایت آن تا بعد از نقطه G)

بازکردن شیر های E و D (به ترتیب) ← بستن شیر های D و E (به ترتیب)

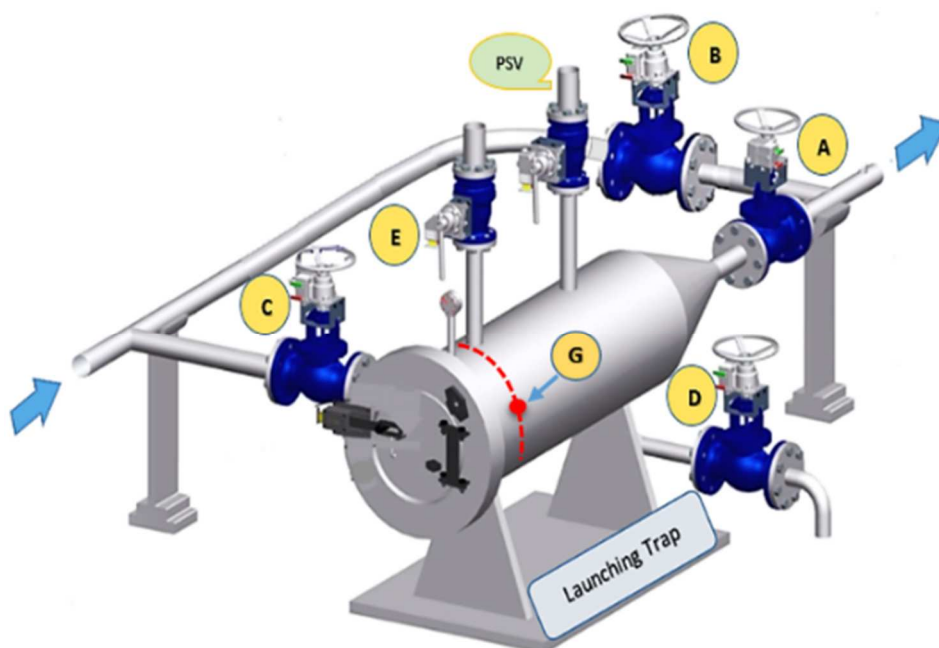
مرحله دوم (تحت فشار قرار دادن تله برای ارسال پیگ)

بازکردن شیر C ← هدایت پیگ تا پشت شیر A ← بازکردن شیر A ← بستن شیر B

مرحله سوم (انداختن فشار تله و تغییر مسیر)

بازکردن شیر B ← بستن شیر های A و C (به ترتیب) ← بازکردن شیر های E و D (به ترتیب) ← بستن شیر های D و E (به ترتیب)

نمودار (۱-۱) فرایند ارسال پیگ طبق شکل (۷-۱) (نویسنده)



شکل (۷-۱) فرایند ارسال (۴)

### ۲-۵-۱-۱ فرایند دریافت

مرحله یکم (تحت فشار قرار دادن تله)

بازکردن شیر E ← پر نمودن تله با باز کردن شیر F ← بستن شیر های E و F (به ترتیب)

مرحله دوم (آماده کردن مسیر دریافت)

بازکردن شیر های C و A (به ترتیب) ← بستن شیر B

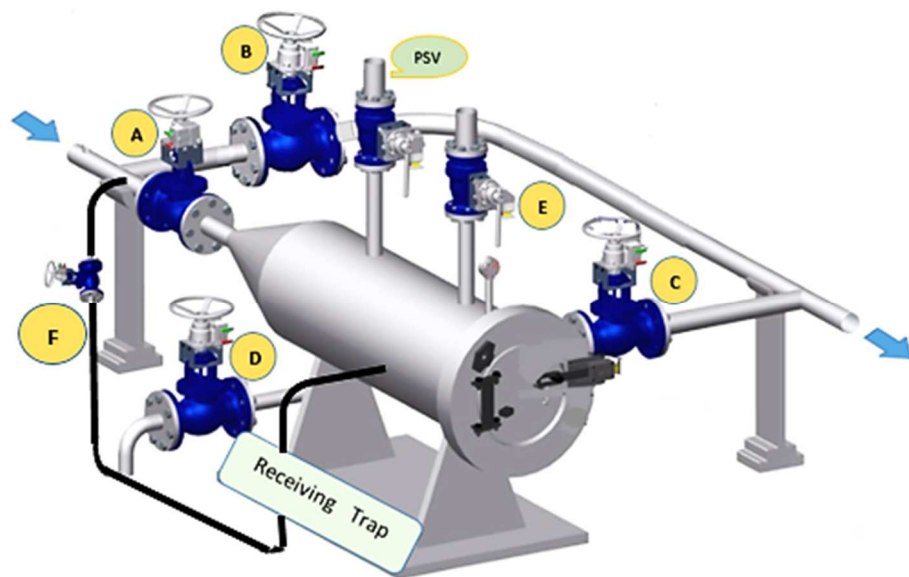
مرحله سوم (هدایت سیال به سمت منی فول و غیر فعال کردن تله پس از دریافت پیگ)

بازکردن شیر B ← بستن شیر های A و C (به ترتیب)

مرحله چهارم (خارج نمودن پیگ با انداختن فشار تله)

بازکردن شیر های D و E (به ترتیب) ← خارج نمودن پیگ

نمودار (۲-۱) فرایند دریافت پیگ طبق شکل (۸-۱) (نویسنده)



شکل (۸-۱) فرایند دریافت (۴)

### ۱-۶ فرایندهای مختلف دریافت پیگ در فشار شکن (محل وقوع حادثه)

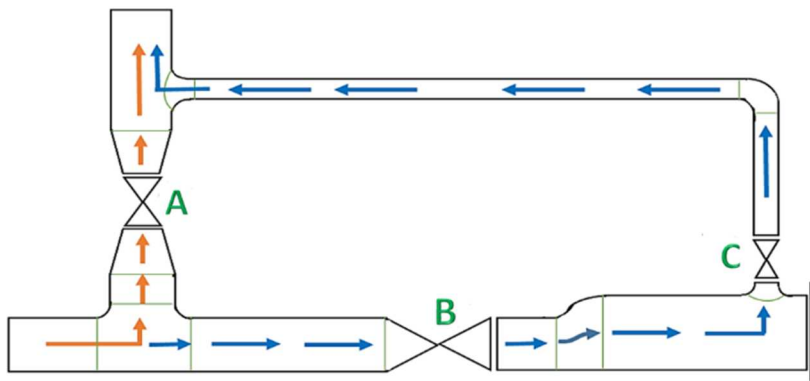
سیال انتقالی از مرکز انتقال نفت پائین دستی با عبور از تله پیگ گیر فشار شکن (محل وقوع حادثه) پس از کاهش فشار در منی فولد، از طریق تله خروجی به تأسیسات بالا دستی منتقل (شکل ۹-۱) و سپس مسیر دریافت (۵ ساعت قبل از دریافت) آماده می شود. (شکل ۹-۱)

با رسیدن پیگ به نزدیکی تله، به دلیل وقوع پدیده کاهش فشار (منفی شدن فشار جلو)، در سه راهه متوقف شده که با افت جریان و افزایش ناگهانی دبی همراه است. (شکل ۱۰-۱) با تنظیم ده درصدی شیر منی فولد (۵ ساعت قبل از دریافت)، در هنگام رسیدن پیگ به محل تفسیم جریان (سه راهه) سرعت سیال و فشار در دو طرف پیگ تعدیل و از توقف آن جلوگیری می شود. (شکل ۱۰-۱)

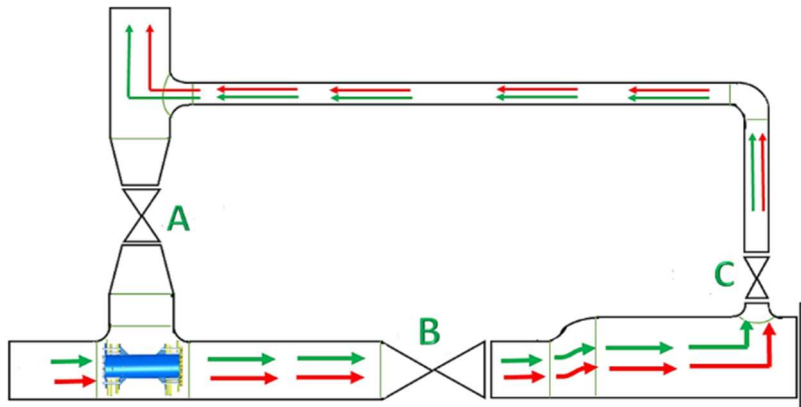
شرح	درصد باز بودن	مشخصات شیر	
		قطر خارجی (اینچ)	کد
جریان عادی سیال در تله (شکل ۹-۱)	۱۰۰	۱۸	A
	صفر	۳۶	B
	صفر	۱۲	C
تله ورودی در حالت آمادگی برای دریافت پیگ (شکل ۹-۱)	صفر	۱۸	A
	۱۰۰	۳۶	B
	۱۰۰	۱۲	C
لحظه گیر کردن پیگ در سه راهه (شکل ۱۰-۱)	صفر	۱۸	A
	۱۰۰	۳۶	B
	۱۰۰	۱۲	C
رفع گیر کردن پیگ در سه راهه (شکل ۱۰-۱)	۱۰	۱۸	A
	صفر	۳۶	B
	صفر	۱۲	C

نمودار (۳-۱) فرایند مختلف دریافت پیگ (نویسنده)





شکل ( ۹-۱ ) جریان عادی سیال در تله (نارنجی) و تله آماده برای دریافت پیگ (آبی) (نویسنده)



شکل ( ۱۰-۱ ) لحظه گیر کردن پیگ در سه راهه (سبز) و رفع توقف آن (قرمز) (نویسنده)

### ۷-۱-۱ آشنایی با نرم افزار تحلیل انسیس فلوئنت<sup>۱</sup>

پیشنهاد مکانیکال برای رفع توقف پیگ در سه راهه قبل از تله دریافت (باز بودن ده درصدی شیر ۱۸ اینچ منی فولد و تحلیل کمینه، پیشینه و متوسط سرعت) در نرم افزار انسیس فلوئنت همراه با بررسی نتایج بر اساس یک استدلال عملیاتی ارائه خواهد شد.

این نرم افزار بدون اغراق قوی ترین و محبوب ترین نرم افزار محاسبات دینامیک سیالات بر پایه زبان برنامه نویسی C است که با بهره گیری از امکانات ارزشمند انسیس در تمام مؤسسات و محیط های مهم صنعتی دنیا به عنوان یک ابزار تحقیقاتی مناسب برای طراحی، المان بندی و شبیه سازی مکانیکی پدیده های فیزیکی در حوزه سیالات مطرح می باشد.

با نگاهی بر مقالات معتبر در زمینه مهندسی مکانیک، هوافضا و شیمی به نقش مهم این محیط طراحی پی برده می شود.

تا پیش از نسخه ی ۱۱ نرم افزار، که در ماه های پایانی سال ۲۰۰۳ به بازار آمد، محیط اصلی آن به زعم امکانات گسترده دارای قالبی قدیمی، امکانات گرافیکی و مدل سازی هندسی ضعیف با

<sup>۱</sup> ANSYS Fluent

گزین فهرست های بسیار پیچیده و تودرتو، کاربران رادردسترسی به دستورها سردرگم می کرد و اغلب از نرم افزارهای دیگر مثل گمبیت<sup>۱</sup> برای تهیه ی مدل هندسی استفاده می شد.

در سال ۲۰۰۳ زمینه تولد محیط طراحی، شبیه سازی و تحلیل انسیس ورک بنچ<sup>۲</sup> با محیط کاربری پیشرفته و منطبق با نرم افزارهای روز جهان فراهم گردید که امروزه با محیط طراحی هندسی پیشرفته<sup>۳</sup> و تحلیل سازه ای<sup>۴</sup> و امکاناتی از جمله کدنویسی<sup>۵</sup>، نرم افزار انسیس را به مجموعه ای بی نظیر برای تحلیل انواع مسائل صنعتی و دانشگاهی تبدیل کرده است.

ویژگی های نرم افزار انسیس :

ا. وارد کردن مدل مورد نظر از دیگر نرم افزارهای تولید مدل سازگار با آن

ب. امکان تغییر مش بندی به صورت کامل، تحلیل جریان با مش بندی های پیچیده

ج. پشتیبانی از مش های با المان های مثلثی و چهار ضلعی (برای هندسه های دوبعدی) و چهار وجهی، هرمی یا گوه ای (برای هندسه های سه بعدی)

د. امکان دستکاری و فراهم آوری شرایط ایجاد مش دقیقتر در نواحی با گرادیان های بزرگ مثل لایه مرزی به وسیله کاربر

قابلیت های نرم افزار انسیس :

ا. تحلیل جریان تراکم پذیر و تراکم ناپذیر

ب. تحلیل جریان های پایا و گذرا

ج. تحلیل جریان های لزج، آرام و متلاطم

د. مدل کردن سیالات نیوتنی و غیر نیوتنی

ه. انتقال حرارت جابه جایی شامل جابه جایی آزاد یا اجباری

و. ترکیب انتقال حرارت جابه جایی / هدایتی

ز. انتقال حرارت تشعشعی

ح. مدل جریان های گردابه ای

ط. مدل کردن واکنش های شیمیایی شامل احتراق و موارد دیگر

ی. محاسبات لاگرانژی برای تغییر فاز ذرات

ک. افزودن ترم های اختیاری حجمی از گرما، جرم، ممنتوم، اغتشاش و ترکیبات شیمیایی

---

<sup>۱</sup> Gambit

<sup>۲</sup> ANSYS Workbench

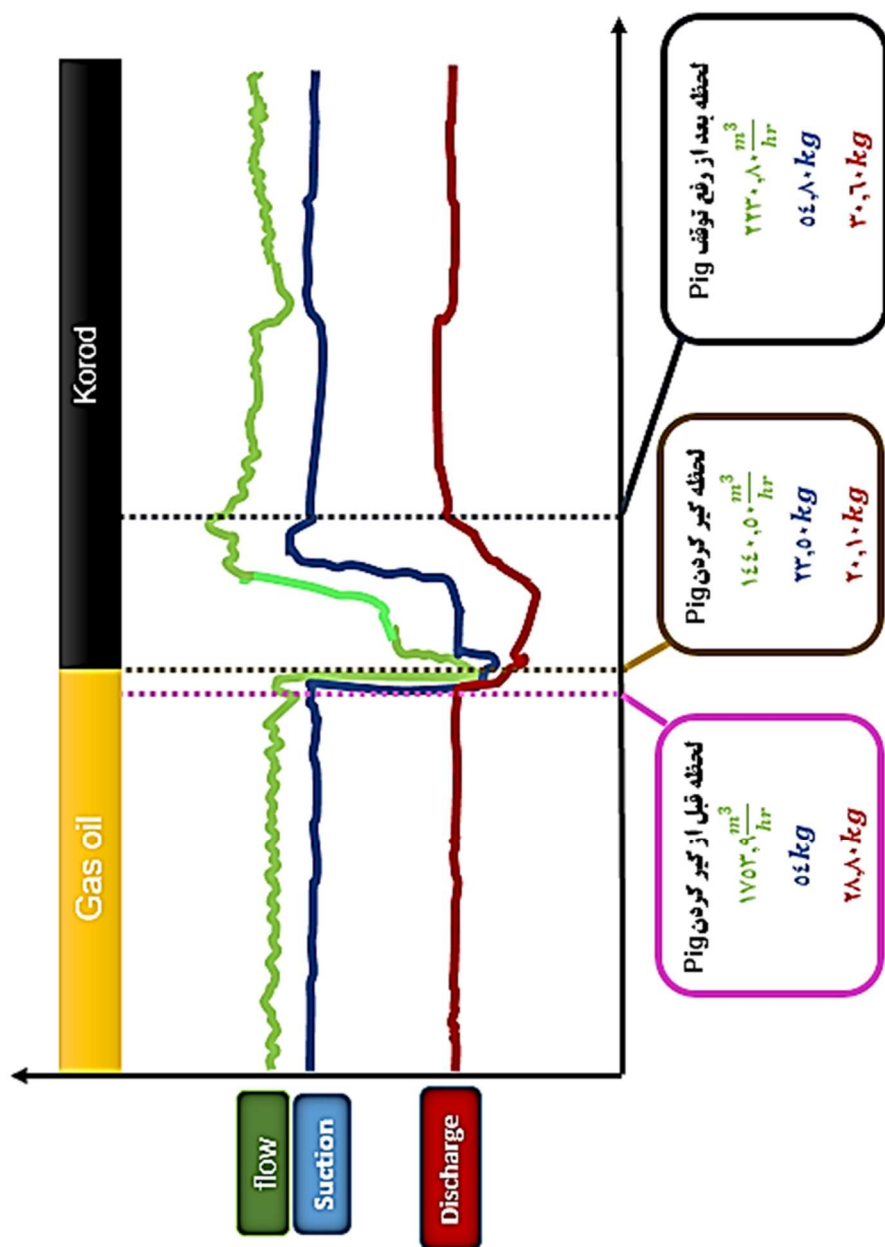
<sup>۳</sup> Design Modeler

<sup>۴</sup> Mechanical

<sup>۵</sup> Mechanical APDL

- ل. مدل کردن جریان های مولتی فاز (چند فازی)
- م. مدل جریان در هندسه های پیچیده دو بعدی و سه بعدی با محاسبات غیر ساختار یافته
- الگوریتم کلی برای برقرار کردن شرائط مسأله در نرم افزار انسیس فلوئنت :
- أ. تعیین هندسه جریان در محیط ANSYS design modeler
- ب. تولید شبکه یا المان : از نسخه پانزدهم انسیس امکان کار بست ابزارهای مش به وسیله کاربر در خود محیط فلوئنت فراهم شده است.
- ج. اعمال شرائط مرزی
- د. حل : مرحله انجام تنظیم های مربوط به حل
- ه. پردازش نتایج : مشاهده ی کانتورهای مختلف، خطوط جریان، بردارهای نرمال، استخراج انیمیشن از مدل جریان و استفاده از خود نرم افزار فلوئنت، انسیس ورک بنچ و CFD – Post (۵)

# ۸-۱-۱ مقدار فشار ورودی و خروجی و دبی در لحظه وقوع حادثه



نمودار (۸-۱) مقدار فشار ورودی و خروجی و دبی در لحظه بروز حادثه (نویسنده)

## ۲-۱ فرایند پیگرانی

### ۱-۲-۱ مزایا

۱-۱-۲ صرفه جویی بدون نیاز به شستن با جریان سریع

۲-۱-۲ ایجاد قابلیت نمونه برداری

۳-۱-۲ استفاده از برآیند های فرایند به منظور کنترل کیفیت خط لوله

۴-۱-۲ عدم نیاز به قطع جریان سیال

### ۲-۲-۱ نکات پیگرانی

ا. پیگرانی مستمر به خط لوله آسیب می‌رساند .

ب. ابعاد ناحیه دچار خوردگی در یک متر از طول لوله براساس قاعده FFS<sup>۱</sup> (همخوانی برای عملکرد) با دخالت دقیق هندسه خوردگی تعیین می‌شود که علاوه بر ارائه فشار مجاز برای طولانی تر شدن عمر خط لوله؛ نشان می‌دهد که با این فشار لوله برای ۱۰ سال آینده جوابگوست یا نه.

ج. هشتاد درصد انرژی های فسیلی با خط لوله ای به طول  $10^6 \text{ km}$   $3 \times 10^6$  در جهان منتقل می‌شود که این مقدار در ایران برای انتقال نفت و گاز به ترتیب  $10^6 \text{ km}$   $1/4 \times 10^6$  و  $45 \times 10^6$  است. قطر خطوط از ۶ تا ۵۶ اینچ ادامه می‌یابد. (۶)

### ۳-۲-۱ اهداف اصلی پیگرانی

افزایش راندمان، دبی و کاهش خوردگی، بازرسی وضعیت و موقعیت درون لوله، جدا سازی دو یا چند فرآورده غیر مشابه، تخلیه آب لوله‌ها پس از آزمایش هیدرو استاتیک . (۶)

### ۴-۲-۱ نکات طراحی تله های ارسال و دریافت

۱-۴-۲-۱ قرارگیری آسان پیگ درون آنها

۲-۴-۲-۱ بزرگتر بودن اندازه مخزن تله (برای لوله های تا قطر ۱۰ اینچ یک واحد- هر واحد

۲ اینچ - و برای لوله های قطر ۱۲ اینچ و بالاتر دو واحد )

۳-۴-۲-۱ توجه به عوامل مؤثر در طراحی درب تله مانند بهره برداری آسان، کمینه کردن نگهداشت، آب بندی و هزینه ی قطعات آب بند، راحتی تعویض و دسترس پذیری.

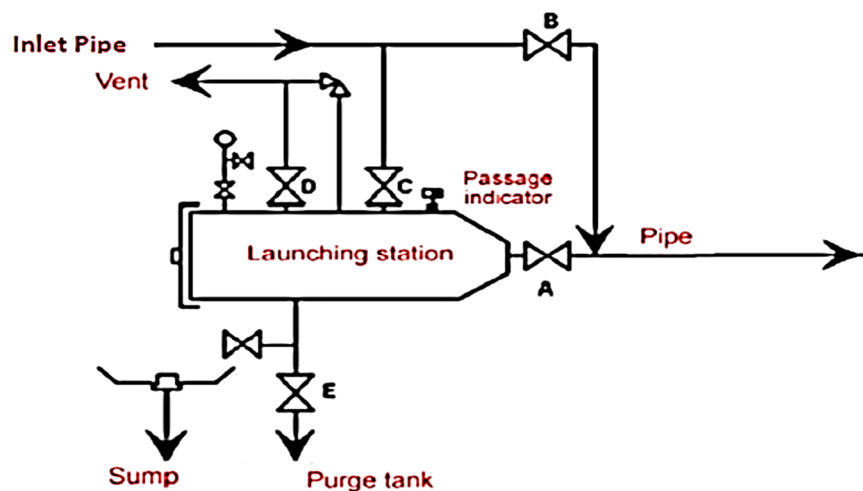
۴-۴-۲-۱ شیرهای اصلی تله های ورودی و خروجی دروازه ای<sup>۲</sup> از نوع Conduit<sup>۳</sup> بوده و

<sup>۱</sup> Fitness For Service

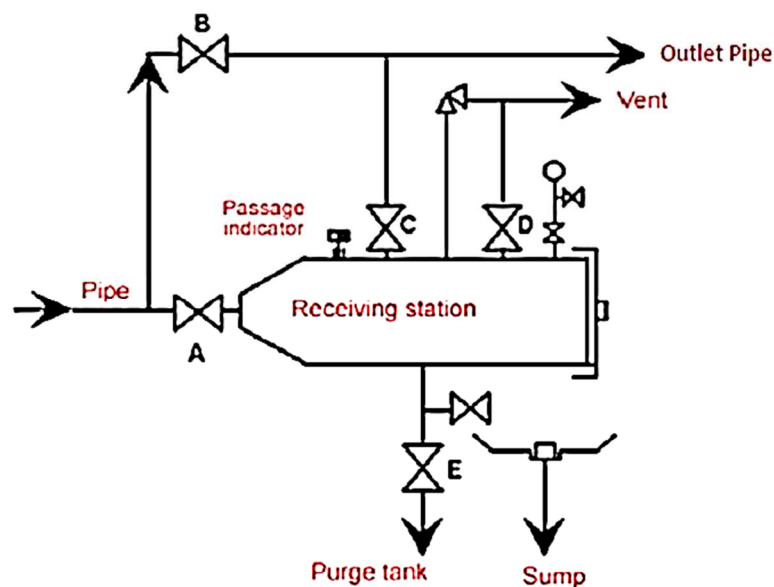
<sup>۲</sup> GATE VALVE

<sup>۳</sup> کانال دار

قابلیت پیگری، قطع و وصل و بستن کامل جریان سیال را دارند. اغلب شیرآلات [ به لحاظ شکل کانال جریان ] طوری طراحی شده‌اند که برای عبور دادن جریان ورودی از فضایی کافی برخوردار باشند و به عبارتی سطح مقطع کانال جریان یکنواخت<sup>۱</sup> است. این یکنواختی نباید با مفهوم معادل بودن سطح مقطع عبور سیال در طول آن با قطر نامی لوله اشتباه گرفته شود و حتی برخی اوقات دواصطلاح Full Bore با Full Open به جای یکدیگر استفاده شده درحالی‌که Full Bore (قطر معادل قطر داخلی لوله) و Full Open (به‌طور کامل باز) معنی می‌شوند. (۳)(۶)(۷)(۸)



شکل (۱۱-۱) تله ارسال (۹)

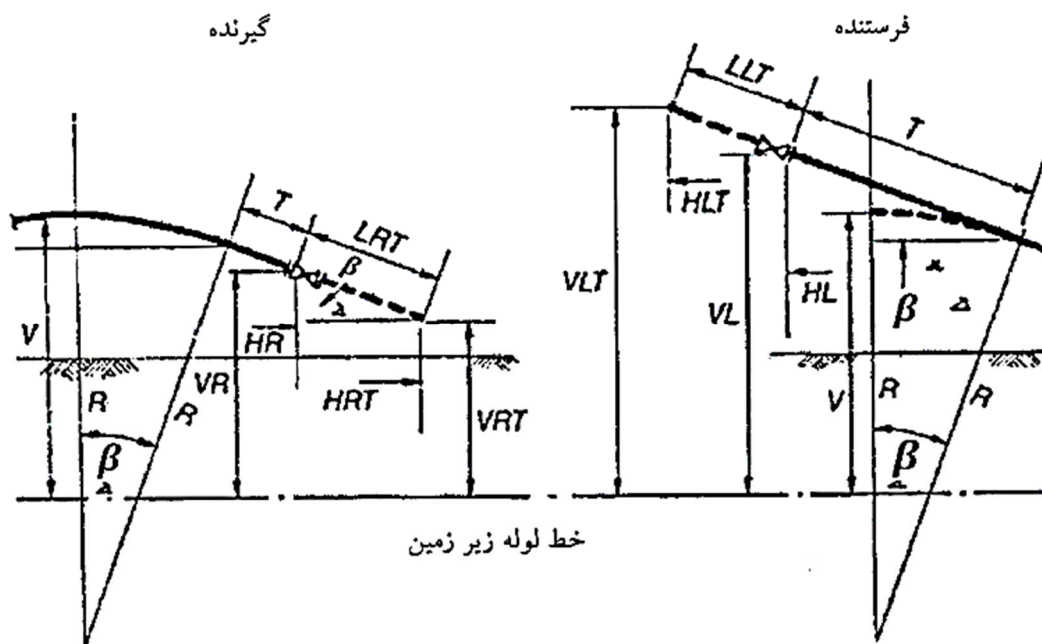


شکل (۱۲-۱) تله دریافت (۹)

<sup>۱</sup> Full Bore

<sup>۲</sup> Full Port

## ۱-۲-۵ روابط مربوط به اتصالات تله های اسکریپر (گیرنده و فرستنده)



شکل (۱۳-۱) طراحی مسیر های دریافت و ارسال (۱۰)

### ۱-۲-۵-۱ گیرنده

$$VR = V - R \times (1 - \cos \text{Trap} \angle) + T \times \sin \beta \quad (1-1)$$

$$HR = H - T + R \times \sin \beta + T \times \cos \beta \quad (2-1)$$

$$LR = L + R \times \frac{\beta}{57.2958} \quad (3-1)$$

### ۱-۲-۵-۲ فرستنده

$$VL = V - R \times (1 - \cos \text{Trap} \angle) + T \times \sin \beta \quad (4-1)$$

$$HL = H - T + R \times \sin \beta + T \times \cos \beta \quad (5-1)$$

$$LL = L - R \times \frac{\beta}{57.2958} \quad (6-1)$$

### ۱-۲-۵-۳ تله گیرنده

$$VRT = VR - LRT \times \sin \beta \quad (7-1)$$

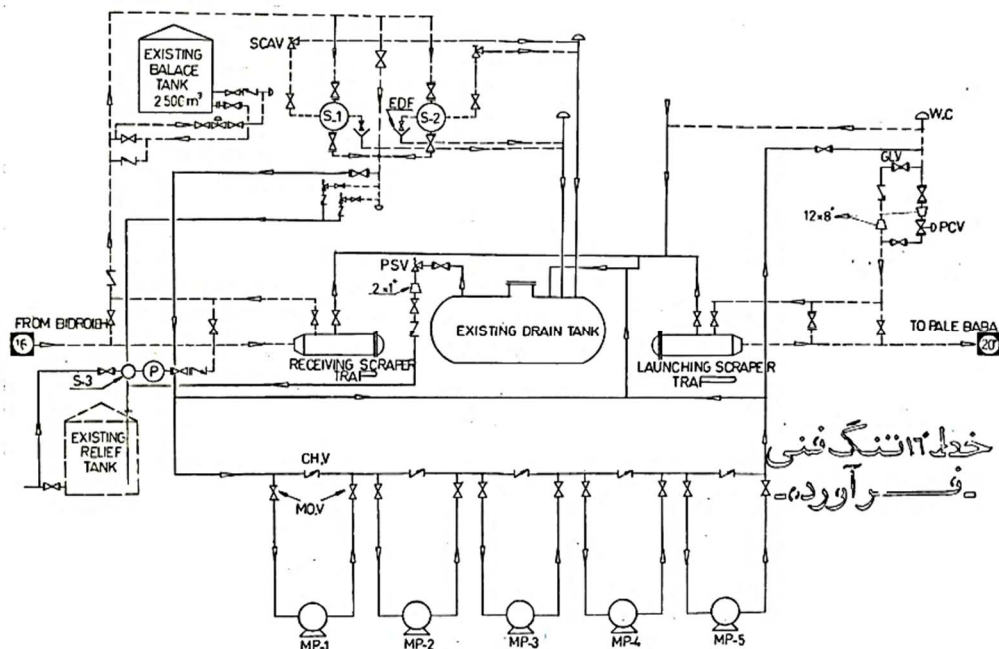
$$HRT = HR + LRT \times \cos \beta \quad (8-1)$$

### ۱-۲-۵-۴ تله فرستنده

$$VLT = VL - LLT \times \sin \beta \quad (9-1)$$

$$HLT = HL + LLT \times \cos \beta \quad (10-1)$$

## ۱-۲-۶ نمونه لوله کشی یک منی فولد با تله دریافت و ارسال



شکل (۱-۱۴) نمونه لوله کشی یک منی فولد با تله دریافت و ارسال (ترسیمی نویسنده)

## ۱-۲-۷ تحقیق

بررسی راهکارهای عملی بهینه سازی حرکت پیگ در لوله حاوی سیال به منظور عدم توقف آن در سه راهی قبل از ورود به تله دریافت با استناد به اعداد و ارقام واقعی و میدانی

## ۱-۲-۷-۱ بیان مسأله

توقف پیگ قبل از قرارگیری در تله و بررسی راهکارها مبتنی بر مکانیک سیالات

## ۱-۲-۷-۲ تاریخچه ای از موضوع تحقیق

در این خصوص تحقیقات بی شماری صورت گرفته اما مسأله گیرکردن پیگها در سه راهه<sup>۱</sup> قبل از تله در یافت تاکنون به طور تخصصی بررسی نشده است و با توجه به بالاترین آمار آسیب فرایند در این نقطه، این موضوع محور اصلی تحقیق می باشد.

## ۱-۲-۷-۳ تعریف موضوع تحقیق

گاهی اوقات در طی فرایند پاکسازی<sup>۲</sup> و جداسازی<sup>۳</sup> پیگ در اثر وارد شدن اختلاف فشار منفی به پشت آن، متوقف شده و فشار در منی فولد بالا می رود و یافتن راهکارهای حل این مشکل (چه فیزیکی و چه دینامیکی) با بیشینه ضریب ایمنی، عملیاتی پایدار را تضمین می کند.

<sup>۱</sup> محل تقسیم سیال بین مسیر دریافت پیگ و نقطه ورودی به منی فولد

<sup>۲</sup> Cleaning

<sup>۳</sup> Batching



## ۱-۲-۸ بررسی مکانیکال و تحلیل نرم افزاری حادثه همراه با بهینه سازی نتایج

### ۱-۲-۸-۱ روش انجام تحقیق

مرحله اول : جمع آوری اطلاعات میدانی مربوط به حادثه گیرکردن پیگ در سه اهه  
مرحله دوم : بررسی راهکارها با نرم افزار انسیس فلوئنت به کمک اطلاعات گرد آوری شده  
مرحله سوم : تعدیل نتایج نرم افزاری با طراحی مسیر جایگزین مبتنی بر پیگرانی استاندارد  
مرحله چهارم : پیشنهاد دبی و سرعت بهینه با شیوه محاسباتی

### ۱-۲-۸-۲ نوآوری، اهمیت و ارزش تحقیق

پیشنهاد دبی و سرعت بهینه حرکت پیگ از مبداء (مرکز انتقال نفت پائین دستی) با هدف عبور بدون توقف از سه راهه با ارائه راهکارهای مکانیکال و سیالاتی هم راستا با سیاست اقتصاد مقاومتی

### ۱-۲-۹ تعریف واژه ها

#### ۱-۲-۹-۱ پیگ<sup>۱</sup>

هر نوع ابزار مستقل با قابلیت حرکت درون لوله با هدف بازرسی فنی، اندازه گیری و یا تمیزکاری

#### ۱-۲-۹-۲ پیگ جداسازی<sup>۲</sup>

پیگی چند منظوره بدنه فلزی<sup>۳</sup> با ۲ تا ۴ کلاهک و صفحات پلاستیکی<sup>۴</sup> در نوع کروی و کابی با وظایفی از جمله :

- ا. ایجاد یک درزگیری متحرک به منظور تفکیک دو فرآورده غیرهمسان در یک خط لوله
- ب. جابجا کردن مایعات و جامدات نرم همچون واکس و پارافین از خطوط لوله نفت و گاز مایع
- ج. انتقال آب مازاد خطوط لوله گاز
- د. تزریق مواد ضد خوردگی
- ذ. رنگ آمیزی داخلی خط لوله (۷)(۹)(۱۱)

#### ۱-۲-۹-۳ پیگ تمیزکاری<sup>۵</sup>

پیگی چند منظوره مجهز به کاپ، کاردک و برس با وظایفی از جمله :

ا. زدودن هرگونه آلودگی

ب. رفع زنگ زدگی

<sup>۱</sup> Pig

<sup>۲</sup> Batching Pig

<sup>۳</sup> Mandrel body spool type

<sup>۴</sup> Rubber caps or Discs

<sup>۵</sup> Cleaning Pig

ج. رفع رسوب و سایر مواد خارجی با هدف افزایش بازدهی فرایندی خط لوله  
د. فراهم آوری امکان بازرسی فنی آسان آن و نیز کاهش هزینه های عملیاتی (۱۱)(۹)(۷)

#### **۱-۲-۹-۴ تله<sup>۱</sup>**

از تجهیزات مجموعه برای ابزارهای ارسال کننده و دریافت کننده پیگ‌ها (۷)

#### **۱-۲-۹-۵ دریافت کننده<sup>۲</sup>**

از تجهیزات مجموعه برای خارج نمودن پیگ از خط لوله ی تحت فشار (۷)

#### **۱-۲-۹-۶ ارسال کننده<sup>۳</sup>**

از تجهیزات مجموعه برای وارد کردن پیگ به درون خط لوله ی تحت فشار (۷)

---

<sup>۱</sup> Trap

<sup>۲</sup> Receiver

<sup>۳</sup> Launcher

**فصل دوم**  
**آشنایی با پیگ و پیگری**  
**(Pig and pigging)**

## ۲-۱ آشنایی با پیگ

در زمان جنگ جهانی دوم خطوط لوله برای فرایند پیگ رانی طراحی نشده بودند و استفاده از لوله قطر متغیر، زانویی چوبی و شیر فلکه با محفظه کوچکترو یا مربعی مطابق با زانویی شعاع کوچک معمول بود و مسیر حرکت پیگ<sup>۱</sup> با کاهش فشار و جریان مواجه بود که پس از این دوران خطوط فشار پائین با قطر کم، مجهز به شیر فلکه مربعی مطابق با زانویی های قطر کم شدند و به تدریج جای خود را به خطوط فشار بالا با قطر و طول بیشتر دادند. (۱۲)

پیگ ها به دلیل عدم امکان دسترسی به سطح داخلی و لزوم جلوگیری از ایجاد نقص در جدار درونی لوله، بهترین گزینه برای انتقال پایدار مواد و نیل به اهدافی مانند ترمیم خوردگی های داخلی، افزایش عمر و کارایی هیدرولیکی، رفع نرمی سطح در اثر انواع عیوب، آزمایش یکپارچگی خط لوله، جوشکاری، اندازه گیری ضخامت دیواره و اندازه خوردگی به شمار آمده و طی مراحل پیش راه اندازی، راه اندازی، بهره برداری و ازکارافتادگی خط لوله مورد نیاز می باشند. (۱۳)

## ۲-۱-۱ تعریف

پیگ ابزاری است که بارانش رو به جلو به کمک جریان سیال مماس با دیواره داخلی لوله فرایند پاکسازی، رفع گرفتگی<sup>۲</sup> و پرداخت هر گونه مواد زائد داخل لوله را انجام می دهد. این وسیله در فرهنگ فارسی به معنای (خوک) آمده زیرا با تماس برس ها به دیواره داخلی؛ صدای گوش خراشی مانند صدای این حیوان شنیده می شود. (۱۴)(۸)

## ۲-۱-۲ سازوکار

پاکسازی مؤثرتر تا بیشینه ۴۰۰ کیلومتر در اثر نیروی رانش ناشی از اختلاف فشار<sup>۳</sup> ایجاد شده در دو طرف پیگ و در حالت شناوری تحت تأثیر افزایش نیروی حجم و وزن خود و  $p$  سیال

## ۲-۱-۳ ساختار

آب بندها از پلی اورتان و نئوپرن و بدنه از فلزات سبک منیزیم<sup>۴</sup>، آلومینیم<sup>۵</sup> و پلی مریلی اورتان (۱۴)(۱۲)

<sup>۱</sup> Pipeline Inspection Gauge or Pig

<sup>۲</sup> Choking

<sup>۳</sup> Pressure drop or  $\Delta P$

<sup>۴</sup> Mg

<sup>۵</sup> Al

## ۱-۳-۱-۲ مزایای بدنه

ا. تضمین آب بندی و قدرت تمیز کاری به وسیله پیگ در مسافت طولانی

ب. کاهش خمیدگی قسمت تحتانی فنجانک های درزبند پیگ

ج. افزایش تقارن مرکزی پیگ درون خط لوله (۱۴)

## ۴-۱-۲ طبقه بندی

### ۱-۴-۱-۲ بر اساس ساختمان

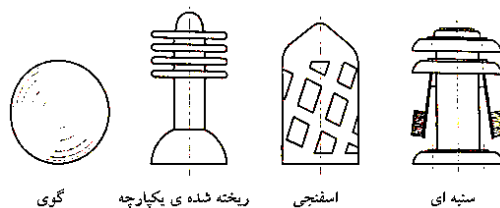


نمودار (۱-۲) دسته بندی پیگ ها بر اساس ساختمان (۱۴)

## ۲-۴-۱-۲ بر اساس عملکرد

### ۱-۲-۴-۱-۲ پیگ‌های مطلوب (عمومی)<sup>۱</sup>

پیگ‌هایی مناسب برای انجام عملیات مکانیکی ساده مانند پاکسازی و آب بندی خط لوله با هدف آب زدایی<sup>۲</sup>، زدودن مواد زائد به وسیله خراشنده‌ها<sup>۳</sup> (اندازه این خراشنده پیگ تقریباً ۹۰ الی ۹۵ درصد قطر داخلی است) و جداسازی<sup>۴</sup> محصولات در خط. (۱۳)



شکل (۱-۲) پیگ‌های عمومی (۷)

### أ. پیگ‌های تمیز کننده (خراشنده‌ها)

انواع پیگ‌های تمیز کننده: سنبه‌ای، اسفنجی، ریخته شده یک پارچه و گوی‌ها



شکل (۲-۲) پیگ‌های تمیز کننده (پاکسازی) (۱۵)

تجهیزات: فقط برس‌ها<sup>۵</sup>، فقط تیغه‌ها<sup>۶</sup> و یا ترکیبی از هر دو

در پیگ سنبه‌ای (با بدنه ای فولادی) برای زدودن رسوب سخت از برس‌های سیمی و گاهی تیغه‌های خراشنده نواری و برای رفع مواد نرم مانند واکس و لجن<sup>۷</sup> تیغه‌های لجن تراش<sup>۸</sup> الاستومری استفاده می‌شود. عامل نشت بندی درون لوله در این پیگ، کلاهک‌ها یا صفحات پلاستیکی<sup>۹</sup> است که در انواع استاندارد و مخروطی طراحی و ساخته می‌شوند و کنارگذر<sup>۱۰</sup> واقع روی دماغه جلوی پیگ کنترل سرعت سیال را برعهده دارد. در این پیگ‌ها با ایجاد اختلاف فشار بالا در دو طرف پیگ، جریانی عمودی از عقب به جلو بوجود آمده و این خود آلودگی شدید همراه با

<sup>۱</sup> Utility Pigs

<sup>۲</sup> Drying

<sup>۳</sup> functions

<sup>۴</sup> Batching

<sup>۵</sup> Brushes

<sup>۶</sup> Blades

<sup>۷</sup> Sludge

<sup>۸</sup> Plough

<sup>۹</sup> Elastomeric cups or Discs

<sup>۱۰</sup> By pass

افزایش جریان در جلوی دستگاه، از مسیر کنارگذر تا لحظه بی حرکت ماندن و به عبارتی گریپاژ<sup>۱</sup> کردن پیگ ادامه می یابد و در نتیجه با نگاه داشتن ذرات جامد زدوده شده به حالت غیر همگن، از بسته شدن خط لوله جلوگیری می شود.

پیگ اسفنجی در ۳۰ نوع مختلف استاندارد از جنس مواد پلاستیکی با مقاومت بسیار بالا در مقابل پارگی و سایش برای نوسازی، پیگرانی نامنظم و مشکلات غیر منتظره به کار می رود. فلسفه وجودی پیگ ریخته شده یک پارچه ناشی از بازدارندگی هزینه های انسانی برای مونتاژ و تعویض قطعات پیگ های کوچک است و این اثر بخشی مهمترین عامل بلحاظ قیمت بوده و بهبود جزئی بازده خط لوله هزینه ی دو یا سه نفر ساعت را جبران می نماید.

گوی ها به طور انحصاری پیگ آب بندی بوده و کاربست آن در برخی شرائط، خارج کردن ذرات جامد است و قابلیت عبور از خم با شعاع صفر درجه در فرایندهای پیچیده ای همچون سیستم های جمع آوری گاز را دارند. (۱۱)(۷)(۶)

### **ب. پیگ های آب بندی (جدا کننده یا لوله پاک کن)**

انواع پیگ های آب بندی: سنبه ای، اسفنجی، ریخته شده یک پارچه و گوی ها



شکل (۲-۳) پیگ های جدا کننده (لوله پاک کن) (۱۵)

شرط نخستین در هر قطعه آب بندی، تماس مداوم آن با دیواره ی لوله است که با گذشت زمان باعث سایش همراه با کاهش بازده آب بندی می شود. نقش اصلی مواد آب بندی که ازدو نوع اصلی پلی اورتان ها (پلی اتر و پلی استر) ساخته می شوند در رفع آن مهم است.

برقراری تماس با دیواره ی لوله به واسطه انبساط قطعه آب بندی در اثر اختلاف فشار فراهم می شود و زمانی که نیروی شعاعی بزرگ تر از مقدار لازم باشد سایش بیش از اندازه خواهد شد. ساختار استوانه ای پیگ آب بندی اسفنجی به وسیله تماس بدنه با دیواره، از فشار برواحد سطح می کاهد و مقاومت آن در مقابل سایش با پوشش اورتان ریخته شده یکپارچه بالا می رود. پیگ آب بندی نوع ریخته شده یک پارچه به طور خاص در واحدهای فرایندی استفاده می شود. کاربست گوی ها در فرایندهای خودکار بوده و وظیفه رفع میعانات را برعهده دارند. (۷)

<sup>۱</sup> Stuck

## ۲-۱-۲-۴ پیگ‌های بازیبن<sup>۱</sup> یا هوشمند<sup>۲</sup>

انجام بازدید و بازرسی سلامت خط با جمع آوری اطلاعات مربوط به پارامترهای یکپارچه سازی خط لوله مانند ضخامت، خوردگی، کاهش فلز، قطر، انحناء، فشار، درجه حرارت و غیره (۱۳)



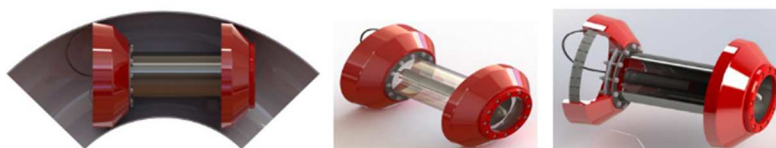
شکل (۲-۴) پیگ هوشمند (۱۶)

## ۲-۱-۲-۳ پیگ‌های خاص یا استثنایی<sup>۳</sup>

انجام وظایف ویژه مانند تعمیر و نگهداری خطوط لوله (بررسی مشکلات خوردگی و آب زدایی با پوشاندن قسمت داخلی خط لوله با مهارکننده‌های خاص) (۱۳)

## ۲-۱-۲-۴ پیگ‌های نشت یاب<sup>۴</sup>

اندازه‌گیری و تعیین استحکام دیواره لوله بعد از تست نشتی (۱۳)



شکل (۲-۵) پیگ نشت یاب (۱۷)

## ۲-۱-۲-۵ پیگ‌های دیگر

تمیزکننده مغناطیسی، بای پس کننده ی فشار، راه انداز، ابزار بازرسی داخل لوله، تعیین کننده کاهش ضخامت فلز (خوردگی)، هندسی، خم یاب، عکس بردار، نقشه بردار و نمونه بردار (۷)

## ۲-۱-۲-۳ بر اساس سیر تکاملی

## ۲-۱-۲-۴ از نگاه تولید

## ا. نسل اول

پاکسازی و واکس زدایی نفت خام با کهنه و چرم یا چوب متراکم پیچیده شده با سیم (اواخر جنگ جهانی اول) و یا با ترکیب تیغه فولادی و آب‌بند چرمی<sup>۵</sup> (آغاز جنگ جهانی دوم)

<sup>۱</sup> Inline Inspection Pigs

<sup>۲</sup> Smart Pigs

<sup>۳</sup> Special Duty Pigs

<sup>۴</sup> Leak Detection Pigs

<sup>۵</sup> Go – Devils



## ب. نسل دوم

پاکسازی، واکس زدائی و حذف مواد زائد با آب بندهای فلزی کمی کوچکتر از قطر داخلی لوله

## ج. نسل سوم<sup>۱</sup>

جمع آوری و پردازش داده‌ها، پاکسازی و ضخامت سنجی دیواره زانویی‌ها و انحنا

## د. نسل چهارم (هوشمند)<sup>۲</sup>

شناسائی عیوب به وسیله روبات‌های ویژه با امکان غیر فعال کردن پیگ داخل لوله<sup>۳</sup>، تشخیص و جوشکاری شکاف کوچک و نیز توانایی ارائه راه حل بازدارنده در مکان‌های مشخص شده (۱۳)

## ۱-۲-۳-۴ از نگاه کلی

نخست گلوله‌های پارچه‌ای و نخ‌تولید و سپس بدنه‌هایی با ترکیبی از چرم و مواد اسفنجی و حتی پلاستیکی مرسوم شدند و در عصر کنونی انواع کاپ‌های اتیلنی کاربردی گردیدند.

## ا. به لحاظ جهت حرکت

جداکننده تک جهته<sup>۴</sup>:

با حرکت از ابتدای مسیر به مقصد، تمیزکاری و رانش مواد زائد را به سمت بیرون درانتهای لوله انجام می‌دهد و ساختاری مانند پیگ استاندارد مجهز به کلاهک ساینده<sup>۵</sup> دارد. جداکننده دو جهته<sup>۶</sup>:

این پیگ با تغییر فشار ثقل جریان در اثر پیشروی معکوس تست نشستی را در دو جهت انجام می‌دهد و ساختاری مانند پیگ دو طرفه مجهز به صفحات پلاستیکی<sup>۷</sup> دارد. (۱۳)(۱۱)(۷)

## ب. به لحاظ مکانیک حرکت (با حرکت آرام خزیدن)

روبات‌ها با حرکت آرام یک جهته پیگ رادراتصالات T, Y غیر فعال می‌نمایند. (۱۳)

## ۱-۲-۳-۴ تناسب پیگ با نوع ماده جابجا شده

برای مایعات لوله پاک کن<sup>۸</sup>، برای جامدات سخت پیگ تمیز کننده برس دار<sup>۹</sup> و برای جامدات نرم پیگ تمیز کننده مجهز به تیغه<sup>۱۰</sup> ها پیشنهاد می‌شود. (۷)

<sup>۱</sup> smart pigs

<sup>۲</sup> intelligent pigs

<sup>۳</sup> unpiggable

<sup>۴</sup> Unidirectional

<sup>۵</sup> Scraper caps

<sup>۶</sup> Bidirectional

<sup>۷</sup> Rubber discs

<sup>۸</sup> Swabbing pig

<sup>۹</sup> Brush Cleaning pig

<sup>۱۰</sup> Blead

## **۲-۱-۴-۵ مزایا**

- ۲-۱-۴-۱ بالا بردن عمر خط لوله و نگهداری مؤثر و کارآمد آن
- ۲-۱-۴-۲ افزایش بازده خط لوله با انجام پاکسازی (رسوب زدایی کامل جدار داخلی)
- ۲-۱-۴-۳ انتقال بی‌درنگ فرآورده همراه با کاهش ریسک
- ۲-۱-۴-۴ فرایندهائی مانند آب زدایی و جداسازی بین فرآورده با چگالی‌های مختلف
- ۲-۱-۴-۵ خنک کاری درون لوله پس از فرایند هیدرواستاتیک خط گاز
- ۲-۱-۴-۶ انجام بازرسی درون لوله با صفحات اندازه گیر (پیگ‌های هوشمند).
- موارد ۲-۱-۴-۱ و ۲-۱-۴-۲ و ۲-۱-۴-۳ مهمترین مزایای کاربری پیگ‌ها می‌باشند. (۱۲)

## **۲-۱-۴-۶ کاربرد**

- ۲-۱-۴-۱ پاکسازی داخلی، پوشیدگی‌ها و رسوبات ناشی از کاهش اصطکاک
- ۲-۱-۴-۲ کاستن هزینه انرژی واحد حجم سیال و افزایش راندمان با حفظ دبی خروجی
- ۲-۱-۴-۳ جداسازی محصول انتقالی در خط لوله با کاهش آلودگی آن و آب زدایی
- ۲-۱-۴-۴ حذف مایعات و گازها و مواد خورنده با هدف کاهش خوردگی داخلی
- ۲-۱-۴-۵ اندازه‌گیری هندسی لوله (تعیین محل خم‌ها و اتصالات و دهانه داخلی آن)
- ۲-۱-۴-۶ بازرسی خط لوله و موقعیت‌یابی گرفتگی‌ها (۱۲)

## **۲-۱-۴-۷ قابلیت‌های هم‌زمان پیگ‌های چند منظوره به جای پیگ‌های هوشمند**

تست هیدرو استاتیک، پاکسازی، جداسازی، آب زدائی و اندازه گیری ضخامت دیواره لوله (۱۲)

## **۲-۱-۴-۸ شرائط عبور پیگ از لوله کم قطر**

بزرگ‌تر بودن هم شعاع خم نسبت به سایر لوله‌ها (حداقل ۱۰-۶ برابر قطر برای لوله‌های ۴-۳ و حتی ۶ اینچ) و همچنین نسبت طول به قطر دریگ با ابعاد کوچک‌تر، در مقایسه با انواع دیگر (۱۲)

## **۲-۲ پیگرانی**

پیگرانی روشی داخلی برای پاکسازی، افزایش کارائی و فرایند نگهداری، گردآوری اطلاعات و بازبینی برای اهداف یکپارچه مدیریت است که امروزه شرکت‌های TDW، Girad، Endura و Rusen در این حوزه فعال هستند. علاوه بر توصیه بیکرووهمکاران به کاربرد آن برای حجمی متوسط بین ۱۰-۱۰۰ میلیون متر مکعب در روز از مایع جامانده، به منظور بازرسی‌های داخلی ناشی از اثر منفی بر روی رژیم جریان و مدیریت منظم رسوبات به کمک یک پیگ تعمیر و

نگهداری انجام می‌شود. متأسفانه برخی مهندسان با کاربست شیریکطرفه در خط اصلی به بهانه مشکلات اجرایی، تعویض بخشی از لوله با لوله ضخیم تر و ... با بی اهمیت جلوه دادن ساختار این فرایند؛ با ادعای گرانی بازسازی، به حذف گلوگاه ها و استفاده از ایده های با تأثیر کم مبادرت می‌کنند. (۱۹)(۱۸)(۱۴)(۱۳)(۱۲)

## ۲-۲-۲-۲ تعریف

فرایند رفع انسداد، پوسیدگی و موانع نگهداشت خط بعد از مدت معین به دلایل داخلی یا خارجی

## ۲-۲-۲-۲ سازوکار

پاکسازی، جداسازی، بازبینی داخلی با ابزاراستوانه‌ای یا کروی (به کمک جریان سیال، ابزار جوشکاری برای تعمیر خط و یا کشش مصنوعی مجهز به فناوری حسگرهای نشت یاب)(۱۳)

## ۲-۲-۳ اهداف

۱-۳-۲-۲ بهره برداری دوباره از خطوط لوله بی مصرف رها شده

۲-۳-۲-۲ پرکردن خط لوله از آب برای آزمون فشار ایستایی، تخلیه آب<sup>۱</sup> و خشک کردن

۳-۳-۲-۲ پیگرانی لوله همیشه فعال برای نیل به بازده مناسب

۴-۳-۲-۲ کاهش خوردگی بارانش پیگ و کنترل مؤثر آن

۵-۳-۲-۲ زدودن هر گونه زنگ زدگی و مواد اضافی درون خط لوله تازه احداث

۶-۳-۲-۲ برآورد اندازه خوردگی ناشی از کاهش ضخامت<sup>۲</sup> با استفاده از ابزار بازرسی<sup>۳</sup>

۷-۳-۲-۲ حذف آب ساکن در نقاط پائین<sup>۴</sup> خط اصلی

۸-۳-۲-۲ جدا سازی بدون آلودگی فرآورده نامتجانس

۹-۳-۲-۲ انجام فرایندی مانند رانش پیگ، اندازه‌گیری قطر و طول خط<sup>۵</sup> جهت شناسایی،

تعیین محل و اندازه عیوبی مانند فرورفتگی‌ها<sup>۶</sup>، نقاط متورم<sup>۷</sup> و یا جوش اضافی<sup>۸</sup> (۱۱)

<sup>۱</sup> Hydrostatic test and De-watering

<sup>۲</sup> Metal loss

<sup>۳</sup> ILI Tools

<sup>۴</sup> Lowest spot

<sup>۵</sup> Geometry Pig

<sup>۶</sup> Dents

<sup>۷</sup> Buckles

<sup>۸</sup> Excess Penetration

## ۲-۲-۴ نتایج عدم انجام پیگرانی (عدم پشتیبانی و حمایت خط لوله)

۲-۲-۴-۱ وقوع پدیده انسداد<sup>۱</sup> به دلیل رسوب و اکس (موم)

۲-۲-۴-۲ انباشتگی مواد اضافه باقی مانده و تشکیل هیدرات<sup>۲</sup>

۲-۲-۴-۳ پدیده نشت مایع در اثر خوردگی (۱۳)

## ۲-۲-۵ نتایج تکرار زیاد فرایند پیگرانی

۲-۲-۵-۱ کاهش شدید کارایی خط لوله (افزایش وقفه پیگرانی بدون مقاومت جریان)

۲-۲-۵-۲ وقوع پدیده پیگ چسبان (توقف پیگ)<sup>۳</sup> حین رانش در خط لوله (۱۹)

## ۲-۲-۶ عدم توانایی انجام فرایند پیگرانی<sup>۴</sup>

افزایش فشار برای تسریع در تحویل مایعات و نیز بهره برداری غیر استاندارد با توجه به افزایش جریان انتقالی و نگهداری (پاکسازی و بازبینی) از چالش‌های پیش رو است.

بدون توجه به نقش رسوبات معمولی در دو چندان کردن ناتوانی مجموعه حین فرایند و منشاء تولید آنها (پودر سیاه، واکس، پارافین، مایه قیر، هیدرات‌ها، شن و سنگ، ذرات خیلی ریز، نفتالین، شیرابه و آب)؛ مشکلاتی مانند افزایش فشار عقب<sup>۵</sup>، افت جریان<sup>۶</sup>، کاهش کارایی سیستم<sup>۷</sup> و خطر انسداد کامل یا جزئی<sup>۸</sup> رافراهم نموده و بر کیفیت محصول اثر سوء می‌گذارند. (۱۹)

## ۲-۲-۷ تحلیل کاهش راندمان جریان نفت خام به دلیل فرایند پیگرانی



نمودار (۲-۲) سازوکار کاهش راندمان جریان نفت خام به خاطر انجام فرایند پیگرانی (۱۴)

<sup>۱</sup> choking

<sup>۲</sup> hydrate

<sup>۳</sup> a pig becoming stuck

<sup>۴</sup> Unpigable

<sup>۵</sup> Back Pressure

<sup>۶</sup> Decreased Flow

<sup>۷</sup> Reduced System Reliability

<sup>۸</sup> Risk of Full or Partial Blockage

## ۲-۲-۸ نکات منی فولد پیگ رانی

منی فولد پیگ رانی از (پیگ ران<sup>۱</sup>، پیگ گیر<sup>۲</sup>، سیال جهت رانش پیگ<sup>۳</sup>، نشان دهنده<sup>۴</sup> و آشکارساز پیگ<sup>۵</sup>) تشکیل می شود.

کاربست شیرهای توپی و دروازه‌ای به ترتیب در خطوط انتقال گاز و مایعات بوده و وسایل اندازه گیری فشار، قبل از بازکردن دریچه با هدف اطمینان از کاهش فشار درون تله به کار می روند. در این مجموعه لوله‌های تخلیه وظیفه کاهش فشار را برعهده دارند و شیر کنترل به عنوان فشار شکن عمل کرده که تنظیم فشار تله، قبل و بعد از خارج نمودن پیگ را انجام می دهد. (۱۲)

## ۲-۲-۹ ایده (تله بلندتر با قطر لوله کمتر)

امروزه کاربرد پیگ گیرها و پیگ رانها براساس پیگ هوشمند برای پیگ های معمولی است و در طراحی لوله های جانبی جدید به مواردی چون کاربرد مسیره های طولانی (۵۰-۷۰) مایلی و لوله های با شعاع خم بزرگ ؛ طراحی سه راهه ها با یک سمت مسدود<sup>۶</sup> و همچنین Full port بودن و امکان عبور پیگ از شیرآلات ورود به تله<sup>۷</sup> و شیر یکطرفه توجه نمود. (۱۲)

## ۲-۲-۱۰ فاصله مناسب برای ارسال و دریافت پیگ

فاصله بین ارسال و دریافت با توجه به سرعت پیگ و نوع آن، کیفیت، زبری سطح و نوع سیال متغیر است که برای خطوط انتقال نفت خام (۳۴۰ کیلومتر)، فرآورده های نفتی (۲۵۰-۲۴۰ کیلومتر) و خطوط گاز (۱۶۰-۱۵۰ کیلومتر) است. (۱۴)

## ۲-۲-۱۱ مقررات ایمنی در فرایند پیگ رانی

### ۲-۲-۱۱-۱ منابع اصلی خطر

۲-۲-۱۱-۱-۱ انرژی جنبشی پیگ در حال حرکت

۲-۲-۱۱-۱-۲ فشار تولیدی به وسیله سیال پیشران پیگ

۲-۲-۱۱-۱-۳ ترکیب مواد قابل انفجار مایعات و یا گازهای قابل اشتعال در هوا

۲-۲-۱۱-۱-۴ ترکیبات سمی ناشی از گازهای درون لوله حین فرایند پیگ رانی

<sup>۱</sup> Lurching Trap

<sup>۲</sup> Receiving Trap

<sup>۳</sup> Fluid for Running Pig

<sup>۴</sup> Pig Signaler

<sup>۵</sup> Pig Detector

<sup>۶</sup> Barred tee

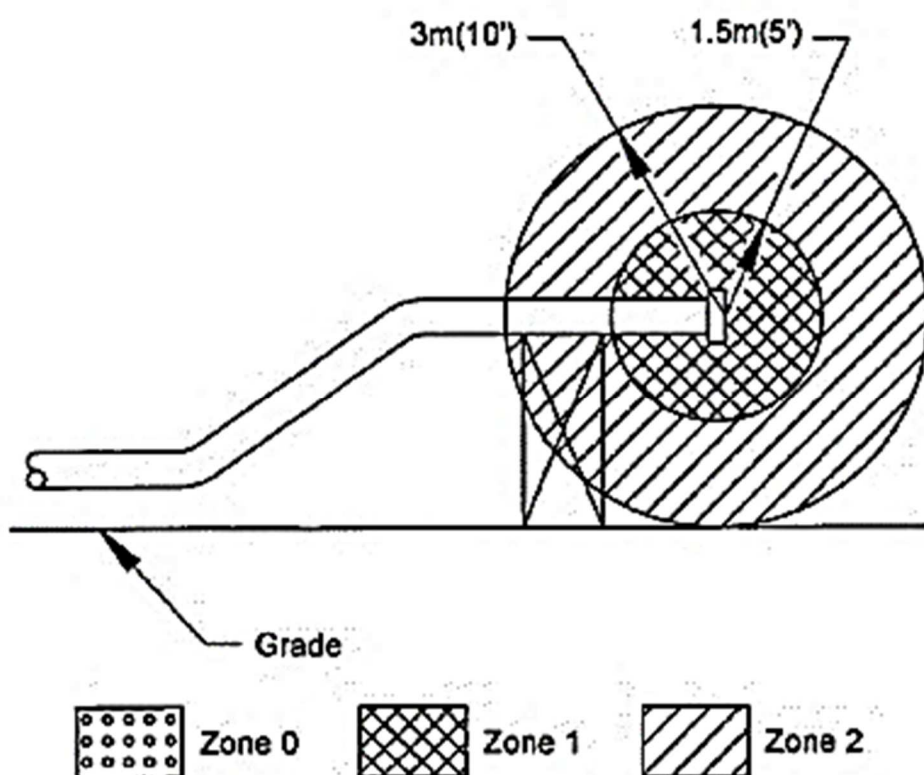
<sup>۷</sup> Trap

## ۲-۱۱-۲-۲ خاموش کننده

کپسول‌های خاموش کننده پودری چرخدار ۱۲ و ۷۵ کیلوگرمی

## ۲-۱۱-۲-۳ طبقه بندی نواحی خطرناک

محدوده اطراف توپک‌ران و توپک‌گیر (بادرب بسته) از نواحی خطرناک (zone ۱, ۲) است و کاربست هرگونه وسیله الکتریکی فاقد استانداردهای مربوطه مانند تلفن همراه و... در این منطقه، باعث ایجاد خطرات جبران ناپذیر می‌شود. (۱۱)



شکل (۲-۶) تعیین نواحی خطر در پیگ‌گیر و پیگ‌ران براساس استاندارد API ۵۰۵ (۱۱)

## **فصل سوم**

### **مباحث تخصصی پیگردانی**

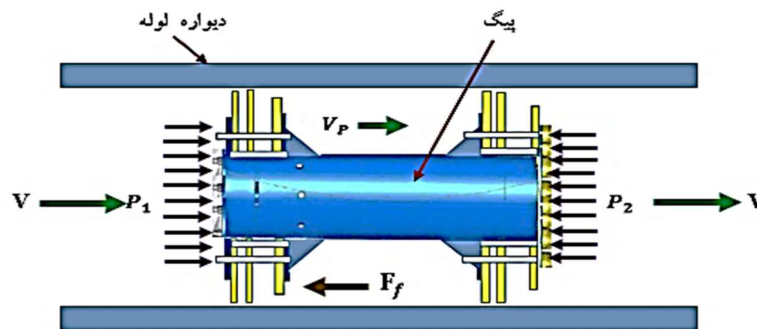
### ۳-۱-۱ دینامیک حرکت پیگ<sup>۱</sup>

#### ۳-۱-۱-۱ تحلیل سازوکار حرکت پیگ

پیگ با سرعت ثابت  $V_p$  به دلیل اصطکاک تماسی زیاد با لوله، کوچکتر از میانگین سرعت جریان  $V$  در لوله حرکت کرده و به طور مشابه جریان یک نیروی کششی<sup>۲</sup> روی آن ایجاد می نماید.

$$F_D = C_D A \rho \left[ \frac{(V - V_p)^2}{2} \right] \quad (۱-۳)$$

لذا پیگ به فرض پایداری جریان<sup>۳</sup>، در جهت مخالف با نیروی اصطکاک<sup>۴</sup>  $F_f$  در تماس است.



شکل (۱-۳) حرکت پیگ در لوله

$$F_D = F_f = \eta N \quad (۲-۳)$$

در این رابطه،  $N$  مجموع اسکالر نیروهای عادی وارد بر روی لوله در جهت شعاعی از جانب پیگ و  $\eta$  ضریب اصطکاک تماسی است. برای حذف  $F_D$  از دو معادله بالا نتیجه می شود:

$$S_d = \sqrt{\frac{\eta N}{C_D \rho A}} \quad (۳-۳)$$

$S_d$  (سرعت سیال)،  $S_p$  (سرعت پیگ) و  $S$  (میانگین سرعت جریان) است به طوری که  $S_p > S_d$  بوده که بزرگی  $S_d$  با ریشه مربع ضریب اصطکاک تماسی  $\eta$  و نیروی عادی بین پیگ و لوله نسبت مستقیم و با ضریب کششی  $C_D$ ، چگالی مایع و سطح مقطعی از لوله  $A$  نسبت عکس دارد. اگر پیگ با دو آببند انتهائی هم قطر باشد رابطه (۳-۳) به صورت ذیل<sup>۵</sup> کاهش می یابد:

<sup>۱</sup> Pig Dynamic Motion

<sup>۲</sup>  $F_D$  or drag

<sup>۳</sup> Steady State

<sup>۴</sup> Friction Factor

<sup>۵</sup> Kosugi Equ



$$C_D = \frac{\epsilon K_d^{\frac{1}{2}}}{(1 - K_d)^{\frac{1}{2}}} \quad (4-3)$$

کاربست این رابطه برای پیگ با مقادیر بزرگ (نسبت قطر آب بند  $k_d = D_d / D > 0.95$ ) است. از تجزیه جریان در رابطه (3-5) که موسوم به (رابطه تداوم جریان ناپایدار) می باشد تعریف جریان نشت  $(N_L = Q_L / Q)$  نتیجه می شود و در نهایت به رابطه (3-6) (جریان نشت) منتهی می شود:

$$Q = Q_P + Q_L \quad (5-3)$$

$$N_L = 1 - \left(\frac{S_P}{S}\right) \quad (6-3)$$

در رابطه (3-5) یا  $Q$ ، دبی تخلیه مایع،  $Q_P$  دبی تخلیه پیگ و  $Q_L$  دبی تخلیه جریان نشتی است مثال: یک پیگ پاکسازی با دو آب بند انتهایی و قطر آب بند موثر  $(D_d = 0.98 D)$  که به جدار داخلی لوله نیروی صدرصد نرمال  $N$  معادل  $400 \text{ Lb}$  وارد می نماید. در لوله فولادی به قطر ۱۰ اینچ، سرعت جریان آب ۶ فوت بر ثانیه و ضریب اصطکاک بین پیگ و لوله  $0.6$  می باشد. (۲۰)

اگر  $\rho_{H_2O} = 1.94 \text{ slug/ft}^3$  باشد. مطلوبست سرعت حین حرکت  $(S_P)$  و نسبت جریان نشتی اطراف پیگ  $(N_L)$ . (۲۰)

$$C_D = \frac{\epsilon K_d^{\frac{1}{2}}}{(1 - K_d)^{\frac{1}{2}}} = \frac{\epsilon \times (0.98)^{\frac{1}{2}}}{[1 - (0.98)^{\frac{1}{2}}]^{\frac{1}{2}}} \cong 2353$$

$$S_d = \sqrt{\frac{2 \eta N}{C_D \rho A}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.6 \times 400}{2353 \times 1.94 \times 0.0545}} = 0.439 \text{ ft/s}$$

$$S_P = S - S_d = 6 - 0.439 = 5.56 \text{ ft/s}$$

$$N_L = 1 - \left(\frac{S_P}{S}\right) = 0.073$$

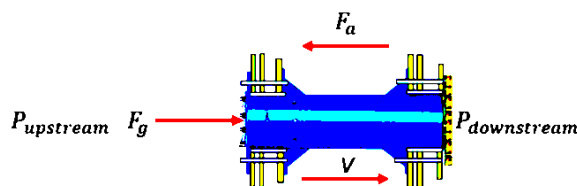
### ۳-۱-۲ آیا حرکت پیگ وابسته به فشار است؟

پیگ در خط لوله در اثر افت فشار حرکت می کند که بر اساس قانون دوم نیوتون نتیجه می شود:

$$M \cdot a = F_g + F_a \quad (7-3)$$

$$M \cdot a = (\Delta P \cdot A) + (B \cdot S + F_s)$$

در این رابطه  $B$  ضریب اصطکاک ویسکوز (چسبندگی)،  $S$  سرعت پیگ،  $F_g$  نیروی ناشی از اعمال افت فشار<sup>۱</sup> به بدنه از جانب پیگ،  $F_a$  نیروی اصطکاک بین پیگ و دیواره،  $F_s$  اصطکاک خشک و  $A$  مساحت پیگ می باشد.



شکل (۳-۲) نیروهای تأثیر گذار بر حرکت پیگ

<sup>۱</sup>  $\Delta P$  or Pressure Drop

$$M \cdot \frac{dv}{dt} = \Delta P \cdot A + B \cdot v \quad (۸-۳)$$

اگر  $F_s = 0$  و  $a = \frac{dv}{dt}$  باشد، طبق رابطه اخیر حرکت پیگ تا حد زیادی وابسته به فشار است. (۲۱)

### ۳-۱-۳ سرعت پیگ

برای مایع در حال جریان با فشار معلوم به سمت دستگاهی با فشار معین، بیشینه و کمینه سرعت با افت فشار کم، به ترتیب  $4/6$  و  $0/91$  متر بر ثانیه [منشاء ته نشینی شن، ماسه و جامدات] است. در ضمن خرابی آب بندهای محرک پیگ‌ها به دلیل اثر منفی سرعت بر بازده آب بندی آنهاست. البته سرعت مطلوب در پیگ پاکسازی (۵-۱) متر بر ثانیه است که با کاهش استخراج نفت، تا بازه سرعت (۵/۰-۱/۰) متر بر ثانیه افت نموده و خطر افزایش توقف پیگ، پتانسیل افزایشی (اشتباه راه اندازی) و رشد چالش‌های دریافت و زمان اجرای پیگ‌رانی را باعث می‌شود. سرعت پیگ عمومی در سیال تراکم ناپذیر (مایع) و تراکم پذیر (گاز) به ترتیب (۵-۱) و (۷-۲) متر بر ثانیه است

در پیگ هوشمند برخلاف پیگ تمیز کننده، سرعت بسیار مهم بوده [روابط (۳-۱۰) و (۳-۹)] و نیز رابطه (۳-۱۱) مربوط به سرعت مایع می‌باشد. (۲۵)(۲۴)(۲۳)(۲۲)(۲۱)(۱۸)(۱۱)(۱۰)(۹)(۷)(۶)

$$S = \frac{41 \times Q(t + 460)}{(P + 105)d^2} \quad (۹-۳)$$

(برای گازها)

$$S = \frac{0.008 \times Q}{d^2} \quad (۱۰-۳)$$

(برای مایعات)

$$S = 353/\sqrt{\frac{Q_L}{d_L}} \quad (۱۱-۳)$$

### ۳-۱-۳-۱ دلایل اهمیت کنترل سرعت

۳-۱-۳-۱-۱ افزایش پتانسیل بازیابی پیگ‌های متوقف شده در زمان نگهداری محصول.

۳-۱-۳-۱-۲ کاهش آب درفیلدهای کهنگی (فرسودگی‌ها و زنگ زدگی‌ها) و ادامه پیگ‌رانی

۳-۱-۳-۱-۳ افزایش زمان اجرا (تأثیر بر توانایی تمیز کردن بهینه خط لوله)

۳-۱-۳-۱-۴ بهینه سازی حذف مواد زائد باقی مانده در خط لوله مانند شن و ماسه

۳-۱-۳-۱-۵ جلوگیری از توقف پیگ و اطمینان از شروع و دریافت موفقیت آمیز آن (۱۸)

### ۳-۱-۳-۲ روش کنترل سرعت

بالا بودن فشار وارده از جانب آب بندها، افزایش نیروی اصطکاک و افت سرعت پیگ را به همراه دارد پس به یک شعاع بهینه در حالت افزایش قطر آب بندها در تمام نقاط سیال نیاز است. (۱۴)

### ۳-۱-۴ نیروی رانش

با بزرگتر شدن پیگ و افزایش قطر لوله، اختلاف بالادست و پائین دست آن کاهش می‌یابد. (۹)

<sup>۱</sup> Driving srals

نیروی رانش (psi)	اندازه لوله (اینچ)
۳۰-۴۰	۳-۶
۲۰-۳۰	۸-۱۲
۱۵-۲۰	۱۴-۱۸
۱-۱۰	۲۰-۲۴
۵-۱۵	۲۶-۳۰
۱-۵	۳۲-۴۸

جدول (۱-۳) رابطه قطر لوله با نیروی رانش پیگ

طبق کاتالوگ شرکت SAYAI وزن بدنه پیگ ۲۶ اینچ  $W_B = 150 / 164801 \text{ kg}$  می باشد. نیروی رانش [نیروی اصطکاک] براساس ضریب اصطکاک<sup>۱</sup>  $0/6$  بین لاستیک پلی اورتان و بدنه کربن استیل چنین است:

$$F_B = f \times W_B = 90/0988806 \text{ kg}_f$$

Seal gaid ها دریگ از جنس پلی اورتان هستند. برای مطالعه بیشتر درخصوص عایق پلی اورتان به (پیوست ب) مراجعه شود. (۲۶)(۱۱)(۲۵)(۹)

### ۳-۱-۵ محاسبه زمان پیمودن مسافت بین دو پیگ سیگنال به وسیله پیگ

با مدیریت زمان از لحظه روشن شدن چراغ پیگ سیگنال اول (۵۰۰ متری تله) تا روشن شدن چراغ پیگ سیگنال دوم (پس از شیرورودی تله) احتمال توقف پیگ کاهش می یابد.

$$T = (0/5064506 \times D^2) \frac{L}{Q} \quad (13-3)$$

$$T = (76/45148252572325 \times D^2) \frac{L}{Q} \quad (14-3)$$

در روابط (۱۳-۳) و (۱۴-۳) دبی به ترتیب بر حسب  $m^3/hr$  و  $barrel/day$  می باشد.

طبق رابطه (۱۳-۳) برای لوله به قطر ۲۶ اینچ و با مقادیر معلوم دبی، طی نمودن مسافت از پیگ سیگنال ۵۰۰ متری تا تله دریافت بر حسب دقیقه از رابطه ذیل بدست می آید:

$$T = \frac{10270/818168}{Q} \quad (15-3)$$

$Q(m^3/hr)$	$Q(barrel/day)$	$T(min)$	$Q(m^3/hr)$	$Q(barrel/day)$	$T(min)$
۱۴۰۰	۲۱۱۳۲۸	۷/۳۴۰	۱۷۰۰	۲۵۶۶۲۴	۶/۰۴۲
۱۴۵۰	۲۱۸۸۸۵	۷/۱۰۰	۱۷۵۰	۲۶۴۱۷۲	۵/۸۷۰
۱۵۰۰	۲۲۶۴۳۳	۶/۸۵۰	۱۸۰۰	۲۷۱۷۲۰	۵/۷۱۰
۱۵۵۰	۲۳۳۹۸۱	۶/۶۳۰	۱۸۵۰	۲۷۹۲۶۸	۵/۵۵۲
۱۶۰۰	۲۴۱۵۲۹	۶/۴۲۰	۱۹۰۰	۲۸۶۸۱۵	۵/۴۰۶
۱۶۵۰	۲۴۹۰۷۷	۶/۲۲۵	۱۹۵۰	۲۹۴۶۶۳	۵/۲۷۰

جدول (۲-۳) زمان پیمودن مسافت بین دو پیگ سیگنال به وسیله پیگ

<sup>۱</sup> Factor Friction or  $f$

### ۳-۱-۶ محاسبه مدت زمان پیمودن مسافت بین دو مرکز به وسیله پیگ

از روابط بند ۳-۱-۵ (مدت زمان تلاقی پیگ) در محل وقوع حادثه عبارت است از:

$Q(m^3/hr)$	$Q(barrel/day)$	$T$		$Q(m^3/hr)$	$Q(barrel/day)$	$T$	
		hr	min			hr	min
۱۴۰۰	۲۱۱۳۲۸	۳۳	۴۵/۶	۱۷۰۰	۲۵۶۶۲۴	۲۵	۵۸/۲
۱۴۵۰	۲۱۸۸۸۵	۳۲	۳۴/۸	۱۷۵۰	۲۶۴۱۷۲	۲۵	۱۳/۸
۱۵۰۰	۲۲۶۴۳۳	۳۱	۲۹/۴	۱۸۰۰	۲۷۱۷۲۰	۲۴	۳۱/۸
۱۵۵۰	۲۳۳۹۸۱	۳۰	۲۸/۸	۱۸۵۰	۲۷۹۲۶۸	۲۳	۵۲/۲
۱۶۰۰	۲۴۱۵۲۹	۲۹	۳۱/۲	۱۹۰۰	۲۸۶۸۱۵	۲۳	۱۴/۴
۱۶۵۰	۲۴۹۰۷۷	۲۸	۳۷/۸	۱۹۵۰	۲۹۴۶۶۳	۲۲	۳۸/۴

جدول (۳-۳) مدت زمان پیمودن مسافت بین دو مرکز

### ۳-۱-۷ بررسی حرکت پیگ در شعاع ۵D و ۷D

اندازه تماس نشست بند<sup>۱</sup> با جداره داخلی لوله به مراتب کمتر از حالت ۵D است؛ لذا، شعاع مناسب برای حرکت پیگ بدون توقف در لوله با توجه به شکل های (۳-۳) و (۳-۴) ۷D<sup>۲</sup> هست.

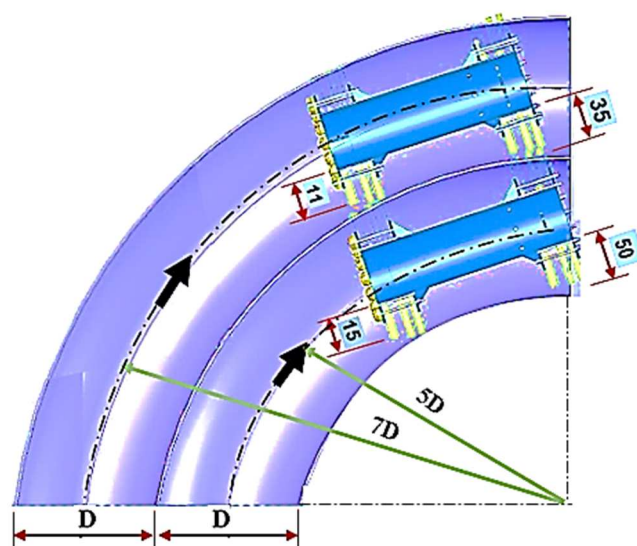
۵۰ میلی متر → نشست بند جلوی پیگ بعد از طراحی در نرم افزار سالیدورک با شعاع ۵D

۱۵ میلی متر → نشست بند عقب پیگ

۳۵ میلی متر → نشست بند جلوی پیگ بعد از طراحی در نرم افزار سالیدورک با شعاع ۷D

۱۱ میلی متر → نشست بند عقب پیگ

شکل (۳-۳) تغییرات نشست بند ها در نرم افزار سالیدورک<sup>۲</sup> برای شعاع های ۷D و ۵D (شرکت SAYAI)



اندازه ها بر حسب میلی متر می باشد

شکل (۳-۴) شبیه سازی حرکت پیگ در نرم افزار سالیدورک برای شعاع ۷D و ۵D (شرکت SAYAI)

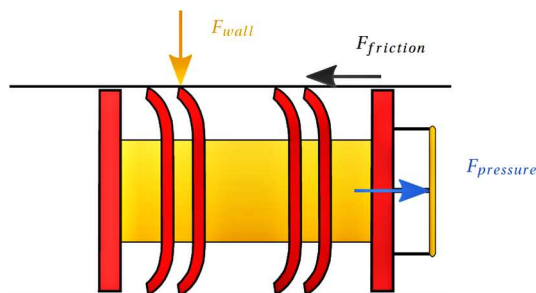
<sup>۱</sup> seal

<sup>۲</sup> Solid Work

### ۳-۱-۸ مدل سازی پیگرانی

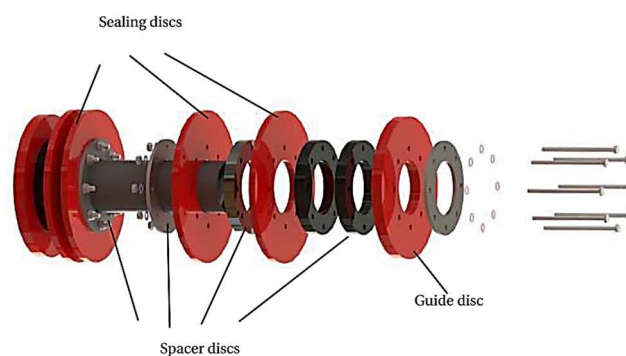
سه نیرو بر پیگ وارد می شود:

- ا. نیروی عادی بر روی دیواره لوله<sup>۱</sup> (مورد بحث در مکانیک جامدات)
- ب. نیروی اصطکاک<sup>۲</sup> محصور به سطح داخلی خط لوله یا نیروی اصطکاک سایشی بین دو سطح متحرک (مورد بحث در تریبولوژی)
- ج. نیروی فشاری حرکت<sup>۳</sup> (مورد بحث در مکانیک سیالات)



شکل (۳-۵) نیروهای وارد بر پیگ (۲۶)

نیروی دیواره با ملاحظات هندسی همراه با فشار دیفرانسیل بر پیگ تعیین می شود و پارامتر خروجی سرعت بر هر پدیده ای تأثیر می گذارد. به طور مثال با افزایش سرعت پیگ، فشار دیفرانسیل بر آن کاهش یافته و پدیده اصطکاک رخ می دهد. در پیگ دو طرفه آب بندهای آب بندی بوده حکم نگهدارنده ها را ایفا می نمایند که با آب بندهای فشاری<sup>۴</sup> به هم می چسبند. با افزایش مقاومت آب بندهای بزرگتر در برابر تغییر شکل، پیگ به وسیله آب بندهای لاستیکی هدایت کننده<sup>۶</sup> (ابتدا و انتها) از طریق خم ها هدایت می شود.



شکل (۳-۶) پیگ کنار گذر دو طرفه

<sup>۱</sup>  $F_{wall}$

<sup>۲</sup>  $F_{friction}$

<sup>۳</sup>  $F_{pressure}$

<sup>۴</sup> sealing disks

<sup>۵</sup> spacer disks

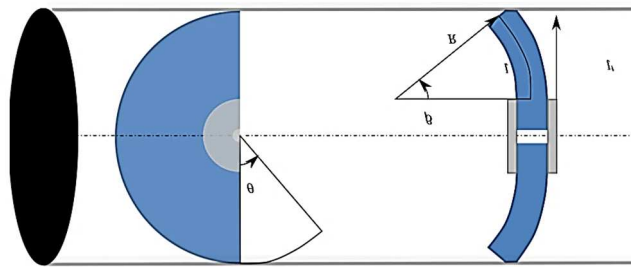
<sup>۶</sup> Guide disks

### ۳-۱-۸-۱ سرعت

در پیگ تعادل بین نیروی فشاررانش و نیروی اصطکاک، سرعت راتعین می‌نماید؛ زیرا، بزرگی این مؤلفه به محیط آسیب می‌رساند که با کاهش نیروی فشار رانش<sup>۱</sup> به‌طور معمول در بازه (۵-۱) متر بر ثانیه با ایجاد یک کنارگذر، به آرامی حرکت می‌نماید. بیشینه فشاررانش در سرعت صفر است در حالیکه در سرعت نامتعارف این مقدار به صفر می‌رسد.

### ۳-۱-۸-۲ نیروی دیواره

آب‌بند آب بندی ذیل فشرده‌گی خمشی با خط مرکزی با قوسی به شعاع  $R$  و زاویه  $\beta$  است.



شکل (۷-۳) آب‌بند آب بندی

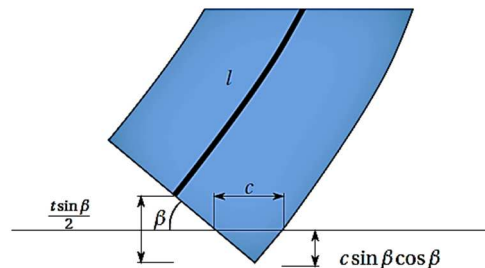
$$l = R \times \beta \quad (۱۶-۳)$$

$$l' = R \times \sin \beta \quad (۱۷-۳)$$

در روابط بالا  $l$  و  $l'$  به ترتیب طول ثابت و ارتفاع خط مرکزی آب‌بند هستند که در پائین قوس خط مرکزی، هندسه آب‌بند آب بندی راتعین می‌کنند.  $\beta$  محدوده ابعادی؛  $C$  طول تماس؛  $r$ ،  $r_p$ ،  $r_s$  و  $t$ ،  $c$  مقادیر ورودی و  $l$ ،  $R$ ،  $\beta$ ،  $l'$  مقادیر خروجی‌اند.

$$l' = r - r_p - \frac{t \times \sin \beta}{2} + c \sin(\beta) \cos(\beta) \quad (۱۸-۳)$$

$$l = r_s - r_p \quad (۱۹-۳)$$



شکل (۸-۳) تأثیر طول تماس و زاویه  $\beta$  بر لبه آب‌بند آب بند

مجموع مومنتوم‌های داخلی و خارجی بر اساس رابطه (۳-۲۹) در الگوستاتیک شکل (۳-۹) باید صفر باشد. زیرا با تغییر شکل آب‌بند جلو، تعادل لحظه‌ای اطراف نقطه  $A$  ایجاد شده و تمام نیروها، فشارها

<sup>۱</sup> driving pressure force

و تنش هندسی دچار دگرگونی می شوند.

در این الگو تنش فشاری  $\sigma_c$ ، کششی  $\sigma_t$  و حلقوی  $\sigma_{hoop}$ ؛ افت خارجی (دیواره و اصطکاک) را تعدیل کرده و نیز نیروها و تنش های وابسته بر آب بند انعطاف پذیر هم زمان با نیروهای دیواره و اصطکاک وارد می شوند.

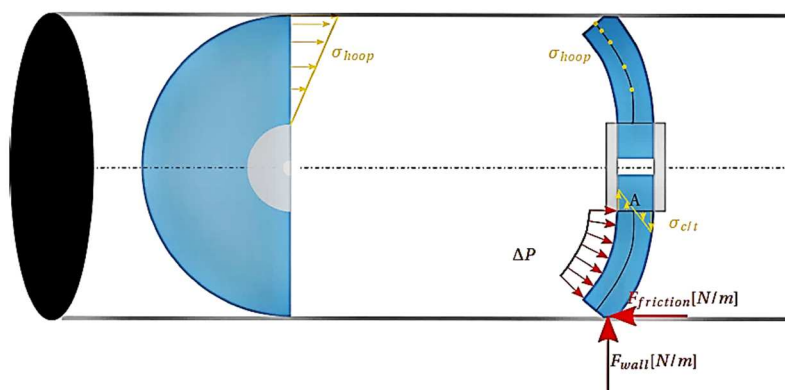
به طور لحظه ای در نقطه  $A$  مومنتوم ناشی از نیروهای دیواره، اصطکاک و فشار بر روی آب بند پیگ به ترتیب در رابطه های ذیل بیان شده اند که  $R_{\Delta P}$  معادل  $(R - \frac{t}{\gamma})$  است.

$$M_w = F_{wall} \left( R (1 - \cos(\beta)) - \frac{t \cos \beta}{\gamma} \right) r d\theta \quad (20-3)$$

$$M_f = F_{friction} (r - r_p) r d\theta \quad (21-3)$$

$$M_{\Delta P} = \Delta P \times R_{\Delta P} \Delta\theta \times \left( \frac{R_{\Delta P} \beta}{\gamma} - \frac{R_{\Delta P} \times \sin(\gamma \beta)}{\xi} + r_p \times (1 - \cos(\beta)) \right) \quad (22-3)$$

طبق شکل ذیل  $M_w$  ناشی از نیروی عادی دیواره و مومنتوم اصطکاک موازی با دیواره مربوط به نیروی اصطکاک است و  $M_{\Delta P}$  به دلیل ایجاد افت فشار نرمال در سطح آب بند آب بندی است و مومنتوم داخلی  $M_c/t$  از جانب تنش خمشی فشاری  $\sigma_c$  و کششی  $\sigma_t$ ؛ و مومنتوم داخلی  $M_\theta$  از سمت تنش حلقوی  $\sigma_{hoop}$  از طریق فشار اطراف ایجاد می شود.



شکل (۳-۹) عوامل وارد بر سطح آب بند آب بند

ضریب اصطکاک ثابت  $\mu$ ، نسبت دینامیک اصطکاک و دیواره است:

$$\mu F_{wall} = F_{friction} \quad (23-3)$$

مدول (E) و نسبت پواسون (ν) رابطه تنش را توصیف نموده و نیز در نقطه  $A$  مومنتوم هایی ناشی از تنش فشاری و خمشی به طور لحظه ای وجود دارد که در آن ها  $I$  همان اینرسی است:

$$I = \frac{t^3 r_p d\theta}{12} \quad (24-3)$$

$$M_c = \frac{t^3 E r_p d\theta}{12 R} \quad (25-3)$$

<sup>۱</sup>  $M_{friction}$

$$M_t = \frac{t^{\gamma} E r_p d\theta}{\gamma \xi R} \quad (26-3)$$

در نقطه A مومنتوم ناشی از تنش حلقوی  $M_\theta$ ، به جای حل تحلیلی، عددی ارزیابی می‌شود. چون سهم تنش در زاویه  $\beta$  یکپارچه است پس تغییر متغیر (از صفر تا  $\beta$ ) است.

$$M_\theta = \frac{E R^{\gamma} t d\theta}{(\gamma - \gamma^{\gamma})} \int_0^{\beta} \frac{\alpha - \sin(\alpha)}{\alpha + \frac{r_p}{R}} (1 - \cos(\alpha)) d\alpha \quad (27-3)$$

$$M_f + M_w - (M_{\Delta P} + M_t + M_c + M_\theta) = 0 \quad (28-3)$$

نیروی دیواره با ظاهر شدن  $d\mu$  در هر سهم مومنتوم طبق رابطه ذیل بیان می‌شود:

$$F_{\text{wall}} = \frac{M_{\Delta P} + M_t + M_c + M_\theta}{\left(R(1 - \cos(\beta)) - \frac{t \cos \beta}{\gamma}\right) r d\theta + \mu(r - r_p) r d\theta} \quad (29-3)$$

برای پیگ در حال حرکت، فشار رانش برابر نیروی اصطکاک می‌باشد؛ لذا:

$$\Delta P \pi r^{\gamma} = F_{\text{friction}} \gamma \pi r r \rightarrow \Delta P = \frac{\gamma F_{\text{friction}}}{r} \quad (30-3)$$

نیروی دیواره با جایگذاری رابطه (30-3) در (29-3) بدست می‌آید:

$$F_{\text{wall}} = \frac{M_{rt} + M_{rc} + M_\theta}{\left(R(1 - \cos(\beta)) - \frac{t \cos \beta}{\gamma}\right) r d\theta + \mu(r - r_p) r d\theta - \left(\frac{\gamma \mu}{r}\right) + \left(\frac{R_{\Delta P} \beta}{\gamma} - \frac{R_{\Delta P} \times \sin(\gamma \beta)}{\gamma} + r_p \times (1 - \cos(\beta))\right)} \quad (31-3)$$

برای مطالعه بیشتر درباره نیروهای خارجی و داخلی وارد بر پیگ به (پیوست ج) مراجعه شود. (27)

## ۲-۳ جستاری بر مفاهیم مکانیک سیالات با رویکرد افت فشار

طبق نمودار (۱-۳) پدیده اصطکاک و افت فشار دو رکن مهم چه در حرکت و چه در توقف پیگ است زیرا پدیده اصطکاک هم زمینه کاهش کارائی پیگ و هم نشت مقداری از مایعات و رسوبات را در دیواره فراهم می‌کند.



نمودار (۱-۳) تأثیرات ضریب اصطکاک

به طور کلی افت فشار وقتی ناشی از خواص سیال باشد پیگ را به حرکت درمی‌آورد ولی به تنهایی ناشی از اصطکاک است. (28)(12)

## ۱-۲-۳ عوامل تأثیرگذار بر رژیم سیال

رفتار رژیم سیال ناشی از سرعت، چسبندگی (ویسکوزیته)، چگالی و اصطکاک بین آن و دیواره بوده و قوانین حاکم بر آنها از جمله قانون برنولی، بقاء جرم و پیوستگی هست. انرژی (مجموعه



سطوح جنبشی، استاتیک و پتانسیل) با واژه سرعت مفهوم پیدا کرده و بایروی از فشار ناشی از سیال، براساس قانون برنولی در تمام نقاط لوله این مجموعه با هم برابر و یکسان است. با افزایش انرژی، فشار استاتیک ( $P_s$ ) افزایش می یابد.

$$P_1 + K_1 + Z_1 = P_2 + K_2 + Z_2 = \text{Constant} \quad (32-3)$$

ضریب اصطکاک تابع جنس لوله، ضریب زبری دیواره داخلی و جنس سیال می باشد و عامل ایجاد سرعت و افت فشار در اثر نسبت قطر لوله به دبی است که با افزایش آن، دبی<sup>۱</sup> افت می کند. چگالی<sup>۲</sup> به طور نسبی دبی و فشار استاتیک را افزایش می دهد و با بالا رفتن دما کاهش می یابد.

$$m = A_n \cdot P_n = \text{Constant}, n=1 \text{ و } 2 \quad (33-3)$$

$$Q_v = A_n \cdot S_n = \text{Constant}, n=1 \text{ و } 2 \quad (34-3)$$

از سوئی با توجه به روابط (33-3) و (34-3) قانون بقاء جرم و پیوستگی ضامن حرکت پیوسته جسم شناور در سیال هستند زیرا جرم کلی حاصل از جریان عبوری در طول لوله علاوه بر تأثیر گذاری بر جسم، در طول مسیر ثابت است. (29)

## ۳-۲-۲ فشار

### ۳-۲-۲-۱ تعریف فشار و هد خط لوله (شیب گرادیان هیدرولیکی)

تغییر حجم با افزایش فشار (فشارگیج مایعات) در اثر وابستگی به دما و نیز وجود سطح آزاد<sup>۳</sup> ناشی از پر کردن تمام ظرفیت (برعکس گازها) از ویژگی های مهم مایعات می باشد.

فشار می تواند عامل تراکم لایه های مایعات و حرکت (تغییر شکل سیال)، مقدار تنش برشی<sup>۴</sup> یا مؤلفه عمودی نیرو (مؤلفه مماسی وارد بر سیال به ازاء واحد سطح) نسبت به سطح تعریف شود.

$$\text{USCS Sys. } P = \frac{(h \times S_G)}{2.31} \quad (35-3)$$

$$\text{SI Sys. } P = \frac{(h \times S_G)}{0.102} \quad (36-3)$$

در سیال ساکن چون تنش برشی صفر است، نیرویی عمودی بر سطح وارد می شود. ترسیم هد ( $h$ ) در مراحل طراحی با فرض عدم وجود اختلاف ارتفاع در طول مسیر و نیز انتخاب اندازه لوله ها؛ به وسیله افت فشار انجام می شود و از جمله دلایل کار بست آن می توان به یکنواخت ماندن افت فشار (با شیب متناسب با دبی) تازمان ثابت بودن اندازه لوله یا چگالی نسبی و کارکرد مطمئن فرایند درست هیدرو استاتیک در فشار مجاز و پارامتر طراحی لوله اشاره کرد. (24)(29)(30)

<sup>۱</sup> Flow rate

<sup>۲</sup>  $\rho$

<sup>۳</sup> Free Surface

<sup>۴</sup> Normal Stress

### ۳-۲-۲-۲ انواع فشار

۳-۲-۲-۲-۱ فشار هیدروستاتیکی ( $\gamma Z$ ) یا تغییر فشار ناشی از ارتفاع (انرژی پتانسیل مایع)

۳-۲-۲-۲-۲ فشار استاتیکی ( $P$ ) یا فشار مستقل از انرژی جنبشی

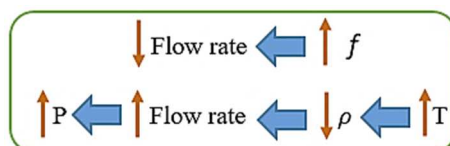
۳-۲-۲-۲-۳ فشار دینامیکی ( $\frac{1}{2} \rho S^2$ )

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{S_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{S_2^2}{2g} + Z_2 = \text{Cet} \quad (37-3)$$

در رابطه برنولی (۳۷-۳) مجموع این فشارها ثابت است و فشار کل نسبی نامیده می شود. (۳۰)

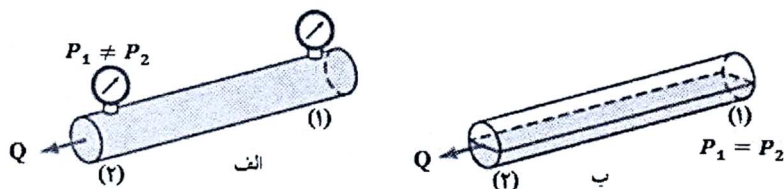
### ۳-۲-۲-۳ رابطه بین فشار، دبی<sup>۱</sup> و سرعت

دبی نشان دهنده مقدار حجم عبوری سیال در یک نقطه از لوله در واحد زمان<sup>۲</sup> و از قابلیت های قابل اندازه گیری آن می باشد که با بزرگتر شدن قطر لوله افزایش می یابد.



نمودار (۲-۳) رابطه بین دبی، فشار،  $\rho$ ، دما و ضریب اصطکاک

در مسائل مهندسی اولین فرض مهم پر بودن لوله از سیال است و دوم انتخاب دبی جریان در منطقه ی غیرگذار هست زیرا در منطقه گذار رابطه دقیقی برای اصطکاک وجود ندارد و در ضمن توجه به تأثیر جاذبه بر حرکت سیال در حالت نیمه پروپر مهم است (۳۰)



شکل (۳-۱۰) تأثیر جاذبه بر حرکت سیال در حالت نیمه پروپر

قبل از تنگنا، سیال فشاری بالاتر از خروجی همراه با افزایش سرعت (در اثر حرکت از محیط پرفشار به کم فشار) دارد که پس از رسیدن به بیشینه خود [پس از عبور] در دبی ثابت، افت می نماید.

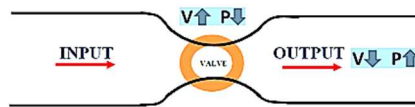


شکل (۳-۱۱) شرایط حاکم بر تنگنا

<sup>۱</sup> Flow

<sup>۲</sup> Flow Rate

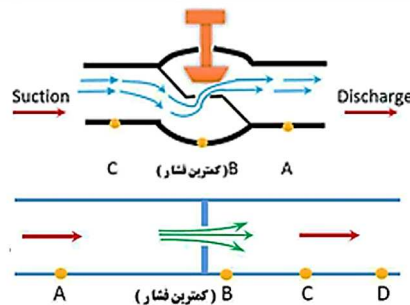
بانصب محدود کننده ای مانند شیر کنترل در نقطه B (به جای تنگنا)؛ فشار سیال دینامیک با دخالت عوامل افت جریان افزایش و با عبور سیال از مجرا در اثر افزایش فشار دوباره سرعت کاهش می یابد.



شکل (۳-۱۲) شرایط شیر و خروجی آن به لحاظ سرعت و فشار (نویسنده)

### ۴-۲-۲-۳ دلیل نصب شیر کنترل در فشار شکن

شیر کنترل در حالت افزایش مقدار خروجی از بیشینه و کاهش ورودی از کمینه مجاز جریان مایع را طبق نقطه تنظیم در صورت انحراف یکی از مقادیر مکش، رانش و دبی کنترل می نماید. دلیل حرکت سیال تبدیل انرژی پتانسیل فشاری به انرژی سرعتی در اثر کاهش فشار در شیر است.



شکل (۳-۱۳) طرح کلی تعیین نقاط کم فشار در شیر کنترل (نویسنده)

افت فشار ورودی باعث افزایش فشار خروجی و دبی سیال [و برعکس] شده و با بستن ناگهانی خروجی، آشفته‌گی با سرعت صوت و بالا رفتن فشار در بالادست همراه است. (۳۰)

### ۵-۲-۲-۳ افت فشار در لوله ها

#### ۱-۵-۲-۲-۳ مفاهیم

ضریب داری که به برنولی اضافه می شود افت فشار یا افت هد در انرژی سینماتیک سیال در لوله مستقیم است و ضریب اتلاف انرژی به ازای واحد وزن [هد اتلاف انرژی] ناشی از اصطکاک بین دیواره مجرا و سیال جاری در محفظه بسته خوانده می شود و برای مجرای پراز سیال در مهندسی شیمی بکار می رود. در مهندسی مکانیک یک چهارم آن با نام ضریب فانیگ لحاظ می شود.

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g} \quad (3-38)$$

در شیر آلات این افت با دخالت ضریب بی بعد  $k$  به صورت  $K \frac{V^2}{2g}$  نمایش داده می شود. (۳۰) مقدار متغیر است که در اثر تغییر ناگهانی مسیر و افت انرژی، بوجو می آید و به مجذور سرعت

<sup>۱</sup> Restriction

<sup>۲</sup> NPSH

<sup>۳</sup> Set point

<sup>۴</sup> Acoustic

بستگی دارد کاربست این ضریب در تنگی خم، شیر کنترل، دریچه ورود و خروج سیال در  $Re$  و افت کوچک است. ضرایب افت به شدت به ضرایب واقعی طراحی و تولید وابسته اند. آشفته‌گی [توام‌باکاهش] با تعدیل مستقیم افت فشار و با تأثیر پذیری از طول، زبری، مجذور سرعت سیال، جرم مخصوص و لزجت ناشی از قطر به‌طور غیر مستقیم ایجاد شده و با افت فشار ناشی از اصطکاک لحاظ می‌شود. (۳۲)(۳۱)(۳۰)(۲۹)(۱۳)

### ۳-۲-۲-۵ روش‌های محاسبه ضریب اصطکاک و افت فشار

تأثیر گذاری افت فشار از ضریب اصطکاک بیشتر است. در طول معلوم بستگی به شرایط جریان دارد ولی طبق نمودار (۳-۳)، با افزایش  $Re$ ، ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد. حرکت مایع با توجه به دبی،  $\mu$ ،  $\rho$  و زبری؛ در مسیر ناشی از افت هد داری وایسباخ<sup>۱</sup> است:

$$SI \text{ sys. } P_{km} = 6/2475 \times 10^{-1} f Q^2 \left( \frac{S_g}{D^3} \right) \quad (40-3)$$

ضریب اصطکاک، رینولدز، قطر و زبری در ناحیه آشفته کامل [ $Re > 4000$ ] عامل افزایش دبی است.

$$\text{مودی} \rightarrow f \rightarrow \text{جریان درهم} \quad \text{جریان لایه ای} \rightarrow f \downarrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow \Delta P \uparrow$$

نمودار (۳-۳) روابط جریان لایه ای نمودار (۴-۳) رابطه جریان آشفته با ضریب اصطکاک

نمودار مودی برای یافتن ضریب اصطکاک در لوله‌ها بکار می‌رود. (مراجعه به پیوست د) رابطه‌ای برای تخمین این ضریب در جریان ناپایا برای انتخاب دبی گذرا وجود ندارد اما رابطه (۴۲-۳)<sup>۲</sup> به‌روش سعی و خطا در ناحیه آشفته توصیه می‌گردد. این ضریب از رابطه (۴۳-۳)<sup>۳</sup> [درکنار نمودار مودی] محاسبه می‌شود که از طریق رابطه (۴۱-۳) افت هد [افت فشار بر  $\rho$ ] را بدست می‌دهد.

$$\Delta P = f \frac{L \rho U^2}{D} \quad (41-3)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{1}{3.7} \frac{\varepsilon}{D} + \frac{2.5}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (42-3)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[ \left( \frac{\varepsilon}{3.7 D} \right)^{1.11} + \frac{2.5}{Re} \right] \quad (43-3)$$

جواب نهایی اختلاف کم بین ضریب اصطکاک محاسباتی و فرضی بوده؛ در غیر این صورت با جایگذاری مقدار محاسباتی درست راست محاسبه تا رسیدن به اختلاف یک هزارم ادامه می‌یابد.

$$f = 0.25 \div [\log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3.7 D} + 5.74 \div Re^{0.9} \right)]^2 \quad (44-3)$$

با خیلی بزرگتر شدن  $Re$ ، دبی در حالات آرام و آشفته به ترتیب خطی و غیر خطی است.<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> Darcy Vaicbakh Equ

<sup>۲</sup> Colebrook Equ.

<sup>۳</sup> Haaland Equ.

<sup>۴</sup> Swame-Jain Equ.

<sup>۵</sup> Povasilch Equ

$$( \text{For Laminar Flow} ) \Delta P = 32 \frac{\mu L V}{D^3} = 128 \frac{\mu L Q}{\pi D^4} \quad (45-3)$$

$$( \text{For Turbulent Flow} ) \Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho U^2}{2} \quad (46-3)$$

محاسبه افت فشار محصولات پالایشگاهی با رابطه ذیل<sup>۱</sup> انجام می شود و نشان می دهد که افت فشار با دبی متناسب است. در این جا فاکتور  $C$  به عنوان نشانه زبری جایگزین  $f$  می شود.

$$h = 4.37 \times L \times \left[ \frac{(Q/C)^{1/852}}{D^{4/852}} \right], C = 60 - 150 \quad (47-23)$$

$$\text{SI Sys.} \quad Q = 9.0379 \times 10^{-8} C D^{2/63} \left( \frac{P_{km}}{S_g} \right)^{.54}$$

مثال: مقدار افت فشار در واحد طول در لوله افقی اگر  $U = 0.25$  و  $D = 5 \text{ cm}$  و  $v_{Ho} = 10^{-6}$

$$Re = \frac{UD}{\nu} = 1250 < 2000 \text{ Laminar Flow} \rightarrow \frac{\Delta P}{L} = 32 \frac{\mu V}{D^3} = 0.32$$

مثال: دبی آب لوله ۱۲ کیلومتری با قطر ۳۰ سانتی متر، ۰/۲ متر مکعب بر ثانیه است. اگر زبری نسبی ۰/۰۰۴ و دما از ۶۵ به ۳۰ درجه سانتیگراد کاهش یابد. مطلوبست اتلاف انرژی (هد) اگر  $S = 2/83$  باشد.

در  $30^\circ\text{C}$  و  $65^\circ\text{C}$  مقادیر  $\mu$  و  $\rho$  به ترتیب  $10^{-4} \times 8/807$ ؛  $997$  و  $10^{-4} \times 4/284$ ؛  $980$  لحاظ گردد.

$$Re_{30^\circ\text{C}} = \frac{\rho S D}{\mu} = 9/61 \times 10^5, \frac{\varepsilon}{D} = 0/013$$

$$Re_{65^\circ\text{C}} = \frac{\rho S D}{\mu} = 1/004 \times 10^5, \frac{\varepsilon}{D} = 0/013$$

$$( \text{از دیاگرام مودی} ) f_{65^\circ\text{C}} \cong f_{30^\circ\text{C}} = 0/0282 \rightarrow h_f = \frac{\Delta P}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{S^2}{2g} = 460 \text{ m}$$

روابط افت فشار در خطوط لوله و مشتقات آن در (پیوست ذ) ارائه شده اند. (۴۳)(۳۳)(۳۰)(۲۴)

### ۳-۲-۲-۶ افت فشار ناشی از شیر کشویی، تویی و اتصالات فرایند پیگرانی

#### ۳-۲-۲-۶-۱ مفاهیم

Full open بودن شیر صنعتی در شرائط دینامیک افت فشار کمی متناسب با مجذور دبی تخلیه به دلیل مقاومت، تغییر جهت مایع، اصطکاک لوله، تغییرات غیر قابل اجتناب وضع جریان ایجاد می کند. وجه تمایز بین اندازه اتلاف شیر و افت های کوچک تفاوت در ضریب افت با توجه به اندازه باز کردن است. به دلیل عدم برگشت فشار در ناحیه پائین دست در فرایند پیگرانی، عامل ضریب تخلیه  $C_{df}$  [رابط بین جریان و افت فشار] با باز بودن شیر تخلیه کاهش می یابد.

$$C_{df} = \frac{V}{\sqrt{g H_u}} \quad (48-3)$$

در شیرهای با دهانه Full open مانند کروی، مخروطی و شیر کشویی کانال دار<sup>۲</sup> به دلیل صفر بودن افت فشار خالص؛ در صورت نوسان فقط بین صفر تا یک ضریب تخلیه  $C_d$ ، باید ابتدا کاهش انرژی و شرائط کلی جریان در افت های کوچک بررسی شود و سپس از طریق نتایج این تحلیل

<sup>۱</sup> Hazen Williams Equ

<sup>۲</sup> Conduit Gate valve

به ارزیابی دقیق افت فشار و  $\Delta H$  اقدام کرد. تلفات ناشی از ضریب اصطکاک در لوله نباید در تعیین افت فشار و  $\Delta H$  نقش داشته باشند؛ زیرا، در صورت تأثیرگذاری برای تشخیص افت فشار خالص باید اتلاف خط لوله را کاهش داد.

$$C_d = V / \sqrt{2 g \Delta H + V^2} \quad (49-3)$$

لازم به یادآوری است ضرایب تخلیه  $C_v$  و  $C_{df}$  همیشه به سمت بی نهایت میل می کنند.

$$C_v = Q / \sqrt{(\Delta P / S_g)} \quad (50-3)$$

$$C_{df} = V / \sqrt{2 g \Delta H} \quad (51-3)$$

شیرکشویی قابلیت بهره برداری در حالت Full Open یا Full Close را داراست ولی برای تنظیم جریان نامناسب است؛ زیرا در حالت Full Open، سطح مقطع جریان آن به اندازه‌ی ناچیز کمتر از مقطع لوله بوده و دبی زیاد و افت فشار کم (معادل یک سوم فشار کل سیال که با کنترل دقیق به ۲۰-۱۵ درصد کاهش می یابد) است.

کاربست روابط ذیل به ترتیب در محاسبه افت فشار در فرایندهای با جریان مایع و مجهزه شیراست.

$$\Delta P = \frac{2KQS}{A} \quad (52-3)$$

$$\Delta P = K \left( \frac{\rho v^2}{g_c} \right), K = \frac{f l}{d} \quad (53-3)$$

بهترین راندمان شیرآلات در بیشینه و کمینه دبی به ترتیب ۷۰٪ و ۳۰٪ باز می باشد. (۲۲)(۲۹)(۳۲).

### ۳-۲-۲-۶-۲ آشنایی با شیر کشویی (دروازه ای)

کاربرد شیرتویی<sup>۱</sup> و شیرکشویی<sup>۲</sup> به ترتیب در خطوط انتقال گاز و مایعات است. (بخش ۲-۲-۸) در مقایسه با سایر شیرها، نوع کشویی کمترین افت فشار [ $\Delta P = 0$ ] را ایجاد کرده و فقط به حالت Full Open یا Full Close برای کنترل جریان استفاده می شود؛ زیرا، آب بند به مرور دچار خوردگی شده و از آب بندی می افتد که با بهره برداری نیمه باز افت فشار را افزایش می دهد.

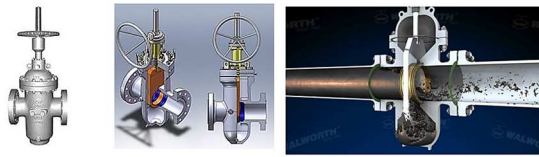
کاربست شیرکشویی کانال دار، ورودی تله دریافت و خروجی تله ارسال است (بخش ۱-۲-۴). از نام های دیگر آن، دریچه ی کشویی<sup>۳</sup> و شیرکشویی موازی<sup>۴</sup> (با حرکت خطی) بوده که افت فشار سیال عبوری را به خاطر همسانی اندازه درگاه داخلی با قطر لوله ورودی به پائین ترین سطح می رساند. این شیر دارای بند آوریست که در نیمه پائینی آن سوراخی هم قطره هم راستا با لوله در حالت Full Open قرار دارد تا عبور بدون توقف پیگ ازمقطع لوله و شیر در زمان پاکسازی خط و آسیب نزدن به تجهیزات مانده نشیمنگاه در خطوط انتقال تضمین شود.

<sup>۱</sup> Ball valve

<sup>۲</sup> Gate valve

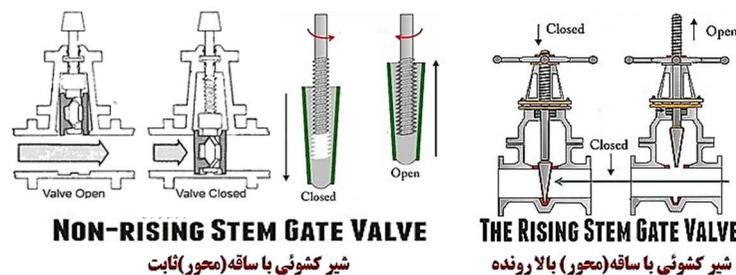
<sup>۳</sup> Slide Valve

<sup>۴</sup> Parallel Gate Valve



شکل (۱۴-۳) Conduit Gate valve

در شیرهای Conduit Gate valve برای دمای متوسط و پائین ( $232-450^{\circ}\text{C}$ ) از نشیمنگاه تفلون<sup>۱</sup> و برای دماهای بالاتر از ( $538^{\circ}\text{C}$ ) از نشیمنگاههای فلزی استفاده می‌شود. با توجه به (شکل ۱۵-۳) شیرهای کشویی Conduit در دو نوع موجود هستند: Conduit Rising Stem Gate valve: به کمک نگهدارنده‌ها، هنگام باز بودن دهانه شیر (مسیر جریان سیال) مانند جدار داخلی لوله، به طور کامل صاف و بدون مانع است که به همین خاطر نه افت فشار بیش از حد تولید می‌کند و نه مانع حرکت پیگ می‌شود. Conduit Non Rising Stem Gate valve: در آن دسته شیر<sup>۲</sup> به ساقه<sup>۳</sup> متصل است و قسمت پائین آن به خاطر یک مهره متصل به صفحه، درجا گردش کرده و مانند نوع اول، هنگام بازبودن دهانه مسیر همواری را برای جریان فراهم می‌کند.



شکل (۱۵-۳) شیر کشویی با ساقه‌های بالا رونده و ثابت

شیرهای کشویی مجهز به موتورهای الکتریکی (شیرهای عملگر با نیروی موتور)<sup>۴</sup> با فراهم آوردن قابلیت باز نمودن مسیر جریان تا حد نیاز، شرایط کاربست به عنوان یک شیر کنترل در فرایند پیگرانی را میسر می‌کنند. (۴۰)(۳۹)(۳۸)(۳۷)(۳۶)(۳۵)(۳۴)(۳۳)(۳۲)(۲۲)(۳)

### ۳-۶-۲-۲-۳ آشنایی با شیر تویی

شیر تویی مانند شیر کشویی در حالت Full Open یا Full Close بهره برداری شده؛ با این تفاوت که به خاطر عدم بهره‌مندی از کلاهک<sup>۵</sup> و درپوش<sup>۶</sup>، کاربست آن در فرایندهای با سیال مایع و گازی باشد و دارای افت فشار ناچیز حدود ۰/۰۵ bar است.

<sup>۱</sup> PTFE

<sup>۲</sup> Hand Wheel

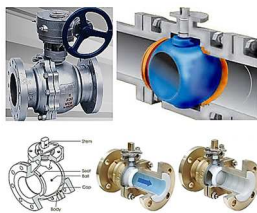
<sup>۳</sup> Stem

<sup>۴</sup> Mov or Motorized valve

<sup>۵</sup> Bonnet

<sup>۶</sup> Cap

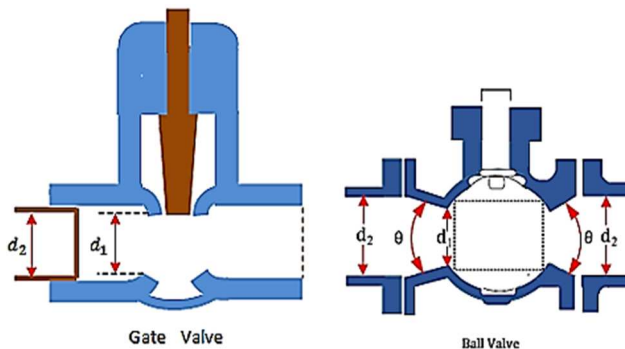
این شیراز پرکاربرد ترین شیرهای صنعت پتروشیمی است و زمانی قابلیت پیگری در خطوط لوله را دارد که مساحت مجرای عبور سیال، به طور دقیق برابر با مساحت لوله باشد.



شکل (۱۶-۳) Full Bore Ball Valve

در شیرهای تویی از نشیمنگاه تفلون و دیگر پلی مرهای فلونوردار با قابلیت آب بندی بسیار بالا در محدوده دمای (۲۶۰ تا ۲۷۰-°C) و از نوع گرافیتی در دماهای حدود (۵۵۰°C) استفاده می شود. در دماهای بالاتر نشیمنگاه با لایه ای از مواد مقاوم تر پوشانده می شود. (۳)(۲۲)(۴۲)

### ۳-۲-۲-۴ محاسبه افت فشار ناشی از شیرهای کشویی و تویی



شکل (۱۷-۳) تفاوت ساختار داخلی شیرهای کشویی و تویی (۴۶)

$$\text{If } \beta = 1, \theta = 0 \begin{cases} \text{For Gate Valve } K_1 = 8 f_T & (54-3) \\ \text{For Ball Valve } K_1 = 3 f_T & (55-3) \end{cases}$$

$$(\gamma f_T) \text{ For Normal Size } \begin{cases} 8-10'' = 0.014 \\ 12-18'' = 0.013 \\ 18-24'' = 0.012 \end{cases}$$

For Gate Valve & Ball Valve If  $\beta < 1$  and  $\theta \leq 45^\circ$

$$K_2 = \frac{K_1 + (\sin \theta / \gamma) \times [0.8 \times (1 - \beta^2) + 2/6 \times (1 - \beta^2)^2]}{\beta^2} = \frac{3 K_1}{\beta^2} \quad (56-3)$$

For Gate Valve & Ball Valve If  $\beta < 1$  and  $45^\circ < \theta \leq 180^\circ$

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^2} + \frac{0.5 \sqrt{(\sin \theta / \gamma)(1 - \beta^2)}}{\beta^2} + \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^2} = \frac{3 K_1}{\beta^2} \quad (57-3)$$

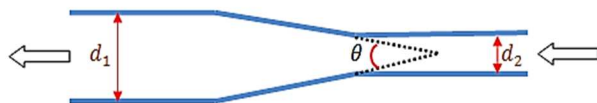
<sup>۱</sup> Full Bore

<sup>۲</sup>  $f_T$  (Friction Factor) انواع لوله های فولادی تمیز با سیال درون لوله جریانی تمام آشفته



### ۳-۲-۲-۵ محاسبه افت فشار ناشی از اتصالات

$$h_f = k \frac{v^2}{2g} \quad \left[ \text{If } \beta_1 = \frac{d_1}{d_2}, \quad \beta_2 = \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 = \frac{a_1}{a_2} \right] \quad (3-58)$$

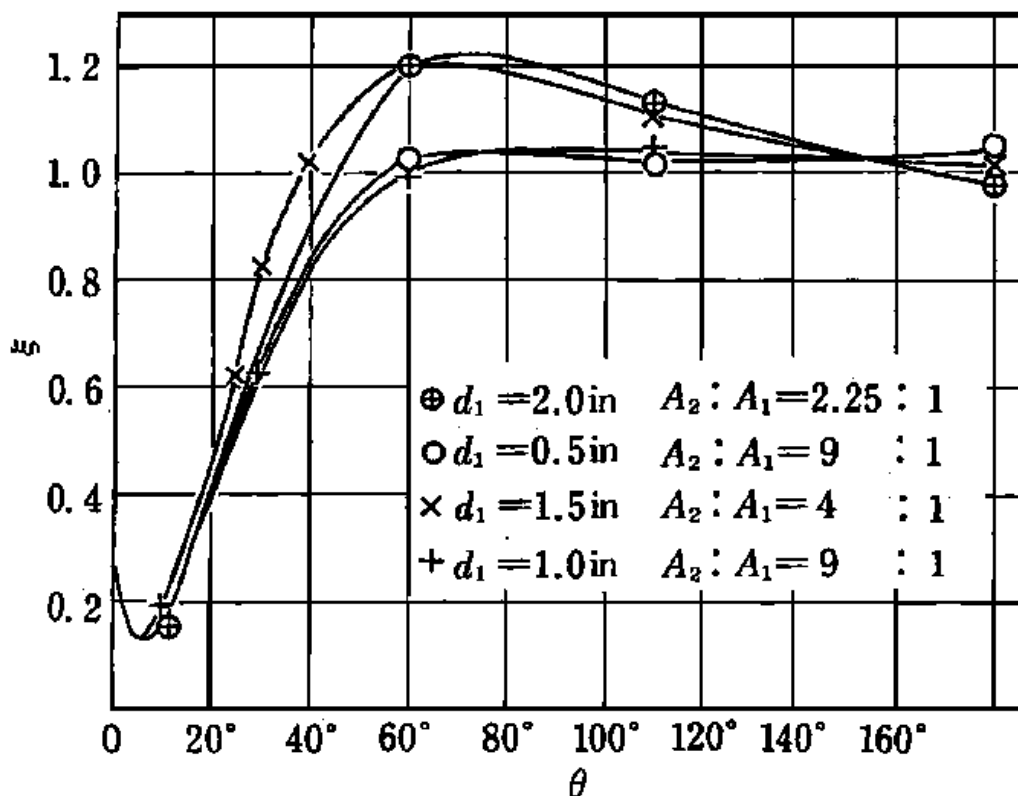


شکل (۳-۱۸) کاهش ناگهانی و تدریجی

$$\text{If } \theta \leq 45^\circ \quad k_2 = \frac{1/8 (\sin \theta / r) (1 - \beta^2)}{\beta^5} = \frac{k_1}{\beta^5} \quad (3-59)$$

$$\text{If } 45^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \quad k_2 = \frac{1/8 \sqrt{(\sin \theta / r) (1 - \beta^2)}}{\beta^5} = \frac{k_1}{\beta^5} \quad (3-60)$$

کاربست نمودار ذیل نیز مشخص نمودن مقدار k در کاهش ناگهانی و تدریجی است:



نمودار (۳-۵) افت هد ضریب K برای یک کاهش



شکل (۳-۱۹) افزایش ناگهانی و تدریجی

$$\text{If } \theta \leq 45^\circ \quad k_2 = \frac{1/8 (\sin \theta / r) (1 - \beta^2)}{\beta^5} = \frac{k_1}{\beta^5} \quad (3-61)$$

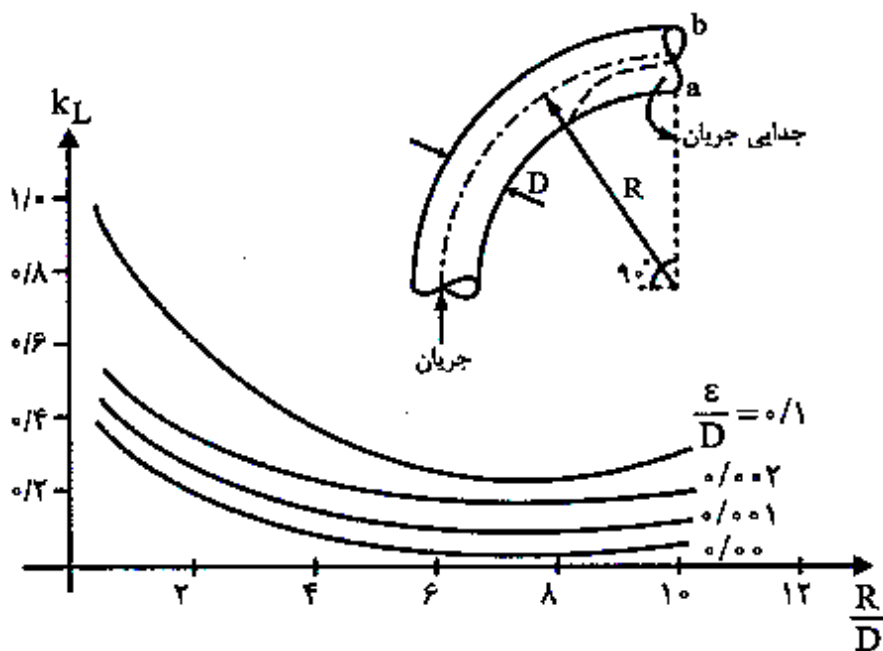
$$\text{If } 45^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \quad k_r = \frac{(1-\beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{k_1}{\beta^4} \quad (62-3)$$

انحنای خم‌ها و نیز زانویی‌ها، افت بزرگتری نسبت به لوله مستقیم دارند. این افت‌ها در اثر جدایش جریان در دیواره و چرخش جریان ثانویه حاصل از شتاب جانب مرکز است.

با محاسبه  $\frac{\varepsilon}{d}$  و  $\frac{r}{d}$  از نمودار (۳-۵) مقدار  $k$  برای زانویی به دست می‌آید:

زبری متوسط ( $\varepsilon$ )		نوع لوله (نو)
فوت	میلی‌متر	
۰/۰۰۳ تا ۰/۰۳	۹ تا ۰/۹	فولاد بدون درز
۰/۰۰۱ تا ۰/۰۱	۳ تا ۰/۳	بتونی
۰/۰۰۰۶ تا ۰/۰۰۳	۰/۹ تا ۰/۱۸	تخته‌ای
۰/۰۰۰۸۵	۰/۲۶	چدنی
۰/۰۰۰۵	۰/۱۵	آهن سفید
۰/۰۰۰۴	۰/۱۲	چدنی قیراندود
۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۴۶	فولاد تجاری
۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۱۵	مسی یا برنجی
صاف	صاف	شیشه‌ای

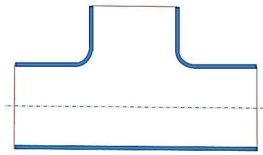
جدول (۳-۴) زبری متوسط لوله‌های تجاری



نمودار (۳-۶) ضریب افت جریان در زانویی  $90^\circ$

نکته مهم در عملکرد بهینه پیگ در سرتاسر خط لوله، ثابت بودن قطر داخلی است و با بزرگ گرفتن ضخامت داخلی لوله، نسبت قطر داخلی به لوله اصلی کوچکتر می‌شود. در صورت ناچار بودن، قطعه میانی<sup>۱</sup> برای حذف اثر تغییرات ناگهانی ضخامت مناسب است.

<sup>۱</sup> Transition piece



شکل (۳-۲۰) سه راهه

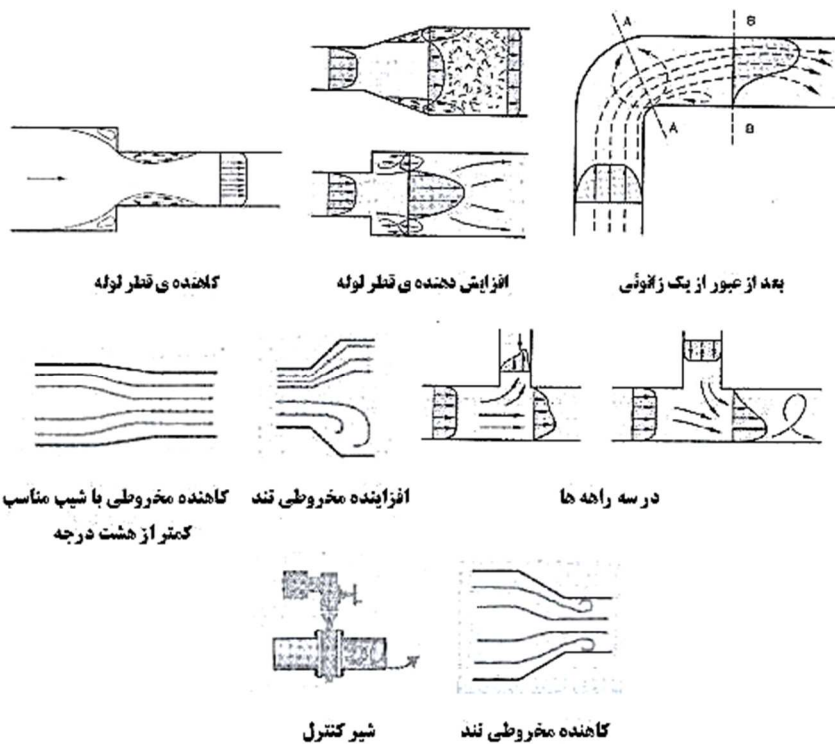
$$(Flow\ thru\ run)\ k=20f_T \quad (3-63)$$

$$(Flow\ thru\ branch)\ k=60f_T \quad (3-64)$$

در صورت تلاقی پیگ با مانعی مانند شیر یا اتصالاتی همانند زانو و سه راهه (به فرض کاهش سطح مقطع مسیر به وسیله این اجزاء) سرعت سیال افزایش می یابد.

اگر در این نقاط، ناگهان سطح مقطع افزایش یابد، سرعت و فشار سیال افت می کند. این پدیده در مایعات دو فازی اتفاق می افتد.

رسوبات مواد جاروب شده به وسیله پیگ در راستای تغییر شکل پروفایل جریان اثر می گذارند. در شکل (۳-۲۱) این تغییر شکل در برخی ادوات مکانیکی آمده است.



شکل (۳-۲۱) تغییرات شکل پروفایل جریان در برخی ادوات مکانیکی

به منظور گیر نکردن پیگ در اتصالات لازمست ضمن کنترل افزایش ناگهانی سطح مقطع، به همسان بودن آن با سطح مقطع لوله توجه نمود. برای مطالعه بیشتر به بند ۳-۱-۷ (شبیه سازی حرکت پیگ در نرم افزار سالیید ورک<sup>۱</sup> برای شعاع  $7D$  و  $5D$  مراجعه شود. (۴۵)(۴۴)(۴۳)(۲۹)(۱۲)

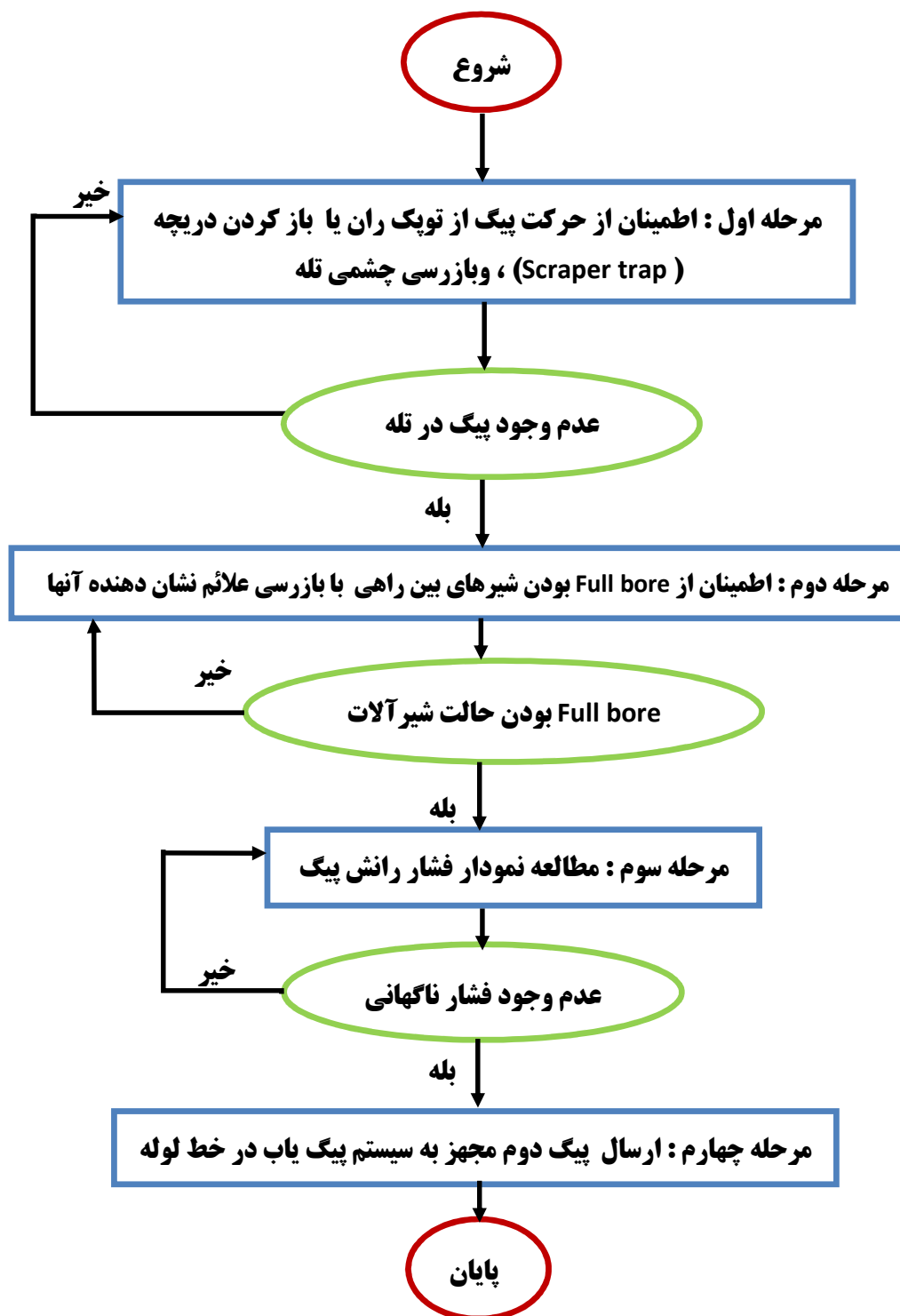
<sup>۱</sup> Solid Work

## فصل چهارم

### بحث و نتایج

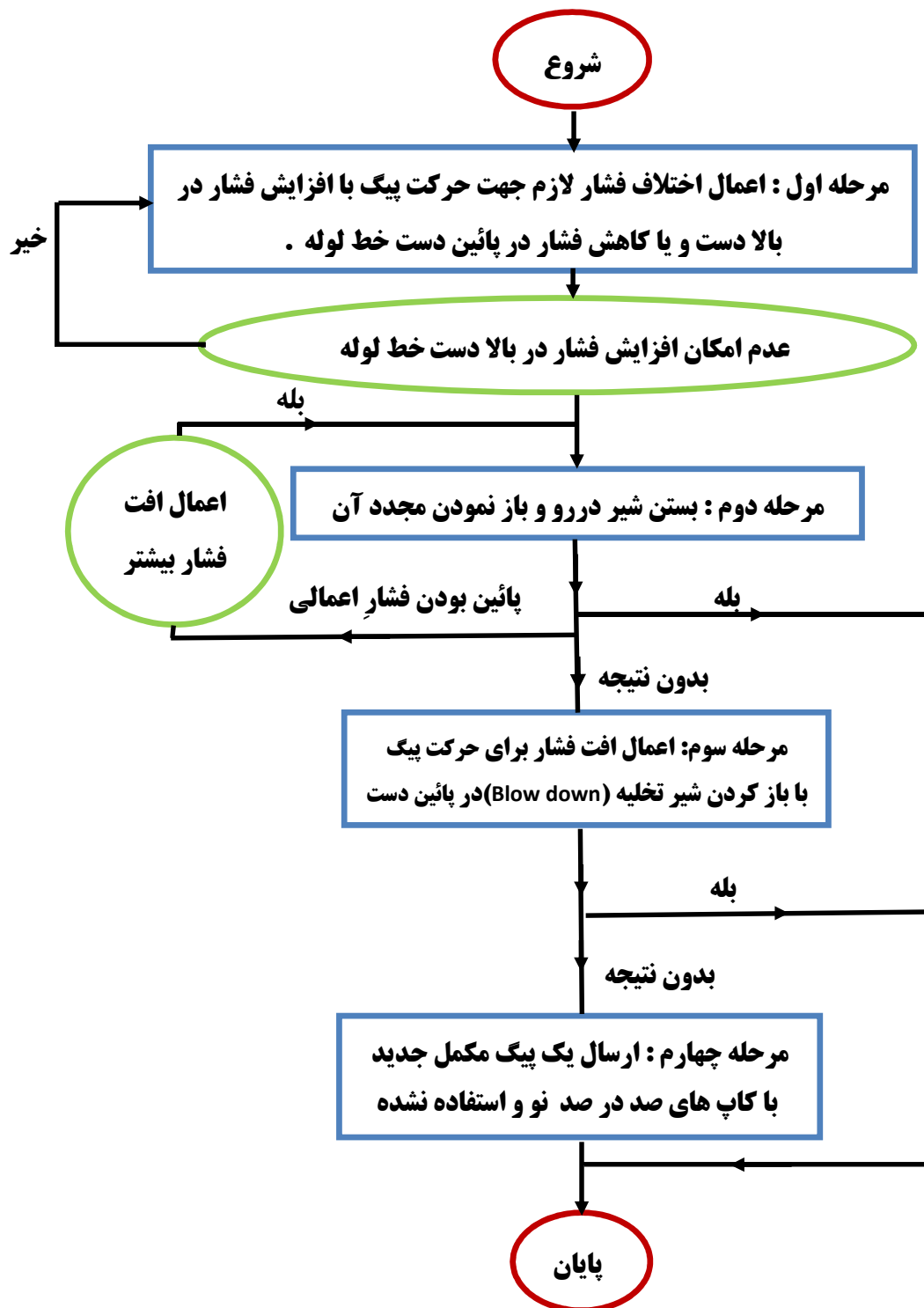
## ۴-۱ بررسی علل زمانی و مکانی توقف پیک و راهکارها

### ۴-۱-۱ حالت اول توقف در محل نامعلوم



نمودار ( ۴-۱ ) توقف پیک در محل نامعلوم ( ۴۶ )

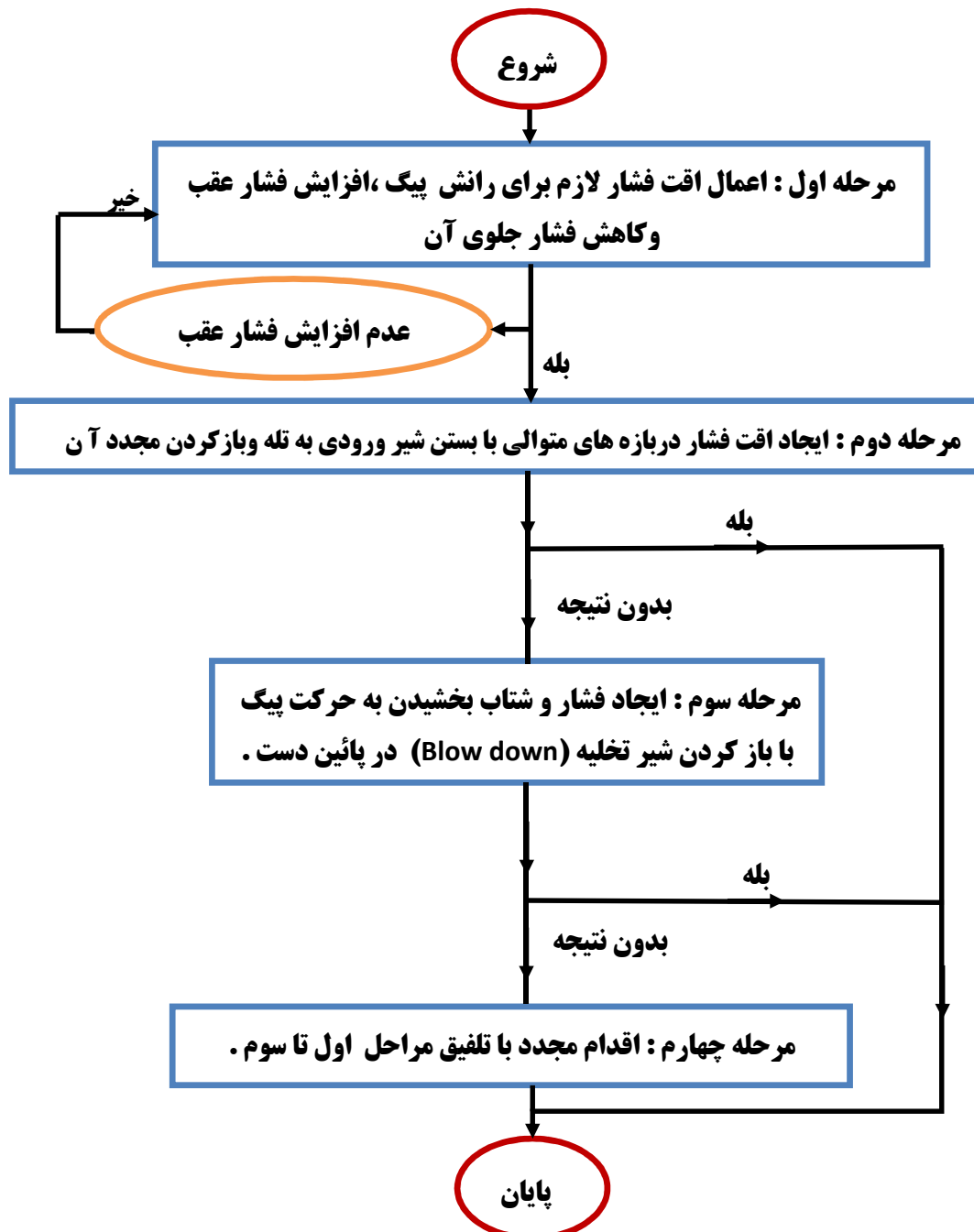
۴-۱-۲ حالت دوم توقف پینگ فرایند  
 ۴-۱-۲-۱ دلیل اول : عدم سیالیت کافی در لوله



نمودار ( ۴-۲) توقف پینگ به دلیل عدم سیالیت کافی در لوله (۴۶)

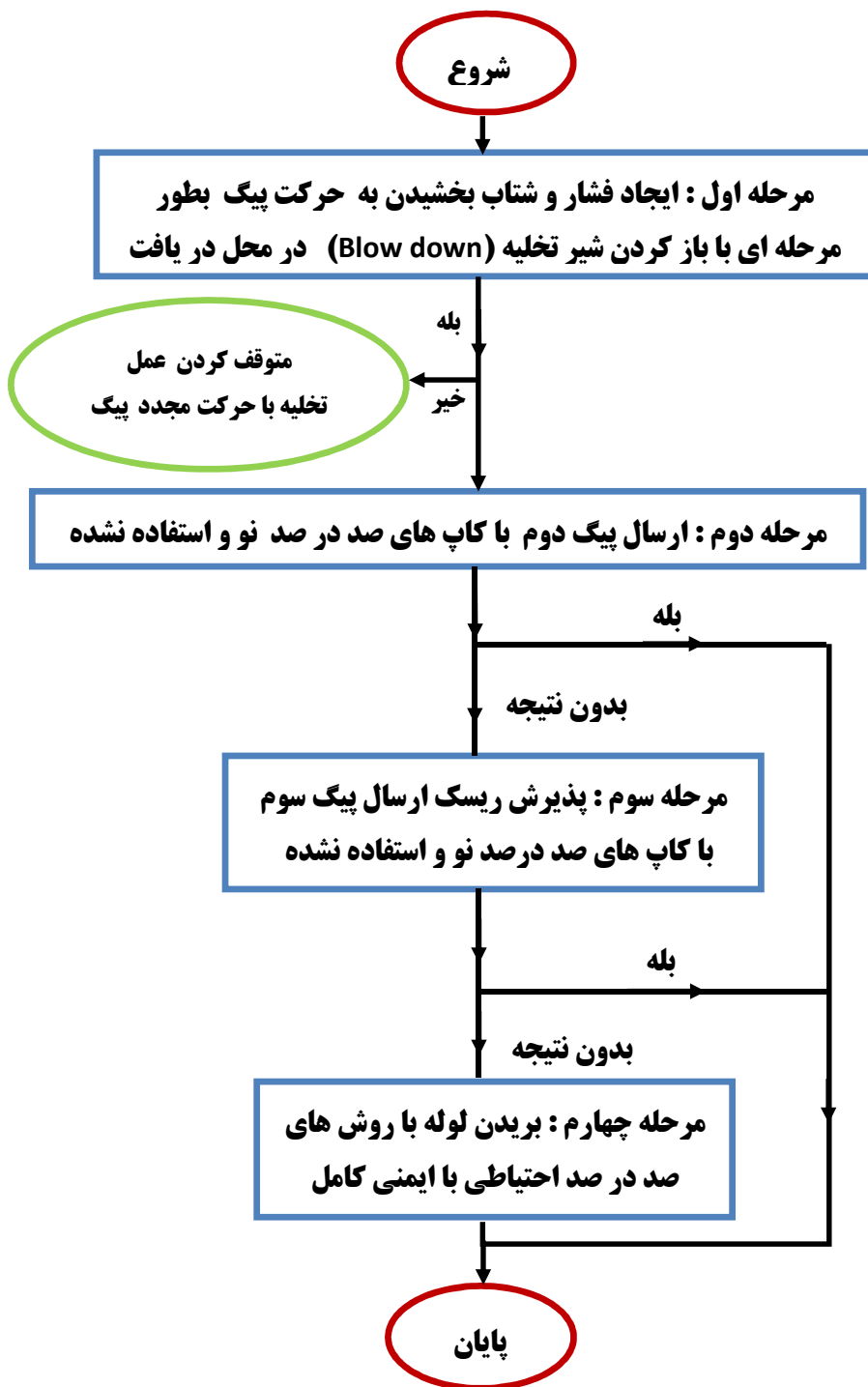
#### ۴-۱-۲-۲ دلیل دوم : عدم آب بندی پیگ و مسائل جدار داخلی لوله

علت کلی : از بین رفتن خاصیت آب بندی کاپها و یا محکم نبودن پیچ و مهره‌های آنها (۴۶)  
 نتیجه: عبور آسان سیال از گوشه‌ها و جداره داخلی لوله با علائمی مانند صدای عبور سیال از کنار کاپها و یا وجود اختلاف دما در جلو و عقب پیگ (دمای جلو پیگ کمتر از عقب آن است)



نمودار (۳-۴) توقف پیگ به دلیل عدم آب بندی پیگ و مسائل جدار داخلی لوله (۴۶)

۴-۱-۲-۳ دلیل سوم: انباشتگی رسوبات و مواد (عامل کاهش شدید نیروی محرکه رانش)



نمودار (۴-۴) توقف پیگ به دلیل انباشتگی رسوبات و مواد (۴۶)



## ۴-۲ بررسی علل مکانیکال توقف پیگ و راهکارها

۴-۲-۱ توقف پیگ به علت طراحی غلط یا انتخاب غیر اصولی (افزایش احتمال انسداد به

دلیل وارد نمودن فشار از جانب پیگ برای رفع انسداد یا به حرکت درآوردن سیال)

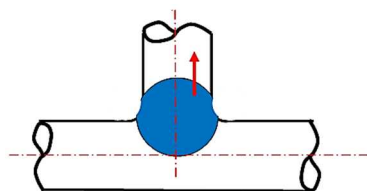
راهکار: برش دادن پر هزینه پیگ، تعمیر خط و متناسب نمودن خم‌ها به صورت T و یا کاربرد

آب‌بند راهنما برای نگه داشتن پیگ نزدیک به خط مرکزی لوله در پیگ‌های دوجته

۴-۲-۱-۱ انحراف جریان به سمت انشعاب و توقف پیگ استاندارد (گلابی شکل شدن)

راهکار: بررسی ترتیب محدودیت‌ها مانند (استفاده پیگ در لوله‌هایی با قطر دو برابر، تهیه برنامه‌ای

برای تعیین ترتیب محدودیت در دریافت کننده‌ها و دبی خاص در نواحی T شکل)

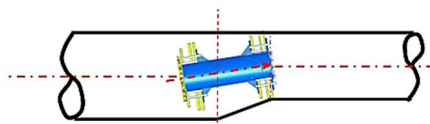


شکل (۴-۱) توقف پیگ استاندارد، انسداد و گلابی شکل شدن منطقه نفوذ

۴-۲-۱-۲ ایجاد اختلاف فشار بالا و توقف پیگ در کاهنده‌ها به دلیل کاربرد راهنماهایی با

بزرگی نامتعارف و غیراستاندارد در خطوط با سایز بالا و نیز فشردگی

راهکار: اندازه گیری دقیق راهنماها بر اساس سایز و استفاده از آب بند متناسب با آنها



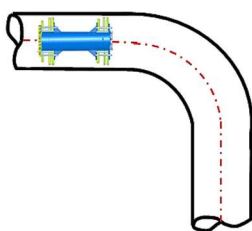
شکل (۴-۲) توقف پیگ در کاهنده‌ها

۴-۲-۱-۳ کوچک گرفتن شعاع خم به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی در مورد خطوط

قدیمی تر برای پیگ‌های بزرگتر (طبق استاندارد شعاع انحنا در خطوط پیگ‌رانی  $5D$  است)

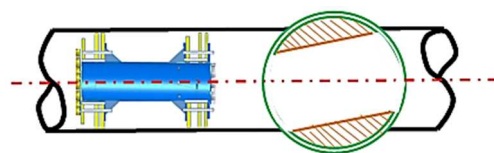
راهکار: طراحی پیگ طبق اطلاعات جامع انحناها؛ در غیر این صورت پذیرش کاربرد رویکردهای

محافظه کارانه



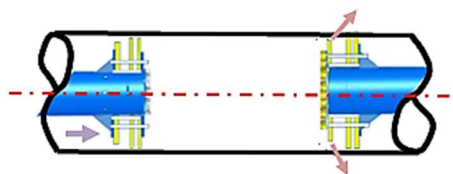
شکل (۴-۳) کوچک گرفتن شعاع خم (به طور اشتباه) برای پیگ‌های بزرگتر

**۴-۱-۲-۴** توقف پیگ در اثر Full open نبودن شیرتویی و انتخاب نادرست تجهیزات و اتصالات راهکار: باز بودن کامل شیرها در طی فرایند



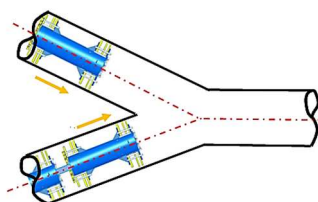
شکل (۴-۴) توقف پیگ در لوله

**۵-۱-۲-۴** چسبیدن پیگ‌ها به یکدیگر یا به عبارتی توقف پیگ به دلیل فشار وارده از سمت پیگ عقبی به پیگ جلویی در محل آب بند و انتقال خطرناک فشار به دیواره داخلی لوله راهکار: پیش بینی برآمدگی‌هایی روی ضربه گیر در عقب و جلوی پیگ در زمان طراحی



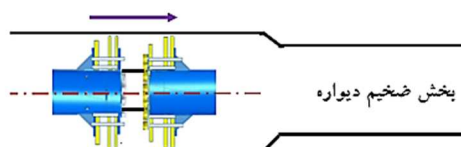
شکل (۵-۴) پدیده چسبیدن پیگ‌ها به یکدیگر

**۶-۱-۲-۴** شکستن پیگ به وسیله پیگ دیگر و انسداد در اتصالات Y شکل [درفرایندهای پیچیده] به دلیل ترتیب نادرست راه اندازی در محل تلاقی آنها راهکار: کنترل از راه دور پیگ‌ها با رعایت تجزیه و تحلیل محافظه کارانه در برخورد با اتصالات Y و T شکل و یا کاهش ریسک با شکستن یک پیگ قربانی در دو پیگ اصلی



شکل (۶-۴) شکستن یک پیگ به وسیله پیگ دیگر

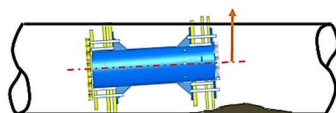
**۷-۱-۲-۴** وقوع پدیده شکست در پیگ با اصطکاک بالا در لحظه پارگی آب بند در اثر بهره برداری بیش از حد پیگ و کار بست آن به عنوان پیگ جداکننده در فرایند تعمیرات با فشار کم راهکار: طراحی پیگ با محوریت پدیده اصطکاک بالا در یک نمونه ساده و یا با هدف مقابله با تمام قطرهای داخلی خط؛ درغیراین صورت انجام آزمایش در صورت شک احتمالی



شکل (۷-۴) پدیده شکست در پیگ با اصطکاک بالا

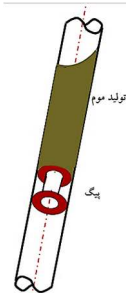
#### ۲-۲-۴ تجمع موم

۱-۲-۲-۴ سرعت کم جریان کنارگذروافزایش آسیب دیدگی پیگ به دلیل وقوع پدیده انسداد [تراکم موم در جلوی پیگ] وسایش شدید با مواد زائیدی مانند شن و ماسه در قسمت بالای پیگ راهکار: طراحی دوباره کنارگذرو تعیین دقیق سرعت آن با انتخاب کنارگذرقوی برای غلبه برگرد و خاک و حذف آن ونیز به حرکت درآوردن مواد زائد باقیمانده در جلوی پیگ



شکل (۸-۴) سرعت کم جریان کنارگذروافزایش سطح آسیب دیدگی پیگ

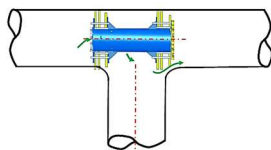
۲-۲-۲-۴ ذخیره شدن موم در جلوی پیگ به دلیل انسداد خط لوله دریایی راهکار: دقت درانتخاب سرعت کنارگذر برای تعلیق مواد زائد در پائین دست و حذف موم



شکل (۹-۴) ذخیره شدن موم در جلوی پیگ

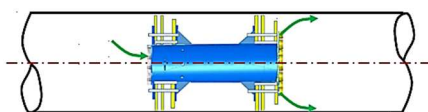
#### ۳-۲-۴ کنارگذرهای غیرارادی

۱-۳-۲-۴ توقف پیگ به دلیل تولید غیرارادی تعداد زیادی کنارگذر، فرایند نادرست پیگ و سرعت بسیار کم جریان سیال اطراف آن راهکار: لحاظ دقیق شرائط جریان و توجه به موقعیت کانالهای هدایت گاز/ مایع



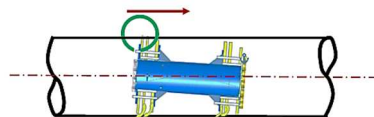
شکل (۱۰-۴) توقف پیگ به دلیل فرایند نادرست

۲-۳-۲-۴ کاهش ناگهانی سرعت سیال (نارسایی فرایند کنارگذر) و توقف پیگ استاندارد راهکار: ارسال پیگ مجهز به کنارگذرهای اصلاح شده برای به جلو راندن پیگ متوقف



شکل (۱۱-۴) عدم جریان سیال و توقف پیگ استاندارد

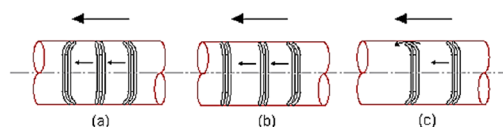
**۴-۲-۳-۳** ازدست دادن رانش دریگ‌های قطربالا همراه با ضربه‌ای سریع و کوتاه به آب بند عقبی (دایره سبز) در اثر اصطکاک بیشتر در پائین لوله و تمایل به حرکت رو به پائین دماغه راهکار: سنجش ایمنی رانش پیگ در انحنایها با شرائط بیشینه فشار سریع آب بندها



شکل (۴-۱۲) ازدست دادن رانش یک پیگ

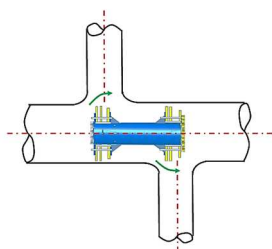
**۴-۲-۳-۴** برگشت جریان در خط و معکوس شدن پیگ‌ها (حرکت رو به عقب پیگ با وارد شدن لرزش شدید از جانب آب بند به آن)

راهکار: اصلاح معکوس شدن آب بندهای پیگ و پشتیبانی آنها با کمینه سازی اصطکاک



شکل (۴-۱۳) معکوس شدن پیگ‌ها

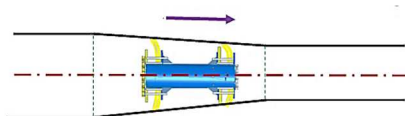
**۴-۲-۳-۵** توقف پیگ با افزایش خطر کنارگذر به خاطر وضعیت نادرست طول آب بند در حالت نزدیکی خیلی زیاد اجزاء T شکل به هم  
راهکار: رعایت طول مناسب بین اجزاء خط در طراحی، استفاده از پیگ‌های مدول دوتایی با تعیین دقیق موقعیت آب بندها



شکل (۴-۱۴) توقف پیگ به خاطر بالا رفتن احتمال خطر کنارگذر

**۴-۲-۳-۶** توقف پیگ بازرس و کارکرد نادرست تمام آب بند ها با کاهنده خیلی بزرگ در اثر تفاوت در طول کاهنده یا به عبارتی کشمکش بین لزوم کار بست کاهنده‌ای با بیشینه طول برای تأمین کارکرد مؤثر سنسورها

راهکار: طراحی دقیق طول پیگ (عدم کار بست پیگ با قطر دوبرابر) و آب بندها



شکل (۴-۱۵) کارکرد نادرست تمام آب بند ها و توقف پیگ

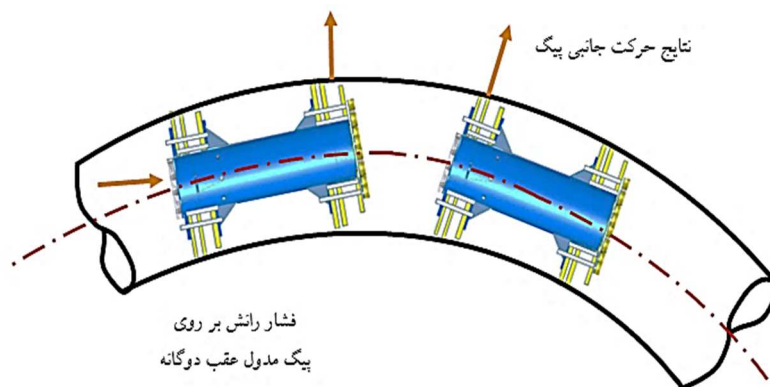
۷-۳-۲-۴ توقف پیگ به دلیل چفت و بست نامناسب آب بندها در فرایند پیگرانی  
 راهکار: اجتناب از چفت کردن آب بندهای آب بند؛ در غیر این صورت طراحی آن با قطر و ضخامت  
 مناسب



شکل (۱۶-۴) توقف پیگ به دلیل چفت و بست نامناسب آب بندها

#### ۴-۲-۴ خم شدگی

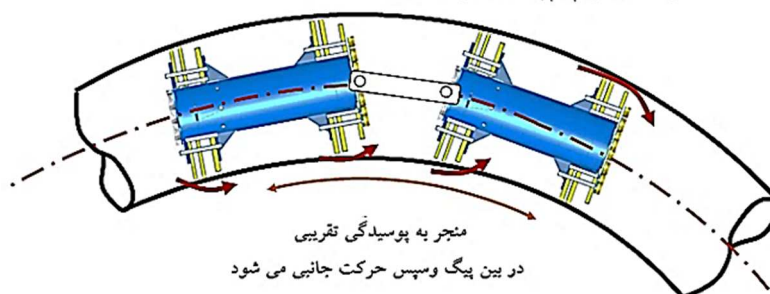
۱-۴-۲-۴ خم شدگی پیگ در اثر فشار وارده به پیگ از سوی باری نامتعادل از پهلوهنگام رانش  
 پیگ بازرس برای کشیدن پیگ عقبی در طول مسیر  
 راهکار: انتقال فشار مناسب از طریق پورت های کنار گذر در عقب به جلوی مدول برای رانش



شکل (۱۷-۴) فشار ناشی از یک بار نامتعادل جانبی و تأثیر آن بر خم شدگی پیگ

۲-۴-۲-۴ توقف پیگ مدول دوتایی رانده شده از عقب با حرکت جانبی در طول مرحله آب  
 زدایی در انحنا به خاطر نشتی گاز از اطراف آن در اثر کم بودن چگالی و فشار گاز  
 راهکار: رفع عوامل توقف و حفظ مرکزیت با اندازه گیری صحیح آب بندها

جریان گاز با تراکم کم پیگ را در بر دارد...



شکل (۱۸-۴) تأثیر نشتی گاز اطراف پیگ با مدول دوتایی

**۴-۲-۵** توقف و آسیب دیدگی پیگ ناشی از ضربه زدن ناگهانی و خوردگی سایشی شدید آب (این سایش به دلیل تراوش محصول دراختلاف فشار بسیار بالا، سرعت کم پیگ، ناهمواری سطح داخلی، قطر کم لوله و شتاب کم سیال مایع پیش می آید).  
راهکار: اضافه کردن روان کننده به خط با هدف کاهش در فشار دیفرانسیل و سایش پلی اورتان، ارائه مدلی کاربردی برای پیش بینی حداکثر فاصله طی شده و اندازه پیشروی پیگ

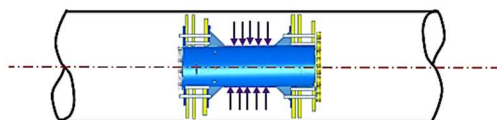
#### **۴-۲-۶ آسیب مکانیکی**

**۴-۲-۶-۱** آسیب رسانی به پیگ هنگام فرایند آب زدایی با نیتروژن در مجموعه حاوی سیال تراکم پذیر (خط لوله گاز) همراه با تغییرات اصطکاک در سرعت کم یا شتاب بالا در ابتدای خم راهکار: تعدیل سرعت ورودی در بازه (۴-۱) متر بر ثانیه و فشار پیگ به درون خم

**۴-۲-۶-۲** آسیب دیدگی پیگ مدول دوتایی در اثر کوپلینگ (جفت شدگی) بین مدول های آن راهکار :

- ا. اصلاح آستانه تحمل کشش بار جانبی، پیچشی و یا بار متراکم برای برخورداری کوپلینگ از نیروی کافی در اتصال (لولا) و نیز فراهم نمودن شرایط مطلوب حرکت پیگ در ناهمواری ها
- ب. کار بست اتصالات U، انواع ساچمه و سوکیت، در غیر این صورت اتصالاتی با کیفیت بالا
- ج. رانش پیگ آسیب دیده به کمک پیگ مدول های دوتایی

**۴-۲-۶-۳** متلاشی شدن بدنه پیگ به وسیله حفره زانویی (مجرا) و ایجاد فشار بیش از حد راهکار: اجتناب از ایجاد توازن فشار در مجراها حتی در لحظه توقف پیگ در خطوط فشار بالا



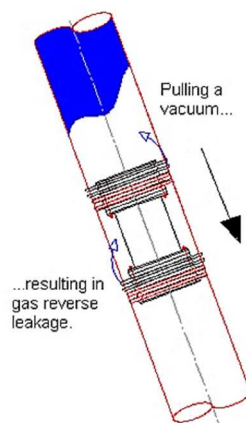
فشار بیرونی، خط لوله که روی یک حفره به دام افتاده عمل می کند

شکل (۴-۱۹) متلاشی شدن بدنه پیگ به دلیل وجود حفره زانویی

**۴-۲-۶-۴** آسیب پیگ مدول دوتایی با خروج آب بند<sup>۱</sup> سایز بالا از محل و پارگی آن راهکار: بهینه سازی ضخامت [اجتناب از ضخامت غیرطبیعی با ابعاد بالا] و سایز بالای آب بند و محکم نمودن آب بندهای پیگ به ترتیب جفت کردن

**۴-۲-۶-۵** آسیب دیدگی پیگ در جریان دو فازی در نقاط شیب دار و نفوذ گاز در سرعت های بالا طی فرایند هیدروتست به داخل آزمون آب در اثر قطر زیاد و سنگینی وزن راهکار: کند کردن حرکت پیگ

<sup>۱</sup> Disk



شکل (۴-۲۰) آسیب پیگ در اثر نفوذ گاز طی فرایند هیدروتست

#### ۷-۲-۴ مشکلات زیست محیطی

**۱-۷-۲-۴** توقف پیگ در اثر عوامل زیست محیطی (فرسایش جنس آب بند، گسترش قطعات فلزی، حفره‌ها، ناسازگاری با جنس آب بند و غیره)

راهکار: انتخاب پلی‌اورتان‌های تخصصی‌تر، کاهش دمای بالای پلی‌اورتان با تزریق گاز فشار بالا به آب‌بند و نرم کردن [تافی‌گونه] دوباره آن در دمای پائین با متانول روی پلی‌اورتان

#### ۸-۲-۴ نتیجه‌گیری :

أ. با توجه به موارد بالا لازم است که با طراحی، برنامه ریزی، تجزیه و تحلیل درست از توقف پیگ جلوگیری و در صورت وجود هرگونه شک و شبهه به انجام آزمایش مبادرت شود.

ب. فشار دیفرانسیل حداقلی ناشی از نیروی زیاد وارده به سازوکار پیگ باید رعایت شود. این فشار علاوه بر آسیب رساندن به پیگ، با هدایت آن به خارج از مرکز از رانش آن جلوگیری می‌کند.

ج. در صورت عدم موفقیت در شناسایی راهکارهای تجزیه و تحلیل مناسب برای بازیابی اطلاعات از دست رفته، استفاده از دیدگاه محافظه کارانه پیشنهاد می‌شود.

د. از نقطه نظر دستیابی به فرایند مطلوب پیگ در طول خط و همچنین توصیف نیازهای کاربردی آن از دیدگاه عملکرد و راه اندازی نیاز به لیست دقیق احساس می‌شود.

ه. یک برنامه آزمایشی خوب طراحی شده ضمن اقتصادی بودن باید در صورت اجرای صحیح، توانایی پاسخ‌گویی به هر پرسش احتمالی با توجه به محدودیت‌ها و امکانات آزمون را دارا باشد.

و. با طراحی سنجیده مبتنی بر غلبه بر نیازهای به‌ظاهر متناقض پیگ و فراهم‌آوری امکان ایجاد توازن و تعادل در فرایند، باید از پیمودن مسیر به‌وسیله پیگ اطمینان حاصل نمود.

ز. تمام اطلاعات شناخته شده در مرحله طراحی باید شناسایی، مستندسازی و کاربردی شود.

ح. فرایند جامع ذیل برای جلوگیری از توقف پیگ پیشنهاد می‌شود:

- جمع آوری اطلاعات و ارائه تعریفی واضح از نیازهای کاربردی، طراحی و محاسبات لازم
- طرح بندی پیگ در اجزاء خط و انتخاب آن
- آزمایش و در صورت لزوم تکرار و تجدید نظر در طراحی
- اجرای کار با درک ویژگی‌های متمایز کننده خطوط ازهم، مانند دو برابری قطر، پیگ آرام، دیواره ضخیم، موم زدایی [وا کس زدایی] سنگین و سرعت کم در خط لوله‌های خاص (۴۷)

## ۴-۳ نتایج بررسی نرم افزاری راهکار مکانیکال اندازه باز بودن شیر

### منی فولد برای رفع توقف

سرعت لحظه‌ای قاعده خاصی ندارد و تابع نوع سیال می‌باشد. در سیال تراکم ناپذیر مانند مشتقات نفتی و آب از رابطه معروف پیوستگی  $Q=S.A$  که در آن  $Q$  دبی و  $S$  سرعت و  $A$  سطح مقطع است این سرعت محاسبه می‌شود و به دلیل جرم زیاد اطراف پیگ، به جای حرکت جهشی بیشتر یکنواخت بوده و دارای نوسانات محدود می‌باشد. در سیال تراکم پذیر (گازها) از محاسبات cfd کمک گرفته می‌شود؛ زیرا، با توجه به پروفیل خط و نوع پیگ و موانع احتمالی تغییرات سرعت لحظه‌ای است. با بالاتر رفتن تدریجی فشار؛ رفتار سیال به مایع نزدیکتر و جرم اطراف پیگ بیشتر است و از جهش‌های ناگهانی<sup>۱</sup> ناشی از تغییرات غیرخطی نیروها به دلیل تراکم پذیری گاز که با کم و کمتر شدن فشار بیشتر اتفاق می‌افتد؛ جلوگیری می‌شود.

برای کسب نتیجه خوب در پیگ رانی با پیگ هوشمند، پیشرو و یا تمیزکننده علاوه برافت فشار رانش پیگ، باید کمینه فشار برای حذف این پدیده ایجاد شود.

معیار پاکسازی داخل لوله فشار پیگ نیست؛ بلکه، سرعت آن بوده و فشاری که در پیگ رانی برای غلبه بر افت اصطکاکی در طول مسیر خط بکار می‌رود مستقیم به این عامل وابسته است.

گرما در سرعت بالا، مقاومت سایشی پلی اورتان کاپها و آب بندها را کاهش می‌دهد و با افزایش اندازه سایش کاپها، علاوه بر باقی ماندن رسوبات، پیگ را از آب بندی می‌اندازد.

اندازه باز بودن شیر ۱۸ اینچ سمت منی فولد در تحلیل نرم افزاری به حالت های Full Close ، ۱۰٪ Open و Full Open است و در هر سه حالت شیر ۱۲ اینچ کنار گذر شیر ۲۶ اینچ ورود به تله دریافت Full Open اند که تحلیلی از کانتورهای اندازه کسر حجمی<sup>۲</sup>، فشار استاتیک<sup>۳</sup> و سرعت<sup>۴</sup> همراه با اندازه دبی عبوری (خروجی) در قالب نمودار ترسیمی برای آنها ارائه شده است.

<sup>۱</sup> Velocity excursion

<sup>۲</sup> Volume fraction

<sup>۳</sup> Static pressure

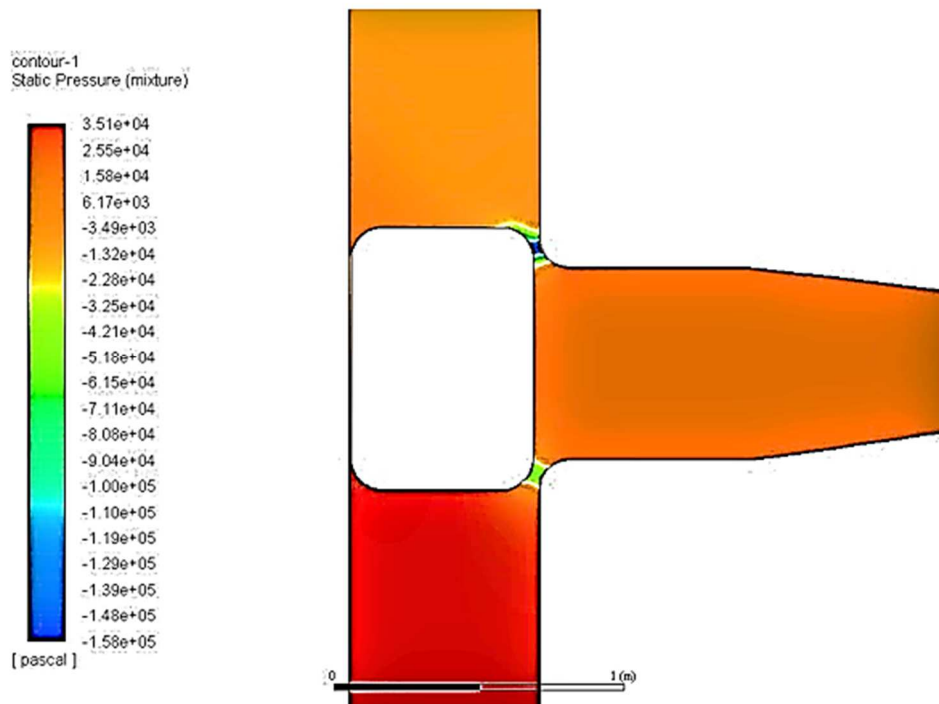
<sup>۴</sup> Velocity magnitude



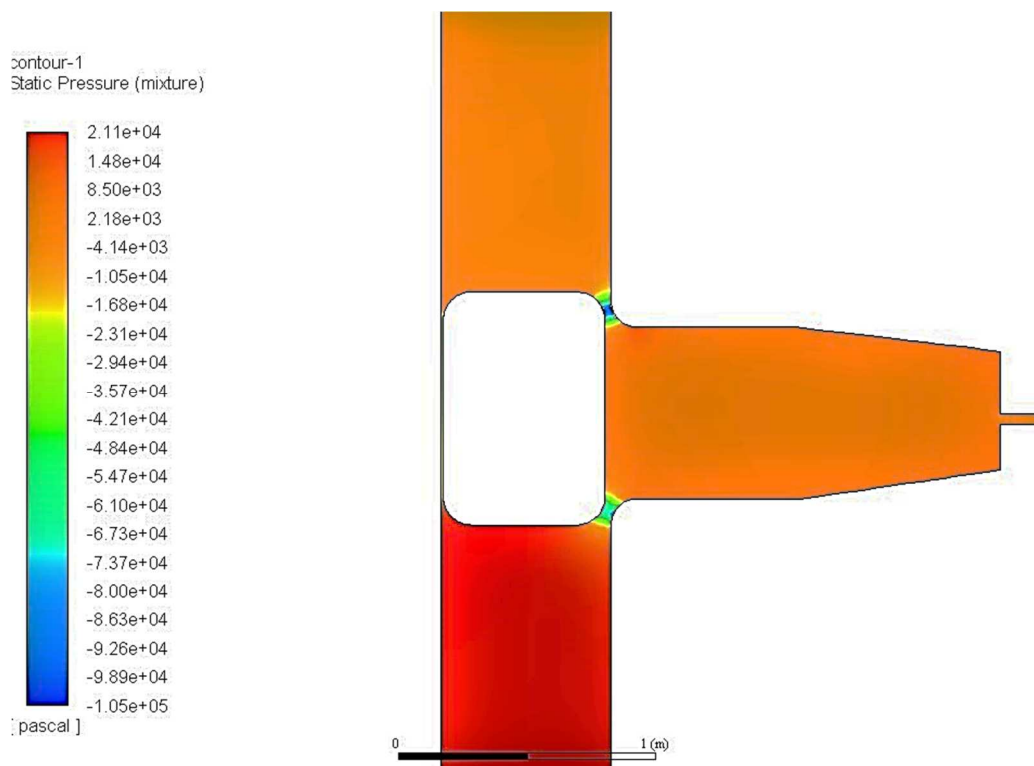
مدنظر است اثبات شود که هرچه درصد باز بودن شیر ۱۸ اینچ سمت منی فولد بیشتر باشد، ریسک توقف پیگ در سهراره قبل از تله دریافت کم و کمتر خواهد بود. راهکارده درصد باز بودن شیر سمت منی فولد در زمان تلاقی پیگ با سهراره به طور عملی در شرائط صد درصد واقعی راستی آزمایی شده و نتیجه با موفقیت همراه بوده است.

#### ۴-۳-۱ کانتورهای فشار

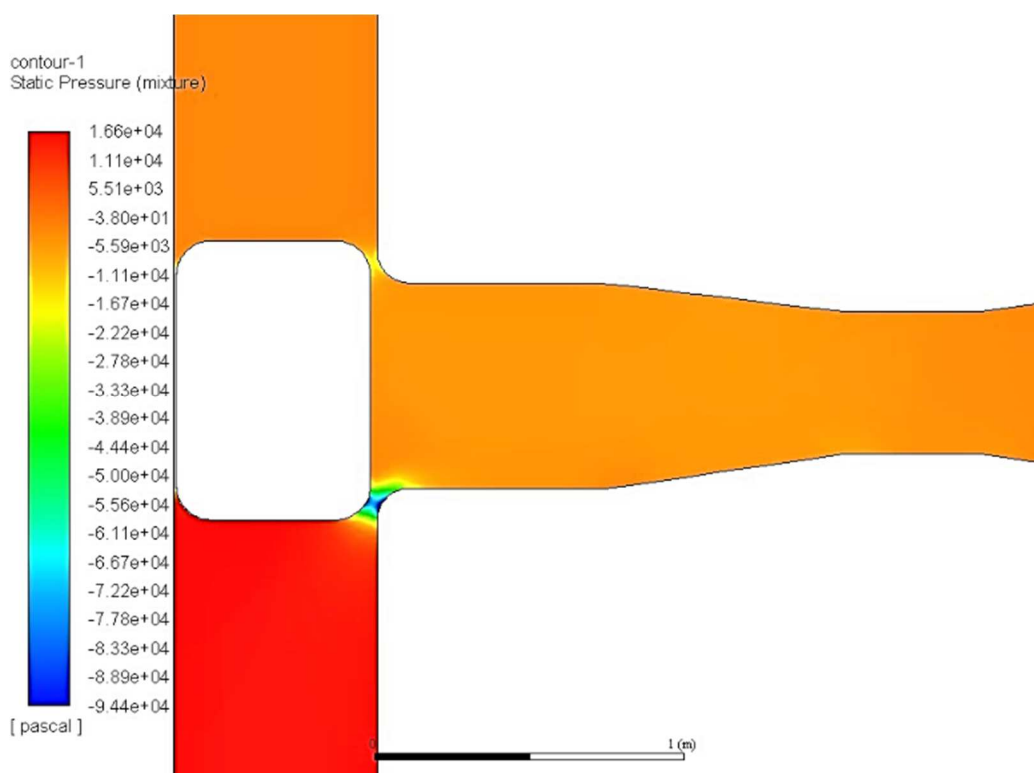
هرچه اندازه باز بودن شیر منی فولد بیشتر باشد در محل برخورد کاپ عقبی با لبه اول سهراره به تدریج افت فشار کاهش می یابد که کمترین افت فشار ( $\Delta P = 0$ ) در حالت Full Open خواهد بود و با اصلاح فشار پیگ، این دستگاه به سمت تله به حرکت درمی آید. لازم به ذکر است که در محلهایی که کاهش فشار وجود دارد در کانتور فشار ارقام با علامت منفی و در محلهایی که افزایش فشار وجود دارد با علامت مثبت نمایش داده شده اند؛ لذا، نباید کلمه (خلاء جزئی) را برای توجیه علامت منفی در کانتور فشار [به دلیل عدم وجود جوشش در این نقاط] بکار برد. در نمودار (۴-۵) کانتورهای فشار (۴-۲۳)، (۴-۲۲) و (۴-۲۱) با یکدیگر مقایسه شده اند که نشان می دهد هرچه شیر منی فولد بیشتر باز باشد، طبق (جدول ۴-۱) فشار وارد بر لبه های داخلی سهراره کم و کمتر خواهد بود و افت فشار تعدیل می شود. در این نقاط جدایش ذرات سیال اتفاق می افتد و جهش ناشی از این پدیده باعث می شود که فشار [و حتی سرعت] در این نقاط بیشتر از جاهای دیگر باشد.



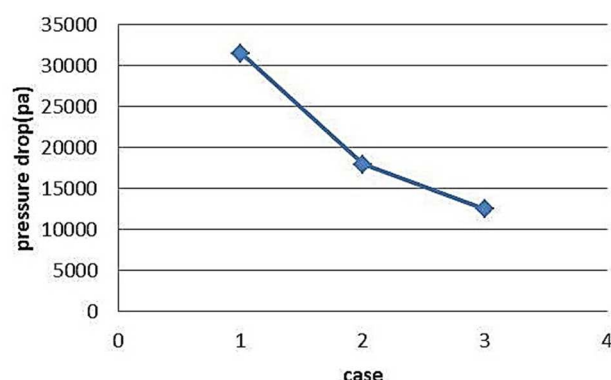
شکل (۴-۲۱) کانتور فشار در حالتی که شیر منی فولد Full Close است



شکل (۲۲-۴) کانتور فشار در حالتی که شیر منی فولد Open ۱۰٪ است



شکل (۲۳-۴) کانتور فشار در حالتی که شیر منی فولد Full Open است



نمودار (۴-۵) بررسی مقدار افت فشار در سه حالت

بررسی فشار		وضعیت شیر منی فولد
کمینه فشار استاتیک (پاسکال)	بیشینه فشار استاتیک (پاسکال)	
$-1/58 \times 10^5$	$3/51 \times 10^4$	Full Close
$-1/05 \times 10^5$	$2/11 \times 10^4$	10% Open
$-0/944 \times 10^5$	$1/66 \times 10^4$	Full Open

جدول (۴-۱) کمینه و بیشینه افت فشار در سه حالت

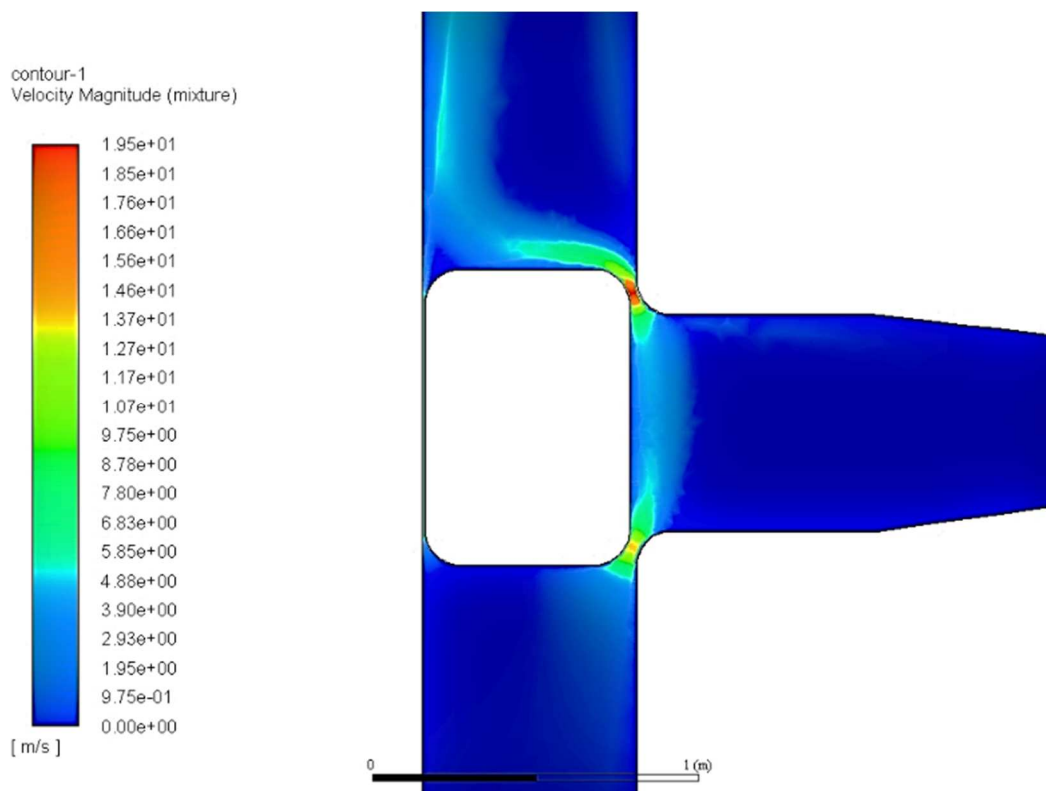
در جدول بال مقدار فشار در محل برخورد کاپ‌های عقب و جلو به ترتیب با لبه‌های اول و دوم در زمان توقف پیگ در سه راهه مشاهده می‌شود..

بررسی فشار		کمینه فشار استاتیک (پاسکال)		بیشینه فشار استاتیک (پاسکال)		وضعیت شیر منی فولد
محل برخورد کاپ عقب با لبه اول	محل برخورد کاپ جلو با لبه دوم	محل برخورد کاپ عقب با لبه اول	محل برخورد کاپ جلو با لبه دوم	محل برخورد کاپ عقب با لبه اول	محل برخورد کاپ جلو با لبه دوم	
$1/67 \times 10^4$	$1/67 \times 10^4$	$1/67 \times 10^4$	$1/67 \times 10^4$	$1/67 \times 10^4$	$9/44 \times 10^4$	Full Close
$1/68 \times 10^4$	$1/68 \times 10^4$	$1/68 \times 10^4$	$1/68 \times 10^4$	$1/05 \times 10^5$	$5/47 \times 10^4$	10% Open
$2/28 \times 10^4$	$2/28 \times 10^4$	$2/28 \times 10^4$	$2/28 \times 10^4$	$1/58 \times 10^5$	$6/15 \times 10^4$	Full Open

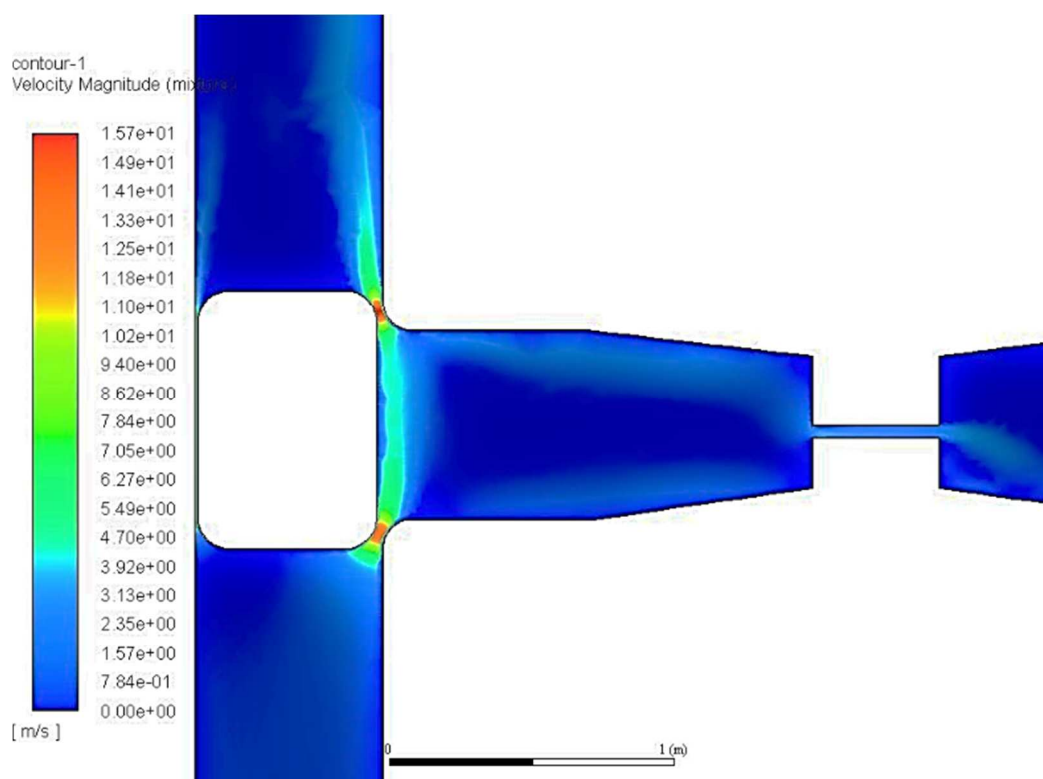
جدول (۴-۲) مقدار فشار در محل برخورد لبه‌ها با کاپ‌های عقب و جلو در زمان توقف

### ۴-۳-۲ کانتورهای سرعت

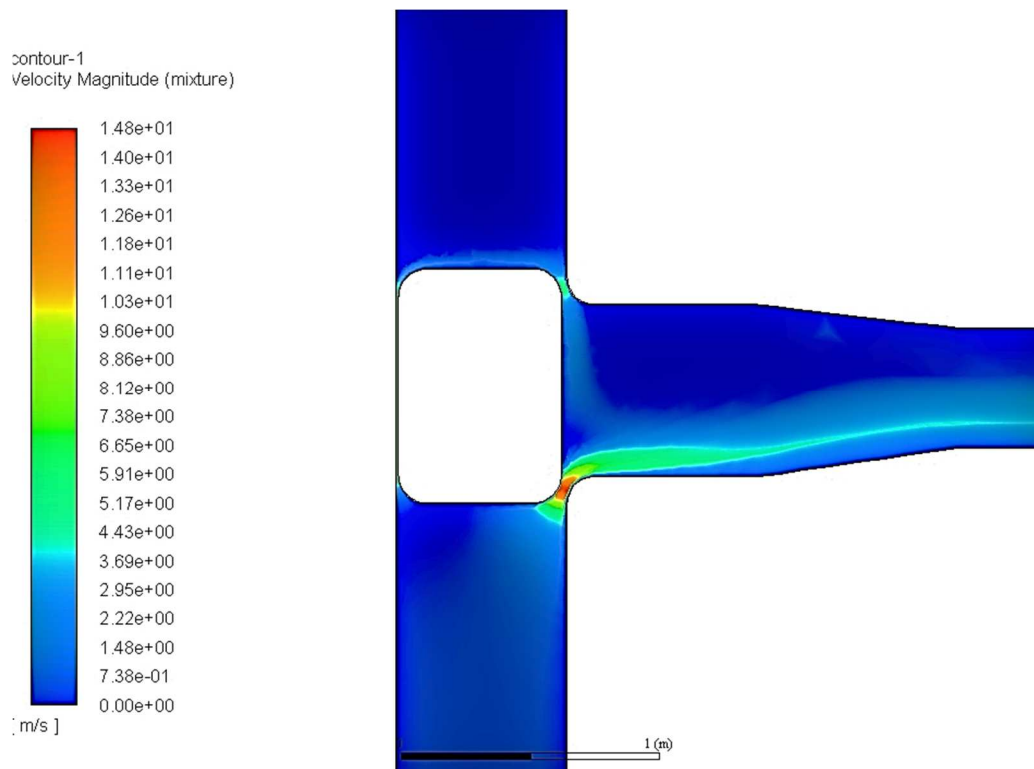
با توجه به کانتورهای سرعت (۴-۲۶)، (۴-۲۵) و (۴-۲۴) و طبق جدول (۴-۴) استخراجی از آنها مشخص است که هرچه شیر سمت منی فولد بیشتر باز شود از مقدار سرعت ناشی از توقف پیگ در سه راهه، در محل برخورد کاپ عقب با لبه اول کاسته شده و بر اندازه سرعت در محل برخورد کاپ جلو با لبه دوم افزوده می‌شود به طوری که در زمان رفع توقف، بیشینه سرعت با بیشتر شدن اندازه باز بودن شیر سمت منی فولد با توجه به جدول (۴-۳) به تدریج تعدیل می‌شود.



شکل (۴-۲۴) کانتور سرعت درحالتی که شیر منی فولد Full Close است



شکل (۴-۲۵) کانتور سرعت درحالتی که شیر منی فولد ۱۰٪ Open است



شکل (۴-۲۶) کانتور سرعت در حالتی که شیر منی فولد Full Open است

بررسی سرعت		وضعیت شیر منی فولد
کمینه سرعت (متر بر ثانیه)	پیشینه سرعت (متر بر ثانیه)	
$1.95 \times 10^1$	$0.00 \times 10^1$	Full Close
$1.07 \times 10^1$		10% Open
$1.48 \times 10^1$		Full Open

جدول (۴-۳) کمینه و پیشینه سرعت در سه حالت

بررسی سرعت		کمینه سرعت (متر بر ثانیه)		پیشینه سرعت (متر بر ثانیه)		وضعیت شیر منی فولد
اطراف پیگ	سرعت	محل برخورد کاپ عقبی با لبه اول	محل برخورد کاپ جلویی با لبه دوم	محل برخورد کاپ عقبی با لبه اول	محل برخورد کاپ جلویی با لبه دوم	
۴/۸۸	۹/۲۰	۱۰/۷۰	۱۹/۵۰	۱۳/۷۰	۴/۸۸	Full Close
۴/۷۰	۷/۰۵	۸/۶۲	۱۴/۹۰	۱۴/۱۰	۴/۷۰	10% Open
۴/۰۵	۲/۹۵	۴/۴۰	۴/۰۶	۱۴/۸۰	۴/۰۵	Full Open

جدول (۴-۴) مقدار سرعت در محل برخورد لبه ها با کاپ های عقب و جلودر زمان توقف

### ۴-۳-۳ سهم هر کدام از فرآورده ها ( کسر حجمی ) در سه حالت

با توجه به کانتورهای (۴-۲۹)، (۴-۲۸)، (۴-۲۷) و جدول (۴-۵) هرچه شیر سمت منی فولد بیشتر باز باشد از شدت آلودگی در فضای بین سواره و شیر سمت منی فولد کاسته شده و براندازه کسر غالب نفت گاز افزوده می شود [این شرائط اطراف پیگ نیز برقرار است]. این روند تعدیل تا هنگام رفع توقف ادامه می یابد و با حرکت مجدد پیگ، تمام کسر حجمی به نفت گاز تبدیل می شود.

اندازه سهم هر کدام از فرآورده ها [کسر حجمی] در شکل های (۴-۲۹)، (۴-۲۸) و (۴-۲۷) به صورت ذیل و با یک رنگ مشخص متمایز شده است:

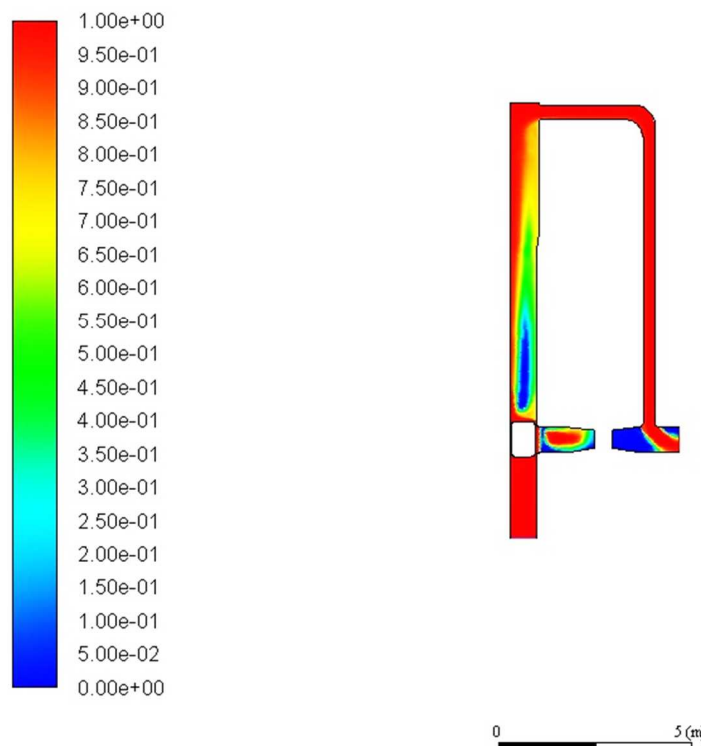
**۱۰۰٪ نفت خام**    **۷۰٪ نفت خام و ۳۰٪ نفت گاز**    **۳۰٪ نفت خام و ۷۰٪ نفت گاز**    **۱۰۰٪ نفت گاز**

نمودار (۴-۶) مقدار سهم هر کدام از فرآورده ها (کسر حجمی)

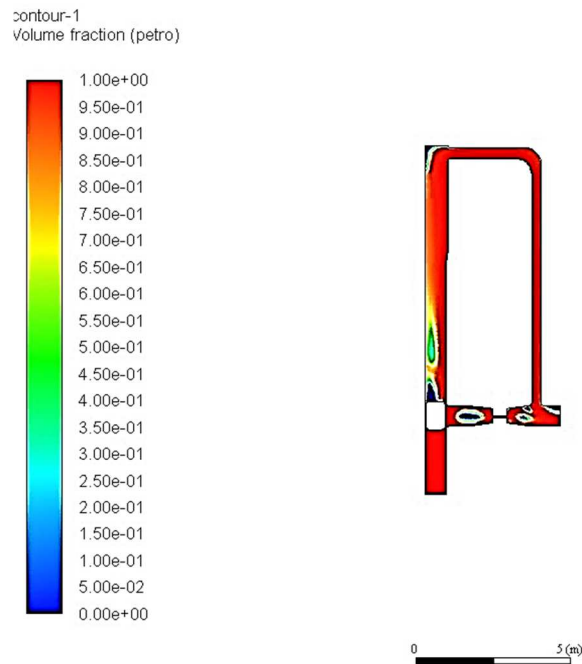
شرایط اطراف پیچ	در شرایط حد اکثر					بررسی کسر حجمی (درصد) وضعیت شیر منی فولد	
	محل برخورد کاپ جلو با لبه دوم			محل برخورد کاپ عقب با لبه اول			
	نفت خام	آلوده نفت گاز	نفت خام	آلوده (بیچ غالب نفت خام)	نفت گاز		
آلوده	۱۰۰	—	—	—	۹۹	Full Close	
کسر غالب نفت خام	۱۰۰	—	—	۹	—	10% Open	
کسر غالب نفت گاز	۱۰	—	—	۱۰	۹۰	Full Open	

جدول (۴-۵) مقدار کسر حجمی در محل برخورد لبه ها با کاپ های عقب و جلو در زمان توقف

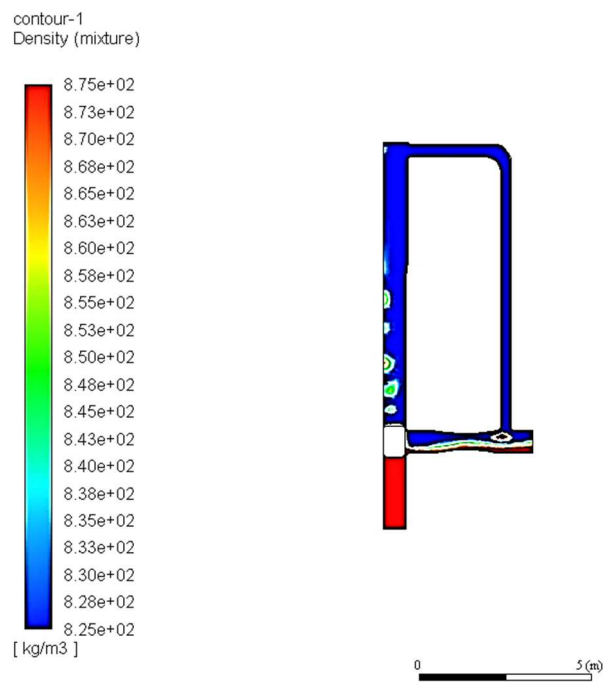
contour-1  
Volume fraction (petro)



شکل (۴-۲۷) کانتور مقدار کسر حجمی در حالتی که شیرمنی فولد Full Close است



شکل (۴-۲۸) کانتور مقدار کسر حجمی در حالتی که شیر منی فولد **Open** ۱۰٪ است



شکل (۴-۲۹) کانتور مقدار کسر حجمی در حالتی که شیر منی فولد **Full Open** است

### ۴-۳-۴ دبی عبوری (خروجی)

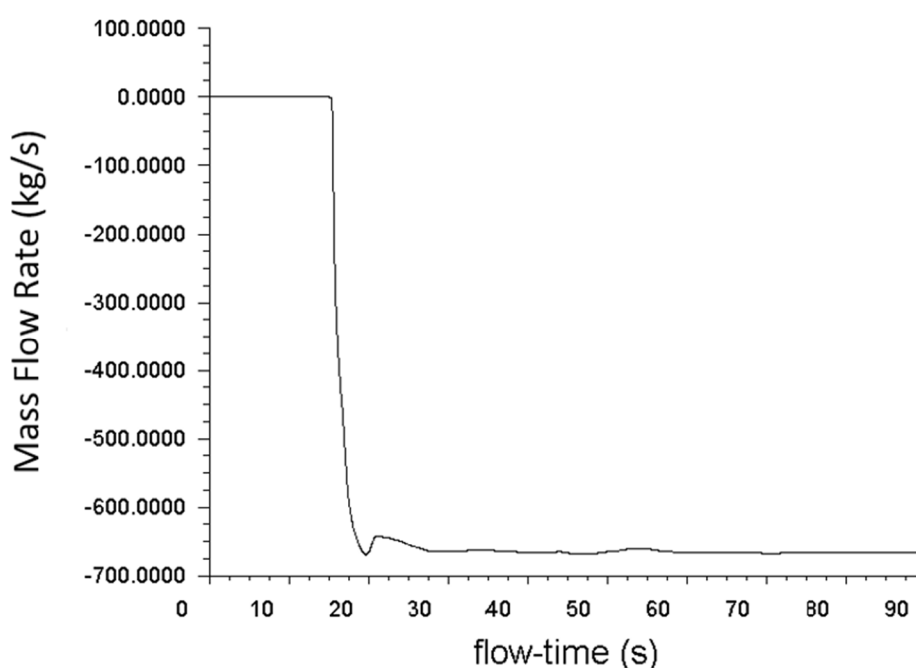
تحلیل‌های نرم افزار ی برای ۹۰ ثانیه ابتدائی توقف پیگ در نظر گرفته شده است .  
در حالت **Full Close** بودن شیر منی فولد، دبی خروجی تا ۱۵ ثانیه نخستین طبق نمودار (۴-۷) ناگهان به سمت صفر میل می نماید.

در ادامه این تغییرات، در کمترین ۵ ثانیه بایک تکانه کوتاه ۱/۵ ثانیه ای دچار افت شدید می شود و آن گاه این دبی دوباره در ثانیه ۲۸ به دلیل توقف کامل پیگ به کمترین مقدار خود می رسد . در حالت ۱۰٪ Open طبق نمودار (۴-۸) زمان ۱۵ ثانیه ای که در حالت قبل اشاره شد به ۲/۵ ثانیه کاهش می یابد و در ثانیه های ۱۷-۲/۵ به دلیل باز شدن مسیر جریان سیال دچار تلاطم می گردد که با توجه به شیب ملایم و سهمی گون تغییرات در ۴۰-۱۵ ثانیه نخستین این بازه ۹۰ ثانیه ای، دبی یکنواخت شده و پیگ به سمت تله رانده می شود.

در حالت Full Open براساس نمودار (۴-۹) با گذشت ۲ ثانیه، یک تکانه ای بسیار کوتاه و سریع ۲/۵ ثانیه ای دبی به سمت پایدار شدن پیش رفته و پس از ۳۰/۵ ثانیه به طور کامل پایدار می شود. در جدول ذیل دبی متناظر زمان های بالا ارائه شده است.

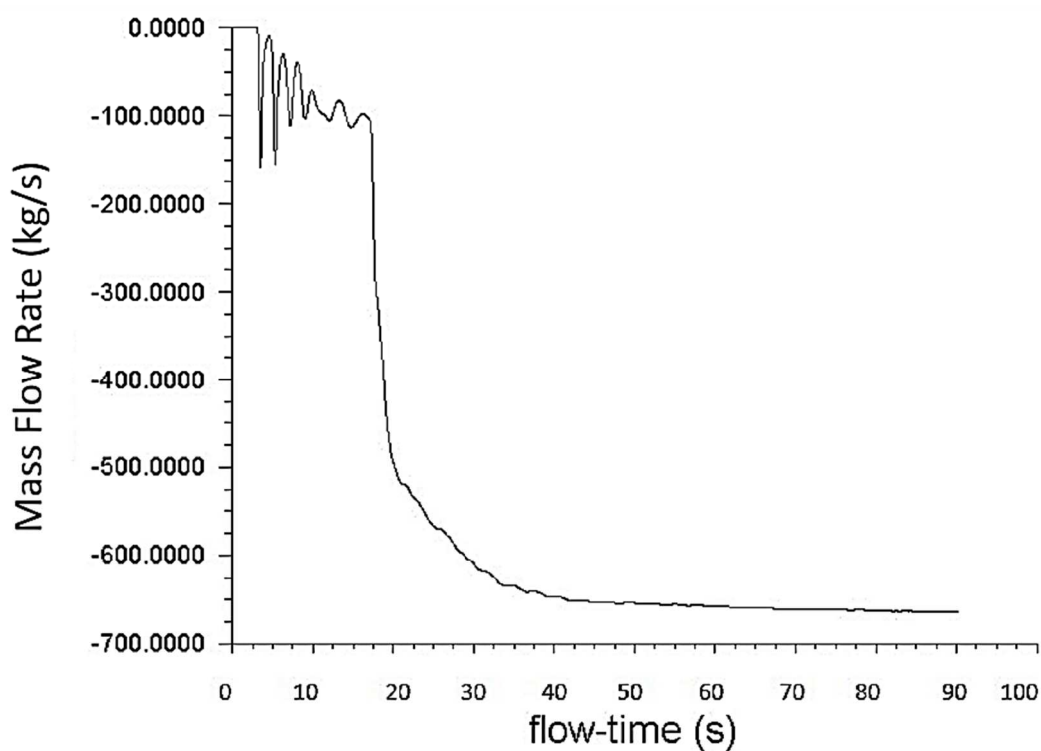
دبی عبوری خروجی (kg/s)										بررسی دبی وضعیت شیر منی فولد
ثانیه	ثانیه	ثانیه	ثانیه	ثانیه	ثانیه	ثانیه	ثانیه	ثانیه	ثانیه	
۹۰	۴۰	۳۳	۲۸	۲۰	۱۷	۱۵	۴/۵	۲/۵	۲	
۶۵۰	۶۷۰	۶۶۰	۶۷۵	۶۷۵	۶۳۰	صفر	صفر	صفر	صفر	Full Close
۶۶۵	۶۵۰	۱۸۰	۵۸۰	۴۷۵	۱۰۵	۱۰۰	۱۰	صفر	صفر	10% Open
۶۷۵	۶۷۵	۶۷۵	۷۰۵	۷۰۰	۷۲۵	۷۲۵	۷۵۰	—	صفر	Full Open

جدول (۴-۶) مقدار دبی عبوری (خروجی) شیر سمت منی فولد در زمان توقف

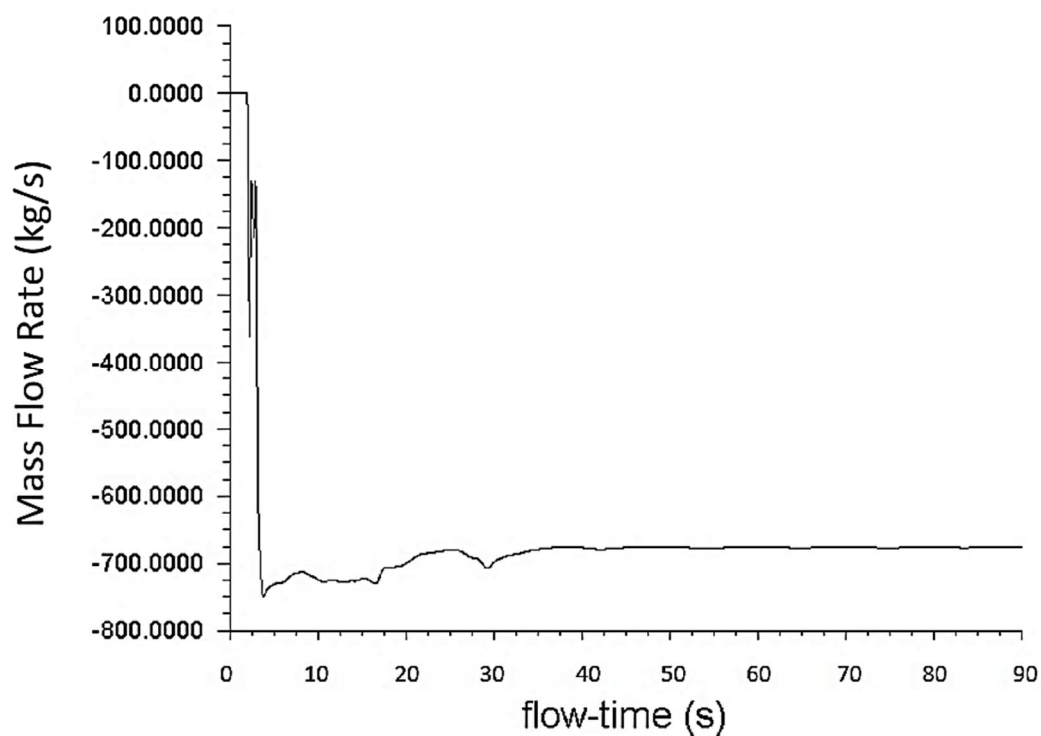


نمودار (۴-۷) مقدار دبی عبوری (خروجی) در حالتی که شیر سمت منی فولد Full Close است





نمودار (۸-۴) مقدار دبی عبوری (خروجی) در حالتی که شیر سمت منی فولد ۱۰٪ Open است



نمودار (۹-۴) مقدار دبی عبوری (خروجی) در حالتی که شیر سمت منی فولد Full Open است

## ۴-۴ $h_f$ اتصالات پیگرانی و افت فشار مایع در جریان آشفته ( $\Delta P_{100}$ )

جدول ذیل نتایج محاسبات  $h_f$  برای سیال در جریان آشفته و ضریب مقاومت  $k$  در شرایط قبل، حین و بعد از گیر کردن و نیز شرایط بهینه است که از نمودارهای (پیوست ر) بدست می‌آید. طبق این ارقام  $h_f$  متناسب با سرعت افزایش می‌یابد لذا کنترل سرعت باعث تعدیل آن شده و با افزودن اتصالات مقدار این افت فشار با تأثیرپذیری از  $k_{total}$  سیر صعودی می‌گیرد. قطعه کاهنده که بین سهرابه و شیر منی فولد قرار دارد هم به پیگ نزدیکتر است و هم بر اساس مقادیر بالا بیشینه ضریب مقاومت  $k$  را در مقایسه با سایر اتصالات دارد که به همین دلیل به عنوان محل خروجی مسیر پیشنهادی انتخاب شده است. (این مطلب در ادامه بحث خواهد شد)

Gate Valve ۱۲" & ۲۶"			Gate Valve ۱۸"		L یا طول معادل (ft)	موقعیت  شیر آلات و اتصالات			
Position valve									
Full close			۱۰% open	Full close					
شرایط بهینه	نرمال شدن پس از توقف	قبل از توقف	حین توقف		k	D			
۰/۲۳۱۸	۰/۲۳۱۸	۰/۲۳۱۸	۰/۲۳۱۸	۰/۲۳۱۸			۲۰	۴۳	diffuser
-	-	-	۰/۱۰۴۰	۰/۱۰۴۰			۸	۸	Gate Valve ۱۲"
۰/۰۹۶۰	۰/۰۹۶۰	۰/۰۹۶۰	-	-			۱۲	۱۲	Gate Valve ۱۸"
-	-	-	۰/۰۸۸۰	۰/۰۸۸۰			۱۶	۱۶/۸۳	Gate Valve ۲۶"
۰/۲۲۰۰	۰/۲۲۰۰	۰/۲۲۰۰	۰/۲۲۰۰	۰/۲۲۰۰			۴۰	۴۱/۶۸	Tee
-	-	-	۰/۱۵۲۰	-			۸	۱/۳۳	Gate Valve ۱۸" (۱۰% open)
۰/۲۲۰۰	۰/۲۲۰۰	۰/۲۲۰۰	۰/۲۲۰۰	۰/۲۲۰۰			۱۷/۵	۱۷/۵	Elbow ۱۲"
۰/۷۶۷۸	۰/۷۶۷۸	۰/۷۶۷۸	۱/۰۱۵۸	۰/۸۶۳۷			K <sub>Total</sub>		
۵/۰۵۵۸	۵/۹۱۸۴	۴/۶۶۸۶	۵/۷۰۸۷	۵/۷۰۸۷			(ft/s)	v	
۱/۵۴۱۰	۱/۸۰۳۰	۱/۴۲۲۳	۱/۷۴۰۰	۱/۷۴۰۰	(m/s)				
۰/۳۰۴۷	۰/۴۱۷۲	۰/۳۶۰۰	۰/۵۱۴۰	۰/۴۳۷۱۰	h <sub>f</sub> (ft)				

جدول (۷-۴)  $h_f$  در حالت آشفته، طول معادل،  $\frac{L}{D}$  و ضریب مقاومت  $k$  (نویسنده)

نتایج افت فشار در هر صد فوت ( $\Delta P_{100}$ ) برای جریان آشفته با استفاده از نمودارهای (ر-۱) و (ر-۲) در جدول (۸-۴) آمده است:

شرایط فرآیند	$Q$		$\Delta P_{100} (psi)$
	$(m^3/hr)$	$(gallon/min)$	
لحظه توقف	۱۴۴۰/۵	۶۳۴۲/۳	۰/۰۵۵۰
قبل از توقف	۱۷۵۳/۹	۷۷۲۲/۲	۰/۰۷۱۰
لحظه رفع توقف	۲۲۲۳/۸	۹۷۹۱/۱	۰/۱۱۵۰
بیشینه حجم لوله ۲۶ اینچ	۱۹۶۸/۶	۸۶۶۷/۵	۰/۰۹۱۰
در شرایط بهینه	۱۸۶۱/۶	۸۱۹۵/۳	۰/۰۸۷۰

جدول (۸-۴) افت فشار در هر صد فوت ( $\Delta P_{100}$ ) در حالت جریان آشفته

## ۴-۵ پیشنهاد مسیر جایگزین برای رفع توقف پیگ در سه راهه

در رانش پیگ (فشار، سرعت و اصطکاک) دخالت دارند .

فشاررانش به دلیل عدم یکسان بودن اندازه فشاردردو طرف پیگ ایجاد شده و قابل تغییر نیست. سرعت نیز به طور مستقیم به دبی وابسته بوده و با معلوم بودن اندازه دبی جریانی به راحتی از رابطه پیوستگی محاسبه می شود و تنها عامل قابل تغییر اصطکاک است.

گوشه ها تنها نقاطی در اتصالات فرایند پیگرانی هستند که تحت تأثیر عامل اصطکاک، بیشترین سرعت را دارا بوده و به خاطر اغتشاش بالا، هم جدایش سیال و هم متمایل شدن ذرات مایع به پشت شیر ۱۸ اینچ منی فولد اتفاق می افتد.

به دلایل ذیل:

أ. کمی باز بودن شیرها، افزایش قابل ملاحظه اتلافات را به دنبال دارد. (۴۹)

ب. حفظ شرایط استاندارد دریافت پیگ

ج. رفع توقف مشابه حالت ده درصد باز بودن شیر منی فولد ؛

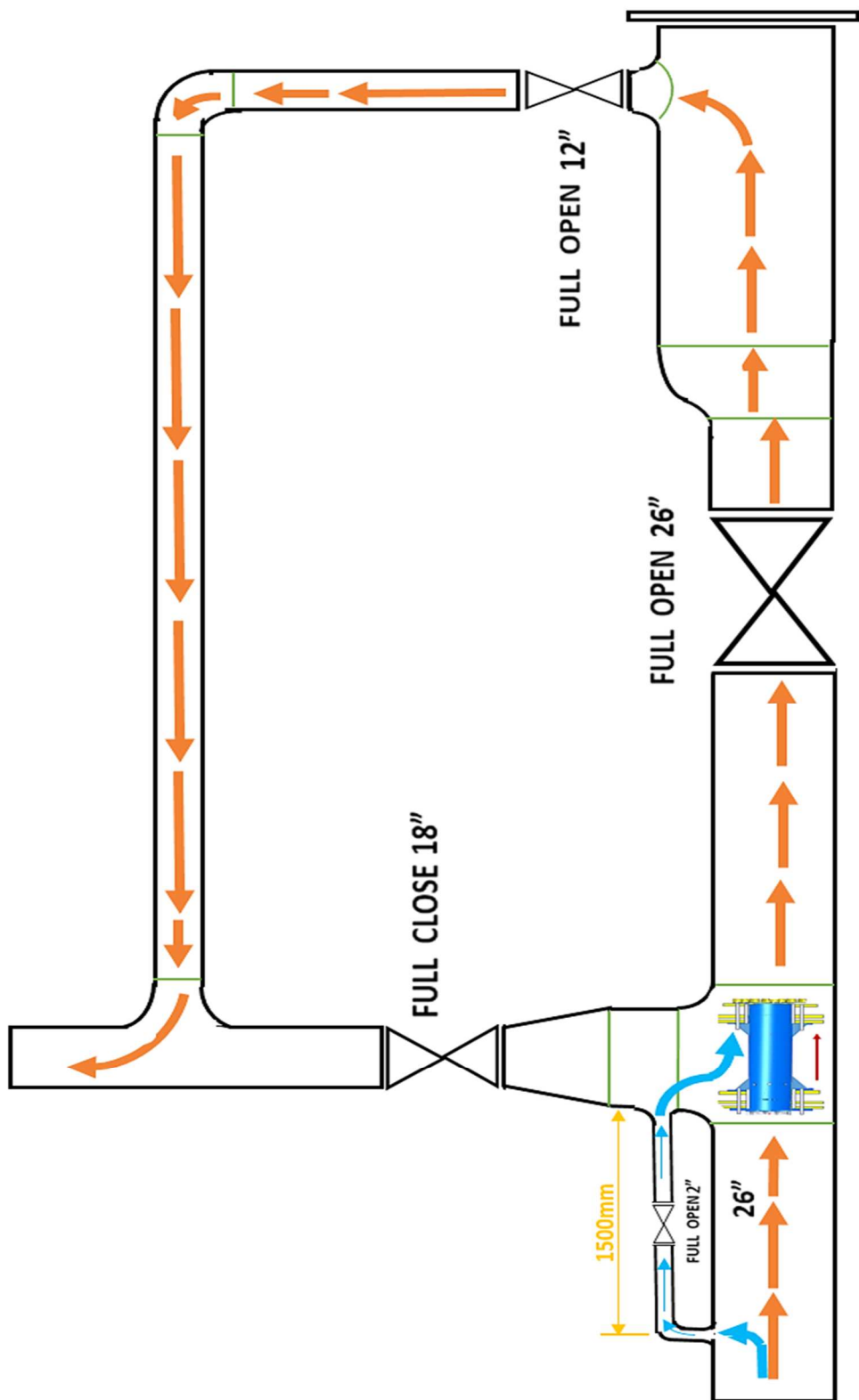
لازم است که از مسیری جایگزین طبق توضیحات ذیل استفاده شود:

شیر ۱۸ اینچی سمت منی فولد به طور کامل بسته می باشد و به دلیل این که طول پیگ ۹۰ سانتی متر است از لوله ای با طولی بیشتر (به طور مثال ۱۵۰ سانتی متر) استفاده می شود؛ زیرا، انتخاب لوله طولانی تر افزایش افت فشار در مسیر جایگزین را دنبال دارد.

این مسیر از ۱۵۰ سانتی متری سه راهه لوله کشی شده و تا نزدیکترین نقطه به گوشه بالایی سه راهه امتداد می یابد.

با توجه به اینکه ده درصد قطر داخلی شیر ۱۸ اینچی معادل ۱۱/۸ اینچ است؛ لذا، قطر لوله ۲ اینچ در نظر گرفته شده و برای کنترل مکانیکال جریان سیال در این مسیر از شیرکشویی ۲ اینچ و یک فشارسنج استفاده می شود.

در شکل (۴-۳۰) محل دقیق این مسیر پیشنهادی مشخص شده است .



شکل (۳۰-۴) محل دقیق مسیر جابگزین

## ۴-۶ بهینه سازی سرعت و دبی

### ۴-۶-۱ سرعت بهینه

پیش‌بینی سرعت مناسب قبل از حرکت پیگ کمک می‌نماید تا پیش از تلاقی، با کنترل فشارجلوآن و کاستن سرعت، از توقف جلوگیری شود. سرعت این دستگاه ابتدا ناگهان به‌طورناپایدار افزایش یافته و سپس با کاهش به صورت نزولی، پس از مدتی به حالت پایدارمی‌رسد.

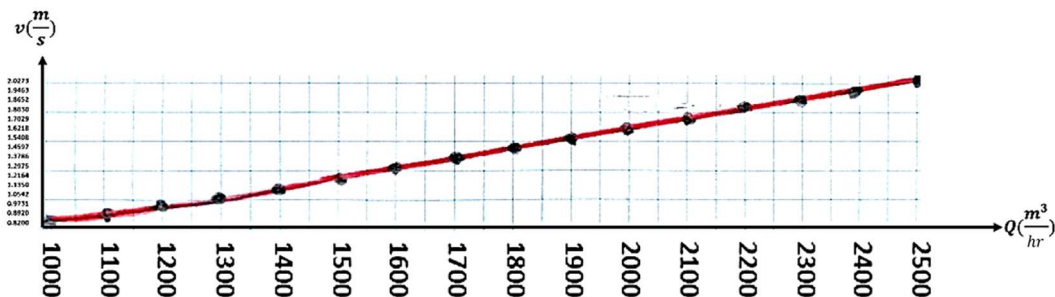
چون سیال تراکم‌ناپذیر است ابتدا باید سرعت متناظر براساس قطرداخلی لوله ۲۶ اینچ دردبی‌های معمول درشرائط مختلف بهره‌برداری، تعیین شود: (مراجعه به پیوست ز) (۲۳)

$$S\left(\frac{m}{s}\right) = (0.00081) Q\left(\frac{m^3}{hr}\right) \quad (4-1)$$

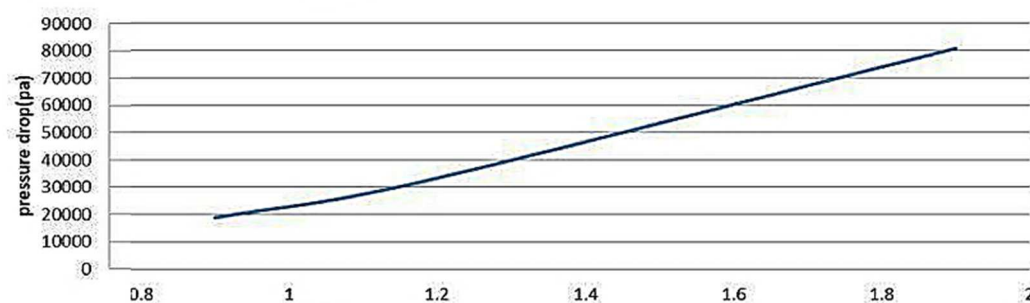
توضیحات	$Q\left(\frac{m^3}{hr}\right)$	$S\left(\frac{m}{s}\right)$
شرائط دبی در محل وقوع حادثه در زمان تغییر فرآورده در مرکز انتقال پائین دستی	۱۰۰۰	۰/۸۱۰۰
	۱۱۰۰	۰/۸۹۰۹
کمترین دبی قابل تصور برای محل وقوع حادثه در حال بهره‌برداری	۱۲۰۰	۰/۹۷۲۰
	۱۳۰۰	۱/۰۵۳۰
	۱۴۰۰	۱/۱۳۴۰
در لحظه گیر کردن پیگ	۱۴۴۰/۵	۱/۱۶۶۸
	۱۵۰۰	۱/۲۱۵۰
	۱۶۰۰	۱/۲۹۶۰
	۱۷۰۰	۱/۳۷۷۰
قبل از گیر کردن پیگ	۱۷۵۳/۹	۱/۴۲۰۸
	۱۸۰۰	۱/۴۵۸۰
مقدار دبی در حالت جابجا نمودن سیال با حداکثر ظرفیت خط	۱۸۵۷/۷	۱/۵۰۴۷
	۱۹۰۰	۱/۵۳۹۰
	۲۰۰۰	۱/۶۲۰۰
بیشترین دبی قابل تصور برای محل وقوع حادثه در حالت بهره‌برداری	۲۱۰۰	۱/۷۰۰
	۲۲۰۰	۱/۷۸۱۹
در لحظه آغاز نرمال شدن خط	۲۲۲۳/۸	۱/۸۰۱۲
	۲۳۰۰	۱/۸۶۳۰
	۲۴۰۰	۱/۹۴۴
در حالت تزریق روان کننده به خط	۲۵۰۰	۲/۰۲۵۰

جدول (۴-۹) سرعت متناظر بادبی (محاسباتی) در شرائط مختلف بهره‌برداری (نویسنده)

طبق جدول (۴-۴) [اعداد و ارقام منتج از محاسبات] ودامنه عملی سرعت (۲-۰/۸) متربر ثانیه انتقال فرآورده درمحل وقوع حادثه؛ نمودار(۴-۱۰) ترسیمی تغییرات سرعت حرکت پیگ، بر اساس دبی [منتج از محاسبات دستی] با نمودار(۴-۱۱) بدست آمده ازحل CFD مطابقت دارد.



نمودار (۴-۱۰) تغییرات سرعت حرکت پیگ، بر اساس اندازه دبی (منتج از محاسبات دستی) (نویسنده)



نمودار (۴-۱۱) تغییرات سرعت حرکت پیگ، طبق افت فشار و طرف آن (منتج از حل CFD)

بیشینه سرعت سیال در حالتی که خط ۲۶ اینچ با بالاترین ظرفیت ممکن فرآورده را انتقال می‌دهد [با این توضیحات و با استناد به جدول (۴-۴)]  $1/5047$  متر بر ثانیه بوده و با توجه به اینکه قبل از توقف پیگ در سه‌راهه سرعت  $1/4208$  متر بر ثانیه می‌باشد؛ با استناد به اندازه سرعت  $1/1740$  متر بر ثانیه در لحظه توقف، مقدار سرعت معقول برای آنکه پیگ در سه‌راهه گیر نکند می‌بایست  $1/4627$  متر بر ثانیه باشد. (رجوع به پیوست ز)

#### ۴-۶-۲ دبی بهینه

با کنترل دبی سیال در رقم (۸/۱۸۰۵ متر مکعب بر ساعت) و با استناد به سرعت ( $1/4627$  متر بر ثانیه)، پیگ در سه‌راهه قبل از تله متوقف نخواهد شد. (رجوع به پیوست ز)

#### ۴-۷ راهکارهای پیشنهادی برای حذف عوامل توقف

۴-۷-۱ استفاده از لوله‌های هدایت کننده خط جریان در سیلندر پیگ

۴-۷-۲ کار بست لایه پوششی نانو در سطحی از کاپ که با دیواره در تماس است.

**فصل پنجم**  
**پیشهادات و دستاوردها**





## ۵-۲ دستاوردها

**۵-۲-۱** مسیر جایگزین، درعمل ضمن تعدیل نیروی وارده به پشت کاپ دوم و همچنین افت فشاردرکاهنده، با هدایت بخشی از سیال ورودی به پشت کاپ اول، ازسرعت گرفتن پیگ در لحظه ورود به تله و آسیب رسانی به درب آن بهطور قابل ملاحظه‌ای جلوگیری می نماید. به عبارتی این مسیر کمک می نماید که بدون دخالت شیر سمت منی فولد کمبود فشاراطراف سیلندر پیگ را جبران نماید و همزمان با اعمال نیرو به پشت پیگ به وسیله سیال جاری درمسیر اصلی، با متعادل شدن فشاردوطرف آن بدون کمترین خسارتی پیگ به سمت تله هدایت شود. این راه حل مجموعه را از کاربست میله‌های استحفاظی درمحل ورودی منی فولد بی نیاز کرده و کمک بسزائی درعبور یکنواخت و مطمئن پیگ از سه راهه می نماید. بهره برداری شیرمنی فولد درحالت ده درصدی بازبودن بندآور در شرائط اضطراری (مانند انتقال فرآورده با دبی پائین) توصیه می گردد.

**۵-۲-۲** سرعت در سیال تراکم ناپذیر در طول مسیر به صورت لحظه ای است ولی در پشت پیگ به صورت متوسط می باشد. پس سرعتی که باعث می شود که پیگ بدون توقف حرکت نموده و به طوریکنواخت از اتصالات بین راهی عبور نماید سرعت متوسط می باشد. دستاورد بهینه سازی سرعت و دبی کنترل جریان داخل لوله از مبداء و کاهش صدمات ناشی از رفتارسیال (ضربه قوچ) برپیگ رانده شده است. حفظ این شرایط بهینه تا مقصد، عبورسالم و بدون خطر پیگ از سه راهه را به همراه دارد.

**۵-۲-۳** تقویت نیروی رانش درپشت کاپ جلویی و رفع توقف با تمرکز نیروی جانبی در بدنه سیلندر پیگ با هدف تامین نیروی شناوری لازم دستاورد پیشنهاد کاربست لوله‌های هدایت کننده خط جریان می باشد.

این راهکار شرائطی مانند بند ۵-۲-۱ را فراهم می نماید؛ با این تفاوت که، در آن نیروی جانبی درون سیلندر متمرکز شده در حالی که در مسیر جایگزین اطراف سیلندر می باشد.

**۵-۲-۴** کاربست لایه پوششی نانو درسطحی ازکاپ که با دیواره در تماس است می تواند از وقوع پدیده سایش دراین فصل مشترک به طورقابل ملاحظه‌ای جلوگیری نماید. دستاورد ترکیب بندهای ۵-۲-۳ و ۵-۲-۴ کاهش تعداد کاپ ها و سبکتر شدن پیگ بلحاظ وزنی و به صفر رساندن احتمال توقف آن هم در سه راهه و هم در طول مسیر می باشد.

## فهرست منابع

- ۱- کاوه، رضا و همکاران، شبیه سازی جریان سیال اطراف پیگ متحرک در لوله با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، دو ماهنامه پژوهش نفت، سال ۲۶، شماره ۸۶، ۱۳۹۵
- ۲- [Www.ioptc.ir](http://Www.ioptc.ir)
- ۳- نرم افزار چند رسانه ای دوره آموزشی آشنایی با شیرهای صنعتی، اداره کل آموزش و تجهیز منابع انسانی شرکت ملی صنایع پتروشیمی
- ۴- [Www.petrosafe.in/pigging.html](http://Www.petrosafe.in/pigging.html)
- ۵ - حیدرزاده، مهدی، دینامیک سیالات محاسباتی کاربردی با ANSYS Fluent، دانشگاهی کیان، تهران، چاپ اول، ۱۳۹۴
- ۶- Booklets Didactic of training Pigging I.O.P.T.C.
- ۷ - دانش مسلک، اشکان، مقدمه ای بر پیگرانی خطوط لوله، تهران، هامش با همکاری نشریه خطوط لوله نفت و گاز، چاپ اول، ۱۳۹۶
- ۸ - رجب، شیرازی، مروری بر شیرهای مورد نیاز در صنعت نفت و استاندارد API<sup>۱۵</sup>، نورنگ، تهران، چاپ اول، مهر ۱۳۹۱.
- ۹- شرکت مهندسی قدس نیرو، برنامه آموزش خط لوله گاز ترش پنجم سراسری، فصل ایمنی و عملیات پیگرانی، شهریور ۱۳۸۸.
- ۱۰- جعفری جوزانی، یاسر [و دیگران]، محاسبات سرانگشتی خط لوله جلد اول، تهران، کیان، چاپ دوم، ۱۳۸۷.
- ۱۱- موحدی، محمد، جزوه پیگرانی، شرکت ملی گاز ایران، مرداد ۱۳۹۴.
- ۱۲- جعفری جوزانی، یاسر [و دیگران]، مدیریت طراحی و اجرای پروژه های خطوط لوله جلد دوم فصل پانزدهم، عملیات Pigging و شناسایی خرابی در خطوط لوله، تهران، چاپ اول، ۱۳۹۵.
- ۱۳- Jay G. Doshi, ((Pigging and Its Techniques)), International Journal of Humanities and Applied Sciences (IJHAS) Vol. ۵, No. ۲, ۲۰۱۶ ISSN ۲۲۷۷ – ۴۳۸۶
- ۱۴- دکتر وطنی، علی وربانی، آرش، پیگرانی هوشمند (مشکلات عملیاتی خطوط لوله انتقال نفت و گاز و راهکارهای عملی برای رفع آن)، انتشارات سازمان جهاد دانشگاهی، چاپ اول، تابستان ۱۳۹۴.
- ۱۵ - T.D. Williamson, Inc. is ISO ۹۰۰۱ Certified. ((Guide to Pigging))
- ۱۶ - [Www.smartpigs.net](http://Www.smartpigs.net)
- ۱۷ - [Www.inpipeproducts.com/product/leak-detection-pigs/](http://Www.inpipeproducts.com/product/leak-detection-pigs/)
- ۱۸ - Douglas Combe & David Hair, ((Problems with Operational Pigging in Low Flow Oil Pipelines)), the SPE Offshore Europe Oil and Gas Conference and Exhibition held in Aberdeen, UK, ۶-۸ September ۲۰۱۱.

- ۱۹ - Robert Davidson & Thomas Redares, ((Pigging for Flow Assurance in Oil and Gas Pipelines)), Offshore World, ۲۲ April - May ۲۰۱۵
- ۲۰ - Liu, Henry, ((Pipeline engineering)), the Taylor & Francis e-Library, ۲۰۰۵.
- ۲۱-Victor C.G.Freitas Et al, PIG Detection with Pressure Transducers, Vol.۵, Issue ۹, September ۲۰۱۶
- ۲۲- سلیمانی دیلمانی، کاوه، اصول طراحی P.F.D. P & I.D، مجتمع فنی عالی نوین پارسیان.
- ۲۳- <http://rahandazi.mihanblog.com/post/۳۱>
- ۲۴- جعفری جوزانی، یاسر [ویدیگران]، مدیریت طراحی و اجرای پروژه های خطوط لوله جلد اول، کیان، چاپ اول، ۱۳۹۵.
- ۲۵- شیخ زاده، بیژن، جزوه پیگ و پیگری، آموزش نیروی انسانی شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۷۸.
- ۲۶- اکبرزاده عمران، سعید، مدرس دوره های حین خدمت و ناظر و عضو کارگروه تخصصی توپک هوشمند شرکت ملی گاز و شرکت ملی گاز ایران و مسئول پژوهش و فناوری منطقه ۹ عملیات انتقال گاز، جزوه پیگری در خطوط لوله.
- ۲۷ - A. denHeijer Et Frictional behaviour of pigs in motion part ۲ & ۳ April ۲۰۱۶
- ۲۸ - اچ.شمز، اروینگ، مکانیک سیالات، فصل ششم، نوپردازان، تهران، چاپ یازدهم، زمستان ۱۳۸۶.
- ۲۹ - موحدی، محمد حسن، اصول اندازه گیری جریان سیالات، شرکت آسیا ابزار دقیق، آبنوس، چاپ دوم، زمستان ۱۳۹۱.
- ۳۰ - چالکش امیری، محمد، اصول مکانیک سیالات، اصفهان، ارکان دانش، چاپ اول زمستان ۱۳۸۹.
- ۳۱ - م. وایت، فرانک، مکانیک سیالات، فصل ششم، جهان فردا، مشهد، چاپ اول، زمستان ۱۳۸۶.
- ۳۲ - ملکی نژاد، حسین، هیدرولیک جریان در خطوط لوله (پمپ ها، شیر ها، کواپتاسیون، ناپایداری)، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ اول، ۱۳۸۹.
- ۳۳ - [www.valvemart.ir](http://www.valvemart.ir)
- ۳۴ - <https://my.all.biz/through-conduit-gate-valve-mv۷-g۳۳۱۰۰>
- ۳۵ - [www.dictionary.abadis.ir](http://www.dictionary.abadis.ir)
- ۳۶ - [www.oildoc.ir](http://www.oildoc.ir)
- ۳۷ - [www.quizlet.com](http://www.quizlet.com)
- ۳۸ - [www.pipingguide.net](http://www.pipingguide.net)
- ۳۹ - روحانی، احمد، انتقال مایعات و طراحی خطوط مایع، بنیاد فرهنگی رضوی، مشهد، فصل شیرآلات و اتصالات، چاپ اول، ۱۳۷۲.
- ۴۰ - [www.industrialvalvestore.com](http://www.industrialvalvestore.com)
- ۴۱ - سازمان مدیریت و برنامه ریزی، معاونت امور فنی، مشخصات فنی عمومی کارهای خطوط لوله آب و فاضلاب شهری، شماره ۳۰۳، ۱۳۸۴.
- ۴۲ - [www.karoonkhozestan.com](http://www.karoonkhozestan.com)
- ۴۳ - جعفری جوزانی، یاسر، محاسبات سرانگشتی خط لوله جلد سوم، تهران، واژگان، چاپ اول، ۱۳۸۷.
- ۴۴ - Y. Nakayama and R. F. Boucher, (( introduction to Fluid Mechanics)), Japan, ۱۹۹۹
- ۴۵ - گروه مؤلفان، مکانیک سیالات و هیدرولیک جلد دوم، فصل ششم، سازمان سنجش و آموزش کشور، تهران، چاپ اول، خرداد ۱۳۹۱.

۴۶ - اکبر زاده عمران، سعید، ناظر و عضو کارگروه تخصصی پیگ هوشمند شرکت ملی گاز، جزوه تکنولوژی پیگرانی در خط لوله .

۴۷ - Aidan O'Donoghue, ((Why pigs get stuck and how to avoid it)), Pipeline Research Limited, Glasgow, UK

۴۸ - فاکس، رابرت دبلیو، مقدمه ای بر مکانیک سیالات، فصل هشتم، نشر کتاب دانشگاهی، تهران، چاپ دهم، ۱۳۸۶.

## پیوست ها

## پیوست الف

حجم مواد در هر کیلو متر از خط ۲۶ اینچ مذکور عبارتست از:

$$ID = OD - (2 \times wall)$$

$$ID = 26" - (2 \times .374") = 25.251" = 0.6414 m$$

یا:

$$V = A \times L$$

$$V = m^3 = 0.323 \text{ litre}$$

به طور تقریبی این مقدار حجم چنین محاسبه می شود:

$$V = \frac{D^2}{4}$$

$$V = \frac{(25.25)^2}{4} = 319 \text{ litre}$$

## پیوست ب

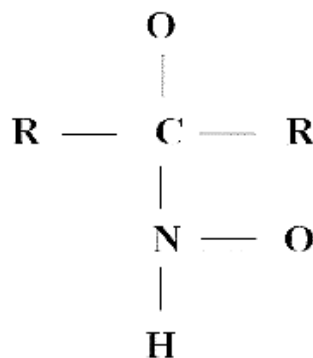
### عایق پلی اورتان

لاستیک‌ها نوعی پلی‌مر<sup>۱</sup> با خاصیت ارتجاعی و کشسانی تا چند برابر طول اولیه هستند و از انواع آنها مانند: نئوپرین<sup>۲</sup>، نیتریل<sup>۳</sup>، اتیلن پروپیلن دایان مونومر<sup>۴</sup>، ویتون<sup>۵</sup>، پلی اورتان<sup>۶</sup> در ساخت کلاهک و صفحات آب بندی<sup>۷</sup> و تیغه‌ها<sup>۸</sup> در صنایع پیگ سازی استفاده می‌شود که پلی اورتان بیشترین کاربرد را داشته و متنوع ترین نوع مواد مصنوعی بشمار می‌آید.

فرمول	درجه حرارت مجاز (C)	ازدیاد طول نسبی (%)	استحکام کششی (MPa)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )	نام علمی	نام تجاری
$\begin{array}{c} \text{O} & & \text{O} \\   & &   \\ -\text{O}-\text{C}-\text{N}-\text{C}_6\text{H}_5-\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2- \\   & &   \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$	-۳۰	۶۵۰	۶۰	۱/۰۵	پلی اتر اورتان (EU)	پلی اورتان
	تا	تا	تا	تا	پلی استر اورتان (AU)	
	۸۰	۷۵۰	۷۰	۱/۲۳	پلی استر اورتان (Polyester urethane)	

جدول (ب-۱) خصوصیات پلی اورتان‌ها

تولید پلی اورتان‌ها به صورت الیافی<sup>۹</sup> و به هم چسبیده<sup>۱۰</sup> است و چون در ترکیب زنجیره مولکولی آنها حلقه زنجیره اورتان<sup>۱۱</sup> وجود دارد به این نام خوانده می‌شوند. با توجه به قابلیت عالی ذخیره سازی انرژی در الاستومرها، دارای خاصیت بازگشت پذیری<sup>۱۲</sup> هستند.



شکل (ب-۱) حلقه زنجیره اورتان در پلی اورتان

<sup>۱</sup> Polymer

<sup>۲</sup> Neoprene

<sup>۳</sup> Nitrile

<sup>۴</sup> EPDM

<sup>۵</sup> Viton

<sup>۶</sup> Polyurethane

<sup>۷</sup> Cups and Disks

<sup>۸</sup> Blades

<sup>۹</sup> Fiber

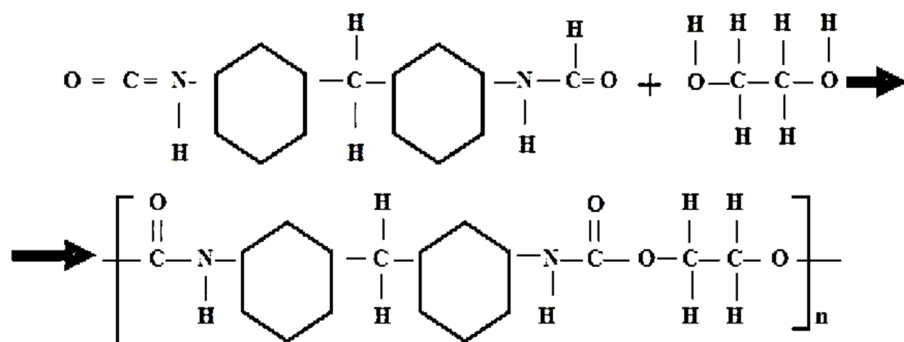
<sup>۱۰</sup> Adhesive

<sup>۱۱</sup> Urethane

<sup>۱۲</sup> Elastomeric

پلی اورتان (ترکیب دی ایزوسیانات<sup>۱</sup> با دی الکل<sup>۲</sup>) با ئیدروژن بسیار بلوری<sup>۳</sup> واکنش داده و برای ایجاد خواص مطلوب در برخی از قطعات دوپلی مری<sup>۴</sup> با ترکیب پلی مرآن با پلی مرهای لاستیکی نرم، قطعه‌ای با خواص لاستیک ترموپلاستیک<sup>۵</sup> تولید می‌شود.

#### 4,4 di Isocyanate di Phenyl Methane Ethylene Glycol



شکل (ب-۲) ساختار پلی اورتان

مزایا :

- نسبت ۱ به ۵۰ مقاومت سایشی<sup>۶</sup> در قطعات با پوشش پلی اورتان و مقاومت عالی در برابر اکسیژن، ازن، نور خورشید و شرائط عمومی آب و هوایی
- مناسب برای ساخت تسمه های گردان<sup>۷</sup>، پوشش غلطک ها<sup>۸</sup>، نشت گیرها<sup>۹</sup>، اتصالات پر قدرت<sup>۱۰</sup>، وصله های جذب شوک<sup>۱۱</sup> و پوشش کابل الکتریکی محدودیت ها و راهکارها:
- کنترل انتشار گازهای کلرو فلورو کربن<sup>۱۲</sup> به عنوان عامل اسفنج ساز<sup>۱۳</sup> در صنایع پلی اورتان با مواد جایگزین دیگری مانند هیدروکلروفلوروکربن<sup>۱۴</sup> در اکثر روش های تولید
- اثرات زیست محیطی دورریز آشغال های اسفنج پلی اورتان بر روی اکوسیستم
- کاهش آتش گیری با افزودن برخی مواد به عایق پلی اورتان (۱۱)

<sup>۱</sup> Di-isocyanate

<sup>۲</sup> Di-alcohols

<sup>۳</sup> Crystalline

<sup>۴</sup> Copolymer

<sup>۵</sup> Thermoplastic Elastomers

<sup>۶</sup> Wear Resistance

<sup>۷</sup> Drive Belts

<sup>۸</sup> Roller Covers

<sup>۹</sup> Gaskets

<sup>۱۰</sup> Heavy Duty Couplings

<sup>۱۱</sup> Shock Pads

<sup>۱۲</sup> CFC

<sup>۱۳</sup> Blowing Agents

<sup>۱۴</sup> HCFC



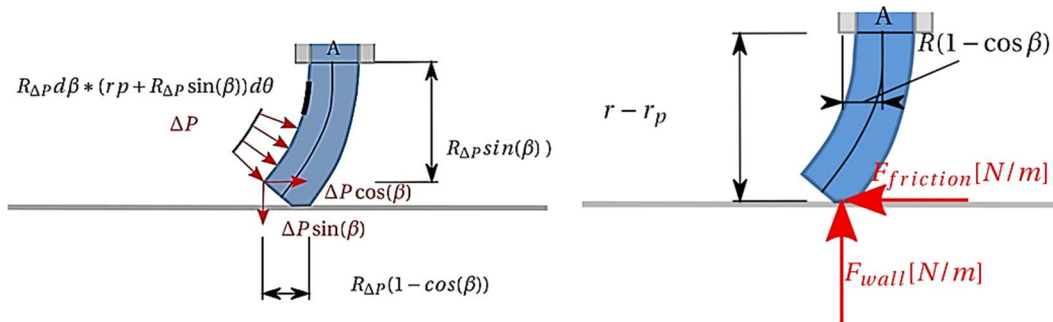
## پیوست ج

### نیروهای خارجی

مؤلفه‌های نیروهای خارجی ناشی از افت فشار بر روی آب‌بند پیگ:

مؤلفه درجهت محور  $x$  (موازی با نیروی دیواره)  $x = \Delta P \sin(\beta)$

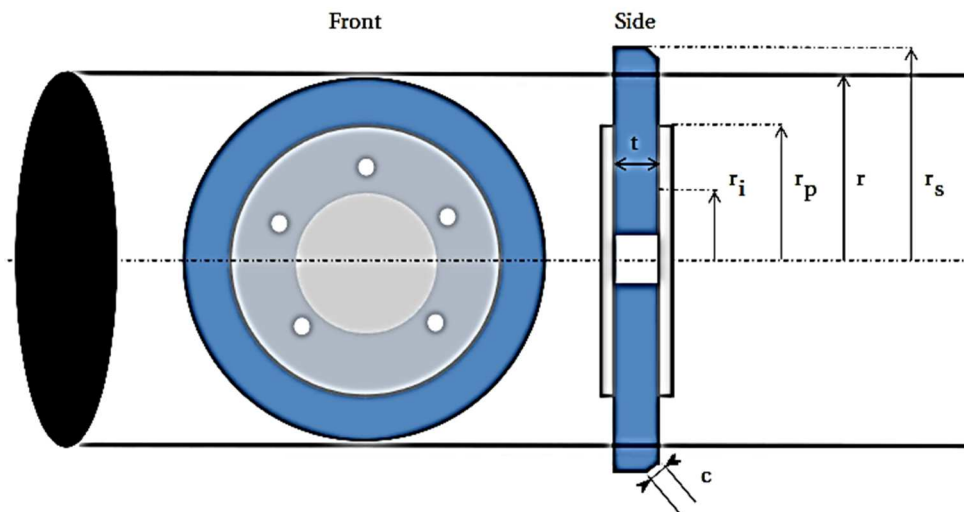
مؤلفه درجهت محور  $y$  (موازی با نیروی اصطکاک)  $y = \Delta P \cos(\beta)$



شکل (ج-۱) نیروهای خارجی و فشاری ایجاد شده به‌طور لحظه‌ای

ضریب اصطکاک عبارتست از:

$$\mu = \frac{F_{friction}}{F_{wall}} \quad (\text{ج-۱})$$



شکل (ج-۲) شعاع‌ها و ضخامت کاپ

مومنتم دیواره و اصطکاک برآیراست با حاصل ضرب نیروی هر کدام در بازوی مماس درآنها:

$$M_w = F_{wall} \left( R(1 - \cos(\beta)) - \frac{t \cos \beta}{\gamma} \right) r d\theta \quad (\text{ج-۲})$$

$$M_f = F_{friction}(r - r_p) r d\theta \quad (\text{ج-۳})$$

$$dA = R_{\Delta P} d\beta \times \left( r_p + (R - \frac{t}{\gamma}) \cos(\beta) \right) \quad (\text{ج-۴})$$

$t$  ضخامت کاپ،  $(r - r_p)$  شعاع اصطکاکی و  $dA$  ناحیه بی‌نهایت کوچک سطح آب‌بنداست.

مؤلفه‌های نیروهای فشاری بر روی آب‌بند پیگ:

$$x = R_{\Delta P} \times (1 - \cos(\beta))$$

$$y = R_{\Delta P} \sin(\beta)$$

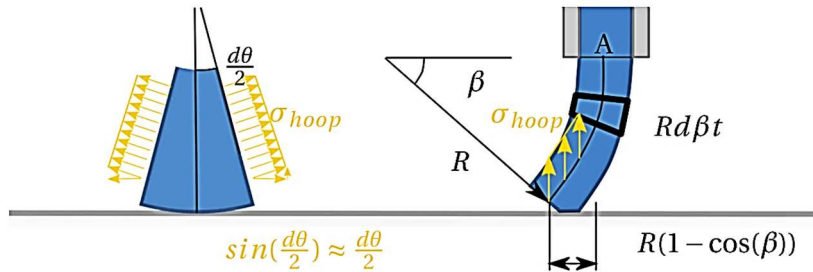
در هر لحظه مومنتوم فشاری با توجه به مؤلفه‌ها و از یکپارچه کردن  $\beta$  بدست می‌آید:

$$M_{\Delta P} = \Delta P R_{\Delta P} d\theta = \left( \frac{R_{\Delta P} \beta}{\gamma} \frac{R_{\Delta P} \times \sin(\gamma \beta)}{\xi} + r_p \times (1 - \cos(\beta)) \right) \quad (5-ج)$$

## نیروهای داخلی

مومنتوم اینرسی<sup>۱</sup> در اطراف نقطه A می‌تواند محاسبه شود:

$$M_c = \left( \frac{E}{R} \right) I = \frac{E t^3 r_p d\theta}{\gamma \xi R} \quad \text{و} \quad I = \int_{\gamma}^t y^3 dy r_p d\theta = \frac{t^3 r_p d\theta}{\gamma \xi} \quad (6-ج)$$



شکل (3-ج) مومنتوم فشردگی در جهت  $\mu$  یا  $M_\mu$

همراه باخمش، آب‌بند در جهت  $\mu$  فشرده می‌شود. هنگامی که فقط اجزای  $\mu$  و  $r$  به دست می‌آید این تنش موسوم به تنش حلقوی است:

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_\theta + \nu \epsilon_r) \quad (7-ج)$$

$\epsilon_\theta$  کرنش محوری و  $\epsilon_r$  کرنش شعاعی است.

$$\epsilon_\theta = \frac{\text{کرنش بعد از تغییرات}}{\text{کرنش قبل از تغییرات}} = \frac{\gamma \pi (\beta R + r_p) - \gamma \pi (R \sin(\beta) + r_p)}{\gamma \pi (\beta R + r_i)} = \frac{\beta - \sin(\beta)}{\beta + r_p/R} \quad (8-ج)$$

نیرو با استفاده از  $\sin \theta \approx d\theta$  به صورت ذیل بدست می‌آید:

$$dA = R t d\beta d\theta \quad \text{و} \quad dF d\theta = \frac{E}{1-\nu^2} \frac{\beta - \sin(\beta)}{\beta + r_p/R} dA \quad (9-ج)$$

اگر  $dF d\theta (1 - \cos(\beta)) = dM$  باشد در نتیجه:

$$dM = \frac{E}{1-\nu^2} \frac{\beta - \sin(\beta)}{\beta + r_p/R} R t (1 - \cos(\beta)) d\beta d\theta \quad (10-ج)$$

پس:

$$M_\theta = \frac{E d \theta R t}{1-\nu^2} \int_0^\beta \frac{\beta - \sin(\beta)}{\beta + r_p/R} (1 - \cos(\beta)) d\beta d\theta \quad (11-ج)$$

زیرا  $M_\theta = \int_0^\beta dF (1 - \cos(\beta)) d\theta$  است. (27)

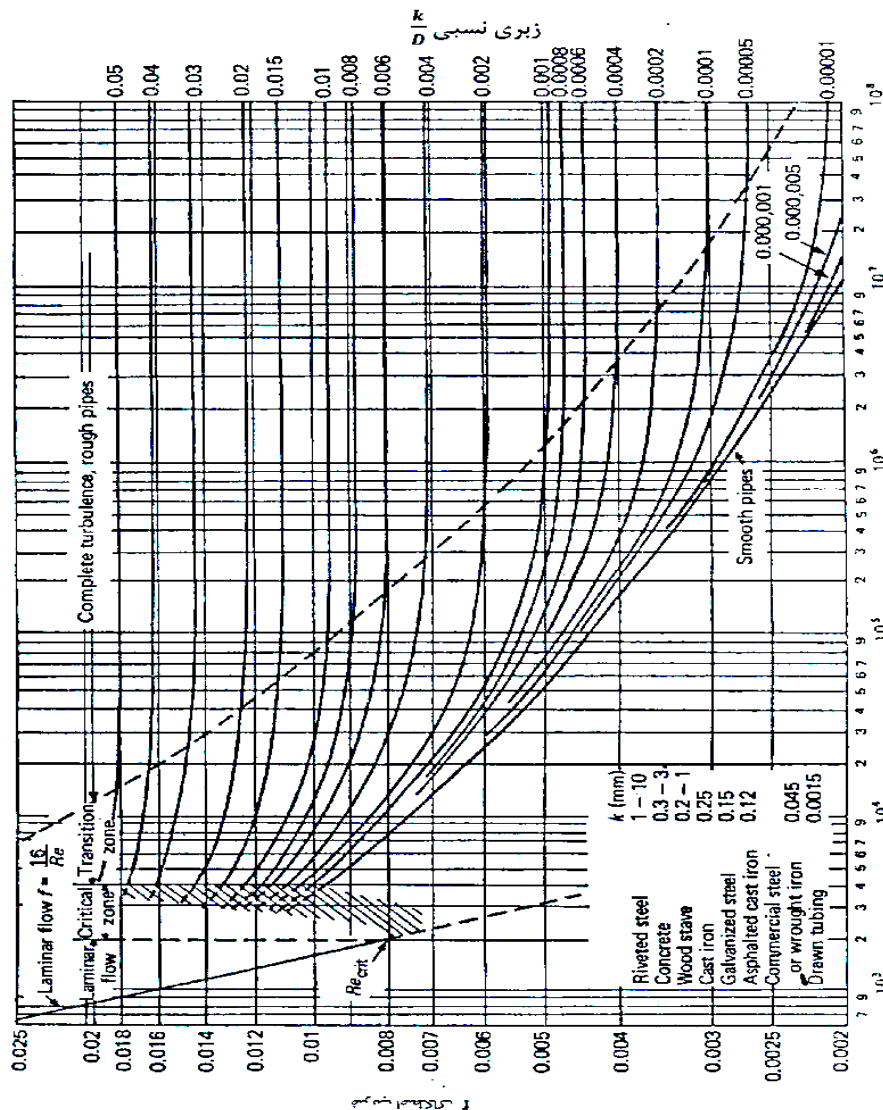
<sup>۱</sup>  $M_{compressive}$  Or  $M_c$

## پیوست د

### نمودار مودی

نمودار مودی متداول ترین روش یافتن ضریب اصطکاک است که از امتداد محل برخورد مقدار زیری نسبی (پارامتر سنجش ناهمواری و ناصافی سطح) و  $Re$ ، به قسمت چپ نمودار بدست می آید. در جریان لایه ای زیری نسبی بی اثر است و براساس جنس لوله از جدول خوانده می شود که با افزایش آن، ضریب اصطکاک [علاوه بر مستقل شدن از شرائط لوله] افزایش می یابد و نیز ضریب اصطکاک طبق رابطه  $f = \frac{64}{Re}$  فقط به  $Re$  وابسته بوده ولی در حالت آشفته این شرائط برقرار نیست.

ضریب اصطکاک فانیگ به صورت  $f = \frac{h_f}{L \frac{U^2}{2g}}$  و ضریب اصطکاک داریسی یک چهارم این مقدار است. (۳۰)



نمودار (د-۱) نمودار مودی و ضریب اصطکاک



## پیوست ذ

آشنائی با برخی معادلات افت فشار خطوط لوله نفت و مشتقات آن			
$\Delta P = \frac{0.241 f s Q^2}{d^5} , \left( \frac{psi}{mile} \right) = \frac{bbl/day}{in}$			
نوع جریان	ضریب اصطكاك [f]	عدد رینولدز اصلاح شده [r]	
جریان ویسکوز (آرام)	$0.00207 \times (L/r)$	$[Re/7,742]^{0.25} r [0.0119 \times (Q/d \times v)]$ $0.1 < r < 0.135$ (جریان ویسکوز آرام) $r > 0.4$ (جریان آشفته درهم) $0.135 < r < 0.4$ (جریان میانی گذرا)	
جریان آشفته (درهم)	$0.0018 + 0.00662 \times (L/r)^{0.355}$		
جریان میانی (گذرا)	$0.0018 + 0.00662 \times (L/r)^{0.355}$		
$\Delta P = \left[ \frac{B \times Z^{0.14} \times S^{0.448}}{0.871 \times K \times d^{2.656}} \right]^{1.812}$ <p style="text-align: center;">&amp;</p> $B = \frac{0.871 \times K \left( \frac{1}{Z^{0.14}} \right) (\Delta P^{0.552} d^{2.656})}{S^{0.448}}$			T.R. Aude. Equ.
$Q = 0.1692 \left( \frac{d^5 \times P}{s} \right)^{0.5} [\log \left( \frac{d^5 \times s \times \Delta P}{Z^2} \right) + 4.35]$			Benjamin miller Equ.
توضیحات			
(سانتی استوکس) ویسکوزیته مطلق Z= (سانتی استوکس) ویسکوزیته سینماتیکی v = ضریب بازده K =			
$\Delta P$ (psi/mile)	$Q$ (bbl/day)	$B$ (bbl/hr)	d (in)

جدول (ذ-۱) روابط افت فشار کاربردی در خطوط لوله و مشتقات آن (۴۳)



## پیوست ر

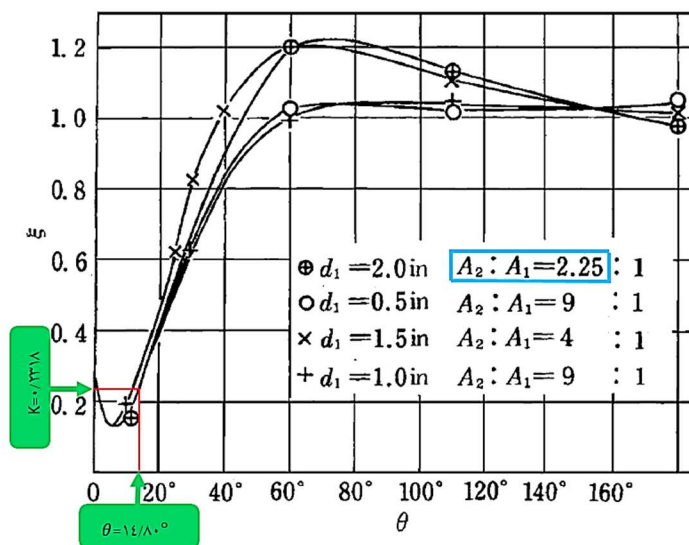
### $h_f$ اتصالات وافت فشار جریان مایع آشفته ( $\Delta P_{1..}$ ) در فرایند پیگرانی

محاسبه  $k$  (ضریب مقاومت شیرآلات و اتصالات):

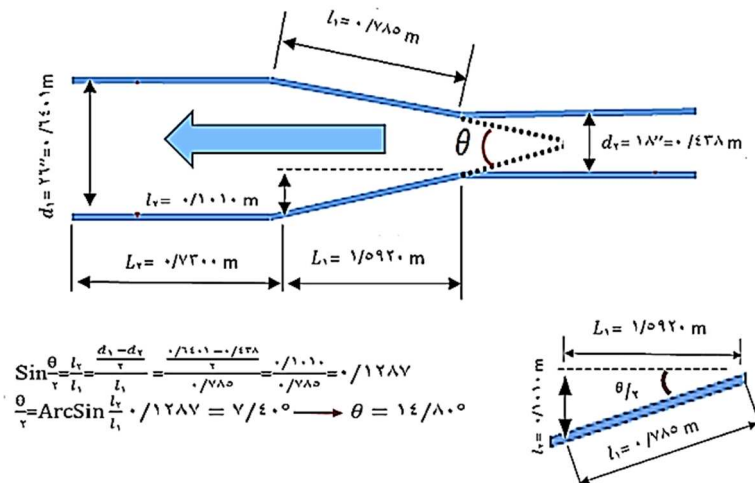
تعیین  $K_{diff}$ :

روش اول (از نمودار ۳-۵):

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{ID_{26}}{ID_{18}} \right)^2 = \left( \frac{0.6413}{0.4445} \right)^2 \cong 2.0815 \text{ و } \theta = 14.80^\circ$$



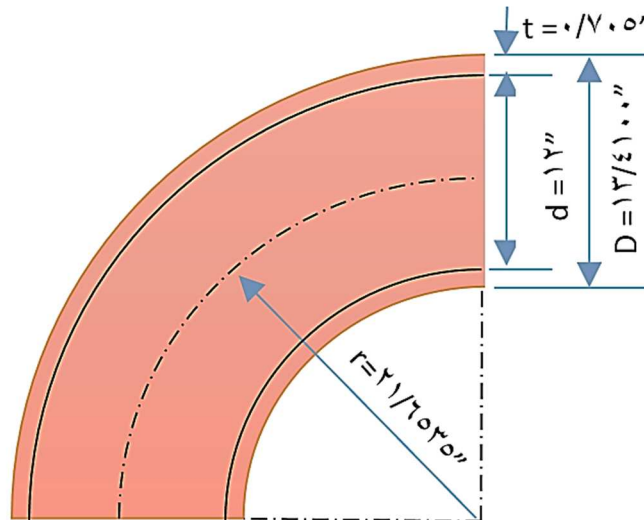
روش دوم:



شکل (ر-۱) یافتن زاویه  $\theta$  برای کاهنده

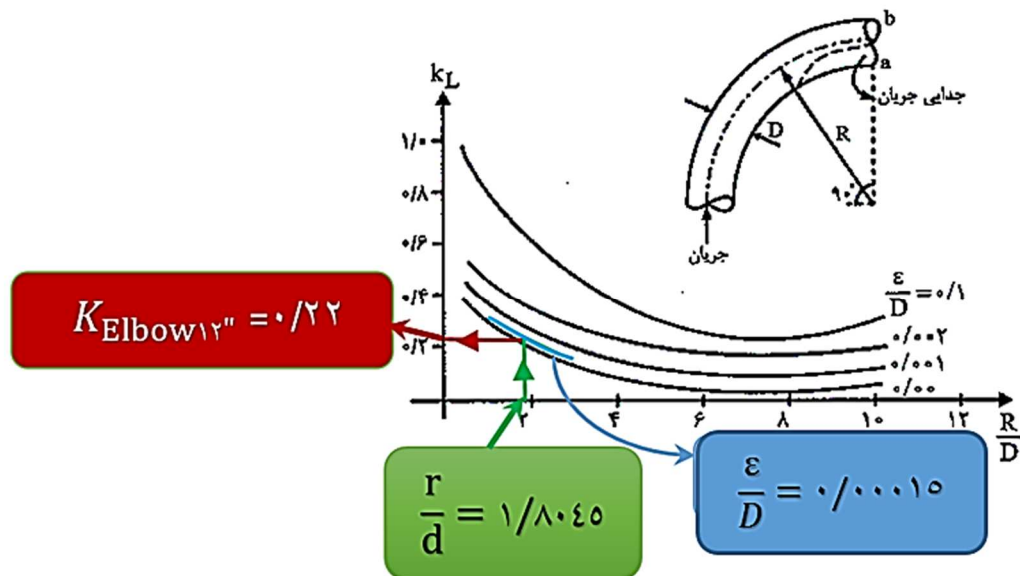
$$\text{If } \theta \leq 45^\circ \rightarrow K_{diff} = \frac{k_1}{\beta^2} = \frac{0.5(\sin \theta / \gamma) \left( 1 - \frac{d_2}{d_1} \right)}{\left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2} = \frac{0.5(0.3213) \left[ 1 - \left( \frac{0.4445}{0.7401} \right)^2 \right]}{\left( \frac{0.4445}{0.7401} \right)^2} = 0.2318$$

تعیین  $K_{\text{Elbow}12}$  :



شکل (ر-۲) مشخصات زانوی ۱۲ اینچ

از شکل (ر-۲) و جدول (۳-۴) مقادیر  $\frac{\varepsilon}{D}$  و  $\frac{r}{d}$  برای زانوئی ۱۲ اینچ به ترتیب ۰/۰۰۰۱۵ و ۱/۸۰۴۵ بدست می آید که در نتیجه از نمودار (۳-۶) ضریب افت جریان زانویی ۰/۲۲ قرائت می گردد:



تعیین  $K_{\text{Gate Valve}18}$  و  $K_{\text{Gate Valve}12}$  و  $K_{\text{Gate Valve}18}$  (۱۰٪ open) و  $K_{\text{Gate Valve}26}$  :

If  $\beta = 1$ ,  $\theta = 0 \rightarrow$  For Gate Valve  $K_1 = \Delta f_T$

( $f_T$ ) For Normal Siz

- $26'' = 0.19 \rightarrow K_{\text{Gate Valve}18} (10\% \text{ open}) = K_{V1} = 0.152$
- $12'' = 0.130 \rightarrow K_{\text{Gate Valve}12} = 0.104$
- $18'' = 0.120 \rightarrow K_{\text{Gate Valve}18} = 0.096$
- $26'' = 0.11 \rightarrow K_{\text{Gate Valve}26} = 0.088$

تعیین  $K_{Tee\gamma\gamma}$  :

$$(Flow\ thru\ run)\ K_{K_{Tee\gamma\gamma}} = 20 \cdot f_T = 20 \times 0.110 = 0.2200$$

محاسبه  $K_{Total}$  و  $h_f$  (بر حسب  $ft$ ) برای حالت‌های مختلف فرایند پیگردانی:

$$h_f = K_{Total} \frac{v^2}{2g}$$

$$K_{Total} = K_{diff} + K_{Gate\ Valve\ 1\frac{1}{2}"} + K_{Gate\ Valve\ 1\frac{1}{2}"} + K_{Gate\ Valve\ 2\frac{1}{2}"} + K_{Tee} + K_{Gate\ Valve\ 1\frac{1}{2}"} (10\% open) + K_{Elbow\ 1\frac{1}{2}"} \\ K_{Total\gamma} = 0.2318 + 0.1040 + 0.880 + 0.2200 + 0.2200 = 0.8638$$

$$K_{Total\gamma} = 0.2318 + 0.1040 + 0.880 + 0.2200 + 0.2200 = 0.8638$$

$$v_{\gamma} = 1.740 \cdot m/s = 5.7087 \cdot ft/s \rightarrow h_{f\gamma} = K_{Total\gamma} \frac{v_{\gamma}^2}{2g} = 0.4370$$

$$K_{Total\gamma} = 0.2318 + 0.1040 + 0.880 + 0.2200 + 0.520 + 0.2200 = 1.0158$$

$$v_{\gamma} = 1.740 \cdot m/s = 5.7087 \cdot ft/s \rightarrow h_{f\gamma} = K_{Total\gamma} \frac{v_{\gamma}^2}{2g} = 0.5140$$

$$K_{Total\gamma} = K_{Total\delta} = K_{Total\phi} = 0.2318 + 0.0960 + 0.2200 + 0.2200 = 0.7678$$

$$v_{\gamma} = 1.740 \cdot m/s = 5.7087 \cdot ft/s \rightarrow h_{f\gamma} = K_{Total\gamma} \frac{v_{\gamma}^2}{2g} = 0.2600$$

$$v_{\delta} = 1.803 \cdot m/s = 5.9154 \cdot ft/s \rightarrow h_{f\delta} = K_{Total\delta} \frac{v_{\delta}^2}{2g} = 0.4172$$

$$v_{\phi} = 1.5410 \cdot m/s = 5.0558 \cdot ft/s \rightarrow h_{f\phi} = K_{Total\phi} \frac{v_{\phi}^2}{2g} = 0.3047$$

با توجه به مقادیر  $k$  برای شیرآلات، اتصالات فرایند پیگردانی و قطر مربوط به آنها از نمودار (ر-۱)، طول‌های معادل  $L$ ، نسبت  $L/D$  استخراج می‌شود:

$$K_{diff} = 0.2318 \rightarrow \frac{L}{D} = 20 \text{ و } L = 43 \cdot ft$$

$$K_{Gate\ Valve\ 1\frac{1}{2}"} = 0.1040 \rightarrow \frac{L}{D} = 8 \text{ و } L = 8 \cdot ft$$

$$K_{Gate\ Valve\ 1\frac{1}{2}"} = 0.0960 \rightarrow \frac{L}{D} = 7/8 \text{ و } L = 12 \cdot ft$$

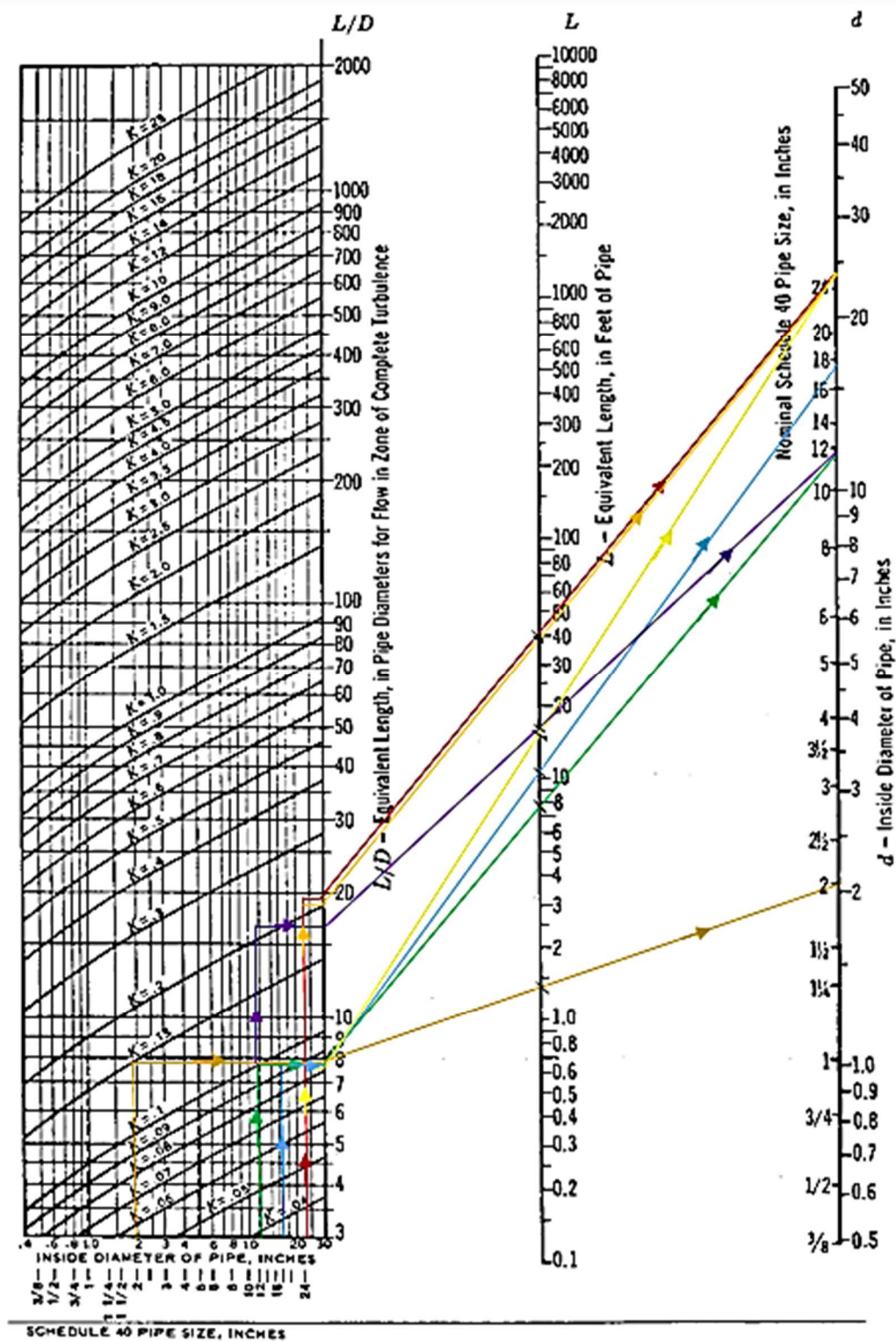
$$K_{Gate\ Valve\ 2\frac{1}{2}"} = 0.880 \rightarrow \frac{L}{D} = 7/7 \text{ و } L = 16 \cdot ft$$

$$K_{Gate\ Valve\ 1\frac{1}{2}"} (10\% open) = K_{\gamma} = 0.520 \rightarrow \frac{L}{D} = 8 \text{ و } L = 10 \cdot ft$$

$$(Flow\ thru\ run)\ K_{Tee\gamma\gamma} = 0.2200 \rightarrow \frac{L}{D} = 18 \text{ و } L = 40 \cdot ft$$

$$K_{Elbow\ 1\frac{1}{2}"} = 0.2200 \rightarrow \frac{L}{D} = 17/5 \text{ و } L = 17/5 \cdot ft$$





نمودار (ر-۱) طول‌های معادل  $L$ ، نسبت  $L/D$  و ضریب مقاومت  $K$  (۴۳)

روش دوم محاسبه طول معادل :

به خاطر شکل خاص اتصالات، افت فشار دقیق درون آنها به راحتی قابل محاسبه نیست. طول معادل برخی اتصالات که در صنعت بکار می روند در جدول (ر-۱) آورده شده است.

Fitting Type	Equivalent Length of pipe
90deg elbow	30D
60deg elbow	25D
45deg elbow	16D
45deg way	60D
Running tee	20D
Branch tee	50D
Gate valve ,full open	8D
Butterfly valve(4" to 14" )	40D
Butterfly valve to $\geq 14"$	30D
Swing check valve	100D
Bull valve full bore full open	3D

جدول (ر-۱) طول معادل اتصالات (D = قطر داخلی) (۱۰)

$$L_{\text{Gate Valve } 12"} = 8 D = 8 ft$$

$$L_{\text{Gate Valve } 18"} = 8 D = 12 ft$$

$$L_{\text{Gate Valve } 24"} = 8 D = 16/83 ft$$

$$L_{\text{Gate Valve } 18"} (10\% \text{ open}) = K_{v"} = 8 D = 1/33 ft$$

$$L_{\text{Tee}} (\text{Flow thru run}) = 20 D = 41/68 ft$$

با یافتن ضریب اصطکاک ۰/۰۱۳۰ از نمودار (ر-۲) برای لوله های تجاری به قطر داخلی ۲۵۰/۲۵ اینچ،

مقدار افت فشار در هر صد فوت ( $\Delta P_{100}$ ) در حالت جریان آشفته با فرض وزن مخصوص  $\frac{m^r}{kg}$  ۸۶۰

برای شرایط مختلف از نمودار (ز-۳) نتیجه می شود:

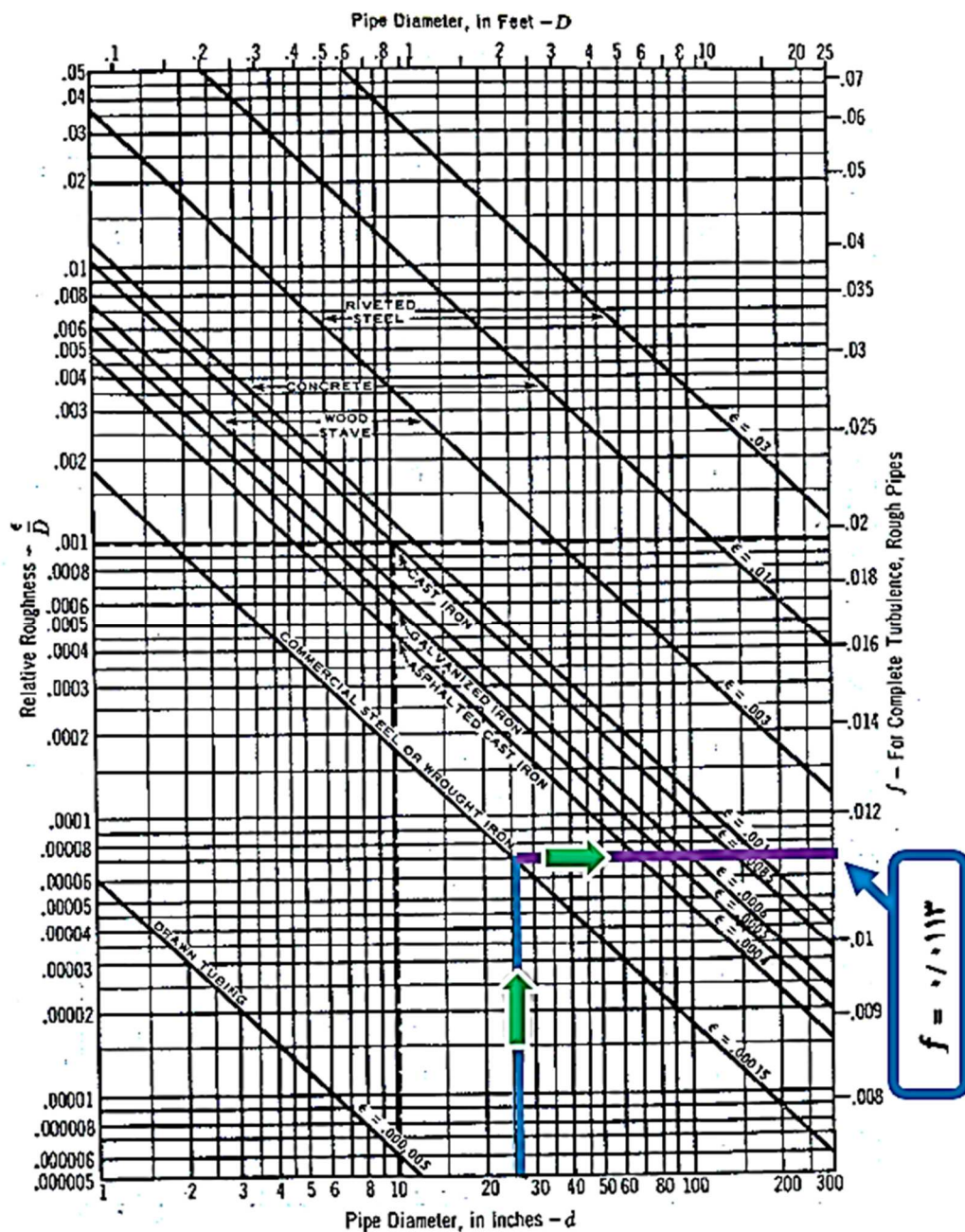
$$Q = 1440/5 \frac{m^r}{hr} = 6342/3 \frac{gallon}{min} \longrightarrow \Delta P_{100} = 0/0550 psi$$

$$Q = 1753/9 \frac{m^r}{hr} = 7722/2 \frac{gallon}{min} \longrightarrow \Delta P_{100} = 0/0710 psi$$

$$Q = 2223/8 \frac{m^r}{hr} = 9791/1 \frac{gallon}{min} \longrightarrow \Delta P_{100} = 0/1150 psi$$

$$Q = 1968/6 \frac{m^r}{hr} = 8667/5 \frac{gallon}{min} \longrightarrow \Delta P_{100} = 0/0910 psi$$

$$Q = 1861/0 \frac{m^r}{hr} = 8195/3 \frac{gallon}{min} \longrightarrow \Delta P_{100} = 0/0870 psi$$



نمودار (ر-۲) زبری نسبی و ضریب اصطکاک لوله در جریان به طور کامل آشفته (۴۳)

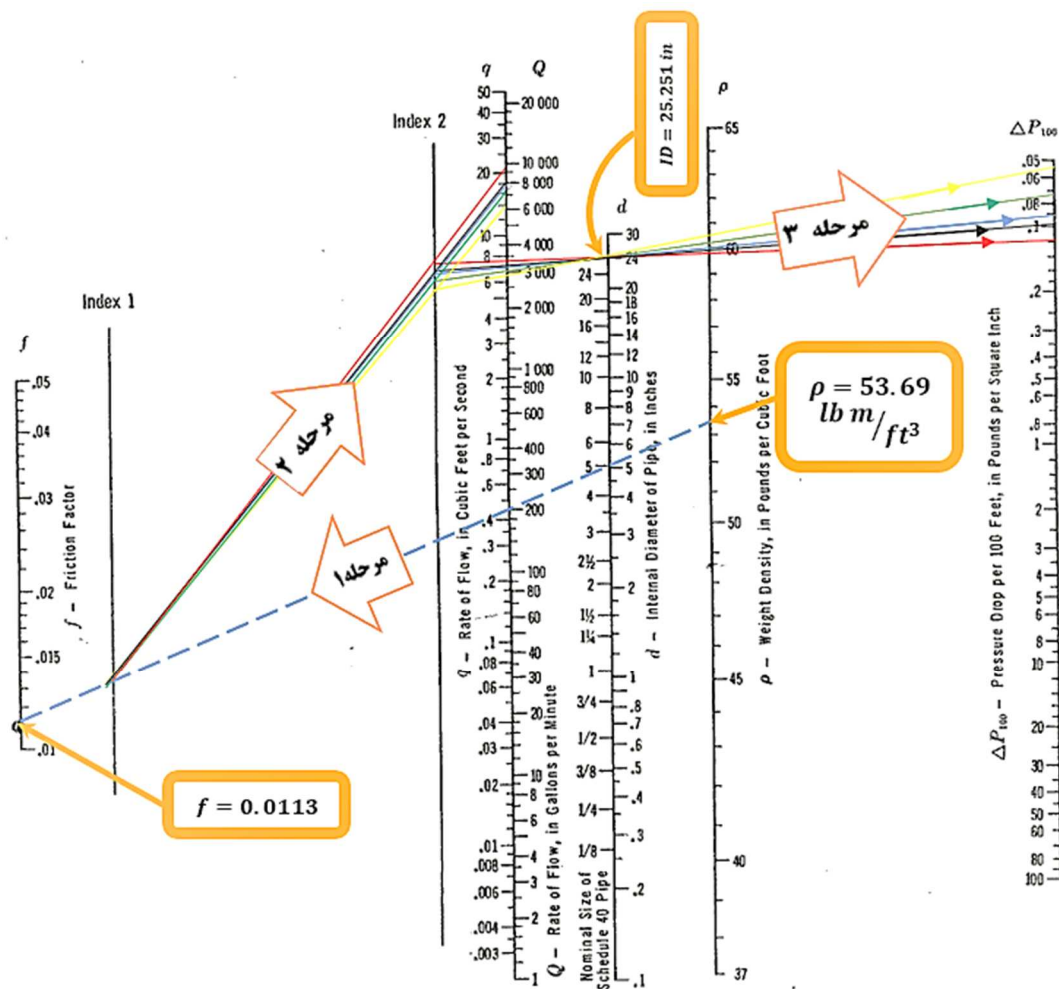
روش دوم یافتن ضریب اصطکاک:

از بخش (۳-۲-۲-۶-۴):

$$(f_T) \text{ For Normal Size } \left\{ \begin{array}{l} 8-10'' = 0.0140 \\ 12-16'' = 0.0130 \\ 18-24'' = 0.0120 \end{array} \right.$$

$$f_T \text{ For } 26-32'' \cong 0.0110$$

با مقایسه اعداد بالا نتیجه می شود که :



نمودار (ر-۳) افت فشار خط لوله برای مایعات در جریان آشفته (۴۳)

## پیوست ز

رابطه  $Q(\frac{m}{hr}) = (0/00081) S(\frac{m}{s})$  که مقدار کل حجم خط لوله بین محل وقوع حادثه و مرکز انتقال نفت پائین دستی آن می باشد به روش های ذیل قابل اثبات است.  
روش اول: از طریق رابطه پیوستگی

$$Q(\frac{m}{hr}) = S(\frac{m}{s}) (\frac{3600s}{1hr}) \times [\frac{(ID)^2 \times \pi}{4}] (m^2) \quad (z-1)$$

$$S(\frac{m}{s}) = \frac{Q(\frac{m}{hr}) [\frac{1hr}{3600sec}]}{[\frac{(\frac{75}{251} \times \frac{2}{04} \times \frac{01}{01})^2 \times \pi}{4}]} (m^2) = (0/00081) Q(\frac{m}{hr})$$

روش دوم: از طریق رابطه سرعت پیگ در مایع (سیستم متریک)

$$S(\frac{m}{s}) = \frac{Q(\frac{litre}{min})}{0/047 \times d^2 (mm^2)} \quad (z-2)$$

$$S(\frac{m}{s}) = \frac{Q(\frac{1litre}{min} \times \frac{10^{-3}m^3}{1litre} \times \frac{60min}{1hr} \times \frac{1hr}{3600s})}{0/047 \times [(\frac{75}{251} \times \frac{2}{04} \times \frac{01}{01})^2] (mm^2) \times \frac{10^{-3}m^3}{1mm^3}} = (0/00081) Q(\frac{m}{hr})$$

روش سوم: از طریق رابطه سرعت براساس قطرداخلی ودبی

$$S(\frac{m}{s}) = \frac{\epsilon \times Q(\frac{m}{hr})}{3600 \times \pi \times (ID)^2 (m^2)} \quad (z-3)$$

$$S(\frac{m}{s}) = \frac{\epsilon \times Q(\frac{m}{hr})}{3600 \times \pi \times ((\frac{75}{251} \times \frac{2}{04} \times \frac{01}{01})^2) (m^2)} \cong (0/00081) Q(\frac{m}{hr})$$

بیشینه سرعت سیال در خط ۲۶ اینچ بین محل وقوع حادثه و مرکز انتقال پائین دستی با تأثیر مستقیم مسافت بین دو مرکز [۱۳۸ km] مشخص می شود:

$$Q_1 = \frac{V}{t} = 1857 \frac{m^3}{hr}$$

با توجه به رابطه (z-۳):

$$S_1 = (0/00081) Q_1 = (0/00081) (1857/7) = 1/5047 \frac{m}{s}$$

سرعت متناظر با توجه به دبی قبل از گیرکردن پیگ ( $Q_2 = 1753/9 \frac{m^3}{hr}$ ) عبارتست از:

$$S_2 = (0/00081) Q_2 = (0/00081) (1753/9) = 1/4208 \frac{m}{s}$$

در نتیجه:

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2} = 1/4627 \frac{m}{s}$$

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = 1805/8 \frac{m^3}{hr}$$

با دبی و سرعت بهینه اخیر می توان از توقف پیگ در تله جلوگیری نمود. (۴۳)(۱۱)

## Abstract

Pigging guarantees durability and improvement of efficiency and span of pipelines, provides safety for neighboring communities and industries and an environmental protector in this transfer chain in accordance with the type of product shipped periodically with scheduling.

Unfortunately, contrary to the advantages mentioned, pig stalling is the main challenge stops the flow and imposes a large and unacceptable cost to the set, and with the achievement of operational and scientific results, its probability reaches zero.

In this research, the field information of the pigging incident was analyzed after collecting in the ANSYS FLUENT software. Subsequently, the output of the software with the prevailing conditions according to the principle of (maintaining standard steps of pigging) was overlapped in the mechanical framework, and ultimately, the latest outcomes have resulted in complete mechanical innovations as well as speed and flood optimization.

The software output was investigated in three stages and the 10% manifold side valve openness was introduced as the first solution. It was then equated with a 100% mechanical design (alternative track) to maintain the standard pigging requirements and to divide the force behind the pig's front cup. In the end, considering the actual flow and speed before and at the moment of stalling, a computational solution for optimal flow and speed was proposed.

Using the pipelines leading the flow line in the cylinder pig can be considered as a way to strengthen the thrust force behind the front cup and avoid suspension.

Using the nanosecond coating layer at the level of the cup that is in contact with the wall can significantly reduce the wear phenomenon in this common area and prevent the breakage of the pigment in the effect of abrasion friction.

### **Keywords:**

Pigging, ThreeWay, Pig Motion Dynamic, pig get stuck, Fluid, Receiver, Launcher





**Energy Institute for Higher Education**  
**Faculty of Engineering**  
**Department Of Mechanical Engineering - Energy Conversion**  
**Thesis For**  
**Degree of Master of Science (M. Sc)**

Title:

**Investigating Practical Solutions for  
Optimization of Pig Movement in a  
Fluidized Tubing to Prevent Pausing in  
the Three Way before Entering the  
Receiver Trap**

Super visor:

**Dr. Ahmad Gharib Garakani - Dr. Hossein Tamim**

Advisor:

**Dr. Heidar Maddah**

By:

**Fazel Ghamari**

**March 2018**

