



دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی

پروژه کارشناسی ارشد

تحلیل و طراحی لوله های کامپوزیتی گاز تحت اثر بارهای محیطی

منطقه خلیج فارس

استاد راهنما

دکتر مهدی سعید کیاست

استاد مشاور

دکتر محمد دقیق

تهیه کننده

سید حمزه آرمن

بهمن ماه ۱۳۸۷



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان نامه  
کارشناسی - ارشد و دکترا

تاریخ:  
شماره:

معاونت پژوهشی  
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: سید حمزه آرمن  
شماره دانشجویی: ۸۵۱۳۰۰۱۰  
دانشجوی آزاد  بورسیه  معادل   
دانشکده: مهندسی کشتی سازی رشته تحصیلی: سازه های دریایی گروه: گروه:

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: دکتر مهدی سعید کیاست  
نام و نام خانوادگی:  
درجه و رتبه: استادیار درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: دکتر محمد دقیق  
نام و نام خانوادگی:  
درجه و رتبه: مدیر دفتر فنی شرکت نفت و گاز پارس درجه و رتبه:

عنوان پایان نامه به فارسی :

تحلیل و طراحی لوله کامپوزیتی گاز تحت اثر بارهای محیطی منطقه خلیج فارس

عنوان پایان نامه به انگلیسی:

Analysis and Design of Composite Gas Pipelines under Environmental Conditions of Persian Gulf

نوع پروژه: کارشناسی  ارشد  دکترا  سال تحصیلی: ۱۳۸۵ نظری  کاربردی  توسعه ای  توسعه ای  بنیادی  بنیادی

تاریخ شروع: ۸۶/۷/۱ تاریخ خاتمه: ۸۷/۱۰/۱۲ تعداد واحد: ۶ سازمان تأمین کننده اعتبار:

واژه های کلیدی به فارسی: لوله های کامپوزیتی گاز، پایداری لوله، کماتش حرارتی لوله، لوله گذاری S-Lay

واژه های کلیدی به انگلیسی: Composite gas pipeline, On-bottom stability, Thermal buckling, S-lay pipe installation.

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات	تصویر <input checked="" type="radio"/> جدول <input checked="" type="radio"/> نمودار <input checked="" type="radio"/> نقشه <input type="radio"/> واژه نامه <input checked="" type="radio"/>	تعداد مراجع	تعداد صفحات ضمیمه
زبان متن	فارسی <input checked="" type="radio"/>	انگلیسی <input type="radio"/>	فارسی <input checked="" type="radio"/> انگلیسی <input type="radio"/>	۰
یادداشت				

نظرها و پیشنهادهای به منظور بهبود فعالیت های پژوهشی دانشگاه

استاد: ایجاد تسهیلات در زمینه امکان انجام تست های آزمایشگاهی و همراستایی تحقیقات دانشگاهی با نیاز های بروز صنایع کشور.

دانشجو: تجهیز و راه اندازی هرچه بیشتر دانشکده ها به آزمایشگاههای مختلف و همچنین حمایت مالی دانشگاه از پروژه های تحقیقاتی بویژه در مقاطع کارشناسی ارشد و دکترا.

امضاء استاد راهنما: دکتر مهدی سعید کیاست تاریخ: ۸۸/۰۱/۲۴

۱: ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان نامه و فرم اطلاعات پایان نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان نامه  
۲: ارائه به کتابخانه دانشکده (شامل دو جلد پایان نامه به همراه نسخه الکترونیکی فرم در لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه مرکزی)  
مرکزی

"انگلیسی ها وقتی پالایشگاه بزرگ آبادان را ساختند،

بر روی در و دیوار محوطه اطراف، تابلوهایی نصب کرده بودند

با این جمله:

«ورود ایرانی ممنوع»

زمان گذشت

نفت ملی شد

و قاعده دیگر شد.

از آن تحقیر تاریخی اکنون رویش جوانه های

امید،

تلاش

و کوشش

ایرانی برای توسعه و آبادانی کشورش را می توان دید.

پارس جنوبی در عسلویه تنها گوشه ای از این توانمندی هاست..."

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان

که در این سردترین روزگاران

بهترین پشتیبان است

و به پاس محبت های بی دریغشان

که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم...

### قدر دانی

بر خود لازم می دانم از زحمات بی دریغ، تلاش های بی وقفه و راهنمایی های کلیه بزرگوارانی که

در مراحل مختلف انجام پروژه بنده را از راهنمایی های خویش بهره مند نموده اند، بویژه اساتید ارجمند **جناب**

**آقای دکتر کیاست و جناب آقای دکتر دقیق** تشکر و قدردانی نمایم.

## چکیده

کشور عزیزمان ایران با برخورداری از حدود ۲۲ هزار کیلومتر خطوط انتقال گاز دارای طولانی ترین شبکه خطوط لوله گاز در خاورمیانه می باشد. لوله های کامپوزیتی تحت فشار به روش الیاف پیچی<sup>۱</sup> ساخته شده که در این روش لایه های یک جهته ارتوتروپیک روی یکدیگر قرار گرفته و لامینیت جداره لوله تشکیل می گردد. تاکنون تحقیقاتی زیادی به منظور بهبود خواص مکانیکی لوله های کامپوزیتی جهت کاربردهای صنعتی انجام شده است، اما با این وجود سابقه زیادی از کاربرد لوله های کامپوزیتی در خطوط انتقال در دریا وجود نداشته و بخش اعظم موفقیت های حاصله در زمینه استفاده از مواد کامپوزیت در صنایع فراساحل، تنها مربوط به کاربرد این مواد در ساخت لوله های انتقال آب و ساخت رایزر در سکوه های استخراج نفت می باشد. فشار زیاد سیال داخلی، فشار هیدرواستاتیکی سیال پیرامون، ممانهای خمشی، نیروهای خارجی نظیر وزن، بویانسی و نیروهای محیطی (نیروهای درگ، اینرسی، لیفت) همراه با بارهای حرارتی گاز عبوری از داخل لوله در شرایط مختلف می بایست در طراحی خطوط انتقال در دریا مد نظر قرار گیرد. این پروژه به امکان سنجی قابلیت جایگزینی لوله های فولادی به وسیله لوله های کامپوزیتی در خطوط انتقال گاز در دریا می پردازد. تعیین پایداری لوله ها در دریا یکی از مسائل مهم طراحی خط لوله می باشد. در بخش اول طراحی، ضخامت پوشش سیمانی مورد نیاز جهت پایداری عمودی و جانبی لوله کامپوزیتی بر مبنای اطلاعات و شرایط محیطی منطقه خلیج فارس، شامل موج، جریان و مشخصات خاک بستر در منطقه لوله گذاری (به منظور تعیین ضریب اصطکاک جانبی خاک) محاسبه گردیده است. در ادامه نوع الیاف و رزین مصرفی در ساخت لوله با توجه به سابقه ساخت این لوله ها (در سایر مصارف) در داخل کشور انتخاب گردیده است. سپس با ایجاد مدل المان محدود لوله کامپوزیتی و انجام آنالیزهای مختلف بر روی مدل با لایه چینی های مختلف و با الگوبری از آنالیزهای انجام یافته بر روی مدل های فولادی خطوط انتقال در بستر دریا (آنالیز دهانه آزاد، آنالیز حرارتی، آنالیز کمانش و آنالیز فرایند نصب لوله ها) و مقایسه نتایج آنالیزها، لایه چینی بهینه لایه های بکار رفته در لامینیت جداره لوله ارائه گردیده است. در ادامه نیز ضمن پیشنهاد روشی مناسب جهت نصب این لوله ها در منطقه خلیج فارس، امکان عملی بودن روش پیشنهادی به کمک مدل سازی المان محدود، فرایند نصب مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت جزئیات لازم در فرایند نصب خط لوله در اعماق مختلف خلیج فارس به کمک انجام آنالیز پیشنهاد گردیده است.

**کلمات کلیدی:** لوله های کامپوزیتی گاز، پایداری لوله، کمانش حرارتی لوله، لوله گذاری S-Lay

<sup>1</sup> Filament winding

## فهرست مطالب

۴	چکیده
۷	فهرست اشکال
۸	فهرست نمودارها
۹	فهرست جداول
۱۰	لیست علائم
۱۳	<b>فصل اول: مقدمه</b>
۱۴	۱-۱-۱ تعریف مسئله
۱۴	۱-۱-۱-۱ کلیات
۱۷	۲-۱-۱ معرفی منطقه پارس جنوبی
۱۸	۳-۱-۱ تکنیکهای ساخت لوله های کامپوزیتی
۲۰	۴-۱-۱ مقایسه لوله های فولاد و کامپوزیت
۲۰	افت فشار و زبری
۲۲	خوردگی و نشت سیال
۲۳	تعمیرات
۲۴	۵-۱-۱ بارهای وارد بر خطوط انتقال گاز در بستر دریا
۲۴	۲-۱-۱ مروری بر تحقیقات پیشین
۲۷	۳-۱-۱ اهداف پایان نامه
۲۷	۴-۱-۱ ساختار پایان نامه
۲۸	۵-۱-۱ فرضیات به کار رفته در پایان نامه
۲۹	<b>فصل دوم: مبانی طراحی خط لوله کامپوزیتی و تئوریهای حاکم</b>
۳۰	۱-۲ مقدمه
۳۰	۲-۲ مواد مرکب برای ساخت لوله
۳۱	۳-۲ انتخاب مواد اولیه در این تحقیق
۳۲	۴-۲ خواص مکانیکی یک لایه تک جهته
۳۴	۵-۲ خواص مکانیکی لامینیت و ارتباط تنش-کرنش لایه های ارتوتروپیک
۳۵	۶-۲ تئوری های شکست لایه تک جهته
۳۶	۷-۲ لایه چینی لایه های کامپوزیت
۳۷	۸-۲ مبنای طراحی
۳۹	۹-۲ آنالیزهای انجام یافته بر روی خط لوله
۳۹	۱-۹-۲ محاسبات پایداری لوله بر روی بستر
۴۰	روابط حاکم بر مسئله
۴۲	شرایط طراحی
۴۲	تکنیکهای ساخت پوشش بتنی
۴۴	۲-۹-۲ محاسبات دهانه آزاد خط لوله
۴۴	نوسانات همراستا و عرضی
۴۵	فرکانس ورتکس شدینگ
۴۵	فرکانس طبیعی خط لوله
۴۶	سرعت کاهش یافته
۴۷	پارامتر پایداری

۴۷	طول مجاز دهانه لوله
۴۸	معیارهای طراحی
۴۸	مراحل محاسبات تئوری طول دهانه آزاد
۴۹	۳-۹-۲ آنالیز حرارتی خط لوله
۵۰	تحلیل انتقال حرارت گذرای سه بعدی خط لوله
۵۲	انبساط حرارتی خط لوله
۵۳	محاسبه انبساط در حالت کلی
۵۴	۴-۹-۲ آنالیز کمانش
۵۵	کمانش جانبی
۵۵	کمانش عمودی
۵۷	نیروهای محرک وقوع کمانش
۶۰	راههای ممکن جهت جلوگیری از کمانش عمودی خط لوله
۶۰	۵-۹-۲ فرایند لوله گذاری در بستر دریا
۶۲	بررسی تنش های نصب در لوله گذاری
۶۳	لوله گذاری به روش S-Lay
۶۵	بررسی لوله گذاری به روش S-lay
۶۸	<b>فصل سوم: مدلسازی نرم افزاری و شرایط مرزی</b>
۶۹	۱-۳ مقدمه
۶۹	۲-۳ تولید مدل لوله جهت انجام آنالیز
۷۲	۳-۳ ساخت مدل جهت آنالیز دهانه آزاد
۷۵	۴-۳ ساخت مدل حرارتی
۷۷	۵-۳ ساخت مدل جهت ایجاد کمانش حرارتی در لوله
۷۹	۶-۳ مدلسازی جداره لوله به صورت ورق ساده جهت تعیین مدول های الاستیسیته
۸۴	۷-۳ مدلسازی فرایند لوله گذاری به روش S-Lay
۹۰	<b>فصل چهارم: ارائه نتایج محاسبات و آنالیز نرم افزار المان محدود</b>
۹۱	۱-۴ محاسبات پایداری خط لوله بر روی بستر
۹۲	فرضیات مسئله پایداری
۹۴	۱-۴-۱ نتایج نهایی محاسبات پایداری لوله
۹۹	۲-۴ بهینه سازی جهات لایه های کامپوزیتی تشکیل دهنده لامینیت جداره لوله
۹۹	۱-۲-۴ طراحی به منظور مقاومت در برابر فشار داخلی و خارجی
۱۰۱	۲-۲-۴ محاسبات دهانه آزاد خط لوله
۱۰۸	۳-۲-۴ اثرات افزایش فشار در لوله
۱۰۹	۴-۲-۴ محاسبه مدول الاستیسیته مؤلفه های ماتریس سختی لوله کامپوزیتی
۱۱۳	۵-۲-۴ نتایج آنالیز حرارتی خط لوله
۱۱۴	نحوه محاسبه ضرایب انتقال حرارت جابه جایی گاز داخل ( $h_i$ ) و سیال پیرامون ( $h_o$ ) لوله
۱۱۶	پارامترهای ورودی مسئله
۱۱۶	نتایج تحلیل دمایی
۱۱۹	۶-۲-۴ نتایج آنالیز کمانش حرارتی لوله
۱۲۳	۷-۲-۴ فرایند نصب خط لوله به روش S-Lay
۱۲۳	نتایج اولیه آنالیز فرایند نصب لوله
۱۲۸	نتایج حاصل از فرایند نصب لوله پس از بهینه سازی المان استینگر لوله

..... ۱۲۹	مقایسه نتایج حاصل از آنالیز فرایند نصب در لایه چینی های مختلف
..... ۱۳۲	۳-۴ تعیین لایه چینی نهایی لوله
..... ۱۳۳	۴-۴ نتایج آنالیز نصب در اعماق مختلف آب و در لایه چینی نهایی خط لوله
..... ۱۳۵	<b>فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری</b>
..... ۱۳۶	۱-۵ مقدمه
..... ۱۳۶	۲-۵ مزایای استفاده از لوله های کامپوزیتی
..... ۱۳۷	۳-۵ معایب لوله های کامپوزیتی
..... ۱۳۸	۴-۵ پیشنهادات
..... ۱۳۹	منابع

### فهرست اشکال

۱۴	شکل ۱-۱ روش لوله گذاری بر روی تکیه گاه ثابت
۱۶	شکل ۲-۱ انواع مختلف خطوط انتقال دریایی
۱۹	شکل ۳-۱ نحوه پیچش الیاف به دور قالب استوانه ای
۳۹	شکل ۱-۲ نیروهای وارد بر خطوط انتقال دریایی
۴۰	شکل ۲-۲ مطالعات خاک بستر در منطقه خلیج فارس
۴۳	شکل ۳-۲ ساخت پوشش بتنی به روش پرتابه ای و به کمک قفسه های پیش ساخته
۴۳	شکل ۴-۲ مکانیزم روش پرتابه ای
۵۲	شکل ۵-۲ المان اسپول در محل اتصال لوله و رایزر
۵۴	شکل ۶-۲ پدیده کمانش در لوله ها بر روی بستر دریا
۵۶	شکل ۷-۲ وقوع کمانش جانبی در خط لوله
۵۸	شکل ۸-۲ نمایش توزیع نیروی داخلی در ناحیه کاملاً محدود خط لوله
۵۹	شکل ۹-۲ توزیع نیروهای داخلی در بخش کمانش یافته لوله
۶۱	شکل ۱۰-۲ لوله گذاری در بستر دریا
۶۳	شکل ۱۱-۲ توزیع نیروهای عکس العمل تکیه گاهی در ناحیه استینگر
۶۴	شکل ۱۲-۲ لوله گذاری به روش S-Lay
۶۵	شکل ۱۳-۲ نمای کلی خط لوله در حین فرایند نصب
۶۵	شکل ۱۴-۲ نیروهای اعمال شده به هر بخش از المان لوله
۶۹	شکل ۱-۳ مدل استوانه به کمک المان حجمی
۶۹	شکل ۲-۳ مدل استوانه به کمک المان پوسته ای
۷۰	شکل ۳-۳ مقطع مدل لوله پس از ایجاد دایره کامل
۷۱	شکل ۴-۳ نمایش orientation برای المانهای مدل المان محدود
۷۲	شکل ۵-۳ ایجاد شرایط مرزی در راستای محور مدل لوله
۷۳	شکل ۶-۳ نحوه انتخاب نودهای انتهایی لوله جهت ایجاد شرایط گیرداری مناسب
۷۳	شکل ۷-۳ نمایی از بارگذاری فشار گاز داخلی و سیال خارجی
۷۴	شکل ۸-۳ بارگذاری نیروهای وزن، بویانسی و لیفت در جهت قائم همراه با نیروهای درگ و اینرسی در جهت افق
۷۵	شکل ۹-۳ نمایی از دهانه آزاد لوله پس از اعمال بارگذاری
۷۷	شکل ۱۰-۳ توزیع حرارت در مقطع طولی و عرضی (المان حجمی) لوله
۷۹	شکل ۱۱-۳ مدل کمانش یافته لوله بر روی بستر
۸۱	شکل ۱۲-۳ نمایش مدل المان محدود مستطیلی
۸۲	شکل ۱۳-۳ نمایش orientation برای المانهای مدل
۸۳	شکل ۱۴-۳ نمایش نیروی اعمال شده به مدل
۸۳	شکل ۱۵-۳ نحوه ایجاد شرایط مرزی تکیه گاهی در مدل



۸۵	شکل ۳-۱۶ Stinger در بارچ لوله گذار
۸۵	شکل ۳-۱۷ ابعاد هندسی Stinger در بارچ لوله گذار
۸۶	شکل ۳-۱۸ مدل سازی المان Stinger در ابعاد و اندازه های آن در بارچ لوله گذار
۸۷	شکل ۳-۱۹ نمایش مدل المان محدود بستر مستطیلی شکل
۸۷	شکل ۳-۲۰ نمای کلی خط لوله و المان Stinger همراه با بستر قبل از انجام آنالیز لوله گذاری
۸۹	شکل ۳-۲۱ فرایند نصب خط لوله
۹۹	شکل ۴-۱ بارگذاری تحت نیروهای فشار داخلی
۱۰۳	شکل ۴-۲ نود ۴ در ابتدای لوله و نود ۳۳۲ در انتهای دهانه لوله
۱۰۵	شکل ۴-۳ نودهای واقع در مقطع عرضی تکیه گاه اول لوله
۱۰۹	شکل ۴-۴ مدلسازی بخش کوچکی از جداره لوله
۱۱۱	شکل ۴-۵ نحوه اعمال نیروی محیطی به مدل
۱۱۲	شکل ۴-۶ نحوه اعمال نیروی طولی به مدل
۱۱۹	شکل ۴-۷ پدیده کمانش جانبی در مدل الان محدود
۱۲۱	شکل ۴-۸ مودهای مختلف کمانش لوله
۱۲۳	شکل ۴-۹ مودهای مختلف کمانش لوله
۱۲۴	شکل ۴-۱۰ نمایی کلی از فرایند لوله گذاری خط لوله
۱۲۴	شکل ۴-۱۱ دهانه آزاد لوله از المان استینگر تا نقطه تماس لوله با بستر
۱۲۶	شکل ۴-۱۲ نماهای مختلف مدل سازی فرایند نصب خط لوله به روش المان محدود
۱۲۷	شکل ۴-۱۳ نما از بغل خط لوله در فرایند نصب و نواحی مربوط به ماکزیمم عدد شکست در نمودار فوق
۱۲۸	شکل ۴-۱۴ نما از بغل المان استینگر سمت راست (قبل از اعمال تغییرات) سمت چپ (بعد از اعمال تغییرات)

### فهرست نمودارها

۲۱	نمودار ۱-۱ تغییر ضریب زبری با گذشت زمان
۲۱	نمودار ۱-۲ مقایسه افت فشار برای دو لوله فلزی و کامپوزیتی در یک پرید ۱۰ ساله
۲۳	نمودار ۱-۳ مقایسه هزینه تعمیرات لوله های فلزی و کامپوزیتی در یک خط انتقال در خشکی
۳۶	نمودار ۲-۱ استحکام جانبی لوله نسبت به زوایای مختلف قرار گیری لایه های تشکیل دهنده
۳۷	نمودار ۲-۲ استحکام طولی لوله نسبت به زوایای مختلف قرار گیری لایه های تشکیل دهنده
۴۶	نمودار ۲-۳ سرعت کاهش یافته بر حسب عدد رینولدز در نوسانات جریانهای عرضی
۴۷	نمودار ۲-۴ سرعت کاهش یافته بر حسب پارامتر پایداری در نوسانات جریانهای همراستا
۵۱	شکل ۲-۵ توزیع دمای سیال گاز در طول لوله به عنوان شرط مرزی برای انتقال حرارت جابجایی
۹۲	نمودار ۴-۱ نیروهای هیدرو دینامیکی در زوایای مختلف فاز موج در عمق ۷۷/۸ متری بر مبنای دیتاهای موج ۱۰۰ ساله
۹۳	نمودار ۴-۲ مقادیر نیروهای هیدرو دینامیکی در زوایای مختلف فاز موج در عمق ۲۰ متری بر مبنای دیتاهای موج ۱۰۰ ساله
۹۳	نمودار ۴-۳ مجموع نیرو های لیفت و درگ در زوایای مختلف فاز موج در عمق ۷۷/۸ متری بر مبنای دیتاهای موج ۱۰۰ ساله
۹۴	نمودار ۴-۴ ضخامت پوشش بتنی لوله کامپوزیتی بر حسب فاکتور اطمینان بر اساس دیتاهای موج و جریان ۱ ساله در عمق ۷۷/۸ متر
۹۵	نمودار ۴-۵ ضخامت پوشش بتنی لوله کامپوزیتی بر حسب فاکتور اطمینان بر اساس دیتاهای موج ۱۰۰ ساله و جریان ۱ ساله در عمق
۹۵	نمودار ۴-۶ ضخامت پوشش بتنی لوله کامپوزیتی بر حسب فاکتور اطمینان بر اساس دیتاهای موج ۱۰۰ ساله و جریان ۱۰ ساله در عمق
۹۶	نمودار ۴-۷ ضخامت پوشش بتنی لوله کامپوزیتی بر حسب فاکتور اطمینان بر اساس دیتاهای موج و جریان ۱ ساله در عمق ۲۰ متر
۹۶	نمودار ۴-۸ ضخامت پوشش بتنی لوله کامپوزیتی بر حسب فاکتور اطمینان بر اساس دیتاهای موج ۱۰۰ ساله و جریان ۱۰ ساله در عمق ۲۰ متر
۹۶	نمودار ۴-۹ ضخامت پوشش بتنی لوله کامپوزیتی بر حسب فاکتور اطمینان بر اساس دیتاهای موج ۱۰۰ ساله و جریان ۱۰ ساله در عمق ۲۰ متر
۹۷	نمودار ۴-۱۰ ضخامت مورد نیاز بتن برای لوله کامپوزیتی در عمق های مختلف
۹۸	نمودار ۴-۱۱ ضخامت مورد نیاز بتن برای لوله فولادی در عمق های مختلف
۱۰۰	نمودار ۴-۱۲ عدد شکست بر حسب زوایای مختلف لایه چینی بر روی یک مسیر نودها از ابتدا تا انتهای لوله
۱۰۲	نمودارهای ۴-۱۳ عدد شکست در حالت ۴۰ متر طول دهانه آزاد در شرایط بهره برداری لوله در زوایای مختلف لایه های

۱۰۵	نمودار ۴-۱۴ عدد شکست بر حسب نودهای واقع بر جداره عرضی لوله در ناحیه تکیه گاه اول لوله
۱۰۵	نمودار ۴-۱۵ عدد شکست بر حسب نودهای واقع روی یک مسیر از ابتدا تا انتهای لوله (نود ۴ تا ۷۸۸) و در شرایط نصب خط لوله
۱۰۶	نمودار ۴-۱۶ عدد شکست بر حسب زمان در لایه های مختلف در نقطه ماکزیمم تمرکز تنش (نود ۴) و در شرایط نصب خط لوله
۱۰۷	نمودار ۴-۱۷ عدد شکست بر حسب زمان در لایه های مختلف در نقطه ماکزیمم تمرکز تنش (نود ۴) و در شرایط نصب خط لوله
۱۰۷	نمودار ۴-۱۸ عدد شکست بر حسب زمان در لایه های مختلف در نود ۴ و در شرایط بهره برداری خط لوله
۱۰۸	نمودار ۴-۱۹ عدد شکست بر حسب زمان در لایه های مختلف در نود ۴ و در شرایط افزایش فشار گاز داخل
۱۰۸	نمودار ۴-۲۰ مولفه اول تنش بر حسب کرنش به ازای افزایش فشار در لوله
۱۱۱	نمودار ۴-۲۱ مقادیر تنش و کرنش به ازای اعمال تنش طولی در لایه های مختلف در نود ۲۴
۱۱۳	نمودار ۴-۲۲ مقادیر تنش و کرنش به ازای اعمال تنش جانبی در لایه های مختلف در نود ۲۱
۱۱۶	نمودار ۴-۲۳ تغییرات ضریب انتقال حرارت جابه جایی گاز داخل لوله بر حسب دما
۱۱۷	نمودار ۴-۲۴ پروفیل حرارتی نودهای واقع بر روی یک مسیر از ابتدا تا انتهای لوله برای نودهای داخلی لوله
۱۱۷	نمودار ۴-۲۵ پروفیل حرارتی نودهای واقع بر روی یک مسیر از ابتدا تا انتهای لوله برای نودهای خارجی لوله
۱۱۷	نمودار ۴-۲۶ پروفیل حرارتی برای هریک از نودهای واقع در ناحیه ابتدا، وسط و انتهای مدل لوله و در ناحیه داخل لوله بر حسب
۱۱۸	نمودار ۴-۲۷ پروفیل حرارتی برای هریک از نودهای واقع در ناحیه ابتدا، وسط و انتهای مدل لوله و در ناحیه خارج لوله بر حسب
۱۱۸	نمودار ۴-۲۸ پروفیل حرارتی گاز عبوری از داخل لوله در طول کل مسیر خط لوله بر مبنای درجه حرارت زمستانه بستر دریا
۱۲۰	نمودار ۴-۲۹ میزان جابه جایی جانبی نودهای واقع بر مسیری از ابتدا تا انتهای لوله در استپ های مختلف زمانی حل مسئله
۱۲۰	نمودار ۴-۳۰ میزان تنشهای طولی ایجاد شده در نودهای واقع بر مسیری از ابتدا تا انتهای لوله در استپ های مختلف زمانی حل
۱۲۱	نمودار ۴-۳۱ میزان جابه جایی جانبی نودهای واقع بر مسیری از ابتدا تا انتهای لوله در استپ های مختلف زمانی حل مسئله
۱۲۱	نمودار ۴-۳۲ تنش های طولی بر حسب زمان در نود ۱۱۵۲
۱۲۲	نمودار ۴-۳۳ تنش های طولی بر حسب زمان در نود ۱۱۵۲
۱۲۲	نمودار ۴-۳۴ تنش های طولی بر حسب زمان در نود ۱۱۵۲
۱۲۷	نمودار ۴-۳۵ نمودار عدد شکست در فرایند نصب در عمق ۴۰ متر و طول دهانه آزاد ۱۵۲ متر
۱۲۸	نمودار ۴-۳۶ نمودار عدد شکست در فرایند نصب در عمق ۴۰ متر و طول دهانه آزاد ۱۵۲ متر
۱۲۹	نمودار ۴-۳۷ عدد شکست بر حسب زمان در لایه های مختلف در نقطه ماکزیمم تمرکز تنش در طول مسیر خط لوله
۱۳۱	نمودارهای ۴-۳۸ عدد شکست بر حسب نودهای واقع بر مسیری از ابتدا تا انتهای لوله به ازای لایه چینی های مختلف
۱۳۲	نمودارهای ۴-۳۹ عدد شکست بر حسب نودهای واقع بر مسیری از ابتدا تا انتهای لوله به ازای لایه چینی های مختلف
۱۳۳	نمودار های ۴-۴۰ عدد شکست در طول لوله در فرایند نصب در اعماق مختلف

## فهرست جداول

۲۲	جدول ۱-۱ عوامل موثر در بروز عیب در خط لوله
۳۲	جدول ۱-۲ خواص الیاف و رزین به کار رفته در ساخت مدل نرم افزاری
۳۴	جدول ۲-۲ خواص مکانیکی تک لایه یک جهت با ترکیب خواص الیاف و رزین مصرفی
۳۴	جدول ۲-۳ مقادیر استحکام نهایی هریک از لایه ها در این پروژه
۳۹	جدول ۲-۴ جنس خاک در فواصل مختلف نسبت به ساحلدر خلیج فارس
۴۲	جدول ۲-۵ ضرایب هیدرونیامیکی بر اساس مشخصات موج و جریان در منطقه [10]
۹۱	جدول ۴-۱ دیتاهای موجود در منطقه خلیج فارس
۹۵	جدول ۴-۲ کمترین ضخامت سیمان مورد نیاز در عمق ۷۷/۸ متر
۹۷	جدول ۴-۳ کمترین ضخامت سیمان مورد نیاز در عمق ۲۰ متر
۹۸	جدول ۴-۴ ضخامت پوشش بتنی لوله فولادی در اعماق مختلف در پروژه فاز ۱۱ پارس جنوبی
۹۹	جدول ۴-۵ زوایای مختلف مورد استفاده در هر لایه (درجه)
۹۹	جدول ۴-۶ شرایط طراحی فشار
۱۰۰	جدول ۴-۷ مشخصات هندسی هریک از لایه چینی های فوق
۱۰۳	جدول ۴-۸ مشخصات لایه چینی های به کار رفته در فوق

۱۰۳	جدول ۴-۹ حداکثر طول دهانه آزاد قابل تحمل لوله در لایه چینی های مختلف در شرایط نصب لوله (بدون فشار گاز داخلی)
۱۰۳	جدول ۴-۱۰ حداکثر طول دهانه آزاد قابل تحمل لوله در لایه چینی های مختلف در شرایط بهره برداری لوله (با فشار گاز داخلی)
۱۱۵	جدول ۴-۱۱ نتایج محاسبات ضریب انتقال حرارت سیال خارجی
۱۱۵	جدول ۴-۱۲ نتایج محاسبات ضریب انتقال حرارت گاز داخل
۱۱۶	جدول ۴-۱۳ پارامترهای ورودی مسئله دمایی
۱۲۲	جدول ۴-۱۴ میزان تنش های طولی در هر لایه چینی و در لحظه وقوع کمانش (نود ۱۱۵۲)
۱۲۵	جدول ۴-۱۵ گزارش نصب خط لوله در عمق ۷۱/۵ متری آب در پروژه فاز ۱۱ پارس جنوبی
۱۳۲	جدول ۴-۱۶ مقادیر ماکزیمم عدد شکست در لایه چینی های مختلف فرایند نصب
۱۳۴	جدول ۴-۱۷ جزئیات دقیق فرایند نصب در اعماق مختلف
۱۳۴	جدول ۴-۱۸ نتایج عملی فرایند نصب خط لوله ۳۲ اینچی در اعماق مختلف پروژه فاز ۱۱ پارس جنوبی

### لیست علائم

FRP	لوله های فایبر گلاس
GER	لوله های فایبر گلاس
CRLP	لوله های فلزی مسلح با فایبر گلاس
PE	لوله های پای اتیلنی
$K_s$	زبری سطح
$K_i$	زبری سطح ناشی از تشکیل لایه مرزی
$K_d$	زبری ناشی از اتصالات
D	قطر لوله
$V_f$	درصد حجمی الیاف
$V_m$	درصد حجمی رزین
$E_L$	مدول الاستیسیته طولی
$E_{11}$	مدول الاستیسیته طولی
$E_T$	مدول الاستیسیته عرضی
$E_{22}$	مدول الاستیسیته عرضی
$E_{33}$	مدول الاستیسیته در جهت قائم (شعاعی)
$E_f$	مدول الاستیسیته الیاف
$E_m$	مدول الاستیسیته رزین
$V_f$	ضریب پواسون الیاف
$V_m$	ضریب پواسون رزین
$G_m$	مدول برشی الیاف
$G_m$	مدول برشی رزین
$S_{Lt}$	استحکام طولی کششی
$S_{Lc}$	استحکام طولی فشاری
$S_{Tt}$	استحکام عرضی کششی
$\sigma$	مؤلفه تنش
$\gamma$	مؤلفه کرنش برشی
$\tau$	مؤلفه تنش برشی
$\epsilon$	مؤلفه کرنش
$C$	مؤلفه ماتریس سختی
$\bar{Q}$	مؤلفه ماتریس سختی در مختصات هندسی
$X_t$	مقاومت کششی در جهت الیاف

$X_c$	مقاومت فشاری در جهت ایاف
$Y_t$	مقاومت کششی در جهت عمود بر ایاف
$Y_c$	مقاومت فشاری در جهت عمود بر ایاف
$S$	مقاومت برشی لایه
$S_F$	فاکتور اطمینان
$B$	نیروی بویانسی
$W_S$	نیروی بویانسی لوله
$C_S$	مقاومت برشی خاک بستر
$F_W$	فاکتور کالیبراسیون
$F_L$	نیروی لیفت
$\mu$	ضریب اصطکاک خاک بستر
$F_D$	نیروی درگ
$F_I$	نیروی اینرسی
$\rho_w$	دانسیته آب دریا
$C_L$	ضریب نیروی لیفت
$C_D$	ضریب نیروی درگ
$C_M$	ضریب نیروی اینرسی
$U_S$	سرعت افقی ذرات سیال
$U_C$	سرعت جریان
$A_S$	شتاب افقی ذرات سیال
$U_r$	سرعت کاهش یافته
$K_s$	پارامتر تعادل
$f_s$	فرکانس ورتکس شدینگ
$R_e$	عدد رینولدز
$V_k$	ویسکوزیته سینماتیکی
$C_e$	ثابت تکیه گاهی
$M_e$	جرم مؤثر
$L_s$	طول مؤثر لوله
$f_n$	فرکانس طبیعی دهانه لوله
$I$	ممان اینرسی سطح مقطع لوله
$M_p$	جرم واحد طول خط لوله
$M_c$	جرم واحد طول محتویات لوله
$M_a$	جرم افزوده
$\delta_s$	کاهش لگاریتمی دمپینگ سازه ای
$L_c$	طول مجاز دهانه لوله
$u$	سرعت جریان داخل لوله
$A_c$	مساحت سطح مقطع عرضی لوله
$C_v$	گرمای ویژه عبوری از داخل لوله در حجم ثابت
$\dot{m}$	آهنگ جریان جرمی
$h_i$	ضریب انتقال حرارت جابه جایی سیال داخل لوله
$h_o$	ضریب انتقال حرارت جابه جایی سیال خارج لوله
$T_s$	درجه حرارت سیال در سطح لوله
$v$	حجم مخصوص سیال

$C_p$	گرمای ویژه عبوری از داخل لوله در فشار ثابت
$f$	نیروی اصطکاک طولی
$\alpha$	ضریب انبساط حرارتی
$F_T$	نیروی ناشی از دما
$F_{end}$	نیروی محوری به خاطر اثر سرپوشهای انتهایی
$Sh$	مینیمم تنش جانبی لوله
$\Delta$	جابجایی در انتهای آزاد لوله
$t$	ضخامت جداره لوله
$T_R$	تنش پسماند
$N_e$	نیروی محرک وقوع کماتش
$Z$	فاصله ای که لوله اجازه انبساط را دارد
$T_H$	نیروی افقی وارد به خط لوله
$T_v$	نیروی عمودی وارد به خط لوله
$R$	شعاع خمش لوله
$a$	شعاع خمش لوله
$Nu_x$	عدد ناسلت
$k$	ضریب انتقال حرارت رسانشی
$Pr$	عدد پرتل
$\varphi \omega$	زاویه اولیه خط مماس بر لوله در ناحیه بعد از تماس لوله با استینگر بارج لوله گذار

## فصل اول: مقدمه

### ۱-۱ تعریف مسئله

۱-۱-۱ کلیات

۲-۱-۱ معرفی منطقه پارس جنوبی

۳-۱-۱ تکنیکهای ساخت لوله های کامپوزیتی

۴-۱-۱ مقایسه لوله های فولاد و کامپوزیت

افت فشار و زبری

خوردگی و نشست سیال

تعمیرات

۵-۱-۱ بارهای وارد بر خطوط انتقال گاز در بستر دریا

۲-۱ مروری بر تحقیقات پیشین

۳-۱ اهداف پایان نامه

۴-۱ ساختار پایان نامه

۵-۱ فرضیات به کار رفته در پایان نامه

## ۱-۱ تعریف مسئله

### ۱-۱-۱ کلیات

انتقال سیالاتی از قبیل نفت، گاز، پسابهای صنعتی و فاضلابهای شیمیایی و شهری یکی از بنیادی ترین نیازهای زیرساختاری عصر حاضر است. اهمیت خطوط انتقال آنقدر می باشد که از آنها به عنوان شریانهای حیاتی یاد می کنند چرا که در چرخه صنایع و تولید به وسیله همین خطوط است که مواد مورد نیاز مجموعه های صنعتی جریان یافته و به مقصد از پیش تعیین شده می رسد.



شکل ۱-۱-۱ روش لوله گذاری بر روی تکیه گاه ثابت

کشور عزیزمان ایران با برخورداری از حدود ۱۴ هزار کیلومتر خطوط انتقال نفت و بیش از ۲۲ هزار کیلومتر خطوط انتقال گاز دارای طولانی ترین شبکه خطوط لوله نفت و گاز در خاورمیانه می باشد. طرح های در دست طراحی و اجرای خط لوله در ایران (خطوط اصلی انتقال گاز و خطوط متعدد انتقال نفت خام و فراورده های نفتی) کشور ایران را به مهد صنعت لوله سازی و اجرای طرح های خط لوله در منطقه خاورمیانه و یکی از مهمترین کشورهای دنیا از این نظر تبدیل کرده است. از سوی دیگر شرایط منحصر به فرد ایران از نظر حجم منابع هیدروکربوری و همچنین جایگاه کشورهای همسایه و منطقه خاورمیانه، ایران را به شاهراه انتقال انرژی و نقطه اتصال منابع انرژی خاورمیانه و کشورهای منطقه به بازارهای اروپا و آسیای جنوب شرقی مبدل نموده است.

سیستم های خطوط لوله به خصوص انتقال گاز، در شرایط فیزیکی و شیمیایی بستر دریا باید پاسخگوی نیازهای اساسی از قبیل تحمل فشارهای زیاد، بارهای ناشی از تنشهای حرارتی ایجاد شده به واسطه دمای سیال داخل آن و همچنین تحمل نیروهای ناشی از ضربه در اثر لنگرکشتی ها و از همه مهمتر مسئله خوردگی مواد باشند. خوردگی ناشی از سیال پیرامون این لوله های مغروق و همچنین امواج الکتریکی سرگردان در محیط اطراف لوله عواملی هستند که باعث پوسیدگی جداره بیرونی لوله های فولادی در طول زمان می گردند و بدین ترتیب عمر مفید لوله را کاهش می دهد.

از سوی دیگر محیط اسیدی به وجود آمده درون لوله به واسطه انتقال گازهای خورنده درون آن باعث پوسیدگی داخلی جداره لوله می شود، که این مسئله نیز به همراه مشکل سایش مواد با جداره داخلی لوله عامل موثر دیگری برای کاهش عمر مفید لوله می شود. امروزه، فناوریهای جدید در روش ساخت لوله امکان کسب عملکرد بهتر با هزینه کمتر را فراهم کرده است. بدین ترتیب گونه ای از لوله طراحی و تولید شده است که بتواند با مقاومت زیاد خود در برابر مسئله خوردگی این معضل را کمرنگ کند. این نوع لوله از گونه لوله های پلیمری هستند که با ایفای شیشه مسلح شده اند<sup>۱</sup>. از ویژگی های بسیار برجسته این نوع لوله ها این است که به دلیل سبکی وزن به راحتی جابه جا و نصب گشته و به علت صیقلی بودن زیاد جداره داخلی آن سیال درونی را با کمترین افت فشار جریان میدهند. مزیت های فراوان اینگونه لوله ها باعث شده تا در نقاط مختلف جهان از این نوع لوله به عنوان یکی از نخستین گزینه ها جهت شریانهای زیرساختاری استفاده شود.

در یک تعریف کلی انواع مختلف خطوط انتقال دریایی شامل خطوط جریان<sup>۲</sup> (لوله هایی با قطر کوچک جهت رساندن نفت خام از سر چاه به تجهیزات جداسازی، تولیدی و یا ایستگاههای فشار)، خطوط صادرات<sup>۳</sup> (خطوطی جهت انتقال تولیدات هیدروکربنی)، خطوط انتقال داخل میدان<sup>۴</sup> (لوله های انتقال نفت و گاز و آب مابین تاسیسات فرا ساحلی در یک منطقه محدود) و خطوط انتقال<sup>۵</sup> (جهت هدایت و انتقال مقدار زیاد نفت یا گاز، مابین سازه های فرا ساحلی و ساحل) می باشند [10].

---

<sup>1</sup> Glass Reinforced Plastic (GRP)

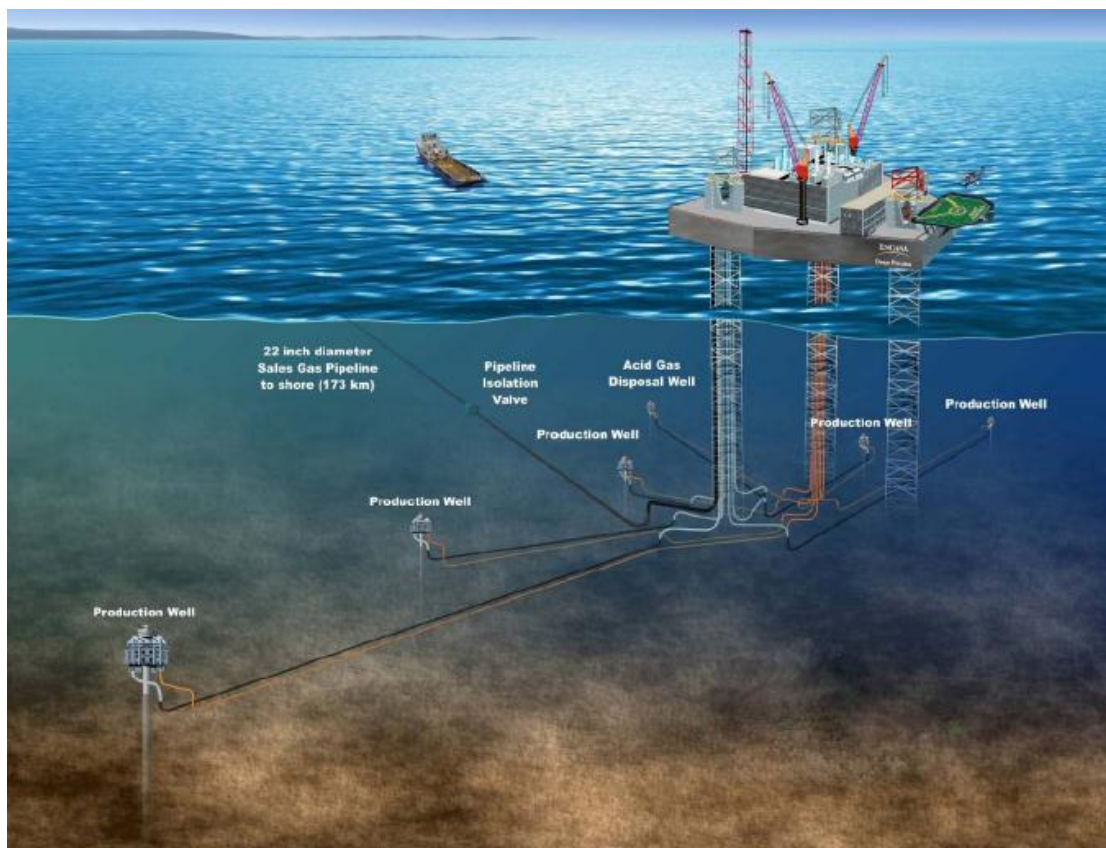
<sup>2</sup> Flow lines

<sup>3</sup> Export pipelines

<sup>4</sup> Interfield pipelines

<sup>5</sup> Transmission pipelines





شکل ۱-۲ انواع مختلف خطوط انتقال دریایی

در یک تقسیم بندی کلی می توان خط انتقال را خطی با قطر بیش از ۸ inch (۲۰۰ میلیمتر) و فشار بیش از ۵۰۰ psig (۳۴/۵ bar) محسوب نمود. [2] به طور معمول خطوط انتقال بسیار طولانی هستند که در این پایان نامه نیز بررسی های بعمل آمده بر روی این خطوط با قطر ۳۲ اینچ و از جنس کامپوزیت می باشد. سیستم لوله کشی تعریف شده است از یک سری لوله و تجهیزات که از یک نقطه ورودی مانند یک سکوی دریایی و یا ایستگاه کمپرسور ساحلی شروع و به یک نقطه خروجی مانند یک سکوی نفتی دریایی و یا یک ایستگاه دریافت ساحلی ختم می گردد. سیستم طراحی نصب لوله های دریایی، رایزرها و لوله های مرتبط، تستهای هیدرواستاتیکی و کلیه ملحقات مربوطه و همچنین فعالیت های تولیدی را پوشش می دهد. تعدادی از مناطق ممکن است در زمان طراحی مورد توجه خاص قرار گیرند. مانند رد کردن خطوط دیگر (کابلها و لوله های دیگر)، مخصوصاً مناطق خطر آفرین ماهیگیری و پرتراфик و همچنین مناطق حساس زیست محیطی و...

در صنعت نفت اطلاق نامهای <sup>۱</sup>FRP یا <sup>۲</sup>GRE به لوله های فایبرگلاس معمول است. نوع دیگری از لوله های کامپوزیتی به نام <sup>۱</sup>CRLP شناخته می شوند که در آن یک لوله فلزی از بیرون و داخل با فایبرگلاس پوشش داده می

<sup>۱</sup> Fiber Reinforced Polymer Pipe

<sup>۲</sup> Glass Reinforced Epoxy

شود که مقاومت نسبتاً بالایی داشته و به دلیل انعطاف پذیری مناسب آنها امروزه در ساخت رایزرهای سکوها کاربرد وسیعی پیدا کرده اند. در این پایان نامه به این نوع لوله ها پرداخته نمی شود.

لوله های پلی اتیلنی (PE<sup>۱</sup>) دسته دیگری از لوله های خطوط انتقال می باشند، که جزو لوله های کامپوزیتی محسوب نمی گردند اما به هر حال به طور گسترده ای در خطوط جریان و خطوط توزیع<sup>۳</sup> (خطوطی که گاز را از ایستگاههای شهری به مصرف کننده منتقل می کند) استفاده می شوند. فشار خطوط اجرا شده با PE حداکثر ۱۰۰ psi (۷ bar) و حداکثر دما ۳۸ درجه سانتیگراد می باشد. اشکال عمده لوله های پلاستیکی، کاهش مقاومت مکانیکی آنها با افزایش دما است. این لوله ها به دلیل مقاومت مکانیکی پائین و وجود پدیده خزش<sup>۴</sup> و خاصیت ترمو پلاستیک بودن، نمی توانند کاندیدای مناسبی برای خطوط انتقال در دماها و فشارهای بالا باشند. [9]

در حال حاضر لوله های کامپوزیتی در مقیاس گسترده ای به عنوان لوله حاوی مواد نفتی (نفت و گاز طبیعی) مورد استفاده قرار می گیرند. در ایران، کاربرد این نوع لوله ها عمدتاً در خطوط جریان و خطوط جمع آوری<sup>۵</sup> (خطوطی که گاز را از خطوط جریان به خطوط انتقال منتقل می کنند) می باشد و کاربرد آنها در خطوط انتقال هنوز به صورت جدی مورد توجه واقع نگردیده است.

### ۱-۱-۲ معرفی منطقه پارس جنوبی

در جنوب نقشه ایران و در امتداد خلیج فارس وسعتی ۳۰ هزار هکتاری که از شمال به ادامه سلسله جبال زاگرس، از جنوب به خلیج فارس، از غرب به کنگان و از شرق به روستای چاه مبارک محدود شده، منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس واقع شده است. در این منطقه، بزرگ ترین مخزن شناخته شده گاز جهان قرار دارد. مخزن بزرگ گاز پارس جنوبی در آب های خلیج فارس و در فاصله ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلومتری با دریا، دارای ۱۴ هزار میلیارد متر مکعب گاز و ۱۸ میلیارد بشکه میعانات گازی است که این مقدار حدود هشت درصد از کل منابع گازی جهان را در بر می گیرد. این حوضچه که یک سر آن در آب های سرزمینی ایران و یک سر دیگر آن در قطر است، ۹۷۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. برای استحصال گاز از این منطقه، ۲۴ فاز پالایشگاهی و فازهای متعدد پتروشیمی و سایر صنایع وابسته و مرتبط طراحی شده که برخی به اتمام رسیده، تعدادی در مرحله پایانی است. به ازای هر فاز پالایشگاهی، یک سکو و ۱۰

<sup>1</sup> Composite Reinforced Line Pipe

<sup>2</sup> Polyethylene Pipe

<sup>3</sup> Distribution Lines

<sup>4</sup> Creep

<sup>5</sup> Gathering Lines

حلقه چاه فعال در عمق دریا وجود دارد که گاز و میعانات گازی موجود در مخزن پارس جنوبی را از طریق خطوط لوله ۳۲ اینچی به منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس وارد می کند. بر این اساس روزانه به هر فاز حدود یک میلیارد فوت مکعب یا معادل ۶/۲۸ میلیون متر مکعب گاز وارد می شود.

هر یک از فازهای ۱، ۲ و ۳ در روز معادل ۴۰ هزار بشکه میعانات گازی و ۲۰۰ تن گوگرد تولید می کند. در فازهای ۴ و ۵ علاوه بر این محصولات، عملیات استحصال اتان و همچنین تولید بوتان و پروپان به صورت مایع<sup>۱</sup> انجام می شود. فازهای ۶، ۷ و ۸ پارس جنوبی که با سرمایه گذاری یک شرکت ایرانی تاسیس گردیده است، برای تولید روزانه ۱۰۰ میلیون مترمکعب گاز ترش، تولید روزانه ۱۵۸ هزار بشکه میعانات گازی و تولید سالیانه ۶/۱ میلیون تن گازمایع پروپان و بوتان جهت صادرات طراحی و ساخته شده است. فاز ۹ و ۱۰ برای تولید روزانه ۵۰ میلیون مترمکعب گازطبیعی، تولید روزانه معادل ۸۰ هزار بشکه میعانات گازی، تولید سالیانه یک میلیون تن اتان، تولید سالیانه یک میلیون و پنجاه هزار تن گاز مایع پروپان و بوتان و تولید روزانه ۴۰۰ تن گوگرد طراحی شده و در حال اجراست. فازهای ۱۱ تا ۲۴ نیز به همین ترتیب به بهره برداری خواهند رسید. در کنار این فازهای ۲۴ گانه پالایشگاه در عسلویه، احداث صنایع وابسته نظیر پتروشیمی و صنایع پائین دست، صنایع دریایی، صنایع مختلط و صنایع نیمه سنگین از دیگر اقداماتی است که در حال انجام است.

### ۳-۱-۱ تکنیکهای ساخت لوله های کامپوزیتی

به طور کلی لوله های کامپوزیتی به ۲ روش ساخته می شوند:

- روش الیاف پیچیده شده<sup>۲</sup>

- روش قالب گریز از مرکز<sup>۳</sup>

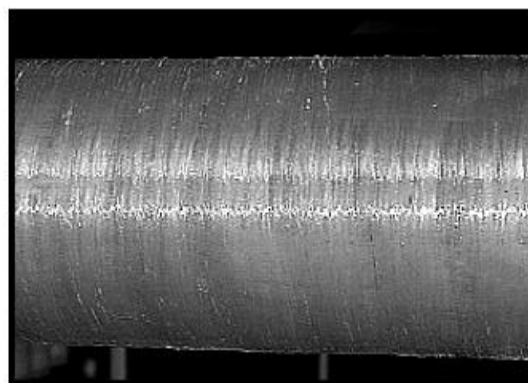
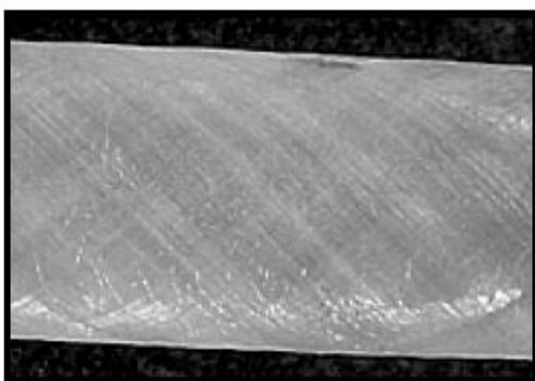
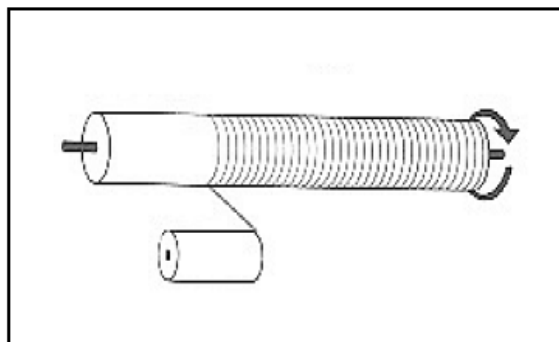
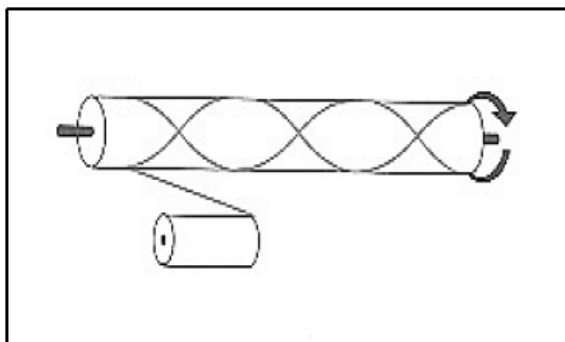
در روش اول رشته های پیوسته الیاف آغشته به رزین به دور قالب استوانه ای در حال چرخش، پیچیده می شوند. الیاف پیوسته به صورت نوارهای باریکی در نزدیکی هم سطح خارجی قالب استوانه ای را پوشانده و از کنار هم قرار گرفتن الیاف در جهت یکسان تک لایه یک جهتته کامپوزیت بر روی سطح خارجی قالب شکل می گیرد. این فرایند به صورت قرار گیری لایه های بیشتر بر روی لایه های اولیه ادامه می یابد. در نهایت عملیات پخت انجام پذیرفته و قالب استوانه ای از سطح داخلی لوله جدا می گردد. قطر داخلی لوله در این روش ثابت بوده و قطر خارجی لوله بسته به تعداد لایه

<sup>۱</sup> LPG

<sup>۲</sup> filament winding

<sup>۳</sup> centrifugal casting

ها متغیر خواهد بود. ضمناً استحکام هر لایه بسته به زاویه قرار گیری الیاف بر روی رزین متغیر می باشد. الیاف ممکن است به صورت مارپیچی با زوایای مختلف نسبت به محور استوانه ( $\pm\theta$ ) هر لایه را تشکیل دهند که در زیر نمایش داده شده است. این روش در ساخت لوله هایی که در فشارهای بالا عمل می کنند مورد استفاده می باشد. به طور کلی بزرگترین مشکل در این روش عدم امکان ساخت قطعات و اشکال پیچیده غیر استوانه ای می باشد.



شکل ۱-۳ نحوه پیچش الیاف به دور قالب استوانه ای

در روش قالب گریز از مرکز، مواد تقویت کننده که اصطلاحاً "الیاف کوتاه"<sup>۱</sup> نامیده می شوند، همراه با رزین به سطح داخلی قالب پاشیده می شود و با ترکیب شدن رزین و الیاف در دمای پخت مناسب، لوله شکل می گیرد. در این روش برخلاف روش قبل قطر خارجی لوله ثابت بوده و قطر داخلی آن برحسب میزان الیاف و رزین مصرفی متغیر خواهد بود. ضمناً در این روش به دلیل عدم امکان ساخت لایه ها با جهت متفاوت امکان ساخت لوله با مقاومت بالا ممکن نبوده و صرفاً از این لوله ها در مصارف فشار پایین و نیروهای خارجی کم استفاده می گردد. [1]

<sup>1</sup> Short fiber