بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

# تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای **محمد سعید احمدی قیری** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان بررسی آزمایشگاهی رژیمهای جریان دو فازی در کانال تپه ای و دره ای شکل** در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۲۲ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی پیشنهاد می کنند.

| عضو هیات داوران | نام و نام خانوادگی | رتبه علمی | امضا |
|---|---|---|---|
| استاد راهنما | دکتر محمدرضا انصاری | دانشیار | |
| استاد ناظر | دکتر مهدی معرفت | دانشیار | |
| استاد ناظر | دکتر علی جعفریان دهکردی | استادیار | |
| استاد ناظر | دکتر محمد علی اخوان بهابادی | استادیار | |
| مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی) | دکتر مهدی معرفت | دانشیار | |

# دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده ۱-** حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

**ماده ۲-** انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

**ماده ۳-** انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

**ماده ۴-** ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

**ماده ۵-** این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی: **محمد سعید احمدی قیری**

امضاء

۹۲،۲،۳۱

# آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

**ماده ۱:** در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

**ماده ۲**: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده دررشته **مهندسی مکانیک** است که در سال**۱۳۹۱** در دانشکده **فنی و مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر **محمدرضا انصاری**، ازآن دفاع شده است.»

**ماده ۳**: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

**ماده ۴**: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

**ماده ۵**: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

**ماده ۶**: اینجانب **محمد سعید احمدی قیری** دانشجوی رشته **مهندسی مکانیک** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محمدسعید احمدی قیری

تاریخ و امضا: ۱۳۹۲/۲/۳۱

**دانشکده فنی و مهندسی**

**پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد**

مهندسی مکانیک- گرایش تبدیل انرژی

# مطالعه آزمایشگاهی رژیم‌های جریان دوفازی در مسیرهای دره‌ای و تپه‌ای شکل کانال‌های مستطیلی

**محمد سعید احمدی قیری**

**استاد راهنما**

**دکتر محمد رضا انصاری**

اسفند ۹۱

تقدیم به آن‌ها

صادقانه‌ترین ((مای)) زندگی‌ام

خانواده‌ام...

شکر گزار پروردگار هستی، بخاطر همه چیز

دست بوس پدر و مادر عزیزم، بخاطر همه دعاها و حمایت های بی دریغ

قدردان استاد گرانقدرم دکتر انصاری، بخاطر همه وقت گذاشتن ها، حوصله کردن ها و زحمات بی بدیل

ممنون دوست خوبم مهندس بهزاد صادقی، بخاطر همه یاری ها و مساعدت ها

شان

در مسیر انجام این پایان نامه، هستم...

## چکیده

در این پژوهش، جریان دوفازی در کانال تپه‌ای و دره‌ای شکل به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. هدف از این مطالعه، فهم بهتر رفتار جریان دوفازی در تمام قسمت‌های کانال تپه‌ای و دره-ای شکل، به ویژه جریان اسلاگ، است. کانال استفاده شده از جنس پلکسی با ابعاد mm ۳۵۵۸۰×۱۰۰×۵۰ است. کانال شامل ۱۶.۲m قسمت افقی بالادست، ۴.۳m سربالایی و ۳.۴m سرپایینی و ۱۲.۱mقسمت افقی پایین‌دست است. محدوده ۱۳.۵ شیب مورد مطالعه، برای هر دو مسیر تپه و دره، $\pm 7.5^{o}$، $\pm 15^{o}$ و $\pm 22.5^{o}$ است. نقشه‌های جریان دوفازی، برای قسمت سربالایی همه تپه و دره‌ها رسم و بر اساس شیب آن‌ها؛ با هم مقایسه شد. با تحلیل نتایج، چهار رفتار متفاوت از جریان اسلاگ در دره مشاهده شد. این رفتارها با توجه به اثر زانویی پایین دره و قسمت‌های سربالایی و سرپایینی دره، دسته‌بندی شدند. علاوه بر آن، رفتار اسلاگ در سرپایینی تپه مورد مطالعه قرار گرفت. دو نوع رفتار تخریب کامل و جزئی اسلاگ مشاهده شد. پنج نوع اسلاگ بر اساس مشاهده و فشار ورودی سربالایی، در سربالایی مشاهده شد. تمام دسته‌بندی‌ها، بر محدوده اسلاگ قسمت افقی بالادست، سرپایینی، سربالایی و افقی پایین‌دست تپه و دره نشان داده شده است، تا اثر چهار قسمت تپه و دره بر رفتار جریان اسلاگ مشخص شود. نتایج پژوهش حاضر، بیان‌گر ارتباط بین رفتار جریان دوفازی، به ویژه الگوی اسلاگ، در چهار قسمت مسیر تپه و دره است. وجود این مسیرها، سبب نوسانات شدید فشار و دبی جریان پایین‌دست می‌شود. میزان نوسانات، به زاویه شیب و سرعت فازها بستگی دارد.

۱فصل اول ..... ۱
۱-۱نقشه جریان دوفازی ..... ۳
۱-۱- ۱الگوهای جریان افقی ..... ۴
۱-۱-۲ الگو های جریان عمودی رو به بالا ..... ۶
۱-۱- ۳ الگوهای جریان شیب‌دار رو به بالا ..... ۷
۱-۱-۴ الگوی جریان در جریان شیب‌دار رو به پایین ..... ۸
۱-۲ اثر هندسه خط جریان بر جریان اسلاگ ..... ۱۰
۱-۲-۱ اسلاگی شدن هیدرودینامیکی ..... ۱۱
۱-۲-۲ اسلاگی شدن عوارضی ..... ۱۱
۱-۲-۳ اثر دره بر رفتار اسلاگ ..... ۱۲
۱- ۲-۴ اثر تپه بر رفتار اسلاگ ..... ۱۳
۱-۳ مشکلات ناشی از اسلاگ ..... ۱۴
۱-۴ مروری بر کارهای گذشته ..... ۱۵
۱-۵ جمع بندی ..... ۲۱
۲ فصل دوم ..... ۲۴
۲-۱ سیستم کلی آزمایشگاه ..... ۲۴
۲-۲ خط تأمین آب ..... ۲۵
۲-۳ خط تأمین هوا ..... ۲۶
۲-۴ مخلوط کننده هوا و آب ..... ۲۷
۲- ۵ تانک جداکننده هوا و آب ..... ۲۸
۲-۶ سیستم‌های اندازه‌گیری ..... ۲۹
۲-۷ اثر شیب مسیر تپه و درهای شکل ..... ۳۱
۲-۸ سیستم فیلم‌برداری ..... ۳۳
۲-۹ چگونگی انجام آزمایش ..... ۳۳
۲-۱۰ تحلیل آماری داده‌ها ..... ۳۳
۳ فصل سوم ..... ۳۸
۳-۱ نقشه جریان دوفازی بالارونده تپه و دره ..... ۳۸
۳-۲ اثر تپه و دره بر الگوی جریان بالارونده ..... ۴۷
۳-۳ الگوی جریان سراشیبی دره ..... ۴۹
۳-۳-۱ تخریب کامل اسلاگ در سراشیبی همراه با شروع اسلاگ در زانویی ..... ۵۱
۳-۳-۲ تخریب جزئی اسلاگ در سراشیبی همراه با شروع و رشد اسلاگ در زانویی ..... ۵۲
۳-۳-۳ تخریب جزئی اسلاگ در سراشیبی همراه با رشد و شروع اسلاگ در بالارونده ..... ۵۲
۳-۳-۴ شروع اسلاگ در بالارونده ..... ۵۳
۳-۴ الگوی جریان سراشیبی تپه ..... ۵۵

۳-۴-۱ تخریب کامل اسلاگ ..... ۵۷
۳-۴-۲ تخریب جزئی اسلاگ ..... ۵۷
۳-۵ بررسی رفتار فشار ..... ۵۸
۳-۵-۱ انواع اسلاگ بالارونده دره ..... ۵۹
۳-۵-۲ انواع اسلاگهای بالارونده تپه ..... ۷۱
۳-۶ اثر تپه و دره بر فشار بالادست و پایین‌دست ..... ۷۷
۳-۷ بررسی ویژگیهای اسلاگهای بالارونده تپه و دره ..... ۸۲
۴ فصل چهارم ..... ۸۸
۴-۱ نتایج ..... ۸۹
۴-۲ پیشنهادات ..... ۹۱
ضمیمه الف - محاسبه عدم قطعیت ..... ۹۶

**فهرست شکل‌ها**


شکل ۱-۱ طرح شماتیک از خط لوله کف دریا..... ۱۰

شکل ۱-۲ الگو های جریان گاز-مایع جریان افقی ..... ۱۱

شکل ۱-۳ الگوهای جریان گاز-مایع جریان عمودی رو به بالا ..... ۱۴

شکل ۱-۴ الگوهای جریان گاز-مایع جریان شیب‌دار رو به بالا..... ۸

شکل ۱-۵ طرح شماتیک اثر شیب بر الگوی جریان ..... ۱۶

شکل ۱-۶ جهت گیری نیروهای گرانش و اینرسی در قسمت‌های متفاوت دره..... ۱۰

شکل ۱-۷شماتیک سه ناحیه اصلی شروع اسلاگ ..... ۱۸

شکل ۱-۸ اسلاگی شدن عوارضی ..... ۱۹۱۲

شکل ۱-۹ رفتار جریان اسلاگ در زانویی بالای تپه ..... ۲۰

شکل ۱-۱۰ شکست سازه بر اثر نیروی اسلاگ..... ۲۲

شکل ۱-۱۱شماتیکی از سیستم آزمایشگاه مطالعات هنایو و رایسبی ..... ۱۹

شکل ۱-۱۲ شماتیکی از تپه مطالعه شده توسط ماندال و همکاران..... ۲۱

شکل ۲-۱شماتیکی از سیستم کلی آزمایشگاه ..... ۲۵

شکل ۲-۲ سیستم تأمین آب ..... ۲۶

شکل ۲-۳ سیستم تأمین هوا ..... ۲۷

شکل ۲-۴ سیستم مخلوط کننده آب و هوا..... ۳۵

شکل ۲-۵ تانک جداکننده آب و هوا..... ۳۵

شکل ۲-۶ الف) نمودار دبی هوا بر حسب فرکانس دور موتور؛ ب) نمودار سرعت ظاهری هوا بـر حسب فرکانس دور موتور..... ۲۹

شکل ۲-۷ سیستم‌های اندازه گیری آزمایشگاه ..... ۳۰

شکل ۲-۸ موقعیت سنسورها نسبت به خروجی و ورودی ..... ۳۰
شکل ۲-۹ تپه و دره با شیبهای متفاوت..... ۳۹
شکل ۲-۱۰ نمای کلی تپه و دره..... ۳۹
شکل ۲-۱۱ نمودار سیگنال در حوزه الف) زمان و فرکانس، ب) زمان، پ) فرکانس؛ ..... ۴۱
شکل ۲-۱۲ استفاده از FFT..... ۳۷
شکل ۳-۱نقشه الگوی جریان قسمت بالارونده دره $7.5^{o}$ ..... ۴۰
شکل ۳-۲ مقایسه نقشه الگوی جریان قسمت بالارونده دره $7.5^{o}$، $15^{o}$ و $22.5^{o}$..... ۴۷
شکل ۳-۳ مقایسه نقشه الگوی جریان قسمت بالارونده تپه $7.5^{o}$، $15^{o}$ و $22.5^{o}$..... ۴۱
شکل ۳-۴ انواع امواج در قسمت بالارونده برای دره $15^{o}$ ..... ۵۰
شکل ۳-۵ برش و قطع موج در قسمت بالارونده دره $15^{o}$..... ۵۰
شکل ۳-۶ اثر تغییر شیب بر الگوی جریان..... ۴۵
شکل ۳-۷ نقشه جریان قسمت بالارونده دره و تپه $7.5^{O}$..... ۴۷
شکل ۳-۸ نقشه جریان قسمت بالارونده دره و تپه $15^{O}$..... ۴۸
شکل ۳-۹ نقشه جریان قسمت بالارونده دره و تپه $22.5^{O}$..... ۴۸
شکل ۳-۱۰ اثر ورودی و خروجیهای متفاوت مسیر جریان افقی بر گذار جریان لایه‌ای به جریان اسلاگ ..... ۵۶
شکل ۳-۱۱ تخریب جزئی اسلاگ در سراشیبی ..... ۵۰
شکل ۳-۱۲ محدوده اسلاگ در سربالایی، بالادست و پایین‌دست و رفتار اسلاگ در سراشیبی دره..... ۵۱
شکل ۳-۱۳ رفتار جریان اسلاگ مطالعه شده توسط الصفران برای دره $1.93^{o}$..... ۵۴
شکل ۳-۱۴ تخریب جزئی اسلاگ در سراشیبی ..... ۶۲
شکل ۳-۱۵ محدوده اسلاگ در سربالایی، بالادست و پایین دست و رفتار اسلاگ در سراشیبی

تپه ..... ۵۶
شکل ۳-۱۶ رفتار اسلاگ در سراشیبی تپه $۴^{o}$ ..... ۶۵
شکل ۳-۱۷ موقعیت نقاطی که فشار در آن‌ها بررسی شده است؛ الف) تپه، ب) دره ..... ۶۶
شکل ۳-۱۸ طرح شماتیک دره مورد مطالعه هنایو ورایسبی ..... ۶۷
شکل ۳-۱۹ رفتار فشار پنج نوع اسلاگ بالارونده دره همراه با طیف فرکانسی آنها ..... ۶۸
شکل ۳-۲۰رفتار فشار انواع اسلاگ مشاهده شده توسط ملک‌زاده ..... ۶۹
شکل ۳-۲۱ مراحل یک دوره کامل از اسلاگ نوع اول ..... ۷۱
شکل ۳-۲۲ مراحل یک دوره کامل از اسلاگ نوع دوم ..... ۷۳
شکل ۳-۲۳ مراحل یک دوره کامل از اسلاگ نوع سوم مراحل مختلف ..... ۷۴
شکل ۳-۲۴ رفتار فشار ناپایا گزارش شده توسط تین ..... ۷۵
شکل ۳-۲۵ مراحل یک دوره کامل از اسلاگ ناپایا ..... ۷۶
شکل ۳-۲۶ نقشه انواع اسلاگ‌های بالارونده همراه با محدوده اسلاگ بالادست، پایین دست و بالارونده دره $۷.۵^{o}$ ..... ۷۶
شکل ۳-۲۷ نقشه انواع اسلاگهای بالارونده همراه با محدوده اسلاگ بالادست، پایین‌دست و بالارونده دره $۱۵^{o}$ ..... ۷۷
شکل ۳-۲۸ نقشه انواع اسلاگ‌های بالارونده همراه با محدوده اسلاگ بالادست، پایین‌دست و بالارونده دره $۲۲.۵^{o}$..... ۷۷
شکل ۳-۲۹ رفتار فشار چهار نوع اسلاگ بالارونده تپه همراه با طیف فرکانسی آنها ..... ۷۹
شکل ۳-۳۰ فشارهای مشاهده شده توسط فابر برای خط افقی با بالارونده عمودی ..... ۸۰
شکل ۳-۳۱ مراحل یک دوره کامل از اسلاگ نوع دوم تپه ..... ۸۱
شکل ۳-۳۲ مقایسه تغییر فشار اسلاگ نوع دوم تپه و دره $۲۲.۵^{o}$..... ۸۲
شکل ۳-۳۳ تغییر فشار ناشی از اسلاگ در مسیر افقی ..... ۸۲

شکل ۳-۳۴ نقشه انواع اسلاگهای بالارونده تپه $7.5^{o}$ ..... ۸۳
شکل ۳-۳۵ نقشه انواع اسلاگهای بالارونده تپه $15^{o}$ ..... ۸۳
شکل ۳-۳۶ نقشه انواع اسلاگهای بالارونده تپه $22.5^{o}$ ..... ۸۳
شکل ۳-۳۷ رفتار فشار بالادست، پایین‌دست و بالارونده دره ..... ۸۵
شکل ۳-۳۸ رفتار فشار بالادست، پایین‌دست و بالارونده تپه..... ۸۶
شکل ۳-۳۹ اثر دره بر فشار بالادست ..... ۸۹
شکل ۳-۴۰ نمودار فشار در حوزه زمان و فرکانس برای بالارونده دره $15^{o}$ ..... ۹۴

## فهرست جداول

جدول ۳-۱ ماکزیمم، مینیمم، دامنه فشار و دوره اسلاگ های ورودی بالارونده تپه و دره $7.5^{o}$ ..... ۹۰

جدول ۳-۲ ماکزیمم، مینیمم، دامنه فشار و دوره اسلاگ های ورودی بالارونده تپه و دره $15^{o}$ ..... ۹۱

جدول ۳-۳ ماکزیمم، مینیمم، دامنه فشار و دوره اسلاگ های ورودی بالارونده تپه و دره $22.5^{o}$ ... ۹۲

# ۱ فصل اول

## مفاهیم و کلیات

### مقدمه

جریان‌های گاز و مایع، در زمینه‌های مختلف مهندسی به طور گسترده کاربرد دارند. مطالعه و بررسی جریان دوفازی در مقایسه با جریان تک فازی، بسیار پیچیده‌تر می‌باشد. در این پژوهش، تمرکز بر جریان دوفازی گاز و مایع درون لوله می‌باشد. «مطالعه جریان درون لوله، نقطه شروعی برای بررسی علمی جریان‌های گاز و مایع است. همان طور که قانون پوآزی[1] و اندازه گیری‌های جریان کاملاً توسعه یافته، نقطه شروعی برای بررسی جریان‌های تک فازی بودند[**1**] ». همچنین، وجود گسترده جریان گاز و مایع در خطوط انتقال میادین نفت و گاز، اهمیت دو چندانی به مطالعه چنین جریانی می‌دهد.

پیش‌بینی می‌شود، میزان مصرف انرژی جهان حدود ۵۳ درصد در فاصله سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۳۵ افزایش یابد. انتظار می‌رود نفت و گاز، قسمت عمده‌ی انرژی مورد استفاده جهان (حدود ۵۰ درصد در سال ۲۰۳۵) را تأمین کنند [**2**]. نفت و گاز منابعی که به راحتی در دسترس هستند، معروف هستند

[1] Poiseuille

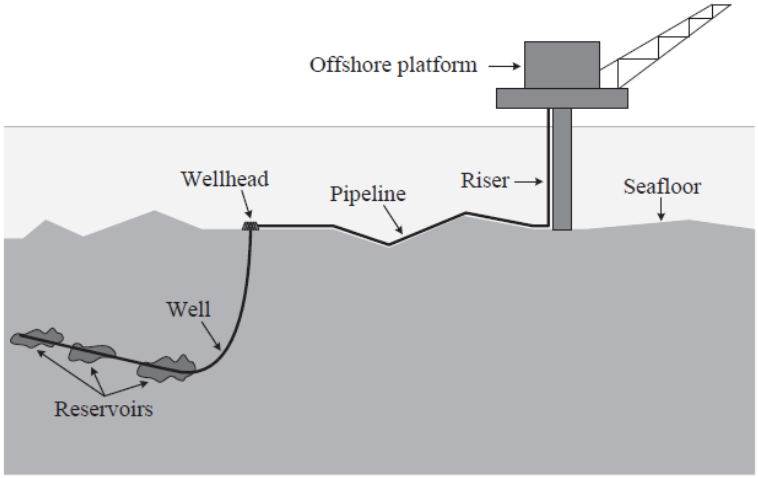
به «نفت آسان[1]»، جوابگوی این نیاز انرژی نخواهند بود[3] . جهت برآورده نمودن سهم نفت و گاز در مصرف انرژی جهان، صنعت نفت و گاز به سمت توسعه منابع نفت و گازی که به راحتی قابل بهره برداری نبوده‌اند، قدم برداشته است. منابع واقع شده در کف دریا[2] و مناطق کوهستانی به دلیل مشکلات بهره برداری و انتقال، مثال‌هایی از این منابع‌اند. طبق آخرین تخمین آژانس بین‌المللی انرژی[3]، حدود یک سوم نفت جهان از منابع نفت دریا هستند و انتظار می‌رود این میزان تا سال ۲۰۱۵ به یک دوم برسد[4] .

این منابع، نیاز به خطوط لوله طولانی جهت انتقال هیدروکربن‌ها[4] از سطح چاه نفت و گاز تا مراکز پالایش و جداسازی دارند. همان طور که سیال از چاه[5] خارج می‌شود به دلیل جریان سیال و کاهش هد هیدرو استاتیک[6]، فشار کاهش می‌یابد و در نتیجه سبب می‌شود که گاز جذب شده توسط مایع آزاد شده و یک جریان دوفازی گاز و مایع ناهمگن[7] ایجاد شود. اغلب، این جریان دوفازی باید مسیری طولانی طی کند. خط لوله در این مسیرها، به صورت افقی و عمودی و شیب‌دار با شیب رو به بالا و پایین می‌باشد. هر کدام از این مسیرها بر نوع رژیم جریان، افت فشار و ارتفاع مایع[8] اثر دارد. تخمین صحیح افت فشار، ارتفاع مایع و نوع رژیم جریان هم برای طراحی خط لوله از جمله مسیریابی و اندازه‌زنی خط لازم است و هم برای طراحی صحیح واحد های جداسازی در پایین‌دست خطوط نیاز است [5].

هر کدام از خطوط افقی، عمودی و شیب‌دار به صورت گسترده ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در مواردی که این خطوط به یکدیگر متصل شده‌اند و دو شیب پشت سر هم قرار دارند (مسیر تپه‌ای یا دره‌ای شکل)، به صورت گسترده مطالعه و فهمیده نشده‌اند و بیشتر مطالعات به صورت تئوری بوده و

[1] Easy oil
[2] Offshore
[3] International Energy Agency
[4] Hydrocarbons
[5] wellbore
[6] Hydrostatic head
[7] Non-homogenous
[8] Fluid Hold-up

مطالعه آزمایشگاهی کمتر انجام شده است. این مسیرها در خطوط میادین نفت و گاز بسیار رایج می‌باشند. احتمال اینکه کف دریاها و مناطق ساحلی[1] به صورت ناهمواری‌هایی شبیه تپه و دره باشند تا اینکه شکلی مسطح داشته باشند، بسیار بیشتر است (شکل ۱-۱). وجود این مسیرها سبب افزایش اندرکنش بین دو فاز می‌شود. از دیگر مشکلات و پیچیدگی‌های خطوط انتقال طولانی جریان دوفازی، وجود همزمان چند نوع الگوی مختلف جریان در خط می‌باشد**[6]** .




شکل ۱-۱ طرح شماتیک از خط لوله کف دریا [7]

## ۱-۱ نقشه جریان[2] دوفازی

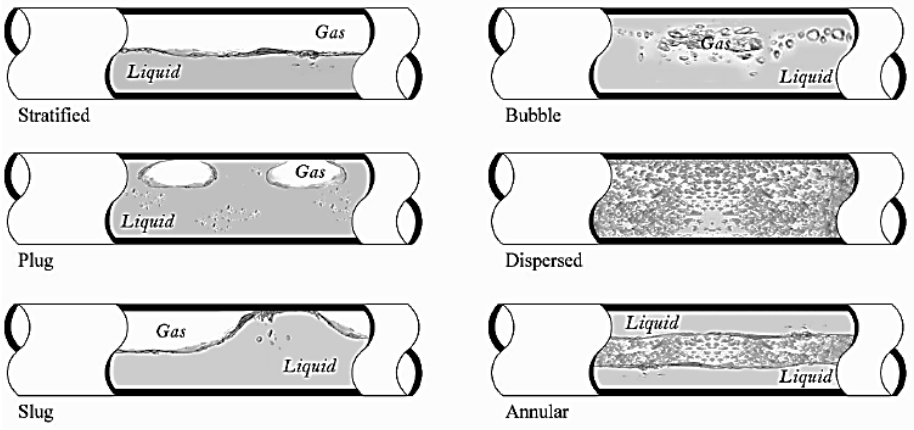
برای جریان دوفازی گاز و مایع در لوله مرسوم است، توزیع فضایی[3] یک فاز نسبت به فاز دیگر نمایش داده شود، این نمایش جریان را نقشه جریان گویند. در این نقشه، به توزیع‌های متفاوت دو فاز نسبت به هم، اسامی خاص اطلاق می‌شود. این توزیع‌ها در ادامه توضیح داده می‌شوند. این نقشه‌ها، اهمیت زیادی در حوزه جریان دوفازی درون لوله دارند. پارامترهایی از قبیل گرادیان فشار و ارتفاع مایع، وابستگی زیادی به این نقشه‌ها دارند. نقشه جریان درون لوله، تابعی از دبی‌های فاز مایع و گاز،

[1] Onshore
[2] Flow Map
[3] Spatial

هندسه لوله (قطر، زبری[1] و زاویه شیب) و خـواص فیزیکـی سـیال (ویسـکوزیته[2]، چگـالی[3] و کشـش سطحی[4]) می‌باشد. نقشه جریان به صورت نموداری با محورهایی بر حسب پارامترهایی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم مرتبط با دبی‌های دو فاز، بیان می‌شود. پارامتر اغلب این نمودارها، سرعت ظاهری دو فاز می‌باشد. سرعت ظاهری[5] هر فاز به صورت نسبت میزان دبی حجمی آن فاز، هنگامی که بـه طـور مستقل تمام فضای لوله را اشغال کرده باشد، به سطح مقطع کل همان لوله تعریف می‌شود. حـال بـه معرفی الگوهای خطوط افقی، عمودی و شیب‌دار به سمت بالا و پایین می‌پردازیم.

### ۱-۱-۱ الگوهای جریان افقی

در جریان‌های افقی، نیروی گرانش[6] عمود بر جهت جریان عمل می‌کند و سبب جدایش[7] دو فاز می‌شود. برای این جریان، شش الگو بر اساس مطالعات انجام شده گزارش شده است ( شکل ۱-۲ ).




شکل ۱-۲ الگو های جریان گاز-مایع جریان افقی [8]

[1] Roughness
[2] Viscosity
[3] Density
[4] Surface tension
[5] Superficial Velocity
[6] Gravity
[7] Separation

ساده‌ترین الگوی جریان برای جریان دوفازی افقی، جریان لایه‌ای[1] می‌باشد. این الگو در دبی‌های تقریباً پایین گاز و مایع رخ می‌دهد، جایی که جدایش گرانشی به صورت کامل ظاهر می‌شود. برای جریان درون کانال، این الگو به این صورت تعریف می‌شود، مایع در کف کانال جریان دارد و نیروی گرانش نقش تعیین کننده ای دارد [9]. جریان لایه‌ای، به دو نوع لایه‌ای صاف[2] و لایه‌ای موجی[3] شناخته می‌شود. در جریان لایه‌ای صاف، در سطح مشترک دو فاز، هیچ موجی تشکیل نمی‌شود. در دبی‌های بالاتر گاز و مایع، جریان لایه‌ای موجی تشکیل می‌شود. ویژگی جریان لایه‌ای موجی، وجود سطح مشترک موجی شکل بین دو فاز است. این امواج می‌توانند رشد کنند و به سطح بالای کانال برسند. این امواج، قالب[4]های مایعی را تشکیل می‌دهند که در طول کانال حرکت می‌کنند. این قالب‌ها با حباب‌های بزرگی از گاز، از هم جدا شده‌اند. در دبی‌های نسبتاً پایین گاز، این الگوی جریان تکرار شونده اما نه به صورت پیوسته، به عنوان جریان قالبی شناخته می‌شود [9]. در دبی‌های بالاتر گاز، لخته‌هایی از مایع در لوله با سرعتی تقریباً معادل سرعت گاز به سمت پایین‌دست حرکت می‌کنند. این الگوی جریان، به عنوان جریان اسلاگ[5] شناخته می‌شود. برای کانال‌ها، این الگو به این صورت تعریف می‌شود؛ لخته‌های نامتناوب مایع (معمولاً کف آلود[6])، برای مثال در جریان موجی از رشد امواج تا سقف کانال به وجود می‌آیند، در راستای کانال منتشر می‌شوند. سطح بالایی کانال توسط فیلم باقی مانده از مایع، خیس شده و در نهایت به درون توده مایع چکه می‌کند [9]. یا تعریف می‌شود؛ در این الگو، حباب‌های بزرگی وجود دارد که توسط لخته‌های مایع، معمولاً حامل حباب‌های کوچک، بستر کانال را می‌بندند [10]. در دبی‌های نسبتاً پایین گاز و بالای مایع، فاز گاز به شکل حباب‌های کوچک و جدا از هم در جریان پیوسته مایع ظاهر می‌شود. این الگو به نام الگوی جریان حبابی[7] شناخته می‌شود. با افزایش دبی گاز، اندازه حباب‌ها و تعداد آن‌ها افزایش می‌یابد. در حالتی که تعداد این

[1] Stratified Flow
[2] Smooth Stratified
[3] Stratified-Wavy
[4] Plug
[5] Slug
[6] Forth
[7] Bubble Flow