دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک- گرایش تبدیل انرژی

بررسی تجربی اثر فاصله عمودی و زاویه شیب کانال S شکل بر الگوی جریان دوفازی

نام دانشجو

محسن آزادی

استاد راهنما

دکتر محمد رضا انصاری

زمستان ۹۰

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 هیأت 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 نامه‌های 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 می‌شود.

نام و نام خانوادگی: **محسن آزادی**

امضاء

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/رساله دکتری نگارنده در رشته **مهندسی مکانیک** است که در سال **۱۳۹۰** در دانشکده **فنی و مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای **دکتر محمدرضا انصاری** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) 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 را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت 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 شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶: اینجانب **محسن آزادی** 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: **محسن آزادی**

تقدیم به ارزشمندترین سرمایه‌های زندگی

پدرم، برای نجابت و حمایت بی‌دریغش

مادرم، یگانه ستاره آسمان زندگیم که با نور عشقش مسیر زندگیم را روشن کرده و چگونه زیستن را به من آموخت

و **برادرم**، الگو، همراه و حامی دیروز، امروز و فردایم.

تقدیر و تشکر

زحمات استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر محمد رضا انصاری که در طول مسیر انجام این پژوهش همواره یاری بخش من بود را قدر می دانم و کمال تشکر را از ایشان دارم.

چکیده

در این پایان‌نامه نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده برای بررسی تأثیر زاویه شیب و فاصله عمودی در کانال با هندسه S شکل ارائه و تحلیل شده است. تمام آزمایش‌ها در آزمایشگاه جریان چندفازی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده‌اند. در این پژوهش، از زانویی‌های با زوایای 22.5°، 45°، 67.5° و 90° استفاده شده است. همچنین برای بررسی اثر فاصله عمودی در شیب ثابت، از سه کانال با طول cm ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ استفاده گردید. الگوهای جریان دوفازی مشاهده شده در ۱۲ حالت مورد مطالعه قرار گرفتند. برای ارائه بهتر الگوهای جریان از کلیه حالات فیلم‌برداری شد و با اعمال تکنیک تشخیص لبه، عکس‌هایی با وضوح تصویر بالا بدست آمد. الگوهای جریان مشاهده شده در حین آزمایش‌ها شامل الگوهای قالبی گردابه‌ای، لخته‌ای گردابه‌ای و موجی-حلقوی گردابه‌ای، چرن و حلقوی تکه‌ای مه‌آلود می‌باشد. نقشه‌های رژیم جریان برای هر کدام از حالات آزمایش ارائه شده و آنگاه با دو معیار متفاوت، ثابت بودن زاویه شیب و تغییر طول قسمت میانی و ثابت بودن طول قسمت میانی و تغییر در زاویه شیب مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل شده نشان داد که با افزایش طول، گذار به الگوی جریان قالبی‌گردابه‌ای در سرعت‌های ظاهری بالاتری از مایع رخ می‌دهد و ناحیه با الگوی جریان حلقوی‌تکه‌ای مه‌آلود کوچکتر شده و به سمت دبی‌های بالاتر فاز گاز می‌رود. همچنین افزایش طول، منجر به بزرگتر شدن ناحیه با الگوی جریان چرن شده و در ازای آن ناحیه با الگوی جریان لخته‌ای گردابه‌ای کوچکتر می‌شود. با افزایش شیب نیز، گذار به الگوی جریان قالبی گردابه‌ای در سرعت‌های ظاهری بالاتر هوا صورت می‌گیرد و اندازه این ناحیه کاهش می‌یابد و همچنین اندازه ناحیه با الگوی جریان چرن بزرگتر شده و در ازای آن گستره ناحیه با الگوی جریان لخته‌ای کوچکتر می‌شود. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که با افزایش طول قسمت میانی، اثرات تغییر شیب بر جابجایی مرزهای گذار بین الگو-های جریان شدیدتر و تعیین‌کننده‌تر می‌گردد.

کلید واژه: جریان دو فازی، الگوی جریان، نقشهٔ جریان، هندسه S شکل، خط گذار

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فهرست اشکال ..... ه
فهرست علائم و نشانه‌ها ..... ک
فصل ۱- مفاهیم و کلیات جریان دوفازی ۱
مقدمه ۱
۱-۱- تعریف جریان دوفازی ۱
۱-۲- تعریف متغیرهای جریان دوفازی ۳
۱-۳- الگوهای جریان دوفازی ۵
۱-۳-۱- الگوهای جریان گاز-مایع در جریان‌های افقی ۶
۱-۳-۲ انواع رژیم‌های جریان دو فازی گاز- مایع در لوله‌های عمودی ۸
فصل ۲- مروری بر پیشینه پژوهش ۱۱
مقدمه ۱۱
۲-۱- الگوهای جریان دوفازی ۱۱
۲-۱-۱- جریان لایه‌ای ۱۳
۲-۱-۲- جریان موجی ۱۴
۲-۱-۳- جریان قالبی (توپی) ۱۵
۲-۱-۴- جریان لخته‌ای ۱۶
۲-۱-۵- جریان حلقوی ۱۸
۲-۱-۶- جریان حبابی ۲۰
۲-۱-۷- جریان چرن ۲۲
۲-۱-۸- سایر الگوهای جریان ۲۳
۲-۲- مختصات نقشه‌های الگوی جریان دوفازی ۲۷
۲-۳- مطالعات آزمایشگاهی جریان‌های دوفازی گاز-مایع ۲۹
۲-۳-۱- جریان‌های افقی ۳۰
۲-۳-۲- جریان‌های شیبدار ۳۴

۲-۳-۳- جریان‌های عمودی ۳۸
۲-۳-۴- جریان درون کانال ۳۹
۲-۴- اهداف تحقیق حاضر ۴۲
فصل ۳- سیستم آزمایشگاهی و روش تحقیق ۴۴
مقدمه ۴۴
۳-۱- سیستم آزمایشگاهی ۴۵
۳-۱-۱- خط تأمین آب ۴۸
۳-۱-۲- خط تأمین هوا ۴۹
۳-۱-۳- مخلوط‌کننده ۵۰
۳-۱-۴- خط انتقال مخلوط دوفازی ۵۲
۳-۲- سیستم اندازه‌گیری و داده‌برداری ۵۳
۳-۲-۱- فلومتر آب و هوا ۵۳
۳-۲-۲- تقلیل داده‌ها ۵۴
۳-۲-۳- سیستم فیلمبرداری و تعیین رژیم ۵۴
۳-۳- چگونگی انجام تحقیق ۵۴
۳-۳-۱- اثر شیب کانال S شکل ۵۴
۳-۳-۱- اثر فاصله عمودی قسمت میانی کانال S شکل ۵۶
فصل ۴- بحث و آنالیز نتایج ۵۸
مقدمه ۵۸
۴-۱- چگونگی آنالیز نتایج ۵۸
۴-۲- الگو و نقشه جریان دوفازی درون کانال S شکل ۵۹
۴-۲-۱- نتایج بدست آمده برای شیب 22.5° ۵۹
۴-۲-۱-۱- طول $25\ cm$ ۵۹
۴-۲-۱-۲- طول $50\ cm$ ۶۳
۴-۲-۱-۳- طول $100\ cm$ ۶۶
۴-۲-۲- نتایج بدست آمده برای شیب 45° ۷۱
۴-۲-۲-۱- طول $25\ cm$ ۷۱

۴-۲-۲-۲- طول ۵۰ cm ۷۴
۴-۲-۲-۳- طول ۱۰۰ cm ۷۶
۴-۲-۳- نتایج بدست آمده برای شیب 67.5° ۷۸
۴-۲-۳-۱- طول ۲۵ cm ۷۸
۴-۲-۳-۲- طول ۵۰ cm ۸۰
۴-۲-۳-۳- طول ۱۰۰ cm ۸۲
۴-۲-۴- نتایج بدست آمده برای شیب 90° ۸۴
۴-۲-۴-۱- طول ۲۵ cm ۸۴
۴-۲-۴-۲- طول ۵۰ cm ۸۶
۴-۲-۴-۳- طول ۱۰۰ cm ۸۹
۴-۳- اثر تغییر طول قسمت میانی بر نقشه الگوی جریان ۹۱
۴-۳-۱- شیب 22.5° ۹۱
۴-۳-۲- شیب 45° ۹۳
۴-۳-۳- شیب 67.5° ۹۴
۴-۳-۴- شیب 90° ۹۵
۴-۴- اثر تغییر شیب قسمت میانی بر نقشه الگوی جریان ۹۶
۴-۴-۱- طول ۲۵ cm ۹۶
۴-۴-۲- طول ۵۰ cm ۹۷
۴-۴-۳- طول ۱۰۰ cm ۹۸
فصل ۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۰۰
مقدمه ۱۰۰
۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۰
۵-۲- پیشنهاد ادامه کار ۱۰۱
فهرست مراجع ۱۰۲
ضمیمهٔ الف- محاسبهٔ عدم قطعیت ۱۱۱
الف-۱- برآورد عدم قطعیت ۱۱۱
الف-۱-۱- تعیین عدم قطعیت استاندارد ترکیبی و درجهٔ آزاد موثر ۱۱۲

الف-۱-۲- عدم قطعیت استاندارد ترکیبی ۱۱۲
الف-۱-۳- درجهٔ آزادی موثر ۱۱۳
الف-۱-۴- عدم قطعیت گسترده ۱۱۳
واژه نامهٔ فارسی به انگلیسی ۱۱۶
واژه نامهٔ انگلیسی به فارسی ۱۱۷

فهرست اشکال

عنوان شکل **شماره صفحه**

شکل ۱-۱ جریان دوفازی در لوله‌های S شکل [۲] A) خطوط انتقال درون دریا B) واحدهای پالایشگاهی C) خطوط انتقال ساحلی..... ۲

شکل ۱-۲ الگوهای معمول جریان دوفازی در لوله‌های افقی [۴] ۷

شکل ۱-۳ الگوهای معمول جریان دو فازی در لوله‌های عمودی [۴] ۹

شکل ۲-۱ جریان لایه‌ای درون لوله افقی: A) وامبزگانس و همکاران [۱۶]، B) کیم و قاجار [۱۷]. ۱۴

شکل ۲-۲ جریان موجی درون لوله افقی: A) وامبزگانس و همکاران [۱۶]، B) کیم و قاجار [۱۷]. ۱۵

شکل ۲-۳ جریان قالبی درون لوله افقی: A) وامبزگانس و همکاران [۱۶]، B) کولمن و گارمیلا[۱۸]. ۱۶

شکل ۲-۴ جریان لخته‌ای درون لوله افقی: A) وامبزگانس و همکاران [۱۶]، B) کولمن و گارمیلا[۱۸]، C) کولمن و گارمیلا[۱۹]..... ۱۷

شکل ۲-۵ جریان لخته‌ای درون لوله عمودی: A) تایتل و همکاران [۲۰] ، B) ویلمارث و ایشی [۲۱] ،..... ۱۸

شکل ۲-۶ جریان حلقوی درون لوله افقی:) وامبزگانس و همکاران [۱۶]، B) کولمن و گارمیلا [۱۸]، C) کولمن و گارمیلا [۱۹]،..... ۱۹

شکل ۲-۷ جریان حلقوی درون لوله عمودی: A) تایتل و همکاران [۲۰] ، B) ویلمارث و ایشی [۲۱]. ۲۰

شکل ۲-۸ جریان حبابی درون لوله افقی:) وامبزگانس و همکاران [۱۶]، B) ویلمارث و ایشی [۲۱]، C) کولمن و گارمیلا [۱۸]، ۲۱

شکل ۲-۹ جریان لخته‌ای درون لوله عمودی: A) تایتل و همکاران [۲۰] ، B) ژو [۲۵] ، ۲۲

شکل ۲-۱۰ جریان چرن درون لوله عمودی: A) تایتل و همکاران [۲۰] ، B) ویلمارث و ایشی [۲۱] ، ۲۳

شکل ۲-۱۱ جریان کف‌آلود درون لوله عمودی [۲۳]..... ۲۴

شکل ۲-۱۲ جریان حلقوی-موجی درون لوله افقی: A) ویلمارث و ایشی [۲۰] ، B) کیم و قاجار [۱۷] ۲۶

شکل ۲-۱۳ جریان لخته‌ای-چرن درون لوله عمودی: A) ویلمارث و ایشی [۲۱] ، B)ژو [۲۵]، C) ژانگ و همکاران [۲۶]. ۲۶

شکل ۲-۱۴ الگوی جریان دوفازی در A) لوله‌ای با قطر درونی ۹۱ MM، B) همان لوله و دبی‌های حجمی بالای گاز [۱۳]. ۳۰

شکل ۲-۱۵ نقشه الگوی جریان پیشنهادی برای جریان دوفازی افقی توسط مندهین و همکاران [۴۶] ۳۱

شکل ۲-۱۶ نقشه الگوی جریان تعمیم یافته برای جریان دوفازی افقی توسط تایتل و داکلر [۲۴] ۳۳
شکل ۲-۱۷ نقشه الگوی جریان پیشنهادی برای جریان دوفازی افقی توسط کیم و قاجار [۱۷] ۳۴
شکل ۲-۱۸ نقشه الگوی جریان پیشنهادی برای جریان دوفازی برای شیب $^{\circ}$ ۱۰ روبالا، توسط بارنی و همکاران [۱۵] ۳۶
شکل ۲-۱۹ نقشه الگوی جریان پیشنهادی برای جریان دوفازی برای شیب‌های مختلف روبالا [۶۰] ۳۶
شکل ۲-۲۰ نقشه الگوی جریان پیشنهادی برای جریان دوفازی برای شیب‌های مختلف روبالا [۶۱] ۳۷
شکل ۲-۲۱ نقشه الگوی جریان برای جریان دوفازی برای لوله عمودی با قطر درونی CM ۵ در دمای $^{\circ}$C ۲۵ [۲۰] ۳۸
شکل ۲-۲۲ نقشه الگوی جریان دوفازی برای کانال افقی [۱۶] و مقایسه با داده‌های مندهین و همکاران (خطوط مقطع) [۴۶] ۴۲
شکل ۲-۲۳ هندسه به‌کار گرفته شده در مطالعات آزمایشگاهی مختلف، A) [۷۳]، B) [۷۴]، C) [۷۵] ۴۳
شکل ۳-۱ نمودار شماتیک سیستم آزمایشگاهی حاضر ۴۶
شکل ۳-۲ انواع مخلوط کننده‌های آب-هوا در مطالعات پیشین؛ A) [۷۵]، B) [۷۶]، C) [۷۷]، D) [۲۳]، E) [۱۷] ۴۷
شکل ۳-۳ خط تأمین آب در سیستم آزمایشگاهی حاضر ۴۷
شکل ۳-۴ پمپ‌های مورد استفاده در خط تأمین آب ۴۸
شکل ۳-۵ خط تأمین هوا در سیستم آزمایشگاهی حاضر ۴۹
شکل ۳-۶ سیستم خنک‌کاری هوای خروجی از کمپرسور در خط تأمین هوا ۵۰
شکل ۳-۷ مخلوط‌کننده مورد استفاده در سیستم آزمایشگاهی حاضر ۵۱
شکل ۳-۸ نمودار شماتیک مخلوط کننده آب و هوا ۵۱
شکل ۳-۹ اتصال کانال به مخزن شماره ۲ ..... ۵۲
شکل ۳-۱۰ فلومتر آب ۵۳
شکل ۳-۱۱ فلومتر هوا ۵۳
شکل ۳-۱۲ زانویی‌های مورد استفاده برای ایجاد هندسه S شکل ۵۵
شکل ۳-۱۳ مکانیزم تغییر ارتفاع سکو ۵۶
شکل ۳-۱۴ بررسی اثر شیب کانال S شکل ۵۶
شکل ۳-۱۵ بررسی اثر فاصله عمودی قسمت میانی کانال S شکل ۵۷

شکل ۴-۱ الگوی جریان قالبی گردابه‌ای در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۲۵ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۱.۳ M/S ۶۰
شکل ۴-۲ الگوی جریان لخته‌ای گردابه‌ای در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۲۵ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۳.۴M/S ۶۰
شکل ۴-۳ الگوی جریان موجی-حلقوی گردابه‌ای در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۲۵ CM و M/S J_F=۰.۳۳، J_G=۸.۶۴ M/S ۶۱
شکل ۴-۴ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۲۵ CM و M/S J_F=۰.۳۳، J_G=۱۴.۹۳ M/S ۶۱
شکل ۴-۵ نقشه الگوی جریان در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۲۵ CM. ۶۲
شکل ۴-۶ الگوی جریان قالبی گردابه‌ای در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۴۲ M/S، J_G=۱.۴۱ M/S ۶۴
شکل ۴-۷ الگوی جریان لخته‌ای گردابه‌ای در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۳.۳۱M/S ۶۴
شکل ۴-۸ الگوی جریان موجی-حلقوی گردابه‌ای در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۵۰ CM و M/S J_F=۰.۲۵، J_G=۸.۵۷ M/S ۶۵
شکل ۴-۹ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۵۰ CM و M/S J_F=۰.۳۳، J_G=۱۵.۸ M/S ۶۵
شکل ۴-۱۰ نقشه الگوی جریان در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۵۰ CM. ۶۶
شکل ۴-۱۱ الگوی جریان قالبی گردابه‌ای و نمودار شماتیک آن در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی CM ۱۰۰ و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۱.۴ M/S ۶۷
شکل ۴-۱۲ الگوی جریان لخته‌ای گردابه‌ای در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و J_F=۰.۴۲ M/S، J_G=۴.۶M/S ۶۸
شکل ۴-۱۳ الگوی جریان موجی-حلقوی گردابه‌ای در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و M/S J_F=۰.۲۵، J_G=۱۰.۲ M/S ۶۸
شکل ۴-۱۴ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و M/S J_F=۰.۲۵، J_G=۱۵.۷ M/S ۶۹
شکل ۴-۱۵ نقشه الگوی جریان در شیب ۲۲.۵° و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM. ۷۰

شکل ۴-۱۶ الگوی جریان لخته‌ای گردابه‌ای در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۲۵ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۳.۳۴M/S ۷۱
شکل ۴-۱۷ الگوی جریان چرن در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۲۵ CM و J_F=۰.۲۵ M/S، J_G=۷.۶۷ M/S ۷۲
شکل ۴-۱۸ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۲۵ CM و M/S J_F=۰.۱۶۷، J_G=۱۲.۷ M/S ۷۲
شکل ۴-۱۹ نقشه الگوی جریان در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۲۵ CM ۷۳
شکل ۴-۲۰ الگوی جریان لخته‌ای گردابه‌ای در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۱۶۷ M/S، J_G=۲.۴M/S ۷۴
شکل ۴-۲۱ الگوی جریان چرن در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۸.۲۱ M/S ۷۴
شکل ۴-۲۲ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۱۲.۴M/S ۷۵
شکل ۴-۲۳ نقشه الگوی جریان در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۵۰ CM ۷۵
شکل ۴-۲۴ الگوی جریان لخته‌ای گردابه‌ای در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و J_F=۰.۲۵ M/S، J_G=۱.۹M/S ۷۶
شکل ۴-۲۵ الگوی جریان چرن در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و J_F=۰.۰۸۳ M/S، J_G=۶.۳۵ M/S ۷۶
شکل ۴-۲۶ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و M/S J_F=۰.۰۸۳، J_G=۱۵.۷ M/S ۷۷
شکل ۴-۲۷ نقشه الگوی جریان در شیب °۴۵ و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM ۷۸
شکل ۴-۲۸ الگوی جریان قالبی گردابه‌ای در شیب °۶۷.۵ و طول قسمت میانی ۲۵ CM و J_F=۰.۴۲ M/S، J_G=۱.۴M/S ۷۸
شکل ۴-۲۹ الگوی جریان لخته‌ای گردابه‌ای در شیب °۶۷.۵ و طول قسمت میانی ۲۵ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۳.۱۵M/S ۷۹
شکل ۴-۳۰ الگوی جریان چرن در شیب °۶۷.۵ و طول قسمت میانی ۲۵ CM و J_F=۰.۱۶۷ M/S، J_G=۱۱.۱۷ M/S ۷۹

شکل ۴-۳۱ نقشه الگوی جریان در شیب ۶۷.۵° و طول قسمت میانی ۲۵ CM. ۸۰
شکل ۴-۳۲ الگوی جریان قالبی گردابه‌ای در شیب ۶۷.۵° و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۴۲ M/S، J_G=۱.۶M/S ۸۰
شکل ۴-۳۳ الگوی جریان لخته‌ای گردابه‌ای در شیب ۶۷.۵° و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۳.۴M/S ۸۱
شکل ۴-۳۴ الگوی جریان چرن در شیب ۶۷.۵° و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۲۵ M/S، M/S J_G=۷.۰۴ ..... ۸۱
شکل ۴-۳۵ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب ۶۷.۵° و طول قسمت میانی ۵۰ CM و M/S J_F=۰.۰۸۳، J_G=۱۱.۳۷ M/S ۸۱
شکل ۴-۳۶ نقشه الگوی جریان در شیب ۶۷.۵° و طول قسمت میانی ۵۰ CM. ۸۲
شکل ۴-۳۷ الگوی جریان لخته‌ای گردابه‌ای در شیب ۶۷.۵° و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و J_F=۰.۴۲ M/S، J_G=۱.۵۷M/S ۸۳
شکل ۴-۳۸ الگوی جریان چرن در شیب ۶۷.۵° و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و J_F=۰.۱۶۷ M/S، M/S J_G=۴.۲۸ ..... ۸۳
شکل ۴-۳۹ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب ۶۷.۵° و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و M/S J_F=۰.۴۲، J_G=۱۵.۷۴ M/S ۸۳
شکل ۴-۴۰ نقشه الگوی جریان در شیب ۶۷.۵° و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM. ۸۴
شکل ۴-۴۱ الگوی جریان لخته‌ای در شیب ۹۰° و طول قسمت میانی ۲۵ CM و J_F=۰.۲۵ M/S، M/S J_G=۱.۷۴ ..... ۸۵
شکل ۴-۴۲ الگوی جریان چرن در شیب ۹۰° و طول قسمت میانی ۲۵ CM و J_F=۰.۱۶۷ M/S، M/S J_G=۴.۶۳ ..... ۸۵
شکل ۴-۴۳ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب ۹۰° و طول قسمت میانی ۲۵ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۱۴.۲M/S ۸۵
شکل ۴-۴۴ نقشه الگوی جریان در شیب ۹۰° و طول قسمت میانی ۲۵ CM. ۸۶
شکل ۴-۴۵ الگوی جریان لخته‌ای در شیب ۹۰° و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۴۲ M/S، M/S J_G=۱.۹۳ ..... ۸۷

شکل ۴-۴۶ الگوی جریان چرن در شیب ° ۹۰ و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، J_G=۴.۹۱ M/S
۸۷
شکل ۴-۴۷ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب ° ۹۰ و طول قسمت میانی ۵۰ CM و J_F=۰.۲۵ M/S، J_G=۱۲.۱۷M/S
۸۸
شکل ۴-۴۸ نقشه الگوی جریان در شیب ° ۹۰ و طول قسمت میانی ۵۰ CM
۸۸
شکل ۴-۴۹ الگوی جریان لخته‌ای در شیب ° ۹۰ و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و J_F=۰.۳۳ M/S، M/S J_G=۲.۲۹
۸۹
شکل ۴-۵۰ الگوی جریان چرن در شیب ° ۹۰ و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و J_F=۰.۲۵ M/S، M/S J_G=۶.۱۴
۹۰
شکل ۴-۵۱ الگوی جریان حلقوی تکه‌ای مه‌آلود در شیب ° ۹۰ و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و M/S J_F=۰.۱۶۷، J_G=۱۳.۸۴ M/S
۹۰
شکل ۴-۵۲ نقشه الگوی جریان در شیب ° ۹۰ و طول قسمت میانی ۱۰۰ CM
۹۱
شکل ۴-۵۳ نقشه الگوی جریان در شیب °۲۲.۵ و طول‌های قسمت میانی متفاوت.
۹۲
شکل ۴-۵۴ نقشه الگوی جریان در شیب °۴۵ و طول‌های قسمت میانی متفاوت.
۹۳
شکل ۴-۵۵ نقشه الگوی جریان در شیب °۶۷.۵ و طول‌های قسمت میانی متفاوت.
۹۴
شکل ۴-۵۶ نقشه الگوی جریان در شیب ° ۹۰ و طول‌های قسمت میانی متفاوت.
۹۵
شکل ۴-۵۷ نقشه الگوی جریان در طول قسمت میانی ۲۵ CM و شیب‌های متفاوت.
۹۶
شکل ۴-۵۸ نقشه الگوی جریان در طول قسمت میانی ۵۰ CM و شیب‌های متفاوت.
۹۷
شکل ۴-۵۹ نقشه الگوی جریان در طول قسمت میانی ۱۰۰ CM و شیب‌های متفاوت.
۹۸

فهرست علائم و نشانه ها

عنوان	واحد	علامت اختصاری
مساحت	m^2	A
قطر هیدرولیکی	m	D_h
فرکانس	Hz	F
شار جرمی	$\frac{kg}{m^2 s}$	G
ارتفاع کانال	m	H
سرعت ظاهری فاز	$\frac{m}{s}$	J
دبی جرمی	$\frac{kg}{s}$	W
دبی حجمی	$\frac{m^3}{s}$	Q
نسبت لغزش	-	S
سرعت فاز	$\frac{m}{s}$	u
پهنای کانال	m	W
کیفیت	-	X
نشانه های یونانی		
کسر تهی		α
جریان حجمی		λ
چگالی	$\frac{kg}{m^3}$	ρ
کشش سطحی	$\frac{N}{m}$	σ
علائم زیرنویس		
گاز		g
مایع		f
پارامتر ظاهری		s

فصل ۱- مفاهیم و کلیات جریان دوفازی

مقدمه

پیش‌بینی الگوهای جریان دوفازی که بدلیل وجود همزمان دو فاز مایع و گاز درون لوله شکل می‌گیرد، نقش تعیین کننده‌ای را در صنایع نفت، پتروشیمی و نیروگاهی بازی می‌کند. مهندسین نفت معمولاً در خطوط انتقال نفت از چاه به پالایشگاه با جریان دوفازی مواجه می‌شوند. جریان در طی مسیر می‌تواند به صورت افقی، عمودی و شیبدار باشد. بنابراین باید روش‌هایی برای پیش‌بینی الگوی جریان دوفازی در هر یک از حالات ذکر شده موجود باشد. استخراج درون دریا[۱]، به انتقال همزمان فاز گاز و مایع قبل از جداسازی برای فواصل طولانی منجر می‌شود. علاوه بر طراحی خطوط انتقال مناسب، مهندسین برای طراحی تجهیزات جداسازی و شکننده جریان لخته‌ای[۲] نیازمند تعیین الگوی جریان دوفازی می‌باشند.

جریان دوفازی معمولاً در صنایع و فرآیندهای شیمیایی نیز شکل می‌گیرد. طراحی چنین تأسیساتی از قبیل کندانسورها، مبدل‌های حرارتی، راکتورها و لوله‌کشی این تجهیزات نیازمند ارائه روش‌هایی برای پیش-بینی الگوی جریان دوفازی می‌باشد.

در این فصل ضمن ارائه تعریف جریان دوفازی، متغیرها و مفاهیم اولیه مورد نیاز جهت شناسایی الگوهای جریان دوفازی معرفی می‌گردند. همچنین الگوهای جریان دوفازی گاز-مایع درون لوله‌های افقی و عمودی معرفی می‌شوند.

۱-۱- تعریف جریان دوفازی

فاز یکی از حالات ماده است و به عنوان بخش همگنی از یک ماده تعریف می‌شود که می‌تواند گاز، مایع و جامد باشد. جریان چند فازی[۳] عبارت است از جریان هم‌زمان چندین فاز که ساده‌ترین مورد آن جریان دوفازی[۴] است [۱]. سه ترکیب متفاوت برای جریان دوفازی موجود می‌باشد: گاز-مایع، مایع-جامد و جامد-گاز.

---

[1] *Off-shore Producing*
[2] *Slug catching*
[3] *Multi-Phase flow*
[4] *Two-Phase flow*

از میان سه ترکیب ذکر شده، ترکیب گاز-مایع که در آن سطح مشترک بین دو فاز تحت تاثیر سرعت نسبی دو فاز قرار داد، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. جریان‌های دوفازی کاربرد گسترده‌ای در صنایع مختلف دارد، از قبیل: لوله‌های انتقال نفت، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه‌های هسته‌ای، بویلرها، کندانسورها و برج‌های تقطیر. نمونه‌ای از این موارد در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

مطالعه جریان دوفازی از جنبه‌های گوناگونی حائز اهمیت می‌باشد. یکی از این موارد، مطالعه رژیم جریان دوفازی درون لوله می‌باشد. مهمترین مسئله برای این مطالعه تحلیل ایمنی سیستم می‌باشد؛ زیرا جریان‌های دوفازی در سیستم‌های هسته‌ای و خطوط انتقال نفت به صورت گسترده‌ای مشاهده می‌شوند. در این سیستم‌ها، تعیین دقیق حداکثر محدوده‌ای که سیستم به صورت ایمن کار می‌کند، بسیار ضروری است.

در جریان تک فازی در لوله‌ها ، پارامترهای جریان از روشهای نسبتاً سر راستی به دست می‌آیند اما در جریان دو فازی، چون ماهیت جریان پیچیده است، عموماً مهندسان را در فهم و آنالیز و یا مدل‌سازی آن دچار مشکل می‌کند. مسائل جریان دوفازی به شدت پیچیده می‌باشند و عوامل زیادی بر پدیده‌های حاکم بر جریان دوفازی تأثیرگذارند که سبب نامعینی و پیچیدگی این نوع از جریان‌ها می‌شود.

شکل ۱-۱ جریان دوفازی در لوله‌های S شکل [۲] *a)* خطوط انتقال درون دریا *b)* واحدهای پالایشگاهی *c)* خطوط انتقال ساحلی