



دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

مطالعه عددی مدل های مختلف برخورد و شکست قطرات و تاثیر آن بر
مشخصات اسپری سوخت

توسط:

محسن مفرحی

استاد راهنما:

دکتر رضا کمالی

اسفند ۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

اظهار نامه

اینجانب محسن مفرحی (۸۸۸۰۴۹) دانشجوی رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشکده مهندسی اظهار می‌کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: محسن مفرحی

تاریخ و امضا: ۱۳۹۰/۱۲/۲۱

به نام خدا

مطالعه عددی مدل های مختلف برخورد و شکست قطرات و تاثیر آن بر مشخصات اسپری سوخت

به کوشش

محسن مفرحی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیتهای لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی

دکتر رضا کمالی، دانشیار مهندسی مکانیک (رئیس کمیته)

دکتر محمود یعقوبی، استاد مهندسی مکانیک

دکتر امید ابوعلی، دانشیار مهندسی مکانیک

اسفند ماه ۱۳۹۰

سپاسگزاری

خداوند متعال را شاکرم که سرمنشاء زلالی و دانش و پشتیبان واقعی در تمام مراحل زندگی است. اکنون که به یاری خداوند، این رساله به پایان رسیده است بر خود لازم می‌دانم که از کلیه سروران و عزیزانی که در به اتمام رسیدن این پایان‌نامه بنده را مورد لطف و راهنمایی‌های خویش قرار داده اند، کمال تشکر را داشته باشم. خصوصاً جناب استاد ارجمند دکتر رضا کمالی که فراتر از یک استاد، بنده را در تمامی مراحل از راهنمایی‌های خود بهره‌مند ساخته و لطف و محبت خویش را بر بنده ارزانی داشته است.

همچنین از اعضای محترم کمیته پایانی، اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر محمود یعقوبی و جناب آقای دکتر امید ابوعلی که کمک و راهنمایی خویش را از بنده دریغ ننموده‌اند، کمال تشکر را دارم و برای تمامی عزیزان توفیق روزافزون و سلامتی و شادکامی را از خداوند متعال مسئلت می‌نمایم.

چکیده

مطالعه عددی مدل‌های مختلف برخورد و شکست قطرات و تاثیر آن بر مشخصات اسپری سوخت

به کوشش

محسن مفرحی

هدف از تحقیق حاضر، بررسی عددی تاثیر مدل‌های مختلف شکست و برخورد قطرات بر مشخصات اسپری سوخت می‌باشد. برای این منظور، پاشش اسپری سوخت در موتور کترپیلار با استفاده از نرم‌افزار تجاری AVL FIRE، مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به تقارن کامل محفظه احتراق و تعداد شش عددی نازل‌های پاشش، تنها یک-ششم محفظه مدل شده و محاسبات مابین زمان بسته شدن سوپاپ ورودی (IVC) و باز شدن سوپاپ خروجی (EVO) صورت گرفته است. با بررسی مدل‌های مختلف شکست و برخورد قطرات، سعی شده است که بهترین مدل برای بررسی اسپری‌های مشابه انتخاب شود. مقایسه نتایج عددی با مقادیر آزمایشگاهی نشان داد که مدل برخورد Schmidt در مقایسه با مدل O'Rourke از دقت بالاتری در پیش‌بینی طول نفوذ اسپری برخوردار است و مدل‌های برخورد تاثیر چندانی بر نرخ تغییر فشار و زمان اشتعال ندارند. مدل‌های شکست KHRT و Chu با داشتن بیشترین نرخ تبخیر، بیشترین افزایش فشار و مدل‌های RD و Wave با کمترین نرخ تبخیر، کمترین افزایش فشار را به دنبال دارند. ترکیب مدل شکست KHRT با مدل برخورد قطرات Schmidt بهترین پیش‌بینی را از طول نفوذ اسپری و فشار داخل سیلندر ارائه می‌دهد بنابراین به عنوان بهترین ترکیب معرفی می‌شود.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول - مقدمه

۲	..... ۱-۱ مقدمه
۴	..... ۲-۱ مروری بر تحقیقات گذشته
۷	..... ۳-۱ هدف تحقیق حاضر

فصل دوم - روابط حاکم

۹	..... ۱-۲ معادلات فاز گاز
۹	..... ۱-۱-۲ معادله متوسط زمانی پایستاری جرم
۱۰	..... ۲-۱-۲ معادله متوسط زمانی مومنتوم
۱۱	..... ۳-۱-۲ معادله متوسط زمانی انرژی

۱۱	..... ۲-۲ معادلات فاز مایع
۱۱	..... ۱-۲-۲ معادله مومنتم
۱۳	..... ۲-۲-۲ معادله انرژی و تبخیر قطرات
۱۳	..... ۳-۲ مدل سازی اسپری
۱۴	..... ۱-۳-۲ شکست اولیه
۱۶	..... ۱-۱-۳-۲ روش قطره
۱۸	..... ۲-۳-۲ شکست ثانویه
۲۰	..... Wave مدل ۱-۲-۳-۲
۲۴	..... KHRT مدل ۲-۲-۳-۲
۲۷	..... RD مدل ۳-۲-۳-۲
۲۸	..... Chu مدل ۴-۲-۳-۲
۲۹	..... ۳-۳-۲ برخورد قطرات با یکدیگر
۳۳	..... O'Rourke مدل ۱-۳-۳-۲
۳۴	..... Schmidt مدل ۲-۳-۳-۲
۳۶	..... ۴-۳-۲ برخورد قطرات مایع با دیواره
۳۷	..... ۴-۳-۲ برخورد قطرات با ادی های توربولنت
۳۹	..... ۴-۲ معادلات احتراق

۳۹ ۱-۴-۲ مدل اشتعال خود به خودی

۴۱ ۲-۴-۲ مدل احتراق آشفته‌گی ادی

فصل سوم- مدل‌سازی مسئله

۴۴ ۱-۳ مشخصات هندسی مسئله

۴۵ ۲-۳ مشخصات سیستم تزریق

۴۹ ۳-۳ شبکه محاسباتی و شرایط مرزی

۵۲ ۴-۳ شرایط اولیه حل عددی

۵۴ ۵-۳ بررسی همگرایی در حل مساله

فصل چهارم- نتایج عددی

۵۸ ۱-۴ مقدمه

۵۸ ۲-۴ استقلال نتایج از شبکه محاسباتی

۶۲ ۳-۴ استقلال از گام زمانی

۶۴ ۴-۴ طول نفوذ اسپری

۷۰ ۵-۴ نمایه ی اسپری

۷۴ ۶-۴ فشار داخل سیلندر و تبخیر سوخت

۷۸ ۷-۴ قطر متوسط ستر

۸-۴ جریان در داخل محفظه ۸۱

فصل پنجم- نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۵ نتیجه گیری ۸۵

۲-۵ پیشنهادات ۸۶

فهرست منابع ۸۷

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۹	جدول (۱-۲) روش‌های مختلف شکست بر اساس محدوده عدد وبر
۴۴	جدول (۱-۳) مشخصات موتور کترپیلار E300
۴۸	جدول (۲-۳) مشخصات سیستم تزریق موتور دیزلی کترپیلار مدل ۳۴۰۱
۵۳	جدول (۳-۳) دمای قسمت‌های مختلف هندسه
۵۳	جدول (۴-۳) مشخصات سوخت تزریقی در شرایط استاندارد
	جدول (۱-۴) تعداد سلول‌های سه شبکه به کار رفته جهت استقلال حل عددی از شبکه
۵۹	محاسباتی

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل (۱-۱) تصویر شماتیک از اسپری
۱۶	شکل (۱-۲) روش قطره
۱۷	شکل (۲-۲) زاویه مخروط اسپری سه بعدی و دستگاه مختصات مربوطه
۱۹	شکل (۳-۲) روش های شکست قطرات
۲۲	شکل (۴-۲) تشکیل امواج سینوسی شکل و جدایی قطره در مدل wave
۲۳	شکل (۵-۲) نرخ رشد امواج سطحی ناپایدار بر حسب We_g به صورت تابعی از Z
۲۳	شکل (۶-۲) طول موج امواج سطحی ناپایدار بر حسب We_g به صورت تابعی از Z
۲۵	شکل (۷-۲) ناپایداری ریلی-تیلور و شکست تخریبی یک قطره مایع
۳۰	شکل (۸-۲) تصویری شماتیک از پارامترهای هندسی برخورد
۳۱	شکل (۹-۲) پیامدهای حاصل از برخورد قطرات
۳۱	شکل (۱۰-۲) نمودار شماتیک از نواحی برخورد قطرات

- شکل (۱۱-۲) طرحواره برخورد قطره به دیواره ۳۷
- شکل (۱۲-۲) مسیر های ممکن حرکت قطره در جریان آشفته ۳۸
- شکل (۱-۳) سیستم تزریق انباره ریلی مشترک ۴۶
- شکل (۲-۳) نوعی از انژکتور انباره ریلی مشترک ۴۷
- شکل (۳-۳) Δ معرف زاویه اسپری ۴۸
- شکل (۴-۳) پروفیل نرخ تزریق سوخت به صورت بی بعد شده ۴۹
- شکل (۵-۳) شبکه محاسباتی در وضعیت ATDC ۲۵ - ۵۰
- شکل (۶-۳) طرحواره ایجاد شبکه متحرک در حالت انبساط ۵۰
- شکل (۷-۳) فرایند بهبود شبکه در ناحیه Rezone در ATDC ۶۰ - ۵۱
- شکل (۸-۳) شرایط مرزی اعمال شده به ناحیه محاسباتی ۵۲
- شکل (۹-۳) تغییرات باقیمانده سرعت ۵۵
- شکل (۱۰-۳) تغییرات باقیمانده مومنتم ۵۶
- شکل (۱-۴) سه شبکه به کار رفته برای بررسی استقلال حل از شبکه محاسباتی ۵۹
- شکل (۲-۴) تغییرات فشار در سه شبکه محاسباتی ۶۰
- شکل (۳-۴) طول نفوذ در سه شبکه اعمالی ۶۱
- شکل (۴-۴) نحوه تغییرات بیشینه طول نفوذ پیش بینی شده در سه شبکه محاسباتی ۶۱
- شکل (۵-۴) نرخ تبخیر برای سه گام زمانی ۶۲

- شکل (۶-۴) طول نفوذ اسپری برای سه گام زمانی ۶۳
- شکل (۷-۴) نحوه تغییرات بیشینه طول نفوذ پیش بینی شده در سه گام زمانی ۶۳
- شکل (۸-۴) نفوذ اسپری بر اساس مدل برخورد O'Rourke ۶۴
- شکل (۹-۴) نفوذ اسپری بر اساس مدل برخورد Schmidt ۶۵
- شکل (۱۰-۴) جریان در نزدیکی نازل ۶۶
- شکل (۱۱-۴) رقابت ناپایداری های KH و RT ۶۸
- شکل (۱۲-۴) مقایسه مدل های برخورد بر طول نفوذ ۶۸
- شکل (۱۳-۴) بیشینه نفوذ مدل های مختلف اسپری بر اساس مدل برخورد O'Rourke. ۶۹
- شکل (۱۴-۴) بیشینه نفوذ مدل های مختلف اسپری بر اساس مدل برخورد Schmidt ... ۷۰
- شکل (۱۵-۴) نمایه اسپری و بازه قطر قطرات برحسب متر برای مدل برخورد Schmidt
- الف) مدل Chu (ب) مدل wave (پ) RD مدل (ت) مدل KHRT ۷۱
- شکل (۱۶-۴) نمایه اسپری و بازه قطر قطرات برحسب متر برای مدل برخورد O'Rourke
- الف) مدل Chu (ب) مدل RD (پ) مدل wave (ت) مدل KHRT ۷۲
- شکل (۱۷-۴) تغییرات سرعت قطرات اسپری ۷۳
- شکل (۱۸-۴) توزیع سوخت (رنگ مشکی) و بخار (رنگ خاکستری) در یک اسپری دیزل
- فشار بالا از یک نازل چندسوراخه ۷۴
- شکل (۱۹-۴) تغییرات فشار سیلندر ۷۵

- شکل (۴-۲۰) تغییرات فشار سیلندر بر حسب مدل های مختلف اسپری ۷۶
- شکل (۴-۲۱) نرخ تبخیر اسپری ۷۶
- شکل (۴-۲۲) تاثیر مدل برخورد بر فشار داخل سیلندر ۷۷
- شکل (۴-۲۳) تاثیر مدل برخورد بر تبخیر اسپری ۷۷
- شکل (۴-۲۴) قطر متوسط ساتر برای مدل های مختلف شکست و برخورد O'Rourke ... ۷۹
- شکل (۴-۲۵) قطر متوسط ساتر برای مدل های مختلف شکست و برخورد Schmidt ۸۱
- شکل (۴-۲۶) خطوط جریان داخل سیلندر ۸۲
- شکل (۴-۲۷) خطوط جریان اسکوییش و اسپری ۸۳

فصل اول

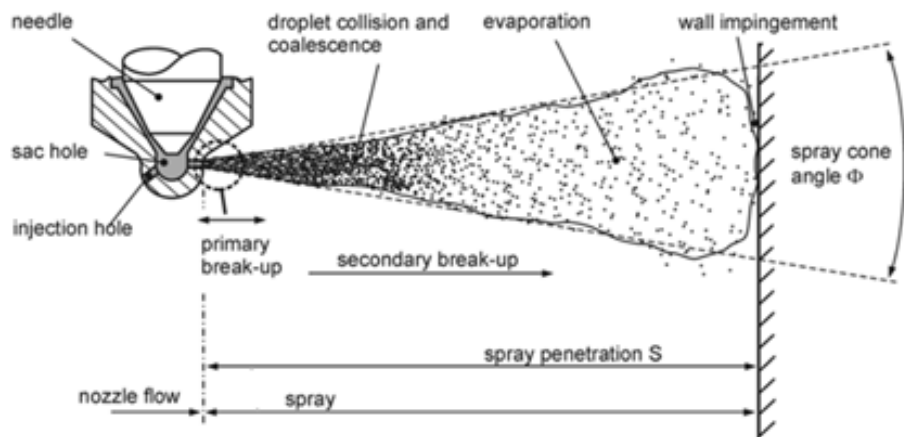
مقدمه

۱-۱ مقدمه

عمل پاشش سیال مایع در محیط‌های بسته‌ی گازی به دلیل وجود گاز فشرده، باعث ایجاد هزاران قطره کوچک شده، که منجر به شکل‌گیری اسپری می‌گردد (شکل (۱-۱)). به عقیده ویلیامز تاریخچه اسپری به سال ۱۸۸۵ میلادی بر می‌گردد، زمانیکه نخستین سوخت مایع به صورت پودر مشتعل شد. از آن زمان تاکنون استفاده از فرایند اسپری در حال گسترش است بطوریکه هم‌اکنون شمار زیادی از سیستم‌ها به خصوص سیستم‌های احتراقی مانند موتورهای دیزلی با پاشش سوخت به صورت اسپری کار می‌کنند. در واقع تبدیل سیال مایع به قطرات ریز، سطح تماس مایع با گاز را افزایش داده که این عمل موجب تسریع در تبخیر قطرات شده و در نهایت باعث افزایش بازده در سیستم‌های فوق می‌شود. مدلسازی اسپری از قبیل نفوذ، تبخیر و شکست قطرات، نقش مهمی در کارایی این سیستم‌ها دارد. بنابراین دانش دقیق از فرایند مدلسازی اسپری در افزایش بازده این سیستم‌ها بسیار مهم است.

در میان روش‌های مختلف مطالعه‌ی اسپری، شبیه‌سازی عددی می‌تواند در بررسی فرآیندهایی که در مقیاس‌های طولی و مکانی ای‌بی قرار دارند که امکان استفاده از تکنیک‌های آزمایشگاهی نیست، مورد استفاده قرار گیرد. به طور مثال شکست اسپری در نزدیکی نازل به طور عمده‌ای از وضعیت جریان داخل سوراخ‌های تزریق تأثیر می‌گیرد که به دلیل قطر کوچک سوراخ‌ها و سرعت بسیار بالای جریان، بررسی جریان سه‌بعدی، آشفته، دوفازی و همراه با کاویتاسیون به وسیله

تکنیک‌های اندازه‌گیری ممکن نیست. یکی از روش‌های بسیار پرهزینه و وقت‌گیر که بعضی اطلاعات را از این فرایندها به ما می‌دهد، ساختن یک نازل شیشه‌ای در ابعاد هندسی واقعی و به کار بردن آن برای تکنیک‌های اندازه‌گیری لیزری و نوری است که در این حالت، اندازه‌گیری سه بعدی ساختار اسپری (اندازه و سرعت قطرات و ...) بسیار پیچیده می‌شود، زیرا اسپری چگال اجازه عبور طیف نوری و لیزر را از هسته داخلی اسپری نمی‌دهد. در چنین مواردی شبیه‌سازی عددی می‌تواند اطلاعات با ارزشی را فراهم کرده و به توسعه و پیشرفت و بهینه‌سازی این فرآیندها کمک کند. کارهای تحقیقاتی زیادی تاکنون بر روی توسعه مدل‌های به کار رفته در کدهای دینامیک سیالات محاسباتی برای توصیف اسپری و تشکیل مخلوط در مورد تزریق مستقیم مایع انجام گرفته است. بایستی این مدل‌ها، فرآیندهای مورد نظر و همچنین آثار متقابلشان بر یکدیگر را شرح دهند. معمولاً داده‌های خروجی یک زیر مدل به عنوان داده ورودی برای فرآیندهای بعدی به کار می‌رود. به این دلیل، توصیف دقیق همراه با جزئیات از فرآیندها و مکانیزم‌های مربوطه به منظور تخمین کیفیت پیش‌بینی نتایج نهایی، قطعاً لازم و ضروری می‌باشد. به عنوان مثال توصیف دقیق تجزیه و فروپاشی مایع چگال داخل نازل تزریق به میلیون‌ها قطره کوچک در محفظه پیش نیاز محاسبه دقیق فرایندهای بعدی می‌باشد زیرا در مورد تزریق فشار بالا، شرایط جریان درون انژکتورها (به عنوان مثال آشفستگی، کاویتاسیون، جوشش لحظه‌ای) اهمیت زیادی در شکست اسپری دارند، مدل‌های اسپری پیشرفته همچنین بایستی اثر سیستم تزریق را دربرگیرند.



شکل (۱-۱) تصویر شماتیک از اسپری

به منظور مدل‌سازی یک اسپری که داخل محیط گازی نفوذ کرده است، دو فاز مایع گسسته و گاز پیوسته، بایستی در نظر گرفته شود. فاز گاز با به کار بردن معادلات ناویر-استوکس در ترکیب با یک مدل آشفستگی، که معمولاً مدل شناخته شده $K-\epsilon$ می باشد، توصیف می شود. فرمول بندی اوپلری رفتار پارامترهای مورد نظر جریان مانند مولفه های سرعت، فشار، چگالی و دما را به صورت تابعی از موقعیت فضایی (x,y,z) برای میدان جریان سه بعدی، شرح می دهد اما این فرمول بندی برای فاز گسسته مناسب نمی باشد و توصیف لاگرانژی به این منظور به کار می رود. قطرات به صورت نقاط جرمی منفرد رفتار می کنند، که سرعت هر یک به واسطه نیروهای پسای ناشی از سرعت نسبی بین گاز و قطرات کاهش می یابد و جرم هر یک با تبخیر شدن نیز کاهش می یابد. در نهایت رفتار هر دو فاز با استفاده از معادلات مومنتم، انرژی و تبادل جرمی، با هم کوپل می شوند.

۲-۱ مروری بر تحقیقات گذشته

استفاده از دیدگاه عددی اوپلری-لاگرانژی برای بررسی جریانات چند فازی مانند اسپری مایع در محیط گازی از دیرباز مورد توجه محققان مختلف بوده است [۱-۵]. بر این اساس فرض می شود که مایع تزریق شده را می توان به عنوان فاز گسسته با ردیابی قطرات آن در گاز حامل مدل کرد و در مقابل فاز پیوسته ی گازی را می توان با دیدگاه اوپلری بررسی کرد.

محاسبات مربوط به جریان دو فازی (گاز و مایع) توسط گاسمن به صورت دو بعدی و توسط واتکینز و همکاران به صورت سه بعدی انجام شد که منجر به کد کامپیوتری EPISO در انگلستان گردید. مطالعات مشابهی در آمریکا انجام شده که منجر به کد کامپیوتری KIVA شد [۶].

اثرات مربوط به قطر نازل و فشار اسپری در اتمیزاسیون سوخت و گسترش فضایی آن در مطالعات مربوط به فوجیدا و همکاران [۷]، در سال ۱۹۹۵ آورده شد که کمک شایانی به افزایش

بازده موتورها کرد. آن‌ها دریافتند که کاهش قطر نازل و افزایش تعداد نازل‌ها و فشار پاشش به بهبود عملکرد موتور می‌انجامد.

ریکارت و همکاران [۸]، در سال ۱۹۹۷ در مرکز تحقیقات موتور دانشگاه ویسکانزین-مدیسن توانستند طول نفوذ اسپری سوخت مایع را با استفاده از روش‌های اپتیکی بدست آورند.

فیت [۹] در سال ۱۹۹۸ و دوپلر [۱۰]، در سال ۲۰۰۰ به مطالعه تاثیر دما بر خصوصیات دینامیکی اسپری و تاثیر اختلاف فشار اطراف قطره‌ها بر شکست آن‌ها پرداختند.

در سال ۲۰۰۲، لی و همکاران [۱۱]، به بررسی عددی و آزمایشگاهی اسپری پرداختند. در این مطالعه نشان داده شد که قطر متوسط ساتر^۱ و سرعت قطرات پس از پاشش به سرعت کاهش یافته و در ادامه به حالتی پایا و تقریباً بدون تغییر می‌رسند. در این مطالعه از مدل KHRT^۲ برای مدلسازی فرایند اسپری استفاده شد.

ویلیر و همکاران [۱۲]، در سال ۲۰۰۴ پدیده اتمیزاسیون و اسپری مایع را شبیه‌سازی کردند. در این مطالعه، نتایج برای یک محفظه فشار ثابت استوانه‌ای شکل بدون احتراق ارائه شد. پارامترهای مهم اسپری از جمله طول هسته مخروطی مایع و زاویه اسپری با نتایج تجربی و روابط نیمه‌تجربی موجود مقایسه شد.

زحمتکش و همکاران [۱۳]، در سال ۲۰۰۶ به بررسی اثر اندازه قطرات اسپری سوخت بر تولید دوده پرداختند و نشان دادند که کاهش اندازه قطرات، به کاهش آلاینده‌ها منجر می‌شود.

عبدالکریم و همکاران [۱۴]، در سال ۲۰۰۶ با تمرکز بر فرایند تشکیل مخلوط سه مدل مختلف اسپری (TAB^۳, WAVE, FIPA) را در یک محفظه استوانه‌ای، بررسی و نتایج حاصله را با نتیجه آزمایشگاهی مقایسه کردند.

در سال ۲۰۰۹، نیشیدا و همکاران [۱۵]، مطالعات عددی با نرم افزار AVL FIRE در زمینه تشکیل مخلوط حاصل از پاشش اسپری از دو نازل را در محفظه‌ای استوانه‌ای شکل در فشار ثابت

¹ Sauter mean diameter

² Rayleigh Taylor-Kelvin Helmholtz

³ Taylor Analogy Breakup